

Billur Gibi Duru, Tel Kadar İnce Olabilen Sihirli Madde :

CAM

John EMSLEY

Dört bin beş yüz yıl önce Mısır'ın Eski Kralık devrinde bulunışundan, on dokuzuncu yüzyılın sonlarına gelinceye kadar cam, güzelliği ve kullanılışı açısından sanatçıların ve inşaatçıların ihtiyaçlarını fazlasıyla karşılamıştır. Yirminci yüzyılda ise camın kimyasal yapısı konusundaki araştırmalar yeni tür camların yapımını sağlamış, yeni endüstriler doğurmuştur. Örneğin dayanıklı camı, cam ipliği, cam seramiği ve optik telleri sayalım: Bunlardan sadece optik teller, önümüzdeki on yıl içinde yaşayışımızı değiştirmeye yeter de artar bile!

Aslında cam, şaşılacak derecede basit bir maddedir: Silisyum dioksit ile maden oksitlerinin bir karışımı! Cama sihirli özelliklerini veren, onun atomik yapısıdır. Cam ne tam bir sıvı, ne de kristal yapılı gerçek bir katıdır, ikisinin arasında yer alır. Başka deyimle, katılaşma derecesinin altında dondurulmuş bir sıvıdır. İlk bakışta camın yapısı hayli sağlam gözüktür, an-

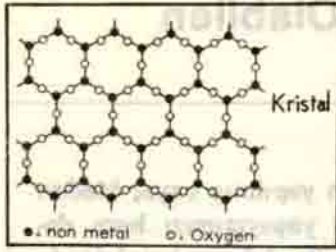
Camdan yapılmış eşya; öteden beri günlük yaşayışımızı hem daha zevkli, hem daha rahat kılmaktadır. Öyle görünüyor ki; cam şimdi de iletişim açlığı çeken dünyamızda haberleri hızla ulaştıracak bir şebekenin can alıcı parçası olacaktır. Şu var ki, bulunışundan günümüze kadar geçen sürede camın kimyasal yapısı sadece ayrıntılarda değişmiştir. Cam, yine de "donmuş sıvı" biçiminde bir inorganik madde olarak kalacaktır.

cak röntgen ışınlarıyla iç yapısını incelersek, diğer katılardaki atomların düzgün kristal dizilişine camda rastlayamayız. Cam atomlarının dizilişi, daha çok bir sıvıdaki rastgele dizilişi andırır. Yalnız, camın kıvamı çok "ağdalı"dır; öyle ki, yerçekiminin etkisi altında bile biçimini hemen hiç değiştirmez. Bu bakımdan aldatacak derecede bir katıya benzer.

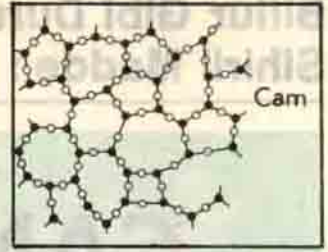
Kimyacılar, kristal yapılı bir katı ile cam arasındaki farkı şöyle açıklarlar: Katıdaki atomların bir genel diziliş düzeni vardır; camın ise yoktur. Genel diziliş düzeni demek; kristaldeki atomların diziliş biçiminin belirli aralıklarla tekrarlanmasıdır. Böyle kristallerden geçen

Camın yapısı, Venedik cam mamulleri ile optik teller arasında geçen dört yüz yıl içinde pek az değişmiştir.





Kuvars gibi kristal yapılı bir cismin karakteristik düzeni (Solda). Eritildikten sonra yapıda meydana gelen düzensizlikler, madde yeniden sertleşince olduğu gibi "dondurulmuş" kalır (Sağda).



röntgen ışınları, sistematik biçimde yansıtılır ve kristal yapısını açığa vururlar. Cam ya da bir sıvıdan geçen röntgen ışınları ise atomların düzensiz dizilişini gösterecek biçimde, her yöne doğru yansıtılırlar. Şekil 1'de kristal ile cam yapısı arasındaki fark, iki boyutlu olarak gösterilmiştir.

Katılaşmak için, bir sıvının serbestçe hareket eden atom ya da moleküllerden yapılmış olması gerekir; öyle ki, bunlar bir kristal "kafes" biçiminde dizilebilsinler. Camda ise bütün etomlar birbirine çekici güçlerle bağlanmışlardır. Bunun sonucunda hareket serbestliğini kaybederler ve oda sıcaklığında, simetrik kristal dizilişine geçmeleri ölçülemeyecek kadar yavaş olur. Eski Mısır Krallığı çağından kalma cam parçaları, o zamandan beri 4000 yıl geçmesine rağmen, henüz kristalleşmemişlerdir. Şu var ki, cam eğer birkaç ay süreyle 600 C dereceye kadar, yani hemen hemen yumuşama derecesine değin ısıtılırsa "cam"lık özelliğini kaybeder ve bulanık bir görünüm alarak kristalleşir. Eğer ısıtılırken cama gümüş, titan veya fosfor gibi bazı maddeler katılırsa, bu süre birkaç saate kadar indirilebilir. Böyle maddeler, çevresinde cam kristallerinin tutunup büyüyeceği bir "çekirdek" vazifesini görürler.

Cam; çoğunlukla kum, kireçtaşı ve sodadan (kimyasal adıyla sodyum karbonattan) yapılır. Kum; hemen hemen saf kuvars, yani SiO_2 'dir. Bu maddede her silisyum atomu, kovalent olarak dört oksijen atomuna çok dü-

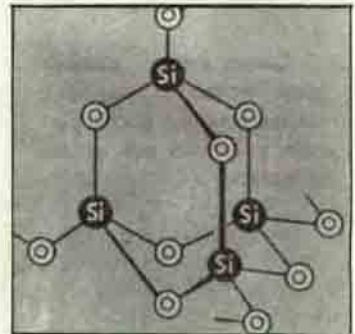
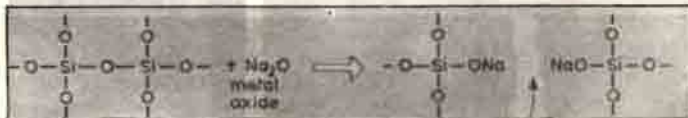
zenli bir kristal biçiminde bağlanmıştır (Şekil 2). Kuvars, + 1710 derecede erir ve bir kere eridi mi, bu düzenli biçimi kaybolur. Eski kavimler herhalde bu dereceye erişememişlerdi, ancak odunkömürü yaktıkları fırınlarda, 1000 C dereceyi bulabiliyorlardı. İşte bu fırınlarda kumun, diğer minerallerle karıştırıldığı zaman eritilip, bir çeşit cam yapılabileceğini öğrenmiş olmaları!

Cama katılan diğer mineraller (tuzlar); kalsiyum karbonat ($CaCO_3$) olan kireçtaşı ve sodyum karbonat (Na_2CO_3) olan sodadır. Mısır, sodyum karbonata doğal halde rastlanabilen ender yerlerden biridir.

Sadece kumla sodyum karbonatı birlikte ısıtırsak, suda eriyebilen sodyum silikat elde ederiz. Eski adı su-camı olan sodyum silikatın formülü Na_2SiO_3 tür.

Camda kalsiyum'un bulunması; onu hem erimez, hem de daha sert bir hale getirir. Eski çağ sanatçıları cam için çok iyi bir karışım bulmuşlardır; bundan dolayı, andığımız sodyum-kalsiyumlu camları yapmak için kullanılan maddelerin oranı, 4000 yıldan beri fazla değişmemiştir. Tipik bir camda (ağırlıkları oranına göre) % 70 SiO_2 , % 15 sodyum oksit (Na_2O), % 10 kalsiyum oksit (CaO) ve % 5 de diğer oksitler bulunur. Aslında sodyum ve kalsiyum, cama karbonatlar biçiminde katılır ve işlem sırasında karbon dioksit (CO_2) kaybederek, sodyum oksit ile kalsiyum oksit haline gelirler. Böyle bir cam 650 C derece civarında yumuşar

Kuvarsin üç boyutlu yapısı (yanda), Sodyum oksidin, bağlantıları nasıl koparıp kuvars camının yapısını zayıflattığı (aşağıda) görülüyor.





Takviyeli oto ön camları bile, bir noktaya gelince çatlayıp parçalanabilirler.

ve bu sayede işlenmesi ile üflenmesi kolaylaşır.

Camda maden oksitlerinin bulunması gereklidir; çünkü bunlar camdaki kimyasal bağlantıları değiştirirler. Bu da camın erime ve "ağdalanma" derecesini düşürür. Her atomun komşu atomlara kovalent olarak bağlandığı üç boyutlu bir yapı çok güçlüdür; nitekim böyle yapıları olan kuvars, milyonlarca yıl iklimin aşındırmasına dayanabilir. Ancak bu bağların bazıları koparılacak olursa, yapı zayıflar. Şekil 2, sodyum ok-



Yerden havaya atılan bir füzenin "göz"üne yerleştirilen bu özel cam, ısı kaynaklarına karşı duyarlıdır.

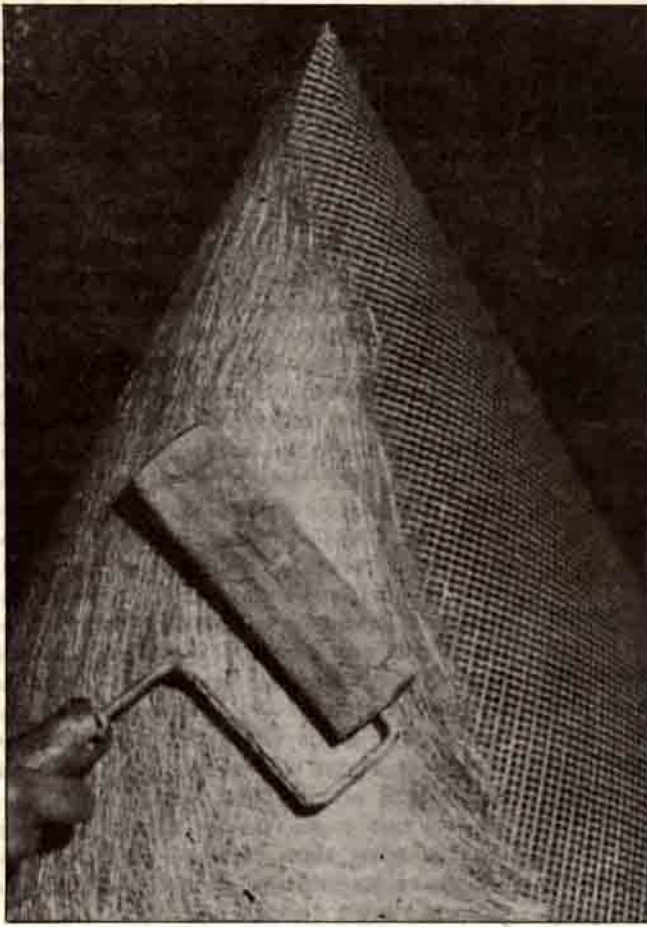


sidin bunu nasıl yaptığını göstermektedir. Camdaki sodyum iyonu çifti (Na^+) veya her bir kalsiyum iyonu (Ca^{2+}) için bir adet Si-O-Si kovalent bağının kopması gerekmektedir. Sonuçta erime noktası düşürülmüş olur. Soda camında bu nokta, saf kuvarsinkinden 1.000 derece daha aşağıdır.

Kural olarak, cam iki bileşkinden oluşmuştur. Bunlardan birincisi, madensel olmayan bir oksittir; buna cam oluşturuca ya da biçimlendirici madde diyoruz. İkincisi ise özellik değiştirici maddedir. Silisyum, cam oluşturan tek eleman değildir; bu iş için bor, alüminyum ve fosfordan da yararlanılabilir. Özellik değiştiriciler, genellikle sodyum, potasyum, kalsiyum ve magnezyumdur; fakat bazı başka özellikler kazandırmak için, öteki metallerden de yararlanılmaktadır. Örneğin kurşun camı, parlaklığı ile tanınmıştır; bu özelliği, kırılma indisinin yüksekliğinden ileri gelmektedir. Anılan camın patentini, 1874 yılında George Ravenscroft almıştır. Ravenscroft, Londra Cam Satıcıları Şirketi tarafından, İngiliz cam sanayiini kurmak ve elverişli yeni ürünler konusunda araştırmalar yapmakla görevlendirilmişti. O sıralarda Venedik, Avrupa cam pazarını elinde tutuyordu. Ravenscroft, bir kuvars çeşidi olan flint'i ortaya çıkardı ve buna saydamlığını artırmak için kurşun oksit kattı. Bu yeni cam çeşidi, istenen boyutta kesilerek daha da güzel biçim verilebildiğinden çabucak tutundu ve özellikle süs eşyası ile sofrata takımı yapımında büyük ölçüde kullanıldı.

Cam, zılda bir sıvı olduğundan, saydamdır. Bir sıvıda içi sınırlar bulunmadığından, camın içinden geçmekte olan bir ışık ışını, kırılma ve yansımaya uğramaz. Işın, sadece camın yüzeyini aşarken hafifçe kırılır. Oksitlerden yapılan camlar, elektromanyetik tayfın görünür ışığa ait bölümünü geçiricidir, çok revaçta olmaları bundan ileri gelir. Erimiş cama bazı katkı metalleri az miktarda eklenerek, camın ışık emme (soğurma) ya da ışık geçirme özellikleri şaşırtıcı biçimde değiştirilebilir. Kobalt eklenirse, mavi cam elde ederiz. Manganez ile mor; krom ile yeşil; bakır ile mavimsi yeşil renk sağlarız. Camdan yapılmış en eski eşya da renkliydi. Bununla birlikte, cama renk verme sanatı, ancak ortaçağda doruğuna erişmiştir.

Cam, normal olarak sarımsı yeşil renktedir, çünkü kumda iz miktarda demir bulunur. Bu da kumda Fe^{2+} iyonlarını oluşturur. Bu yüzden cama manganez dioksit (MnO_2) katılarak renginin giderilmesi gerekir. Manganez dioksit,



Hafif; fakat güçlü bir madde olan cam lifi, önemli bir yapı malzemesidir (yanda). Lens camının kırılma indisini ölçme hazırlığı (aşağıda).



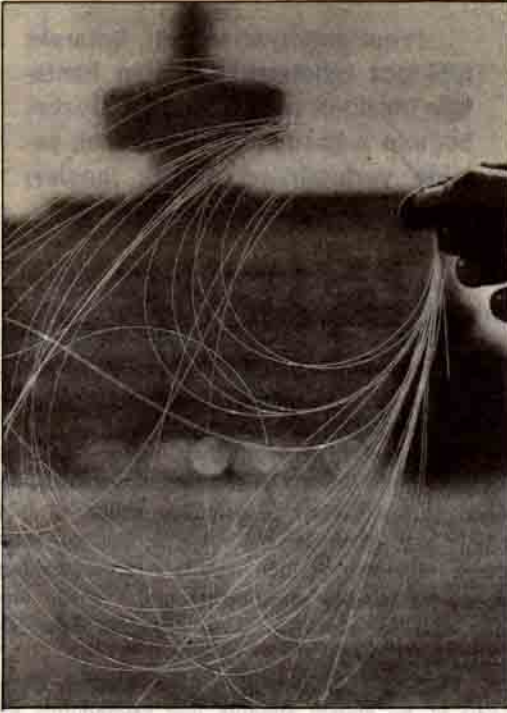
Fe^{2+} 'yi okside ederek, çok daha solgun renkli $FeFe^{3+}$ 'e çevirir. Daha sonra, çok az miktarda selen'in de camın rengini giderdiği anlaşılmıştır; hatta bir ton cam başına 30 gram selen bu işi görmeye yeterlidir. Daha yüksek oranlarda katıldığı takdirde selen, camı kırmızıya boyar.

Birçoğumuzun acı, tecrübelerle öğrendiği gibi, pencerelerde kullanılan soda-kireç camı kolayca kırılıp parçalanabilir ve etrafa dağılan keskin kenarlı cam kırıkları tehlike yaratabilir. Ayrıca, basınç ya da sıcaklıkta meydana gelen ani değişiklikler camı çatlatabilir. Bu sakıncaların giderilmesi için, cam konusunda birçok araştırmalar yapılmıştır. Araştırmacılar, cam oluşturuca maddeye bor katıkları zaman ilk önemli adım atılmış oldu. Bunun sonucunda "pyrex" camı doğdu. Bor yerine alüminyum katılırsa, camın erime derecesi yükseltilmiş ve kimyasal aşındırmaya karşı direnci artırılmış olur. Bu husus, özellikle aşındırma yüzeyinin geniş olduğu cam iplikçiklerden yapılmış optik tellerde önem taşır. Cam teller, doğada Sicilya'daki Et-

na gibi volkanların akıttığı erimiş lavların üzerinde esen rüzgârların etkisiyle, iplikçikler şeklinde havaya savrulmaktadır. Eskiçağda yaşayanlar, bu iplikçiklere "Tanrıça saçı" adını vermek-



Cam; çok dayanıklı, hatta bazen çelikten de güçlü olabilir. 1946'da Detroit Tiger takımından Hank Greenberg, "Herkülit"ten yapılmış bu kapıları, beyzbol sopasıyla kırmayı başaramadı.



Optik teller, istenen optik özellikleri sağlamak için titan ve germanyum ile işlem görmüş hemen hemen saf silisyum oksit (SiO₂)'ten yapılmıştır. İki katlı plastik kılıf, bu cam teli olağanüstü dayanıklı kılar.

teydiler. Günümüzde ise camdan yapılan optik teller, uzun mesafeler arasında haber iletişimi için kullanılmaya başlanmışlardır ve yakında madeni tellerden daha ucuza mal olacaklardır. (Bkz. Söz ışık oluyor. Bilim ve Teknik Temmuz 1979). Optik tellerde iletim aracı olarak, madenden geçen elektrik akımı yerine, camdan geçen ışık ışınlarından yararlanılır. Yansıma açısını, ışığın camdan kaçacağı kritik sınırın altında tutmak şartıyla, bu tellerde ışığa köşeler bile döndürülebilir.

Başka bir şaşırtıcı buluş, cam seramiklerdir. Corning Glass kuruluşunda çalışmakta olan

S.D. Stokey, bir gün, üzerinde uğraştığı cam örneğini yanlışlıkla gece fırında unuttuğu zaman, örneğin saydamlığını kaybettiğini ve görünüşte hiçbir işe yaramaz hale geldiğini gözlemlemişti. Ne var ki, cam örneği aynı zamanda büyük dayanıklılık kazanmış ve üstüne çekiçle vurularak ya da anide ısıtılıp soğutulularak parçalanması hemen hemen imkânsız denecek derecede zorlaşmıştı! Günümüzde cam seramikler, soba, fırın, boru ve elektrik yalıtıcılarında kullanılmaktadır. Hatta, akla gelmeyen yerlerde, örneğin roketlerin huni biçimindeki uç kısımlarında ve uzay doluğunun sıcaklıktan koruyucu tuğlalarında cam seramiğinden yararlanılmaktadır. Cam seramiğinin bulunuşundan önce, vurma ve ısı şoklarına en dayanıklı cam türü, 1930'da Martin Nordberg ile Harrison Wood'un, Corning Glass kuruluşundaki araştırmaları sonucunda geliştirmiş oldukları "Vycor" du. Vycor kuvarsın daha ucuz bir alternatifi idi ve % 96 Si O₂, % 3 bor oksit (B₂ O₃) ve % 1 de diğer oksitlerden oluşuyordu. Vycor, özellikle çok yüksek sıcaklığa dayanıklı konteynerlerin yapımında kullanılmıştır.

Cam araştırmalarında sürprizlerin ardı arkası kesilmiyor. Örneğin Standart Telecommunications laboratuvarlarında araştırmalar yapan Cyril Drake, içinde hiç silisyum dioksit olmayan bir cam çeşidi geliştirmiştir. Bu camda, oluşturucu olarak fosfor oksit, özellik değiştirici olarak sodyum ve kalsiyum kullanılmıştır. Bu cam suda gayet yavaş olarak erimekte ve bu özelliğinden yararlanılarak, ilaç ve gübre gibi bazı maddelerin, anılan camdan yapılmış küreciklere konup, camın giderek erimesi sonucunda kontrollü biçimde azar azar dış ortama verilmesi sağlanmıştır.

Ne yazık ki, cam endüstrisinin geleneksel maddeleri olan cam şişe ve kavanozların yerini, hızla daha güvenli ve daha hafif başka ürünler almaktadır. Böyle giderse, gelecekte camın sanayideki değeri artmaya devam edecek; fakat onu günlük yaşayışımızda daha seyrek olarak görebileceğiz!

New Scientist'ten kısaltarak çev.:

Dr. Ergin KORUR

Söylediklerinizi dinletmek için kimseyi kolundan tutmayın; zira insanlar sizi dinlemek istemiyorsa, onları tutacak yerde, çenenizi tutsanız daha iyi edersiniz.

CHESTERFIELD