

# GELİŞMİŞ CAM TEKNOLOJİLERİ İLE ENERJİ ETKİNLİĞİN DEĞERLENDİRMESİ

Tuğçe KAZANASMAZ\*, Yusuf DİLER\*\*

\* İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mimarlık Bölümü,  
Gülbahçe Kampüsü, Urla, İzmir  
tugcekazanasmaz@iyte.edu.tr

\*\* Tiryakiler Şirketler Grubu, Tirsan Kardan A.Ş. , Atatürk Cad. No:20 45030 Manisa  
yusufdiler@iyte.edu.tr

## ÖZET

Dünyada ve ülkemizde son yıllarda enerji ve CO<sub>2</sub> emisyonları ile ilgili çeşitli sorunlarla karşı karşıya kalınması, mevcut enerji kaynaklarını daha bilinçli kullanılması gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Mimari aydınlatma alanında, güneşin eski çağlardan günümüze kadar etkin bir rol alması ve güneşiğin aydınlatma amacıyla kullanımı, cam teknolojisinin gelişmesine paralel olarak mimar ve mühendislere geniş tasarım imkânları sunarak devam etmektedir. Cam, geçmiş çağlarda sadece saydamlığı sebebiyle kullanılırken, bugün ısı ve ses yalıtımı sağlayan, güneşiğin dolaysız olarak iç hacme ulaşması ve güneşiğin iç hacimlerde düzensiz dağılımının neden olduğu kamaşma problemlerini engelleyen, güneş ışınımının sebep olduğu ısıyı denetleyen kısaca yapının konfor koşullarını iyileştiren bir yapı elemanı olmuştur. Bu sayede, iç ve dış görünüş estetiği iyileştirilirken; kullanıcıların görsel ve ısı konforu(dolayısıyla doğal aydınlatma performansı) sağlanmaktadır. Aynı zamanda yenilenebilir enerji kaynaklarının daha etkin kullanımı sağlanarak, binanın enerji maliyetleri düşürülmek için cam üretimi sürekli geliştirilerek mimar ve mühendislere enerji etkin binalar ve iç hacimler tasarlayabilmeleri için geniş çaplı seçenekler sunulmaktadır. Enerji maliyetlerinin düşürülmesi sadece iç aydınlık düzeyinin artırılıp elektrik enerjisinin azaltılması açısından değil, dolaysız gelen güneşiğin oluşturacağı aşırı ısınmaya karşı soğutma yüklerinin de azaltılması açısından değerlendirilmelidir. Bu çalışmada, doğal aydınlatma ile uygun ve sağlıklı ortamlar tasarlanması düşünülerek gelecek mimari ve mühendislik uygulamalara ışık tutmak amacıyla gelişmiş cam teknolojileri --termokromik, elektrokromik, güneşiğini yönlendiren, sıvı kristalli v.b.—üretim ve uygulama aşamaları tanıtılarak, örnek çalışmalar aracılığı ile enerji etkinliğinin sağlanması değerlendirilmektedir.

## GİRİŞ

Enerji şüphesiz ki normal yaşam döngüsünün temel bir yapı taşı; ekonomik ve sosyal kalkınmanın önemli bileşenlerinden biridir. Dünyada kullanılan enerjinin büyük bir çoğunluğu güneşten gelmektedir. Bu enerji, evlere, ofislere, fabrikalara kısaca kapalı olan yaşam alanlarına cam yüzeylerden geçerek girer. Uygun ve istenilen düzeyde olan aydınlatma koşullarına, yapma aydınlatma elemanlarını kullanarak ulaşabilsek de güneşiğin ve güneşin insan üzerinde olumlu psikolojik etkilerinin mevcut olduğu bilinmektedir. Özellikle flüoresan çağ ile birlikte çalışma ortamlarında azalan güneşiğin aydınlatma amaçlı kullanımı, günümüze yaklaştıkça; gerek enerji etkin tasarım yaklaşımı gerekse güneşiğin

olumlu etkilerinin araştırılmasıyla camların yeniden yapı ve doğal aydınlatma elemanı olarak değeri artmaya ve güneşiği çokça kullanılmaya başlanmıştır.

İç hacimlerde güneşiğin olumlu etkilerine karşın, güneşiği kaynaklı problemlerle de karşı karşıya kalınmaktadır. Bunlar ısısal ve görsel olmak üzere iki grupta ele alınabilir. Isısal problemlere şöyle örnek verilebilir. Yaz döneminde güneşiğin kontrolsüz ve dolaysız olarak iç hacme ulaşması aşırı ısınmaya ve binanın soğutma yüklerinin artmasına, dolayısıyla da soğutma amacıyla tüketilen enerjinin artmasına neden olmaktadır. Görsel probleme örnek ise şu şekilde olabilir. Kontrolsüz ve dolaysız olarak iç hacimde dağılan güneşiği parıltı dağılımlarını etkileyerek kamaşmaya neden olur.

Yetersiz miktarda iç hacme alınan günışığı ile bu ışığın düzensiz bir şekilde iç hacimde dağılması yapma aydınlatmanın gerektiğinde daha uzun süre kullanılmasına ve elektrik enerjisini daha çok tüketmesine neden olur [1-3]. Bahsedilen durumlar, binanın performansını olumsuz etkileyecektir. Ancak termokromik, elektrokromik, günışığını yönlendiren, sıvı kristalli camlar gibi gelişmiş cam teknolojileri ile bahsedilen sorunlara çözüm aranmaktadır.

Yukarıda adı geçen akıllı cam teknolojileri ile bina performansının günışığı kontrolü ile mevsimsel veya gün içindeki değişikliklere uyum sağlaması hedeflenmektedir [4]. Bu çalışmada ise, adı geçen sistemler teknik özellikleri ve çalışma prensipleri dikkate alınarak incelenmekte, enerji etkinliğin sağlanması için sağlayabilecekleri katkı örneklerle değerlendirilmektedir.

### **TERMOKROMİK CAMLAR (ISIYA DUYARLI CAMLAR)**

Güneş enerjisi kısa dalga boylarında olduğundan, cam yüzeylerden geçerek iç hacimlere ulaşır. Açık hava koşullarında, özellikle yaz aylarında bu durum günışığına bağlı ısınma problemleri ile ortaya çıkmaktadır ve yapının soğutma maliyetlerini yükseltmektedir. Bunu önlemek için yapıda cam yüzeyleri kaplayarak güneş ısı kazançlarını düşürülebilmekle beraber bu da kış aylarında günışığından yeterince fayda sağlayamamakla sonuçlanmaktadır. Bu noktada ısıya duyarlı camlar, mimari uygulamalar için alternatif çözümler sunmak üzere geliştirilmişlerdir.

Isıya duyarlı camlar saydamlıkları sıcaklığa göre değişen camlardır. Bu camların en önemli bileşeni iki cam arasına sıkıştırılmış jellerdir, bu jel soğuk durumda saydam halde bulunmakla birlikte günışığının etkisiyle ısındığı zaman yansıtıcı özellik kazanıp ışık geçirgenliği azalarak günışığını sönümler; bu sayede bir kumanda ve ya dışarıdan bir insan etkisi

veya düğmeye ihtiyaç duymadan camın ışık geçirgenliği azalır (Şekil 1) [5].

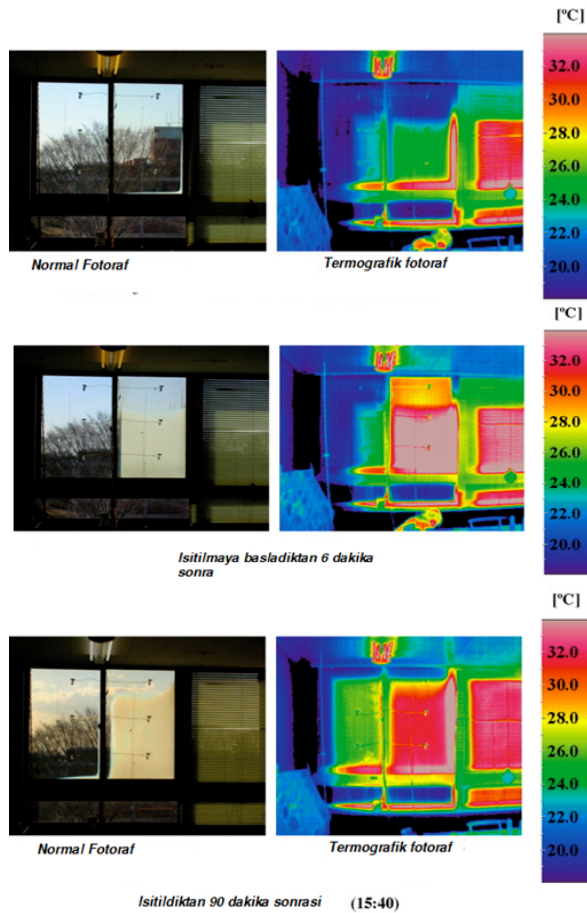
Şekil 1’de cam geçirgen halde iken, ısı özümleme değeri (solar absorptivity) 0,163 iken ikinci durumda bu değer 0,443’e kadar yükselmiştir [5]. Bu sayede iç mekânların radyasyon ile ısınmasının önüne geçilir. Şekil 2’ de görüldüğü gibi; camın günışığı etkisiyle ısınması sonucu ışık geçirgenliği, ısıtılmaya başladıktan itibaren sadece 6 dakika sonra azalır. Cam yüzeyi görüldüğü gibi şeffaf korunumunda ortalama 24 °C iken camın ışık geçirgenliği azaldıktan sonra cam yüzey sıcaklığı ortalama 30°C’ ye çıkar. Bu noktadan sonra cam yüzeyi sıcaklığı artmış olmasına rağmen günışığı dolaysız olarak bina içerisine girmediği için binanın iç ısı kazanımı düşer. Bunun sebebi, günışığının dolaysız olarak iç mekânlara girmesiyle oluşan radyasyon ile kazanılacak olan ısı değerinin, yayılımla kazanılandan



Şekil 1 Termokromik camın değişik durumlarda görünümüleri [5]

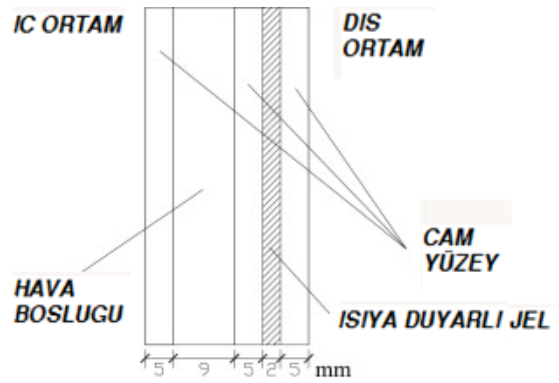
daha düşük olması ve bunun sonucunda da camın ışık geçirgenliği azalıp radyasyon ile ısınmayı önlemesi ve içsel konfor koşullarının korunmasına yardımcı olmasıdır. Böylece, binanın soğutma yükü ve maliyetleri düşürülür. Bu durum yaz aylarında soğutma maliyetini düşürmekte etkili olacaktır [5]. Buna ek olarak, Jian Yao ve Neng Zhu(2011), yaptığı çalışmalarda batı cephesinde ısıya duyarlı cam uygulaması ile normal günümüz çift camlara oranla %70 ile %53 arasında iç ısı konforunu iyileştirdiğini ortaya çıkarmıştır [6].

Bu tip camlar ısı kazançlarını kontrol etmek için ideal camlardır. Bu sayede bina içerisinde güneşiğine bağlı oluşan aşırı miktardaki ısı kazançlarının kısmen ayarlanmasına yardımcı olunur.



Şekil 2 Isıya duyarlı camın ısıtıldıktan önce ve sonra normal ve termografik görüntüleri Termokromik camın değişik durumlarda görüntüleri [5]

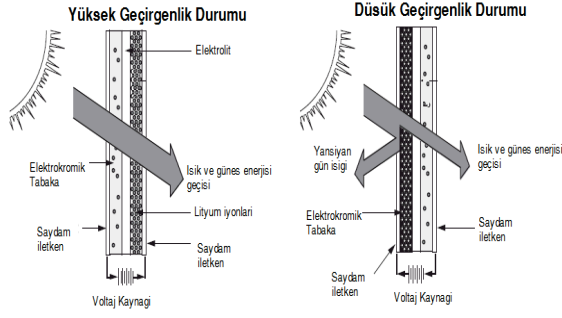
Bu camlar, her ne kadar bu özelliklere sahip olsalar da henüz ticari olarak satışları ve uygulamaları yaygın değildir ve araştırılma aşamasındadır. Bu camların en büyük dezavantajı, cama herhangi bir gölge vurması durumunda, cam yüzeyinde oluşacak sıcaklık farklılıklarından dolayı cam yüzeyinde homojen olmayan bir renk dağılımının oluşması ve estetik açıdan hoş olmayan bir görünümün oluşabilmesidir [6]. Ayrıca, camın ışık geçirgenliğinin azalması durumu, pencerenin dış ortamla görsel ilişkiyi sağlama görevini de ortadan kalkmış olmaktadır.



Şekil 3 Isıya duyarlı camın kesiti [6]

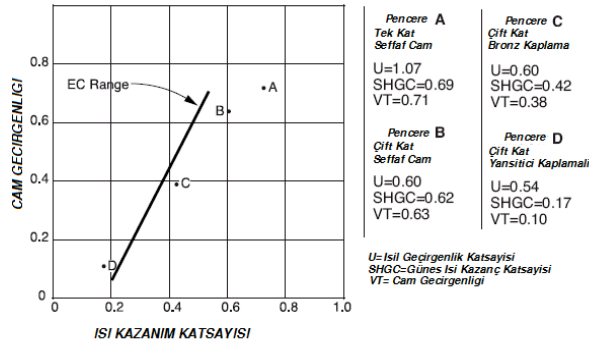
## ELEKTROKROMİK CAMLAR

Gelişmiş cam teknolojilerinden biri de elektrokromik camlardır. Elektrokromik kaplamalar 5 tabakadan oluşur ve genellikle nikel veya tungsten metalinden meydana gelir. Bu malzemeler, iki saydam iletken arasına yerleştirilir. İletkenlere voltaj uyguladığımızda cam içinde bir elektrik alanı oluşur. Bu alan yaklaşık 4 mikron büyüklüğündeki renklendirici iyonların (genellikle lityum ve hidrojen) elektrolitten elektrokromik tabakaya doğru hareket etmesini sağlar. Elektrokromik tabakada meydana gelen tepkimeden dolayı elektrokromik yüzey koyulaşır (prusya mavisi) ve saydam olmayan fotokromik camların koyu yüzeylerine benzer bir yüzey elde edilir (Şekil 3). Buna ek olarak, eğer voltajın verildiği kenar bölgelerde iyi bir ayarlama yapılmazsa kenar yüzeyler orta bölgelere göre daha çabuk koyulaşabilmektedir [7].



Şekil 4 Elektrokromik camların şematik gösterimi [8]

Kalifornia Enerji Komitesi'nin 2003 yılında yaptığı çalışmaya göre, elektrokromik cam, -10 ile 60°C arasında düşük voltajlarda çalışabilmektedir. 0.4 m<sup>2</sup> lik bir camda ışık geçirgenlik aralığı %8 ile %60 iken oda içerisinde 24–540 W/m<sup>2</sup> arası güneş radyasyonu ölçülmüştür [7].



EC range= EC camın geirgenlik aralığı

Şekil 5 Elektrokromik camlar için ısı kazanım katsayısı ve geçirgenlik değerleri aralığı ve diğer camlar [8]

Yukarıdaki grafikte 4 farklı cam tipinin elektrokromik cam ile karşılaştırılması yer almaktadır. İlk olarak B tipi pencere ile A tipi pencerenin güneş ısı kazanım katsayıları ve cam geçirgenliği değerleri birbirine yakın değerlerde iken ısı geçirgenlik katsayısı B tipi pencerede çok daha düşüktür. Diğer bir deyişle tek katlı cam yerine çift katlı camların kullanımı kış aylarında ısı kayıpları, yaz aylarında ise ısı kazanımları azaltır. D tipi pencerede yansıtıcı kaplama kullanılarak cam geçirgenliği ve güneş ısı kazanım katsayıları düşürülmüştür. Böylece güneş bağı ısı kazanımların önüne geçilmiştir. Bu tip camın sıcak bölgelerde kullanılması uygundur. C tipi bronz kaplamalı D tipi

cama göre daha yüksek güneş bağı ısı kazanç sağlar.

Yukarıdaki grafikten de, anlaşıldığı gibi elektrokromik camların ışık geçirgenliği aralığı geniş olduğu için enerji tasarrufuna büyük katkı sağlayabilecek potansiyele sahiplerdir. Bu aralığın insan tarafından bir butonla ya da otomatik kontroller ile ayarlanabilir olması sayesinde aşırı ısınma önlenerek soğutma maliyetlerinin azaltılmasına yardımcı olur [8]. Yüksek geçirgenlik durumunda özellikle bulutlu havalarda maksimum günışığından yararlanmak için tercih edilerek aydınlatma konforu sağlar. Geniş ışık geçirgenlik aralığı sunan elektrokromik camların, çevre koşulları ve hava şartlarının hızlı bir şekilde değiştiği bölgeler için kullanımı uygundur [7].



Şekil 6 Elektrokromik Camın 3 Farklı Durumda Kullanımı [7]

Temel olarak bu camları kablolar vasıtasıyla binaların elektrik tesisatlarına sağlayabildiğimiz gibi düşük enerji ihtiyacı (yaklaşık olarak 1-10V) sayesinde fotovoltaik ünitelerle de besleyebiliriz. Bu sayede düşük enerji tüketimi ile maliyetinden tasarruflar sağlanır [9].

Elektrokromik cam kullanımının iç hacim aydınlatma düzeyine ve görsel konfora olan etkilerini inceleyen çeşitli araştırmalar bulunmaktadır. Bunlardan ilki, Lee ve Tahvil'in yürüttüğü ve günışığı kontrol stratejilerinin mimari çözümlerle geliştirilmesini hedefleyen ve bunun için de elektrokromik camların görsel konforun artırılması ile birlikte enerji verimliliğinin de sağlanması konularını simülasyon aracılığıyla araştıran çalışmadır. Bu çalışmada, elektrokromik cam ile saçak

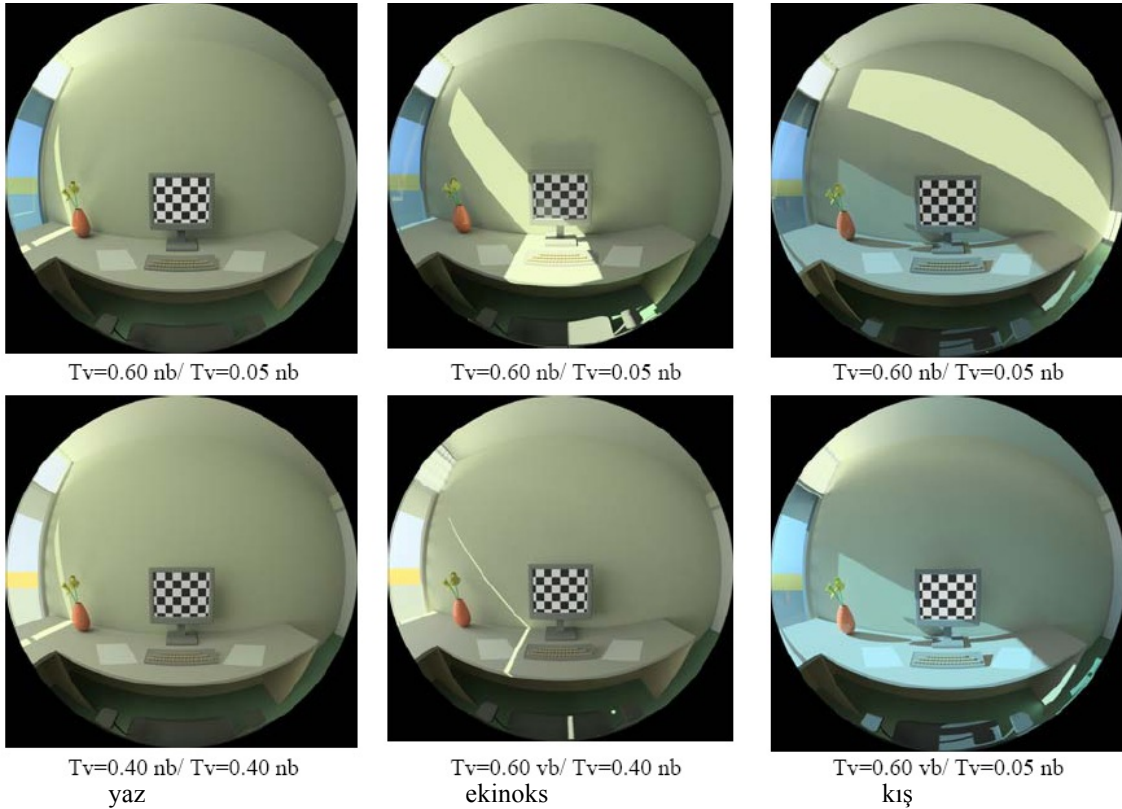


kullanılan pencerenin olduğu oda ile referans odasında alınan ölçümler karşılaştırılmıştır. Saçak ile birlikte kullanılan bu tür camın yıllık ortalama günışığı kamaşma indekslerini(daylight glare index-DGI) azalttığı, pencere alanı arttıkça da yıllık elektrik enerjisi tüketimlerinde de belirgin bir düşüş olduğu görülmüştür [8].

Elektrokromik camlar iç hacme ulaşan güneş ışınımı değerlerini etkilediğinden, parlak gök ışıklılığında kaynaklı rahatsızlık kamaşmasının önlenmesi amacıyla da incelenmektedir. Örnekte, iç yüzeyde gölgeleme elemanı kullanılmadığından günışığının dolaysız geldiği durumlarda kamaşmalar görülmüştür. Ancak kapalı gök koşulları için elektrokromik camın tek başına kullanılması, hatta 20-40° lik dış engellerin olması durumu bile görsel konfor koşulları için yeterli bulunmuştur. Yeterli olmadığı durumlarda pencerenin iç yüzeyine yerleştirilecek jaluzi sistemi ile günışığı kontrolü sağlanır. Pencerenin üst

bölmesinden ulaşan günışığı ise elektrik aydınlatmasına ihtiyaç duyulmamasını sağlar[8].

Çalışma kapsamında, Chicago için incelenen bir ofisin berrak güneşli gök koşulunda saat 11.30'da yaz (solda), ekinoks (ortada) ve kış(sağda) koşulları için hazırlanan Radiance modeli incelendiğinde çalışma masası ve çevresindeki görsel konfor durumu Şekil 7'de gösterilmiştir. Üst sıra, pencerenin üst açıklığında jaluzisiz  $T_v=0.60$  elektrokromik camı, alt açıklıkta  $T_v=0.05$  elektrokromik camı; alt sıra ise, üst açıklıkta ekinoks ve kış koşulları için jaluzili  $T_v=0.60$  elektrokromik cam ile alt açıklıkta ekinoks ve yaz koşulunda kamaşmayı azaltmak için  $T_v=0.40$  elektrokromik cam kullanımını ve kış koşulu için de dolaysız güneş kontrolü amacıyla  $T_v=0.05$  elektrokromik cam kullanımını göstermektedir ( $T_v$ : camın geçirgenliği-visible transmittance)[8].



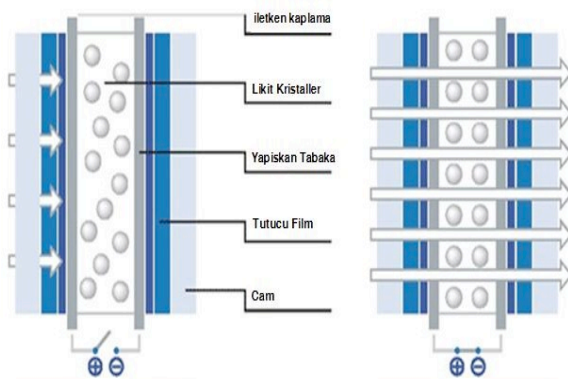
Şekil 7 Chicago'da bir ofisin berrak güneşli gök koşulunda saat 11.30'da yazın (solda), ekinoks (ortada) ve kışın(sağda) Radiance modeli [8].

Elektrokromik camın geçirgenliğinin  $T_v=0.05-0.60$  olduğu odadaki ölçümler (Şekil 7'deki üst sıra) ile  $T_v$ 'nin 0.15 ve  $T_v$ 'nin 0.50 olduğu odalardaki ölçümler karşılaştırılmıştır. Sonuçlara göre, ilk odadan elde edilen aydınlatma enerjisi,  $T_v$ 'nin 0.15 olduğu odadakinin %44-59'u,  $T_v$ 'nin 0.50 olduğu odadakinden ise %8-23'ü kadar olmuştur. İç aydınlık düzeyi, günün % 89-99'unda 510-700 lüks aralığında kalmıştır [9].

### SIVI KRİSTALLİ CAMLAR

Öncelikle, kol saatlerinde kullanılan bu teknoloji, gelişmiş pencere sistemlerinde de uygulanmaya başlanmıştır. Çok ince bir sıvı kristal tabakası, ince plastik filmler üzerinde bulunan şeffaf iletkenleri arasına yerleştirilmekte, böylece tüm emülsiyon iki cam tabakası arasına kat kat yerleştirilmiş olmaktadır [10].

Güç uygulanmadığında, sıvı kristaller rastgele ve düzgün olamayan bir şekilde sıralanır. Kristaller, bu halde iken ışığı dağıtarak camın koyu gözükmesine yol açar ve görüşü engellediğinden bir dış camda kullanılırsa mahremiyet de sağlanmış olur. Malzeme bu konumda gelen güneş ışığının dağılmış bir şekilde geçişine izin verir ve bir perde gibi görev yapar. (Şekil 8) [10].



Şekil 8 Likit kristal cam çalışma mantığının sistematik gösterimi [12]

Güç uygulandığında ise malzeme içinde oluşan elektrik, sıvı kristalleri hizalayarak, ışığın kolaylıkla geçmesine izin verir ve bir

saydamlık elde edilmesini sağlar. Bu tip camlar iki durumda da (açık-koyu) çalıştığından, saydamlık sağlamak için gücün sürekli olarak uygulanması gerektiğini unutmamak gerekir. Zira güç kesildiği anda kristaller dağınık formlarına dönecek ve cam koyu görünecektir [10]. Sıvı kristal camlar tasarımı yapanlara büyük esneklik sağlar ve toplantı odalarında ve ofislerde ferah hacimler oluşturmakta, sergi yüzeyi, projeksiyon perdesi, işaret panosu olarak kullanılabilirlikle birlikte, tuvalet kabini, mağaza vitrini gibi farklı uygulamalar için üretilmektedir [13].



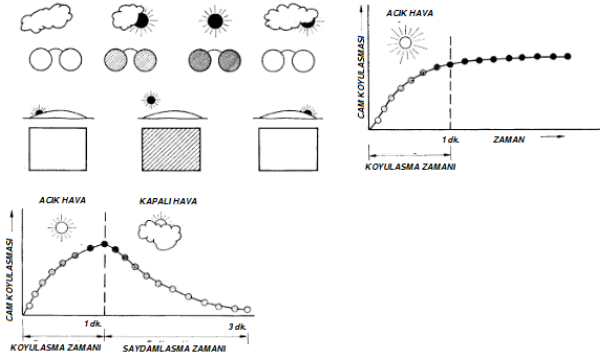
Şekil 9 Prodisplayus firmasından örnek bir uygulama [14]

### FOTOKROMİK (IŞIĞA DUYARLI) CAMLAR

Fotokromik camlar belli bir dalga boyunun etkisiyle (ultraviyole ışığın cama yansımaları vb.), koyulaşır ve yansıma kaynağından uzaklaştığında ise, yeniden özgün rengini alır. Bu sebeple, ışığa hassas olan gözlerdeki rahatsızlığı önlemek amacıyla ilk olarak gözlük camlarında kullanılmıştır. Bu tip camların kullanıldığı gözlükler kapalı alanlarda normal bir cam kadar saydamken açık alanlarda veya günışığının dolaysız etkisiyle kararır güneşin zararlı UV ışınlarına karşı %100 koruma sağlar [15].

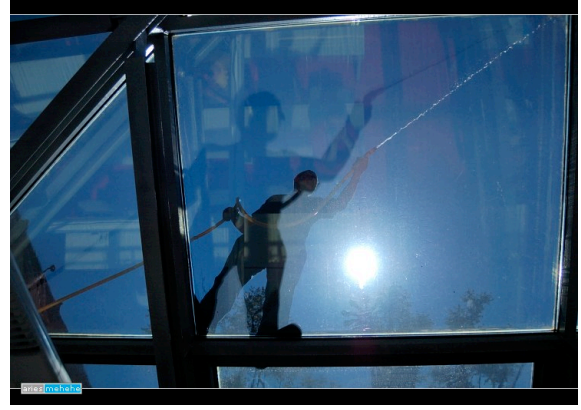
Fotokromik cam içerisinde yaklaşık 50 nanometre büyüklüğünde gümüş klorür, gümüş bromür, gümüş iyodür gibi gümüş-halürleri bulunmaktadır. Bunlar halojenlerden elde edilmiş tuzlardır ve bir miktar bakır oksit ihtiva ederler. Yapısındaki gümüş klorür sayesinde cam

morötesi ışığa maruz kaldığında ışınım enerjisini kullanarak gümüş ve klor atomlarına dönüşürler ki bu sayede camda kararmaya sebep olurlar. Işık kaynağı uzaklaştığında ise süreç tersine çalışır; gümüş ve klor atomları tekrar bir araya gelerek gümüş klorür moleküllerini oluştururlar bu sayede cam tekrar ışığı geçiren yapısına döner. (şekil 10) [15].



Şekil 10 Cam koyulaşma ve saydamlaşma süreçleri şematik gösterimi [16]

Fotokromik camların gözlüklerde kullanımının yanı sıra, pilotların dolaysız güneş ışığına maruz kalmasını önlemek amacıyla uçakların burun kısmı camlarının yapımında ve ışığa duyarlı ilaç ve yiyeceklerin saklanacağı dolap, kap vs. yapımında kullanılırlar. Bütün bu özelliklerinin yansısı binalarda güneş ışığına bağlı aşırı ısınma ve kamaşma problemini çözebilecek olmasına karşın fotokromik camın bina uygulamalarında kullanımı henüz yaygın değildir bu durumun ana sebeplerinin altında maliyet yatmaktadır. Ancak kendi kendine koyulaşan ve saydamlaşan yüzeyi bu camları mimari açıdan çekici kılmaktadır. Binalarda kullanımına örnek bir uygulama olarak Polonya’ daki Gdańsk Teknoloji ü, Üniversitesi’ne ait bir konferans odasının çatı kısmında kullanılmıştır (şekil11) [15].

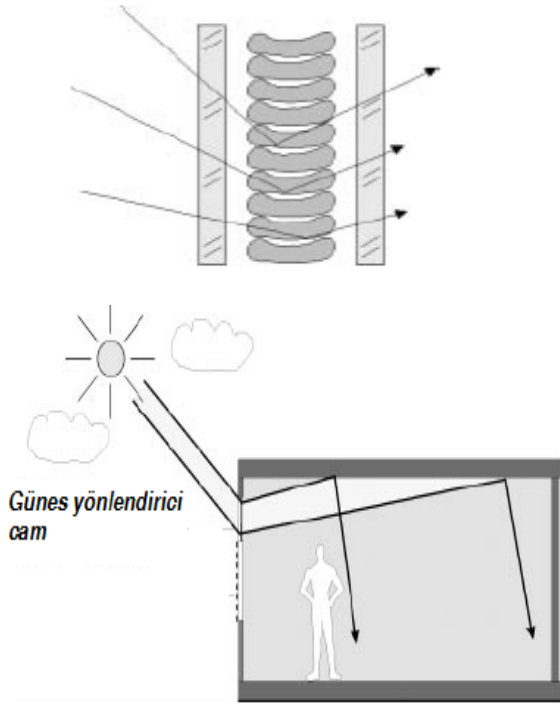


Şekil 11 Konferans solunu çatısı The University of Technology of Gdańsk (Poland) [17]

## GÜNEŞİĞİNİ YÖNLENDİREN CAMLAR (SUN DIRECTING GLASS)

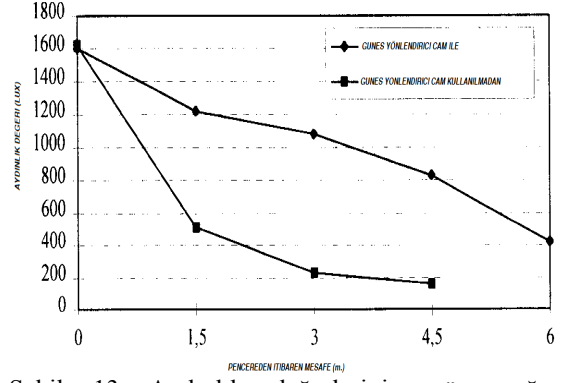
Güneş ışığını yönlendiren camlar teknik olarak çift cam arasına mekanik olarak sırlanmış konkav elemanlardan oluşur. Açılı olarak cam yüzeyine gelen güneş ışığını, dolaysız olarak içeri alamayarak, tavan bölgesine yansıtır; bu sayede iç hacimler doğrudan kısa dalga boylarındaki güneş ışığına değil uzun dalga boylarındaki yansıyan ışıkla aydınlatılır. Böylece bina içerisinde homojen(düzenli) bir aydınlık düzeyi sağlar (Şekil 12) [18].

Bu sistem dolaysız gelen güneş ışığı için tasarlanmıştır. Özellikle kuzey yarım kürede ılıman iklim bölgelerinde, binaların güney cephelerinde kullanılması uygun görülmektedir. Batı ve doğu cephelerde ise sabah ve öğleden sonraki zamanlar için kullanılması faydalıdır [19].



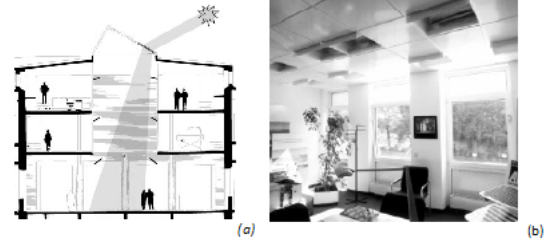
Şekil 12 Güneş yönlendirici cam [18]

Güneş ışığını yönlendiren camlar ışığı yansıtma özellikleri nedeniyle tavan yüksekliğinin %10'u kadar bir uzaklığın altı ile ve göz hizasının üzerindeki aralığa yerleştirilir. Aşağıdaki grafikte görüldüğü üzere, bu konumlandırma ve teknik özellikler sayesinde iç hacimlerde hem daha düzgün bir aydınlık düzeyi sağlanarak karanlık noktalar azaltılırken hem de dolaysız gelen güneş ışığının neden olduğu kamaşma bölgeleri de azaltılır. Pencereden 1.5 m uzaklıktaki referans noktasının aydınlık düzeyi güneş ışığını yönlendiren cam kullanımından sonra 500lüx'ten 1200 lüx'e, 3m uzaklıktaki noktanın aydınlık düzeyi 200lüx'ten 1100 lüx'e kadar artmıştır. 6m uzaklıktaki referans noktasında 400 lüx'lük bir aydınlık düzeyi sağlması bu tür camların doğal aydınlatma performansını olumlu yönde etkilediği ve elektrik aydınlatmasına olan ihtiyacı azalttığına bir göstergesidir (Şekil 13) [20].



Şekil 13 Aydınlık değerlerinin gün ışığını yönlendiren cam kullanılarak ve kullanılmadan karşılaştırılması(Müller 1995) [20]

Güneş ışığını yönlendiren camlar, üzerine çarpan güneş ışığını farklı açılarda geçirmesi nedeniyle tavan ışıklığı uygulamalarında ve atriyumlarda kullanılabilirler. Bu tip camlar, yapısında bulunan akrilik elemanlar sebebiyle klasik camlara nazaran daha beyaz görünürler. Aynı zamanda, güneş ışığını yönlendiren camların halen deneysel süreçte olmakta ve henüz ticari anlamda üretimleri bulunmamaktadır (Şekil 14) [18].



Şekil 14 (a) Güneş ışığını yönlendiren camların atriyumda; (b) ve bir ofis penceresinde kullanımı[18]

## SONUÇ

Bu çalışma ile mimari aydınlatma tasarımında, yeşil ve yenilenebilir enerji kaynaklarından (güneş ve gök ışığı) mümkün olduğu kadar çok faydalanmak adına binalarda kullanılan cam sayısını artırmanın veya uygun olmayan cam seçiminin doğurabileceği dezavantajlara, güneşin pencere gibi yapı elemanlarından geçerken iç hacim aydınlık düzeyini artırırken aynı zamanda ısıl kazançları da arttırdığına, bu doğrultuda soğutma



yüklerinin de arttığına ve bu sebeple amaçlanan yeşil enerji kullanımının, arzu edilenin aksine binanın enerji yüklerini ve karbondioksit emisyonlarını arttırmakla sonuçlanabileceğine dikkat çekilmek istenmiştir. Ayrıca kontrolsüz bir şekilde iç hacme alınan güneşin neden olacağı kamaşma problemleri ile düzgün dağılmayan aydınlık düzeylerinin görsel açıdan konforsuzluk oluşturacağı açıklanmıştır. Bu bağlamda, olası yanlış tasarımları engellemek için disiplinlerarası bir çalışmanın şart olduğu vurgulanmalıdır.

Tüm bu bilgiler ışığında, bu çalışmada bahsedilen fotokromik, elektrokromik, sıvı kristalli cam ve benzeri akıllı cam (smart glass) olarak adlandırılan camlar, bina tasarımcılarına geniş seçenekler sunmaktadır. En yeni teknolojileri kullanarak en akılcı çözümler üretmeye çalışan mimar ve mühendis, mesleki pratik bilgilerini kullanarak iklim, yönlenme ve gölgeleme faktörleri dikkatle değerlendirerek; binayı daha estetik, konforlu, daha az enerji tüketen, bakım onarım maliyetlerini azaltan bir yapıya dönüştürebilirler. Özellikle elektrokromik ve güneşini yönlendiren camlar ile ilgili yapılan araştırmalar sonucunda, gerek bina enerji tüketimlerini dengelemeleri gerekse görsel konfor (aydınlık düzeyinin artması, düzgün aydınlık dağılımı ve kamaşmanın azalması) koşullarını iyileştirmeleri açısından olumlu karşılanmaktadır. Diğer akıllı cam türlerine olan ilgi ve araştırmalar devam etmektedir. Bu tür sistemlerin güneşinin iç hacimde algılanan renksel geriverim özelliği ve renk sıcaklığı gibi değerlerin araştırılması da önerilir. Her ne kadar bu tür uygulamaların maliyetleri şu an için yatırımcılara yüksek görünse de teknolojik gelişmeler ile birlikte akıllı camların üretim kolaylığı sağlanıp, seri üretime başlanmasıyla maliyetlerin düşeceğine inanılmaktadır.

## KAYNAKLAR

- [1] Özbalta, T.G., Mimari, Güneş ve Teknoloji İlişkisi, Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi, 24-25 Haziran 2005, Mersin.
- [2] Ayçam, İ. ,Utkunug G. S. ,Farklı Malzemelerle Üretilen Pencere Tiplerinin Isıl Performanslarının İncelenmesi ve Enerji Etkin Pencere Seçimi, 4. Ulusal Tesisat Kongresi ve Sergisi, Kasım 1999, İzmir, 61-73.
- [3] Sev,A., Gür,V., Özgen,A.,. Cephenin Vazgeçilmez Saydam Malzemesi Cam, 2.Ulusal Yapı Malzemeleri Kongresi 6-8 Ekim 2004, İstanbul, 75-86.
- [4] Eşsiz, Ö. Teknolojinin Cam Cephe Panellerine Getirdiği Yenilikler. Çatı Cephe Fuarı-CNR 2-3 Nisan 2004, [http://www.catider.org.tr/pdf/sempozyum/bildiri\\_07.pdf](http://www.catider.org.tr/pdf/sempozyum/bildiri_07.pdf)
- [5] Inoue, T., Ichinose, M., Ichikawa, N. Thermotropic glass with active dimming control for solar shading and daylighting. Energy and Buildings, Volume 40, Issue 3, 2008, 385-393.
- [6] Yao, J. ,Neng, Z. ,Evaluation of indoor thermal environmental, energy and daylighting performance of thermotropic Windows, Building and Environment, 2011. doi:10.1016/j.buildenv.2011.06.004.
- [7] Lee, E., Selkowitz, S, Clear, R, DiBartolomeo, D, Klems, J, Fernandes, L, Ward, G, Inkarojrit, V., Yazdanian, M., Advancement of Electrochromic Windows, Sacramento, CA: California Energy Commission, PIER, 500-01-023, LBNL-59821, USA 2006.
- [8] Lee, E.S, Tavit A. Energy and visual comfort performance of electrochromic windows with overhangs, Building and Environment, 42; 6, 2007, 2439-2449.
- [9] Lee, E.S., DiBartolomeo, D.L., Selkowitz, S, Daylighting Control Performance of a thin-film ceramic electrochromic window: field study results, Energy and Buildings, 38, 2006, 30-44.
- [10] Carmony, J. ,Selkowitz, S. ,Lee, E. ,Arasteh, D. ,Willmert, T. ,Window Systems for High-Performance Buildings, W.W. Norton & Company, New York . London 2004.
- [11] Buildings, Windows of the Future, Stamats Business Media Inc. <http://www.buildings.com/ArticleDetails/tabid/3321/ArticleID/3561/Default.aspx>.
- [12] Smart Glass International. <http://www.smartglassinternational.com/products-services/lc-smartglass-privacy-glass-control/>

[13] Manav, B. , Kutlu R. , Küçükdođu M. Ő. ,Mimaride Kullanılan Cam Türlerinden Aydınlatma Açısından İncelenmesi. V. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu, Mayıs 2009, İzmir, [http://www.emo.org.tr/ekler/21654b2b0214ac5\\_ek.pdf](http://www.emo.org.tr/ekler/21654b2b0214ac5_ek.pdf)

[14] Prodisplay, Switchable intelligent film and glass. <http://prodisplayus.com/switchable-glass.html>.

[15] Nasıl Çalışır - Bilim, Teknoloji ve İcatlar Ansiklopedisi, Gelişim Yayınları 4. Cilt

[16] Kreidl, N. J. , Photochromic Glass, Leonardo, vol 3, Pegumon Press 1970, Britain, pp429-432, <http://www.jstor.org/pss/1572260>.

[17]Fotothing, <http://www.fotothing.com/xnb/photo/c4210a41e7558301bc12d81cc852a25a/>

[18] International Energy Agency (2000). Daylight In Buildings—A Source Book On Daylighting Systems And Components, International Energy Agency (IEA) Solar Heating and Cooling Programme, Energy Conservation in Buildings & Community Systems, A report of IEA Task 21/ECBCS Annex 29/July 2000, California, USA.

[19] Johnsen, K. and Watkins, R. Daylight in Buildings, ECBCS Annex 29/SHC Task 21, AECOM, 2010. [http://www.ecbcs.org/docs/ECBCS\\_Annex\\_29\\_PS\\_R.pdf](http://www.ecbcs.org/docs/ECBCS_Annex_29_PS_R.pdf)

[20] Vegla, R. F. ,Sundirecting Glazing - A new development In Daylighting for Deep Plan Offices, Conference on structural and environmental use of glass in buildings, 31 March - 1 April 1999 - Bath, UK, 85-90.