

# Maddenin “İç Evrenini” Tanımlamak: X-Işınları



Wilhelm Conrad Röntgen  
(1845-1923)

X-ışını yansımaları, son yıllarda hızlı gelişim göstermiş analiz yöntemlerinden biridir. Katı maddelerin tanımlanması ve içeriklerinin belirlenmesi için maddeler X-ışınına tabi tutularak “parmak izi” denilen ve her malzeme için özel olan veriler elde edilir. Bu verilerin yorumlanması sonucu maddenin iç yapısı çözümlenmiş olur.

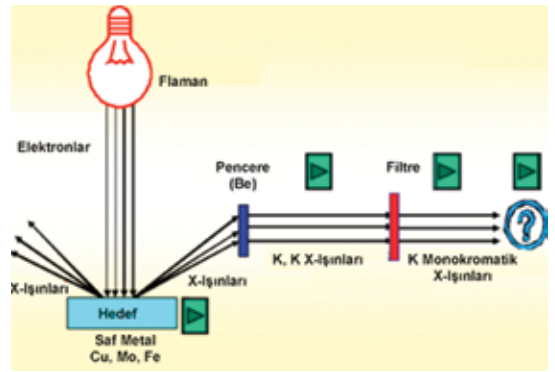
X-ışınları 1895'te Alman fizikçi Wilhelm Conrad Röntgen tarafından bulundu ve Röntgen 1901 yılında bu buluşuyla Nobel Ödülü kazandı. Zaman içerisinde “Röntgen ışınları” olarak anılmaya başlanan X-ışınlarının, farklı kalınlıktaki malzemelerden farklı şiddette geçtiğini gözlemleyen Röntgen, 28 Aralık 1895'te tarihteki ilk tıbbi X-ışını radyografisini (Röntgen filmi) resmen duyurdu. X-ışınları, morötesi ışınlardan daha düşük, gama ışınlarından daha yüksek dalga boyuna sahip düşük enerjili bir ışımdır ve geleneksel ışıktan farklı olarak gözle görülmez.

X-ışınlarının, maddenin içine işleme kabiliyeti fazladır, çeşitli organik maddeler tarafından büyük ölçüde emildiğinden tıpta çok önemli uygulamaları vardır. Radyoskopi, radyografi, tomografi ve radyoterapi bu uygulamalar arasında yer alır. X-ışını yansımaları yöntemi ile malzemelerin içerdiği bileşikler ve miktarları, kristallerin yapısı, amorf (camı) madde miktarı, kristalleşme yüzdesi, kristallerin boyutları ve yönlenmeleri belirlenebilir. X-ışınları ile yapılan malzeme analizleri tahribata yol açmadığı ve hızlı olduğundan birçok endüstri kolunda, özellikle seramik, mineral ve organik malzeme analizlerinde X-ışınları kullanılır.

## X-ışını Yansımaları Nedir?

X-ışını yansımaları, tozda ve katı maddelerde bulunan ve faz olarak bilinen çeşitli kristal formların (bileşiklerin) tanımlanmasını ve nicel olarak miktarlarının belirlenmesini sağlayan çok yönlü, tahribata yol açmayan bir analiz yöntemidir.

Her madde atomlardan oluşur. Atomlar ise maddenin içerisinde belirli dizilimlere sahiptir. Aynı yönde dizilen atomlar düzlemi oluşturur. Birbirlerine paralel iki düzlem arasındaki mesafeye düzlemler arası mesafe denir. Analiz edilecek madde, X-ışını Kırınım Ölçer (XRD) olarak adlandırılan cihazın içine konularak, üzerine istenilen açılarda X-ışını gelmesi sağlanır. Maddeye çarpan X-ışınları, sadece o maddenin içeriğine bağlı olarak, belirli düzlemlerden farklı şiddetlerde yansır. Yansıyan X-ışınları, dedektör (algılayıcı) tarafından algılanır ve bilgisayar ortamında grafiğe çevrilir. Bu grafiklerin, 70.000 fazdan fazla referans grafiğe sahip uluslararası veritabanı (ICDD) ile bilgisayar ortamında veya Hanawalt kitabından kıyaslanmasıyla malzemenin içeriği belirlenir.



Tipik bir X-ışını tüpü içindeki mekanizmanın şeması

## X-ışını Kırınım Ölçer Cihazları (XRD)

XRD sistemi çoğunlukla ağır elementlerden oluşan, katı inorganik ve kristal maddelerin araştırılmasına uygun bir aletsel yöntemdir. Bu yöntem süper iletkenler, seramikler, metaller, alaşımlar, katı çözeltiler, heterojen katı karışımlar, çelik, kaplama malzemeleri, maden, toprak, safsızlık katılmış yarı iletkenler, böbrek ve mesane taşları, bazı boyar maddeler, pigmentler, çimentolar, doğal ve yapay mineraller ile polimerler gibi herhangi bir malzemenin içerdiği bileşiklerin belirlenmesinde, faz diyagramlarının ve faz dönüşümlerinin araştırıl-

masında yaygın kullanım alanına sahiptir. Yaygın olmakla birlikte bazı katı organik bileşiklerin, katı organik polimerlerin, plastiklerin, organik boyar maddelerin analizinde de kullanılmaktadır.

## X-Işını Yansımalarıyla Bileşik Analizi

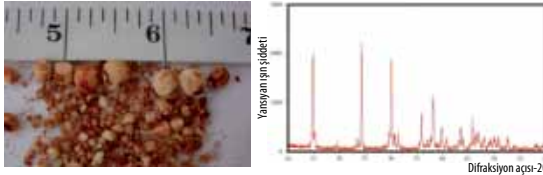
Nitel analiz, bir maddenin içindeki bileşik miktarını değil bileşiğin ne olduğunu tanımlamaya yönelik bir analizdir.

Analiz yöntemi maddelere farklı açılarda X-ışını gönderilmesi ve ışınların belirli şartları sağlayan düzlemlerden yansımaları ilkesine dayanır. Gelen ışın ve yansıyan ışın arasındaki açı (kırınım açısı- $2\theta$ ) ile yansıyan X-ışını şiddeti arasında karşılaştırmalı bir grafik çizilir. Bu grafik, X-ışını difraktogram grafiği olarak adlandırılır. Bu grafiklerdeki yansımaların  $2\theta$  değerleri,

$$n\lambda = 2d\sin\theta \quad (\text{Bragg kanunu})$$

formülünde yerine koyularak yapılan hesaplamalar sonucu, o yansımaya ait "d" (düzlemler arası mesafe) değeri bulunur. Formüldeki n bir tamsayı,  $\lambda$  değeri ise X-ışınının dalga boyunu tanımlar.

En şiddetli tepelerin elde edildiği düzlemlerden yola çıkılarak maddenin içeriği belirlenir. İçerik iste-

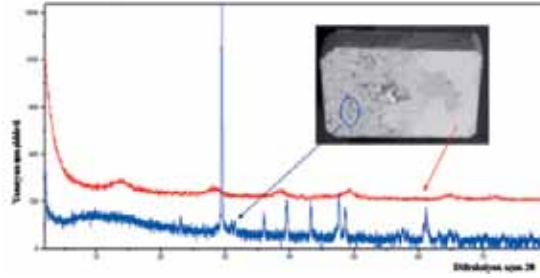


Böbrek taşının görüntüsü (Solda) ve böbrek taşına ait XRD grafiği (Sağda)

nirse miktar olarak da belirlenebilir. Maddenin geçmiş ve içeriği hakkında bilgi veren bu analiz, tıbbi araştırmalarda da destek amaçlı kullanılabilir. Örneğin böbrek taşlarında, böbrek taşından elde edilen difraktogram grafiğinin yorumlanması sonucu elde edilen bileşiğe bağlı olarak, doktorlar hastalarına özel diyet programı uygulayabilir veya taşın oluşumuna sebep olan faktörleri (genetik, ilaç kullanımı, beslenme gibi) irdeleyebilirler.

## Noktasal Faz Analizi / Mikrodifraksiyon

Maddenin farklı bölgeleri değişik özellikler gösterebilir. Daha küçük alanlardan veri toplayabilmek amacıyla, noktasal odaklanmış X-ışını demeti kullanılır. Noktasal faz analizi yöntemi ile cihazdaki kamera yardımıyla istenen bölgeye ışın demeti gönderilerek, minimum 500  $\mu\text{m}$ 'lik (mikrometre) alandan faz analizi yapılabilmektedir. Böylece maddenin tamamı hakkında değil, sadece belli bir bölgesi hakkında bilgi elde edilebilmektedir.



## Farklı Atmosferik Koşullarda Difraksiyon

Atmosferik koşulların değiştirilmesiyle maddelerin içerdiği bileşikler değişim gösterebilir. Cihaz içerisinde sıcaklık ve basınç değerleri değiştirilerek, maddenin yapısında meydana gelen farklılaşma eş zamanlı olarak belirlenebilir.

## Kalıntı Gerilmesi Analizi (Stres)

Gerilme ( $\text{N}/\text{m}^2$  - Newton/metre-kare), maddelerde birim alana düşen kuvvettir. Tüm maddelerin içerisinde belirli gerilmeler olabilir. Bu gerilmeler gözle fark edilemez. Fakat gerilmelerin belli seviyenin üzerine çıkması, kullanım esnasında zamanla maddede bir takım deformasyonların oluşmasına neden olabilir. Dolayısıyla bu gerilmelerin bilinmesi önemlidir. X-ışınları yansımaları yöntemi kullanılarak maddedeki, gözle görülmeyen seviyelerdeki gerilme değerleri ölçülebilir. Bazı uygulamalarda (örneğin makine parçaları), kullanım alanına göre, üretim sırasında maddede özellikle kalıntı gerilmesi oluşturulabilir. Kalıntı gerilmesi ölçümleri malzemelerde kullanım sonrası hasarların nedenlerini anlamakta faydalı olabileceği gibi, bilerek oluşturulmuş gerilmelerde bu gerilmenin kullanım sırasında malzemede yaratacağı problemler önceden izlenerek olası problemler için çözüm önerileri de geliştirilebilir.



Sonuç olarak, maddelerin iç yapılarını tanımlamak, bir maddenin geçmişini öğrenebilmek ve gelecekte kullanılabileceği alanlar hakkında bilgi sahibi olabilmek için kullanılabilecek en hızlı yöntemlerden biri olan X-ışını kırınımı, malzeme bilimi başta olmak üzere başka pek çok bilim dalında araştırmalara ve tanımlamalara öncülük eden, tahribata yol açmayan bir inceleme yöntemidir.

Aynı maddenin farklı bölgelerinden yapılmış noktasal faz analizleri sonucunda elde edilen grafikler