

IMPORTANCE OF PETROGRAPHY IN STUDY AND RESTORATION WORKS ON HISTORIC BUILDINGS

ABSTRACT

Petrography is the science of rocks. Main topics based on the observation of natural occurrence, on identify and classify of the rocks. Petrographic studies can be summarized as follows: determination rock- forming minerals (optical petrography), calculating relative mineral proportions in a sample (modal or normative analysis), formation of mineral sequence (textural analysis) and finally naming rocks by using different classification tables. This can be done only by a appropriate polarization microscope. In geological science rocks are divided in three groups: igneous rocks, sedimentary rocks and metamorphic rocks. Each have own particular mineral assemblage and fabric appearance. With the development of the polarizing microscope the beginning of 20th century is considered as petrography's golden age. Archaeological finds, material analysis and absolute age determinations have gained a new dimension under the science archaeometry and attained the position after 1960's. Archaeometric studies carried out under the section of physical methods of microscopic petrography, X-ray diffraction (XRD) and other instrumental chemical analysis (XRF, AAS, etc.). These analyses can be applied to building stones, pottery wares, bricks, mortars and plasters. As a result to aid archaeological research building material determination, conservation and restoration works can be organized accurate and scientific performance. Recently some institutes have very rich collections of ancient building materials from Mediterranean regions. Perfect petrographic determinations are available on them. Besides, since 1988, every two years the scientists come together during ASMOSIA symposiums.

Tarihi Yapıların İncelenmesinde ve Restorasyonunda Petrografinin (Kayaç Bilim) Önemi

 SINAN ÖNGEN

► Jeologlar, yerkürenin en dış, katı ve sıvı katmanlarını araştırırlar. Petrograflar ise, özellikle kayaları incelerler. Eski Yunan etimolojisine

dayanan petrografi kavramı, *petros* (taş) ve *logos* (anlatım) anlamını taşımaktadır. Petrografinin başlıca konuları arasında; kayaların doğada gözlenmesi, tanımlanması ve sınıflamaya dayanarak kayalara isim verilmesi, yer almaktadır.

Kayalar esas olarak katı kristallenmiş elemanlardan, yani minerallerden veya jellerden oluşur. Sıvı ve gaz fazlar, genellikle mineraller içinde kapantılar şeklinde, tane yüzeyini sıvayan, gözenekleri dolduran maddelerdir.

Klasik Petrografi

Bilimsel bir tanımlama yaparsak, petrografi kayaların tanınmasını hedef alan bir bilim dalıdır. Bunu yaparken, kayaların mineral ve kimyasal bileşimlerini, yapı-doğu ve doğada bulunuş şekillerini araştırıp ortaya koyar. Uluslararası kabul görmüş sınıflamalar (IUGS) kullanılarak kayalara isim de verilebilmektedir.

Petrografik çalışmalardaki aşamaları şu şekilde özetleyebiliriz: (i) Kayacı oluşturan minerallerin tanyini (optik veya makro inceleme);

(ii) minerallerin göreceli oranları (modal analiz, norm hesabı); (iii) minerallerin oluşum sırasının belirlenmesi (ayrıntılı doku analizi), (iv) sınıflamalar kullanılarak kayaca isim verilmesi (ön takıların kullanılması).

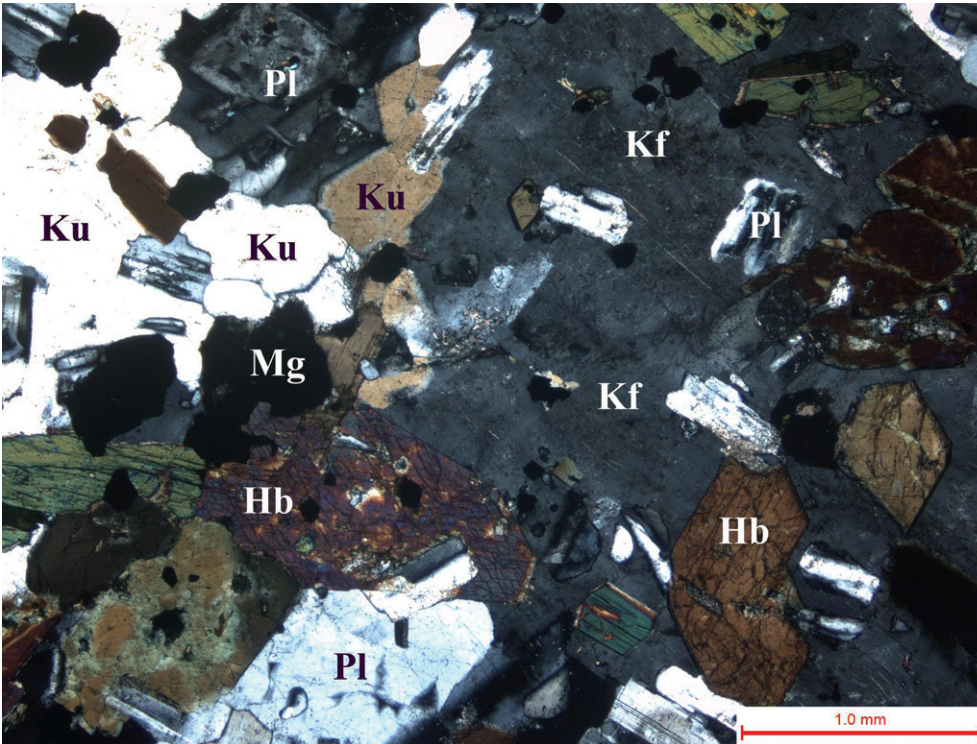
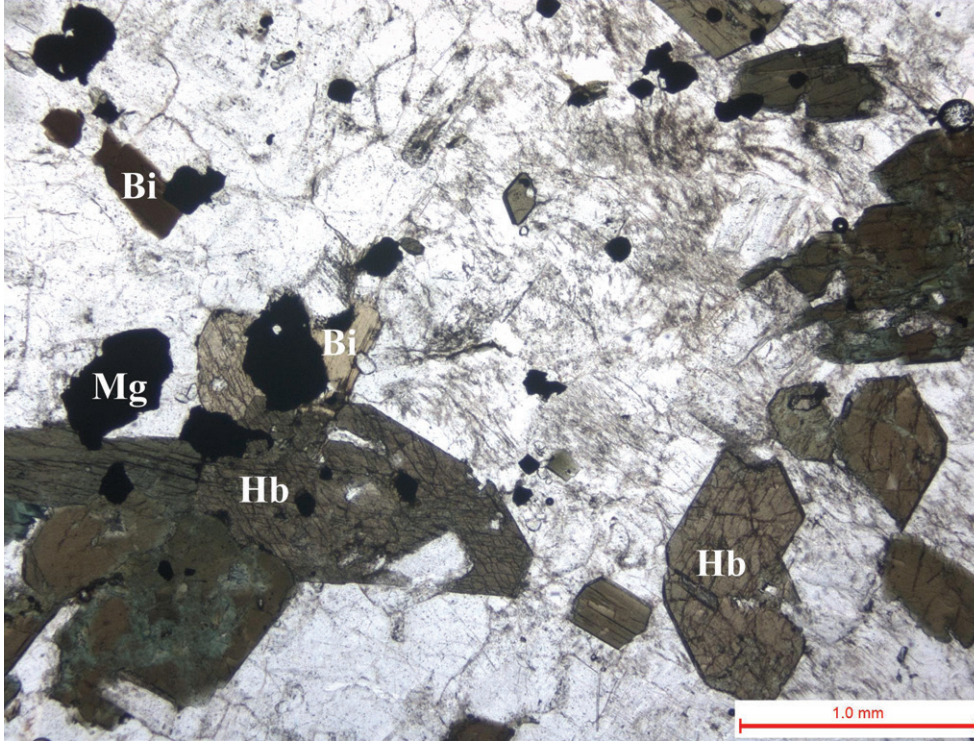
Bu konulara ayrıntılı yaklaşmak, ancak özel "Polarizan Petrografi Mikroskobu" kullanıldığında olanaklıdır. Mikroskopta incelemeye geçmeden önce kaya örnekleri ince levhalar hâlinde kesilip özel camdan yapılmış lam

üzerine yapıştırılır ve ışığı geçirecek kalınlığa kadar aşındırılır (30µ). Polarizan mikroskopta, optik özelliklerine bakılarak minerallerin tanyini yapılır; tane boyut-şekillerine göre de oluşum sırası belirlenmeye çalışılır. Mikroskoba eklenen bir aygıt ile kayayı oluşturan minerallerin hacimsel oranları bulunur (nokta sayıcı); dolayısıyla kantitatif bileşim de saptanır (modal analiz). Bu, kayanın gerçek mineral bileşimidir. Eğer tane boyutları çok ufaksa veya magmatik kayalarda

olabildiği gibi bazen mineral yerine cam şeklinde katılaşma gerçekleşmişse, modal analiz yerine kayanın elementlerini oksitler şeklinde saptayan, tüm kimya analizi yapılır. Analiz sonucu ile hesaplanan sanal mineraller bu kez kayacın norm analizi olarak kabul edilir ve hem modal, hem de norm sonuçlar sınıflamalarda kullanılarak kayanın

adı saptanır. Kayalar doğada oluşturan özgün bir görünüş (fabrik) kazanmaktadır. Fabrik, kayanın genel görünüşü olup kayaya ait yapı ve dokuyu belirlemektedir. Yapı, tane grupları ve agregalarının karşılıklı ilişkilerini araştırırken (tabakalar, kıvrımlar, bileşim bantları v.b.); doku, kayanın taneleri arasındaki ilişkileri inceler; bu şekilde

kayanın kristallenme düzeni, tane boyutu, içindeki minerallerin tane şekilleri saptanır (Şekil 1a, b). Jeologlar, saha ilişkileri kapsamında kaya kütlelerinin boyutunu, şeklini, formasyonlar arası dokanakların konumlarını, dokanaklara yaklaşıldığında fabrik değişimlerini ve yan kayalara göre jeolojik yaş farklarını saptayarak araştırılan bölgenin

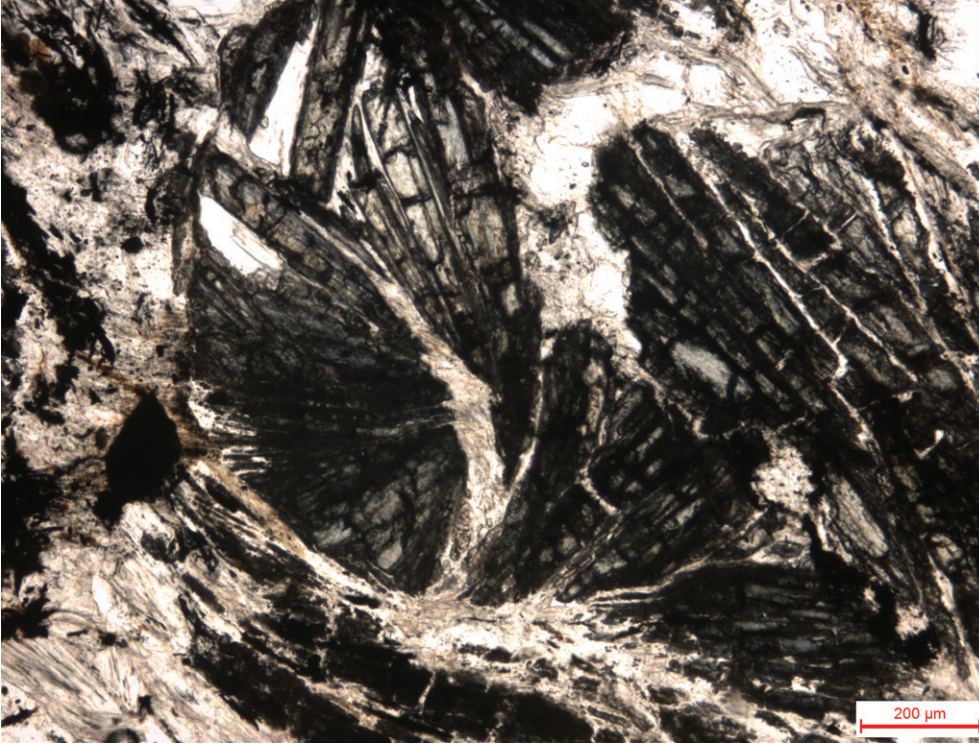


Şekil 1: Kestanol kuvars monzoniti (*marmor troadense veya granito violetto*) Ezine, Çanakkale. A. Doğru ışıkta renkli minerallerin dağılımı, B. Çapraz ışıkta orta taneli, hipidiomorfik dokuda bir plütonik kayanın mineralleri (Ku= kuvars, Kf= alkali feldspat, Pl= plajiklas, Hb= hornblend, Bi= biyotit).

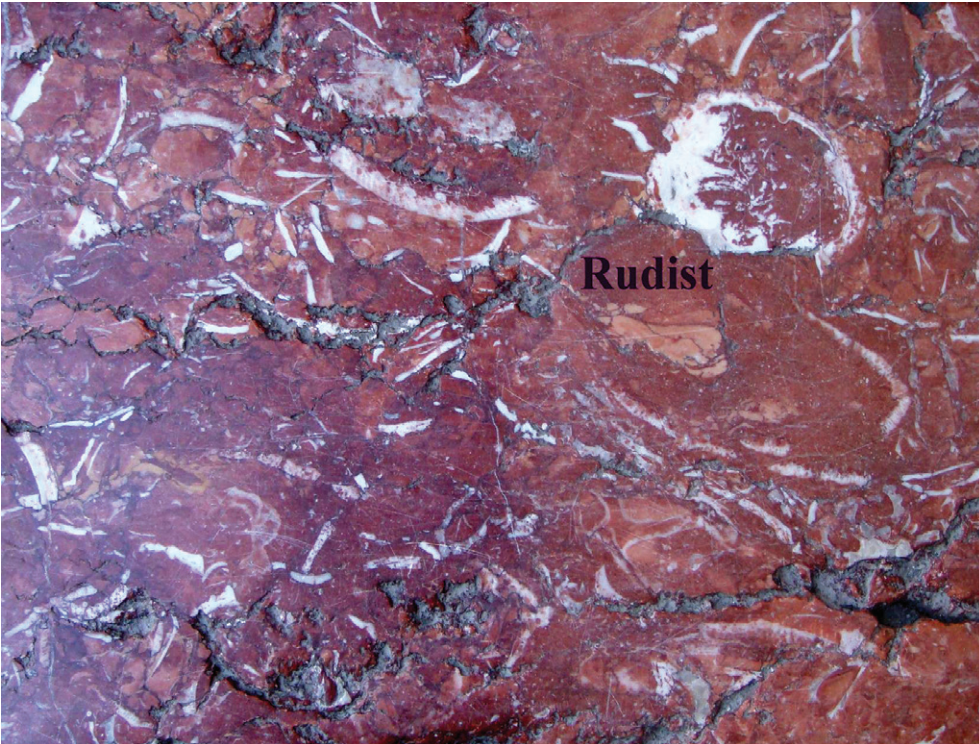
jeolojik haritasını tamamlamaya çalışırlar. Dolayısıyla, doğaya ait ve teknik bir disiplin olan petrografi bilimi, belli bir bölgede bulunan kayaları ve bunları oluşturan olaylar zincirini ortaya koymaya çalışır. Örnek olarak, belli bir metamorfik mineral olan kloritoyid, jeolojik anlamda özel bir ortamın ve koşulların göstergesidir (Şekil 2). İçer-

diği fosiller nedeniyle kaynak yeri ve oluşum mekanizması kesin belirlenen bir sediment kaya örneği verilirse: İstanbul, Gebze Kösedere Rudistli Kireçtaşı, Üst Kretase yaşlı olup döneminde sahil bölgesini temsil etmekteydi (Şekil 3, *marmor triponticum* veya *marmor pneumoniusium*). Endüstride pratik olarak belli bir sınır olmaksızın kullanı-

lan taşlar, sert ve gevşek kayalar olarak ikiye ayrılır. Petrograf için bilimsel-teknik anlamda böyle bir ayırım söz konusu olamaz, çünkü bir kayanın sertliği, karmaşık ve ölçülmesi güç olan bir özelliktir. Sertlik bazı önerilerde, taneler arası bağ, tanelerin dayanım bileşkesi, sert ve yumuşak tanelerin oranı olarak anlatılmaktadır.



Şekil 2: Metamorfizma geçirmiş sedimenter kaya olan grovak içinde, demet şeklinde gözlenen mavi-yeşil renkli kloritoyid mineralleri.



Şekil 3: Rudistli kireçtaşı, İstanbul'da Bizans ve Osmanlı dönemlerinde birçok yapıda kullanılmıştır.

Jeoloji biliminde kayalar üç grupta ele alınır:

■ **Magmatik kayalar:** Ergiyik bir silikat magmanın kristallenmesiyle katı hâle gelen kayalardır. Bu kayalar, son katlaşmanın yerküredeki derinliğine göre ikiye ayrılır: (i) Plütonik kayalar, magmanın derinlerde uzun sürede katlaşmasıyla düzgün bir kristalleşme düzeni gösteren ve tane boyutu iri olan kayalardır. Bu kayalar, antik çağda üretilen birçok dikilitaşın ana kayasıdır (örneğin, Sultanahmet meydanındaki Tutmosis dikilitaşı). (ii) Volkanik kayalar ise, katlaşma sürecinin önemli bir kısmını yeryüzünde tamamlayan iri kristallerin yanı sıra, bunları bağlayıcı nitelikte çok ufak kristal ve/veya camdan oluşan bir hamur içerir. Örneğin eski çağda sık kullanılan obsidi-

yen, silis değeri en yüksek magmanın, yeryüzünde akarken hızla katlaşmış bir volkanik kayasıdır. Anadolu'da, yapılarda yaygın kullanım alanı bulan volkanik tüfler, taşocağında önce yumuşak işlenebilir hâlde çıkar, sonra sertleşir ve dayanımlı bir yapı taşı hâline gelir.

■ **Sedimenter kayalar:** Sulu bir ortamda çöken taşınmış detritik tanelerin sıkışmasıyla veya kimyasal reaksiyonlarla oluşan, genellikle gevşek yapıli kayalardır. Örnek olarak İstanbul'da birçok anıtsal yapıda kullanılmış ve hâlen kullanılan, Miyosen denizinde oluşmuş Mactra fosilli kireçtaşı (İstanbul surları, Bozdoğan su kemeri v.b.) gösterilebilir. Avrupa'da birçok katedralin yapısında sarı renkli kumtaşları yay-

gın bir biçimde kullanılmıştır. On dokuzuncu yüzyıl sonunda, Marsilya bölgesindeki taşocaklarından gelen foraminifer fosilli yumuşak kireçtaşı, İstanbul Arkeoloji Müzesi binasının yapıtaşıdır.

■ **Metamorfik kayalar:** Önceden var olan kayaların, yüksek sıcaklık ve basınç karşısında başkalaşıma uğraması sonucu oluşan kayalardır. En fazla tanınan türler, çeşitli mermerler ve serpantinlerdir. Ayasofya Müzesi'nin önemli yapıtaşları, Marmara Adası mermerlerinden ve Yunanistan'ın Teselya Bölgesi'nin serpantin breşinden oluşmaktadır. Günümüzde birçok değerli binanın yüzey kaplamaları olarak çeşitli renk ve görünüşteki metamorfik kayalar kullanılmaktadır.

PETROGRAFINİN TARİHÇESİ

İlk çağlardan beri mineraloji üzerine çalışmalar ve yayınlar çoğunlukta iken, Petrografi, üzerinde çalışanlar için uzun süre anlaşılması güç olan bir bilim dalydı. Kayaçların oluşumu mitoloji ile karıştırılmıştır. On sekizinci yüzyılda Avrupa'da; yeryüzünün kökeni, bazalt ve granit taşların ve kayaların oluşumu konularındaki tartışmalardan, Neptünist ve Plütonist olarak adlandırılan iki akım ortaya çıkmıştır. Neptünist görüşün savunucusu Freiberg Madencilik Akademisi'nin yöneticisi olan Abraham Gottlieb Werner, dünyayı tüm olarak denizel bir ortam olarak görüyordu: "Çökellerin arasındaki bazalt lav akmaları da çökel ortamda oluşmuştu. Soğuyan yerkabuğu eski kıtaları oluşturdu, sonra henüz sıcak olan okyanuslardaki su buharlaşınca geçiş kayaları olan sistler oluştu. En sonunda deniz suyu soğuyunca çökel kayalar fosillerle birlikte birikti". Bu sistemin basitliği ile birçok yerbilimci Neptünist düşünceye bağlandı. Ancak, buna karşı çıkan Plütonist düşünce James Hutton'la beraber hızlı bir şekilde gelişti; magma kayalarının çökelleri kestiği ve daha genç oldukları vurgulandı: *Ateş tanrısı Plüton deniz tanrısı Neptun'u Fransa'da Masif Santrallerde (Massif Central, Orta Fransa) genç volkanik sahada yendi*. Tartışmalar 1820'lere dek sürdü. Petrografinin bilim dalı olarak gelişmesi, İskocyalı fizikçi William Nicol'un izlanda spatı (kalsit kristali) ile polarizasyon etkisini keşfederek, "Polarizan Petrografi Mikroskobu"nu yapmasıyla başladı. Henry Clifton Sorby, 1860 yılında taşları ince bir kesit hâline getirerek mikroskop altında incelenmesi için ilk adımı attı. Kayaçları oluşturan minerallerin türleri ve bunların arasındaki ilişki ile kristalizasyon kavramı anlaşılmaya başlandı. Bu yöndeki ilk yayın, mineralog ve petrograf olan Karl Rosenbush'a aittir (*Mikroskopische Physiographie der petrographisch wichtigen Mineralien*, 1873). Charles Lyell ise, 1833'de kayaçlardaki değişimleri inceleyerek metamorfizma kavramını ortaya attı. Petrografi, XIX. yüzyılın ortasından sonra Avrupa'da ve öncelikle de Almanya'da büyük ilerlemeler kaydetti. Özellikle, XX. yüzyılın başları petrografinin altın çağı olarak bilinir; birçok kayanın mineral bileşimi doğru saptanarak isimlendirilmiştir. Günümüzde mikroskop yanında hassas cihazlarla çalışmalar, petrojenez ve petroloji bilim dallarının gelişmesine ışık tutmaktadır.

PETROGRAFINİN GEREÇLERİ

İlk polarizan mikroskop 1829'da yapılabildi ve kayaların dokuları daha ayrıntılı bir biçimde gözlemlenebildi. Yukarıda da belirtildiği üzere, XIX. yüzyıl sonu ile XX. yüzyıl başı, petrografinin altın çağı olarak kabul edilir. Mikroskop üzerine takılabilen üniversal döner tabla ile ince kaya kesitleri yönlendirilerek gözlemlendi ve minerallerin optik özellikleri ölçülebildi. Kayalarda fabrik analizi gerçekleştirilerek, mikroteknik yöntemleri önem kazandı. Yine mikroskop üzerine takılan nokta sayıcı ile kayanın mineral bileşimi nicel olarak saptanabildi. Maden mikroskobu geliştirilerek cevher mineralleri incelendi; 1950'lerden sonra elektron mikroskobu (SEM), çok

ufak tane boyutlu minerallerin araştırılmasında kullanılmaya başlandı. X ışınları difraktometresi (XRD) ile mineral tanımı ve yarıncel analizler yapıldı; daha sonra da X ışını flüoresans spektrometresi (XRF) ile mineral ve kayalarda kimya analizleri yapılmaya başlandı. Elektron prob mikroanaliz (EPMA) cihazı ile 1970'lerden sonra, minerallerde 10 mikron boyutunda bir alanda noktasal mineral analizleri yapılarak, hem bunların doğru bileşimleri saptandı, hem de bu tanelerdeki zon yapılarında tek tek nokta analizleri gerçekleştirildi. Son 30 yılda en büyük gelişme deneysel çalışmalarda olmuştur. Laboratuvarında belli sıcaklık-basınç koşulları altında ergime/tekrar kristallenme deneyleri yapılarak kaya ve minerallerin oluşum koşulları araştırıldı. Kütle spektrometresi (LA-MS) ile radyoizotop elementler kullanılarak, kaya ve minerallerde mutlak yaş tayinleri yapılmaya başlandı. Son gelişmeler içinde iyonik mikroprob'u (SHRIMP) sayabiliriz. Bu son gerekle minerallerin hem iz element analizleri yapılabilenkte, hem de izotoplar bulunarak mineraller üzerinde yaş tayinleri gerçekleştirilmektedir.

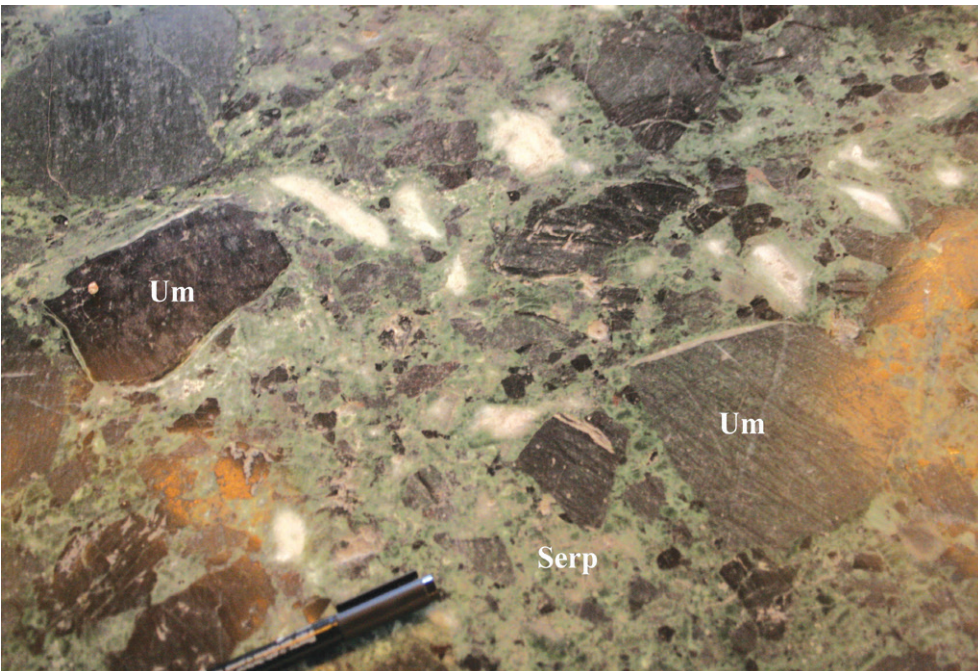
Arkeolojik Petrografi Çalışmaları

Arkeolojik buluntuların malzeme analizleri ve mutlak tarihlendirmeleri, Arkeometri adı altında yeni bir boyut kazanmış ve günümüzdeki konumuna kavuşması 1960'lı yıllardan sonra gerçekleşmiştir. Arkeometrik çalışmalarda, petrografi bilim dalı fiziksel yöntemler adı altında yürütülen optik mikroskopi; X-ışını saçınımı (XRD) ve diğer aletli kimyasal analizler (XRF, AAS v.b.) kapsamındadır. Anıtlarda kullanılan doğal taşların fabrik ve mineralojik incelemeleri sonucu, bunların yapılarında hangi nedenle tercih edildikleri ve kaynak yerleri hakkında bilgi edinilir. Antik çağda kullanılmış olan birçok yapı malzemesi Eski Mısır, Helenistik dünya ve Akdeniz çevresi kaynaklıdır (Şekil

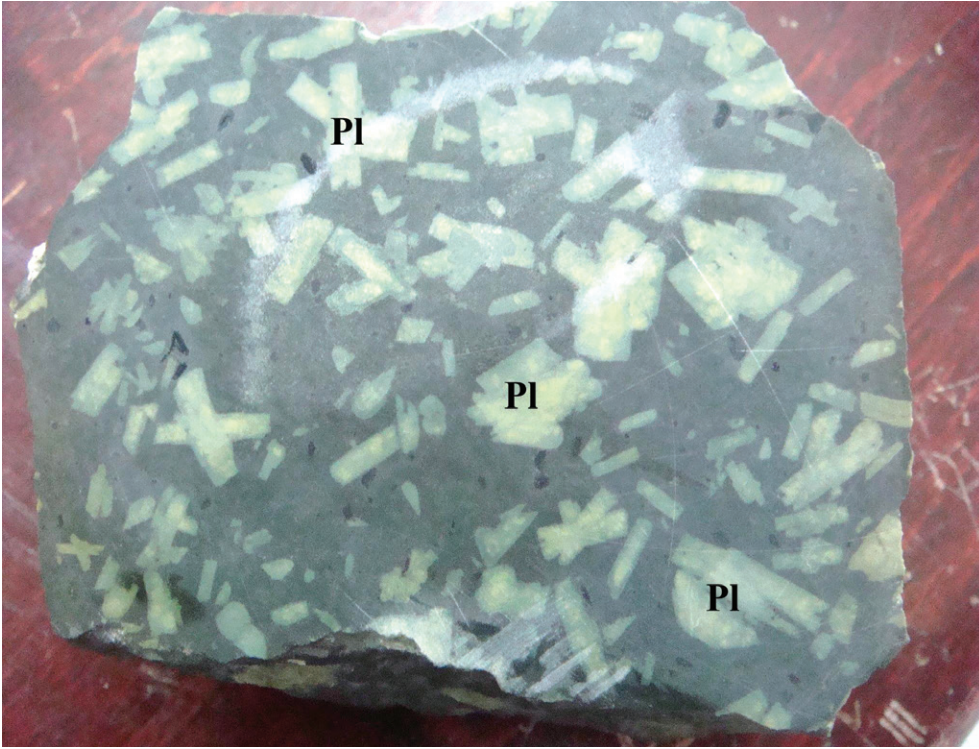
4 ve 5). Yapılarda sık sık devşirme malzeme de kullanılmıştır (Şekil 6). Mısır piramitlerinde tamamen Nummulites fosilli kireçtaşı, Helen anıtlarında çoğunlukla mermer, Roma yapılarında ise, granit, porfir gibi sert kayalar kullanılmıştır. Eski çağ lahitleri hakkında ilginç bir bilgi veren Romalı doğa bilimcisi Plinius, Assos (Behramkale) lahitlerinin çok değerli olduğunu ve kadvranın kırk gün içinde dişleri hariç yok olduğunu anlatmıştır. Dolayısıyla, *Sarcophagus* (et yiyici) adı, Assos kaynaklıdır. Assos lahit taşının, aslında trakit bileşiminde volkanik bir kayaç olduğu; ancak, Assos civarındaki zengin alunit (potasyum alüminyum sulu sülfat minerali) madenlerinden alınan parçaların lahit içine konul-

duğu ve alunitin nemli ortamda kadvranın bozulmasını hızlandırdığı, petrograflar tarafından kanıtlanmıştır. Doğu Roma (Bizans) imparatorları, ilk dönemlerde (Konstantin, Valentinian, Theodosius hanedanları) taç giyme törenlerinde öldüklerinde konulacakları lahit kayasını seçmişlerdi (Şekil 7).

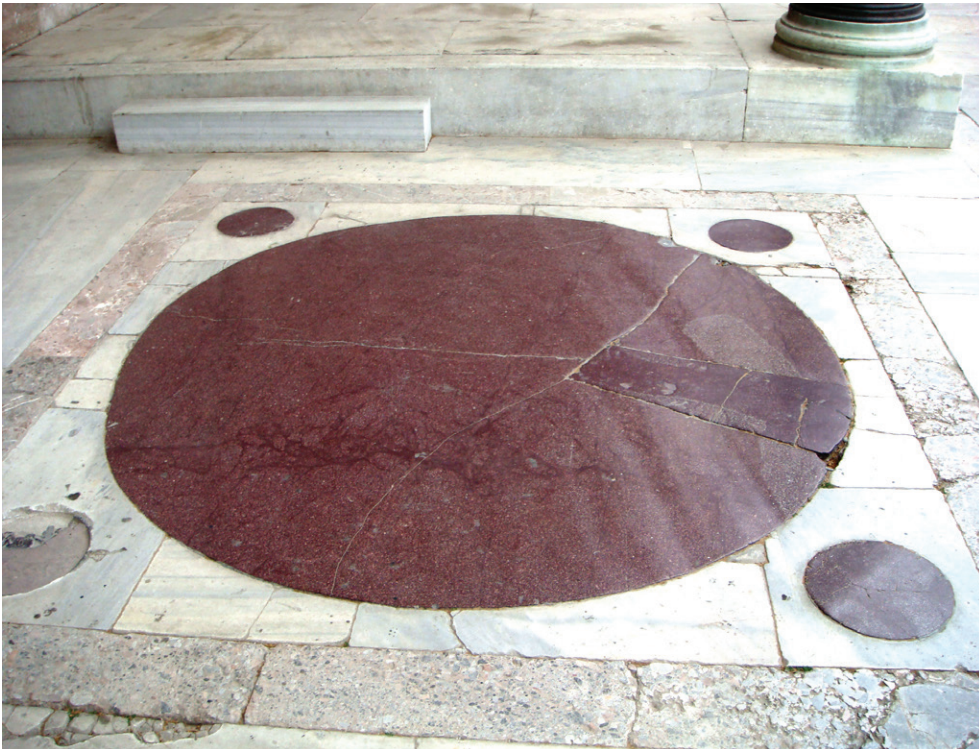
Doğal arkeolojik kayaç olan mermer, genellikle saf karbonatlı minerallerden oluştuğu için beyaz renklidir. Ancak, silikat mineralleri bol miktarda bulunduğu mermere renk kazandırmaktadır: Piroksen ve amfibol, yeşil; granat ve vezüviyanit, kahverengi; epidot, kondrodit ve sfen, sarı rengi verir. Siyah-gri renkler ise, ince grafit pullarından kaynaklanır (Marmara Adası mermeri).



Şekil 4: Roma döneminin en çok kullanılan taş türlerinden birisi de serpantinittir. Donuk yeşil, ultramafik kaya parçaları arasında beyaz damarlı karbonatlı malzeme. Açık yeşil kısımlar aşırı serpantinleşmeye uğramıştır. Hâlen Yunanistan'ın Larissa bölgesi Casambala ocakları çalışmaktadır. Antik çağ adı, *verde antico*'dur. Um= ultramafik parça, Serp= serpantinleşme.



Sekil 5: Yeşil renkli andezit porfir. Dörtgen şekilli mükemmel kristallenmiş feldspat kristalleri, zeytin yeşili camı hamur içinde yer almaktadır. Güney Lakonia (Yunanistan). Antik çağ adı *marmor lacedaemonium*.



Sekil 6: Süleymaniye Camii avlusunda bulunan kırmızı porfir. İznik'teki Sultan Orhan Camii'nden alındığı bilinmektedir. Taş ocakları Eski Mısır'da işletilmiş Gebel Dokhan bölgesindedir. Mons porphyrites, Doğu Çölü: Orta taneli beyaz pembemsi plajyoklas kristallerinin bulunduğu kızıl-mor renkli hamuru olan porfirik dokulu bir volkanik kayadır.

Mermerler; döşeme, duvar kaplaması, sütun olarak inşaatlarda, iç dekorasyonda, anıtlarda, heykelerde, masa tablalarında, süs eşyalarının yapımında sık sık kullanılmaktadır. Mermerin rengi ve fabriği önemlidir; tane boyutu ufak ve taneler arası bağın sıkı olması nedeniyle, mermer aşınmaya son derecede dayanıklıdır. Mermerin, ışığı yarı geçirgenlik (opasite) özelliğinden dolayı, heykel

yapımında beyaz mermerler tercih edilmiştir. Işık mermer içine birkaç on milimetre kadar sokulur ve mermere ışıldayan bir görünüm verir. Örneğin antik çağda ünlü Synnada (Dokimeion, günümüzde İschehisar) mermerleri, Helenistik ve Roma çağlarında işletilmiş olan ünlü kanarya sarısı (*giallo antico*) ve mavi damarlı kaplan postu mermerleri, Anadolu'nun ve İtalya'nın birçok

antik şehrindeki büyük ve ünlü yapılarda inşaat malzemesi ve süs ögesi olarak kullanılmıştır. Ayasofya Müzesi zemin döşemesi mermer levhalarının muhteşem güzelliği, VI. yüzyılın şair-tarihçilerinin de belirttikleri gibi, Marmara Denizi'nin görüntüsünü yaşatmaktadır. Bunun sırrı; sanatkar taş işçilerinin taşın "petrografisini" çözdüğü ve *skoutlosis* tekniğini en mükemmel şekilde

kullandığı gerçeğidir. Saraylar köyü civarında çıkan Marmara mermeri, ufak taneli, sıkı dokulu ve çoğunlukla kalsit mineralinden oluşan bir bileşime sahiptir. Metamorfizmaya uğradığında kıvrımlı bir desen gösteren taş içinde, ara katkı olarak yeşil renkli silikat minerali seviyeler bulunur. Epidot, klorit, aktinolit gibi mineraller kayacın rengini tanımlar. Yer yer bulutumsu görünen seviyelerde çok ufak grafit tozları yoğunlaşmıştır (Şekil 8).

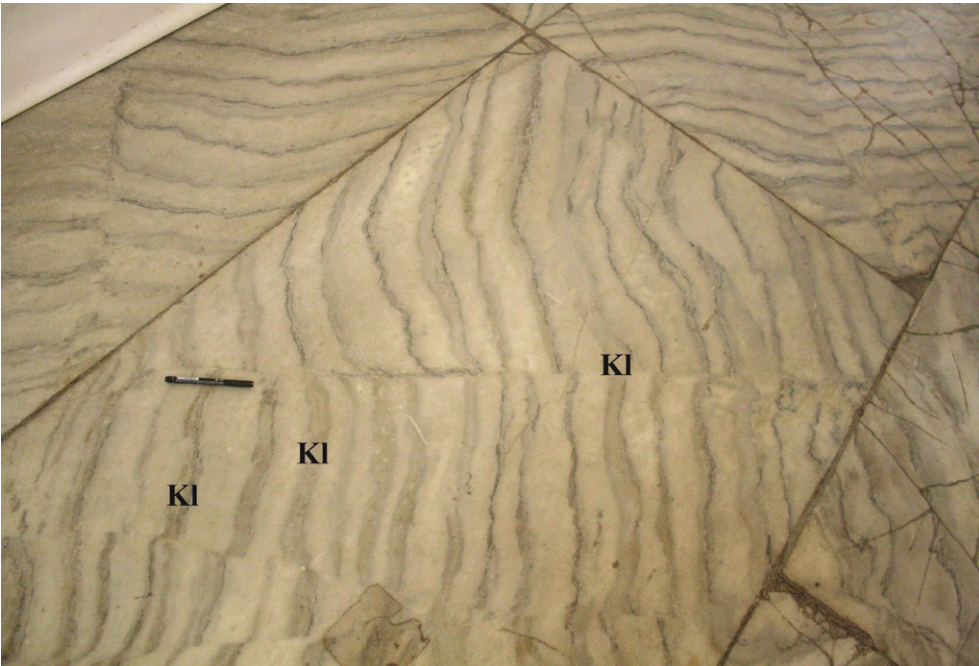
Arkeolojik çalışmalarda da pet-

rografi bilimi uygulanarak polarizan mikroskop altında mineral türleri, renkler, dokular, kristal şekilleri, tane yeknesaklığı, cam oluşumu, tane boyutları, gözeneklilik, boşluklar, yarı, kılcal çatlaklar, bozuşma ve dolgu malzemeleri incelenir. Arkeologlar petrografiye genellikle, çömlüklerin mineral bileşimini tayin etmek için kullanırlar. Tipik bir çömlük bileşiminde %70-80 kil, %20-30 kayaç veya tuğla kırıntısı ve bir miktar gözenek bulunur. Belli bir çömlük dizisi incelenerek, benzer

özelliklere göre ayırım yapılabilir. Fabrik gruplandırılması; benzer hammadde kullanımını ve teknik gelenekleri gösterdiğinden, analizi yapılacak seramik malzemelerin tipolojisi de belirlenir. Ayrıca bu bilgi, arkeolojik malzeme ile hammadde kaynağının jeolojik ilişkisini araştırmak için de değerlidir. Çömlükte, kil yanında çeşitli kaya parçaları da kullanılır, bunlar kaynak bölgesi için olağanüstü değerli ipuçlarıdır. Üretim, bölgenin jeolojik yapısı ile karşılaştırılır. Böylece arkeolog,



Şekil 7: İstanbul Arkeoloji Müzesi bahçesinde bulunan kırmızı porfirden lahitler Doğu Roma imparatorlarına aittir. Şimdi yerinde Fatih Camii'nin bulunduğu, Eski Havariler Kilisesi'nden getirilmiştir.



Şekil 8: Marmara Mermeri. Ufak taneli oldukça dayanımlı bir malzeme olduğu için antik çağda en çok kullanılan yapı malzemesidir. Resimdeki kıvrımlı bantlı yapı silikat minerallerinin belli seviyelerde gelişmesinden kaynaklanır. Antik çağ adı *marmor proconnessus*. KI= klorit, epidot ve grafitli seviyeler.

çömleklerin yerel malzemeden mi üretildiğini veya ticaret unsuru olarak uzak bir kaynaktan mı getirildiğini anlayabilir. Bu tür bilgiler, halkın yerleşme düzeninin, sosyal ilişkilerinin ve ticaret yollarının anlaşılmasında da yardımcıdır.

Ayrıca fırınlanmış çömleklerde bulunan mineraller, seramik üretimindeki sıcaklık değerlerinin yorumlanmasını sağlar. Mikroskopik çalışmalar dışında, arkeometrik ölçümlerde fiziksel özelliklere dayanan X-Işını Kırınımı (XRD), X-Işını Flüoresans Spektrometresi (XRF) ve Elektron Prob Mikro Analiz (EPMA) analizleri, bileşenlerin kimyasını açığa çıkarır. Böylece; taş, mermer, obsidiyen, çanak-çömlek, tuğla, top- rak, metal, cüruf ve cam analizleri, hassas bir şekilde ortaya çıkarılır. Bir örnek verirse, Malatya Caferhöyük obsidiyenlerinin kaynak alanının, Bingöl'e 25km uzaklıktaki Solhan volkanitleri arasında bulunan camlarla benzerliği kanıtlanmıştır. Eski kültürlerle ait çanak-çömleğin yapımında kullanılan kilin hammaddeleri silikat yapısında olduğundan, mineralojik açıdan jeolojik eş değerlerinden pek farklı değildir. Ancak, pişirme esnasında sıcaklık artışına bağlı olarak ilksel mineral fazları değişim göstermektedir (metakao- linit, b-kuvars, kristobalit, anortit, enstatit, gehlenit oluşumu). X-ışını kırınımı yöntemi ile tüm örnek ve 2 mikron kil fraksiyonunda yapılan mineralojik tayinler, seramiklerin yapımında kullanılan teknolojinin anlaşılmasında yararlı olmaktadır.

Tuğla içindeki farklı tanelerin ve bunları bağlayan ara maddenin (matriks) doğası, şekli ve boyutları polarizan mikroskopta incelenerek, çeşitli hammaddeler arasında ayırım yapmak olanaklıdır. Bu bağlamda: (i) Kuvars, feldspat, mika, karbonat mineralleri ve az bulunan (amfibol, piroksen, granat, sfen v.b.) taneler hâlinde; (ii) plütonik, volkanik ve metamorfik kaya parçacıkları şeklin- de; (iii) tuğla parçaları-kil karışımı ve (iv) bağlayıcı matriks (genellikle kalsit) saptanır. Bu çalışmanın sonucunda malzemenin rengi, tane boyutu ve dokusu da belirlenir.

X-ışını saçınım yöntemiyle tuğla

üretiminde oluşan mineraller saptanabilir: Genelde kalsit, kuvars, klorit, ortoklas, albit, biyotit, anortit, rutil, hematit, dolomit, sanidin, gehlenit, diopsid ve ojit oluştuğunu gözleriz. Bu yöntemle, kuvars ve hematitin ana bileşen olduğu; kalsit, ortoklas, albit, biyotit, anortit, rutil ve dolomitin çoğunlukta ve klorit, sanidin, gehlenit, diopsid ve ojitin ise ender bulunduğu görülür. Özellikle İstanbul Büyük Saray (bugünkü Cankurtaran ve Sultanahmet'te) tuğlalardaki kalsiyumlu gehlenit, anortit ve diopsid minerallerinin karbonatlı hammadde karışımlarının, yüksek sıcaklıklarda (900-1050°C) pişirilmek suretiyle oluştuğu kanıtlanmıştır.

Eski harç örnekleri XRD yöntemi ile analiz edildiğinde; kalsit, kuvars, dolomit, jips, klinozoit, albit, muskovit, rutil, hematit, klorit ve diopsid mineralleri tayin edilmiştir. Burada kalsit her zaman ana bileşendir; çoğunlukla kuvars, dolomit, jips, albit, muskovit, rutil, hematit; ender olarak klinozoit ve klorit saptanır. Mika ve piroksen varlığı, örneğin harçta lav parçacıklarının kullanıldığına işarettir (puzolanitik harç, Horasan harcı). Roma eserlerinin çimentosunda; kalsit, jips, kuvars veya kalsit, jips, kil, puzolan karışımı kullanılmıştır (örneğin, Pantheon'un kubbe malzemesi).

Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ise, yüksek kaliteli görüntü yanında enerji saçılımlı spektrometresi (EDS) ile yarı kantitatif analiz olanağı sunmaktadır. Bu yöntemle, kil ve kum boyutu mineral tanelerinden oluşan tuğla-çömlek içinde kimyasal bileşim saptanarak, yakındaki kaya oluşumları ile karşılaştırılır ve aradaki ilişkiler saptanabilir (hammadde kaynak yeri). Aktarmalı elektron mikroskobunda (TEM) amorf maddeler analiz edilebilmektedir. Ayasofya kubbe harçlarında, tuğla parçası ile Horasan harcı arasında bağlayıcı olarak sulu kalsiyum silikat jelleri (CSH) oluşumunun, malzemeyi doğru yönde etkilediği ve depreme karşı dayanıklılığı arttırdığı gözlenmektedir.

Sonuç olarak arkeolojik araştırmalara yardımcı olan yapı malzemesi özelliklerinin doğru ve bilimsel

tayini, korunması ve restorasyonundaki amaçlar şu şekilde özetlenebilir: (i) Tarihi yapı taşlarının kaynak yerlerinin bulunması, (ii) sonraki gömülme nedeniyle arkeolojik objelerde oluşabilecek değişimlerin saptanması, (iii) üretim aşamasındaki fırın sıcaklığına bakılarak tuğla ve harç karışımlarının ortaya çıkarılması, (iv) bölgelere göre değişen üretim teknolojisi hakkında yorumlar yapılabilmesi.

Antik yapı taşları ve ülkemizde Osmanlı dönemine ait yapılarda kullanılan malzemeler konusunda terminoloji karmaşası bulunmaktadır. Bu bağlamda Roma dönemindeki geleneksel adların yanı sıra, gerçek petrografik/jeolojik adların da kullanılmasının yararı büyüktür. Yakın dönemden beri bu yönde birçok enstitüde önemli aşamalar kaydedilmiştir. Antik yapı taşları koleksiyonu bulunduğu Toledo Üniversitesi (Ohio, A.B.D.) (Antik Mısır yapı taşları) (www.eescience.utledo.edu/faculty/harrell/), Siena Üniversitesi Doğa Tarihi Müzesi (İtalya) MUSNAF koleksiyonu ve Oxford Üniversitesi (İngiltere) Dekoratif Taşlar Corsi koleksiyonu örneklerinde, gerçek petrografik tanımlar yapılmış ve yayımlanmıştır (www.oum.ox.ac.uk/corsi/). Ayrıca 1988'de kurulmuş olan ASMOSIA, her iki yılda bir uluslararası bilim adamlarının katıldığı kongreler tertiplemekte olup X. ASMOSIA Kongresi (Antik Çağa ait Mermer ve Diğer Yapı Taşlarını Araştırma Derneği) Kongresi, en son Mayıs 2012'de Roma Üniversitesi'nde düzenlenmiştir (www.asmosia.org). Akdeniz çevresinde antik taş ocaklarının incelenmesinde ve örneklerin petrografik tanımlanması konusunda uzman olan Prof. Lorenzo Lazzarini (Venedik Üniversitesi, Mimarlık Tarihi Bölümü; (<http://iuav.academia.edu/LLazzarini>)) ülkemizdeki taş ocaklarında da çalışmalarda bulunmuştur. Arkeologlar ile petrografların kullanabileceği yapı taşlarının isimlerinin ve görsel malzemelerinde bulunduğu tablo ise, Anne Glock tarafından tasarlanmıştır (http://cil.bbaw.de/cil_en/dateien/glossar_1_16-6.html).