tmmob mimarlar odası
istanbul büyükkent şubesi

5. Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi ve Sergisi

- Yapı Malzemesinin Tasarım, Yapım ve Teknolojiyle İlişkileri
- Fiziksel Çevre Kontrolü ve Sürdürülebilirlikte Yapı Malzemesi
- Tarihi Çevre ve Mimari Mirasta Yapı Malzemesi
- Kalite ve Denetimde Yapı Malzemesi

3-4-5 Kasım 2010

Kongre Bildirileri

KONGRE BİLİMSEL KURULU

M. Süheyl AKMAN, Prof. Dr. (İTÜ)
Fevziye AKÖZ, Prof. Dr. (YTÜ)
Erkan AVLAR, Yrd. Doç. Dr. (YTÜ)
Firuzan BAYTOP, Y. Mimar (GSA)
Murat ERİÇ, Prof. Dr. (MSGSÜ)
Halit Yaşa ERSOY, Prof. Dr. (MSGSÜ)
Ahmet GÜLEÇ, Doç. Dr. (İÜ)
Erol GÜRDAL, Prof. Dr. (İTÜ)
Mehmet Ş. KÜÇÜKDOĞU, Prof. Dr. (İKÜ)
Leyla TANAÇAN, Prof. Dr. (İTÜ)
Canan TAŞDEMİR, Prof. Dr. (İTÜ)
Nabi YÜZER, Doç. Dr. (YTÜ)

KONGRE DÜZENLEME KURULU

Erkan AVLAR
Kubilay BÜYÜKLÜ
Bülend CEYLAN
Halit Yaşa ERSOY
Leyla TANAÇAN
Canan TAŞDEMİR
İbrahim UYSAL
Fehiman YURTTAŞ EKER

KONGRE SEKRETERLİĞİ

Fehiman Yurttaş EKER

İÇİNDEKİLER

Amaç 9

Sunuş / *Prof. Dr. Erol Gürdal* 11

Y. Müh. Mimar İbrahim Uysal 13

1. GÜN

1. OTURUM

Yapı Malzemesinin Tasarım, Yapım ve Teknolojiyle İlişkileri

Oturum Başkanı: *Prof. Dr. Halit Yaşa Ersoy*

Cam Cephelerin İç Mekân Tasarımına Etkileri Üzerine
Bir Okuma / *Arş. Gör. Hande Zeynep Altınok, Arş. Gör. Emel Başarık* 17

Akıllı Camlar ve Mimaride Kullanımı / *Prof. Dr. Yalçın Yaşar,*
Prof. Dr. Asiye Pehlevan, Arş. Gör. Sibel Maçka 29

Saydam Malzemelerin Arkeolojik Alanlardaki Koruyucu
Üst Örtülerde Kullanımı / *Arş. Gör. Funda Yaka Çetin, Prof. Dr. Başak İpekoğlu* 44

2. OTURUM

Fiziksel Çevre Kontrolü ve Sürdürülebilirlikte Yapı Malzemesi

Oturum Başkanı: *Prof. Dr. Leyla Tanaçan*

Tuğlanın Koruyucu Olarak Kullanıldığı Cephelerde Yağmur Suyu Etkileri ve Alınması
Gereken Önlemler / Yrd. Doç. Dr. *Sevgül Limoncu, Arş. Gör. Ürün Biçer Özkun* 57

Borlu Bileşiklerin Ahşap Malzemeler Üzerindeki Etkileri ve
Önemi / *Prof. Dr. Mümin Filiz, Y. L. Öğr. Damla Öcal, Arş. Gör. Pınar Usta* 69

Kompakt Laminat Cephe Kaplama Malzemelerinin Yapı Fiziği Açısından
İncelenmesi / *Arş. Gör. Sibel Maçka, Prof. Dr. Yalçın Yaşar, Prof. Dr. Asiye Pehlevan* 79

AKILLI CAMLAR VE MİMARİDE KULLANIMI

YALÇIN YAŞAR[1], ASİYE PEHLEVAN[1], SİBEL MAÇKA[2]

ÖZET

Gelişen teknolojiyle birlikte 21.yy.'da cam, estetik bakımdan olduğu kadar teknik bakımdan da mimarlara mükemmel bir mimari ortam yaratma olanağı sağlamaktadır. Son yıllarda geliştirilen özel cam ürünlerle binalarda ışık, ısı ve gürültü kontrolü yapılabilmektedir. İç ortam koşullarını dış ortam koşullarına göre düzenleme yeteneğine sahip bu camlar akıllı camlar olarak adlandırılmaktadır. Akıllı camlar; elektrikle aktif olmayan ve elektrikle aktif olan camlar olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır.

Bu bildiride akıllı camların; tipleri, üretim yöntemi, çalışma prensibi, termofiziksel - optik ve boyutsal özellikleri, mimaride kullanım olanakları incelenecek, avantaj ve dezavantajları karşılaştırılacak ve bu camların uygulama örnekleri gösterilecektir.

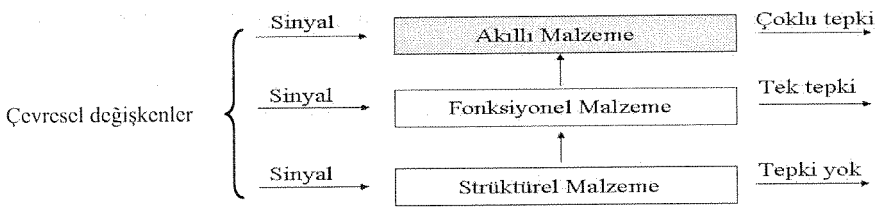
1. GİRİŞ

Günümüzde cam, yapı kabuğu tasarımında çok önemli bir rol üstlenmektedir. Bu yapı elemanı vasıtasıyla doğal aydınlatma ve net bir dış ortam görüşü sağlanırken; dayanıklılık, ısı korunumu, yangına dayanıklılık, güvenlik, solar kontrol, ısıl dayanıklılık ve gürültü kontrolü gibi gereksinmeler de karşılanabilmektedir [1].

[1] Prof. Dr. K.T.Ü.,Mimarlık Fakültesi, Trabzon
[2] Arş. Gör. K.T.Ü., Mimarlık Fakültesi, Trabzon

Mimari cam bir yapının pencere boşluklarında, çatısında ve duvarlarında kullanılan camlar olarak tanımlanmaktadır [2]. Güneş kontrolü, ısı korunumu, güvenlik vb. gibi farklı gereksinmeler için üretilmiş bir çok çeşit cam ürün mevcuttur. 1980'li yıllara kadar yapılarda düşük ısıl performans özelliklerine sahip dökme ve çekme yöntemiyle üretilmiş tek tabakalı saydam camlar kullanılmıştır. 1980'li yıllarda ise dünyada patlak veren enerji krizine çözüm olarak, yüksek ısıl performans özelliklerine sahip, enerjiyi etkin kullanan sadece ısı korunumu sağlayan çok tabakalı camlar üretilmiştir. Bu camların ısı korunumu sağlarken güneş kontrolü sağlayamaması özellikle sıcak iklim bölgelerinde soğutma enerjisi tüketimini artırmaktaydı. Bu soruna çözüm olarak çok tabakalı camlar geliştirilerek bir yüzeyine low-e kaplama uygulanması vasıtasıyla güneş kontrol özelliği de kazanmışlardır. Bu low-e kaplamalı çok tabakalı camlar, akıllı camların ilk tipleri olarak nitelendirilebilmektedirler. Ancak bu camlar ile güneş kontrolü, ısı korunumu ve gün ışığı kontrolünü birlikte sağlayacak çözümler üretilememesi cam teknolojisini yeni arayışlara itmiştir. Bu arayışlar sonucunda çevre koşullarına cevap verebilen günümüzün cam teknolojisinin en heyecan verici konusu olan akıllı camlar gündeme gelmiştir [3].

Akıllı camlar, değişen çevre koşullarına anında adapte olabilen akıllı (kromojenik) malzemelerden oluşmaktadır [4]. Bu alanda kullanılan malzemeler geleceğin taleplerini karşılayabilmek için akıllı (kromojenik) malzemeye doğru strüktürel ve fonksiyonel olarak değişikliklere uğramak zorundadır. Bu hiyerarşi Şekil 1'de verilmiştir [5].



Şekil 1. Malzemelerin sınıflandırma hiyerarşisi [5]

Strüktürel malzemeler çevrelerindeki değişikliklere tepki vermeyen ve yalnızca konstrüksiyonel gereksinimler için kullanılan malzemelerdir. Bu malzemelere örnek olarak metal, ahşap, seramik vb. gibi mekanik dayanımlı sistemler verilebilir. Fonksiyonel malzemeler ise çevrelerindeki değişikliklere tek şekilli olarak tepki gösteren malzemelerdir. Bu malzemeler farklı uyarıcılara tepki verirken özellikleri değişen malzemelerdir. Akıllı malzemeler ise uyarıcılara çoklu tepki verme özelliğinin yanında farklı uyarıcılara karşı anında yanıt üretebilen malzemelerdir. Bu malzemeler bir

uyarı altında özelliklerini ayarlayabilen ve orijinal koşullar yeniden oluştuğunda orijinal durumuna yeniden dönebilen malzemelerdir [5,6].

Son yıllarda kromojenik akıllı camlar üzerine yapılan araştırmalar hız kazanmıştır. Bu camlar; cam cephelerde ve çatılarda ihtiyaç duyulan gün ışığını çevresel koşullara göre anında kontrol edebilmekte ve ısıtma-soğutma için tüketilen enerji miktarını azaltabilmektedirler [3].

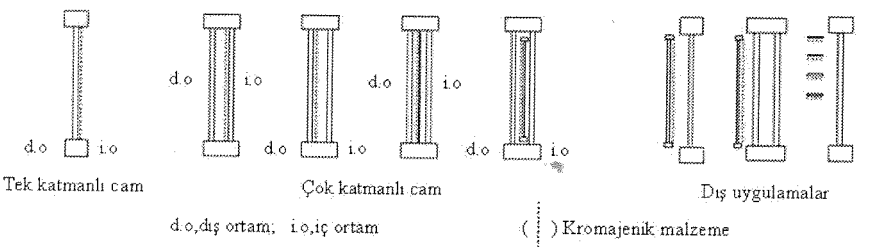
2. AKILLI (KROMOJENİK) CAMLAR

Akıllı (kromojenik) camlar güneş ışınımının yüksek yoğunlukta olduğu durumlarda berrak durumdan renkli duruma geçebilen ve optik özelliklerini değiştirme yeteneğine sahip camlardır. Bu grup camlar;

- Elektrikle aktif olmayan
- Elektirikle aktif olan

camlar olmak üzere iki grupta incelenebilir [3].

Akıllı (kromojenik) camları oluşturan kromojenik kaplamalar tek katmanlı, çok katmanlı camlarda ve güneş gölgeleme elemanı vb. gibi dış uygulamalarda farklı yer ve şekilde konumlandırılırlar. Şekil 2'de bu kaplamaların cam ünitelerinde kullanım yeri ve şekli ile ilgili alternatifler verilmiştir. Pencere sisteminde kullanılacak camın katman sayısı belirlendikten sonra kromojenik kaplama için Şekil 2'de verilen kullanım yerine bağlı olarak bu alternatifler değerlendirilir.



Şekil 2. Kromajenik kaplamanın tek,çok katmanlı ve dış uygulamalarda kullanım alternatifleri [3]

2.1. Elektrikle Aktif Olmayan Camlar

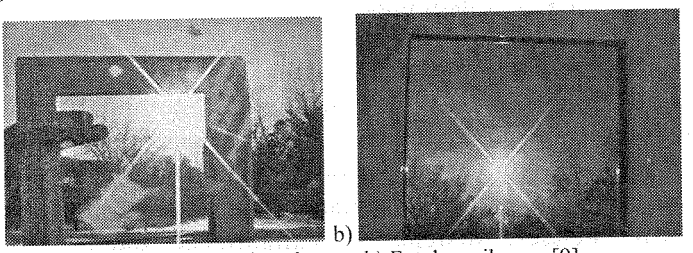
Bu camlar elektrik uygulanmasına bağlı olmadan, ışık, sıcaklık ve gazların oksidasyon-indirgeme reaksiyonlarına bağlı olarak değişime uğrayan camlardır. Elektrikle aktif olmayan camlar; fotokromik, termokromik ve gazokromik camlar olmak üzere üç türe ayrılırlar.

2.1.1. Fotokromik Cam

Fotokromik camlar gelen güneş ışınımına bağlı olarak cam tabakası içerisinde renk merkezleri oluşumu yoluyla şeffaf durumdan renkli duruma

geçerler, güneş ışınımının etkisi azaldıktan sonra, aktif olan renk merkezlerinin yok edilmesiyle eski şeffaf haline geri dönerler [7].

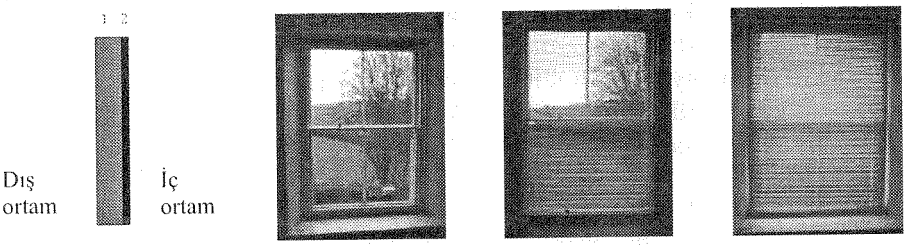
Fotokromik camlardaki değişim süreci fotokimyasal olarak hassas gümüş bakır veya kadmiyum halojenler, öropyum-Eu veya seryum-Ce gibi malzemelerin camın yapısında kullanılmasıyla gerçekleşir. Krom-Cr, molibden-Mo, veya volfram-tungsten ve mineral hakmanit de bu camların yapısında kullanılabilir. Fotokimyasal reaksiyonları hızlandırmak için bu camlarda daha çok gümüş halojenler yaygın olarak kullanılmaktadır [8]. Bir low-e kaplamalı cam güneş ışınımının etkisiyle günışığını iç ortama kabul ederken, fotokromik cam maruz kaldığı güneş ışınımının etkisiyle renk değişimine uğrayarak gün ışığı geçirgenliğini minimize eder. Bu durum Şekil 3'de görülmektedir.



a) Berrak low-e kaplamalı cam, b) Fotokromik cam [9]

Şekil 3. Fotokromik camların güneş ışınımı etkisi altındaki davranışı

Fotokromik reaksiyonun tersine çevrilmesi camın içerisindeki gümüş halojenlerin veya diğer fotokimyasal aktif bileşenin yoğunluğuna bağlıdır. Karbon bileşenli sistemler, gümüş bileşenli sistemlerin aksine, gelen güneş ışığına göre kümelenmek yerine renklerini ve boyutlarını değiştirirler. Bu sayede camın tüm yüzeyinde bir kümelenme olmaz ve renk değiştiren bileşenler bir jaluzi görüntüsü sağlayarak hem güneş kontrolü hem de gün ışığı aydınlatması sağlarlar. Bu camlar bir dakika içerisinde kararmaya başlar ve 15 dakika içerisine güneş ışınımının yaklaşık %80'ini bloke ederler [10]. Şekil 4'de karbon bileşenli bir fotokromik camın oluşumu ve bu camın güneş ışınımı etkisi altındaki davranışı görülmektedir.

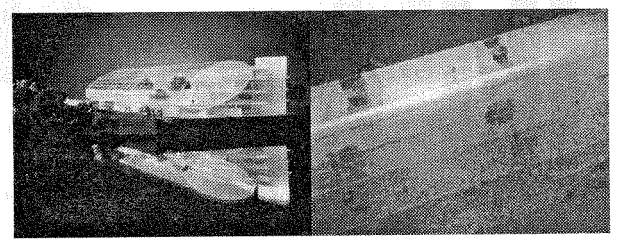


1. Float cam, 2. Karbon bileşenli fotokromik kaplama

Şekil 4. Karbon bileşenli fotokromik camın oluşumu ve güneş ışınımı etkisi altındaki davranışı[10]

Fotokromik camın avantajları mukavemetinin yüksek olması ve kimyasallara karşı dirençli olmalarıdır. Dezavantajı ise yaz ve kış koşullarında camın kendini ısıtmasıyla ilgili olarak kararma problemidir. Mimaride gümüş bileşenli sistemler yerine gün ışığı aydınlatması da düşünüldüğünde karbon bileşenli sistemlerin tercih edilmesi daha doğrudur.

Mimari uygulamalarda genel olarak fotokromik camlar güneş ışınımının yoğun olduğu güneşli günlerde mahremiyet sağlar. İç ortamlardaki mobilyaları ultraviyole ışınımdan korur, bilgisayar ekranı ve projektörler üzerindeki parlamayı engeller. Çok farklı renk seçenekleri mevcuttur. Konut yapılarında perde veya panjur kullanılmaksızın enerji maliyetlerinde tasarruf sağlarlar. Ultraviyole ışınımı dış ortama geri yansıtmayıp absorbe ettiği için küresel ısınma problemine de katkı sağlarlar [10,11]. Şekil 5'de fotokromik camların yapı kabuğunda kullanıldığı ilk örnek uygulama örneği verilmiştir.



Şekil 5. Fotokromik camların kullanıldığı ilk uygulama örneği, Modern Sanat Müzesi, Münih, Becker Gewers Kühn&Kühn Mimarlık [12]

Fotokromik tek katmanlı bir camın optik ve termal özellikleri ile ilgili görülebilir geçirgenlik değerleri dışındaki verilere ulaşılamamıştır. Tablo 1'de fotokromik tek katmanlı bir camın farklı sürelere göre değişimden önce ve sonraki görülebilir ışınım geçirgenlik değerleri (T_{vis}) verilmiştir.

Tablo 1. Fotokromik tek katmanlı bir camın optik ve termal özellikleri**[13]

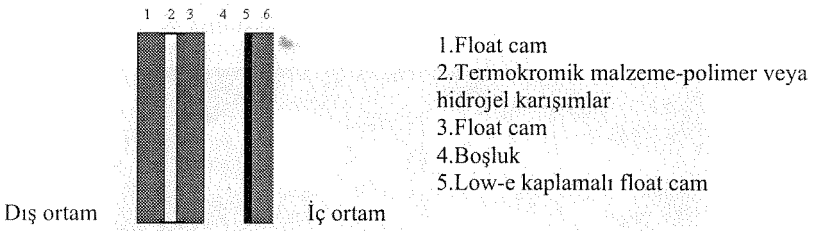
	T_{vis}* (%)	Süre(dak)
Değişimden önce	92	33
Değişimden sonra	43	
Değişimden önce	85	45
Değişimden sonra	65	
Değişimden önce	90	45
Değişimden sonra	64	
Değişimden önce	90	16
Değişimden sonra	40	
Değişimden önce	80	10
Değişimden sonra	35	
Değişimden önce	95	14
Değişimden sonra	60	

* T_{vis}; görülebilir ışınım geçirgenliği (%)

** Fotokromik camın güneş ışınımının etkisiyle geçen süreye bağlı olarak görülebilir ışınım geçirgenliklerindeki yüzde olarak değişimi ifade edilmektedir.

2.1.2. Termokromik Cam

Termokromik camlar sıcaklık değişimlerine bağlı olarak optik özelliklerini değiştirme kabiliyetine sahip termal aktif jelli katmanlardan oluşurlar. Bu jeller farklı kırıcılık indekslerine sahip iki bileşenli termokromik malzemelerden meydana gelir. Bu malzemeler düşük sıcaklıklarda homojen ve şeffafdırlar. Sıcaklığın sınır değerin üzerine çıktığı durumda (20^0C'den 50^0C'ye), malzeme bileşenleri güneş ışınımının etkisiyle ışığın dalga boyuna yakın boyutlarda çok küçük parçacıklara ayrılırlar [14,15]. Sıcaklık düştüğünde ise eski homojen haline geri dönerler. Termokromik ara katman lamine camın cam yüzeyleri arasında kullanılır. Bu camın oluşumu Şekil 6'da gösterilmiştir.



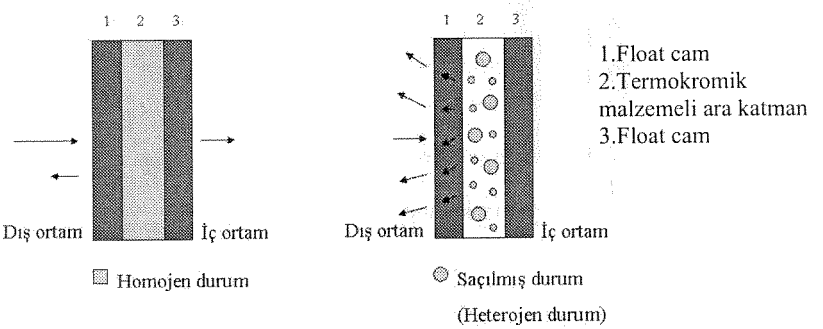
Şekil 6. Termokromik camın oluşumu [3]

Termokromik cam; demir-Fe, bakır-Cu, krom-Cr ve kobalt-Co vb. gibi metallerden oluşturulan polimerik termokromik ara katmandan veya hidrojelli ara katmanlardan meydana gelir [16]. Hidrojelli sistemlerin dezavantajı sıcaklıklar donma noktasına ulaştığında içeriğindeki sudan dolayı cam arasındaki boşlukta sızıntılara neden olması ve bunu engellemek için özel önlemler gerektirmesidir. Plastik termokromik tabakalar (polimer karışımlar) bu problemleri önledikleri için daha çok tercih edilirler [17]. Mimaride geniş cam yüzeylerde daha çok inorganik termokromik malzeme olan vanadyum di oksit $-VO_2$ ve türevleri kullanılmaktadır. Bu malzeme 68^0C'de metal bir yalıtkan gibi davranmakta, yüksek sıcaklıklarda ise metalik özellik göstermektedir.

VO_2'li termokromik malzeme ile yüksek görülebilir ışınım geçirgenliğine sahip yani yüksek gün ışığı aydınlatması sağlayabilen ve iç ortam sıcaklığına yakın sıcaklık değerlerinde değişim gösterebilen camlar elde edilmesi mümkündür [11]. Termokromik camlar görülebilir ışınım dalga boyu dışında güneş spektrumunun tüm dalga boylarında etkilidirler. Sıcaklığın artmasıyla ışığı geçiren berrak- homojen durumdan ışığı saçan heterojen duruma değişim gösterirler. Şekil 7'de termokromik camdaki değişim süreci

gösterilmiştir. Tablo 2'de termokromik bir camın termal-optik ve genel özellikleri verilmiştir.

Termokromik malzemelerin avantajı elektrik gücü gerektirmeden kısa sürede değişime uğrayabilmesi, ekonomik ve uzun ömürlü olmasıdır. Görülebilir geçirgenliği de değiştirmediği için yapılarda yüksek gün ışığı aydınlatması sağlaması açısından kullanımı avantajlıdır [16]. Termokromik camlar mimaride yaygın aydınlatmanın gerekli olduğu iç mekanlarda ve sergi salonlarına kullanılmaktadır [3].



Şekil 7.Termokromik camın sıcaklık etkisindeki değişim süreci[17]

Tablo 2. Termokromik ara katmanlı bir yalıtım camının termal-optik ve genel özellikleri [18]

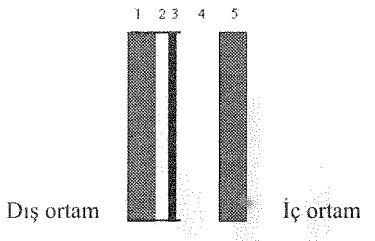
	Değişimden önce	Değişimden sonra
Toplam solar enerji geçirgenliği, g-SHGC (%)	0.50	0.15
Görülebilir ışık geçirgenliği, T_{vis} (%)	0.74	0.16
Değişim görünürlüğü	Yok	
Optik etki	Berrak-beyaz	
Kontrol edilebilirlik	Yok	
Elektrik ihtiyacı	Yok	
Dezavantajlar	Görülebilirliğin olmaması Manuel olarak kontrol edilememe	

2.1.3. Gazokromik Cam

Gazokromik camlar; fonksiyonel bir tabaka ve sistem içerisinde beslenen özel bir gaz karışımı arasında gerçekleşen kimyasal bir reaksiyona bağlı olarak optik özelliklerinde değişim olan camlardır. Bu reaksiyon ancak yalıtım camlarının dış tabakasının iç yüzeyine gazokromik bir kaplama eklenmesiyle gerçekleşir [19].Gazokromik camın oluşumu Şekil 8'de verilmiştir.

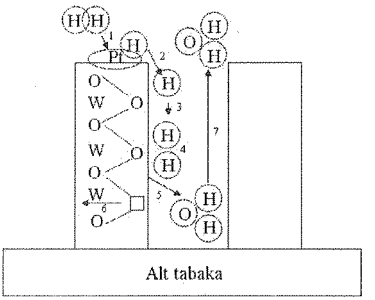
Bu sistemlerde volfram oksit (tungsten oksit), WO3 veya itriyum oksit kaplamalar gazokromik malzeme olarak kullanılmaktadır. Cam tabakaları arasındaki boşluğa doldurulan gaz karışımlarının reaksiyona girmesiyle camın optik özelliklerinde istenilen değişmeler meydana gelir.Gazokromik

malzeme olarak volfram oksitin kullanıldığı sistemlerde hava ve hidrojen karışımı (hacmin %0.1'i) yutuculuğu, itriyum oksitin kullanıldığı gazokromik sistemlerde ise yansıtıcılığı arttırma sürecini başlatmak için yeterlidir. Sürecin tersine çevrilmesi sisteme hava verilmesiyle (hidrojenin serbest kalmasıyla) başlatılır. Gazokromik camda meydana gelen renklendirme süreci Şekil 9'da gösterilmiştir.



1.Float cam
2.Gazokromik malzeme-WO_3 ince film
3.Katalizör
4.Boşluk
5.Float cam

Şekil 8. Gazokromik camın oluşumu [3]



1.Platinyum üzerinde H_2'nin bağlanma ve ayrılması, 2.WO_3 yüzey üzerine H atomlarının platinyumdan iletimi, 3.WO_3'ün iç boşluklu yüzeyi boyunca H atomlarının yayılımı(suyun varlığında), 4.Ara katmanda dönüşüm, 5.Serbest kalan oksijen atomunun ve H_2O'nun dönüşümü, 6.Serbest kalan oksijenin yayılımı, 7.H_2O'nun yayılımı

Şekil 9.Yutucu bir gazokromik camda WO_3 tabakanın H_2 vasıtasıyla renklenme mekanizması [20]

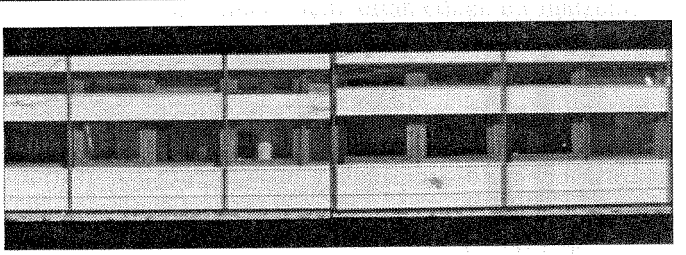
Hidrojen atomlarını ara boşlukta taşımak için sistemde argon veya nitrojen gazı kullanılır [21]. Yeni geliştirilen gazokromik camlarda gazokromik malzeme olarak lantan alaşımlar kullanılmaktadır. Katalizör kaplamalı LaH_2 filmler hidrojen gazına maruz kaldığında hızlı bir şekilde şeffaf LaH_3 türlerine dönüşür. Gazokromik malzemeye magnezyum eklenmesi şeffaf durumda yutuculuğu, opak durumda ise geçirgenliği azaltır. Gadalinyum magnezyum alaşımı- $G_{40}M\,g_{60}$ etkili bir gazokromik malzemedir. Bu malzeme ile yüksek yansıtıcılıklı beyaz gümüş bir aynadan tamamen şeffaf renkli nötral bir duruma dönüşüm sağlanılabilir [11]. Yansıtıcı sistemler görülebilir geçirgenliklerinin daha yüksek olması yani daha iyi gün ışığı aydınlatması sağlaması açısından yutucu sistemlere tercih

edilebilir. Tablo 3'de gazokromik bir camın termal-optik ve genel özellikleri, Şekil 10'da gazokromik cam örnekleri verilmiştir.

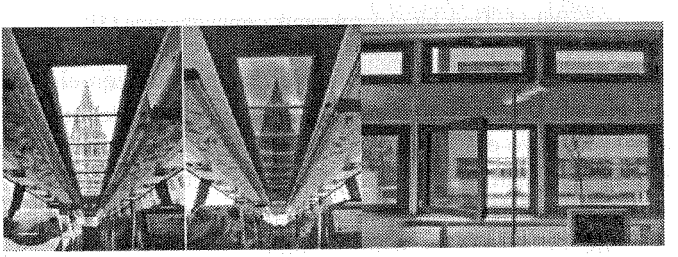
Gazokromik camların görülebilir ve yakın kızıl ötesi ışınımları değişimden sonra önemli derecede azalmaktadır. Bu camlar diğer akıllı camlara oranla özellikle solar kontrol açısından daha avantajlı konumdadır. Yutucu ve yansıtıcı gazokromik camların varlığı bu camların mimaride kullanım olanaklarının artmasını sağlamaktadır [11]. Gazokromik camların üretim süreci basittir [17]. Katalizör maddenin zehir içerikli olması bu camların dezavantajları arasındadır[11].Gazokromik sistemler dehidrasyonlu bir gaz dolaşımını gerektirir. Değişim süreci için gerekli zaman; H_2'nin yoğunluğuna, sıcaklığa, gaz basıncına, bağıl neme ve sistem montajına bağlıdır [21].

Tablo 3. Gazokromik camın optik ve termal özellikleri [18]

	Değişimden önce	Değişimden sonra
Toplam solar enerji geçirgenliği, g-SHGC (%)	0.50	0.15
Görülebilir ışık geçirgenliği, T_{vis} (%)	0.60	0.16
Değişim görünürlüğü	Var	
Optik etki	Nötral-mavi	
Kontrol edilebilirlik	Var	
Elektrik ihtiyacı	Var	
Dezavantajlar	Parlaklık riski Yutuculuk özelliğinden dolayı değişebilme	



Freigburg Fraunhofer ISE, cephede test amaçlı kullanılan gazokromik cam



Ulmer Münster üzerinde kullanılan GC Test odası, içten görünüm

Şekil 10. Gazokromik cam örnekleri[22-23]

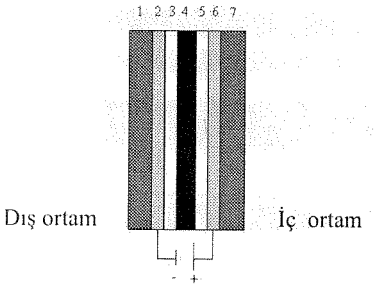
2.2. Elektrikle Aktif Olan Camlar

Bu camlar elektrik uygulanması ile optik özelliklerinde değişim gözlenen camlardır. Elektrokromik camlar bu grup içerisindedir.

2.2.1. Elektrokromik Cam

Elektrokromik camlar elektrik akımı uygulanmasıyla optik özelliklerini değiştiren ince filmlerden oluşmaktadır. Elektrokromik aktif malzemeye elektrik akımı uygulandığında elektrokromik reaksiyon başlar. Elektrik akımının varlığı malzemenin kimyasal yapısının değişmesine ve böylece optik özelliklerinde ve spektral geçirgenliklerinde değişiklikler olmasını sağlar [3].

Volfram oksitler, vanadyum, molibden ve titanyum (WO_3,V_2O_5,TiO_2) ve kompozit oksitler önemli elektrokromik malzemelerdir. Bronzlar, iridyum hidrat oksitler, rodyum, nikel ve kobalt oksitler de(IrO_2, RhO_2, NiO, CoO_2) elektrokromik malzeme olarak kullanılabilmektedirler. Elektrokromik malzemeyi renklendirmek için ara katmana hidrojen ve alkali metal, lityum, sodyum veya kalsiyum iyonları eklenir. Renklenmenin yoğunluğu elektrokimyasal aktif filmin kalınlığına ve uygulanan elektrik akımına bağlıdır [3]. Şekil 11'de tipik bir elektrokromik camın oluşumu verilmiştir. Son zamanlarda Sn_2O_2(kalay oksit) ve Pr_2O_3 (praseodim oksit)'de elektrokromik malzeme olarak kullanılmaktadır.



1.Float cam
2.Şeffaf elektrot
3.Elektrokromik tabaka
4.Merkez elektrolit tabaka
5.Elektrokromik bronz tabaka
6.Şeffaf elektrot
7.Float cam

Şekil 11. Tipik bir elektrokromik camın oluşumu [3]

Elektrokromik malzemeler inorganik ve organik malzemeler olarak ikiye ayrılırlar. İnorganik elektrokromik malzemeler; küçük bir voltaj uygulanması ile iyon ve elektronların içlerine doğru hareket etmesiyle berrak durumdan renkli duruma geçen geçirgen metal oksitlerdir. Organik elektrokromik malzemeler ise farklı renklere sahip okside olmuş ve indirgenmiş bileşenlerin kimyasal oksidasyon-redüksiyon reaksiyonları sonucu oluşan malzemelerdir[11].

İnorganik Elektrokromik Camlar; İnorganik elektrokromik malzemenin en yaygın olarak kullanılanı volfram oksit – WO_3'tür. Bu elektrokromik malzeme H^+, Na^+, K^+ ve Li^+ içeren elektron ve iyonlarla renklendirilirler. En yaygın olarak kullanılan karşı elektrot malzeme seryum-titanyum oksit (CeO_2-TiO_2) ve vanadyum oksit (V_2O_5)'tir [11].

Organik Elektrokromik Camlar; Organik elektrokromik malzemenin yutuculuk katsayısı inorganik elektrokromik malzemeden daha yüksektir. Bu özellikten dolayı organik elektrokromik camlar ile güçlü optik değişiklikler sağlayan sistemler üretmek mümkündür. Organik elektrokromik malzemelerin farkı iletken özelliklerine sahip polimerlerden meydana gelmeleridir. Bu malzemelerden bazıları; polianilin (PEO) gibi, farklı oksidasyon reaksiyonlarda farklı renklere dönüşebilmektedirler. Böylece bu camlar oksidasyon-redüksiyon reaksiyonlarında farklı renklerde camların oluşmasını sağlarlar. Organik elektrokromik malzemenin geçirgenliği onu oluşturan bileşenlere bağlıdır ancak bu malzemelerin çoğu inorganik malzemelerle karşılaştırıldığında görülebilir bölgede değişim göstermekte, solar geçirgenlikleri ise çok düşük olmaktadır. Bu özelliklerinden dolayı organik elektrokromik malzemeler yapılardaki akıllı cam uygulamalarında tercih edilmemektedir. Violojenler en yaygın olarak kullanılan organik elektrokromik malzemelerdir. Ticari yapılarda ve arabaların dikiz aynalarına kullanılan Polianilin yüksek dayanımı ve çoklu renk seçenekleri ile yapılardaki akıllı cam uygulamaları için tercih edilen bir malzemedir [11].

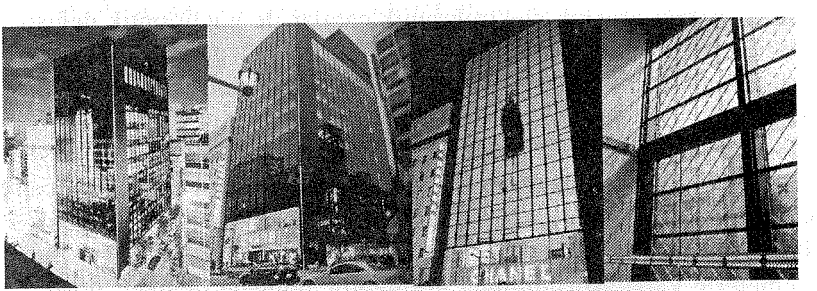
Elektrokromik camların avantajları; sadece değişim esnasında elektrik akımı uygulanmasına ihtiyaç duyması, 1-5 volt arasında çok küçük akım uygulanmasıyla değişebilmeleri, tüm koşullar altında yansıtıcı olmaları, sürekli donuk hale gelebilmeleri ve 12-48 saat arası uzun süreli bir hafızaya sahip olmalarıdır [4]. Tablo 4'de gazokromik bir camın termal-optik ve genel özellikleri verilmiştir.

Tablo 4. Elektrokromik bir yalıtım camının termal-optik ve genel özellikleri[18]

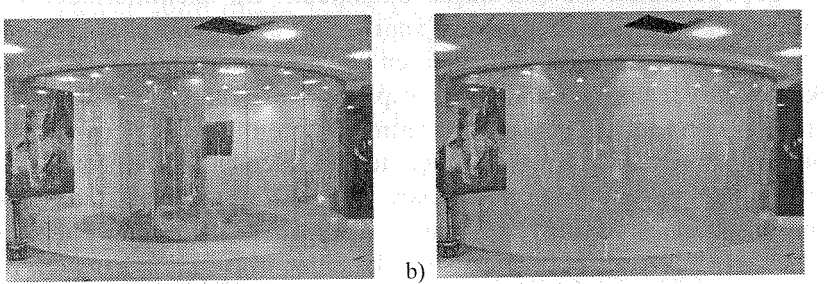
	Değişimden önce	Değişimden sonra
Toplam solar enerji geçirgenliği, g-SHGC(%)	0.36	0.12
Görülebilir ışık geçirgenliği, T_{vis}(%)	0.50	0.15
Değişim görünürlüğü	Var	
Optik etki	Nötral-mavi	
Kontrol edilebilirlik	Tuş ile kontrol	
Elektrik ihtiyacı	Var	
Dezavantajlar	Parlaklık riski Yutuculuk özelliğinden dolayı değişebilme	

Şekil 12'de elektrokromik cam uygulama örnekleri, Tablo 5'de ise elektrokromik cam strüktür sistemleri ve kullanım yerleri, ise verilmiştir.

Elektrokromik camların mimaride kullanılması için optik özelliklerinde herhangi bir değişiklik olmadan 20-30 yıllık bir süreçte on binden fazla değişim süreci geçirebilmesi gereklidir. Bu camların batarya ömürleri 50 yıldır [11]. Elektrokromik katman yaklaşık -2V elektrik uygulandığında renklenir, +2.5V uygulandığında ise eski haline geri döner [3].



Chanel Cinza, Tokyo,Japonya, Peter Marino Associates



a) b)

Blue Sun World satış ofisi, İngiltere
a)Elektrik akımı uygulanmayan-sistemim kapalı olduğu durum
b) Elektrik akımı uygulanan-sistemim açık olduğu durum
Şekil 12. Elektrokromik cam uygulamaları [12-17-24]

Tablo 5. Elektrokromik camı oluşturan strüktür sistemler ve kullanım yerleri[4]

Elektrokromik	IC/Elektrolit	İyon depolayıcı	Üretici	Uygulama alanı
Lityum sistemler				
a-Li_xWO_3	$LiClO_4$ +PC	Prusya mavi	Central Glass	Cam
a-Li_xWO_3	Metal oksit	NiO_y	Asahi	Yapı camları
a-Li_xWO_3	LI-PEO	CeO_x	St. Gobain	Otomobil camları
a-Li_xWO_3	Li-polimer	MeO_x	Pilkington	Yapı/otomobil cam.
a-Li_xWO_3	Li-B-SiO cam	Li_xCrO_4	EIC	Yapı camları
a-Li_xWO_3	PPG-$LiClO_4$-MMA	$Li_yV_2O_5$	Uppsala U.	Yapı camları
a-Li_xWO_3	Li-PEO	NiO_2	St. Gobain	Otomobil camları
a-Li_xWO_3	$LiNbO_3$	Li_xCoO_2	Tufts	Yapı camları
a-Li_xWO_3	Modifiye a-PEO	İyon dep. polimer	LBNL	Yapı camları
a-Li_xWO_3	Li-a-PEO	Li_xNi_yO	LBNL	Yapı camları
a-Li_xWO_3	Li-polimer	LiV_2O_5	NREL	Yapı camları

Proton sistemler				
Viologen	PMMA+Organik	yok	Gentax	Otomobil ayna.
a-H_xWO_3	Ta_2O_5	NiO	Donnelly	Oto/kamyon ayna.
a-H_xWO_3	Ta_2O_5	$Ir_xSn_yO_2$: F	Nikon	Otomobil aynaları
a-H_xWO_3	SiO_2/metal	WO_3	Schott	Otomobil aynalaro
a-H_xWO_3	Polimer	Polianilin	Toyota	Otomobil camları
a-H_xWO_3	Polimer	Polianilin	Dornier	Uçak camları
a-H_xWO_3	Poli-AMPS	Cu grid	PPG	Uçak camları
a-H_xWO_3	Ta_2O_5	a-IrO_x	EIC	Uzay araç. camları
a-H_xWO_3	a-PEO kopolimer	Redoks polimer	LBNL	Yapı camları

3. SONUÇLAR

Akıllı camlar, pencere ve yapı endüstrisi için, geliştirilen önemli bir teknolojidir. Bu camlar gelecekteki yapı tasarımını ve işletimini etkileyecek enerji/verimlilikle ilgili konularla ilişkili olarak yapıların enerji performansını artırarak, solar kontrol ve doğal aydınlatma sağlarlar. Ayrıca, iç ortam görsel ve termal konforu için önemli olan solar kazançları değişen çevresel koşullara göre anında kontrol edebilme yeteneğine sahiptirler. Bu camlar yapı içindeki parlamayı ve aşırı ısınmayı azaltır ve iç mekan görsel konforuna pozitif etki yaparlar.

Akıllı camların bir türü olan fotokromik camlar mimaride kullanım açısından diğer camlara oranla dezavantajlı konumdadır. Çünkü bu camlar yaz-kış durumunda sıcaklık artışında kararma özelliğine sahiptir, dış ortam görüntüsünü kısıtlayıp, ısıyı yapısında absorbe ettiği için cam yüzeyindeki sıcaklıklar artar. Fotokromik camlar enerji maliyetlerinde tasarruf ve küresel ısınma problemine de olumlu katkı sağlarlar. Yapısında karbon bileşeni olan fotokromik camlar mimaride kullanım için uygundur. Karbon bileşenli fotokromik camlar hem güneş kontrolü hem de gün ışığı aydınlatması sağlarlar. Mimaride gümüş bileşenli sistemler yerine, gün ışığı aydınlatması da düşünüldüğünde bu tür karbon bileşenli sistemlerin tercih edilmesi daha doğru olur. Ucuz olan termokromik camların gün ışığı aydınlatmasında sağladığı etki olumlu, güneş kontrol performansı yüksektir. Bu nedenlerden dolayı mimaride kullanım alanı bulmaktadırlar. Yaygın aydınlatmanın gerekli olduğu iç mekanlarda, sergi hollerinde v.b. termokromik camların kullanımı tercih edilmelidir. Elektrokromik camlar ise görülebilir ve yakın kızıl ötesi ışınımı önemli ölçüde azalttığı için diğer akıllı camlara oranla mimaride daha çok kullanım alanı bulmaktadırlar. Ancak değişim süreçlerinin daha karmaşık olması ve daha pahalı olması bu camların mimaride kullanımları kısıtlamaktadır. Diğer yandan, modern ince film teknolojilerinin geliştirilmesi bu camların maliyetlerinin düşmesini ve bu sayede mimaride kullanımlarının artmasını sağlamıştır.Solar kontrole katkı

sağlayabilen gazokromik camların mimaride kullanımları üzerine yapılan araştırmalar devam etmektedir. Bu camlar mimaride henüz test amaçlı kullanılmaktadırlar. Organik elektrokromik malzemeler görülebilir bölgede değişim gösterdikleri ve çok düşük solar geçirgenliğe sahip oldukları için akıllı cam uygulamalarında genellikle kullanılmamalıdırlar.

Gelecekte ülkemizde akıllı camların mimaride kullanımının yaygınlaşacağı düşünüldüğünde bu camların uygulanabilirliklerinin ülkemiz koşulları çerçevesinde değerlendirilmesi, kullanımında doğru tasarım ve uygulama kararlarının verilebilmesi kaynak israfının önlenmesi açısından önem kazanacaktır.

KAYNAKLAR

1. Colvin, J.B.,(1997) *'Glass in the Building'*, Glass Processing Days,Finland.
2. Bell, V.B., and Rand, P., (2006) *'Materials for Architectural Design'*, Laurence King Publishing, London.
3. Mohelnikova, J., 'Chromogenic Glazings', http: // www. vgtu. lt/ leidiniai/ leidykla / MBM_2007 / 1pdf / Mohelnikova. pdf
4. Lampert, C.M.,(1998) *'Smart switchable glazing for solar energy and daylight control'* Solar Energy Materials and Solar Cells, 52, 207-221.
5. Rao, M.S.,(1995) *'Smart Glasses: Design, Synthesis, Characterization and Applications of Ooriginally-Modified Silica Sol-Gels'*, Doktorate of Thesis, Indian Institute of Technology Delhi, India.
6. Maçka, S., (2008) *'Türkiye İklim Bölgelerine göre Enerji Etkin Pencere Türlerinin Belirlenmesi'*, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, KTÜ, Trabzon.
7. Macalik, M., Vondrak, J., Sedlarikova, M., Mohelnikova, and J., Helan,R.,(2005) *'Thin films for elektrochromic devices'*, Proceedings of the 6th international conference ABA-Advanced Batteries and Accumulators, Brno.
8. Fanderlik, I., Fotochromicka skla. Statni vyzkumny ustav sklarsky-Informativni prehled, 4/1969, roc. XII.
9. http://www.glassonweb.com/articles/article/520/., 2009.
10. http://www.explainthatstuff.com/photochromiclenses.html
11. Schwartz, M.(2009), *'Smart Materials'*, CRC Pres, USA.
12. Ritter, A,(2007) *'Smart Materials in Architecture, Interior Architecture and Design'*, Birkhauser, Berlin.
13. United States Patent, 3,615,771, Photochromic Glass.
14. Hutchins, M.G., (1998) *'Advanced Glazing Materials'*,Solar Energy, Vol. 62, No 3.
15. http://www.thermochromic-polymers.com/.../index.html
16.Arutjunjan,R.E.,Morkova,T.S.,Halopenen,I.V.,Malsimov,I.K.,Tutunnikov, A.I., ve Yanush, O.V., (2003) *'Thermochromic Glazing for 'Zero Net Energy' House'*, Proceeding of Glass Processing Days, Japan.
17.Compagno, A., (2002) *'Intelligeng Glass Facades'*, Birkhauser, Berlin.

18.Hausladen, G., Saldanha, M., Liedl,P., ve Sager, C., (2004) *'Climate Design, Solutions for buildings that can do more with less technology'*, Birkhauser, Munich.
19.Haase, W., Sobek, W.,(2000) *'Advantages of switchable glazing for architectural applications based on liquid crystal technology'* Challenging Glass, Conference on Architectural and Structural Applications of Glass Bos,Louter,Veer
20.Wilson, H.R.,(2000) *'Switcable glazing with a large dynamic range in total solar energy transmittance (g value)'*, World Renewable Energy Congress- VI, Bringhton, United Kingtom.
21.Wilson,H.R, Blessing, R., Hagenström, H.,Hutchins, ve M.G.,Dvorjetski, (2002) *The optical properties of gasochromic glazing'*, Conference Proceeding, 4th International Conference on Coatings on Glass,Braunschweih, Germany.
22.Witter, V., Graf, W., Georg, A., (2001) 'Gasochromic glazing with a large dynamic range in total solar energy transmittance', Glass Processing Days, China.
23. SWIFT Report (2003), *'Architectural and Technical Guidelines'*
24.http://www.glassonweb.com/glassmanual/topics/index/electrochromic.htm,2009.