

*TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Laboratuvarlarında
Slip Döküm Yöntemiyle Elde Edilen
Çeşitli Yüksek
Teknoloji Seramikleri.*



YÜKSEK TEKNOLOJİ SERAMİK VE KOMPOZİTLERİ

"Yüksek Teknoloji Seramikleri" olarak bilinen endüstriyel amaçlı pek çok alanda kullanılan malzemeler üzerinde TÜBİTAK, Marmara Araştırma Merkezi, Malzeme Bölümü, Laboratuvarları ve İTÜ Kimya Metalurji Fakültesi bünyesinde araştırma ve geliştirme faaliyetleri sürdürülmektedir.

Tarık BAYKARA*, Çetin TOY, Adnan TEKİN****

Üzerinde yaşadığımız Anadolu, tarih boyunca çeşitli uygarlıkların hüküm sürdüğü bir kültür hazinesidir. Arkeolojik bulgular, bu topraklarda hemen her dönemde üstün kalitede seramik yapım ve üretiminin gerçekleştirildiğini göstermektedir. Bugün ise geleneksel seramikler olarak mutfak, temizlik, süs araç ve gereçleri, fayans ve yer döşemeleri türündeki malzemelerin üretimi ülkemizde geniş çapta başarıyla yapılabilmektedir. Bunun yanı sıra uluslararası kuruluşların destek ve katkıları ile gerçekleştirilmekte olan bu çalışmalara zaman zaman dünyaca tanınmış bilim adamları, uzmanlar ve danışmanların da katılımı ile bilimsel ve teknolojik araştırmalar büyük bir hızla devam etmektedir.

Bildiğimiz geleneksel tabak, çanak, çömlek, testi, banyo ve mutfak gereçleri gibi seramiklerden farklı olarak olağanüstü fiziksel, mekanik ve elektronik özelliklere sahip olan bu malzemeler için "İleri Teknoloji Seramikleri", "Mühendislik Seramikleri", "İnce Seramikler", "Yapısal Seramikler" adları da za-

man zaman kullanılmaktadır. Bugün dünya ölçüsünde üzerinde çok geniş araştırmaların yapıldığı bu malzemeler, kimi kompozisyonlarıyla çelikten daha sağlam ve çok daha hafif olarak yüksek teknoloji uygulamalarında kullanılmaktadırlar. H. Garrett De Young, High Technology dergisinde yayınlanan "Yeni Taş Devrine Doğru" başlıklı makalesinde, seramik teknolojisinin günümüzde kazandığı önemin ilginç bir boyutunu da hatırlatıyor(1). Uluslararası bilim âleminin büyük ölçüde bu konuyla ilgilenmeye başlaması, Avustralyalı üç bilim adamı R.C. Garvie, R.H. Hannik ve R.T. Pascoe tarafından 1975 yılında Nature dergisinde yayınlanan "Seramik Çelik" başlıklı makaleleriyle oldu(2). Bu yazılarında üç bilim adamı, zirkonyum oksit esaslı seramiklerin tıpkı çeliklerin sahip olduğu "mertensitik dönüşüme" benzer bir mekanizma ile kırılma eğilimlerinin iyileştirilebileceğini ortaya koyuyorlardı. Bugün artık günümüz modern toplumlarında, zirkonyum oksitten yapılmış makas, bıçak gibi ev âletleri ile endüstriyel kesme bıçaklarının kullanılması gerçekleşmiş bulunmaktadır.

Genelde yapısal amaçlı yüksek teknoloji seramikleri olarak oksit seramikler grubunda alüminyum oksit, zirkonyum oksit dikkat çekerken, oksit-olmayan seramikler grubunda silisyum nitür, silisyum karbür,

* TÜBİTAK, Marmara Araştırma Merkezi Malzeme Araştırma Bölümü Gebze, Kocaeli.

** İTÜ Kimya Metalurji Fakültesi İstanbul.

bor karbür, bor nitrür, titanyum diborür gibi üstün özellikli malzemeler bulunmaktadır. Bu malzemeler hafiflikleri ve yüksek sertliklerinin yanı sıra üstün ısı ve korozyon dayanımları, üstün yüzey özellikleri, bazı elektriksel özellikleriyle değişik endüstriyel alanlarda kullanılmaktadırlar. Tablo 1'de bazı yapısal amaçlı yüksek teknoloji seramik malzemelerin özellikleri belirtilmektedir.

Yüksek teknoloji seramikleri kimya, petro-kimya, uzay-havacılık, makine, metal kesme ve işleme, otomotiv, silâh, tekstil, elektrik-elektronik, optik, elektro-optik, tıp, bilgisayar alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Tablo 2'de bu malzemelerin kullanım alanları özet olarak gösterilmiştir (3). Ayrıca Şekil 1'de yapısal amaçlı olarak çeşitli uygulamalarda kullanılan yüksek teknoloji seramiklerinden örnekler gösterilmektedir.

TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi laboratuvarlarında yürütülen proje çalışmalarında, bu konuda ülkemizin ihtiyacı olan teknolojik bilgi birikiminin sağlanarak ülke endüstrisine aktarılması amaçlanmıştır. Tekstil seramikleri olarak bilinen yüksek alüminyum oksit içeren malzemeler, bu laboratuvarlarımızda pilot çapta üretilip çeşitli kuruluşlarımızda denenmektedir. İTÜ Kimya-Metalurji Fakültesi Metalurji Mühendisliği Bölümü'nde gerçekleştirilen projelerde de ileri teknolojik seramik malzemelere dönük bilimsel ve uygulamalı çalışmalar yapılmaktadır. Bunlardan savunma sanayimize dönük olarak gerçek-

Tablo 1: Bazı Yüksek Teknoloji Seramiklerinin Özellikleri

Malzeme	Ergime Sic. °C	Yoğunluk g/cc	Mukavemet MPa	Elastik Modül GPa	Sertlik kg/mm ²	Tokluk K _{IC}
Pencere Camı	500	2,2	48	7,2	650	0,5
Al ₂ O ₃	~2050	3,96	250-300	36-40	1000-1800	4,5
ZrO ₂	~2700	5,6	113-130	17-25	1200	6-9
SiC	~3000	3,2	310	40-44	2800	3,4
Si ₃ N ₄	~1900	3,24	410	30,7	1300	5,0
WC	~2700	15,7	350-550	54-70	2000	5-8

leştirilen bor karbür zırh plâkaları en önemlilerindedir. Bu malzemeler özellikle askeri amaçlı hava taşıtlarının (uçak, helikopter gibi) korunmasında, düşük yoğunluk ve yüksek sertlikleri (2,54 g/cc, 4500 kg/mm²) nedeni ile tercih sebebidirler. Bunun yanı sıra Marmara Araştırma Merkezi'nde, seramik kesici uç üretimi, aşınmaya ve korozyona dayanımlı seramik plazma spray kaplama uygulamaları, yüksek sıcaklıklara dayanımlı pota, kruze, tüp üretimi ve diğer çok amaçlı aşınmaya dayanıklı parçaların üretimi gerçekleştirilmektedir. İTÜ'de gerçekleştirilen diğer bir çalışmada ise, doğal bir atık hammadde olan pirinç kabuklarından yüksek teknolojik bir seramik malzeme olan "silikon nitrür" toz sentezi gerçekleştirilmiştir. Özellikle kesici takım uçları ve motor porçaları yapımında kullanılan bu üstün özelliklere sahip malzeme üzerindeki çalışmalar sürdürülmektedir. Marmara Araştırma Merkezi'nde çalışılan alümina seramik üretim süreçlerinde, ülke hammadde kaynağı olarak Etibank Seydişehir Alüminyum Müesseselerimizde üretilen alüminyum oksit yan ürünü değerlendirilmektedir. Diğer şekillerde bu laboratuvarlarımızda gerçekleştirilen yüksek teknoloji seramik örneklerinden bazıları görülmektedir. Yine ülkemiz hammadde kaynaklarının kullanılmasına örnek olarak, İTÜ'de Ereğli Demir-Çelik İşletmeleri yan ürünü olan demir sülfattan manyetik ses ve bilgi kayıt cihazlarında kullanılan gama-demir oksit esaslı seramik tozlar üretilmektedir.

Genelde işlenme, kesme ve düzeltmeleri hayli zor olduğu için yüksek teknoloji seramiklerinin üretimleri seramik tozların ön şekillendirilmesinden başlayarak son şekilli ürünün oluşturulmasına kadar bir dizi süreçle yapılabilmektedir. Seramik malzemelerin iç yapıları incelendiğinde, atomları birbirine tutan bağların doğaları gereği bir hayli güçlü olmasına karşın, uygulanan bir gerilim altında plastik bir bozunumdan ziyade boşluk ve hataların oldukları yerden kolayca kırıldıkları bilinmektedir. Bu "kırılganlık" özelliklerinin iyileştirilmesi için yoğun bilimsel araştırmalar yapılmaktadır. Seramik bilim ve mühendisliği, hatasız ve boşluksuz yapılar ortaya çıkarabilecek üretim tekniklerinin geliştirilmesi üzerinde çalışmaktadır. Bunun yanı sıra seramik malzemeler parçacıklarla, elyaflarla, kıl kristallerle (whiskerler), plâkacıklarla (platelets) takviyeli olarak birden fazla sistem içeren kompozitler şeklinde üretilerek



Şekil 1: Çeşitli Endüstriyel Uygulamalarda Kullanılan Yüksek Teknoloji Ürünleri.



Şekil 2: TUBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Laboratuvarlarında Üretilen Çeşitli Yüksek Teknoloji Seramik Ürünler.

mekanik özelliklerinin geliştirilmesine çalışılmaktadır. Çağdaş teknolojinin eriştiği bu aşamada, malzeme katman katman, bölge bölge tasarlanılarak kullanımında istenen özelliklere uygun malzemeler geliştirilebilmektedir (4).

Yüksek teknoloji seramik ve kompozit malzemenin üretim aşamaları basit olarak şu şekilde sıralanabilir:

1. Toz Sentez ve Hazırlama
2. Yaş Şekil Verme
3. Pişirme (Sinterleme)
4. Test, Analiz ve Kontrol

Yüksek teknoloji seramik tozları, son derece ince boyutlarda olmak zorundadır. Bu niteliğinden ötürü bu konuda teknolojiyle dünyada liderliği elinde bulunduran Japonlar bu malzemelere "İnce Seramikler (Fain Seramikussu)" demektedirler. Bu tozlar ne kadar ince olursa, malzemenin içerisinde daha az hata olmasına sebep olurlar. Fakat toz boyutunun ufalması ile ortaya çıkan teknolojik problemlerin de dikkatli çalışmalarla çözülmesi gerekmektedir. Bunun yanı sıra tozların yüksek saflıkta olmaları zorunludur.

Tablo 2: Yüksek Teknoloji Seramiklerin Uygulama Alanları

ENDÜSTRİ	UYGULAMA
Kimya	Kapak, izolator, o-ring ısı değiştiriciler, pompa başlığı, yanma nozülleri
Otomotiv	Turboşarj rotoları, itme rot uçları, piston çepeleri, benzin ayar sensörleri
Üretim	Tel çekme kalıpları, sentetik elyaf yönlendiricileri, kesici takım uçları bilyeler, yüzey referans takımları
Uzay-Havacılık	Roket nozülleri uçak jurnalleri biyeli yataklar
Savunma	Kurşun geçmez zırh tank ve helikopter zırhları
Tıp	Suni kemik, biyo-aktif camlar, dolgu malzemesi, diş kemik protezleri ve bağlantı aksamları



Şekil 3: TUBİTAK Marmara Araştırma Merkezi'nde Enjeksiyon Kalıp Yöntemi İle Elde Edilen Seramik Malzemeler.

Yüksek teknoloji seramiği olacak kalitede hazırlanan tozlar daha sonra yaş veya kuru şekillendirme için çeşitli yöntemlerle sıkıştırılırlar. Bu yöntemler şunlardır:

- A- Soğuk Presleme
- B- Soğuk İzostatik Presleme
- C- Slip Döküm
- D- Enjeksiyon Kalıplama
- E- Ekstrüzyon Presleme
- F- Sol-Gel Teknikleri

Bu yöntem ve tekniklerle seramik tozlar en sıkı biçimde paketlenerek şekillendirilirler. Teker teker bütün tozların arasında hiçbir boşluk kalmayacak ölçüde sıkıştırılması, bu teknolojinin en önemli aşamalarındandır. Yaş şekil verilen malzemeler daha sonra yüksek sıcaklıklarda pişirilerek, sıkıştırılan toz parçacıkların birbirlerine "kaynaştırılması" sağlanır. Bu aşamaya "sinterleme" süreci adı verilir. 1400°C ve üstündeki sıcaklıklarda bir ya da iki saat tutulan malzemeler, orijinal boyutlarından çekerek büzülür ve yoğunlaştırılırlar. Bu süreç esnasında, malzeme içerisinde kalan boşluklar bünyeden atılarak tamamen teorik yoğunluğa yakın son ürün elde edilmiş olur. Bazı yüksek teknolojik uygulamalarda şekil verme ve sinterleme süreçleri "sıcak presleme" ve "sıcak izostatik presleme" yöntemleri olarak birleştirilerek, çok daha yoğun malzemelerin üretilmesi sağlanabilir. Üretilen malzemelerin iç yapısı, yüzey ve mekanik özelliklerinin muayenesi bir dizi deneyler sonunda gerçekleştirilir. Malzemeler daha sonra uygulamalarda performans testine tabi tutularak verimleri ve kullanım ömürleri tespit edilir. TUBİTAK Marmara Araştırma Merkezi seramik laboratuvarlarında ve İTÜ Kimya-Metalurji Fakültesi'nde yukarıda belirtilen yüksek teknoloji seramik üretim süreçleri her aşamasıyla incelenmekte, üzerinde çalışılan seramik ve kompozit sistemler araştırılarak ilot son-ürün yapımları gerçekleştirilmektedir. Her türlü test, analiz ve karakterizasyon muayenesi yapılarak uygulamaya hazır seramik ürünler ortaya konulmaktadır (5).

Bugün otomobillerde benzin veriminin kontrolü için seramik sensörler kullanılmaktadır. Artık son model arabalar gittikçe artan oranlarda seramik parça ve aksamlara sahip daha hafif ve motor verimi da-

RENKLİ KUARKLARIN KANITI

Avrupa Parçacık Fiziği Araştırma Merkezi CERN'de yapılan son deneylere göre, kuark ve gluon denen parçacıkların yer aldığı kuantum kromodinamik kuramı (QCD), doğanın "şiddetli" nükleer etkileşmesinin iyi bir tanımıdır. Yüksek enerjilerde elektron ve pozitron demetleri hızla birbirine çarpınca meydana gelen parçacık yağmurları, rakip teorilerden hiçbiri ile değil, yalnız QCD ile açıklanabilir.

Şiddetli etkileşme doğanın dört kuvvetinden biridir. Diğerleri ise kütle çekimi, elektromanyetik kuvvet ve zayıf etkileşmedir. "Nükleon"ları (atom çekirdeğindeki protonlar ve nötronlar) bir arada tutar; aslında kuvvetli etkileşmenin bu parçacıkları oluşturan kuarklar seviyesinde etkin olduğu düşünülmektedir.

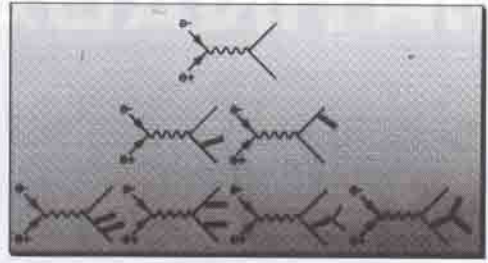
Güçlü etkileşme teorisi aynı zamanda kuantum renk dinamiği olarak da bilinir ve bu da çok başarılı olan elektromanyetik teori ve kuantum elektrodinamiği (QED) örnek alınarak yapılmıştır. İsimdeki "kromo" (renk) sözcüğünün kullanılmasının nedeni kuarkların, fizikçilerin "elektrik yükü"nden ayırmak için "renk yükü" olarak isimlendirdikleri bir özellik taşımalarıdır.

QED'de, yüklü parçacıklar, elektromanyetik alanın parçacıkları olan foton alışverişinde bulununca elektrik güçleri ortaya çıkar. Bunun gibi, QCD'de de, şiddetli kuvvet, şiddetli alanın parçacıkları olan gluonların "renkli" kuarklar arasındaki değişimiyle ortaya çıkar.

Fakat elektromanyetik teori ile QCD arasında temel bir fark vardır. QCD teorisi Abelyen değildir. Bu da işlemlerin yapılmasındaki sıranın, etkileşmenin sonucunu değiştirmesi demektir. Matematiksel dilde, Abelyen olmayan işlemler "değişme özelliğini" göstermezler; yani AxB , BxA 'ya eşit değildir.

QCD'nin Abelyen olmayan doğası, üç gluonun bir noktada birbirleriyle etkileşmesini mümkün kılar. Oysa fotonlar bunu yapamazlar. Şiddetli etkileşmenin, Abelyen teorilerinde de üç gluonun etkileşmesi imkânsızdır. CERN'deki araştırmacılar ise şimdi böyle üç gluonlu etkileşmelerin mümkün olduğunu kanıtlarını buldular. Böylece deneyler Abelyen olmayan QCD'yi desteklemektedir.

Almanya'da Aachen'daki Fizik Enstitüsü'nden Thomas Hebbeker, Aachen Üniversitesi'nden gönderilen henüz yayınlanmamış bir makalesinde bunu anlatmaktadır. Bu makale Büyük Elektron Pozitron Çarpıştırıcısında (Large Electron-Positron Collider, LEP) yapılan gözlemlerden faydalanılarak yazılmış. LEP'de çok enerji elektron demetleri kendileriyle aynı de-



Bir elektronla (e-) bir pozitron (e+) karşılaştığında, bir Z⁰ parçacığı (dalgalı çizgi) meydana getirirler. Bu da bir kuark ve bir antikuarka dönüşür (düz çizgiler). Bunun sonucunda kuarklar gluon (kıvrımlı çizgiler) yayarlar. QCD'ye göre, sağ altta görülenler gibi "üç gluonlu etkileşmeler" mümkündür. Bunların kanıtları da CERN'de bulunmuştur.

recede enerji karşı parçacıklarıyla çarpışırlar. CERN'in LEP çarpıştırıcısı içinde ne zaman bir pozitronla bir elektron çarpışsa, bunlar birbirlerini yok ederek Z⁰ olarak bilinen yüksek kütleli fakat kısa ömürlü bir parçacık meydana getirirler.

Daha sonra Z⁰, kuark-antikuark çiftine dönüşür ve tıpkı hızlanmış, yüklü bir parçacığın foton yayması gibi, hızlanmış kuarklar da, gluon jetleri yayarlar. Bundan sonra gluonların kendileri, LEP'de (Aleph, Delphi, L3 ve Opal) olarak bilinen deneylerde detektörlerin gördüğü, ağır parçacık (hadron) yağmurları haline gelirler.

Şekilde, bu türden etkileşmelerin çeşitli meydana gelme olasılıkları görülmektedir. Sağ alt taraftaki şekillerde görülen üç gluonun etkileşmesi de dahil bunların hepsi LEP'de izlenmektedir. Bu deneylerin detayları yalnızca Abelyen olmayan temel renk teorilerinin hassasiyetini onaylamak kalmaz, aynı zamanda doğanın üç "renkten" fazlasına izin vermesi olasılığını da ortadan kaldırır. Deneyler aynı zamanda kuvvetli etkileşmelerin gücü hakkında bir ölçü sağlamaktadır. Bu ölçü de Z⁰ kütesinin karşılığı olan enerjilerde, 0,12'lik bir değeri olan "Bağlanma sabiti" üzerindedir.

Hebbeker, "LEP, üçlü gluon etkileşmesinin var olduğunu gösteren bir kanıt sağlamış ve bağlanma kuvvetinin de QCD tahminlerine sayısal olarak uyduğunu göstermiştir. Bu da, bizim güçlü etkileşmeler teorisinde QCD'ye olan güvenimiz önemli ölçüde artmasına neden olmuştur" demektedir.

**New Scientist, 9 Ekim 1991'den çev.:
Nur Alpar**

ha yüksek araçlardır. Bu araçlarda, otomobil egzozundan çıkan ve hava kirliliğine neden olan gazlar "katalitik konverter" adıyla bilinen seramik taşıyıcılarla temizlenmektedir. Türbin motorlarında, izolasyonda, diş dolgularında, biyo-malzeme olarak tıp alanında, bilgisayarlarda, kurşun geçirmez zırhlarda yüksek teknoloji seramikleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Böylesine önemli uygulamaları olan bu teknoloji Marmara Araştırma Merkezi ve İTÜ laboratuvarlarında araştırılıp geliştirilmekte ve ülke ekonomisine büyük katkıları olacak bilgi birikimi için yo-

ğun bilimsel faaliyetler yürütülmektedir. Gelecek teknolojisinin en önemli en kritik unsurlarından biri olacak olan "yüksek teknoloji seramikler", geniş çapta üretime dönük bir endüstri kolu olarak ülkemizde yerini almak zorundadır.

KAYNAKLAR

- 1- H.Garrett De Young, High Technology, August 1985, pp 50.
- 2- R.C. Garvie, R.H. Hannik, R.T. Pascoe, Nature, 258, 703, 1975.
- 3- S.B. Bhaduri, F.H. Froes, The Journal of Materials Society, May 1991, pp. 16.
- 4- H.Kent Bowen, Scientific American, October 1986, pp 169.
- 5- T. Baykara, Ç.Toy, Advanced Ceramics and Ceramic Composites, NATO-SFS Project Progress Report, November 1991.