

Gözlük Camları, Cam Materyalleri ve Kişiyeye Özel Gözlük Camları

Spectacle Lenses, Lens Materials and Personalized Spectacle Lenses

H. Zeki Büyükyıldız

Istanbul Göz Hastanesi, İstanbul, Türkiye

Özet

Bu yazıda cam (mineral) ve plastik (organik) gözlük camlarının üretim materyalleri ile tek odaklı (monofokal), iki odaklı (bifokal), üç odaklı (trifokal) ve çok odaklı (mülfifokal) gözlük camlarının özellikleri incelenmiştir. Ayrıca, modern optikte freeform teknolojisiyle üretilmiş ve kullanıma sunulmuş olan yeni nesil kişiyeye özel gözlük camları ile kişinin aberasyonlarını dalga düzlemi (wavefront) ölçümleriyle belirleyerek gerçek anlamda kişiyeye özel üretilen yüksek çözünürlüklü (YÇ) gözlük camları ve sürmekte olan cam araştırmaları ele alınmıştır. (*Turk J Ophthalmol 2011; 41: 26-34*)

Anahtar Kelimeler: Gözlük camları, mineral cam, organik cam, polikarbonat cam, trivex cam, tek odaklı, iki odaklı, üç odaklı, progresif, mülfifokal, kişiyeye özel camlar

Summary

In this article, the materials used for glass (mineral) and plastic (organic) spectacle lenses and the properties of monofocal, bifocal, trifocal and multifocal spectacle lenses are investigated. On the other hand, the new generation personalized lenses, which were produced by freeform technology and customized high resolution (HD) wavefront-guided spectacle lenses and ongoing glass research studies are also discussed. (*Turk J Ophthalmol 2011; 41: 26-34*)

Key Words: Spectacle lens, mineral lens, organic lens, polycarbonate lens, trivex lens, monofocal, bifocal, trifocal, multifocal, progressive, personalized lens

Giriş

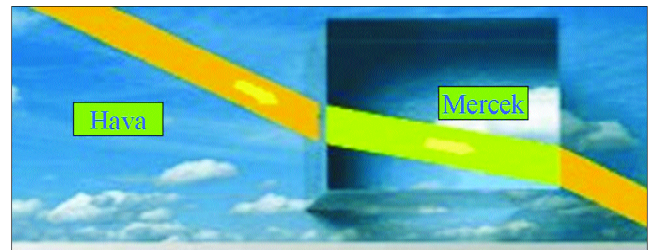
Gözlük camlarını incelerken öncelikle iki önemli optik özellikten kısaca söz etmeliyiz. Bunlardan biri kırıcılık katsayısı veya kırma endisi, diğeri ise Abbe sayısıdır.

• Kırıcılık Katsayısı (Endisi)

Merceklerin kırıcılık katsayısı (refraksiyon endisi= n) ışığın havadaki hızının mercekteki hızına oranına bağlıdır. Aşağıdaki formülde yer alan bu ilişki Şekil 1'de görülmektedir. Kırılma endisi yükseldikçe yansımalar artar ancak mercek daha ince olarak üretilir. Bu da yüksek diyoptrili camların daha hafif olmasına ve gözlükte daha estetik durmasına olanak sağlar.^{1,2}

Kırıcılık katsayısı (n) = Işığın havadaki hızı

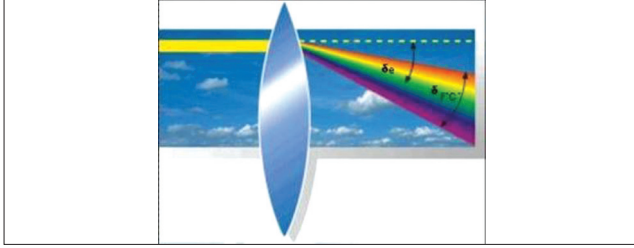
Işığın mercekteki hızı



Şekil 1. Refraksiyon (ışığın kırılması)

● Abbe Sayısı

Abbe sayısı (değişmezi veya değeri) ışığın ayrışma (dispersiyon), diğer bir deyişle, kromatik aberasyon özelliğini gösterir. Abbe sayısının düşük olması ayrışmanın fazla olduğunu gösterir. Kırıcılık katsayısı arttıkça Abbe sayısı düşer. Şekil 2’de ışığın dispersiyonu, yani renklerine ayrışması görülmektedir.^{1,2}



Şekil 2. Işığın renklerine ayrışması (dispersiyonu)

Gözlük camları kullanım amaçlarına göre tek odaklı olarak tasarımı olduğu gibi, iki veya üç odaklı, ya da çok odaklı (mülfokal) tasarımlarla da üretilmektedir. Hangi türde tasarımı olursa tasarımı olsun, bütün gözlük camları ya mineral, ya da plastik maddelerden üretilirler. Bu nedenle, gözlük camlarının üretim materyellerini incelemek gözlük camlarını daha kolay anlamamıza yardımcı olacaktır.

Gözlük Camlarının Materyalleri

Gözlük camları A) Cam (Mineral), B) Plastik (Organik) olmak üzere iki türdedir.^{1,2,3}

A) Cam (Mineral) Gözlük Camları (Tablo 1)

a) Kron (Crown) Cam - B270

İngiltere’de ilk üretilen cam tabakların taç şeklinde olması nedeniyle bu tür mineral camlara kron (taç) cam denmektedir. Mineral camın en önemli içeriği %60-70 (SiO₂) Silisyum Oksit’dir. Geri kalan bileşiminde Kalsiyum, Sodyum ve Bor oksitleri kullanılır.

b) Flint Cam

İlk üretim tekniğinde parlak renkli çakmak taşı (kuartz) kullanıldığından bu ad verilmiştir. Flint camlar çok ağır olduğu için artık kullanılmamaktadır.

c) Borosilikat Camlar

Fotokromik camların üretiminde kullanılır.

d) Yüksek Kırıcılık Endisli Mineral Camlar (Ağır Flint Camlar)

Camın hammaddesine çeşitli mineraller eklenerek kırıcılık endisi yüksek camlar elde edilmiştir. Bu camlar yüksek diyoptrili bireyler için daha ince ve daha hafif kullanım sağlaması açısından avantajlıdır. Ancak kırıcılık endisi yükseldikçe Abbe (yazıldığı gibi okunur) sayısı küçülmekte, camlarda dispersiyon (renk ayrışması) ve yansımalar artmaktadır. Cam üretiminde hedeflenen her

zaman az yoğunluk, yüksek kırıcılık ve yüksek Abbe değeridir.

Camın hammaddesine titanyum eklenmesiyle 1970’li yıllarda ilk yüksek endisli (n=1,7) baryum ağır flint (BaSF) camlar üretilmeye başlanmıştır. Daha sonra Lantanyum eklenerek refraktif endisi daha yüksek (n=1,8) lantan ağır flint (LaSF) camlar üretilmiştir. 1995 yılında ise lantanyum ve niyobyumun birlikte cam materyeline eklenmesiyle bugünkü en yüksek endisli cam (n=1,9) üretilmiştir.^{1,2} Tablo 1’de mineral gözlük camlarının türleri ve özellikleri yer almaktadır.

Mineral camlar eriyik halindeki camın kalıplara dökülerek preslenmesiyle elde edilir. Presten çıkan cama yarı bitmiş ürün denir (Resim 1). Bu işlenmemiş camın önce ön yüzü yontulup cilalanarak yarı bitmiş cam, arka yüzünün yontulup cilalanmasıyla da bitmiş mercek elde edilir.^{1,2} (Şekil 3 ve 4).

B) Plastik (Organik) Gözlük Camları (Tablo 2)

a) CR 39 Gözlük Camları

İlk organik ya da plastik camlar CR 39 adlı maddeden üretilmiştir. İkinci Dünya Savaşı sırasında (1940) ABD’de hava kuvvetleri için askeri amaçlı araştırmalar sırasında Pittsburgh Plate Glass firmasının polimerizasyon deneylerinde Columbia Reçinesi (CR) adı verilen materyelin (Allyl diglycol carbonate - ADC) 39. denemesinden

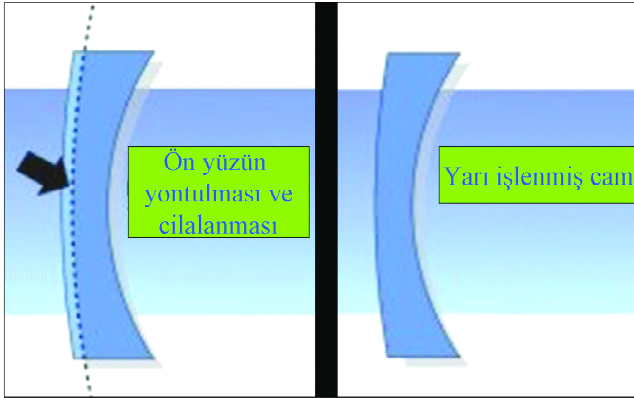
Tablo 1. Cam (mineral) gözlük camları ve özellikleri

Cam (Mineral) Gözlük Camları				
Sodokalsik	Materyel	Refraktif endis (n_d)	Abbe sayısı	Camın özelliği
	Kron (Crown) cam B270	1,525	58,3	Gözlük camı için kullanılan ilk cam materyel, çabuk kırılır. -Isı iletimi az, çabuk buharlanır
	Baryum kron (High-Crown)	1,604	43,8	Kron camdan daha büyük kırıcılık, daha az renk dispersiyonu
	Borosilikat	1,525 1,604	56,5 42,8	Fotokromik camlar -Katkı maddeleri: Gümüş klorür ve gümüş bromür -Borik asit katkısı da kullanılır
	Flint	----	----	Çok ağır olduğu için artık kullanılmamaktadır
Yüksek endisli camlar	Ağır Flint			Yüksek diyoptrili reçeteler için üretilmiş (inceltilmiş) camlardır -Düşük Abbe değeri, yüksek yansıma
	BaSF 64	1,706	39,3	Titanyum (1974)
	LaSF 32 A	1,800	35,4	Lantanyum (1990)
	LaSF 39	1.893	30,4	Lantanyum + Niyobyum (1995)
	Baryum Flint	1,684 1,755	44,2 38,1	Bifokal ve trifokaller için segman ataşmanıdır

en iyi sonuca ulaşıldığı için bu maddeye CR 39 denmiştir. Hedef termoplast olmayan bir organik cam üretmekti, çünkü termoplastlar ısı etkisiyle yumuşar ve şekli bo-



Resim 1. Presten çıkmış yarı bitmiş ürün (İşlenmemiş cam)



Şekil 3. Yarı işlenmiş camın elde edilmesi



Şekil 4. Bitmiş merceğin elde edilmesi

zudur. Bir düroplast olan CR 39 ise ısı etkisiyle sertleşmektedir. Bu organik camlar bir monomerin kalıplara doldurularak ısı altında polimerize edilmesiyle elde edilmektedir^{1,2} (Şekil 5).

Normal kron cama oranla ($n=1,525$) az daha düşük ($n=1,5$) kırıcılık endisine sahip olan CR 39 mineral cama göre kısmen daha kalındır. Bununla birlikte, mineral cama göre yoğunluğu yaklaşık yarı yarıya az olduğu için oldukça (%40) hafiftir. Renksiz bir CR 39 camın ışık geçirgenliği %92,1 oranındadır. Bu organik gözlük camları UV-A ışınlarını tamamıyla, UV-B ışınlarının ise büyük bir kısmını kendiliğinden absorbe eder. CR 39 kırılmaya karşı mineral cama göre 20 kat daha çok dayanıklıdır. Kırıldığında cam parçaları keskin kenarlı olmadığından bir yaralanmaya neden olmaz. Bu nedenle bu camların kullanımı özellikle çocuklar ve sporcular için çok uygundur.

CR 39'un yüzeyi sert olmadığından kolay çizilebilir, bu nedenle camın yüzeyine sertlik kaplaması uygulanır. Isıyı çok iyi iletmediği için bu materyel mineral cama göre çok daha az buharlanır. Bu da kışın önemli bir kullanım kolaylığı sağlar. CR 39 alkol, aseton veya benzin gibi temizleyici maddelere karşı dayanıklıdır.

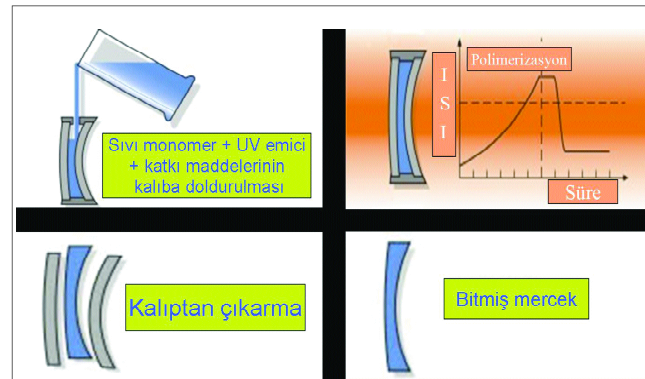
CR 39 materyeli kullanılarak 1990 yılında Transitions adı altında ilk organik fotokromik cam üretilmiştir.

b) Yüksek Kırıcılık Endisli Plastik (Organik) Camlar

Plastik hammaddenin polimerizasyon sürecine etki edilerek yeni monomer sistemlerinin gelişimiyle yüksek kırıcılık gücüne sahip çeşitli organik camlar elde edilmiştir. Bu camların ana monomeri çeşitli katkı maddeleri içeren vinil monomeridir. Ayrıca bu birleşime kırıcılık endisini yükselten brom, klor veya kükürt gibi maddeler de katılmaktadır. Örneğin; MR 6 maddesiyle $n=1,6$ endisli, MR 7 maddesiyle $n=1,67$ endisli organik camlar üretilmiştir. Son olarak organik camlarla ulaşılan en yüksek endisli cam ($n=1,74$) MR 8 materyelinden yapılmıştır.²

c) Polikarbonat Camlar

1955 yılında bulunan polikarbonat son yıllarda gözlük camı üretiminde kullanılmaya başlanmıştır. Sanayide



Şekil 5. Organik camın kalıba dökülerek doğrudan bitmiş mercekle elde edilmesinin aşamaları

yaygın kullanım alanı bulan bu hammadde aynı zamanda motosiklet kaskları yapımında, koruyucu gözlüklerde, kamera dış materyeli olarak ve CD (Compact Disc) üretiminde de kullanılmaktadır. Polikarbonat camlar CR 39 gibi düroplast değil, termoplast madde gurubundandır.^{1,2,3} İki monomerin ısı altında uzun süre kondansasyonu ile gözlük camları elde edilir. Polikarbonat camlar “kurşungeçirmez” denilen cam materyelinden 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. Aşınmaya dirençli sertlik kaplaması yapıldığında çok uzun süre kullanılabilir. Bu camların işlenmesi oldukça zordur ve farklı makinalar gerektirir. Diğer yandan, polikarbonat camlar materyelinin özelliği sayesinde her hangi bir ilave maddeye gereksinim olmadan, kendiliğinden % 100’e yakın UV koruma sağlar. İnceltilmiş cam (yüksek endisli) özelliğinden ve çok hafif olmasından dolayı hem yüksek diyoptrili hastalarda, hem de çocuklarda kullanım kolaylığı sağlar. Bununla birlikte, en düşük Abbe değeri (Abbe: 31) nedeniyle en düşük optik kaliteye sahiptir.^{1,2}

d) Trivex Camlar

Trivex yeni geliştirilmiş organik bir cam materyelidir.

CR 39 ve Polikarbonat camların olumlu özelliklerini bir arada taşıyan tek cam cinsidir. 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 kalitesine sahiptir. Ayrıca UV-A ve UV-B ışınlarını yaklaşık % 100 absorbe eder. Bu camların işlenmesi de kolaydır. Trivex sporcular, çocuklar ve koruyucu gözlük üretimi için çok uygun ve en hafif mercek türüdür. Tablo 2’de organik camların türleri ve özellikleri yer almaktadır.^{2,4}

Tablo 3’de ise mineral ve organik camların materyellerinin kıyaslanması yer almaktadır.

Gözün kırılma kusurlarının tedavisinde kullanılan cam (mineral) veya organik (plastik) materyellerden üretilen gözlük camları odak özelliğine göre 4 çeşittir:

- 1) Tek Odaklı (Monofokal)
- 2) İki Odaklı (Bifokal)
- 3) Üç Odaklı (Trifokal)
- 4) Çok (Çoklu) Odaklı (Mülfokal)

1) Tek Odaklı Gözlük Camları

Tek odaklı, monofokal veya tek görüş (single vision) gözlük camları uzak, yakın, spor, okuma, çalışma, araba

Tablo 2. Plastik (organik) gözlük camları ve özellikleri

Plastik (Organik) Gözlük Camları				
Materyel	Refraktif endis (n_d)	Abbe sayısı	Camın özelliği	
CR 39 (Allyl diglycol carbonate) -ADC-	1,5	58	Tek monomerin 500 ile 1000 ısı altında, 8 ile 20 saatte polimerize olmasıyla elde edilir -Columbia Reçinesi (CR), 39. testte elde edilmiştir (II. Dünya savaşı, 1940)	
CR 39	1,5	57	Fotokromik organik cam -İlk fotokromik: TRANSITIONS, 1990	
Yüksek endisli organik camlar	MR 6	1,6	36-37	İki monomerin 20 ile 60 saatte polikondansasyonu sonucu elde edilir
	MR 7	1,665	32	-Ana monomer: vinil monomeri
	MR 8	1,74	33	-Brom, Klor veya Kükürt gibi kıcılık yükselten maddeler katılır
Polikarbonat (Bifenol A)	1,586	30-31	Termoplastik reçine (PMMA benzeri) -CR 39’dan daha incedir -Şoklara 10 -12 kat fazla dirençlidir, ancak cam yüzeyi yumuşaktır -Alkol, aseton, saç spreyi yüzeyi bozar -%100 UV-A ve UV-B koruma sağlar -Düşük Abbe değeri ile en düşük optik kaliteye sahiptir	
Trivex	1,532	43-45	CR 39 ve Polikarbonat camların olumlu özelliklerini birleştirir -Darbelere karşı dayanıklıdır -Alkol, aseton, saç spreyine dayanıklıdır -En hafif mercek türüdür -%100 UV-A ve UV-B koruma sağlar -Optik kalitesi iyidir	

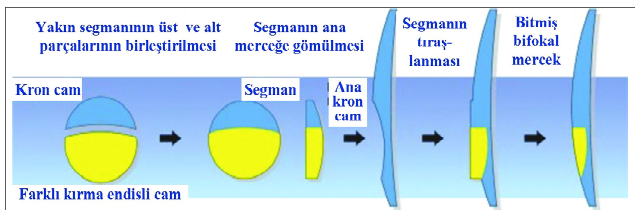
sürme gibi her türlü görsel amaç için kullanılabilen, bir camda yalnızca bir görüş odağının bulunduğu olağan camlardır. Miyopi, hipermetropi, astigmatizm ve presbiyopinin refraktif tedavisi için kullanılırlar.

2) İki Odaklı Gözlük Camları

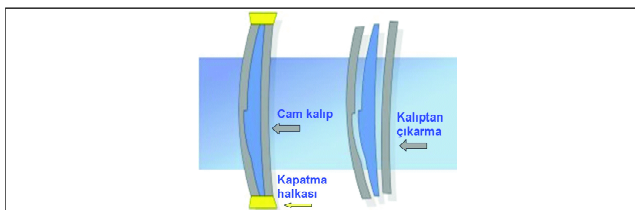
İki odaklı (bifokal) camlar yakın görmesi bozulmuş presbiyoplar için uzak ve yakın görüşü aynı camda sağlayan iki ayrı bölümden oluşmuş gözlük camlarıdır. Bu camlarda üst kısım uzak görüşü, altta yer alan bölüm ise yakın görüşü sağlamaktadır. Yakın bölümün üstü yuvarlak, bombeli, düz veya Franklin tarzında olabilir. Bifokal camlarda uzak görüş alanından yakın görüş alanına ge-

Tablo 3. Gözlük camı materyellerinin kıyaslanması

Gözlük Camı Materyellerinin Kıyaslanması	
Cam (Mineral)	Plastik (Organik)
Ağır	Hafif (Cama göre % 50 gibi)
Kırılabılır	Kırmaya dirençli (100 kat)
Yüksek kırma endisi (1,5 - 1,9)	Kırma endisi (1,5 - 1,74)
Çizilmelere dirençli, kırılmazsa	Yüzey sertliği zayıf, sert kaplama gerekli
Yüksek kırma endisli camda bile düşük dispersiyon	Dispersiyon cam mercekler göre fazla
Yüksek ısıda deforme olmaz, optik özellikleri azalmaz	Ani ısı ve nem değişikliklerinde bozulma olabilir, yüzey kaplamaları çatlar
Renklendirme kısıtlıdır	İstenilen her renk ve ton verilebilir
Bifokal ve trifokallerde palpabl kenar yoktur	Bifokal ve trifokallerde palpabl kenar vardır
Cam işlenirken hasar görebilir	İşleme esnasında hasar görmez (kalıp yöntemi)



Şekil 6. Mineral bifokal cam üretiminde yakın segmanın cama ayrıca gömülmesi



Şekil 7. Organik bifokal camın kalıp içinde polimerize edilerek üretilmesi

çiş progresif (mülfifokal) camlarda olduğu gibi kademeli olmayıp, uzak ve yakın görüş alanları keskin bir sınırla ayrılmış durumdadır.

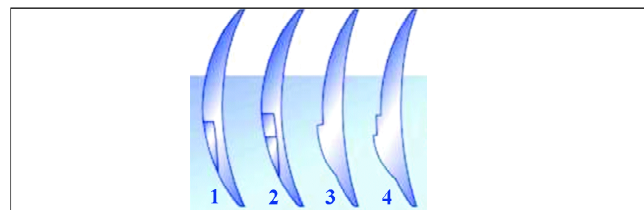
İki odaklı camlar da mineral veya organik materyellerden imal edilmektedir. Mineral iki odaklılarda alttaki yakın bölümün kırma gücü daha yüksek kırılma endisine sahip (örneğin $n=1,684$ baryum flint) bir cam türünün normal gözlük camına (kron cam, $n=1,525$) kaynak yapılmasıyla artırılır ve aynı camda yakın görüş de sağlanmış olur.⁵ Mineral camlarda yakın segmanı ana camın alt dış yüzüne yüksek basınç altında preslenerek gömülür, yani kaynak yapılır (Şekil 6). Astigmatik gücün işlenmesi iç yüzü uygulanır.^{1,2}

Plastik yani organik iki odaklı camlar ise tek parça (monoblok) olarak üretilir. Plastik bifokal mercekler aynı malzemenin (genellikle CR 39) özel bifokal kalıplara doldurulup ısı altında polimerize edilmesiyle iki farklı kırıcı yüzey oluşturularak üretilir. Bu nedenle bu camların yüzeyinde yakın bölgede palpabl bir kenar kabarıklık hissedilir (Şekil 7).^{1,2}

3) Üç Odaklı Gözlük Camları

Yakına uyum yapabilme yeteneğini iyice yitirmiş yaşlı hastalarda iki odaklı mercekler de kişinin tüm görme ihtiyaçlarını karşılayamayabilir. Uzak ve yakın mesafeler için uygun düzeltme yapılarak verilecek iki odaklı bir camla bile orta mesafelerde (yaklaşık kol uzunluğu veya 45-80 cm arası) net bir görüş sağlanamaz. Bu nedenle, orta mesafenin de görülebilmesini sağlamak için üç odaklı (trifokal) camlar üretilmiştir.⁵ Üç odaklı camlarda uzak ve yakın görüş alanları arasında orta mesafeyi görmeyi sağlayan bir ara veya orta bölme yer almaktadır. Bu ara mesafenin gücü genellikle yakın gücün yarısı dolaylarına ayarlanmaktadır. Trifokal camlar da cam (mineral) ve plastik (organik) olarak üretilmektedirler. Üretimleri bifokal camlarla aynı tarzdadır. Şekil 8'de cam ve plastik olarak üretilmiş bifokal ve trifokal mercekler bir arada gösterilmiştir.^{1,2}

İki ve üç odaklı merceklerin en büyük sakıncaları başkışın uzak bölümden ara veya yakın bölüme geçişinde çok odaklı (progresif) camlarda olduğu gibi kademeli geçiş olmaması nedeniyle ani görüntü atlamasının veya



Şekil 8. Mineral 1. bifokal, 2. trifokal cam, Organik 3. bifokal, 4. trifokal cam

zıplamasının ortaya çıkmasıdır. Bu durum bazen diplopiye neden olabilmektedir. Bununla birlikte, özellikle iki odaklı camlara hastanın uyumu progresif camlara göre çok daha kolay olmaktadır. Bifokal ve trifokal camların tercih edilmemesinin en büyük nedeni gözlük camında yakın bölmenin dıştan görünür halde kozmetik kusur oluşturmalarıdır. Çağımızda çok odaklı (mülfokal) camların günlük yaşama iyice girmesinden sonra iki odaklı (bifokal) camların kullanımı azalmış, üç odaklı (trifokal) camlar ise bugün artık pek kullanılmaz olmuştur.

4) Çok (Çoklu) Odaklı (Mülfokal) Gözlük Camları

Günümüzde presbiyoplar için uzak, orta ve yakın görüşü aynı camla sağlayabilmek için en estetik ve en ideal çözüm çok odaklı yani mülfokal (PAL=Progressive Addition Lens) camlardır. Bir odaktan daha fazla odaklı her mercek “çok odaklı” olduğundan, iki ve üç odaklı gözlük camlarından ayırmak için mülfokal camlara çok odaklı yerine “çoklu odaklı” denmesi daha doğru bir adlandırma olabilir. Bu nedenle, başlıkta parantez içinde ayrıca belirtilmiştir.

Çok (çoklu) odaklı camlara uzak bölümden yakın bölüme geçişin birdenbire olmaması, ara bölümde kademeli şekilde bir geçiş olmasından dolayı geçişli, kademeli (progresif) camlar da denmektedir. Geçişli camlar uzak ve yakın görüntü aralarında iki odaklı (bifokal) ve üç odaklı (trifokal) camlar gibi atlamaya neden olmaz, yumuşak geçiş alanlarına sahiptir. Hasta bakmak ve görmek istediği objeyi bir zorlanma olmaksızın, atlama sorunu yaşamadan algılayabilir. Ayrıca cam üzerinde orta ve yakın bölümleri ayıran sınırların bulunmaması nedeniyle dışarıdan görünüşü estetik ve tek odaklı camlara benzer. Bununla birlikte, mülfokal camlarda uzak, orta (geçiş) ve yakın görüş alanları dışında alt iki yanda periferik bulanık alanlar vardır.^{1,2,5} Yani kişi bu yan alanlardan baktığında net bir görüntü elde edemez^{1,2} (Şekil 9).



Şekil 9. Çok (çoklu) odaklı (mülfokal, progresif) cam

Çok odaklı camın bünyesindeki progresif değişimler kişinin görmek istediği yere en ideal bakış ve baş pozisyonunda bakmasını zorunlu kılmaktadır. Burun ucunun daima görülmek istenen yeri işaret etmesi her mesafe ve her yüksekliğin görülebilmesi için gereklidir. Zaten camın üretiminde geçiş (progresyon) alanı tamamen ideal bakış açılarına göre ayarlanmıştır. Yan ve eğri bakışlar periferik ölü alanlar nedeniyle görüşü azaltır hatta olanaksız kılar. Alt iç ve dış köşelerde belirgin olan bu perifer bozulması asferik kıvrımların değişiminden kaynaklanan astigmatla ortaya çıkar ve baş hareketlerinde yüzme hissine yol açar.

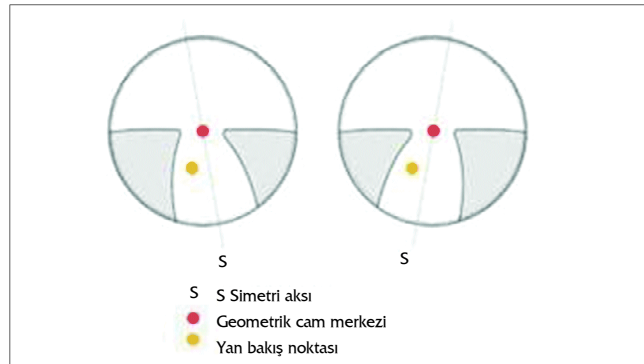
Çok odaklı camlarda her mesafeyi görebilmek mümkün olmakla birlikte, gözün o mesafeyi görebilecek uygun pozisyonu alması gerektiğinden mülfokal camlar bir alışma, öğrenme süreci gerektirir. Eğitim düzeyi düşük kişilerin çok odaklı camlara alışması ve bunun mantığını anlaması zor olacağından reçetelerken dikkatli olunmalıdır.

Çok odaklı camlar mineral veya organik, fotokromik ya da inceltirilmiş (yüksek kırma endisli) türlerde üretilmektedir. Ayrıca geçiş alanı ve yakın alanı ihtiyaca göre farklı üretilen türleri de vardır. Gününü daha çok kapalı ortamda, masa başında veya dış mekânda geçiren presbiyopik kişiler için farklı ürünler olduğu gibi, en çok kullanılan mesafeye göre üretilmiş çok odaklı camlar da mevcuttur. Bunların bazılarında uzak görüş, bazılarında yakın görüş, bazılarında da progresyon kanalı ön plana çıkarılmıştır.

Mülfokal (progresif) camlar simetrik değildir (Şekil 10). Yakın görüş alanı içe (nazale) doğru yönlendirildiğinden sağ ve sol göz için ayrı üretilir. Birinci nesil progresif camlar simetrik üretilmiştir. Bu camlar tek gözlü hastalar için uygundur.²

• Sert ve Yumuşak Geçişli Progresif Cam Tasarımları

Sert tasarımılanmış çok odaklı camda uzak ve yakın alanı geniş, progresif kanal daha dardır ve sert geçişlere sahiptir. Bu tür mülfokal camlar uzak ve yakın alanı sık kullanan presbiyoplar ve dar çerçeveler için idealdir.



Şekil 10. Çok odaklı camların asimetric tasarımı

Ancak, camda bu alanlar dışında rahatsız edici yüzey astigmatizmi yüksektir.

Yumuşak tasarımlarda ise uzak ve yakın alan çok geniş olmamakla birlikte hem camın görme netliği daha iyidir, hem de yüzey astigmatizmi daha orantılı dağılmıştır.

• Çok Odaklı Camların Üretim Şekilleri

1) Yarı bitmiş ürün: Cam önceden üretilmiş progresif bir ön yüzeye sahiptir. Gözlükçünün siparişinden sonra reçete değeri (sph/cyl) olarak arka yüzeye işlenir. Bu camlarda arka yüzeyin asferik veya atorik olmaması optik kalitesinin camın tüm alanlarında mükemmel olmasına yol açar.

2) Yarı bitmiş ürün: Aynı şekilde, cam önceden üretilmiş progresif bir ön yüzeye sahiptir. Fakat arka yüzey özel bir teknolojiyle asferik veya atorik olarak işlenir. Bu üretim şekli ile birçok optik hata ortadan kaldırılabilir.

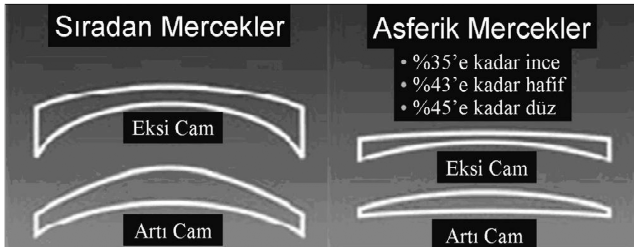
3) Kişiyeye özel üretilmiş progresif ön yüzeye sahip merceğin arka yüzeyine sferik ve astigmat reçete değeri önceden işlenir. Yukarıdaki yöntemlerin aksine burada arka yüzeyde işlemler bitmiş ürün söz konusudur.

4) Bu yeni üretim şeklinde progresif etki, sferik ve/veya astigmat reçete değeri aynı zamanda arka yüzeye işlenir. Ön yüzey yalnızca sferik bir yüzeydir. Bu camların arka yüzeyi reçete değerleri sipariş verildikten sonra kişiyeye özel parametrelerle hesaplanarak üretilir. Camın optik kalitesi mükemmelleştirilmiştir. Progresif yüzeyin arkada olması göz ile arasındaki mesafenin kısalmasıyla anahtar deliği etkisi yaratarak görüş kalitesini artırır (FreeForm teknolojisi).

5) Bir diğer üretim şekli dördüncü üretim şekli gibidir ancak arka yüzey progresif etki yanında asferik/atorik olarak üretilmiştir ve böylece görme kalitesi daha da yükselir.²

Asferik Gözlük Camları

Asferik mercekler yüksek kırıcılık (endisli) camlar gibi sıradan camlara göre daha ince ve daha hafiftir. Yüksek endisli materyelden de üretilirler. Asferik merceklerin inceliği yalnızca ham maddesinden değil, aynı zamanda tasarımından kaynaklanmaktadır. Asferik mer-



Şekil 11. Sıradan gözlük camlarıyla asferik gözlük camlarının kıyaslanması

cekler sıradan merceklerle göre daha düzdür ve bu nedenle göze daha yakın monte edilir. (+) camlarda merkezden periferiye doğru hafif bir eğimle incilir, (-) camlarda merkezden periferiye doğru hafif bir eğimle kalınlaşır ve kenarı daha ince bir mercek oluşur (Şekil 11). Cam arkasından gözün büyük ya da küçük görünmesi oldukça azdır ve daha doğal bir görünüm verir.²

Freeform Teknolojisi İle Üretilen Kişiyeye Özel Yeni Gözlük Camları

Birçok optik cam üreticisi firma dalga düzlemi (wavefront) teknolojisi ile yeni mercekler üretmişlerdir. Ancak, bu merceklerin üretiminde kişisel wavefront ölçülmemektedir. Bu camlar, daha önce tam olarak bilinmeyen ve anlaşılamamış olan camdan kaynaklanan görsel distorsiyonlar azaltılarak ve daha net (HD=High Definition) bir görüş ve kontrast duyarlılık sağlayacak şekilde dalga düzlemi (wavefront) teknolojisi kullanılarak, dijital bir yazılımla özel makinelerde (FreeForm Jeneratörü) imal edilmektedirler. FreeForm teknolojisi adı verilen bu teknolojiyle her optik firması kendine özgü bazı farklarla kişiyeye özgü yeni nesil camlar üretmişlerdir.^{2,6,7,8} FreeForm ileri teknoloji ürünü bir makinedir, cam tasarımı değildir, bu makineye freeform adının verilmesinin nedeni makinenin hemen hemen her tip progresif cam tasarımını tek bir yüzeye işleyebilmesindedir.

Eski nesil progresiflerin hammaddesinde tasarımı mevcuttur. FreeForm teknolojisiyle üretilen camlarda herhangi bir progresif tasarım yoktur. Boş baz camda kişinin reçetesine, yüz yapısına ve çerçeve ölçülerine göre sadece o kişiyeye özel bir tasarım yapılır. Bu tasarım kişinin çerçevesini değiştirdiğinde bile değişir. Standart progresiflerde diyoptri ve adisyon yükseldikçe distorsiyon seviyesi artarken FreeForm teknolojisiyle üretilmiş progresiflerde numara ve adisyon yükselse bile camın performansı değişmez. Her yön ve bakışta (360°) aynı görüntü kalitesi alınır.^{2,6,7,8} Diğer yandan, bu yeni progresif camlar standart çok odaklı gözlük camlarına göre daha geniş ve rahat geçiş, yani progresif orta mesafe alanına ve daha geniş yakın mesafe alanına sahiptir; bu camlarda ayrıca periferik bulanıklık alanı daha azdır² (Şekil 12).

FreeForm adı verilen cam işleme teknolojisi ve dalga düzlemi (wavefront) göz önünde bulundurularak kişiyeye



Şekil 12. Standart mültifokal (solda) ve FreeForm teknolojisiyle üretilmiş mültifokal (sağda) camların farkı

özel progresif (mültkifokal) camların üretilmesinden ve çok iyi optik kalite elde edilmesinden sonra üretici firmalar bu teknikleri kişiye özel tek odaklı camlara da uygulamışlardır.²

Tek odaklı gözlük camlarının kişiye özel üretilmesi çeşitli yollarla olmaktadır. Camın tasarımı istenilen görüş uzaklığına ve refraktif endise göre optimize edilebilir. Uzak görmeye göre ayarlanan gözlük camları uzak görmedeki aberasyon hatalarından, oblik hatalardan arındırılır veya hekimin istekleri doğrultusunda teğetsel hatalardan da arındırılarak üretilir. Bu kıstaslardan herhangi biri yakın gözlük camlarında camın bombesinin azalmasına da olanak sağlamaktadır.²

• **FreeForm Teknolojisiyle Üretilen Kişiyeye Özel Gözlük Camlarının Avantajları**

- Bütün bakış yönlerinde kusursuz görme
 - Yüksek diyoptrilerde bile camların kenarlarına kadar net görme
 - Yüksek astigmatik camlarda bile hızlı adaptasyon ve üstün kullanım rahatlığı
 - Olağanüstü net ve belirgin renk algılanması
 - Doğal kontrast sağlayan ve yormayan bir görme
 - Progresif camlarda daha rahat geçiş alanı ve daha geniş yakın mesafe alanı
 - Camın arka yüzeyinin işlenmesiyle anahtar deliği etkisinin sağladığı daha geniş alanda net görüş
- **Kişiyeye Özel Camların Ön Hazırlığında Ölçüm Alınması Gereken Parametreler**
- Sağ ve sol ayrı ayrı pupilla uzaklığı
 - Arka vertex uzaklığı
 - Pantoskopik açı
 - Yüz açısı
 - Çerçeve yüksekliği, çerçevenin ölçüleri
 - Çerçevenin burun aralığı
 - Bakış (montaj) yüksekliği

Göz hekimi tarafından yazılan hastanın gözlük reçetesi yukarıdaki parametreler doğrultusunda hastanın esas hissettiği optik cam ölçümünü yansıtan tekrar düzenlenmiş (revize edilmiş) reçete değerleri hesaplanarak kişiye özel gözlük camı üretimi siparişi yapılır. On-line veri aktaran özel ölçme cihazları sistemi bulunan optikçiler kişinin verilerini bu yolla camı üreten firmaya aktarırlar ve kişiye özel cam üretilerek çerçeveye montajı yapılır.

Eğer modern on-line veri aktaran ölçme cihazları optikçide yok ise, optikçi seçilen çerçevedeki şablon üzerinde pupilla uzaklığını her bir göz için göre ayrı ayrı işaretler. Seçilen çerçeveyi reçeteye birlikte cam firmasına gönderir. Eğer vertex uzaklığı verilmemişse, arka vertex uzaklığı standard 12 mm kabul edilir. Pantoskopik açı 8-12 (genellikle 9) derece olarak alınır, eğer çerçeve

buna uygun değilse çerçevede bu değere göre düzeltme yapılır. Böylece kişinin çerçevesine, pupilla uzaklıklarına ve montaj yüksekliğine göre kişiye özel camların üretim siparişi yapılır.

Gözlük camları üreten firmalar Freeform teknolojisi kullanarak çeşitli ticari isimler altında, kişilerin ihtiyacına ve seçimlerine uygun olacak şekilde geniş, dar veya kavisli çerçeveler için farklı ve yalnızca ön veya arka yüzeyi işlenmiş ya da çift yüzeyi işlenmiş kişiye özel monofokal ve mültkifokal ayrı ayrı camlar üretmektedirler.^{1,2,6,7,8,9}

Kişiyeye Özel Yüksek Çözünürlüklü Gözlük Camları (Customized IZON® High Resolution Lenses)

Yüksek çözünürlüklü mercekler kişinin optik parmakizi (veya iPrint™) adı verilen dalga düzlemi (wavefront) ölçümüne göre kişiye özel (customized) üretilen yeni tür gözlük camlarıdır. Üretici firma (Ophthonix) bu camların üretiminde Amerikan hükümetinin “Yıldız Savaşları” projesinde bulunan mükemmel wavefront görme düzeltmesi teknolojisini kullanmaktadır. Bu teknoloji, bilindiği gibi, ilk önce Lasik cerrahisinde kullanılmıştır.¹⁰

Bu yeni tip wavefront-guided iZON® gözlük camları yüksek çözünürlük sayesinde çok-net (High-Definition) görüş sağlamaktadır. Bu görüş kalitesini standart televizyonlarla YÇ televizyonların görüntü kalitesindeki farkla yorumlayabiliriz. Yüksek çözünürlüklü kişiye özel camların üretimi için özel Z-View aberometresi ile hastanın hem alt sıra aberasyonları, hem de yüksek sıra (2. den 6. sıraya) aberasyonları ölçülür ve özel reçetesi yazılarak üretim siparişi verilir. Verilen özel siparişe göre camlar monofokal ve mültkifokal olarak üretilmektedir. ABD’de birçok merkezde bulunan bu teknoloji Avrupa’da yalnızca İngiltere’de Halifax, İsviçre’de Zürih, Almanya’da Wetzlar, İtalya’da da Milano şehirlerinde bulunmakta, (bu yazının yazıldığı yıl itibarıyla) bunların dışında başka ülkelerde bulunmamaktadır.¹⁰

• **Kişiyeye Özel Yüksek Çözünürlüklü Camların Avantajları**

- Hastanın iPrint (optik parmakizi)’ne göre üretilmiş ve 2-6 yüksek sıra aberasyonlardan arındırılmış gözlük camları (Cerrahi olmayan dalga düzlemi (wavefront) düzeltme)
- Konvansiyonel camlara göre YÇ (çok-net) görüntü
- Daha iyi görme keskinliği
- Bütün kontrast koşullarında daha iyi görme
- Düşük ışıktaki daha iyi görme
- Her bakış yönünde net görüntü
- Gece araç kullanırken tehlikeyi daha erken görerek daha önce durabilme

Sürmekte Olan Wavefront Mercek Araştırmaları

PixelOptics Inc. Firması tarafından Amerikan Savunma Bakanlığı'nın tahsisatıyla yürütülen proje kapsamında dalga düzlemi (wavefront) ölçümlerini de içeren yeni tip adaptif mercek araştırmaları sürmektedir. Bu SuperVision merceklerle askeri personelin görmesinin 10/10'un üzerine çıkartılması amaçlanmaktadır. Sürmekte olan askeri araştırmaların sonuçlarının diğer insanların zararına yol açabilecek olması olasılığına karşın, optikteki teknolojik yeni ürünlerin ve gelişmelerin biz oftalmologların ve hastalarımızın yararına olacağı da şüphesizdir.

Not: Resimler için CEM-FA OPTİK ve ZEISS internet siteleri üzerinden yararlanılmıştır. Yazılı izinleri için teşekkür ederiz.

Kaynaklar

1. <http://www.zeiss.de/compendium>
2. <http://www.cem-fa.com/cemfa/makalelerimiz>
3. <http://www.essilor.com/les-materiaux>
4. <http://www.hoyavision.com/Innovations/Materials/Phoenix.aspx>
5. Klinik Optik. Temel ve Klinik Bilimler Kursu, Cilt 3, 2007-2008, American Academy of Ophthalmology Yayınları, Çev Ed: O'Dwyer PA, Güneş Tıp Kitabevleri, Ankara, 2009, s. 150-158
6. <http://www.hoyavision.com/Products/Designs/ProgressiveVision/Instyle.aspx>
7. http://www.rodstock.com/rod_web/uk/en/content_nav.jsp?id=documents/0000/00/0f/6b/1010669.xml
8. <http://www.shamir.co.il/pages/Freeform.asp>
9. http://www.nikonlenswear.ca/en/Digital_Progressive.php
10. <http://ophthonix.izonlens.com/practitioners.php>