

BİNALARDA KULLANILAN YÜKSEK TEKNOLOJİ ÜRÜNÜ SAYDAM ELEMANLARIN ISIL VE OPTİK ÖZELLİKLERİ

Filiz UMAROĞULLARI^{1*}, Semiha KARTAL²

1-2 Trakya Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü

* Corresponding Author : E-mail: filizu@mail.trakya.edu.tr

Alınış : 10.02.2005

Kabul Ediliş : 19.07.2005

Özet: Saydam yüzeyler binalarda yaşam ve konforun kalitesini belirlemede önemli bir rol üstlenirler. Bina kabuğunun bir parçası olarak iç ve dış ortamı birbirinden ayıran bir filtre durumundadırlar. Binanın bir parçası olarak, diğer opak elemanlarla aynı etkilere maruz kalmakla birlikte temel görevleri, ısı ve ses akışının kontrol edilmesi, havalandırmanın sağlanması, su sızdırmazlığı ve göz kamaşmasına izin vermeksizin ışık geçirmesidir.

Geleneksel camlarda saydamlık aynı zamanda yüksek ısı geçirgenliği anlamına gelirken ileri teknoloji ürünü saydam elemanlarla saydamlıktan fedakarlık etmeden ısı geçirgenliğinin azaltılması hedeflenmektedir. Ancak, diğer yandan günümüzde ısı kaybı minimize edilmiş, güneş enerjisinden pasif yararlanma yöntemleri ile enerji kazanımları artırılmış binalar inşa edilmektedir. Bu durum yaz şartlarında ve sıcak iklimlerde, yoğun güneş enerjisi sonucu iç ortamın aşırı ısınmasına sebep olmaktadır. Bunu önlemek amacıyla ihtiyaç olduğunda güneş ışınlarını geçiren, istenmediğinde geçirmeyen saydam elemanların üretimi amaçlanmış ve optik geçirgenliği değişken saydam yalıtım malzemeleri geliştirilmiştir.

Bu derleme yazısında standart çift cam ünitelerinden başlanılarak çok katlı cam üniteler, aralarına hava yerine gaz doldurulmuş çift camlar, silica aerogeller, optik geçirgenliği sabit ve değişken saydam yalıtım malzemelerinin ısı ve optik özellikleri incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler : Saydam yalıtım malzemeleri, cam, hava tabakalı çift cam, ısı performans, optik geçirgenlik

Thermal and Optical Properties of High Technology Transparent Insulation Materials Used in Buildings

Abstract: Windows play a significant role in achieving quality of life and comfort in buildings. As a part of the building envelope, a window is a filter of conditions between inside and outside. Although they are exposed to same effects as walls they are expected to fulfill requirements such as controlling both heat and sound as a filtering material, supplying air circulation, resisting to water leakage and above all, transmit light without a glare.

Whereas traditional windows have lower resistance to heat flow and to sound transmission, to improve the effect of thermal insulation, a number of the materials and layers has been developed with varying benefits. The first possibility to improve the heat transfer coefficient, the so called U-value, is to increase the number of layers of *glass* or films. Therefore, the most promising materials for thermal conversion systems are windows with fillings of honeycomb or capillary materials. In a temperate climate, the situation changes with time. Sometimes overheating must be prevented, at other times one wants to gain as much solar radiation as possible to reduce space heating demands. A more elegant solution is

chromogenic materials. Their optical properties change during a day or a season. In this review paper, thermal and optical properties of constant and changeable *transparent insulating materials* have been evaluated.

Keywords : Transparent insulation material, glass, double glazing, aerogel, chromogenic component.

Giriş

21. yüzyılın en önemli sorunlarından biri enerji kaynaklarının değerlendirilmesi ve bunlardan tasarruf edilmesidir. Günümüzde hala ısıtmanın kaynağını baskın bir biçimde fosil orijinli maddeler sağlamakta ve gelecekte bunların tükenme olasılığı gündeme gelmektedir. Binalarda enerji tasarrufu su, ısı, ses yalıtımları açısından pek çok araştırma yapılmakta, bu açıdan gerek tasarım gerekse yeni malzeme gelişimine çalışılmaktadır. Saydam yüzeyler de opak duvarlarla aynı etkilere maruz kalmakla birlikte güneş enerjisini iç ortama kazandıran yapı elemanlarıdır. Ancak opak duvarlardan farklı olarak geleneksel camlar ısı akışına ve ses geçişine karşı az direnç gösterirler. Yapılan araştırmalar Amerika’da toplam enerji tüketiminin % 3’ü, İsveç’te ise % 7’si oranında saydam yüzeyler yoluyla kaybedildiğini göstermektedir [1]. Yakın geçmişte enerji tasarrufu amacıyla bina yüzeyinde saydam alanların oranlarının azaltılması söz konusu olmuştur. Bu açıdan saydam yüzeyler yapının önemli bir bölümü olmasının yanı sıra, mimarlar ve mühendisler için enerji açısından da önemlidir [2]. Yapılan araştırmalarla saydam yüzeylerde kullanılan camın normal olarak ısı iletkenliğinin yüksek olduğu ancak günümüzde çok katlı ve özel kaplamalı camlarla bu iletkenliğin azaltıldığı hatta camın U-değerinin özel üretimlerle oldukça düşük değerlere çekilerek yalıtımlı opak bir duvar kadar direnç kazanabildiği bilinmektedir.

Saydam Elemanların Isıl Özellikleri

Yüksek teknoloji ürünü saydam elemanların ilk basamağı olan çok katlı cam ünitelerinde ısı transferi, radyasyon, kondüksiyon ve konveksiyon yoluyla gerçekleşen iletimlerin toplamıdır. Optimum hava boşluğu kalınlığı 12-25 mm arasındadır. Konveksiyonla ısı iletimini azaltmak için akışkan hareketin azaltılması (yüksek viskozite), kondüksiyonla ısı iletimini azaltmak için ise, düşük $\lambda_{\text{kondüksiyon}}$ değerinde gazların kullanılması gerekir. Radyasyonla olan ısı transferi ise cam yüzeyine düşük emisiviteli kaplamalar uygulanarak azaltılabilir [3, 4].

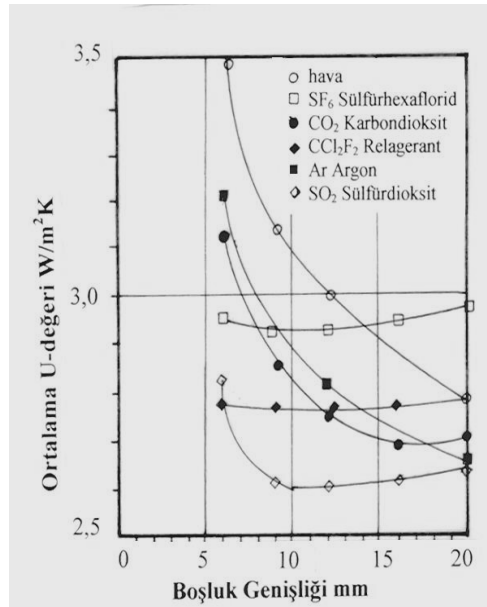
Hareketsiz havanın ısı geçirgenliğinin çok küçük olmasından faydalanılan çok katlı cam ünitelerinde iki cam arasındaki hava tabakasının kalınlığı önemlidir. Bu değer 12 mm’den az ise ısı direnci düşmekte, bunun aksi durumda konveksiyonla iletim artmaktadır. Dolayısıyla, cam boşluğu 15-20 mm arasında oluşturulmalıdır [5]. Radyasyonla ısı iletimini engellemek için dış taraftaki camın iç yüzeyine düşük emisiviteli (low-e) bir kaplama uygulanır. Böylesi bir yüzey aynı dalga boylu ısı ışınları da daha fazla yansıtır. Yani iç ortamdaki gelen ısı ışınları (infrared kızıl ötesi ışınları) tekrar iç ortama vererek (yaklaşık % 80 yansıtma sağlarlar) iç ortamın soğumasını engelleyecektir.

Metal oksitler düşük emisiviteli kaplamaların kaynağıdır. Low-e kaplamalı ürünler sert ve yumuşak kaplamalar olarak iki kategoriye ayrılır [6]. Sert kaplamalar, temelinde kalayoksit dayalıdır ve float hattı ile direk bağlantılı olan üretim süreci yüzünden hat-üstü kaplama olarak tanımlanır [7]. Yumuşak kaplamalar dielektrik koruyucu tabakalar tarafından çevrilen ince bir bakır kaplamaya bağlıdır. Yumuşak kaplamalar float hattı dışında, ikincil üretim işlemleri ile üretilir [8,9]. Yumuşak kaplamalar dış hava şartlarına karşı dayanıklı olmadıkları için çift cam ünitesinin iç taraftaki yüzeylerinden birine kaplanır ve yerleştirme sırasında bu yüzeyin iç tarafa bakması sağlanır [3,10]. Bu kaplamaların kendisi düşük ısı ışın yaydığı gibi, iç ortamdaki üzerlerine gelen ısı ışınlarının da önemli bir bölümünü geri yansıtır. Böylece radyasyonla ısı kaybı da önemli ölçüde azaltılır ve cam ünitesinin U-değeri aşağıya çekilir ($2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$) [4]. Çift camlı pencerelerin avantajı sadece U-değerinin azaltılması değil aynı zamanda bu değer hava şartlarından bağımsız biçimde sabit kalmasıdır [11]. Tek camların $5,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ U değerlerine karşılık çok

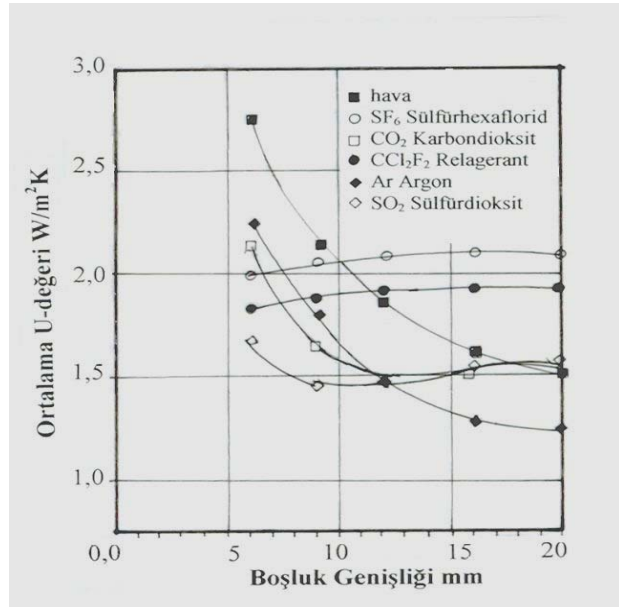
katlı cam üniteleri: 6 mm ara boşluklu ise 3.25 W/m²K, 12 mm ara boşluklu ise 2.90 W/m²K U değerlerini sağlayabilmektedirler [12].

Çok katlı camlar ülkemizde sadece çift cam üniteleri şeklinde kullanılmaktayken yurt dışında üç katlı camların da yaygın bir biçimde kullanıldıkları görülmektedir. Ayrıca, çift camların ara boşluğuna kuru hava yerine havadan daha ağır gazların (Argon, Xenon, Kripton gibi λ değeri daha düşük gazlar) doldurulması ile ısı iletkenliğinin azaltılması amaçlanmıştır. Bu durumda doldurulacak gazın özellikleri çok önemlidir. Cam üzerine düşen sıcaklığa bağlı olarak gaz ısınırken sıcak yüzeylerde çoğu durumda yükselir, soğuk yüzeylerde ise düşer. Teorik ve deneysel çalışmalarla araştırılmış olan bu konvektif hareket gaz tabakasının kalınlığından etkilenmektedir. Genellikle gaz dolu üniteler low-e kaplamaya da sahiptir. Low-e kaplama ve gaz doldurmanın ısıl dayanıma etkileri Şekil 1 ve 2 'de görülmektedir. Argon gazının yalıtkanlığı havanın 2/3'ü kadardır ve tüm U-değerinde % 15 azalma mümkündür. Örneğin, sadece 3,6 cm kalınlığında ve 30 kg/m² ağırlığında olan 4 mm kalınlıkta cam tabakaları ve 12 mm boşluklu low-e kaplamalı, argon dolgulu bir üçlü ünitinin U-değeri 0,84 W/m²K dir. Yalıtım değeri yaklaşık 46 cm düşey delikli tuğla duvar veya 5 cm polistiren sert köpük levha ile karşılaştırılabilir düzeydedir [13].

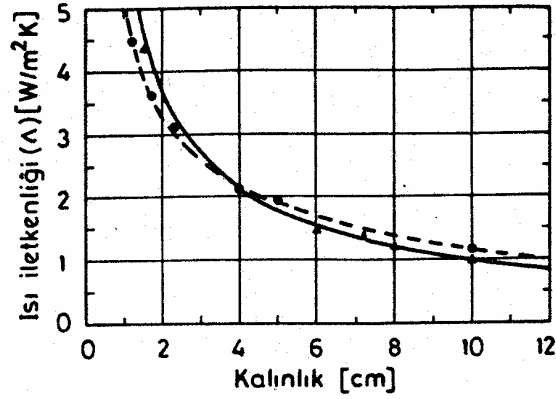
Isı yalıtım değerinin daha fazla azaltılması sözkonusu olduğunda saydam yalıtım malzemeleri gündeme gelmektedir. Bu malzemelerin ısı iletkenlikleri (Λ) 0,20-1,00 W/m²K arasında değişir [14]. Saydam yalıtım malzemeleri optik geçirgenliği sabit ve değişken olmak üzere iki grupta incelenmektedir. Optik geçirgenliği sabit saydam yalıtım malzemeleri balpeteği, kapiler yapılar ve aerojellerdir. Balpeteği yapılar hem iyi yalıtımı olan hemde güneşe karşı yüksek geçirgenliği olan, kalın katmanların yapımına izin verir. Balpeteğinin yalıtım özellikleri, ancak balpeteği hücre büyüklüğünün konveksiyon ve radyasyonla ısı transferini engelleyecek yeterlilikte küçük olması ile sağlanır [15].



Şekil 1. Gaz doldurulmuş çift camın U-değeri [16]



Şekil 2. Gaz doldurulmuş low-e kaplamalı çift camın U-değeri [16]



Şekil 3. Balpeteği ve kapiler yapıdaki saydam yalıtım malzemelerinin ısı iletkenliğinin kalınlıkla değişimi [14]

Optik geçirgenliği sabit saydam yalıtım malzemelerinden aerojeller tipik olarak iki tabaka cam arasında sıkıştırılmış olan silis jelinden oluşmuştur [17]. Boşluk çapı 100 nm olan mikro yapıda boşluklu, açık hücreli bir malzemedir. Boşluk çapının böyle küçük oluşu konveksiyonla olan iletkenliği sınırlar [14]. Aerojeller hareketsiz havadan daha düşük bir ısı iletkenliğe sahiptirler. Çünkü küçük gözenekler içerisinde hacimlerinin % 97'si havadır ve direnci hava moleküllerinden daha küçüktür [16]. Isıl performans gaz doldurulmuş cam ile birlikteliği sayesinde bekleneni vermektedir [10]. Aerojellerin katı bölümü boyunca ısı iletimi parçacıklar arasındaki küçük bağlantılarla sınırlandırılmıştır. Radyasyonla ısı iletimi ise, aerojellerin küçük kütle, büyük yüzey alanına sahip olmaları nedeniyle düşüktür [17,18].

Aerojellerin ısı iletkenliği 300 K ve 1 atm'de 0,020 -0,013 W/mK aralığında ölçülmüştür [17]. Organik aerojeller tabiatıyla silika aerojelden daha düşük ısı iletimine ve modifiye olmamış silika aerojellerinden 4 kat yüksek kızıl ötesi sönüm katsayısına sahiptirler. Silika aerojeller yanmazdır, zehirli değildir, hafiftir, saydamdır ve ısı dayanıklılığı 650 °C'dır [17]. Tablo 1 ve 2'de çeşitli yüksek teknoloji ürünü saydam elemanların ısı özellikleri ile ilgili karakteristikleri topluca verilmiştir.

Tablo 1. Değişik cam tiplerinin U-değerlerinin karşılaştırılması [10]

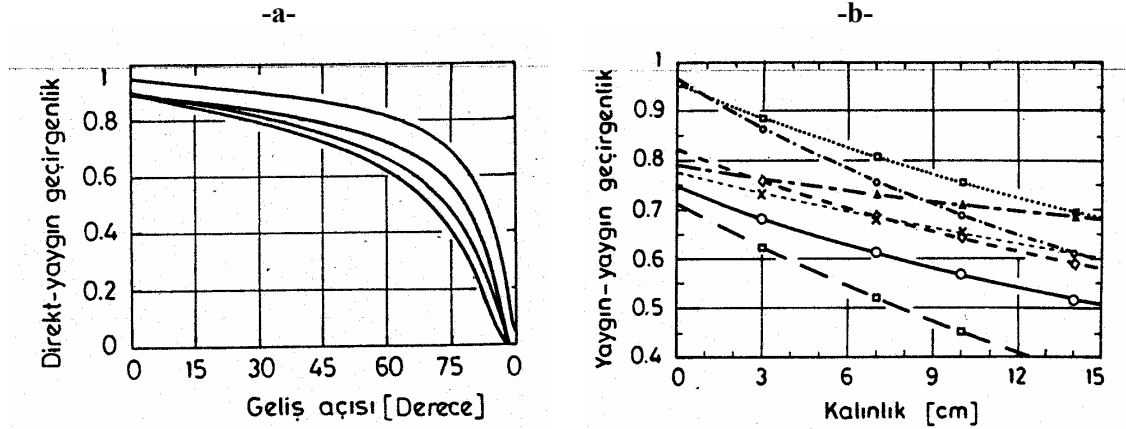
Cam Tipleri	U – değeri (Wm ²⁰ C)
Tek Cam	5,6
Çift Cam	3,0
Üçlü Cam	2,4
Low-E Kaplamalı Çift Cam	2,4
Low-E Kaplamalı Argon Dolgulu Çift Cam	2,2
Low-E Kaplamalı Argon Dolgulu Üçlü Cam	1,0
Balpeteği ve Kapiler Yapılar	1,0-1,5
Aerojelli Çift Cam	0,5-1,0

Saydam Elemanların Optik Özellikleri

Standart çift cam ünitelerinin cam yüzeylerinden bir veya birden fazlasına değişik özellikte film tabakaları kaplanıp geçirgenlik ve yansıtıcılık özelliklerinde değişiklikler meydana getirilmektedir. Reflektif (yansımaya) camlarda yansıtıcılık oranı yükseltilmiş böylece ışığın yüksek olduğu tarafta camın tek yönlü ayna gibi hareketi sağlanmıştır. Diğer tarafta ise manzara engellenmemektedir. Minimum ışık geçişine izin verirler. İki veya daha fazla cam katmanının eklenmesiyle yalıtım özelliği artırılırken, paneller ve aralarındaki boşluklar vasıtasıyla iç ortama giren güneş ışığında belirli miktarda azalma olmaktadır. Çünkü yansıtma ve absorpsiyon her cam paneli tarafından gerçekleştirilerek artar ve iç ortama geçebilen ışık oranını azaltılır [10]. Low-e kaplamalı ünitelerde, farklı kaplamalarda kullanılan malzemeler optik özellikleri sınırlar. Genelde yumuşak kaplamalar, sert kaplamalardan daha yüksek kızıl ötesi yansıtma ve solar geçişe sahiptir. Saydam yüzeylerdeki bu enerji performansına bu kaplamaların etkisi bir çok çalışmada yer almaktadır [19].


Saydam yalıtkan malzemeler ile ilgili yaklaşık 20 yıldır süren yeni gelişme ve araştırmalar sonucunda, balpeteği ve diğer geometrik strüktürler ve aerogeller olarak isimlendirilen malzemeleri ve ürünleri ortaya koymuştur.

Saydam yalıtım malzemelerinden optik geçirgenliği sabit olan balpeteği ve kapiler yapılar yansıyan ışığı yönlendirerek absorblayıcı yüzeye doğru gitmesini sağlarlar. Böylece optik kayıplar çok küçük olmaktadır. Sadece iç ve dış strüktürel yüzeyler arasındaki bazı saçılma ve emme sebebiyle toplam geçiş azalır (Şekil 4). Balpeteğinin yüksek geçirgenliği, balpeteği yapı duvarlardaki ön yansımadan anlaşılabilir [15].



Şekil 4. a) Balpeteği ve kapiler yapıdaki saydam yalıtım malzemelerinin direkt- yaygın geçirgenliğinin geliş açısı ile değişimi, b) Balpeteği ve kapiler yapıdaki saydam yalıtım malzemelerinin yaygın-yaygın geçirgenliğinin kalınlıkla değişimi [14]

Şekil 5’de farklı saydam yalıtkan malzemelerin geometrik sınıflandırılması görülmektedir [20].

<p>a) Emici – Paralel Yüzeyler</p> <ul style="list-style-type: none"> -çok katlı camlar -plastik filmler -yansıtıcı kaplamalar 	<p>b) Emici – Dik Yüzeyler</p> <ul style="list-style-type: none"> - balpeteği - kapiler - boru yapılar 	<p>c) Boşluklu Yüzeyler</p> <ul style="list-style-type: none"> - moleküler çok hücreli yüzeyler - köpükler 	<p>d) Homojen Yüzeyler</p> <ul style="list-style-type: none"> - aerojeller - cam-lifli tabakalar 
---	---	---	--

Şekil 5. Saydam yalıtkan malzemelerin geometrik sınıflandırılması

Optik geçirgenliği sabit diğer saydam yalıtım malzemesi aerogel, tabakalı camların arasındaki boşluğa doldurulur [17]. Aerojeller en iyi transparan olma özellikleri ile tanımlanır. Bunun sebebi de aerolin cam ile aynı malzemeden yapılmış olmasıdır. Buna rağmen durum bu kıyaslama kadar basit değildir. Aerojellerin birkaç cm içerisinden uzak nesnelere görülebilmesine rağmen, aydınlatılmış bir parça karanlık bir fonda bakıldığında hafif mavimsi bir renk gösterir ve gönderilen ışığı hafifçe kırmızılaştırır [21]. Aerogelin en önemli kusuru, kırılma ve suya karşı dayanıksızlığıdır. Ayrıca, yansıyan ışınların bir bölümünün absorblayıcı yüzeyden uzaklaşması da bir başka problemdir. Bununla beraber kırılma indisinin 1’e çok yakın olması çok net bir görüntü sağlar. Isı iletkenliği (Λ) balpeteği ve kapiler yapılardan çok daha düşüktür. 10 cm kalınlığındaki silica aerogel elemanın yaygın-yaygın güneş ışınımı geçirgenliği 0,77 olarak verilmektedir [14].

Geçirgenlikleri değişken camlar üzerine yapılan araştırmalar, ısıl performanslardaki iyileşmeler kadar görsel performans ve fonksiyonlarını da dikkate almaktadır. Geçirgenliği değişebilir camlarda optik özellikler değişir ve bu değişiklik geri dönüşümlüdür. Olay, kromojenik karakter taşır. Termokromik, fotokromik ve elektrokromik metodlar kromojenik metodların örnekleridir [16].

Termokromik saydam malzemeler, güneş enerjisini önlemek için tasarlanırlar. Sıcaklık değiştiğinde tepki olarak optik özelliklerini değiştirirler. Bu malzemeler cam tabakaları arasında sıkıştırılmış likit veya jellerden oluşur. Bu sistemlerin eksik yanı görülebilir ışığın geçişini azaltmaları ve uzun süreli kararlılığını etkileyecek şekilde likit fazın pencere ünitesinden sızma ihtimalidir [16]. Termokromik camların bağımsız olarak kontrol edilmeleri zordur [10,22].

Fotokromik saydam malzemeler, güneş gözlükleri ve dürbünler gibi ışığa cevap olarak optik özelliklerini değiştirirler. Geçirgenliklerini değiştirdiklerinde ısı emme oranı artar. Güneşli soğuk günlerde güneş ısı ve oda kaynak ısıyı emer ve sonra bir miktar ısıyı tekrar çevresine yayarlar. Güneşli sıcak günlerde, yansıtıcı camlar kadar güneş enerjisini yansıtırlar [16]. Bunlar otomatik olarak reaksiyon gösterirler ve bağımsız kontrole izin vermezler. Bazı teknik problemler nedeniyle fotokromik camlar henüz pencere boyutlarında üretilmemektedir [10, 22].

Elektrokromik saydam malzemeler, ünite içinden bir elektrik akımı geçtiğinde optik özelliklerini değiştirir. İnce bir metalik film, low-e camların üretimine benzer bir süreçle cam üzerine yerleştirilir.

Diğer bir teknik de camın iki paneli arasında sıkıştırılmış sıvı kuvars filminin konulmasıdır [16]. En kontrollü sistemdir. İsteğe bağlı olarak küçük bir elektrik sinyalinin verilmesiyle, elektrokromik tabakanın optik ve güneş enerjisi ile ilgili özellikleri değişir [10]. Saydam yalıtım malzemelerinin optik geçirgenlikleri ise 0,70-0,95 arasında değişir [14,22]. Tablo 2’de optik ve ısıl özellikleri verilmiştir.

Tablo 2. Saydam sistemlerin ısıl, optik ve solar özellikleri [22]

Malzemeler	d (mm)	U (Wm ⁻² K ⁻¹)	τ_{dir} (-)	G _{dir} (-)
Hava doldurulmuş çift camlı pencere	0	2,9	0,63	0,67
Argon doldurulmuş Low-E kaplamalı çift camlı pencere	4-16-4	1,3	0,42	0,53
Kripton doldurulmuş Low-E kaplamalı çift camlı pencere	4-8-4-8-4	0,7	0,28	0,35
Aerojel doldurulmuş (düşük demir) çift camlı pencere	4-24-4	0,8	0,45	0,50
Vakumlu camlı pencere	9	(0,3-)0,6	0,32-0,36	0,35-0,40
PC balpeteği doldurulmuş (düşük demir) çift camlı pencere	4-50-4 4-100-4	1,3-1,4 0,8-0,9	0,65 0,57	0,67 0,64
d = cam panellerin ve boşlukların kalınlığı U = ısı geçirimsizlik katsayısı τ_{dir} =Solar ışık geçirimsizliği G _{dir} =Enerji geçirimsizliği				

Genel Sonuçlar

Saydam yüzeyler çevre ve psikolojik sebepler açısından yapılarda önemli rol üstlenirler. Yoğun kent ortamında, düşeyde ve yatayda boyutları büyüyen yapıların derinliğine, ışık ve görüntü taşıyan ve yaşamın vazgeçilmez bir öğesi olan saydam yüzeyler, geçmişte görüntü uğruna ısıl performanstan ödün verme şeklinde gelişmiştir. Saydam yüzeyler çevre ve yapı arasında istenmeyen ısı kayıp ve kazançlarının miktarından sorumludur [23]. Fakat günümüzde kazandığı yeni iklim kontrol yetenekleriyle yalıtımın zayıf bir halkası olmaktan hızla çıkmaktadır. Doğru seçilmiş ve doğru tasarlanmış saydam yüzeyler, ısıtma ve soğutma giderlerini azaltarak enerji kaybına engel olmaktadır [24]. Daha aydınlık ve sağlıklı iç mekanlarla enerji kazançları çelişen değil bağdaşan kavramlar olmuştur [13]. Geleneksel camlardan çok daha farklı teknolojilerle üretilen saydam yalıtkan malzemelerin ısıl özellikleri opak elemanlar kadar iyileştirilebilmektedir. Örneğin; aerojeller, yüksek yalıtım değeri ve çevre dostu üretim metodları sayesinde geleneksel yalıtım sistemlerine karşı güçlü bir alternatiftir. Ancak, malzemenin üretim ve sistem maliyetleri engelleyicidir. Dünyada birçok enstitü aerojellerin üretim maliyetlerini düşürmek ve yalıtım performansını arttırmak için çalışmalar yapmaktadır [21].

Bu gelişim ana beklentiye cevap vermekle birlikte yeni bir problemi de beraberinde getirmiştir; saydamlık dolayısıyla yaz aylarında güneş ışınlarının içeriye aşırı ısıtması sebebiyle, kışın arzu edilen performansı yakalarken yaz aylarında çözülmesi gereken başka bir problem ortaya çıkmaktadır. Cam sektörü bu probleme geçirgenliği değişken saydam yalıtım malzemelerinin üretimi ile çözüm bulmaya çalışmaktadır. Ancak araştırma aşamasında olan bu özellikteki ürünler henüz yeterli dayanımda ve bina için gerekli olan büyük boyutlarda üretilmemektedir. Bu konu üzerindeki araştırmalar devam etmektedir.

Son yıllarda camın sadece bir pencere elemanı olarak değil de bir yapı kabuğu olarak kullanımı günden güne artmakta, teknoloji yoğun binaların yapımı ve bu binalarda dış kabuk olarak özel üretilmiş camların tercihi hızlanmaktadır.

Kaynaklar

1. R.E.Collins, G.M.Turner, A.C.Fischer-Cripps, J.-Z.Tang,T.M. Simko, C.J.Dey, D.A.Clugston, Q.-C.Zhang,J.D.Garrison,Vacuum Glazing, A new component for insulating windows,Building and Environment 30 (4)(1995)459–492.
2. S.C.Sekhar, K.L.C.Toon, On the study of energy performance and life cycle cost of smart window, Energy and Buildings 28 (1998) 307–316.
3. W.C. Brown and K. Ruberg “Window Performance Factors” BSI-88-2
http://www.nrc.ca/irc/bsi/88-2_E.html
4. J.R. Sasaki CBD-129 “Potential for Thermal Breakage of Sealed Double-Glazing Units” Canadian Building Digest <http://irc-cnrc.gc.ca/cbd/cbd129e.html>
5. “Camda Işık Geçirgenliği” Trakya Cam Fabrikası, Kırklareli-1998
6. T.E. Johnson, Low-e Glazing Design Guide, Butterworth - Heinemann,1991.
7. R. Gordon, J. Non, Cryst.Solids 218 (1997) 81 –91.
8. P. Pfrommer, K.J. Lomas, C.Seale, Chr. Kupke, The Radiation Transfer through Coated and Thinded glazing 12 Mayıs 1995, Solar Energy 54, issue 5, 1995, 287-299.
9. C.G. Granqvist, et al., J. Non-Cryst.Solids 218 (1997) 273-279
10. “Technologies and Techniques” Bioclimatic Design , University of Sheffield 1999
<http://www.shef.ac.uk/uni/academic/A-C/archst/eei/infopack/tech.html>
11. Richard S. Thorsen, “Description of Transparent Insulation”
<http://www.fis.edu/gr10/grade10/gr10proj98/Bazmodel/essay2.htm>
12. Y. Akyürek “Mimarlar Cam Seçimi ve Tasarımında Daha Etkili Olabilmeli” Ege Mimarlık Dergisi Sayı 22
13. Y. Akyürek, “Yetenekli Camlar ve Akıllı Çözümler” Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ETKK Enerji Tasarruf Koordinasyon Kurulunun 1999 Ulusal Enerji verimliliği Kongresi
14. Ş. Dilmaç, F. Tepehan, N. Eğrican, “Saydam Yalıtım Malzemelerinin Enerji Tasarrufuna Katkıları” 21. yüzyılda Enerji Korunumu Sempozyumu İstanbul-Nisan,1994
15. H.Suehrcke, D. DTMIdelhög, J.A. Harris, R.W. Lowe, Heat transfer across corrugate sheets and honeycomb transparent insulation, 18 August 2003, Solar Energy 76
16. A.H. Elmahdy, S.M. Comick, “New Technology in the Window Industry” BSI-88-5
http://www.nrc.ca/irc/bsi/88-5_E.html
17. “Highly efficient, lightweight, and transparent insulating materials” Aerogel for Thermal Insulation, Lawrence Livermore National Laboratory, Berkeley University
18. “Technologies and Techniques” Bioclimatic Dizayn, University of Sheffield, 1999
<http://www.shef.ac.uk/uni/academic/A-C/archst/eei/infopack/tech.html>
19. Elin Hammarberg, Arne Roos , Antireflection treatment of low-emitting glazings for energy efficient windows with high visible transmittance, Thin Solid Films 442 (1-2), 222-226, October 2003
20. Werner J.Platzer, Transparent insulation materials and products:A review, Fraunhofer-Institute for Solar Energy Systems, Proc. SPIE Vol. 2255, p. 616-627, Optical Materials Technology for Energy Efficiency and Solar Energy Conversion XIII, Volker Wittwer; Claes G. Granqvist; Carl M. Lampert; Eds.
21. A. Hunt, M. Ayers, A Brief History of Silica Aerogels, Ernest Orlando Lawrence, Berkeley National Laboratory
22. A. Marko, P.O. Braun, “Thermal Use Of Solar Energy In Buildings” Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems Sy. 41-80 , 113-178
23. G.F.Menzies, J.R.Wherrett, Windows in the workplace:examining issues of environmental sustainability and occupant comfort in the selection of multi-glazed windows, Energy and buildings volume 37, issue 6, June 2005, 623-630
24. G.F. Menzies, J.R. Wherrett,Issues in the design and selection of sustainable multi-glazed windows:a study of qualitative issues in Scotland,in:The Worldwide CIBSE/ASHRAE Gathering of the Building Services Industry International Conference, Edinburgh, September 2003.