

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**ELEKTROKROMİK KAPLAMALI CAMIN FARKLI İKLİM BÖLGELERİNE
GÖRE ENERJİ PERFORMANSI DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mustafa İrfan ERDEMLİ

Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı

Enerji Bilim ve Teknoloji Programı

ŞUBAT 2018

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**ELEKTROKROMİK KAPLAMALI CAMIN FARKLI İKLİM BÖLGELERİNE
GÖRE ENERJİ PERFORMANSI DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Mustafa İrfan ERDEMLİ
(301051013)**

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Hatice SÖZER

ŞUBAT 2018

İTÜ, Enerji Bilimleri Enstitüsü'nün 301051013 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Mustafa İrfan ERDEMLİ, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “ELEKTROKROMİK KAPLAMALI CAMIN FARKLI İKLİM BÖLGELERİNE GÖRE ENERJİ PERFORMANSI DEĞERLENDİRİLMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç.Dr. Hatice SÖZER**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Alpin Köknel YENER**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Düriye BİLGE
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **17 Kasım 2017**
Savunma Tarihi : **16 Şubat 2018**

ÖNSÖZ

Tez çalışmam süresince yardımlarını esirgemeyen, bana değerli vaktini ayıran Sayın Doç.Dr.Hatice SÖZER'e teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim. Desteklerini her zaman hissettiğim sevgili aileme saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Kasım 2017

Mustafa İrfan ERDEMLİ
(Elektrik Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
SEMBOLLER	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ.....	1
2. BİNALARDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ.....	3
2.1 Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği	6
2.2 Türkiye Bina Sektörü Enerji Tüketim Yapısı	9
2.3 Binalarda Cam Yüzeylerin Enerji Performansına Etkisi	12
3. BİNALARDA ISI VE IŞIĞIN KONTROL EDİLMESİ.....	15
3.1 Isı ve Işığın Cama Etkisi	16
3.2 Bina Gölgeleme Sistemleri	29
3.3 Gölgeleme Sistemlerinin Sınıflandırılması.....	34
3.3.1. Dışarı tip donanımlar.....	35
3.3.2. İçeri tip donanımlar	36
3.3.3. Sabit donanımlar	36
3.3.4. Ayarlanabilir donanımlar	38
3.3.5. Geri çekilebilir katlanabilir donanımlar	40
3.3.6. Ara bölme donanımlar.....	40
3.3.7. Bitki örtüsü.....	40
3.3.8. Kentsel morfoloji.....	41
3.3.9. İleri cam sistemleri	42
4. DİNAMİK CAM SİSTEMLERİ	49
4.1 Fotokromik Cam Sistemleri	51
4.2 Termokromik Cam Sistemleri.....	52
4.3 Elektrokromik Cam Sistemleri.....	54
4.4 Askıda Tanecikli Cam Sistemleri.....	58
4.5 PDL C Cam Sistemleri.....	59
4.6 Gelişmekte Olan Cam Teknolojileri	60
5. ELEKTROKROMİK CAM SİSTEMLERİNİN ÖRNEK BİR OFİS BİNASI İÇİN ENERJİ KAZANCI PERFORMANSININ DEĞERLENDİRMESİ.....	63
5.1 Çalışma Alanlarının Belirlenmesi	63
5.2 Bina Modelinin Hazırlanması	64

5.3 Enerji Performans Modelinin Oluşturulması	65
5.4 Enerji Performans Değerlendirmeleri	72
5.4.1. İzmir için Değerlendirme	74
5.4.2. İstanbul için Değerlendirme	78
5.4.3. Ankara için Değerlendirme	82
5.4.4. Kayseri için Değerlendirme.....	86
5.4.5. Kars için Değerlendirme.....	90
6. SONUÇLAR	95
KAYNAKLAR.....	97

KISALTMALAR

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AB	: Avrupa Birliği
ANSI	: American National Standards Institute
ASHREA	: American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers
BEPY	: Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği
CE	: Karşıt Elektot (Counter Elektrode)
EC	: Elektrokromik
EMS	: Elektromanyetik Spektrum
GSYİH	: Gayri Safi Yurtiçi Hasıla
HOE	: Hologramik Optik Elemanlar
KEP	: Kilogram Eşdeğer Petrol
LC	: Likit Kristal
LSG	: Güneş Enerjisi Kazanç Oranı (Light to Solar Gain Ratio)
MEMS	: Mikro Elektrik Mekanik Sistemler
PVB	: Polyvinyl Butyral
SHGC	: Güneş Isı Kazanç Katsayısı (Solar Heat Gain Coefficient)
SPD	: Askıda Tanecikli
TC	: Saydam İletken (Transparent Conductor)
TEP	: Ton Petrol Eşdeğeri
U	: Isı Geçirgenlik Katsayısı
UV	: Ultraviyole
VLT	: Görünür Işık Geçirimi (Visual Light Transmission)

SEMBOLLER

c	: Işıık Hızı
C°	: Santigrat
E	: Enerji
f	: Frekans
g[∞]	: Güneş Enerji Geçirme Faktörü
h	: Plank Sabiti
V_T	: Gün Işığı Geçirgenliğı (Visible Transmittance)
λ	: Dalga Boyu

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Türkiye’de 2007 ve 2014 yılları fert başına enerji tüketimleri	5
Çizelge 3.1 : Görünür ışığın renklerinin dalga boyları	22
Çizelge 3.2 : Maddelerin yayınlılık değerleri.....	25
Çizelge 3.3 : Sektördeki bir pencere markasının low-e ısı ve güneş kontrol kaplamalı camlarının performans tablosu.....	45
Çizelge 4.1 : Farklı tipteki aktif dinamik cam sistemleri karşılaştırma tablosu	62
Çizelge 5.1 : Ofis binası E-Quest modeli değerleri.	65
Çizelge 5.2 : Ofis binası enerji performans modeli bina kabuğu parametreleri	66
Çizelge 5.3 : Ofis binası enerji performans modeli (HVAC) ısıtma, soğutma, havalandırma parametreleri	68
Çizelge 5.4 : Ofis binası enerji performans modeli aydınlatma, priz ve kullanma suyu yükleri	69
Çizelge 5.5 : Tek cam performans değerleri.....	70
Çizelge 5.6 : Çift cam performans değerleri.....	70
Çizelge 5.9 : Üçlü cam performans değerleri.	71
Çizelge 5.10 : Enerji performansı modelleme koşulları	73
Çizelge 5.11 : İzmir için tek cama göre diğer camların toplam enerji kazanç yüzdesi	77
Çizelge 5.12 : İstanbul için tek cama göre diğer camların toplam enerji kazanç yüzdesi	81
Çizelge 5.13 : Ankara için tek cama göre diğer camların toplam enerji kazanç yüzdesi	85
Çizelge 5.14 : Kayseri için tek cama göre diğer camların toplam enerji kazanç yüzdesi	89
Çizelge 5.15 : Kars için tek cama göre toplam enerji kazanç yüzdesi	93

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Türkiye'de 2007 ve 2014 yılları sektörel enerji tüketimleri	5
Şekil 2.2 : Enerji Kimlik Belgesi [9]	8
Şekil 2.3 : Türkiye’de 2003-2016 yılları arası bina sayısının gelişimi	9
Şekil 2.4 : Türkiye’de 2015 yılı itibariyle kullanım amacına göre bina tiplerinin bina stoku içinde oranı	10
Şekil 2.5 : Enerji Türlerine Göre 2009 ve 2014 Yılı Bina Sektörü Enerji Tüketimi.	11
Şekil 2.6 : Konutlarda tüketilen enerji dağılımı	13
Şekil 2.7 : Ticari binalarda tüketilen enerji dağılımı	13
Şekil 3.1 : Işınım, iletim ve taşınım ile ısı aktarımı.....	16
Şekil 3.2 : Elektromanyetik spektrum	18
Şekil 3.3 : Isıl ışıının elektromanyetik tayftaki yeri	19
Şekil 3.4 : Sıcaklık değişimine bağlı olarak ışıının dalga boyu değişimi	20
Şekil 3.5 : Binanın termal kamera ile görüntüsü	20
Şekil 3.6 : Yeryüzüne ulaşan veya atmosferde soğrulan ışıının sıralı görünümü .	21
Şekil 3.7 : Farklı dalga boylarındaki renk tonlarını gösteren lambalar	23
Şekil 3.8 : Yeryüzüne ulaşan solar ışıının dalga boyuna göre dağılımı	24
Şekil 3.9 : Ilıman ve soğuk iklimlere uygun camların ideal tayf geçirgenliği	26
Şekil 3.10 : Camın ışıının ile enerji transferine etki eden temel özellikler.....	27
Şekil 3.11 : Doğrudan, yansıyan ve yayılan güneş ışıınımları	30
Şekil 3.12 : Yaz, Kış, Ekinoks güneş yörüngesi	31
Şekil 3.13 : Farklı tipteki güneş gölgeleme sistemlerinin ışıının ve ısı taşınımına etkisi	31
Şekil 3.14 : Farklı tiplerde güneş gölgeleme sistemleri	32
Şekil 3.15 : Sabit gölgeleme sistemleri	37
Şekil 3.16 : Ayarlanabilir dikey gölgelikler	39
Şekil 3.17 : Abu Dhabi Bahar Towers’daki çalışması cepheye kurulmuş olan fotovoltaik paneller vasıtası ile karşılanan yenilikçi dış gölgeleme sistemi.....	39
Şekil 3.18 İklim şartlarına göre çift cam yüzlerinde low-e film kaplama yeri	46
Şekil 4.1 : Dinamik cam sistemleri sınıfları	50
Şekil 4.2 : Termokromik ve low-e kaplamalı çift camda ısının yansıması ve ışığın soğrulması	53
Şekil 4.3 : Termokromik bir uygulamanın günün farklı saatlerindeki görünümü	53
Şekil 4.4 : Güneş ışığının görünür ve yakın kızıl ötesi (ısı) kısmını soğrulmasını seçici kontrol edebilen elektrokromik camların kompozit yapısı.	55
Şekil 4.5 : Elektrokromik camın iç yapısı ve renk değişim süreci	55
Şekil 4.6 : Elektrokromik cam sisteminin solar faktör görünür ışık geçirgenliği ilişkisi ve statik cam sistemlerine göre durumu.	57

Şekil 4.7 : Elektrokromik camın sağdan sola renk değiştirme aşamalarının gözlemlenebileceği saha testleri görülmektedir.	57
Şekil 4.8 : SPD camın çalışma süreci	58
Şekil 4.9 : PDLC Cam sisteminin çalışma süreci	59
Şekil 4.10 : PDLC film kaplamalı cam uygulanmış pencereler	60
Şekil 4.11 : Microblind’ların elektron mikroskobu ile görüntüsü	61
Şekil 5.1 : Örnek ofis binası modellemesi	65
Şekil 5.2 : İzmir için binanın farkı cam koşullarına göre yıllık soğutma, ısıtma, aydınlatma enerji tüketimi sonuçları (kwh).....	74
Şekil 5.3 : İzmir’de elektrokromik camın 10.Koşul ve Ashrae (7.Koşul) için aylara göre enerji tüketimleri (kwh).....	75
Şekil 5.4 : İzmir için binanın farklı cam koşullarına göre toplam enerji tüketim sonuçları (kwh).....	76
Şekil 5.5 : İstanbul için binanın farkı cam koşullarına göre yıllık soğutma, ısıtma, aydınlatma enerji tüketimi sonuçları (kwh).....	78
Şekil 5.6 : İstanbul’da elektrokromik camın 11.Koşul ve Ashrae (7.Koşul) için aylara göre enerji tüketimleri (kwh).....	79
Şekil 5.7 : İstanbul için binanın farklı cam koşullarına göre toplam enerji tüketim sonuçları (kwh).....	80
Şekil 5.8 : Ankara için binanın farkı cam koşullarına göre yıllık soğutma, ısıtma, aydınlatma enerji tüketimi sonuçları (kwh).....	82
Şekil 5.9 : Ankara’da elektrokromik camın 11.Koşul ve Ashrae (7.Koşul) için aylara göre enerji tüketimleri (kwh).....	83
Şekil 5.10 : Ankara için binanın farklı cam koşullarına göre toplam enerji tüketim sonuçları (kwh).....	84
Şekil 5.11 : Kayseri için binanın farkı cam koşullarına göre yıllık soğutma, ısıtma, aydınlatma enerji tüketimi sonuçları (kwh).....	86
Şekil 5.12 : Kayseri’de elektrokromik camın 11.Koşul ve Ashrae (7.Koşul) için aylara göre enerji tüketimleri (kwh).....	87
Şekil 5.13 : Kayseri için binanın farklı cam koşullarına göre toplam enerji tüketim sonuçları (kwh).....	88
Şekil 5.14 : Kars için binanın farkı cam koşullarına göre yıllık soğutma, ısıtma, aydınlatma enerji tüketimi sonuçları (kwh).....	90
Şekil 5.15 : Kars’da elektrokromik camın 11.Koşul ve Ashrae (7.Koşul) için aylara göre enerji tüketimleri (kwh).....	91
Şekil 5.16 : Kars için için tek cama göre diğer camların toplam enerji kazanç yüzdesi	92

ELEKTROKROMİK KAPLAMALI CAMIN FARKLI İKLİM BÖLGELERİNE GÖRE ENERJİ PERFORMANSI DEĞERLENDİRİLMESİ

ÖZET

Enerji verimliliği iklim değişikliği ile mücadele ve enerji güvenliğini geliştirmek için en etkili yoldur. Bina sektörü enerji verimliliğini artırmak ve birincil enerji tüketimini azaltmak için önemli bir yer tutar. Genellikle binalarda ısı kayıpları sebebiyle, enerji verimliliği düşük kabul edilen cam yüzeyler, yeni gelişmelerle birlikte binalarda farklı kullanım alanları da bulabilmektedir. Estetik kaygılardan ve iyileştirilmekte olan yalıtım özellikleri sebebiyle camın mimari yapılarda kullanımı önemli ölçüde artmıştır.

Bina cephesindeki cam yüzeyleri seçilirken camın hem ısıtma hem de soğutma yüklerine olan etkileri dikkate alınmalıdır. Bu durum değişken iklim şartlarına göre cam yüzeylerin farklı özellik gösterebilme ihtiyacını doğurmuştur. Örneğin soğuk iklim bölgelerinde güneş ışınlarının daha fazla geçirimini sağlayan yüksek solar faktörlü ürünler tercih edilirken, sıcak iklim bölgelerinde güneş ışınlarını engelleyen düşük solar faktörlü ürünler tercih edilir. Bina cephesi ve çerçevesinde uygulanabilecek gölgeleme ekipmanları veya farklı mimari çözümlerle de amaca ulaşılabilir. Bu anlamda gelişmekte olan bir teknoloji olan elektrokromik dinamik cam kaplama sistemleri enerji verimliliği açısından önemli potansiyel sahiptir. Elektrokromik cam sistemleri kullanıcı ihtiyaçları doğrultusunda ısı ve ışık geçirgenliğini değiştirebilmektedir. Elektrokromik camlar varlık sensörü, günışığı sensörü vs. gibi ekipmanlarla farklı kontrol sistemleri ve senaryolara göre yönetilebilmektedir.

Bu çalışmada Türkiye'nin iklim bölgelerine göre elektrokromik tipinde dinamik cam kaplamalı pencere ile standart düz camlı ve yüksek performanslı statik camlı pencerelerin enerji performans özelliklerine göre karşılaştırması yapılmıştır. Farklı ticari cam sistemlerinin bina enerji simülasyonu, DOE-2.2 tabanlı E-Quest 3.65 yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma için sekiz katlı bir ofis binası seçilmiş, ASHRAE 90.1-2007 standardı baz alınarak modelleme yapılmıştır. Bu analiz TS825 standardında tanımlanan 5 farklı iklim şartı için yapılmıştır.

Oluşturulan bina enerji modellemesinde çalışmada 500 lüks aydınlanma şiddetine göre hesaplama yapılmıştır. Bu çalışmada günışığı kontrolü, ayarlanabilir aydınlatma ekipmanlarının veya pencerelerden gelen doğal aydınlatmanın düzenlenmesine dayanmaktadır. Hava şartlarına (bulutlu, açık vs.), güneşin pozisyonu veya kullanılan cama göre uygulanacak günışığı sensörü iç ortamda istenen optimum aydınlanma seviyesini ayarlamaktadır. Kapalı havalarda elektrokromik cam ortamda istenen aydınlatma seviyesine ulaşılan kadar saydamlaşmakta, açık havalarda kararak ışık ve ısı geçirgenliğini istenen seviyede tutmaktadır. Aynı zamanda zaman çizelgesine göre de kontrol edilmektedir.

Yapılan çalışma sonucunda farklı iklim bölgeleri için sonuçların benzer çıktığı görülmüştür. Eski binalarda yaygın olarak bulunmakta olan tek camlı pencere

sistemlerine göre elektrokromik olanların yaklaşık %40'lar mertebesinde tasarruf sağladığı sonucuna varılmıştır. Elektrokromik cam yıllık tüketimin yanı sıra belirli dönemlerde gerçekleşen azami yüklerin azaltılması gibi önemli faydalar sağlayabilmektedir. Bu sayede ofis binasında kullanılabilecek mekanik ekipmanlar daha düşük kapasiteli tercih edilebileceği görülmüştür.

ENERGY PERFORMANCE ASSESSMENT OF ELECTROCHROMATIC COATINGS FOR DIFFERENT CLIMATIC ZONES

SUMMARY

Energy efficiency is the most effective way to fight climate change and improve energy security. Because of the vast potential of energy efficiency for future energy savings, governments implement mandatory policies that include codes and standards. The building sector plays an important role in increasing energy efficiency and reducing primary energy consumption. Generally because of high thermal losses, glass surfaces in buildings considered low energy-efficient but with new developments it does find different usage areas. Even though the main function of windows is to provide daylight and visual contact with the external environment, due to aesthetic concerns and improved insulation properties, their use in architectural structures has increased significantly.

When selecting the glass surface, the effects on both heating and cooling loads must be considered. Thus necessity of using different glass surfaces which offer different optical properties according to the change in climatic conditions occur. For example in cold climates to provide more transparency high solar factor products are preferred while in warm climates to prevent radiation low preferred. A proper choice of windows can reduce both heating and cooling loads of buildings. This can also be achieved with applying shading equipment or different architectural solutions to facade and framework. In this sense, developing electrochromic dynamic glass coating systems have significant potential for energy efficiency. Electrochromic glass systems can change the heat and light transmittance according to user needs. Electrochromic glazing can be managed by equipments like occupancy sensor, daylight sensor etc. with different control systems and scenarios. Different studies have shown that the use of electrochromic windows could lower the energy consumption of buildings. The energy efficiency of electrochromic windows is still under research worldwide.

Intelligent (dynamic) glass systems can be classified as passive and active controlled. Passive controlled dynamic glass systems do not require an electrical stimulus. These systems react independently from user by a natural stimulus such as light or heat. Active dynamic glass systems can be controlled either directly or through automated building management systems. Active dynamic glass systems can adjust the penetrating visible and infra-red light intensity according to many different parameters, such as indoor and outdoor conditions or user demands. In this way, heating, cooling and lighting systems can achieve significant gains in energy consumption.

Dynamic glass systems became a considerable option for both newly built buildings and restoration projects to change the energy and light transmission values according to exterior conditions or user requests. The best example for this is transparent

chromic materials that can provide selective and dynamic control of thermal energy and instant solar radiation.

Despite the availability of high-efficiency products in terms of thermal insulation properties, static glass systems considered insufficient in terms of instantaneous solar radiation control, energy efficiency and comfort. In general, it is preferable to eliminate these deficiencies by using dynamic shading systems. Despite their widespread use because that dynamic shading systems installation and maintenance is costly, not suitable for renovation projects and vision restraints have led to the use of next-generation products.

In the market there are active dynamic glass systems integrated with systems such as photovoltaic to provide electrical self-sufficiency, using different technologies which can be controlled with smart phones and can be operated remotely. Most common examples are electrochromic (EC), suspended particulate (SPD) and liquid crystal (LC / PDLC) glass systems. These technologies may be preferred for different applications or needs (privacy, switching speed, solar heat gain reduction) due to their different operating characteristics, costs and performance. Another advantage of active dynamical systems over passive systems is that all glass units in the building envelope can function independent of each other. Increased use of smart glasses in other areas of the automotive, aerospace and transportation sectors is another indication of increased demand.

In this study energy performance characteristic comparison was made between the electrochromic type dynamic glass, standard single pane glazed and high performance static glass windows installed in an office building at different climatic regions of Turkey. Building energy simulations of different commercial glass systems were performed using DOE-2.2 based E-Quest 3.65 software. An eight-storey office building was selected for the study, based on the ASHRAE 90.1-2007 standard. This analysis was carried out for the 5 different climatic conditions defined as TS825 standard. This standard aims to define the standard calculation methods and values to be used in the calculation of the energy consumption of the buildings in Turkey to save energy and to calculate the net heating energy requirement.

According to the determined modeling conditions, energy analysis was performed for each city at different regions in TS825. The effects on the energy performance of the entire building of glass for 11 different scenarios and 5 different glass types were examined. While all opaque surfaces of the building are determined according to the values in TS825, the glasses used are based on the properties of the selected glasses. Glass in use is selected as single glass, double glass, triple glass. Analyses were made on the glass properties specified in the ASHRAE standard and the results were evaluated by making a comparison between the selected alternatives. ASHRAE 90.1-2007 code performance targets for both SHGC and U value impact of glass to buildings.

By using the architectural, mechanical and electrical projects of an existing office building, a hypothetical office model was created. In the generated model, calculations was made according to 500 lux illumination intensity. In this study, daylight control has been achieved with adjustment of natural illumination from windows or dimmable lighting equipment. Depending on weather conditions (cloudy, clear, etc.), the sun's position or the glass type used, daylight sensor adjusts the desired optimum illumination level in the interior environment. In cloudy weather, the electrochromic glass become transparent until the desired illumination

level is reached and become tinted in clear weather to keep the light and heat transmittance at desired level. Also a time schedule is considered for the control scenario.

Similar results has been achieved for different climate regions. Electrochromic windows save %40 compare to single pane windows which are common in old buildings. In addition to the reduction of energy in annual consumption of electrochromic glass, it can also provide significant benefits such as reducing the peak loads that occur during certain periods. By this way mechanical equipments which can be used in the office can be chosen with lower capacity.

1. GİRİŞ

Çağımızda enerji teminin güvenliği ve çeşitliliğini sağlamak, iklim değişikliği konusunda verilen yükümlülükleri yerine getirmek ve dalgalı seyreden enerji fiyatlarının ekonomiye olan etkisini dengelemek ülkelerin karşılaştığı temel zorluklardan biridir. Bunun üstesinden gelmenin en kolay ve güvenilir yolu enerji kaynaklarını verimli kullanmaktır. Enerji verimliliği yaşam koşullarından, iş yapabilme kabiliyetinden ve üretimden ödün vermeden yapılan enerji tasarrufu şeklinde tanımlanabilir. Dünya genelinde enerjiye olan ihtiyacın artmasına paralel olarak verimli kullanılmasının önemi de artmaktadır. Bu doğrultuda, çıkarılan yönetmelikler, bilinçlendirme faaliyetleri ve diğer önlemler bir farkındalık yaratmış; tüketici tercihlerini değiştirmiş aynı zamanda teknolojik yenilik ve yatırımlara önayak olmuştur.

Mayıs 2007’de AB liderleri, 2020 yılı için öngörülen birincil enerji tüketimini %20 azaltmak için ortak karar almışlar, Ekim 2014’de ise bu oranı 2030 yılında %27’e çıkarmak için görüş birliğine varmışlardır. AB’nin bu konuda attığı somut adımlardan biri de 2012’de kabul edilen yeni enerji verimliliği yönetmeliğidir. Yönetmelik, AB’nin iklim değişikliği ile mücadelesini desteklemeyi, sürdürülebilir ve daha rekabetçi bir ekonomi oluşturulmasını hedeflemektedir.

Enerji ihtiyacının dörtte üçünden fazlasını ithal ürünlerle karşılayan Türkiye için de aynı durum geçerlidir. Ülkemizde 2004-2014 yılları arasında enerji kaynak türlerinde ithalatın payı yaklaşık %3 artmış ve toplam nihai enerji tüketimi 68 milyon TEP’den 87 milyon TEP’e çıkmıştır. Türkiye 2012 yılında Almanya ve İtalya’yı geçerek AB’de miktar olarak en fazla doğalgaz ithal eden ülke konumuna gelmiştir. Bu veriler dikkate alındığında enerji verimliliğinin Türkiye açısından aciliyeti daha net anlaşılabilmektedir ve stratejik planlar içerisinde enerji verimliliği hedefleri de yer almıştır. 5627 Sayılı “Enerji Verimliliği Kanunu” ülkemiz için önemli bir başlangıç olmuş, 2008 yılı da 'Enerji Verimliliği Yılı' ilan edilmiştir. 2023 yılında Türkiye’nin GSYİH başına tüketilen enerji miktarının (enerji yoğunluğunun) 2011 yılı değerine göre en az %20 azaltılması hedefleyen Enerji Verimliliği Strateji Belgesi 2012

yılında yayınlanmıştır. AB Enerji Verimliliği Yönetmeliği kapsamında öngörülen şartların yerine getirilmesi ve belirlenen hedeflere ulaşılmasını sağlamak amacıyla Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı taslağı görüşe açılmıştır. Bu plan ülkemizin 2023 Enerji Verimliliği Stratejisi kapsamında belirlemiş olduğı hedefleri doğrultusundaki çalışmalarını, yıllık yol haritasını ve stratejik politikaları bağlamındaki enerji tasarrufu çalışmalarını içermektedir.

Küresel enerji tüketiminin önemli bir kısmını oluşturan binalar pek çok yapı bileşenini barındırmaktadır. Binalarda enerji verimliliği için yapı elemanlarının katkısı oldukça yüksektir. Enerji verimliliği açısından binalarda diğer sektörlere göre daha düşük yatırım maliyetleri ile daha yüksek getiriler elde edilmektedir.

2. BİNALARDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ

Barınma, korunma, gizleme veya depolama gibi amaçlarla kullanmak üzere dayanıklı malzemelerden inşa edilen yapılara bina denir. Binalar insan yaşam alanının (konfor ve güvenlik ortamının) fiziksel bir bölümünü ve dış ortamdan gelebilecek etkilere karşı korunak sağlayan barınma alanını temsil eder. Binalarda özellikle ısı konforu sağlayabilmek ve aydınlatma için önemli miktarda enerji tüketilmektedir. Gelişmiş ülkelerde tüketilen enerjinin %20-40'ı binalarda gerçekleşmektedir. Dünyanın en büyük ikinci enerji tüketicisi konumundaki ABD'de 2014 yılı itibariyle birincil enerji tüketiminin yaklaşık %41'i binalardan kaynaklanmaktadır. ABD'de 1994-2014 yılları arasındaki 20 yıllık dönemde binalarda gerçekleşen toplam enerji tüketimi %20 artmıştır. 2010'da küresel birincil enerji tüketiminin %19'u ABD'de gerçekleşmiş ve bu miktarın binalarda tüketilen kısmı ise küresel tüketimin %7'sine denk gelmiştir. Dünyanın en büyük enerji tüketicisi konumundaki Çin'de 2010 yılı itibariyle toplam birincil enerji tüketiminin yaklaşık %27'si binalarda gerçekleşmiştir. Kalabalık nüfusa sahip ve kişi başına düşen enerji tüketiminin ABD'dekinin dörtte birinden az olduğu Çin'de binalardaki enerji tüketiminde önümüzdeki yıllarda önemli bir sıçrama olacağı beklenmektedir.

Enerji verimliliği ilgili önemli hedefler koyan AB'de tablo benzerdir. Binalar AB'de toplam enerji tüketiminin yaklaşık %40'ına ve CO₂ salınımının %36'sına sebep olmaktadır. AB'de yeni binalar da ısıtma için genellikle her metrekare için yıllık 3 ile 5 litreden az petrol eşdeğerine ihtiyaç duyulurken, eski binalarda ortalama 25 litre tüketilmekte, bazı binalarda 60 litreye kadar çıkmaktadır. Hali hazırda AB'deki binaların %35'i 50 yıldan eskidir. Binaların enerji verimliliği açısından geliştirilmesi halinde AB genelinde enerji tüketiminde %5-6'lık bir düşüş sağlanabileceği öngörülmektedir.

AB'nin binalarda enerji tüketimini azaltmaya yönelik ana mevzuatları 2010 yılında çıkarılan Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği ve 2012 yılındaki Enerji Verimliliği Yönetmeliğidir. Bu iki yönetmelik binalar açısından aşağıda özetlenen bazı önlemleri içermektedir.

Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği (Directive 2010/31/EU):

- Binaların satış ve kiralanması için verilen bütün reklamlara enerji performans sertifikaları da ilave edilecektir.
- AB ülkeleri, ısıtma ve havalandırma sistemleri için denetlenmesi yönelik düzenlemeler oluşturacak veya aynı etkide önlemleri yürürlüğe koyacaktır.
- 31 Aralık 2020 tarihine kadar bütün yeni binaların (resmi binaların 31 Aralık 2018'e kadar) sıfır enerji binaya yakın tüketim değerlerine sahip olması sağlanacaktır.
- AB ülkelerinde, yeni yapılan, büyük çaplı renovasyona giren ve yapı elemanlarında (ısıtma soğutma sistemleri, çatılar, duvarlar vs.) yenilemeye giden binalarda minimum enerji performans gerekliliği belirlenecektir.
- AB ülkeleri, binalarda enerji verimliliğini artırıcı ulusal finansal önlemlerin çerçevesini oluşturacaktır.

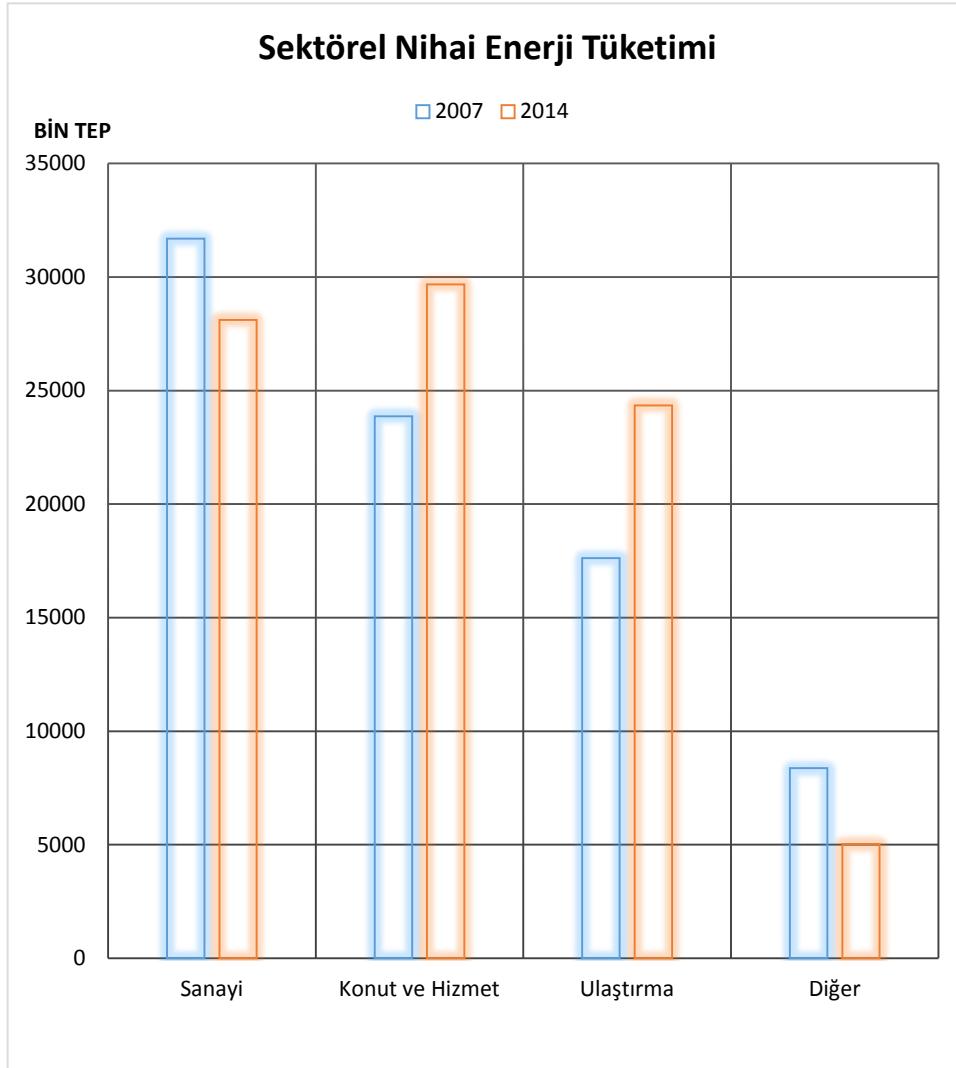
Enerji Verimliliği Yönetmeliği (Directive 2012/27/EU):

- AB ülkeleri, merkezi hükümetlerinin sahip olduğu veya kullanımında olan binaların en az %3'ünü enerji verimliliği renovasyonuna tabi tutacaktır.
- AB hükümetleri yalnızca yüksek enerji verimliliğine sahip binaları satın alacaktır.
- AB ülkeleri uzun soluklu bir ulusal bina renovasyon stratejisinin çerçevesini oluşturacak ve ulusal enerji verimlilik aksiyon planlarında buna yer vereceklerdir.

Gelişmiş ülkelerin çoğunda benzer çalışmalar yürütülmektedir. ABD'de yapı sektöründe, yaklaşık 85 milyon konut ve ticari bina bulunmaktadır. Binalar ABD'de CO₂ salınımının %39'una sebep olmaktadır. ABD'de toplam bina sayısına her yıl 1 milyondan fazla yeni binanın eklenmesi beklenmektedir ve bu durumda 2035 yılına gelindiğinde toplam bina sayısının 100 milyonu aşacağı öngörülmektedir. Buna rağmen bu süre zarfında mevcut binaların, pazarı hükmetmeye devam edeceği beklenmektedir. ABD'de binalarda enerji kullanımının azaltılmasına yönelik çalışmalar hem konut sahiplerine hem de ticari kurum sahiplerine maddi olarak da

getiri sağlayacağı düşünülmektedir. Bu doğrultuda işletmelerin daha düşük maliyetlerle ürünlerini uluslararası pazarda rekabetçi bir şekilde sunabilmesi hedeflenmektedir. Binalarda, 2010 yılını baz alarak enerji tüketiminin önümüzdeki 20 yılda %50 azaltılması planlanmaktadır.

Türkiye’de de artan nüfus ve gelişime bağlı olarak binaların enerji verimliliği ile ilgili düzenlemelerin ve ulusal politikaların şekillenmesi ihtiyacı doğmuştur. Enerji tüketiminin sektörlere göre dağılımına bakıldığında 2007 yılında sanayinin birinci sırada yer aldığı fakat 2014’e gelindiğinde binalardaki tüketimin ilk sırada yer aldığı gözlemlenmiştir. (Şekil 2.1) 2014 yılı itibariyle enerji tüketimin %34’ü binalarda gerçekleşmiştir. Aynı dönemde Türkiye nüfusunda yaklaşık 7 milyon artış olmasına rağmen kişi başına enerji tüketiminde de artış gözlenmiştir. (Çizelge 2.1)



Şekil 2.1 : Türkiye’de 2007 ve 2014 yılları sektörel enerji tüketimleri.

Çizelge 2.1 : Türkiye’de 2007 ve 2014 yılları fert başına enerji tüketimleri.

	2007	2014
Fert Başına Enerji Tüketimi (kep/k):	1525	1595
Fert Başına Net Elektrik Tüketimi (kWh/k):	2198	2669
Nüfus (milyon):	70,6	77,7

Türkiye’de 2011 yılı itibariyle hanehalklarının sadece yaklaşık %22’si 10 ve daha az yaştaki binalardaki konutlarda yaşadığı düşünülürse; binalarda enerji verimliliği ile ilgili yapılacak düzenlemelerin ülke ekonomisine ve çevreye katkı potansiyelinin yüksek olacağı sonucuna varılabilir. Bu doğrultuda binalarda enerji kaynaklarının verimli kullanılmasına ve çevrenin korunmasına ilişkin usul ve esasları düzenleyen “Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği” Aralık 2008’de yürürlüğe girmiştir. Yönetmeliğin hazırlanmasında AB’nin 2002/91/EC sayılı “Binaların Enerji Performansı Yönetmeliğini” baz alınmıştır. Nisan 2010’da AB’de yapılan yönetmelik değişikliklerine uygun olarak “Binalarda Enerji Performans Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik” yürürlüğe girmiştir. BEPY’nin uygulanmasından sorumlu kuruluş Çevre ve Şehircilik Bakanlığıdır.

2.1 Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği

BEPY’nin yürürlüğe girdiği tarih olan 05.12.2008 tarihinden sonra yapı ruhsatı alan binalar yeni bina, öncesinde yapı ruhsatı alan binalar mevcut bina olarak değerlendirilir. Yeni bina tasarımında, mevcut binaların proje değişikliği gerektiren önemli tadilatlarında, mekanik ve elektrik tesisat değişikliklerinde binanın özelliklerine göre bu yönetmelikte öngörülen esaslar göz önüne alınır. Önemli tadilattan kasıt binada cephe, mekanik ve elektrik tesisatı gibi enerji tüketimini etkileyen konularla ilgili toplam tadilat maliyetinin, binanın emlak vergisine esas değerinin %25’ini aştığı tadilatlardır. Yönetmelik binalarda aşağıdaki alanları kapsar.

- Mimari Tasarım
- Isı Yalıtım
- Elektrik ve Mekanik Tesisat
- Otomasyon
- Aydınlatma
- Yenilenebilir Enerji Kullanımı

- Kojenerasyon Sistemleri
- Asgari Performans Kriterleri
- Enerji Performans Hesaplama Usullerini
- Enerji Kimlik Belgesi Düzenlemesini
- Bina Denetleme Periyodik Kontrollerini
- Yetkilendirme ve düzenlemesini

Yönetmelik kapsamı içinde mimari tasarım yeni yapılan binalarda birçok farklı alanı etkileyeceği için ayrı bir öneme sahiptir. Mimari tasarımın binanın ısıtma, soğutma, havalandırma ve aydınlatma yüklerinin belirlenmesinde ve dolayısıyla enerji harcamasında çok büyük etkisi vardır.

Yönetmelik kapsamına giren yeni binaların öncelikli olarak yapı kullanma izin belgesi alınması aşamasında Enerji Kimlik Belgesini ilgili idareye sunulması gerekmektedir. (Şekil 2.2) Evsel cihazlar ve pencerelerin de dahil olduğu yapılarda enerji tüketimine sebep olan endüstriyel veya ticari ürünlerin enerji etiketlemesi uygulaması, enerji verimliliğinde artış sağlamak atılan önemli adımlardan biridir. Yönetmeliğin ilgili maddesi gereğince Enerji Kimlik Belgesi için 01.01.2011 tarihinden sonra yapı ruhsatı alan binalar yeni bina, bu tarihten önce yapı ruhsatı alan binalar mevcut bina olarak değerlendirilmelidir. Mevcut binalar ve 1 Ocak 2011 tarihinden önce yapı ruhsatı almış ve inşaatı devam edip henüz yapı kullanım izni almamış binalar için Enerji Verimliliği Kanununun yayımı tarihinden itibaren on yıl içinde Enerji Kimlik Belgesi düzenlenir. Bu durumda 2 Mayıs 2017 tarihine kadar mevcut binalar içinde Enerji Kimlik Belgesi almak zorundadır. Yeni binalar minimum C sınıfı Enerji Kimlik Belgesine sahip olması gerekirken mevcut binalar A~G aralığında herhangi bir enerji sınıfına sahip Enerji Kimlik Belgesine sahip olabilirler. Sanayi alanlarında üretim faaliyetleri yürütülen binalar, planlanan kullanım süresi iki yıldan az olan binalar, toplam kullanım alanı 50 m²'nin altında olan binalar, seralar, atölyeler, münferit olarak inşa edilen ve ısıtılmasına, soğutulmasına gerek duyulmayan depo, ardiye, ahır, ağıl gibi binalar, bu yönetmeliği kapsamı dışındadır.

Binanın

Tipi :
İnşaat Yılı :
Kapalı Kullanma Alanı :
Ada, Parseli :
Adresi :

Bina Sahibinin

Adı Soyadı :
Adresi :

Müşterek Tesisatların Sahibi (gerekliyse)

Adı Soyadı :
Adresi :

Binanın Resmi



Enerji Performansı

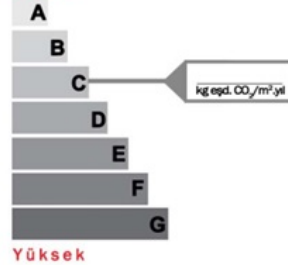
Yüksek



Düşük

SEG Emisyonu

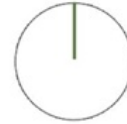
Düşük



Yüksek

Yenilenebilir Enerji Kullanım Oranı

%



Enerji Kullanım Alanı	Kullanılan Sistem	Yıllık Enerji Tüketimleri			Sınıfı
		Nihai (kWh/yıl)	Birincil (kWh/yıl)	Kullanım Alanı Başına (kWh/m2.yıl)	
TOPLAM					ABCDEF G
ISITMA					ABCDEF G
SIHHİ SICAK SU					ABCDEF G
SOĞUTMA					ABCDEF G
HAVALANDIRMA					ABCDEF G
AYDINLATMA					ABCDEF G

Açıklamalar

Belgenin

Numarası :
Veriliş Tarihi :
Son Geçerlilik Tarihi :

Belgeyi Düzenleyenin

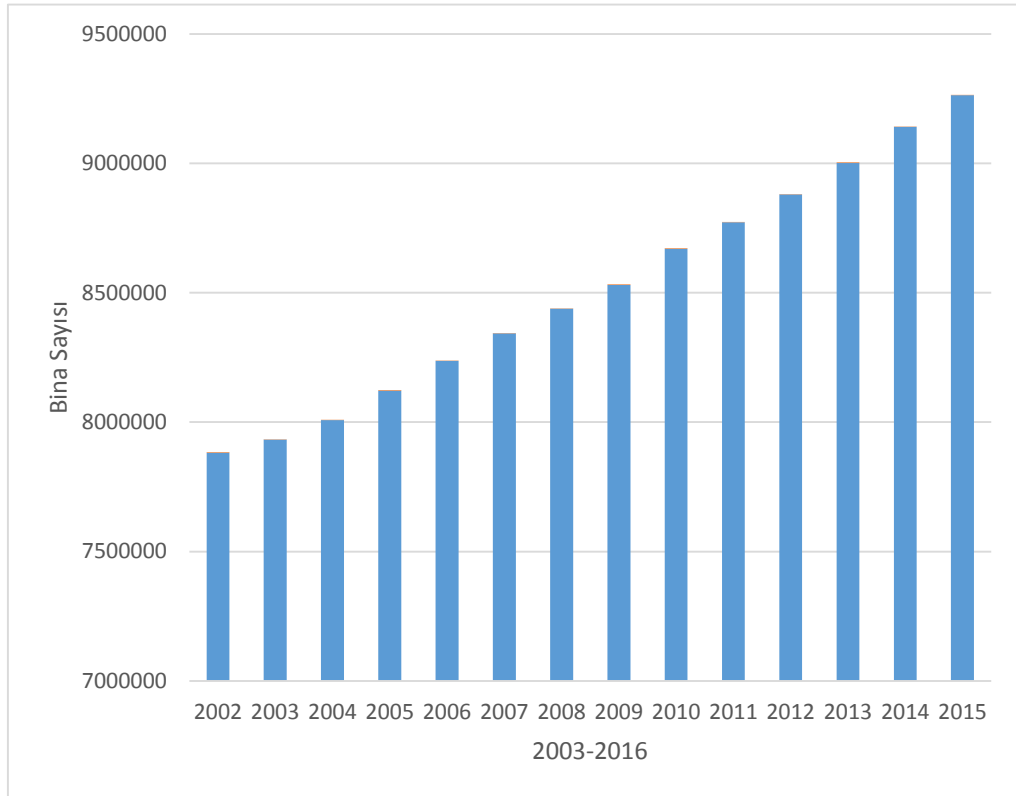
Adı Soyadı :
Firması :
Oda Sicil Nosu :

İmza

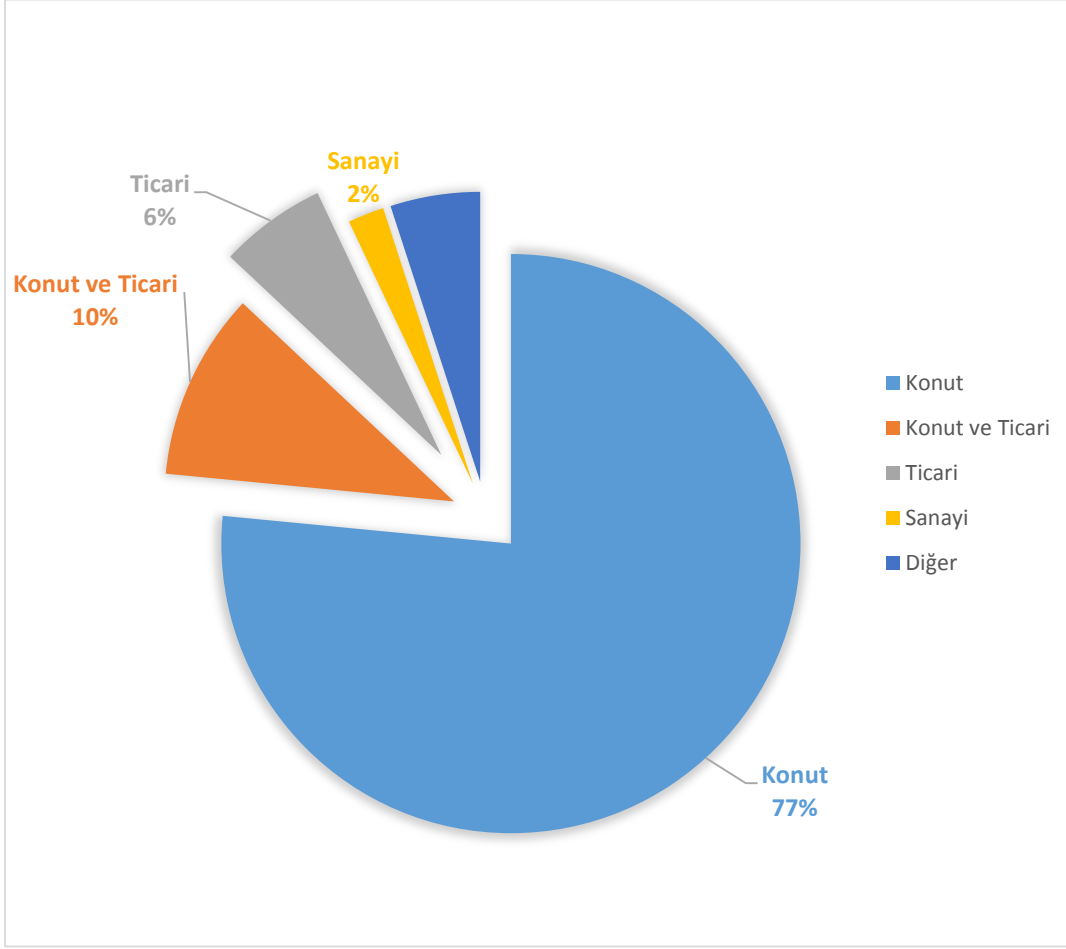
Şekil 2.2 : Enerji Kimlik Belgesi.

2.2 Türkiye Bina Sektörü Enerji Tüketim Yapısı

Bina sektörü önemli miktarda enerji tüketmesi sebebiyle gelişmiş ülkelerde enerji verimliliği ve sera gazı azaltımı açısından öncelikli olmuştur. Türkiye genelinde bina sayısı 2002 yılında 7,8 milyon iken, 2015 yılı sonu itibariyle %18'lik bir artışla 9,2 milyona ulaşmıştır. Konut sayısı ise aynı yıllardaki verilere göre %21 artışla 7 milyona ulaşmıştır. Şekil 2.3'de 2003-2016 yılları arasında sayılarına göre bina sektörünün gelişimi görülebilir. Binaların kullanım amacına ve yapısındaki cihaz altyapısına göre enerji tüketim miktarı değişiklik göstermektedir.'de görülebileceği gibi konut ve ticari yapılar, bina sektörünün ve dolayısıyla sektördeki enerji tüketiminin büyük çoğunluğunu oluşturmaktadır. Türkiye'de son yıllarda bina sektöründe en önemli gelişmeler toplu konut yatırımları ve hızla büyüyen perakende sektöründeki alışveriş merkezleridir. Bina sektörü, ülkemizde 2009 yılında 53,4 Mton CO₂ salınımına sebep olmuştur. Sektörün 2009 yılında 29,5 milyon TEP olan enerji tüketiminin 2020 yılında 47,5 milyon TEP'e ulaşacağı tahmin edilmektedir. Bu da CO₂ salınımının 2009 değerine oranla yaklaşık iki misline ulaşacağını işaret etmektedir.

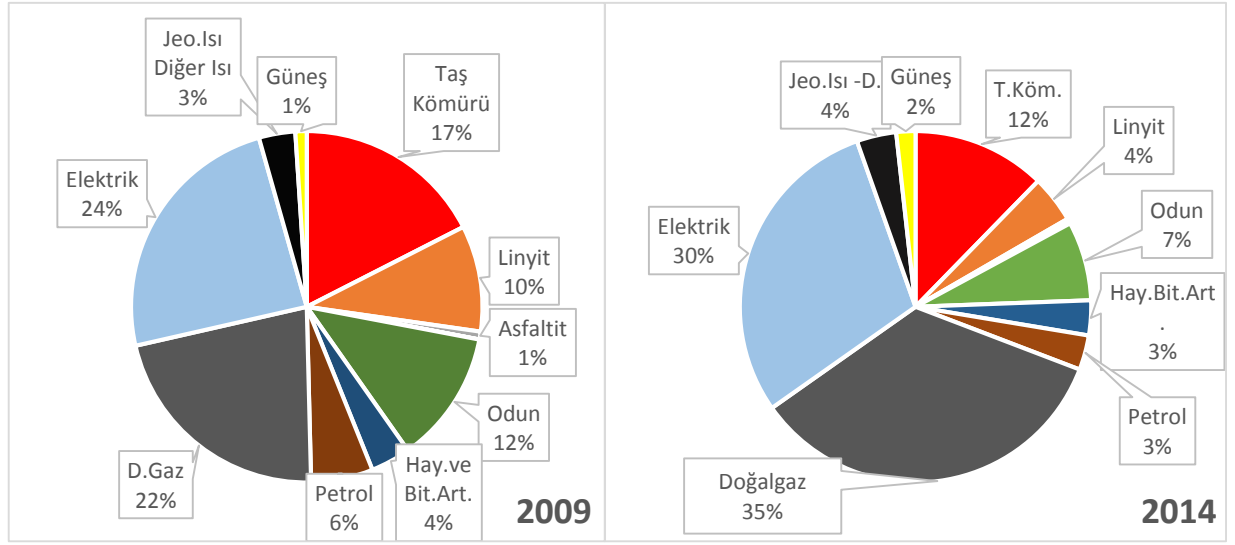


Şekil 2.3 : Türkiye’de 2003-2016 yılları arası bina sayısının gelişimi.



Şekil 2.4 : Türkiye’de 2015 yılı itibariyle kullanım amacına göre bina tiplerinin bina stoku içinde oranı.

Ülkemizde binalarda enerji tüketiminin üçte birinden fazlası ısıtma ve soğutma amaçlı olmaktadır. Isıtma ihtiyaçları için genellikle yakıt kullanılırken, elektriğin büyük kısmı elektrikli ve elektronik eşyalar, soğutma ve aydınlatma ihtiyacı için tüketilmektedir. 2009 yılında bina sektöründe kömür %27, doğal gaz %22 ve elektrik %24 kullanım oranları ile birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. (Şekil 2.5) Geleneksel olarak daha çok kırsal kesimde ısınma amacıyla kullanılan bitki hayvan artıkları yavaş yavaş yerini doğal gaz ve kömüre bırakmaktadır. 2009 yılı sonu itibarıyla, doğal gaz arzı sağlanan il sayısı 66’ya ulaşmıştır. Binalardaki konfor koşulları iyileşmesiyle birlikte, enerji tüketim çeşitliliği de değişmiştir. 2014 yılına gelindiğinde ise bina sektöründe enerji tüketiminin %30’ü elektrikten, %35’i ise doğal gaz ile karşılanmaktadır. (Şekil 2.5)



Şekil 2.5 : Enerji Türlerine Göre 2009 ve 2014 Yılı Bina Sektörü Enerji Tüketimi.

Enerji tüketimini azaltmak için binalarda alınabilecek en önemli önlem, binaların soğuk bölgelerde ısı kaybına, sıcak bölgelerde de ısı kazancına karşı güçlendirilmesi yani ısı yalıtımıdır. Özellikle birinci derece gün bölgesinde yer alan şehirlerimizde yaz aylarında dış sıcaklıklar 40~45 °C mertebesine ulaşmaktadır. Soğutma işlemi, ısıtma işlemine kıyasla üç ile altı kat daha fazla maliyete sahiptir. Ülkemizde elektrik enerjisi tüketiminin yaz aylarında en yüksek seviyeleri görmesi bu durumun sonucudur.

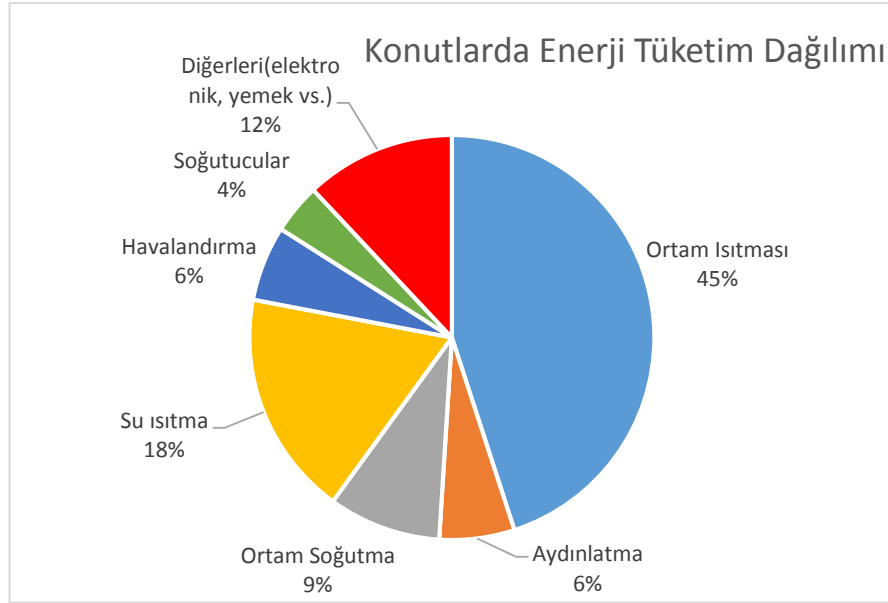
Binalarda enerjinin büyük bölümü ısıtma amaçlı olarak tüketilmekte olduğundan, ısı yalıtımı uygulamaları binalarda enerjinin verimli kullanılması konusunda büyük öneme sahiptir. Türkiye nüfusunun %43,3'ünün oturduğu konutta yalıtım eksikliğinden dolayı ısıtma sorunu yaşanması, binalarda ısı yalıtımıyla elde edilebilecek tasarruf potansiyeli hakkında fikir vermektedir. Türkiye İstatistik Kurumu'nun 1998 hane halkı enerji tüketim araştırmasına göre, mevcut binaların %84'ü tek camlıdır ve yalnızca %16'sı çatı yalıtımına sahiptir. Kişi başı yalıtım malzemesi tüketiminin Avrupa'nın onda biri kadar olması binalarımızdaki enerji kaybının nedenini daha iyi açıklamaktadır. 2000 yılından önce yapılmış bina stoku, sadece geçerli inşaat standartları açısından karşılaştırıldığında bile bugünkü yönetmeliğe göre en az iki misli enerji harcamaktadır. Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, binalardaki enerji verimliliği potansiyelini yaklaşık %35 olarak açıklarken, 2023 yılına kadar 10 milyon konutta ısı yalıtımı ile 2400 GWh soğutma ve 2,3 milyon TEP yakıt tasarrufu sağlanabileceğini tahmin etmektedir.

2.3 Binalarda Cam Yüzeylerin Enerji Performansına Etkisi

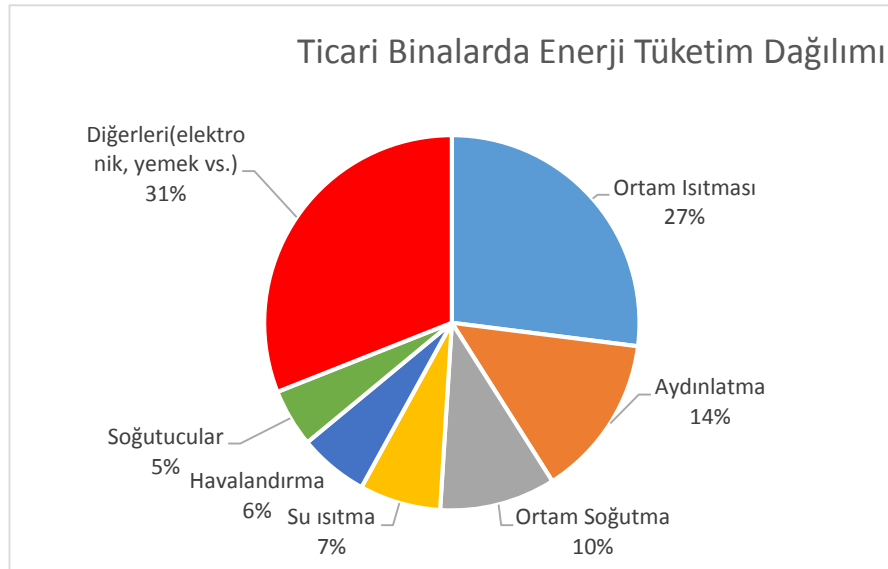
Konut veya ticari bütün binalarda Şekil 2.6 ve Şekil 2.7’de gösterildiği gibi enerji tüketiminin büyük çoğunluğu ısıtma, soğutma ve aydınlatma ihtiyaçları sebebiyle gerçekleşir. Bu ihtiyaçların ve dolayısıyla binaların enerji tüketimini etkileyen en önemli etkenlerden biri güneş enerjisidir. Binalarda güneş enerjisi kazancı taşınım, ileti ve ışıınım yolu ile gerçekleşir. Bu sebeple bina kabuğunu oluşturan opak ve saydam yüzeyler enerji gereksiniminde önemli role sahiptir. Bina enerji tüketiminin azaltılması için tasarım aşamasında pencere ve duvar alanı oranı, cam tipi ve yön gibi parametreler değerlendirilir. Isı kayıp veya kazançları açısından bina kabuğunu oluşturan elemanların ısı geçirgenlik katsayısı en önemli kriterlerden biridir. Bu bağlamda pencereler ve cephe camları genellikle enerji verimliliği düşük ve bakım gerektiren yapı elemanları olarak görülürler. Fakat son yıllarda pencere ve cam teknolojilerinde özellikle enerji verimliliği açısından önemli gelişmeler olmaktadır. Bu gelişmelerle birlikte yapılara pencere ve cam kaplama sistemleri, aydınlatma, güvenlik, rahatlık ve stil gibi faydalar sunmasıyla birlikte enerji verimliliği, enerji kazancı, kaynak verimliliği ve geri dönüşüm özellikleri sebebiyle de daha fazla tercih edilir olmuştur.

Gelecekte yapılarda pencerelerin, sabit bir cam kaplama elemanı olmak yerine çok işlevli ve daha geniş bir uygulama alanı bulacağı öngörülmektedir. Çeşitli araştırmalar çağımızda yaşamlarımızın %80’ni binalarda geçirdiğimizi ve kullanılan cam kaplamaların insan sağlığı, yaşam kalitesi, huzur, üretkenlik, öğrenme becerilerimizde önemli etkisi olduğunu ortaya çıkarmıştır. Binalarda ısı ve görsel koşullarda ve iç hava kalitesinde istenilen konfor düzeyinin sağlanması genellikle enerji giderlerinde artışa sebep olduğu kabul edilir. Isıl konforu, iç çevre ortamından tatmin olma durumu olarak tanımlayabiliriz. Soğuk kış aylarında güneş ışıınımı ısı konfor koşullarına olumlu katkı sağlarken yaz döneminde ısı kazancını azaltmak için güneş ışıınımının binaya kontrollü olarak alınması gerekir. Özellikle sıcak iklim bölgelerinde yüksek oranda güneş ışıınımına maruz kalan pencereler, iç ısı konfor koşullarını olumsuz etkilerler. Bazı durumlarda kış döneminde bile geniş cam yüzeyine sahip binalarda ısınma problemi olabilir. Tasarımcılar seçim aşamasında camın optik ve ısı özelliklerini ön planda tutmalıdır. Görsel konfor oluşturabilmek için ise öncelikle iç hacimde yeterli bir aydınlık düzeyi sağlanmalıdır. Aydınlatma

tasarımında aydınlık düzeyi, parıltı dağılımları, kamaşmanın önlenmesi, ışığın yönlendirilmesi, gölge ve ışık rengi önem taşımaktadır.



Şekil 2.6 : Konutlarda tüketilen enerji dağılımı.



Şekil 2.7 : Ticari binalarda tüketilen enerji dağılımı.

Günümüzde gelişmiş cam kaplama çözümleri ile binaların ısıtma ve soğutma ihtiyaçları önemli ölçüde azaltılabilmekte ve dolayısıyla enerji tüketimi ile CO₂ salınımı da azaltılabilmektedir. Bağımsız araştırmalar Avrupa genelinde binalarda gelişmiş cam kaplama ürünleri kullanıldığı takdirde yıllık 100 milyon ton CO₂ salınımının önlenebileceğini öngörmektedir. Avrupa geneli binalardaki pencerelerin %44'ü hala tek camlıdır ve piyasada 20 yıldan uzun bir süredir bulunmasına rağmen sadece %15'den az bir kısmı enerji tasarruflu cam kullanmaktadır. Enerji

performansı, piyasadaki yeni ürünlere göre önemli ölçüde düşük olan kaplamasız çift camlar halen uygulamaların çoğunda tercih edilmektedir. Buna rağmen yapı sektöründe enerji verimliliği yüksek cam kaplama ürünlerinin kullanımı her geçen gün artmakta ve yeni teknolojiler daha uygun maliyetlerle piyasada yerini almaktadır.

3. BİNALARDA ISI VE IŞIĞIN KONTROL EDİLMESİ

Sürdürülebilir binalarda günışığı ortamın kalitesini artıran ve insanın dış çevre ile bütünleşmesini sağlayan önemli bir tasarım girdisidir. Günışığının etkin kullanımının yararları enerji kazanımı ve konfor olmak üzere iki ana grupta toplanabilir. Son yıllarda önemi artmış sürdürülebilirlik kavramı ile birlikte ortamın konfor şartlarının daha fazla iyileştirilmesi talep edilmeye başlanmıştır. Enerji etkinliğinin de tasarımda daha fazla göz önünde bulundurulması, bu konuların tasarımların erken evrelerinde düşünülme ihtiyacını doğurmuştur. Buna bağlı olarak binalarda kaplama çeşitlerinin artması ve cam teknolojilerinin gelişimiyle camların kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır. Gölgeleme teknolojilerindeki gelişmeler de ışığın tasarımda daha rahat yönetilebilmesine olanak vermiştir.

Son elli yılda yapı sektöründe cam teknolojilerindeki gelişmeler çağdaş mimaride camın işlevini ve uygulama alanlarını artırmıştır. Camın artık enerji tasarruflu binalar için vazgeçilmez bir yapı elemanı olmasında ısı yalıtım performanslarındaki sürekli gelişim ve güneş ısı ile ışığın geçirgenliğini ayarlamadaki yeni yöntemlerin etkisi büyüktür. Yüksek performanslı cam teknolojilerinin varlığına rağmen cam için bina kabuğunun zayıf noktası önyargısı sürmektedir. Halbuki mevcut cam teknolojilerinin estetik, güvenlik, sağlamlık ve ses izolasyonu avantajlarıyla birlikte sürdürülebilir enerjili tasarruflu binalar için pozitif etkisi birçok araştırma ve uygulamada göz önüne serilmiştir.

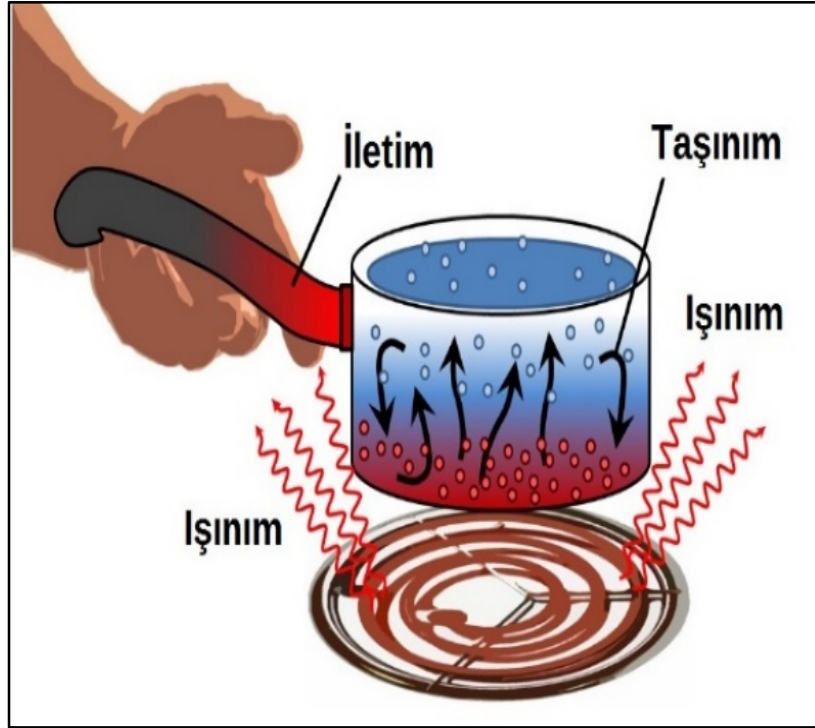
Yeni yapıların enerji verimliliği sürekli artarken, çevreye olan etkileri artık sadece enerji tüketim miktarlarına göre değerlendirilmeyecektir. Yaşam döngüsü değerlendirmesi yapılacak, yapı malzemelerinin üretim etkisi, yapım ve yıkım safhaları bir binanın sürdürülebilirliğinin gelişiminde kritik rol alacaktır. Bu bağlamda cam çevreye minimum etkisi olan, sürdürülebilir binalar için tercih edilecek bir ürün olarak kabul görebilir. Ayrıca diğer yapı elemanlarından farklı olarak binalarda kullanılan cam yüksek oranda geri dönüştürülebilmektedir.

Binaların ısı performansının geliştirilmesi demek göreceli olarak ısıtma ve soğutma için harcanan enerjinin de azalması demektir. Yalnız bu durumda çoğu zaman yapay

aydınlatmaya olan ihtiyaç da artar. Bu anlamda cam özgündür ve diğer yapı elemanlarının tersine yalıtım sağlarken, yapay aydınlatmaya olan ihtiyacın da azalmasına sebep olur. Buna bağlı olarak enerji tüketimi de azalır.

3.1 Isı ve Işığın Cama Etkisi

Isı akışı cam pencere düzeneğinden iletim, taşınım ve ışıyım şeklinde olmak üzere üç şekilde gerçekleşir. (Şekil 3.1) Isı aktarımı daima yüksek sıcaklıktan, düşük sıcaklığa doğrudur. Isı iletimi ısı enerjisinin serbest kalan elektron hareketiyle bir molekülden ya da atomdan diğerine geçmesi ile meydana gelir. Isı iletimi katı, sıvı veya gaz içerisinde gerçekleşebilir. Taşınım ile gerçekleşen ısı transferi, gazların veya sıvıların hareketiyle gerçekleşir. Isının, hareket eden akışkan parçacıklarıyla taşınması ile geçişi olarak tanımlanabilir. Isı taşınımına örnek olarak mum alevi üzerinde yükselen sıcak hava verilebilir. Dalgalar veya parçacıklar biçiminde enerji yayımı veya aktarımına ışıyım denir. Parçacık ışıyımına örnek olarak α , β ve nötron ışıyımı, elektromanyetik ışıyımına örnek olarak radyo dalgaları, görünür ışık, x ve y ışınları, akustik ışıyımına örnek olarak da ultrason, ses, sismik dalgalar verilebilir.



Şekil 3.1: Işıyım, iletim ve taşınım ile ısı aktarımı.

Vakumda yani içinde hiç atom veya molekül olmayan ortamda bütün elektromanyetik ışıyımlar $2,998 \times 10^8$ m/sn yani ışık hızında hareket eder. (Denklem

3.1) Frekans arttıkça elektromanyetik radyasyonun taşıdığı enerji miktarı da artar, dalga boyu arttıkça azalır. (Denklem 3.2) Bir elektronun bağlı olduğu atom veya molekülden ayrılmasına yetecek kadar enerjinin verildiği sürece iyonlaşma denir. Elektromanyetik ışınım, iyonlaştırıcı veya iyonlaştırıcı olmayan olarak sınıflandırılabilir. Farklı atom ve moleküllerin iyonlaşmaları için gereken enerji farklı da olsa genel olarak 10 elektron volt (eV) ve daha yüksek enerjili ışınım iyonlaştırıcı olarak kabul görür. İyonlaştırıcı radyasyonda olmayana göre daha fazla enerji vardır ve kimyasal bağları kırarak kimyasal değişikliklere neden olur. Bu etki canlı dokulara da zarar verebilir. Gama ışınları, X-ışınları ve elektromanyetik spektrumun yüksek frekanslı (dalga boyu<124 nano metre olan) ultraviyole bölümünün de dahil olduğu kısım iyonlaştırıcı, elektromanyetik spektrumun daha düşük frekanslı kısmında bulunanlar ise iyonlaştırıcı olmayan olarak kabul edilir. İyonlaştırıcı olmayan radyasyona uzun süre maruz kalmakta insan sağlığını etkileyebilir. Buna örnek olarak uzun süre UV ışınımına maruz kalanlarda görülen güneş yanıkları verilebilir.

$$f = c/\lambda \quad (3.1)$$

$$E = hxf \text{ veya } E = hxc/\lambda \text{ (joule)} \quad (3.2)$$

h = Plank sabiti ($6,63 \times 10^{-34}$ Joule sn veya $4,14 \times 10^{-15}$ eV sn)

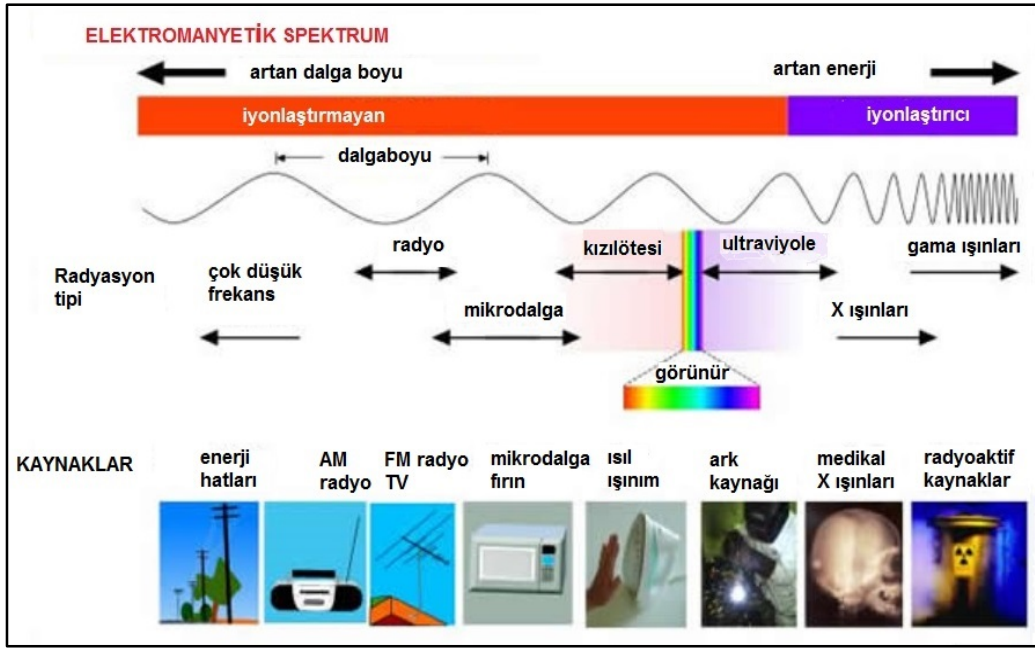
f = Frekans

c = Işık hızı

λ = Dalga boyu

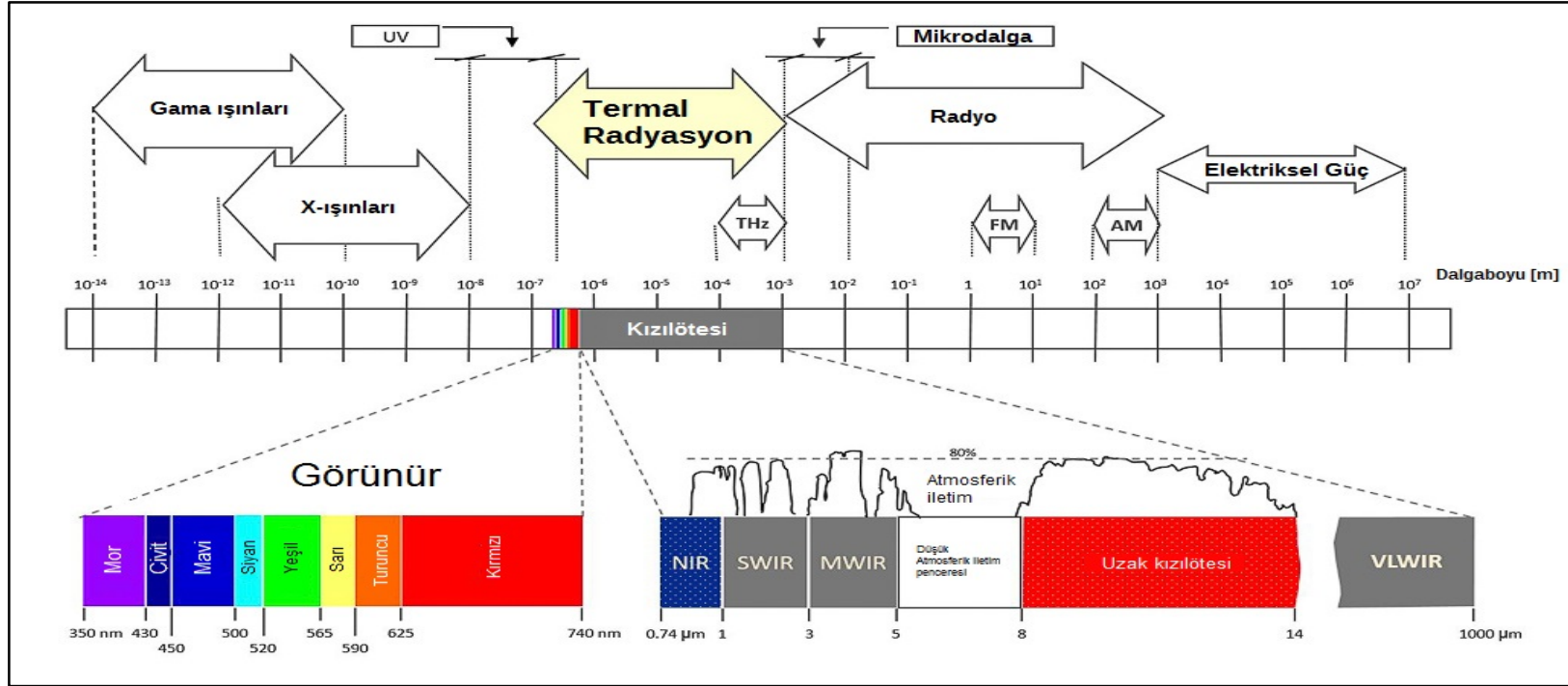
E = Enerji

Evrenin herhangi bir yerinde fizik kurallarınca mümkün kılınan tüm elektromanyetik ışınımların elektromanyetik tayf veya elektromanyetik spektrum (EMS)'deki yerleri dalga boyları veya frekanslarına göre göreceli olarak ifade edilebilir. (Şekil 3.2) Diğer ışınımlardan farklı olarak elektromanyetik dalgalar bir ortama ihtiyaç duymazlar, boşlukta düz bir doğrultuda yayılırlar.

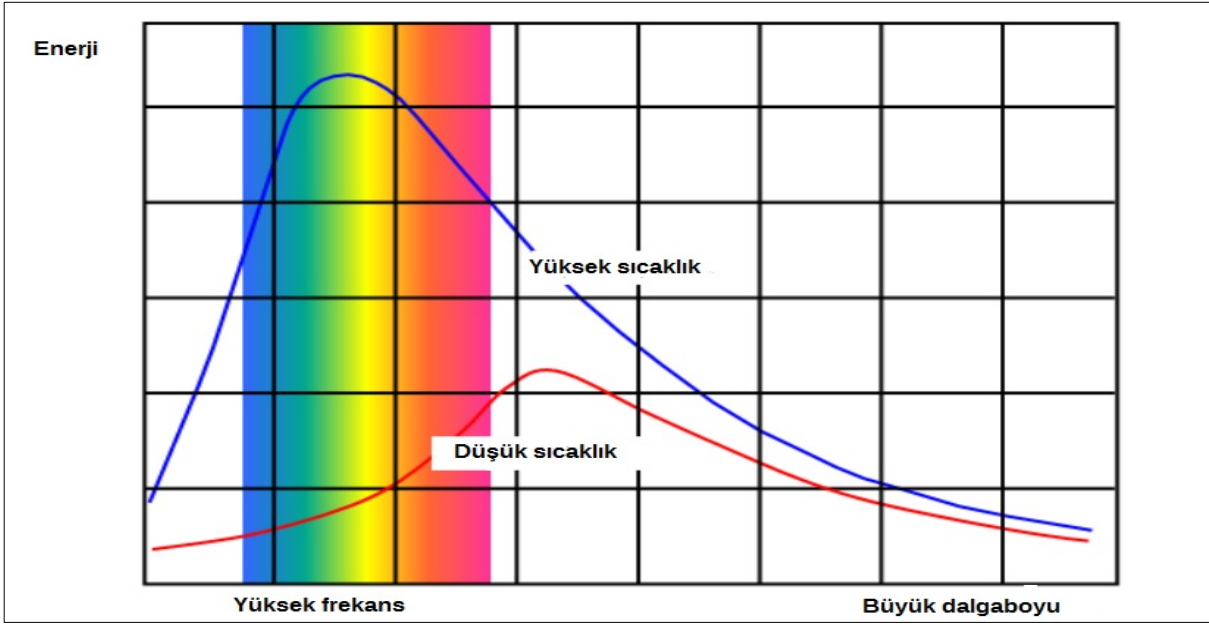


Şekil 3.2 : Elektromanyetik spektrum.

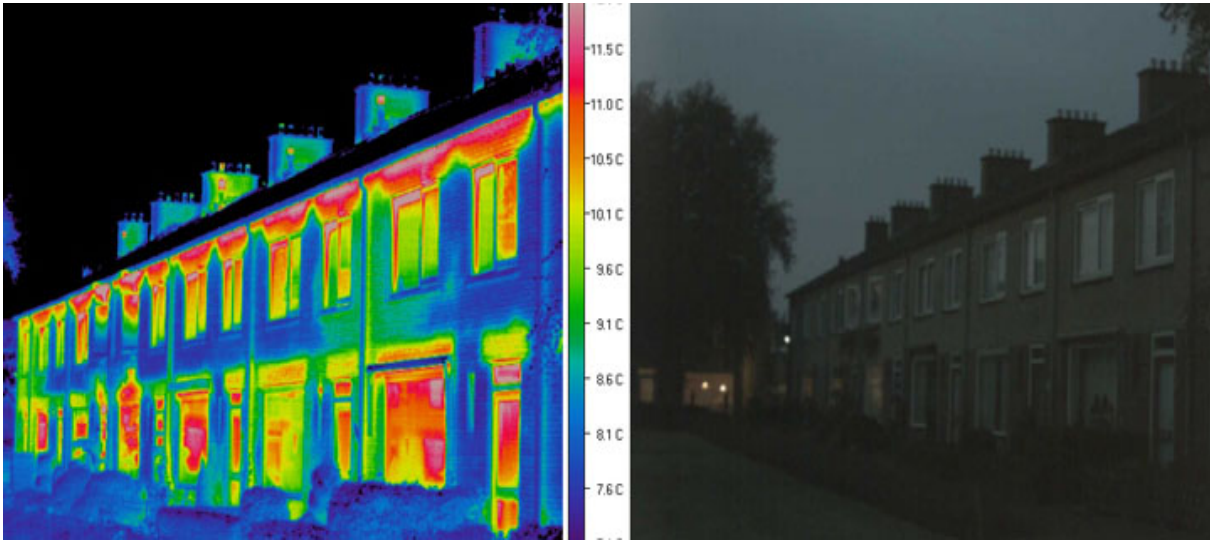
Maddedeki yüklü parçacıkların ısı hareketliliğiyle meydana gelen elektromanyetik ışınım ısı ışınımı denir. Bir cismin sıcaklığı mutlak sıfırdan büyük olduğunda atomlar arası çarpışmalar, atomların ya da moleküllerin kinetik enerjisinde değişime neden olur. Bunun sonucunda yüklü parçacıklar hızlanarak ve/veya dipol salınımlar yaparak elektromanyetik ışınım üretirler. Sabit sıcaklıkta bile oluşan geniş ışınım görüngesi, enerji ve hızlanmanın da geniş bir yelpazede gerçekleştiğinin göstergesidir. (Şekil 3.3) Elektromanyetik dalgalar ışık hızında hareket ettiği için en hızlı enerji aktarım şeklidir. Dışarıda yakılan bir ateşin yanında duran bir insan hava çok soğuk olmasına rağmen gelen yüksek sıcaklığı hisseder. Bir cismin sıcaklığı ne kadar yüksek ise o kadar fazla ışınım yayar. Sıcaklık artışıyla beraber enerji yayılımı da artınca ve ışınımın büyük bir kısmı da tayfın görünür kısmından yayılır. Soğurken saniyede yayılan toplam enerjide azalır, görünür ışıktan kızılötesine doğru kayar. Sıcaklık yeterince düşünce ısı yayılımı sadece kızılötesi ile olur ve çıplak gözle göremeyiz. Yani sıcaklık arttıkça, maksimum ışınım daha yüksek frekansta gerçekleşir. (Şekil 3.4) Bir ampulden yayılan kızılötesi ve görünür ışıklar ısı ışınımına örnektir. Güneş ışığı da güneşin sıcak plazmasından meydana gelen ısı ışınımıdır. Mutlak sıfırdan büyük sıcaklığa sahip her madde ısı ışınım yayar. Isıl görüntüleme cihazları bu durumu görselleştirilebilmektedir. Birçok farklı kullanım alanı bulunan ısı görüntüleme ile binaların anlık ısı performansı da tespit edilebilmektedir. (Şekil 3.5)



Şekil 3.3 : Isıl ışıınının elektromanyetik tayftaki yeri.

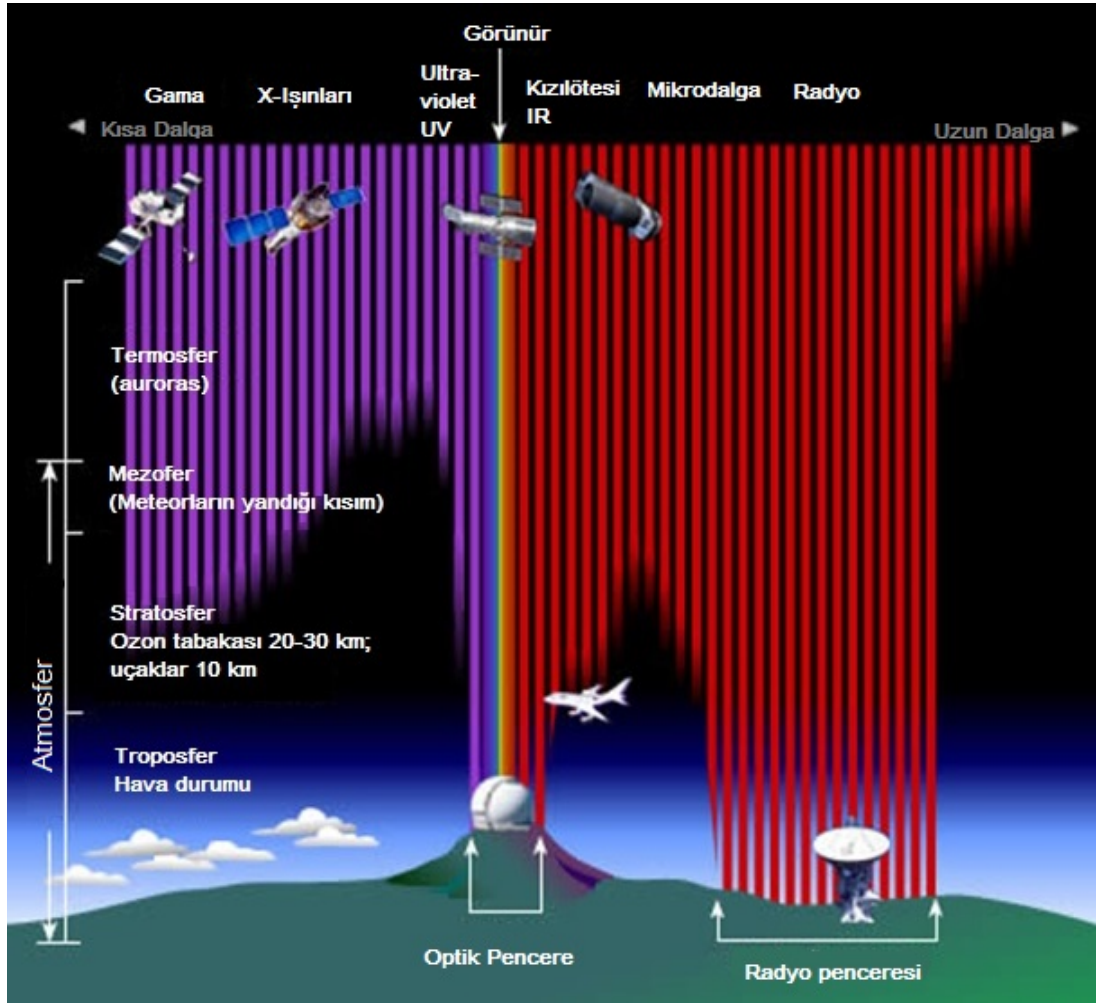


Şekil 3.4 : Sıcaklık değişimine bağlı olarak ışıınım dalga boyu değişimi.



Şekil 3.5 : Binanın termal kamera ile görüntüsü.

Güneş geniş bir frekans bandında ışıınım yayar. Farklı dalga boylarındaki solar ışıınımlar atmosfere girerken farklı davranırlar. X ışıınları ve yüksek enerjili (dalga boyu küçük) UV ışıınlarının çoğunluğu atmosferde soğrulur. (Şekil 3.6) Güneşten gelen elektromanyetik ışıınının ancak görünür ışıığın da dahil olduğu kısıtlı bir bölümü yer yüzüne ulaşır. Buna yüksek dalga boylu UV ışıınları ve dalga boyu kısa olan IR radyasyonun bir kısmı da dahildir. Güneşten yayınlanan ve bilinen farklı dalga boylarındaki tüm elektromanyetik ışıınının sıralı görünümü elektromanyetik güneş spektrumu olarak isimlendirilir.



Şekil 3.6 : Yeryüzüne ulaşan veya atmosferde soğrulan ışıının sıralı görünümü.

Işık, enerji ve ısı, birer fiziksel kavram olarak elektromanyetik spektrumun belli alanlarını tanımlamaktadır. Elektromanyetik spektrumda

- 300nm-380nm arasında morötesi (UV ışınları)
- 380nm-780nm arası görülebilir ışık
- 780nm-2500nm arasında yakın kızılötesi
- 5000nm-50000nm arasında uzak kızılötesi (ısı salınımı)

Güneş görüngesinin insan gözü tarafından algılanabilen dar alanı görülebilen ışık olarak tanımlanmaktadır. İnsan gözüne kırılmadan gelen görülebilen ışık, beyaz ışık olarak algılanmaktadır. Ancak bu farklı dalga boylarına bağlı olarak birbirine geçmiş bir ışık spektrumundan oluşmaktadır. Her dalga boyu belirli bir enerjiye tekabül etmektedir. Çizelge 3.1'den de görülebileceği gibi görünür ışıta en yüksek ışıının enerjisi mor renktedir.

Çizelge 3.1 : Görünür ışığın renklerinin dalga boyları.

Renk	Dalga Boyu (nm)
Mor	380-420
Mavi	420-490
Yeşil	490-575
Sarı	575-585
Turuncu	585-650
Kırmızı	650-780

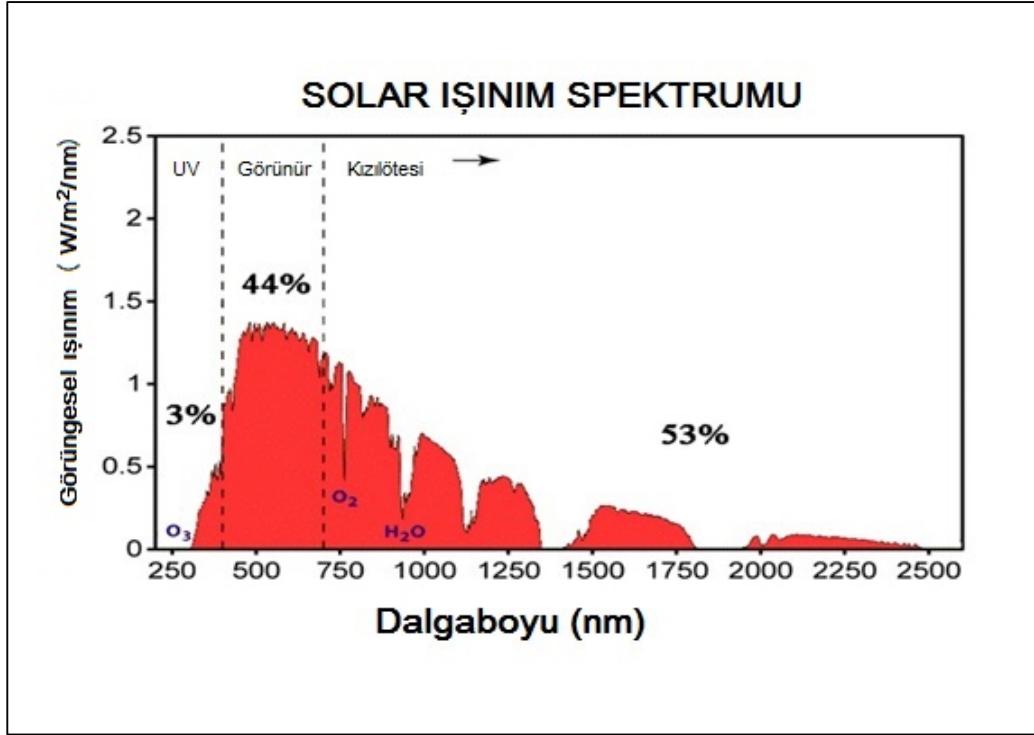
Işınım yoluyla ısı transferi kısa dalga ve uzun dalga olmak üzere iki farklı tipte tanımlanabilir. Kısa dalga ısı transferinde güneşten gelen ışınım kast edilir (6000K sıcaklıklarında). Bu ışınım ultraviyole, görünür ve solar kızılötesinin de dahil olduğu 300– 2.500 nm’lik ışık ve güneş enerjisi dalga boyu alanını kapsamaktadır. Dalga boyu kısaldıkça daha fazla enerji taşınması, güneş ışığının görünen bölümünün önemli bir enerji miktarı içerdiği anlamına gelmektedir. Bu nedenle mimari camlar açısından ışık ve enerji birbirinden ayrılmaz. Bu, mimari camın kullanımı ve optimizasyonunda belirleyici bir noktadır. Işık bir objeye çarptığında enerjinin bir bölümü soğrulur, saydam ise bir kısmı geçirilir, geri kalanı ise yansır. Objenin türüne göre belirli dalga boyları geçirilir, yansır veya soğrulur. Sağlıklı insan gözü de bu sayede oluşan rengi algılar. Yapay aydınlatmada dalga boyu alanı eksikliği nedeniyle farklı renk yorumlamaları söz konusu olabilmektedir. Bunun bilinen bir örneği, Şekil 3.7’de gösterildiği dalga boyu eksikliği nedeniyle monokromatik renk tonlarını gösteren lambalardır.

Uzun dalga ışınlı ısı transferi ise oda veya dış çevre sıcaklıkları sebebiyle oluşur. Mimari cam açısından bu ışınım, güneş görüncesine ait olmayan dalga boyu alanındadır ve daha uzun dalga boyuna sahiptir. Bu ışınım uzak kızılötesi alanında bulunur. Avrupa Standardı EN 673’te bu alan 5.000 ve 50.000 nm arasında tespit edilmiştir.



Şekil 3.7 : Farklı dalga boylarındaki renk tonlarını gösteren lambalar.

Şekil 3-8’de görülebileceği gibi yeryüzüne ulaşan güneş ışığı tayfının yaklaşık %44’ü görülebilen, %53’ü “kızılötesi ve %3’ü ise UV ışınlardır. Yeryüzünde soğrulan ve salınan kızılötesi ışınımın dengesi dünya iklim dengesi açısından kritik bir öneme sahiptir.



Şekil 3.8 : Yeryüzüne ulaşan solar ışınımın dalga boyuna göre dağılımı.

Cam ısı veya ışık enerjisine maruz kalıp enerjiyi soğurduğunda ya havanın taşınımıyla ya da cam yüzeyinden uzun dalga kızılötesi ışınlama ile ısıyı salar. Herhangi bir malzemenin enerji ışınlama kabiliyetine yayınlılık (emissivity) denir. Aslında bir yüzeyin soğurduğu ısıyı ışıma olarak tekrar yansıtma kabiliyetinin ölçüsüdür. Doğru tanımlanmış bir “kara cisim ışınlama” oranı temel alınmaktadır. Genel olarak yüksek yansıtıcılı malzemeler düşük yayınlılığa, mat koyu renkli malzemeler ise yüksek yayınlılığa sahiptir. Yayınlılık özelliklerine ve yüzey sıcaklıklarına bağlı olmak üzere bütün malzemeler uzun dalga kızılötesi ısı ışınlama yayar. Pencere ısı ışınlama yayınlılığı, ısı transferinin en önemli bileşenlerindendir. Pencere ısı yayınlılığını azaltmak yalıtım özelliklerinin gelişmesinde büyük rol oynar. Yayınlılık (ϵ) belirli bir yüzey ile Stefan-Boltzmann kanununda tariflenen ideal siyah yüzeyin ısı ışınlamalarının oranı olarak ifade edilebilir. Bu oran 0 ile 1 arasında değişkendir. Çizelge 3-2’de bazı maddelerin yüzeylerinin yayınlılık değerleri verilmiştir. Cisimler farklı dalga boylarında ısı ışınlama yayabilirler ve hatta çok yüksek sıcaklıklara ulaşırlarsa; görünür, UV ve hatta solar korona da olduğu gibi X ışını ışınlama yayabilirler. Isıl ışınlama kızıl ötesi ile bağdaştırılmasının sebebi yeryüzünde genellikle düşük sıcaklıkların bulunmasından kaynaklanır. Dünyada doğal olarak, bir tek ateş ve yıldırımlar görünür dalga boyunda ışınlama gerçekleştirebilecek sıcaklıktadır. Ateşin yaydığı ışınlama da görünürden çok kızılötesi dalga boyundadır.

Çizelge 3.2 : Maddelerin yayınlılık değerleri.

Alüminyum folyo	0,03
Alüminyum anotlanmış	0,9
Asfalt	0,88
Tuğla	0,9
Beton	0,91
Bakır, cilalanmış	0,04
Bakır, oksitlenmiş	0,87
Cam (pürüzsüz)	0,95
Buz	0,97
Kireçtaşı	0,92
Mermer	0,89-0,92
Kağıt	0,88-0,86
Gümüş	0,02
Kar	0,8-0,9
Saf su	0,96

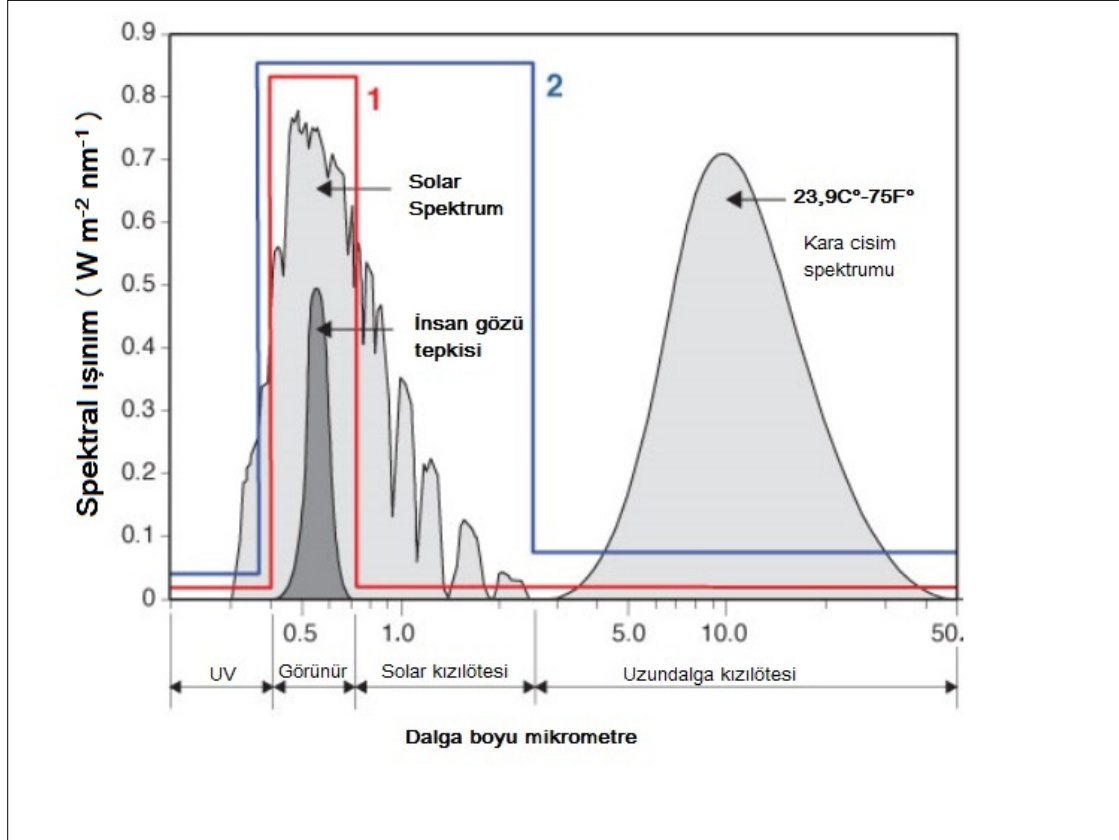
Cam pencereler için ısı kaybı çoğunlukla yüzeylerde hava taşınımı ile gerçekleşse de yayınlılıkta önemli bir etkindir. Bunun sebebi camın yayınlılığı yüksek bir malzeme olup maksimum değer olan 1'e yakın olmasındandır.

Camın ısı kontrolünü sağlayabilmek için kullanımı oldukça yaygınlaşmış olan low-e kaplamaları geliştirilmiştir. Low-e tipi ısıl camlar, iletilen görünür ışığın miktarından ödün vermeksizin camdan geçebilen ultraviyole ve kızılötesi ışığın miktarını en aza indirmekte ve bu sayede önemli miktarda enerji tasarrufu sağlayabilmektedir. Low-e tipi ısıl camlar yüzeyinde bulunan saydam kaplama sayesinde sıradan camlara göre daha az ısı ışınlamı yayarlar. Kış aylarında bu kaplama camdaki ısı kaybını yarıya kadar düşürebilmektedir. Bununla birlikte farklı iklim bölgeleri için farklı malzeme seçilmesi gerekmektedir. Farklı geçirgenlik karakterindeki iki cam tercihi Şekil 3-9'da gösterilmiştir.

Şekil 3-9'da gösterilen 1 numaralı geçirgenlik yapısına sahip low-e kaplamalı cam, güneş ısı kazanımı düşük tutulacak şekilde tasarlanmıştır. Görünür ışık geçirilir ve solar kızılötesi ışınlamı yansıtılır. Uzun dalga ışınlamı ise tekrardan iç ortama yansıtılır.

Güneş ısı kazanımını azaltmak için olan bu yaklaşım çoğu iklim bölgesi için uygundur.

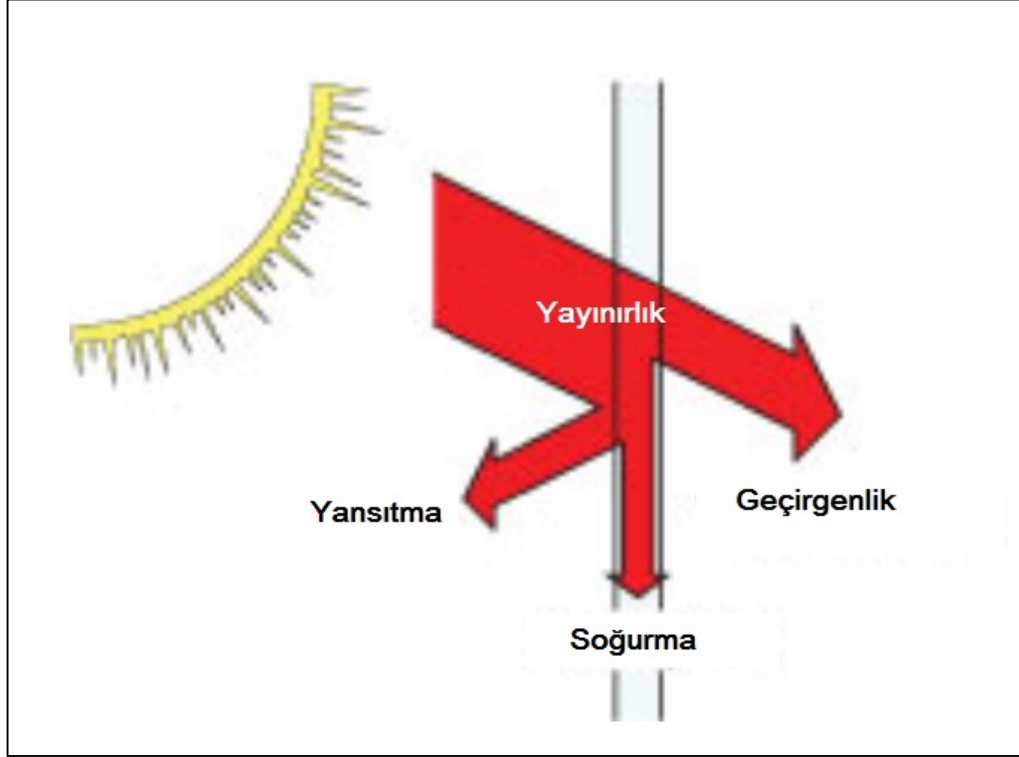
Şekil 3-9'da 2 numaralı geçirgenlik yapısına sahip low-e kaplamalı cam, güneş ısı kazanımı yüksek tutulacak şekilde tasarlanmıştır. Hem görünür ışık ve hem de solar kızılötesi ışınım geçirilir. Uzun dalga ışıınımı ise tekrardan iç ortama yansıtılır. Güneş ısı kazanımının artırılması istenen soğuk iklim bölgeleri için uygundur.



Şekil 3.9 : İlman ve soğuk iklimlere uygun camların ideal tayf geçirgenliği.

Fiziksel özellikleri aynı olsa da iki dalga boyu aralığında örtüşerek üst üste binme durumu gerçekleşmez. Low-e kaplamalı camlar uzun dalga ve solar ışıınımı geçirgenlik ve yansıtma özellikleri ile kontrol ederek önemli miktarda enerji kazancı edilmesine olanak verirler. Cam kaplama türleri görünür spektrumun farklı bölgelerine göre geçirgenlik gösterebilirler. Örneğin içerden dışarıya bakarken yeşil boyalı gözüken bir cam günışığının yeşil bölümünü daha çok geçirirken diğer renkleri daha çok yansıtır veya soğurur. Benzer bir şekilde bronz renkli bir cam mavi ve yeşilleri daha çok soğurur ve yansıtırken, ılıman renkleri daha çok geçirir. Doğal grinin bütün renkleri eşit oranda geçirdiği söylenebilir.

Aynı prensip görünür tayfin dışında da geçerlidir. Çoğu camlar kısmen de olsa ultraviyole ışığı geçirirken, plastikler daha opaktır. Cam uzun dalga ışıma karşı opak iken genellikle solar kızılötesi ışımasını geçirir. Bu iki malzemenin beraber kullanıldığı stratejik çözümler ile yüksek performanslı bazı cam ürünler elde edilebilmektedir. Camın ışıma ile enerji taşınımını etkileyen dört özellik geçirgenlik, yansıtıcılık, soğurma ve yayınlıktır. (Şekil 3-10)



Şekil 3.10 : Camın ışıma ile enerji transferine etki eden temel özellikler.

Cam pencerelerin enerji performansının niceliğini ölçmede de temel olarak dört özelliği dikkate alınır. Bunlar ısı geçirgenlik katsayısı (U değeri), güneş ısı kazanç faktörü (SHGC), görünür ışık geçirgenliği (V_T) ve genelde birleşim noktalarındaki çatlaklar sebebiyle oluşan hava sızıntısıdır.

U değeri belirli bir kalınlıktaki malzemenin ne kadar ısı kaybı olduğunu ölçüsüdür. Bu katsayı, iç ve dış hava arasında 1 K sıcaklık farkı meydana geldiğinde, bir saat içinde bir yapı parçasının 1 m² yüzeyinden aktarılan ısı miktarını belirtir. Bu değer ne kadar düşükse o kadar iyi yalıtıktır demektir. Cam yapı elemanı iletim, taşınım ve uzun dalga ışımanın birleşik etkisi ile ısı kaybeder. U değeri aynı zamanda belirli kalınlıktaki malzemenin ısı akışına direncinin ölçüsü olan R değerinin tersidir. Yani yüksek R değeri yüksek ısı direnci dolayısıyla daha iyi yalıtım demektir.

R ve U değeri (Denklem 3.3) ve (Denklem 3.4) ile hesaplanabilir.

$$R = L/\lambda \quad (3.3)$$

L = Malzemenin metre cinsinden kalınlığı

λ = Isıl iletkenliği W/mK

Bu durumda R değerinin birimi m²K/W olmaktadır.

$$U = 1/R + \text{Taşınım ile ısı kaybı} + \text{Işınım ile ısı kaybı} \quad (3.4)$$

U değerinin birimi ise W/m²K olmaktadır.

Ülkemizde de binalarda ısıtma enerjisi ihtiyaçlarını hesaplama kurallarının ve izin verilebilir en yüksek değerlerin belirlenmesi amacıyla hazırlanan TS 825 Standardı “Binalarda Isı Yalıtım Kuralları” ve onun paralelindeki “Bayındırlık Isı Yönetmeliği” 14 Haziran 2000’de yürürlüğe girmiştir. TS 825 standardında tanımlanan beş bölge için de pencerelerin ısı geçirgenlik katsayısı (Up) 1,8W/m²K’dir.

Görünür ışık geçirgenliği (V_T) cam malzemenin ışık tayfının görünür kısmının yüzde kaçını geçirdiğinin göstergesidir. Yüksek V_T değeri ortamda daha fazla gün ışığı olması demektir. V_T değeri, cam türüne, katman sayısına, kaplama olup olmadığına göre değişir. Standart düz camlar %90’ın üstünde geçirgenlik gösterebilirken, yüksek yansıtımlı boyalı camlarda bu oran %10'lara kadar düşebilmektedir. Tipik bir çift cam %78 dolaylarında V_T değerine sahiptir.

Güneş ısı kazanç faktörü (SHGC); cam sistemine belli bir açıyla gelen güneş ışınımına bağlı olarak cam sisteminin elde ettiği güneş ısı kazanç değeridir. National Fenestration Rating Council (NFRC) verilerinde 0° eğimle gelen güneş ışınimleri sonucunda elde edilmiş güneş ısı kazanç değerleri kabul edilmektedir. SHGC değeri 0 ile 1 arasında bir değerlerle ifade edilir. Bir pencerenin SHGC değeri ne kadar düşükse o kadar az güneş ışığını geçirir. SHGC değeri yüksek olunca kış aylarında ısıtmaya katkı sağlasa da yaz döneminde ortam sıcaklığının istenenden fazla artmasına sebep olabilir.

TS 825 kapsamında güneş ısı kazanç faktörü, laboratuvar şartlarında ölçülen ve yüzeye dik gelen ışın için güneş enerji geçirme faktörü olarak adlandırılır ve g_∞ ile sembolize edilir. Avrupa normlarında ise güneş ısı kazanç değeri g ile sembolize

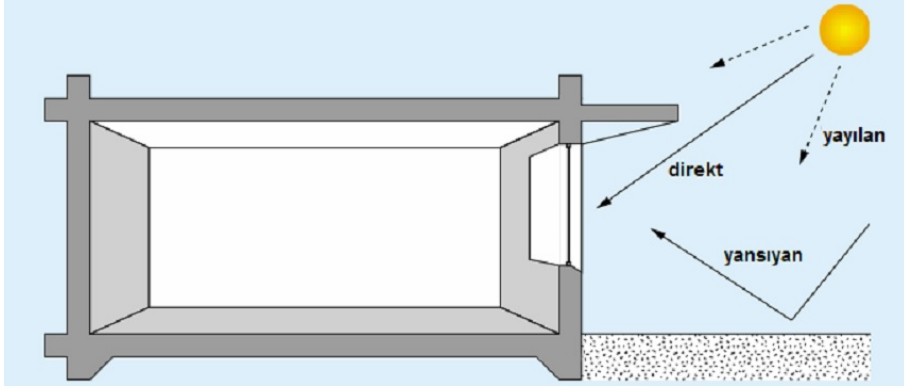
edilir. Nitelik olarak SHGC ile g değeri aynı olsa da farklı hava kütlesi değeri kullanırlar.

3.2 Bina Gölgeleme Sistemleri

Enerji tüketimini en az seviyede tutabilen pasif güneş mimarisine göre tasarlanmış binaların önemi her geçen gün artmaktadır. Bina enerji performansı için yalıtım dışında havalandırma, ısıtma ve soğutma elemanları da önemli bir yer tutar. Son yıllarda binalarda doğal havalandırma ve güneş gölgeleme sistemlerinin kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır. Binaların zayıf noktası kabul edilen pencerelerde gerçekleşen ısı kayıplarının az olabilmesi için ısı geçirgenlik değerinin düşük olması gerekirken, ısı kazançlarını azaltmak için ise güneş gölgeleme sistemlerinin uygulanması tercih edilmektedir. Günümüz mimarisinde artan pencere ölçüleri ve giydirmeye cepheler sebebiyle gölgeleme araçlarına, yani güneş kontrolüne olan ihtiyaç hızlı bir artış göstermektedir.

Binalarda gölgeleme sistemlerinin ana görevi, aşırı ısınma ve parıltıyı azaltarak ısı ve görsel konforu artırmak ve gizlilik sağlamaktır. Gölgeleme donanımları, ana işlevlerinin tümü veya sadece herhangi biri için tercih edilebilir. 20.yüzyılın ilk yıllarında klimanın ortaya çıkması, geleneksel doğal soğutma tekniklerinin kullanımının giderek azalmasına sebep oldu ve 1970'lerin başında enerji krizinde hızlı bir canlanma gösterene kadar uzun bir dönem neredeyse tamamen göz ardı edildi. Bu canlanma 1990'larda sadece ticari binalara kapsayacak kadar şekillenmiş olsada, günümüzde önemini yeniden kazanma eğilimindedir.

Doğru tasarlanmış gölgeleme sistemleri ile güneşin doğrudan, dağınık ve yansıyan ışıyım etkilerini verimli şekilde kontrol etmek olasıdır. Doğrudan ışıyım güneşten gelen paralel hüzmeler şeklinde yayılır, keskin gölgeler oluşturur. Bu durum gölgeleme sisteminin ele alması gereken en önemli unsurdur. Yansıyan ışıyım, hem yerden hem de binalardan yansımakta olan doğrudan veya yayılan ışıyımı kapsar. Bu sebeple düşük bir geliş açısına sahiptir. (Şekil 3.11) Yansıyan ışıyımın yoğunluğu, güneş ışıyımına maruz kalan yüzeylerin yansıtma özelliklerinden önemli ölçüde etkilenir. Örneğin çimenler eğimli güneş ışığını %20-%30 yansıtırken, kar %70 yansıtır.

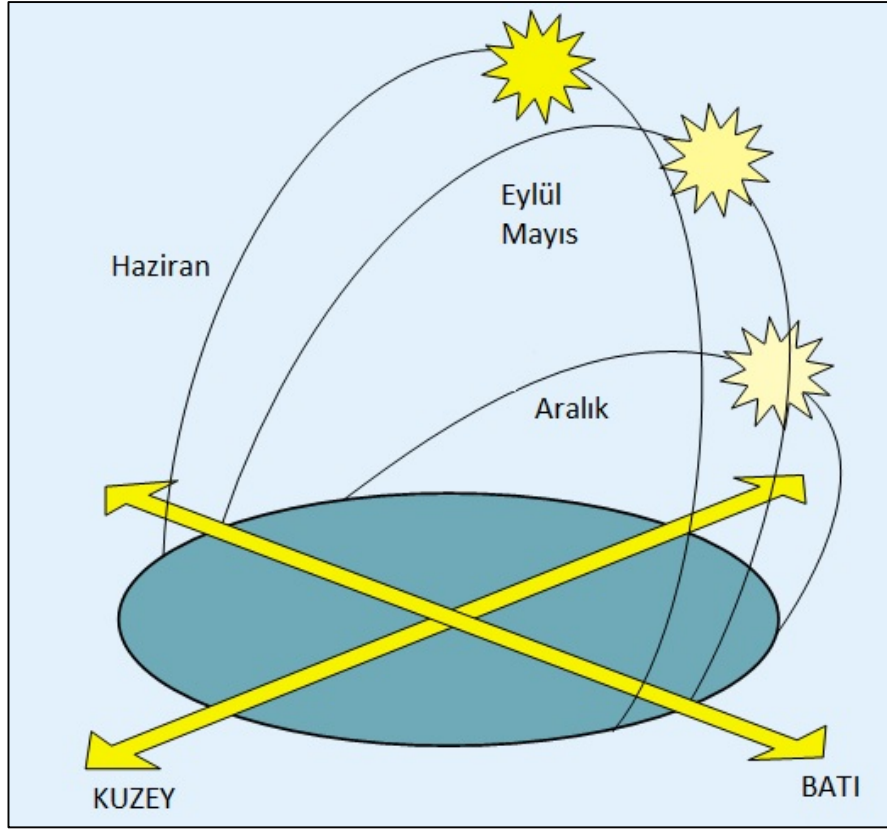


Şekil 3.11 : Doğrudan, yansıyan ve yayılan güneş ışınlamaları.

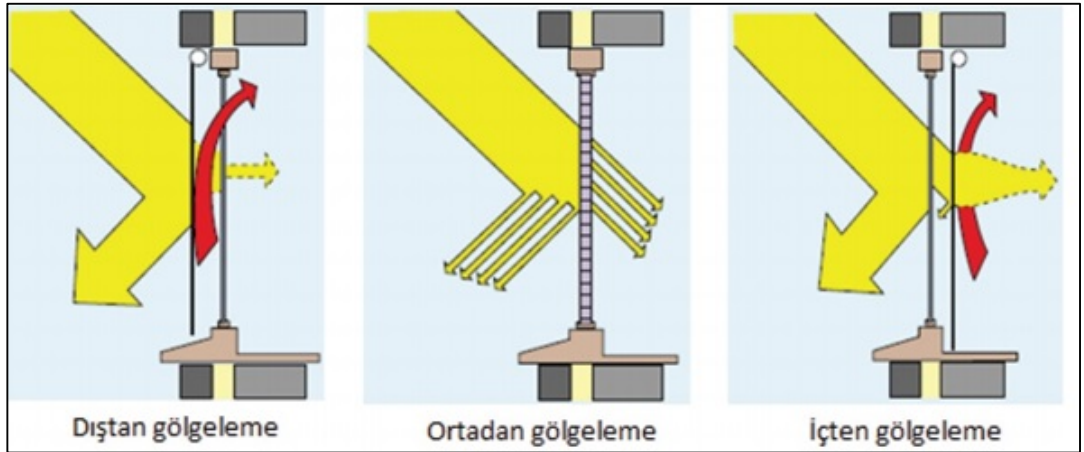
Güneş ışınlamayı kontrolü şu yöntemlerle gerçekleştirilir;

- Gölgeleme donanımları
- Yönlendirme ve boşluk geometrisi
- Opak ve şeffaf özellikli yüzeylerde ışınlam kontrolü
- Kentsel tasarım, komşu binalarla gölgeleme
- Ağaçlandırma, ağaçlar, sarmaşıklar, çalılar dikilmesi

Güneş ısı kazancı engellemek için yapılan gölgeleme, güneşin etkisinin önemli olduğu her türlü iklim tipinde, enlemine bakılmaksızın hemen hemen tüm çağdaş binalara en esnek ve kolay uygulanabilen soğutma yöntemidir. (Şekil 3.12) İyi bir doğal aydınlatma ve ısı verimliliğinin anahtarı bina kabuğunun tasarımında yatar. Gölgeleme donanımları bina kabuğunun tümleşik bir parçası olabilirler ve böylelikle ısı ve gün ışığı performansına önemli etkileri olur. Gölgeleme sistemlerinin soğutma sezonu boyunca iyi bir güneş koruması sağlaması gerekirken, ısıtma sezonunda güneş kazanımlarına engel olmamalı, doğal aydınlatmayı azaltmamalı, doğal havalandırmayı engellememelidir. Gölgeleme donanımları cephenin dış ya da iç yüzüne, çift ve üçlü camlı pencerelerin içine veya perde duvar sistemlerine yerleştirilebilir. Her durumda güneş ışınlamının binaya girmesi tamamen ya da kısmen engellenir. Güneş ışınlamının binaya ulaşmadan önce durdurulması sebebiyle dış donanımlar, içeride güneş ısı kazancı birikmesini önlemede en etkili olanlardır. Yansıtıcı bir dış kaplamaya sahip iç donanımlar güneş ışınlamını dışarıya yansıtabilir, ancak kendi güneş ısı kazancının bir kısmını taşınım yoluyla odaya aktarır. Bina tipi, enlem ve iklim koşulları dikkate alınarak tasarım yapıldığında, doğal havalandırma ve aydınlatmadan önemli ölçüde faydalanılabilir. (Şekil 3.13)



Şekil 3.12 : Yaz, Kış, Ekinoks güneş yörüngesi.



Şekil 3.13 : Farklı tipteki güneş gölgeleme sistemlerinin ışıınım ve ısı taşınımına etkisi.

Gölgeleme cihazları mimari açıdan da birçok seçenek sunmaktadır. Gölgeleme sistemleri mekanik bir donanım veya tekstil ürünü olabilir. Perdeler, jaluzi ve stor sistemleri, ışık rafları, güneşlikler, prizmatik ve petek paneller, güneş ışığını yönlendiren cam sistemleri bu amaçla kullanılmaktadır. (Şekil 3.14)



Şekil 3.14 : Farklı tiplerde güneş gölgeleme sistemleri.

Güneş tayfının görünür bölgesi güneş enerjisinin yaklaşık %50'sini temsil eder ve ışık akısı, aydınlık, parıltı ve ışık şiddeti cinsinden tarif edilir. Işık akısı tayfının görünür bölgesinde yüzeye gelen; yüzeyden ayrılan ya da yüzeyden geçen elektromanyetik ışıyım miktarı olup lümen (lm) ile ölçülür. Aydınlık, toplam ışığın (veya ışık akısı) birim alan yüzeyine anlık düşen miktarıdır. Metrekare başına düşen lümen miktarı lüks (lx) ile tanımlanmıştır. Yaz aylarında açık gökyüzü koşullarında, yatay bir yüzey güneşten yaklaşık 100,000 lx alır. Genellikle bina tasarımı için kullanılan standart bulutlu gökyüzü 10.000 lx bir değere sahiptir. Işık şiddeti, belirli bir yönde ışık kaynağından ayrılan ışık huzmesi sayısına karşılık gelmektedir. Parıltı belirli bir yönde bir yüzey tarafından yansıtılan ışık ölçüsüdür veya belirli birim yüzey alanı tarafından yayılan ışık şiddetidir.

Belirli bir yüzeye gelen anlık güneş ışıyımını üç kaynaktan elde edilebilir. Güneşten doğrudan gelen ışıyım (kısa ışıyım), gökyüzünden yayılan ışıyım, yüzey ve binalardan yansıyan ışıyım. Dış gölgeleme donanımları; normal şartlarda etkisi en fazla olan doğrudan ışıyımı engelleyebilir, yayılan ve yansıyan bileşenlerin etkisini azaltabilir ama aynı zamanda günışığını, parıltıyı, görünümü ve havalandırmayı da etkileyebilir. İklim koşulları, bina tipi ve kullanım amacı göreceli olarak önemli

etkenlerdir. Örneğin konutlarda doğrudan güneş enerjisi kazancı ısıtma sezonunda istenen bir durumdur ama iklime bağlı olmaksızın hastanelerde tercih edilmez. Gölgeleme sistemlerinin tasarımı güneş kontrol, günüışığı ve havalandırma ihtiyaçlarını aynı anda göz önünde bulundurmalıdır. Doğal aydınlatma ve havalandırma sebebiyle, ilave yapay aydınlatma ve mekanik havalandırma gerekliliğinden ödün verilmemelidir. Gölgelemdirmenin temel amacı günüışığı ve havalandırmadan taviz verilmeyecek şekilde, gerekli dönemlerde doğrudan güneş ışınlarnı azaltma veya engelleme, dağılan ve yansıyan ışınlarnı kontrol etme, dış ve iç kaynaklardan doğan kamaşmayı önlemek olarak tanımlanabilir.

Ofis ekipmanları ve kullanıcı yükü sebebiyle iç ısı kazancı yüksek olabilen ticari yapılar dışında binalarda soğutma yükünün en önemli kaynağıdır güneş ışınlarnıdır. Doğrudan gelen ışınlarnı pencere ve açıklıklardan bina içine kadar nüfus ettiğı için yayılan ışınlarnı göre soğutma yükü açısından daha etkilidir. Bununla birlikte doğrudan gelen güneş ışınlarnının yönü öngörülebilir olduğundan dışarı tip gölgeleme donanımlarıyla rahatlıkla engellenebilir. Işınlarnı yayılan ve yansıyan bileşenleri, farklı açılardan tesir ettiğı için kontrol edilmesi daha zor ve iç gölgeleme veya pencere arası donanımlarla daha verimli sonuçlar alınmaktadır.

Doğrudan solar ışınlarnıla beraber yüksek dış ortam hava sıcaklıkları, bina cephesinden bina içine doğru taşınım ile ısı akışı oluşmasına sebep olur. Taşınım oranı bina cephesinin esasen ısı yalıtım ve kütle özelliklerine göre bağlıdır. Herşeye rağmen gölgelikli bir cephe dış ortam sıcaklığı, yansıyan ve yayılan solar ışınlarnı etkisindedir ama doğrudan ışınlarnı etkisi kırıılır. Bu sebepten gölgelikli bir cephe, olmayana göre iç ortama daha az ısı iletir ve bu sayede soğutma yükleri düşer.

Bununla birlikte gölgeleme sebebiyle soğutma yükünde olan azalmaya, ortamın günüışığı seviyesinde düşüş eşlik eder ve yapay aydınlatma yükü artar. Tasarım aşamasında bu iki durumu dikkate alarak optimum çözüme gidilmelidir. İç ortamda aydınlatmanın eşit olarak dağıldığı, örneğin pencereye yakın bölgelerde kamaşmanın azaldığı ve arka kısımlarda gün ışığı aydınlığının arttığı bir sistem tercih edilir. Isıl yükü aydınlatma ve havalandırmadan ödün vermeden azaltmanın en iyi yolu hareketli dış gölgeleme donanımlarıdır. Herşeye rağmen doğru tasarlanırsa sabit donanımlarla da önemli bir düşüş elde edilebilir.

Ortamda yeterli aydınlık seviyesi önemli olsa da aydınlatma kalitesini belirleyen ışığın doğru dağılımıdır. Ortama nüfuz eden ışığı yönlendirebilecek veya dağıtacak

gölgeleme donanımları bu anlamda özellikle kullanışlıdır. Bunlara örnek olarak ışıık rafları, panjur, jaluzi, cam kaplama veya gelişmiş gölgeleme sistemleri gibi donanımlar verilebilir. Bu sistemlerin ana işlevi ortamdaki ışıık seviyelerdeki düzensizliğin önüne geçmektir. Işıığı tekrar yönlendirerek kamaşma noktalarının oluşmasının engellenmesi önemlidir. Araştırmalar insanların düşük ışıık seviyelerine, parlaltı farklılığı olan ortamlara göre daha fazla katlanabildiğini göstermiştir. Ortamda doğal ışıık seviyesinin düzensiz olduğu hallerde yapay aydınlatmaya olan yönelimin, uygun seviyelerden düşük ama düzenli olduğu hallere göre daha fazla olduğu görülmüştür. İnsan gözünün ani aydınlatma artışlarına uyum sağlaması rahatsızlık verdiği için, genel eğilim ortam aydınlatmasını artırmaktır.

3.3 Gölgeleme Sistemlerinin Sınıflandırılması

Gölgeleme cihazları; dışarı veya içeri tip, mevsimlik, sabit veya hareketli olabilirler ve aynı zamanda günışığı aydınlatması hatta yalıtım amaçlı işlev görebilirler. Bazı durumlarda cihazlar birden çok işlev gerçekleştirebilirler. Yalıtılmış iç güneşlikler veya jaluziler, geceleri kapalı tutulursa ve doğru tasarlanmış bir korniş ile bir arada kullanılırsa ısı bir bariyer görevi görür. Dışarıya verilen ısı kaybını önemli ölçüde azaltırlar. İşlenmiş camlar ve prizmatik donanımlar, yansıtıcı jaluzilerde olduğu gibi seçici gölgeleme ve ışığın yönlendirmesini sağlayabilirler.

Gölgeleme stratejisi tercihi binanın ve sahanın konumuna, yönüne, bina tipine ve kullanımına, hava şartları (doğrudan, yayılan, yansıyan ışıınım bileşenleri) ve yol aydınlatması gibi diğer ışıık kaynaklarına bağlıdır. Soğutma, ısıtma ve günışığı stratejileri tasarım aşmasında belirlenir ve gölgeleme sistemi tercihini etkiler.

Binaya giren solar ışıınım miktarı dış yüzeyin soğurma ve yansıtma özelliklerine göre değişkenlik gösterir. Gölgeleme öğesinin rengi ve malzemesi verimliliğini etkiler. Daha basit olmaları, sağlam olmaları, az bakım gereksinimleri ve genellikle düşük maliyetli olmaları sebebiyle sabit donanımlar sıklıkla tercih edilmektedir. Yaz güneşini dışarıda tutmada ve kış güneşini geçirmede iyi bir performans sergilerler fakat kapalı havalarda günışığını önemli ölçüde etkiler. Yansıtıcı yüzeyler kullanılmadığı haller dışında, bütün sabit gölgeleme donanımları özellikle kapalı havalarda günışığına ulaşımı azaltır.

Hareketli gölgeleme donanımları; daha esnektir, güneşin hareketlerine daha iyi cevap verirler, yayılan ışınlam ve parıltıyı daha iyi kontrol ederler. Buna ek olarak, hareketli veya geri sarılabilir cihazlar kış döneminde kapalı havalarda günışığı erişimi için yönlendirilebilirler. Optimum sonuca ulaşmak için hareketli gölgelik cihazlarının doğru işletilmesi gerekir. Bazı alanlarda yaz dönemlerinde gölge sağlanmasının, kış aylarında güneş erişiminden daha önemli olduğu göz önünde bulundurulmalıdır.

3.3.1.Dışarı tip donanımlar

Çeşitli tipteki gölgeleme sistemleri arasında dışarı tip donanımlar, güneş ışınlamını bina yüzeyine ulaşmadan önce kestikleri ve ısıyı dağıttıkları (büyük ölçüde taşınım yoluyla) için en etkili olanı kabul edilirler. Ancak genelde kurulumu, temizliği ve bakımı diğer seçeneklere göre daha pahalıdır. Binanın estetik karakteri üzerinde daha büyük bir etkiye sahiptirler. Bazı uygulamalarda binanın dış karakterini yansıtır ve mimari değer katarlar. Hareketli veya sabit yapıda olabilirler. Ayrıca dışarı tip gölgeleme sistemlerini değerlendirirken rüzgar sebebiyle oluşan ses ve titreşimi, cephe yükünü, işletme kolaylığını, binadaki açıklıkları ve dolayısı ile havalandırma katsayısına olan etkisi de hesaba katılmalıdır.

Mevsimsel dışarı tip gölgeleme; tipik olarak yaprak döken ve dökmeyen ağaçlar, sarmaşıklar ve çalı gibi bitkilendirmeler ile sağlanabilir. Sabit dışarı tip gölgeleme genellikle yatay güneşlik çıkıntıları, dikey plakalar ve kalıcı tenteler ya da panjurlar biçiminde olur. Hareketli dışarı tip gölgeleme ise farklı iklim koşullarına göre ayarlanabilen, tamamen geri çekilebilen ve otomasyonla çalışabilen panjur, şerit perde, tente ve kepenk gibi sistemleri ifade eder.

Dışarı tip gölgelikler dayanıklı ve rüzgar hasarına karşı dirençli olursa Kuzey Avrupa iklimi gibi yerler için daha uygundur. Yeterince öngörülmemiş ise bakımı zor, pahalı ve hatta tehlikeli olabilir. Ayarlanabilir ve tamamen geri sarılabilir dış kepenk ya da panjurlar oldukça etkilidir ama otomasyonlu veya ticari bina uygulamalarında kullanıldığında yüksek maliyetli olabilmektedir. Doğrudan, yayılmış ve yansıyan ışığı kontrol etmede çok etkili oldukları için gün ışığı seviyeleri ile birlikte ısı kazancını istenen seviyede ayarlayabilirler. Bununla birlikte açıklıklar ve cephe boyunca engelsiz havalandırma da sağlayabilirler ve kapalı hava koşullarının olduğu durumlarda geri sarılarak hiçbir ışık engellemesine neden olmazlar. Elektrikli dışarı

tip gölgelikler arıza veya enerji kesintisi durumunda kullanıcı tarafından el ile çalıştırılabilecek özellikte olmalıdır.

3.3.2.İçeri tip donanımlar

İçeri tip gölgeleme sistemleri cam kaplamanın iç ortama bakan kısmında yer alır. İçeri tip gölgeleme donanımları neredeyse her zaman ayarlanabilir ya da geri toplanabilir olup genellikle rulo, jaluzi veya perde tipindedir. Temizlik, bakımı ve ayarlanması kolaydır ve geceleri engelleme yapabilir. Ayrıca genellikle daha ekonomik bir uygulamadır ve özellikle kamaşmanın başlıca nedenleri olan yayılan ve yansıyan ışığı kontrolde etkilidirler. Perde ve güneşlikler kamaşmayı azaltabilir ve jaluzi tipinde olanlar ışığı yeniden yönlendirebilir. İçeri tip donanımlar doğrudan güneş ışığı camdan geçene kadar engel olmazlar ve kısa dalga ışıınımı soğrulduktan sonra odada ısı artışı gerçekleşir. Bu nedenle yüksek derecede yansıtıcı özellikli olmadıkları sürece, ısıl olarak verimsiz kabul edilirler. Yayılan ve yansıyan ışığı kolayca yönetebildikleri için, günışığı ve kamaşma kontrolü açısından daha uygun oldukları düşünülmektedir. Aşırı ısınmayı önlemek için gölgeleme yapılması gereken durumlarda fazla faydalı olamazlar.

Doğru ayarlanmış ise yatay jaluziler yayılan ışığı geçişine izin verirken, doğrudan gelen güneş ışığını engeller ve ayrıca tavan üzerine ışığı yansıtarak doğal aydınlatma aygıtı olarak işlev görebilirler. Fakat genellikle kullanıcılar tarafından ayarlandığından istenen verime ulaşamayabilmir. Büyük ofis binalarında otomasyonla kontrol edilirse ekonomiktir.

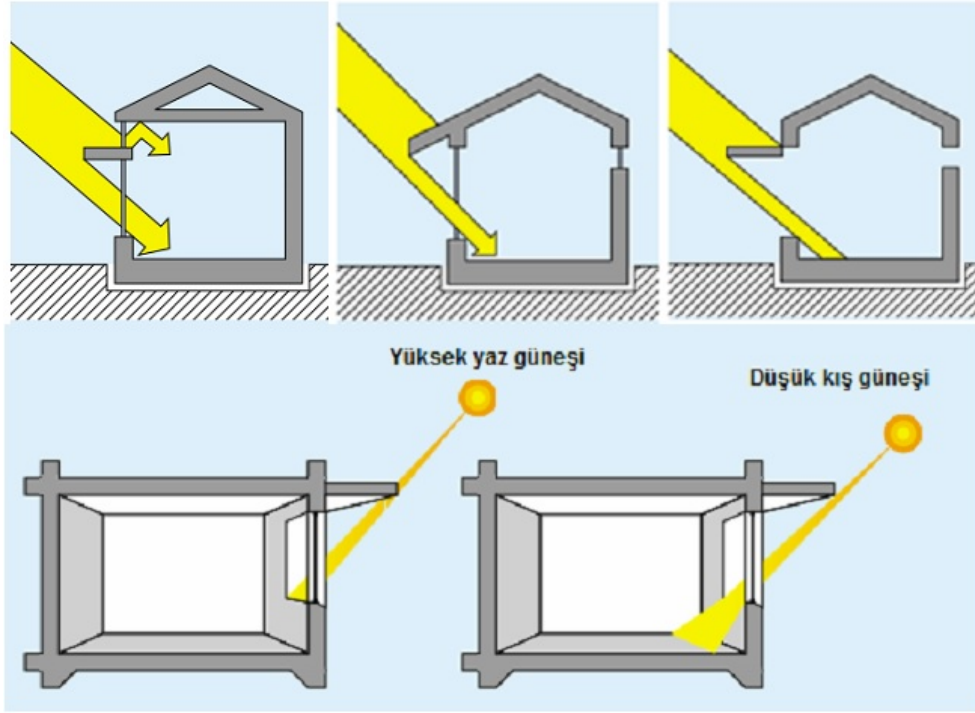
İçeri tip donanımlar, sakinleri doğrudan gelen güneş ışığının anlık etkilerinden ve kamaşmaya karşı korumakla birlikte odada soğrulan ve salınan ısının büyük çoğunluğu havalandırma veya mekanik soğutma ile giderilir. Yansıtımlı iç gölgelikler güneş ışıınımını dış ortama yansıtarak bu etkiyi biraz olsun azaltırlar. Eğer yansıtımlı camlar ile yansıtımlı gölgelikler bir arada kullanılırsa ısının tekrar iç ortama yansıtılma durumu oluşabilir.

3.3.3.Sabit donanımlar

Sabit gölgeleme donanımları, genellikle dışarı tip ve oldukça göze çarpacak biçimde olurlar ve önemli mimari fırsatlar sağlayabilir. Bu cihazlar tipik olarak yatay çıkma, dikey güneşlik veya kafesli ışık dağıtıcı (yatay ve dikey birleşik) biçimindedirler.

Gömülü tip pencereler de sabit gölgeleme donanımlarının bir türüdür. Nispeten basit ve pahalı olmayan bir çözümdür. Özellikle doğrudan gelen güneş ışığını engellemede etkili ancak yayılan veya yansıyan ışığa karşı daha az etkilidir.

Yatay çıkma sabit gölgeleme donanımları arasında en yaygın kullanılanıdır ve yüksek açılı doğrudan güneş ışınımını kontrol etmek için en basit çözümdür. (Şekil 3.15) Kuzey yarımkürede ağırlıklı olarak güney cephelerde tercih edilmektedir. Düşük enlem konumundaki yerlerde, doğu ve batı cephelerde de kullanıma eğilimi vardır. Serinletmenin zorunlu olduğu Akdeniz gibi ılıman iklimlerde, çıkıntı genellikle havanın cephe boyunca serbestçe geçmesini sağlamak için panjurlu yapılır.



Şekil 3.15 : Sabit gölgeleme sistemleri.

Sabit gölgeleme donanımı tasarımında temel ölçüt açıklık(pencere) yönüdür. Doğru tasarlanırsa ve güneye bakan cephelerde kullanılırsa yatay çıkma yaz ortasında tam gölgeleme sağlar ve kış aylarında güneşin içeri girmesine imkân sağlayabilir. En etkili olması için, çıkma pencere açıklığının her iki tarafına yetecek kadar uzatılmalıdır (daha düşük açılı sabah ve öğleden sonra güneşi daha iyi kontrol etmek için). Çıkma uzunluğu açıklık genişliği ve enlem ile belirlenir. Derinlik; enlem, pencere yüksekliği, pencere ve çıkıntı arasındaki dikey mesafe ile belirlenir.

Genellikle sabit cihazlar, özellikle doğu ve batı cephelerde sabah ve öğleden sonraların düşük açılı güneş ışığına karşı etkin bir koruma sağlamazlar. Sabit dikey kanatçık kullanılırsa bir miktar koruma verebilir ancak bu durum iç aydınlatmada azalma olmasına sebep olur. Dikkatlice planlanmış bitkilendirme veya hareketli harici donanımlar düşük açılı doğrudan gelen güneş ışığına karşı daha iyi bir kontrol sağlar.

3.3.4.Ayarlanabilir donanımlar

Ayarlanabilir ve hareketli gölgeleme donanımları dışarıya, içeriye ya da çift camlı veya üç camlı pencere bölmeleri arasına yerleştirilebilir. Yapısal olarak ayarlanabilir olmaları, kullanıma hazır ve nispeten daha ekonomik oldukları için iç gölgeleme sistemlerinde daha yaygın olarak tercih edilmektedir. Bununla birlikte, bazı durumlarda, dış sistemlere de uygulanabilmektedir. Harici ayarlanabilir donanımlar; gerektiğinde güneş ışığını engelleme veya geçişine izin verecek şekilde kullanılabilirler ve yayılan, yansıyan ve düşük açılı doğrudan güneş ışığı üzerinde özellikle etkilidirler. Sabit gölgelemelerin aksine iç aydınlatma seviyesi aşırı azaltılmadan da kullanılabilirler. Avrupa iklimlerinin çoğunluğuna uyumludur. Ancak, başarısı yapının dayanıklı olmasına ve doğru kullanımına bağlıdır ve eğer otomasyon ile birlikte yürütülürse pahalı olabilmektedir.

Ayarlanabilir dış gölgeleme otomasyonunun, enerji verimliliğine olan etkisi özellikle iklim ve ayarlama sıklığına bağlıdır. Tamamıyla otomasyonla çalışan, ayarlanabilir dış gölgeleme cihazları pencerelerden güneş ısı kazanımını cephelerde %10 azaltabilir. Ayarlanabilir dış gölgeleme sistemleri ile ilgili temel endişe sürekliliktir çünkü sabit veya dâhili sistemlere göre daha fazla bakım ve onarım gerektirmektedir. (Şekil 3.16)

Bina otomasyon sistemlerindeki gelişmelerle birlikte özellikle yeni inşaatlarda daha yaygın bir şekilde ayarlanabilir gölgeleme sistemleri kullanılmaya başlanmıştır. Bugün artık bu sistemler geometrik şekillerini değiştirebilmekte ve farklı iklim koşullarına göre (uyumlu cephe veya kinetik cephe) gelen solar ışıını optimize edebilmektedir. Bazı uygulamalar da özgün tasarımları sayesinde gölgeleme bileşenleri solar ışınların açı ve gücüne göre açılıp kapanabilmektedir, adeta düşünen bir cephe oluşturmuşlardır. (Şekil 3.17)



Şekil 3.16 : Ayarlanabilir dikey gölgelikler.



Şekil 3.17 : Abu Dhabi Bahar Towers'daki çalışması cepheye kurulmuş olan fotovoltaiik paneller vasıtası ile karşılanan yenilikçi dış gölgeleme sistemi.

3.3.5.Geri çekilebilir katlanabilir donanımlar

Geri sarılabilir gölgeleme ürünleri pencerenin üst ya da yan bölümüne çekilebilir veya tamamen kaldırılabilir. Kumaş tente, panjur ve kepenk gibi harici aygıtlarda olduğu gibi iç güneşlik ve perdeler de bu kategoridedir. Bu donanımlar yaz aylarında yeterli gölgeleme ve kışın yeterli güneşe erişim için dengeleme yapılmasına olan ihtiyacı kaldırır. Aşırı ısınma dönemlerinde tam gölgeleme gerektiğinde bunların kullanımı havalandırma ihtiyacını olumsuz etkileyebilir. Bununla birlikte, havalandırmaya olan etkisini en aza indirmek için geçirgen olarak da tasarlanabilmektedirler.

3.3.6.Ara bölme donanımlar

Ara bölme gölgeleme donanımları çift camlı ünitenin bölmeleri arasına veya bazı ticari binalarda olduğu gibi perde duvarın içine yerleştirilebilirler. Bu tür cihazlar, dışarıda etkili bir havalandırma ile birlikte kullanıldığında dış ve iç gölgeliklerin avantajlarını birleştirirler. Isı kazançları dışarıda dağılmakta ancak gölgeleme donanımları dış hava ikliminin şiddetinden etkilenmezler. Ara bölme donanımları özellikle kamaşma kontrolünde etkilidirler. Genellikle yatay yansıtıcı panjur veya jaluzi tipinde kullanılırlar. Her ikisi de kamaşma kontrolü yapar ama yansıtıcı panjurlar güneş ısı artışını önlemede daha etkilidir. Cam ara boşluğu içine yerleştirilen bileşenler, boşluğun boyutuna bağlı olarak, dış ve iç sistemler arasında bir değerde performans sağlarlar. Bunun sebebi güneş kontrol bileşeninin dış yüzeyinde kalan cam tabaka ve ara boşluğun doğrudan solar ışıma maruz kalmasıdır. Çift cam tabakası arasına yerleştirilmiş gölgeleme sistemleri, diğer hareketli sistemlerde olduğu gibi manuel veya otomasyon ile kontrol edilebilirler.

3.3.7.Bitki örtüsü

Bina çevrelerine, çardaklar ve giriş çıkmaları gibi yapılar üzerine sarmaşık, ağaç ve çalı gibi bitkilerin stratejik dikimi kentsel biçim ile mikroiklim koşullarını değiştirmek için yardımcı olabilir. Doğru uygulandığı zaman, iç ve dış gölgeleme donanımlarına olan ihtiyaç büyük ölçüde azaltılabilir. Seçici dikim sadece pencere ve diğer açıklıkları değil aynı zamanda tüm cephe ve çatıları gölgelendirerek taşınımın yanı sıra ışıma ile gerçekleşen ısı kazançlarını azaltır. Yaprak döken ağaç ve sarmaşıklar kullanılarak yazın sadece ihtiyaç olduğunda gölgeleme sağlanır.

Yaprak dökmeyen ağaç kullanımı sayesinde bu durum yıl boyunca temin edilebilir. Ayrıca bitkiler zemin yansımaları ve nem yoluyla oluşan ısı taşınımını azaltarak ortam hava sıcaklığını azaltmak için de kullanılabilirler. Yaprak dökmeyen çalılar ve topraktaki yeşil örtü, yollardan, asfaltlanmış alanlardan ve binalardan gelen yansımaları azaltmak içinde yararlıdır. Yaprak dökmeyen bitkiler rüzgâr bariyerleri olarak da etkin bir şekilde de kullanılabilirler. Yaprak döken türler özellikle Avrupa'nın ılıman iklimleri için uygundur. Bitkisel gölgeleme etkisi, bitki tipine (ağaçlar, çalılar veya asma), türüne ve yaşa büyük ölçüde bağlıdır. Bu etkenler; yaprak tipi ve bitki yoğunluğu olarak tanımlanır. Her yıl yaprak döken bitkilerin yoğunluğu mevsimden mevsime göre değişiklik gösterir.

3.3.8.Kentsel morfoloji

Sıcak yazların görüldüğü bölgelerde, genellikle kentsel çevre, sıkışık bir yerleşim gösterir. Sokaklar dar ve yaz sezonunun en yoğun yaşandığı günlerde kısmen veya tamamen kumaş tente ve güneşlik çıkıntılarla kaplı olup; kritik zamanlarda komşu binaların gölgesindedir. Binaların karşılıklı gölgelenmesini artırmak için eğimli zeminden de yararlanılır. Bu önlemlerin temel amacı açık ve kapalı ortamda konfor sağlamaktır. Bununla birlikte, bu tarz bir tasarım yetersiz havalandırmaya yol açabilir bu sebeple günışığı gibi havalandırma da gölgeleme ile birlikte göz önünde bulundurulmalıdır.

Akdeniz ikliminde, bina ve kentsel tasarımda dikkate alınması gereken iki temel iklimsel etki vardır. Birincisi yaz aylarındaki yüksek ortam hava sıcaklığı ve yoğun güneş ışınımı, yüksek ısı stresine sebep olur. İkincisi, doğrudan ve yansıyan güneş ışınımı çok yüksek kamaşma yapar. İyi kurgulanmış kentsel tasarım, büyük ölçüde bu olumsuz etkilere karşı koyabilir. Soğuk dönemlerde aşırı gölgeleme olmaması için dikkat edilmesi gereken inşa etme mesafesi bu tip tasarımda başlıca öneme sahiptir ve genellikle cadde açıklığından faydalanılır.

Gölgeleme sadece cadde genişliği ile değil avlu kullanımı yoluyla da düzenlenebilir. Bu sezonunda ışık ve gölgelemenin beraber bir uyum içinde kullanılmasına olanak verir. Avlular akdeniz mimarisinin ortak bir özelliği olup kentsel biçimi tümüyle oluşturmak için kullanılabilir.

3.3.9.İleri cam sistemleri

Bina kabuğunun yapıların enerji performansı ve iç ortam koşulları açısından merkezi bir rol üstlenir. Çevresel etkenleri engelleyebilen kompleks bir sistem ve filtre yapısı oluşturarak ısı, solar ışıınım, hava ve nem akışını düzenlerler. Bununla birlikte ışıınımı, ısı ve elektrik tüketimini azaltarak enerji kazancına dönüştürmesi binalar için ana esaslardandır. Bu bağlamda binaların saydam bölümleri dış ve iç çevre şartları arasında iklimsel bir filtre görevi görebilir. Görsel konfor ve neme ilişkin kontrol ihtiyaçları ile iklimlendirme ve aydınlatmaya harcanan enerji tüketimi arasındaki dengeyi kurabilir.

Bina kılıfının saydam bölümleri, çevresel açıdan hassas bir tasarım gerektirir. Mekanik ekipmanlar, performans hedefleri (ısıl sıcaklıkların dağılımı, hava farklılıkları vs.) dikkate alınmalıdır aksi halde saydam kılıf çevresel açıdan rahatsızlık kaynağına dönüşebilir ve israfa sebep olabilir. Binalardaki enerjinin kayda değer bir kısmı verimsiz pencereler sebebiyle yitilmektedir ve pencerelerdeki solar ısı kazancı sebebiyle gerçekleşen soğutma talep artışı bu durumdan önemli oranda pay sahibidir. Piyasada çift camda U ısıl iletim değeri $1,1\text{W/m}^2\text{K}$ 'dan, üçlü camda $0,6\text{W/m}^2\text{K}$ 'dan küçük olan yüksek performanslı cam kaplama sistemleri bulunmasına rağmen, gelen ısı ve güneşışığının tam anlamıyla optimize edilmesi, anlık solar ışıınımın kontrolü ile mümkündür.

Anlık solar ışıınım kontrolü, iç ortam konforu ve binalarda enerji verimliliği için temel öğedir. Kış aylarında pencerelerden kazanılan solar ısı, ortam ısıtmasında kullanılan enerjinin tüketiminin azaltılmasına yardımcı olabilir. Akdeniz iklimi gibi ılıman iklime sahip yerlerde ise camdan geçen fazladan solar ışıınım, iç ortamın çok ısınmasına ve dolayısı ile iklimlendirme sistemlerinin yüksek tüketim yapmasına sebep olabilir. Bu tip iklim koşullarına sahip ülkelerin bazılarında ulusal düzenlemeler, yeni yapılan binalarda, iklimlendirme sistemlerinin yaz aylarındaki enerji tüketimini sınırlamak amacıyla güneş gölgeleme sistemleri veya güneş enerji geçirme faktörünü 0,5'den küçük olan pencerelerin kullanılmasını zorunlu tutmuştur.

Doğrudan gelen güneş ışığı iç ortamdaki görsel faaliyetlerimiz için engelleyici olabilir, özellikle doğu ve batı cephelerde bu duruma maruz kalır. Neticesinde alçak ve derinlere ulaşan ışık ışıınları sebebiyle, çeşitli perdeleme sistemleri ve dış ortam aydınlanma seviyesi yüksek olmasına rağmen iç ortam için yapay aydınlatma sistemlerinin aynı anda kullanımı ihtiyacı olabilir. Yapay ışık, enerji verimliliği ve

görsel konfor sebebiyle, gün ışığının olmadığı ya da yetersiz olduğu durumlarda aranılan ışık kaynağıdır. Doğrudan solar ışıma, özellikle UV bileşenleri ile mobilya ve iç ortam malzemelerinde yüzeysel solmalara sebep olabilir.

Anlık solar ışımanın kontrolü; sabit veya hareketli gölgeleme donanımları, solar korumalı camlar veya her ikisinin birlikte kullanıldığı geleneksel statik cam sistemleri ile genelde bina otomasyonu ile tümleşik çalışan dinamik cam sistemleri kullanılarak sağlanabilir. Dış veya kontrollü (otomasyon gibi) etkiler sebebiyle teknik özellikleri değişkenlik göstermeyen cam kaplamaları, statik cam sistemleri olarak tanımlayabiliriz. Buna örnek olarak; renkli camlar, yansıtıcı camlar, low-e (düşük salınlı) camlar, prizmatik, holografik camlar verilebilir.

Renkli camlar, gölgeleme kontrolü için geliştirilen pencere camının ilk biçimidir, az miktarda da olsa güneş ısı kazancı etkisini azaltabilirler. Ancak, gün ışığını önemli ölçüde azaltma eğilimi gösterirler. Ayrıca camdaki görüş rengini de bozarlar. Yansıtıcı camlar ise etkili bir biçimde güneş ısı kazancını engellerler ama aynı zamanda görünür ışık geçirgenliğini de azaltırlar. Çoğunlukla derin bronz veya aynalı yüzeylere sahip ofis binalarında görülen renkli ve yansıtıcı dış yüzeyli camlar güneş ışımasını soğurmak veya yansıtmak için tercih edilebilir. Konutlarda kullanımı ise genellikle estetik ve diğer sebeplerden ötürü kısıtlıdır. Renkli yüzeyler dışarıyı görüşü karartır, yansıtıcı kaplamalar ise geceleri ayna etkisi sebebiyle dışarıyı görmeyi olanaksız kılar. Her iki uygulamada gün ışığı aydınlatmasını da sınırlar dolayısı ile sakinlere dışardan soyutlandıkları hissi verir. Konutlarda genellikle açık tonlar ve low-e kaplamalarla beraber kullanılan uygulamalar tercih edilir.

Prizmatik camlar ışığı hem kırabildiği hem de yansıtabildiği için doğal aydınlatma, gölgeleme ya da her ikisi için birden kullanılabilir. Yarı saydam olduğu için ağırlıklı olarak ana amacın net bir görünüm sağlamaktan ziyade günışığı olduğu durumlarda kullanılır. Bu nedenle yüksek kotlardaki cam kaplama uygulamaları için en uygun olanıdır. Ana işlevi gelen ışığı tavana ya da odanın arka kısımlarına yönlendirmektir ama aynı zamanda parıltıyı azaltabilmekte ve genellikle çift camlı birimlerin içine dahil edilmektedir. Halen prizmatik camların yapım maliyeti yüksektir ama daha yaygın olarak kullanılması halinde maliyetleri düşebilir.

Holografik optik elemanlar (HOE) gelen ışıma engellemeden ziyade kırarak yayılmasına sebep olurlar. Bu nedenle çoğunlukla doğal aydınlatma amaçlı kullanılmaktadırlar. Bununla birlikte, gölgeleme sağlamak veya batı cephesinden

gelen düşük açılı güneş ışınlamaları gibi en uç açılardan kaynaklanan ışığı yansıtmak için tasarlanabilirler. Holografik optik elemanlarda ışık kırılımı; yansımali ızgaralar veya güneşin yalnızca belirli açılarında işlev gören, ışığın seçici bir şekilde yönlendirilmesine olanak sağlayan cam içi bölgesel plakalarla gerçekleştirilir.

Low-e camlar solar korumalı kaplamaları sayesinde, yüksek yalıtım sağlayan basit kaplamasız çift camlardan farklı olarak, ısı kayıplarını azaltmak için pencereye anlık olarak gelen ısıyı akışının iç ortama nüfuz etmesinin önüne geçebilmektedirler. Sektörde enerji iletim kontrolünü görünür ışık geçirgenliğini tümüyle engellemeden gerçekleştirebilen boya kaplamalı, pirolitik kaplamalı ve seçici korumalı yüksek performanslı cam kaplama ürünleri bulunmaktadır. Low-e camların performansı ışık solar kazanç oranı (LSG) veya diğer adıyla seçicilik oranı ile ölçülür. Bir camın LSG'si görünür ışık geçirgenliğinin solar ısı kazancına oranlanması ile elde edilir. Yüksek LSG'e sahip bir camın anlık ışık geçirgenliği yüksektir ve toplam ısıyımın sınırlı bir bölümünü geçirir. (Çizelge 3.3)

Piyasada low-e (düşük salınımlı) camların; üzerine düşen ışığın %80'e yakınına geçirebilenleri mevcuttur ve saydam düz camın ışığı ortalama %85 oranında geçirdiği düşünülürse yüksek verimlilikte oldukları söylenebilir. Ağırlıklı olarak binalarda ısı kayıplarının öncelikli sorun olduğu yerlerde tercih edilirler. Low-e camlar; özellikle görünür bölge olmak üzere güneş dalga boylarında yüksek soğuruculuk özelliği gösterirken, uzun dalga kızılötesi ışıyımında düşük salınım gösterirler.

Statik solar korumalı cam kaplama yaz dönemlerinde görüntüde azalma olmadan ve parıltı etkisini sınırlayarak ısı yükünü azaltma amaçlı kullanılır. Buna karşın bunun gibi sistemler günlük solar yörüngesi, hava şartları ve iklimsel değişikliklerin izlenmesi imkânı sunmaz. Bunun neticesinde kış aylarında özellikle güney cephelerde enerjiden faydalanma oranı düşer. Doğrudan solar ışıyımın olmadığı durumlarda doğal ışık seviyelerinde bir düşüş görülebilir. Özellikle doğu ve batı cepheler için günün sadece yarısı için aydınlanma gerçekleşir.

Çizelge 3.3 : Sektördeki bir pencere markasının low-e ısı ve güneş kontrol kaplamalı camlarının performans tablosu.

SOLAR LOW-E CAM + RENKSİZ DÜZ CAM	Gün Işığı (EN 410)		Güneş Enerjisi (EN 410)					Isı Geçirgenlik Katsayısı (U Değeri) (EN 673)			
	Geçirgenlik %	Dışa Yansıtma %	Dışa Yansıtma %	Soğutma %	Direkt Geçirgenlik %	Toplam Geçirgenlik	Gölgeleme Katsayısı	12 mm Ara Boşluk		16 mm Ara Boşluk	
								Hava	Argon	Hava	Argon
4+4	71	10	28	32	40	44	0,50	1,6	1,3	1,3	1,1
6+6	69	10	25	38	37	42	0,48	1,6	1,3	1,3	1,1

Gün Işığı Geçirgenlik: Cama gelen ışığın camdan geçen yüzdesidir.

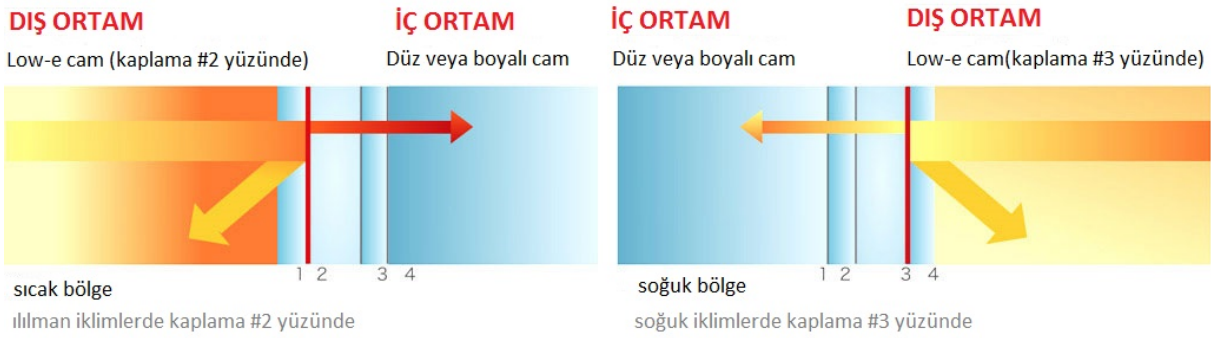
Gün Işığı Yansıtma (dış): Cama gelen ışığın cam tarafından geri yansıtılan yüzdesidir.

Güneş Enerjisi Toplam Geçirgenlik: Cam üzerine gelen toplam güneş enerjisinin içeriye giren yüzdesidir. Daha düşük güneş enerjisi toplam geçirgenlik değeri, daha fazla yüksek güneş enerjisi kontrolü demektir.

Gölgeleme Katsayısı: Güneş enerjisi toplam geçirgenliğinin 3 mm renksiz camla kıyaslanmasıdır. Daha düşük gölgeleme katsayısı, daha yüksek güneş enerjisi kontrolü sağlar.

Isı Geçirgenlik Katsayısı: Camlarda ısı yalıtımının ölçütüdür. Daha düşük U değeri daha iyi bir ısı yalıtımı, daha az ısınma masrafı ve daha çok kış rahatlığı demektir.

Low-e camlar, yüzeyinde gelen ışınmı yansıtarak dağıtmak ve hava tabakasına geçişini önlemek için biriktirilmiş mikroskobik incelikte metal veya metal tabakalardan oluşur. Isı ve güneş kontrol kaplaması dış camın iç yüzeyinde yer almaktadır. Çift cam veya üçlü camlarda camın hangi yüzeyinde kaplama olacağı pencerenin kullanılacağı yön ve iklimle göre değişir. Örneğin, ısıtma yükünün fazla olduğu ve klimaya ihtiyaç duyulmayan kuzey iklimlerde, kaplama iç cam yüzeyine yerleştirilir. (Şekil 3.18’da #3 yüzü) Bu konumda güneş ışınlamının iç yüzeye geçişine izin verilir, kışın ısı kazanımına katkıda bulunulur fakat iç ısı oturma alanına doğru geri yansıtılır. Soğutma yükünün önemli olduğu durumlarda, solar korumalı yüzey, güneş ışınlamını pencereden uzakta yansıtacak şekilde dış panele (Şekil 3.18’da) yerleştirilir. Cam dilimleri arasına yerleştirilmiş plastik film üzerine low-e solar kaplama da dahil olmak üzere belirli uygulamalar farklı seçeneklerde uygulanabilmektedir.



Şekil 3.18 İklim şartlarına göre çift cam yüzlerinde low-e film kaplama yeri.

Enerji verimliliği ve ortam konforundan ödün vermeden, saydam bileşenleri kullanarak solar ışıının kontrol edilmesinde geleneksel statik sistemler zaman zaman yetersiz kalmaktadır. Dinamik (ayarlanabilir) gölgeleme sistemleri Avrupa genelinde yüksek montaj, işletme ve bakım maliyetleri ve enerji tadilat projelerine çok uygun olmamasına rağmen, özellikle çift cam yapı kaplama uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Dinamik veya akıllı cam sistemleri ise hem yeni inşaatların hem de mevcut binaların renovasyonu için kullanılabilecek bir çözümdür. Bu sistemler devamlı veya otomatik olarak, çevresel koşullara bağlı veya kullanıcı isteğine göre, ışık ve enerji geçirgenliği değerini değiştirebilirler. Bu sistemler aydınlatma ve iklimlendirme kontrol sistemleri ile bağlantılı şekilde çalışırlar. Isıl ve görsel konfor ile birlikte önemli oranda enerji ve çevresel kazanç sağlarlar.

Tüm gelişmiş cam sistemleri, camdan ışık ve ısı geçişini belirli oranlarda etkilerler. Verimlilikleri yansıtma, soğurma, geçirgenlik ve salınım miktarları yönünden ölçülür. Soğurma, bir öğenin güneş ışıını soğurma, yansıtma ise güneş ışıını yansıtma ölçüsünü ifade eder. Salınım ise salınan ışıın demektir ve soğurma ile dalga boyu(sıcaklık) açısından aynıdır. Bu özellikler, bir öğenin yüzey kalitesi ile bağlantılı olup hem saydam hem de opak yüzeylere uygulanabilir. Geçirgenlik ise bir cismin ışıını geçirme yeterliliği ile ilgili olup yüzey kalitesi ile birlikte kalınlığın bir fonksiyonudur. Saydam veya yarı saydam öğeler için geçerlidir.

Gelişmiş cam sistemleri çoğunlukla yalıtım ve gölgeleme amaçlı kullanılır ancak bazı durumlarda ışık raflarına benzer bir şekilde güneş ışıını yönlendirerek günışığı işlevi görürler. Özellikle geleneksel gölgeleme donanımlarının bir seçenek veya yeterli olmadığı durumlarda zayıf gölgelemelerin iyileştirilmesi için uygun bir seçenek olarak kabul edilirler. Üretim sırasında özel bir işleme tabi tutularak veya

film ve farklı kaplamalar uygulanarak özellikli camlar elde edilebilir. Film kaplamalar özellikle tadilat projelerinde tercih edilir. Seçici cam kaplamalar tayfin farklı bölgelerindeki ışınımına farklı tepki verecek dış yüzeye sahiptir. Ultraviyole, kızılötesi ve tayfin görünür kısmı ısıtma ve soğutma ihtiyaçlarına göre ayrı ayrı süzölmektedir. Seçici camlar, geçirgenlik, soğuruculuk ve yansıtma için seçici özellik gösterebilir. Renkli, yansıtıcı, düşük yayınlı, duyarlı ve prizmatik cam ve holografik filmli olanlar bu kapsamdadır. Sırlı cam ve cam bloklar da gölgeleme işlevine hizmet edebilirler. Malzeme bilimindeki yenilikler sayesinde gelişmiş cam sistemleri teknolojileri de hızla gelişmesine rağmen birçok gelişmiş cam türleri hala prototip aşamasındadır veya uygulamaları sınırlıdır. Buna örnek olarak güneş gözlükleri için yaygın olarak kullanılan ama bina uygulamalarında kısıtlı bir kullanım bulan fotokromik cam verilebilir.

Tepkisel camlar, ya da “kromojenik camlar” (‘akıllı pencereler’ olarak da isimlendirilir), geçirgenlikte seçici özellik gösterirler. Üç temel tipi vardır; sıcaklık değişikliklerine tepki verenler (termokromik), ışık değişikliklerine tepki verenler (fotokromik) ve elektriksel sinyale tepki verenler (elektrokromik). Elektrokromik camlar binaların enerji otomasyon sistemine bağlanabilir. Fotokromik camlar gün ışığı gibi güneş etkisinin kontrolü amaçlı kullanılırlar ancak ışığın sadece görünür kısmına tepki verdikleri için ısı kontrol amaçlı kullanılamazlar. Standart düz camdan farklı ve daha gelişmiş imalat yöntemleri ile yapıldıkları için daha maliyetlidirler.

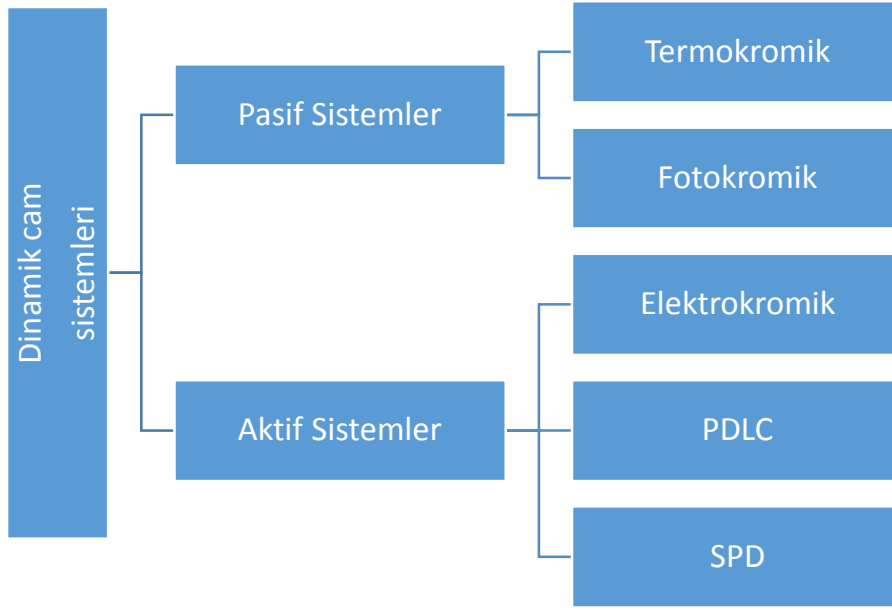
Bunların dışında malzeme teknolojilerindeki gelişmeler; arojel, ince kılcal boru veya bal peteği formundaki saydam yalıtım malzemelerini ortaya çıkarmıştır. Fakat henüz bu sistemlerin yüksek maliyetli olması, dayanıklılığı kanıtlanmamış ve bakım zorlukları sebebiyle daha basit sistemlere göre tercih edilmemektedir.

4. DİNAMİK CAM SİSTEMLERİ

Çağımız mimarisinde görsel konfor ve enerji verimliliğine olan ilgi, yenilikçi, yüksek performanslı dinamik cam kaplama sistemlerinin geliştirilmesine ön ayak olmuştur. Camın içinden geçen solar ısıyı ve görünür ışık geçirgenliğini ihtiyaca göre değiştirebilen bu sistemler akıllı cam olarak da adlandırılmaktadır. Dinamik cam sistemlerindeki temel amaç kamaşmaya sebep olmadan en uygun doğal aydınlatma koşullarını elde edip, solar kazancı kışın yükseltip yazın ise düşürerek ısı kayıplarını azaltmaktır.

Farklı yapıdaki akıllı cam sistemleri pasif ve aktif kontrollü olarak Şekil 4.1'deki gibi sınıflandırılabilirler. Pasif kontrollü dinamik cam sistemleri elektriksel bir uyarıcıya ihtiyaç duymazlar. Bu sistemler ışık veya ısı gibi doğal bir uyarmanın bulunduğu hallerde kullanıcıdan bağımsız olarak tepki verirler. Dışardan kablo bağlantısı veya enerji beslemesine ihtiyaçları olmadıkları için aktif sistemlere göre montajları daha kolay ve kullanıcı kontrollünün olanaklı olmadığı durumlar için daha güvenilir bir çözümdür. Aktif dinamik cam sistemleri ise doğrudan veya otomasyonlu bina yönetim sistemleri vasıtasıyla kontrol edilebilirler. Aktif dinamik cam sistemleri iç ve dış ortam koşulları, kullanıcı talepleri gibi birçok farklı parametreye göre içeri giren görünür ve kızılötesi ışınım yoğunluğunu ayarlayabilir. Bu sayede ısıtma, soğutma ve aydınlatma sistemleri enerji tüketiminde önemli ölçüde kazanç elde edilebilmektedir.

Piyasada elektriksel öz yeterliliği sağlamak için fotovoltaiik gibi sistemlerle bütünleşik olarak çalışabilen, akıllı telefonlar ile uzaktan kontrol edilebilen farklı teknoloji ve özellikte aktif dinamik cam sistemleri ürünleri mevcuttur. Bunlara örnek olarak elektrokromik (EC), askıda tanecikli (SPD) ve likit kristal (LC/PDLC) cam sistemleri verilebilir. Bu teknolojiler farklı çalışma karakteristikleri, maliyetleri ve performansları sebebiyle farklı uygulamalar veya ihtiyaçlar (mahremiyet, anahtarlama hızı, solar ısı kazancı azaltma) için tercih edilebilmektedir. Aktif dinamik sistemlerin pasif sistemlere göre bir diğer avantajı da bina kılıfındaki bütün cam üniteleri birbirinden bağımsız olabilmesidir.



Şekil 4.1 : Dinamik cam sistemleri sınıfları.

Piyasada ısı yalıtım özellikleri açısından yüksek verimlilikte ürünler sunulmasına rağmen, statik cam sistemleri, anlık solar ışıının kontrolü, enerji verimliliği ve konfor açısından yetersiz kalabilmektedir. Genelde dinamik gölgeleme sistemleri kullanılarak bu eksikliğin giderilmesi tercih edilmektedir. Dinamik gölgeleme sistemleri yaygın bir şekilde kullanılmasına rağmen, montaj ve bakımlarının maliyetli olması, görüşü kısıtlaması ve tadilat projeleri için uygun olmaması yeni nesil ürünlerin kullanılmasına yol açmıştır.

Dinamik cam sistemleri hem yeni binalar hem de restorasyon projeleri için enerji ve ışık geçirim değerlerini dış ortam veya kullanıcı talebi doğrultusunda değiştirebilen bir seçenek olmuştur. Buna en iyi örnek, ısı enerji ve anlık solar ışığın seçici ve dinamik kontrolünü sağlayabilen saydam kromik malzemelerdir. Kimya biliminde bileşiklerin genellikle geri dönüştürülebilir bir şekilde renk değiştirdiği sürece kromizm denir. Kromik malzemeler, dış etkenler (mekanik stres, sıcaklık değişiklikleri, nem, PH, elektromanyetik alan ve solar ışıının vb.) sonucu renk değiştiren, rengi yok olan veya renk yayan malzemelerdir. Kromik malzemeler akıllı malzeme sınıfında değerlendirilebilir. Akıllı malzemeler bağımsız olarak değişim gösterirler. Mekanik, fiziksel, kimyasal ve elektriksel özellikleri veya geometrik karakteristiklerini çevresel şartlardaki değişime uyumlu olarak tersine çevirirler. Bu malzemelere örnek olarak kendi kendini temizleyen malzemeler, biçim bellek malzemeler, faz değiştirici malzemeler, piezoelektrik, fotovoltaiik, elektrokromik,

fotokromik, termokromik malzemeler verilebilir. Dinamik sistemler arasında özellikle elektrokromik olanları geleneksel statik sistemlere, low-e seçici kaplama camlara ve otomatik gölgeleme cihazlarına göre aydınlatma, iklimlendirme enerji tüketimini düşürme ve kullanıcılara konfor sunma açısından daha etkilidir.

Saydam kromik malzemelerin mimaride kullanımı, saydam kaplamaların değişken performansa sahip olmasını sağladı. Bu tip ürünler akıllı cam veya dinamik cam kaplama olarak isimlendirilebilir. Bu ürünler sayesinde binaların enerji davranışları optimize edilebilmekte ve aynı zamanda kullanıcıların konfor ihtiyaçları karşılanabilmektedir. Dinamik cam kaplama ürünleri pencerelerde, kapılarda, gökdelenlerde, ayırıcı bölmelerde kullanılabilmekte ve kolaylıkla otomasyon sistemiyle bütünleşik hale getirilebilirler. 2015’de 2,34 milyar dolar olan akıllı cam piyasasının (low-e dahil) yıllık %19,2’lik bir büyüme ile 2022’de 8,13 milyar dolara ulaşması beklenmektedir. Akıllı camların otomobil, havacılık ve ulaştırma sektörlerinin diğer alanlarında da kullanımının artması talep artışının bir diğer göstergesidir.

4.1 Fotokromik Cam Sistemleri

Fotokromik cam anlık ışık yoğunluğuna bağlı olarak saydamlık özelliklerini kendiliğinden değiştirebilmektedir. Bu nitelikleri optik hassasiyetleri olan organik ve inorganik bileşenlerin camın içindeki varlığından kaynaklanır. Buna örnek olarak ultraviyole ışığa duyarlı metal halidler (klorid ve gümüş bromit) veya güneş enerjisini renk spektrumundaki çeşitliliğe göre soğuran plastikler verilebilir. Fotokromik camlar doğrudan güneş ışınımına maruz kaldıklarında, camın enerji katmanları ve ilave maddeler arasında spektral soğrulma farklılığı sebebiyle tersinebilir bir süreç olan yoğun renklenme oluşumu gelişir.

Çevresel değişikliklere tepki hızı birkaç dakika mertebesinde gerçekleşirken, genellikle boyalı halden berrak hale geçiş iki katı bir sürede gerçekleşir. Tepki süresindeki bu farklılık sebebiyle, dış ortam parlaklığında ani ve sık değişiklik veya yapı üzerinde bölgesel karartılar olması durumlarında düzensiz ve göz zevkini bozan ışık ve gölge bölgeleri oluşturur. Bununla beraber fotokromik camlar kromatik geçiş sonrası, yansıtıcı olmaktan ziyade soğurucu bir hal alırlar. Bu durumda cam katmanlarının aşırı ısınma oluşması ve yoğun solar ışınım durumlarında termal şok sebebiyle kırılma gerçekleşebilir.

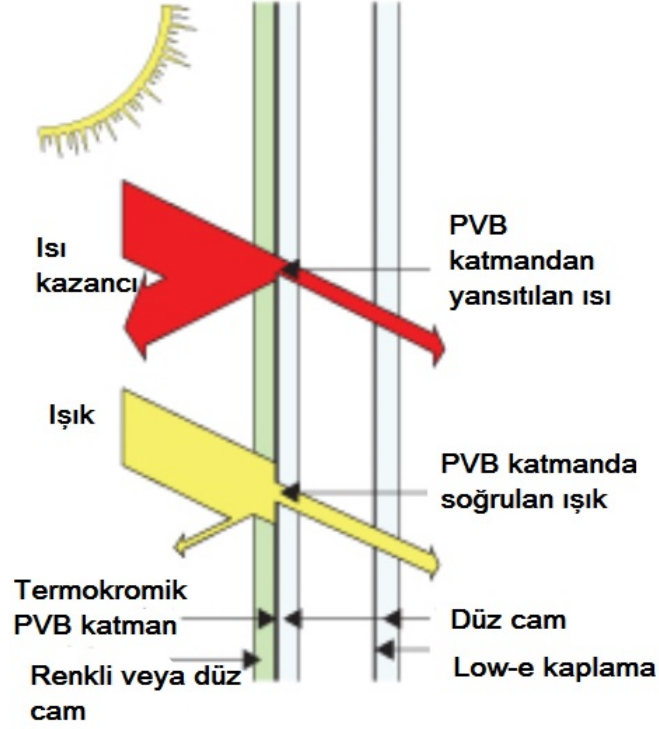
Halihazırda bu ürünlerin başlıca kullanıldığı alanlar optik ve otomotiv endüstrisidir. Fotokromik camların mimaride yaygın kullanımının önündeki en büyük engel yüksek maliyeti ve bu teknolojik sisteminin karmaşıklığıdır. Bununla beraber kullanıcıların doğrudan performansı kontrolünün mümkün olmaması, katman içinde fotokromik malzemelerin düzgün dağılımını sağlamadaki zorluklar ve zaman içinde kademeli olarak tersinir özelliklerindeki kayıplar görülebilmesi diğer olumsuz taraflarıdır. Son yıllarda, teknolojik problemler önemli ölçüde azaltılmış, kararlık özellikleri iyileştirilmiş ve levha ölçüleri artırılmış olsa da ticari olarak uygun maliyetli olgunluğa ulaşamamıştır.

4.2 Termokromik Cam Sistemleri

Termokromik cam kaplamalar optik özelliklerini dış yüzey sıcaklığına göre kendiliğinden değiştirebilme yetkinliğine sahiptir. Sıcaklık değişimi termokromik malzemelerde kimyasal bir tepkimeye veya iki farklı hal arasında geçişe sebep olur. Termokromik camlar düşük sıcaklıklarda saydam iken, sıcaklık arttıkça daha az ışık geçirir bir hale dönüşür. Geçiş sıcaklık aralığı genel olarak 10 C° (maksimum saydamlık) ile 65 C° (minimum saydamlık) arasındadır. Termokromik özellikler; aerogel, metal oksit ince filmler gibi geniş bir yelpazedeki organik ve inorganik bileşenlerde görülebilir. Vanadium oksit gibi bazı metal oksitler, yarı iletkenlikten metalik hale geçiş yaptıklarında kızılötesi bölge de yüksek yansıtıcılık gösteren bir hal alırlar.

Günümüzde termokromik camlarla ilgili en çok umut vaat eden teknolojik çözüm, termokromik materyalin polyvinyl butyral (PVB) plastik film içine mühürlenmesidir. PVB aynı zamanda akustik ve lamine güvenlik camlarında en çok tercih edilen ürün olduğu için bu çözüm üretim bazında maliyet ve kalitede önemli avantajlara sahiptir. Termokromik pencereler halihazırda en gelişmiş ve basit dinamik üründür. En büyük avantajı ısı yükünü azaltırken denge sağlaması ve maksimum gün ışığından faydalanabilmesidir. Farklı renkli camlar ve low-e camlar ile birlikte de kullanılabilir. (Şekil 4.2) Ticari yapılarda ve konutlarda kullanımı her geçen gün artmaktadır. (Şekil 4.3) Termokromik aktif dinamik pencerelerde olduğu gibi kablolu ve güç kaynağı ihtiyacı yoktur. Bu sebeple cam montajı dışında başka bir uzmanlık gerektirmez. Güvence süresi en az 20 yıldır ve aktif dinamik kontrol sistemlerinden daha ucuzdur. Yatırım geri dönüş süresi 4 yıldan azdır. Termokromik

camların dezavantajları ise kullanıcı kontrolü imkanı olmaması, solar ışıının yoğun olduğu durumlarda bile yeterli sıcaklığa ulaşmadan koyu hale geçmediği için zaman zaman kullanıcıların parıltıya maruz kalmasıdır.



Şekil 4.2 : Termokromik ve low-e kaplamalı çift camda ısının yansması ve ışığın soğrulması.



Şekil 4.3 : Termokromik bir uygulamanın günün farklı saatlerindeki görünümü.

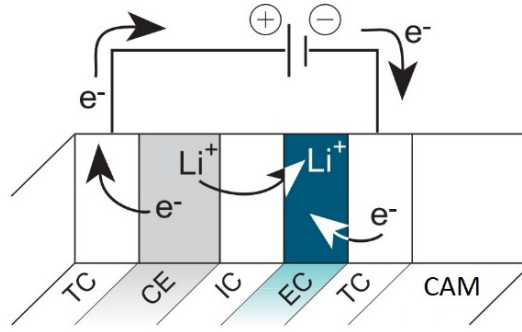
4.3 Elektrokromik Cam Sistemleri

Elektriksel olarak kontrol edilebilir aktif sistemlere örnek olarak elektrokromik (EC), askıda tanecikli cihazlar (SPD), likit kristal cihazlar (LC/PDLC) ve bu teknolojiler içinde en yenisi olan hala deney safhasındaki mikro panjurlar (MEMS) verilebilir. Bütün bu teknolojilerin birbirinden farklı çalışma karakteristikleri, performansları ve maliyetleri vardır. Kullanılacağı uygulama alanı, gizlilik, anahtarlama hızı, solar kazanç kaybı vs. gibi ihtiyaçlara göre tercih edilecek ürün farklılık göstermektedir.

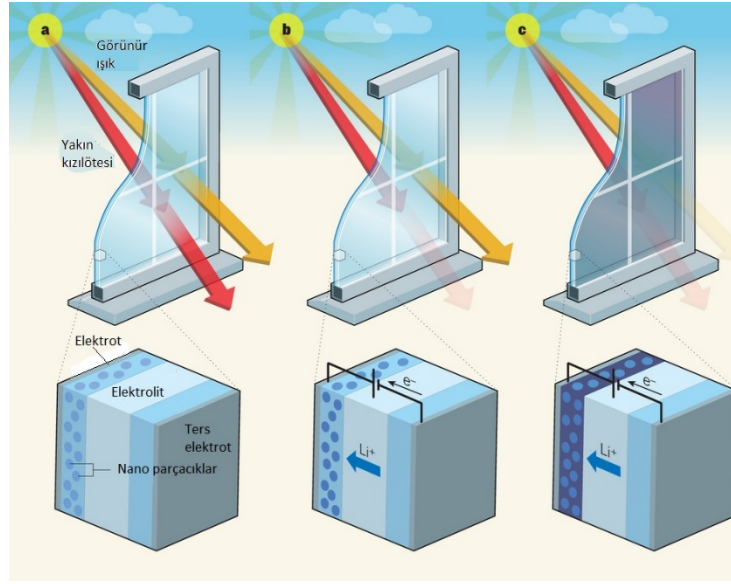
Elektrokromik cam kaplamalar, bazı maddelerin elektriksel uyarılmayla solar ışınımı geçirme, yansıtma ve soğurma özelliklerini değiştirmesinden faydalanarak kullanıcıların ayarlayabilmesine olanak tanır. Bu malzemelerin özelliklerindeki değişim elektrokromik tabakadaki hareketli iyonların artması veya azalması sebebiyle olur. (Şekil 4.4) Elektriksel alan, aktif konuma geçince, elektrokromik katmandaki iyonlar, oluşturulmuş bileşiklerle tepkimeye girerler ve malzemenin renginin değişmesine sebep olurlar. Elektrokromik bir cihazın merkezi, iyon iletici (IC-ion conductor) bölümün yani elektrolitin iki katman arasına konumlandırılması ile oluşur. Bu iki katman sırasıyla, elektrokromik (EC-electrochromic electrode) film diğer adıyla elektrot ve toplanma katmanı (CE-counter electrode) yani ters elektrottur. Bu iki dış katman aslında saydam iletken malzeme (TC-transparent conductor) ile bütünleşiktir. Elektron toplanma katmanı ve saydam iletken tek bir bütün olarak düşünülebilir.

Şekil 4.5’de görülebileceği gibi iletken olan ve saydam özellik gösteren cam katmanları arasına katı elektrolit tabaka yerleştirilmiştir.

- a.) Elektriksel voltaj uygulanmadığında güneş ışığına karşı saydamdır.
- b.) Ara değerde bir voltaj uygulandığında (lityum iyonları (Li^+) ve elektronlar (e^-)) devre üzerinden akış gösterir. Nano parçacıklar elektrot tabakasında birikmeye başlar ve yapının ışığı geçirgenliği azalır.
- c.) Voltaj değerindeki artışla orantılı ışık geçirgenliği azalır.



Şekil 4.4 : Güneş ışığının görünür ve yakın kızıl ötesi (ısı) kısmını soğurulmasını seçici kontrol edebilen elektrokromik camların kompozit yapısı.



Şekil 4.5 : Elektrokromik camın iç yapısı ve renk değişim süreci.

İki saydam iletken arasında elektrik potansiyeli uygulandığında, toplanma katmanından çıkan iyonlar (genellikle lityum ve hidrojen) iletken bölümü geçerek elektrokromik kısma doğru hareket eder ve dolayısıyla optik özelliklerini değiştirir. Bu durumun aksine, elektriksel uyarım ortadan kalktığında da elektrokromik katmana geçmiş olan iyonlar iletken kısım üzerinden toplanma kısmında depolanmak üzere çıkış yaparlar. Bu durum gerçekleşince cihaz tekrar saydam bir hal alır.

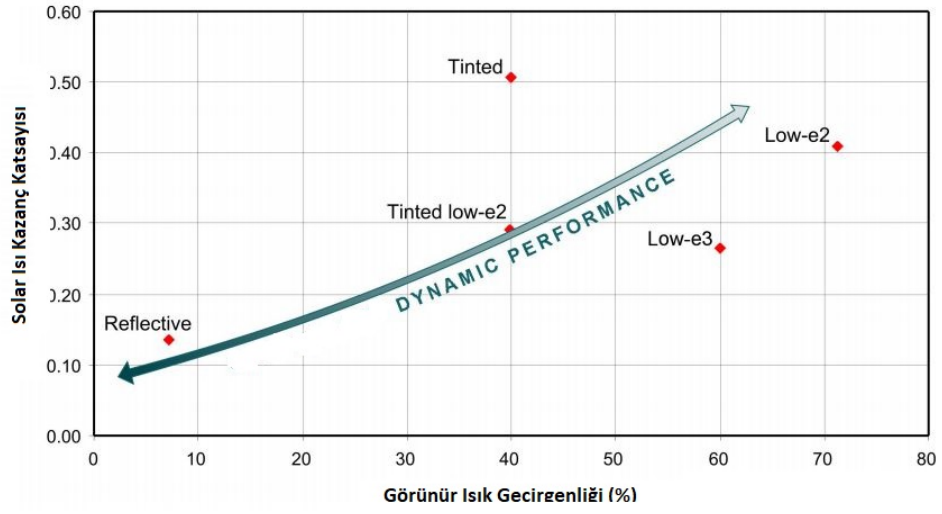
Mevcut cam kaplamalar kullanılan elektrokromik malzemeye bağlı olarak genellikle yeşil ve mavi renklerde olur. Örneğin tungsten oksit saydamlıktan mavi renge geçer. Saydamlık derecesi ara haller ile cihazın kapalı olması durumunda gerçekleşen tamamen saydam ve bütünüyle renkli hal durumunda olabilir. Ortalama ışık geçirgenliği saydam halde %60'dan, opak halde %1'e düşer. SHGC değeri ise 0,46 ile 0,06 aralığında değişir.

Sistemin farklı renklerdeki hallerine dönüşümü için gerekli olan enerji, minimum 1-2,5W_p/m² arasındadır. Elektrokromik malzemelerin iki durumlu konfigürasyon özelliği sayesinde arzu edilen renk halini sürdürebilmek için daha da az enerjiye ihtiyacı vardır. İhtiyacı olan enerji 0,4W/m²'den azdır.

Elektrokromik camlar, sağlıklı çalıştığı takdirde renk değişimi esnasında cam yüzeyi neredeyse kusursuz bir eşdağılımlılık gösterir. Koyulaşma kenarlardan başlar, içerilere doğru ilerler ve yavaş bir süreç izler. Bunun gerçekleşmesi panel ölçülerine göre değişmekle birlikte süresi birkaç saniyeden birkaç dakikaya kadar sürebilir. Anahtarlama hızı aynı zamanda cam sıcaklığına da bağlıdır. Genellikle renklenme süresi saydamlaşma haline göre biraz daha uzun sürer. Ilıman ve sıcak iklimlerde genellikle 90x150 cm'lik bir pencerenin renklenme halinin %90'lık kısmına ulaşması 5-10 dakika alır. Bu süre sıcaklık düştükçe artmakla birlikte camın renklenme kontrolünde bir değişiklik olmaz. Camın kademeli olarak geçirgenliğinin değişmesi kullanıcılar için ışık seviyelerindeki değişikliklere rahatsızlık veya dikkat dağılması yaşamadan doğal bir şekilde alışmasına sebep olur. Elektrokromik cam koyu bir halde bile görüş imkanı sunar ve bu sayede dış ortam ile belli bir temas sürdürülür. Piyasadaki çoğu üründe dört hal kademesi mevcuttur.

EC camların en büyük avantajı düşük güç ve (0-10 VDC) gerilimde çalışmalarıdır. Gerilim altında olmadığı durumlarda saydamdır. Tam renkli veya ara renkleri verecek şekilde ayarlanabilir. Boyalı camlarda olduğu gibi renkli konumdayken solar ışıının soğrulur, yansıtıcı özellikli olanları ile ilgili araştırmalar sürdürülmektedir. Low-e kaplama bazı EC camların kendi özelliğidir ve yalıtım camları ile birlikte yapılandırılıp, soğrulan ısıanın iç ortama taşınması önlenmektedir. Genellikle gün içinde güneşin ve parlamasının etkilerini kontrol etmek ve mahremiyet düşük ışık iletimi için tercih edilir. Elektrokromik camlar bu anlamda iç gölgeleme ihtiyacını ortadan kaldırma potansiyeline sahiptir. Pasif solar ısıtmanın istendiği kış aylarında, gün içinde güneş ışınlarının doğrudan mahale yansımadağı zamanlarda ve kapalı havalarda yüksek ışık geçirgenliği tercih edilir. Elektrokromik camlar değişken iklim şartlarına cevap verebilme kabiliyetine sahiptir. (Şekil 4.6)

EC camla ilgili kontrol kademelerinin artırılması, anahtarlama süresinin kısaltılması, gizliliği geliştirmek ve enerji tüketimini azaltmak, renkli haldeyken opaklığın artırılması gibi teknolojik araştırmalar sürmektedir. (Şekil 4.7)



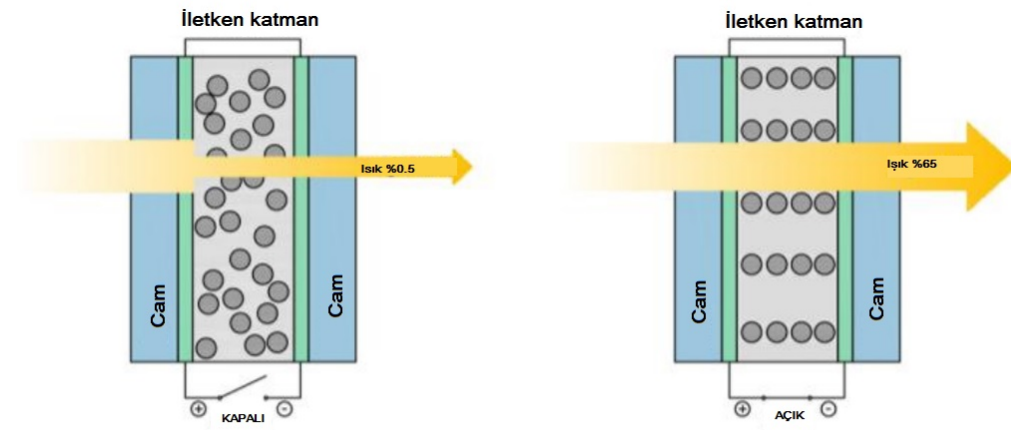
Şekil 4.6 : Elektrokromik cam sisteminin solar faktör görünür ışık geçirgenliği ilişkisi ve statik cam sistemlerine göre durumu.



Şekil 4.7 : Elektrokromik camın sağdan sola renk değiştirme aşamalarının gözlemlenebileceği saha testleri görülmektedir.

4.4 Askıda Tanecikli Cam Sistemleri

Askıda tanecikli cihazlar (SPD) iki cam levha arasına, akışkan içerisinde askıda duran çubuk benzeri taneciklerin bulunduğu ince laminasyonun yerleştirilmesi ile elde edilir. Bu tanecikler laminasyon içinde saydam elektriksel iletken ince film tabakası arasına konumlandırılmıştır. (Şekil 4.8) Sisteme güç verildiğinde askıda duran çubuk benzeri tanecikler düzgün bir şekilde sıralanır, ışığın geçişi gerçekleşir ve cam saydam bir hal alır. Enerji kesildiğinde ise tanecikler dağınık bir hal alır ve ışık geçişini engeller. Bu durumda cam koyu (opak), mavi veya son yıllardaki gelişmelerle elde edilen gri veya siyah renkte bir hal alır. SPD camlar, geçen ışık veya ısıyı anlık olarak kontrol edebilirler.



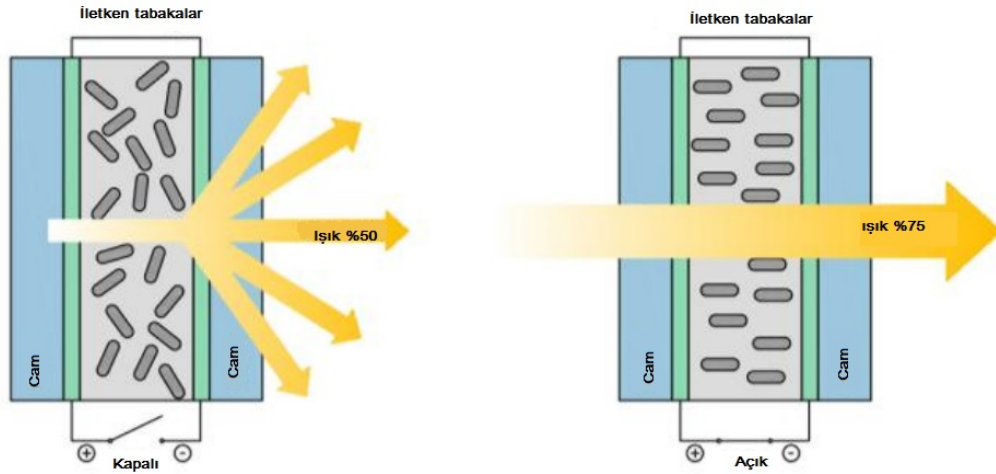
Şekil 4.8 : SPD camın çalışma süreci.

SPD akıllı camlar koyu haldeyken görünür ışınının %99,4'ünü engelleyebilir; zararlı UV ışınlarına karşı kapalı veya açık her iki durumdayken koruma sağlayabilirler. SPD camların ışık geçirgenlik ve solar ısı kazanç oranı saydam ve opak hallerde, sırasıyla VLT %65-0,5 ve SHGC 0,57-0,06'dır. Anahtarlama hızı saniyeler mertebesinde. Yüksek anahtarlama hızı kullanıcılara bütünüyle kontrol özelliği sunar. Bununla beraber enerjisiz kaldığı zaman yarı saydam özelliğe sahip olması sebebiyle, SPD camlar otomotiv endüstrisinde (yan ve arka pencereler, saydam güneşlik), deniz taşıtlarının (pencere ve güneşliklerinde) ve havacılık sektöründe (otuzdan fazla farklı modelde pencerede) tercih edilmektedir. Bu cihazlar çalışma gerilimi olarak 100 VAC güce ihtiyaç duyarlar ve saydam ile renkli hal arasında sınırsız ara duruma tonlanabilir. Güç ihtiyacı anahtarlama için 5W/m² ve sürekli geçirgen halde kalması içinse 0,55w/m²'dir. İleri araştırmalar ile çalışma gerilimi

35V AC'e kadar düşürülmüştür. Maviden farklı renkler (yeşil, kırmızı ve mor) ve güneş çarpanı daha geniş bir aralıkta olan ürünler geliştirilmiştir. Halihazırda levha ölçüleri 1524 x 3048 mm'e kadar (boyu istenen ölçüde) olan ve düzlemsel veya eğik gibi farklı şekillerde olan ürünler mevcuttur. Dayanıklılık ve optik solar özellikleri uzun vadeli sınınamamıştır. Bununla birlikte yüksek maliyetleri piyasada tercih edilmelerine engel teşkil etmektedir. Sektördeki en pahalı üründür.

4.5 PDLC Cam Sistemleri

Kol saatleri gibi elektronik cihazlarda kullanılan likit kristal teknoloji, mimaride genelde cam bölmelerde mahremiyet amaçlı kullanılmaktadır. Likit kristal sistemler, iki cam levha arasına polimer disperse sıvı kristal filmin yerleştirilmesi ile elde edilir. Aslında polymer matrix lamine film, saydam ve iletken özellikli ince plastik tabakalar arasındadır. Bu film içinde görünür ışının dalga boyu ile aynı ölçekte küçük sıvı kristal küreler mevcuttur. (Şekil 4.9)



Şekil 4.9 : PDLC Cam sisteminin çalışma süreci.

Elektriksel bir etki bulunmadığı durumlarda likit kristaller düzensiz dağılmıştır ve ışık ışınlarının geçerken rastgele kırılmasıyla cam kaplı eleman beyaz, mat ve yarı saydam bir hal alır. Elektriksel alan uygulandığı durumlarda ise likit kristaller aynı yönde sıralanarak panellerin saydam bir hal alması sağlanır. Geçirgenliğin derecesi uygulanan voltaj ile kontrol edilebilir. Aktif durumda sıvı kristallerin ışık geçirgenliği normalde %70'i aşmaz, buna rağmen kapalı haldeyken %50 durumdadır. Bazı durumlarda kapalı durumda karartmayı artırabilmek için bazı boyalar

kullanılmaktadır. Sıvı kristal sistemleri optimal olarak doğrudan gelen anlık solar ışınlamayı dağıtırken, güneş faktöründe önemli bir düşüşe sebep olmazlar. Bu değer genellikle 0,69 ila 0,55 arasında olur. İlaveten elektrokromik sistemlere kıyasla likit kristaller kararlı hal durumu göstermezler ve sağlıklı işlemesi için sürekli elektrik alan uygulanma ihtiyacı sebebiyle devamlı elektrik enerji tüketimi gerektirir (5-10W/m², 65V ila 110V AC işletme gerilimi şartlarında). PDLC sistemleri genellikle mağaza pencereleri, toplantı odaları, yoğun bakım üniteleri, banyolar veya saydam duvarların kısa süreli projeksiyon ekranı olarak kullanılması gerektiği gibi durumlarda gizlilik amaçlı tercih edilir. PDLC sistemleri ayrıca yapışkan akıllı film olarak da cam ürünlere sonradan uygulanabilmektedir. (Şekil 4.10)



Şekil 4.10 : PDLC film kaplamalı cam uygulanmış pencereler.

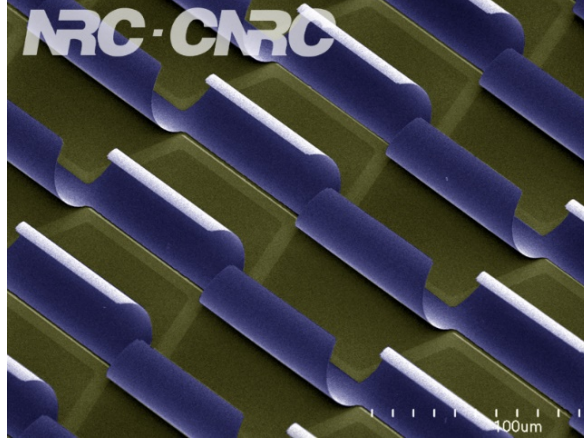
4.6 Gelişmekte Olan Cam Teknolojileri

Gelişmekte olan dinamik sistem teknolojileri içinde özellikle “micro-blind” tümleşik akıllı camlar ve nanokristal tabanlı elektrokromik malzemeler ileriye dönük mimari uygulamalar için umut vadetmektedir.

Mikro blind kaplama camlar inorganik dairesel öngerilmeli elektrotlar içerir. Çıplak gözle görülemeyecek kadar küçük (100 mikrometre) olan bu elektrotlar elektrostatik bir etkiye maruz kaldıklarında gevşerler ve sarımlı şekilleri açılır. Bu MEMS (Mikro Elektrik Mekanik Sistemler) cam levha üzerine magnetron tabaka depolanmasıyla gerçekleşir. Bu durum low-e camlardaki kaplama ve sonradan lazerle şekillendirmeden çok da farklı değildir. Şu anda deneme aşamasında olsa da ürünün performansı geleneksel dinamik elektrik kontrollü camlarla kıyaslanabilir. En büyük avantajı yüksek fiyatlı indium-tin oksit iletken tabakaya ihtiyaç duymaması ve aktivasyon ve deaktivasyon sürelerinin milisaniyeler mertebesinde olmasıdır.

MEMS’ler farklı özellikte malzeme özellikleri gösterebilme kabiliyetine sahiptirler, örneğin UV ışınları engellemek veya daha sağlıklı iç ortam koşulları için tersi de mümkündür. Yansıtıcı malzemeler ile birlikte kullanılarak koruma konfigürasyonda performansı artırılabilir. Lazer kabartmalı modunda geliştirme faaliyetleri sürmektedir. Basit bir yapıda olması, üretim kolaylığı ve düşük maliyeti sebebiyle sektörde önemli yer tutacak ürünler arasında olması beklenmektedir.

Nanoteknolojik elektrokromik malzemeler yerine, yakın zamanda labratuar ortamında camsı yapıdaki niobium oksit matriksine gömülü indium tin oksit kristallerinin bulunduğu yeni bir teknoloji geliştirilmiştir. Ortaya çıkan bileşik elektriksel darbe ile bağımsız olarak görünür ışık ve kızıl ötesi ısıtım kontrolüne olanak verebilmektedir. İstenmeyen enerjiyi engellerken aynı zamanda herhalde mümkün olan en iyi görünür ışık geçişini sağlanması üzerinde çalışmalar sürmektedir. Sektörde kullanıma hazır olan cam sistemleri teknolojileri özelliklerine göre ve kullanıcı ihtiyaçlarını karşılayabilmelerine göre tercih edilmektedir. (Şekil 4.11) Gelişmekte olan teknolojiler bütün cam sistemlerinde ihtiyaçlara cevap verebilecek olan bir çözüm olabilir.



Şekil 4.11 : Microblind’ların elektron mikroskobu ile görüntüsü.

Elektrokromik malzemeler yerine, yakın zamanda labratuar ortamında camsı yapıdaki niobium oksit matriksine gömülü indium tin oksit kristallerinin bulunduğu yeni bir teknoloji geliştirilmiştir. Ortaya çıkan bileşik elektriksel darbe ile bağımsız olarak görünür ışık ve kızıl ötesi ısıtım kontrolüne olanak verebilmektedir. İstenmeyen enerjiyi engellerken aynı zamanda mümkün olan en iyi görünür ışık geçişini sağlanması üzerinde çalışmalar sürmektedir. Piyasada mevcut olan dinamik cam sistemlerinin teknik özellikleri karşılaştırması Çizelge 4.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 : Farklı tipteki aktif dinamik cam sistemleri karşılaştırma tablosu.

Özellikleri	Pasif sistemler	Aktif sistemler		
	TC Termokromik	EC Elektrokromik	SPD Askıda parçacıklı	PDLC Likit kristal
Saydam hal	Düşük sıcaklık	Kapalı	Açık	Açık
Koyu hal	Yüksek sıcaklık	Açık	Kapalı	Kapalı
Görünür Işık Geçirgenliği (Saydam)	%60	%60	%65	%75
Görünür Işık Geçirgenliği (Koyu)	%5	%1	%0,5	%50
SHGC-Güneş Isı Kazanç Faktörü (Saydam)	0,37	0,46	0,57	0,69
SHGC-Güneş Isı Kazanç Faktörü (Koyu)	0,12	0,06	0,06	0,55
UV Geçirgenliği (Saydam)	%0	%0,4	%0,1	%0,5
UV Geçirgenliği (Koyu)	%0	%0	%0,1	%0,5
Koyu halde gizlilik sağlanması	Hayır	Hayır	Limitli	Evet
Saydam halden koyu hale geçerken ışık kontrol kademe sayısı	Hayır	Tipik 4 hal	Limitsiz	2 (Geçirgen ve bulanık)
Saydam halden koyu hale geçerken sürekli hal	Evet	Evet	Evet	Hayır
Aydınlatma bölgelemesi	Hayır	Evet	Evet	Evet
İşletme sıcaklığı	-20 ile 160 C°	-20 ile 70 C°	-40 ile 120 C°	-20 ile 70 C°
Maksimum ölçü	1651 mm x herhangi bir uzunluk	1524 x 3048 mm	1524 mm herhangi bir uzunluk	1828 x 3567 mm
Şekil	Her şekil, kavisli olanlar dahil	Dikdörtgen, kare, yamuk, üçgen	Her şekil, delikli veya kavisli	Her şekil, delikli veya kavisli
Renk	Mavi, Yeşil, Bronz, Gri	Mavi, Yeşil	Tipik olarak mavi	Saydam, Bronz, Gri, Yeşil tonlar
İşletme voltajı	-	12 V DC	65-110 V AC	65-110 V AC
Hal geçişi güç ihtiyacı	-	2,5 W/m ²	5 W/m ²	5-10 W/m ²
İşletme gücü	-	0,4 W/m ²	0,55 W/m ²	5-10 W/m
Anahtarlama hızı	Birkaç dakika	Aralığının %90'ına ulaşması 3 ila 5 dakika	1 ila 3 saniye	Anlık (0,1 sn)
Kontrol	Hayır	Duvar anahtarı, Uzaktan kontrol, Hareket sensörü, Işık ve sıcaklık sensörü, Zamanlayıcı	Duvar anahtarı, Uzaktan kontrol, Hareket sensörü, Işık ve sıcaklık sensörü, Zamanlayıcı	Duvar anahtarı, Uzaktan kontrol, Hareket sensörü, Işık ve sıcaklık sensörü, Zamanlayıcı
Bina otomasyonuna uyum	-	Evet	Evet	Evet
Maliyet	En düşük	Orta	En yüksek	Yüksek
Dayanıklılık	>20 yıl	>30 yıl	>20 yıl	>10 yıl

5. ELEKTROKROMİK CAM SİSTEMLERİNİN ÖRNEK BİR OFİS BİNASI İÇİN ENERJİ KAZANCI PERFORMANSININ DEĞERLENDİRMESİ

Elektronik olarak ayarlanabilir cam kaplamaları, binalarda, enerji tasarrufu sağlamakta, dolayısıyla CO₂ salınımını düşürmekte, oturanların konforunu ve üretkenliğini artırmaktadır. Elektrokromik cam üreticileri, farklı iklim koşullarındaki şehirleri için yaptığı çalışmaya göre elektrokromik camlar yeni binalarda soğutma ekipmanı maliyetlerinde %30-35, eski binalarda %40-50 oranında tasarruf sağlayabilmektedir.

Bu çalışmada ise elektrokromik tipinde dinamik cam kaplamalı pencere ile standart düz camlı ve yüksek performanslı statik camlı binanın enerji performansı özelliklerine göre karşılaştırması Türkiye koşullarına göre yapılmıştır. Farklı ticari cam sistemlerinin bina enerji simülasyonu, DOE-2.2 tabanlı E-Quest 3.65 yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. DOE-2.2 bina tasarım aşamasındayken enerji modeli oluşturmak, enerji performans analizi yapmak için tasarlanmış bir yazılımdır. E-Quest, (Quick Energy Simulation Tool'un kısaltması) DOE-2.2 simülasyon motorunun ücretsiz bir kullanıcı arayüzüdür.

Çalışma için sekiz katlı bir ofis binası seçilmiş, ASHRAE 90.1-2007 ve TS825 standardı baz alınarak modelleme yapılmıştır.

5.1 Çalışma Alanlarının Belirlenmesi

Modelleme için TS825 kriterleri baz alınarak 5 ayrı iklim bölgesi için örnek il olarak İzmir, İstanbul, Ankara, Kayseri ve Kars seçilmiştir. Çalışmada kullanılan standartlar içeriği aşağıda özetlenmiştir;

TS825 (Aralık 2013) Binalarda ısı yalıtım kuralları:

Bu standart ülkemizdeki binaların ısıtılmasında kullanılan enerji miktarlarını sınırlamak, enerjiden tasarruf etmek ve net ısıtma enerjisi ihtiyacının hesaplanması sırasında kullanılacak standart hesap metodu ve değerlerini belirlemeyi amaçlamaktadır. Binaların ısıtılması ve soğutulması için gerekli enerji ihtiyaçlarının

hesaplanması için basit (saatlik), aylık (mevsimsel) ve dinamik simülasyon olarak tanımlanan alternatif metodlar ise TS EN ISO 13790 standardında verilmiştir. TS825 standardı ayrıca aşağıdaki amaçlarla da kullanılabilir.

- Standartta açıklanan hesap metodunu ve verilen değerleri, yeni yapılacak bir binaya ait çeşitli mimari tasarım seçeneklerine uygulayarak, ısıtma enerjisi tüketiminde tasarruf sağlayacak optimum mimari tasarım seçeneğini belirlemek
- Mevcut binaların net ısıtma enerjisi tüketimlerini belirlemek,
- Mevcut bir bina için hazırlanmış olan yenileme projesi uygulanmaya başlanmadan önce, uygulanabilecek enerji tasarruf tedbirlerinin sağlayacağı tasarruf miktarlarını belirlemek,
- Mevcut yapı stokunu temsil edebilecek muhtelif binaların ısıtma enerjisi ihtiyacını hesaplayarak, bina sektöründe gelecekte ihtiyaç duyulacak olan ısıtma enerjisi miktarını ülke ölçeğinde tahmin etmek.

ASHRAE 90.1 (2007)

Orjinal hali ilk olarak 1975’de yayınlanan standart; 1980, 1989 ve 1999 yıllarında ANSI (American National Standards Institute) ve ASHREA (American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers) periyodik bakım prosedürlerine göre güncellendi. Bu standardın amacı az katlı konutlar hariç binaların enerji verimli tasarımı ve inşaatı için en düşük gereklilikleri belirlemektir. Bu standardın kapsamına yeni yapılacak binalar, binaların yeni bölüm ve sistemleri, mevcut binaların yeni sistem ve ekipmanları girer. Kapalı alanlarının ısıtma sistemi çıkış kapasitesi 10W/m^2 nin üzerinde veya soğutma kapasitesi 15W/m^2 olan binalarda bu standartlardaki koşullara uygunluk aranır. Isıtma, havalandırma, iklimlendirme, su ısıtıcı, elektrik dağıtım ve ölçüm, elektrik motor ve sürücü, aydınlatma sistemleri standardın kapsamındadır. Zemin üstü kat sayısı üçten az olan binalar, prefabrik ve modüler yapılar bu standardın kapsamı dışındadır.

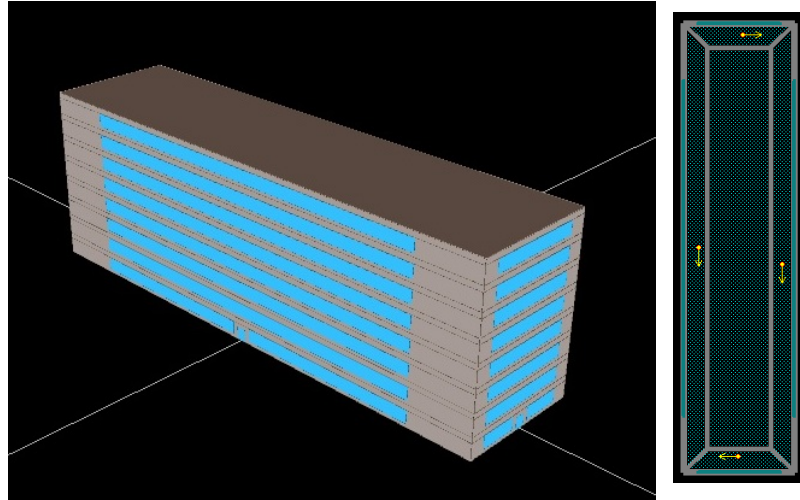
5.2 Bina Modelinin Hazırlanması

Mevcut bir ofis binasının mimari, mekanik ve elektrik projelerinden faydalanılarak farazi bir ofis modeli oluşturulmuştur. Bu çalışma için geliştirilen model her kat alanı yaklaşık 1850m^2 olan 8 katlı bir açık ofis binasıdır. (Şekil 5.1) Çevre alanı derinliği

4,5 metre olduğu kabul edilmiştir. Çevre alanı derinliği, aydınlatma armatürlerinin günışığı sensörleri ile kontrolü için önem taşımaktadır. Sensörler, derinliğin orta noktasından aldığı aydınlatma şiddeti değerine göre aydınlatma armatürlerini karartabilmekte veya açabilmektedir. Binanın bütünün toplam alanı yaklaşık 14830m² olup; asansörler, merdivenlerin, tuvaletlerin ve ekipman alanlarının binanın çekirdek kısmında yer aldığı kabul edilmiştir. Binanın uzun kenarı doğu/batı yönüne bakacak şekilde konumlandırılmış ve pencere duvar oranı tüm yönlerde %60 olacak şekilde seçilmiştir. (Çizelge 5.1)

Çizelge 5.1 : Ofis binası E-Quest modeli değerleri.

KATEGORİ BİNA CEPHESİ	TANIM
Kat sayısı	8
Kat uzunlukları	21,3 m x 86,9 m
Bina kapalı alanı	14,827 m ²
Döşemeden döşemeye yükseklik	3,66 m
Döşemeden tavana yükseklik	2,74 m
Pencere yüksekliği	2,19 m
Pencere eşik yüksekliği	0,49 m
Pencere/duvar oranı	%60, tüm katlarda ve dört yönde



Şekil 5.1 : Örnek ofis binası modellemesi

5.3 Enerji Performans Modelinin Oluşturulması

Her il için E-Quest simülasyon programı kullanılarak, iklim koşulları göz önünde bulundurularak enerji performans modellemesi oluşturuldu. Performans değerlendirilmesinde bazı kabuller yapılmıştır. Binanın minimum yalıtım seviyeleri, kullanıcı yükü, ekipman verimlilikleri ve zamanlamalarda dahil olmak üzere

performans değerlendirmeleri için ASHRAE 90.1-2007 ve TS825 standardı kullanılmıştır.

Her pencere sistemi rahatsız edici parıltıyı nleyebilmelidir. Elektrokromik sistemler elektronik olarak renk değiştirebilerek parıltıyı önleyebilmekte ve gölgeleme veya perdeleme için bir başka elemana ihtiyaç duymamaktadır. Ticari statik cam kaplama sistemleri parıltının önüne geçmek için gölgeleyici ekipmanlara ihtiyaç duyar. Elektrokromik camlar optimum enerji performansı ve parıltıyı önleyebilmek için bina yönetim sistemine entegre edilmiştir. Statik cam kaplama sistemleri manuel gölgeleme ekipmanları ile kullanıcılar tarafından kontrol edildiği varsayılmıştır. Bilgisayarlar, yazıcılar, görev aydınlatmaları vs. gibi elektronik ofis ekipmanlarının toplam yükü 0,75w/ft² olduğu kabul edilmiştir. E-Quest yazılımında hazırlanan modelin parametreleri ve kaynakları izelge 5.2, izelge 5.3 ve izelge 5.4’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.2 : Ofis binası enerji performans modeli bina kabuğu parametreleri

KATEGORİ	TANIM	Standartlar
atı U-değeri	1.Bölge: 0,43 W/m ² K	TS 825
	2.Bölge: 0,38 W/ m ² K	
	3.Bölge: 0,28 W/ m ² K	
	4.Bölge: 0.23 W/ m ² K	
	5.Bölge: 0.21 W/ m ² K	
Dış duvar U-değeri	1.Bölge: 0,66 W/ m ² K	TS 825
	2.Bölge: 0,57 W/ m ² K	
	3.Bölge: 0,48 W/ m ² K	
	4.Bölge: 0.38 W/ m ² K	
	5.Bölge: 0.36 W/ m ² K	
Zemin U-değeri	10,16 cm	TS 825
Toprağa temaslı döşeme U-değeri	1.Bölge: 0,66 W/ m ² K	
	2.Bölge: 0,57 W/ m ² K	
	3.Bölge: 0,43 W/ m ² K	
	4.Bölge: 0.38 W/ m ² K	
	5.Bölge: 0.36 W/ m ² K	

Çizelge 5.2 (devam) : Ofis binası enerji performans modeli bina kabuğu parametreleri

KATEGORİ	TANIM	Standartlar
Pencere U-değeri	Tek cam: 5,8 W/m².K Çift cam: 2,4 W/m².K Üçlü cam: 1,5 W/m².K ASHRAE (İzmir – İklim Bölgesi 3): 3,41 W/m².K ASHRAE (İstanbul – İklim Bölgesi 4): 2,84 W/m².K ASHRAE (Ankara – İklim Bölgesi 4): 2,84 W/m².K ASHARE (Kayseri – İklim Bölgesi 4): 2,84 W/m².K ASHRAE (Kars – İklim Bölgesi 6): 2,56 W/m².K Elektrokromik çift cam (açık): 1,65 W/m².K Elektrokromik çift cam (kapalı): 1,65 W/m².K Elektrokromik üçlü cam (açık): 1,31 W/m².K Elektrokromik üçlü cam (kapalı): 1,31 W/m².K	ASHRAE Standart 90.1- 2007 Tablo 5.5 ve Tablo G3.1 (5)
Pencere gölgeleme katsayısı	Tek cam: 0,97 Çift cam: 0,51 Üçlü cam: 0,45 ASHRAE (İzmir – İklim Bölgesi 3): 0,29 ASHRAE (İstanbul – İklim Bölgesi 4): 0,46 ASHRAE (Ankara – İklim Bölgesi 4): 0,46 ASHARE (Kayseri – İklim Bölgesi 4): 0,46 ASHRAE (Kars – İklim Bölgesi 6): 0,46 Elektrokromik çift cam (açık): 0,55 Elektrokromik çift cam (kapalı): 0,16 Elektrokromik üçlü cam (açık): 0,56 Elektrokromik üçlü cam (kapalı): 0,1	ASHRAE Standart 90.1- 2007 Tablo 5.5 ve Tablo G3.1 (5)
Pencere gün ışığı geçirgenliği katsayısı	Tek cam: 0,89 Çift cam: 0,71 Üçlü cam: 0,63 ASHRAE (İzmir – İklim Bölgesi 3): 0,40 ASHRAE (İstanbul – İklim Bölgesi 4): 0,40 ASHRAE (Ankara – İklim Bölgesi 4): 0,40 ASHARE (Kayseri – İklim Bölgesi 4): 0,40 ASHRAE (Kars – İklim Bölgesi 6): 0,40 Elektrokromik çift cam (açık): 0,64 Elektrokromik çift cam (kapalı): 0,12 Elektrokromik üçlü cam (açık): 0,64 Elektrokromik üçlü cam (kapalı): 0,12	ASHRAE Standart 90.1- 2007 Tablo 5.5 ve Tablo G3.1 (5))
Gölgeleme ekipmanı	Yok	-

Çizelge 5.3 : Ofis binası enerji performans modeli (HVAC) ısıtma, soğutma, havalandırma parametreleri

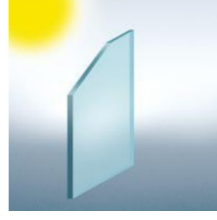
KATEGORİ	TANIM	ASHRAE Standart 90.1-2007'deki Referans
Sistem Tipi	ASHRAE 90.1-2007 Ek G Sistem Tip 7	Tablo G3.1.1
Fan kontrol tipi	Değişken hava debili (VAV, Variable Air Volume)	Tablo G3.1.1
Soğutma tipi	Sulu tip	Tablo G3.1.1
Isıtma tipi	Doğal gaz kazanlı	Tablo G3.1.1
Ekonomizör	Dahil edilmedi	Tablo G3.1.2.6
Üfleme hava sıcaklığı	12,8 C° /35C° minimum soğutma koşullarına dayanan sıfırlama; Delta 5F	G3.1.2.8 ve G3.1.3.12
Fan sistemi işletmesi	Mahaller doluyken sürekli, mahalde kullanıcı yokken ısıtma ve soğutma yüklerini karşılamak için	G3.1.2.4
Üfleme hava debisi	E-QUEST tarafından hesaplandı	-
Fan gücü	Üfleme/dönüş havası hacmine dayanılarak hesaplandı	G3.1.2.9
VAV minimum akış ayar noktası	0.12 m ³ dk/ m ²	G3.1.3.13
VAV fan kısmi yük performansı	Kısmi yük fan gücü denklemini kullanarak	Tablo G3.1.3.15
Soğutma grubunun sayısı ve tipi	2 vidalı soğutma grubu	Tablo G3.1.3.7
Soğutma grubu kapasitesi	E-QUEST tarafından boyutlandırıldı	-
Soğutma grubu verimi	4.9 COP	150 ton ve 300 ton soğutma yüküne sahip vidalı soğutma grupları için Tablo 6.8.1C
Soğutma suyu besleme/dönüş sıcaklığı	6,6 C°/13,3 C°, dış hava kuru termometre sıcaklığına dayalı besleme sıcaklığı sıfırlama	G3.1.3.8 & G3.1.3.9
Soğutma suyu pompaları	Birincil/ikincil sistem, 2 primer pompa ve 1 ikincil çevrim pompası, İkincil çevrim pompasının üzerindeki değişken hız sürücüsü	G3.1.3.10
Kazan sayısı ve tipi	Pompa gücü = 22 W/gpm 2 doğal gaz kazanı	G3.1.3.2
Kazan kapasitesi	E-QUEST tarafından boyutlandırıldı	-
Kazan verimi	22860 W kapasite için %80	Tablo 6.8.1F
Sıcak su besleme/dönüş sıcaklığı	82,2 C°/54,4 C°, dış hava kuru termometre sıcaklığına dayalı besleme sıcaklığı sıfırlama	G3.1.3.3 & G3.1.3.4
Sıcak su pompaları	Sadece birincil sistem Değişken hızlı tahrikli 2 primer pompa Pompa gücü = 19 W/gpm	G3.1.3.5
Isı atımı	1 aksiyel fanlı soğutma kulesi, 2 hızlı fan	G3.1.3.11
Kondenser suyu devresi	Kule suyu giriş sıcaklığı: 29,4 C°	G3.1.3.11
Kondenser suyu pompası	Her soğutma grubu için tek hızlı pompa Pompa gücü = 19 W/gpm	G3.1.3.11
Kişi yoğunluğu	ASHRAE 62.1-2007 varsayılan kişi sayıları	-
Dış hava oranı	0,56 m ³ /kişi	-
Isıtma ayar değeri	21,1 C° ve 17,7 C° kullanım dışı saatlerde	Yaklaşım
Soğutma ayar değeri	24,4 C° ve 27,7 C° kullanım dışı saatlerde	Yaklaşım

Çizelge 5.4 : Ofis binası enerji performans modeli aydınlatma, priz ve kullanma suyu yükleri

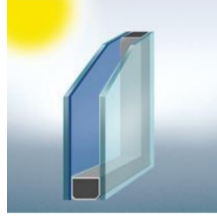
KATEGORİ	TANIM	ASHRAE Standart 90.1-2007'deki Referans
Aydınlatma güç yoğunluğu	11,8 W/m ²	Tablo 9.6.1'deki mahal metodu
	Mekanik ve elektrik odaları için 16,14 W/m ²	Tablo 9.6.1'deki mahal metodu
	Tuvaletler için 9,68 W/m ²	Tablo 9.6.1'deki mahal metodu
	Lobiler için 14,4 W/m ²	Tablo 9.6.1'deki mahal metodu
Priz yükleri	8,073 W/m ²	ASHRAE 90.1-2007 Kullanıcı kılavuzu Tablo G-B
KULLANMA SICAK SUYU		
Su ısıtma ekipmanı	4 tane 38 litrelik gaz depolama su ısıtıcısı, 2 kat için 1 adet	Kabul
Isıtma kapasitesi/tank hacmi	0,37 lt/kişi/gün su kullanımı varsayımına dayalı olarak E-QUEST ile boyutlandırılmıştır.	-
Isıl verim	%80	Tablo 7.8
Tank bekleme kaybı	351,69 W	Isıtma kapasitesi 22.860 Watt'tan yüksek değerler için Tablo 7.8

Elektrokromik camın enerji tüketimine olan etkisi binanın hangi iklim bölgesinde olduğu ile ilgilidir. Bu çalışmada Türkiye için TS825'de belirlenen 5 farklı ilim bölgesi için sonuçlar değerlendirilmiştir. Cam değerleri piyasada kullanılan ürünlerin kataloglarından (Çizelge 5.5, Çizelge 5.6, Çizelge 5.7) ve ASHRAE 90.1'de tanımlı olan minimum performansa göre seçilmiştir.

Çizelge 5.5 : Tek cam performans değerleri.

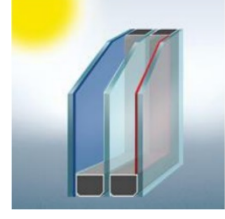
CAM: Renksiz Cam 4mm (Renksiz)		
		
Gün Işığı Geçirgenliği (EN410)	Gün Işığı Geçirgenliği	%89
	Gün Işığı Dışa Yansıtma	%8
	Gün Işığı İçe Yansıtma	%8
Güneş Enerji Değerleri (EN410)	Güneş Enerjisi Direkt Geçirgenliği	%82
	Güneş Enerjisi Dışa Yansıtma	%7
	Güneş Enerjisi Soğurma	%11
	Güneş Ener. Toplam Geçirgenliği (Solar faktör / g)	%85
	Gölgeleme Katsayısı	%0,97
	UV Geçirgenlik	%82
Isı Geçirgenlik Katsayısı (EN673)	U Değeri W/(m²K)	5,8
Gürültü Yalıtım Değeri (EN 12758)	R _w (C _i C _{tr}) db	29 (-2; -3)

Çizelge 5.6 : Çift cam performans değerleri.

DIŞ CAM: Solar Low-E Cam 4mm Nötral (2.Yüzey)		
BOŞLUK: 6 mm Ara Boşluk (Hava)		
İÇ CAM: Renksiz Düzcam 4 mm Renksiz		
		
Gün Işığı Geçirgenliği (EN410)	Gün Işığı Geçirgenliği	%71
	Gün Işığı Dışa Yansıtma	%10
	Gün Işığı İçe Yansıtma	%11
Güneş Enerji Değerleri (EN410)	Güneş Enerjisi Direkt Geçirgenliği	%40
	Güneş Enerjisi Dışa Yansıtma	%29
	Güneş Enerjisi Soğurma	%32
	Güneş Ener. Toplam Geçirgenliği (Solar faktör / g)	%44
	Gölgeleme Katsayısı	%0,51
	UV Geçirgenlik	%10
Isı Geçirgenlik Katsayısı (EN673)	U Değeri W/(m²K)	2,4
Gürültü Yalıtım Değeri (EN 12758)	R _w (C _i C _{tr}) db	29 (-1; -4)

Çizelge 5.9 : Üçlü cam performans değerleri.

DIŞ CAM: Solar Low-E Cam 4mm Nötral (2.Yüzey)
1.BOŞLUK: 6 mm Ara Boşluk (Hava)
ORTA CAM: Renksiz Düzcam 4 mm Renksiz
2.BOŞLUK: 6 mm Ara Boşluk (Hava)
İÇ CAM: Low-E Cam 4mm Nötral (5.Yüzey)



Gün Işığı Geçirgenliği (EN410)	Gün Işığı Geçirgenliği Gün Işığı Dışa Yansıtma Gün Işığı İçe Yansıtma	%63 %12 %14
Güneş Enerji Değerleri (EN410)	Güneş Enerjisi Direkt Geçirgenliği Güneş Enerjisi Dışa Yansıtma Güneş Enerjisi Soğurma Güneş Ener. Toplam Geçirgenliği (Solar faktör / g) Gölgeleme Katsayısı UV Geçirgenlik	%32 %30 %37 %39 %0,45 %5,4
Isı Geçirgenlik Katsayısı (EN673)	U Değeri W/(m ² K)	1,5

Elektrokromik camlar kullanıcı ihtiyaçlarına göre saydam, opak veya arası hallere geçebilirler. Elektrokromik camların enerji performansına etkilerine göre de farklı kontrol stratejileri mevcuttur. Elektrokromik camın enerjiye olan etkisine göre kontrolü için en uygun olanın ortamdaki gün ışığı olduğu kabul edilmektedir. Bu sebeple modelleme çalışmasında 500 lüks aydınlanma şiddetine göre hesaplama yapılmıştır.

Bu çalışmada günışığı kontrolü, karartılabilir aydınlatma ekipmanlarının veya pencerelerden gelen doğal aydınlatmanın düzenlenmesine dayanmaktadır. Hava şartlarına (bulutlu, açık vs.), güneşin pozisyonu veya kullanılan cama göre günışığı sensörü ortamda istenen optimum aydınlık düzeyini ayarlamaktadır. Kapalı

havalarda elektrokromik cam ortamda istenen aydınlatma seviyesine ulaşılan kadar saydamlaşmakta, açık havalarda karararak ışık ve ısı geçirgenliğini istenilen seviyede tutmaktadır. Aynı zamanda zaman çizelgesine göre de kontrol edilmektedir. Bunun sebebi kış aylarında genellikle binanın ısı enerjisine olan ihtiyacını düşürdüğü için solar ısı kazancının istenen bir etki olmasından kaynaklanır. Yazın ise bu etki tercih edilmez.

Mevsimsel zaman kontrolü ile güneşiği kontrolünün birleştirilmesi enerji performansı açısından optimal çözümdür. Bu çalışmada kış döneminde elektrokromik camların devre dışı olduğu yani tam saydam halde olduğu ve sadece yaz döneminde çalışması durumuna göre modelleme yapılmıştır. Ofis binasında güneşiği sensörü ile kış döneminde aydınlatma ekipmanlarının, yaz döneminde ise elektrokromik camların kontrolü sağlanmıştır, her iki ekipmanında eşzamanlı kontrolü yapılmamıştır. Elektrokromik camın enerji performansına etkisini değerlendirmek için yaz ve kış kapalı olduğu durumda modellenmiştir.

Örnek ofis binasının farklı iklim şartları için enerji performans modellemesi, çeşitli cam karakteristikleri ve koşullar için düzenlenmiştir. ASHRAE 90.1-2007'e göre model koşulları oluşturulurken Türkiye'deki 5 il için cam karakteristikleri, Tablo B-4'deki uluslararası iklim bölgeleri tanımlarına göre belirlenmiştir.

5.4 Enerji Performans Değerlendirmeleri

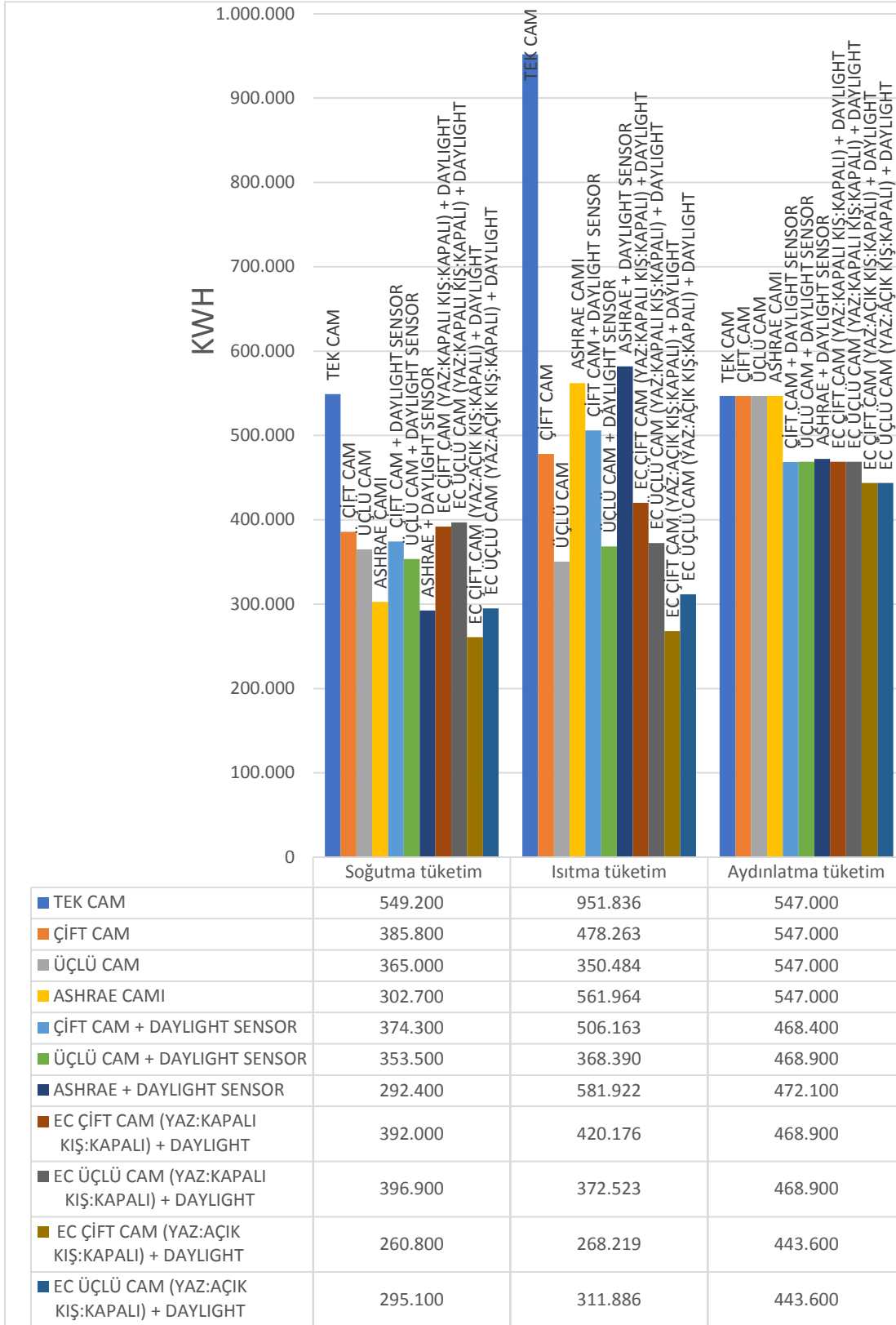
Yukarda belirlenen modelleme koşullarına göre TS825'deki farklı bölgelerindeki her bir şehir için enerji analizi yapılmıştır. 11 ayrı senaryoda ve 5 ayrı cam çeşidi için camların tüm binanın enerji performansı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Binanın tüm opak yüzeyleri TS825'deki değerlere göre belirlenirken, seçilen camların özelliklerinde kullanımdaki camlar temel alınmıştır.

Kullanımdaki camlar tek cam, çift cam, üçlü cam olarak seçilmiştir. ASHRAE standartında belirtilen cam özelliklerinde analizler yapılarak seçilen alternatifler arasında karşılaştırma yaparak sonuçlar değerlendirilmiştir. (Çizelge 5.8) Senaryo 8 ve 9'da elektrokromik cam yazın ve kışın kapalı (saydam) yani çalışmamaktadır. Senaryo 10 ve 11'de sadece yazın açık olup, kışın kapalı olup çalışmamaktadır.

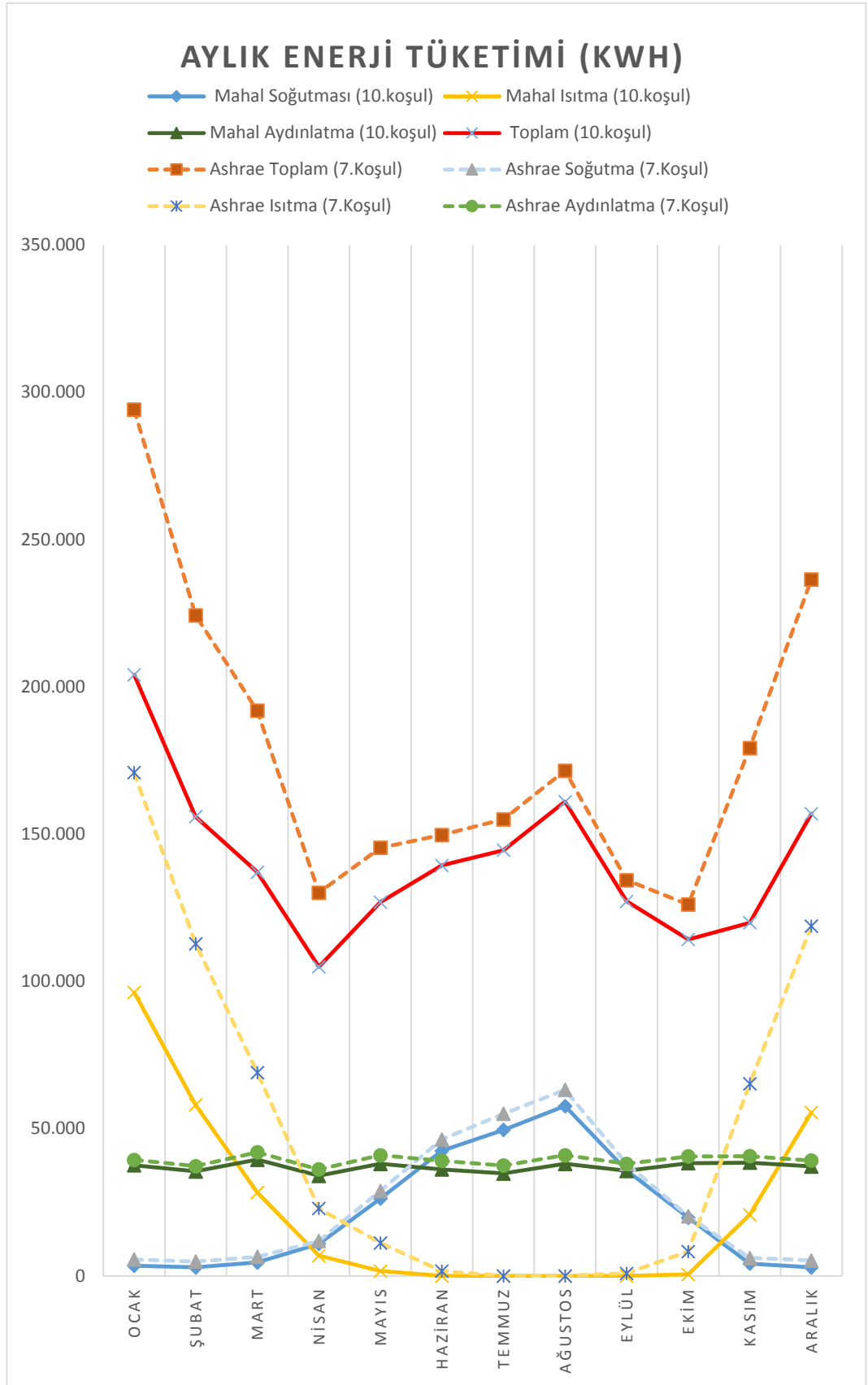
Çizelge 5.10 : Enerji performansı modelleme koşulları.

	Model Koşulu	Açıklama	Cam karakteristiği
1	Tek cam	Opak yüzeyler TS825	$U=5.8\text{w/m}^2\text{K}$, $\text{SHGC}=0.85$, $T_{\text{vis}}=0.89$ (Mevcut binalardaki U değeri)
2	Çift cam low-e	Opak yüzeyler TS825	$U=2.4\text{w/m}^2\text{K}$, $\text{SHGC}= 0.44$, $T_{\text{vis}}=0.71$
3	Üçlü cam low-e	Opak yüzeyler TS825	$U=1.5\text{w/m}^2\text{K}$, $\text{SHGC}= 0.39$, $T_{\text{vis}}=0.63$
4	ASHRAE	Opak yüzeyler TS825	ASHRAE 90.1 iklim koşullarına göre; İzmir için climate zone 3 $U=3.41\text{w/m}^2\text{K}$, $\text{SHGC}= 0.25$, $T_{\text{vis}}=0.4$ İstanbul, Ankara, Kayseri için climate zone 4 $U=2.84\text{w/m}^2\text{K}$, $\text{SHGC}= 0.4$, $T_{\text{vis}}=0.4$ Kars için climate zone 6 $U=2.56\text{w/m}^2\text{K}$, $\text{SHGC}= 0.4$, $T_{\text{vis}}=0.4$
5	Çift cam low-e + Güneşli Sensörü	Opak yüzeyler TS825	$U=2.4\text{w/m}^2\text{K}$, $\text{SHGC}= 0.44$, $T_{\text{vis}}=0.71$
6	Üçlü cam low-e +Güneşli Sensörü	Opak yüzeyler TS825	$U=1.5\text{w/m}^2\text{K}$, $\text{SHGC}= 0.39$, $T_{\text{vis}}=0.63$
7	ASHRAE + Güneşli Sensörü	Opak yüzeyler TS825	ASHRAE 90.1 iklim koşullarına göre; İzmir için climate zone 3 $U=3.41\text{w/m}^2\text{K}$, $\text{SHGC}= 0.25$, $T_{\text{vis}}=0.4$ İstanbul, Ankara, Kayseri için climate zone 4 $U=2.84\text{w/m}^2\text{K}$, $\text{SHGC}= 0.4$, $T_{\text{vis}}=0.4$ Kars için climate zone 6 $U=2.56\text{w/m}^2\text{K}$, $\text{SHGC}= 0.4$, $T_{\text{vis}}=0.4$
8	Elektrokromik Çift cam low-e + Güneşli Sensörü	Opak yüzeyler TS825	$U=1.65\text{w/m}^2\text{K}$, $\text{SHGC}= 0.48$, $T_{\text{vis}}=0.64$ (Saydam halde, elektrokromik özelliği devre dışı)
9	Elektrokromik Üçlü cam low-e + Güneşli Sensörü	Opak yüzeyler TS825	$U=1.31\text{w/m}^2\text{K}$, $\text{SHGC}= 0.48$, $T_{\text{vis}}=0.64$ (Saydam halde, elektrokromik özelliği devre dışı)
10	Elektrokromik Çift cam low-e + Güneşli Sensörü	Opak yüzeyler TS825	$U=1.65\text{w/m}^2\text{K}$, $\text{SHGC}= 0.48$, $T_{\text{vis}}=0.64$ (Saydam hal) $U=1.65\text{w/m}^2\text{K}$, $\text{SHGC}= 0.14$, $T_{\text{vis}}=0.12$ (Opak hal)
11	Elektrokromik Üçlü cam low-e + Güneşli Sensörü	Opak yüzeyler TS825	$U=1.31\text{w/m}^2\text{K}$, $\text{SHGC}= 0.49$, $T_{\text{vis}}=0.64$ (Saydam hal) $U=1.31\text{w/m}^2\text{K}$, $\text{SHGC}= 0.13$, $T_{\text{vis}}=0.12$ (Opak hal)

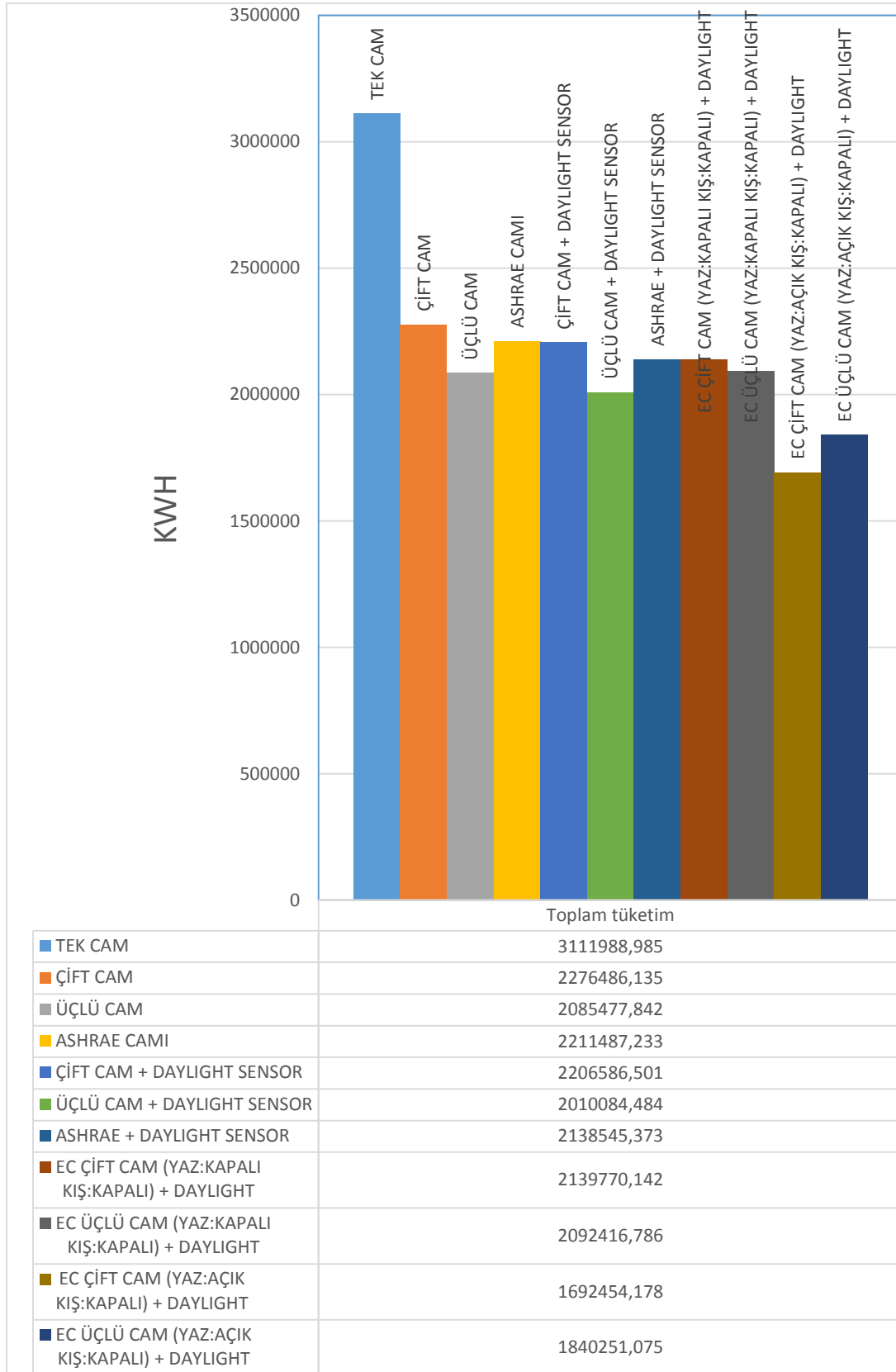
5.4.1.İzmir için Değerlendirme



Şekil 5.2 : İzmir için binanın farkı cam koşullarına göre yıllık soğutma, ısıtma, aydınlatma enerji tüketimi sonuçları. (kwh)



Şekil 5.3 : İzmir’de elektrokromik camın 10.Koşul ve Ashrae (7.Koşul) için aylara göre enerji tüketimleri (kwh).



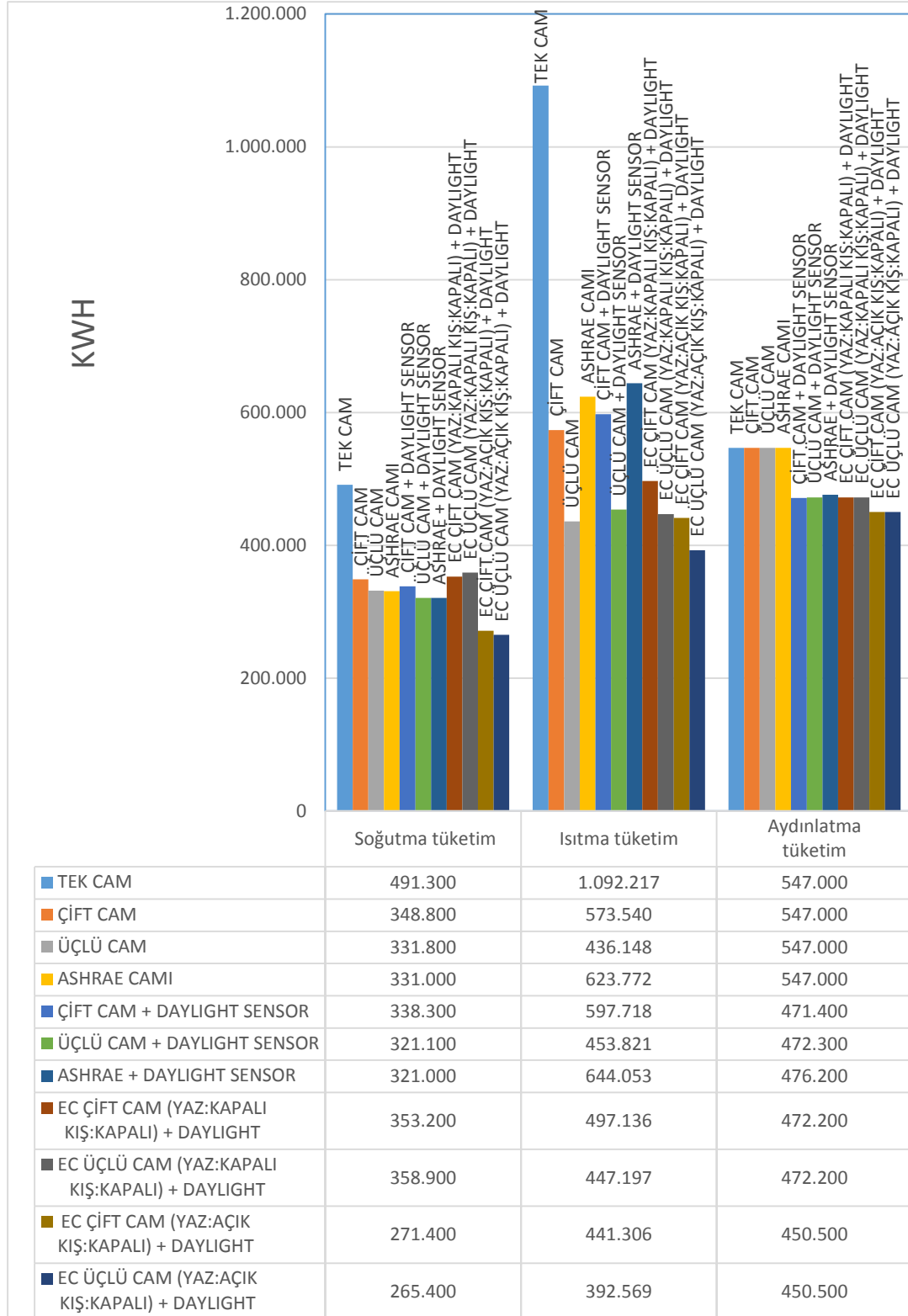
Şekil 5.4 : İzmir için binanın farklı cam koşullarına göre toplam enerji tüketim sonuçları (kwh).

Çizelge 5.11 : İzmir için tek cama göre diğer camların toplam enerji kazanç yüzdesi.

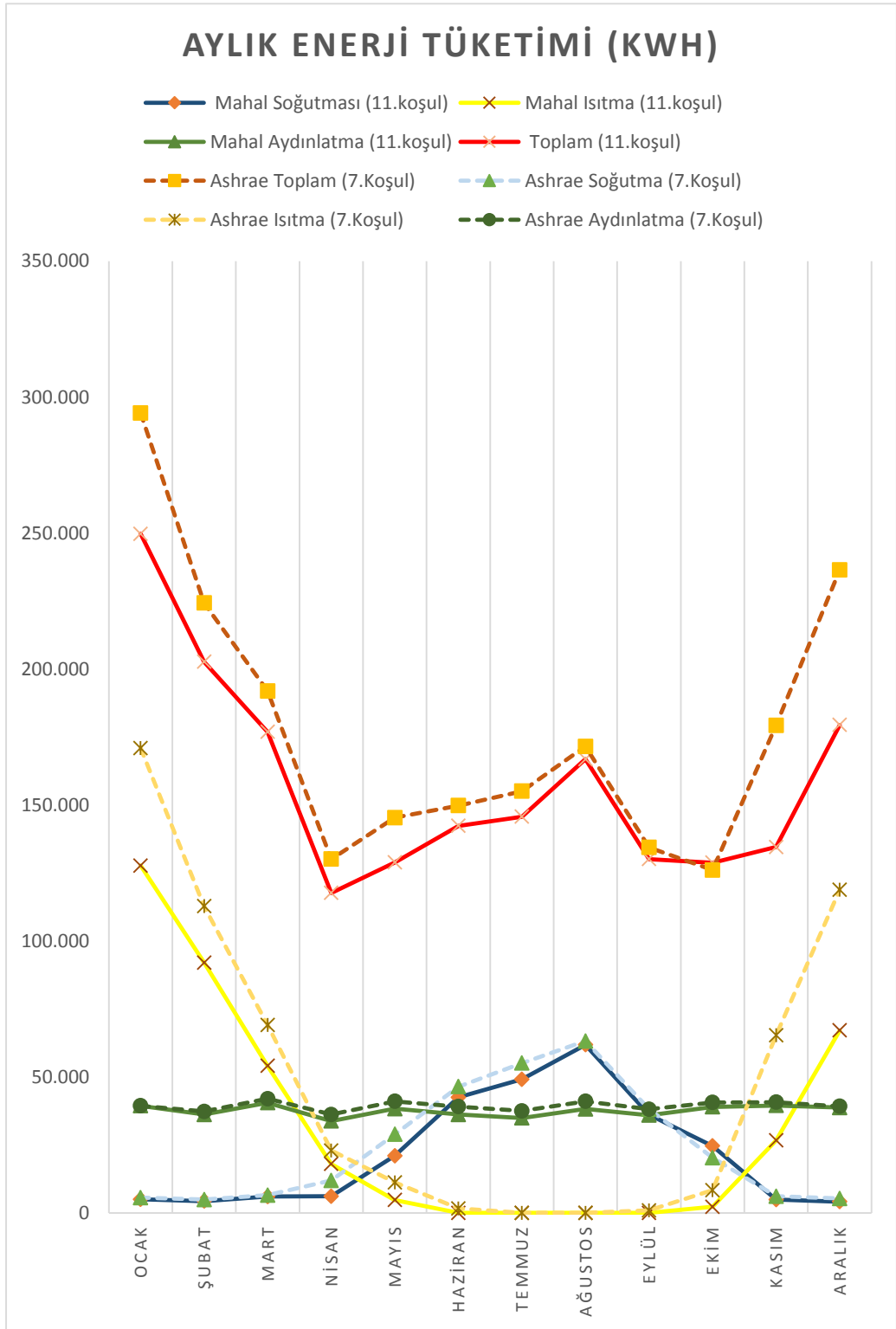
KOŞUL	YÜZDE
ELEKTROKROMİK ÜÇLÜ CAM (KIŞIN AÇIK) + GÜNEŞİĞİ SENSÖR	%41
ELEKTROKROMİK ÇİFT CAM (KIŞIN AÇIK) + GÜNEŞİĞİ SENSÖR	%46
ELEKTROKROMİK ÜÇLÜ CAM (KAPALI) + GÜNEŞİĞİ SENSÖR	%33
ELEKTROKROMİK ÇİFT CAM (KAPALI) + GÜNEŞİĞİ SENSÖR	%31
ASHRAE + DAYLIGHT SENSÖR	%31
ÜÇLÜ CAM + GÜNEŞİĞİ SENSÖR	%35
ÇİFT CAM + GÜNEŞİĞİ SENSÖR	%29
ASHRAE CAMI	%29
ÜÇLÜ CAM	%33
ÇİFT CAM	%27

Toplam enerji kazancı açısından karşılaştırıldığında elektrokromik çift camın yazın çalıştığı kışın tümüyle açık olduğu gün ışığı sensörlü senaryonun en uygun olduğu görülmektedir. Bu durumda tek cam kullanımına göre binada %46'lık enerji tasarrufu yapılabilmektedir. Üçlü cam kullanılma durumunda çift cama göre ısı geçirgenlik katsayısının düşük olmasına rağmen ışık geçirgenliği korunduğundan ılıman iklime sahip İzmir'de çift cam daha iyi bir performans göstermiştir. Aydınlatma açısından önemli bir etkisi olmadığı görülmüştür. Diğer camlar ile karşılaştırıldığında elektrokromik camların ısıtma, soğutma ve hatta aydınlatma da bile en iyi performansı sağladığı görülmüştür.

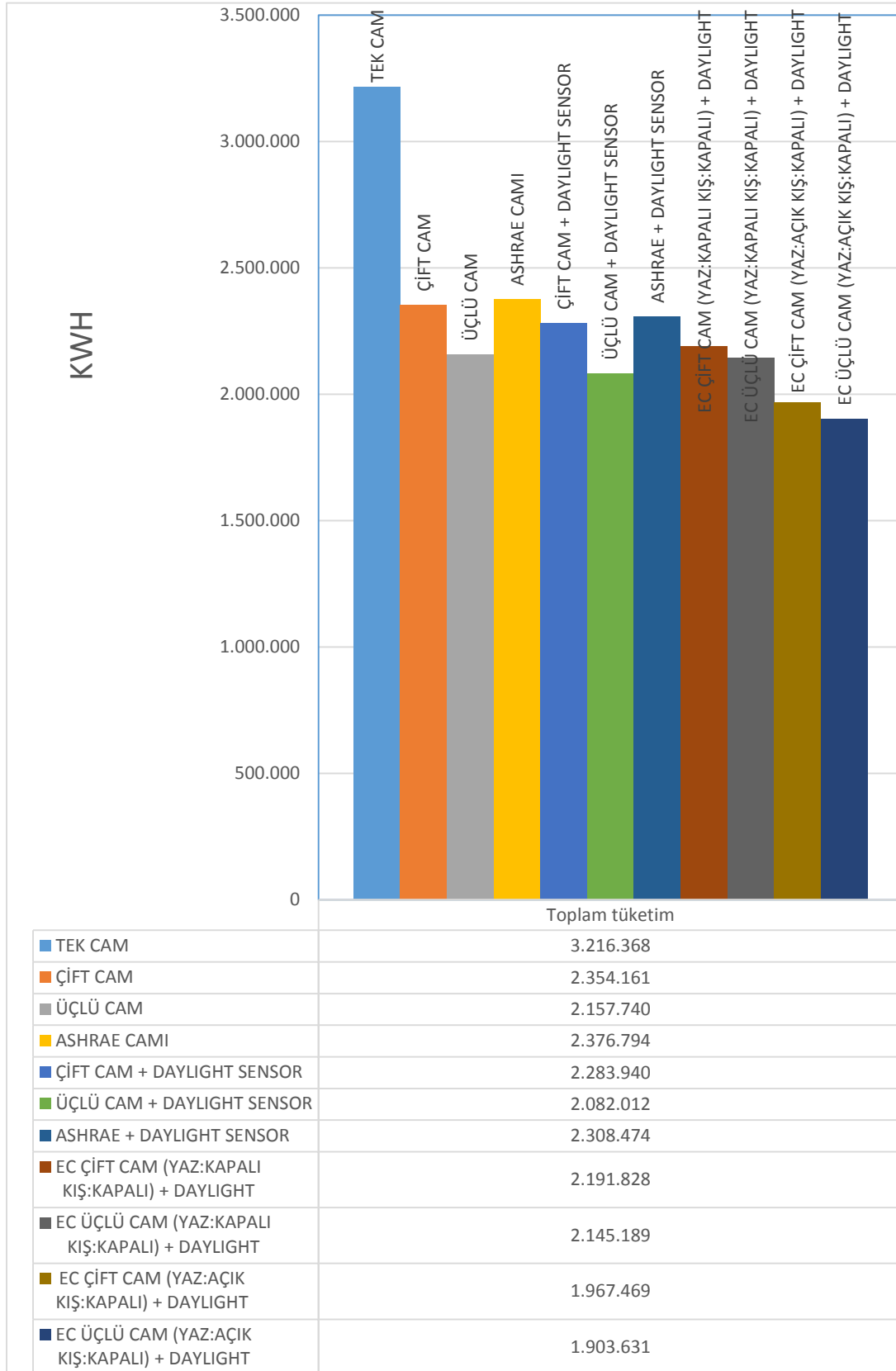
5.4.2.İstanbul için Değerlendirme



Şekil 5.5 : İstanbul için binanın farkı cam koşullarına göre yıllık soğutma, ısıtma, aydınlatma enerji tüketimi sonuçları. (kwh)



Şekil 5.6 : İstanbul'da elektrokromik camın 11.Koşul ve Ashrae (7.Koşul) için aylara göre enerji tüketimleri (kwh).



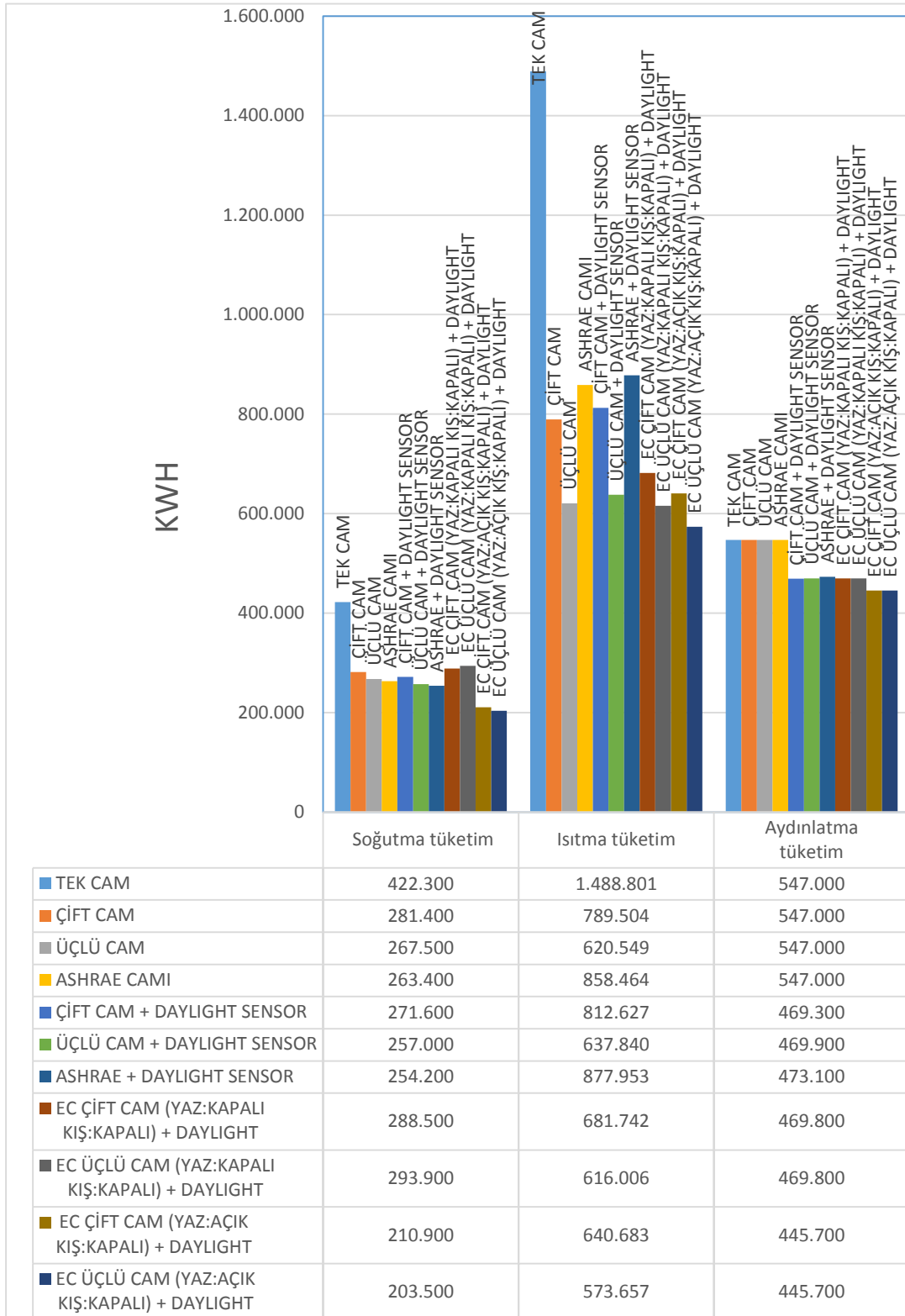
Şekil 5.7 : İstanbul için binanın farklı cam koşullarına göre toplam enerji tüketim sonuçları (kwh).

Çizelge 5.12 : İstanbul için tek cama göre diğer camların toplam enerji kazanç yüzdesi.

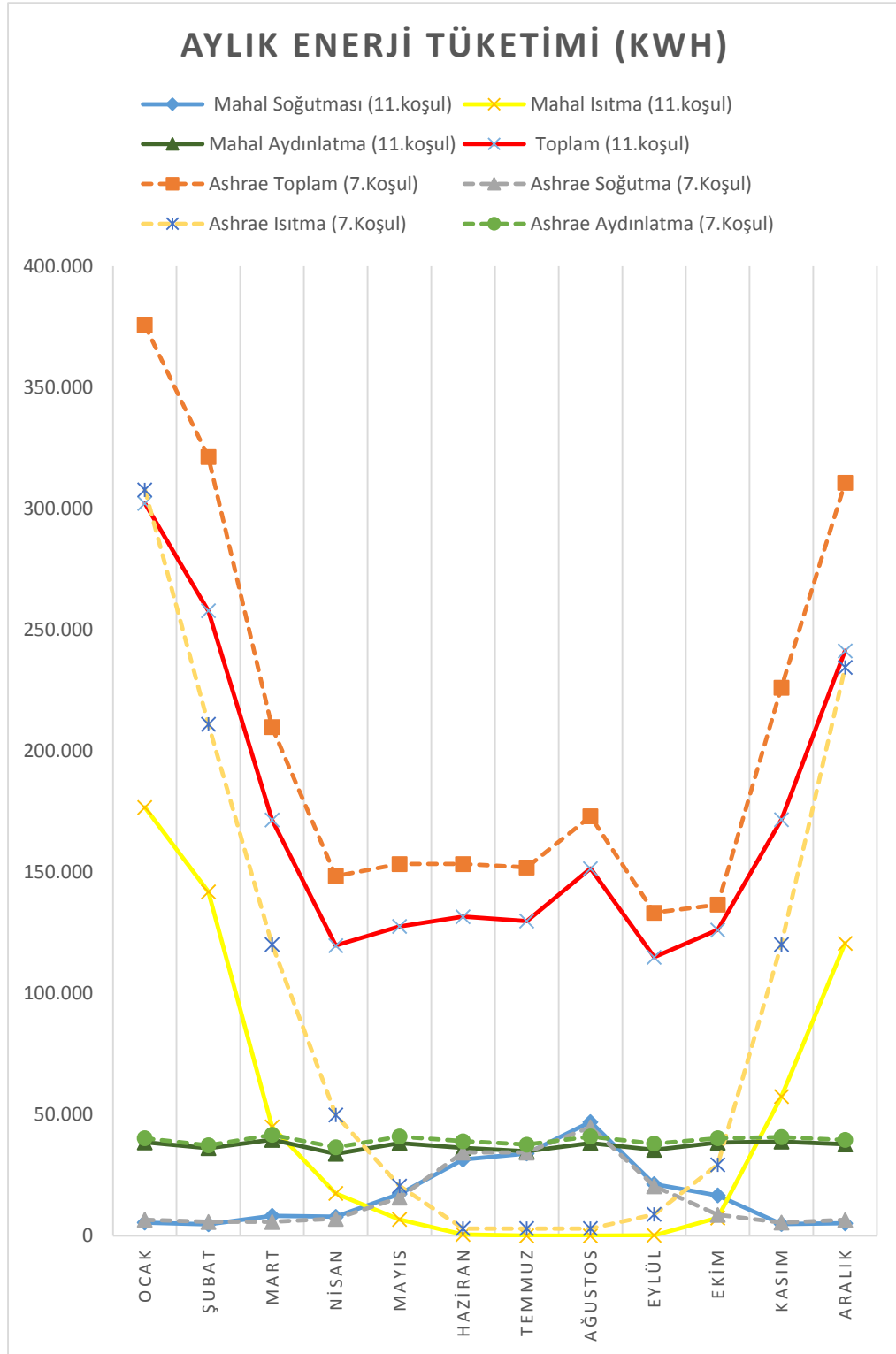
KOŞUL	YÜZDE
ELEKTROKROMİK ÜÇLÜ CAM (KIŞIN AÇIK) + GÜNIŞIĞI SENSÖR	%41
ELEKTROKROMİK ÇİFT CAM (KIŞIN AÇIK) + GÜNIŞIĞI SENSÖR	%39
ELEKTROKROMİK ÜÇLÜ CAM (KAPALI) + GÜNIŞIĞI SENSÖR	%33
ELEKTROKROMİK ÇİFT CAM (KAPALI) + GÜNIŞIĞI SENSÖR	%32
ASHRAE + DAYLIGHT SENSÖR	%28
ÜÇLÜ CAM + GÜNIŞIĞI SENSÖR	%35
ÇİFT CAM + GÜNIŞIĞI SENSÖR	%29
ASHRAE CAMI	%26
ÜÇLÜ CAM	%33
ÇİFT CAM	%27

İstanbul için toplam enerji kazancı açısından karşılaştırıldığında elektrokromik üçlü camın yazın çalıştığı kışın tümüyle açık günışığı sensörlü senaryonun en uygun olduğu görülmektedir. Bu durumda tek cam kullanımına göre binada %41’lik enerji tasarrufu yapılabilir. Aydınlatma açısından önemli bir etkisi olmadığı görülmüştür. Diğer camlar ile karşılaştırıldığında elektrokromik camların ısıtma, soğutma ve hatta aydınlatma da bile en iyi performansı sağladığı görülmüştür.

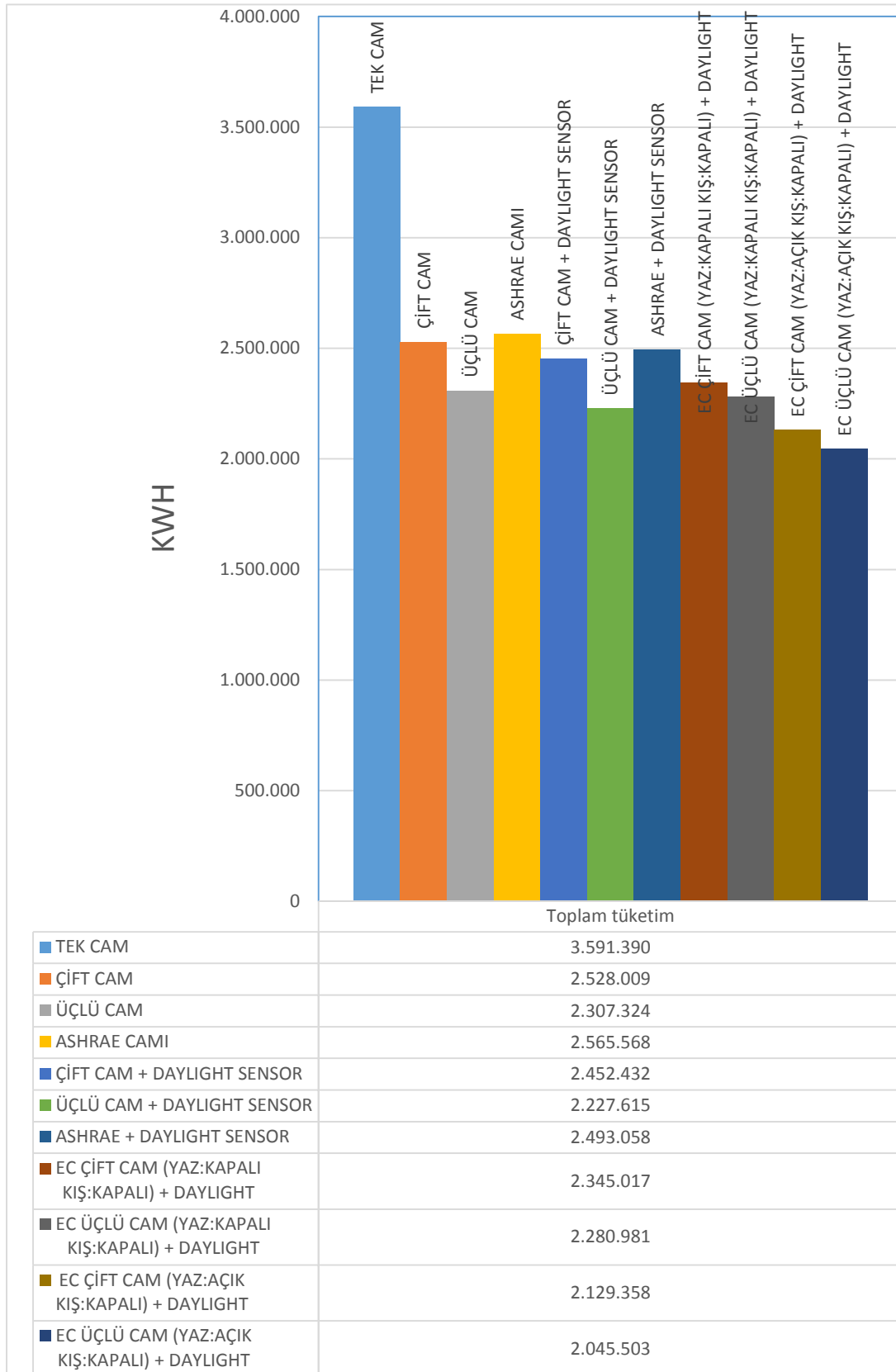
5.4.3. Ankara için Değerlendirme



Şekil 5.8 : Ankara için binanın farkı cam koşullarına göre yıllık soğutma, ısıtma, aydınlatma enerji tüketimi sonuçları (kwh).



Şekil 5.9 : Ankara'da elektrokromik camın 11.Koşul ve Ashrae (7.Koşul) için aylara göre enerji tüketimleri (kwh).



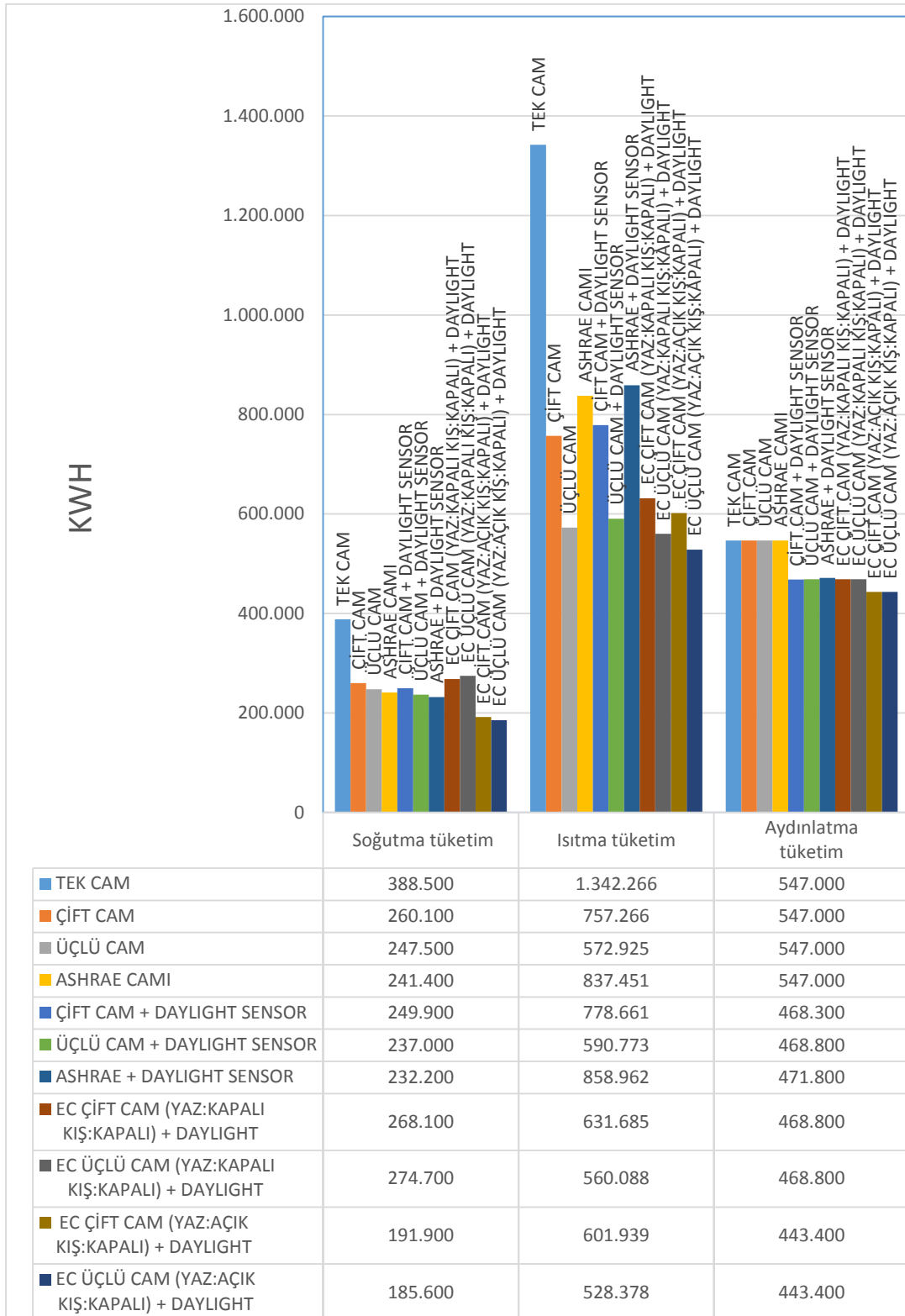
Şekil 5.10 : Ankara için binanın farklı cam koşullarına göre toplam enerji tüketim sonuçları (kwh).

Çizelge 5.13 : Ankara için tek cama göre diğer camların toplam enerji kazanç yüzdesi.

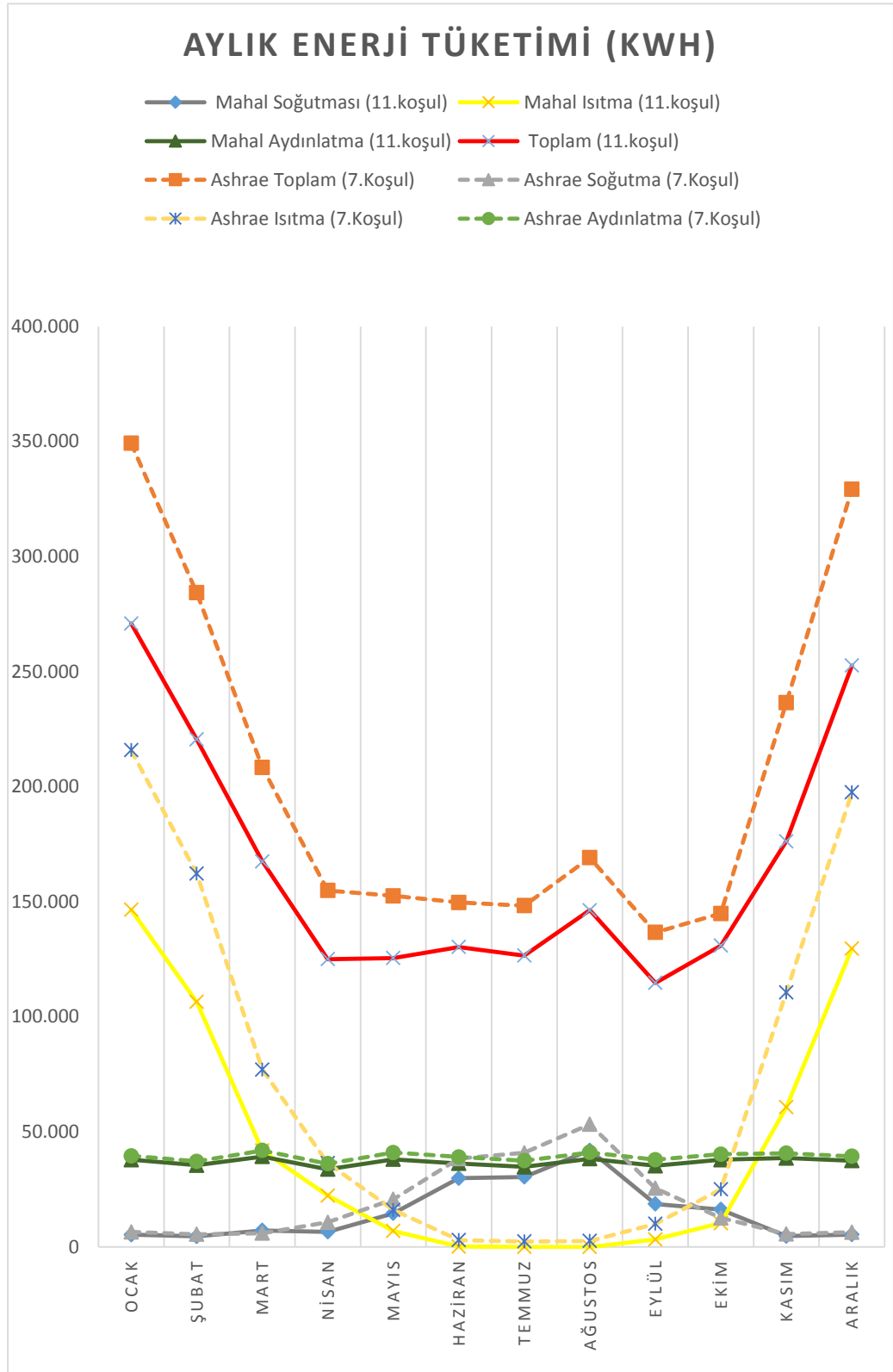
KOŞUL	YÜZDE
ELEKTROKROMİK ÜÇLÜ CAM (KIŞIN AÇIK) + GÜNEŞİĞİ SENSÖR	%43
ELEKTROKROMİK ÇİFT CAM (KIŞIN AÇIK) + GÜNEŞİĞİ SENSÖR	%41
ELEKTROKROMİK ÜÇLÜ CAM (KAPALI) + GÜNEŞİĞİ SENSÖR	%36
ELEKTROKROMİK ÇİFT CAM (KAPALI) + GÜNEŞİĞİ SENSÖR	%35
ASHRAE + DAYLIGHT SENSÖR	%31
ÜÇLÜ CAM + GÜNEŞİĞİ SENSÖR	%38
ÇİFT CAM + GÜNEŞİĞİ SENSÖR	%32
ASHRAE CAMI	%29
ÜÇLÜ CAM	%36
ÇİFT CAM	%30

Daha soğuk bir iklime sahip Ankara için de toplam enerji kazancı açısından karşılaştırıldığında elektrokromik üçlü camın yazın çalıştığı kışın tümüyle açık güneşiği sensörlü senaryonun en uygun olduğu görülmektedir. Bu durumda tek cam kullanımına göre binada %43’lik enerji tasarrufu yapılabilmektedir. Aydınlatma açısından önemli bir etkisi olmadığı görülmüştür. Diğer camlar ile karşılaştırıldığında elektrokromik camın en iyi performansı sağladığı görülmüştür.

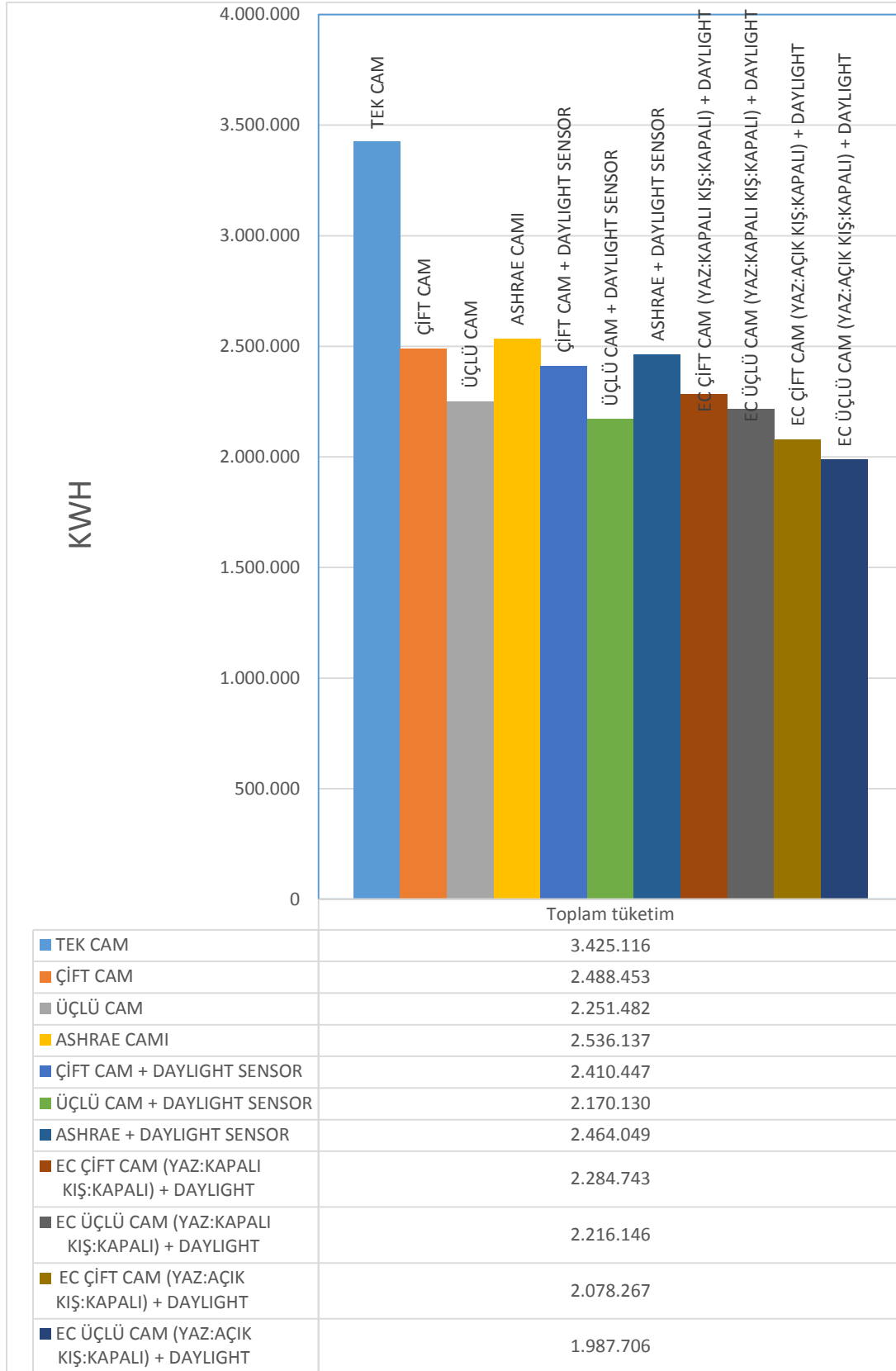
5.4.4.Kayseri için Değerlendirme



Şekil 5.11 : Kayseri için binanın farkı cam koşullarına göre yıllık soğutma, ısıtma, aydınlatma enerji tüketimi sonuçları (kwh).



Şekil 5.12 : Kayseri’de elektrokromik camın 11.Koşul ve Ashrae (7.Koşul) için aylara göre enerji tüketimleri (kwh).



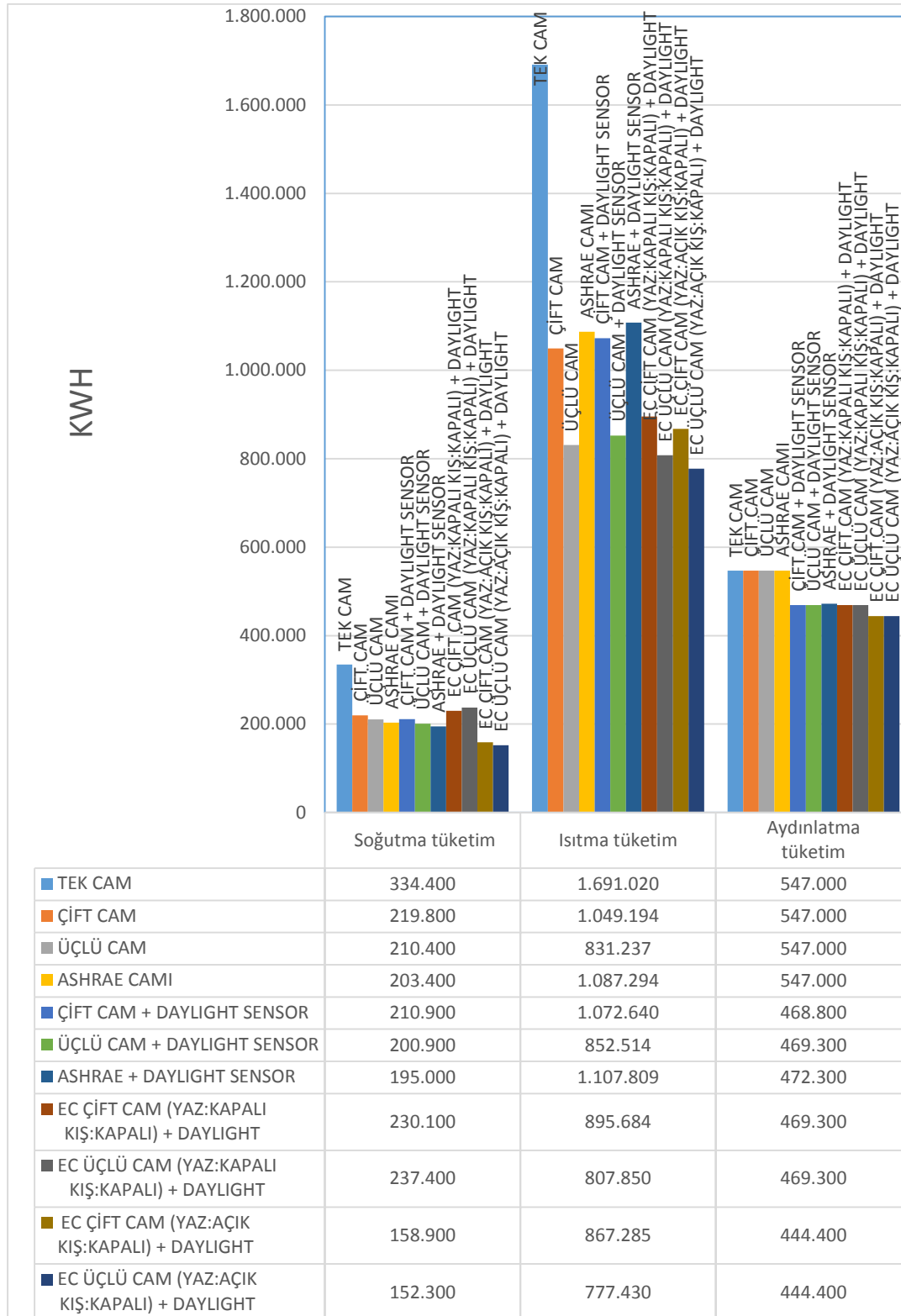
Şekil 5.13 : Kayseri için binanın farklı cam koşullarına göre toplam enerji tüketim sonuçları (kwh).

Çizelge 5.14 : Kayseri için tek cama göre diğer camların toplam enerji kazanç yüzdesi.

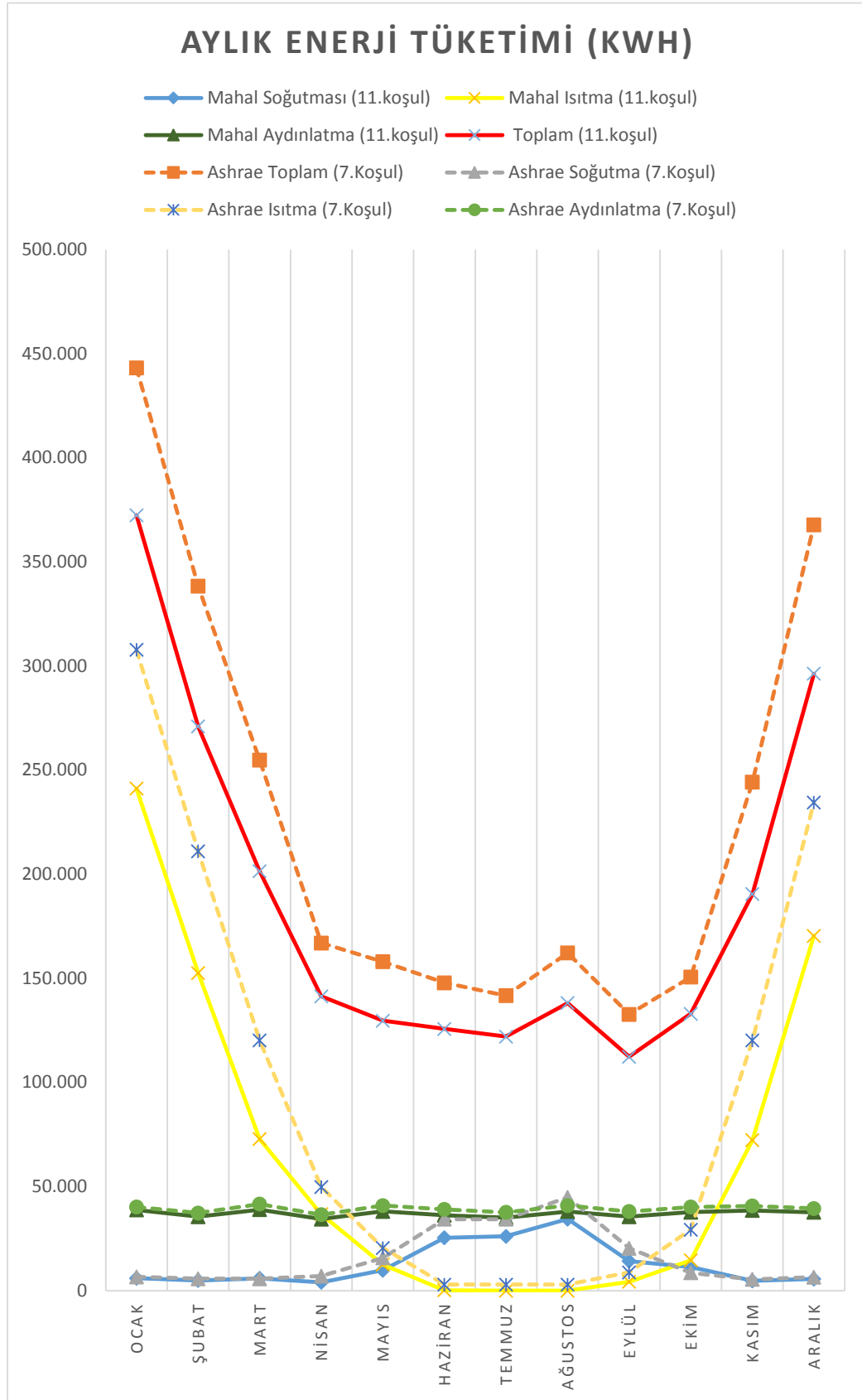
KOŞUL	YÜZDE
ELEKTROKROMİK ÜÇLÜ CAM (KIŞIN AÇIK) + GÜNIŞIĞI SENSÖR	%42
ELEKTROKROMİK ÇİFT CAM (KIŞIN AÇIK) + GÜNIŞIĞI SENSÖR	%39
ELEKTROKROMİK ÜÇLÜ CAM (KAPALI) + GÜNIŞIĞI SENSÖR	%35
ELEKTROKROMİK ÇİFT CAM (KAPALI) + GÜNIŞIĞI SENSÖR	%33
ASHRAE + DAYLIGHT SENSÖR	%28
ÜÇLÜ CAM + GÜNIŞIĞI SENSÖR	%37
ÇİFT CAM + GÜNIŞIĞI SENSÖR	%30
ASHRAE CAMI	%26
ÜÇLÜ CAM	%34
ÇİFT CAM	%27

Kayseri’de toplam enerji kazancı açısından karşılaştırıldığında elektrokromik üçlü camın yazın çalıştığı kışın tümüyle açık günüşiği sensörlü senaryonun en uygun olduğu görülmektedir. Bu durumda tek cam kullanımına göre binada %42’lik enerji tasarrufu yapılabilmektedir. Aydınlatma açısından önemli bir etkisi olmadığı görülmüştür. Diğer camlar ile karşılaştırıldığında elektrokromik camın en iyi performansı sağladığı görülmüştür.

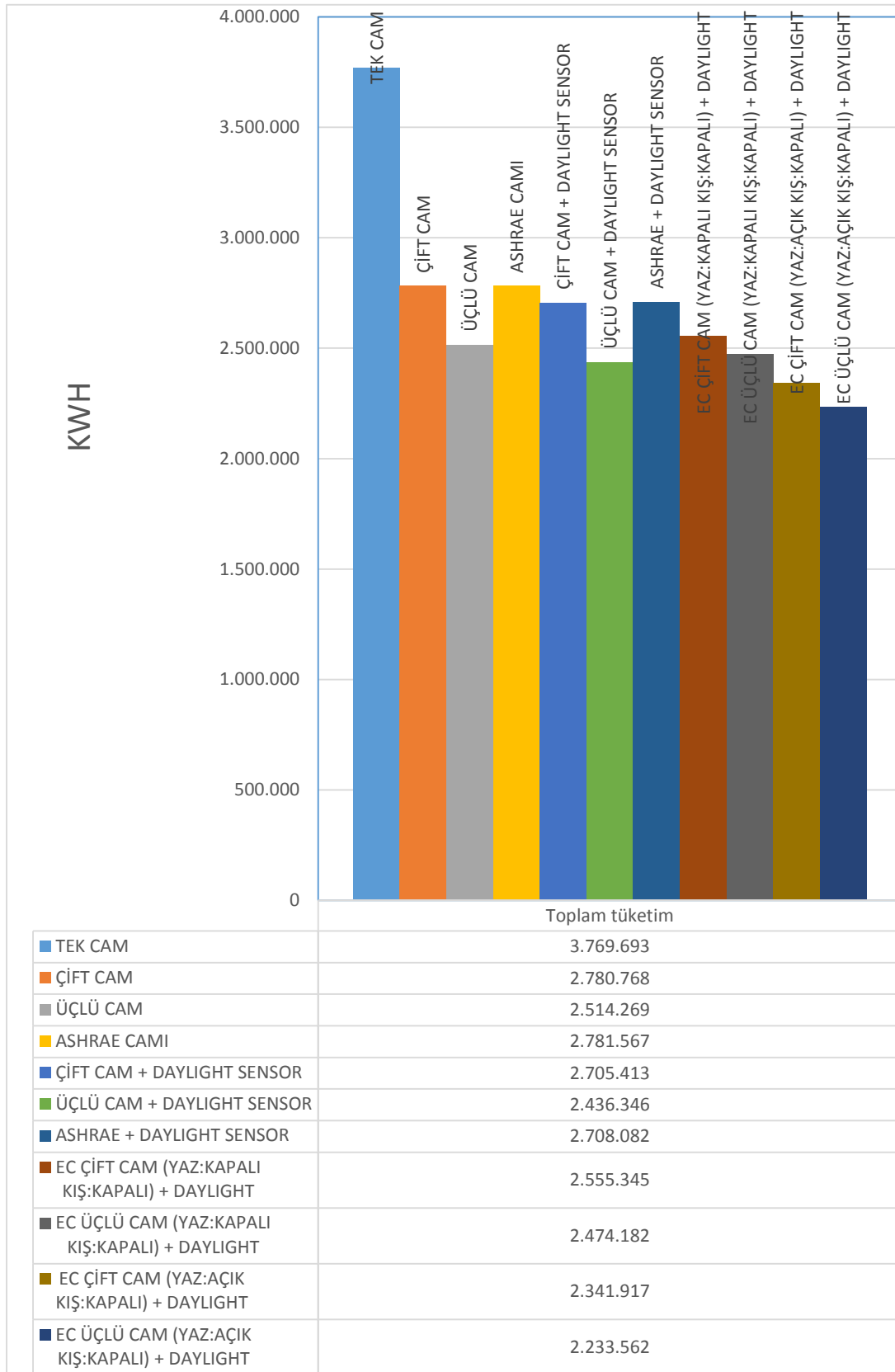
5.4.5.Kars için Değerlendirme



Şekil 5.14 : Kars için binanın farkı cam koşullarına göre yıllık soğutma, ısıtma, aydınlatma enerji tüketimi sonuçları (kwh).



Şekil 5.15 : Kars'da elektrokromik camın 11.Koşul ve Ashrae (7.Koşul) için aylara göre enerji tüketimleri (kwh).



Şekil 5.16 : Kars için tek cama göre diğer camların toplam enerji kazanç yüzdesi.

Çizelge 5.15 : Kars için tek cama göre toplam enerji kazanç yüzdesi.

KOŞUL	YÜZDE
ELEKTROKROMİK ÜÇLÜ CAM (KIŞIN AÇIK) + GÜNIŞIĞI SENSÖR	%41
ELEKTROKROMİK ÇİFT CAM (KIŞIN AÇIK) + GÜNIŞIĞI SENSÖR	%38
ELEKTROKROMİK ÜÇLÜ CAM (KAPALI) + GÜNIŞIĞI SENSÖR	%34
ELEKTROKROMİK ÇİFT CAM (KAPALI) + GÜNIŞIĞI SENSÖR	%32
ASHRAE + DAYLIGHT SENSÖR	%28
ÜÇLÜ CAM + GÜNIŞIĞI SENSÖR	%35
ÇİFT CAM + GÜNIŞIĞI SENSÖR	%28
ASHRAE CAMI	%26
ÜÇLÜ CAM	%33
ÇİFT CAM	%26

Soğuk bir iklime sahip Kars'da da toplam enerji kazancı açısından karşılaştırıldığında elektrokromik üçlü camın yazın çalıştığı kışın tümüyle açık günüşiği sensörlü senaryonun en uygun olduğu görülmektedir. Bu durumda tek cam kullanımına göre binada %41'lik enerji tasarrufu yapılabilmektedir. Aydınlatma açısından önemli bir etkisi olmadığı görülmüştür. Diğer camlar ile karşılaştırıldığında elektrokromik camın en iyi performansı sağladığı görülmüştür.

6. SONUÇLAR

TS825’de tanımlanan iklim bölgelerinden seçilmiş farklı iller için enerji modellemesi yapıldığında, elektrokromik cam ile günışığı kontrolü yapılan koşulda yıllık enerji tüketiminde tek cama göre yaklaşık %40’lar mertebesinde düşüş olduğu görülmüştür. Bütün farklı iklim bölgeleri için sonuçlar birbirine paralel çıkmıştır. Özellikle soğutma ve ısıtma yüklerinde kayda değer bir düşüş olduğu gözlemlenmiştir. İzmir hariç hepsinde farklı iklim bölgeleri için günışığı sensörlü elektrokromik üçlü cam en uygun seçenek olmuştur. İller arasında en ılıman iklime sahip İzmir’de ise gün ışığı sensörlü çift cam en iyi performansı göstermiştir. Bu durumun üçlü camda çift cama göre ısı geçirgenlik katsayısının düşük olması sebebiyle içerde oluşan ısının dışarıya aktarılamamasından kaynaklanmaktadır. Seçilen üçlü camda çift cama göre daha fazla ısı muhafaza edilirken ışık geçirgenliği korunarak güneş ısısından eşdeğer oranda yararlanılmıştır. İklim koşullarına özgü pencere seçimi yapılırken güneş ısı kazancı katsayısı ve ısı geçirgenlik katsayısı dikkate alınmalıdır.

Elektrokromik camın en önemli avantajlarından biri olan kısmi olarak kararabilme özelliği sayesinde varlık sensörlü bina otomasyon sistemi ile bütünleşik çalıştırılarak daha yüksek miktarda enerji verimliliği sağlamak mümkündür. Buna rağmen aydınlatma ekipmanlarının da günışığı sensörü ile kontrol edilebilir olabilmesinden ötürü aydınlatma yüklerinde önemli bir değişim görülmemiştir.

Elektrokromik camların dezavantajları ise henüz kullanımın yaygın olmaması sebebiyle ilk yatırım maliyetlerinin yüksekliği ve kurulumunda kablo bağlantısı vb. gibi elektrik tesisatı yapılma ihtiyacıdır.

Yıllık enerji tüketimin yani sıra elektrokromik camlar özellikle ticari binalar için konforun artırılması, azami yüklerin azaltılması gibi önemli faydalar sağlayabilmektedir. Azami yüklerde düşüş sebebiyle yeni yapılan binalarda mekanik ekipman kapasiteleri daha küçük seçilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı.** (2017). *İstatistikler-Türkiye Genel Enerji Dengesi Tablosu.*, Ankara: Enerji İşleri Genel Müdürlüğü. <http://www.eigm.gov.tr/tr-TR/Denge-Tablolari/Denge-Tablolari>. alındığı tarih 25.09.2017.
- [2] **Elektrik Üretim Anonim Şirketi.** (2015). *Elektrik Üretim Sektör Raporu, Sayfa-4.* Ankara: Strateji Geliştirme Başkanlığı. http://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2f1%2fDocuments%2fSekt%c3%b6r+Raporu%2fEUAS-Sektor_Raporu2014.pdf. alındığı tarih 25.09.2017.
- [3] **United States Energy Information Administration.** (2016). *US Energy consumption by sector.* Monthly Energy Review Data Statistics. <http://www.eia.gov/totalenergy/data/monthly/#consumption>. alındığı tarih 15.07.2017.
- [4] **United States Department of Energy.** (2017). *Building Energy.* Databook, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy. <http://buildingsdatabook.eren.doe.gov/ChapterIntro1.aspx>. alındığı tarih 13.07.2017.
- [5] **International Energy Agency.** (2012). *Energy Balances Of Non OECD Countries.* Sayfa 183. IAE Statistics Publication.
- [6] **European Commission.** (2012). *Energy Efficiency Buildings,* <http://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/buildings>. alındığı tarih 24.05.2017
- [7] **Karma Sawyer Phd.** (2014). *Energetics, Windows and Building Envelope Research and Development: Roadmap for Emerging Technologies.* Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, United States Department of Energy.
- [8] **Türkiye İstatistik Kurumu.** *Nüfus ve Konut Araştırması, 2011.* Düzeltilmiş Haber Bülteni, cilt no. 15843, 31 Ocak 2013. <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=15843>. alındığı tarih 03.02.2017.

- [9] **Bayındırlık ve İskan Bakanlığı.** (2008). *Resmi Gazete*. Binalarda Enerji Performans Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik, 27539.<http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2010/04/20100401-5.htm>. alındığı tarih 10.03.2017.
- [10] **Serkan Narin.** (2012). *Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği*. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Mesleki Hizmetler Genel Müdürlüğü Enerji Verimliliği Daire Başkanlığı. Antalya. <http://www.bep.gov.tr/BEPTRWEB/Images/Kutuphane/751233.pdf>. alındığı tarih 10.03.2017.
- [11] **Türkiye İstatistik Kurumu.** (2016). *Kullanma Amacına Göre Yapılacak Yeni ve İlave Yapılar (Yeni Sınıflamaya Göre)*. http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1055. alındığı tarih 12.03.2017.
- [12] **T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.** (2011). *İklim Değişikliği Ulusal Eylem Planı 2011-2023*. sayfa-20, 21, 30. Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, İklim Değişikliği Dairesi Başkanlığı, Politika ve Strateji Geliştirme Şube Müdürlüğü.
- [13] **Türkiye İstatistik Kurumu.** (2001). *Bina Sayımı 2000*. syf 10. Ankara: yayın numarası 2471
- [14] **T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.** (2016). *Binalarda Enerji Performansı*. Ankara: Enerji Verimliliği Daire Başkanlığı Mesleki Hizmetler Genel Müdürlüğü <http://www.bep.gov.tr/Default.aspx#.VvnwysrMaI>. alındığı tarih 25.07.2017.
- [15] **Türkiye İstatistik Kurumu.** (2011). *Gelir ve Yaşam Koşulları Araştırması*. Ankara. Sayı: 10902, alındığı tarih 17.09.2017.
- [16] **Yusuf Yıldız, Türkan Göksal Özbalta, Zeynep Durmuş Asan.** (2011). *Farklı Cam Türleri ve Yönlere Göre Pencere Duvar Alanı Oranının Bina Enerji Performansına Etkisi: Eğitim Binası*. Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi E-Dergisi. İzmir, Megaron, sayfa 30. http://www.journalagent.com/megaron/pdfs/MEGARON_6_1_30_38.pdf, alındığı tarih 12.05.2017.
- [17] **David Strong Consulting,** (2012), *Glass for Europe*, Cholesbury, The distinctive benefits of Glazing, alındığı tarih 22.04.2017.
- [18] **TNO Institute, T. B. E. A. Geosciences.** (2008). *Potential impact of low-Emissivity glazing on energy and CO2 savings in Europe*. TNO Report 2008-D-R1240/B.
- [19] **TNO Institute, T. B. E. A. Geosciences.** (2011). *Glazing type distribution in the EU building stock*. TNO Report TNO-60-DTM-2011-00338.

- [20] **Rue Belliard.** (2016). *The smart use glass in sustainable buildings*.Glass for EuropeAssociation. http://www.glassforeurope.com/images/cont/165_90167_file.pdf. alındığı tarih 08.06.2017
- [21] **Url-1** <http://www.arpana.gov.au/radiationprotection/basics/ion_nonion.cfm> Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency. (2016) alındığı tarih 19.04.2017
- [22] **Bill Howard.** (2016). Thermal radiation spectrum, <http://www.extremetech.com/extreme/193402-what-is-night-vision-how-does-it-work-and-do-i-really-need-it-in-my-next-car>., alındığı tarih 19.11.2017
- [23] **Keite Gibbs.** (2016). The wavelength and temperature of electromagnetic radiation. http://www.schoolphysics.co.uk/age14-16/Wave%20properties/text/-avelength_and_temperature/index.html., alındığı tarih 19.04.2017
- [24] **National Earth Science Teachers Association.** (2016). *Solar EM Radiation Penetration into Earth's Atmosphere*. http://www.windows2universe.org/earth/Atmosphere/earth_atmosph_radiation_budget.html. alındığı tarih 20.04.2017
- [25] **GUARDIAN Europe S.à r.l. Dudelage.** (2013) , Guardian Glass Time Teknik El Kitabı, Luxemburg, Sayfa 30, 32.
- [26] **Efficient Windows Collaborative.** (2016). *Window Technologies: Properties Primer*. http://www.commercialwindows.org/primer_intro.php. alındığı tarih 20.04.2017.
- [27] **Url-2** <http://www.genenergy.com.tw/product_irbloc.html> G-Energy. (2016). Solar radiation spectrum alındığı tarih 20.04.2017.
- [28] **Url-3** <http://www.eng.lbl.gov/~dw/projects/DW4229_LHC_detector_analysis/calculations/emissivity2.pdf> **Micron Vertretung Schweiz.** (2016). *Table of Emissivity of Various Surfaces*. Transmetra Haltech GMBH alındığı tarih 20.04.2017
- [29] **Türk Standartları Enstitüsü.** (2013). *TSE 825 Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları*
- [30] **M. Bayraktar, Z. Yılmaz.** (2007). *Bina Enerji Tasarrufunda Pasif Akıllılığın Önemi*, VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi; İzmir, sayfa 25-28.
- [31] **Hüseyin Bulgurcu, Mümin Küçük, Ceyhun Özer.** (23-25 Ekim 2014). *Bina Gölgeleme Sistemleri ile Binalarda Enerji Verimliliği*, 2.Ulusal İklimlendirme Soğutma Eğitimi Sempozyumu, Balıkesir, sayfa 2.

- [32] **Energy Research Group, European Commission Directorate-General Energy & Transport.** *Shading Systems, Solar Shading for the European climates.* University College Dublin, ENERGIE, Dublin, sayfa 1-17.
- [33] **Url-4** <<http://www.rensonsunprotection.com/en/product/external-roller-blinds-fixscreen%C2%AE.>> RENSON.(2017). *ExternalBlinds.* alındığı tarih 08.09.2017
- [34] **M. Casini.** (2014). Smart windows for energy efficiency of buildings, Proc. of the Second Intl. Conf. on Advances In Civil, Structural and Environmental Engineering, ACSEE 2014.
- [35] **Trakya Cam Sanayi A.Ş.** (2013). *Mimari Camlar Kataloğu.* <http://www.sisecamduzcam.com/Content/Pdf/Upload/Mimari-Camlar-Katalogu.pdf>. alındığı tarih 06.08.2017
- [36] **Url-5** <<http://www.jingglass.com/lowEglass.html>> Jing Glass Hong Kong (2017), Low-e glass, , alındığı tarih 20.04.2017
- [37] **MarketResearch.com.** (2016). *Smart Glass Market by Technology , (SPD, Electrochromic, PDLC, Thermochochromic), End-Use Industry (Architecture, Transportation, Power Generation, Consumer Electronics) - Global Forecast to 2022, Markets and Markets.* alındığı tarih 11.06.2017 <https://www.marketresearch.com/MarketsandMarkets-v3719/Smart-Glass-Technology-SPD-Electrochromic-10292339/>
- [38] **B.A.Korgel.** (2017). *Material Science Composite for Smarter Windows.* *Nature International Journal of Science.* http://www.nature.com/nature/journal/v500/n7462/fig_tab/500278a_F1.html., alındığı tarih 11.06.2017
- [39] **Paladino and Company.** (2010). *Performance Assessment of SageGlass Electrochromic Coatings And Control Scenarios,* Sage Electrochromics. sayfa 1-24. alındığı tarih 11.06.2017
- [40] **Url-6** <<http://www.smartglassinternational.com/lc-smartglass-forsegregation-2/>> S.G.I.Limited. (2017). *SmartGlass for Segregation.* alındığı tarih 11.06.2017
- [41] **Url-7** <https://en.wikipedia.org/wiki/Smart_glass.> I.-H.S.Boris Lamontagne. (2017). *National Research Council Canada h,* alındığı tarih 11.06.2017
- [42] **T.Keskin.** (2017). *Binalar Sektörü Mevcut Durum Değerlendirmesi Raporu.* sayfa.2. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad :Mustafa İrfan Erdemli
Doğum Tarihi ve Yeri : 1979 Adana
E-posta : mirdemli@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** :2005, YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ- Elektrik Mühendisliği