



**Nobel Kimya Ödülü
“Altın Oran” a Sahip
Kuazikristallerin Keşfi**

Dan Shechtman 8 Nisan 1982'de laboratuvarında kendisine 2011 yılında Nobel Kimya Ödülü'nü kazandıracak olan keşfini yaptığında çok şaşkın durumdaydı. Çünkü incelediği kristalin yapısı o zamana kadar imkânsız olarak kabul edilen bir simetri gösteriyordu. Shechtman'ın keşfini bilim dünyasına kabul ettirmesi kolay olmadı. Shechtman'ın zaferi, genel kabulleri sorgulanamaz ve değişmez kabul etmenin, bilimin ilerlemesinin önündeki en büyük engellerden biri olduğuna dair iyi bir ders niteliğinde.

Shechtman keşfini yaptığında laboratuvarında alüminyum manganez alaşımı bir maddeyi inceliyordu. Maddenin yapısını atom düzeyinde anlamak için elektron mikroskobu görüntülerini inceleyen Shechtman her açıdan mantıksız görünen bir manzarayla karşılaştı: Her biri birbirine eşit uzaklıkta on parlak noktadan oluşan iç içe geçmiş halkalar (Şekil 1). Erimiş metali hemen soğuttu ve tekrar inceledi, normalde olacağı gibi hızlı sıcaklık değişiminin atomları tamamen düzensiz hale getirmesini beklerken atomların doğanın kanunlarına aykırı biçimde bir düzen aldığını gördü. Halkalarda dört ya da altı nokta bulunabilirdi ama on olamazdı.

Shechtman'ın deneyini anlamak için dalga girişimiyle ilgili basit bir deney ele alınabilir. Kırınım ağı olarak adlandırılan, üzerine delikler açılmış metal bir levhanın içinden ışık geçirilir. Işık ışınları ağdan geçerken dalgakırandaki bir delikten içeri giren okyanus dalgalarına benzer biçimde kırınır. Ağın diğer ta-

rafında dalgalar yarım daireler biçiminde yayılır ve birbirleriyle keşişir. Dalgaların tepeleri ve çukurları birbirinin etkisini güçlendirir ya da azaltır. Ağın arkasındaki bir ekranda karanlık ve aydınlık bölgelerden oluşan bir kırınım deseni oluşur.

Shechtman'ın elde ettiği görüntü de buna benzer bir kırınım deseni idi ama o ışık yerine elektronları kullanmıştı ve kırınım ağı hızla soğutulmuş metalden oluşuyordu, ayrıca deneylerini üç boyutta gerçekleştirmişti.

Metaldeki atomların kırınım deseni atomların düzenli bir kristal yapı şeklinde bulunduğunu göstermişti. Bunda bir tuhafılık yoktu. Hemen hemen tüm katılar düzenli kristallerden oluşur. Ancak halka şeklinde dizilmiş on parlak noktadan oluşan bir kırınım deseni daha önce görülmemiş bir şeydi. Ayrıca temel kristalografi başvuru kaynağı olan Uluslararası Kristalografi Tablosu'nda da böyle bir kristalin bahsi geçmiyordu. O dönemde bilim, halka şeklinde on nokta içeren bir desenin kesinlikle imkânsız olduğunu kabul ediyordu.

Mantiğa Ters Bir Desen

Bir kristalin içinde atomlar tekrarlı desenler halinde düzenlenmiştir ve kimyasal özelliklerine göre farklı simetriler gösterirler. Şekil 3'te her bir atom tekrarlanan bir desen içinde, birbirine eş üç atom tarafından çevrelenmiş ve üçlü bir simetri oluşmuş. Görüntüyü 120 derece döndürsek aynı deseni elde ederiz. Aynı prensip dörtlü ve altılı simetriler için de geçer-

lidir. Dörtlü simetri gösteren bir deseni 90 derece, altılı simetri göstereni 60 derece döndürürsek yine aynı deseni elde ederiz. Ancak beşli simetride bu mümkün değildir. Çünkü belirli atomlar arasındaki uzaklık diğerlerine göre daha kısadır. Desen kendini tekrar etmez. Bu durum bilim insanları için kristallerde beşli simetri olamayacağını kanıtı sayılıyordu. Aynı şey yedili ve daha üstü simetriler için de geçerliydi.

Ancak Shechtman kırınım deseni bir tam dairenin onda biri kadar yani 36 derece döndürdüğünde aynı deseni elde ediyordu. Dolayısıyla elinde imkânsız olarak kabul edilen onlu bir simetri vardı.

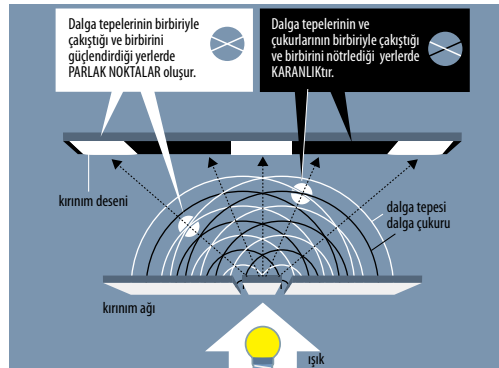
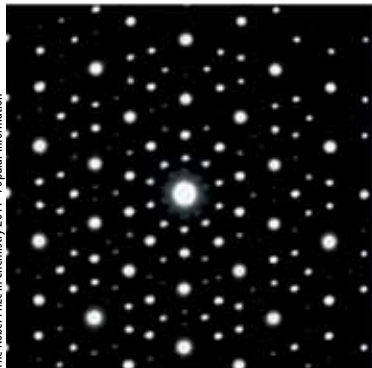
Ders Kitaplarına Ters Düşmek

Shechtman, onlu kırınım deseni tekrar görülene kadar kristali ne kadar döndürebileceğini görmek için elektron mikroskobunda kristali döndürerek gözlemledi. Bu inceleme sonucunda kristalin kendisinin aslında onlu simetriye sahip olmadığını, bunun yerine beşli simetriye dayandığını gösterdi. Sonuçta bilim camiasının varsayımlarında yanlış olduğunu anladı.

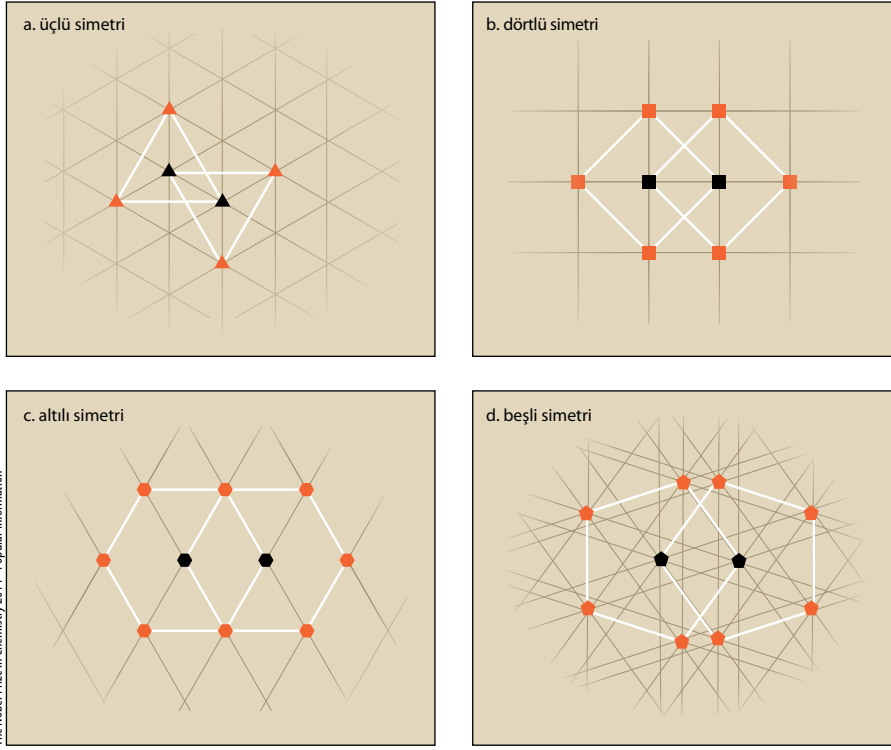
Herhangi bir noktada yanılıp yanılmadığını görmek için deneylerini dikkatli biçimde gözden geçiren Shechtman elde ettiği sonuçtan emindi. Ancak sonuçları başka bilim insanlarıyla paylaştığında çok sert tepkilerle karşılaştı. Hatta meslektaşları onu alaya aldı. Çalıştığı laboratuvarın yöneticisi, Shechtman'a bir kristalografi kitabı vererek okumasını tembihledi. Olaylar tatsız bir hal aldı ve laboratuvarın yöneticisi Shechtman'ın gruptan ayrılmasını istedi.

Yerleşik Bilgiyle Savaşmak

Shechtman, Ilan Bletch adlı bir çalışma arkadaşını bu konuda birlikte çalışmaya ikna edebildi. Birlikte kırınım desenlerini yorumlayıp kristallerin atom yapısı hakkında değerlendirmeler yaparak 1984 yılında *Journal of Applied Physics*'e bir makale yazdılar. Makale editör tarafından kısa sürede reddedildi.



Şekil 1. Dan Shechtman'ın kırınım deseni onlu simetri gösteriyordu: resmi bir dairenin onda biri kadar (36 derece) çevirirsek aynı deseni elde ederiz. Şekil 2. Bir kırınım ağından geçen ışık saçılma uğrar. Oluşan dalgalar birbirleriyle girişime uğrar ve bir kırınım deseni oluşturur.



Şekil 3. Kristallerde farklı türde simetriten görülür. Beşli simetriye sahip bir kristalin deseni kendini hiçbir zaman tekrarlamaz.

Shechtman bu defa John Cahn adlı tanınmış bir fizikçiden çalışmalarını incelemesini istedi. Cahn, Shechtman'ın deneylerinde atladığı bir şey olup olmadığını anlamak için kristalograf Denis Gratias'ın danışmanlığına başvurdu. Gratias ise Shechtman'ın deneylerinin doğru olduğunu sonucuna vardı.

1984 Kasımında Shechtman, Cahn, Blech ve Gratias'la birlikte *Physical Review Letters*'de bir makale yayımlatmayı başardı. Makale kristalografi dünyasına bir bomba gibi düştü. Çünkü o zamanki kristalografinin en temel gerçeği sayılan, tüm kristallerin tekrarlı desenler gösterdiği yargısını sorguluyordu.

At Gözlüğünü Atmak

Shechtman'ın keşfi artık daha geniş kitlelerce duyulmuştu ve daha da fazla eleştiriye hedef olmuştu. Öte yandan tüm dünyada kristalografiler bir çeşit dejavu yaşıyordu. Pek çoğu daha önce araştırmalarında benzer desenlere rastlamış ancak bu desenleri başka şekilde yorumlamıştı. Yeni incelemeler başka türlü, örneğin sekizli kristallerin varlığını ortaya çıkardı.

Shechtman keşfini yayımladığında kristallerinin beşli simetri gösterdiğini biliyordu ancak kristallerin gerçekte neye benzediğine dair bir fikri yoktu. Atomlar gerçekte hangi şekilde yerleşmişti? Bu sorunun yanıtı beklenmedik bir köşeden, mozaiklerle oynanan matematik oyunlarından geldi.

Mozaiklerle Gelen Açıklama

Matematikçiler kendilerini bulmacalarla ve mantık problemleriyle sınımayı sever. 1960'larda da sınırlı sayıda birimle, kendini asla tekrarlamayan mozaik desenleri oluşturulup oluşturulamayacağı matematikçiler arasında merak konusuydu. İlk başarılı girişim ABD'li bir matematikçinin 20.000 farklı parça kullanarak oluşturduğu mozaikle gelmişti. Ancak bu pek de etkileyici değildi. İnsanlar bu konuda uğraştıkça gerekli birim sayısı hızla düşüyordu.

Nihayet 1970'lerin ortasında Roger Penrose adlı bir matematikçi probleme en güzel çözümü buldu. Penrose, biri ince biri de kalın olmak üzere sadece iki eşkenar dörtgen kullanarak kendini tekrarlamayan mozaik desenleri elde etti (Şekil 4:1).

Penrose'un mozaikleri bilim dünyasında çok farklı esinlenmeler yarattı. Örneğin Ortaçağ İslami girih desenlerini Penrose'un mozaikleri ışığında inceleyen araştırmacılar Arap sanatçıların aslında beş farklı birim kullanarak kendini tekrarlamayan mozaikler tasarlamış olduğunu ortaya çıkardı. Örneğin İspanya'daki Elhama Sarayı'nın sıra dışı süslemeleri arasında böyle mozaikler de var.

Kristalograf Alan Mackay ise bu mozaiklerden başka bir biçimde esinlendi. Mackay, maddelerin yapıtaşları olan atomların bu mozaikler gibi kendini tekrarlamayan desenler oluşturup oluşturamayacağını merak ediyordu. Bir deney tasarlayarak Penrose mozaiklerindeki kesişim noktalarına atomları temsil eden daireler yerleştirdi. Sonra da bu deseni bir kırınım ağı olarak kullanarak oluşan kırınım deseni inceledi. Sonuç çember şeklinde dizilmiş on parlak noktadan oluşan onlu bir simetriydi.

Mackay'nin modeli ve Shechtman'ın kırınım deseni arasındaki bağlantıyı ise Paul Steinhardt ve Dov Levine kurdu. Shechtman'ın *Physical Review Letters*'deki makalesi, yayımlanmadan önce Steinhardt'ın da aralarında olduğu bazı başka bilim insanlarına incelenmek üzere gönderilmişti. Böylece makaleyi okuma fırsatı bulan ve Mackay'nin modelinden çoktan haberdar olan Steinhardt, Mackay'nin onlu simetrisinin gerçek hayatta, Shechtman'ın laboratuvarında var olduğunu fark etti.

1984'ün Noel gününde, Shechtman'ın makalesinin yayımlanmasından sadece beş hafta sonra Steinhardt ve Levine kuazikristalleri ve onların oluşturduğu, kendilerini tekrarlamayan mozaikleri tanıttıkları bir makale yayımladı. Kuazikristal ismi literatüre bu makaleyle geçti.

Altın Oran-Bir Anahtar

Hem kendini tekrarlamayan mozaiklerin hem de kuazikristallerin en can alıcı özelliklerinden biri, matematikte ve sanattaki altın oranın, τ (tau) adlı matematiksel sabitin bu yapılarda sürekli tekrarlanması. Örneğin Penrose'un mozaikindeki kalın

ve ince eşkenar dörtgenlerin sayısı arasındaki oran τ . Benzer şekilde kuazikristallerde atomlar arasındaki çeşitli uzaklıkların birbirine oranı τ ile ilişkili.

τ matematiksel sabiti 13. yüzyılda İtalyan matematikçi Fibonacci tarafından sayı dizisiyle açıklandı. Bu ünlü sayı dizisinde her sayı kendinden önce gelen iki sayının toplamına eşit: 1, 1, 1, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144, vb. Fibonacci dizisindeki bir sayı kendinden önceki sayıya bölünürse altın orana yakın bir sayı elde edilir.

Hem Fibonacci dizisi hem de altın oran, kuazikristallerin atom düzeyindeki yapısını açıklamaya çalışan bilim insanları için önemli.

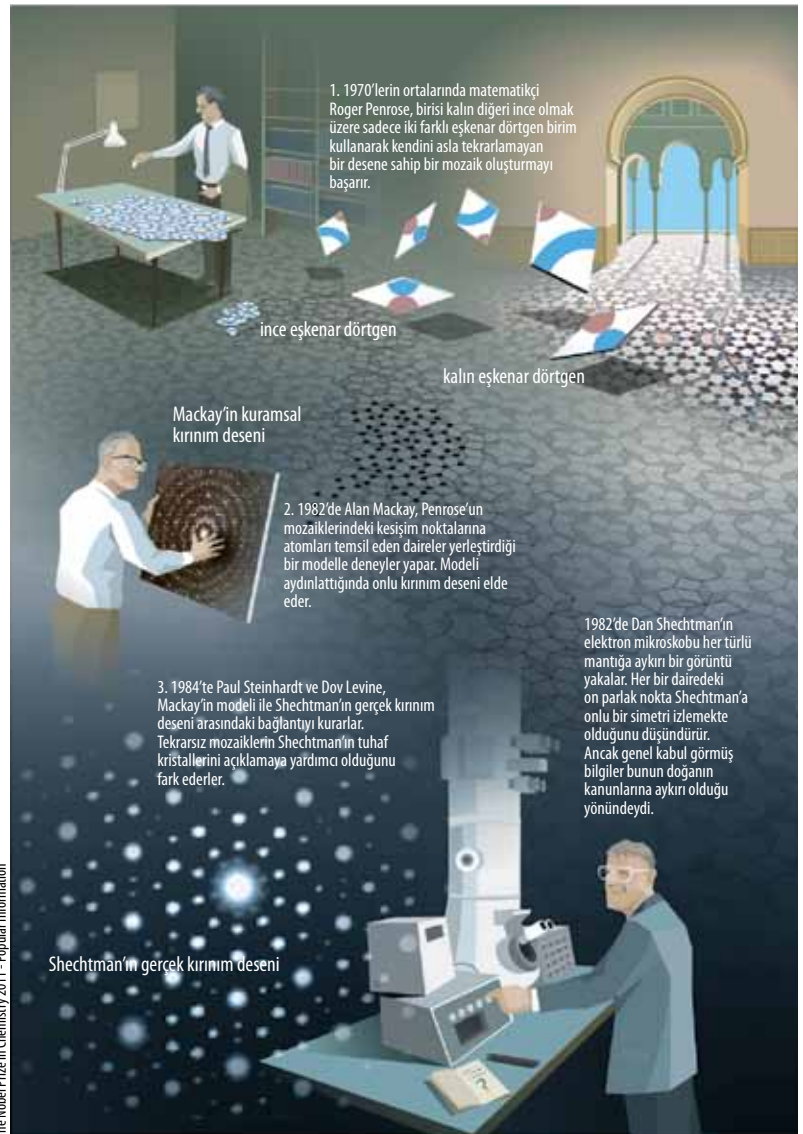
Tekrarlamayan Düzenlilik

Daha önce kimyacılar kristallerdeki düzenliliği tekrarlayan döngüsel bir desen olarak yorumluyordu. Oysa Fibonacci dizisi kendini tekrarlamadığı halde düzenlidir, çünkü matematiksel bir kuralı izler. Kuazikristallerdeki atomlar arası uzaklıklar Fibonacci dizisiyle ilişkilidir, atomlar düzenli bir biçimde dizilmiştir ve kimyacılar bir kuazikristalin iç yapısını öngörebilir. Ancak bu düzenlilik, yapısı kendini tekrarlayan bir kristaldeki gibi değildir.

Bu keşif 1992 yılında Uluslararası Kristalografi Birliği'ni kristal tanımını değiştirmeye yöneltti. Daha önce kristal "kendisini oluşturan atomların, moleküllerin ya da iyonların düzenli ve tekrarlayan üç boyutlu desenler biçiminde istiflendiği bir madde" olarak tanımlanmıştı. Yeni tanım ise şu şekilde yapıldı: "Temelde ayrı bir kırınım desenine sahip olan katı". Bu tanım daha geniş ve gelecekte başka tür kristallerle ilgili yapılabilecek keşiflere açık kapı bırakıyor.

1982'deki keşiflerinden bu yana çok çeşitli kuazikristaller sentezlendi. Ancak doğal olarak bulunan ilk kuazikristale 2009'da Rusya'da rastlandı. Kuazikristaller ayrıca dünyadaki en dayanıklı çelik çeşitlerinin birinin yapısında da bulundu.

Kuazikristaller çok sert olsalar da cam gibi çok kolayca kırılabilirler. Atomik yapılarından dolayı ısı ve elektrik açısından kötü iletkenler ve yapışmayan yüzeyleri var. Kötü ısı iletkeni olmaları kuazikristalleri ısıyı elektriğe çeviren termoelektrik malzemeler olarak faydalı kılıyor. Bu tür malzemeler temel olarak atık ısının (örneğin arabalarda ya da kamyonlarda) geri dönüştürülebilmesi amacıyla geliştiriliyor. Bugün kuazikristaller kızartma tencerelerinde kaplama malzemesi olarak, LED'lerin parçalarında ham madde olarak, motorlarda ısı yalıtımı amacıyla ve daha pek çok alanda çeşitli amaçlarla deniyor.



Şekil 4

Shechtman, keşiflerini yerleşmiş gerçeklere karşı savunmak zorunda kalan çok sayıda bilim insanından biri olarak bilim tarihine geçti. Onu en ağır biçimde eleştirenlerden birisi de, kendisi de iki defa Nobel Ödülü kazanmış olan Linus Pauling'ti. Shechtman'ın öyküsü, yerleşmiş gerçekleri sorgulayabilen bir bakış açısını korumanın bilim insanının en önemli özelliklerinden biri olduğunu gösteren bir ders niteliğinde.

Kaynaklar

"The Nobel Prize in Chemistry 2011 - Popular Information".

Nobelprize.org, 25 Oct 2011

http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/2011/info.html