

# Nano-Dünyanın Elektronik Gözlüğü

## Elektron Mikroskobu

Görmek, kuşkusuz en güzel duygu. Yaşadığımız dünyayı görmek için gözler ve ışık gerekli. Ya çıplak gözle görülmeyen küçüklerin dünyası... Hiç merak ettiniz mi, acaba neye benziyorlar? 350 yıldan bu yana ışık mikroskobu ile bu küçükleri görebiliyoruz. Ancak ışık mikroskobuyla göremeyeceğimiz kadar küçücüklerin olduğu bir dünya daha var. Bu dünyanın perdelerini ilk kez 1931 yılında genç bir fizikçi olan Ernst Ruska, elektron mikroskobuyla araladı.

Gözlerimiz aynı zamanda birer doğal mikroskop. Dışarıdan gelen ışığı belirli bir noktaya odaklayan merceklerle sahibiz. Bu merceklerin yetersiz olduğu durumlarda yardımcı görme araçlarına ihtiyaç duyuyoruz. Bu araçların başında yine mercekler geliyor. Camın MÖ 5500 yıllarından beri varlığı bilinmesine rağmen ilk mercekler MS 1. yüzyılda küre şeklindeki bir cam kabın içine su doldurularak geliştirildi. Basit merceklerin ilk atası olan bu mercek Seneca merceği olarak biliniyordu. Romalı yazar ve filozof Seneca, içi su dolu cam kürenin cisimleri daha büyük gösterdiğini fark etmişti. Gerçek anlamda ilk mercekler ancak 13. yüzyılda yapılmaya başlandı. İlk mercekler yapıncaya kadar küçüklerin dünyası hakkında fazla bir şey bilinmiyordu. Ancak gözle görülmemesine rağmen Antik Yunan filozofları çok küçüklerin varlığı hakkında dâhiyane fikirler ileri sürmüşlerdi. Bu filozoflardan Demokritus cisimlerin giderek bölünmesiyle artık bölünemeyecek kadar küçük parçacıklara ayrılabilceğini ve bu sınıra bölünemez anlamına gelen atom adını vermişti. Elea'lı Zenon ise matematikte sonsuz küçükler gibi soyut kavramlar üzerinde düşünmüştü.

Merceklerin gelişimi ve optikteki ilerlemeler küçüklerin dünyasına doğru atılan somut adımları sıklaştırmakla birlikte mikroskopla ilgili ilk çalışmaların ne zaman yapıldığı hâlâ karanlıktır. 1593 yılında İtalyan bilgin Giambattista della Porta'nın (1535-1615) *De Refractione* (Kırılma) adlı eserinde içbükey ve dışbükey merceklerin bir araya getirilmesiyle ilgili deneylerden bahsediliyordu. Yine aynı dönemde Hollandalı Sacharias Jansen'in (1580 - 1638) ilk bileşik (birden fazla mercek içeren) mikroskobu yaptığı biliniyor. 1624 yılında Alman Giovanni Faber (1574 - 1629) geliştirilen bu aletler için Yu-

nancada türetilen mikroskop adını kullandı. Tüm bu gelişmeler yanında küçüklerin dünyasına ilk somut adımın Hollandalı Antonie Philips van Leeuwenhoek (1632 - 1723) tarafından atıldığını söyleyebiliriz. Leeuwenhoek yaptığı basit mikroskoplar yardımıyla gördüklerini çizerek yepyeni bir dünyanın adeta ilk ressamı olmuştu. Leeuwenhoek yaptığı tek mercekli mikroskopla (mercekleri kendisi imal ediyordu) 270 kat büyütme gücüne ulaşmayı başarmıştı ve bu büyütme o zaman için olağanüstüydü. Leeuwenhoek'un ilgi alanı bir hayli genişti. Bakteriler, mayalar, spermatozoitler, pireler gibi çok sayıda canlı türü üzerinde çalıştı.

17. yüzyılda İngiliz bilim insanı Robert Hook (1635 - 1703) Leeuwenhoek'un aksine 2-3 mercek içeren bileşik mikroskoplar üretti. Hook'un mikroskobu daha gelişmiş ve daha büyük olmasına karşın renk sapmaları nedeniyle Leeuwenhoek'un tek mercekli mikroskobu kadar net görüntü elde edilemiyordu. Hook 1665 yılında yayımladığı *Micrographia* adlı eserinde kendi yaptığı mikroskopla şişe mantarlarında gördüğü küçük odacıklara Latince "cellula" (hücre) adını verdi. Her ne kadar Hook bu sözcüğü canlı hücreler için kullanmadıysa da (ölü mantar hücreleri için kullanmıştı) artık hücre kavramı biyolojide kullanılmaya başlandı. Bu kitap mikroskop hakkında yazılmış ilk büyük eserdir. Kitapta sadece ölü mantar hücreleri değil sineğin gözü, bal arısının iğnesi gibi küçüklerin dünyasına ait ayrıntılar da bulunuyordu.

300 yıl boyunca küçükler konusunda sayısız çalışmalar yapıldı. Mikroorganizmalar dediğimiz küçücük canlıların o muhteşem dünyası keşfedildi. Yaşam konusundaki düşüncelerimiz temelden değişti. Ancak tıpkı gözümüzün görebildiği bir alt sınır olduğu gibi ışık mikroskoplarıyla da her şeyi görmenin mümkün olmadığı anlaşıldı. Modern op-

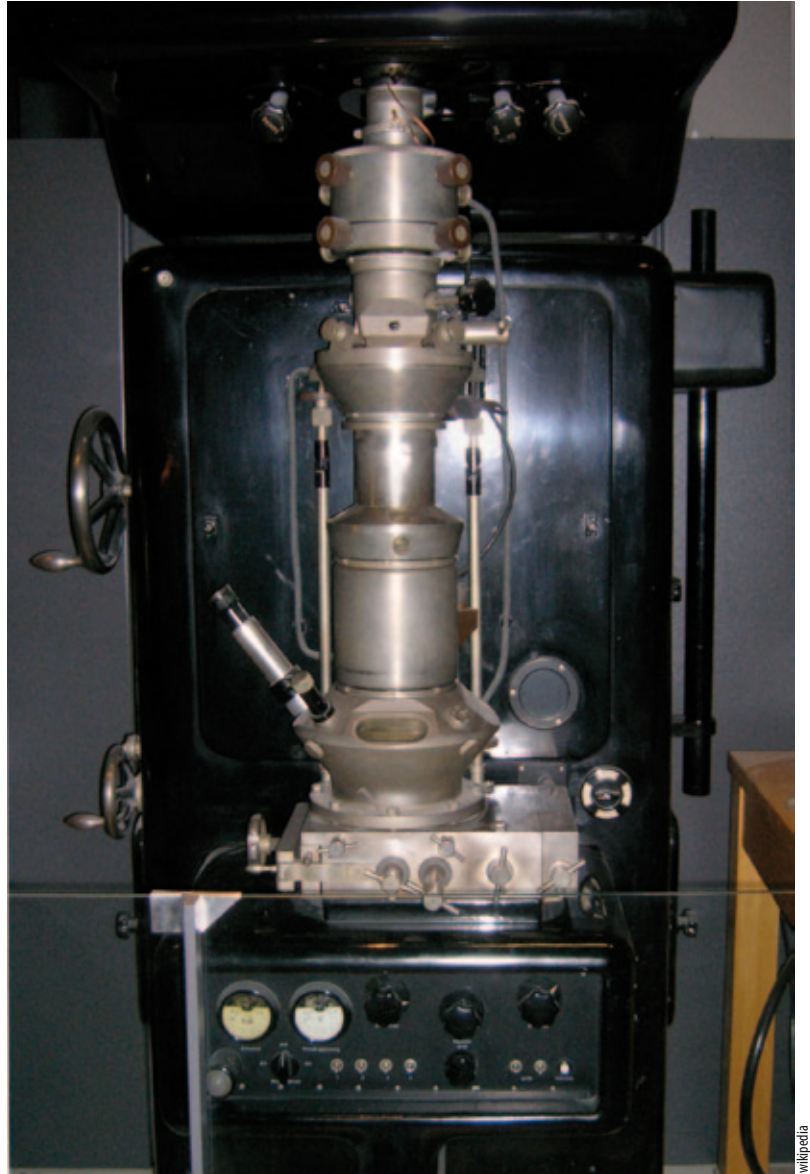
tiğin kurucularından Ernst Karl Abbe (1840 - 1905) ilk kez bir cisimdeki ayrıntıları görmede kullanılan ışığın dalga boyunun sınırlayıcı etmen olduğunu ileri sürdü. Abbe'nin çalışmalarında ışık mikroskobu için sona yaklaşıldığının işaretleri görülmüyordu. Oysa Küçüklerin dünyasında daha da küçükler vardı. Örneğin hücre içinde ışık mikroskobuyla görülemeyecek derecede küçük yapılar. Ya başlı başına bir dünya olan virüslere ne demeli! Bu dünyayı ışık mikroskobuyla görmek mümkün değildi. Işık mikroskobuyla 0,2 mikrometre boyutlarındaki yapıları görmek mümkündü ancak daha küçük yapılar için ışık pek işe yaramıyordu. Önceleri görmediğimiz dünyayı mercekler yardımıyla yine ışığı kullanarak görmeyi başarmıştık, ancak 20. yüzyılın başında artık ışıkla görmenin de sınırına gelinmişti. Kısacası karanlık bir denizin eşiğindeydik ve genç bir bilim insanı bu dünyanın kapılarını çok geçmeden aralayabileceğimizi gösterdi: Vakum, yüksek voltaj ve elektron ışınlarının optik davranışları konusunda çalışmalar yapan Ernst Ruska. Ruska (1906 - 1988) ışık olmadan daha da küçüklerin dünyasını görebileceğimiz bir yöntem geliştirdi. Işık yerine elektronlar kullanılacaktı. Temel işleyiş mantığı ışık mikroskobuna benzeyen bu yeni mikroskoplarda, görünür ışıktan çok daha küçük dalga boylu elektron ışınlarıyla görüntü elde edilecekti.

Elektron ışınlarının davranışı konusunda daha önce çok sayıda çalışma yapılmıştı. 1858'de Julius Plücker (1801 - 1868) katot ışınlarının (elektronlar) manyetik alan tarafından saptırılabilceğini göstermişti. Eduard Riecke ise (1845 - 1915) 1881'de katot ışınlarının manyetik alan tarafından odaklanabileceğini ortaya koymuştu. 1920'li yılların sonlarına gelindiğinde elektron mikroskobunda kullanılacak mercek için fikirler olgunlaş bulunuyordu.

Ruska, 1931'de manyetik alanları, merceklerin ışığı belli bir noktada yoğunlaştırdığı gibi, elektronları yoğunlaştırmak için kullanmayı düşündü. Işık yerine dalga boyu çok küçük olan elektron demeti kullanıldığında ışıktaki karşılaşılan dalga boyu engeli büyük oranda aşılmış olacaktı. Bu düşünceden yola çıkan Ruska ve arkadaşı Max Knoll (1897 - 1969) 1933'te elektron mikroskobunun ilk örneğini yapmayı başardılar. İlk mikroskobun çözünürlüğü ışık mikroskoplarına göre zayıftı. Ancak Ruska yolu açmıştı ve bu yolda ilerlemek gerekiyordu. 1937'de Siemens firmasında başladığı çalışmalarına 1939'da ilk ticari elektron mikroskobunu imal ederek devam etti. Ruska emekli olduğu 1974'e kadar çeşitli bilimsel kuruluşlarda elektron mikroskobuyla ilgili çok sayıda çalışma yaptı. Ruska'nın kardeşi Helmut Ruska elektron mikroskobunun özellikle biyoloji ve tıpta kullanılması için önemli çalışmalar yaptı.

Elektron mikroskobuyla iki boyutlu görüntü yanında üç boyutlu görüntü alınması da sağlandı. Kullanılan elektron demetinin önce hızlandırılması gerekiyordu. Hızlandırılan elektronlar incelenen malzemenin ya içinden geçiriliyor ya da yüzeyinden yansıtılarak görüntü elde ediliyordu. Elektron demetinin örnek malzemenin içinden geçirildiği mikroskoplar geçirmeli elektron mikroskobu (TEM-Transmission Electron Microscope), örnek malzemenin yüzeyinden yansıtılarak görüntünün elde edildiği mikroskoplar da taramalı elektron mikroskobu (SEM-Scanning Electron Microscope) olarak adlandırıldı. Taramalı elektron mikroskoplarıyla incelenen cisimlerin üç boyutlu görüntüleri elde edildi. Max Knoll 1935'te ilk taramalı elektron mikroskobu görüntüsünü elde etmeyi başardı.

Geçişli elektron mikroskobunda, elektron demeti görüntülenecek malzemenin içinden geçirildiğinden, incelenen malzemenin de çok ince olması gerekiyor. Bu yöntemde önemli sorunlar ortaya çıktı. İncelenen malzeme çok ince olduğu zaman malzemenin temel özelliklerini yansıtmayabiliyordu. Bununla birlikte numuneden geçen elektron demeti çok kısa sürede soğruluyordu. Bu sorunların çözümü için yüksek voltajlı elektron mikroskopları yapıldı. 1959'da G. Duppoy ve arkadaşları ilk yüksek voltajlı elektron mikroskobunu yapmayı başardılar. Bu mikroskoplarda istenilen kalitede görüntü elde edilebilmesi için 1-3 milyon volt gibi çok yüksek gerilimler kullanılmaktaydı. Böylesi son derece yüksek gerilimler beraberinde çok önemli ve çözümlenmesi gereken sorunları da getiriyordu. Örneğin çok yüksek gerilim altında hızlandırılan elektronlar çarptıkları noktalarda X ışınları üretiyorlardı. Bu ışınların zararlı etkilerinden korunmak için özel kurşunlu camlar kullanıldı. Yapılan ilk yüksek voltajlı elektron mikroskopları devasa yapılarıydı. 1968'de Oxford Üniversitesi'nde kurulan EM7 tipi yüksek voltajlı elektron mikroskobu 3 katlı bir bina yüksekliğinde ve tonlarca ağırlıktaydı (ortalama 20 ton gibi). Elektronları belli bir noktada toplayan elektromanyetik merceklerin her biri yaklaşık 250 kg ağırlığındaydı.



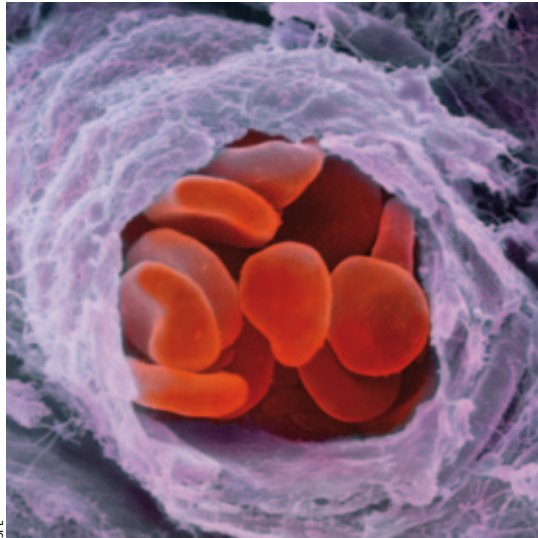
Normal ışık mikroskopları daha çok biyoloji ve tıpta kullanılırken elektron mikroskobu biyoloji ve tıp yanında metalurji, fizik, kimya gibi çok sayıda diğer alanda da kullanılmaya başlandı ve birçok yenilik getirdi. Özellikle taramalı elektron mikroskobu metalurjide adeta çığır açarak malzemelerin incelenmesinde önceki dönemlere göre çok büyük üstünlükler sağladı.

Elektron mikroskobunun keşfiyle ışık mikroskobundan vazgeçilmedi. Günümüzde de her iki mikroskop türünün kullanım alanları bazen çok farklı olabiliyor. Hastalıkların teşhisinde patoloji uzmanları elektron mikroskobunu kullanıyor olsalar da ışık mikroskobu genellikle yeterli olabiliyor. Elektron mikroskobunun geliştirilmeye başlandığı 1940'li yıllardan sonra kuşkusuz ışık mikroskobu üzerindeki çalışmalar da devam etti. Temel görüntüleme ilkesi aynı olmakla beraber çok farklı tiplerde ışık mikroskopları üretildi. Taramalı elektron mikroskoplarıyla kolaylıkla incelenen malzemenin üç boyutlu görüntüsü elde edilirken, ışık mikroskobunun





da gerçekleştirilemiyordu. MIT'de (Massachusetts Institute of Technology) 1957'de Marvin Minsky bu engeli aşmayı başardı. Ancak o dönemde yaşanan teknik sorunlar nedeniyle Minsky'nin mikroskobu pek ilgi görmedi. Minsky'nin çalışmaları adeta lazer ışınları için önceden hazırlanmış ve lazeri bekliyor gibiydi. Lazer teknolojisindeki gelişmelerle, incelenecek malzemenin içinden, istenilen derinlikte lazer demeti odaklanıp hareket ettirilerek kesit alınması başarılıydı. Çok sayıda kesite yapılan bu işlem bilgisayarla birleştirilerek üç boyutlu görüntü elde edilebildi. Işıkla görülmeyen bölgede elektron demetinin sağladığı başarıyı, ışıkla görülen bölgede lazer başarmıştı.



Biyolojiden malzeme bilimine kadar sayısız kullanım alanı olan elektron mikroskobunun insanlığa katkısı büyüktü ve bu katkı ihmal edilemezdi. 1986'da Nobel Komitesi Ernst Ruska'yı Nobel Fizik Ödülü ile onurlandırdı. Nobel ödülleri, çalışmaların yapıldığı ve yayımlandığı yılları takiben genellikle 5-15 sene içinde verilir. Bu süre zarfında çalışmaların insanlığa sağladığı yararlar daha net anlaşılır. Ancak Ruska'ya 55 yıl sonra ödül verildi. Ruska ödül için haklı olarak, "Unutulduğumu sanmıştım" demişti. Nobel komitesi geç de olsa kendisine unutulmadığını gösterdi ve 80 yaşındayken, elektron optiğine yaptığı katkılardan dolayı Nobel'e layık görüldü.

Ruska 1985'te şunları söylemişti: "Mikrokozmosun ilk kapısını ışık mikroskobu, ikinci kapısını da elektron mikroskobu açtı. Acaba 3. kapıyı ne açacak?". Kuşkusuz en küçüklerin dünyasında kapı açılmamış olsa da olup biten çok şeyi biliyoruz. Örneğin atomu oluşturan proton, nötron ve elektronun pek çok özelliği ve hatta bunları oluşturan kuarklar. Ancak görme bambaşka bir şey ve insanoğlunun merakını her zaman uyandırmaya devam edecek. Belki 3. kapının açılmasıyla kuarkları ve diğer atom altı parçacıkları görme imkanımız olacak.

#### Kaynaklar

Ronan, C. A., *Bilim Tarihi, Dünya Kültürlerinde Bilimin Tarihi ve Gelişimi*, TÜBİTAK Popüler Bilim Kitapları, 2005.  
Yıldız, S., "Günümüz Mikroskopları," *Bilim ve Teknik* Dergisi, Mart 2003.  
[http://nobelprize.org/nobel\\_prizes/physics/laureates/1986/index.html](http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1986/index.html)