



Makale/Research Paper

Otomotiv Sektöründe Cam

Mecit KARADAĞ^{a,b}, Utku Can VAROL^b, Bekir KARASU^c

^aBilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Makina ve Metal Teknolojileri Bölümü, Metalürji Programı, Bilecik/TÜRKİYE

^bEskişehir Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir/TÜRKİYE

^cEskişehir Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü, Eskişehir/Türkiye
bkarasu@eskisehir.edu.tr

Received/Geliş: 04.01.2019

Accepted/Kabul: 27.03.2019

Öz: Otomotiv endüstrisi geçtiğimiz yüzyıl boyunca önemli ve kayda değer gelişim sergileyerek günümüzde insan hayatının en vazgeçilmez öğelerinden biri haline gelmiştir. Başlangıçta sürücü ve yolcuları dış ortamın etkilerinden korumak için kullanılan camın birçok araştırmanın konusu haline gelmesi ile özellikleri değiştirilmiş ve bu sayede uygulama alanları genişletilmiştir. Ayrıca, üretim teknolojilerinin de izin vermesi ile birlikte camı karakterde farklı malzemeler de otomotiv endüstrisinin bileşenleri arasına girmiştir. Mevcut çalışmada camın ve camı malzemelerin geçmişten bugüne otomotiv endüstrisindeki yeri incelenmiş, çeşitli uygulama ve geliştirme çalışmalarından örnekler sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Cam, otomotiv, kullanım, gelişim.

Glass in Automotive Industry

Abstract: During previous century, automotive industry indicated a significant improvement and becoming one of the most important parts of human life today. Glass, which was initially used for the protection of driver and passengers from outside effects, has been an important part of most researches and new properties have been added, thus its usage fields have enlarged. Moreover, through new production technologies, other materials with glassy properties have become an inevitable part of automotive industry. In the present study, the state of glass and glassy materials in automotive industry from past to present time is mentioned with some examples on their applications and developments.

Keywords: Glass, automotive, usage, development.

1. Giriş

Tarih boyunca cam çok farklı biçimlerde tanımlanmıştır. Kimi zaman pencere formunda, kimi zaman da bardak gibi bir obje halinde görülmüştür. Birinin diğerinden büyük oranda farklılık arz etmesi bu durumu anlaşılabilir kılmaktadır [1]. Bilimsel anlamda cam, atomik ölçüde kristalin olmayan, ısıtıldığında camı geçiş gösteren tüm katı maddeler olarak tanımlanabilir [2].

Cam yapma sanatı yaklaşık 5000 yıl önceye dayanmaktadır. Fakat daha daha da öncesinde doğal obsidiyenden eşyalar üretildiği bilinmektedir. Büyük olasılıkla ilk insan yapımı cam kazara ortaya çıkmış, sonrasında çok iyi şekilde tasarlanarak değerli dekoratif mücevherler formunda kullanılmıştır. Ardından, camlar viskoz (ağdalı) haldeyken şekillendirilerek çeşitli kaplar üretilmiştir. Isıya dayanıklı malzemelerin geliştirilmesi ile birlikte camlar ısıtılıp şişirilerek

şekillendirilmiştir (Şekil 1). Camların makinelerle üretimi cam açısından yeni bir milat olmuştur. Bu miladın ardından birçok yeni cam çeşidi keşfedilmiştir [1].



Şekil 1. Eski çağlarda cam üretimi [3]

Günümüzde cam hayatımızın her alanına girmiş bulunmaktadır. Camlar, yapılarda, ulaşımda, elektronik, optik uygulamalarda ve otomobillerde farklı işlevleriyle kendilerine yer edinmekte [4], mutfak eşyaları, araç camları, elektronik eşyaların ekranları, gözlükler, konut camları, dekoratif ürünler ve daha birçok farklı alanda çevremizde görülmektedirler (Şekil 2). Bunun dışında cam takviyeli polimer matrisli kompozitler (karma malzemeler) ve fiber (lif) optik kablolar gibi birçok ürünü belki de yapılarındaki camların varlığından habersiz kullanmaktayız. Teknolojik gelişmelerle doğru orantılı olarak camların uygulama alanı genişlemekte, böylece camlar daha teknik ve daha fazla mukavemet gerektiren alanlarda kendilerine yer bulmaktadır.

Güneş pilleri [5], kurşungeçirmez camlar [6], akıllı camlar [7], çizilmez telefon camları [8] ve havacılıkta [9] yüksek teknoloji ürünleri hayatımızın vazgeçilmez unsurları haline gelmiştir.



Şekil 2. Günümüzde cam kullanımına örnekler [10–14]

Otomobillerde cam kullanımı, yeni üretilen camlardaki yüksek mukavemete, yeni üretim tekniklerine ve yeni teknolojilere bağlı olarak her geçen gün artmaktadır. Eski otomobillerde cam yalnızca ön, arka ve yan kısımlarda kullanılmışken, günümüzde cam tavanlar, gösterge panelleri, ekranlar ve mukavemetli bazı parçalarda kendilerine yer edinmişlerdir [15–16]. Gösterge panelleri ve farlarda organik camlar, ekranlarda ileri teknoloji camlar göze çarpmaktadır (Şekil 3). Cam lif takviyeli kompozitlerin otomobillerdeki tercihi de gittikçe artmaktadır. Tampon parçaları, aynalar gibi enjeksiyon ile kalıplanmış birçok parçada ve döküm ile üretilen manifold gibi motor parçalarındaki plastik ögeler genellikle cam liflerle takviye edilmiştir. Benzer şekilde, hortumlar,

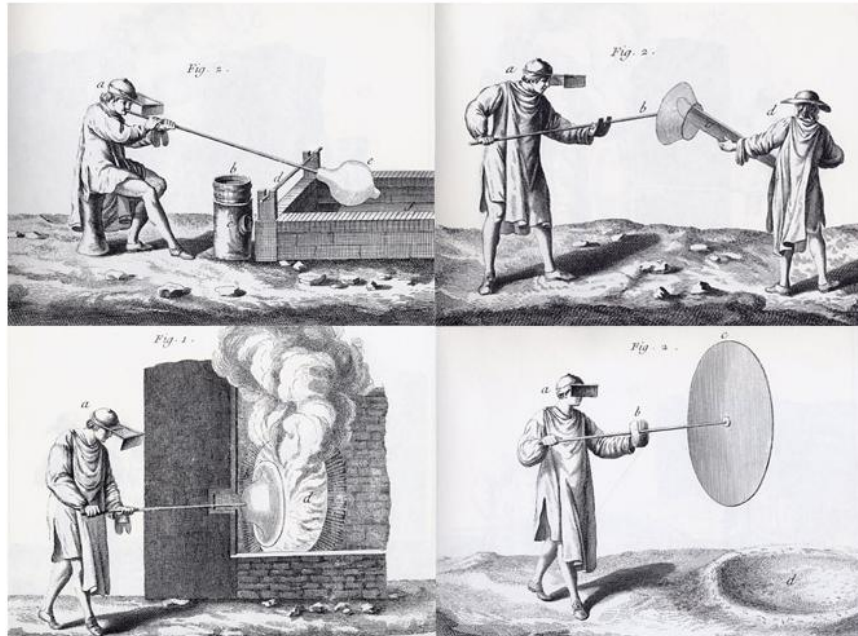
kemerler ve lastikler gibi kauçuk parçaların çoğu da cam lifle güçlendirilmiştir. Ayrıca, birçok araçta motordan gelen egzoz gürültüsünü engellemek için cam lif dolgular kullanılmaktadır [17].



Şekil 3. Otomobillerde kullanılan cam örnekleri [18–22]

2. Pencere Camları

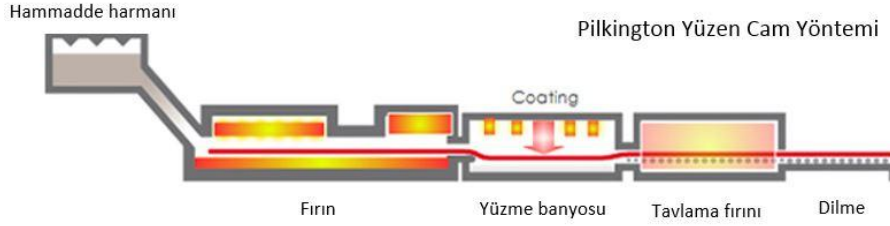
Cam tarih boyunca çeşitli evrelerden geçmiştir. Pencere malzemesi olarak kullanımı 12. yüzyılda başlamış ve zamanla şişirilmiş camın savurma ile düzleştirilmesi, sonrasında kesilmesi adımlarını içeren yöntemle sürdürülmüştür (Şekil 1).



Şekil 4. Üfleme ve savurma yöntemiyle cam üretimi (crown glass) [23]

Düz cam üretimiyle ilgili ilk patent İngiliz Henry Bessemer tarafından 1848'de alınmıştır. Düz camın bir şerit halinde merdaneler arasından ilerlemesine ilişkin bu ilk fikir ticari başarıya erişememişse de Amerikalı mucitler William E. Heal ve Halbert Hitchcock tarafından patentlenen ve "yüzen cam (float glass)" olarak isimlendirilen üretim yöntemine ilham kaynağı olmuştur [24]. Bu alanda asıl devrim, yüzen cam yönteminin 1952'de Sir Alastair Pilkington'un kendi geliştirerek

patentlediği hali ile dünyanın ilk ticari başarıya sahip, yüksek kaliteli düz camının üretilmesi ile gerçekleşmiştir.



Şekil 5. Alastair Pilkington tarafından geliştirilen "yüzen cam" üretim yönteminin adımları [25]

Pilkington Firmasınınca geliştirilen yöntemde eriyik cam, kalay eriyiği üzerinde ilerlemektedir (Şekil 5). Bu ilerleyiş sırasında eriyik cam sürekli soğutulmakta ve merdaneler ile kalınlık kontrolü gerçekleştirilmektedir. Böylece, homojen bir kalınlık dağılımı ve parlak-cıvalı bir yüzey görünümü elde edilebilmektedir [24].

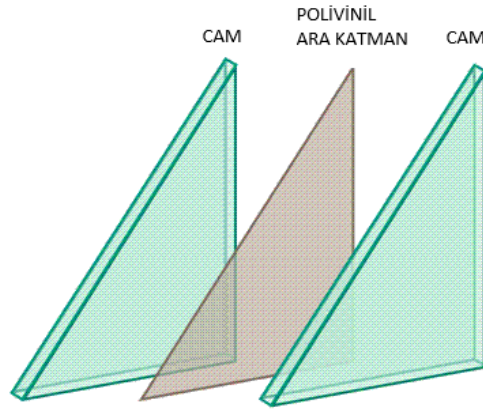
Dünya genelinde kaliteli düz cam üretiminin kolay bir hale almasının ardından teknolojinin gelişimiyle ve insanların ihtiyaçlarına göre düz cam üzerinde gerek fiziksel gerekse kimyasal değişiklikler yapılarak camın özellikleri düzenlenmeye başlamıştır. Günümüzde otomotiv endüstrisinde kullanılan düz cam tiplerinin önde gelenleri katmanlı (laminated glass) ve temperli camlardır (tempered glass).

3. Katmanlı (Tabakalı–Lamine) Camlar

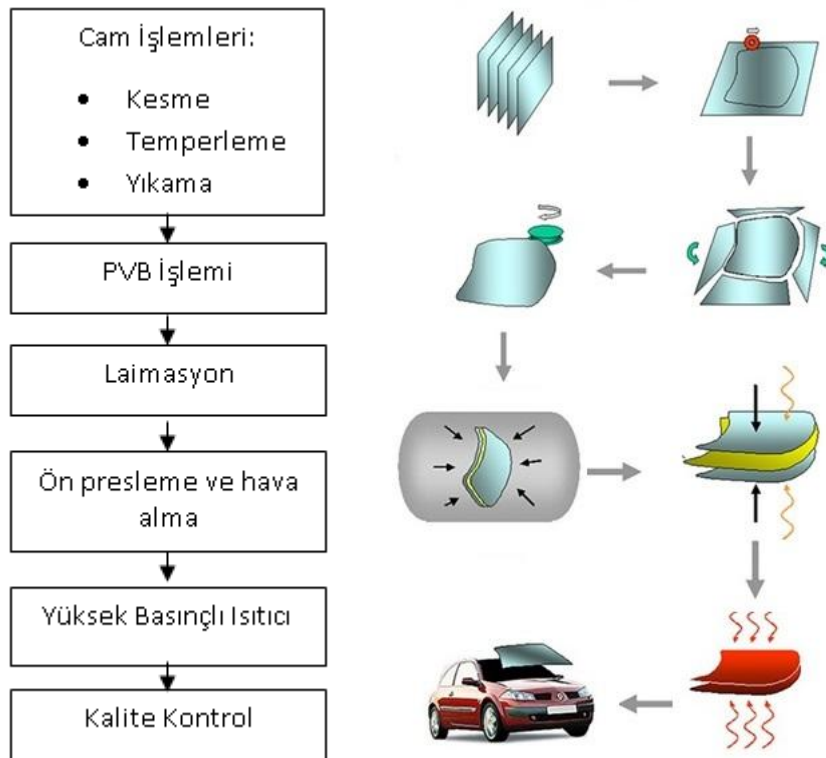
1903’de Edouard Benedictus tarafından keşfedilen ve 1920’lerin başından itibaren otomotiv sektöründe kullanılan katmanlı camlar ilk olarak Libbey–Owens Firmasınınca üretilerek Ford marka araçlarda yerini almıştır [26]. Tabakalı camlar, en az 2 cam yüzeyi arasına yerleştirilen polimerik bir katmandan meydana gelir. 1927’de Kanadalı kimyagerler Howard W. Matheson ve Frederick W. Skirrow tarafından geliştirilip patentlenen [27] polivil bütiral (PVB), modern katmanlı camlarda kullanılan polimer malzeme olmayı sürdürmektedir (Şekil 6). Katmanlı camlar taşıtların sürücü camı olarak tercih edilmektedir. PVB ara katmanı cama çarpan objelerin camdan içeri geçişini engellemekte, daha da önemlisi, dış cam katmanının kırılması durumunda camların dağılmasını önlemektedir. Bu özelliği sayesinde katmanlı camlar aynı zamanda güvenlik camları olarak da isimlendirilirler. Katman sayısının artırılması ile kırılma geçirmez güvenlik camlarının eldesi mümkündür. Lamine camları üretmek amacıyla birkaç çeşit polimer [PVB, termo–plastik poliüretan (TPÜ), etilen vinil asetat (EVA) ve iyonoplast Sentry Glass® Plus (SGP)] kullanılmaktadır. Otomotiv sektöründe en çok tercih edilen polivinil bütiraldır. Lamine camın yapısal performansı ara tabaka malzemesinin özelliklerinden önemli ölçüde etkilenmektedir. Performans; cam tipi ve kalınlığı, ara tabakanın tipi ve kalınlığı, darbe türü, sınır şartları, darbe hızı ve boyutu gibi farklı parametreler ile belirlenmekte [28], bu grup camlar cam parçacıklarının birbirleriyle iyi bağlanabilmesi, yüksek darbe dayanımı, sesi azaltma kapasitesi, ısıl radyasyonu engellemesi, uzun ömürlü oluşu ve iyi görsel etkisi sayesinde otomotiv sektöründe tercih edilmektedir [29].

Katmanlı cam üretiminde “kuru” ve “ıslak” olmak üzere iki yöntem söz konusudur (Şekil 7–8). En yaygın kullanılan kuru yöntemde cam uygun ölçüye kesildikten sonra dört tarafı taşlanarak temizleme işlemine tabi tutulur. Ardından, ara katmanı oluşturan PVB’nin kesimi yapılır. PVB’nin nem miktarı camlarla olan birleşimini doğrudan etkileyeceğinden katmanlamanın yapılacağı odanın sıcaklık ve nemi sürekli kontrol edilmelidir (ideal koşullar 18–24 °C ve % 18–28 nemdir). Sonrasında ise PVB ile camlar 8–10 atmosfer basınç ve 100–150 °C sıcaklık altında birleştirilir. Katmanların arasındaki havanın uzaklaştırılması için ön presleme işlemi sonrasında, yüksek sıcaklık

fırlaması yapılır. Bu işlemde sıcaklık, basınç ve zaman parametrelerinin çok iyi ayarlanması gerekmektedir. Özellikle ısıtma ve soğutmanın yavaş hızlarda uygulanması lazımdır [31].

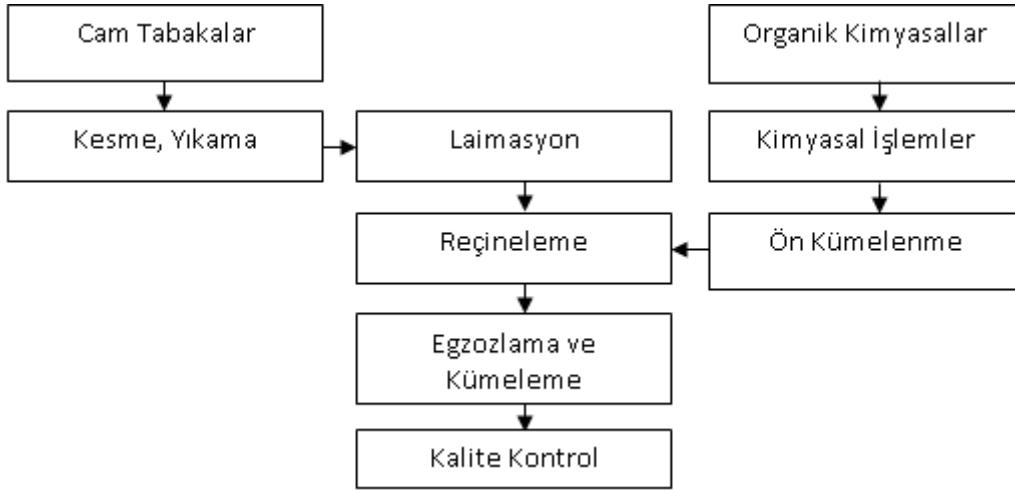


Şekil 6. Katmanlı camların yapısı [30]



Şekil 7. Kuru yöntemle laminasyon işlemi [29, 32]

Yaş üretim nispeten daha basit bir yöntemdir. Bu yöntem ile büyük boyutlu ve telli cam, ateşe dayanımlı cam gibi özel camlar üretilebilmektedir. Yaş yöntemle lamine cam elde edilmesinde önce camlar kesilip yıkanır. Camlar temiz ve kuru olmalıdır. Yaş yöntemdeki laminasyon işlemi kuru yöntemden farklıdır. Bu yöntemde camlar aralarında boşluk olacak şekilde kümelenir. Ara boşlukta bulunan hava çekilir ve sıvı haldeki PVB bu boşluğa sızdırılarak doldurulur. Böylece, lamine cam elde edilir (Şekil 8) [29].

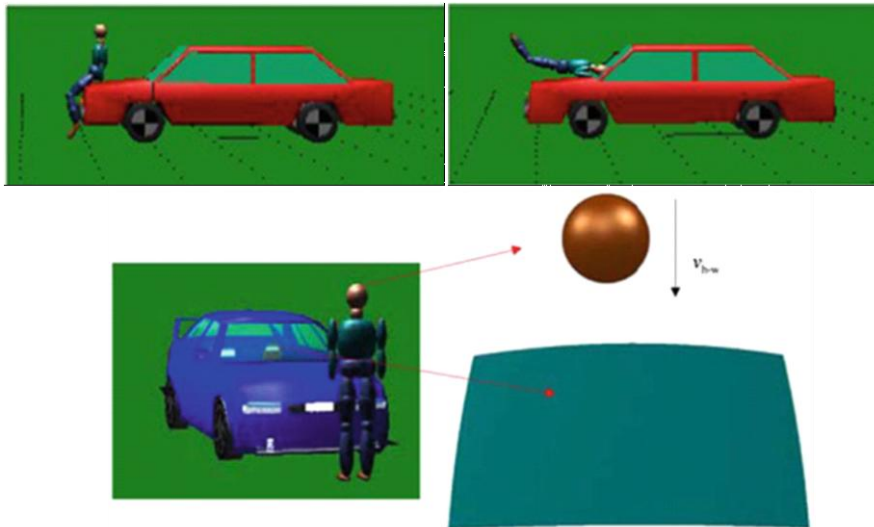


Şekil 8. Yaş yöntem ile laminasyon işlemi [29]



Şekil 9. Lamine cam kullanım örnekleri [33–34]

Otomotiv ön camları sadece rüzgâr, yağmur, ısı ve sestən korunmak için değil, aynı zamanda önemli bir güvenlik bileşeni olarak da kullanılmaktadır. Lamine camlar kırılan camın saçılmasını engelleyerek araç içindekilerin güvenliğinin sağlanmasının yanı sıra yayaların güvenliği içinde çok önemlidir. Yapılan araştırmalara göre bir taşıt yayaya çarptığında ilk olarak vücudun alt kısmı darbe almakta, ardından yayanın baş bölgesi araç ön kaportasına veya ön camına çarpmaktadır (Şekil 10). Bu nedenle araç ön camının darbe enerjisini absorblama kapasitesinin yüksek olması yayaların baş yaralanmalarını da önemli ölçüde azaltacaktır [35].



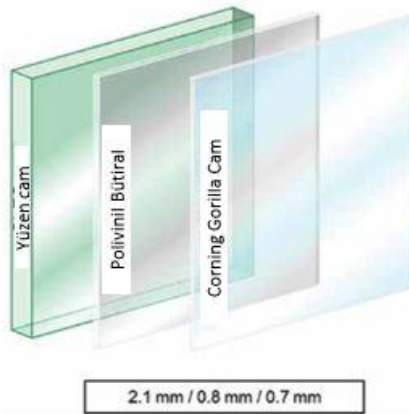
Şekil 4. Kaza anında yayanın darbe alışı [29]

Son yıllarda taşıt geliştiricileri, gelecekteki taşıtlarda ön camların tavan pencerelerine doğru uzatılması (Şekil 11) akımının artarak devam edeceği konusunda hemfikir olmaya başlamıştır. Sürücü ve yolcu güvenliği açısından bakıldığında tavan pencerelerinin de katmanlı cam olması gerekmektedir. Öte yandan sürücü ve yolcunun daha fazla güneş ışığına maruz kalacak olması, geniş tavanlara elektro-kromik ve mor ötesi engelleyici özellikler kazandırılmasını zorunlu kılmaktadır [36].



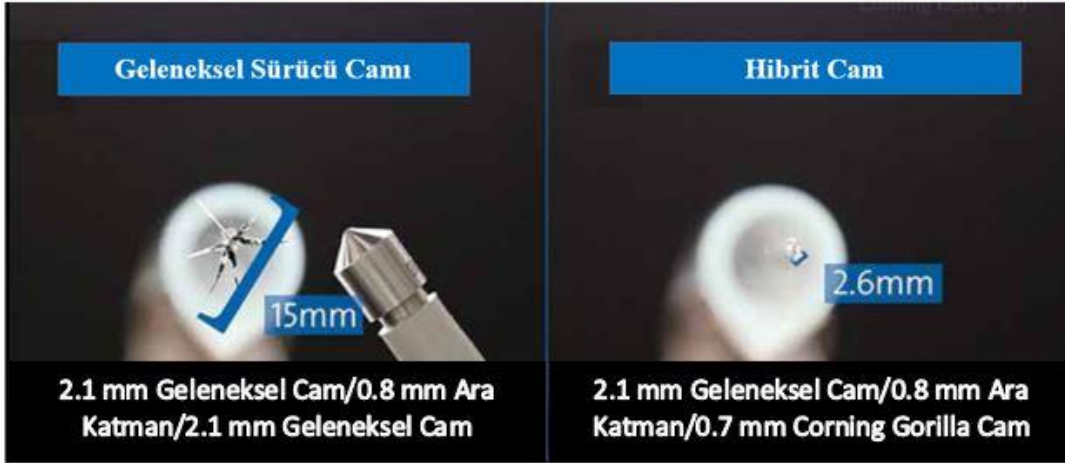
Şekil 11. Panoramik cam tavan uygulaması [37]

Katmanlı camlar taşıtların ağırlık azaltımı konusunda odak noktasındaki bileşenlerden biridir. 2,1 mm kalınlığındaki cam katmanları araç ağırlığını ciddi şekilde arttırmaktadır. Cam ağırlıkları taşıtın yakıt tüketimini arttırdığı gibi taşıtın ağırlık merkezini yukarı çektiği için de taşıtın yol tutuşunu ve dolayısıyla sürüş konforunu olumsuz yönde etkilemektedir. Dolayısıyla, benzer katmanlı sistemlerin özelliklerini koruyarak geliştirilebilecek, daha ince cam tabakalı sistemler üzerine araştırmalar yürütülmektedir. Kişisel mobil cihazlarda ekran camı olarak kullanılan Gorilla Glass'ın geliştiricisi Corning Firmasının yaptığı incelemeye göre mevcut cam yüzeylerinin Gorilla Glass veya muadili, kimyasal olarak güçlendirilmiş bir cam ile değiştirilmesi halinde taşıt ağırlığında 23 kg'lık bir azalma sağlanabilecektir [38]. Ayrıca, Gorilla Glass'ın geleneksel camlara göre daha iyi optik kalite sunması bu önerinin anlamını daha da arttırmaktadır. Ne var ki Corning Firmasının mühendisleri, geleneksel camların taşıtın seyri sırasında sürücü camına gelebilecek darbelere karşı daha dayanıklı olduğunu ve bu nedenle en azından dış yüzeye bakan cam katmanının değiştirilemeyeceğini görmüşler, buna istinaden de katmanlı yapının yalnızca iç yüzeyindeki geleneksel camın Gorilla Glass ile değiştirilmesini içeren "hibrit cam" önerisini sunmuşlardır (Şekil 12). 2,1 mm geleneksel cam yerine geçecek 0,7 mm Gorilla Glass camın cam ağırlığını 1/3 oranında azaltmaya yardımcı olacağı hesaplanmıştır. İlaveten, Gorilla Glass'ın buhar ve buz gideriminin geleneksel camlara göre % 30 daha hızlı olduğu ve dolayısıyla hibrit camların bu işlemler için harcanan enerji ve vaktin geri kazanımı konusunda da avantaj sağladığı belirtilmiştir [39].



Şekil 12. Corning hibrit camının yapısı [39]

Hibrit camların mekanik özelliklerinin karakterizasyonu için yapılan çalışmalarda geleneksel cama göre darbe dayanımının yaklaşık 6 kat daha iyi olduğu görülmüştür (Şekil 13).



Şekil 13. Vickers elmas uçla 1,200 mm'den yapılan keskin çarpışma sonrası geleneksel cam ve hibrit cam yüzeyindeki deformasyon [39]

Katmanlı camlarda ki geleneksel PVB ara katman malzemesine alternatif olarak, özellikle kazalarda ortaya çıkan darbelere karşı daha dayanıklı, yeni malzemelerin geliştirilmesi üzerine de araştırmalar gerçekleştirilmektedir. Bunlardan birisinde yaya ile çarpışma halinde ara katmanın enerji sönümlenmesi ile ilgili simülasyon incelemeleri yapılmıştır. PVB'ye alternatif olarak önerilen ve nano-poroziteye sahip bir malzemenin ıslatmayan bir sıvı veya jel benzeri bir çözelti içerisine daldırılması sonucu geliştirilen nano-poroz enerji sönümlenme sisteminin çarpışma anında yayalara daha iyi koruma sunduğu belirtilmiştir [40].

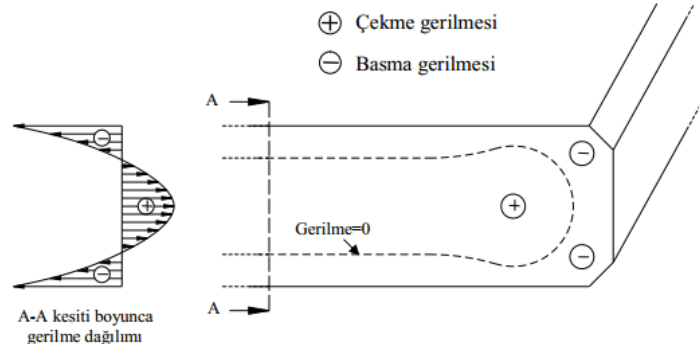
4. Temperli Camlar

Hızla gelişen teknoloji ile birlikte cam sadece ev eşyalarında değil farklı alanlarda da kendini göstermektedir. Çoğunlukla estetik görünümü ve şeffaflığı nedeniyle tercih edilen camın farklı uygulamalarda kullanımını genişletmek için mekanik dayanımının artırılması gerekmektedir. Camın mekanik özellikleri büyük oranda yüzey hatalarının miktarına, dağılımına ve derinliğine bağlıdır. Yüzeydeki mikro hatalar mekanik özelliklerin önemli oranda azalmasına yol açmaktadır. Örneğin; camın çekme dayanımı teorik olarak 1000 MPa'a kadar çıkabilmekte, ancak, yüzey hataları sebebiyle çekme dayanımı 10'lu değerlerle ifade edilebilmektedir. Camın mekanik dayanımının artırılması üzerine yapılan çalışmalar yüzey hatalarının etkisini yüzeyde oluşturulan basma gerilmeleri yardımıyla azaltmaya veya yok etmeye yöneliktir. Yüzeyde ortaya çıkan basma gerilmeleri çatlak oluşumunu ve büyümesini sınırlar [41]. Bu tür basma gerilmeleri temperleme işlemi ile sağlanmaktadır. Temperlenmiş camlar günlük hayatımızda sıklıkla otomotiv ve inşaat endüstrisi gibi alanlarda yüksek güvenilirliklerinden ötürü kullanılmaktadır [42]. Genellikle otomobillerin yan, arka ve tavan camları temperlidir. Temperli camlar ayrıca uçaklarda, trenlerde, gemilerde de dayanımları sayesinde sıklıkla kullanılmaktadırlar [43].



Şekil 14. Temperleme hattı [44]

Temperleme işlemi ısısal veya kimyasal (İyon değişimi) temperleme olmak üzere iki şekilde yapılabilir. İki yöntemde de amaç yüzeyde basma gerilmeleri oluşturmaktır. Yüzeyde ortaya çıkan kalıntı gerilmeler sonucunda camın yüzeyinde basma gerilmeleri, yüzeyin alt kısımlarında çekme gerilmeleri oluşur (Şekil 15). Eğer yüzeyde görülen çatlak çekme gerilmelerinin olduğu bölgeye kadar ilerleyebilirse cam parçalara ayrılır [45].

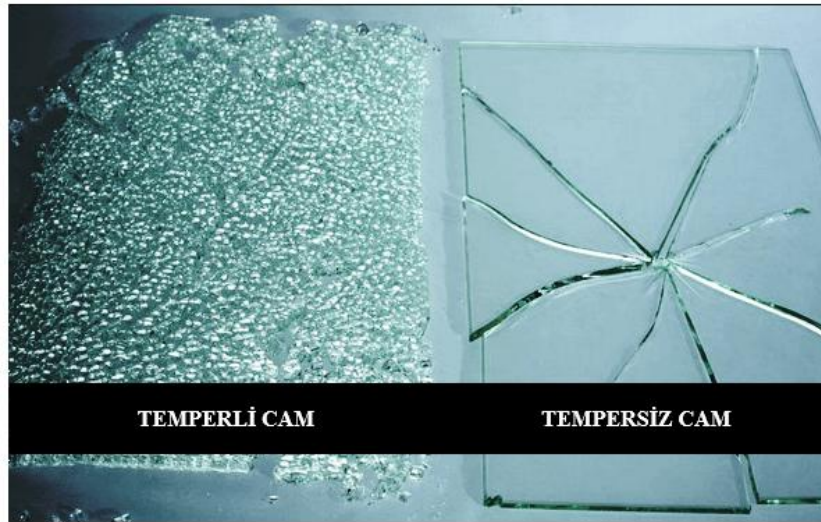


Şekil 15. Temperlenmiş camda oluşan gerilmeler [43]

Temperlenmiş camların kırılma davranışında da değişiklik görülmektedir. Kırıldıklarında temperlenmemiş camlardaki gibi keskin ve kesici parçalara ayrılmazlar. Bunun yerine küçük ve kesici olmayan zararsız parçalara bölünürler (Şekil 16–18) [43]. Böylesi bir kırılma davranışı temperlenmiş camın iş kısımlarında ortaya çıkan çekme gerilmelerinden kaynaklanmaktadır [45].



Şekil 16. Temperlenmiş camdaki çatlak oluşumu [46]

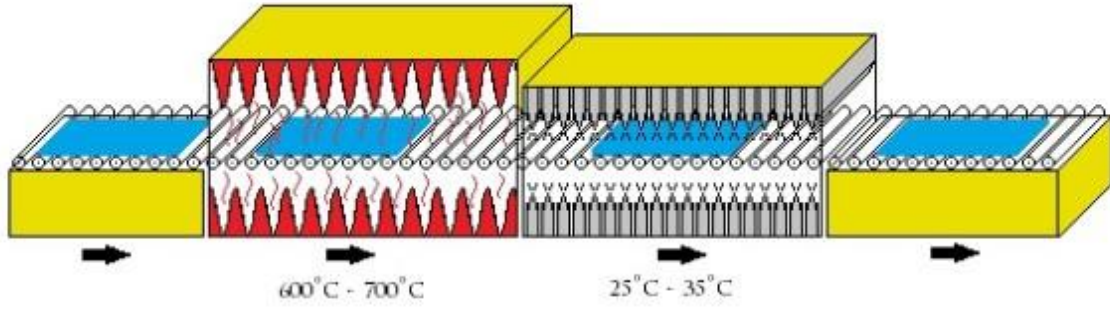


Şekil 17. Temperli ve tempersiz camların kırılma görüntüleri [47]



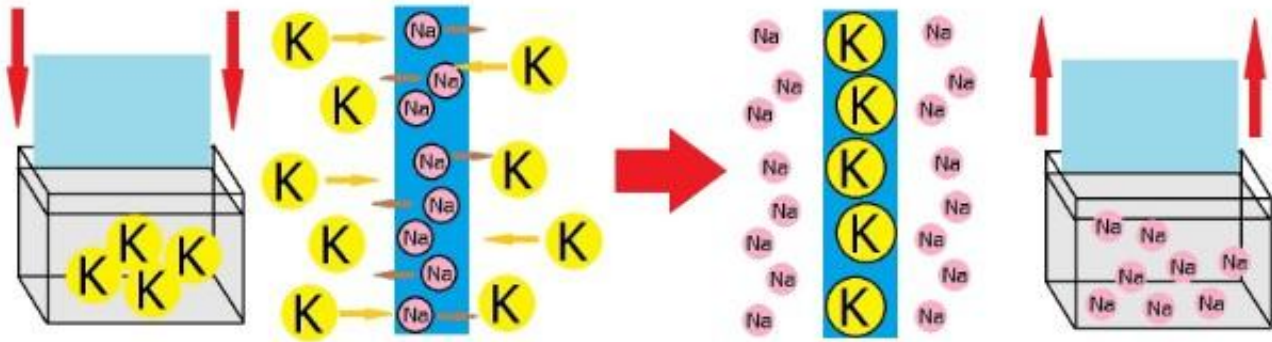
Şekil 18. Temperlenmiş ve temperlenmemiş camların parçalanma davranışı [43]

Temperlenmiş camlar toklaştırılmış camlar olarak da adlandırılabilir. Isıl temperleme işleminde cam önce cam dönüşüm sıcaklığının üzerine kadar ısıtılır. Ardından sıcak cam yüzeyine hava üflenerek hızlıca soğutma uygulanır (Şekil 19). Bu esnada camın dış kısmı iç kısmına göre daha hızlı soğuyacağından dış yüzeyde basma, iç kısımlarda çekme gerilmeleri oluşur. Bu, camda kesit boyunca kalıntı gerilmelere sebebiyet verir. Böylece, camın mekanik özellikleri temperlenmemiş cama göre 4-5 kat arttırılır [48-49].



Şekil 19. Isıl temperleme işleminin aşamaları [50]

Kimyasal temperleme işlemi ise camın yüzeyinden çıkan küçük iyonların yerini büyük boyutlu iyonların alması ile yüzeyde basma gerilmeleri oluşturulması işlemidir (Şekil 20). Isıl temperlemeye göre daha derin basma gerilmeleri elde edilebilir. Ancak, ısı temperlemeye göre yüzeyde oluşan basma gerilmelerinin büyüklüğü kimyasal temperlemeyle elde edilenlere göre çok daha düşüktür [51].



Şekil 20. Kimyasal temperleme işleminin aşamaları [52]

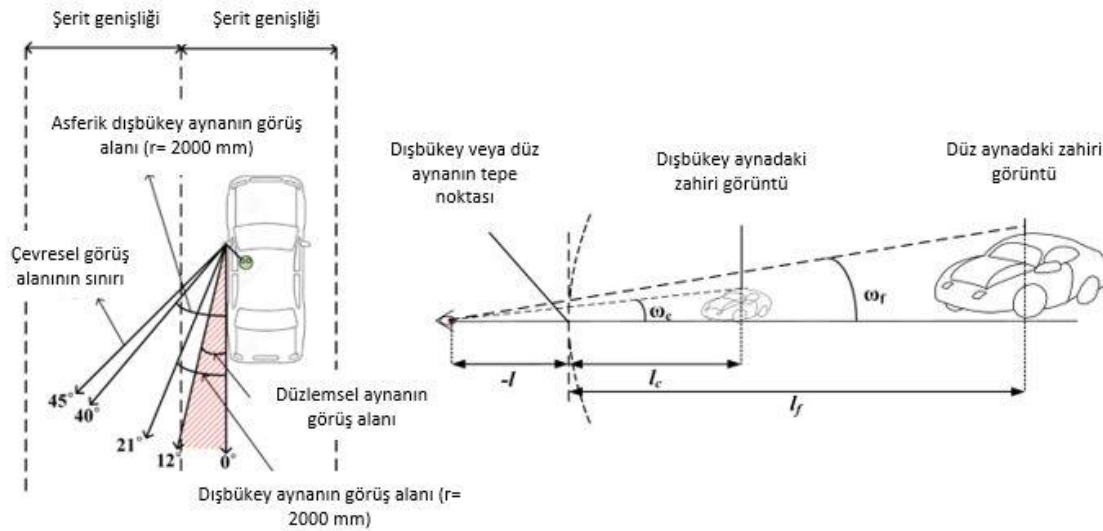
Temperli camların şekillendirilmesi için temperleme öncesi ve sonrası işlemler söz konusudur. Temperlenen bir camı kesmek çok zor olduğundan istenilen boyut ve ölçülerde kesim işlemi temperleme öncesinde gerçekleştirilir. Kesilen camlar keskin kenarları rodajlandıktan ve arzu edilen yüzey baskılarının yapılmasının ardından temperleme ve şekillendirme işlemi için fırına alınır. Camların tiplerine göre düz cam, homojen silindirik bombeli camlar için CRB, yan camlar için SAG, arka camlar için derin bükme, hem yan hem de derin bombeli arka camlar için pres bükme yöntemleri uygulanarak şekillendirme işlemleri gerçekleştirilir [53].

Otomotiv camlarının güvenlik kriterleri, uygulanacak testler ve kullanılacak sembol ile işaretler Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Konseyi (ECE) Regülasyon 43'te düzenlenmiştir [54]. Bu testler arasında bilye darbe testi mekanik dayanım testlerinden en bilinenidir. Bu testte iki farklı ağırlıkta (227 g ve 2260 g) bilye kullanılmakta; 227 g'lık bilye ile katmanlı camlarda ara katmanın dayanımı ve temperli camların mekanik mukavemeti ölçülürken, 2260 g'lık bilye ile katmanlı camların delip geçmeye karşı direnci ölçülmektedir. Otomotiv camlarından istenilen özelliklere ulaşılması cam yüzeyinin kaplanması veya camın içeriğinde değişiklik yapılması ile mümkündür. Kaplama yöntemi, daha düşük maliyetli oluşu ve istenilen performansa uygun biçimde tasarlanabilme avantajlarıyla daha çok tercih edilmektedir. Kaplamalarda en yaygın kullanılan sol-jel yöntemidir. Otomotiv sektörünün son yıllardaki eğilimlerden olan; gerek kişilerin mahremiyetini

sağlamak ve gerekse güneş ışınlarının zararlı etkilerinden korunmak için renklendirilmiş camlar ile yağmurlu havalarda görüşün iyi olması için geliştirilen su tutmayan camlar da sol-jel yöntemiyle üretilen kaplamalar sayesinde geliştirilmektedir. Renklendirilmiş camlarda iç ve dış olarak iki katmanlı bir yapı bulunmaktadır. İç katman cama düşük geçirim özelliği kazandıran Cu–Mn–Co–Cr–O taneciklerinin SiO₂ matrisinde dağılmasıyla elde edilir ve doğal gri renge ulaşılır. Dış katmanda ise iç katmanı kimyasal etkilere karşı korumak amacıyla SiO₂ ağırlıklı bir yapı vardır. Bununla birlikte istenilen gri rengi tutturmak için iç tabakadakine benzer şekilde geçiş metal oksitlerinin de kullanımına ihtiyaç vardır. Renkli camlar, cilalanmış ve kurutulmuş düz camların üzerine fleksografik yazıcı metodu ile 200 nm kalınlığında iç tabaka ve 30 nm dış tabaka uygulanması; kurutma sonrasında camların istenilen ebatlara kesilmesi ve 700°C’de birkaç dakikada eğme ve temperleme sertleştirilmesi sonucu üretilir. Su tutmayan camlarda su damla açısının 100° üstünde ve kayma açısının 20° altında olması istenmektedir. Yapılan araştırmalarda floroalkil silan çifti ajanı (FAS) ile reaktif silikon (RS) bileşiminin birlikte kullanıldığı kaplamaların bu beklentiyi karşıladığı görülmüştür. Söz konusu kaplamalar 100 nm SiO₂ ara tabakanın temiz bir cam yüzeyine uygulanması sonrasında iki veya üç tabakalık FAS [RfSi(NCO)₃] ve RS [–(Si(CH₃)₂(O)_n–(Si(CH₃)(Rf)O)_m–(Si(CH₃)(X)_k–)] uygulaması ve oda sıcaklığında kürlenmesi ile gerçekleştirilir [55].

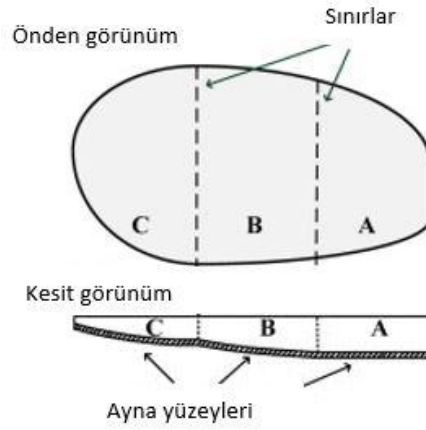
5. Aynalar

Tüm taşıtlarda en az 3 ayna bulunduğu göz önünde bulundurulursa otomotivde camın kullanıldığı ana bileşenlerden birisini de ayna olduğu söylenmelidir. Bu aynalar günlük kullanım için üretilen diğer aynalar gibi camın arkasının gümüş ile sırlanması yoluyla üretilir. Taşıtlarda, özellikle yan aynalarda, kullanılabilen ayna tipleri düzlemsel, dışbükey veya asferik olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Düzlemsel aynalar görüntü boyutunu değiştirmeden yansıtmakta ancak taşıt boyutu ile kıyaslandığında geniş bir görüş alanı sağlayamamaktadır. Düzlemsel olmayan camlarda ise görüş alanı geniş ancak, aynadaki görüntü cismin gerçek görüntüsüne göre daha küçüktür [56] (Şekil 21).



Şekil 21. Farklı aynalar için görüş alanları (solda) ve görüntü büyüklük ve mesafeleri (sağda) [57]

Taşıt içinde ve dışında kullanılan aynaların özelliklerine ilişkin standartlar ECE Regülasyon 46’da belirtilmekte [58], regülasyon (yönetmelik), Kuzey Amerika dışında neredeyse dünyanın tamamında kabul görmekte ve uygulanmaktadır. Bu yönetmelik sürücü tarafındaki dış (yan) aynaların düzlemsel veya düzlemsel olmayışına (dışbükey veya asferik) izin vermektedir. İlgili standardın kabul edildiği ülkelerde genellikle düzlemsel ve düzlemsel olmayan aynalar bir arada kullanılarak özellikle sürüş sırasında kör noktada kalan taşıtların görülebilmesi kolaylaştırılmaktadır (Şekil 22).



Şekil 22. Çok bölgeci ayna

Amerika Birleşik Devletleri ve benzer şekilde Kanada’da uygulanan yönetmelikler sürücü tarafında kullanılan aynaların düzlemsel olmasını zorunlu kılmaktadır. Buradaki amaç sürücünün yaklaşan araçların mesafesini ve hızını isabetli şekilde değerlendirebilmesini sağlamaktır. Bununla birlikte yolcu tarafındaki aynanın sürücüyü olan mesafesi nedeniyle uygun bir görüş alanı yalnızca dışbükey veya asferik ayna ile mümkündür. Ancak, bu aynaların görüntü boyutunu küçültmesi ve görüntüyü olduğundan uzakta göstermesi nedeniyle ABD ve Kanada gibi bazı ülkelerde aynalara “aynalardaki objeler görüldüklerinden daha yakındır” uyarısı basılmaktadır.

Araç içinde kullanılan geri görüş aynalarında ise özellikle gece kullanımlarda taşıt ışıklarının görüşü engellemesinin önüne geçmek adına elektro-kromik kaplamalar yardımıyla karartılabilen camlar kullanılmaktadır. Bu kaplamalar renk değişimini otomatik olarak gerçekleştirirler. Birkaç saniyede meydana gelmesi gereken bu değişimin yanında aynı zamanda 10 yıla varan uzun ömür ve en az 100 bin çevrim dayanımı da beklentiler arasındadır [59].

6. Gösterge ve Ekranlar

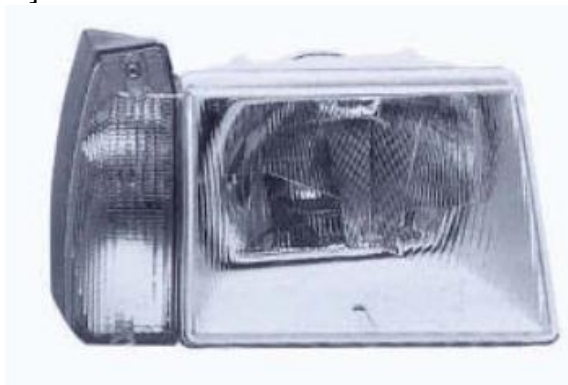
Günümüzde genellikle üst segmentte yer alan taşıtlarda görmeye başlanan geniş boyutlu ve/veya dokunmatik gösterge ve ekranlar camın taşıtlar içindeki kullanımını arttırmıştır. Elektrikli araçların ve otonom sürüş deneyiminin artması yönelimi çok farklı sürüş alanı tasarımlarına vesile olmaktadır. Bu tasarımlarda en çok dikkati çeken unsur ise büyük, geniş, tamamıyla dijitalleşmiş, kavisli formda, arttırılmış gerçekliği ve baş üstü göstergesini destekleyen (head-up display), dokunmatik ve haptik özelliğe sahip ekranlardır (Şekil 23). Yeni tasarımlar AMLCD, AMOLED, MikroLED gibi son teknoloji görüntü sistemlerinin uygulamalarını içermektedir.



Şekil 23. Yeni nesil sürüş alanı tasarımları [60]

6. Aydınlatma Camları

Taşıtların dışında ön ve arkada yer alan çevre görüş ve ikaz ışıklarıyla birlikte iç ortam ışıklandırmasını sağlayan çeşitli tipte aydınlatma bileşenleri bulunmaktadır. Çevre görüş ışıklarının kullanımı 1920'lerde başlamış ve 1950'lerden itibaren de kullanımlarıyla ilgili yasal düzenlemeler oluşturulmaya başlanmıştır. Araçların ön far takımlarında kapak lensi olarak 20. yüzyılın sonuna dek soda camlarından faydalanılırken, günümüzde daha yüksek çarpma dayanımına sahip ve daha hafif olan polikarbonat esaslı plastiklere geçilmiştir. Ayrıca cam, araç aydınlatmalarındaki rolünü ampuller vasıtasıyla sürdürmeye devam etmektedir. Ampullerde tungstenin buharlaşmasına bağlı oluşan kararırma sorununu ortadan kaldırmak için halojen atomları ile katkılandırılmış camlarla üretilen "halojen camları" kullanılmaktadır [61]. Bu halojen camları iyot veya brom içeren kuvars camlardan üretilmektedir [62].



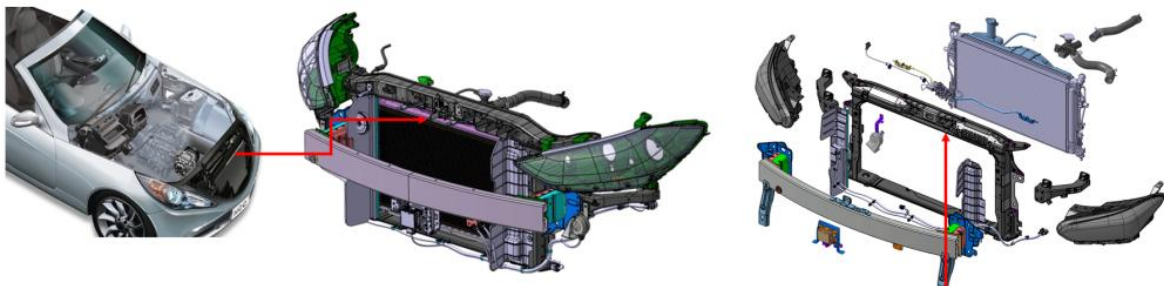
Şekil 24. 1970'lerde cam lense sahip ön far [61]

7. Cam Takviyeli Kompozitler

Kompozitler iki veya daha fazla malzemenin makroskobik ölçüde ve birbiri içinde çözünmeyecek şekilde birleştirilmesi ile üretilen yapısal malzemelerdir [63]. Polimer matrisli kompozitler, özellikle cam takviyeli poliamid matrisli kompozitler otomotiv endüstrisinde sıklıkla kullanılmaktadır [64]. Cam fiber takviyeli termo-plastik malzemeler, tasarımlarının kolay oluşu, düşük ağırlıkları, düşük maliyetleri ve iyi mekanik özellikleri sayesinde hızlı şekilde geliştirilmektedirler. Özellikle örgü takviyeli kompozitler dayanım ve rijitlik gibi mekanik özelliklerde yüksek kararlılık sunabilmektedirler. Bunun yanı sıra örgü yapılı kompozitler hasarı yüksek oranda tolere edebilme ve yüksek darbe dayanımı özelliklerine de sahiptir [65]. Termo-plastik takviyeli kompozitlerin düşük çevrim süreleriyle hızlı bir biçimde üretilebilmeleri ve geri dönüştürülebilir oluşları da diğer tercih sebeplerindendir [66]. Poliamidlerin dışında cam/epoksi kompozitler de otomotiv endüstrisinde sıklıkla yer almaktadırlar [67].

Otomotiv endüstrisi, 2020 ve sonrası için Avrupa mevzuatı tarafından öngörülen 95 g CO₂/km'lik zorunlu yayılım (emisyon) hedefini karşılayacak çözümler bulmak zorundadır. 2025 ve sonrası için bu değerin 68–78 g CO₂/km'ye düşmesi beklenmektedir. İlgili yasal zorunlulukları sağlamanın tek yolu araç ağırlıklarını azaltmaktan geçmektedir [68]. Yapılan araştırmalara göre araçların ağırlıklarındaki 100 kg'lık artış araç ömrü boyunca 2500 litrelik dizel yakıt tasarrufu ve 5200 kg daha az CO₂ salınımı sağlamaktadır [69]. Yakıt tüketimi ve CO₂ salınımının azaltılması amacıyla düşük ağırlıklı araçların üretiminin önemli oluşuna karşın güvenlik gereklilikleri de kesinlikle sağlanmalıdır [50 70]. Kompozit malzemelerin kullanımı hem mekanik özellik hem de ağırlık azaltma gereksinimlerini aynı anda karşılayabilecek en uygun yoldur.

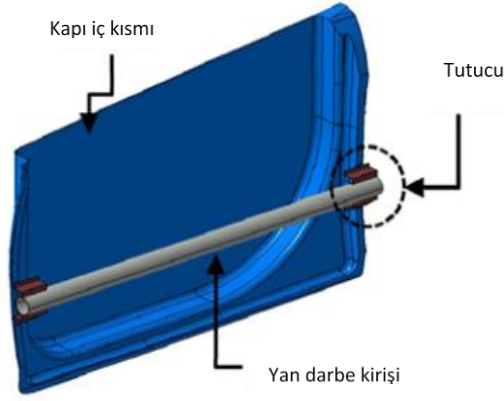
Polimer matris içerisinde camlar farklı şekillerde kullanılabilir. Takviye camlar kısa veya uzun lif formunda olabilirler. Ayrıca, ağırlığı azaltmak amacıyla içi boş cam küreler kullanılabilirler. Bu küreler genellikle polimer matrislerde dolgu maddesidir [71]. Sürekli cam lif takviyeli kompozitler birçok otomobil yapı bileşeninde uygulanabilmektedirler. Araç ön kısımları (Şekil 25) ve çarpışma bileşenleri (Şekil 26) sürekli lif takviyeli kompozitlerden üretilebilmektedir [72]. Örneğin; cam/polyester kompozitler otomobil çarpışma uygulamalarında kullanılabilirler [73]. Araçların yan taraflarından gerçekleşen çarpmalarda yolcuları kapı içerisinde bulunan bir parça korumaktadır (Şekil 27). Bu parça da sürekli lif takviyeli polimer matrisli kompozitlerden üretilmektedir [74]. E-camı takviyeli polimer kompozitler yaprak yay olarak araçların süspansiyon sistemlerinde [75], örgü cam takviyeli kompozitlerde araçların fren pabuçlarında yer alırlar (Şekil 28) [76].



Şekil 25. Cam/polimer kompozitlerin araç ön kısımlarında kullanımına örnekler [77]



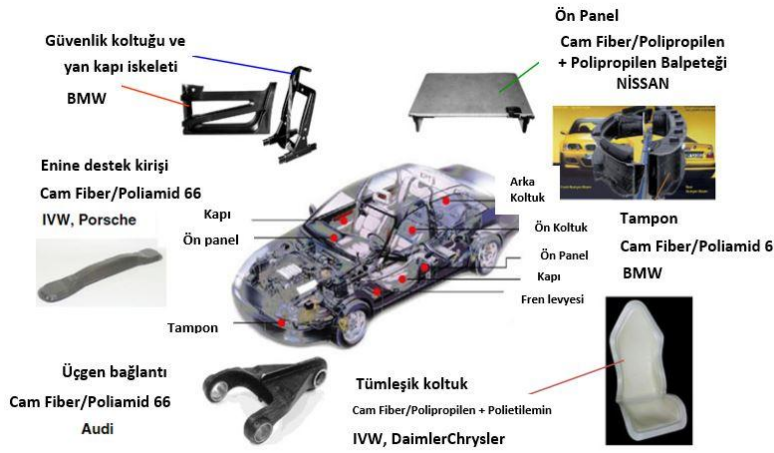
Şekil 26. Araç çarpışma bileşenleri [78]



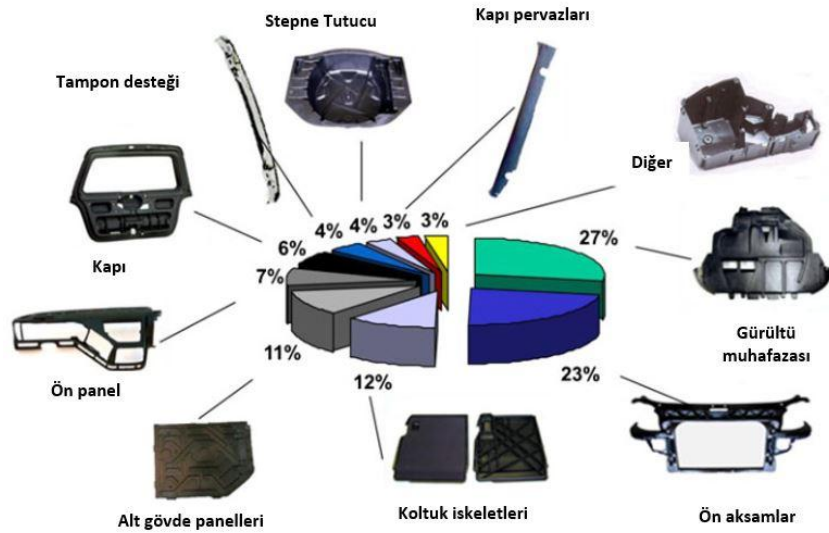
Şekil 5. Araç yan koruyucu [74]



Şekil 6. Fren testinden sonra örgü cam takviyeli kompozit fren pabucu [76]



Şekil 29. Fiber katkıli kompozitlerin araçların yük taşıyıcı parçalarında kullanımı [79]



Şekil 30. Cam mat ve uzun lif katkıli kompozitlerden üretilen nihai parça örnekleri [79]

Kısa lif takviyeli kompozitlerin kullanımı, sürekli lif takviyeli kompozitlere nazaran mekanik özelliklerin kısa liflerin boyu ve yönlendirmesinden etkilenmesi nedeniyle sınırlı kalmıştır. Ancak, özellikle geri dönüşümlerinin kolaylığı otomotiv uygulamalarında kullanılmalarını sağlamaktadır. [69]. Bunun dışında cam takviyeli kompozitler çamurluklar, kapı panelleri, arka bagaj, araç koltuk minderleri, sırt dayayacakları ve kabin kaplamalarında da uygulanabilmektedirler [80]. Şekil 31'de cam lif takviyesiyle üretilmiş bir fren pedalı görülmektedir.



Şekil 31. Cam fiber takviyeli kompozit fren pedalı [81]

8. Diğer Uygulama Alanları

Taşıtlarda frenleme sistemlerinde cam liflerin kullanımı 1960'lı yıllara dayanmaktadır. Cam lifin sürtünme malzemesi olarak fren pedlerinde uygulanmasının asıl sebebi asbestten daha yüksek performans sağlayan bir ikame malzeme oluşudur. İyi ısıl dayanımı, tatminkâr sürtünme katsayısı ve mükemmel yapısal mukavemetine rağmen maliyeti ve yüksek sıcaklıklarda sürtünmesinin düşmesi dezavantajlarıdır. Bu nedenle daha çok arka tekerlek kampanalarında kullanımı mevcuttur [82].

Cam-seramik malzemeler otomotiv endüstrisinde silindir içi basınç görüntülemesinde kullanılmaktadır [83].

Taşıtlarda yer alan akülerin farklı iklim koşullarında gösterdikleri performans seçilen ayırıcıların çeşidine bağlıdır. Ilıman ve yüksek sıcaklık iklimlerine cam mat içeren yaprak tipi polietilen sentetik selüloz ayırıcıların çok daha uygun olduğu belirlenmiştir [84].

Polimer elektrolit membranlı (PEM) yakıt pilleri özellikle elektrikli araçların geliştirilmesi açısından önem arz eden parçalardan biri haline gelmiştir. Bununla birlikte, pil içerisindeki platin elektrotların yüksek maliyeti bu teknolojinin uygulanmasının önündeki en büyük engeldir. Platine alternatif olarak soy olmayan metallerin karbür ve nitür bileşikleriyle ilgili yapılan araştırmalarda altlık malzemesi olarak camsı karbon elektrotlar kullanılmıştır [85].

9. Son Dönem Gelişmeleri

Su tutmayan camlar geliştirilirken su tanesinin yüzeyle yaptığı açı önemli olduğu kadar suyun cam yüzeyinde kayma özelliği de sürücünün görüşünün iyileştirilmesi anlamında dikkate alınmalıdır. Su tutmayan yüzeyler için floroalkil silan (FAS) ve polidimetil silikon (PDMS) yaygın kullanılan malzemelerdir. FAS kaplamalarda yüzey açısı daha yüksek iken PDMS kaplamaların su kayma açısı çok daha düşüktür. Dolayısıyla, su mükemmel şekilde kayar. Ancak, PDMS kaplamaların sileceklerin uyguladığı mekanik kuvvete ve dış hava şartlarına dayanımları düşüktür. Bu nedenle uzun ömürlü performans sergileyemezler. FAS kaplamaların kayma açılarının geliştirilmesi üzerine yapılan bir çalışmada geleneksel metodun dışında geliştirilen bir sol-jel uygulama yöntemi ile FAS içerisindeki floroalkil grubunun cam yüzeyin normali boyunca oryantasyonu sağlanmış, böylece, FAS malzemenin yüzeyle temas açısı (111°) korunurken aynı zamanda PDMS kaplama ile elde edilen kayma açısı (4°) FAS malzeme için de elde edilebilmiştir [86].



Şekil 32. Su damlasının kayma açısı [86]

Su tutmayan yüzey geliştirmede bilinen yöntemlerin ötesinde süper hidrofobik (su sevmez) yüzeyler oluşturmak adına amorf (camsı) karbon içeren elmas benzeri karbon esaslı malzemeler önerilmektedir. Temas açısının 150° üstüne çıktığı bu kaplamalar ortam koşullarında özelliklerini

20 güne kadar koruyabilmektedir. Ayrıca, 350 °C'ye kadar süper hidrofobik davranış gösterebilen bu kaplamalarla ilgili uygulama anlamında daha geniş ve detaylı araştırmaların yapılması önerilmiştir [87].

Taşıt pencerelerinde özellikle güneş ışınları kaynaklı sorunların önlenmesi için ince film tabakalar ile kaplama çalışmaları 1990'lı yılların ortalarından itibaren hız kazanmıştır. Bir taşıt camından; solar radyasyonu önlemek için kızıl ötesi (IR) ışık kontrolü, sürücü sağlığını ve iç döşemeleri korumak için mor ötesi ışık koruması, aynalardaki parıltıyı azaltmak için görünür ışık kontrolü, göstergeler için faz geciktirme, yağmurun etkilerinin azaltılması için yüzeyin ıslanabilirliğinin kontrolü ve organik cam uygulanabilirliği gibi özellikler beklenmektedir. Bu doğrultuda kızıl ötesi ışık kontrolü için nanometre boyutundaki SiO₂/TiO₂ düzlem yığınlarının arasına Al₂O₃ tabakaları uygulanırken, mor ötesi (UV) koruması için ZnO, CeO, TiO₂ gibi malzemelerin ince film kaplamaları kullanılmakta ve hidrofobik özellik kazandırma çalışmalarında da özellikle Y₂O₃ öne çıkmaktadır [88].

Otomotiv camlarında elektro-kromik malzemelerin kullanımı enerji tasarrufu açısından ilgi uyandıran bir alan olarak popülerliğini sürdürmektedir. Bu kaplamalar için farklı oksit malzemeler üzerinde araştırmalar gerçekleştirilmiştir. Yüksek renk zıtlık (kontrast) oranı, ani değişim hızı ve maliyet avantajları nedeniyle NiO bunlar arasında özel bir yere sahiptir. Dolayısıyla, WO₃ karşıt elektrotu ile birlikte elektro-kromik özelliklerin artırılması amacıyla kullanılırlar. Lee ve ark. [89] elektriksel ve optik özelliklerin iyileştirilmesi amacıyla geliştirilen NiO nano-poroz ince filminin karakterizasyonu üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Sonuçta, poroz yapılı NiO filminin redoks süreci sırasında yayınıcı (difüzyonu) arttırdığı tespit edilmiştir. Ayrıca, NiO film kalınlığının artmasının difüzyon katsayısı ve renk değişim süresi ile ters, geçirgenlik modülasyonu ve renklendirme verimliliği ile ise doğru orantılı olduğunu; kullanım alanına göre parametrelerin optimize edilmesi gerektiğini belirtmişlerdir.

Otomotiv sektöründe son yıllarda kullanım alanı bulan bir diğer cam türü kalkojenit camıdır. Özellikle IR ışın geçirgenliği nedeniyle tercih edilen kalkojenit camlar taşıtlarda kapalı hava koşullarında sürüş yardımı sağlamak amacıyla değerlendirilmiştir. Otomotiv sektöründe kullanılmak üzere germanyum içermeyen kalkojenit camlar geliştirilmesi amacıyla yapılan bir çalışmada As₂Se₃ camı içerisinde kükürt katkısının etkileri incelenmiş, sonuçta, As₂Se₃ camlarının ısı ve optik özelliklerinin % 2'lik kükürt ilavesi ile ciddi şekilde iyileştirilebildiği ortaya konulmuştur. Kükürt katkısı optik dağılımı ve yansıtma indisinin ısı katsayısını artırarak yüksek performanslı ve düşük maliyetli IR görüntüleme sistemi geliştirilmesine olanak sağlamaktadır. Ayrıca, bu sayede pahalı germanyum elementinin kullanımına da gerek kalmamaktadır [90].

Son yıllarda taşıt farlarında kullanımı artan beyaz LED aydınlatma sistemlerinde mavi çipin sarı veya çoklu kromatik fosfor ile kaplaması kullanılmaktadır. Fosfor organik bağlayıcılar ile uygulanmaktadır. Ancak bu organik bağlayıcıların çalışma koşullarındaki yüksek sıcaklık altında bozunma yaşamaları yüzünden uzun süreli kararlılıkları yoktur. Bunlara alternatif olarak cam-seramik bağlayıcıların kullanımıyla ilgili araştırmalar yapılmıştır. Bunların birinde PbO-B₂O₃-ZnO-SiO₂ cam tozu kullanılarak polikristalin fosfor tozu geliştirilmiş ve karakterizasyonu yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar geliştirilen fosfor tozunun taşıt farlarında kullanılabilir uygunlukta olduğunu ortaya koymuştur [91].

Teknolojinin yanında gelişen çevre bilinci ve buna bağlı ortaya konulan yeni yasalar geleneksel kompozitlerdeki liflerin kullanımı ile ilgili bazı sorunlara sebebiyet verebilmektedir. Bu nedenle araştırmalar doğal liflerin kullanımına odaklanmaya başlamıştır. Yenilenebilir kaynaklardan geri kazanım yoluyla elde edilen doğal lifler düşük maliyetli oluşları, doğada çözünebilirlikleri, düşük spesifik yoğunluk ve yüksek spesifik mukavemet gibi özellikleri ile dikkat çekmektedir. Aynı zamanda değişen yasalarda insanların can güvenliğini koruyabilmek adına otomotivde

endüstrisindeki tekstillerin aleve dayanıklı olması beklenmektedir. Bu tekstillerin üretiminde ise termoset esaslı kompozitler kullanılmaktadır. Kalebek E-cam/pamuk lif katkılı epoksi kompozitlerin alevlenme özelliğini incelemiş, üretim öncesinde ilgili kompozit tekstillerinin alevlenme özelliğini öngörmeyi sağlayacak bir model oluşturmuştur [92].

Zhang ve ark. E-cam ve karbon lif katmanlı 5 farklı tip kompozit üzerinde yaptıkları mekanik testlerde yalnızca cam lif kullanılan kompozitlerin mekanik dayanımlarının artırılması için % 50 oranında karbon lifle birlikte uygulanması gerektiğini tespit etmişlerdir [93].

Esnaola ve ark. [94] otomobillerde çarpışma yapılarında kullanılan cam-polimer kompozitlerinde cam lif dağılımının enerji sönmleme etkisini incelemişlerdir. Çalışma esnasında % 40-60 arasında fiber hacim oranı içeren numuneler test edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde numunelerin 35-40 MPa düzlemler arası kayma gerilimine sahip olduğu ve çatlak ilerlemesi için gerekli enerjinin benzer olduğu, buna istinaden lif hacminin bu anlamda farklılık yaratmadığı görülmüştür. Basma testlerinde 7 katmanlı % 47 lif hacmi ile üretilen numunelerin en yüksek spesifik enerji sönmleme (56 kJ/kg) değeri sergilediği ve bu yoğunluğun üstündeki numunelerin benzer özellikler gösterdiği belirlenmiştir.

Khan ve ark.'nın yaptığı bir araştırmada, düşük hızlarda gerçekleştirilen darbelerin cam/polipropilen kompozitleri üzerindeki etkisi araştırılmış ve darbeye yol açan cismin ucunun konik yapısının panel üzerinde en büyük deformasyonu yarattığı ortaya konulmuştur [95].

10. Sonuç

Otomotiv sektöründe sürekli olarak ağırlık azaltma çalışmalarının devam etmesi araçlarda polimer matrisli kompozitlerin kullanımını arttırmaktadır. Bu durum üstün özellikli cam malzemelerin de araçlarda kullanımının zamanla daha da artacağını göstermektedir. Aynı zamanda hali hazırda uygulanmakta olan camlara teknolojinin gelişmesi ile birlikte yeni özellikler kazandırılmaktadır. Bütün bunlar otomotiv sektöründe cam kullanılan oranını ve camların otomobillerdeki önemini de arttırmaktadır.

Kaynaklar

- [1] Scholze H., Glass: Nature, structure and properties, Springer-Verlag, 1, 1991.
- [2] Karasu B., Bereket O., Biryen E., Sanoglu D., The latest developments in glass science and technology, El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi, 2017, 4.2: 209-233.
- [3] <https://bilgihanem.com/camin-icadi-cam-nedir/> (Erişim Tarihi: 22.12.2018).
- [4] Buruga K., Kalathi J. T., Performance of halloysite nanotube/poly (styrene-co-methylmethacrylate) nanocomposite coatings for the protection of soda-lime glass, Journal of Alloys and Compounds, 2019, 774: 370-377.
- [5] Fraga D. et al., Developing CIGS solar cells on glass-ceramic substrates, Materials Letters, 2018, 221: 104-106.
- [6] Shim G. et al., Experimental and numerical evaluation of transparent bulletproof material for enhanced impact-energy absorption using strengthened-glass/polymer composite, Composites Part B: Engineering, 2016, 97: 150-161.
- [7] Açıksarı C., Karasu B., Akıllı camlar ve teknolojik gelişimleri, El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 5.2: 437-457.
- [8] Karasu B., Yanar A. O., ve Ak G., Metalik camlar, Şişecam Teknik Bülten, 2017, 45(231): 5-17.
- [9] Yılmaz R., Karasu B., Havacılık ve uzay endüstrisinde kullanılan camlar, Şişecam Teknik Bülten, 2017, 45(231)-2: 5-14.
- [10] <http://www.asiaglass.com.tr/Sayfa/Detay/94/enkapsule-camlar> (Erişim Tarihi: 22.12.2018).

- [11] <http://www.antikalar.com/beykoz-camlari-cesmibulbuler/> (Erişim Tarihi: 22.12.2018).
- [12] <https://www.google.com/search?ei=93AvXIf6BcO-aeLvisgO&q=cam+merdiven+korkuluk&oq> (Erişim Tarihi: 22.12.2018).
- [13] <http://www.eczanesantral.com/optik/> (Erişim Tarihi: 22.12.2018).
- [14] <https://www.gninsaat.com.tr/buzlu-camlar-ve-telli-buzlu-camlar> (Erişim Tarihi: 22.12.2018).
- [15] Herndon G. et al., Automotive side glazing failure due to simulated human interaction, *Engineering Failure Analysis*, 2007, 14.8: 1701–1710.
- [16] Farzana R., Rajarao R., Sahajwalla V., Characteristics of waste automotive glasses as silica resource in ferrosilicon synthesis, *Waste Management & Research*, 2016, 34.2: 113–121.
- [17] Wallenberger F. T., Bingham P. A., *Fiberglass and glass technology energy–friendly compositions and applications*, Springer, 2010.
- [18] <https://www.donanimhaber.com/Gorilla-Glass-artik-otomobillerde--88563> (Erişim Tarihi: 22.12.2018).
- [19] <http://www.arabateknikbilgi.com/bilinmesi-gerekenler/dikiz-aynasi/> (Erişim Tarihi: 22.12.2018).
- [20] <https://www.tasit.com/araba-sozlugu/panoramik-cam-tavan-nedir> (Erişim Tarihi: 22.12.2018).
- [21] <https://montanaledger.com/global-glass-fiber-in-automotive-composites-market-size-2018-cpic-johns-manville-jushi-group-lanxess-owens-corning/> (Erişim Tarihi: 22.12.2018).
- [22] <https://www.lfrt-plastic.com/news/why-car-front-end-modules-love-long-glass-fibe-11182003.html> (Erişim Tarihi: 22.12.2018).
- [23] Glass and glazing—a guide to historic glass, <http://www.rmears.co.uk/our-publications/glass-and-glazing/> (Erişim Tarihi: 26.12.2018).
- [24] Nascimento, M. F., Brief history of the flat glass patent—Sixty years of the float process, *World Patent Information*, 2014, 38: 50–56.
- [25] Richard S., Glass tips from stained glass supplies, <http://glasstips.blogspot.com/2008/08/float-glass.html> (Erişim Tarihi: 19.12.2018).
- [26] Anghel M., Glass guide, *Mustang Monthly Magazine*, 2016, 32–38.
- [27] Matheson H. W., Skirrow F. W., Vinyl ester resins and process of making same, USA Patent: 725, 362, 1927.
- [28] Zhang X. et al., Temperature effects on the low velocity impact response of laminated glass with different types of interlayer materials, *International Journal of Impact Engineering*, 2019, 124: 9–22.
- [29] Xu J., Li Y., Impact behavior and pedestrian protection of automotive laminated windshield theories, experiments and numerical simulations, Springer, 2019.
- [30] Indiamart, <https://www.indiamart.com/proddetail/laminated-glass-11403032588.html>. (Erişim Tarihi: 19.12.2018).
- [31] Xu, J., Li, Y., Impact behaviour and pedestrian protection of automotive laminated windshield, *Manufacturing of Autootive Laminated Windshields*, Singapore, Springer, 21–37, 2018.
- [32] <http://www.sisecamduzcam.com/tr/faaliyet-alanlarimiz/otomotiv-camlari/urunler/sisecam-lamine-camlar> (Erişim Tarihi: 22.12.2018).
- [33] <https://tr.depositphotos.com/53690209/stock-photo-broken-windshield-of-car-by.html> (Erişim Tarihi: 22.12.2018).
- [34] <https://tr.depositphotos.com/53690209/stock-photo-broken-windshield-of-car-by.html> (Erişim Tarihi: 22.12.2018).
- [35] Chen S. et al., Numerical analysis of impact failure of automotive laminated glass: A review, *Composites Part B: Engineering*, 2017, 122: 47–60.
- [36] Bird G., Glass ceilings, *Interior Motives*, 2007, 50–52.
- [37] Nunez, A., Auto blog, <https://www.autoblog.com/2006/06/16/vauxhall-astra-panoramic-lets-drivers-soak-up-the-sun/> (Erişim Tarihi: 27.12.2018).
- [38] Gocha A., Ross A., Oney F., De Guire E., What's in and on that car?, *American Ceramic*

- Society Bulletin, 2017, 96, 9: 10–23.
- [39] Cleay T., Hutten T., Bhatia V., Qaroush Y., Mc Farland M., How an innovative combination of materials can enable better car windows today, American Ceramic Society Bulletin, 2017, 96, 4: 20–27.
- [40] Xu J., Li, Y. B., Chen X., Ge D. Y., Liu B. H., Zhu M. Y., Park T. H., , Automotive windshield–pedestrian head impact: Energy absorption capability of interlayer material, International Journal of Automotive Technology, 2011, 12, 5: 687–695.
- [41] Erdem I. Guldiren D., Aydın S., Chemical tempering of soda lime silicate glasses by ion exchange process for the improvement of surface and bulk mechanical strength, Journal of Non–Crystalline Solids, 2017, 473: 170–178.
- [42] He J. Q. et al., Study on force distribution of the tempered glass based on laser interference technology, Optik–International Journal for Light and Electron Optics, 2015, 126.24: 5276–5279.
- [43] Akçay M., Oto cam temperleme işleminde farklı ısıtma ve soğutma sıcaklıkları için optimum akış karakteristiklerinin ve temper kalitesinin belirlenmesi, Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2014.
- [44] <http://etiglass.com/tr/resimler/6/temperli-cam> (Erişim Tarihi: 22.12.2018).
- [45] Tandon R., Glass S. J., Fracture initiation and fragmentation in chemically tempered glass, Journal of the European Ceramic Society, 2015, 35.1: 285–295.
- [46] Wurm J., Glass structures design and construction of self–supporting skins, Birkhauser Verlag, 2007.
- [47] Destin glass, <http://destinglass.com/tempered-safety-glass/>. (Erişim Tarihi: 19.12.2018).
- [48] Monnoyer F., Lochegnies D., Heat transfer and flow characteristics of the cooling system of an industrial glass tempering unit, Applied Thermal Engineering, 2008, 28, 17–18: 2167–2177.
- [49] Fam A., Rızkalla S., Structural performance of laminated and unlaminated tempered glass under monotonic transverse loading, Construction and Building Materials, 2006, 20.9: 761–768.
- [50] <http://www.bycunited.com/is-l-cam-temperleme.html> (Erişim Tarihi: 22.12.2018).
- [51] Li X. et al., Correlation between K^+Na^+ diffusion coefficient and flexural strength of chemically tempered aluminosilicate glass, Journal of Non–Crystalline Solids, 2017, 471: 72–81.
- [52] <http://www.bycunited.com/kimyasal-cam-temperleme.html> (Erişim Tarihi: 22.12.2018).
- [53] Kaçar U., Otomotiv camlarının temperlenmesi ve şekillendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2008.
- [54] Uniform provisions concerning the approval of safety glazing materials, United Nations, UN European Economic Council, Addendum 42: Regulation No. 43, 2012.
- [55] Yoneda T., Yasuhiro S., Morimoto T., Sol–gel coatings applied to automotive windows, Handbook of Sol–Gel Science and Technology, Springer International Publishing AG, 2239–2253, 2018.
- [56] Morgan J. F., Blanco M., Sythesis study of light vehicle non–planar mirror research, USA, Department of National Highway Traffic Security, 2010.
- [57] Chang C. W., Sun H. Y., Horng C. T., Lee C. H., Huang S. Y., Progressive rear–view mirror for motorcycles, Optics Express, 2016, 24: 29283–29294.
- [58] Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Konseyi, Uniform provisions concerning the approval of devices for indirect vision and of motor vehicles with regard to the installation of these devices, United Nations, UN European Economic Council, 2010, <http://www.unece.org/trans/main/wp29/wp29wgs/wp29gen/wp29fdocstts.html>.
- [59] Heusing S., Aegerter M. A., Sol–gel coatings for electrochromic devices, Handbook of Sol–Gel Science and Technology, Springer, 2745–2792, 2018.
- [60] Hermann D. S., Automotive displays–trends, opportunities and challenges, 25th International Workshop on Active–Matrix Flatpanel Displays and Devices (AM–FPD), Kyoto, 2018.

- [61] Wördenweber B., Wallaschek J., Boyce P., Hoffman D. D., Automotive lighting—state of the art, *Automotive Lighting and Human Vision*, Springer–Verlag Berlin Heidelberg, 95–261, 2007.
- [62] Robert Bosch GmbH, Electrical and electronic systems in the vehicle, Bosch Professional Automotive Information, Wiesbaden, Springer Vieweg, 10–69, 2014.
- [63] Sanjay M. R., Arpitha G. R., Yogesha B., Study on mechanical properties of natural–glass fibre reinforced polymer hybrid composites: A review, *Materials Today: Proceedings*, 2015, 2, 4–5: 2959–2967.
- [64] Launay A. et al., Modelling the influence of temperature and relative humidity on the time–dependent mechanical behaviour of a short glass fibre reinforced polyamide, *Mechanics of Materials*, 2013, 56: 1–10.
- [65] Malpot A., Touchard F., Bergamo S., Effect of relative humidity on mechanical properties of a woven thermoplastic composite for automotive application, *Polymer Testing*, 2015, 48: 160–168.
- [66] Brown K. A., Brooks R., Warrior N. A., The static and high strain rate behaviour of a commingled E–glass/polypropylene woven fabric composite, *Composites Science and Technology*, 2010, 70.2: 272–283.
- [67] Nikforooz M. et al., Processability and tensile performance of continuous glass fiber/polyamide laminates for structural load–bearing applications, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 2018, 105: 156–164.
- [68] Gratzl T. et al., Influence of the automotive paint shop on mechanical properties of continuous fibre–reinforced thermoplastics, *Composite Structures*, 2019, 208: 557–565.
- [69] Teixeira D. et al., Influence of flow restriction on the microstructure and mechanical properties of long glass fiber–reinforced polyamide 6.6 composites for automotive applications, *Materials & Design*, 2013, 47: 287–294.
- [70] Esnaola A. et al., Quasi–static crush energy absorption capability of E–glass/polyester and hybrid E–glass–basalt/polyester composite structures, *Materials & Design*, 2015, 76: 18–25.
- [71] Deloglu M. et al., Environmental and economic life cycle assessment of a lightweight solution for an automotive component: A comparison between talc–filled and hollow glass microspheres–reinforced polymer composites, *Journal of Cleaner Production*, 2016, 139: 548–560.
- [72] Zhai Z., Jiang B., Drummer D., Strain rate–dependent mechanical behavior of quasi–unidirectional E–glass fabric reinforced polypropylene composites under off–axis tensile loading, *Polymer Testing*, 2018, 69: 276–285.
- [73] Esnaola A. et al., Effect of fibre volume fraction on energy absorption capabilities of E–glass/polyester automotive crash structures, *Composites Part B: Engineering*, 2016, 85: 1–7.
- [74] H. Lee, M. Huh, S. Kang, and S. Il Yun, Compressive behavior of automotive side impact beam with continuous glass fiber reinforced thermoplastics incorporating long fiber thermoplastics ribs, *Fibers Polym.*, 2017, 18, 8: 1609–1613.
- [75] Sureshkumar M. et al., Design, fabrication, and analysis of a hybrid fiber composite monoleaf spring using carbon and E–glass fibers for automotive suspension applications, *Mechanics of Composite Materials*, 2014, 50, 1: 115–122.
- [76] Lagel M. C. et al., Automotive brake pads made with a bioresin matrix, *Industrial Crops and Products*, 2016, 85: 372–381.
- [77] Park S. W., Choi J. H., Lee B. C., Multi–objective optimization of an automotive body component with fiber–reinforced composites, *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 2018, 58: 2203–2217.
- [78] Esnaola A. et al., Design, manufacturing and evaluation of glass/polyester composite crash structures for lightweight vehicles, *International Journal of Automotive Technology*, 2016, 17.6: 1013–1022.
- [79] Friedrich K., Almajid A. A., Manufacturing aspects of advanced polymer composites for automotive applications, *Applied Composite Materials*, 2013, 20: 107–128.

- [80] Ayrılmış N. et al., Coir fiber reinforced polypropylene composite panel for automotive interior applications, *Fibers and Polymers*, 2011, 12, 7: 919.
- [81] Haffelin D. et al., Series production of fiber composite safety components for the automotive industry, *Lightweight Design Worldwide*, 2018, 11, 6: 46–51.
- [82] Pickerill K., Disk brake construction, *Classroom Manual for Automotive Brake Systems*, Cengage Learning, 163, 2014.
- [83] Davis M. J., Vullo P., Kocher M., Hovhannisyanyan M., Letz M., Piezoelectric glass–ceramic for high–temperature applications, *Journal of Non–Crystalline Solids*, 2018, 501: 159–166..
- [84] Endoh H., Separators for automotive lead/acid batteries: Selection of suitable types for different climate zones, *Journal of Power Sources*, 1996, 59: 51–55.
- [85] Kramm U. I., Bogdanoff P., Fiechter S., Polymer electrolyte membrane fuel cells (PEM–FC) and non–noble metal catalysts for oxygen reduction", *Fuel Cells*, New York, Springer, 519–575, 2013.
- [86] Kamitani K., Teranishi T., Development of water–repellent glass improved water–sliding property and durability, *Journal of Sol–Gel Science and Technology*, 2003, 26, 823–825.
- [87] Nagashima S., Moon M., Diamond–like carbon coatings with special wettability for automotive applications, coating technology for vehicle applications, Springer, 191–202, 2015.
- [88] Taga Y., Recent progress in coating technology for surface modification automotive glass, *Journal of Non–Crystalline Solids*, 1997, 218: 335–341.
- [89] Lee W. C., Choi E. C., Boo J. H., Hong B., A study on characterization of nano–porous NiO thin film to improve electrical and optical properties for application to automotive glass, *Thin Solid Films*, 2017, 641, 28–33.
- [90] Guillevic E., Zhang X., Pain T., Calvez L., Adam J., Lucas J., Guilloux–Viry M., Ollivier S., Gadret G., Optimization of chalcogenide glass in the As–Se–S system for automotive applications, *Optical Materials*, 2009, 31: 1688–1692.
- [91] Ma C., Cao Y., Shen X., Wen Z., Ma R., Long J., Yuan X., High reliable and chromaticity–tunable flip–chip W–LEDs with Ce:YAG glass–ceramics phosphor for long–lifetime automotive headlights applications, *Optical Materials*, 2017, 69: 105–114.
- [92] Kalebek N. A., Flammability behaviour of epoxy composite flets reinforced with recycled E–glass/cotton for automotive applications, *Fibers and Polymers*, 2017, 18, 1: 172–181.
- [93] Zhang J., Chaisombat K., He S., Wang C. H., Glass/carbon fibre hybrid composite laminates for structural applications in automotive vehicles, *Sustainable Automotive Technologies*, Melbourne, 2012.
- [94] Esnaola A., Tena I., Aurrekoetxea J., Gallego I., Ulacia I., Effect of fibre volume fraction on energy absorption capabilities of E–glass/polyester automotive crash structures, *Composites Part B*, 2016, 85: 1–7.
- [95] Khan M. A., Syed A. K., Ijaz H., Shah R. B., Experimental and numerical analysis of flexural and impact behaviour of glass/pp sandwich panel for automotive structural applications, *Advanced Composite Materials*, 2018, 27, 4: 367–386.