



# Gözlük Camı Kaplamaları ve Renkli Camlar

## Coatings and Tints of Spectacle Lenses

H. Zeki Büyükyıldız

Karabük Üniversitesi Tıp Fakültesi, Göz Hastalıkları Anabilim Dalı, Karabük, Türkiye

### Özet

Gözlük camları mineral ve organik (plastik) olmak üzere iki tür maddeden üretilir. Gözlük camlarına kullanım rahatlığı ve zararlı ışıklardan korunmak amacıyla özelliklerine ve ihtiyaca göre çeşitli kaplama ve boyama işlemleri yapılır. Camlara uygulanan kaplamaları yedi sınıfta toplayabiliriz. 1) Antiröfle kaplama, 2) Sertlik kaplaması, 3) Su itici kaplama, 4) Ayna kaplama, 5) Renk kaplama (boyamanın bir türü), 6) Fotokromik kaplama (Fotokromik işlemin bir türü), 7) Buharlanma önleyici kaplama. Antiröfle kaplama yansımaları azaltmak ve merceğin ışık geçirgenliğini arttırmak amacıyla yapılır. Sertlik kaplaması plastik camların yüzeyinin çizilmesini ve aşınmasını önlemek için uygulanır. Mineral camlar zaten sert olduğundan bu kaplama gerekmez. Su itici kaplama camın yüzeyini pürüzsüz ve hidrofob yapar, böylece camın toz, kir ve leke tutmasını önler. Ayna kaplama estetik amaçla güneş gözlüklerine uygulanır. Renkli veya fotokromik camlar güneşten korunmak ve zararlı UV ışınlarını süzmek için kullanılır. Buharlanma önleyici kaplama camın buharlanarak ışık geçişini azaltmasını engellemek için uygulanan hidrofilik bir kaplama şeklidir. (*Turk J Ophthalmol* 2012; 42: 359-69)

**Anahtar Kelimeler:** Kaplamalar, gözlük camları, mineral cam, organik cam, antiröfle kaplama, sertlik kaplaması, temizlik kaplaması, ayna kaplama, renkli cam, fotokromik cam, buharlanma önleyici kaplama

### Summary

Spectacle lenses are made of mineral or organic (plastic) materials. Various coatings and tints are applied to the spectacle lenses according to the characteristic of the lens material, and for the personal needs and cosmetic purpose. The coatings may be classified in seven groups: 1) Anti-reflection coatings, 2) Hard coatings, 3) Clean coat, 4) Mirror coatings, 5) Color tint coating (one of coloring processes), 6) Photochromic coating (one of photochromic processes), and 7) Anti-fog coatings. Anti-reflection coatings reduce unwanted reflections from the lens surfaces and increase light transmission. Hard coatings are applied for preventing the plastic lens surface from scratches and abrasion. Hard coatings are not required for the mineral lenses due to their hardness. Clean coat makes the lens surface smooth and hydrophobic. Thus, it prevents the adherence of dust, tarnish, and dirt particles on the lens surface. Mirror coatings are applied onto the sunglasses for cosmetic purpose. Color tinted and photochromic lenses are used for sun protection and absorption of the harmful UV radiations. Anti-fog coatings make the lens surface hydrophilic and prevent the coalescence of tiny water droplets on the lens surface that reduces light transmission. (*Turk J Ophthalmol* 2012; 42: 359-69)

**Key Words:** Coatings, spectacle lenses, mineral glass, organic glass, anti-reflection coatings, hard coatings, clean coat, mirror coatings, tint lenses, photochromic lenses, anti-fog coatings

### Giriş

İster göz bozukluğu için kullanılan diyoptrili gözlük camları, isterse güneşten korunma amaçlı güneş gözlükleri olsun, bütün

gözlük camlarına ihtiyaca göre çeşitli kaplamalar yapılabilir. Gözlük camlarına uygulanan kaplamalar camların türüne göre değişmektedir. Bu nedenle gözlük camlarının türlerini hatırlamakta yarar vardır.

**Yazışma Adresi/Address for Correspondence:** Dr. H. Zeki Büyükyıldız, Ataköy 9. Kısım B/4 D: 31 34750, Bakırköy, İstanbul, Türkiye

Tel.: +90 370 433 82 00 Gsm: +90 532 612 51 88 E-posta: eyecenter@superonline.com

**Geliş Tarihi/Received:** 14.02.2012 **Kabul Tarihi/Accepted:** 08.05.2012

**TOD 45. Ulusal Oftalmoloji Kongresi'nde panel konuşması olarak sunulmuştur. Gime, Kıbrıs, 8.10.2011.**

Gözlük camları cam ve plastik, diğer bir deyişle mineral ve organik olmak üzere iki türdedir:

### 1) Cam veya Mineral Gözlük Camları<sup>1</sup>

Cam, yani mineral gözlük camları kron (crown) cam, borosilikat cam, flint cam ve ağır flint cam olarak sınıflandırılır. Kron (taç) cam İngiltere’de ilk üretilen cam tabakların taç şeklinde olması nedeniyle bu adla adlandırılmıştır. Mineral camın içeriği %60-70 oranında ( $\text{SiO}_2$ ) silisyum oksittir. Geri kalan bileşiminde kalsiyum, sodyum ve bor oksitleri kullanılır, kırıcılık endisi (indeksi) 1,525’dir. Borosilikat camlar ise fotokromik camların üretiminde kullanılır.

Flint camlar günümüzde kullanılmamaktadır. Ağır flint cam olarak adlandırılan yüksek kırma gücü olan camlar ise camın hammaddesine çeşitli minerallerin eklenmesiyle kırıcılık endisi yükseltilmiş camlardır. Bu camlar yüksek diyoptrili camlar için kron camdan daha hafif ve daha ince camların (inceltilmiş cam) elde edilmesi amacıyla üretilmişlerdir.

Camın hammaddesine titanyum eklenerek  $n=1,7$  baryum ağır flint ( $\text{BaSF}$ ) cam, lantanum eklenerek  $n=1,8$  lantan ağır flint ( $\text{LaSF}$ ) cam ve lantanum ile niyobyumun birlikte cam materyaline eklenmesiyle de bugünkü en yüksek kırma gücü ( $n=1,9$ ) olan cam üretilmiştir. Ancak camın kırıcılık gücü arttıkça Abbe (yazıldığı gibi okunur) sayısı küçülmektedir. Abbe sayısı camın kromatik aberasyon yani dispersiyon özelliğini belirtmektedir ve bu sayı küçüldükçe camlarda dispersiyon ve yansımalar artmaktadır. Cam üretiminde arzu edilen ise az yoğunluk, yüksek kırma gücü ve yüksek Abbe değeridir.

### 2) Plastik veya Organik Gözlük Camları<sup>1</sup>

Plastik ya da diğer adıyla organik camlar CR-39, yüksek kırıcılık endisli (indeksli) organik camlar, polikarbonat camlar ve triveks camlar olarak dört türdedir. İlk plastik camlar CR-39 adlı maddeden üretilmiştir. CR-39 Columbia Reçinesi (CR) adı verilen materyalin (Allyl diglycol carbonate-ADC) 39’uncu polimerizasyon denemesinde elde edilmiştir. Bir düroplast olan CR-39 ısı etkisiyle sertleşmektedir. Kırıcılık gücü normal kron cama oranla az daha düşüktür ( $n=1,5$ ), ancak mineral cama göre yoğunluğu daha az olduğundan %40 daha hafiftir. Renksiz bir CR-39 camın ışık geçirgenliği %92,1 oranındadır. UV-A ışınlarını tamamıyla ve UV-B ışınlarının ise büyük bir kısmını kendiliğinden absorbe eder. CR-39 kırılmaya karşı mineral cama göre 20 kat daha dayanıklıdır, ama yüzeyi sert olmadığından kolay çizilebilir. Diğer yandan alkol, aseton veya benzin gibi temizleyici maddelere karşı dayanıklıdır.

Yüksek kırıcılık endisli (indeksli) plastik camlar çeşitli katkı maddeleri ve kırıcılık gücünü yükselten brom, klor veya kükürt gibi maddeler içeren vinil monomerinden üretilir. Önceleri MR 6 maddesiyle üretilen  $n=1,6$  kırıcılık gücü olan organik camlar

Abbe değerinin daha yüksek (41) olması, daha hafif ve ısıya daha dayanıklı olması nedeniyle artık MR 8 adlı materyalden üretilmektedir. MR 7 ve MR 10 (Abbe=31) materyalleriyle  $n=1,67$  endisli ve MR 174 (Abbe=32) materyaliyle de en yüksek kırma gücü olan ( $n=1,74$ ) organik camlar üretilmektedir.

Polikarbonat camlar ise CR-39 gibi düroplast değil, termoplast madde grubundandır. Polikarbonat camlar “kurşungeçirmez” denilen cam materyalinden elde edilmektedir ve CR-39’a göre darbelere 10-12 kat daha dirençlidir, ancak yüzeyi yumuşaktır. Alkol, aseton, saç spreyi gibi maddelerle yüzeyi kolay bozulabilir. Diğer yandan, polikarbonat camlar materyalinin özelliği sayesinde her hangi bir ilave maddeye gereksinim olmadan, kendiliğinden %100’e yakın UV koruması sağlar. İnceltilmiş cam (yüksek endisli) özelliğinden ve çok hafif olmasından dolayı hem yüksek diyoptrili hastalarda, hem de çocuklarda kullanım kolaylığı sağlar. Bununla birlikte, düşük Abbe değeri (31) nedeniyle en düşük optik kaliteye sahiptir.

Triveks (Trivex) camlar ise CR-39 ve polikarbonat camların olumlu özelliklerini bir arada taşıyan yeni geliştirilmiş organik bir cam cinsidir. CR-39’dan ve polikarbonattan daha hafiftir. Kırılmaya ve darbelere çok dayanıklı olan bu cam esnek olduğu gibi, alkol, aseton, saç spreyi gibi maddelere karşı da dayanıklıdır. Bu camın Abbe değeri yüksek (45) olduğu için çok iyi bir optik kaliteye sahiptir. Ayrıca UV-A ve UV-B ışınlarını yaklaşık %100 oranında absorbe eder. Triveks cam sporcular, çocuklar ve koruyucu gözlük üretimi için çok uygun ve en hafif cam türüdür.

### Gözlük Camı Kaplamaları

Gözlük camlarına camın cinsine ve ihtiyaca göre çeşitli kaplamalar yapılmaktadır. Bunların başında, 1935 yılında icat edilmesine rağmen, gözlük camlarında 1956’dan bu yana uygulanan antiröfle (yansıma önleyici) kaplama gelmektedir. Camlara yapılan kaplamaları şu şekilde sınıflandırabiliriz:

- 1) Yansıma önleyici (Antiröfle, ET) Kaplama
- 2) Sertlik Kaplaması (Hard Coating)
- 3) Temizlik Kaplaması (Clean Coat) ya da Su itici (Hidrofobik) Kaplama
- 4) Ayna Kaplaması
- 5) Renk Kaplama (Renklendirme yöntemlerinden biri)
- 6) Fotokromik Kaplama (Fotokromi yöntemlerinden biri)
- 7) Buharlanma önleyici (Anti-fog) kaplama

#### 1) Yansıma Önleyici (Antiröfle, ET) Kaplama

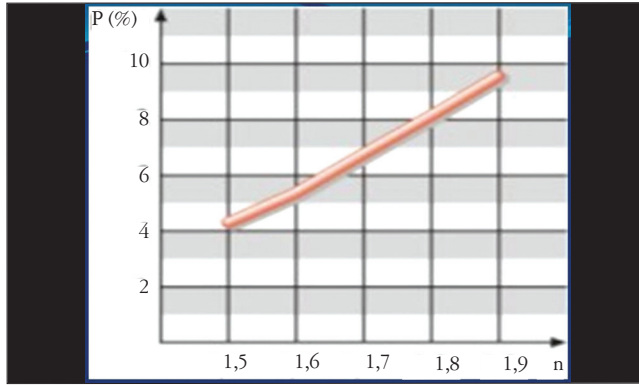
Bütün camlar ve parlak yüzeyler üzerlerine gelen ışınların bir kısmını yansıtırlar. Camın her bir yüzeyindeki yansıtıcılık oranı camın kırma gücüne bağlı olarak %4 ile %9,5 arasında değişir.<sup>2</sup> Kırma gücü 1,5 olan bir cam her bir yüzeyinden %4 oranında yansıma yapar. Camın kırıcılık gücü (endisi, indeksi) arttıkça yansıma oranı da artar<sup>3,4</sup> (Şekil 1).

Yansımalar camdan geçen ışığın azaltmasına yol açtığından gözlük takan kişinin görüntü netliği de azalır. Gözlük camındaki yansımalar hem gözlük takan kişiyi, hem de gözlüklü kişiye bakan kişiyi rahatsız eder. Gözlük takan bir kişinin maruz kaldığı yansımalar üç şekilde olmaktadır. Bunlardan birincisi gözlük camının arkasından gözlük takan kişinin gözüne gelen rahatsız edici yansımalar. İkinci yansıma şekli ise, kişinin korneasından gözlük camına ve tekrar göze geri gelen yansımalar. Üçüncü yansıma şekli ise gözlük takan kişiye bakan diğer kişiye gelen yansımalar.<sup>3,4</sup> Gözlük takan kişi bu üç yansıma şekline de huzursuz olur. Yansımalar nedeniyle rahat ve net bir görüş sağlayamadığı gibi, karşısındaki kişiyle de göz göze rahat bir görüşme, konuşma yapamaz. Bu son durum iki tarafı da rahatsız eden yansıma şeklidir (Şekil 2).

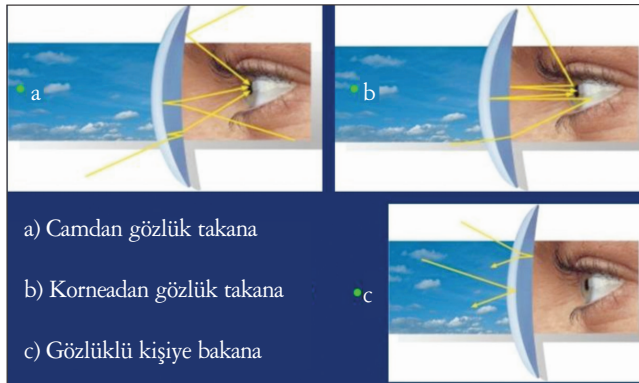
Yansımaları önlemek için camın yansıma önleyici (antiröfle) bir madde ile kaplanması gerekir\*. Antiröfle kaplamalar tek veya çok katlı olarak camın arka yüzüne veya ön yüzüne ya da her iki yüzüne uygulanabilir.

#### a) Tek kat antiröfle (AR) kaplama

Tek kat antiröfle kaplama seçilmiş bir dalga boyu için yapılmaktadır, Genellikle sarı-yeşil (550 nm) bandındaki



Şekil 1. Camın kırıcılık endisi arttıkça yansıma oranı da artar



Şekil 2. Yansıma (refleksiyon) türleri

yansımalar önlenir. Cam mercekler için tek katlı kaplama camın kırıcılık endisinden daima daha düşük endislidir. Kaplama maddesi olarak kırıcılık endisi 1,37-1,38 olan magnezyum flüorür ( $MgF_2$ ) kullanılır. Antiröfle kaplamanın çalışma prensibi yansıyan iki ışık ışını arasında yıkıcı enterferans oluşturmaktır. 100 nm kalınlığındaki tek kat yansıma önleyici (antiröfle) kaplama ile örneğin kron cam ( $n=1,525$ ) için yansımalar her bir cam yüzeyinde %4,3'den %1,6'ya iner ve ışık geçirgenliği %91,4'den yaklaşık %97'ye çıkar.<sup>2,5,6</sup>

Organik camlarda ise  $MgF_2$  kullanılamaz, çünkü  $MgF_2$  düşük ısıda cama iyi tutunamaz, organik cam ise fazla ısıtılırsa sararır ve şekli bozulur. Kullanılan kaplama maddesi organik camdan (örneğin CR-39  $n=1,5$ ) daha düşük kırma endisli kuartz ( $n=1,45$ ), yani ( $SiO_2$ ) silisyum dioksittir. Ancak organik cam ile kuartzın kırıcılık güçleri birbirine yakın olduğu için yıkıcı enterferans sağlanamaz. Bu yüzden Zirkonyum oksit gibi kırıcılık gücü yüksek bir madde ara kaplama malzemesi olarak kullanılır.<sup>3,5</sup>

Tek kat kaplama türünde mavi ve kırmızı yansımalar sürdüğünden cam erguvani bir yansıma yapar. Günümüzde tek katlı kaplama hemen hemen terk edilmiş, yerini çok katlı kaplamaya bırakmıştır.

#### b) Çok katlı (Multipl) antiröfle kaplama

Gözlük camları spektrumun geniş bandındaki yansımaları önlemek için 2-3 katlı yansıma önleyici maddelerle kaplanabildiği gibi, 6 kat, 7 kat, 9 kat ve hatta bazı firmalarca 11 kat antiröfle kaplama ile kaplanmaktadır.

Çok katlı kaplamada farklı kalınlık ve farklı dalga boyunda, camın kırıcılık endisinden (indeksinden) hem daha az endisli (kuartz =  $SiO_2$ ,  $n=1,45$ ) ve hem de daha yüksek endisli kimyasal bileşikle üst üste kaplanmaktadır. En üste çizilmemesi için genellikle kuartz kaplanır. Plastik camlara aşınmalara ve termal şoklara da dayanıklı çok katlı yansıma önleyici kaplama yapmak için yüksek kırma gücüne sahip çok saf mineral oksitleri bulunmuştur. Bunlar arasında  $n=2,35$  olan Titanyum oksit- $TiO_2$ ,  $n=2,05$  olan Zirkonyum oksit- $ZrO_2$ ,  $n=2,18$  olan Tantalum oksit- $Ta_2O_5$  ve Neodimyum oksit- $Nd_2O_5$  ile Prazeodimyum oksit- $Pr_2O_5$  karışımlarını sayabiliriz. Yansımalar çok katlı kaplamanın türüne ve özelliğine bağlı olarak camın her bir yüzeyinde %0,3'den daha az kadar indirilir ve merceğin ışık geçirgenliği %7 oranında artarak yaklaşık %99'a kadar çıkar.<sup>5,6</sup> Çok katlı yansıma önleyici kaplamalar spektrumun geniş bir bölümünde etkilidir. Cam hafif eğildiğinde kaplamanın türüne göre üzerinde altın sarısı veya mavimsi-yeşil renkte zayıf ışık röflesi görülür.<sup>4</sup>

Yansıma önleyici kaplamanın işleme prensibi yıkıcı girişim (destrüktif enterferans) yoluyla. Bunu basitçe açıklamak gerekirse, bir dalganın tepesi diğerinin çukuru ile karşılıklı getirilerek (faz ve amplitüdüleri ayarlanarak) birbirini yok etmesi sağlanır. Bir kaplamanın kalınlığı referans dalga boyunun dörtte biri kadar olursa iki dalga arasında yarım dalga boyu faz farkı olur.

\* Gözlük camlarının büyük çoğunluğu ilk başlarda Almanya kaynaklı olduğundan gözlükçüler arasında yansıma önleyici kaplama ET kaplama olarak bilinir ve bu terim halen kullanılmaktadır. ET, Almanca Einfache Tarnschicht sözcüklerinin kısaltmasıdır. Almanca'da ayrıca Entspiegelt (Entspiegelt okunur) terimi de aynı anlamda kullanılır. Bu terim İngilizcede Antireflective (antireflectiv okunur) veya Anti-reflection (antiröfleşkin okunur) olarak kullanılır ve kısaltması AR'dir. Ülkemizde genelde Fransızca terminoloji kullanan tıbbi bir gelenek olduğundan yansıma önleyici kaplama için Fransızca Antireflet (antiröfle okunur, antireflet telaffuzu yanlış) terimi kullanılmaktadır.

Böylece bu dalgalardan birinin tepesi diğerinin çukuruna rastlar ve yıkıcı girişimle birbirini yok ederler. Bu iki dalganın amplitüdleri aynı olursa tam yok olma sağlanır (Şekil 3).<sup>2,4</sup>

Şekil 4'te ise, kırıcılık endisi 1,60 olan bir merceğin bu mercekten daha düşük kırıcılık gücü ( $n=1,38$ ) ve daha yüksek kırıcılık gücü ( $n=2,10$ ) olan değişik kalınlıkta kaplama maddeleriyle ardışık sırayla nasıl kaplandığı gösterilmektedir.<sup>4</sup>

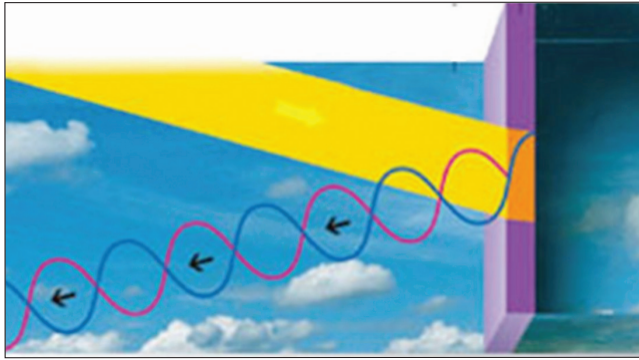
Çeşitli firmalar formülünü kısmen gizli tuttıkları farklı kaplama maddeleri kullanmaktadırlar. 9 ve 11 kat uygulanan kaplamalar ile Teflon kaplamalar yeni uygulanan kaplamalardandır. Yeni kaplamalar aynı zamanda anti-statik etkiyle camın toz tutmasını da engellerler.

Çok katlı antiröfle kaplamaların toplam kalınlığı 100-250 nm arasında değişmektedir. Bu kaplamaların 100 katı yaklaşık bir insan saç teli kalınlığına eşdeğerdir.<sup>4</sup>

#### Yansıma önleyici (Antiröfle) Kaplama Yöntemleri

##### a) Basınç altında ısıyla buharlaştırma yöntemiyle antiröfle kaplama

Mineral camlar için iyi bir antiröfle kaplama yöntemidir. Antiröfle kaplama için kaplama maddesinin ısıyla basınç (vakum) altında buharlaşması ve mineral camların yüzeyine kaplanması sağlanır (Şekil 5).<sup>3,4,6</sup> Bu yöntemde kaplama maddesi basınç altında buharlaşarak çok saf bir halde ve homojen olarak cam yüzeyine dağılır ve mükemmel bir şekilde cama tutunur. Tam bir saydamlık sağlanır. Cam ile kaplama arasına hiçbir yabancı madde



Şekil 3. Antiröfle kaplamanın prensibi. Yıkıcı girişim (destrüktif enterferans) yoluyla yansıma yok edilir



Şekil 4. Çok katlı (6 kat) antiröfle kaplama

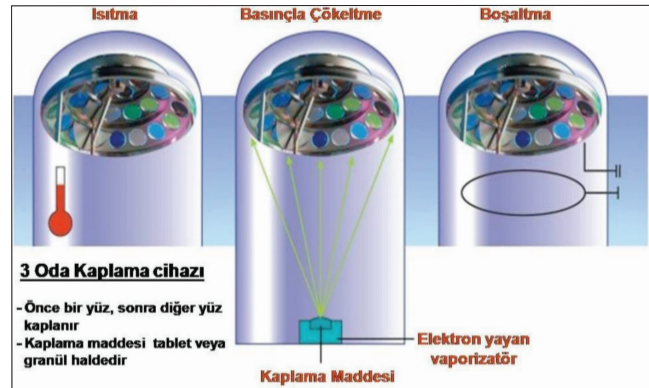
giremez, boş delikler veya hava kabarcıkları oluşmaz. Kaplamanın refraktif endisi ve kalınlığı istenildiği gibi net bir kesinlikle ayarlanabilir.<sup>6</sup>

##### b) Basınç altında soğuk buharlaştırma yöntemiyle antiröfle kaplama

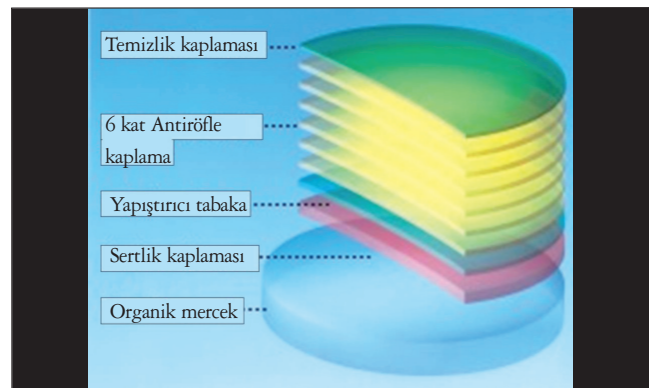
Organik cam ısıya dayanıklı değildir, bu yüzden yansıma önleyici kaplamalar ısı altında yapılamaz. Plastik camlar metal oksitlerin yüksek vakum altında soğuk buharlaştırma yöntemiyle camların üzerine püskürtülmesiyle antiröfle kaplanır. Antiröfle kaplama yapılacak organik camlar önce özel bir temizlik işleminden geçirilir.<sup>3,6</sup> Çok katlı yansıma önleyici kaplama yapılmadan önce cam yüzeyine sertlik kaplaması yapılır. Antiröfle kaplandıktan sonra da en üst yüzeye su itici, leke ve toz önleyici temizlik kaplaması yapılır (Şekil 6).<sup>3</sup>

#### Yansıma Önleyici Kaplamanın Yararları:

- Gelen ışığın camdan yansıması önlediğinden camın gelen ışığı geçirgenliği artar ve daha net bir görüntü sağlanır.
- Yansımaların önlenmesiyle televizyon ve diğer ekranlı cihazlarda kontrast artışı sağlanır.
- Süricülerin daha rahat ve daha net görmesiyle sürüş emniyetini artırır.
- Yüksek miyoplarda, yüksek endisli cam takanlarda aşırı yansımalar önlenir.



Şekil 5. Mineral camlara basınç altında çöktirme yöntemiyle antiröfle kaplama



Şekil 6. Organik camlara yapılan kaplamalar



- Bütün gün gözlük takanların yansıma yorgunluğu önlenir.
- Yansımanın önlenmesi sonucu estetik bir görünüm ve diğer kişilerle optimum göz teması sağlanır.

Geceleri araç sürücülerinin gözlüklerinin antiröfle kaplamalı olması ve renkli olmaması gerekir. Çünkü kırma gücü 1,5 olan bir camın iki yüzeyinden toplam yansıma %8 oranındadır. Araç camının iki yüzeyinden toplam %8 yansıma ile birlikte araç kullanan bir gözlüklü kişinin karşılaştığı yansımaların toplamı %16 olmaktadır. Bu kişi %10 koyulukta bir renkli cam takarsa gece görüşünü tehlikeye atacak düzeyde bir ışık azalmasıyla karşı karşıya kalacaktır. Zira gece araç kullanırken ışık kaybı oranı %20'yi geçmemelidir.<sup>2</sup>

## 2) Sertlik Kaplaması (Hard Coating)

Sertlik kaplaması ya da sertleştirici kaplama plastik (organik) camların yüzeyini sertleştirmek amacıyla yapılan bir kaplama çeşididir. Her tür organik cama sertlik kaplaması uygulanmaktadır. Sertlik kaplaması organik camların çizilme ve aşınmalara karşı dayanıksız olması nedeniyle yapılan araştırmalar sonucu 1970'de uygulama alanına girmiştir. Mineral camların yüzeyi zaten sert olduğundan sertlik kaplaması (sertleştirici kaplama) yapılması gerekmez. Ancak özel olarak istenirse mineral camlara da sertlik kaplaması yapılabilmektedir. Yüksek kırıcılık gücüne sahip organik camların yüzey gerilimi CR-39'un yüzey geriliminden de düşüktür ve bu nedenle bunlara mutlaka sertlik kaplaması yapılmalıdır. Sertlik kaplamasının kalınlığı 2 mikron kadar olmakla birlikte organik camı 6 kat daha sert hale getirir.<sup>3,6</sup>

Gözlük araba içinde, sıcakta, güneşte bırakılmamalıdır, özellikle kuartzaj yöntemiyle yapılmış sertlik kaplaması çatlayabilir. Plastik mercekler normalde kolay kırılmaz. Ama ısıyla yapılan sertlik kaplamaları organik camlara çizilmezlik kazandırmakla birlikte onları daha kırılğan yapar. Bu nedenle gözlükle spor yapan kişilerde ve çocuklarda camlar organik ve kaplamasız olmalıdır.

### Sertlik Kaplaması Yöntemleri

#### a) Kuartz kaplama (Kuartzaj)

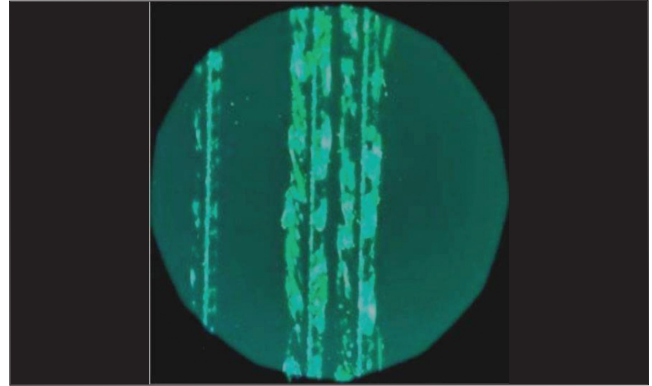
1970'lerde başlayan organik camların sertleştirici bir kaplama ile kaplanması işlemi için ilk nesil kaplama maddesi olarak silisyum dioksit, yani kuartz kullanılmıştır ve bu işleme kuartzaj adı verilmiştir. Kuartz organik camı mineral cam gibi sert hale getirmektedir. Kuartz ile kaplama yüksek basınç altında soğuk buharlaştırma yöntemiyle yapılmaktadır. Ancak kuartz ile CR-39 polimerini kombine etmek oldukça zordur, çünkü CR-39'un genleşmesi kuartzdan yaklaşık 20 kez fazladır. Bu durum ısı etkisiyle (örneğin güneş altındaki arabada bırakılan gözlük camında) kaplamanın çatlamasına yol açar. Ayrıca cam temizleme beziyle sert bir şekilde silinirse kaplamada belirgin çizikler ortaya çıkabilir (Şekil 7).<sup>6</sup>

#### b) Vernik kaplama (Vernisaj)

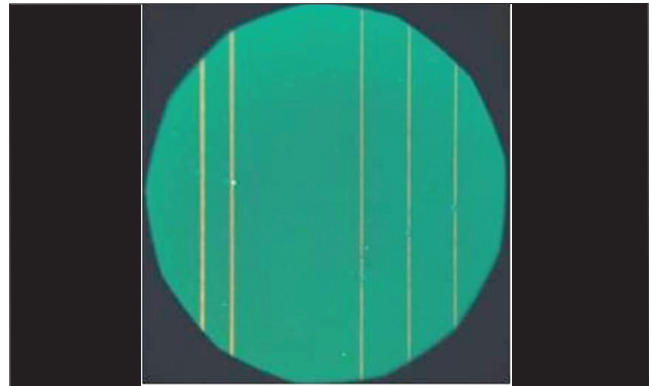
1975 yılından itibaren materyallerin özellikleri ile ilgili hassas araştırmalar sertlik ve genleşme arasındaki ilişki üzerine yoğunlaştırılmıştır. Aynı zamanda, kimya bilimindeki gelişmeler, polimerin yüzeyine kaplandığında camın genleşmesiyle

çatlamayan ikinci nesil daha sert kaplama materyallerinin bulunmasını sağlamıştır. Böylece, polisiloksan veya akrilik bileşikler ile sert vernikleme yöntemi gündeme gelmiştir. Bir silikon türevi olan polisiloksan mineral olan silisyuma uzun hidrokarbon zincirlerinin birçok işlemle eklenmesiyle oluşturulmuş sertleştirici bir kaplama verniği olarak kullanılmaktadır. Organik cam polimeri ile kaplama tabakası arasındaki elastiklik ve genleşme katsayısının uygunluğu nedeniyle iyi bir sertleştirici kaplama malzemesidir. Kuartzaj işlemine göre daha iyi bir sertlik koruması olmakla birlikte, antiröfle kaplamanın altında yer alan polisiloksan sertlik kaplaması da çizilmelere ve çatlamalara karşı tam bir koruma sağlayamamaktadır (Şekil 8).<sup>6</sup>

Araştırmacılar daha koruyucu materyaller üzerine çalışmışlar ve nanobileşik vernikleri uygulama alanına sokmuşlardır. Polisiloksanda kitlesel olarak çok az oranda silisyum bulunurken, nanobileşik %50 oranında silisyum içerir. Nanobileşik kaplamanın olağanüstü özellikleri vardır. Sert çizilmelere ve aşınmalara karşı dirençlidir, üstündeki antiröfle kaplamayı korur. Organik cam polimerinin genleşmesi ve deformasyonuna elastikliği ile uyum sağlar.<sup>6</sup>



**Şekil 7.** Kuartz ile organik cama yapılmış sertlik kaplamasının termal şok (örn. gözlüğün güneş altındaki arabada bırakılması) ve sert maddelerle çizilmesi ve çatlaması



**Şekil 8.** Polisiloksan vernikleme yöntemiyle sertlik kaplamasında çizik ve çatlaklar daha az ve daha incedir

### Vernikleme iki yöntemle uygulanır:

#### 1) Daldırma (Dip Coating) yöntemiyle vernik (lake) kaplama

Organik camlar ultrasonik banyoda temizlendikten sonra cam tutucularına yerleştirilir ve vernik havuzuna daldırılır (Resim 1). Bu şekilde camın iki yüzeyi de istenilen kalınlıkta sertlik kaplamasıyla kaplanır. Daldırma işleminden sonra kaplamanın yüzeye düzgün yayılması için camlar havuzdan hızla dışarı çıkarılır ve 100 derece ısıda fırınlanarak polimerize edilir ve kaplama maddesinin sertleşerek camın yüzeylerini kaplaması sağlanır. Sertlik kaplaması yapılan organik cam çizilmeye karşı dirençli hale gelir. Temizlemek için kullanılan maddeler de bu kaplamaya zarar veremez, ancak sert alkaliler sertlik kaplamasını bozabilir.<sup>3,4,6</sup>

#### 2) Hızlı dönme (Santrifügasyon=Spin Coating) yöntemiyle vernik (lake) kaplama

Bu sertlik kaplaması yönteminde cam çok hızlı bir rotasyon halinde iken üzerine filtreden geçirilerek temizlenmiş vernik damlatılır. Bu yöntemde kaplama maddesi çok kısa sürede havada veya birkaç dakikada ultraviyole ışınıyla kuruyabilmektedir. Santrifügasyonla vernikleme yöntemi az sayıda cama sertlik kaplaması yapılacağı zaman tercih edilmekte ve genellikle konkav merceklerle uygulanmaktadır. Daha karmaşık bir vernikleme işlemi olan daldırma yöntemindekine göre daha az dayanıklı ve zayıf bir sertlik kaplaması yöntemidir (Şekil 9).<sup>3,9</sup>

#### c) Plazma polimerizasyon

Bu yöntem diğerlerinden tamamen farklıdır. Önce bir vakum odasında düşük basınç altında neon gibi bir gaz etkisiyle bir elektrik salınımı yani, plazma oluşturulur ve siloksan zengin bir madde olan heksametildisilazan (HMDS) ailesi bir gazlı monomer basınç odasında polimerize edilir ve gaz halinden katı hale geçerek camın üzerine kaplanması sağlanır. Plazma mikrodalgalar, radyo dalgaları ve doğru akım ile de elde edilebilmektedir. Plazma polimerizasyon pahalı ve zor bir yöntem olduğu için çok tercih edilmez. Ayrıca camın yüzeyinde kaplama defektleri de oluşabilmektedir.<sup>6</sup>

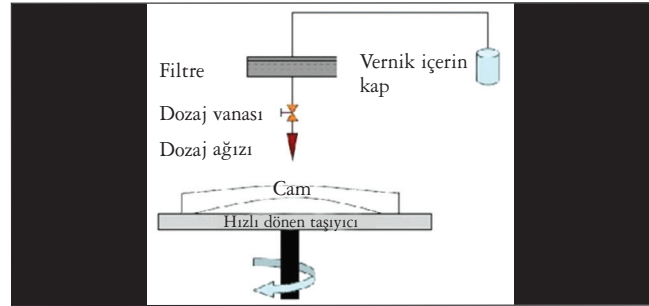
### 3) Temizlik kaplaması (Clean Coat) ya da Su itici (Hidrofobik) Kaplama

Temizlik kaplaması, diğer adıyla su itici (hidrofobik), toz ve leke önleyici kaplama gözlük camının kolay toz tutmasını, kirlenmesini, parmak izi kalmasını, yağlanması ve yağmurlu havalarda ya da cam yıkandığında su damlasının camın yüzeyine yayılarak yapışmasını önlemek amacıyla uygulama alanına girmiş bir kaplama yöntemidir. Bu kaplama cam üzerine yapılan kaplamaların en üstüne uygulanır. Antiröfle kaplama yapılmış camlarda yansımalar ortadan kalktığından camın yüzeyinde oluşan en ufak tozlanma veya kirlilik bile görünür hale gelir. Antiröfle kaplamanın üstüne yapılacak temizlik kaplaması ile camın kirlenmesi önlenir ve böylece camı temizleme gereksinimi de azalmış olur. Mineral camlarda önce antiröfle kaplama, üstüne de hidroforbik kaplama yapılır. Organik camlarda ise camın yüzeyinde ilk önce sertlik kaplaması yer alır, bunun üzerinde antiröfle kaplama ve en üstte de hidroforbik kaplama bulunur.

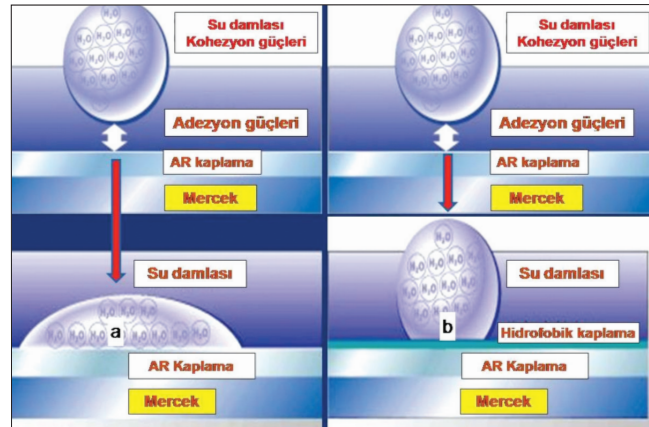
Hidroforbik kaplamanın etki prensibi su damlası ile cam arasındaki adezyon gücünün azaltılmasına dayanır. Su veya yağmur damlasının içyapışkanlık denilen kohezyon gücü su damlası ile cam yüzeyi arasındaki dışyapışkanlık yani adezyon gücünden zayıf olduğundan su damlası camın yüzeyine değdiğinde yayılarak cama yapışır. Su damlasının içyapışkanlık gücü değiştirilemeyeceğinden su damlası ile cam yüzeyi arasındaki dışyapışkanlık gücü azaltılmaya çalışılır. Böylece su damlası cama değdiğinde cama yapışmaz ve camın yüzeyinden kendiliğinden kayıp gider. Bu amaçla SiOH içeren alkilsilan hidrokarbon zincirleri ile camın yüzeyine su itici bir kaplama yapılır<sup>2,3,4</sup> (Şekil 10). Su itici kaplamada da basınçla çöktürme yöntemi kullanılır.<sup>3,4</sup>

Temizlik kaplamasının ya da su itici kaplamanın yararları:

- Camın yüzeyini hidroforb yapar, böylece suyun ve kirin cama yapışmasını engeller.
- Anti-statik etkiyle tozların cam yüzeyine tutunmasını engeller.
- Leke önleyici özelliğiyle camın kirlenmesi ve parmak izi kalmasını zorlaştır ve ayrıca kirlendiğinde kolay temizlenir.
- Cam yeni cilalanmış araba gibi parlak ve temiz görünür.



Şekil 9. Hızlı dönme (santrifügasyon=spin coating) yöntemiyle vernikleme sertleştirici kaplama



Şekil 10. Su itici (hidrofobik) kaplamanın prensibi. a) Hidrofobik kaplama olmayan camda su damlası ile cam yüzeyi arasındaki dışyapışkanlık gücü su damlalarının içyapışkanlık gücünden fazla olduğu için su damlası camın yüzeyine yayılır ve yapışır. b) Su itici kaplama su damlası ile cam arasındaki dışyapışkanlık (adezyon) gücünü azaltarak su damlasının cama yapışmasını engeller

#### 4) Ayna Kaplama

Ayna kaplama antiröfle kaplamanın tersine yapıcı girişim (konstrüktif enterferans) prensibi ile çalışır. Bu tür kaplamada enterferans tabakalarının faz ve amplitüdüleri birbirini güçlendirecek şekilde ayarlanır (Şekil 11). İlgili bölümde bahsedildiği gibi, antiröfle kaplama yıkıcı girişim (destrüktif enterferans) prensibine dayanır. Ayna kaplamada 200-250 nm kalınlıkta 10 kat enterferans tabakası vakum altında çökeltme yöntemiyle ön yüze kaplanır. Kaplama maddesi olarak krom, nikel, altın alaşımlı boyalar kullanılmaktadır.<sup>2,4</sup> Kaplama yapılan cam dışarıya ayna gibi parlak yansıma yapar. Ayna etkisinin yoğunluğu camın ana boyasının yoğunluğuna bağlıdır. Ana cam renksiz veya hafif boyalı ise ayna kaplama camın yüzeyinde hafif bir yansıma yapar. Camın zemin boyası ne kadar koyu ise ayna etkisi o kadar belirgin olur. Çok koyu boyalı camlarda gözlük takanın gözü camın arkasından hiç görülemez.<sup>4</sup>

Başlangıçta yalnızca mavi ayna kaplama yapılırken, günümüzde farklı kalınlıktaki enterferans kaplama tabakaları ile farklı renklerde (mavi, füm ve altın sarısı gibi) ayna yansımaları elde edilmektedir.

#### 5) Renk Kaplama / Renkli Gözlük Camları / Güneş Camları

Renkli camlar ve güneş gözlükleri gözüme gelen fazla ışığı ve zararlı güneş ışınlarını süzmek amacıyla üretilen camlardır. Görünen ışığın yaklaşık %20 sinden fazlasını absorbe eden gözlük camına güneş camı denir.<sup>3</sup>

Güneşten yayılan ışık ışınlarının kabaca 400-780 nanometre (nm) arası dalga boyları görünür ışık olarak algılanır. Elektromanyetik spektrumun 780 nm üzerinde, radyo dalgaları ile görünür ışık arasında kızılötesi (enfraruj = IR) ışınlar, 400 nm'den daha kısa boylu, görünür ışık ile X-ışınları arasında da morötesi (ultraviyole = UV) ışınlar yer alır. UV ışınları üç ana türdür:

1) UV-A: 400-320 nm arası ışınlarıdır. Güneşten dünyaya ulaşan ultraviyolenin %90'ı UV-A ışınlarıdır.



**Resim 1.** Daldırma (immersiyon) yöntemiyle vernikle sertleştirici kaplama

2) UV-B: 320-280 nm arası ışınlarıdır. UV-A'dan daha yüksek enerjiye sahiptir. Güneş ışınlarından sorumludur.

3) UV-C: 280 nm ve altı ışınlarıdır. Güneşten gelen UV-C stratosfer adı verilen atmosferin üst tabakasında ozon (O<sub>3</sub>) tabakası tarafından neredeyse tamamen süzülür ve yeryüzüne ulaşması engellenir. Ozon tabakası bu yüksek enerjili öldürücü UV radyasyonunu kızılötesi (IR) radyasyona dönüştürür, bu da stratosferin ısınmasını sağlar. Ancak bilinmesi gerekir ki, kaynak yaparken UV-C ışınları ortaya çıkmakta ve kaynak gözlüğü kullanmayan kaynakçıların göz ve yüz yanıkları UV-C ile oluşmaktadır. Mikrop öldürücü lambalar ve ekimer lazer cihazı da UV-C ışını yayar.<sup>7-9</sup>

Yeryüzüne ulaşan ışık enerjisinin yaklaşık %10'u 280-400 nm arasındaki UV-B ve UV-A radyasyonudur. 300 nm'ye kadar olan morötesi ışınlar kornea tarafından emilmektedir. 300-400 nm arası ışınların büyük bir kısmı ise lens tarafından emilir.<sup>2</sup>

Aslında mineral camlar renkli ve kaplamalı olmasalar bile UV-C ışınlarını tamamen absorbe ederler. Yüksek kırıcılık endisli (indeksli) mineral camlar da renksiz haliyle tüm UV-B ve UV-A ışınlarını tama yakın oranda emerler. Gözlük camlarının zararlı ışık ışınlarından koruyuculuk özellikleri çeşitli filtre kaplamalarla daha etkili hale getirilebilmektedir.<sup>3</sup>

Organik camlardan CR-39 ultraviyole ışınlarını renksiz haliyle 350 nm'ye kadar (UV-C ve UV-B tamamen, UV-A ise kısmen) absorbe eder. Eğer bu camlara özel filtreler kaplanırsa, 400 nm'ye kadar tüm kısa dalga boylu ışınların emilmesi sağlanır. Organik polikarbonat ve triveks camlar ise hiçbir filtre kaplama olmaksızın UV ışınlarını hemen hemen %100 oranında kendiliğinden absorbe ederler.<sup>3</sup>

Yüksek kalitede güneş gözlükleri göze zarar veren UV ışığının hemen hemen tamamını tutar.<sup>7</sup> Güneş ve UV ışınlarının etkisiyle renklenerek veya rengi koyulaşan fotokromik gözlük camları da çok iyi bir UV koruması sağlarlar.<sup>3</sup>

#### Güneş Camlarının Renklendirilmesi

Gözlük camlarının boyanması veya renklendirilmesi ya daimi ya da değişken, yani fotokromiktir. Mercekler ışık geçirgenliklerine bağlı olarak uluslararası standartlara göre 5 sınıfa ayrılır. Normal ışık koşullarında ve 2 mm kalınlığındaki plano bir camda 0 en açık, 4 ise en koyu olarak sınıflandırılır. Bu sınıflandırma yalnızca görünür ışık için değil, UV-A ve UV-B ışınları için de geçerlidir. Renkli ve UV önleyici camlar bu derecelendirmelere göre üretilir.

Camın ışık geçirgenlik özellikleri tek başına camın rengine bağlı değildir. Bununla birlikte bazı genel kuralları söylenebilir. Örneğin füm renk görünür ışınları çok daha iyi geçirir. Kahverengi renk spektrumun mavi-yeşil bandını turuncu-kırmızı bandından daha fazla emer. Yeşil renk ise turuncu-kırmızı bandını mavi-yeşil bandından daha fazla absorbe eder. Boyanın yoğunluğu ise görünür ışınların emilme miktarını belirler. Renk seçimi gerekli görülen absorpsiyon özelliklerine bağlı olmakla birlikte,



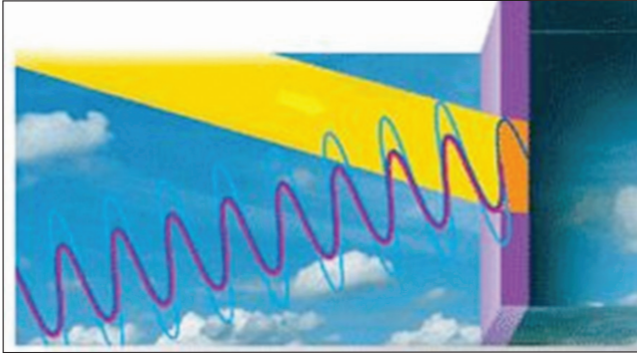
gözlük takan kişinin ametropi eğilimine de bağlı olabilir. Örneğin miyoplar kahverengi camı, hipermetroplar ise yeşil camı tercih edebildiği gibi, tamamen keyfi bir seçim de yapılabilir.<sup>6</sup>

Camların boyanması iki şekilde olmaktadır. 1) Hammaddenin boyanması, 2) Camın boyanması. Hammaddenin boyanması işlemi bir kaplama yöntemi değildir. Camın boyanması ise kaplama yöntemlerinden biri olarak değerlendirilir.

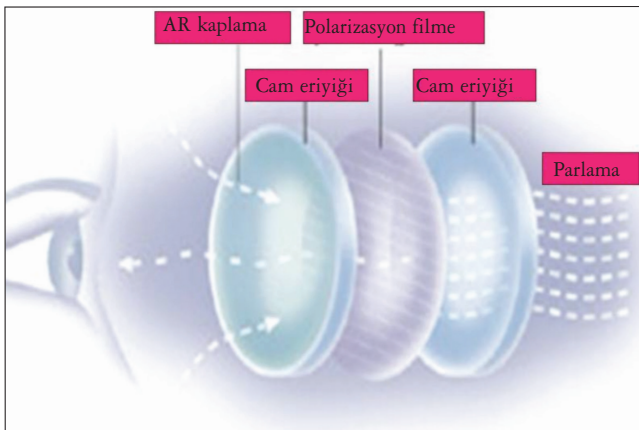
#### a) Renkli Mineral Camlar

1) Hammaddenin (cam hamurunun) boyanması. Cam üretilirken camın hammaddesinin içine boya pigmentinin katılması ile boyama yapılmaktadır. Bu şekilde üretilen renkli mineral camlar üniform değildir. Yani camın kalın yerleri daha koyu, ince yerleri ise daha açık renkte görünür. Bu nedenle hammaddenin boyanması yöntemi refraksiyon bozukluklarını düzeltmek amacıyla üretilen camlarda pek kullanılmamaktadır. Bu solid boyama yöntemi özellikle plano mineral güneş camlarının boyanması için tercih edilmektedir.

2) Camın boyanması (boya pigmenti ile kaplanması). Bu yöntemde cam 200-300 dereceye kadar ısıtılır ve ışık emici metalik boya bileşikleri basınçla (vakum altında) buharlaştırılarak merceğin yüzüne tabaka halinde çökeltirilir. Boyama için silisle karışık krom, molibden, bakır veya titan oksitleri, silisyum



**Şekil 11.** Ayna kaplamanın prensibi. Yapıcı girişim (konstrüktif enterferans) yoluyla yansıma güçlendirilir



**Şekil 12.** Polarize organik cam üretimi. Yatay polarize ışınlar organik cam eriyiği kalıba dökülürken araya konan dikey polarizasyon filtresi ile önlenir

monoksit, magnezyum flüorür gibi arzu edilen renge göre değişen boya pigmentleri kullanılır. Kullanılan vakumla boya kaplama yöntemi çok sofistikedir ve antiröfle kaplamada kullanılan yöntemle benzerdir.<sup>6</sup>

Mineral camlarda renkler organik camlara göre kısıtlıdır.

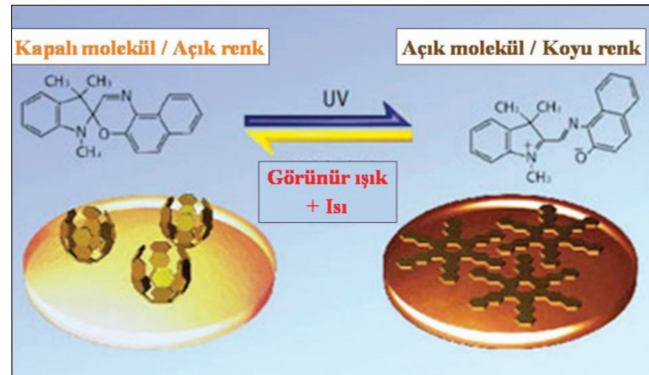
#### b) Renkli Organik Camlar:

Organik camların boyanması da iki şekilde olmaktadır:

1) Hammaddenin (cam hamurunun) boyanması. Organik CR-39 camlarda boya pigmentleri sıvı monomere eklenerek polimerizasyona bırakılır. Ayrıca camın zararlı morötesi ışınlardan gözü koruma gücünü arttırmak için sıvı monomere UV emici benzotriyazol gibi maddeler de eklenerek cam üretilir. Bu solid boyama yönteminde de mineral camda olduğu gibi konveks ve konkav merceklerin kenar ve ortalarında kalınlığa bağlı olarak boyanma üniform dağılım göstermez. Bu nedenle solid boyama yöntemi yalnızca plastik güneş camlarının üretiminde kullanılır.

2) Camın boyanması (boya pigmenti ile kaplanması). Organik camların boyanması için daha çok bu boya ile kaplama yöntemi kullanılmaktadır. İmmersiyon (Daldırma – Boya banyosu) tekniği ile boyama yapılır. Camlar istenilen boyama oranına göre en açık renk için bir dakika, en koyu renk için de iki saat boya havuzunda tutulur. Boya pigmenti camın yüzeyinin 6 ile 10 mikron derinliğine kadar penetre olur. Organik camlar istenilen her renkte ve tonda ve hatta çift renkli veya degrade olarak boyanabilir. Degrade boyama için mercekler cam tutucuya tepesi aşağı olarak asılır ve boya havuzundan yavaş yavaş çıkarılır. Böylece camın alt kısmı hafif, üst kısmı ise havuzda fazla kalarak daha koyu boyanmış olur. Bu yöntemle hem plano güneş camları, hem de konveks ve konkav camlar üretilir.<sup>6</sup>

Güneş camlarının UV-A ışınlarının emilmesine ve renk koyuluğu oranına göre farklı kategorileri vardır. En çok bilinen koyuluk oranları %35, 50, 75 ve 80'dir.<sup>3</sup> Güneş gözlüklerinin büyük çoğunluğu günümüzde polikarbonat organik camlardan üretilmektedir.



**Şekil 13.** Organik camda fotokromik etki. UV etkisiyle kapalı moleküller açılır ve camın rengi koyulaşır. UV etkisi kalkar ve ısı artarsa moleküller eski haline döner ve renk açılır



## Polarize Filtreli Güneş Camları

Işık hem parçacık, hem de yolu boyunca 360° çevresine tüm elektriksel düzlemlerde titreşim gösteren bir dalgadır. Polarizasyon (kutuplaşma) bu dalga'nın bazı açılarda titreşiminin kesilmesi, diğer açılarda titreşimin sürmesidir. Bütün açılarda titreşim kesilirse ışık kalmaz. Kutuplaşma boyuna dalgalarda oluşmaz, titreşim vektörünün yönünün tanımlandığı enine dalgalarda oluşur.<sup>10</sup>

Polarize olmamış bir ışık ışını yolu üzerindeki bir yüzeyden yansıtıldığında yansıyan ışın gelen ışının geliş açısına bağlı olarak tam polarize, kısmî polarize ve nonpolarize (polarize olmamış) ışık olarak yansıtılabilir.<sup>11</sup>

- Eğer geliş açısı  $0^\circ$  ise yansıyan ışık polarize olmaz.
- Işık özel bir açıyla (Rwster açısı, suda  $53^\circ$ ) geldiğinde yansıyan ışık ile kırılan ışık arasındaki açı tam  $90^\circ$  olursa yansıyan ışık tam polarize olur. Kırılan ışık ise kısmî polarize olur.
- Gelen ışık bunların dışında bir açıyla gelirse yansıyan ışık ile kırılan ışık arasında  $90^\circ$ 'den farklı bir açı oluşur ve yansıyan ışık kısmen polarize olur.

Yani, tüm elektriksel düzlemlerde titreşim gösteren polarize olmamış güneş ışığı ve yapay ışık düz ve parlak yüzeylere uygun bir açıyla çarparak yansımaya uğrarsa ışığın büyük bir bölümü yatay titreşimlerle tam polarizasyona yol açar.<sup>2,4,10</sup> Örneğin düz, ıslak ve buzlu yollar veya parlak asfalt, araba ön camları, parlak boyalı yüzeyler, parlak metal levhalar, su yüzeyleri gibi parlak ve yansıtıcı ortamlar yatay polarizasyona yol açarlar. Polarize ışınlar ise parlamaya neden olur. Bu rahatsız edici ve görüş netliğini bozan, sürücülerin araç kullanırken görüş mesafesini azaltan, balıkçıların ve denizcilerin suyun içini görmesini engelleyen, kayakçıları zorlayan yatay polarize yansımalar dikey polarizasyon filtreli polarize güneş camları ile önlenir. Polarizasyon filtresi ızgara ya da parmaklık şeklinde özel bir filtre olup, konulduğu eksendeki ışınların geçmesine izin verir, diğerlerini engeller. Bu nedenle yatay polarize ışınların geçişini engellemek için camın arasına dikey konumda yerleştirilen polarizasyon filtresi kullanılır.

Polarize güneş gözlükleri için dikey polarizasyon filtresi mineral camda iki mercek arasına yerleştirilerek cam sıkıştırılır. Organik camda ise, polarizasyon filtresi cam eriyiği mercek kalıbına dökülürken yerleştirilir (Şekil 12).

Polarize gözlük takan kişiler parlak yüzeylerdeki yansımalar ve parlamalardan rahatsız olmaz, görüş netliği artar, göz yorgunluğu azalır. Polarize güneş camları ayrıca gelen ışığı %75, UV'yi de %100 süzer.<sup>4</sup> Son yıllarda fotokromik polarize güneş camları da üretilmiştir.

## 6) Fotokromik Camlar / Fotokromik Kaplama (Fotokromi Yöntemlerinden Biri)

Fotokromi\*, yani ultraviyole etkisiyle gözlük camının gittikçe renklenmesi ya da renginin koyulaşması ve morötesi ışığın etkisi

kalktığına da camın renginin tekrar açılması tekniği 1962'de bulunmuş, bu konudaki ilk yayınlar 1964'de yayınlanmıştır. Fotokromi (renk değiştirme) ilk olarak mineral camlara uygulanabilmiştir. Organik camlara uygulanan fotokromik işlem ise mineral camdakinden yıllar sonra, 1986'da bulunmuştur. Buna karşın, ilk fotokromik organik gözlük camı Transitions® adıyla 1990'ların başında piyasaya çıkmıştır.

Fotokromik cam UV etkisiyle koyulaştığında hem gözü rahatsız edici ışık geçişini azaltır, hem de %100 UV-A ve UV-B koruması sağlar. Işık kaynağının cinsine ve ışığın gücüne bağlı olarak fotokromik camın kararması da farklı olmaktadır. Ayrıca farklı fotokromik cam cinslerinin de morötesi ışınlar ve yapay ışık kaynaklarına tepkisi farklıdır. Camın ve ortamın ısı da fotokromik etkiyi değiştirmektedir. Sıcak havalarda renk koyulaşması yavaş ve az olurken, cam ve ortam ne kadar soğuk ise koyulaşma o kadar çabuk ve fazla olur. Günümüzde  $0^\circ$  ile  $25^\circ$  arasındaki ısıda aynı tepkimeyi veren yeni camlar da üretilmiştir. Diğer yandan, camın koyulaşması rengin geri açılmasına göre daha hızlı gerçekleşir. Ayrıca bilinmelidir ki, cam eskidikçe rengin koyulaşma ve açılma hızı da gittikçe azalır.<sup>3-6</sup>

Fotokromik camlar UV etkisi olmadığında koyulaşmaz. Araba camları UV'yi engellediğinden araba içinde fotokromik etki oluşmaz ve bu durum sürücülerin şikâyetine neden olur. Ancak günümüzde yeni bir teknoloji ile üretilen ve görünür ışıkla tepkimeye girerek koyulaşan, dış mekânda ise UV etkisiyle daha da koyulaşan yeni fotokromik camlar araç içinde de koyulaşabilmektedir. Bu yeni buluş fotokromik camların polarize olanları da üretilmiştir. Bu camlar aynı zamanda sertlik kaplamalı ve %100 UV-A ve UV-B korumalıdır.<sup>12,13</sup>

### a) Fotokromik Mineral Camlar

1) Hammaddeye (cam hamuruna) fotokromik maddenin karıştırılması. Mineral camlarda fotokromik etki fotoğraf filmlerindeki gibi gümüş tuzları (gümüş halojenürler) ile sağlanır. Fotokromik mineral cam üretiminde borosilikat cam kullanılır. Fotokromik etki oluşturmak için gümüş halojenürler eriyik halindeki camın hammaddesine karıştırılır. Bu nedenle bu bir kaplama işlemi değildir. Cam üretilip soğutulduktan sonra rengi açık mavi görünür ve henüz fotokromik bir etki göstermez. Bunu sağlamak için cam yaklaşık 600 derece ısıtılır. Camın rengini, fotokromik etkinin hızını ve koyuluğunu camın ısıtılma derecesi ve ısıtılma süresi belirler. Diğer yandan camın koyulaşma oranını camın kalınlığı, yani diyoptrisi de etkiler, çünkü mineral cam solid boyalıdır, yani fotokromik madde camın hammaddesine karıştırıldığı için camın her tarafına dağılmıştır. Dolayısıyla, konveks ve konkav camların kalın yerleri daha çok koyulaşır. Bu durum özellikle anizotropik kişilerde gözlüğün iki camı arasında rahatsız edici bir koyulaşma farkına yol açar.

Kısa dalga boylu ışınların (ultraviyolenin) etkisiyle gümüş iyonlarını elementer gümüşe çeviren kimyasal bir reaksiyon oluşur

\* Fotokromik cam için yaygın şekilde kullanılan Colormatic cam tabiri doğru bir kullanım değildir. Colormatic sözcüğü bir cam üretici firmanın fotokromik camlar için kullandığı ticari bir marka adıdır.

ve camda renk koyulaşması olur. Bu tepkime fotoğraf filmlerindeki tepkimeye benzer ancak fotokromik camlarda morötesi ışığın etkisi azaldığında veya kalktığında tersine bir reaksiyonla cam eski haline döner. Maksimum renk değişimi %85 civarındadır. Ancak ışık miktarı düştüğünde bu oran %20'ye kadar iner.<sup>3,4,7</sup>

2) Camın yüzeyine fotokromik bir tabakanın yapıştırılması (Fotokromik Kaplama). Yüksek diyoptrili mineral gözlük camlarında üniform olmayan renk koyulaşması ince bir fotokromik tabakanın (1,0–1,5 mm) yarı bitmiş ürün (baz lens) üzerine özel bir yapıştırıcıyla yüksek ısı altında yapıştırılması yoluyla çözülmüştür. Böylece ön yüzde yer alan fotokromik tabaka camın kalınlık farklarına bağlı olmadan homojen bir fotokromik koyulaşma sağlar. Ama bu yöntem camın ağırlığını arttırmaktadır.<sup>4,5</sup>

#### b) Fotokromik Organik Camlar

1) Hammaddede (cam hamuruna) fotokromik boyaların karıştırılması. Organik cam kalıplara dökülmeden önce monomerine fotokromik boyalar karıştırılır ve cam hamuru kalıplara dökülerek polimerizasyona bırakılır. Bu yöntem bir kaplama yöntemi değildir. Hamurdan fotokromi işleminde koyulaşma camların kalın kısımlarında koyu, ince kısımlarında açık renkte olduğundan homojen bir görünüm vermez. Plano güneş camlarında tercih edilen bir yöntemdir.

2) Fotokromik boyanın yüzeye emdirilmesi (Fotokromik Kaplama). Fotokromik organik camlar (Transitions® camlar) için fotokromik boyayı absorbe edebilecek şekilde optimize edilmiş özel CR-39 camlar kullanılır. Mineral camdan farklı olarak, organik camdaki fotokromik etki yarı bitmiş veya bitmiş merceğe aşamasına gelmeden ortaya çıkmaz. Yani, fotokromiyi sağlayan milyonlarca fotokromik molekül polimerizasyondan sonra ısı altında, fotokromizasyon adı verilen imbibition (imbibition) yöntemiyle camın ön yüzünde yaklaşık 0,15 mm derinliğe emdirilir.<sup>4</sup> Bu nedenle bu yüzey teknolojisini bir kaplama yöntemi olarak değerlendirilebiliriz. Kırıcılık gücü yüksek (inceltirilmiş) camlarla polikarbon ve Trivex® camlarda imbibition teknolojisi uygulanmadığından fotokromik kaplama trans-bonding denilen bir yöntemle yapılmaktadır.

Uygulanan fotokromi maddesi tam formülü gizli tutulan indolino-spironaftoksasin (indolino-spironaphthoxacin) grubu moleküllerdir. Normalde kapalı halde olan bu moleküller tıpkı güneş vurunca açılan çiçekler gibi morötesi ve kısa dalga boylu mavi (280–420 nm) ışınların etkisiyle açık hale geçerler ve camın renginde koyulaşma olur. UV etkisi azaldığında veya gözlük takan kişi güneşli ortamdan güneşsiz bir ortama girdiğinde moleküller tekrar kapanırlar ve cam eski açık rengine döner (Şekil 13). Gri (füme) ve kahverengi tonları vardır.<sup>4</sup> Bazı firmalar yeşil ve turuncu gibi farklı renklerde yeni fotokromik camlar da üretmişlerdir.

Transitions® fotokromik kaplamanın tepkime özelliği hamuruna boya konulması yöntemindeki gibi camın kalınlığına, yani diyoptrisine bağlı olarak kenar ve merkez kısımlarında farklı

koyulaşma göstermez, homojen bir renk değişimi görülür, çünkü fotokromik moleküller organik camın her tarafında değil, camın yüzeyindedir.

1997 yılından itibaren fotokromik organik cam teknolojisinde hızlı gelişmeler olmuş günümüze gelinceye dek yeni kuşak çeşitli Transitions® fotokromikler kullanıma sunulmuştur. Mineral camdaki fotokromik kaliteyi yakalayabilmek ancak 2002'den sonra mümkün olabilmıştır. Bu alanda gittikçe daha hızlı ve daha iyi koyulaşma sağlayan buluşlar yapılmış, en son olarak da araç içinde koyulaşabilen Transitions® teknolojisi kullanım alanına girmiştir.

Günümüzde fotokromi işlemi hem CR-39 plastik camlara, hem de diğer plastik (Yüksek endisli plastik, Polikarbonat ve Trivex®) camlara uygulanmaktadır. Ayrıca monofokal, bifokal ve progresif bütün organik camların fotokromik olanları ile polarize fotokromik camlar da kullanıma sunulmuştur.

#### 7) Buharlanma Önleyici (Anti-fog) Kaplama

Soğuk bir ortamda gözlük camlarının buharlanması ve görüşü azaltması son derece rahatsız edici bir durumdur. İnce su damlacıkları camın yüzeyinde birleşerek ışık geçişini azaltmaktadır. Bu durumu önlemek için sabun sürme, tükürük gibi çeşitli uygun olmayan yollar denenmiş ve halen de kullanılmaktadır. Buharlanmayı (sislenmeyi) önlemek için özel spreyle de icat edilmiştir. Bu spreyle camın yüzeyine püskürtülüp silinerek, bir çeşit geçici anti-fog kaplama yapılmaktadır. Bunun etkisi sürekli olmadığından işlemin tekrarlanması gerekmektedir.

Diğer yandan camların üzerine buharlanma önleyici sürekli kaplamaların yapılmasına yönelik yöntemler geliştirilmiş, ancak süreklilik, stabilite ve camın maddesine yeterli bir tutunma sağlanamamıştır. Anti-fog kaplama için camın hidrofobik özelliğinden, yani temizlik kaplamasından vazgeçilmesi gerekmektedir. Anti-fog etkinin oluşması için cama önce özel bir antiröfle kaplama yapılmakta ve kimyasal bir sıvıyla gerektiğinde tekrarlanarak anti-fog özellik aktive edilmektedir.

2011 yılında yayımlanan bir çalışma ilk sürekli anti-fog (buharlanma önleyici) kaplamanın geliştirildiğini bildirmektedir.<sup>14</sup> Cam yüzeyinde buharlanma havadaki su buharının yoğunlaşarak ince su damlacıkları halinde camın yüzeyine yerleşmesiyle ortaya çıkmaktadır. Anti-fog kaplama su itici (hidrofobik) kaplamanın tam tersi olarak camın yüzeyini hidrofilik hale getirmekte ve su buharının dağınık ince su damlacıkları şeklinde değil de, üniform bir şekilde camın yüzeyine dağılmasını sağlamaktadır.

Araştırmacılar buharlanma önleyici kaplama için hidrofilik bir bileşik olan polivinil alkol (PVA) kullanmaktadırlar. İşlemin temel zorluğu anti-fog kaplamanın mineral veya plastik camın yüzeyine tutunmasının sağlanmasındadır. Bu amaçla önce camın yüzeyinde polimerik tabakaların tutunmasını sağlayacak olan amino gruplarını oluşturmak için atmosferik plazma türevleştirme işlemiyle

cam aktive edilir. Sonra polietilenmaleik anhidrid (PEMA) ve polivinil alkol tabakaları ardışık olarak santrifügasyon (spin coating) yöntemiyle cama kaplanır. PEMA bir ara yüzey olarak hem cam yüzeyinde aktive olmuş amino türevleriyle, hem de PVA hidroksil gruplarıyla reaksiyona girerek cama ve PVA katmanına sıkı bir şekilde tutunmayı sağlayan bir ara yüzey olarak işlev görmektedir. Bu çok katlı ara kaplama ince ve saydam olup, kaplandığı yüzeyin optik özelliklerini değiştirmemekte ve anti-fog kaplamanın sürekli olmasını sağlamaktadır. Bu karmaşık kaplama işlemlerinde PVA anti-fog özelliği sağlamak için gerekli hidrofilik yüzeyi oluşturur. PEMA / PVA kaplama camın buharlanması için gereken zamanı geciktirmekle kalmaz, aynı zamanda ışık geçirgenliğindeki bozulmayı da azaltır. Mevcut anti-fog kaplamalar bu yeni kaplamanın özelliklerine sahip olmadığından ve yıkamayla çıktığından anti-fog maddenin tekrar tekrar uygulanmasını gerektirmektedir. Yeni yöntemde ise anti-fog kaplama yapılmış cam 24 saat suda tutularak kaplamanın stabil kaldığı ve anti-fog özelliğini koruduğu gösterilmiştir.<sup>14</sup>

**Not:** Resimler ve şekil çizimlerinde Zeiss ve Cem-Fa Optik internet sitelerinden yararlanılmıştır. Yazılı izinleri için teşekkür ederiz.

## Kaynaklar

1. Büyükyıldız HZ. Gözlük camları, cam materyalleri ve kişiye özel gözlük camları. *Türk J Ophthalmol.* 2011;41:26-34.
2. Çakıcı F. Gözlük camı materyalleri, kaplamalar, güneş gözlükleri. *Optik Refraksiyon Rehabilitasyon Temel Bilgiler.* 25. Bölüm, Türk Oftalmoloji Derneği Eğitim Yayınları No: 12. 2010:292-304.
3. <http://www.cem-fa.com/cemfa/makalelerimiz>, 05.10.2011.
4. <http://www.zeiss.de/compendium>, 05.10.2011.
5. Cahiers d'optique oculaire No 1. Verres ophtalmiques: Les matériaux. [http://www.varilux-university.org/SiteCollectionDocuments/WEBSHOP/Cahiers%20d%27Optique%20Oculaire/COLLECTOR/Coo\\_1\\_Les\\_materiaux.pdf](http://www.varilux-university.org/SiteCollectionDocuments/WEBSHOP/Cahiers%20d%27Optique%20Oculaire/COLLECTOR/Coo_1_Les_materiaux.pdf), 04.01.2012.
6. Cahiers d'optique oculaire No 9. Les traitements. <http://www.varilux-university.org/SiteCollectionDocuments/WEBSHOP/Cahiers%20d%27Optique%20Oculaire/COLLECTOR/Traitements.pdf>, 04.01.2012.
7. Aydın O'Dwyer P. (Çev. Ed.). Klinik Optik, American Academy of Ophthalmology Temel ve Klinik Bilimler Kursu. Cilt 3, 2007-2008. Ankara; Güneş Tıp Kitabevleri; 2009:166-167.
8. Çolakoglu K. (Çev. Ed.). Fen ve Mühendislik için Fizik-2 (Elektrik ve Magnetizma – Işık ve Optik). Serway RA, Beichner RJ. Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics, 5th Ed, Saunders College Pub. 2000'den çeviri. Ankara; Palme Yayıncılık; 2007:1094.
9. Jewet JW, Serway RA. Physics for Scientists and Engineers.(7th Ed). Internatinal Student Edition; Thomson Learning Inc; 2008:968.
10. Or H. Polarizasyon. Optik Refraksiyon Rehabilitasyon Temel Bilgiler. 5. Bölüm. Türk Oftalmoloji Derneği Eğitim Yayınları No: 12, 2010:27-30.
11. Jewet JW, Serway RA. Physics for Scientists and Engineers.(7th Ed). Internatinal Student Edition; Thomson Learning Inc; 2008:1093-1096.
12. <http://www.drivewearlens.com/home.php?flashchange=8>, 30.1.2012.
13. <http://tr.transitions.com/tr/experience/Pages/Transitions-Xtractive.aspx>, 09.01.2012.
14. Chevallier P, Turgeon S, Sarra-Bournet C, Turcotte R, Laroche G. Characterization of Multilayer anti-fog coating. *ACS Appl Mater Interfaces.* 2011;3:750-8.