

Güneş Kontrolünde Pasif Olarak Kullanılan Gelişmiş Cam Malzemelerin İrdelenmesi*

Fatma Gizem GEZER**, Müjde ALTIN***

Öz

Malzeme ve mimarlık arasında doğrudan bir ilişki bulunmaktadır. Modern mimarlıkta binaların neredeyse tüm cephelerinde cam cephe görmek mümkün olmuştur. Teknolojinin ilerlemesiyle birlikte cephedeki pencerenin yüzey alanı arttıkça, güneş kontrolünde sorunların oluşma olasılığı artmıştır. Böylelikle cam malzemeden beklenen işlevler de artmıştır. Bilinen en eski malzemelerden olan cam bu süreçte gelişim sürecine girmiştir. Pencere işlevinin yanı sıra cephenin tamamını taşıyabilen bir yapı malzemesi haline gelmiştir. Günümüzde klasik bir camdan beklenen bir performanstan çok daha fazlasına sahip olan gelişmiş camın, ısı kaybı, dayanıklılık, güneş enerjisi, gürültü gibi pek çok alanda kontrolü sağlayan özellikleri bulunmaktadır. Bu çalışmada gelişmiş camın güneş kontrolü üzerinde binalarda sağladığı termal ve görsel konfor koşulları incelenecektir. Çalışmanın amacı basit cam yerine ısı, ışık ve radyasyon kriterlerine göre tercih edilen pasif güneş enerjisine dayalı gelişmiş/geliştirilmiş cam malzeme kullanımıyla güneş kontrolünün araştırılmasıdır. Çalışmada pasif sistem olarak çalışan çift cam, yalıtımlı cam, renkli cam, aynalı cam, termokromik cam, fotokromik cam, reflektif kaplamalı cam, dikroik kaplamalı cam, seramik emaye kaplamalı cam ve açılabilir seçici kaplamalı cam türleri ele alınarak incelenmiştir. Bunun için her bir özelleşmiş cam türü tanımlanarak, kullanım alanları belirlenmiş, avantajlı ve dezavantajlı oldukları ortam ve durumlar irdelenmiştir. Tercih edilen cam türleri ile geniş açıklıkları olan yapılarda bile istenen ısı ve/veya ışık kontrollerini yapmanın mümkün olabileceği çalışma sonucu elde edilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Güneş kontrolü; Gelişmiş cam teknolojileri; Güneş enerjisinin pasif kullanımı.

* Bu makale Dokuz Eylül Üniversitesi'nde 2024 yılında tamamlanan "Bina Cephelerinde Güneş Enerjisinin Pasif Kullanımının İrdelenmesi ve Güneş Kontrol Elemanlarının Sınıflandırılması" adlı yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

** Yüksek Lisans, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Bilgisi Ana Bilim Dalı/ fatmagizem.gezer@ogr.deu.edu.tr, ORCID ID: 0000-0003-2917-7443

*** Prof. Dr., Dokuz Eylül Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü/mujde.altin@deu.edu.tr, ORCID ID: 0000-0001-6948-9463

Examination of Advanced Glass Materials Used Passively in Sun Control*

Fatma Gizem GEZER**, Müjde ALTIN***

Abstract

There is a relation between architecture and construction materials. In modern architecture, it has become possible to see glass facades on almost all facades of buildings. As the surface area of the window on the facade increases with the advancing technology, the possibility of problems with solar control increases. Thus, the functions expected from glass materials have increased. Glass, one of the oldest known materials, entered the development process during this period. In addition to its window function, it has become a building material that can support the entire facade. Advanced glass, which has much more performance than expected from classical glass nowadays, has features that provide control in many areas, such as heat loss, durability, solar energy, and noise. In this study, the thermal and visual comfort conditions that advanced glass provides in buildings on solar control will be examined. The aim of the study is to investigate solar control by using advanced glass materials based on passive solar energy, which are preferred according to heat, light, and radiation criteria, instead of simple glass. In the study, types of double glass, insulated glass, colored glass, mirrored glass, thermochromic glass, photochromic glass, reflective coated glass, dichroic coated glass, ceramic enamel coated glass, and angular selective coated glass operating as passive systems were discussed. For this purpose, each specialized glass type has been defined, its usage areas have been determined, and the environments and situations in which it has advantages and disadvantages have been examined. The study concluded that it is possible to achieve the desired heat and/or light controls even in buildings with wide openings with preferred glass types.

Keywords: Solar control; Advanced glass technologies; Passive use of solar energy.

* This article was produced based on the thesis titled "Examination of Passive Use of Solar Energy on Building Facades and Classification of Passive Solar Control Elements" completed at Dokuz Eylül University in 2024.

** MSc, Dokuz Eylül University, The Graduate School of Natural and Applied Sciences, Structural Construction Design, fatmagizem.gezer@ogr.deu.edu.tr, ORCID ID: 0000-0003-2917-7443

*** Prof. Dr., Dokuz Eylül University, Faculty of Architecture, Department of Architecture, mujde.altin@deu.edu.tr, ORCID ID: 0000-0001-6948-9463

GİRİŞ

Malzeme ve mimarlık arasında doğrudan bir ilişki bulunmaktadır. Sanayi devrimine kadar malzeme sayısı ve çeşitliliği sınırlıyken sanayi devriminden önce gelen malzeme ile ilgili gözlem yoluyla elde edilmiş bilgi ve deneyimler sanayi devrimiyle birleşince malzeme çeşitliliği, sayısı, özellikleri gelişmiş ve artmıştır. Böylelikle modern mimarlığın ilerleyişi ile malzeme gelişiminin paralel ilerlediği söylenebilir. Standart özellikte ve boyutta olan bir yapı malzemesi, 20. yüzyılda özel bir tasarım için istenilen boyutta üretilip, performans kriterleri buna bağlı geliştirilip, kullanılmaya başlandı. Mimarlığın gelişim sürecinde günümüze kadar en çok etkilenen öğelerden biri bina cepheleri olmuştur. Sanayi devrimiyle başlayan üretimdeki gelişimler, mühendislik anlamındaki gelişmeler ve yapı sistemlerinin ilerleyişiyle bina cephelerindeki pencere boşluklarının genişlemesine olanak vermiştir. Modern mimarlıkta binaların neredeyse tüm cephelerinde cam cephe görmek mümkün olmuştur. Pencerenin yüzey alanı arttıkça, güneş kontrolü sisteminde sorunların oluşma olasılığı artmış, böylelikle cam malzemedeki beklenen işlevler de artmıştır. Bilinen en eski malzemelerden biri olan cam bu süreçte gelişim sürecine girmiştir. Pencere işlevinin yanı sıra cephenin tamamını taşıyan bir yapı malzemesi haline gelmiştir. Klasik bir camdan beklenen bir performanstan çok daha fazlasına sahip olan gelişmiş camın, ısı farklılaşması, dayanıklılık, güneş enerjisi, gürültü gibi pek çok alanda kontrolü sağlayan özellikleri bulunmaktadır. Bu çalışmada gelişmiş camın güneş kontrolü üzerinde binalarda sağladığı konfor koşulları incelemiştir. Çalışmanın amacı basit cam yerine ısı, ışık ve radyasyon kriterlerine göre tercih edilen pasif güneş enerjisine dayalı cam malzeme kullanımıyla güneş kontrolünün nasıl yapılabilineceğinin araştırılmasıdır. Çalışmada pasif sistem olarak çalışan çift cam, yalıtımlı cam, renkli cam, aynalı cam, termokromik cam, fotokromik cam, reflektif kaplamalı cam, dikroik kaplamalı cam, seramik emaye kaplamalı cam ve açılabilir seçici kaplamalı cam ele alınmıştır. Bunun için her bir özelleşmiş cam türü kendi içinde tanımlanacak, kullanım alanları belirlenecek, avantajlı ve dezavantajlı olduğu ortam ve durumlar irdelenecektir.

GÜNEŞ KONTROLÜ VE UYGULANIŞI

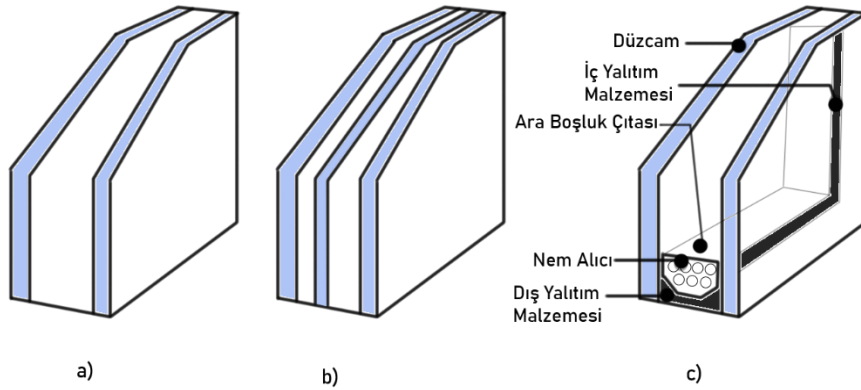
Güneş kontrolü binalarda enerji tasarrufunu, termal ve görsel konforu sağlamakta en önemli unsurlardan biridir. Güneş kontrol elemanı sayesinde bina dışından bina içine geçecek direkt güneş ışığı ve ışıınımı kontrol altına alınabilmektedir. Böylelikle istenilen alanda ve zamanda gölgeleme kontrolü, termal ve görsel konfor sağlanmaktadır. Güneş kontrol elemanlarının mimaride optimum tasarım ile kullanımı binalarda doğal enerji kaynağı olan güneş enerjisinin etkin kullanımını doğrudan etkilemektedir. Bina tasarımının en önemli öğelerinden biri olan cephe tasarımında da optimum tasarım faktörlerinin göz önünde bulundurulması, istenilen düzeyde enerji korunumu ve kazancı sağlanmasında önemli bir rol oynamaktadır. Cephe tasarımında mimarların güneş kontrolünü düşünerek, güneş kontrol elemanlarını yapının bir parçası olarak düşünmeleri önemlidir. Böylelikle hem bina ekonomisine hem de enerji kaynakları tasarrufuna katkıda bulunulacaktır. Cephe tasarımında temel hedef kullanıcı konforundan ödün vermemek ve binanın harcadığı enerjinin cephe aracılığıyla en aza indirilmesini sağlamak olmalıdır. Cephenin kendi içindeki en küçük sistem seçimine kadar birçok faktör, enerji etkin cephe tasarımını doğrudan etkilemektedir. Binayı oluşturan malzeme ve bileşenlerin üretimi, yapının tasarımı yanında iklimlendirme sistemlerinin seçimi, bakımı, işletimi ve yönetimine kadar geniş bir alanda yapının standardını düşürmeden enerji tüketimini minimize etmeyi hedeflemelidir. Diğer bir ifade ile bir yandan yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanmaya, diğer yandan da kullanılan enerjiyi korumaya yönelik tedbirleri almayı hedeflemelidir (Çakmanus, 2004). Binalarda kış ayları için ısıtma, yaz ayları için soğutma enerji kullanımını en aza indirerek ve doğal aydınlatma kullanımını artıracak şekilde tasarım yapılarak enerji korunumuna destek sağlanmalıdır.

GÜNEŞ KONTROLÜNDE KULLANILAN CAMLARIN ÖZELLİKLERİ

Basit cam ya da diğer adıyla tek cam, en çok bilinen ve kullanılan camdır. Herhangi bir ısı yalıtım özelliği veya gelişmiş bir özelliği bulunmamaktadır. Güneş kontrolünde incelenecek olan camlar basit camların geliştirilmiş versiyonu olmaktadır. Isı, ışık radyasyon kontrol oranları basit cama kıyasla yapılmaktadır.

Çift Cam

Çift camlar diğer adı ile ısıcam olarak bilinir. Şekil 1'de görüldüğü gibi iki ya da üç düz camdan meydana gelebilir. Isıcamlarda tabakaların arası hava, argon, ksenon veya kripton gazıyla doldurulmuş boşluklardan oluşur. Enerji tasarrufu konusunda etkili çözümler sunan en bilinen camlardır.

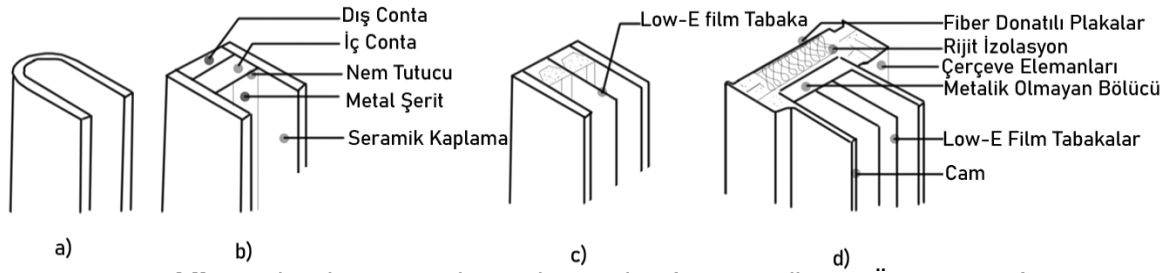


Şekil 1. a) Çift tabakalı cam kesiti b) 3 tabakalı cam kesiti c) Yalıtımlı cam kesiti (İzoder, 2009'dan uyarlanmıştır).

İki basit cam paneli arasında boşluk oluşturularak, camın ısı iletkenliği büyük ölçüde azaltılır böylelikle camdan geçen ısı miktarı azaltılarak kontrol edilebilir, enerji maliyetleri, yoğuşma, gürültü ve UV geçirgenliği azaltılır (Özdaş, 2022). Genellikle konutlarda standartlaşmış şekilde çift camlar tercih edilmektedir. Çift camları daha yalıtımlı kullanmak için cama kaplamalar da eklenmektedir. "Kaplama cam, yalıtkan ve kızıl ötesi ışınlar dirençli hale getirmek için belirli özellikler kazandırmak üzere modifiye edilmiş bir düz camdır" (Özdaş, 2022). Tercih edilen herhangi bir cama kaplama uygulayarak mekanların ısı verimliliğine destek olmak mümkündür.

Yalıtımlı Cam

Yalıtımlı cam birbirine paralel duran 2 ya da daha fazla cam panelden oluşmaktadır. Cam panellerin kenarlarında çitalar bulunmaktadır. Böylelikle paneller arasında 8-20mm kalınlığında boşluklar elde edilir. Hava veya asal gaz bulunduran boşluk ısı yalıtım görevi görmektedir. (Aykan Yapı, 2022). Çift camdan farkı araya eklenen yalıtım kaplama malzemesidir. Aşağıda yer alan Şekil 2a'daki çift camın kenarları yuvarlatılmış biçimdedir. Bu tip camlar genellikle konut yapılarında gözlemlenmektedir. Yalıtımlı cam uygulamasında iki camın arasındaki kenarda conta kullanılmaktadır. Conta kullanımında çeşitlilik bulunmaktadır. Örneğin (Şekil 2b)'de düşük emisyonlu tabaka yerleştirilmişken, Şekil 2c'de daha özel bir tabaka olan low-e film yerleştirilmiştir. Şekil 2d'de de görüldüğü gibi bu ara katmanlar geliştirilebilmektedir (Aydın, Volkan, & Özgen, 2004).



Şekil 2. Yalıtımlı cam çeşitlerinin katmanları (Ayşin, Volkan & Özgen, 2004).

Yalıtımlı cam üniteleri: İç yalıtım dolgusu (bütil – poliisobutilen, mastik ya da bant), ara boşluk çitası (alüminyum, galvanize çelik ya da daha iyi yalıtım için sıcak kenar cam çitası), nem alıcı, dış yalıtım dolgusu (polisülfid – poliüretan – silikon, sızdırmaz mastik) elemanlardan oluşmaktadır (Aykan Yapı, 2022).

Yalıtımlı camların birleşim yerlerine direkt güneş ışığı ulaşıyorsa yani bir kapak veya çita yardımıyla korunmuyorsa ya da parapet ve çatı ışıklıklarında kullanılıyorsa, polisülfid veya poliüretan yerine özel silikonlarla üretilmesine dikkat edilmelidir (İzoder, 2009).

Yalıtımlı çift camlar ısı kayıplarını azaltmak için şeffaf filmlerle de desteklendiğinde, tek camlara kıyasla ısı korunması yüzde 80'lere varan oranlarda daha fazla olmaktadır (Teknik Pencere, 2022). İstenilen kontrol koşullarını sağlayabilmek için yalıtımlı camlarda çeşitli boya ve kaplamalar kullanılmaktadır. Kullanılan boya ve kaplamalarla sağlanmak istenilen ana amaç gün ışığının geçirgenliğini yüksek tutup, güneş ısını kontrol altına alabilmektir. Gelişmiş yalıtımlı camlarda en bilinen iki kaplama bulunmaktadır. Bunlar: Low-e kaplamalı cam ve Solar Low-e kaplamalı camdır. Bu kaplamalı cam türlerinin de kendi içinde çeşitlerinin bulunması mümkündür. Örneğin yalıtımlı cam sınıfı içinde yer alan Low-e cam olarak da bilinen tayfsal seçici cam bulunmaktadır. Bu cam görülebilen ışınımı geçirip, kızıl ötesi ve morüstü ışınları yutmakta veya yansıtılmaktadır.

Low-e ve Solar Low-e kaplamalı camın çalışma şeklini karşılaştırabilmek için camlarda kullanılan termal katsayı bilinmelidir. Isı geçirgenlik katsayısı yardımıyla ısıl performans belirlenmektedir. Termal kat sayı ne kadar düşük olursa buna bağlı olarak ısıl performansı yükselmektedir. Tek camlarda katsayı değeri yaklaşık 6 Ug iken çift camlarda 1.1 Ug'ye kadar düştüğü görülmektedir (Teknik Pencere, 2022). Yaklaşık olarak 6 kat civarında fark gözlemlenmek mümkündür. Aşağıdaki (Tablo 1a) Türkiye'de üretilen low-e yalıtımlı camın ara boşluk genişliklerine göre ısı geçirgenlik değerlerini göstermektedir. Aradaki boşlukta kullanılacak dolgu tercihiyle de ısı geçirgenlik değerleri değişmektedir.

Tablo 1. a) Isı kontrol (Low-E) kaplamalı cam ısı geçirgenlik katsayıları b) Isı ve güneş kontrol (Solar Low-E) kaplamalı cam ısı geçirgenlik katsayıları (İzoder, 2009).

Ara boşluk genişliği (mm)	Isı Geçirgenlik Katsayısı TS EN 673 W/m ² K	
	kuru hava	argon
12	1,6	1,3
16	1,3	1,3

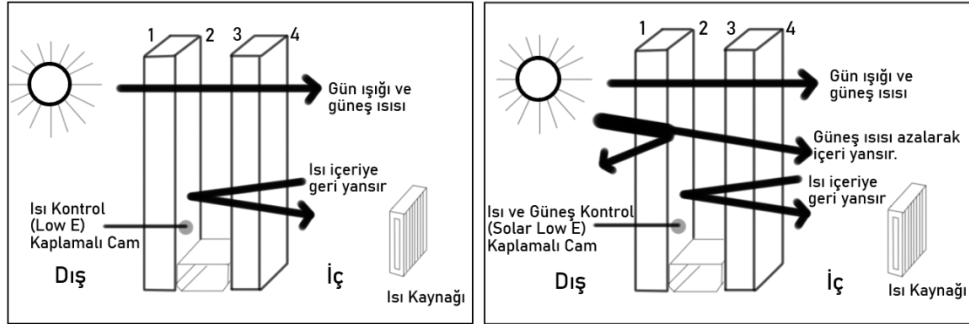
a.

Ara boşluk genişliği (mm)	Isı Geçirgenlik Katsayısı TS EN 673 W/m ² K	
	kuru hava	argon
12	1,6	1,3
16	1,3	1,1

b.

Düşük yayımlı ısı kontrol (Low-E) kaplamalı camlarla üretilen yalıtım camları (Şekil 3a): iç mekânda bulunan radyatör, soba gibi ısı kaynaklarından yayılan ısıyı tekrar içeriye yansıtarak binanın içindeki ısıyı korumayı amaçlamaktadır. Düz cama kıyasla UV geçirgenliğini azaltmaktadır ve eşyaların renkleri daha uzun süre korunmaktadır (İzoder, 2009).

Cam panellerin hangi yüzeyine kaplama uygulanacağı, kullanılacak olunan bölgenin iklimine göre değişmektedir. Örneğin çok soğuk bölgelerde maksimum ısı kazancı elde etmek amacıyla iç cam panelin iç yüzeyi (3. yüzey) tercih edilmektedir. Ülkemizde ise dış cam panelin iç yüzeyi (2.yüzey) tercih edilmektedir (İzoder, 2009).



Şekil 3. a) Isı kontrol (Low-E) kaplamalı yalıtım camı ve b) Isı ve güneş kontrol (Solar Low E) kaplamalı cam (İzoder, 2009'dan uyarlanmıştır)

Düşük yayımlı ısı ve güneş kontrol (Solar Low-E) kaplamalı camlarla üretilen yalıtım camları (Şekil 3b): gün ışığının tamamını içeriye alırken güneş ısısını güneşin ısısını azaltarak içeri almaktadır. Low-e kaplamalı camın özelliğini taşıyıp iç mekandaki ısıyı korumakla birlikte, güneş ısı kontrolü de yapmaktadır (İzoder, 2009). Solar Low-E kaplama katmanı 2 yüzeyde yani dış camın ara boşluğa bakan iç yüzeyinde yer almaktadır (İzoder, 2009). Isı ve güneş kontrol özelliği bulunan Solar Low-E kaplamalı camın, basit cama kıyasla daha düşük UV geçirgenliği bulunmaktadır. Bu sayede perde, halı ve benzeri iç mekan eşyaların renklerinin korunmasına yardımcı olmaktadır. Tablo.1b Türkiye'de üretilen Solar low-e yalıtımlı camın ara boşluk genişliklerine göre ısı geçirgenlik değerlerini göstermektedir. Low-e kaplamalı cam seçiminde ısı geçirgenlik katsayı değerlerine dikkat edilmelidir. Bu katsayı değeri bilinmiyorsa camın ara boşluk genişliği, ara boşluk dolgusunun yayılım değeri ve doğramaların U değerleri dikkate alınmaktadır (İzoder, 2009).

Renkli Cam

Renkli cam diğer adıyla sırça, genellikle estetik kullanım amacı için tercih edilir. Genellikle çatı pencerelerinde, dekor amaçlı kullanılan panellerde, giydirme cephe konut harici yapılarda, korkuluklarda gözlemlenmektedir (Şekil 4). Cama renk eklenmesiyle oluşturulur. Camın eritme aşamasının öncesinde, renklendirici katkıların ve koyu renk verebilmek için az miktarda metal oksit eklenmesiyle elde edilir. Böylelikle camın renkli gözükmeye sağlanmaktadır. Renkli cam güneş ısısının %30 ila %45'ini absorbe ederek ısı kontrolüne yardımcı olmaktadır (Özdaş, 2022). Ayrıca içeriye alınan güneş ışığını azaltmak ve UV ışınlarından korunmak için de tercih edilmektedir. Böylelikle mobilyaların renginin korunmasına yardımcı olmaktadır.



Şekil 4. Renkli cam (Asil Cam, 2022)

Aynalı Cam

Aynalı cam basit bir ayna olarak tanımlanabilmektedir (Şekil 5). Camın bir yüzeyine genellikle metal kaplama yapılmaktadır. Bu kaplama gümüş, krom, altın veya alüminyum malzemeden olmaktadır (Özdaş, 2022).

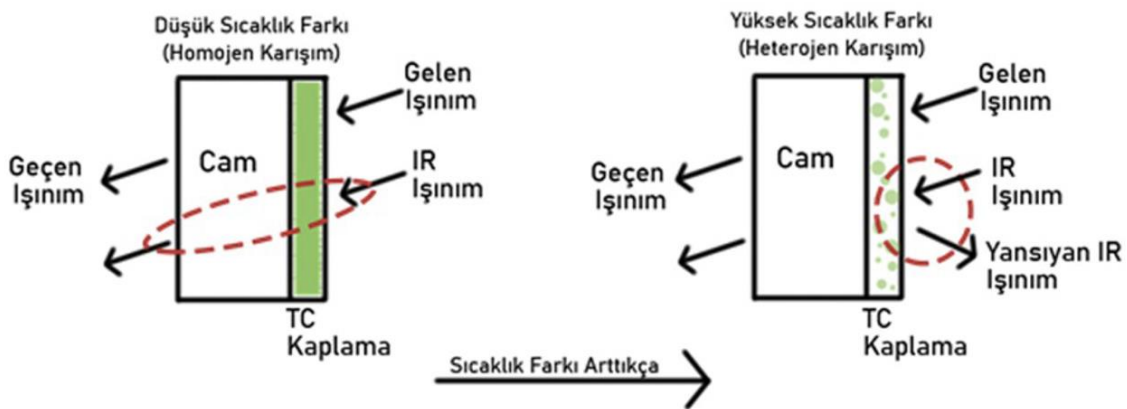


Şekil 5. a) Aynalı cam (Astar Reklam, 2022) b) Singha D'luck Sinematik Tiyatro, Architects 49, Tayland (Abdel, 2022)

Aynalı cam ısı yalıtımı da sağlamaktadır ve UV ışınlarına karşı oldukça etkilidir. Dışarıdan gelen güneş ışığına karşı iç alanı korurken, güneş ısısına karşı %50'lik etkisi ile de enerjiden tasarruf edilmesini sağlamaktadır (Farkcam, 2022).

Termokromik Cam (TC)

Termokromik malzemeler sıcaklığa göre renk değişimi gösteren malzemelerdir. Yunancadan gelen Termo-kromik kelimesinde termo (thermos) sıcaklığı, kromik (chroma) ise rengi ifade etmektedir. (Açıksarı & Karasu, 2018). Termokromik malzemelerde kimyasal tepkime gerçekleşmektedir. Sıcaklık farkının oluşmasıyla iki farklı hal arasında geçiş gerçekleşmektedir. Şekil 6'da gösterildiği gibi Termokromik özellik taşıyan camlar düşük sıcaklarda saydam olmaktadır. Dışardaki sıcaklık arttıkça saydamlığı azalır ve daha az ışık geçirir olmaktadır. Dış mekan ile iç mekan arasındaki sıcaklık farkı 10 C° iken camda saydamlık gözlenirken, sıcaklık farkı 65 C° olduğunda minimum saydamlık gözlenmektedir. Termokromik özellik birçok organik ve inorganik bileşenlerde görülmektedir. Örneğin termokromik özellik gösteren metal oksit olan Vanadium oksit, yarı iletkenlikten metalik hale geçiş yaptıklarında kızılötesi (IR) bölgede yüksek yansıtıcılık gösteren bir hal alır ve böylelikle camın kızılötesi ışınları yansıtmasını sağlar (Erdemli, 2018).



Şekil 6. Termo-Kromik malzemenin şematik gösterimi (Açıksarı, 2018'den uyarlanmıştır)

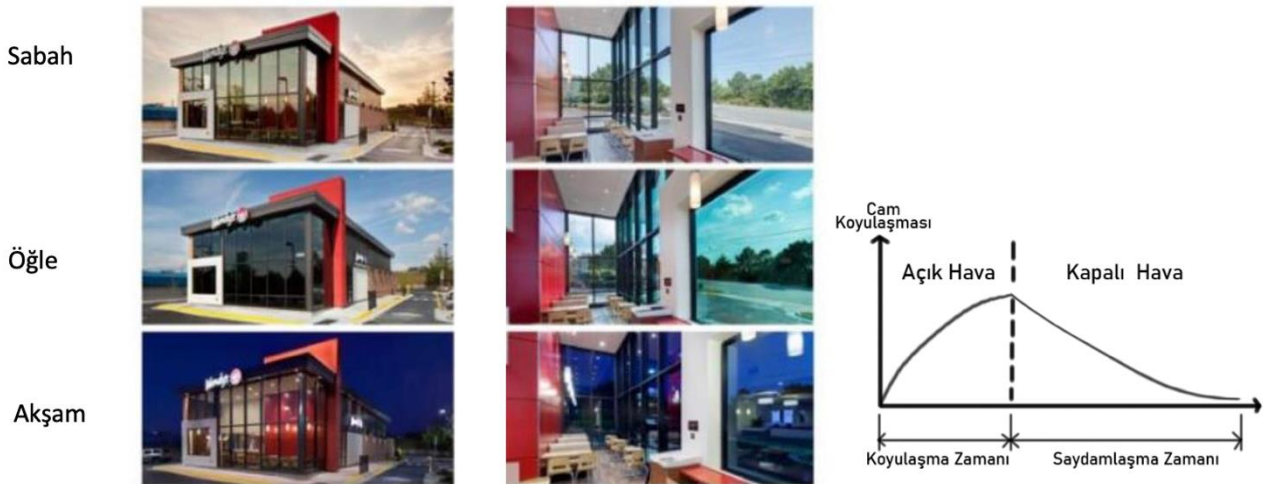
Termokromik camların saydamlıkları sıcaklığa göre değişen cam olmasındaki en önemli özelliği bileşenidir. Bu bileşen iki cam arasına sıkıştırılmış jellerden oluşmaktadır. Sıkıştırılmış jelin içinde farklı kırılma indisine sahip iki bileşen bulunmaktadır. Bunlar temel materyal olan su ve plastik malzeme veya iki farklı plastik (polimer karışım) olmaktadır. Düşük sıcaklıkta sıkıştırılmış jel homojen dağılım göstererek şeffaf bir görünüme dönerken, yüksek sıcaklıkta ise heterojen dağılım olarak beyazlaşmaktadır (Şekil 7). Böylelikle cam yansıtıcı duruma geçmiş olmaktadır. Saydamlık ve opaklık arasındaki geçiş tersinir tepkimeyle tersine dönebilmektedir (Erdemli, 2018). Bu camın olumsuz yanı, güneş ışığının içeriye geçişini azaltması ve uzun süreli kararlılığını etkileyecek şekilde sıvı fazın pencere ünitesinden sızma ihtimalidir (Kazanasmaz & Diler, 2018). Termokromik camlar pasif cam olduğu için kullanıcı kontrolü zordur. Bir diğer olumsuz özelliği de yeterli sıcaklığa ulaşmadan koyu hale geçmediği için yoğun güneş ışınımı olduğu zamanlar kullanıcıların parıltıya maruz kalmasıdır. Termokromik camın farklı renkli, kaplamalı veya low-e camlarla birlikte kullanılabilmesi ve istenmeyen güneş ısısından korunurken gün ışığından yararlandırabilmesi olumlu yanlarındandır (Erdemli, 2018).



Şekil 7. Termo-kromik camın farklı durumdaki görünüşleri (SE INTERNATIONAL, 2023)

Fotokromik Cam

Fotokromik cam gelen yoğun ışığa tepki olarak rengini değiştirebilen bir camdır. Fotokromik camların katmanı gümüş halojenür kristaller içermektedir. Bu halojenür kristaller ultraviyole veya kısa dalga görünür ışığa duyarlıdır. Termokromik camda rengin değişmesi ısıya bağlıyken; fotokromik camda rengin koyuluğu gelen güneş ışığına ya da mor ötesi ışınlarına bağlı olarak çalışmaktadır. Burada da tersinir çalışan bir sistem bulunmaktadır. Gelen ışık sona erdiğinde cam şeffaflaşmaktadır.



Şekil 8. Foto-kromik cam malzemesinin dış çevre ile rengini değiştirmesi (Topal & Arpacıoğlu, 2020; Kazanasmaz & Diler, 2018)

Işığa bağlı çalıştığı için olumsuz yanı yaz kış otomatik olarak aniden kararabilmesi olmaktadır (Şekil 8). Çok dayanıklı olması ve kimyasallara karşı direnç göstermesi de olumlu yanları olarak

gösterilebilir (Topal & Arpacioğlu, 2020). Fotokromik camların bina dışında da kullanımı gözlemlenmektedir. İstenmeyen güneş ışığına karşı genellikle gözlük camlarında ve uçakların ön camlarında kullanımı gözlenmektedir. Şekil 9'daki görselde yapılardaki kullanımının ilk örneklerinden Polonya'daki Gdańsk Teknoloji Üniversitesi'ne ait bir konferans odasının çatı kısmında kullanıldığı örneği bulunmaktadır (Karasu & Sarıcaoğlu, 2018).



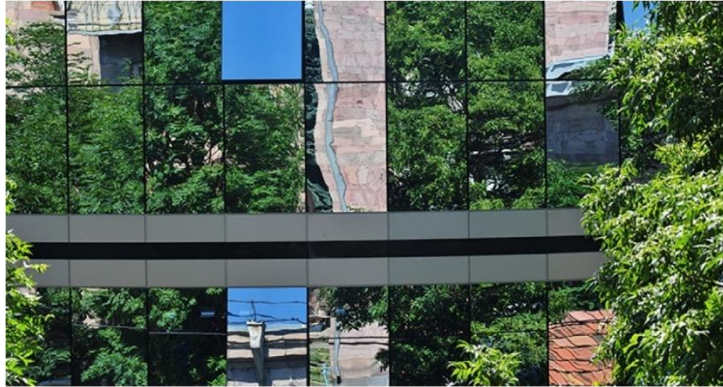
Şekil 9. Polonya'daki Gdańsk Teknoloji üniversitesindeki konferans salonu çatısı (Karasu & Sarıcaoğlu, 2018).

Reflektif (Yansıtımlı) Kaplamalı Cam

Yansıtıcı kaplamalı cam kullanımıyla güneş kontrol sistemi oluşturabilmektedir. Yansıtma değeri ne kadar artarsa geçirgenlik değeri o kadar azalmaktadır. Reflektif kaplamalı camın gelişimi cam mimarisi için önemli olmaktadır. Işığı en çok iletebilen kaplama olarak ve kızılötesi ışınlarını yansıtma açısından günümüzde cam giydirme cephelerde tercih edilmektedir. Saydamlık, doğal aydınlatma ve güneş ışınlarını kontrol etme özelliklerini bir arada bulundurmaktadır. Reflektif kaplamalı camlar genellikle güneş kontrolünün daha zor olduğu çok katlı yapıların dış cephelerinde kullanılmaktadır ya da zemin katlarda dışarıdan içerinin görülmemesi, yapının çevreyi yansıtabilmesi gibi (Şekil 10) tasarımsal hedeflerle de tercih edilmektedir (Karasu & Sarıcaoğlu, 2018).

Reflektif cam filmi çizilmeye karşı dayanıklı "sert" katman, yüksek optik kalitede polyester ve anti-IR koruması, UV tabakası, şeffaf yapışkan tabaka ve koruyucu katman olmak üzere 5 katmandan oluşur. (Gmcfilm, 2022).

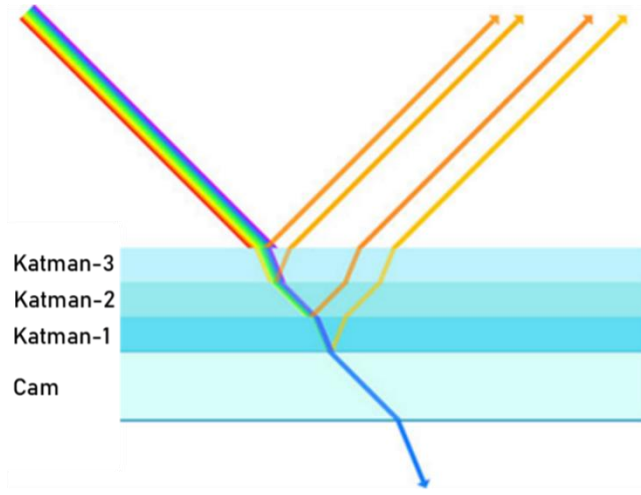
Reflektif camın güneş kontrolü özelliklerinin başında mekânın sıcaklığını sabit tutabilmek için güneş ısını yansıtması bulunmaktadır. UV ışınlarını engelleme oranı %99'a varmaktadır. Çeşitli cam yüzeylerine entegre edilebilmektedir (Gmcfilm, 2022).



Şekil.10 Reflektif (Yansıtımlı) kaplamalı cam (Gmcfilm, 2022)

Dikroik Kaplamalı Cam

'Dichroic' terimi Yunancadan gelmektedir. Di – iki kez ve khros-renkli demektir. Kelimenin tam anlamı 'iki renk' anlamına gelir. Diokroik kaplama üste üste gelen çok sayıda bileşik katmanla elde edilmektedir (Dichronz, 2022). Böylelikle cama beyaz ışık gönderildiğinde beyaz ışığın içinde bulunan her rengin (kırmızı-turuncu-sarı-yeşil-mavi-mor) farklı dalga boyunda kırılıp, yansıtacağı anlamına gelmektedir. Şekil 11'de görüldüğü gibi ışının yansıması veya kırılması dikroik camı oluşturan katmanlara ve sıralanışına göre değişmektedir. Dikroik camdan yansıyan renkler hem karşılık gelen katmanın yüzeyinde hem de alt sınırında yansıyan ışık dalgalarının üst üste binmesinin sonucudur. İki dalga tepe noktası üst üste gelirse, dalgalar yoğunlaşır. Bununla birlikte, bir dalga zirvesi bir dalga çukuruyla karşılaşır, ışınlar birbirini yok ederek, gelen ışığın emilmesini ve ısı ışınlarına dönüşmesini önler (Prinzoptics, 2022).



Şekil 11. Dikroik filtre etkisi (Prinzoptics, 2022)

Kısaca, ışığı spektral renkler içinde bölerek dikroik camdan farklı renkler yansıtılmaktadır. Bu camı kullanarak istenilen rengi yansıtma veya absorbe etme kararları uygulanabilmektedir. Dikroik kaplamalar, yansıtma önleyici kaplamalar (örneğin dürbünlerde), astronotu zararlı radyasyonlardan korumak için astronot vizörleri, ultraviyole ve kızılötesi filtreler ve daha fazlası gibi çeşitli amaçlar için kullanılabilir (Dichronz, 2022). Şekil 12a'daki örnekteki gibi mimaride estetik etki meydana getirme kullanım amacı da görülmektedir.



Şekil 12. a) İlahiyat Okulu Sweeny Şapeli iç mekanında dikroik kaplamalı camın etkisi (Birinci & Feyzoğlu, 2022) b) Seramik-emaye kaplı bir dış cephe cam (Karasu & Sarıcaoğlu, 2018)

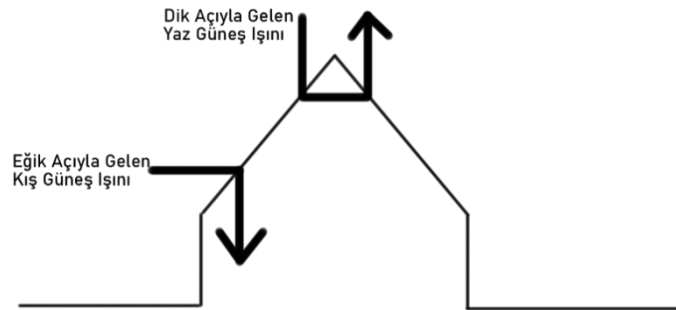
Seramik-Emaye Kaplamalı Cam

Camda yansıtıcı saydam kaplama yerine, bazı inorganik oksitlerin karışımından meydana gelen seramik kaplama uygulayarak da güneş kontrolü sağlanabilmektedir. Dış etkilere karşı temperlenerek güçlendirilmiş, emaye boyalı ince bir seramiğin cam yüzeyine kısmen veya tamamen uygulanmasıyla elde edilmektedir. Gerekliliğe göre işlem üst üste uygulanarak yansıtıcılığı artırılabilir. Güneş ısısının yaklaşık % 25'ini seramik-emaye kaplamalı cam yansıtmaktadır. Güneş ışığını yüzeyinden neredeyse hiç geçirmediği söylenebilir. Genellikle mekânların güneş ışığına çok maruz kalan çatı ve cephe kaplamalarında kullanılır böylelikle istenmeyen güneş ışığına karşı korunma sağlanabilir (Açıksarı & Karasu, 2018; Akçay, 2016).

Emaye kaplama sivri köşelerde iyi verim alınamamaktadır. İstenilen ebatta üretim yapabilmek için uygun fırın bulma zorluğu bulunmaktadır çünkü kaplamanın uygulandığı cam yüzeyin pişirilmesi gerekmektedir ve pişirme fırınlarının kapasitesi yeterli olmayabilmektedir. Büyük parçalara emaye uygulamak zordur bu yüzden Şekil.12b'de görüldüğü gibi genellikle küçük parçaların birleştirilmesiyle oluşturulmuş cephelerde uygulanır (Strong3000, 2022).

Açısal Seçici Kaplamalı Cam

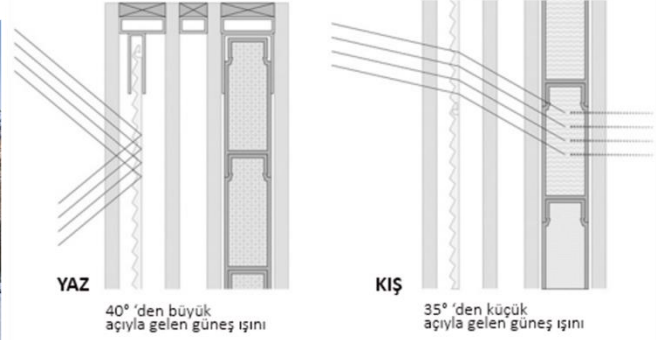
Güneş açısı günün en sıcak saatlerinde ve yaz aylarında neredeyse dik açıda içeri girmektedir. Açısal seçici kaplama, hem güneşin içeriye girmesi istenilen dönemlerde hem de istenilmeyen dönemlerde kullanılabilen cam kaplama çeşididir. Özelliği gelen dik açılı ışınların geçişini engellemek ve yatay açılı olan ışınların geçişine izin vermektir (Şekil 13). Genellikle camların tepe ışıklıklarında kullanılıp, sıcak iklim bölgelerinde tercih edilmektedir. Basit cam kullanımı ve bina dışından uygulanacak gölgeleme elemanı ile basit bir yolla ısı kazancı engellenebilir fakat gölgeleme elemanı iç kısımlara giren güneş ışığını da azaltmaktadır. Bu durumu önleyebilmek amacıyla da açısal seçici cam kaplama tercih edilmektedir. Bu cam alüminyum veya gümüş gibi kaplamalarla elde edilmektedir (Açıksarı & Karasu, 2018).



Şekil 13. Açısal seçici camların tepe ışıklığı (Açıksarı, 2018'den uyarlanmıştır).

Açısal seçici kaplamalı camın diğer cam türlerinde olduğu gibi kontrol etmek istediği duruma göre çeşitlenen türleri bulunmaktadır. Bunların içinde en bilinenler iki cam arasına yerleştirilen holografik optik elemanlar, prizmatik paneller, lazer kesimli panellerdir. Holografik optik elemanla kullanılan bir camda direkt gelen güneş ışını yansılırken, yaygın gelen güneş ışını geçirici özellik taşımaktadır. İç mekânda yansıtıcı bir tavan tercihiyle mekânın derinlerine gün ışığı erişimi iki kat daha fazla sağlanmaktadır. Prizmatik panel dışarıya yönelmiş yansıtıcılığı yüksek dişli bir malzemedir. Yine holografik eleman gibi iç mekânın derinliklerine güneş ışığının erişmesini sağlamaktadır. Direkt gelen güneş ışığını yansıtırken yaşanan kamaşmadan dolayı genellikle görüş hizasını kesmeyecek şekilde pencere üstlerinde tercih edilmektedir. Lazer kesim panel saydam akrilik panel üzerinde lazer ile kesikler atılarak sağlanmaktadır. En önemli özelliği gelen ışınların geniş açıyla içeriye geçmesi ve dışarının görüşünü daha az engellemesidir (Manav, Kutlu, & Küçükdoğan).

Bunun dışında yukarıdaki cam türlerini birlikte kullanılabilenmektedir. Şekil 14 örneğinde hem termokromik cam özelliği hem de faz değiştirme özelliği bulunmaktadır. Özelleştirilmiş bir cam sistemi olan GlassX kullanılmıştır. GlassX camlama sisteminin çekirdeği, bir polikarbonat kap içinde kapsüllenmiş ince bir yarı saydam PCM tabakası olan termal depolama modülüdür. Oda sıcaklığında, tuz hidrat olan bu faz değiştiren malzemenin 16 mm'si, 250 mm'lik bir beton duvar kadar ısıyı emebilir. Termal depolama modülünün önüne prizmatik bir polikarbonat düzlem eklenir. Eklenen prizmatik düzlem açısız seçici kaplamalı cam olarak işlev gösterir. Binayı serin tutmak için yazın yüksek açılı güneş ışığını iletmek yerine açısının yönünü değiştiriyor. Daha düşük açılı kış ışığı bu katman aracılığıyla içeriye iletilir. Faz değiştiren malzeme ısıyı eriyerek depolar ve ardından gece malzeme soğuyup yeniden katılaştıkça onu iç boşluğa geri verir (Orhon, 2016).



Şekil 14. Alterswohnen binasının PCM cam cephesi ve GlassX sisteminin çalışma prensibi (GlassX, 2005)

GlassX pencerelerinin ilk örneklerinin arasında İsviçre'de bulunan Alterswohnen binası bulunmaktadır. Bu örnekle farklı cam türlerinin birlikte de kullanılmasıyla, istenilen güneş kontrolünü sağlayabilmenin mümkün olduğu söylenebilmektedir.

DEĞERLENDİRMELER VE SONUÇLAR

Bu çalışmada pasif enerjiye dayalı güneş kontrolü yapabilen camlar incelenmiştir. Bu camlar: Çift cam, yalıtımlı cam, renkli cam, aynalı cam, termo-kromik cam, foto-kromik cam, reflektif kaplamalı cam, dikroik kaplamalı cam, seramik-emaye kaplamalı cam ve açısız seçici kaplamalı cam olarak belirlenmiştir. Bu camlar basit cama kıyasla değerlendirirken, yeri geldiğinde birbiriyle olan farklılıklar da ele alınmıştır.

Bu çalışmada incelenen güneş kontrolü sağlayan cam çeşitlerine bakılarak bir değerlendirme yapılması gerekirse; en bilinen cam çeşitlerinden olan çift cam ve yalıtımlı cam gibi cam tercihiyle ısı kontrolü basit bir cama göre başarılı bir şekilde yapılmaktadır. Bu ısı kontrolü dış sıcaklık ile iç sıcaklık farkını korumasına yardım gibi düşünülebilir. Çift ve yalıtımlı cam dışında ekstra kontrol sağlanmak için tercih edilen cam türleri ve kaplama türlerinde olumlu veya olumsuz etkenler bulunmaktadır. Örneğin termokromik camlarda ısı artışı olduğunda saydamlığını kaybederek ısı geçişini engellemeyi amaçlar. Bu durum yaz mevsimi için uygun bir durum oluştururken, kış mevsimlerinde dezavantajlı bir durum olmaktadır. Bu sebeple bu cam tipi sıcak iklim bölgeleri için veya mevsimlik kullanılan yapılar için uygun olacaktır. Örneğin sadece yaz aylarında kullanılan yazlık evler gibi. Fotokromik camlarda aynı durum ısı yerine ışık geçişiyle camların koyu renge dönüşmesiyle gerçekleşmektedir. Bu durumun dezavantajı ise gün ışığından faydalanamamak olmaktadır. Binanın işlevi, tasarım dili gibi faktörler tercih edilen cam özelliğini etkilemektedir. Örneğin renkli, yansıtımlı, seramik-emaye kaplamalı, dikroik camları konut yapılarından görmek mümkün olmamakla birlikte daha çok kamusal, çok katlı ve giydirme cepheleri olan binalarda görülmektedir. Binanın bulunduğu iklime veya binanın daha yoğun kullanıldığı mevsime göre belirlenecek camlar bulunurken bunun yanı sıra açısız seçici cam gibi güneş ışınının geliş açısına göre değerlendirme yapılabilecek cam türleri de bulunmaktadır.

Tablo 2. Cam Türlerinin Değerlendirilmesi (Yazarlar tarafından oluşturulmuştur)

	Katman	Temel Özelliği	Avantajı (A)	Dezavantajı (D)
Çift Cam	2 veya 3 Düz Cam	Hava/argon/ksenon/ kripton gazla doldurulmuş boşluk	(A) Yoğuşmayı, gürültüyü, ısı kaybını ve UV geçirgenliğini azaltır.	-
Yalıtımlı Cam	2 ya da 3 cam paneli + Yalıtım Kaplama	Çift camdan farkı araya eklenen saydam yalıtım kaplama - polisülfid veya poliüretan yerine özel silikonlarla üretilir.	(A) Camın hangi yüzeyine kaplama uygulanacağı kararı verilerek bölgenin iklim koşullarına göre konfor seçimi yapılabilir. %80 oranlarda ısı korumasına sahiptir.	-
Renkli Cam	Katman Sayısı Tercihe Bağlıdır.	Cam harmanına renklendirici katkılar ve az miktarda metal oksit eklenir.	(A) Gelen güneş ısının %30 ila %45'ini emer ve gelen güneş ışığını yansıtıran UV ışınlarından korur.	-
Aynalı Cam	Tek Katman	Genellikle cam yüzeyin bir tarafına metal kaplama yapılır. Metal kaplama gümüş, krom, altın veya alüminyumdan yapılır.	(A) Dışarıdan gelen güneş ışığına ve UV ışınlarına karşı iç alanı korur, ısıtma ve soğutma sistemine olan %50'lik etkisi ile de enerjiden tasarruf edilmesini sağlamaktadır.	-
Termo- kromik Cam	Farklı renkli, kaplamalı veya low-e camlar ile birlikte de kullanıldığı için katman sayısı tercihe bağlıdır.	Termokromik malzemeyle sıcaklık değişimine bağlı biçimde iki farklı hal arasında geçişe sebep olur böylelikle renk değiştirir.	(A) Isı yükünü azaltırken denge sağlamakta ve maksimum gün ışığından faydalanabilmektedir.	(D) Renk değişimi esnasında parıltıya maruz bırakıp, görsel konforsuzluk oluşturmaktadır.
Foto Kromik Cam	Farklı renkli, kaplamalı veya low-e camlar ile birlikte de kullanıldığı için katman sayısı tercihe bağlıdır.	İçerdiği, ultraviyole veya kısa dalga görünür ışığa duyarlı gümüş halojenür kristalleri sayesinde, gelen ışık yoğunluğuna bağlı renk koyulaşması sağlar.	(A) Çok dayanıklıdır ve kimyasallara karşı direnc göstermektedir. Güneş ışığına maruz kalmayı önlemektedir.	(D) Güneş ışığına bağlı çalışmasından dolayı yaz-kış otomatik olarak aniden kararabilmektedir.

Tablo 2. (devamı) Cam Türlerinin Değerlendirilmesi (Yazarlar tarafından oluşturulmuştur)

	Katman	Temel Özelliği	Avantajı (A)	Dezavantajı (D)
Reflektif (Yansıtmalı) Kaplama Cam	5 katmanlıdır. Çizilmeye karşı dayanıklı "sert" katman, yüksek optik kalitede polyester ve anti-IR koruması, UV tabakası, şeffaf yapışkan tabaka ve koruyucu katman	Yansıtmanın artırılması, geçirgenlik değerinin azalmasını sağlamaktadır.	(A) Gelen güneş ısısını yansıtır ve cama gelen UV ışınlarının % 99'unu iç mekana girişini engeller.	-
Dikroik Kaplama Cam	Katman sayısı tercihe bağlıdır.	Gelen ışığı dalga boylarına göre spektral renkler içine bölmektedirler.	(A) Günün farklı zamanlarında görsel anlamda farklı etkiler sağlayabilmekte ve ışığın dalga boyuna göre yansıtma veya emme sağlayabilmektedir.	
Seramik- Emaye Kaplama Cam	Katman sayısı tercihe bağlıdır.	Dış etkilere karşı dayanıklı, emaye boyalı seramik tabakanın camın yüzeyine uygulanması ile elde edilmektedir.	(A) Güneş ışınlarının yaklaşık %25'ini yansıtılmaktadır. İstenmeyen güneşiğine karşı korunma sağlanmaktadır.	(D) İstenilen ebatta üretim yapma zorluğu bulunmaktadır.
Açısal Seçici Kaplama Cam	Katman sayısı tercihe bağlıdır	Dik açıyla gelen ışınların geçişini engelleyerek yataya açılı olan ışınları geçirmektedir.	(A) Bu camların tepe ışıklıklarında kullanılması sıcak iklim bölgelerinde tercih edilmektedir. Yaz ve kış güneş ışını farklı ele almak mümkün olmaktadır.	(D) Görsel konforu bozacağı için cephede göz hizasının üstünde kullanılmalıdır.

Bina cephelerinde cam malzeme kullanım oranı son yıllarda yoğun olarak artmaktadır. Kullanılan cam çeşitleri, ısıtma ve soğutma olarak bakıldığında binanın termal performansına farklı şekillerde etki etmektedirler. Buna bağlı olarak da cam konusundaki teknolojik gelişmeler ve geliştirilmiş kaplama malzemeleri artmaktadır.

Seçilen malzemeyle uygun bir güneş kontrolü amaçlanıyorsa yapının bulunduğu iklimsel şartlar, kullanım tercihleri gibi kriterler dikkatli ele alınmalıdır. Gelişen cam malzeme seçenekleriyle günümüzde geniş açıklıkları olan yapılarda da istenen güneş kontrolünü, pasif sistem olarak ele alınan, farklı gelişmiş cam seçimleriyle yapmak mümkün olmaktadır.

KAYNAKÇA

- Abdel, H. (2022, Aralık 24). *Singha D'luck Cinematic Theatre / Architects 49. Arcdaily*. https://www.archdaily.com/952167/singha-dluck-cinematic-theatre-architects-49?ad_medium=gallery
- Açıksarı, C., & Karasu, B. (2018). Akıllı camlar ve teknolojik gelişimleri., *El-Cezerî Journal of Science and Engineering*, 5(2), 437-457. <https://doi.org/10.31202/ecjse.397717>
- Admin. (2020, EKİM 1). *Cift Camli Pencere Ses Yalitimini Saglar Mi? cevap-bul*. <https://cevap-bul.com/cift-camli-pencere-ses-yalitimini-saglar-mi/>
- Akçay, S. (2016). *Emaye Kaplama Nedir*. malzeme bilimi. <https://malzemebilimi.net/emaye-kaplama-nedir.html>
- Asil Cam. (2022). *Renkli Cam*. asilcam.<https://www.asilcam.net/renkli-cam/>
- Astar Reklam. (2022). *Aynalı Cam Filmi*. asta reklam.<https://www.astareklam.com.tr/aynali-cam-filmi.html>
- Aykan Yapi. (2022). *Yalitimli Cam Nedir? Aykan Yapi Tasarim*. <https://aykanyapitasarim.com/yalitimli-cam-nedir>
- Ayşin, S., Volkan, G., & Özgen, A. (2004, 6-8 Ekim). Cepenin vazgeçilmez saydam malzemesi cam. Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi, İstanbul.
- Birinci, A., & Feyzoğlu, T. (2022, Aralık). Mimaride dikroik cam kullanımı. *Ulak Bilge Sosyal Bilimler Dergisi*, <https://www.ulakbilge.com/makale/pdf/1668862948.pdf>.
- Çakmanus, İ. (2004). Enerji Verimli Bina Tasarım Yaklaşımı. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 84, 20-27.
- Dichronz. (2022). *The Dichroic Process*. https://www.dichronz.com/?page_id=25
- Erdemli, M. İ. (2018). *Elektrokromik Kaplamalı Camın Farklı İklim Bölgelerine Göre Enerji Performansı Değerlendirilmesi* (Yayın numarası. 510117) [Yüksek lisans tezi].
- Farkcam. (2022). *Aynalı Cam Filmi*. farkcamfilmleri.com. <https://www.farkcamfilmleri.com/aynali-cam-filmi>
- Firatpen. (2022). *PVC Pencereelerde Camın Önemi ve Cam Çeşitleri*. www.firatpen.com.tr. <https://www.firatpen.com.tr/pvc-pencereelerde-camin-onemi-ve-cam-cesitleri>.
- GlassX. (2005). <https://www.glassx.ch>
- Gmcfilm. (2022). *Reflektif Yansıtmalı Cam Filmi*. gmcfilm. <https://www.gmcfilm.com/reflektif-yansitmali-cam-filmi>
- İzoder. (2009). *Yalitim Camı Üniteleri*. www.izoder.org.tr. https://www.izoder.org.tr/dosyalar/yalitim_cami_uniteleri.pdf
- Karasu, B., & Sarıcaoğlu, B. (2018). Cam Yüzey Kaplama Teknolojileri. *El-Cezerî Journal of Science and Engineering*, 5(2), 475-500. <https://doi.org/10.31202/ecjse.409685>
- Kazanasmaz, T., & Diler, Y. (2018). *Gelişmiş cam teknolojileri ile enerji etkinliğin değerlendirilmesi*. İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mimarlık Bölümü. https://www.emo.org.tr/ekler/cbe24c74687d602_ek.pdf
- Manav, B., Kutlu, R., & Küçükdoğu, M. (tarih yok). *Mimaride Kullanılan Cam Türlerinin Aydınlatma Açısından İncelenmesi*. https://www.emo.org.tr/ekler/21654b2b0214ac5_ek.pdf
- Orhon, A. V. (2016). Adaptive Building Shells.İçinde R.Efe & L.Matchavariani & A.Yaldır &L. Levai (Eds.), *Developments in Science and Engineering*.(s.554-567). St. Kliment Ohridski University Press.

- Özdaş, M. (2022, Aralık 18). *Pencere Camlarının Türleri ve Özellikleri*. BilgiUstam. <https://www.bilgiustam.com/pencere-camlarinin-turleri-ve-ozellikleri/>
- Prinzoptics. (2022). *Manufacture of dichroics, areas of application and specifications*. www.prinzoptics.de. <https://www.prinzoptics.de/en/technology-specifications-and-application-dichroic-filters>
- SE International. (2023). *Thermochromic Smart Glass*. shinewayeurope.eu. <https://www.shinewayeurope.eu/en/thermochromic-smart-glass/>
- Strong3000. (2022). *Emaye Kaplama Nedir?* strong3000. <https://www.strong3000.com/emaye-kaplama-nedir/> a
- Teknik Pencere. (2022). *Tek cam ile çift cam arasındaki fark*. Teknik Pencere. <https://www.teknikpencere.com/tek-cam-ile-cift-cam-arasindaki-fark/>
- Topal, A. S., & Arpacioğlu, Ü. (2020). Mimarlıkta akıllı malzeme. *Journal of Architectural Sciences and Applications*, 5(2), 241-254. <https://doi.org/10.30785/mbud.784518>