

## Arkeojeofizik: Bir Arkeolojik Prospeksiyon Yöntemi

20. yüzyılın ilk yarısından sonra, arkeolojik alanların kazılmadan belirlenmesi üzerine birçok teknik geliştirilerek, kazı öncesi belirleme yöntemlerinin temeli atılır. Bu yöntemler içinde en çok kullanılan ise jeofiziktir. Batı toplumları, bozucu etkisi olmayan yöntemlerle arkeolojik kalıntıların saptanmasına büyük önem verdiğinden, yöntemlerin gelişimi çok hızlı olmuştur. Arkeolojik alanlarda jeofizik çalışmaların 1940'lı yıllarda Kuzey Amerika ve İngiltere'de başladığı bilinmektedir. Bu konuda bilinen ilk çalışma, 1946 yılında Atkinson tarafından İngiltere'de bir öz direnç metresi kullanılarak yapılmıştır. Manyetik yöntemlerin ilk uygulaması ise, 1957 yılında Belshe tarafından yapılmış ve bu çalışmayı Oxford Üniversitesi'nden Aitken, Webster ve Rees (1958)'in yaptığı çalışmalar izlemiştir. Bu tarihten sonra birçok araştırmacı iki yöntemi değişik alanlara uygulayarak, ilk araştırma gruplarının temelini atmışlardır. İzleyen yıllarda diğer jeofizik yöntemler, gelişen teknoloji ve konu üzerine çalışan grupların teknolojiye hızlı bir biçimde sahip çıkmasıyla kullanılmaya başlar. Ancak, bunlardan hiçbiri radar'ın sağladığı başarıyı sağlayamamıştır. Radar, 1970'li yılların başında uygulamaya girmesine karşın, uygulama yoğunluğu bakımından öz direnç ve manyetikten sonra üçüncü sırayı almıştır. Son yıllarda elektromanyetik yöntemin uygulamalarında da büyük bir artış olmuştur. Denenen diğer yöntemler, ölçüm hızının yavaş olması ve etkin sonuçlar vermemesinden dolayı kısıtlı olarak uygulanmaktadırlar; ama doğal gerilim (SP) yöntemi ölçüm hızı artırılırsa, ucuzluğu ve etkili sonuçlarından dolayı gelecekte önemli bir yere sahip olabilir.

Günümüzde bilgisayar teknolojisinin olağanüstü gelişimi, sinyal işleme tekniklerinin kolaylaşmasını sağlamıştır. Bu gelişime koşut olarak aletlerin niteliğinin çok yükselmesi, arkeojeofizik aramalarının kolaylaştırılmış ve daha geniş kullanım alanları yaratmıştır. Artık jeofizik aletler, oldukça kısa sürede çok fazla sayıda veri toplama, depolama ve bunları bilgisayarlara doğrudan aktarma gücüne sahiptir. Yine son yıllarda uydu teknolojisinde yaşanan aşırı gelişim, jeofizik uygulamalara hızlı biçimde girerek buradan da arkeolojik uygulamalara yansımıştır. Son 10 yıldır etkili biçimde uygulanan görüntü işleme (image processing) tekniklerinin, arkeojeofizikte büyük bir gelişime neden olduğu söylenebilir. Veri tabanlı (data base) programlar ve bilgis-



Jeofizik çalışmalarla bulunan Sinop-Demirci amfora fırını ve atölyesi

yar yardımcı tomografi (GAT) yöntemlerindeki gelişim de arkeolojik uygulamalara hemen yansımıştır; böylece arkeojeofizikte yaşanan bu ilerleme ve alınan etkili sonuçlar, arkeologların kazı öncesinde ayrıntılı bir bilgiye sahip olmasını sağlamıştır.

Jeofizik yöntemlerin arkeolojik aramalarda kullanım alanları çok geniştir. Yeraltında gömülü durumda bulunan tüm arkeolojik nesnelere, uygun jeofizik yöntemlerle aranarak ortaya çıkarılabilir. Arkeolojik amaçlı jeofizik çalışmalara başlamadan önce, çalışma alanının arkeolojik, jeolojik ve jeomorfolojik bilgilerinin elde edilmesi gereklidir. Alandan toplanacak toprak ve diğer kültürel örneklerin, laboratuvarlarda manyetik duyarlılık (susceptibility) ve iletkenlik (conductivity) ölçümleri ile jeokimyasal analizlerinin yapılması da, uygulanacak jeofizik çalışmalar açısından büyük bir önem taşır. Bu çalışmaların sonuçlarına bağlı olarak seçilen alanlarda yapılacak test ölçümleriyle, incelenecek alanın jeofizik araştırma planı ortaya çıkarılır ve uygulanacak yöntemler saptanır.

### Arkeojeofizik Yöntemler

Yüzey üzerinden gözlenen arkeolojik nesnelere bir aysbergin su üstündeki bölümüne benzer. Birçok kültürel katman, değişik derinlikteki toprak tarafından örtülerek, gizlenmiştir. Bir arkeologun yüzeyden bunları algılaması ise olanaksızdır; ancak, test açmaları yaparak yüzeyaltı dağılımları hakkında bilgi edinmeye çalışabilir. Bu ise hem zaman ve para açısından zordur, hem de güvenilirliği çok düşük bir tekniktir. Burada jeofizik arama tekniklerinin önemi ortaya çıkmaktadır. Jeofizik aramalar, yeraltındaki yapıların fiziksel özelliklerine dayanarak normal olmayan durumları belirlemeyi sağlar. Belirlenen bu anomalikler yardımıyla da alan, jeofiziksel özellikleriyle tanımlanır. Jeofizik aramalarla, alanın çok ayrıntılı planları elde edilir ve yapıların yerleri ile derinlikleri de kestirilebilir. Bu araştırmalar,

alanında kazı yapacak bir arkeolog için aysbergin su altındaki bölümü hakkında yorum yapabilme yeteneği demektir. Bu nedenle arkeolojik alanlarda jeofizik çalışmaların önemi büyüktür ve yöntemlere karşı duyulan ilgi ve önem de her geçen gün artmaktadır. Arkeolojik aramalarda en çok kullanılan jeofizik yöntemler, manyetik ve öz direnç (resistivity). Ama son yıllarda radar ve elektromanyetik aramalarda önemli bir yer tutmaya başlamıştır.

### Manyetik

Manyetik, arkeolojik aramalarda en çok kullanılan yöntemdir. Seramik, kiremit vb. gibi yanma sonucu oluşmuş yığımlar ile yanma çukurlarının içerdiği ısı kalıcı (thermoremanent) manyetizasyon, manyetik özellikli kayaçlardan yapılmış yapı temelleri, demirli metallerin yığılması ve depolama çukurları gibi organik çevrede oluşan demir oksitlerin bulunduğu ortamlar, manyetizasyonu oluşturan temel birimlerdir. Yerleşim birimleri üzerindeki manyetik duyarlılığın (susceptibility) varlığı ve bu duyarlılığın ölçümüyle yerleşim birimindeki duvarlar, gömülü yollar, girişler ve anıtlar gibi yapısal temeller belirlenebilir. Manyetik duyarlılık üzerine yapılan çalışmalar sonucunda;

- Yüzeysel toprakların ana kayadan daha yüksek manyetik duyarlılığa sa-

hip olduğu (yüksek ısı ile oluşmuş metamorfik ya da volkanik kayalar dışında),

- Yanma, doğal iklimsel etkiler ve bakterilerin oksidasyon indirgenmesi-nen neden olduğu ortaya çıkmıştır.

Manyetizasyon üzerine yapılan laboratuvar ve alan çalışmalarında ise, yanma sayısı ve yanma süresiyle orantılı olarak manyetizasyonun arttığı saptanmıştır; böylece toprağın manyetik duyarlılığı ve ocağın belirlenebilirliği artmaktadır.

Manyetik, hızlı ve yorumlaması kolay bir yöntem olmasına karşın, manyetik gürültülerden çabuk etkilenir ve yerleşim birimlerine yakın yerlerdeki kullanımlarında sakıncalı sonuçlar verebilir. Bu nedenle de akımlar, elektrikli demiryolları, fabrikalar ve yerleşim birimlerinden olası ölçülerde uzaklaşmak gerekir; ancak koşullar uygunsa, arkeolojik yapı çok kısa sürede ve ayrıntılı olarak saptanır. Test kazılarında daha ekonomik ve daha güvenilir olması ise çok kullanılmasına neden olmaktadır.

### Öz direnç (resistivity)

Yöntemin arkeolojik alanlardaki ilk uygulaması, 1946 yılında İngiltere'de Atkinson tarafından ve 1947 yılında da Meksika Tepexpan'daki fosil insan kalıntılarını belirlemek için Lundberg tarafından yapılmıştır. Arkeolojik aramalarda öz direnç, örtü toprağının nemindeki uzamsal farklılıklara bağlıdır. Öz direnç ayrımı, çevresinden daha yüksek ya da daha düşük öz direnç içeren yapısal kalıntıların bulunduğu durumda gerçekleşir. Arkeolojik kalıntıların bulunduğu alanlarda; bu kalıntıların tuttuğu nem ile bunu çevreleyen örtü toprağının tuttuğu nemin farklı olmasından dolayı, arkeolojik nesnelere belirlenir. Buradaki öz direnç zıtlığı, örtü toprağındaki ortamsal değişikliklerden kaynaklanmaktadır.

Veriler, alanın gridlere (karelere) ayrılması ve bu gridlerin profillemeye denilen düzenlenmiş ölçülmesiyle toplanır. Amaç, belirti (anomaly) veren yerlerin saptanması olduğundan, toplanan veriler konturlanarak haritalar oluşturulur. Elde edilen bu veriler gürlütle ola-



Jeofizik çalışmalar sonucu bulunan Metropolis Tiyatrosu sahne binası

arak adlandırdığımız istenmeyen sinyalleri de içerir. Bu nedenle toplanan veriler, sinyal/gürültü oranını artırıcı işlemlerden geçirilerek yorumlanır. Öz-direnç, arkeolojik aramalarda en yaygın kullanılan yöntemlerden biridir. Manyetik yöntem kadar hızlı veri toplama olanağı yoktur. Ancak son yıllarda aletlerin teknolojik açıdan hızlı gelişimi ve çoklu elektrot dizgelerinin ortaya çıkmasıyla, veri toplama hızı manyetiğin hızına yaklaşmıştır. Yöntemin en büyük yararlılığı, yerleşim birimlerine olan yakınlık ve güç hatlarından etkilenmemesidir; böylece güncel yerleşime uğramış alanlarda da etkin sonuç almayı sağlar.

### Elektromanyetik (EM)

Arkeolojik alanlarda elektromanyetik genellikle yüzey toprağının kuru, sert ya da ortalım kayalık ve makilik olduğu yerler için kullanışlı bir yöntemdir. EM aramalar, özellikle mezarlar gibi sonradan dolmuş alanlarda tepelik kalıntıların saptanmasında çok iyi sonuçlar verir. Yöntem, anakaya üzerindeki toprak kalınlığını belirlemek için de kullanılabilir. EM ölçümlerde çoğu kez yeryüzündeki materyallerin görünür iletkenlikleri (conductivity) ölçülür ve geniş oranda toprak iletkenliğini ölçen aletler kullanılır (EM-31, EM-38 gibi). Bu aletlerde gönderici ile alıcı bobin aynı düzlemde ve maksimum bağlaşımlı (coupling) dizgeler olarak adlandırılır. Manyetik alanın gerçek bileşeni, manyetik duyarlılık değişimlerine duyarlı olduğundan, metalik cisimlerle yüksek manyetik duyarlılık cisimlerin belirlenmesi çok kolaydır. Yatay bobinlerle alet yüksekliğinin yaklaşık 1 m'de olduğu konumda ise sanal bileşen toprak iletkenliğiyle doğrudan orantılıdır.

Elektromanyetik arama ile öz-direnç araması birbirini bütündür. Birinin sakıncasını diğeri yararlı duruma çevirdiğinden birlikte kullanılması çok yarar sağlar. EM aramacılık; gömülü taş ve duvarların belirlenmesi, yüzey düzensizliği bulunan alanların haritalanması, kum ve taşlıkların araştırılması, gizlenmiş boşlukların ve moloz yığınlarının saptanması için kullanışlı bir arama tekniğidir.

### Radar

Radar yöntemi, yeryüzündeki dielektrik özelliklerin değişimini haritalar. Bu genellikle volumetrik (gaz ya da sıvı hacminin ölçülmesi) su içeriğindeki değişimlerle oluşur; böylece radar, metalik olan ve olmayan tüm materyallere karşı duyarlıdır. Radar aleti, yeryüzü üzerinde elektromanyetik sinyaller üretir ve alıcı antenin sahip olduğu ge-

niş bir bant aracılığı ile değişik jeoelektrik özellikli katman sınırlarından yansıyan sinyalleri kaydeder. Yansıma profillerinin kaydı tek kanal sismik profillemeye benzer. Elde edilen profil, yüzey altındaki katmanlardan yansıyan dalgalar ve gönderici sinyalleri içerir. Yöntem, yüksek ayrılmaya sahiptir ve sürekli profillemeye olanak verir. Ayrıca radar, donmuş ve karla kaplı alanlarda da çalışma olanağı sağlar.

Arkeolojik araştırmalarda metaller, duvar kalıntıları vb. gibi büyük dielektrik sabitli yapıların çevresinde bulunan toprak, gelen dalganın büyük bir bölümünü emer. Bu olay süreksizlik sınırlarında birçok yansımış dalga üretir ve yansıyan bu sinyallerin bant yoğunlukları ayırtılabilir bir biçim alır; böylece, potansiyel arkeolojik hedefler saptanabilir.

Radar tekniği birçok duruma uyarlanabilir. Bunlardan biri, gönderilen sinyal genişliğinin aranan hedefin genişliğine uygun olarak değişmesidir. Sürekli 2 ns'lik kısa bir sinyal, 1 m genişliğe kadar olan yansıtıcıların belirlenmesi için uygun iken (cm'ler düzeyinde), 10 ns'lik daha uzun bir sinyal birkaç metre genişliğindeki hedefler için kullanılır. Diğer özellik ise profilleme oranının değişebilirliğidir. Hızlı aramalar için antenler, taslaklanan bozucu zonlar için çabuk değiştirilebilir. Ayrıntılı araştırmalarda antenler olası en yavaş biçimde taşınır; böylece arkeolojik nesnelere yerleri kesin olarak belirlenir. Yöntem, derinlik bilgisini doğrudan verdiği için arkeolojik aramalarda önemlidir.

### Diğer Yöntemler

Arkeolojik aramalarda; uygulama koşulları ve alanın fiziksel durumuna bağlı olarak, değişik jeofizik teknikler de denenmektedir. Bunları kullanım alanları ve amaçlarına göre sıralarsak;

- Lojistik ve politik nedenlerden dolayı, yanına yaklaşılması olanaksız hedefler ya da saklı yapılar üzerinde ısı durgunluk (thermal inertia) ve ısı kızıl ışıması (thermal infrared) yöntemleri kullanılmaktadır.
- Boşluk aramalarında "sonic spectroscopy" tekniği başarılı biçimde uygulanmaktadır.
- Akustik yansıma teknikleri ise genelde deniz araştırmalarında kullanılmaktadır.
- Yansımali sismik; pahatlığı, zorluğu



Bilgisayar denetimli öz-direnç aleti ve donanımı

ve karmaşıklığından dolayı arkeolojik araştırmalarda uygulanmamaktadır.

- Arkeomanyetizma, teknik açıdan bir arama yöntemi değildir ve radyokarbon, tefrokronoloji ve dendrokronoloji gibi tarihlendirme amacıyla kullanılır.
- Antropolojik materyallerle okside olmayan gömülü metal nesnelere, yapay uçlaşma (IP) oluştururlar. Ancak, alan ölçümlerinde gürültülerden daha küçük anomali verdiği gözlenmiştir ve bu nedenle çok az uygulaması vardır.
- Geniş biçimde yapılmış, sıg ve fosforça zengin antroposollerin olduğu alanlarda radyometrik yöntemler kullanılmaktadır.
- Gravite, içerdiği birçok düzeltme işlemi ve ölçüm sırasındaki zaman yitiminden dolayı çok az kullanılan bir yöntemdir.
- Doğal gerilim (SP) ise, bir manyetometre kadar olmasa da hızlı çalışma olanağı sağlar. Donatımları diğer jeofizik yöntemlerin en ucuzudur ve yapılan bazı çalışmalar, gelecekte önemli bir arkeolojik araştırma yöntemi olacağını göstermektedir.

### Aletsel Gelişim

Arkeolojik amaçlı jeofizik araştırmalar; duyarlılığı ve ayrılmılığı yüksek, hızlı ölçü alabilen aletlerin kullanımını zorunlu kılmaktadır. 1980'li yıllardan sonra çok hızlı gelişen mikroışlemci teknolojisi, aletlerin istenilen niteliklere gelmesini sağlamıştır. Günümüzde en hızlı ölçümler manyetometreler ve gradyometreler ile yapılmaktadır.

1970'li yıllarda 1nT olan duyarlılık 80'li yıllarda 0.1nT, 90'li yıllarda ise 1pT düzeyine ulaşmıştır.

Teknolojik gelişim, çok sayıda veriyi belleğe kayıtt eden ve bunları bilgisayar ve yazıcılara doğrudan aktarabilen aletlerin üretilmesine yardımcı olmuştur. Bu aletlerle veri toplama hızı olduğundan, çok geniş alanlar kısa süre içerisinde belirlenmektedir (1 gün içinde yakla-

şık olarak 1 hektarlık alan taranabilmektedir). Gelişim, öz-direnç aletlerinin de farklı nitelikler kazanmasını sağlamıştır.

1970'li yıllarda ortaya çıkan sinyal ortalama dizgeli aletlere (signal averaging), mikroışlemci denetimli özellikler de eklenmiştir. Bilgisayar denetimli ve çoklu elektrot (multi-elektrode) dizgeli aletler ise son teknolojik gelişimlerdir. Bu aletlerle hızlı ölçmenin yanında kısa sürede işlemler de (process) yapılarak, jeoelektrik haritalar oluşturulabilmektedir. Böyle bir araştırmada, yaklaşık 1000 dolayında elektrot herhangi bir dizimde yere yerleştirilir ve ölçüm işlemi de bir PC yoluyla denetlenir. Gerekli bilgiler ve adreslemeler çok kanallı bir kablo yoluyla PC'den elektrot kot çözücüsüne (decoder) aktarılır. Kot çözücü, profildeki elektrotları anahtarlayarak (switching), profil üzerindeki ölçüm işlemi sağlar. Dizge, sonuçların bilgisayar ekranından denetlenmesini sağladığından ve istenilen işlemeyle olanak tanıdığından çok yararlıdır. Böyle bir donatımla, saatte yaklaşık olarak 1200 veri haritalandırılabilir. Ayrıca Fransa'da geliştirilen RATEAU dizgesinde, elektrotlar bir aracı arkasına bağlanarak sürekli ölçüm yapılabilmektedir. Böylece hem ölçüm hızı en üst noktaya ulaşmakta, hem de küçük elektrot aralıklı ölçümlerde hızla azalan indüklenmiş elektrik alan duyarlı biçimde ölçülebilmektedir.

Son yıllarda bilgisayarların gelişmesi, çok ayrıntılı ve gösterime dayalı yazılımların gelişmesini sağlamıştır. Gelişim bu tekniklerden biri de görüntü işleme (image processing). Arkeolojik yapıların biçimleri, gelecekte jeofizik prospeksiyonunda görülen geometrik biçimlerden daha karışıktır. Bu yapıların görülebilirliğini artırmak için, görüntü işleme teknikleri kullanılmaktadır. Bu teknikler, en az bozulma (distortion) sağlamanın yanında, güçlü anomalilerin yakınında görülen zayıf ayrıntıların da görünmesini izin verir. Yapıları yüksek ayrılmılık içinde göstermesi, görüntünün niteliğinin artmasını sağlar.

### Göltepe 8 no'lu alanın kazı sonuçları





**Çoklu elektrot dizgeli özdirenç ölçümü**

### Bazı Uygulama Sonuçları

Niğde Çamardı ilçesi Celaller köyü yakınında bulunan Göltepe Erken Bronz Çağ Höyüğü üzerinde 1990-1991 yıllarında; yaklaşık 6500 m<sup>2</sup>'lik alan arkeojeofizik prospeksiyon amacıyla ölçülmüştür. Bu çalışmanın bazı önemli sonuçları şöyledir;

Tepenin jeolojik yapısı ve genel karakteri ortaya çıkarılmış; tepe üzerindeki yoğun yerleşim yerleri saptanmış; sur duvarı uzanımlarının tepeyi tümüyle çevrelemediği saptanmış; tepede örtü toprağı kalınlığının en fazla olduğu yer bulunarak, buradan önemli yapısal kalıntıların çıkması sağlanmış; Göltepe'nin sit sınırları tahmini belirlenmiştir.

Diğer bir ilginç sonuç, İzmir'in Torbalı ilçesine 12 km uzaklıktaki Metropolis tiyatrosu üzerinde elde edilmiştir. Bu çalışmanın ışığında;

Tiyatronun sahne binasının art arda iki ya da üç duvardan oluşabileceği saptanmış ve sonuçlar doğrultusunda yapılan test kazısında da belirtilen yerde sahne binası bulunmuştur; özdirenç sondajlamaları ile tiyatroun oturma sıraları ve orkestranın derinliği belirlenerek, bunlar kazı sonuçlarıyla doğrulanmıştır; tiyatro üzerindeki duvarsal karakterli ve yüzeye çok yakın yapıların etkisinden oluştuğu sanılan belirtiler üzerinde yapılan kazılarda ise, sığ derinlikli Bizans yapı temelleri bulunmuştur.

Örnek olarak verilebilecek üçüncü çalışma 1994 yılında Sinop yakınındaki amfora üretim atölyelerinin yerini saptayabilmek için yapılan manyetik araştırmalardır. Araştırma sonuçlarında; firın ya da ocak türü yapılardan kaynaklandığı sanılan birçok belirti elde edilmiştir. Bunlardan A alanı üzerinde ve heyelan tehlikesiyle karşı karşıya bulunan yerdeki ilginç belirti üzerinde yapılan kazıda, farklı arkeolojik evreler içeren bir firınlar dizgesi bulunmuştur; ocak belirtilerinden daha zayıf genlikli bir belirti üzerinde yapılan kazı sonucunda da, içleri üretim artığı seramik parçalarıyla dolu büyük bir pythos ele geçmiştir.

### Arkeojeofizik Türkiye İçin Önemli

Türkiye "prehistorik" ve "historik" tarih zenginliği bakımından dünyanın en zengin ülkelerinden birisidir. Ancak, arkeolojik alanların araştırılması ve kazılması sırasında mevzuat birçok sorun yaratmaktadır. Arkeolojik sit alanlarının güncel konumunu ve sorunlarını şöyle özetleyebiliriz;

- Türkiye, tarihsel yağmanın en fazla olduğu ülkelerden biridir ve tüm Batı ülkelerindeki müzelerin ve özel koleksiyonların salonları, çoğu Anadolu kökenli binlerce eserle süslenmektedir.

- Türkiye, teknolojiyi dışarıdan transfer eden bir ülkedir ve teknolojik gelişiminin kendi iç dinamiği yoktur. Bu durum, altyapısı önceden hazırlanmış bir ilerlemeyi ortaya çıkarmaktadır. Bu olaydan çok etkilenen ve büyük zarar gören tarihsel alanlarımız; kentsel büyüme, otoyol, baraj, büyük turizm kompleksi ve ikinci konutların istisaları altındadır ve böylece birçok kültür daha incelenmeden, bir daha geri gelmek üzere yok olmaktadır.

- Türkiye'nin sit alanlarının çok az bir bölümü belirlenmiştir ve bu konuda büyük bir kargaşa vardır.

Eğer Türkiye'de arkeojeofizik yöntemlere gereken önem verilir ve etkin uygulama olanağı yaratılırsa, sağlanacak yararları şöyle sıralayabiliriz;

- Kazıların jeofizik araştırma yapılan alanlara kaydırılmasıyla, kazı maliyetlerinde önemli bir azalma olacaktır. Ayrıca, kazılması gerekli alanların belirlenmesi, daha hızlı kazı yapma olanağını ortaya çıkaracaktır.

- Arkeolojik sit sınırları daha kesin saptanarak, bu alanların Kültür Bakanlığı tarafından kamulaştırılması ve korunması kolaylaşacaktır. Ayrıca sit alan dereceleri sağlıklı belirlenecektir.

- Tümülüsler birer anıt niteliğinde önemli tarihsel değerlerimizdir. Bu değerleri kurtarmak ve çakak kazıları engellemek için jeofizik çalışmalara ivedi olarak gereksinim vardır. Bu amaçla, Kültür Bakanlığı'nın önemli katkısıyla başlatılacak Türkiye tümülüslerini araştırma projesiyle yoğun araştırmalara başlanacak, kaçakçılığa önemli bir darbe vurulacaktır.

Bu denli yoğun kültürel birikime sahip bir ülkenin kültürel değerlerini koruması oldukça zordur. Bunların arkeolojik araştırma ve kazılarla belirlenip, ortaya çıkarılması çok uzun bir zaman dilimini kapsar. İşte bu noktada, yok ediciliği olmayan ve arkeolojik alanları çok hızlı bir biçimde saptama özelliğine sahip "arkeojeofizik" yöntemlerin önemi ortaya çıkar. Son 10 yıldan beri, Batı ülkelerinde bu yöntemlere olan istem ve yöntemlerin güvenilirliği inanılmaz kadar hızlı artış göstermektedir. Ayrıca, arkeojeofizik yöntemlerin gelişimi ve etkin kullanımıyla, tarihi eser kaçakçılığının başlangıç noktasını oluşturur ve amatör kazıculara büyük bir darbe indirilerek, onların bu alandan uzaklaşması sağlanacaktır. Yalnız, bu kazanımı elde edebilmek için

gerekli yasal düzenlemelerin bir ön-önce yapılmasının gerekliliği belirtilmelidir. Son söz olarak şu söylenebilir; büyük bir tarihsel mirasa sahip Türkiye'nin arkeojeofizik yöntemlere olan gereksinimi ne kadar ivediyse, bu yöntemlerin tanıtımı, gelişimi ve literatürlerinin yaratılması da o denli ivedidir.

Mahmut G. Drahor  
Dr., DEÜ Mühendislik Fakültesi  
Jeofizik Mühendisliği Bölümü

#### Kaynaklar

- Airken, M.J. Physics and Archaeology, Clarendon Press, Oxford, 1974.  
Becker, H. Die Suche nach der Stadtmauer des homerischen Troia, München, 1993.  
Clark, A.J. Archaeological prospecting: A progress report, Journal of Archaeological Science, 2, 1975.  
Drahor, M.G. Arkeolojik alanlarda jeofiziksel prospeksiyonun önemi, IX. Araştırma sonuçları toplantısı kitabı, 1992.  
Weymouth, J.W. and Huggins, R. Geophysical surveying of archaeological sites, Archaeological Geology, Yale University press, 1985.

## Gamma Işın Patlamaları

Astrofizik uzun süredir çözmeye çalıştığı en önemli sorunlardan biri "Gamma Işın Patlamaları"dır. İlk kez 1967 yılında, yörüngedeki bir uydudan kaydedilen bu patlamaların nasıl oluştuğu henüz bilinmemektedir. Işınlardan kaynağı üzerine 100'ü aşkın kuram olmasına karşı, bunların hiçbirini tam anlamıyla tutarlı ve kanıtlanması (şimdilik) olanaklı bir sav getirememektedir.

Sorunun daha iyi anlaşılabilmesi için önce gamma ışınları üzerinde biraz durulmalı. Gamma ışınları ilk kez 1903'te, Ernest Rutherford tarafından bulunmuş elektromanyetik bir ışımdır. Kimi radyoaktif maddeler tarafından (örneğin radyoaktif kobalt) doğal olarak salınır. Fotonlar veya elektromanyetik dalgalar halinde yayılır. Parçacıkların karakteristik başlangıç hızları ışık hızına eşittir.

Gamma ışın patlamalarını ise çok kısa bir sürede, çok şiddetli gamma ışınlarının kaydedilmesi (yeni bir patlama gibi çok kısa bir sürede gelişen, ama o kadar da şiddetli gamma ışınlarının bombardımanı) olarak açıklayabiliriz.

Bu patlamalar sırasında kaydedilen veriler, bu ışınların gökyüzünde her yönde ve aynı yoğunlukta yayıldığını gösteriyor. Elbette, gökadamızdan hayli uzakta oluşan patlamaların yeryüzüne ulaşma olasılığı neredeyse sıfır, çünkü bunların tamamına yakını bize ulaşmadan evren tarafından söğürülecektir.

Patlamaların kaynağı üzerine ortaya atılan kuramlardan en akla yatkın gözükökenleri ise şunlar:

Patlamalar Gökadamız Samanyolu'nun hallesinde ortaya çıkıyor olabilir.

Gökadamız, Samanyolu T<sub>h</sub> tipi (kolların çekirdek etrafında sarmalının çok sıkışık veya çok açık olmadığı, çekirdeğin diğer sarmal gökadamı tiplerine göre ortalama büyüklükte olduğu), sarmal bir gökadamdır. Diskin çevresinde, hâle denilen küresel sistemde yıldız kümeleri vardır. Hâle, temelde kü-

resel küme içinde dağılmış yaşlı ve II. topluluk yıldızlardan oluşmuştur. Ayrıca kimi gözlemler disk çevresinde gaz hallesinin bulunabileceği izlenimini verir.

Bu kurama göre; gamma ışın patlamaları bu hâlede oluşan Süpernova'ya dönüşüm olayları sırasında ortaya çıkmaktadır. Işın patlamalarının da evrendeki her yönde, aynı yoğunlukta yayılması, bu kuramı desteklemektedir.

Süpernova, evrimin ileri bir aşamasına ulaşmış ve patlayarak geçici bir süre, son derece yüksek bir parlaklık veren büyük yıldız olarak tanımlanabilir. Bir süpernova maksimum parlaklığına ulaştığında, içinde yer aldığı gökada kadar ışık saçarak böylece ışınım gücü, Güneş'in ışınım gücünün 10 milyar katına erişir. Bu olay sırasında ortalama olarak 1045 J dolayında enerji açığa çıkar. Patlama sırasında kütlelerin büyük bir bölümü fışkırır ve geriye yalınz, Süpernova atığı denilen kısım kalır. Bu da bir X-ışını ve radyo dalgaları kaynağı olan, genişleme halindeki bir bulutsu olarak gözlemlenir.

Ancak Süpernova'ya dönüşüm çok ender görülen bir olaydır. Bir gökadamda, ortalama olarak yüzyılda bir Süpernova gözlemlenir. Örneğin gökadamızda son 1000 yılda yalnız 3 Süpernova gözlemlenmiştir (1054'te gözlenen ve geriye Yengeç bulutsusunu bırakan Süpernova; 1572'de Tycho Brahe tarafından saptanan, Koltuk takımyıldızındaki Süpernova ve 1604'te hem Kepler, hem de Galilei tarafından keşfedilen Yılanı takımyıldızındaki Süpernova).

Oysa bizler, gamma ışın patlamalarının ilk saptandığı 1967'den bu yana, birçok kez bu patlamaları gözlemeleme olanağını bulduk (700'den fazla). Bu yüzden hem böyle bir kuramın doğru olma olasılığı azdır, hem de bunu kanıtlamak oldukça zordur.

Işın Patlamaları, Güneş Sistemi'nin hemen ötesinde ortaya çıkıyor olabilir.

Bu kuram, "birkaç milisaniyelik bir gamma ışın patlamasının kaynağı da Güneş Sistemi'ne yakın olmalıdır" şeklinde özetlenebilir. Yani Pluton'un yörüngesinin ardındaki bir kaynak bunları yayıyor olabilir. Bu kaynak ne olabilir? Bu soruya verilen yanıtta, ne yazık ki pek doyurucu değil: Gamma ışın patlamaları bir kuyruklu yıldız ile küçük bir karadeliğin birlikteliği sonucu oluşuyor olabilir. Bu, kuramsal olarak olabilir. Böyle bir çarpışma sonucu kuyruklu yıldız tamamen parçalanacaktır ve bunun sonucunda da ortaya yoğun ve güçlü gamma ışınları çıkacaktır.

Ama şöyle bir bakıldığında bu kuramın da kanıtlanmasının neredeyse olanaksız olduğu görülür. Öncelikle Pluton'un ötesinde bulunduğu varsayılan böyle bir karadeliğin gerçekten varolduğunun kanıtlanması zorunludur (Şimdiki kadarsa varolduğu kanıtlanamayan tek karadeliğin, uzay teleskobu Hubble tarafından 27 Şubat 1994'te keşfedilen Messier 87-M87- gökadamının merkezindeki karadeliğidir). Ayrıca

yukarıda da belirtildiği gibi gamma şimşekleri çok sık ortaya çıkmaktadır; fakat bu kuramda ortaya atılan, bir karadelik-kuyruklu yıldız birlikteliğinin bu sıklıkla meydana gelmesi hemen hemen olanaksızdır.

Benzer nedenlerden ötürü, bu kuram da gamma ışın patlamalarına tam bir açıklama getirememiştir.

Bunlar evrenin bütününde ortaya çıkıyor olabilir.

Eğer bu ışın patlamalarının evrenin bütününde ortaya çıktığını kabul edersek, önümüze en mantıklı seçenek olarak nötron yıldızları çıkıyor. Bu kuram, kanıtlanması görece kolay ve en çok kabul gören olduğu için, bunu biraz daha açıklayalım.

Nötron yıldızları bilinen en yoğun yıldızlardır. Kütleleri 1,5 ile 3 Güneş kütleleri arasında değişirken, yarıçapları yalnızca 10 km kadardır. Bu yüzden nötron yıldızlarının hacimsel kütleleri  $cm^3$ 'te 100 milyon ton dolayındadır. Bunlar karadeliklerden sonra en fazla çekmiş gök cisimleridir. Gözlemlenebilen nötron yıldızlarının sayısı 600 ile 650 arasındadır ve bunlar ikiye ayrılır: X-ışını çift yıldızları; pulsarlar (güçlü manyetik alanları olan ve hızla dönen nötron yıldızlarıdır)

X-ışını çift yıldızlarında bir nötron yıldızı ile başka bir yıldız birbiri etrafında, bir yörüngede dönerler. Diğer yıldız, yani eş yıldız "yıldız rüzgârı" sonucu yüzeyinden madde kaybedebilir. Ayrıca birçok X-ışını çift yıldızında "Roche bölgesi taşıması" gözlenir. Bir çift yıldızda, her bir yıldızın kendi çekim gücünün etkili olduğu bölge Roche bölgesi olarak adlandırılır (Bu sınır uzaklık  $R = 1,45 L r$  bağıntısıyla verilir. Burada R ana cismin merkezinden başlayarak ölçülen uydular yörüngesinin yarıçapını, r ana cismin yarıçapını ve L iki cismin yoğunluk oranlarına bağlı bir çarpanı belirtir). Yoğunlukla eş yıldız yüzey katmanları, yıldızın kendi kütle çekiminden çok nötron yıldızının kütle çekimi etkisi altına girer. Eş yıldızın bu yolla kaybettiği maddenin büyük kısmı nötron yıldızına katılır ve nötron yıldızının kütle çekim gücü sonucu bu madde hızlanır. Bu süreçlerin sonunda çok şiddetli ve yoğun gamma ışınları oluşur.

Yukarıda anlatılanlar kuramsal ve gözlemsel olarak kanıtlandıklarından, gamma ışın patlamalarının kaynakları konusunda en çok nötron yıldızları üzerinde durulmaktadır (Bu matematiksel olarak da kanıtlanabilir: Nötron yıldızlarının bütün yüzeylerinden yayılan enerji,  $4 \pi r^2 s T^4$  formülü ile bulunabilir. (s burada Stefan yasası anlamındadır;  $s = 5,67 \times 10^{-8}$ )

Bu kuramı destekleyen başka bir savsa yine X-ışını çift yıldızlarıyla ilgilidir.

Kütlesi görece az olan yaşlı X-ışını çift yıldızlarında, nötron yıldızının radyo sinyali yayma sürecinin milisaniyeye çok yakın olması gerekir (Bir nötron yıldızının kendi eksenini etrafında her dö-

nüşünde tek bir radyo sinyali kaydedilir). Çünkü bu yıldız, eş yıldızın kütle aktarımı sonucu çok hızlanmış olacaktır (bir yıldızın ulaşabileceği en yüksek dönme hızı saniyede 640 kadardır) ve dolayısıyla bu nötron yıldızının periyotları çok küçük olmalıdır. Bu periyot o kadar küçüktür ki saniyenin binde birine (milisaniye) yakın değerlerle belirtilir (kuramsal olarak kanıtlanan bu milisaniyelik pulsarlar henüz, ne yazık ki gözlemsel olarak kanıtlanamadı).

Ancak bu tip nötron yıldızlarındaki dönme periyodu diğer çift yıldızlarda olduğu gibi çok dengeli değildir; çeşitli dalgalanmalar olur. Bu dalgalanmalar da, gamma ışın patlamalarına nötron yıldızlarının neden olduğu savını desteklemektedir.

Sanırım bu anlatılanlardan sonra, bir çoğumuzun problemin çözümünün son seçenek olduğu konusunda birleşiyoruz. Ancak sorunu hâlâ çözümüzsüz kılan bir gerçek var:

Gamma ışın patlamaları gökyüzünün her bölgesinde aynı yoğunlukta ortaya çıkıp, birkaç saniye içinde, ardında iz bırakmadan kaybolmaktadır ve en önemlisi, bu ışınların geliş yönlerinde bilinen hiçbir gök cismi bulunmamaktadır.

Peki bunu nasıl açıklayabiliriz?

Bence bu durum, ancak gamma ışınlarının kaynaklarından ayrıldıktan sonra yönlerinin değişmesi olarak açıklanabilir. Yön değişimi ise kütle çekim yasasının bir etkisi olarak açıklanabilir. Bilindiği gibi elektromanyetik bir ışın olan, yani elektromanyetik dalgalar halinde yayılan (bu elbette kesin değil; çünkü daha ışık, parçacık mı, yoksa dalga mı sorusuna yanıt bulamadık) enerji olan ışığın doğrusal devinimi bile çok büyük kütleli gök cisimlerinin dolaylarında etkilenir ve ışığın devinimi bu gök cismine hafif de olsa yönelir.

Bundan dolayı, yine bir elektromanyetik enerji çeşidi olan gamma ışınlarının yönlerinin de çok büyük kütleli bir gök cisminin etkisi sonucu değiştiğini düşünüyorum. Bu büyük kütleli gök cismi karadelik benzeri bir yapı göstermelidir, yani yaklaşık  $2 \times 10^{27}$  ton maddenin 3-3,5 km yarıçaplı bir hacme sıkışmış olduğu bir yapı sergilemelidir. Işık bir karadelikten kaçamaz. Ancak enerji bakımından daha zengin olan bir gamma ışını bundan kaçabilir; fakat yönü değişecektir. Işın patlamalarının birkaç saniye sonra kaybolmalarını ise, evrenin bu ışınları doğal soğurması olarak açıklayabiliriz; ama daha önce de belirttiğim gibi, ortaya koyduğum bu savın gözlemsel olarak kanıtlanması şimdilik neredeyse olanaksızdır.

Özetlemek gerekirse, gamma ışın patlamaları konusunda şimdilik kuramlardan ve savlardan öteye geçemiyoruz. Ancak bunların önümüzdeki 5 yıl içinde kanıtlanabileceğine, bu probleme mantıklı ve kesin bir çözüm getirileceğine inanıyorum; çünkü gamma ışın patlamaları ile, 60'ların sonun-

da Vela uyduları ile başlayan serüvenimiz, 1992 sonlarında fırlatılan GRO ve ülkemizin de katkıda bulunduğu Spectrum-X-Gamma uyduları ile sürüyor. En önemlisi ise 2001 yılında fırlatılması beklenen Integral uydusudur. Öncekilere oranla çok daha güçlü olan Integral, bizlere, gamma ışın patlamalarının kaynağı konusunda kesin yanıt verecektir.

Sedat Güneş

*Istanbul Lisesi Çağdaşlı/Istanbul*

**Kaynaklar**  
Weinberg, S. İlk Düküka, TÜBİTAK Popüler Bilim Kitapları, Ankara 1995  
TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi, Haziran-Ekim 1994

## Atomik Kuvvet Mikroskopisi

Günümüzde malzeme bilimlerinde giderek önem kazanan konuların başında yüzeylerin karakterizasyonu ve analizi gelmektedir. Gerek fiziksel, gerek kimyasal değişikliklerin öncelikle maddelerin birbiri ile temas ile başladığı düşünülmüşse, temas yüzeylerinin ayrıntılı kimyasal ve fiziksel özelliklerinin bilinmesinin önemi kolayca anlaşılır. Bu nedenle malzeme bilimlerinde yüzey özelliklerinin bilinmesi özellikle metalurji, paslanma, kataliz, mikro ve optoelektronikte, seramiklerin aşınmasında, camsi ve kompozit maddelerde, polimerlerde, ambalaj maddelerinde, biyomalzemelerde ön plana çıkmıştır. Bugün tüm dünyada çeşitli araştırma merkezleri ve laboratuvarlarında yeni bir malzeme türü geliştirilirken öncelikle yüzey karakterizasyonu, ilk yapılması gereken çalışmaların başında gelmektedir. Bunun nedeni son derece açıktır; çünkü her malzemenin içinde bulunduğu veya kullanıldığı ortamda çevresi ile ilk temas ettiği yeryüzeyi olmaktadır. Yüzeylerin içinde buldukları ortamlarla uyumluluğu, aynı ortamlarda kullanılabilirliği için ilk temel koşuldur.

Yukarıda belirtildiği gibi yüzeylerin karakterizasyonu kimyasal ve fiziksel açılabılır. Aslında bu iki yaklaşım birbirlerini tamamlamaktadır. Yüzeylerin kimyasal karakterizasyonlarında çok gelişmiş spektroskopik teknikler

kullanılmaktadır. Bunlar arasında Auger Elektron Spektroskopisini, (AES) X-Işınları Fotoelektron Spektroskopisini (XPS), İkincil İyonlar Kütle Spektroskopisini (SIMS) sayabiliriz. Bu teknikler arasında XPS ve SIMS yalıtılan malzemelerin yüzey analizi çalışmalarında da kullanılabilir. XPS yöntemi ile yüzeylerin elementel analizini yapmak, yüzeydeki veya yüzeyden içeriye doğru kimyasal oksidasyon hallerini tespit etmek mümkündür.

Yüzeylerin kimyasal analizlerini mümkün kılan bu tekniklerin yanında doğrudan veya dolaylı analizlerin yapılabildiği başka teknikler de mevcuttur. Kimyasal karakterizasyon kadar yüzeylerin fiziksel karakterizasyonu da önem taşır. Yüzeylerin topolojisi ve morfolojisinin tespiti ile kimyasal yapıları hakkındaki bilgiler birleştirildiği zaman, katalitik aktiviteden, polimerlerin biyoyumluluklarına kadar pek çok konudaki davranışların mekanizmalarını açıklayarak mümkün olabilecektir.

Fiziksel karakterizasyonların başında uzun yıllardır kullanılmakta olan ve günümüzde ayrıncılığı atomik örgü boyutlarına inmiş olan elektron mikroskopisi gelmektedir. Mikroskop çalışmaları nispeten geniş bir alanı inceleyebilmek, daha geniş sahalarda hakkında bilgi toplayabilmek için uzun bir süreç taramalı sistemler kullanılmaktadır. Gerek taramalı elektron mikroskopisinde, gerekse taramalı Auger mikroskopisinde malzeme yüzeyinde hareketli ya da yeterince ince tabakalarla çalışırken, malzeme içinden geçen elektronlarla maddenin etkileşmesi sonucu yüzey yapısı incelenmektedir. Yüzeyin karakterize edilebilmesi için tarama işlemi elektronları kullanılmakansa, bu amaçla çok ince uçların (sondaların) kullanılması oldukça yeni bir düşüncedir.

Mikroskop dünyasındaki gelişmeler takip edildiğinde, alışılmadık optik mikroskopların son yıllarda ulaşabilecekleri en iyi noktaya geldikleri gözlenmektedir. Yüksek büyütme gücü (atomik boyutlarda) ve ayrıncılık isteklerine pratik olarak bir çözüm arama çalışmaları "Taramalı Sonda Mikroskopu" (Scanning Probe Microscope-SMP) ile başlamıştır. Bu tip mikroskoplara merceksiz mikroskop da denilmektedir.





1956 yılında O'Keefe'nin ortaya koyduğu "Yakın Alan Taramalı Optik Mikroskop" (Near-field Scanning Optical Microscope-NSOM) fikri o zamanın teknik olanaksızlıkları nedeniyle, 1990'lı yıllara kadar tam anlamıyla gelişmemiştir. 1982 yılında ilk taramalı sonda mikroskopu olan "Taramalı Tünelleme Mikroskopu" nun (Scanning Tunneling Microscope-STM) yapımını gerçekleştirmesinden sonra (Gerd Binnig ve Heinrich Rohrer bu buluşlarından dolayı 1986 yılında Nobel Fizik Ödülü'nü kazanmışlardır), 1986 yılında yine SMP sınıfından olan "Atomik Kuvvet Mikroskopu" (Atomic Force Microscope-AFM) fikri Binnig tarafından ortaya atılmış ve meslektaşları Gherber ile birlikte 2-3 gün içinde ilk prototipini çalıştırmayı başarmışlardır. O'Keefe'nin rüyası NSOM ise, 1994 yılında ticari olarak mikroskop piyasasına sunulmuştur.

Bütün taramalı sonda mikroskopları (SPM) çok ince uçlu bir sondanın incelenen örnek yüzeyine oldukça yakın bir mesafede hareket ettirilmesi ve bunun sonucunda elde edilen verilerin değerlendirilmesi prensibiyle çalışır. Bu itibarla sonda, örnek yüzeyinde belirli ve düzenli aralıklarla hareket ettirilerek tarama işlemi gerçekleştirilir. Sonda, yüzey üzerinde hareket ederken yüzeyde bulunan mikroskopik boyuttaki tepeler ve çukurları algılar. Sondanın x-y ve z yönündeki hareketlerinin kontrolü genellikle piezoelektrik kristaller aracılığı ile sağlanır.

Çeşitli SPM'ler, örnek yüzeyini algılama metodları bakımından farklılık gösterirler. Yüzey analizi çalışmalarında kullanılan AFM, örneğin cinsinden ve büyüklüğünden bağımsız olarak çalışabilmesi nedeniyle (STM'de iletken örnek veya örneğin yalıtkan olması durumunda üzerine iletken malzeme kaplanmış örnek gereklidir) bu amaç için en uygun olanı olarak kabul edilmektedir.

AFM çalışırken, sonda ve örnek yüzeyi arasında sabit bir kuvvet (nano-Newton mertebesinde) uygulanır. Sondanın örnek yüzeyine yaklaştırılması ile ilk önce uzak etkileşim kuvvetleri olan van der Waals ve sondanın daha da yaklaştırılması ile daha etkin olan atomik kuvvetler (sonda ve örnek yüzeyindeki

atomların orbitallerindeki elektronların neden olduğu kuvvetler) devreye girer. Bununla beraber AFM, sondanın doğru- rudan örneğe dokundurulmasıyla da (contact mode) çalıştırılabilir.

AFM'de sonda, çok hassas esnekliğe sahip tımcu bir kola (spring cantilever) monte edilmiştir. Sabit bir kuvvetle örnek yüzeyine basan bu kol, sondanın örnek yüzeyinde dolaşırken karşılaştığı topolojik özelliklere bağlı olarak aşağı ve yukarı hareket eder. Koldaki bu hareketin değerlendirilmesinde çeşitli metodlar kullanılmaktadır. Sistemde lazer ışığı kolun ucuna düşürülerek bir ayna aracılığı ile detektöre gönderilmektedir. Dolayısıyla bu kolun en küçük bir hareketi, detektöre yansıyan lazer ışınındaki yer değiştirme olarak algılanır ve üçün- çü boyut olarak tanımlanır. Detektörün çıkış voltajı, sondaya sabit kuvvet uygulanması için piezoelektrik kristallere verilen voltajla ve ayrıca hata sinyali ile de karşılaştırılarak geri besleme sinyali olarak kullanılır ve sonraki düzeltme yapılır. Tarama sırasında kaydedilen x-y-z değerleri bir sayısal sinyal işlemcisi (Digital Signal Processor-DSP) yardımıyla doğrudan bilgisayar ekranına ve belleği- ne gönderilir. Bu aşamadan sonra da uygun yazılımlar ile görüntü işlenmesi ve analizi yapılır.

Angström altı ayrıncılık özelliği nedeniyle AFM aracılığıyla malzeme yüzeylerinin atomik örgüsü anlaşılabilir- maktadır. Örnek cinsinden bağımsız olarak bu ayrıncılık mertebesinde üç boyutlu görüntü elde edilebilmektedir. AFM kullanılarak sıvı, vakum, yüksek veya düşük sıcaklık koşullarında bile yüzey analizi yapılması olasıdır.

Ülkemizde ilk ve henüz tek olan AFM, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK), Ankara Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi'nde (ANAEM) bulun- maktadır. Malzeme Araştırma Bölümü (MAB) bünyesinde servis veren bu mikroskop ile çeşitli yüzey görüntülerinin toplanması ve analiz edilmesi oldukça kolay olmaktadır. Gamma ışınlarının polimer malzeme yüzeylerinde neden ol- duğu morfolojik değişiklikler AFM ile ilk defa burada incelenmektedir.

AFM ilk geliştirilmesi aşamasında temiz yüzeylerin sadece yüksek vakum ortamında inceleneceği bir sistem olarak düşünülmüştür. Daha sonra sağla- nan gelişmeler ile hava ortamında, hatta bir sıvı içinde bile çalışabileceği gösterilmiştir. In situ (yerinde) çalışma ola- nağı vermesi ve gerçek zamanda göz- lemlerin yapıyor olması AFM'yi diğer tekniklerden üstün kılan bazı özellikler- dir. Daha gelişmiş teknikler kullanıla- rak daha ince sondaların yapılması ile şimdilerde ulaşılan ayrıncılığın da ötesi- ne geçilmesi çok zaman almayacaktır. Yazının başında belirteceğimiz gibi AFM , yüzey karakterizasyonunun söz konu- su olduğu herhangi bir malzeme için özel bir örnek hazırlama tekniğine ihti- yaç duymadan, doğrudan kullanılan, çok güçlü bir mikroskopi sistemidir. AFM cihazlarının ticari olarak temin

edilebilirliği ancak son 4-5 yıl içinde gerçekleşmiştir. Bu nedenle henüz dünya literatürüne çok fazla girmiş bir teknik değildir. Çok yakın gelecekte la- boratuvarların standart aletleri arasına gireceği beklenmektedir.

#### Biyoteknolojide AFM Kullanılması

Biyolojik bilim ve faaliyetlerle, tıbbi çalışmaların sembolize etmek için kul- landıkları logoları hiç dikkat ettiniz mi? Bu amaçla hemen hemen evrensel ola- rak hep mikroskop şekli kullanılır. Ger- çekten tüm biyolojik ve sağlık bilimle- rinde yapılacak araştırma, inceleme, teşhis, tanı amaçlı çalışmaların temelinde, incelenecek örneklerin olabildiğin- ce ayrıntılı görüntülerinin tespit edil- mesi yer alır. Bunun da tek yolu mikroskobik çalışmalar yapmaktır. Günümüzde mühendislik bilgisi ve teknolo- jisinin tip ve biyoloji bilimlerinde uy- gulanması biyoteknolojiyi ortaya çıkar- mıştır. Biyoteknoloji araştırmalarında, gerek yeni malzemelerin geliştirilme- sinde, gerekse mevcut malzemelerin biyoteknolojinin gerektirdiği değişik ortamlarda kullanılması aşamasında yü- zeylerin incelenmesi ve üç boyutlu gö- rüntülerinin alınması çok büyük önem taşımaktadır.

Işık mikroskoplarının ayırma gücünün üst sınırı (kırmızı sınırı) yaklaşık 0,5 mikrometredir. Yani görünür bölge- deki ışığın 0,5 mikrometrelik dalga bo- yundan daha küçük boyuttaki cisimle- rin algılagelmis ışık mikroskopları ile gözlenmesi mümkün değildir. Bu ne- denle 1930'lu yıllarda elektron mikros- kobu geliştirilmiştir. Buna bağlı olarak da SPM teknolojisinin gelişmesi sonu- cunda elektron mikroskobuna kıyasla yaklaşık 1000 kat daha fazla ayrıncılığa sahip olan AFM, biyoteknolojide geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Tek bir hücreden, hücrenin yaptığı olan prote- in moleküllerine kadar üç boyutlu gö- rüntü elde edilmesini sağlayan AFM'nin elektron mikroskobuna karşı en önemli üstünlüğü; incelenecek ör- neğin sıvı veya katı olmasının incelen- meye bir engel teşkil etmemesidir. Bir örneğin elektron mikroskobunda incelenmeden önce bu örnek için zaman alıcı ve masraflı bir takım hazırlık çalış- maları gerekmektedir. Ayrıca elektron mikroskobunda inceleme için gerekli olan vakum ortamının AFM için gerek- memesi de bir başka büyük avantaj ola- rak kabul edilebilir.

Hücre fizyolojisi üzerinde çalışan biyologların en çok ilgilendikleri konu- ların başında, hücrelerin buldukları ortamlarda incelenmesi gelmektedir. Hücrelerin örneğin bir elektron mikros- kobu ile incelenmeye çalışılması duru- munda çok zor ve zahmetli bir örnek hazırlama işlemi gerekmektedir. Ayrıca elektron mikroskobundaki vakum orta- mı, çoğu örneği hasara uğratmakta- dır; dolayısıyla, in vivo fizyolojik koşu- lara çok benzer sıvı ortam içerisinde yer- leştirilen hücreler hasara uğramadan AFM ile kolaylıkla ve çok daha kısa bir

sürede incelenebilmektedir. Kısacası, AFM ile hücre yüzeyi, hücre zarının özel moleküllerinin, reseptör bölgeleri ve hücrelerarası yapışma mekanizmalarının araştırılması mümkündür. Bunun yanı sıra, iyi hazırlanmış bir örnek hücre çekirdeğinin yüzeyindeki yapı da (nuclear pore complex) incelenebilir.

Atomik Kuvvet Mikroskobu, yapay organ çalışmalarının temel malzemesi olan polimerlere, hormon, antibody, an- tijen vb. tutturulması ve bunların karşı- lıklı etkileşmelerinin incelenmesi çalış- malarında kullanılabilir. Bu nedenle çe- şitli polimer yüzeylerine, antibody vb. mikroorganizmaların tutulma mekaniz- malarının polimerin yüzey topolojisiyle olan bağlantısının araştırılması ANA- EM'de yürütülen çalışmalardandır.

#### Malzeme Bilimi Araştırmalarında AFM Kullanımı

Modern teknolojide kullanılan mal- zemelerin kimyasal ve özellikle fiziksel yapılarının yüzey topolojisi bakımından incelenmesi ile özel bilgilerin toplan- ması ve karakterizasyonunda AFM ol- duğu önemli avantajlara sahiptir.

Karbon kökenli malzemelerin yapı- mında kullanılan karbon liflerin (fibers) kalitelerinin tespitinde Atomik Kuvvet Mikroskopisi uygun bir kalite kontrol metodudur. Bu liflerin, tenis raketin- den, radara yakalanmayan uçak malzeme- sine yapımına kadar geniş bir alanı kapsaması, AFM'nin bu çalışmalarda ne kadar önemli tahratsız bir analiz aracı olduğunu göstermektedir.

AFM günümüzde, kozmetik sanay- inde üretilen çeşitli kozmetiklerin in- san saçına olan etkilerinin incelenmesi amacıyla da kullanılmaktadır.

Optoelektronik malzeme üretim teknolojisinde ve özellikle yüksek pür- rüzsüzlük seviyesindeki yüzeylerin ve laser aynalarının kaplama öncesi ve sonrası yüzey kalitelerinin incelenmesi AFM ile mümkündür. Bu malzemelerin kullanıldığı ortamlarda yüzeylerinin nasıl etkilendiğinin tespit edilmesi, sonraki üretimlerinde daha kaliteli yü- zeylerin yapılmasına yardımcı olabilmektedir. Bunun yanı sıra ince film tek- nolojisinde ve tümlük devrelerin yapı- mında bir kalite kontrol aracı olarak da kullanılmaktadır.

Amerikan uzay mekiği Challenger'in sefer sonrası pencere camlarının incelenerek, kozmik ışınların neden ol- duğu tahmin edilen mikron seviyesin- deki bozuklukların tespiti ilk defa AFM ile yapılmıştır.

Belli bir örnek yüzeyinde yapılan çalışmalarda aynı bölgenin uygulama sonrası incelenbilmesi bu tür çalış- malarla aşılması gereken en önemli sorun- lardan birisidir. Diğer bir deyişle, yüzey üzerinde bir yerin adreslenmesi ve yü- zeyin çeşitli muamele veya modifikas- yonlardan sonra aynı bölgenin tekrar AFM ile incelenmesi çok hassas bir ça- lışma gerektirmektedir. Bu amaçla daha önce adı geçen merkezde, ışınlama ön- cesi ve sonrası aynı bölgenin görüntü-

stünü alabilmek için çalışan polikarbonat filmi üzerine neşter ile çizilmiş birbirini kesen iki çizgi referans olarak kullanılmış ve ardışık büyütmelemlerle 2x2 mikronluk bir alan yüzeyine kadar inilebilmiştir.

Malzeme araştırmalarının bir devamı olarak, bronz eserlerin yüzeylerindeki paslanmalar ve buna karşı koruma çalışmaları yine AFM kullanılarak ANAEM'de yürütülmekte olan faaliyetlerdendir.

Görüntü toplamanın yanısıra, malzeme yüzeylerinin sertlikleri ile elektrik ve manyetik alan kuvvet dağılımlarının belirlenmesinde de AFM kullanılabilmektedir.

Olgun Güven-Erdal Tan-Ali Alaşıcı  
Ankara Nükleer Arj. ve Eğitim Merkezi

**Kaynaklar**  
A Complex Family of Scanning Probe Microscope Systems, TopoMetrix, 1993.  
TopoMetrix Application Notes, Number 2-0393-002, March, 1993.

## Üniversitemiz

Hep söylenildiği gibi, ülkemizin, bilim alanında, eskiye göre geri gittiği doğru değildir; ancak bilimsel gelişme bir yarıştır. Siz aynı hızla koşmaya devam ederken başkaları hızlarını arttırmışlarsa, siz hızınızı korumazsanız, çağın gerisinde kalırsınız. Bu geri kalmanın çok çeşitli nedenleri bulunmaktadır. Ben burada, bence en önemli saydığım, birkaç nedeni sıralamaya çalışacağım:

Bizde bilimsel bir gelenek bir türlü yerleşememiştir; çünkü bilim özgürlük, destek ve de bilime değer veren, onu yaşamında değerlendirebilen bir toplum ister. Bilim adamı üniversitede yetişir. İyi bilim adamı da iyi üniversitede yetişir. Üniversite bir toplumun motorudur. Bu nedenle, toplumun motoru olan bir üniversitenin açılması için belli koşulların oluşması gerekir. Bu koşullar; ülkenin planlaması içinde o üniversitenin yetiştireceği elemanlara gereksinim olması; eğer böyle bir gereksinim varsa, o durumda, bu üniversiteyi açabilmek için yeterli öğretim kadrosunun olması; ülkenin maddi olanaklarından bu üniversiteyi açabilmek için yeterli miktarda kaynağın ayrılabilmesi ve çağı yakalayabilmenin, çağdaş bir üniversite yönetimi biçimi ile mümkün olduğunu anlayabilen bir kadronun varlığı şeklinde özetlenebilir.

Bizde ise bu soruların hiçbirisi ne düşünülmüş, ne de sorulmuştur. Yakın zamana kadar, sağlık politikasını bile belirleyememiş olan ülkemizde, şu kadar hastaya şu kadar doktor olursa sağlık sorunu çözümlenir gibi nereden çıktığı belli olmayan bir savla, sağlık sorununun alt yapıdan başlayan entegre bir sorun olduğu unutulmuştur. Yıllar yılı, ülkemizin kalkınabilmesi için tarımsal üretime mi, yoksa sanayiye mi öncelik verilmesi gerektiği ikilemi sonucunda bugün, dört iklim kuşağının yaşadığı ülkemizde, tarımsal ürün ithal edilir hale gelmiştir. Bu ikileme günümüzde bir de turizm seçeneği eklenmiştir.

Yüksek Öğretim Kurulu (YÖK) kurulduğunda, öğretim üyesi sayısı bırakınız elli küsur üniversite açmaya, belki on üniversite açmaya ancak yeterdi. Yeteneksiz, araştırmacı ve öğretim üyeliğinin ne olduğunu bilmeyen birçok kişi, akşamdan sabaha, öğretim üyesi yapıldı. Bu kişiler, kendi yetersizlikleri ortaya çıkmasını diye, hiçbir değerli elemanın o birimlerde bulunmasına ve çalışmasına izin veremeyerek bilimi ipotek altına aldılar.

Ayrıca, öğretim üyelerinin maaşları düşük tutularak, öğretim üyesi ekonomik zorlamalara sokuldu. Aynı mesai saatlerinde, öğretim üyesine, ek ders ücreti ödenerek öğretim üyeliği sistemi zedelendi ve bu yolla, öğretim üyeleri ders veren makinelerle dönüştürüldü. Bu durumun, doğal sonucu olarak da, öğretim üyeleri geçim derdine düştüler ve araştırma yapmaktan uzaklaştılar. Ders programları ise, programın gereğine göre değil, öğretim üyelerine iş bulma, ek ders ücreti sağlama esaslarına göre belirlenir oldu.

Yeni açılan hiçbir üniversitede, doğru dürüst bir kütüphane kurulamadı. Eski üniversitelerdeki kütüphaneler de, başka birçok neden yanında, olanaklar paylaşıldığı için, köhneleşti ve araştırmacının can suyu olan süreli yayın ve kitap ülkemize pek uğrayamaz oldu. YÖK bir kütüphane açtı ve bu kütüphaneyi bir örütle bütün üniversitelerle bağlantılandıracağı söylemesine rağmen on yıldır bunu gerçekleştirmedi, gerçekleştiremedi de pek mümkün görünmüyor. YÖK ve üniversitelerde önceliklerin değişmesi ve ödenek yetersizliği bahanesi sonucunda bugün birçok süreli yayın ve kitap YÖK kütüphanesine bile getirilememektedir. Teknik personel sıkıntısı öyle büyümüştür ki, YÖK kütüphanesinin, hafta sonları, kapanması bile gündeme gelmiştir.

Üniversite yönetim biçiminin çağdaş yapıdan uzaklaştırılması, yalnızca kendisini atayan makamlara yarama yarışına giren idareci (yönetici değil) tiplerin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bunun ortaya çıkardığı sonuçlar da; i) Zaten çok kıt olan olanakların eğitim yerine lükse harcanması, ii) Araştırmacının boşa harcanan para ve emek sayılması düşüncesinin gelişmesi, iii) Araştırma yapan öğretim üyesinin bunu kendi bilimsel tatmini için yaptığını varsayılması ve hiç desteklenmemesi şeklinde olmuştur.

Atama ile gelen idarecilerimiz, üniversitemizde türban, başörtüsü gibi olaylarla, ya lehte ya da aleyhte olarak, mücadele eder görünmüş ve öğretim üyeliği ve bilim adamlığına vazgeçilemez özgürlüğü olan öğrenci eğitime ve değerlendirme haklarını, parlamentoda "af'lar" şeklinde gelişen olaylarla, elinden kapmışlardır. Bunun sonucunda,

üniversitemiz yetiştirdiği elemanların niteliği açısından erozyona uğramış ve bu erozyon, yukarıda anlatıldığı gibi, eğiticilerin erozyonu şeklinde de geliştiğinden, sorunun çözümü de zaman alacaktır.

Peki ne yapmalı, çözüm nedir?

Oturup dövünelim mi? Yoksa hâlâ bir şeyler yapılabilir mi? Ben yapılabileceğine inanıyorum. Bu ülkeyi ve de bu ülkedeki potansiyeli bilen herkes bu soruların üstesinden gelebileceğini de bilir. Ama nasıl? Tabii ki mücadele ederek. Doğru düşüncelerin de yanlış düşüncelerin kadar bu sorunların çözümü için zaman ayrılmaları ile.

Aslında, bütün bu sorunların çözümü, insanların konuşabilmesi, düşündüğünü özgürce ifade edebilmesi ve ülkemizin polis devleti kimliğinden çıkartılmasından geçmektedir. Bir konuda bize hak vermiyor, lüzden ayrı düşünülüyor diye insanlarımızı vatan haini ilan etme huyundan vazgeçmeli, tam tersine, bunun bir ayrı seçenek olarak, o düşüncenin ülkemizi geliştirici etmen olabileceğini varsayabilmeliyiz. Artık bu ülke aydınlarından korkmamalı, onları bağrına basabilme olgunluğuna ulaşmalıdır. Ülkemiz insanınca, kalitenin oturtulması gerektiği, Avrupa'lı olmayan bir kılık kıyafet işi olmayıp, bir düşünce biçimi olduğu anlaşılmalıdır. Cihazları, araçları, yalnızca kullanılan değil onları yaratan toplum olmanın yolunun bilgidene geçtiği anlaşılmalı, anlatılmalıdır. Diplomalılar toplumu değil, bilgi ve beceri dolu insanları olan bir toplum olmanın gereğinin ayırma yapılmalıdır. Bilginin çağımızın en değerli metası olduğunu bütün toplum bireylerine anlatabilmek için var güçle çalışmalıdır. Ne yapıp yapıp diplomaya göre maaş verme işinden yaka sıyrılmalı; üretilen işe göre ücret verilen bir sisteme yönelmelidir. Böylece, bir türlü başedilemeyen belge ve chliyetsiz diploma işinden belki kurtulabilir. Her müessesede iş tanımı yapılması zorunlu kılınmalı ve yalnızca bu tanımlara uyan kişilere iş verilmelidir.

Ülkemizde üniversite diploması sahibi birçok insan bulunmakla birlikte, kalite olarak, gerçek üniversite mezunu sayılabilecek insan sayısının yetersizli-

ği, bir şey üretmek istendiğinde, çok acı bir şekilde anlaşılacaktır. Üniversitemiz, maalesef bir meslek dalında, genel bazı bilgileri ezberletmekten öte, pek birşey verememektedir. Diploma sahibi kişi, kuramsal bazda kalmakta, bu bilgileri nerede ve nasıl kullanacağını bilememektedir. Ülkemizde, herhangi bir konuda, özelleşmiş ve yetiştirilmiş, eleman bulmak, gökte yıldız bulmaktan daha zordur. Bunun da nedeni, ülkenin gereksindiği elemanların nitelik ve sayısının bilinmemesidir. Ülkemizde bugün de en büyük patron, hiçbir işini kârlılık esasına göre yapmayan devlettir.

Bu nedenle, bir kişiye iş verilmesi, o kişinin bir şey üretmesi düşünülerek yapılmamakta, kişinin açlıkla kalmaması, sosyal olarak desteklenmesi adına yapılmaktadır. Bunun doğal sonucu olarak, devlet kurumları zarar etmekte ve zaten ücretler de diplomaya göre verildiğinden, kişi daha üst derecede diploma edinebilmek amacı ile, her türlü yolu denemekte ve çoğu kez de bir yolunu bularak, bu amacına ulaşmaktadır. Bu nedenle, alınan diplomaların, pratikte, bir değeri olmamaktadır.

Üniversite mezunu kişinin kalitesinin artması, ancak kaliteli elemana bir talep oluşursa mümkün olacaktır. Bu nedenle, kaliteli eleman talebinin yaratılması gerekir. Talebin yaratılması da ancak bu kişilerin üreteceği metanın değerlendirilebiliyor olması ile mümkün olacaktır. Doğaldır ki, esas görevi insanlara sosyal güvence sağlamak olan devlet üretimden elini eteğini çekmeli, üretim özelleştirilmelidir. Özel sektör kârlılık esasına göre çalışacağından, kaliteli üretim de iyi yetişmiş elemanla yapılabileceğinden yalnızca iyi yetişmiş eleman istihdam edilecektir; böylece denetim kendiliğinden kurulacak, istihdam diploma esasına değil, beceri esasına göre belirlenir olacaktır. Bu da ister istemez üniversiteleri kendilerine çeki düzen vermeye ve kalitelerini artırmaya zorlayacaktır. Dolaylı gibi görünse de kanımca, üniversitelerin sorunlarının çözümü için, bu tek çıkar yoldur.

Nazmi Özer

Prof.Dr., H.Ü. Top Fak. Biyokimya Böl.

**Aralık Ayı Ödüllü Bulmacayı doğru yanıtlayıp, dergimize gönderenlerden kura sonucu kitap kazananlar:**

İlhan Yüksek/Kocaeli,  
Orhan Güventürk/İstanbul  
Mevlüt Özen/Adana,  
Baskın Arpacıoğlu/Manisa,  
Haydar Zeren/Balkesir,  
Mustafa Deligöz/Sivas,  
M.Esmer/İstanbul,  
Sebahattin Kılıç/İstanbul,  
S. Salih Gören/İstanbul,  
Ahmet Acan/Zonguldak

## Ocak Ayı Ödüllü Bulmaca Yanıtı

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20

1	V	I	T	O	R	I	O	N	E	S	T	I	C	A	D	S	I	O
2	E	S	K	I	M	O	H	E	R	T	A	L	T	E	R	E	R	E
3	N	E	E	D	I	L	K	R	E	V	E	N	D	Ü	L	E		
4	Ü	V	E	N	D	İ	R	E	E	U	N	I	B	I	N	I	T	
5	S	I	S	A	N	T	U	T	Y	A	T	U	R	N	O			
6	C	D	A	V	A	S	E	T	N	E	A	A	M	O	L			
7	A	S	N	E	T	M	D	A	L	E	R	A	S	T				
8	R	I	F	U	N	D	E	P	A	N	S	E	V	R	E			
9	L	S	I	N	M	A	K	K	R	A	E	R	A	R	U	N	K	
10	E	R	A	B	I	A	S	I	V	A	S	G	I	V	R	T	L	
11	L	S	I	D	A	M	Ö	P	M	E	K	A	K	S	O	L	E	
12	E	L	Z	A	V	E	S	U	S	I	T	M	A					
13	A	D	M	T	U	R	B	E	K	U	R	A	E					
14	S	P	A	A	B	A	M	T	A	S	A	M	N	D	A	S	T	
15	T	A	K	O	P	C	Y	L	V	E	A	M	A	T	R			
16	E	L	F	R	E	F	R	E	A	N	Ü	N	E	K				
17	R	A	S	P	A	O	E	G	E	N	E	S	K	O				
18	O	N	T	A	R	I	O	M	L	L	E	S	T	I	Z			
19	I	G	E	R	A	S	E	R	E	N	C	A	M	N	A	R	I	
20	T	A	R	K	A	N	M	O	Z	A	L	I	K	T	A	G	I	N