

**TEMPERLİ OTOMOBİL CAMLARINDA MEKANİK
ÖZELLİKLERİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müh. Murat ÖZTÜRK
506001207**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 16 Aralık 2005
Tezin Savunulduğu Tarih : 6 Ocak 2006**

**Tez Danışmanı : Prof.Dr. Eyüp Sabri KAYALI
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Hüseyin ÇİMENÖĞLU (İ.T.Ü.)
Prof.Dr. Mehmet KOZ (M.Ü.)**

OCAK 2006

**TEMPERLİ OTOMOBİL CAMLARINDA MEKANİK
ÖZELLİKLERİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müh. Murat ÖZTÜRK**

Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ

Programı : MALZEME MÜHENDİSLİĞİ

OCAK 2006

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez konumun belirlenmesi ve hazırlama dönemi boyunca, çalışmalarımda beni yönlendirerek, her konuda bana destek olan Sn. Danışman'ım Prof.Dr. Eyüp Sabri KAYALI'ya öncelikle en içten teşekkürlerimi sunarım.

Yoğun iş ortamı içinde tezimi hazırlamamda bana izin veren, ciddi destek ve yakın ilgi gördüğüm Sn. Murat BİLGİN'e, laboratuvar imkanlarından faydalanmamı sağlayan Sn. Baki KÜRKÇÜ'ye, tezimin hazırlık aşamasında kaynak temininde yardımcı olan Sn. Lale TÜZÜN'e, Sn. Arbil TAYLAN'a teşekkür ederim. Tezimin deneysel çalışmalarını gerçekleştirmem esnasında yardımlarından ötürü Sn. İhsan İMAL'e teşekkür ederim.

Bu günlere gelmemde maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, her zaman için bana destek olan anneme ve babama teşekkür eder, şükranlarımı sunmayı bir borç bilirim.

İstanbul, Ocak 2006

Murat ÖZTÜRK

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÖZET	viii
SUMMARY	ix
1. GİRİŞ	1
2. MÜHENDİSLİK MALZEMELERİNDEN CAMA BAKIŞ	3
2.1 Camın Özellikleri	8
2.1.1 Camın Fiziksel Özellikleri	8
2.1.2 Camın Kimyasal Özellikleri	8
2.2 Cam Üretim Yöntemleri	9
2.2.1 Birincil Üretim İşlemleri	9
2.2.2 İkincil Üretim İşlemleri	9
2.2.2.1 Temperlenmiş Cam Üretimi	9
2.2.2.2 Lamine Cam Üretimi	11
2.2.2.3 Isıcam	11
2.3 Otomobil Camlarına Yapılan Testler	12
2.3.1 Mekanik Testler	12
2.3.1.1 Serbest Düşme Hareketine Bırakılan Ağırlık Testleri	12
2.3.1.2 Aşınma Testleri	15
2.3.1.3 Parçalanma Testi	16
2.3.2 Optik Testler	17
2.3.2.1 Düzenli Işık Geçirgenliği Testi	17
2.3.2.2 İkincil Görüntü Ayırma Testi	17
2.3.2.3 Optik Görüş Bozukluğu Testi	18
2.3.3 Radyasyona, Yüksek Sıcaklığa ve Yapay Hava Şartlarına Dayanım Testleri	19
2.3.3.1 Radyasyon Testi	19
2.3.3.2 Yüksek Sıcaklık Testi	20
2.3.3.3 Nem Testi	20
2.3.3.4 Yapay Hava Şartlarına Dayanım Testi	21
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	22
3.1 Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Malzemeler	22
3.2 Temperlenmiş Soda-Kireç Camlarına Yapılan Mekanik Testler	24
3.2.1 Eğme Dayanımı Testi	24
3.2.2 Parçalanma Testi	25
3.2.3 Sertlik Testi	25

4. DENEY SONUÇLARI VE İRDELENMESİ	26
5. GENEL SONUÇLAR	32
KAYNAKLAR	33
EKLER	35
ÖZGEÇMİŞ	39

KISALTMALAR

DSG	: Isı Cam (DOUBLE SAFETY GLAZING)
DC	: DÜZ CAM
LT	: Işık Geçirgenliği (Light Transmission)
UV	: Ultraviole

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Cam Türleri Tablosu.....	7
Tablo 2.2 Çeşitli Camların Mekanik Özellikleri.....	8
Tablo 2.3 Çeşitli Camların Kimyasal Özellikleri.....	8
Tablo 3.1 3,2 mm kalınlık için test parametreleri (Düz Temper Fırını için)	22
Tablo 3.2 4,0 mm kalınlık için test parametreleri (Düz Temper Fırını için)	23
Tablo 3.3 3,2 mm kalınlık için test parametreleri (Bombeli Temper Fırını için)	23
Tablo 3.4 4,0 mm kalınlık için test parametreleri (Bombeli Temper Fırını için)	23

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 :Soda-Kireç-Silika ve Alümina Silika camının yapı gösterimi...	4
Şekil 2.2 :Kristalin katının ve camın cam geçiş sıcaklığı.....	5
Şekil 2.3 :Levha Cam üretim teknolojisi.....	9
Şekil 2.4 :Temperlenmiş camda iç gerilmeler.....	10
Şekil 2.5 :227 gr bilya testi düzeneği.....	13
Şekil 2.6 :Kafa darbesi deneyi için destek.....	15
Şekil 2.7 :Aşınma testi düzeneği.....	16
Şekil 2.8 :İkincil Görüntü için hedef boyutları.....	18
Şekil 3.1 : Testometric test cihazı (a) ve Testometric cihazın eğme mesneti (b).....	24
Şekil 3.2 :Parçalanma Testi Görünümü.....	25
Şekil 4.1 :3,2 mm kalınlığa sahip camlar için eğme dayanımlarının karşılaştırılması.....	26
Şekil 4.2 :4,0 mm kalınlığa sahip camlar için eğme dayanımlarının karşılaştırılması.....	26
Şekil 4.3 :5 cm x 5 cm alan içinde kalan kırık parçaların gösterilişi (a) 4,0 mm için (b) 3,2 mm için.....	28
Şekil 4.4 :3,2 mm kalınlığa sahip camlar için parça sayılarının karşılaştırılması.....	28
Şekil 4.5 :4,0 mm kalınlığa sahip camlar için parça sayılarının karşılaştırılması.....	29
Şekil 4.6 :3,2 mm kalınlığa sahip camlar için sertlik değerlerinin karşılaştırılması.....	30
Şekil 4.7 :4,0 mm kalınlığa sahip camlar için sertlik değerlerinin karşılaştırılması.....	30
Şekil A1 : Lamine Ön Cam.....	35
Şekil A2 : Temperli Arka Cam.....	35
Şekil B1 : 4,0 mm kalınlığa sahip camların parçalanma davranışı.....	36
Şekil B2 : 4,0 mm kalınlığa sahip camların parçalanma davranışı.....	37
Şekil B3 : 3,2 mm kalınlığa sahip camların parçalanma davranışı.....	38

TEMPERLİ OTOMOBİL CAMLARINDA MEKANİK ÖZELLİKLERİN İNCELENMESİ

ÖZET

Günümüzde soda-kireç camları otomotiv endüstrisi, mimari uygulamalar ve dekoratif uygulamalar gibi geniş çaplı kullanım alanına sahip önemli bir mühendislik malzemesidir.

Otomotiv endüstrisinde kullanılan soda-kireç camlarının mekanik özellikleri eğme dayanımı testi, parçalanma testi ve sertlik testi ile tespit edilmiştir. Böylece soda-kireç camları için, farklı süre ve farklı soğutma basınçları göz önünde bulundurularak, test örnekleri üzerinden parçalanma davranışları incelenmiş, eğme dayanımları ve sertlikleri ölçülmüş, değişimleri gözlenmiştir.

Bu çalışmada, otomotiv endüstrisinde yaygın olarak kullanılan 3,2 mm ve 4,0 mm kalınlığa sahip camlar yukarıda belirtilen test metodlarıyla incelenmiştir. Deneysel çalışmaların sonucunda camlardan elde edilen değerler kullanılan temper fırını parametrelerine göre karşılaştırılmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Temperleme esnasında cam içinde oluşan çekme ve basma kuvvetlerinin oluşturduğu kalıcı gerilimler artan ön-ısıtma süresi ve artan şoklama basıncına bağlı olarak eğme dayanımını arttırmıştır. Ön-ısıtma süresi ve artan şoklama basıncının oluşturduğu kalıcı gerilimler parçalanma sayısını da arttırmıştır. Kalıcı gerilimler sertliğinde artmasına katkıda bulunmuştur. Kalıcı gerilimlerin camın mekanik özelliklerini geliştirdiği saptanmıştır.

INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES ON THE AUTOMOTIVE TOUGHENED GLASSES

SUMMARY

Soda – Lime glasses as one of the most important engineering materials widely use for automotive industry and architectural applications.

Mechanical properties of soda-lime glasses for automotive industry were investigated with bending test, fragmentation test and hardness test. According to different holding time and different air cooling pressure during tempering treatment for soda-lime glasses, the behaviour of fragmentation, hardness and bending stress changes of the tempered glasses were studied. Two groups of glass specimens which have different thicknesses (3,2 mm and 4,0 mm) are examined by the test methods mentioned above. The test results of the glass specimens were analysed according to the parameters of tempering treatment.

According to the conditions of tempering treatment, residual stress developed at the tempered glasses studied.

As the result of increasing residual stress with increasing air cooling pressure and increasing holding time, bending stress, fragmentation parts and hardness increased.

1. GİRİŞ

Camlar diğer mühendislik malzemelerinde bulunmayan farklı özelliklere sahiptir. Saydamlığı, oda sıcaklığındaki sertliği aynı zamanda dayanıklılığı ve çoğu çevresel ortama karşı mükemmel korozyon direnci camı çeşitli mühendislik uygulamaları için (mimari ve otomotiv uygulamaları) vazgeçilmez kılar. Cam elektrik endüstrisinde yalıtkan özelliğe sahip olması ve vakum sağlama yeteneği ile lambalarda kullanılmasını sağlar. Elektronik endüstrisinde; elektron tüpleri yalıtkan özellik ve vakum sağlamayı gerektirir. Camın yüksek kimyasal direnci, onun kimya endüstrisinde reaksiyon kapları ve tüpleri için korozyon direnci sağlamakla beraber laboratuvar ekipmanlarının yapımında kullanılmasını da sağlar. Cam yüksek sıcaklıkta inorganik malzemelerden yapılan seramik malzemedir [1,4].

Cam sabit bir erime noktası olmayan amorf bünyeli bir silikat bileşimi olarak tanımlanmaktadır. Ana maddelerinin ısıtılarak eritilmesi, biçimlendirilmesi ve biçimlendirilen hamurun kristalleşme olmaksızın soğuması sonucunda cam elde edilmektedir. Erime derecesi, bileşime ve bileşime giren maddelere göre değiştiği için belirli sıcaklıkta eriyen metal ve benzeri malzemeler gibi camın sabit bir erime sıcaklık derecesi mevcut değildir [2]

Malzeme bilimciler camı aşırı soğutulmuş bir sıvıya benzetirler. Gerçekten de cam ısıtılmaya başlandıktan sonra sıcaklığın artmasına paralel olarak önce yumuşar ve daha sonra da akıcı hale gelir. Bu hali ile adeta bir sıvı gibidir [2]

Cam malzemeler yapılarda ışık geçirme, ses yalıtımı, iç ve dış duvar kaplamalar, çatı örtüsü oluşturmak gibi temel bazı işlevlerin karşılanmasında da kullanılırlar. Cam benzeri daha birçok basit ve birden fazla işlevin aynı zamanda karşılanması gibi karmaşık işlevlerin çözümlenmesinde kullanılan nadir malzemelerden birisidir.[2]

Cam yumuşama noktasına yakın bir noktaya kadar ısıtıldıktan sonra yüzeyinin hızlı hava üfleme ile sertleştirilmesi temperli camları ortaya çıkarır. Camın yüzeyi önce soğutulur ve içi ılık ve küçük gerilmelerle boyutsal değişiklikler olurken büzülür.

Temperli camlar yüksek darbe direncine sahiptir. Otomobil yan camları ve kapı camları temperlenen camlardır [1].

Yapılan çalışmada farklı kalınlıklara sahip camlara ikincil üretim yöntemi uygulanacak olup, sıcaklık ve hava soğutma basınçlarının darbe dayanımı ve fragmentasyon üzerine olan etkisi incelenecektir. Ayrıca üç noktalı eğme deneyi ve indentasyon deneyinden elde edilen değerler karşılaştırılacaktır. Bu test sonuçlarından hareketle, en iyi kırılma davranışını, en yüksek eğme dayanımını ve en yüksek sertliği sağlayacak koşulların saptanması sağlanacaktır.

Tez çalışmalarının deneysel kısmı, Tamcam Otocam Sanayi A.Ş. ve İstanbul Teknik Üniversitesi Kimya-Metalurji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

2. MÜHENDİSLİK MALZEMELERİNDEN CAMA BAKIŞ

Camın tüm mühendislik malzemelerinden farklı mekanik özellikleri camın kalıcı deformasyonuna izin vermez. Bu temel özellik camın kırılma tokluğu düşük, kütleli mekanik dayanımı yüksek olmakla birlikte yüzey hatalarına aşırı derecede duyarlı olan, kırılma kırıldığında yaralanmalara yol açabilen bir malzeme olmasına neden olur. [10].

Camın mekanik dayanımı camın kütlesi tarafından değil, tümüyle yüzeyi tarafından belirlenmektedir. Camın yüzeyi onun yalnızca sağlamlığını değil, pek çok başka özelliğini de belirler. Bu özellikler arasında aşınma direnci, sürtünme katsayısı, sağlamlaştırılabilirliği, yüzey enerjisi ya da sıvılar tarafından ıslatılabilirliği, yapışma özellikleri, sol-gel tepkimeleri, deformasyon davranışı ışık yansıtması, kimyasal dayanımı ve elektriksel direnci sayılabilir [2,7,13].

Cam farklı metallerin oksitlerinden oluşan bir karışımdır. Bu karışım belli oranlara sahip değildir bunun sonucunda belirli bir erime noktasına sahip değildir. Her ne kadar cam oda sıcaklığında katı gibi davranıyor olsa da süper soğutulmuş sıvı olarak bilinir ve ne kristalin özellik taşır ne de tane yapısına sahiptir.

Mimari camlar ve otomobil camları soda-kireç camları olarak bilinir çünkü bu cam tipi bünyesinde birincil olarak kum, soda tozu ve kireçtaşı, ikincil bileşenler olarak feldspat ve alçıtaşı barındırır. Renklendirici veya renklendirici olmayan katkılarda cam bünyesinde belki olabilir.

Camın bünyesi içinde, kum, soda tozu, kireçtaşı, feldspat, alçıtaşı bulunmakla birlikte şimdi bu katkı maddelerini tanımlarsak; kum, silika veya SiO_2 'dir. Silika tüm camların temel maddesidir. Cam içerisinde SiO_2 olarak kalır.

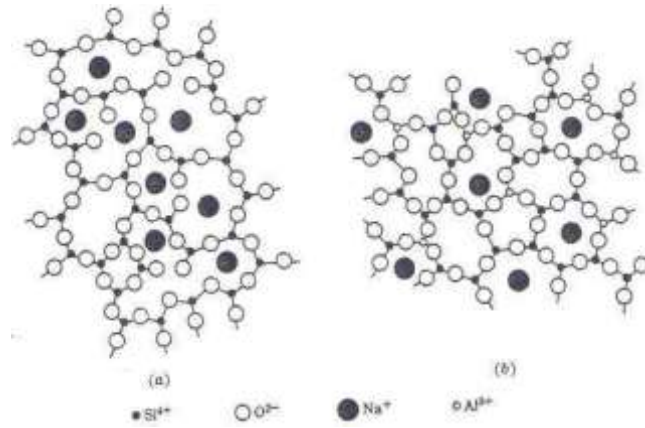
Cam kristalleşme olmaksızın inorganik ürünün değişmez koşullara soğutulmasıdır. Bu tanıma göre, cam melt-quenching prosesi ile oluşturulan amorf yapı malzemedir. Günümüzde amorf malzemeler Sol-Gel prosesi ve kimyasal buhar biriktirme gibi çeşitli yöntemlerin kullanılması ile elde edilebilmektedir. Cam bilimciler tüm kristalin olmayan katıları cam olarak değerlendirmektedirler. Camın

atomik düzeni çoğu kristalin malzemeden ve uzun mesafeli atom bağları düzeninden daha farklıdır. [3]

Çoğu inorganik cam camı şekillendiren SiO_2 esasludur. Silika esaslı camlarda en önemli bileşen SiO_4^{4-} tetrahedronudur. Tetrahedron içindeki (Si^{4+}) atomu yapı içindeki 4 oksijen atomuna iyonik bağlıdır. Kristalin silikada, örneğin kristobalit, Si-O tetrahedra'sı düzenli yapıya köşeden köşeye katılır. Bu ideal uzun bağları üretmek içindir. Basit bir silika camda tetrahedra uzun bağlar olmaksızın serbest, dağınık yapı oluşturmak için köşeden köşeye katılır [1].

Cam yapısı içinde dağınık halde bulunan oksitler bağ yapıcı olarak bilinirler. Na_2O ve K_2O alkali oksitleri ve CaO ve MgO silika cama vizkositeyi düşürmek için ilave edilir. Bu form vermeyi ve çalışmayı kolaylaştırır. Tetrahedraların yapıya silika yapıya katıldığı noktalarda oksijenler yapıya girer ve yapıda dağılır. Bunun amacı paylaşılmamış elektronlar ile oksijen atomları üretmek için. Na_2O ve K_2O 'dan gelen Na^+ ve K^+ yapıya katılmaz fakat yapı içinde iyonik bağlı metal iyonları olarak kalırlar. Bu iyonlar camın kristalizasyonunu sağlarlar.

Bazı oksitler camın yapısını oluşturmaz fakat yapı içinde vardır. Bu oksitler ara oksitler olarak bilinirler. Örneğin Al_2O_3 camın yapısına AlO_4^{4-} tetrahedra olarak girer. SiO_4^{4-} gruplarının bazıları yer değiştirir. Şekil 2.2 [1]

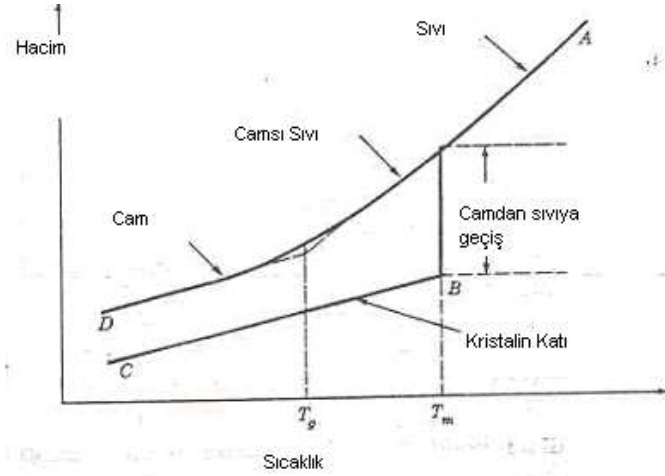


Şekil 2.1 Soda-Kireç-Silika ve Alümina Silika Camının Yapı Gösterimi

Bununla birlikte, tetrahedra için gerekli +4 değerliği yerine +3 Al değerliği yapıya katıldığı için alkali katyonlar nötr elektrik üretmek için gerekli diğer elektronları sağlarlar. Ara oksitler silika cama özel birtakım özellikleri elde etmek için katılırlar.

Örneğin alümina silika camlar yaygın olarak kullanılan camlardan daha yüksek sıcaklıklara dayanma yeteneğine sahiptir. Kurşun oksit bazı silika camlara ilave edilen diğer ara oksittir. Camın kompozisyonuna bağlı olarak ara oksitler bazen yapı değiştirici olarak hareket edebilirler [1].

Camın katı haldeki davranışı kristalin katılardan farklıdır. Bu iki tip malzeme için sıcaklığa bağlı olarak yoğunluklarının karşılaştırılması Şekil 2.3 [1]'de gösterilmiştir. Bir sıvı katılaşmaya bağlı olarak kristalin katılar oluşturmakla beraber belli hacimde önemli azalma ile birlikte erime noktasında kristalize olacaktır (ABC eğrisi). Bunun tam tersine, bir sıvı soğutmaya bağlı olarak cam oluşturmakla beraber kristalize olmayacaktır (AD eğrisi). O sıcaklığa düşürüldüğünde bu sıvı tipi çok akıcı olur ve yumuşak plastika halden sert katı hale dönüşür. Sert katı hal, sıcaklık eğrisinin göze çarpan oranda azalmasına karşı belli hacmin eğim yaptığı yerde dar bir sıcaklık aralığı bölgesinde camsı kırılğan durumdadır. Bu eğrinin iki eğiminin kesişme noktası dönüşüm noktasını tanımlar. Bu dönüşüm noktası cam geçiş sıcaklığı olarak bilinir (T_g).[1]



Şekil 2.2 Kristalin Katının ve camın cam geçiş sıcaklığı

Dönüşümün aksine cam T_g sıcaklığının altına ısıtıldığında akıcı sıvıya dönüşür. Cam geçişi vizkosite artmasının bir sonucu olarak meydana geldiği için ve vizkosite artış oranı soğutma oranına bağlı olduğu için; kimyasal kompozisyon aynı olmasına rağmen sıvının soğutma oranlarına bağlı olarak cam geçiş sıcaklığı her zaman aynı kalmaz [3].

Camı Oluşturan Hammaddeler

Camı oluşturan ana maddelerden söz edildiğinde adi camın bileşimine giren 3 grup madde akla gelir. Bunlar cam haline gelebilen oksitler, eriticiler ve stabilizatörler denilen malzemelerdir. Adi camın bileşimine giren maddelerin dışında cama önemli özellikler kazandıran ve üretiminde önemli yararlar sağlayan ‘yardımcı bileşenler’ (İkincil Bileşenler) de bir grup olarak ele alınmalıdır.[2]

a) Camlaşıcılar: Camlaşma özelliği olan bu ana maddeler genelde ağ (iskelet) oluşturan bazı oksitlerdir. Doğal cam olarak nitelenebilecek olan kuvars kumu ağ oluşturan oksitlerin başında gelmektedir. Ağ oluşturan oksitler içinde en önemlileri SiO_2 , BiO_2 ve P_2O_5 ’dir.[2]

b) Eriticiler: Ağ oluşturan ve cam haline gelebilen oksitlerin erimelerini kolaylaştırmak amacı ile cam bileşimine katılan maddelere ‘Eriticiler’ adı verilir. Eriticiler adı verilen bu gruptaki maddeler camlaşıcıların erime sıcaklık derecesini düşürerek onların erimlerini kolaylaştırır. Özellikle 1713 C° ’de eriyen silisin erime derecesi 1500 C° dolayına indirilebilir. Eriticilerin ağ içine girerek onu değiştirdiği eriticilere ‘Modifikatör’ de denmektedir. Eritici olarak adlandırılan bu maddelerin başlıcaları Na_2O , K_2O ve LiO_2 ’dir.[2]

c) Stabilizatörler: Eriticilerde gibi stabilizatörlerde özellikle camın kimyasal dayanımı, kırma indisi, dielektrik özellikleri üzerinde etki yapan maddelerdir. Formülüne stabilizatör ilave edilmemiş bir cam su karşısında stabil değildir. Stabilizatör olarak adlandırılan maddelerin başlıcaları CaO , BaO , PbO , MgO ve ZnO ’dir.[2]

CaO kireç taşının (CaCO_3), MgO ise dolomitin (MgCO_3) cam formülüne katılması ile sağlanmış olur. Zira CaCO_3 ve MgCO_3 ’ün ısıtılması ile bünyelerindeki CO_2 çıkar ve geriye CaO ve MgO kalır.[2]

İkincil bileşenler ve sağladıkları etkiler şu şekildedir; Arsenik (As_2O_3) renk verici, saflaştırıcı olarak, Fluorin (CaF_2) opaklaştırıcı olarak, Sülfür (Na_2SO_4) redükleyici olarak, Fosfor (P_2O_5) Sodyum ve Kalsiyum camlarını opaklaştırıcı olarak, Kobalt (CO_2O_3) renk verici ve renk giderici olarak, Zirkonyum (ZrO_2) vizkosite arttırıcı olarak kullanılır.

Cam Türleri

Bazı önemli cam tiplerinin kompozisyonları Tablo 2.1’de gösterilmiştir. Tabloda gösterilen camların bileşiminde az ya da çok oranda SiO_2 vardır. Bu nedenle bu camlara silikat camı adı verilmektedir. Bu tabloda onların bazı özel uygulamaları ve özellikleri hakkında açıklamalarda vardır. Ergimiş silika camı yüksek spektral geçirgenliğe sahiptir ve diğer camların esmerleşmesine neden olan radyasyondan etkilenmez. Rüzgar tüneli camları ve spektrofotometrik cihazların optik sistemleri için kullanılan camlardır [2].

Tablo 2.1 Cam Türleri Tablosu [2]

NO	CAM TÜRÜ	%								
		SiO ₂	B ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	BaO	PbO	Na ₂ O	K ₂ O
1	Soda - Kireç – Silika Camı	73,3			5,2	3,6			16	0,6
2	Kurşun Camı (Normal Tenör)	56,6		1,4				30	4	8
3	Kurşun Camı (Düşük Tenör)	6	13					81		
4	Borosilikat Camı (Pyrex)	80,5	12,9	2,2					3,8	0,4
5	Borosilikat Camı (Tungsten)	67,3	24,6	1,7		0,2			4,6	1
6	Borosilikat Camı (Kovar)	68,9	21,4	2,3				0,2	2,8	4,4
7	Alüminosilikat Camı	57	4	20,5	5,5	12			1	
8	Silis Camı (%96)	96,3	2,9	0,4					0,2	0,2
9	Silis Camı (%99)	99,3								

2.1 CAMIN ÖZELLİKLERİ

2.1.1 Mekanik Özellikleri

Çeşitli camlara ait mekanik özellikler tablo 2.2’de gösterilmiştir.

Tablo 2.2 Çeşitli Camların Mekanik Özellikleri

MALZEME	Yoğunluk	Young Modulu (e, kp mm-2)	Sertlik (HV, kp mm-2) (~100 g)	Kırılma Dayanımı (kp mm-2)	Eğme Dayanımı (kp mm-2)	Darbe Dayanımı (kp mm-2)
Ergimiş Silika	2,2	7200 - 8000	710	---	---	---
Soda Kireç Silikat	2,44 - 2,47	6900 - 7400	650	5,4 - 8,7	5,6	---
Soda Kireç Borosilikat	2,02 - 2,27	6100 - 7310	780	6,5	---	---
Kurşun Silikat	2,4 - 3,0	---	490-550	7	1,5	2
Alüminasilikat	2,40 - 2,76	5700 - 6900	---	6	---	---

2.1.2 Kimyasal Özellikleri

Çeşitli camlara ait kimyasal özellikler tablo 2.3’de gösterilmiştir.

Tablo 2.3 Çeşitli Camların Kimyasal Özellikleri

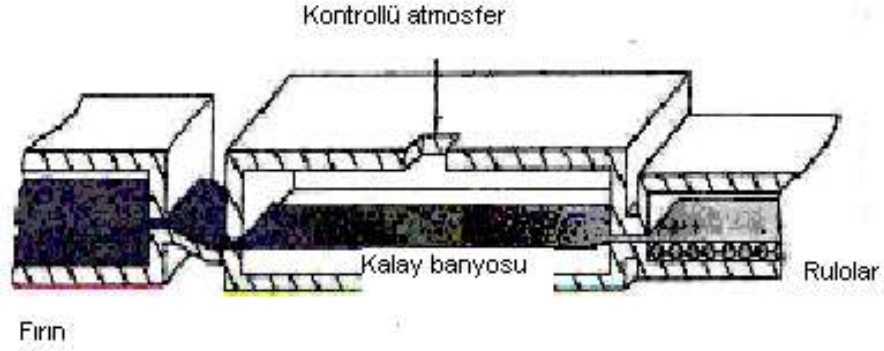
MALZEME	H2O 25 C, 4 Saat	Kimyasal Olarak Bozulma		Nemli Ortamdaki Su Buharı Absorbsiyonu (%)
		NaOH (5%)	HCl (5%)	
		100 C , 6 saat	100 C , 24 saat	
		Ağırlık Kaybı (mg cm-2)	Ağırlık Kaybı (mg cm-2)	
Ergimiş Silika	0,00008	0,9	0,0004	0,65 -1,7 25 C 4 saat
Soda Kireç Silikat	0,0012	1,1	0,01	2,6, 550 C
Soda Kireç Borosilikat	0,0008	1,4	0,005	---
Kurşun Silikat	0,0002	3,6	0,02	---
Alüminasilikat	0,00024	0,4	0,35	---

2. 2 CAM ÜRETİM YÖNTEMLERİ

2.2.1 Birincil Üretim İşlemleri

Cam üretimi vizkos akış meydana getirmek için camın yüksek sıcaklığa ilk önce ısıtılması ve kalıplamadan sonra istene şekle getirilmesidir.

Levha Cam üretimi : Düz cam ürünlerinin %85'i bu yöntemle üretilmektedir. Fırın çıkışında cam ergimiş kalay banyosu üzerinde kalay üzerinde hareket eder. Cam kontrollü kimyasal atmosfer ve kalay banyosunda kalay üzerinde hareket ederken soğutulur. Cam yüzeyi yeteri sertliğe ulaştığında levha cam fırından çıkarılır ve kalıntı gerilimlerin ortadan kaldırılması için uzun haddeleme fırınında geçirilir. Şekil 2.10 [1]



Şekil 2.3 Levha Cam üretim Teknolojisi [1].

Üfleme, Presleme ve Döküm Teknolojisi : Kavanozlar, şişeler ve ampuller kalıp içinde ergimiş cama hava üflenmesi ile yapılır. Optik sistemlerin ihtiyaç duyduğu düz camlar ergimiş cam içeren kalıba presleme yöntemi ile yapılır. Televizyon tüpleri santrifüj döküm ile üretilir.

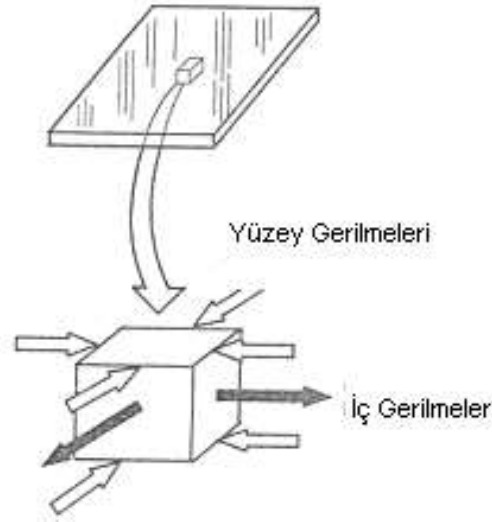
2.2.2 İkincil Üretim İşlemleri

Cam malzeme üretildiğinde sahip olmadığı birtakım özelliklere sonradan yapılan işlemlerle kavuşturulmuşsa bu işlemler ikincil üretim işlemidir.[2]

2.2.2.1 Temperlenmiş Cam Üretimi

Cam malzemenin mekanik şoklara dayanıklı hale getirilmesi için uygulanan işleme Temperleme adı verilir. Temperlenmiş cam yapmak için cam plaka, atomlar arasındaki gerilimlere kendini ayarlayacak kadar yüksek sıcaklığa ısıtılır ve hava üflenerek veya yağda su verilerek soğutulur. Camın söz konusu ısıtma sıcaklığı 700

C dolayındadır. Sıcaklığın azalması ile yüzey büzülür ve sertleşir. Ancak iç kısım sıcak kalır ve yüzeydeki büzölmeye kendini uydurur. İç kısmında soğuması ile cam levhanın her iki yüzünde basınç, iç kısmında ise çekme gerilmeleri oluşur. [2,14,16]. Şekil 4.1 [2]



Şekil 2.4 Temperlenmiş camda iç gerilmeler

Ani soğutma uygulanarak cam levhanın temperlenmesi sonucunda cam levha 300 C’lik bir ısı şoka da dayanabilmektedir. Halbuki temperlenmemiş camda 30-50 C’lik bir ısı şok camın kırılmasına neden olmaktadır. Temperlenmiş camların mekanik olarak test edilmesinde uygulanan ‘yüksekten bilya düşürme’ deneyinde, temperlenmiş 6 mm’lik bir cam 2 m yüksekten düşen 500 gr ağırlığındaki bir çelik bilyanın etkisi ile kırılırken, temperlenmemiş cam yükseklik 30-40 cm olmaktadır. Bu durumda aynı ağırlıkta bilya ile kırılmaktadır. Böylece temperlenmiş camın darbelere karşı dayanımı yaklaşık 7 kat artmaktadır. Ayrıca eğilme dayanımı 5 kat artmaktadır. Levha camlar fırın içinde rulolar üzerinde yatay olarak hareket etmekte ve yüzleri ısıtıldıktan sonra ani olarak soğuk hava ile soğutulmaktadır. Bu camların kırılabilmesi için herhangi bir çatlak ya da çizginin derinliğinin basınç altında bulunan yüzey kalınlığından içeri girmesi gerekir. Bu durumda çatlak kendi kendine ani olarak ilerler ve tüm cam bezelye tanesi büyüklüğünde kırılır.[2,14]

2.2.2.2 Lamine Cam Üretimi

Genelde cam malzeme bazı özel camlar hariç olmak üzere gevrek yapıda bir malzeme olduğundan darbelere karşı dayanıklı değildir. Cam malzemeyi, özellikle levha camları darbelere karşı daha dayanıklı hale getirme yöntemlerinden biriside birden fazla sayıda levha camı aralarına özel plastik folyolar (PVB) koyarak birbirlerine yapıştırmak ve böylece çok tabakadan oluşan kompozit bir malzeme haline getirmektedir.[2,9]

Cam levha aralarına konan ve onları birbirlerine yapıştıran plastik kökenli Polivinil Bütiral folyoların, yüksek düzeyde yırtılma direncine sahip olmaları, cama aderansının yüksek olması, cama aderansının bozulmaması, saydamlık düzeyinin yüksek olması (opak ya da renkli de olabilir) gibi niteliklere sahip olması gerekir.[2]

Bu şekilde kompozit malzeme olarak elde edilen ve çok sayıda levha cam ve plastik folyodan oluşan camlara Tabakalı Cam adı verilir. Tabakalı camı oluşturan her bir bileşenin sayısını ve kalınlığını değiştirmek sureti ile farklı özelliklere sahip tabakalı camlar elde edilebilir. Tabakalı camların delinmeye ve parçalanmaya karşı olan direnci daha yüksektir.[2]

2.2.2.3 Isıcam Üretimi

Isıcamlar cam yüzeylerden ısı kaybını önlemek amacı ile üretilmektedirler. Isı kaybını önlemenin gerektirdiği konstrüksiyon biçimi aynı zamanda sesin geçmesini de önemli ölçüde engellediği için bu camlar ses geçmesi istenmeyen durumlarda da kullanılmaktadır.

Isı kaybını önlemek amacı ile üretilen ısı camlar, aralarında hareketsiz hava bulunan 2 adet camın kenar kısımlarının dış hava ile bağlantısının kesilmesi yoluyla oluşturulur. Ancak, iki cam levha arasında bulunan havanın nemi ya üretim sırasında önlenir, ya da, iki cam levhanın arasına konan metal veya plastik bir profilin içine yerleştirilen nem alıcı maddelerle engellenir. Bu şekilde iki cam arasındaki havanın nemi alındığında yoğuşma riski ortadan kalkar.[2]

Hava tabakalı camlarda ses geçmesinin engellenmesi söz konusu olduğunda iç ya da dış tarafa gelecek cam diğerinden farklı kalınlıkta seçilmektedir. Ayrıca, dış tarafa gelecek cam güneş kontrol camı olarak düzenlenebilmekte ya da dıştaki camın iç yüzünde metal buharı yardımı ile ışık yansıtan bir yüzey oluşturulabilmektedir.

Böylece hem ısı ışınlarının girişi azaltılmakta hem de dışarıdan içerinin görülmesi engellenmektedir.[2]

Levha camlarının köşeleri kesimden sonra traşlanır. Bu işlem rodajlama veya pah kırma işlemi olarak bilinir. Bunun amacı, cam tempere girdiği esnada kenar gerilimi ortadan kaldırıp camın temperlenmesini ve şekillendirilmesini sağlamaktır. Farklı çeşitlerde cam rodajlanmaktadır. Otomobil endüstrisinde camın araç üzerinde dayanımını arttırmak ve otomobil camların temperlenmesini kolaylaştırmak rodajlanmaktadır. Genelde açıkta kalan kenarlar C rodaj yapılır bunun amacı hem görünüm hem de temper prosesinde camın kenar gerilimini ortadan kaldırmaktır.

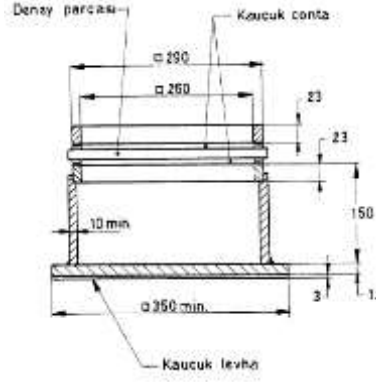
2.3 OTOMOBİL CAMLARINA YAPILAN TESTLER

Otomobil camlarına yapılan testler mekanik, optik testler ve yapay hava şartlarına dayanım testleridir. Mekanik testler, camın dayanımını ölçmek için yapılan testlerdir. Mekanik testler, serbest düşmeye bırakılan ağırlık testleri ve aşınma testlerini içermekle beraber bölüm 2.3.1’ de ayrıntılı olarak incelenecektir. Optik testler, sürücünün görüş kalitesini iyileştirmek amaçlanarak yapılan testlerdir. Bu testler optik bozulma, ikincil görüntü ayırma testlerini içermekle beraber bölüm 2.3.2’de incelenecektir. Yapay hava şartlarına dayanım testleri, camın nemli ve kuru ortamdaki davranışını incelemek için yapılan testlerdir. Bu testler radyasyon deneyi testi ve yüksek sıcaklık deneyi testi bölüm 2.3.3’de incelenecektir.

2.3.1 Mekanik Testler

2.3.1.1 Serbest Düşme Hareketine Bırakılan Ağırlık Testleri

i) Serbest Düşme Hareketine Bırakılan 227 gr Bilya Testi: Çapı 38 mm sertleştirilmiş çelik bilya ($227 \text{ g} \pm 2 \text{ g}$) kullanılır. Kenarları makineye işlenmiş, 15 mm genişliğinde, bir biri üzerinde oturan ve birbiri üzerine oturan yüzeylerin sertliği TS ISO 48’e göre tayin edilmiş olan 50 IRHD (*) sertliğinde, yaklaşık 15 mm genişliğinde ve 3 mm kalınlığında kauçuk contalarla kaplanmış iki adet çelik çerçeveden meydana gelir. Alt çerçeve yaklaşık 150 mm yüksekliğinde çelik bir kutu üzerine oturtulur. Deney parçası, kütlesi yaklaşık 3 kg olan üst çerçeve yardımı ile yerine tutturulur. Destekleme çerçevesi, zemin üzerinde duran yaklaşık 12 mm kalınlığında çelik levha üzerine 50 IRHD sertliğindeki yaklaşık 3 mm kalınlığında kauçuk bir ara tabaka yerleştirilerek kaynaklanır. Şekil 5.2 [11]



Şekil 2.5 227 g bilya deneyi düzeneği [11]

Deney parçası kenarları 300 mm +10/0 mm olan düz kare şeklinde olmalıdır. Deney parçası düzlemi, bilyanın geliş doğrultusuna göre 3 dahilinde dik olmalıdır. Deney parçasının destek üzerine tutturulması gerektiğinde deney süresince deney parçasının 2 mm’den daha fazla hareket etmemesini sağlamak üzere düzeneğin iç tarafı boyunca herhangi bir noktadan tutturulmalıdır.[11]

Bilyanın deney numunesine darbe noktası. Düşme yüksekliği 6 m’ye eşit veya daha az olan deney için, deney parçasının geometrik merkezinden itibaren 25 mm ve düşme yüksekliği 6m’den büyük olan deney için ise, deney parçasının merkezinden itibaren 50 mm içerisinde olmalıdır.[11]

Bilya, emniyet cam malzemesi taşıta monte edildiğinde, dış taraftaki yüzünü temsil eden deney parçası yüzüne çarpmalıdır. Bilyanın sadece bir kez çarpmalıdır.

Deney parçasında oluşan hasarın, büyüklüğü ve tipi değerlendirilir. Deney parçasından kırıklar ayrılmışsa ayrılan kırıkların toplam kütlesi ve darbenin uygulandığı yüzün aksi tarafındaki yüzden ayrılan en büyük kırığın kütlesi 0,1 g yaklaşımla tartılmalıdır.[11]

ii) Serbest Düşme Hareketine Bırakılan 2260 gr Gülle Testi: Emniyet cam malzemesinin penetrasyona dayanımının değerlendirilmesidir.[11]

Kullanılan gülle çelik olmalı, kütlesi 2260 ± 20 g ve çapı yaklaşık 82 mm olmalıdır. Ayrıca düzenek, güllenin belirli bir yükseklikten serbestçe düşürülmesi veya gülleyi serbest düşmeye ulaşılan hıza eşdeğer hızda hızlandırabilen bir düzenektir. Gülleyi fırlatmak için bir cihaz kullanıldığında, hızdaki tolerans, serbest düşmeye ulaşılan hız eşdeğerinin $\pm 1\%$ ‘i olmalıdır.[11]

Kullanılan düzenek 260 g bilya düzeneğinin aynısıdır.[11]

Deney parçası kenarları 300 mm +10/0 mm düz kare şeklinde olmalı veya bir ön camın ya da diğer bombeli emniyet cam malzemesinin en düz kısmından kesilmelidir. Alternatif olarak, ön camın veya diğer bombeli emniyet cam malzemelerinin tamamı deneye tabi tutulur. Bu durumda emniyet cam malzemeleri ve destek arasında uygun temasın sağlanması için özen gösterilmelidir.[11]

Deney parçası destek düzeneğine yerleştirilir. Deney parçası düzlemi, güllenin geliş doğrultusuna göre 3 dahilinde dik olmalıdır. Deney parçasının destek düzeneğine tutturulması gerektiğinde deney süresince deney parçasının 2 mm'den daha fazla hareket etmemesini sağlamak üzere, destek düzeneğinin iç tarafı boyunca herhangi bir noktadan tutturulmalıdır.[11]

Darbe noktası, deney parçasının geometrik merkezinin 25 mm dahilinde olmalıdır. Gülle, emniyet cam malzeme araca monte edildiğinde, iç taraftaki yüzünü temsil eden deney parçası yüzüne çarpmalıdır. Güllenin sadece bir kez çarpmasına izin verilmelidir.[11]

Gülle çarpmayı takip eden 5 sn içerisinde deney parçasından tamamıyla geçerse sonuç 'geçiş' olarak kaydedilmektedir. Gülle, deney parçasının üzerinde kalırsa veya 5 sn ya da daha fazla süreyle saplanırsa sonuç asılı olarak kaydedilmelidir.[11]

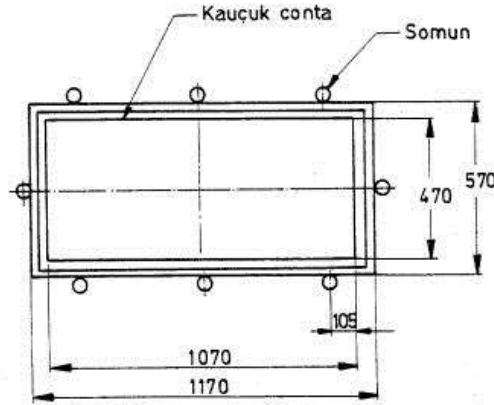
iii) Serbest Düşme Hareketine Bırakılan Manken Kafa Testi: Emniyet cam malzemesinin, en az mukavemetinin ve kohezyonunun sivri kısmı olmayan, blok bir kütlenin darbesi altında belirlenmesidir. Ön camın bütünü üzerinde yapılabilir. Manken kafa ağırlık cihazı, tahtadan yapılmış çapraz kirişli veya kirişsiz ve değiştirilebilen keçeyle kaplanmış, lamine edilmiş sert tahtadan yapılmış küresel veya yarı küresel biçimde, çapraz kiriş ve küresel kısım arasında, boyun şeklinde ara bir kısım vardır ve çapraz kirişin diğer tarafındaki bir yerleştirme çubuğu yer alır. Cihazın toplam kütlesi $10 \text{ kg} \pm 2 \text{ kg}$ olmalıdır. Şekil 5.4 [11]

Destekleme düzeneği 3 mm kalınlığında ve $15 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ genişliğinde kauçuk contalarla biri diğeri üzerine yüz yüze getirilen, 50 mm genişliğinde işlenmiş kenarlı iki çelik çerçeveden meydana gelir.

Manken kafa ağırlık, ön cam araca yerleştirildiğinde yolcu bölümüne karşı gelen iç yüzün merkezinden itibaren 40 mm dahilindeki bir noktaya çarpmalıdır.

Emniyet cam malzemenin, mukavemeti ve kohezyonu, sivri köşesi olmayan bir darbe ağırlığının deney numunesinin tamamen parçalanmasına veya numunenin delinmeden kırılmasına neden olacak hızları referans olarak değerlendirilir.[11]

Emniyet cam malzemesi için bu deney sonucu, camın ara tabakaya yapışması ve ara tabakada oluşan kırığın şekli ve boyutları referans alınarak değerlendirilir.



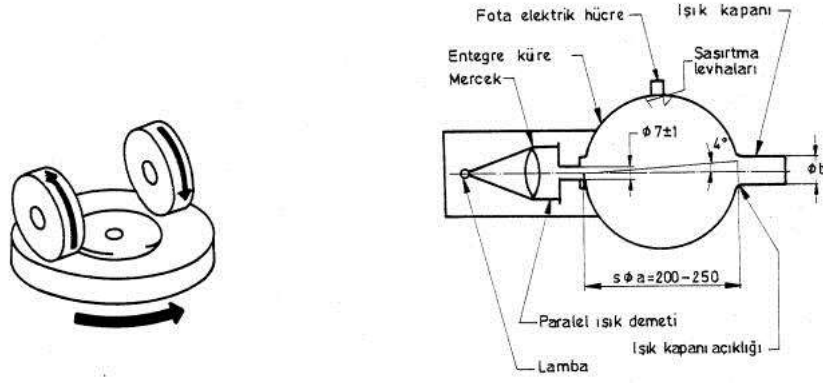
Şekil 2.6 Kafa Darbesi Testi için Destek [11]

2.3.1.2 Aşınma Testi

Emniyet cam malzemesinin aşınmaya karşı belirli en az dayanıklılığa sahip olup olmadığının tayin edilmesidir.

Aşındırma cihazı saat yönüne 55 devir / dakika – 75 devir / dakika hızla dönen yatay bir tabla ve merkezi kavrama, bilyalı yatak, yatay iği üzerine serbestçe dönebilen özel bir aşındırma diski taşıyan iki gülleleri belli iki paralel kol. Bir disk, 500 g'lık bir kütlenin uyguladığı basınçta deney numunesi üzerinde durur.

Aşındırma aletinin döner tablası, esasen tek bir düzlemde muntazam olarak dönmelidir. Diskler dönen deney parçası ile temas ettiklerinde, deney parçasının her dönüşünde iki kez olmak üzere yaklaşık 30 cm²'lik halka şeklindeki alan üzerinde, kavisli hat boyunca, bastırıcı ve aşındırıcı etki oluşturacak şekilde monte edilir. Şekil 5.3 [11]



Şekil 2.7 Aşınma Testi Düzenneği [10]

Aşındırıcı diskler 45 mm – 50 mm çapında ve 12,5 mm kalınlığında orta sert kauçuğa gömülmüş özel, ince elekten elenmiş, aşındırıcıdan ibarettir. Işık kaynağı filamanı 1,5 mm x 1,5 mm x 3 mm boyutlarında bir paralel kenar prizması içinde bulunan akkor lambasında ibarettir. Optik sistem renk sapmaları bakımından düzeltilmiş mercekten meydana gelir. Merceğin odak uzaklığı $f/20$ 'yi aşmamalıdır. Saçılan ışığın ölçülmesi için gereken cihaz 200 mm – 250 mm çaplı toplayıcı bir küre ile fotoelektrik hücreden ibarettir. Küre, ışık giriş ve çıkış delikleri ile donatılmalıdır. Fotoelektrik hücrenin çıktısı, kullanılan aydınlatma şiddeti aralığının ± 2 dahilinde olmalıdır.[11]

Deney parçaları, bir kenarı 100 mm uzunluğunda, her iki yüzü esasen düz ve birbirine paralel ayrıca merkezinde 6,3 mm çapında delinmiş sabitleştirme deliği olan düz kareler şeklinde olmalıdır. Emniyet cam malzemelerinin dış taraftaki yüzeye deney yapılmalıdır.[11]

Ortalama toplam saçılan değerinden ortalama başlangıç sis değeri çıkarılır. Fark, deney parçasının aşınmasından kaynaklanan ışık dağılımını gösterir.

2.3.1.3 Parçalanma Testi

Parçalanmada, emniyet cam malzemesi parçalarının yaralanmaya yol açma eğiliminin değerlendirilmesidir. Sivri başlı bir çekiç veya otomatik delgi gibi, cam malzemenin, vurulan yüzeyinden kırılmasını sağlayabilen bir alet kullanılmalıdır. Orta tarafında 5 cm x 5 cm boşluk buluna tahta yardımı ile parçalanma değerinin alınmak istendiği bölge işaretlenir ve o bölgede parçalanmış cam taneleri sayılır (40-400 parça).

Emniyet cam malzemesi parçalarının yaralanmaya sebep olma eğilimleri, büyüklükleri, biçimleri, kütleleri ve fotoğrafik kayıtların incelenmesiyle gözlemlenen dağılımları esas alınarak, değerlendirilir.[11]

2.3.2 Optik Testler

2.3.2.1 Düzenli Işık Geçirgenliği Testi

Bu deneyin amacı, emniyet cam malzemesinin belirli bir düzenli ışık geçirgenliğine sahip olup olmadığını tayin etmektir.[12]

Işık kaynağı; 1,5 x 1,5 x 3 mm boyutlarında paralel kenarlardan müteşekkil ve karşılıklı kenarları da birbirleriyle paralel olan bir mahfaza içinde bulunan bir akkor lambadan ibarettir.[12]

Kromatik sapmaları düzeltilmiş ve her bir merceğin odak uzaklığı f , en az 500 mm olan iki adet renksiz, mercek (L1 merceği ve ışık kaynağı arasındaki mesafe, esas olarak paralel bir ışık demeti elde etmek için ayarlanmalıdır).[12]

Ölçme cihazı için; dedektörün hassas yüzeyi, ışığı saçan bir malzemeye kaplanmalı ve bu yüzey, ışık kaynağı görüntüsünün en büyük boyutunun enine kesit alanının en az iki katı olmalıdır.

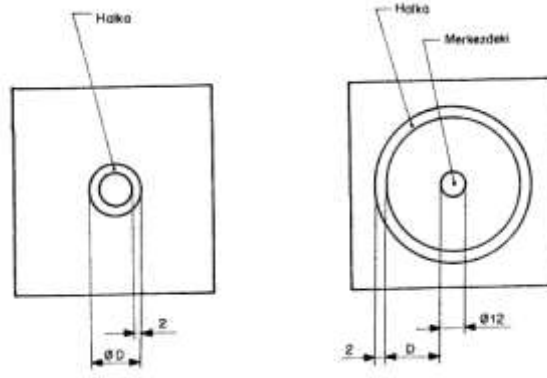
Emniyet cam malzemesinin ışık duruma yerleştirilmediği durumda cihaz dedektörün cevabı 100 taksimat çizgisini gösterecek şekilde cihaz ayarlanır. [12]

Düzenli geçirgenlik, $n/100$ değerine eşittir ve emniyet cam malzemesinin herhangi bir noktası için tayin edilir. [12]

2.3.2.2 İkincil Görüntü Ayırma Testi

Bu deneyin amacı, birincil ve ikincil görüntüler arasındaki açısal ayrılmayı tayin etmektir. Bu deney için hem hedef deney metodu, hem de ayarlı teleskop deney metodu kullanılabilir. [12]

Hedef deneyi için; kullanılacak cihaz 300 x 300 x 150 mm boyutlarında.ön tarafı hedefi destekleyen ve en iyisi, mat siyah bir boya ile kaplanmış veya opak siyah bir kağıt ile maskelenmiş camdan yapılmıştır. Bu kutu uygun bir ışık kaynağı ile aydınlatılmaktadır. Kullanılacak hedef ise ışıklandırılmış bir halka – x mesafesinde bir ıaçısının kenarlarını birleştiren D dış çaplı olmalıdır. Şekil 5.5 [12]



Şekil 2.8 İkincil Görüntü İçin Hedef Boyutları [11]

Emniyet cam malzemesi, hedefin merkezinden geçen yatay bir düzlemde gözlem yapılabilecek şekilde, belli bir kesişme açısında uygun bir mesnet üzerine yerleştirilir. Işıklandırılmış hedefle ilişkili herhangi bir ikincil görüntünün varlığını tespit etmek için, ışık kutusu karanlık veya yarı karanlık bir odada, alanın her bir parçası tamamen incelenerek gözlenmelidir. Emniyet cam malzemesi, doğru görüş yönünü korumak amacıyla gerektiğinde döndürülür. Görüş için bir mercek kullanılır.

Halka hedef kullanıldığında, halkanın birincil ve ikincil görüntülerinin ayrılıp ayrılmadığı yani η 'nün sınır değerinin aşılp aşılmadığı belirtilerek veya halka ve leke kullanıldığında lekenin ikincil görüntüsünün halkanın iç kenarına teğet olma durumunu geçip geçmediği, yani η 'nün sınır değerinin aşılp aşılmadığı belirtilerek kaydedilir. [12]

2.3.2.3 Optik Görüş Bozukluğu Testi

Bu deneyin amacı, emniyet cam malzemesinin optik görüş bozukluğunu tayin etmektir. Emniyet cam malzemesinin optik görüş bozukluğu bir görüntü ekranı üzerinde denenecek olan emniyet cam malzemesinden geçen uygun bir görüntünün bir görüntü ekranı üzerine yansıtılması ile değerlendirilir. Yansıtılan görüntüde, cam malzemenin sebep olduğu değişim görüş bozukluğu için bir ölçüdür [12].

Koyu arka fon üzerine parlak dairesel şekillerin sıralanmasından ibarettir. İncelenecek emniyet cam malzemesi olmadığında dairesel şekillerin çapları, ekran aydınlatıldığı zaman 'd' çaplı bir seri daireler oluşturacak şekilde olmalıdır [12].

Emniyet cam malzemesinin mümkün olduğu kadar döndürülmesini sağlayan düşey ve yatay taramaya izin verebilecek bir destek tablası tercih edilir. [12]

Emniyet cam malzemesi, tasarlanan kesişme açısında destek tablası üzerine monte edilir. Deney görüntüsü incelenecek alan içerisinden yansıtılır. Belirlenmiş alanın tamamını incelemek amacı ile emniyet cam malzemesi döndürülür veya yatay ya da düşey yönde hareket ettirilir. [12]

Emniyet cam malzemesinin optik görüş bozukluğu incelenen malzemenin herhangi bir noktasında yansıtılan görüntünün en büyük çapı, en büyük değerini bulmak amacı ile bütün yönlerde ölçülerek değerlendirilir. [12]

Yansıtılan görüntünün en büyük çapındaki değişim (Δd) kaydedilir. [12]

2.3.3 Radyasyona, Yüksek Sıcaklığa, Yapay Hava Şartlarına Karşı Dayanım Testleri

2.3.3.1 Radyasyon Testi

Uzatılmış bir sürede radyasyona maruz bırakılan emniyet cam malzemesinin ışık geçirgenliğinde önemli bir herhangi bir azalma veya belirgin bir renk sorması olup olmadığının tayinidir.[13]

Radyasyon kaynağı olarak, ozonsuz tip, tüp şeklinde kuvars ampullü, orta basınç civa ark lambası. Lamba anma boyutları 9,5 mm çapında, 360 mm uzunlukta olmalı. Radyasyon deneyi için filtreler kullanılarak 300 nm'den 45 nm'ye kadar olan dalga boyu aralığında yayılan enerji miktarının ölçülmesiyle yapılmalıdır.[13]

Deney numuneleri radyasyona maruz kalacak şekilde yerleştirilir ve 1 d/d'dan 5 d/d'ya kadar hızlı dönebilecek bir cihaz içinde olmalıdır.[13]

Deney numune boyutları 76 mm x 300 mm olmalıdır.[13]

Deneye başlanmadan evvel bu numunelerin ışık geçirgenlikleri TS ISO 3538'e göre ölçülür. Sonra bu numunelerin 300 mm'lik kenarı lamba eksenine paralel ve lamba ekseninden 230 mm uzaklıkta olacak şekilde yerleştirilir. Test süresince parça sıcaklığı 45 ± 5 C olmalıdır. Test numunelerini radyasyona maruz bırakma süresi 100 saat olmalıdır. Radyasyona maruz kalma sonrası, her bir deney numunesinin radyasyona maruz kalan alanında ışık geçirgenliği tekrar ölçülür.

Radyasyona maruz kalan deney numunesinin ışık geçirgenliği ölçme sonuçları, aynı malzemenin radyasyona maruz bırakılmamış deney numuneleri için elde edilen ışık geçirgenliği değerleri ile mukayese edilir. Sapma, yüzde olarak gösterilir.[13]

2.3.3.2 Yüksek Sıcaklık Testi

Emniyet cam malzemesinin, görünümünde kalıcı bir değişme olmaksızın uzunca bir süre yüksek sıcaklığa karşı dayanıp dayanamayacağının tayin testi.[13]

En az 300 mm x 300 mm'lik deney parçalarından bir ya da daha fazlası 100°C 0/-2 C'ye kadar ısıtılır. 2 saat süreyle bu sıcaklık sabit tutulur daha sonra deney numunesinin/numunelerinin oda sıcaklığına kadar soğuması için bekletilir.[13]

Numuneler ön camdan kesilmiş ise, deney numunesinin bir kenarı, ön camın bir kenarının kısmı olmalıdır.[13]

Emniyet cam malzemelerinin yüksek sıcaklığa dayanımı, deney numunesinde bu deneyle oluşan habbeler veya diğer kusurlara göre değerlendirilmelidir.[13]

Kesilmeyen kenardan itibaren 15 mm, kesilen kenardan itibaren 25 mm'ye veya deney sırasında meydana gelen herhangi bir çatlaktan 10 mm'ye kadar olan mesafede oluşabilen herhangi bir kusur ihmal edilmelidir.[13]

2.3.3.3 Nem Testi

Emniyet cam malzemesinin atmosferdeki nem etkilerine karşı, uzatılmış bir sürede başarılı bir şekilde dayanıp dayanmadığının tayinidir.[13]

En az 300 mm x 300 mm boyutlarında bir ya da daha fazla sayıdaki deney numuneleri, sıcaklığı 50 C $\pm$ 2 C ve bağıl nem ise % (95 $\pm$ 4)'de tutulabilen, kapalı bir kap içerisinde düşey olarak 2 hafta süreyle tutulur. Deney şartları, deney numuneleri üzerinde herhangi bir yoğunlaşmaya yol açmaz.[13]

Deney numuneleri ön camdan kesilmişse, deney numunesinin bir kenarı ön camın bir kenarının kısmı olmalıdır. [13]

Neme dayanım, deneyden sonra emniyet cam malzemesinin görünüşündeki değişime göre, gözle değerlendirilir. Kesilmeyen kenarlardan 10 mm veya kesilen kenarlardan 15 mm'ye kadar olan kısımlar hariç, değişimler, deney numunesinin bütününde değerlendirmeye tabi tutulmalıdır.[13]

2.3.3.4 Yapay Hava Şartlarına Dayanım Testi

En az bir yüzü plastik olan emniyet cam malzemelerinin, yapay hava şartlarına maruz kaldığında başarıyla dayanıp dayanmadığının tayinidir.[13]

Uzun ark ksenon ve çıplak alev karbon ark lambaları olmak üzere iki tip ışık kaynağı bu test için kullanılabilir. Uzun ark ksenon lambası, doğru şekilde filtrelendiği ve bakımı yapıldığı takdirde, doğal gün ışığına son derece yakın bir spektrum verdiği için avantajlıdır.[13]

Işınlanma yoğunluğu deney numunesinin yüzeyinde ölçülmelidir. Joule/m² olarak toplam ultraviyole ışımasına maruz kalma ölçülmeli veya hesaplanmalı ve deney numunesinin maruz kalma birincil ölçüsü dikkate alınmalıdır. [13]

Teste maruz kalan deney numunelerinin deneye maruz kalmamış kontrol numunelerinin deney sonuçları karşılaştırılarak aşınmaya dayanım ve ışık geçirgenliğindeki değişimler rapor edilir [13].

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1 DENEYSEL ÇALIŞMALARDA KULLANILAN MALZEMELER

Deneysel çalışmalarda kullanılan camlar ticari soda – kireç camları olup 3,2 mm ve 4,0 mm kalınlığa sahip otomobil sektöründe yan ve arka camlarda kullanılmaktadır. Camların temperlenmesinde 2 farklı fırın tipi kullanılmıştır. Birinci fırın düz temperleme özelliğine sahip (UNIGLASS) iken ikinci fırın bombeli temperleme özelliğine sahip (TAMGLASS) bir fırındır.

Düz temperleme özelliğine sahip fırından alınan 3,2 mm ve 4,0 mm cam kalınlıklarındaki soda-kireç camları için test parametreleri sırası ile Tablo 3.1 ve Tablo3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.1 3,2 mm kalınlık için test parametreleri (Düz temper fırını için)

Kalınlık	3,2 mm		
Ebat	30 mm x 30 mm		
Şoklama Basıncı (Pa)	Süre (sn)		
12000	100	116	130
15000	100	116	130
21000	100	116	130

Tablo 3.2 4,0 mm kalınlık için test parametreleri (Düz temper fırını için)

Kalınlık	4,0 mm		
Ebat	30 mm x 30 mm		
Şoklama Basıncı (Pa)	Süre (sn)		
4000	125	138	160
8000	125	138	160
12000	125	138	160

Bombeli temperleme özelliğine sahip fırınından alınan 3,2 mm ve 4 mm kalınlığa sahip soda-kireç camlar için kullanılan test parametreleri sırası ile Tablo 3.3 ve Tablo 3.4’de verilmiştir.

Tablo 3.3 3,2 mm kalınlık için test parametreleri (Bombeli temper fırını için).

Kalınlık	3,2 mm	
Ebat	25 mm x 25 mm	
Şoklama Basıncı (Pa)	Süre (sn)	
12000	125	148
15000	125	148
21000	125	148

Tablo 3.4 4,0 mm kalınlık için test parametreleri (Bombeli temper fırını için).

Kalınlık	4,0 mm		
Ebat	25 mm x 25 mm		
Şoklama Basıncı (Pa)	Süre (sn)		
4000	125	138	160
8000	125	138	160
12000	125	138	160

3.2 TEMPERLENMİŞ SODA-KİREÇ CAMINLARINA YAPILAN MEKANİK TESTLER

Düz ve bombeli temperleme özelliğine sahip fırınlardan farklı şoklama basınçları ve ön ısıtma sürelerine tabi tutulmuş 3,2 ve 4,0 mm kalınlıklardaki numunelerde eğme dayanımı, parçalanma (fragmentasyon) ve indentasyon testleri yapılmıştır.

3.2.1 Eğme Dayanımı Testi

TS EN 1288-1 standardında [16] ifade edildiği üzere 30mm x 30mm ebadında numuneler 10 mm uzunluğunda 10 mm ara ile birbirine yatay konumda bulunan iki mesnet üzerine yerleştirilmiştir. Cam kırılınca yük uygulanmıştır. Kırılma esnasındaki eğme dayanımı cihaz üzerinden okunarak kaydedilmiştir. Eğme deneylerinin yapıldığı cihazın resmi Şekil 3.1’de verilmiştir.

İncelenen numunelerin eğme dayanımları aşağıda verilen denklem 3.1’e göre hesaplanmıştır.

$$\sigma_e = 6 M_{\max.} / bd^2 = 3 Fl / 2 bd^2 \quad (3.1)$$

Burada F kırılma yükü, l mesnetler arası mesafe, d kiriş kalınlığı, b ise kirişin genişliğidir [16].



(a)



(b)

Şekil 3.1 Testometric test cihazı (a) ve Testometric cihazın eğme mesneti (b)

3.2.2 Parçalanma Testi (Fragmantasyon)

Bu testin gerçekleştirilmesi esnasında 30 x 30 cm ebadında numuneler TS ISO 3537 standardında [11] belirtildiği gibi kırma çakısı kullanılarak bir köşelerinden veya orta noktalarından kırılması sağlanmıştır. Kırma noktasından 70 mm mesafeden sonra 5 cm x 5 cm alan içinde kalan parçalar sayılarak, makro düzeyde fotoğrafları çekilmiştir. Ek – B’de parçalanma testine ait fotoğraflar mevcuttur.



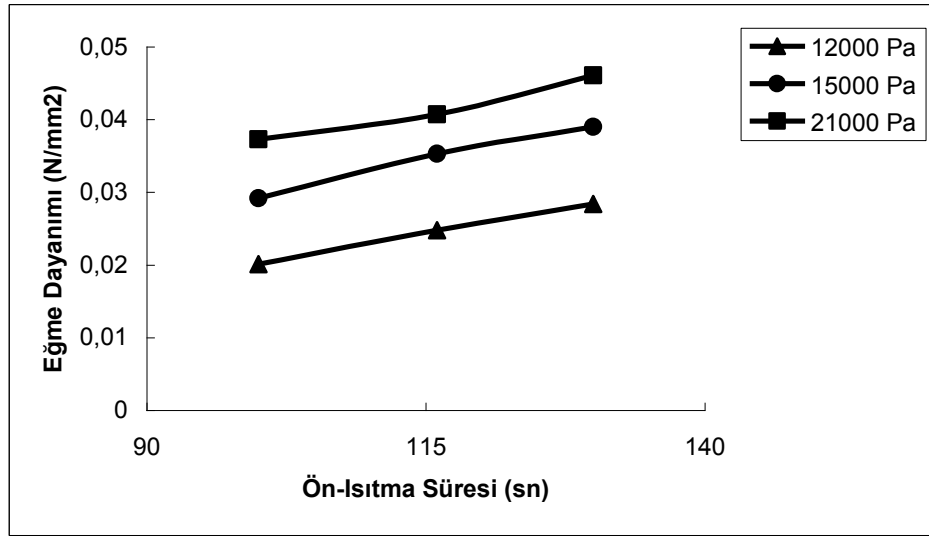
Şekil 3.2 Parçalanma Testi Görünümü

3.2.3 Sertlik Testi

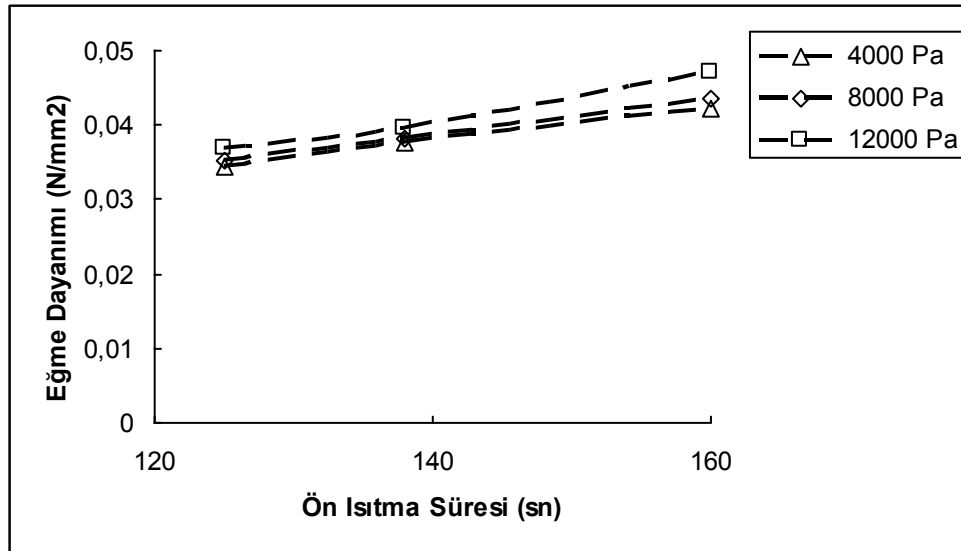
Farklı şoklama basınçları ve ön ısıtma süresi için temperlenen 3,2 mm ve 4,0 mm kalınlığındaki camların sertlikleri SHIMADZU marka sertlik cihazında Vickers baticı uç kullanılarak yapılmıştır. Camların sertliklerinin ölçümünde 50 g yük uygulanmıştır. 3,2 ve 4 mm camlar için gerçekleştirilen 5 tane başarılı sertlik ölçümünün ortalaması alınarak kullanılmıştır.

4. DENEY SONUÇLARI VE İRDELENMESİ

Farklı ön ısıtma sürelerine ve şoklama basınçlarına sahip 3,2 mm ve 4,0 mm kalınlığındaki deney numunelerinde yapılan eğme deneylerinin sonuçları sırası ile Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’ de verilmiştir.



Şekil 4.1 3,2 mm kalınlığa sahip camlar için eğme dayanımlarının karşılaştırılması



Şekil 4.2 4,0 mm kalınlığa sahip camlar için eğme dayanımlarının karşılaştırılması.

Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de 3,2 mm ve 4,0 mm kalınlığa sahip soda-kireç camları için farklı ön ısıtma sürelerine bağlı olarak eğme dayanımı-şoklama basıncı grafikleri görülmektedir. Genel olarak her iki deney numunesi için de ön ısıtma süresine bağlı olarak şoklama basıncının artması ile camın eğme dayanımı artış göstermektedir. Ayrıca hem 3,2 mm (Şekil 4.1) hem de 4,0 mm (Şekil 4.2) camlarda artan ön ısıtma süresine bağlı olarak da şoklama basınçları artıkça numunelerin eğme dayanımları artış göstermektedir. Yapılan eğme deneyleri sonucunda 3,2 mm camların eğme dayanımlarındaki artış (Şekil 4.1), 4 mm camların eğme dayanımlarındaki artışa göre daha yüksek bulunmuştur (Şekil 4.2). Her iki kalınlık için eğme dayanımları 0,0457 N/mm² değerinde kesişmekte ve bu kalınlıktaki camlar için temperleme koşulları düşünüldüğünde elde edilebilecek en yüksek eğme dayanım değeridir.

Cama farklı ön-ısıtma süreleri ve farklı şoklama basınçlarının uygulanması, cam iç yüzeyi ile cam dış yüzeyi arasında farklı gerilme tipleri ve düzeylerinin oluşmasına neden olmuştur. Artan ön-ısıtma süresi ve artan şoklama basıncı; cam iç yüzeyinde çekme gerilimlerinin artmasına neden olurken, cam dış yüzeyinde de basma gerilimlerinin arttırmaktadır. Cam yüzeyinde oluşan basma gerilimleri camın darbelere karşı dayanımını arttırmaktadır. Bu nedenle, 3,2 mm camlara uygulanan şoklama basınçlarının daha yüksek oluşu yüzeyde daha yüksek basma tipinde gerilmelerin oluşmasına neden olmakta ve bunun sonucu olarak da eğme dayanımı değerleri daha yüksek çıkmaktadır.

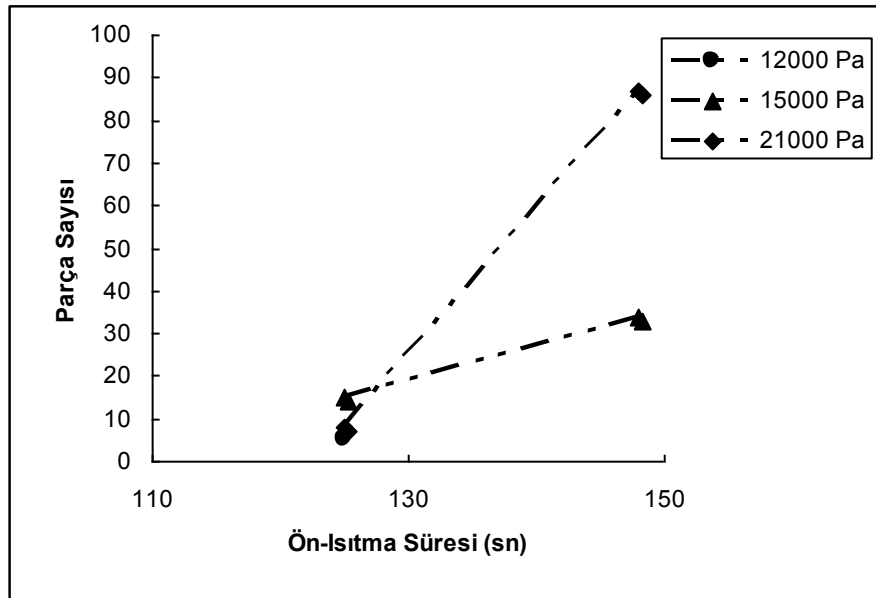
Jorma Vitkala’nın yapmış olduğu araştırmanın sonuçlarında olduğu gibi temperleme esnasında yüzey ile orta tabaka arasındaki karşılıklı kuvvetlerin oluşturduğu kalıcı iç gerilimler eğme dayanımını arttırmaktadır [17]

Farklı ön ısıtma sürelerine ve şoklama basınçlarına maruz bırakılan 3,2 mm ve 4,0 mm kalınlığa sahip temperlenmiş camların parçalanma test sonuçlarına ait birer örnek Şekil 4.3a ve b de verilmiştir. Numunelerin parçalanma davranışına ait diğer örnekler EK B’de gösterilmiştir. Şekil 4.3’ de verilen parçalanma testine ait makro fotoğraflar numunelerde oluşan parça sayısını belirlemede kullanılmıştır. 3,2 ve 4,0 mm temperlenmiş camlar için bu makro fotoğraflardan faydalanılarak oluşturulan parça sayısı-şoklama basıncı grafikleri Şekil 4.4 ve Şekil 4.5’ de verilmiştir.

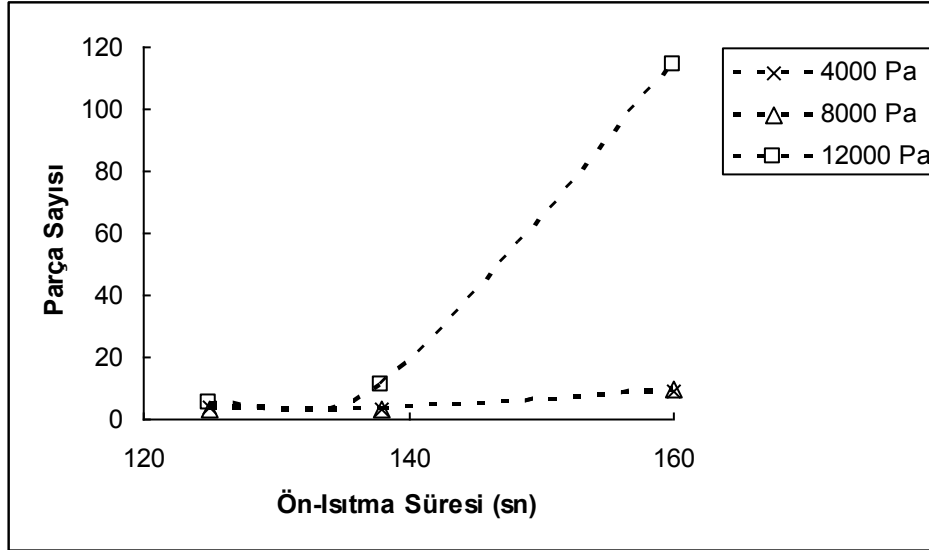
Şekil 4.4’de görülen grafikte, 3,2 mm kalınlığa sahip camlarda soğutma basınçlarında ön ısıtma süreleri değiştirilerek oluşturulan kalıcı iç gerilimlerin parça sayılarını arttırdığı görülmektedir. Kullanılan soğutma basıncı ve ön-ısıtma süresi parametrelerine bağlı olarak kalıcı gerilimlerin artmasıyla parça sayılarının artışı lineer olmuştur. 12000 Pa ve 15000 Pa soğutma basınçlarında cam yarı temperlendiğinden parça sayıları az olmaktadır. 21000 Pa şoklama basıncında elde edilen parça sayısı istenen temperleme koşullarını sağlamakla beraber istenen alt değerin çok üstünde bir değer vermiştir. Yüksek şoklama basıncında elde edilen kalıcı iç gerilimler parça sayısını arttırmakla beraber dayanımında arttırmaktadır



Şekil 4.3 5 cm x 5 cm alan içinde kalan kırık parçaların gösterilişi (a) 4,0 mm için (b) 3,2 mm için



Şekil 4.4. 3,2 mm kalınlığa sahip camlar için parça sayılarının karşılaştırılması.

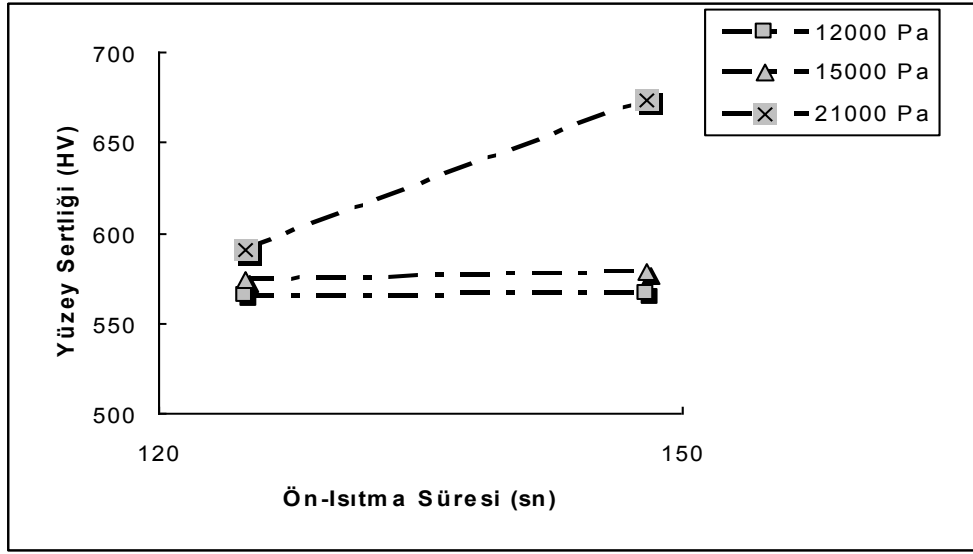


Şekil 4.5 4 mm kalınlığa sahip camlar için parça sayılarının karşılaştırılması

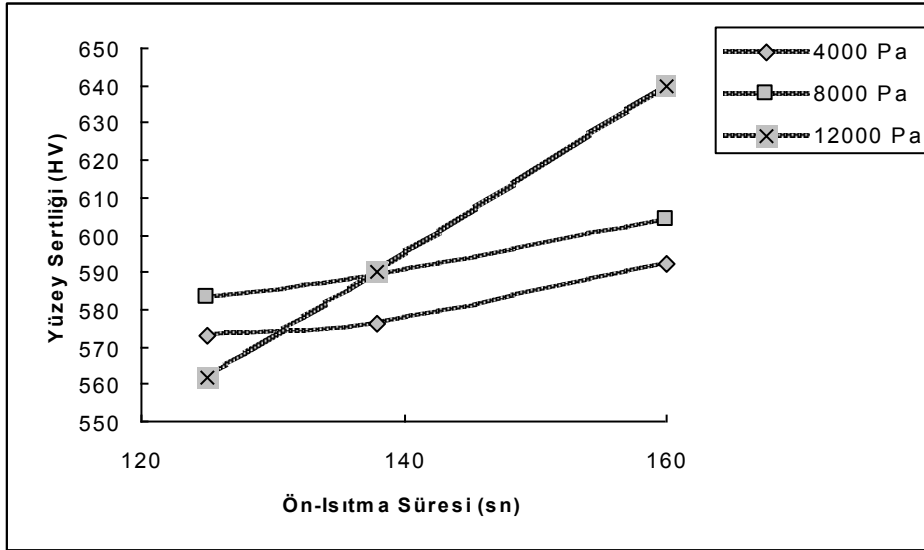
Şekil 4.5’de görülen grafikte 4 mm kalınlık için şoklama basıncını sabit tutarak ön-ısıtma süresini arttırmak parça sayısını lineer olarak arttırmıştır. 4000 Pa ve 8000 Pa şoklama basınçlarında temperleme koşullarına bağlı olarak istenildiği ölçüde kalıcı iç gerilimler oluşturulamadığından parça sayıları az olmaktadır. Bu şoklama basınçlarına ait resimler Ek B’de görülmektedir. 12000 Pa şoklama basıncında elde edilen parça sayısı istenen temperleme koşullarının sağlandığını göstermekle beraber istenen alt değerın çok üstünde bir değer vermiştir. Şoklama basıncının artışı, kalıcı iç gerilimleri arttırarak parça sayısını yükseltmiştir. Bununla beraber kalıcı iç gerilimler dayanımında arttırmaktadır.

Parçalanma davranışı Jorma Vitkala’nın yapmış olduğu araştırmadaki gibi kalıcı iç gerilimlerin artması ile artmıştır.

3,2 ve 4,0 mm temperlenmiş camlarda gerçekleştirilen sertlik ölçümleri sırası ile Şekil 4.6 ve Şekil 4.7’ de verilmiştir.



Şekil 4.6 3,2 mm kalınlıya sahip camlar için yüzey değerlerinin karşılaştırılması .



Şekil 4.7 4 mm kalınlıya sahip camlar için sertlik değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 4.6’da görülen grafikte 3,2 mm kalınlık için şoklama basıncını sabit tutarak ön-ısıtma süresini arttırmak sertlik değerlerini arttırmakla beraber o şoklama basıncında sabit kaldığını göstermektedir. 12000 Pa ve 15000 Pa şoklama basınçlarında cam temperlenememiş veya yarı temperlenmiş olduğundan bir başka deyişle, yeteri kadar kalıcı iç gerilimler oluşturulamadığından sertlikleri hemen hemen eşit olmuştur 21000 Pa şoklama basıncında sertlik değerleri ön ısıtma süresi ile lineer bir artış göstermiştir.

Üretim parametreleri izlendiğinde bu durum en uygun ve en doğru sonucun elde edildiğini gösterir. Yüksek şoklama basıncında elde edilen kalıcı iç gerilimler dayanımın yanı sıra sertliğide arttırmaktadır.

Şekil 4.7’de görülen grafikte 4,0 mm kalınlık için şoklama basıncını sabit tutarak ön-ısıtma süresini arttırmak sertlik değerlerini arttırmakla beraber o şoklama basıncında sabit kaldığını göstermektedir. 4000 Pa ve 8000 Pa şoklama basınçlarında cam temperlenememiş veya yarı temperlenmiş olduğundan bir başka deyişle, yeteri kadar kalıcı iç gerilimler oluşturulamadığından sertlikleri hemen hemen eşit olmuştur. 12000 Pa şoklama basıncında sertlik değerleri ön ısıtma süresi ile lineer bir artış göstermiştir. Bu üretim parametreleri açısından en uygun ve en doğru sonucun elde edildiğini gösterir. Yüksek şoklama basıncında elde edilen kalıcı iç gerilimler dayanımın yanı sıra sertliği de arttırmaktadır.

Cam kalınlıklarına bağlı olarak sertlik değerleri 3,2 mm camda daha fazladır. 3,2 mm kalınlığındaki camı farklı şoklama basınçlarına ve farklı ön-ısıtma sürelerine tabi tuttuğumuzda sertlik değerleri, 4,0 mm kalınlığındaki camı farklı şoklama basınçlarına ve farklı ön-ısıtma sürelerine tabi tuttuğumuzda elde edilen değerlere göre oldukça yüksektir. İnce camda kalıcı iç gerilimler kolay oluşturulduğu için sertlik değerleri daha yüksek olmuştur.

Sertlik değerleri yine Jorma Vitkala’nın yapmış olduğu araştırmaya benzer şekilde, mekanik özelliklerin artması ile artış göstermiştir.

Eğme dayanımı, parçalanma davranışı ve sertlik değerleri artan şoklama basıncı ve artan ön-ısıtma süresine bağlı olarak artış göstermektedir. Temperlenmiş cam içinde oluşan kalıcı iç gerilimlerin camın mekanik özelliklerini arttırdığını eğme dayanımı, parçalanma davranışı ve sertlik açısından inceleyerek, göstermiş olduk. Temperleme prosesinin soda-kireç camının mekanik özellikleri üzerine yapmış olduğum tez çalışması sonucu ile Jorma Vitkala’nın yapmış olduğu araştırmanın sonucu birbiri ile uyuşmaktadır.

5. GENEL SONUÇLAR

3,2 mm ve 4,0 mm kalınlığındaki otomobil camlarının temperleme koşullarına bağlı olarak mekanik özelliklerinin eğme, fragmentasyon ve sertlik deneyleri ile incelendiği bu çalışmada aşağıdaki genel sonuçlar elde edilmiştir.

- 1- Temperleme prosesi camın mekanik özelliklerinden eğme dayanımı, parçalanma davranışı ve sertliğini arttırmıştır.
- 2- Temperlenen camların parçalanma davranışı artan ön ısıtma süresi ve artan şoklama basıncına bağlı olarak oluşan kalıcı iç gerilimlerin etkisi ile artmaktadır.
- 3- Temperleme esnasında yüzeyde oluşturulan basma kalıntı gerilimlerin etkisi ile sertliği, artan ön ısıtma süresi ve artan şoklama basıncı parametrelerine bağlı olarak artmıştır.
- 4- Farklı soğutma basıncı ve ön-ısıtma sürelerinde camın eğme dayanımı değerleri farklılık göstermiş olup, 3,2 mm kalınlıktaki camlar için 12000 Pa şoklama basıncı ve 148 sn ön-ısıtma süresinin optimum koşullar olduğu fragmentasyon, eğme dayanımı ve sertlik testleri ile belirlenmiştir. 4,0 mm kalınlıktaki camlar için optimum koşullar 12000 Pa şoklama basıncı ve 160 sn ön-ısıtma süresidir.

KAYNAKLAR

- [1] **Smith William F.**, 1986. Principles of Materials Science and Engineering, Mc Graw Hill Publishing Company, New York.
- [2] **Toydemir Nihat**, 1990. Cam Yapı Malzemeleri, Sakarya Gazetecilik ve Matbaacılık Tic A.Ş., Eskişehir.
- [3] **Yamane Masayuki and Asahara, Yoshiyuki**, 2000. Glasses for Photonics, Cambridge University Pres, New York.
- [4] **PULKER H. K.**, 1984, Coatings On Glass, Elsevier Pres, Amsterdam.
- [5] **AMSTOCK Joseph H.**, 1997. Handbook of Glass in Construction, Mc Graw Hill Pres, New York.
- [6] **ECE 43R**, 2002. Automotive Safety Glazing Standard.
- [7] **AKÇAKAYA Reha**, 1992. Temel Cam Bilimi, Şişecam Teknik Bülteni, 173-204.
- [8] **MECHOLSKY J. J. Jr.**, 1996. Fractography of Glasses and Ceramics III, The American Society.
- [9] **GARNER J.**, 1996. Automotive Glass Windscreen Design and Shaping *Glass Technology*, **37**, 151-152.
- [10] www.glasstechnology.com
- [11] **TS ISO 3537**, 1999. Karayolu Taşıtları – Emniyet Cam Malzemeleri – Mekanik Deneyler, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [12] **TS ISO 3538**, 1999. Karayolu Taşıtları – Emniyet Cam Malzemeleri – Optik Özellikler için Deney Metodları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

- [13] **TS ISO 3917**, 1999. Karayolu Taşıtları – Emniyet Cam Malzemeleri – Radyasyona, Yüksek Sıcaklığa, Neme, Ateşe Ve Yapay Hava Şartlarına Karşı Dayanıklılık için Deney Metodları Özellikler, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [14] www.pilkington.com
- [15] www.guardian.com
- [16] **TS EN 1288-1**, 2002. Cam – Yapılarda Kullanılan – Bükülme Mukavemetinin Tayini – Bölüm 1 : Camla İlgili Deneylerin Esasları.
- [17] **KAYALI E. S** , Seramik Malzemelerin Mekanik Davranışları Ders Notları.
- [18] **VITKALA Jorma**, 1997. Educational Glass Conference, Tamglass Engineering Publishing, Tampere. 125-129.

EKLER

EK A1



Şekil A.1. Lamine Ön Cam

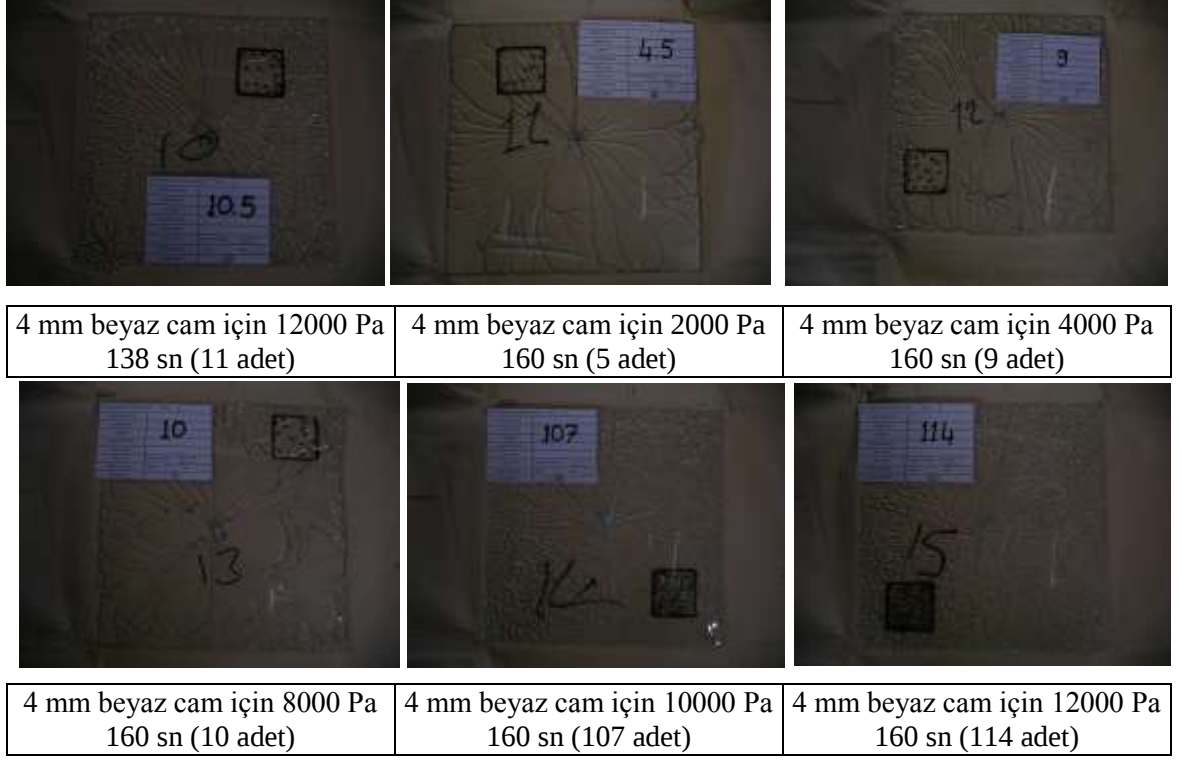


Şekil A.2. Temperli Arka Cam

EK B

		
4 mm beyaz cam için 2000 Pa 125 sn (2 adet)	4 mm beyaz cam için 4000 Pa 125 sn (4 adet)	4 mm beyaz cam için 8000 Pa 125 sn (3 adet)
		
4 mm beyaz cam için 10000 Pa 125 sn (4 adet)	4 mm beyaz cam için 12000 Pa 125 sn (5 adet)	4 mm beyaz cam için 2000 Pa 138 sn (2 adet)
		
4 mm beyaz cam için 4000 Pa 138 sn (3 adet)	4 mm beyaz cam için 8000 Pa 138 sn (3 adet)	4 mm beyaz cam için 10000 Pa 138 sn (6 adet)

Şekil B.1. 4,0 mm kalınlığa sahip camların parçalanma davranışı



Şekil B.2. 4,0 mm kalınlığa sahip camların parçalanma davranışı

		
3.2 mm beyaz cam için 12000 Pa 125 sn (5 adet)	3.2 mm beyaz cam için 15000 Pa 125 sn (15 adet)	3.2 mm beyaz cam için 18000 Pa 125 sn (7 adet)
		
3.2 mm beyaz cam için 21000 Pa 125 sn (8 adet)	3.2 mm beyaz cam için 15000 Pa 148 sn (34 adet)	3.2 mm beyaz cam için 18000 Pa 148 sn (53 adet)
		
3.2 mm beyaz cam için 21000 Pa 148 sn (87 adet)		

Şekil B.3. 3.2 mm kalınlığa sahip camların parçalanma davranışı

ÖZGEÇMİŞ

Murat Öztürk 1978 yılında İstanbul’da doğdu. İlk ve Ortaöğrenimi Sarıyer ve Ümraniye’de tamamladı. Lise eğitimini Üsküdar Halide Edip Adıvar Lisesinden 1995 yılında mezun olarak tamamladı. 1996 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği bölümünde eğitim almaya hak kazandı. 1997 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Kimya-Metalurji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümüne yatay geçiş yaptı. Haziran 2000’de mezun oldu. Eylül 2000’de İstanbul Teknik Üniversitesi Kimya-Metalurji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Malzeme Anabilimdalı’nda Yüksek Lisans eğitimine başladı. Şu an Tamcam Otocam Sanayi A.Ş. ‘de proje mühendisi olarak çalışmaktadır.