

DOĞAL TAŞLARDAKİ BOZUNMALAR

Ali D. ÖCAL & Yrd. Doç. Dr. Murat DAL

Bogota / Kırklareli
2012



MİMARLIK VAKFI
İKTİSADİ İŞLETMESİ

Yayımlayan: © Mimarlık Vakfı İktisadi İşletmesi

Ali D. ÖCAL & Yrd. Doç. Dr. Murat DAL

Doğal Taşlardaki Bozunmalar

Grafik Tasarım / Uygulama: Seçkin Özge Biber

Yapım: Mimarlık Vakfı İktisadi İşletmesi,

Karaköy Kemankeş Caddesi No: 31 Beyoğlu 34425 İstanbul

Tel: (0212) 244 86 87

Birinci Baskı: Haziran 2012, ??? Adet

ISBN

Baskı: Mûka Matbaası, İstanbul

DOĞAL TAŞLARDAKİ BOZUNMALAR

Ali D. ÖCAL & Yrd. Doç. Dr. Murat DAL



MİMARLIK VAKFI
İKTİSADİ İŞLETMESİ

ÖNSÖZ

Kültür ürünleri, tarih öncesi yaşamın birikimini taşıyor olması nedeniyle evrensel bir değerdir. Tüm dünya ülkelerinde olduğu gibi ülkemizde de evrensel değerlerin ulusal değerleri değiştirmeye başlaması ile tarihsel kültür varlıklarının önemi artmaya başlamıştır. Tüm insanlığın malı olarak kabul edilen kültür varlıklarının korunması bilinci ile bu doğrultuda, onların korunarak gelecek kuşaklara aktarılması herkesin temel görevidir.

Doğal iklim koşulları yanında, endüstrinin gelişmesi ile artan çevre kirliliği ile birlikte diğer olumsuz gelişmeler, eski eserlerin bozunmalarına ve ortadan kalkmalarına yol açmaktadır. Bu durum kültür varlıklarına sahip çıkma bilincinin güçlenmesine ve bu kültür mirasının kurtarılma yollarının araştırılmasına neden olmuştur. Eski eserlerin uygun müdahalelerle daha fazla bozunmasını önlemek ve eserleri özgün biçimlerine döndürmeyi amaçlayan konservasyon ve restorasyon işlemleriyle yaşamlarını sürdürmelerine olanak sağlayan eski eser korumacılığı biliminin önemi tüm dünyada her geçen gün artmaktadır.

Taş genellikle sağlam yapılı ve dayanıklı bir malzeme olmakla birlikte, dayanıklılığı birtakım koşullara bağlıdır. Uluslararası bilimsel toplantılarda konservasyon çalışmaları tartışılıp güvenli koruma yöntemleri giderek geliştirilmekte ve esere zarar getirebilecek uygulamalardan vazgeçilmektedir. Bugün XIX. yüzyıldan bu yana geliştirilen bazı taş koruma yollarının birkaçı dışında hemen hepsinin geçersizliği bilinmekte ve taş koruma konusu başka bir formda ele alınmaktadır. Başarısız koruma uygulamaları, taş eserlerin bozunma nedenlerini araştırılmasının önemini daha da artırmaktadır. Artık korumanın bozunma nedenlerini kontrol altına alıp durduracak bir dizi önlemi içermesi gerektiği bilinmektedir.

Tüm doğal taşlardan yapılmış anıtlar ayrışmadan etkilenirler ve bu eserlerin birçoğunun bozunma süreci ise kaygı vericidir. Taş ayrışmasının bilimsel yöntemlerle nitelendirilmesi, değerlendirilmesi ve nicelendirilmesi, etkili ve ekonomik bir konservasyon yöntemi için temel bir adımdır. Tarihi eserin incelenmesi görsel analizlerle başlar. Anıtta veya geleneksel eserde görsel olarak izlenen bozunma şekillerinin sınıflandırılıp eserin, oluşturulan çizim ve fotoğrafları üzerinde haritalandırılması hem sorunların saptanmasında hem de konservasyon uygulamaları sürecindeki kontrol için önemli bir belge oluşturur. Dahası, gözlenen bozunmaların yoğunluğu ve dağılımı eserlerde, arkeolojik alanda ve bir tarihi yapıda bozunmanın kaynakları ile ilgili ipuçları verebilir.

Üç bölümden oluşan kitabın birinci bölümünde doğal taşlar sınıflandırılarak tanımlanmış ve doğal taşların kullanım yerleri, alanları ele alınmıştır. İkinci bölümde farklı disiplinlerin konu kapsamına giren doğal taşların bozunma şekilleri sınıflandırılarak tüm detayları ile açıklanmıştır. Üçüncü bölümde doğal taşlardaki ayrışma türleri sınıflandırılarak, görsel örnekler de kullanılarak konu detaylı bir şekilde irdelenmiştir.

Bu kitabın, bir ders ve aynı zamanda bir başvuru kaynağı olarak kullanılabilen olan bu eserin yararlı olmasını dilemekteyiz.

Yazarlar

17 Mart 2012

İÇİNDEKİLER

1. Bölüm: Doğal Taşların Tanımı, Sınıflandırılması ve Kullanım Alanları	9
1.1. Magmatik (Katılım) Taşlar	12
1.1.1. Plütonik (Derinlik) Taşlar.....	12
1.1.2. Damar (Yarı Derinlik) Taşları.....	14
1.1.3. Volkanik (Yüzey) Taşlar.....	14
1.2. Sedimenter (Tortul) Taşlar	16
1.2.1. Kimyasal Tortul Taşlar.....	16
1.2.2. Kırıntılı Tortul Taşlar	19
1.2.3. Organik Tortul Taşlar.....	20
1.3. Metamorfik (Başkalaşım) Taşlar	21
1.3.1. Yapraklanmamış Metamorfik Taşlar	22
1.3.2. Yapraklanmış Metamorfik Taşlar	23
2. Bölüm: Doğal Taşların Bozunması	25
2.1. Taş Eserlerin Bozunması	26
2.1.1. Fiziksel Ayrışma.....	29
2.1.2. Kimyasal Ayrışma	35
2.1.3. Biyolojik Çözünme.....	38
2.2. Bozunmaya Etki Eden Faktörler.....	39
2.2.1. Doğal Etkenler.....	40
2.2.1.1. Abiyotik Etmenler	41
2.2.1.2. Biyotik Etmenler.....	47
2.2.2. Antropojenik Etmenler	54
2.2.2.1. İnsanların Direkt Olarak Verdiği Zararlar	55
2.2.2.2. İnsanın Dolaylı Olarak Verdiği Zararlar	63
3. Bölüm: Ayrışma Türleri	69
3.1. Ayrışma Sonuçları.....	69
3.2. Ayrışma Biçimlerinin Sınıflandırılması	70
3.3. Sınıflandırma Ögeleri.....	72
3.4. Ayrışma Formları ve Tanımı.....	72
3.4.1. Çatlaklar / Deformasyon.....	74

3.4.1.1. Çatlaklar	74
3.4.1.2. Deformasyon	78
3.4.2. Materyal Ayrılması / Eksilmesi	78
3.4.2.1. Kabarma	79
3.4.2.2. Patlama	79
3.4.2.3. Tabakalaşma	79
3.4.2.5. Dağılma	82
3.4.3. Materyal Kaybı	83
3.4.3.1. Alveolar Ayrışma	83
3.4.3.2. Erozyon	86
3.4.3.3. Mekanik Hasar	90
3.4.3.4. Parça Kaybı	92
3.4.3.5. Tozuma	93
3.4.3.6. Kırıntılanma	93
3.4.4. Renk Değişimi / Birikme	93
3.4.4.1. Kabuk Oluşumu	93
3.4.4.2. Birikme	95
3.4.4.3. Renk Değişimi	97
3.4.4.4. Çiçeklenme / Tuz Kristallenmesi	101
3.4.4.5. Kabuklanma	103
3.4.4.6. Parlak Görünüş	104
3.4.4.7. Grafiti	105
3.4.4.8. Kirlenme	106
3.4.4.9. Kabuk Altı Çiçeklenmesi	109
3.4.5. Biyolojik Yerleşim	110
3.4.5.1. Algler	111
3.4.5.2. Liken	112
3.4.5.3. Yosun	115
3.4.5.4. Mantar	116
3.4.5.5. Bitki	116
3.5. Ayrışma Yoğunluğu	118

Kaynaklar	121
------------------------	------------

1. BÖLÜM: DOĞAL TAŞLARIN TANIMI, SINIFLANDIRILMASI VE KULLANIM ALANLARI

Dünyadaki teknolojik ve bilimsel gelişmeye paralel olarak insanoğlunun yaşam anlayışı değişmektedir. Bu gelişmeler ışığında çevre bilinci artan insanoğlu doğal ortamlarda yaşama arzusuna yönelmektedir. Son yıllarda ülkemizde de özellikle büyük şehirlerin iç ve dış mimarisinde doğal taşlar yaygınca kullanılmaya başlanmıştır.

Doğal taşın olumsuz hava koşullarına dayanıklı olması, taşıyıcı gücünün fazla olması ve doğada bol miktarda bulunması, yüzyıllar boyunca mimarinin en soylu yapı malzemesi olarak kullanılmasını sağlamıştır. Hiçbir bağlantıya gerek duyulmaksızın sağlam yapılar inşa etmeye olanak tanınması, doğal taşı diğer malzemelerden üstün kılan en önemli özelliklerdendir. Zarafeti, dayanımı ve potansiyel zenginliği ile asırlardan beri insanoğlunun vazgeçilmez sanat kollarından birini ve yapı elemanlarını oluşturan doğal taşları Hititler, eski Mısırlılar, Frigyalılar, Mezopotamya medeniyeti, Persler, Lidyalılar, eski Yunanlılar, Romalılar, Selçuklular, Osmanlılar ve diğer birçok medeniyet günümüze kadar gelen ve çağlarına ışık tutan heykellerinde, anıtlarında ve görkemli yapılarında kullanmışlardır.

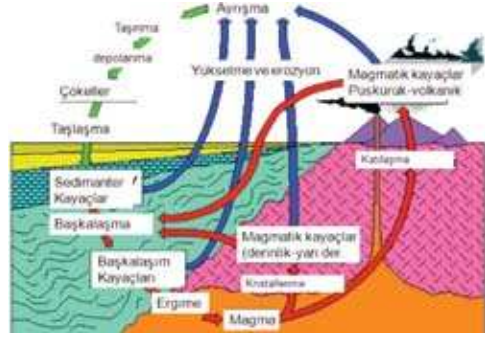
Osmanlıcada "senk" ya da "hacer" olarak bilinen taş kelimesi günümüz Türkçesine Öz Türkçede kullanılan "kaş" kelimesinden gelmiştir. Kaş Öz Türkçede katı toprak, sıkışma sonucunda sertleşmiş toprak demektir. Jeoloji'de taş yerine kayaç, kaya ve külte sözcükleri de kullanılmaktadır. Jeolojik adıyla "kayaçlar" mineral topluluklarıdır; çeşitli minerallerin veya parçacıklarının bir araya gelmesinden ya da bir tek mineralin çok sayıda bir arada birikmesinden meydana gelirler. Taşları genel olarak mineral bileşimleri, tane boyu, tane şekli, taneler arasındaki ilişki, tanelerin yönlenmesi vb özelliklerinden tanımlayabiliriz. Örneğin granit çeşitli minerallerin bileşiminden oluşurken, kuvarsit tek mineralden oluşur.

Yerkabuğunu meydana getiren kayaçların oluş ve bulunuş şekillerini, bileşimlerini, ayrışma, değişme, kristallenme ve sınıflandırılmalarını, fizikokimyasal ve jeokimyasal özelliklerini *petroloji* inceler; kayaçların doku ve bileşimlerine göre sistematik olarak sınıflandırılmalarını *petrografi ilmi* inceler.

Kayaçlar magmanın kristallenmesi veya daha önce var olan kayaçların yeniden kristallenmesi ya da yeryüzünde bulunan kayaç parçacıklarının ve sular içindeki erimiş minerallerin taşınması ve depolanması sonucu oluşurlar. Doğal taşlar, oluşum şartlarına ve kökenlerine göre üç grupta incelenebilir (Şekil 1.1, 1.2).



Şekil 1.1. Doğal taşların oluşum şartlarına ve kökenlerine göre sınıflandırılması.



Şekil 1.2. Doğal taşların oluşum döngüsü (Yaşar Eren).

Doğal taş standartlarının ana amacı kullanılacak doğal taşların seçimine yardımcı olmaktır. Taşların genel özelliklerine kullanılabilirlik sınırı getirilerek, taşların kullanılabilir minimum alt sınırları belirlenmiştir (TS 699 Tabii Yapı Taşları Muayene ve Deney Metotları, TS 1910 Kaplama Olarak Kullanılan Doğal Taşlar, TS 2513 Doğal Yapı Taşları, TS 6809 Mohs Sertlik Cetveli vb).

Taşların kullanım yerlerinin saptanabilmesi ve kullanılacak mekânda doğru taşın uygulanabilmesi için jeolojik (renk, doku, sertlik, homojenlik, mineralojik bileşim, çökeltme şekli, kristalleme derecesi), kimyasal (kimyasal bileşim, kimyasal maddelerin etkisi, suyun etkisi), fiziksel (birim ağırlık, özgül ağırlık, porozite, geçirgenlik, su emme), mekânîk (basınç direnci, donma dayanımı, aşınma dayanımı, çekme dayanımı, eğilme dayanımı), teknolojik (işletilme özellikleri, rezerv, taşıma olanakları), ekonomik (üretim maliyeti, kullanılabilirliği) gibi özelliklerinin çok iyi bilinmesi ile ancak en uygun doğal taş tercih edilebilir.

Doğal taşlarda aranan özellikler, taşın kullanılacağı yere ve amaca göre değişmektedir. Taşlar yapıda kaplama, taşıyıcı, dekoratif amaçlarla kullanılacağı yere göre farklı boyutlarda elde edilebilir. Doğal taş yapılarda iç mekân ve dış mekânda kullanılmasına göre farklı dayanım karakterlerine sahip olmalıdır. Dış mekânlarda kullanılan taşlar ayrışma ve donmaya karşı dirençli olmalıdır. İç mekânda kullanılacak taşlar, kimyasal bileşim farklılıklarından oluşan renk, fiziksel farklılıklardan şekillenen sertlik özellikleri bakımından homojen yapılı olmalıdır. Özellikle çok sayıda kişinin kullandığı merdivenler ve yüzeylerde aşınmaya dayanıklılık aranır. Kaplama olarak kullanılan taşlarda, dış mekânda kullanılacaklarda atmosfer etkilerine ve dona dayanıklılık, iç mekân kaplama malzemesi olarak kullanılacaklarda eğilme mukavemeti, aşınma mukavemeti, işlenebilme özelliği ve estetik görünüm aranır.

Kamusal alanlarda (hastane, postane vb) ve araç-insan sirkülasyonunun yoğun olduğu yerlerde (hava alanları, terminaller, alışveriş merkezleri vb) genellikle magmatik kökenli sert taşlar (granit, siyenit, gabro, diabaz, andezit vb) kullanılırken estetik görünüme öncelik verilen özel yapılarda (otel, iş merkezleri, şirket binaları, dinlenme yerleri, alışveriş merkezleri, bina içi alanlar, kültür merkezleri, hamam vb) mermerler, renkli kireçtaşları ve travertenler tercih edilmektedir. Peyzaj mimarisinde kayrak taşları (arduvaz-sleyt), metamorfik şistler, volkanik tüfler, değişik renklerdeki dere çakılları ve kumtaşı türündeki doğal taşlar parlatılmadan veya eskitme yapılarak yaygın olarak kullanılmaktadır. Blok alınamayan, belirgin albenisi olmayan ve daha çok sert taş grubuna giren granit türlerinin bazalt gibi doğal taşların parke, bordur ve zar taşı

olarak, parke ve bahçe yollarının düzenlenmesi ile yaya kaldırımlarının yapımında çeşitli boyut ve şekillerde kullanımı yaygındır (Yüzer, Angı, 2007).

Kullanım yerlerine göre farklı kökendeki doğal taşlarda aranan parametreler (Yüzer, Angı, 2007):

Atmosferik hava koşullarının sert ve asit yağmurlarının yoğun olduğu bölgelerde atmosfer koşullarına maruz kalan doğal taşların;

- Anklavsız olması,
- Stilolitsiz (karınca yeniği) olması,
- Renk verici (pas yapan) minerallerin (pirit, markasit, hematit vb) bulunmaması,
- Porozitesinin düşük olması,
- Hacimce su emmesinin düşük olması,
- Don sonrası basınç dayanımının yüksek olması,
- Ağırlıkça don kaybının düşük olması,
- Isıl (termal) genleşme katsayılarının bilinmesi gerekir.

Yaya trafiğinin çok yoğun olduğu otoparklar, tren istasyonları, havaalanları, hastaneler ile alışveriş merkezlerinin açık ve ıslak ortamlarında zemin döşemesi olarak kullanılması düşünülen doğal taşların;

- Kuvars içeriğinin fazla olması,
- Hacimce su emmesinin düşük olması,
- Porozitesinin düşük olması,
- Mohs sertliğinin minimum ≥ 5 olması,
- Yüzey aşınma dayanımının yüksek olması,
- Darbe dayanımlarının yüksek olması,
- Eğilme dayanımlarının yüksek olması.

Merdiven basamaklarında kullanılan doğal taşların;

- Porozitesinin düşük olması,
- Su emmesinin düşük olması,
- Aşınma dayanımlarının yüksek olması,
- Darbe dayanımlarının yüksek olması,
- Eğilme dayanımının yüksek olması.

Tezgâh, raf ve banko olarak kullanılan doğal taşların;

- Su emmesinin düşük olması,
- Porozitesinin düşük olması,
- Eğilme dayanımlarının yüksek olması,
- Darbe dayanımlarının yüksek olması,
- Renk verici minerallerin (pirit, markasit, hematit vb) bulunmaması gerekir.

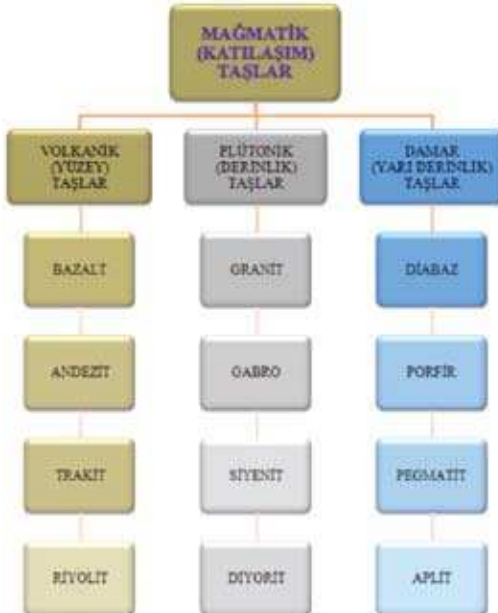
1.1. MAGMATİK (KATILAŞIM) TAŞLAR

Magmatik kayaçların büyük bir çoğunluğu sert, dayanıklı ve yoğun bir yapıda olduklarından çok iyi birer doğal taş ve agrega malzemesidirler. Tüfler ve lavlar gaz kabarcıklarından dolayı gözeneklidirler. Bu kayaçlar genellikle düşük mukavemetli, hafif ve yüksek absorpsiyonludurlar.

Erimiş haldeki silikat hamuru olan magmanın veya akkorumun yerkabuğunun derinliklerinde ya da yeryüzünde soğuyarak katılaşması sonucu magmatik taşlar oluşurlar. Magmanın yerkabuğunun çeşitli derinliklerinde, bazen de yüzeye çıkmaya çalıştığı çatlaklar boyunca veya yüzeye çıktığı alanlarda soğuması ve katılaşmasıyla oluşan taşlardır. Donma olayının nerede gerçekleştiğine, yani yerkabuğunun hangi kesiminde bulduklarına göre, derinlik taşları, damar taşları ve yüzey taşları olarak gruplanabilirler. Soğuma hızına göre kristal büyüklükleri değişir. Derinlik taşları magmanın yavaş soğuması nedeniyle iri kristalli, damar taşları ise orta derecede soğuma nedeniyle camsı bir hamur içinde dağınık ince kristalli bir yapıya sahiptirler. Magmatik taşlar, değişik renklerde irili ufaklı kristal ve levhacıkları bir bağlayıcı çimento içinde yayıldığı, homojen, izotrop ve sert taşlardır.

- Magmanın soğuması ve katılaşması derinlerde yavaş yavaş olduğu zaman tam kristalli kayaçlar,
- Magmanın soğuması ve katılaşması yeryüzünde hızlı oluştuğunda camsı kristalli kayaçlar,
- Magmanın soğuması ve katılaşması yeryüzüne yakın derinliklerde oluştuğunda küçük kristalli kayaçlar oluşur.

Magmatik taşlar oluşum derinliklerine göre üç grupta incelenir. Bunlar, plütonik (derinlik) taşlar, damar (yarı derinlik) taşları ve volkanik (yüzey) taşlardır (Şekil 1.3).



Şekil 1.3. Magmatik (katılaşım) taşlarının sınıflandırılması.

Magmatik taşlar, sert oldukları için işlenmeleri ve aşınmaları zordur. Her ne kadar sağlamlık, direnç ve dış etkilere dayanıklılık bakımından çok elverişli iseler de yontulma güçlükleri ve her yerde bulunmalarından dolayı tortul taşlara oranla daha az kullanılmaktadırlar.

1.1.1. Plütonik (Derinlik) Taşlar

Püskürük kayaçlar, magmanın yer içinde veya yeryüzü ile yeryüzüne yakın derinliklerde soğuyarak katılaşması ile oluşan homojen ve izotrop yapıları taşlardır. Magmanın yer kabuğu derinliklerinde soğumasıyla meydana gelmiş kayaçlara *plütonik (derinlik) taşlar* denir. Magma derinlerde yavaş yavaş soğuduğundan iri ve tam kristallidir. Plütonik kayaçlar 1 mm'den daha büyük tane boyutuna sahip minerallerden oluşmuşlardır. Plütonik

kayaçlar genellikle çatlaklıdır. Ancak taze, ayrışmamış oldukları zaman kırılmaya ve basınca karşı dayanıklıdır (granit, gabro, diorit vb).

Tam kristalli, taneli ve yalnızca kristallerden oluşmuştur. Yalnızca kristallerden oluştuklarından oldukça sağlam ve dayanıklıdır. Yerkabuğunda farklı formlarda kütle halinde bulunurlar. Ayrıca derinlik kayaçları soğuma şekillerine göre aşağıdaki gibi sınıflandırılabilirler.

Soğuma Şekillerine Göre Derinlik Kayaçları		
Yavaş soğuyan (İri taneli)	Hızlı soğuyan (İnce taneli)	Çok hızlı soğuyan (Camsı dokulu)
Granit	Bazalt	Pomza
Gabro	Andezit	Volkan Cürufu
Diyorit	Riyolit	Obsidiyen

Granit: Açık renkli çoğunlukla eşit boyda kuvars ve feldspattan oluşan kayaçlara granit denir. Çok az miktarda mika ve hornblend içerir. Renkleri feldspatların ve diğer minerallerin cins ve miktarlarına göre gri, pembe ve kırmızı olabilir (TS 6234). Bileşenleri gözle görülür. Bazen bün-yelerindeki kristallerden biri (ortoklas) büyük kristaller halinde bulunur. Bu tür granitlere *porfiri granit* denir. Başlıca granit çeşitleri;

Aplit granit, bünyesinde %10'dan fazla kuvars, yaklaşık %4 civarında mafit mineralleri, feldspat olarak yalnız alkali feldspat veya alkali feldspatın yanı sıra en fazla 1/1 oranında olacak şekilde plajjoklas içeren granitlerdir.

Alkali granit, bünyesinde %10'dan fazla kuvars, %10'dan fazla alkali feldspat ve mafit mineralleri içeren granittir.

Alkalikalt granit, bünyesinde %10'dan fazla kuvars, %10'dan fazla alkali feldspat, mafit minerali ve plajjoklas içeren granittir.

Granadiorit, içerisinde kuvars bulunmayan granittir.



Şekil 1.4. Farklı doku ve renklerdeki granitler (Yaşar Eren).

Granitler birçok ülkede özellikle yapı taşı olarak kullanılır. Sağlam, aşınmaya ve basınca karşı dirençli olmaları, farklı renkli ve iyi cila tutmaları nedeni ile yapı işlerinde, iç ve dış cephe kaplamalarında, parke taşı olarak yaygınca kullanılmaktadır. Granitler, Türkiye'de oldukça yaygındır. Kapıdağ, Çanakkale, Armutlu, Doğu Karadeniz, Uludağ, Istanca, Kırşehir vb yerlerde bulunmaktadır (Şekil 1.4).

Granitlerin bileşiminde bulunan feldspatlar ayrışabilir. Bu tür ayrışmaların gözleendiği granitler mimaride kullanılmamalıdır. Basınca karşı dirençleri 1000-1500 kg/cm²'dir. İnşaat işlerinde kullanılacak granitlerin basınç direnci 400 kg/cm²'den daha az olmamalıdır. Ocaklardan ayrışmamış olarak çıkarılanlar yüzlerce yıl ilk durumlarını koruyabilirler. Parke taşı olarak

kullanılacakların rengi homojen, basınç dirençleri 1200 kg/cm^2 'den büyük, yoğunlukları en az $2,4 \text{ gr/cm}^3$, su emme en fazla %3, don sonrası basınç direnci %10'dan fazla olmalıdır. Kuzey Avrupa'da, İsveç, Finlandiya ve Güney Afrika'da olduğu gibi çok geniş alanlarda Granit oluşumlarının bulunduğu jeolojik olarak bilinmektedir.

Siyenit: Siyenit adı Mısır'daki Siena'dan gelmekte olup, piramitler eski Mısırlılar tarafından siyenitlerden inşa edilmişlerdir. Açık renklidir (beyaz, pembemsi gri, gri). Siyenit, hipidiomorf kristaller halinde ve bazen porfirik doku gösterecek şekilde birbirlerine kenetlenmiş alkali feldspatların (ortoklas, albit) hâkim olduğu ve bunların yanı sıra daha az miktarlarda plajiyoklas, %5-50 oranında mafik mineraller, en fazla %10 oranında kuvars feldspatların 1/10 - 9/10'u kadar foid içeren derinlik taşıdır (TS 11553). İnşaat endüstrisinde yaygınca kullanılırlar ve ayrıca granite göre ateşe daha dayanıklıdırlar.

Diyorit: Koyu renkli, koyu yeşilimsi gri ve siyah renklidir. Granit ve gabrolarla beraber bulunmaktadır. İyi cila tutma özelliğinden dolayı süslemelerde yaygınca kullanılır. Taneli bir yapıda ve genellikle kuvars içermez.

Gabro: Gri siyah, yeşilimsi, koyu renkli bazik bir kayadır. Gabro, esas mineralleri bazik plajiyoklas, klinopiroksen, ortopiroksen ve olivin olan, tamamen kristalli (taneli) doku gösteren intrüzif bir kayadır (TS 10834). İri taneli ve nadiren porfiritik dokuludur. Yapı taşı olarak yaygınca kullanılırlar.

1.1.2. Damar (Yarı Derinlik) Taşları

Magmanın yer kabuğunun yüzeye yakın kısımlarında, çatlak ve yarıkları içinde soğuyup katılaşmasıyla oluşmuş kayalara *damar taşları* denir. Magmanın soğuma hızı volkanik kayalara göre daha yavaştır. Görünüş ve yapı bakımından hem plütonitlere hem de volkanitlere benzerler. Bu tip taşlarda iri kristallerle birlikte çok ufak kristaller de bulunur. Bu kayalar derinlik ve yüzey kayaları arasında geçiş taşlarıdır. Damar taşlarının hamur maddesi genellikle mikrokristallerdir (granir porfir, siyenit porfir, gabro porfir, diyorit porfir vb).

Diabaz: Sert bir kayaç olan diabaz yapı taşı olarak da kullanılmaktadır. Plajiyoklas ve piroksenden oluşmuş yeşil renkli porfirik bir kayadır (TS 5762). Gabronun yüzey kayasıdır. Tokat, Adana, Antalya'da diabaz oluşumları bilinmesine rağmen sadece Gemlik'te sınırlı oranda üretim yapılmaktadır.

Porfir: Farklı boyutlardaki minerallerden oluşmuş kayalardır. Porfirik doku özellikle volkanik kayalarda gelişmektedir. Roma ve Osmanlı mimarisinde kırmızı porfir kullanılmıştır. Edirne'deki Eski Cami'de kullanılan kırmızı porfir ile fosilli kireçtaşları sertlik farklılıklarından dolayı kayalarda farklı tür ayrışmalar gözlenmiştir.

Pegmatit: İri kristalli bir yapıdadır. Granit magmasına bağlı olarak gelişen damar kayasıdır.

Aplit: Ufak taneli, şekere benzer dokuludur. Ana bileşen olarak kuvars ve feldspat içeren damar taşlarıdır.

1.1.3. Volkanik (Yüzey) Taşlar

Magmanın litosferin yüzey ve yüzeyine çok yakın kısımlarında çok hızlı olarak soğumasıyla meydana gelmiş kayalara *volkanik taş* denir. Yarı kristalli magmatik kayalardır. Katılaştan

magmaya *lav* denir. Bu tip kayaçlar yarı kristalli porfirik yapılıdır. Çoğu kez gözle görülen çeşitli kristaller, kristal olmayan camsı hamur içinde bulunur. Magmanın yeryüzüne çıktığı yerlerde volkanlar oluşur. Hızlı soğuma nedeniyle camsı veya yarı camsı bir hamur içinde dağılmış halde kristaller olarak oluşmuşlardır. Volkanik kayaçlar 1 mm'den daha küçük tane boyuna sahip minerallerden oluşmuşlardır (kuvarslı porfir, diabaz, melafir, perlit, trakit, andezit, bazalt vb).

Volkanik kayaçların fiziksel özellikleri çok değişken olduğundan inşaata başlamadan önce iyice incelenmelidir. Taze oldukları zaman dayanımları derinlik kayaçları kadardır. Volkanik kül ve breşler fazlaca bozunma (ayrışma) gösterirler. Bu nedenle bu kayaçlar kullanılırken çok dikkat edilmelidir.



Şekil 1.5. Farklı doku ve renklerdeki bazaltlar (TÜMMER).



Şekil 1.6. Volkanik lavların soğuması sonucunda oluşmuş geometrik şekilli bazalt sütunlar (Ankara/Kızılcahamam) http://kizilcahamamgezi.com/Kizilcahamam_Guvem_Bazalt_Sutunlari_Jeositi.htm.



Şekil 1.7. Farklı doku ve renklerdeki andezitler (TÜMMER).

özelliği, sıkı dokulu, koyu renkli olması ve disk kesicilerle kesildiğinde düzgün bir yüzey verirler. İç Anadolu Bölgesi (Ankara, Çankırı, Afyon) andezit üretimi yönünden son yıllarda büyük gelişme göstermiştir (Şekil 1.7).

Riyolit: Granitin yüzey taşıdır. %68'den fazla kuvars içerir. İnce taneli ve sert dokuludur. Kuvars ve feldspat içerirler. Bu mineraller genellikle camsı hamur içerisinde bulunur. Kayaç bünyesinde kristalden çok cam varsa kayaç *obsidijen* adını alır.

Trakit: Magmatik bir kayaç türüdür. Afanit ile porfir arası bir dokuya sahiptir. Mineralojik yapı olarak alkali feldspatlardan oluşur (TS 11135). Yapı inşasında sarımtırak renkte ince yonu trakit taşları yaygınca kullanılmaktadır.

Bazalt: Gabroların yüzey taşıdır. İnce taneli, yoğun, sert, dayanıklı, koyu siyah ve gri renkli bir magmatik kayaç olan bazalt gabro grubunun volkanik türüdür (Şekil 1.5). %52'den az kuvars içerir. Bileşiminde plajyoklas, kuvars, piroksen, olivin ve biyotit içerir. Basınca dayanıklıdır. Bina, yol ve köprü işlerinde yaygınca kullanılır. Homojen yapısı nedeniyle düzgün kırılma yüzeyleri vermesi açısından yapı taşları konusunda özellikle yaya ve yolların döşenmesinde aranan bir kayaçtır. En önemli özelliklerinden biri arazide altıgen prizma sütunları şeklinde bulunmasıdır (Şekil 1.6).

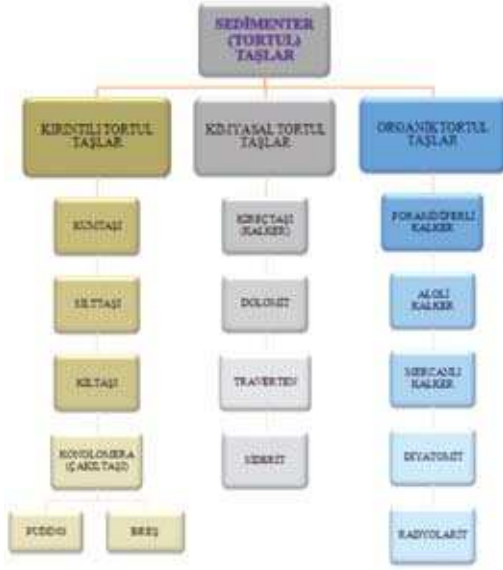
Andezit: Diyoritlerin yüzey taşıdır. %52-63 oranında kuvars içerir. Andezitik magma çok güçlü patlamalar oluşturur. Bileşiminde plajyoklas, kuvars, piroksen ve az oranda da hornblend içerir (TS 10835). Volkanik kökenli olan andezit kayaçları renk, doku ve sertlik açısından uygun olan bazı türlerinden parke taşı, döşeme taşı, kaplama taşı ve yapılarda değişik amaçlı olarak mimari tasarımlarda ve tarihi yapılarda kullanılmaktadır. Su emmeyen, suda dağılmayan

1.2. SEDİMENTER (TORTUL) TAŞLAR

Magmatik ve metamorfik kayaların çeşitli atmosferik ve tektonik olaylar sonucu parçalanarak tabakalar halinde tortullaşması ile meydana gelmiş, heterojen boşluklu ve fosil yapılu kayalara *tortul taşlar* denir. Tabakaların yönü ve bağlayıcının cinsi mukavemeti ve su geçirirliiliği etkileyen faktörlerdir. Bağlayıcının silis esaslı olması mukavemeti artırmaktadır. Kumtaşları ve kalkerler, ufalanabilir ve ayrıca bünyelerinde kil de içerebilirler. Kil miktarının artması ile kumlu veya kalkerli şeyller sınıfına girmektedirler.

Şeyller yumuşak, zayıf ve absortiv olduklarından genellikle inşaat endüstrisi için uygun doğal malzemeler değildirler. İnce tabakalar halinde oluşan şeyller düz ve kalın dilim şeklinde parçalanarak kum ve çakıl haline gelmektedirler. Konglomeralar da işlenme ve aşınma durumunda daha küçük parçalara ayrılmaya elverişlidirler.

Bazı maddelerin su içinde çözünmesi ve suyun buhar haline gelmesi sonucu bu birikintiler tabakalar halinde çöker. Su içinde çok çeşitli maddelerin bulunması halinde kum tanecikleri, çakıllar ve fosiller içerirler. Genellikle kalsiyum karbonat bileşikli bir doğal çimento bu maddeleri bağlar. Tortul taşlara, çökeltme yoluyla meydana geldiklerinden çökelmiş veya *sedimenter kayalar* da denir.



Şekil 1.8. Sedimenter (tortul) taşların sınıflandırılması.

Oluşum nedenlerine göre fiziksel (ayrık), kimyasal ve organik tortul kütleler olarak üç ana gruba ayrılırlar (Şekil 1.8):

- Fiziksel tortul kütleler (kum, çakıl, konglomera) kil, kalker, silis ile birleşmişlerdir.
- Kimyasal tortul kütleler (traverten, yoğun kalker, alçıtaşı) karbonat silis ve sülfat ile birleşmişlerdir.
- Organik tortul kütleler (diyatome, küfeki) ise kalker silis ve fosil çökeltilerinden oluşmuş halde bulunurlar.

1.2.1. Kimyasal Tortul Taşlar

Kireçtaşı: Kimyasal bileşiminde %90'dan fazla CaCO_3 (kalsiyum karbonat) içeren kayalara *kalker* (*kireçtaşı*) denir. Mineralojik olarak %90 kalsit minerali içeren kayalardır (TS 11137). Kireçtaşları mercan, foraminifer, alg vb taş yapıcı organizmalardan da oluşmaktadır. Fosil içerikli kireçtaşları organik tortul taşlar sınıfında yer almaktadır. Kalker taşlarının üzerine HCl asit dökülünce köpürürler. Kalkerler çakı ile çizilir. Mohs skalasına göre sertlikleri 3 dolayındadır. Kalkerlerin su emmesi, aşınması, basınç dayanımları dokularına göre değişmektedir. Krem veya beyaza yakın renklerdeki kireçtaşlarından hem doğal parke taşı hem de farklı yapı taşları olarak yaygınca kullanılmaktadır.

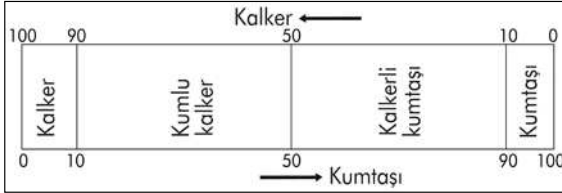


Şekil 1.9. Farklı doku ve renklerdeki kireçtaşları (TÜMMER).

Mimar Sinan'ın İstanbul ve civarında inşa ettiği camilerde en yaygın kullandığı taş türü küfeki (maktralı kireçtaşı) taşıdır. Birçok alanda en yoğun kullanılan taşlardan biridir (Şekil 1.9, 1.10).

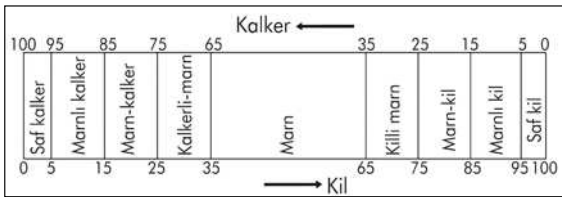


Şekil 1.10. Kırklareli/Vize Şerbetdar Hasan Bey (Paşa) Camii bakımsızlıktan dolayı yok olma ile karşı karşıya bırakılmıştır. Yapıda yoğun olarak zeminden kaynaklanan oturmalarından dolayı açılmalar ve bitkilerin oluşturduğu hasarlar, su-nemin yapı taşlarında oluşturduğu alterasyonlar yoğun olarak görülmektedir. Yapıda kullanılan kireçtaşları atmosferik hava koşulları ile mücadele ederek günümüze kadar ayakta kalmayı başarmıştır (Dal, 2008).



Şekil 1.11. Taşın bünyesindeki kalker ve kumtaşı yüzdesine göre aldığı isimler (Erguvanlı, 1987).

Taşın bünyesindeki kalker ve kumtaşı yüzde miktarına göre farklı isimler alır; %90-100 kalker ve %0-10 kumtaşı varsa *kalker*, %50-90 kalker ve %10-50 kumtaşı varsa *kumlu kalker*, %10-50 kalker ve %50-90 kumtaşı varsa *kalkerli kumtaşı*, %0-10 kalker ve %90-100 kumtaşı varsa *kumtaşı* (Şekil 1.11).

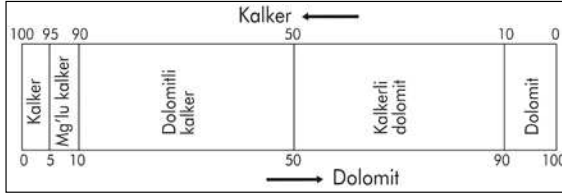


Şekil 1.12. Marnların kalsiyum karbonat %miktarlarına göre isimlendirilmesi.

göre de isimler alırlar. Bunlar kumlu marn, jipsli marn, dolomitli marn, kavkılı marn, glokonili marn vb... Genellikle renkleri gri, esmer, sarımsı, yeşilimsi ve siyahımsıdır. Üzerine asit dökülünce kabarcıklar çıkararak köpürürler.

Taşın bünyesindeki kalsiyum karbonatın yüzde miktarına göre farklı isimler alır (Şekil 1.12): %95-100 kalker ve %0-5 kil varsa *saf kalker*, %85-95 kalker ve %5-15 kil varsa *marnlı kalker*, %75-85 kalker ve %15-25 kil varsa *marn-kalker*, %65-75 kalker ve %25-35 kil varsa *kalkerli-marn*, %35-65 kalker ve %35-65 kil varsa *marn*, %25-35 kalker ve %65-75 kil varsa *killi marn*, %15-25 kalker ve %75-85 kil varsa *marn-kil*, %5-15 kalker ve %85-95 kil varsa *marnlı kil*, %0-5 kalker ve %95-100 kil varsa *saf kil* (Erguvanlı, 1987) (Şekil 1.12).

Dolomit: Kimyasal bileşimi $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ olan dolomit, çifte karbon bileşimidir. Saf dolomit, %54,35 CaCO_3 , %46,85 MgCO_3 içerir. Ayrıca bünyesinde farklı bileşenlerde bulunabilir. Dolomitte teorik olarak %30,4 CaO, %21,7 MgO, %47,9 CO_2 bulunmaktadır. Dolomitik kayalar refrakter [kayacın kırılma durumu (Altınlı, 1986)] hammadde olup, özgül ağırlığı $2,85 \text{ gr/cm}^3$, sertliği de Mohs skalasına göre 3,5-4,0'tür. Ticari saflıktaki dolomitin ergime noktası 1925-2485 °C arasında değişmektedir (DPT, 1991).



Şekil 1.13. Dolomitik kalkerleri, kalker ve dolomit oranlarına göre sınıflandırılması ve adlandırılması.

dolomit içeriyorsa *magnezyumlu kalker*, %95'den fazla kalker ve %5'ten az dolomit içeriyorsa *kalker* olarak adlandırılırlar (Erguvanlı, 1987) (Şekil 1.13).

Karbonatlı kayalar, bünyesindeki kalker ve dolomit oranlarına göre sınıflandırılırlarsa; %10'dan az kalker ve %90'dan fazla dolomit içeriyorsa *dolomit*, %10-50 kalker ve %50-90 dolomit içeriyorsa *kalkerli dolomit*, %50-90 kalker ve %10-50 dolomit içeriyorsa *dolomitli kalker*, %90-95 kalker ve %5-10



Şekil 1.14. Marmara Adası Dolomit ocağında alterasyona uğramış dolomitler.



Şekil 1.15. Farklı doku ve renklerdeki travertenler (Akin, 2008).

Traverten: Kalsiyum bikarbonatlı suların bıraktıkları çökeleklerdir (TS 11143). Bu kayalar sünger gibi delikli, hafif taşlardan oluşur. Kayacın bünyesinde bulunan klorofilli bitkiler suların içinde erimiş halde bulunan CO_2 asimilasyon için aldığından çökeltme daha hızlı olur ve bitkiler kalsiyum karbonatla örtülür. Bu şekilde oluşan kayaların çok delikli, hafif olanlarına ve fazla miktarda bitki, sap ve yapraklarını içerenlere *kalker tüfü*, az boşluklu ve yoğun olanlarına ise *traverten* denir (Şekil 1.15).



Şekil 1.16. Ankara/Anıtkabir'de traverten yapı taşlarında görülen dokusal bozunmalar (Akin, 2008).

Traverten terimi, travertenin yaygın olarak bulunduğu İtalya'daki Tivoli kasabasının eski Roma'daki adı olan Tivertino'dan gelmektedir. Travertenin renk, doku vb gibi fiziksel özellikleri, kolay işlenebilmesi nedeni ile de yapı taşı sektöründe yoğun olarak tercih edilen sedimenter karbonatlı bir kaya türüdür. Kimyasal bileşimi ve gözenekli yapısı bozunma üzerinde etkili olmasını kolaylaştırılmaktadır. Genellikle sıcak su kaynakları çevresinde çökelmişlerdir. Mikroorganizma ve bakteri yaşamı için uygun ortam sağlarlar (Şekil 1.16).

Siderit: Soluk sarımsı, sarımsı gri, soluk yeşil, gri, kül grisi, sarımsı kahverengi, grimsi kahverengi, siyahımsı kahverengi, nadiren beyaz ya da renksiz olabilirler. Kimyasal bileşimi $FeCO_3$ 'tür. Rengi ve özgül ağırlığının yüksek olması nedeniyle kalsit ve dolomitten ayrılır. Seyreltik HCl'de yavaş çözünür. Bulunuşu, masif siderit, tabakalı sedimanter yataklarda, özellikle çamurtaşı ve marnlarda, demir içerikli kongresyonlar şeklinde yaygın olarak oluşurlar. Hidrotermal cevher damarlarında pirit, kalkopirit, galenit gibi minerallerin yanında gang minerali olarak bulunur. Bazaltik volkanik kayalarda, bazen pegmatitlerde ve metamorfik kayalarda da rastlanır.

1.2.2. Kırıntılı Tortul Taşlar

Kumtaşı: Silis, karbonat, demir çimentolu ve çapları 0.06-2 mm aralığındaki kumların birleşmesiyle oluşmuş tortul taşlardır. Tane ve çimentonun %90'dan büyük bir kısmı eğer silisli ise *kuvarsit*, feldspatlı ise *arkoz*, mikalı ise *grovak* olarak isimlendirilirler. Silisçe zengin tabakalı kumtaşları peyzaj mimarisinde parke taşı olarak yaygınca tercih edilmektedir.



Şekil 1.17. Çanakkale/Gökçeada/Yıldız Koyu'nda bakterilerle alterasyona uğramış kumtaşları (Yüzer vd, 2008).

Tane boyu	tutturulmamış	tutturulmuş
>256 mm	blok	
2-256 mm	çakıl	Çakıltaşı (çakıllar yuvarlak) Breş (çakıllar köşeli)
2-1/16 mm	kum	kumtaşı
1/16-1/256 mm	silt	silttaşı
<1/256 mm	kil	kiltası

Şekil 1.18. Kırıntılı tortul kayaçların sınıflandırılması (Yaşar Eren).

Konglomera (Çakıltaşı): Doğal alterasyon nedeniyle ufalanmış, akarsular yardımıyla bir sedimentasyon ortamına getirilmiş, %50'nin üzerinde tane iriliği 2 mm'den büyük yuvarlak köşeli kayaç ve mineral parçalarının doğal çimento ile bağlanarak diajenez geçirmesi sonucu oluşmuş kayaçlara *konglomera (çakıltaşı)* denir (TS 11145). Konglomeratik kayalar, kayayı oluşturan çakıl ve kaya parçalarının köşeli olması ve yuvarlak veya yassı-yuvarlak olmasına göre *breş* ve *puding* olarak türlere ayrılırlar (Şekil 1.18, 1.19, 1.20). Marmara bölgesindeki birçok tarihi yapıda Hereke pudingi kullanılmıştır. Elazığ'da yaygınca çıkarılan Elazığ vişne breşidir.



Şekil 1.19. Kumtaşı, çakıltaşı, çamurtaşından oluşan Narman Kanyonu ve kırmızı peribacaları (Erzurum/Narman) (Yüzer vd, 2008).



Şekil 1.20. Kiltası, killi kireçtaşı, marn, çakıltaşı ve tüflerden oluşan peribacaları (Konya/Cihanbeyli) (Yüzer vd, 2008).

1.2.3. Organik Tortlu Taşlar

Büyük bir kısmı, foraminifer denilen tek hücreli organizmaların kalıntılarından, bir kısmı mercanlar, algler ve diğer deniz organizmalarının kavkaları ve iskeletlerinden meydana gelir. Strüktürlerine bakılarak bir ayırım yapılabildiği gibi, depo malzemesini oluşturan esas organizmalara göre de kokolütlü kalker, nummulitli kalker, antroklü kalker, lümaşelli kalker, fusulinli kalker, rudistli kalker, litografya kalker, mercan kalker, göl kalkerleri, bitümlü kalker şeklinde adlandırılırlar (Şekil 1.21).



Şekil 1.21. Marn, yaprak fosilli marn, balık-yaprak fosilli marn ve tuf (Sür, 2001).



Şekil 1.22. Nummulitli kalkerler (Sür, 2001).

Nummulitli kalker: Bünyesinde nummulit denilen ufak canlılara ait fosiller içeren kalkerlerdir. Bu fosillerin küçükleri mercimek şeklinde yassıdır, çapları 2 cm'den büyük olanları da vardır. Eosen'de fazla bulunan Oligosen'de azalan nummulitlere Akdeniz havzasında yoğun olarak rastlanılmaktadır (Şekil 1.22).

Oolütlü kalker: Denizel ortama ait olan bu kayaç mercan resifleri yakınında, yoğun CaCO_3 'lü ılık sularla meydana

gelir. Ölü mercan kütesinden kopan ya da suda yüzer halde bulunan bir organizma kalıntısının veya kum taneciğinin etrafını CaCO_3 sarması ve belirli bir hacme geldikten sonra, bu çok ufak kongresyonların dibine çökerek kalker çimento maddesi ile kaplanmaları sonucunda bu kalkerler oluşur. Oolütlülerin çapları yaklaşık 1 mm kadardır. Bu kalker türüne Orta ve Üst Jura tabakalarında rastlanır. Bunlara Ankara'nın kuzeyi ve Çanakkale dolaylarında rastlanır (Şekil 1.23).



Şekil 1.23. Oolütlü ve pizolütlü kalkerler (Sür, 2001).

Pizolütlü kalker: Kongresyon taneleri bezelye büyüklüğündeki kalker türüdür. Oolütlü kalkerler gibi oluşurlar. Pizolütlülerin çapları 2-10 mm arasında değişir. Pizolütlü kalkerlere Sivas'ın kuzeyinde ve Tokat dolaylarında rastlanılmaktadır (Şekil 1.23).

Lümaşelli kalker: Gastropoda ve lamelli branşlara ait kabuklarından meydana gelmiş Mesozoik ve Senozoik formasyonları arasında yer alan bir kalker çeşididir. İstanbul ve çevresindeki kalkerler maktralıdır. Bu da bir nevi lamelli branştır. Muhtelif yerlerde rastlanan nerineali ve turritellalı kalkerlerde lümaşel kalkerleridir (Şekil 1.24).

Antroklü kalker: Krinoidlerin (denizlalelerinin) sert kalıntılarından birikerek taşlaşması sonucunda oluşurlar. Trias ve Jura kalkerlerinde antroklü kalkerlere rastlanır (Şekil 1.25).



Şekil 1.24. Lümaşelli kalker (Sür, 2001).

Şekil 1.25. Antroklü kalker (Sür, 2001).



Şekil 1.26. Mercanlar (Sür, 2001).

Mercan kalkerleri: Mercanların iskeletlerinden oluşurlar. Ada kenarındaki mercanlar atol-leri ve kıyılardakiler resifleri oluştururlar. Tek tek her denizde ve farklı derinliklerde bulunabilirler. Bu kalkerlere *polipiyeli kalkerler* de denir. Her devirde yaşadıkları için değişik de-

virlere ait kalkerler içinde görebilmek mümkündür. Konya'nın kuzeyindeki Jura kalkerleri ve Zonguldak'taki Kretase kalkerleri mercan içeren kalkerlerdir (Şekil 1.26).

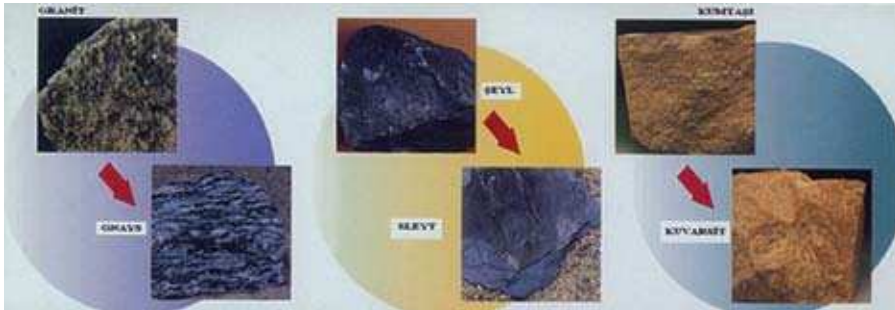
Diyatomit: Kayacı oluşturan diyatome adı verilen silisli alglerden türemektedir. Eski Romalılar ve Yunanlılar, diyatomitten ateşe dayanıklı hafif tuğla yapmışlardır. MS 532'de yapılan bugünkü Ayasofya Camii'nin kubbesinde diyatomit tuğlası kullanılmıştır.

Diyatomitin, diyatome kavkasından aldığı yüksek gözeneklilik ve geçirgenlik ile düşük özgül ağırlıklıdır ve ağırlığının 3 katına kadar su emebilir. Kuru halde özgül ağırlığı 0,14-0,40 gr/cm³'tür. Opal sertliği 4,5-6 aralığında iken, kayacın kendi sertliği 1,5'tan fazla değildir (Kaddey, 1978).

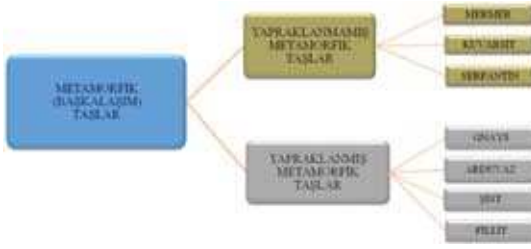
1.3. METAMORFİK (BAŞKALAŞIM) TAŞLAR

Püskürük ve tortul kayaçların sıcaklık, basınç ve gerilme etkisi altında kalarak yeni özellikler kazanması ile meydana gelen kayaçlara *metamorfik kayaçlar* denir. Yerkabuğu hareketleri nedeniyle alçalan veya derin sularda çökelerek oluşan tortul taşların yüksek basınç ve sıcaklık altında kalmalarından veya püskürük taşların basınç etkisi altında kalıp şistli bir yapı kazanarak yeniden kristalleşmelerinden metamorfik taşlar oluşur. Basınç, sıcaklık ve kesme kuvvetleri sonucunda oluşan metamorfizma sırasında taşların yapısı-dokusu bozulur. Yapısı, dokusu ve kristal şekli başka olan yeni tip mineraller meydana gelir. Fakat kütlelerin kimyasal bileşimi değişmez. Sıcaklık ve basınç altında kalkerler mermere, kumlar kuvarsite, alçıtaşı anhidrite, kiltası ise sleyte dönüşür (Şekil 1.27). Genel görünüşleri iri kristalli ve tanelidir. Kristallerin sınırları düzensizdir. Metamorfizmaya uğrayan taşların kimyasal bileşimlerinin, dokularının birbirinden farklı oluşu ve farklı ortamlarda çok farklı şartlar altında oluşmalarından dolayı kesin bir sınıflandırma yapılamamaktadır.

Metamorfik kayaçlar yeni yapı ve yeni mineralojik bileşim gösterirler. Metamorfik kayaçlar özellikleri bakımından farklılıklar arz ederler. Mermer ve kuvarsitler genellikle masif, yoğun, sağlam ve dayanıklıdır. Gnayslar genel olarak çok sağlam ve dayanıklı olmakla beraber şistlerin istenmeyen özelliklerini de ihtiva edebilirler. Şistler ince levhalardan oluştuklarından dilimler halinde ayrışır, genel olarak, büyük miktarda mikali mineraller ihtiva ederler.



Şekil 1.27. Granit, şeyl ve kumtaşının metamorfizma geçirmesi sonucu oluşan taş türleri (Yüzer vd, 2008).



Şekil 1.28. Metamorfik (başkalaşım) taşlarının sınıflandırılması.



Şekil 1.29. Farklı doku ve renklerdeki mermerler (TÜMMER).

1.3.1. Yapraklanmamış Metamorfik Taşlar

Mermer: Kireçtaşı veya dolomitik kireçtaşı gibi karbonatlı kayaların basınç ve ısının etkisi ile metamorfizmaya uğrayarak yeniden kristalleşmesi sonucu oluşan, bünyesinde bulunan tali minerallerden dolayı çeşitli renklerde olabilen ve kesilip parlatılabilen taşlardır (TS 10449). Karbonatlı kireçtaşları ve dolomitlerin başkalaşıma uğramasıyla oluşurlar. İri ve küçük taneli dolomit ve kalsit minerallerinden oluşurlar. Bu kayalar, yüksek oranlarda kalsiyum karbonat, daha az oranlarda magnezyum karbonat ve değişik oranlarda ise

metal oksitler içerirler. Saf oldukları zaman yarı saydam ve beyaz renkli olan mermerler daha sonra uğradıkları biçim değişiklikleri ve kimyasal çözünme süreçleri sonucunda renkli görünüm kazanırlar. Örneğin sarı, pembe, kırmızı, mavimtrak ve siyah renkli olabilmektedirler (Şekil 1.29).

Önceleri estetik ve dayanıklı olması sebebiyle sanatsal alanlarda kullanılan mermerin bugünkü başlıca kullanım alanları inşaat sektörü, dekorasyon, heykelticilik, süs eşyalarının yapımı ve mezarlıktır. Ülkemizde mimari alanda en yaygın kullanılan taşlardan biridir. Binaların iç ve dış kaplamasında, taban döşemesinde, merdiven basamaklarında, şömine, mutfak ve banyolarda, taşıyıcı sütunlarda kullanılır. İç dekorasyonda masa, sehpa, biblo, avize, kül tablası vb ürünlerin yapımında önemli miktarlarda özellikle damarlı mermer, renkli mermer, oniks mermeri ve yeşil somaki tüketilmektedir. Sanat malzemesi olarak anıtlar ve heykellerde ise en değerli mermer türü olan arı beyaz renkli ve düzenli tane yapısına sahip mermerler kullanılmaktadır. Doğal taşlar süsleme ve estetik kullanımlarının yanı sıra dayanıklılıkları, atmosferik şartlar ve çevre kirliliği nedeniyle granit gibi sert taşlar özellikle metro, havaalanları, otobüs terminallerinde, gökdelen ve ticaret merkezlerinin yapımında kullanılmaktadır. Milli gelir ve refah düzeyi ile yakından ilişkili olan mermerin kullanım alanları ülkeden ülkeye farklılıklar göstermektedir. ABD ile Almanya dünyada en çok mermer tüketen ülkelerin başında gelmektedir. Ortadoğu ve Uzakdoğu ülkelerinin mermer tüketimlerinde de son yıllarda bir artış olduğu gözlemlenmiştir.

Kuvarsit: Bir çökeltme ortamında, genelde yatay düzlemler boyunca biriken ufak kuvars kristal taneleri geniş alanlara yayılırlar. Kuvars tanelerinin arasındaki boşluklarda, başlangıçta bir birleştirici yoktur; bu kütleler kum çökelleridir. Ancak zamanla bu boşluklar doğal çimento olarak nitelendirilen birleştirici maddelerle doldurulurlar. Doğal çimento maddesi silisyum dioksitten (SiO_2) ibaretse, yani kuvars kristalleri yine kuvars olan bir madde ile birleşmişse oluşan kayaca *kuvars kumtaşı* denir. Bu tür kuvarsitin doğal çimentosu çoğunlukla amorfür. Böyle kuvars kumtaşları daha sonra metamorfizma geçirmesi durumunda çimento maddesi olan amorf kuvars tamamen kristalleşerek *kuvarsiti* oluşturur. Kuvarsitin kimyasal bileşimi, kuvars, kumtaşı (kuvarslı gre) ve kuvars kumu gibi SiO_2 olup, az miktarda feldspat, mika, manyetit, hematit,

granat ve rutil mineralleri ile kil ve kireçtaşı noktacıları da bulunabilir. Kuvarsit sert, sağlam ve aşındırıcı bir kayadır.

Serpantin: Serpantin temelde volkanik bir kaya olmasına rağmen, genellikle ısı ve basınç ile değişim göstermiş (metamorfik) kıvrımlı kayalarda görülür. Koyu yeşil, siyah ya da kızıl siyahtır. Yılan derisini andıran yüzeyinden dolayı *yılandaşı* da denir. Serpantin orijinalde dünyanın okyanus kabuğunda ve yukarı tabakalarında, olivin zengini peridoitlerde oluşan bir kayadır. Etkileyici renkleri ile dekoratif taş olarak kullanılan yılandaşı gibi düşük ısılarda oluşan minerallerin ısı ve basıncın etkisi ile değişim göstermesi sonucu oluşur. Serpantin içinde bulunabilecek diğer mineraller arasında krom, krisolit, grena, hornblent, mika ve proksen grubunun çeşitli üyeleri yer alır. Başlıca kaynaklar arasında Avrupa'nın ortasındaki Alplerin kıvrımları gelir.

1.3.2. Yapraklanmış Metamorfik Taşlar

Gnays: Magmatik veya tortul kayaçların başkalaşıma uğramasından dolayı meydana gelen metamorfik kayadır. Granit ve diyorit kayaçlarının başkalaşıma uğraması ile oluşmuş kayaçlardır. Muskovitli gnays, granit-gnays, hornblendli gnays, enjekte gnays gibi türleri mevcuttur. Mika kristalleri, kuvars ve feldspat içeren ve tabakalanmış bir görünümde dirler. Gnayslar, içerdikleri minerallere, oluşum süreçlerine, kimyasal bileşimlerine ve başkalaşım sürecinden önceki ana kayacın türüne göre ortognayslar ve paragnayslar olarak da ikiye ayrılır. Ortognayslar korkayaçların, paragnayslar ise özellikle tortul kayaçların başkalaşıma uğraması sonucu oluşmaktadırlar.

Arduvaz (Kayrak Taşı, Sleyt, Kayağan Taşı): Arduvaz kil yataklarının diajenez sonucu şistleşmesinden oluşan ince tabakalı kayaçlardır. Şistleşme, genellikle tabakalaşmaya paralel olup kayacın ince tabakalar halinde dilimlenmesini sağlar. Metamorfik bir kayaç olan kayağan taşı, çamurtaşları, silt taşları, şeyller ve volkanik küllerin farklı kompozisyonlarını içerir. Çok farklı mineral ve kompozisyonları nedeniyle, değişik renkler ve desenler verebilmektedir. Genellikle koyu gri renkli olan arduvaz mika, kuvars ve klorit gibi mineraller ihtiva eder. Bu mineraller az çok silisleşmiş killi ve marnlı bir hamurla bağlanmıştır. Kuvars (SiO_2) oranı %50-68 arasındadır. Oldukça sert olan arduvaz su geçirmez ve atmosferik hava koşullarına dayanıklıdır. Arduvaz eğer pirit ve kalsit ihtiva ederse kolay bozuşur, açığa çıkan sülfürik asit çakılan çivileri de paslandırdığından arduvazı çatı kaplama malzemesi olarak kullanılamaz hale getirir. Mineralojik bileşimdeki değişimler, mermer ve diğer dekorasyon taşlarında olduğu gibi, arduvazı da renk ve desen açısından farklı özelliklere kavuşturulabilir.

Arduvaz çatı ve duvar kaplama malzemesi olma dışında iyi bir döşeme ve dekorasyon malzemesi olarak da kullanılmaktadır. Metamorfizma nedeniyle oluşan klivaj yapıları, bu taşların doğal olarak plaka halinde ayrılmasına sebep olur. Arduvaz, diğer adı ile sleyt 900 kg/cm^2 basınca dayanıklıdır. Gerek çatı, gerekse dış yüzey kaplamalarında ebat ve kalınlık hususunda belli standartlar yürürlüktedir. Çatı arduvazlarının birkaç yüz yıl dayandığına dair kayıtlar bulunmuştur. İstanbul Haydarpaşa tarihi gar binası Almanya'dan ithal edilen arduvaz ile kaplanmıştır. Ankara'da Ulus ve istasyon civarındaki bazı eski ve tarihi binaların çatıları da arduvazlarla kaplanmıştır. İngiltere'nin Galler bölgesinde arduvazın 1750 yılından beri çatı kaplama malzemesi olarak kullanıldığı bilinmektedir.

Şist: Şist orta-iri tane boyutlu öncelikle levhamsı minerallerden oluşan metamorfik bir kayadır. Levhamsı mineraller genellikle mikalar olup (muskovit ve biyotit) yönlü dizilmeleri ile kayacın foliasyon özelliğini belirler. Buna ilaveten şistlerde kuvars ve feldspat mineralleri de yaygındır. Koyu renkli minerallerin (amfibol) yer aldığı şistlere de sık sık rastlanır. Sleyt gibi birçok şistlerin de köken kaynağı şeyllerdir; orta-yüksek derece metamorfizmasına uğramış şistler dağ oluşumu esnasındaki metamorfik olaylara bağlıdır. Şist kavramı kaya dokusunu tanımladığı gibi geniş bir bileşim yelpazesine de sahiptir. Bileşimin ortaya çıkarılması minerallerin tanınmasıyla gerçekleşir. Örneğin biyotit ve muskovit içeren şisti *mikaşist* olarak adlandırabiliriz.

Fillit: Metamorfizma derecesi sleyt ile şist arasında yer alır. Sleyte göre bileşimindeki mika minerallerinin boyutları artmış olmasına rağmen çıplak gözle ayırt edilemez. Görünüşte sleyte benzemesine rağmen aradaki önemli fark fillit dilinimi yüzeylerindeki yüksek parlaklık ve hafif dalgalı yüzeylerin bulunmasıdır. Kaya dilinimi mükemmel gelişmiş olup bu yüzeyde ufak taneli muskovit, klorit veya her ikisi de bulunabilir.

2. BÖLÜM: DOĞAL TAŞLARIN BOZUNMASI

En eski yapı malzemelerinden biri olarak doğal yapı taşları, genellikle dayanıklılığın ve sürekliliğin sembolü olarak bilinmektedir. Ancak taşların farklı kullanım alanlarına ve yerlerine bağlı olarak, doğrudan veya dolaylı çevresel etkileşimler sonucu bozunmaya maruz kaldıkları görülmüştür. Çevresel etkenlere bağlı olarak bozunma mekanizması, genel olarak fiziksel, kimyasal ve biyolojik bozunma olmak üzere üç ana başlık altında ele alınabilmektedir. Farklı şekillerde oluşan kayaçlardaki bozunmayı önlemek için öncelikle bozunmaya neden olan faktörlerin ayrıntılı olarak belirlenmesi gerekmektedir. Günümüzde bozunmaya neden olan faktörlerin belirlenmesine yönelik çalışmaların giderek arttığı ve bozunmaya neden olan deprem, yangın, su baskını, rüzgâr, donma-çözünme, sıcaklık dalgalanmaları, kimyasal malzemeler, kirlilik, tuz kristalleşmesi ve biyolojik bozunma ile ilgili pek çok çalışma görmek mümkündür.

Hava ve suyun etkisiyle kayaların özelliklerini değiştiren en önemli unsurlardan bir tanesi olan ayrışma veya bozunma, kaya kütlelerinin doğal ve yapay nedenlerden dolayı geri dönüşümü olmayan tepkimelerdir (Price, 1995). Jeolojik anlamda ayrışma, yerkabuğunu oluşturan kayaçlarda yüzey ve yüzeye yakın kesimlerde yer değiştirmeye uğramadan, mekanik ve kimyasal süreçlerle meydana gelen nitelik değişimleri olarak tanımlanır. Bozunma süreci sonucunda kayaların yapısındaki minerallerin kimyasal bileşimi değişmekte, ikincil mineraller oluşmakta, gözeneklilik ve boşluk oranının artmasına paralel olarak dayanımları azalmaktadır.

Kayaçlardaki ayrışma, çeşitli fiziksel etkiler altında gelişebileceği gibi mineraller arasındaki bağlayıcının kimyasal süreçlerle bozularak ortadan kalkması sonucu da oluşabilir. Bu nedenle ayrışma kimyasal ve fiziksel süreçler olmak üzere iki kategoride gerçekleşir. Bu iki ayrışma süreci çoğunlukla birlikte etkir veya birbirine ortam hazırlar. Hava bileşiminde yer alan gazlar, su, sıcaklık, canlı ve organik maddeler ayrışma sürecinin başlıca etkenleridir.

Bozunma, bölgesel olarak ve zaman içerisinde değişen iklim, bitki örtüsü gibi dış etkenler ile kayanın kendi iç yapısı ve kaya kütlelerinin özelliklerine bağlıdır.

Nemli, sıcak bölgelerde kimyasal ayrışma ön plandadır ve ayrışma daha hızlıdır. Soğuk ve kurak bölgelerde ise fiziksel ayrışma ön plandadır ve daha yavaştır. Ayrışmada ana kayanın direnci önemlidir. Sert kayaçlar zor ayrışırken yumuşak kayaçlar daha kolay ayrışmaktadır.

Eserlerin bozunma nedenlerinin kaynağının araştırılarak saptanması, eski eserleri koruma ilkeleri açısından, konservasyon uygulamalarının seçimi ve kararı için en önemli ilk adımı oluş-

turmaktadır (Heinrichs, 2005). Ayrışma nedenlerinin saptanıp, bunların yapısal özellikleri ile bozunma derecesini belirten bir bozunma haritası oluşturulması, günümüzde konservasyon çalışmalarının ilk ve en önemli aşamasını oluşturmaktadır.

Doğal taşlardan yapılmış kültür varlıklarının kendi tarihi ve doğal çevreleri içinde sergilenmeleri bir başka sorunu da beraberinde getirmektedir: Doğal çevrenin eserler üzerindeki bozucu etkisi ve taş anıt-eser üzerinde etkili olan ayrışma/bozunma mekanizmasının ayrıntılı bir şekilde araştırılarak, sebep ve sonuçlarının ortaya konması, bunlara yönelik herhangi bir iyileştirme çalışmaları için temel teşkil edebilecektir. Bunların yanında, ayrışmanın etkisini en aza indirecek uygun bir konservasyon yöntemi sunularak, tarihi ve doğal mirasın gelecek nesillere en iyi şekilde ulaştırılmasına öncülük edilecektir.

Taşların alterasyonuna neden olan etkenlerin başında çevresel koşullar gelmekle beraber, taşın kendi yapısından kaynaklanan özelliklerin de etken olduğu ortaya konulmuştur. Kayacın yapısını belirleyen özellikler olan taşın litolojisi, mineralojik özellikleri, petrografik özellikleri, yapısal özellikleri, kimyasal bileşimi ve fiziko-mekanik özellikleri, taşın ayrışmaya karşı direncini belirler. Çevre koşullarının neden olduğu alterasyonlar ise; fiziksel ve fizikokimyasal etkiler, biyolojik-mikrobiyolojik etkiler ve mekanik etkiler sonucu oluşan alterasyonlardır.

Tarihi yapıların duvarlarında sıcaklık değişimleri rüzgâr aşındırması ve yağışların etkisi sonucu yıpranmalar oluşmaktadır. Taş malzemenin bozunma nedenleri, iç ve dış nedenler olarak, iki ayrı başlık altında toplanabilir. Taşın amorf içyapısından kaynaklanan bozunmaları iç nedenler olarak; doğal etkenler, insan kaynaklı zararlar (savaş, yoğun trafik ve bayındırlık etkinlikleri) ve doğal afetler gibi hasar kaynakları ise dış nedenler adı altında incelenebilir.

2.1. TAŞ ESERLERİN BOZUNMASI

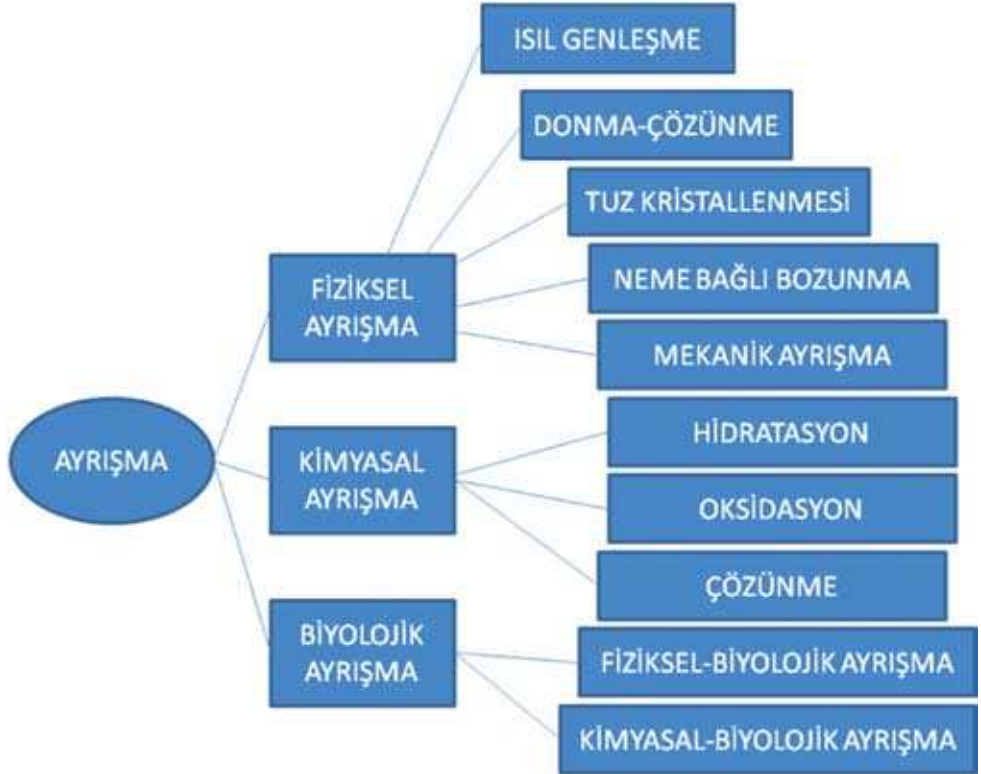
Anıtlarda ve yapı taşlarında meydana gelen bozunma, jeolojik süreç içerisinde kayalarda oluşan bozunma ile oldukça benzerlik göstermektedir. Yapı taşlarındaki bozunmada, taşın bulunduğu çevrenin iklimsel özellikleri birinci derecede rol oynamaktadır. Bozunma türünün, kayacın fiziksel ve kimyasal yapısı ile dış ve iç etkilerin özelliklerine bağlı olduğu bilinmektedir. Yapı taşlarındaki bozunma sonucunda, taşın görünümü, dayanımı, bütünlüğü, boyutları ve kimyasal davranışı değişmektedir.

Taştan yapılmış eserlerin yıpranması, ufalanması ve bozunmasındaki süreci hazırlayan etmenler, genellikle bir çoğu birlikte etkili olan fiziksel, kimyasal ve biyolojik nedenlerdir (Şekil 2.1). Eski eser ve yapı malzemelerinin bozunmasında rol oynayan tüm parametreler kompleks bir etki yapmakta ve yüksek oranda değişkenlik göstermektedir. Bu etmenlerin taş yapıt üzerindeki bozucu etkileri, iklime bağlı olarak değişebilmektedir. Havanın yoğunluğu, saflığı, ısı ve nemi, bozunma derecesini belirler. Isı, bağıl nem ile birleşince önemli bir bozucu etkendir.

Taş eserlerin bozunmasındaki süreci hazırlayan etmenler; iklime bağlı olarak, havanın yoğunluğu, saflığı, ısı ve nemidir. Özellikle yağmur suyu sızmaları, yerden yükselerek ve havada yoğunlaşarak esere çeşitli şekillerde ulaşabilen nem, taşta mekanik, kimyasal, fiziksel ve biyolojik tepkileri yaratarak ayrışmayı başlatan faktördür.

Genellikle birçoğu birlikte etkili olan, taşta oluşan bozunmalar, iki şekilde sınıflandırılabilir: taşın kendisinden kaynaklanan bozunmalar ve dışarıdan gelen etkiler. Kendisinden gelen bozunmalar, taşın mineral içeriğinden, minerallerin yerleşim düzeninden, makro ve mikro çatlaklardan vb durumlardan kaynaklanır. Dışarıdan gelen etkiler ise hava ve çevre kirliliği, biyolojik etkenler, nem, işçilik, donma-erime döngüsü, komşu maddenin yarattığı basınç, bağlayıcı malzemeler vb nedenlerden kaynaklanmaktadır.

Taşlar bir veya birkaç mineralin birleşmesiyle oluşurlar. Kayaçların günlenmeye karşı gösterdikleri direnç, kristallenme derecesine ve içlerinde barındırdıkları minerallerin suya karşı gösterdikleri tepkiye bağlıdır. Kil, jips, marn ve kalker bileşimli konglomerallar, özellikle sulu ortamda basınca karşı az direnç gösterirlerken, silis içerikle kuvarsitler dayanıklı olup granit kadar sağlam yapıldırlar. Kalkerler ve mermerler kalsit ve aragonit minerallerinden oluşup içlerinde silisyum dioksit bulunduran magmatik kayaçlara oranla daha az dayanıklı taşlardır. Kalsit minerali yapı taşları belirli bir süre, oldukça sağlam kalmalarına karşın, ayrışmaya başlayınca bu süreç hızlanmaktadır. Killi taşlarda ise içerdikleri minerallerin cinsine göre az veya daha çok miktarda su emdiğinden gevşer ve ayrışırlar, dirençleri ve taşıma güçleri azalır.



Şekil 2.1. Taşların bozunmasına neden olan ayrışmaların sınıflandırması.

Taşın bozunmaya karşı direncini kristal yapısı belirler. İnce kristal yapıya sahip kayaçların iri kristallilere oranla direnci daha fazladır. Kristal büyüklüğü arttıkça kenetlenme gücü daha da az olur ve bu özellikteki bir taş daha kolay bozunmaya uğrar. Kristalleri bağlayıcı maddelerin de bozunma da önemli rolleri vardır. Silisyum dioksitli (SiO_2) bağlayıcılar, killi bağlayıcılara oranla daha dayanıklı olurlar.

Taşın kimyasal yapısı da bozunmada etkindir. Taşın içerdiği kalsiyum klorür (CaCl_2), sodyum klorür (NaCl), potasyum klorür (KCl) gibi çeşitli kimyasallar su ile reaksiyona girerek zaman içerisinde çözünerek ortamdan ayrılabilirler ve boşluklar oluşur ya da kalsiyum sülfat (CaSO_4) gibi su ile reaksiyonda hacimleri genişleyerek taşın patlamasına neden olan basınçlar oluştururlar.

Taşın birim hacim ağırlığı, su emme, porozite şeklinde bilinen fiziksel özellikler bozunmaya neden olan dış etkenler karşısında taşın tepkisini belirler. Taşın porozite yapısı, taşların ayrışmasındaki en önemli özelliklerden biridir. Boşluk yapısı, ısının çok düşük olduğu coğrafi bölgelerde, özellikle nemli ortamlarda daha da tehlikeli bir durum arz eder. Zira su, don oluyunda hacim genişlemesine uğrayarak boşluklarda iç basınçların artmasına ve boşluk hacminin genişlemesi ile başlayan ayrışmalara neden olabilmektedir.

Yapılan araştırmalardan elde edilen sonuçlara göre tortul kayalarda görülen bozuşma, metamorfik ve magmatik kökenli taşlara oranla daha hızlı olmaktadır.

Taşın işlenmesi sırasındaki sert darbeler yüzünden oluşan mikro çatlaklar taşın dış etkilerle daha çabuk bozunmasına neden olur. Taşın duvarda doğal yatak düzlemine paralel olarak oturtulması gerekirken yatak düzlemine dik kullanılması çabuk bozunmasına neden olabilir. Gerek malzemenin kendi öz yapısından gerekse yüksek ve düşük değerlerde ısı değişimleri, don ve çözünme olaylarının tekrarı gibi iklimsel ve fiziksel olaylardan kaynaklanan çeşitli büyüklüklerde kılcal ve derin çatlaklar görülebilir. Bu çatlakların boyutları zamanla büyüyerek bozunma sürecini hızlandırmakta ve eserde parça kayıplarına yol açabilmektedir.

Gerek zamanın yıpratıcı etkisi gerekse hava kirliliği ve iklimsel etkenler, eserlerin yüzeylerinde çeşitli bozunma oluşumlarına yol açabilmektedir. Yaz aylarında gün içinde, gece ile gündüz arasında, yüksek değerlerde değişimler gösteren ısı farklılıkları söz konusudur. Buna ek olarak şehir merkezinde özellikle kış aylarında fosil yakıtların yoğun olarak kullanımının sonucunda hava kirliliği ile malzemeye taşınan sülfat ve yoğun araç trafiği ile artan nitrat değerleri taşlarda öncelikle kararma ve sonra da yüzeyden itibaren dökülmelere yol açarak bozunma mekanizmalarının yoğun olarak işlemesine neden olmaktadır. Bunun yanında meteorolojik etkenler de özgün malzemelerin bozunmasında birinci derecede rol oynamaktadır. Toprak ile direkt teması olan taş eserlerde yoğun olarak görülen bozunmaya oldukça düşük kış sıcaklıkları da (donma-çözünme çevirimi) olumsuz etkiler yapmaktadır.

Açık havada sergilenen veya depolanan taş eserler, kapalı alanda sergilenen veya depolanan eserlere oranla daha çok bozunmaya uğrarlar. Özellikle hava kirliliği nedeniyle karşılaşılan sorunlar; havada uçan tuz ve karbon parçacıkları veya sülfür gibi gazlar ile alkaline veya asit yağmurları olarak nitelendirilebilir.

Yüksek düzeyde hava kirliliğinin oluşturduğu is, toz, havadaki asitlilik ile çeşitli tuzlar, bozunmanın diğer önemli etkenlerindedir. Sülfür dioksit ve nitrojen oksit havadaki nem ile buluşunca aside dönüşerek eserlerin üzerine yerleşir ve bozunmasına neden olur. Eserler endüstriyel çevreye yakın bir yerleşim biriminde olmamasına karşın uzun süren kış mevsimine bağlı olarak artış gösteren yakıt tüketimi ve egzoz gazları, yoğun hava kirliliğine yol açabilmektedir.

Taş anıt-eserler, fiziksel olarak parçalanmak ya da kimyasal olarak ayrışma yolu ile bozunmaya uğrarlar. Fiziksel ayrışma ile eserler sadece mekanik bir bozunmaya uğrar ve mineraller herhangi bir değişim göstermezken kimyasal etkiler sonucunda eserler ayrışmaya mineral-

lerden başlamaktadır. Bu durum da kültür varlıklarının bir daha geriye dönmeyecek şekilde bozunmasına neden olurlar.

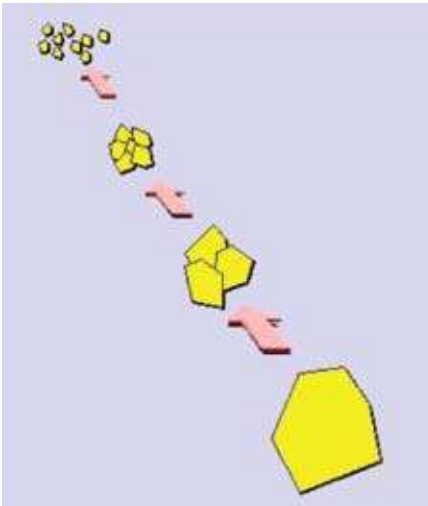
Eski eserlerde olduğu gibi, yapı taşlarında da bozunma fiziksel, kimyasal ve biyolojik etkenler sonucunda gerçekleşmektedir. Fiziksel bozunmada çözünebilen tuzlar, donma olayı, ısınma-kuruma, sıcaklığa bağlı genişleme, kalıntı gerilmeler ve rüzgâr etkili olurken, kimyasal bozunmada ise, taşları oluşturan minerallerin içsel yapısı, çözünme, oksidasyon ve hidroliz olayları sonucunda değişmektedir. Özellikle yarı kurak iklim koşullarında, kimyasal bozunmanın en önemli tepkimeleri hidroliz ve oksidasyondur. Aynı zamanda, atmosferik kirlilik de yapı taşlarında hem kimyasal, hem de fiziksel bozunma açısından oldukça önem taşımaktadır. Öte yandan, nemli iklimlerde taş üzerinde yaşayan organizmalar nedeniyle meydana gelen biyolojik bozunmada ise, kaya ile organizma arasındaki kimyasal tepkimeler sonucunda kayada yapısal değişimler ortaya çıkmaktadır.

Genel olarak eserlerin bozunması fiziksel, kimyasal ve biyolojik olmak üzere üç şekilde gerçekleşir. Biyolojik ayrışma hem kimyasal hem de fiziksel ayrışmaya neden olduğundan bazı durumlarda bu iki ayrışma grubu içinde de incelenebilir.

2.1.1. Fiziksel Ayrışma

Fiziksel ayrışma, taşları oluşturan minerallerin yapılarında herhangi bir değişme meydana gelmeden, bağlarının zayıflaması parçalara ayrılarak ufalanmasıdır. Yüksek sıcaklık farkı olan iklim sahalarında sıcaklık farkı tuz, buz ve kök çatlatmasıyla kayaları oluşturan minerallerin bağlarının gevşemesi sonucu taşların fiziksel (mekanik) olarak parçalanması olayıdır. Mekanik ayrışmada en fazla etkili olan faktör, sıcaklık farkıdır. Sıcaklık farkının artması mekanik çözünmeyi artırır. Mekanik çözünmede taşların fiziksel yapıları etkili olmakla birlikte, iklim olayları daha fazla etkisini gösterir (Şekil 2.2).

Fiziksel çözünme, çöl, karasal, step, tundra gibi aşırı sıcaklık farkı görülen iklimlerin etkili olduğu yerlerdeki taş eserlerde daha kolay oluşur. Özellikle çöl ikliminin egemen olduğu alanlarda ve sıcaklık



Şekil 2.2. Fiziksel ayrışmada taşları oluşturan minerallerin yapılarında herhangi bir değişme meydana gelmeden parçalara ayrılarak ufalanır.

farkının fazla olduğu karasal iklim bölgelerinde etkili olmaktadır. Donma ve çözünme, buz, tuz ve kök çatlatması, ısınma ve kuruma, taşların büzülüp genişmesi mekanik çözünmeyi oluşturan başlıca faktörlerdendir.

Fiziksel parçalanmada bitkilerin de rolü vardır. Taşlardaki çatlaklara yerleşen bitkiler, kökleri vasıtasıyla çatlağın genişlemesine yol açar. Fiziksel parçalanma sonucunda kayacı oluşturan minerallerin kimyasal özelliklerinde önemli bir değişiklik olmaz. Fiziksel çözünmeye neden olan olaylardaki sıcaklık farkı, taş gözeneklerindeki suların donması ile tuz çatlamasıdır.

Sıcaklık Değişmeleri

Bir yerin sıcaklığı mevsimlere, aylara ve özellikle günün saatlerine göre sık sık değişmeler gösterir. Bu değişmeler kayalar ve mineraller üzerinde parça-

lanma etkisi gösterir. Yani havanın sıcaklık derecesine bağlı olarak kayalar da ısınır ve soğurlar. Kayalar çeşitli minerallerden oluşmuştur. Her bir mineralin ısındığı zaman uzama katsayısı birbirinden farklıdır. Periyodik ısınma ve soğumanın etkisinde kalan kayalarda uzama katsayısı fazla olan mineral, ısınma sırasında hacmini daha fazla genişleterek diğerlerine basınç yapar ve kayanın çatlamasına sebep olur.

Isı değişimleri sırasında kayaların dış kısımları ile iç kısımları arasında oldukça fazla sıcaklık farkı meydana gelir. Taşlar kötü bir ısı ileticisi olduğundan güneş ışınları ancak birkaç santimetrelik kesimde etkili olur ve bu kesimlerin daha fazla genişlemesine ve düşen sıcaklıkla da çekmesine neden olur. Bu genişleme ve çekmelerin tekrarlanmasına bağlı olarak bu kesim parçalanır ve ana kütlede ayrılır. Yakıcı güneş ışınlarına maruz kalan taş yüzeyi oldukça yüksek bir sıcaklığa ulaşır. Gündüz güneş etrafı ısıtmaya başlarken kayaların ve taşların dış kısmı, içinden daha fazla ısınır ve genişler. Akşamüzeri güneş batarken de kayaların kabuk kısmı hemen soğuyarak iç kısımlardan daha çabuk büzülür ve kabuk küçük kalır. Sıcaklık farkı, kayalarda sıcaklık değişimlerine bağlı olarak gerçekleşen genişleme ve büzülme, taneler arasında farklı yönde ve büyüklükte iç basınçları oluşturur. Sık sık tekrarlanan bu değişimler sonunda kayanın dış kısımlarında çatlaklar meydana gelir ve bununla beraber, kayanın bünyesinde gözle görülmesi mümkün olmayan kılcal çatlaklar gelişmeye başlar. Sıcaklık değişimlerinin yinelenmesi, kılcal çatlak gelişimini hızlandırarak, yeni çatlak ve kırıkların oluşmasına neden olur. Giderek daha fazla hasar gören kayaç, fiziksel anlamda parçalanır ve ufalanır.

Kalkerli taş, sıcaklık değişikliklerine, kalsitin termal genişleme katsayısı, kristal içindeki yönüne göre değiştiğinden nispeten hassastır. Dolayısıyla, sıcaklık farkları döngüleriyle kristaller arası bağlarda kopmalara bu suretle malzemenin su absorpsiyonunda ve porozitesinde artışa neden olurlar (Wessman, 1997). İnce kristalli, sedimenter kireçtaşlarında bu durum geçerli değildir. Alçıtaşı oluşumu, mermerde kristaller arasına girerken, kireçtaşında kapiler damarlarda ilerlemektedir ve kireçtaşı yüzeyi sürekli alçıtaşı kabukla kaplanmaktadır. Metamorfik mermer kristalleri arasındaki bağlar zayıflamakta, kopmakta ve "mermerin şekerlenmesi" denilen durum ortaya çıkmaktadır (Erşen, 1991).

Gece ve gündüz arasındaki sıcaklık farklılıkları ve güneşin etkisi ile taşlar zamanla renk değiştirirler. Hafif sarımtırak renkte olan travertenler zamanla tam sarı ve hatta şiddetli güneş karşısında kızarak turuncu gibi bir renk alırlar. Bu renk değişimi genellikle kayanın içinde ince tanecikler halinde dağılmış olan piritin alterasyonundan dolayıdır (Erguvanlı, 1955). Bazı kereleler organik maddeler ihtiva eden koyu, esmer renkli taşlar, güneşin etkisiyle oksidasyona uğrayarak renklerini kaybedip ağarır. Bazen de mermerde olduğu gibi yine oksidasyon sonucu damarlar şeklinde koyu lekeler oluşur. Bunlar, demir (Fe) ve magnezyumun (Mg) düşük derecedeki oksidasyon ürünlerinin veya demir karbonat ($FeCO_3$) ve magnezyum karbonatın ($MgCO_3$) havada daha çok oksidasyona uğramalarından veya piritin limonit haline dönüşmesindedir. Pas ise, demir oksidin (FeO - hematit) demir üç oksit (Fe_2O_3 - limonit) haline dönüşümüdür.

Günlük ve mevsimlik sıcaklık farklarına maruz kalan yapı malzemelerinde genişleme-büzülme döngüleri, iç gerilmelere neden olur. Gündüz sıcak etkisi ile genişleyen kayaç, geceleri soğur ve büzülür. Sıcak yaz günlerinde aşırı sıcaklar yüzünden genişleyen taş eserler, soğuk kış günlerinde dona maruz kalır; ısı farkları ve donma-çözünme döngüleriyle yorulur ve yıpranır.

Nemli ve yarı nemli iklimlerde doğal taşlarda meydana gelen donma hasarları uzun zamandan beri bilinmektedir. Donmanın tahrip edici etkisi, gözenek sisteminin sürekliliği, gözenek sisteminin suya doyma derecesi, kritik gözenek büyüklüğü, suyun sıvı fazdan katı faza geçişte gösterdiği ani

hacim genişmesi gibi faktörlerin birleşmesi ile ortaya çıkar (Çorapçıoğlu, 1995). Belirli bir kütledeki suyun hacmi donduğu zaman artar, bu nedenle malzeme gözenekleri içindeki su, donduğu zaman gözenekleri parçalar. Donma hasarları daha çok taşın yüzeye yakın bölgelerinde ortaya çıktığı için yüzeysel yapıya büyük ölçüde zarar verir. Dış etkilere açık yüzeyde en şiddetli boyutta görülen bu olay, malzemenin zamanla tozlaşip erozyonuna neden olur. Özellikle kirli atmosferdeki kireçtaşı yüzeyinde kalsiyum sülfat (CaSO_4) oluşup yüzeyi daha yoğun bir tabaka ile kaplamışsa, bu tabakanın altı daha gözenekli ve zayıftır, ciddi bir donma etkisi yaklaşık olarak 10 cm derinliğe kadar yoğun tabakaların kavlanıp düşmelerine neden olur. Bir taşın gözenek yapısı, o taşın bozunmaya dayanımını belirlemede önemli rol oynar. Taşın boşluk yapısı, tuz kristalizasyonu ve asidik gaz saldırlarına dayanımında olduğu gibi benzer etkilere sahiptir. Aynı porozitedeki malzemeden doyma katsayısı düşük olanı, donma hasarlarına karşı daha dayanıklıdır. Küçük gözenekli malzemelerin kapillarite ile emme kuvvetleri daha yüksektir ve bünyelerine aldıkları suları büyük gözeneklilerden daha zor bırakırlar. Bu nedenle, donma etkisine karşı, küçük gözenekli taş tipleri büyük gözenekli taş tiplerinden daha hassastır. Malzeme bünyesine su girişi engellendiği, en azından kısıtlandığı zaman, donma etkilerine karşı da koruma sağlanmış olacaktır. Yapı temelinin oturduğu topraktaki suyun donması, özellikle zemin suyu seviyesi yüzeye yakınsa, yapı temelinde büyük hasarlar doğuracaktır. Donma olayı, ikliminde büyük dalgalanmalar olan bölgelerde, iklim özelliklerinin monoton olduğu bölgelerden daha büyük hasara neden olur. Özellikle yapı taşı olarak veya anıt eser olarak bölge coğrafyasının orijinal taşı yerine uzak bir yerden getirilen taşların kullanılmış olması durumunda, nemden kaynaklanan don etkisinin sonuçları daha güçlü gözlenir. Kullanılmış olan taşların ocaklardan çıkarılma şekilleri ile işleme metodlarının da direnç ve donma ilgisi vardır. Taşlar, gerek ocaklardan çıkarılırken ve gerek işleme sürecinde sert ve zorlu işlemlerle karşılaştıklarında,¹ oluşan kılcal çatlaklar dolayısıyla dona karşı olan dirençleri de azalır.

Bu gerilmelerin neficesinde yapı elemanlarında meydana gelen değişiklikler elemanların boyutuna göre de farklı özellik gösterir. Daha uzun elemanlar daha büyük gerilmelere neden olurlar. Bütününle homojen bir yapı elemanında bile dış ve iç kısımlar arasındaki sıcaklık farkı nedeniyle deformasyon oluşabilir. Renk, kristal yönelimleri, tane boyutu, taneler arası kenetlenme derecesi kayaçların genişmesinde etkilidir. Buna bağlı olarak, gündüz taşları oluşturan minerallerin hacimleri genişler, gece ise sıcaklık düşüncü minerallerin hacimleri yeniden küçülür. Bu gerilim farkı ilk olarak dış katmanları etkilemeye başlar ve "soyulma" adı verilen dış çeperin ince katmanlar halinde (soğan kabuğu gibi) soyulmasına neden olur. Bu durumun sürekli yinelenmesiyle taş eserlerde oluşan hacim değişikliğine bağlı olarak parçalanmalar ve çatlamlar oluşur.

Isının değişimi bütün minerallerin hacimlerini değiştirir. Her mineralin genişleme anağı, özgül ısısı ve ısı alma özelliklerine bağlı olarak farklılıklar gösterir. Minerallerin genişleme yönü de farklı olduğundan, ısınan kütle içindeki mineraller farklı yönlerde genişleyerek birbirine karşı kuvvetler meydana getirir. Bundan başka taşın dış yüzleri iç bölümlerinden fazla ısınan veya soğuyan kültelerin iç ve dış yüzleri arasında farklı gerilmeler oluşur. Sonuçta bu farklı genişlemeler ve gerilmeler dolayısıyla kültelerde birtakım kılcal çatlaklar oluşur. Isı değişimlerinden kaynaklanan genişleme ve büzülme, iç gerilmeler meydana getirerek, taş malzemelerin mekanik mukavemetini etkilemekte ve bu nedenle taşta deformasyon ya da parçalanmaya neden olmaktadır. Bazı minerallerin termal genişlemelere yatkınlığı fazladır, bazıları ise heterojen bir

¹ Şiddetli vuruşlar, yüksekten sert bir yer üzerine atmak gibi işlemler.

şekilde genişlemeye uğrar. Örneğin kalsit, ana eksen istikametinde çok genişlemesine rağmen aksi yönde büzülme gösterir. Tekrarlanmış bir ısınma, kalsit tanelerinin ara boşluklarını çatlatılabilir. Sistem, suyun ortama katılmasıyla daha da hızlanabilir. Boşluk oranı artarak tahribat hızlanır. Bu şekilde taş (özellikle mermer) bozulur ve tane tane dökülür.²

Şiddetli yağmurları izleyen kurak mevsimde güneşin oluşturduğu yüksek ısı, taşın gözeneklerine kuvvetli basınç uygulayarak taşın yüzeyindeki suyu hızlı bir şekilde buhara dönüştürür. Özellikle bazalt ve granit gibi sert taşlarda, bu ani ısı değişiminin neden olduğu şokların değişik şiddetlerde tekrarlanması, taşın mekanik dengesini bozarak direncini azaltmaktadır.

Gece ile gündüz, yaz mevsimi ile kış mevsimi arasındaki sıcaklık farklarının fazla olduğu yarı kurak ve kurak bölgelerde görülür. Bu tür çözümler daha çok tropikal çöl ve karasal çöllerde görülmektedir.³ Nemin düşük olduğu hallerde etkisi azalır.

Yapı elemanlarının termal genişleme katsayıları birbirinden farklıdır. Genişleme katsayıları farklı olan yapı elemanlarının bir arada kullanıldığı durumlarda birbirini bozduğu, tahribata ve deformasyonlara neden oldukları görülür.

Gerek doğal nedenlerle ve gerekse antropik nedenlerle çıkan yangınlar, eserlerde ve yapılarda kullanılmış olan taşların yapısında bozunmaya yol açarlar. Yangın sırasında yükselen sıcaklık sonucu taşların dış yüzü hızlı bir şekilde hacim genişlemesine uğrar. Fakat sıcaklık taşın iç yüzüne aynı hızda nüfuz etmez ve taşların içi soğuk kalır, malzemenin direncini aşan iç gerilmeler oluşur. Sonuçta plak ve parça halinde kopmalar birbirini takip eder. Bu olay, kalkerler dahil bütün taşlar için aynıdır.

Neme Bağlı Bozunma

Kayaçtan yapılmış tüm yapı malzemeleri ve anıtlar su ile temas ettiklerinde yapılarına bağlı olarak sudan etkilenirler. Yapı malzemesini etkileyen suyun basınçlı olması halinde, su, malzemeye basınç etkisiyle girebileceği gibi, basınç olmaksızın malzeme ve yapı elemanı içinde kılcalık yoluyla zeminden yukarıya doğru yükselebilir.

Nem, tüm ayrışma mekanizmalarının içinde yer aldığından taş alterasyonunda en fazla etkiye sahip tek faktördür. Nem, gözenekli bir yapı malzemesinin içine, malzemenin zemin suyunu emmesiyle zeminden, yağmur ve karla veya havadan su buharının difüzyonuyla ulaşır. Hava yağış olmadığı zaman bile nem içerir ve nem, taş ve hava arasında bir dengeye ulaşana kadar taşın içine veya dışına taşınır. Nem, buhar fazında difüzyonla ve sıvı fazda kapiler olarak gözenek içine taşınır.

Nem, özellikle kireçtaşlarına doğrudan veya dolaylı yoldan etki ederek kalsiyum sülfat (alçıtaşı) oluşumuna neden olan asit içerikli yağmur suyu, aynı zamanda sertleşip camsı bir tabaka haline gelen alçıtaşı kabuğunun çözünüp parçalanmasında da etkin bir rol oynamaktadır. Ancak fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerine göre farklı davranışlar gösteren kireçtaşları, temiz bir atmosfer içinde bile, asit içerikli olmayan yağmur suyunun etkisi sonucunda dengeli bir çözünme ile karşı karşıya kalabilmektedir.⁴

² Taşların sıcaklık karşısında morfolojik değişikliklere uğramaları ile ilgili özelliklerinden yararlanılarak taş ocaklarında büyük bloklar koparılabilir.

³ Türkiye’de, Doğu Anadolu, Güneydoğu Anadolu ve İç Anadolu bölgelerinde yaygındır.

⁴ Örneğin böyle bir ortamda bulunan kireçtaşından yapılmış bir yapının yüzeyinde, yağmur suyunun etkisi ile meydana gelen çözünme oranı, 1000 yıl içerisinde 3-20 mm arasında değişebilmektedir.

Taşın içindeki nem içeriği ve nem dağılımına yalnızca dış çevre koşullarıyla değil malzemenin higroskopitesi, porozitesi, gözenek yapısı, boşluk boyutu dağılımı ve nem geçmişi gibi karakteristik özellikleriyle karar verilebilir.

Gözenek sistemindeki higroskopik tuzlar, taşın içindeki nem içeriği ve nem dağılımından da etkilenebilir. Gözenekli bir malzemenin nem içeriği, ya malzemenin hacmi başına suyun ağırlığı (kg/m³), ya malzeme ağırlığı başına suyun ağırlığı (kg/kg), veya malzemenin hacmi başına suyun hacmi (m³/m³) olarak ifade edilebilir. Nem içeriğini ifade etmenin dördüncü yolu, doyma derecesidir (S). Malzeme tamamen doyduğu zaman (S = 1) tüm açık gözenekler tamamen su ile doludur.

Bilindiği gibi yeryüzünün %71'ine yakın bölümü su ile kaplanmış durumdadır. Bunun %98'i sıvı, kalan kısmı ise katı ve gaz halindedir. Su atmosfer, karalar ve okyanuslar arasında katı, sıvı ve gaz halinde devamlı dolaşır.⁵



Şekil 2.3. Tierradentro ören yerindeki volkanik tuf kayalarından yapılmış olan Hipojelerden (yeraltı mezarı) birinde nemden dolayı gözlenen materyal kaybı ve boya düşmesi.

çaklılığının değişmesiyle bağlantılı olarak etkili olmaktadır. Ayrıca suyun taşıdığı kimyasal bileşikler, çeşitli tepkimelere yol açmakta ve bu yüzden açığa çıkan maddeler canlı organizmaların çoğalmasını kolaylaştırmaktadır (Şekil 2.3).

Su, güçlü bir eritici olup, iyon alışverişini kolaylaştırarak taş malzemenin bozunmasına neden olmaktadır. Buna bağlı olarak nem, taş malzemeyi en çok tahrip eden etkenler arasında yer almaktadır. Nemin bozucu etkisine karşı uyum sağlamak üzere yapı ve anıtlar çeşitli fizyolojik, morfolojik ve davranışa bağlı mekanizmalar geliştirmişlerdir.

Taş eserlerin bozunmasında, su içinde çözülmüş halde bulunan oksijen, karbonik asit ve kükürtoksijen gibi bileşikler, suyun sı-

Tuz Kristallenmesi

Tuz kristallenmesi potansiyel olarak kayalara en fazla zarar verici etkiye sahip olduğundan, bunların içinde en önemli olandır. Çözünbilir tuzlar, yapı ve anıtlarda parçalanmalara, yüzey dekorasyonlarının dökülmesine neden olan başlıca etkenlerdir. Doğal taşlar, bünyelerinde genel olarak suda çözünebilir tuzlar ihtiva ederler. Çözünür tuzlar, duvarın malzemesinden (kum, tuğla, harç), topraktan veya havadaki asit gazlarının duvar yüzeyleriyle temasından kaynaklanabilir. Bozunma teorisi, çözünür tuzların en az iki yoldan taşlar ve boşluklu yapı malzemeleri üzerinde zarara neden olduklarını gösterir.

Çözünür tuzlar ozmos yoluyla su çekerek⁶ taş duvarın kritik su içeriğini yükselterek kurumasını geciktirirler. Suyun buharlaşması sonucunda tuzlar, kristalleşerek duvar yüzeyinde leke, yama

⁵ Hidrolojik dolaşım.

⁶ Veya bu higroskopik davranışla su buharının çekilmesi şeklinde de olabilir.

veya bant şeklinde hoş olmayan görünümler meydana getirirler, çiçeklenme ve yüzey bozunmalarına neden olurlar (Torraca, 1982).

Kireçtaşının kullanılmış olduğu tarihi anıt ve yapılarda gözlenen aşınmanın başlıca nedenlerinden bir diğeri de tuz kristalleşmesidir. Tuz kristalleşmesi (Haloclasty), tuzlu çözeltilerin kayaya kırık ve çatlaklarına nüfuz etmesi, ardından buharlaşarak tuz kristalleri bırakması ile oluşur.⁷ Taş her zaman belli bir oranda su içerdiği ve su da çözünen tuzlarla yüklü olduğundan, bu tuzlar nemli ortamda erir ve kuru ortamda kristalleşirler (hacimce büyüme). Bunun yanında, taşın alt kısmındaki sular kapiler kuvvet aracılığıyla üst bölümlere yükselirken su ile beraber erimiş tuzlar da taşın üst yüzüne taşınır. Sıcaklığın artmasıyla artan buharlaşma nedeniyle, suyun taş yüzeyinden buharlaşması ile erimiş tuzlar orada birikir ve sert kabuklar oluşur. Özellikle gözenek oranı yüksek olan taşlarda suyun yükselmesinden dolayı alt kısımlar kururken üst kısımlar nemli kalmakta, gözeneklerdeki suyun basınç yaratması dolayısıyla farklı dirençli kısımlar oluşmaktadır. Ayrıca taşın nemli kısımlarına yapışan tozlar kirlenmelere ve birtakım yosunların birikmesine sebep olmaktadır.

Gece nemli geçerse, suyunu yitirmiş olan tuz billurları yeniden su alır ve hacmi genişler. Gözenekler ve kılcal çatlaklarda tuzlar kristallenirken oluşan basınçla taş üzerindeki gerilimi artırarak taşta kabuklaşma, tozlaşma, oyuk şeklinde bozunmalara yol açabilir. Bu olaylar serisi zaman içerisinde yinelenerek, tuzu yüzeye doğru taşıyarak orada beyaz çiçeklenmeler, taşı parçalayan ve kıran çözünmeler oluşturur.

Taş yapılarda çözünebilir tuzların mevcut olması, taşlarda yavaş yavaş mineralojik ve dokusal değişikliklere neden olur. Yapılardaki tuzlanma, hava kirliliği, toprak deniz serpintisi, uygun olmayan kimyasal temizlik malzemeleri veya tuz içeren ek yapı malzemeleri arasındaki etkileşimlerden kaynaklanabilir. Tuz kristalleşmesinin gözenekli yapıdaki taşlara verdiği zarar değişik etkenlere bağlı olarak gerçekleşmektedir. Bu etkenler, gözenek boyutu ve porozite, tuzun yapısı⁸ çözeltilinin taşınması, kristalleşme basıncına karşı malzeme dayanıklılığıdır.

Eserlerin bulunduğu ortamların coğrafi konumu ve fiziksel özellikleri, ayrışmayı etkileyen önemli parametreleri belirlemektedir. Denize yakın bir bölgede bulunan yapılar veya anıt eserler açık bir şekilde atmosferik nemle beraber deniz tuzlarının korozif etkisine karşı da daha savunmasız kalabilmektedir. Aynı zamanda taşların tuzlu suları emmiş bulunduğu ve ısınmanın fazlaca buharlaşmaya neden olduğu kurak iklimlerde de görülür.

Deniz suyunun bileşiminde en fazla sodyum klorür ve magnezyum klorür tuzları bulunduğundan⁹ 34.000 mg/l toplam tuz miktarı ile metallere ve taşlara karşı korozif olabilmektedir.

Gözenekli malzemeler yapı malzemelerinin çok önemli bir sınıfını oluşturur. Bununla birlikte nem ve özellikle tuzdan ciddi olarak zarar görebilen bu malzemeler pratikte yaygın olarak kullanılır. Tarihi yapı malzemelerinin çoğu gözenekli bir yapıya sahiptir. Çözünebilir tuzların zararlı etkileri, duvar yüzeyindeki ıslanma-kuruma döngüleriyle yakından ilgilidir. Taş içindeki gözenek ağı, içinde çeşitli miktarlarda ve türlerde tuzların çözünebildiği suyu içerir (Woolfitt, 2000).

⁷ Tuz kristallenmesi ayrıca karbonatlı kayaların ayrışması sonucu sodyum sülfat veya sodyum karbonatlı tuz çözeltilerinin oluşumu ile de meydana gelebilir.

⁸ Sıcaklıktaki değişiklikler ve buharlaşma ile yüksek doygunluğa ulaşmayı kolaylaştıran etken.

⁹ %52,51 NaCl, %23,12 MgCl₂, %18,45 Na₂SO₄, %3,77 CaCl₂, %1,44 KCl, %0,41 NaHCO₃ (Torraca 1982).

Bunlar çatıdan ve cepheden şiddetli yağış ve yoğunlaşma ile veya zemin suyunun kapiler yükselmesiyle ve ayrıca yollardaki buzların çözünmesinde kullanılan tuzlarla yapıya girerler. Zemin suyu, içerdiği ve malzeme içerisinde ilerlediği sırada çözdüğü tuzları, buharlaştığı noktaya kadar sürükler, burada suyun buharlaşmasıyla tuzlar kristalleşerek birikirler. Kristalleşmenin olduğu bölümün gerisinde tuzlar çözünmüş haldedir ve hasar da daha azdır. Bu tuzlar ortamın bağıl nemindeki değişikliklerin boyutuna göre ciddi hasarlara neden olabilirler. Ortamın aniden ısınıp malzemenin hızla kurumması, malzeme içindeki suyun yüzeye ulaşmadan buharlaşması sonucu tuzların yüzey gerisinde birikip gözenek duvarlarında gerilmeler oluşması ile büyük boyutlarda yüzey erozyonları meydana gelir.

Taş nemli ise, donmanın neden olduğu zarara karşı daha hassas olur. Ayrıca klorür iyonları yapı içine nüfuz ederek, taş yapılarıdaki metal takviyesinde korozyona neden olabilir ki bu durum yapısal zararlarla sonuçlanabilir.

Rüzgâr

Rüzgârların etkili olduğu iri taneli zeminlerin olduğu bölgelerde, rüzgârla savrulan ve oldukça uzak mesafelere taşınabilen tanecikler anit ve yapı taşlarında aşındırma etkisi yaratmakta ve bunun sonucu olarak da kayanın yüzeyel özellikleri (parlaklık, pürüzlülük, doku vb) değişerek bozunmanın hızlanması için uygun koşullar sağlanmış olmaktadır. Bununla birlikte, rüzgâr yardımıyla bozunmanın tetikleyici unsuru olan yağmur suları kayanın bünyesine daha kolay nüfuz edebilmektedir.

2.1.2. Kimyasal Ayrışma

Karbondioksit, su, oksijen ve mikroorganizmaların etkisiyle, kayacın kimyasal bileşiminde meydana gelen değişim sonucunda kayacı oluşturan minerallerin başka minerallere dönüşmesi olayı "kimyasal ayrışma" veya "kimyasal çözünme" olarak nitelendirilir. Ana kayacın partiküllere ayrılmasında kimyasal reaksiyonların etkili olduğu, dolayısıyla ana kayacın bileşiminde belirgin kimyasal değişmelerin gerçekleştiği ayrışma tipidir. Taş eserlerin bünyesindeki minerallerin suyun etkisiyle eriyerek birbirlerinden ayrılıp dağılmasıyla oluşan kimyasal çözünmede temel etkenler, nem miktarı ve sıcaklıktır. Kimyasal ayrışma olayları sonrası taş yapısındaki minerallerin tümünün veya bir kısmının yok olması söz konusudur. Yağış miktarı ve sıcaklığın artması¹⁰ kimyasal çözünmeyi artırır.

Atmosferden yeryüzüne düşen yağmur suları erimiş atmosfer gazlarını içerir. Bu bakımdan yağmur suları da aynı etkiyi gösterir. Yağmur sularının pH dereceleri ortalama 6 civarında olup ısı etkisi gösterir ve karbonatlı kayaçları (kireçtaşı, dolomit, traverten, mermer) eritir.

Havadaki nemin artması ile ortamda bulunan kükürt veya azot oksitlerin kimyasal reaksiyonu sonucunda oluşan asitlerin, anit eserlere yaptıkları olumsuz etkiler bilinmektedir. Aşırı miktarlarda atmosfere verilen karbondioksitin global ısınmayı artırması, mevsim değişikliklerine neden olması (sera etkisi) sonucunda ekosistem üzerinde meydana gelen olumsuz değişiklikler de eserleri bir şekilde etkilemektedir.

¹⁰ Sıcaklık, çözünürlülük hızında etkilidir.

Karbonatlı kayaçlar saf suda çok az, buna karşıt CO_2 'li sulara oldukça erirler. Bu bakımdan CO_2 içeren yağmur suları karbonatlı kayaçları eritir ve onları ayrıştırır. Havadaki CO_2 su ile birleşince zayıf bir asit olan H_2CO_3 'ü meydana getirir. Bu asidi içeren yağmur suları ise kalkerlere etkir, onları eritir. Kalkerli kültelerin ayrışması bazen özel şekiller gösterir. Zira kum tanelerini birleştiren karbonat çimento eriyerek taşın yapısını bozar ve petek şekilli ayrışma meydana gelir. Çatlaklar boyunca veya sert kısımların arasındaki yumuşak kısımlarda özel şekilli, kanal gibi ayrışmalar meydana gelir. Bazen derinlere kadar inen erime boşlukları meydana gelir veya karstlaşma olur. Karbonik asitli sular yalnız kalkerleri değil aynı zamanda birçok diğer faktörün beraber etkilemesiyle, feldspatları da ayrıştırır ve kil minerallerini meydana getirir. Kil minerallerinin oluşması ise, kültelerin fizik ve mekanik özelliklerinin azalmasına ve değişmesine sebep olur.

Kükürt dioksitin havadaki varlığının en önemli nedeni, insan aktivitelerinin oluşturduğu yapay kaynaklardır. Bunun yanı sıra orman yangınları, volkan patlamaları gibi doğal kaynaklardan da az miktarda kükürt dioksit havaya verilmektedir.

Kükürt dioksit ve partiküler madde dünyanın bütün kentsel alanlarında fosil kökenli yakıtların yanmasından oluşan hava kirleticilerinin en önemlileridir. Fosil kökenli yakıtların yanması ile açığa çıkan kükürt havada derhal oksidasyona uğrayarak kükürt dioksiti (SO_2) oluşturur. Ortamda herhangi bir katalizör madde bulunmadığı durumda, kükürt dioksit yavaş bir reaksiyonla kükürt trioksit (SO_3) dönüşür. Kükürt trioksit ise atmosferde su ile birleşerek derhal sülfürik aside (H_2SO_4) dönüşmesinden dolayı kirlenici olarak önem taşımaktadır. Kükürt trioksit ile suyun reaksiyonu sonucunda oluşan sülfürik asit kuvvetli bir asit olup, nem çekicidir.

Endüstriyel bölgelerde baca gazlarının etkisiyle sülfat iyonları çoğalır ve daha da etkili olur. Sülfatlar taşların ayrışmasında çok önemli rol oynarlar. Bilhassa karbonatlı kayaçlara etkileyerek sülfatları meydana getirirler. Meydana gelen $CaSO_4$ bünyesine su olarak $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ (jips) teşekkül eder. Bu esnada hacim deformasyonu olur ve 1 hacim $CaCO_3$ 'dan 1,33 hacim $CaSO_4$, bundan da 2,15 hacim jips teşekkül eder. $MgCO_3$ olması halinde $MgCO_3$, 7 H_2O teşekkül ederek 5,3 misli hacim artışı meydana gelir. Meydana gelen bu sülfatlar yalnız hacim deformasyonu değil aynı zamanda kayaçlar üzerinde yığılarak, "eksfoliasyon" denilen sert ve geçirimsiz kabukların oluşmasına sebep olurlar. Dolayısıyla yağış miktarı ve sıcaklık arttıkça kimyasal çözünme de artar. Kolay çözünen kalker, jips, dolomit ve kaya tuzu gibi karstik taşların fazla olduğu alanlarda kimyasal çözünme daha fazla ve hızlı gerçekleşir.

Kayaçların kimyasal özelliklerinde meydana gelen değişiklikler sonucu oluşan ayrışma türü olan kimyasal ayrışmaya yardımcı olan etmenler arasında, taşın yapılarının ve anıtların üzerinde yaşayan bakteriler, likenler, yosunlar ve yüksek bitkiler yer alır. Burada yerleşen bitkiler ve mikroorganizmaların solunumu sonucu oluşan karbondioksit, su veya havadaki nem ile birleşerek, karbonik asidi oluşturur ve bu da kayaçların bozunmalarına neden olur.

Kimyasal ayrışma, sıcaklık farkının az, yağışın bol olduğu Ekvatorial, Muson, Okyanus ve Akdeniz iklim kuşağındaki yapı ve anıtlarda sıklıkla görülür.¹¹ Buna karşılık suyun ve nemin az olduğu çöl ve kutup sahalarında ise sıcaklık yetersiz olduğu için kimyasal çözünme azdır.

¹¹ Türkiye'de, başta Doğu Karadeniz kıyı şeridi olmak üzere yağışlı bölgelerde etkili olmaktadır.

Kayaçların kimyasal yollarla ayrışması oksidasyon, karbonasyon, hidroliz, hidratasyon ve redüksiyon yoluyla gerçekleşir.

Taş bileşimini oluşturan minerallerin oksijenle birleşmesi sonucu meydana gelen kimyasal değişim **oksidasyon** olarak tanımlanır. Serbest oksijen silikat mineralleri içerisindeki metalik elementlerle reaksiyona girerek bu minerallerin bozunmasını dolayısıyla parçalanmasını sağlar. Pratik anlamda materyalin paslanması ya da çürümesi olan oksidasyon reaksiyonu, kahverenginden kırmızı renge değişen bir renklenmeyle karakteristiktir. "Yükseltgenme" olarak da bilinen oksidasyon, genel olarak demir mineralleri içeren taş eserlerin yüzeylerinde renk değişimi oluşmasıdır.

Karbonatlı kayaçların havadaki ya da suda çözülmüş CO_2 ile olan reaksiyonuna "karbonatlaşma" veya "**karbonasyon**" adı verilir. Toprakta organik maddenin mikroorganizma faaliyeti ile ayrışması ve bitki köklerinin solunumu sonucunda açığa çıkan karbondioksitin toprakta bulunan bazlarla birleşerek karbonatları meydana getirmesidir ve özellikle kireçtaşlarındaki karstik yapıların gelişmesinde oldukça etkilidir. Yağmur suları az da olsa asidiktir, çünkü atmosferik karbondioksit yağmur suyunda çözünerek zayıf da olsa karbonik asidi oluşturur. Kirlenmemiş ortamlarda pH'ı 5,6 olan yağmur, sülfür dioksit ve nitrojen oksitlerin bol bulunduğu kirlili alanlarda asit yağmurlarına dönüşerek pH'ı 4'e kadar düşürebilir ve asit etkisini artırır. Bir koruyucu çatı olmadan açık havada sergilenen taş eserlere doğrudan ulaşabilen bu asit yağmurları ise eserlerde bozucu etkilere neden olurlar.

Kayaç yapısında suyun etkisiyle meydana gelen reaksiyon ve kimyasal değişimlere verilen ad olan **hidroliz**, minerallerdeki katyonların hidrojenle yer değiştirerek su içerisindeki ayrışmasını sağlayan kimyasal reaksiyondur. Bu reaksiyonla mineralin atomik yapısı değişir ve yeni bir mineral oluşur. Yeryüzünde en yaygın kimyasal ayrışma süreci olan hidroliz, silikat minerallerinin ayrışmasında en önemli reaksiyondur. K-Feldspattan kaolinit oluşması buna en iyi örnektir. Hidroliz, hidrojen ile bazların yer değiştirerek yeni bileşiklerin oluşumunu sağlar. Birçok mineralin bileşimlerinin değişmesinde önemli bir rol oynamaktadır.

Hidratasyon, minerallerin yapısına su moleküllerinin katılması ile meydana gelen kimyasal değişimdir ve genellikle mineral hacminde büyümeye yol açar. Mineraller üzerinde yumuşatıcı ve gevşetici bir etki yaparak hacimlerini genişletir ve böylece minerallerin daha sonraki kimyasal olaylara karşı direnci azalmış olur. Topraktaki kil mineralleri, organik maddeler ve bazı tuzlar da hidratasyon ve dehidrasyona¹² uğrarlar. Hematitin bünyesine su alarak limonite dönüşmesi, alçı taşının bünyesine su alarak jipse dönüşmesi gibidir.

Redüksiyon, oksidasyonun aksine oksijenin az olduğu ortamlarda meydana gelir. Bu olay toprak altında toprak tanecikleri arasındaki gözeneklerin tamamen su ile dolu olduğu zayıf drenajlı yerlerde meydana gelir. Bu gibi yerlerde havalanma yetersizdir. Özellikle organik maddenin havasız koşullarda ayrışma sırasında karbondioksit, metan ve kükürtlü hidrojen oluşurken söz konusu olur.

Çözünme, suyun eritici özelliği kimyasal ayrışmanın önemli bir kısmını meydana getirmektedir. Topraktaki suyun karbondioksitle veya organik ve inorganik asitlerle birleşmesi ve çeşitli tuzlar içermesi çözünürlük özelliğini artırır.

¹² Dehidrasyon ise tam aksine bu maddelerden suyun ayrılmasıdır.

Kimyasal süreçler, yüksek sıcaklıklarda ve ortamda akışkanların varlığıyla daha hızlı gerçekleşir, bu yüzden kimyasal ayrışma buna uygun olarak sıcaklığın yüksek, yağışın bol ve buharlaşma hızının düşük olması nedeniyle tropik bölgelerde, kurak ve soğuk bölgelerdekenden çok daha etkilidir. Kimyasal ayrışma sıcaklığın yüksek ve yağışın bol olduğu yerlerde en çok, ister sıcak isterse soğuk olsun kurak ortamlarda en azdır.

Kimi kayaçlar kimyasal bozunmaya diğerlerinden daha dayanıklıdır ve kimyasal süreçlerle hızla bozunmazlar. Kuvarstan (SiO_2) oluşan metamorfik kuvarsit kayacı, diğer kayaçların çoğuna göre çok yavaş bozunma son derece duyarlı bir maddedir. Bunun tersine bol miktarda kalsit, plajjoklas ve piroksen mineralleri içeren bazalt, bu mineraller kimyasal açıdan duyarsız olduğundan hızla ayrışır.

2.1.3. Biyolojik Çözünme

Kayaçtan yapılmış eserlerin ayrışmasına neden olan faktörlerden birisi de canlılardır. Çeşitli hayvan ve böcekler, kazıma ve tırmanma gibi mekanik olgularla veya çıkardıkları asitler dolayısıyla kimyasal ayrışmaya neden olurlar. Canlı organizmaların ayrıştırma aktiviteleri genelde kimyasal olmasına karşın fiziksel ayrışmaya da neden olabilirler. Bitki köklerinin veya gövdelerinin büyümesi kayacı parçalayabilir. Oyucu canlılar ise kayaçları oymakla hem kayacın dayanıklılığını azaltır hem de kimyasal ayrışmayı hızlandırır.

Kuşlar, tırmanıcılar, solucan vb gibi büyük hayvanlar taşlarda delikler ve oyuklar meydana getirebilirler. Bunlardan başka organik madde ve atmosferden nitrojen tutan bakteriler de taşlara etkir. Bunlar bilhassa ayrışmış kayaç yüzlerinde ve çatlaklarda yığılır.

Sıcaklık ve nem değişimleri biyotik etmenlerin (mantarlar, yosunlar, likenler vd) yaşamları için uygun ortamın canlı tutulmasına neden olur. Biyolojik etkinlik yüksek bağıl nem (>%70), yüksek sıcaklık (>10°C) ve ışısız ortamda artar. Yüksek bir sıcaklıkla çok yüksek bağıl nem (%80 ya da daha fazla), bütün mantarsı bitki topluluklarının gelişmesini kolaylaştırır.

Özellikle gözenekli ve fosil içeren eserlerde, kayaç yüzeyindeki çatlakların da sayısının fazla olması nedeniyle taş, kapilerite ile suyu emmekte ve bu suyun yükselmesinden dolayı alt kısımlar kururken üst kısımlar nemli kalmaktadır. Bu da taşın birtakım yosunların birikmesine sebep olmaktadır. Kayaç üzerine yerleşmiş olan likenler, yosunlar ve sarmaşıklar suyu tutarlar ve kayaç yüzünün devamlı ıslak kalmasına sebep olarak üzerlerinde yaşadıkları kayaç yüzeylerinde daha nemli ve kimyasal bir mikro-çevre yaratırlar.

Birçok bitki ve hayvan, salgıladıkları asidik bileşiklerle kayaç eserlerde kimyasal çözünme yaratırlar. Bitki köklerinin salgıladığı karbondioksitin oluşturduğu karbonik asit (H_2CO_3) ve fizyolojik eylemleri sırasında oluşturdukları asitlerle kayaç minerallerini kullanarak toprak oluşumunu sağlayan yosun, liken ve algler yüzey yapısının bozunmasına, mikro çatlakların büyümesine yol açmaktadırlar.

Bitkiler, kökleri vasıtasıyla kayaları hem mekanik, hem de kimyasal yolla ayrışmaya uğrattırlar. Daha büyük ölçekte, özellikle bitki kökleri taşlar üzerinde fiziksel basınç yaratarak¹³ ilerler ve su ile kimyasal çözeltilerin nüfuzuna olanak verecek süreksizlikler yaratırlar. Aynı şekilde çeşitli delici hayvanlar ve böcekler, meydana getirdikleri oyuk ve delikler aracılığıyla su ve diğer kimyasal etkenlere daha açık ve daha az dayanımlı ortamlar oluştururlar.

¹³ Diğerlerine göre daha dar kapsamlıdır ve çok az görülen bir çözünme şeklidir.

Biyolojik çözünme, özellikle bitki örtüsünün, ormanların zengin olduğu sıcak ve nemli bölgelerde etkili olmaktadır.

2.2. BOZUNMAYA ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Ayrışmanın veya çözünmenin hızı ve niteliği iklim, taş türü ve zamana bağlıdır. Oluşumda tüm bu etkenler az veya çok oranda katkı sağlamakla birlikte, iklim süreçleri ayrışmanın niteliğini doğrudan etkileyen en önemli unsurdur. Kimyasal çözünme öncelikle suyun varlığı ile ilişkilidir ve herhangi bir bölgedeki suyun varlığı ve kayaç üzerindeki etkileri iklim koşulları altında tayin edilir. İklim ayrıca çözünme üzerinde etkili olan bitki örtüsü yoğunluğu ve türünü de belirleyen etmendir. İklim bu özelliği nedeniyle açık havada sergilenen eski eserler üzerinde ayrışma süreçlerinin dağılımını kontrol eden bir faktördür. Taş türü ise nitelik, mineral kapsamı, porozite, genleşebilirlik, çatlak sistemi ve yoğunluğu, homojenlik vb gibi özellikleri ile ayrışma/çözünme hızını ve niteliğini belirler.

Ayrışma oranı ve miktarı ortam koşullarına göre değişkenlik gösterir. Kurak iklim hem bozunma oranı hem de bozunma niceliği bakımından yağışlı, tropik bölgelere göre çok daha az etkili olurken yoğun yağış ve yüksek sıcaklıklar kimyasal ayrışmayı hızlandırır. Kimyasal ayrışma miktarı çevre koşulları yanında mineral bileşimi ile de yakından ilgilidir.

Fiziksel, kimyasal ve biyolojik ayrışmalar birbirlerine yardımcı olacak şekilde ilerlerler. Fiziksel ayrışma kayaları küçük parçalara ayırarak yüzey alanını artırır ve kimyasal ayrışmayı hızlandırır. Kimyasal günlenme mineralleri duyarsızlaştırıp güçsüzleştirerek, fiziksel ayrışmaya yardımcı olur. Biyolojik olanlar her türlü (kök uzatarak parçalama, bakteri ve asidik solüsyon üreterek çözme vb) ayrışmayı hızlandırır.

Ayrışma hızı, oranı ve niteliği ortam koşullarına göre değişkenlik gösterir. İklim süreçleri ayrışmanın niteliğini doğrudan etkileyen en önemli unsurdur. Kurak iklim hem ayrışma oranı hem de ayrışma niceliği bakımından yağışlı, tropik bölgelere göre çok daha az etkili olur. Yoğun yağış ve yüksek sıcaklıklar kimyasal ayrışmayı hızlandırır. Çöldeki kayalar, tropik yağmur ormanlarındakilere oranla çok daha az ayrışırlar.

Toprak hem ayrışma ürünü hem de ayrışma faktörüdür. Bünyesinde tuttuğu nem ve organizmalar ile temasta bulunduğu kayalarda ayrışmayı hızlandırır. Kimyasal ayrışma miktarı çevre koşulları yanında mineral bileşimi ile de yakından ilgilidir. Kolay çözülebilen mineraller daha fazla ayrışırlar.

Kimyasal çözünme öncelikle suyun varlığı ile ilişkilidir ve herhangi bir bölgedeki suyun varlığı ve kayaç üzerindeki etkileri iklim koşulları altında tayin edilir. İklim ayrıca çözünme üzerinde etkili olan bitki örtüsü yoğunluğu ve türünü de belirleyen etmendir. İklim bu özelliği nedeniyle eserler üzerinde ayrışma süreçlerinin dağılımını kontrol eden bir faktördür.

Masif kayalar ayrışmaya karşı daha duyarlıdır. Kayaç türü ise nitelik, mineral kapsamı, porozite, genleşebilirlik, çatlak sistemi ve yoğunluğu, homojenlik vb gibi özellikleri ile ayrışma/çözünme hızı ve niteliğini belirler.

Taştan yapılmış kültür varlıklarının bozunmasının birçok nedeni vardır. En temel ayrım, doğal olarak zaman içinde meydana gelen aşınma ile insanların bilinçli ya da bilinçsiz olarak neden oldukları bozunmalardır.

2.2.1. Doğal Etkenler

Bitki ve mikroorganizmaların neden olduğu biyotik etmenler ile su, güneş ve rüzgârın neden olduğu abiyotik doğal etmenler, fiziksel ve kimyasal etkiler sonucunda taştan yapılmış eser ve yapılarda ayrışmaya neden olmaktadır.

Güneşin etkisiyle kayaçlar orijinal renklerinden farklı başka renklere dönüşebilirler.¹⁴ Yine organik madde içeren kayaçlar güneşin etkisiyle koyulaşabilirler. Mermerin yapısında ise koyu renkli damarlar ya da lekeler oluşur. Açık havada güneş altında bulunan anıtlar da ısı genişmesi nedeniyle bozunmaya uğrarlar. Gece ve gündüz arasındaki sıcaklık farklılıkları taşlarda genişlemeye neden olarak taş yapısında bir gevşeme oluşturur. Bu da kayaç taneleri arasında basınç oluşturur. Bu olayların tekrarında da taş yapısında kılcal çatlakların sayısı artarak sonrasında taştan parçalar ayrılmasına ortam hazırlar.

Taş eserler ile taş yapılar uzun yıllar doğanın değişik etkileri altında yıpranır ve sürekli bakım sağlanmazsa önemli hasarlar gözlenir. Sıcak yaz günlerinde aşırı sıcak karşısında genişleyen malzemeler, soğuk kış günlerinde dona maruz kalır; ısı farkları, donma çözünme döngüleriyle malzemeler yorulur, yıpranır. Suyun kapillarite ile bina içindeki hareketi de yapı malzemelerinde hasara neden olmaktadır. Zeminden yükselen nem strüktürü ıslatarak taşıyıcı sisteme gelen yükü fazlaştırdığı gibi, ayrıca içinde taşıdığı tuzların duvar yüzeyinde buharlaşması sonucu çiçeklenmelere, duvarın fiziksel ve kimyasal yapısını bozucu etkilere neden olabilmektedir.

Yapıların bulunduğu yer (yamaç veya dere yatağı) onun iklime bağlı etkilere daha yoğun olarak zarar görmesine neden olabilir. Örneğin bir yamaç eteğinde, çukurda yer alan bir yapı, önlem alınmadığı takdirde su baskınlarının tehdidinde açık durumdadır. Yapının üzerine oturduğu zeminin direncinin düşük olması ya da homojen olmaması, zamanla yapıda bazı hareketlerin oluşmasına, dönme, farklı oturma gibi gözle görülebilen bozunmalara neden olabilir. Temel altındaki zemin homojen olmadığında yapıda çatlaklar görülür. Eğer yapı iki ucundan sağlam zemine oturuyor, arada kalan bölgede zemin gevşekse, cephede kapı ve pencere boşluklarının köşelerinden başlayan ve 45 derece açıyla yanlara doğru gelişen çatlaklar gözlenir. Eğer yapının cephesinin yalnız orta kesimi altında sağlam zemin varsa, çatlaklar kama görünümündedir; aşağıda dar, yukarı doğru açılan bir düzen gösterir. Ayrıca yapının fay hattı üzerinde yer alması ya da oluşumunda çatlaklar bulunan bir kaya üzerinde yapılmış olması da onun bozunma, yok olma riskini artıran etkenlerdir. Binaların taşıyıcı sistemlerinde ilk tasarımdan gelen boyutlandırma hataları varsa, örneğin duvar, ayak, payanda gibi öğeler üzerlerine gelecek yatay ve düşey yükleri karşılayacak kesitlerde yapılmamışlarsa ciddi hasarlar ortaya çıkabilir. Taşıyacağı yüke göre ince kesitli bir duvar zamanla bel verebilir; payandaların yetersiz olması durumunda, kemer, tonoz veya kubbede açılmalar olur, hatta sistem yıkılabilir. Temellerin zayıf, yetersiz kesitte olmaları da üst bölümlerde, duvarlarda, taşıyıcı ayaklarda çatlaklara, düşeyden ayrılmalara neden olabilir. Kullanılan malzemelerin iyi nitelikli olmaması, yapıların bozunmasını hızlandırmaktadır. Taşların içinde kil tabakalarının, başka yabancı maddelerin bulunması hızlı aşınmaya, taşın yabancı maddelerin bulunduğu tabaka ya da damardan kopup ayrılmasına neden olur. Taşın binada doğadaki tabakalaşmasına uygun olarak yer alması da ayrışma sürecini etkilemektedir. Eğer blok, taşın suyuna ters olarak hazırlanır ve ta-

¹⁴ Örneğin sarımsı beyaz travertenler yoğun güneş etkisiyle önce sarıya sonra turuncuya dönüşebilir.

bakalaşmasına dikkat edilmeden yerine konursa, bozunma tabakaların cepheden geriye doğru katman katman dökülmesi şeklinde olur. Taşın genel yapısının dayanıksız olması da, kolayca ayrışıp dağılmasına neden olur. Yapıyı oluşturan bileşenlerin uygun bir bağlayıcı malzeme ve teknikle birleştirilmeleri dayanımları açısından önemlidir.

Binaların yapımında bazı taş blokları birleştirmek için kullanılan kenet ve mil gibi korozyona uğrayabilecek demir bağlantı elemanlarının iyi izole edilmemesi sonucunda derzlerden içeri giren su demir öğelerin paslanmasına neden olmaktadır. Bu metal elementlerin paslanması durumunda hacmi büyür ve yarattıkları iç gerilimle birleştirdikleri duvar bloğunu veya söve, sütun başlığı gibi mimari bileşenleri çatlatarak mimari öğeyi parçalarlar.

Yağmur sularının bozulan bir çatı kaplaması veya deresinden dolayı binadan hızla uzaklaş-tırılmaması, yosun ve otların gelişmesine uygun ortamı hazırlar. Bozuk olan mimari detay çevresinde yosunlar yerleşir, ahşap çatı ve döşemelerde mantarlar gelişir. Ciddi hasarların başlangıcı olabilecek bu bozunmaların periyodik bakımla giderilmemesi halinde yapı veya anıtı tümüyle kaybetmek olasıdır.

Eski eserler tıpkı canlılar gibi, buldukları çevreyle sürekli olarak etkileşim halindedirler. Belli bir bölgede yaşayan ve birbirleriyle devamlı etkileşim içinde olan canlılar ile bunların cansız çevrelerinin oluşturduğu bir bütün olarak bilinen karmaşık sistemi tanımlayan sözcük olan "ekosistem", tarihi çevre ve arkeolojik sit alanlarını da eklemek hatalı bir yaklaşım olmaz. Ekosistemin devinimi için gerekli olan tüm elementler aynı zamanda eski eserin de bozunmasına neden olan faktörlerdir. Ekosistemi de abiyotik faktörler (toprak, su, hava, iklim gibi cansız faktörler) ve biyotik (üreticiler, tüketiciler ve ayrıştırıcılar) faktörler olmak üzere iki faktör oluşturur. Bu tanımlamadaki organizmalar; diğer bir deyim ile canlılar veya canlı çevre, insan, hayvan ve bitkilere ait bireyleri veya bunlardan oluşmuş toplulukları ifade etmektedir. Tanımlamanın içinde geçen organizmaların içinde yaşadıkları ortam deyimini ise cansız çevre olarak da ifade edilir ve hava, su, toprak, ışık gibi faktörleri kapsar.

Yapı ve anıtların bozunmasında etken olan ekolojik faktörleri "abiyotik" ve "biyotik" olmak üzere iki alt bölüme ayırmak mümkündür. Abiyotik etmenleri organik ve inorganik maddeler, iklimatik faktörler ve topografik etmenler oluştururken; biyotik etmenleri ise tüm canlı (bitkiler ve hayvanlar) dünyası oluşturur.

2.2.1.1. Abiyotik Etmenler

"Dış etkenler" denilen abiyotik faktörler yeryüzünde canlıların yaşama alanlarını sınırlandıran en önemli etkenlerdir. Abiyotik faktörlerin en önemlisi olan iklimsel etmenler, yeryüzünün belirli noktalarında, hava olaylarının ortalama değerlerini ifade eder. İklimsel olmayan abiyotik faktörler ise hidrografik ve edafik özelliklerdir. Taştan yapılmış yapı ve eserlerin bozunması ile iklimsel faktörler (yağış, rüzgâr, sıcaklık ve nem) arasında bir ilişkinin olduğu bilinmektedir.

2.2.1.1.1. Taşın Yapısından Kaynaklanan Alterasyonlar

Kayaç oluşum sürecindeki doğal hareketler taş kütlelerinin yapısında çatlaklar ve gözenekler meydana getirmektedir. Yarık, çatlak veya öğeler arası açıklıklar gibi çok sayıda gözenek veya boşluk içeren kayaçlar, diğer bir ifadeyle gözenekliliği fazla olan kayaçlar, aşındırma etmen

ve süreçlerine karşı dayanıksızdır. Bu gözenek veya boşluklar boyunca kayacın iç kısımlarına nüfuz eden aşındırma etmen ve süreçleri onun parçalanmasına sebep olur. Örneğin çatlaklar boyunca kayacın iç kısımlarına sızan suların buralarda donma ve çözünmesi ve buna bağlı olarak meydana gelen hacim değişiklikleri çatlakları genişletip büyütür ve yeni çatlaklar oluşturarak kayacı parçalar. Suyun bu çatlaklarda meydana getirdiği kimyasal ayrışma da aynı etkiyi gösterir.

Şistleşme ve tabakalaşma yüzeyleri aşındırma etmen ve süreçlerine karşı kayaların dayanıksız yerlerini teşkil ederler. Bu gibi yerlere kolayca sokulan aşındırma etmenleri kayaların parçalanmasına sebep olur.

Bir kayacı meydana getiren unsurlar, fiziksel ve kimyasal özellikleri bakımından ne kadar çeşitli ise, diğer bir ifade ile, kayaç ne kadar heterojen ise, aşınmaya karşı o kadar dayanıksızdır.

Fiziksel parçalanma ve kimyasal ayrışma sonucu dayanıklılıkları yıpranan taş öğelerinin kolayca bozunması nedeniyle kayacın parçalanması gerçekleşir. Örneğin granit, esas olarak kuvars, feldspat ve mikadan oluşmaktadır. Bu bileşimlerden biotit, asitlerden etkilenerek kimyasal ayrışmaya uğrayacak niteliktedir. Plajiyoklaz tipi feldspatlar da (kalsik ve kalko-sodik olanları) kimyasal ayrışmaya karşı daha dayanıksızdır. Sonuç olarak, siyah mika ile plajiyoklaz tipi feldspatların bol olarak bulunduğu granitler, bu minerallerin ayrışmasıyla kolayca parçalanırlar.

Kalker, jips, kaya tuzu gibi bir kısım kayalar suda erir. Suyun asitli (karbonik asit) olması erimeyi artırır. Kalker ve jips gibi eriyebilen kayalar üzerinde, erime sonucu meydana gelen ve karst topografyası adı verilen özel bir topografya tipi oluşur. Bu topografyada lapy, obruk, dolin, uvala, polye gibi karstik şekiller yer alır. Çimentolu tortul kayalardan kalker çimentolu olanlar, bu çimentonun erimesi sonucu parçalanırlar. Örneğin kalker çimentolu kumtaşları kalkerin erimesiyle kum deposu haline geçerler.

Taşın Litolojisi

Yerinde ve laboratuarda yapılan gözlemlerden elde edilen sonuçlara göre tortul taşlarda bozunma-alterasyon, metamorfik ve magmatik taşlara oranla çok daha hızlı olmaktadır. Özellikle kalker, konglomera, kumtaşlarında erime, çiçeklenme, ayrılma ve kabuk oluşumu şeklindeki değişimler daha çok görülür. Metamorfik ve magmatik kökenli taşlar, yapı ve dokuları gereği, tortul taşlara göre daha dayanıklıdır.

Taşın Mineralojik ve Petrografik Özellikleri

Kayaçlar, bir veya birkaç mineralin birleşmesiyle oluşur. Kayaçların kırılmaya ve basınca karşı gösterdikleri direnç, kristallenme derecesine ve bünyesinde bulunan minerallerin suya karşı olan hassasiyetine bağlıdır. Buna göre kil, marn, jips ve kalker çimentolu gre ve konglomeralar, özellikle sulu ortamda basınca karşı az direnç gösterirken, silis çimentolu kuvarsitler dayanıklı olup granit ve bazalt kadar sağlamdır. Kalkerler ve mermerler, kalsit ve aragonit minerallerinden oluşmuşlardır ve bünyesinde silisyum dioksit (SiO_2) bulunduran magmatik taşlara nazaran daha az dayanıklı taşlardır. Kalsit minerali yapı taşları belirli bir süre, oldukça sağlam kalmalarına karşılık alterasyona başlayınca hastalığın seyri hızlanmaktadır. Killi yapı taşları ise, bünyesindeki kil minerallerinin cinsine göre az veya çok miktarda su emdiğinden gevşer ve

ayrışır; dirençleri, taşıma güçleri ve kuru iken sahip oldukları sağlamlık azalır. Metamorfik kayalar ise, başkalaşım geçirmeleri nedeniyle düzlemsel ve çizgisel yapı gösterirler, bu yapıda kayacın direnci azalabilir.

Bazı durumlarda yapı duvarlarındaki alterasyonlar yalnızca birkaç taşa gözlenir, diğerleri iyi durumda olur. Oysa bu taşlar aynı ocaklardan gelmiştir. Aynı kaynaktan gelmesine karşın değişik karakterler ve kaliteler görülebilir. Kayalardaki bu ayrılıkların kökeninde çoğunlukla petrografik nedenler vardır. Örneğin en iyi kalker katmanları arasında çoğunlukla hava koşullarına karşı yeterli dayanıklılığı olmayan marnlı katmanlar olabilir. Kayaların uyumsuzluğu bölgesel tektonik basınçların ya da belirli bir dereceye kadar başlamış olan bünyesel bozunmanın da bir sonucu olabilir. Her zaman en iyi taş ocaklarında bile iyi olmayan katmanlar vardır. Taşın kalitesi ve uğrayacağı tahriplerin bir önemli sebebi de daha işin başında taşın ocaktan yanlış çıkarılmış olmasından ileri gelmektedir. Taşın kesilmesi sırasında yüzeyi işlenirken sert darbeler yüzünden de mikro çatlaklar oluşabilir. Bu da taşın dış etkilerle daha çabuk bozunmasına yol açar.

Taşın Yapısal Özellikleri

Taşın sağlamlığı kristal yapısına bağlıdır. İnce kristallilerin iri kristallilere nazaran birbirine kenetlenme derecesi daha fazladır. Kristal büyüklüğü arttıkça kenetlenme kuvveti azalır. Böyle bir taş kolay çözünebilir. Bu durum, tortul taşlarda agrega büyüklüğüne bağlıdır. Kristalleri bağlayıcı maddeler de önemlidir. En iyi bağlayıcı madde silisyum dioksitli (SiO_2) olandır. Killi bağlayıcılar, agregalar ne kadar sağlam olursa olsun taş çabuk çözünür.

Taşın Kimyasal Bileşimi

Taşın ve minerallerin kimyasal bileşimi, mineral göçü ve taşın zayıflaması açısından göz önünde bulundurulmalıdır. Taşın bünyesinde bulunan kalsiyum klorür (CaCl_2), sodyum klorür (NaCl), potasyum klorür (KCl) gibi çeşitli kimyasal maddeler su ile reaksiyona girdiklerinde zamanla çözünüp ortamdan ayrılabilir ve boşluklar meydana getirirler ya da kalsiyum sülfat (CaSO_4) gibi su ile reaksiyonda hacimleri genişleyerek taşı patlatacak basınçlara neden olabilirler.

Taşın Fiziko-Mekanik Özellikleri

Taşın birim hacim ağırlığı, su emme, porozite (boşluk oranı) şeklinde bilinen fiziksel özellikler dış etkenler karşısında taşın davranışını belirlemektedir. Yapı taşlarında yoğunluk 2,4-2,8 g/cm^3 arasında değişir. Daha büyük yoğunluktaki taşlar daha çabuk yoruldukları için taşıyıcı eleman olarak kullanılmazlar. Bu taşlar, ancak temellerde dolgu malzemesi veya döşeme kaplaması olarak kullanılırlar. Porozite, taşların alterasyonunda en önemli özelliklerden biridir. Taşın bünyesindeki boşluklar ve çatlaklar oluşumu sırasında çeşitli gazların çıkışıyla oluştukları gibi, oluşum sonrasındaki çeşitli faaliyetler nedeniyle de meydana gelebilirler. Boşlukların varlığı, sıfırın altında düşük sıcaklıklar olan coğrafi bölgelerde, nemli ortamlarda daha da tehlikeli bir durum arz edebilir. Zira su, don olayında hacim genişlemesine uğrayarak boşluklarda iç basınçların artmasına ve muhtemelen boşluk hacminin genişlemesiyle başlayan alterasyonlara neden olabilmektedir. Derinlik kayaları, genellikle çatlak ve kırıklar içerirse de, taze ve alterasyona uğramış oldukları zaman dahi kırılmaya ve basınca karşı yüksek bir direnç gösterirler.

Bir kayacın bileşim ve yapısı bozunmadan, belirli bir zaman içinde bir sıvıyı geçirmesi özelliği olarak tanımlanan geçirimsizlik özelliği, boşluk oranı (porozitesi) yüksek olan kayalarda daha fazladır.

Yarık ve çatlak arası açıklıklar gibi çok sayıda gözenek veya boşluk içeren kayalar, başka bir deyişle gözenekliliği (porozitesi) fazla olan kayalar, aşındırma etmen ve süreçlerine karşı dayanıksızdır. Sadece birbirleriyle bağlantılı olan gözeneklerin hacminin kayacın hacmine oranına verilen ad olan "etkin gözeneklilik", kayaların çözünmesi bakımından daha önemlidir. Çünkü su, gözeneklerin birbirleriyle bağlantılı olmaları oranında kayacın iç kısımlarına sokulabilir.

Tabakalar arasında sıkışmış olarak bulunan kayacın dinlendirilmeden yerinden alındıktan sonra hemen kullanılmış olması bozunma sürecini etkiler. Çünkü üzerindeki katmanların baskısı kalktığından taş ortam değiştirmiştir. Bir müddet izlendiğinde taşın, basıncın aksi istikametinde bir sehim kazandığı, bu hareketin gerçekleşmediği durumlarda ise taşın işlendikten sonra yerinde çalıştığı ve deformasyonlara uğradığı görülür.

Harç, sıva gibi malzemelerdeki suda çözünen tuzlar, daha gözenekli olan taşa geçerek, kuruma anında tekrar kristallen tuzlar, taşa kabuklaşma, tozlaşma veya oyuk halinde bozunmalara yol açabilmektedir.

2.2.1.1.2. İklimsel Etmenler

İklim, yeryüzünde çözünme, aşınma, taşınma ve birikme olaylarının oluşmasında dolayısıyla yeryüzünün şekillenmesinde aktif rol oynamaktadır. İklim elemanlarından başta yağış ve sıcaklık, fiziksel ve kimyasal ayrışma olayları ile bitkilerin yetişmesi, gelişmesi ve gerek toprakta gerekse canlı örtüsü üzerinde tutunan çeşitli mikro flora, makro flora ve faunanın yetişmesini, faaliyetlerini doğrudan etkilemektedir.

Havada yoğunlaşarak anıta çeşitli şekillerde ulaşabilen nem, anıtlarda mekanik, kimyasal, fiziksel ve biyolojik tepkiler yaratarak ayrışmayı başlatan faktördür. Nem taşın yapılmış eserlerde tuzlanma, ufalanma, yüzeyde çatlama, çözünme şeklinde kendini gösterir. Eserler toprak altında iken nemli toprak içindeki suda çözünen tuzları bünyesine alarak çevresiyle bir dengeye ulaşmış olsa da açık hava ile yeniden karşılaşınca tuz kristallenme olayları ile karşılaşması kaçınılmazdır. Su ile doğrudan veya yerden yükselen nem ile ıslanan taşa kendi yapısında bulunan tuzlar nemle karşılaşınca hareketlenmekte ve kuruma olan yerlerde beyaz çiçeklenmelere taşa kabuklaşma, tozlaşma, oyuk şeklinde bozunmalara yol açabilir. Gerek tuzlu suların, gerekse tuz kristallerinin gözenek ve mikro çatlaklarında kristalleşerek yarattığı iç basınçlar, çatlakların hızla gelişmesini sağlamaktadır. Tuz kristallenme olaylar serisi açık hava koşullarında nem ve ısı değişimleri eğer bir önlem alınmamışsa uzun yıllar boyunca yinelenerek, hem mineralleri fiziksel olarak ayrıştırarak hem de tuzu yüzeye doğru taşıyıp orada kabuk oluşumu ve parçalar halinde kopmalara neden olacaktır.

Donma-Çözünme

Kış mevsiminin çok sert geçtiği bölgelerde, taşın yapılmış anıtlara ve yapı taşlarının çatlaklarına giren suyun buz haline gelmesiyle¹⁵ oluşan hacim artması, taş eserlerin dayanımının azal-

¹⁵ Kriyoklastik.



Şekil 2.4. Kırklareli merkezde, kış mevsiminde Pınarhisar kireçtaşının don sonrası taşlarda görülen büyük parça kopmaları şeklinde oluşan hasarlar.

altına düşmesi ile başlayan olay, suyun donma derecesinin gözenek boyutları küçüldükçe azalmakta olduğundan, önce taştaki büyük gözeneklerde başlar. Bu nedenle iri taş boşluklarında başlayan donma olayı küçük gözeneklere doğru gelişir ve bunun sonunda da kılcal boşluklardaki su donmaya başlar. Suyun donmasının tamamlanmasında hacim artışı maksimum değeri alır. Donmanın tamamlanmaması halinde doğan iç basınç cisim içinde çekme gerilmeleri¹⁶ oluşturur. Bu gerilmelerin, cismin çekme dayanımına ulaştığı bölgelerde, çatlaklar meydana gelir. Bu donma ve çözünme olayının tekrarlanması halinde çatlaklar gelişerek birbirleriyle birleşerek çatlaklar ağını meydana getirirler. Olayın devam etmesi önce küçük parçaların taştan ayrılmasına veya dökülmesine neden olur ve sonrasında bunu kayacın tamamen parçalanması izler (Şekil 2.4). Donma-çözünme olayı nemin fazla olduğu, sıcaklığın sıkça donma noktasının altında ve üstünde dalgalanmalar yaptığı alanlarda görülür.

Taşın bulunduğu ortamda sıcaklığın artması ile boşluklarda oluşan buz, su haline dönüşür. Şiddetli yağmurları izleyen kurak mevsimde güneşin oluşturduğu yüksek ısı, gözeneklere kuvvetli basınç uygulayarak yüzeydeki suyu hızlı bir şekilde buhara dönüştürür. Bu ani ısı değişiminin neden olduğu “**termik şok**”ların değişik şiddetlerde tekrarlanması, eserin mekanik dengesini bozarak direncini de azaltmaktadır.

Rüzgârlar

Toz partikülleri, şiddetli yağmur, dolu veya kar, rüzgârla birlikte bir malzemenin yüzeyine estiğinde aşınma ve erozyona ayrıca nem durumunu etkileyerek doğal taşın bozunmasına neden olur. Rüzgâr, kurumayı hızlandırır ancak diğer taraftan yağmur suyunu gözeneklerden içeri girmeye zorlayarak taşın nem içeriğini artırır (Wessman, 1997).

Rüzgârlar, kuru nehir yataklarından, sel basmış ovalardaki mil ve kayalardan kopardıkları veya yerden kaldırdıkları parçacıkları havalandırarak taşımak, bu parçacıkları çarpıtılarak aşındır-

¹⁶ Genleşme sırasında 2100 kgf/cm²'ye kadar çıkabilen gerilme, birçok kayacın dayanımından fazladır ve parçalanmaya yol açar.

mak ve gücü bitince de biriktirmek yoluyla yapı ve anıtların yüzeylerinde şekillendirme yaparlar. Ayrıca tarımsal aktivitelerin neden olduğu toprak erozyonları ve belli mevsimlerde çiçeklerden yayılan polenler de, önemli toz kaynakları olarak nitelendirilebilir. Rüzgârların bunları gerçekleştirebilmesi iklim, bitki örtüsü, arazinin yapısı, rüzgârın hızı gibi bazı faktörlere bağlıdır. Rüzgârlar, en fazla kurak ve yarıkurak bölgelerde etkilidirler. Çünkü bu bölgelerde bitki örtüsü zayıf, arazi kuru, rüzgâr hızlıdır. Rüzgârların anıtlarda neden olduğu bozunmalar aşındırma ve biriktirme şeklinde gerçekleşir. Rüzgârlar sürükledikleri veya savurdıkları taneleri eser yüzeylerine çarparak aşındırma yaparlar. Rüzgârın aşındırma gücü sert olmayan ve kolay aşınan dirençsiz kayaların üzerinde uzun yarıklar şeklinde gözlenir. Sertlik düzeyleri farklı olan yatay duruşlu duvar taşlarının yumuşak kısmı, aşınma ile oyuklar oluşturur. Gerek rüzgârın aşındırması, gerekse mekanik çözünme ile gevşemiş ve zayıflamış malzemelerin rüzgâr tarafından koparılıp taşınması da olası bir bozunma şeklidir. Rüzgârların taşıdığı kumları hızının kesildiği yerlerde ya da herhangi bir engel ile karşılaşması sonucunda biriktirmesi de diğer bir bozunma faktörüdür. Özellikle bitki örtüsünün tahrip edilmiş olduğu bölgelerde, rüzgârın bu aşındırma ve biriktirme özelliği (rüzgâr erozyonu) etkisini artırmaktadır.

Aynı şekilde rüzgârlar tarafından taşınarak çatlakların arasına yerleştirilen bitki tohumları da gelişerek çatlakların daha da genişlemesine bunun sonucunda da parça kopmalarına neden olurlar.

2.2.1.1.3. Doğal Afetler

“Doğal felaketler” veya “afetler”, ani ve şiddetle gerçekleşen olaylardır. Her zaman ve düzenli görülmemekle birlikte bazı durumlarda eski yapılarda, anıtlarda ve arkeolojik sitelerde büyük alterasyonlara neden olurlar. Ne zaman olacağı önceden bilinmeyen, aniden şiddetli bir felaket olarak ortaya çıkan deprem, toprak kayması, sel, tayfun gibi doğal afetler tarihi çevrelerin, anıtların hasar görmesine neden olmaktadır. Volkanik patlamalar ve yaydıkları gazlar da can ve mal kaybına yol açan, belli yerleşimlerdeki yaşamı tümüyle yok eden önemli doğal afetlerden biridir. Seller özellikle akarsu yanındaki tarihi yerleşmelerin uğradığı bir afettir. Hızlı, güçlü akıntılar, seller köprü ayaklarında hasarlara neden olurlar. Bunun yanında depremler, gelgit olayı, heyelan, toprak hareketleri, erozyon, siklon, fırtına, kasırga, tayfun, sel, çığ gibi kar kütlelerinin kaymaları ile doğal nedenlerle çıkan orman yangınlarının taştan yapı ve anıtlara zarar verdikleri gözlenmiştir.

Toprakların doğal ya da dış kuvvetlerin etkisiyle oluştukları yerden aşındırılıp taşınması ve başka yerlerde biriktirilmesi olarak nitelendirilen **erozyon** ise diğer bir bozunma faktörüdür. Doğal (jeolojik erozyon) ve hızlandırılmış erozyon (su ve rüzgâr nedeniyle oluşan toprak kayıpları) olarak ikiye ayrılan erozyon olgusu, yüksek arazilerden doğal erozyonla taşınan materyallerin, daha alçak kesimlerdeki alanlarda yer alan tarihi yapıların veya arkeolojik sitelerin yavaş yavaş bu toprak materyalleri ile örtülmesi ile gözlenir. Son derece yavaş oluşan doğal erozyonun bazı durumlarda eski ve artık kullanılmayan bir yapının neredeyse tümüyle örtülmesini sağladığı saptanmıştır.

Su erozyonu, diğer bir bozunma etmeni olarak doğal faktörler içerisinde yer alır. İklim özelliklerine bağlı olarak herhangi bir bölgeye düşen yağışın bir kısmı toprak tarafından emilerek toprakların derinliklerine iletilirler. Toprağın emmediği (infiltrasyon) yağış suları ise yapının bulunduğu alanın eğimli olması durumunda, arazi boyunca yüzeyel akışa geçerek daha aşağıdaki arazilere doğru akar. Su erozyonu, özellikle bitki örtüsünden yoksun eğimli arazilerde, yağmur

ve eriyen kar sularının, toprakların infiltrasyon kapasitesinin aşılması sonucunda yüzeysel akışa geçerek toprağı aşındırıp taşınması olayıdır.

Doğanın kendi dengesi içerisinde, kendine özgü kurallarla sürdürdüğü erozyonun yanında bir de insan elinin değmesi (hatalı ve yanlış arazi kullanımı) ile oluşan erozyon vardır. Ağaçlık veya ormanlık bir alan içerisinde kalmış bir yapı ve arkeolojik sitenin, insanların tarımda kullanma amacıyla ağaçları kesmesi nedeniyle erozyon oluşabilmekte ve bu da taş yapının strüktürünün bozunmasına ve daha sonrasında da yıkılmasına neden olabilmektedir.

Tabaka veya yüzey erozyonu, hafif veya orta derecede eğimli ve infiltrasyon yeteneğini kaybetmiş arazilerde, yüzey akışları ile arazi yüzeyindeki ince toprak materyallerinin bir tabaka halinde taşınması olayıdır. Son derece yavaş seyreden bir erozyon türü olduğundan kolay fark edilemez.

2.2.1.2. Biyotik Etmeler

Ekolojide virüslerden bakterilere ve insanlara kadar bütün canlı popülasyonlar biyotik faktörler olarak adlandırılır. Biyotik faktörler canlı ve cansız faktörleri yapılarına katarak enerji elde ederler. Bu enerjiyi besin zinciri oluşturarak diğer canlılara aktarırlar. Uygun habitatlar üzerinde hayat tabakaları oluştururlar. Biyotik faktörler, popülasyon, komünite ve ekosistem olarak adlandırılan birimlere ayrılarak incelenir.

Birçok bitki ve hayvan, salgıladıkları asidik bileşiklerle taş eserlerde kimyasal çözünme yaratırlar. Bitki köklerinin salgıladığı karbondioksitin oluşturduğu karbonik asit (H_2CO_3) ve fizyolojik eylemleri sırasında oluşturdukları asitlerle taş minerallerini kullanarak toprak oluşumunu sağlayan yosun, liken ve algler yüzey yapısının bozunmasına, mikro çatlakların büyümesine yol açmaktadırlar.

Doğanın ayrılmaz bir ögesi olan bitki örtüsünü oluşturan ağaç, çalı, ot, mantar, liken ve algler, gerek kök ve gövdeleriyle yaptıkları mekanik basınç ve gerekse salgıladıkları organik asitlerle biyokimyasal ayrışmaya neden olmaktadır. Biyokimyasal ayrışma olaylarındaki mekanizmalar, kimyasal ayrışmada olduğu gibi biyolojik olarak oluşan oksalik asit, liken asidi, şarap asidi, elma asidi ve limon asidi gibi düşük moleküllü asitlerle başlar.

Taş eserlerin ayrışmasına neden olan faktörlerden birisi de canlıların neden olduğu biyolojik çözünmedir. Çeşitli hayvan ve böcekler, kazıma ve tırmanma gibi mekanik olguların yanında çıkardıkları asitler dolayısı ile kimyasal ayrışmaya neden olurlar. Kuşlar, tırmanıcılar, solucan vb gibi büyük hayvanlar kazıma ve tırmanma yoluyla mekanik olarak taşlarda delikler ve oyuklar meydana getirebilirler veya çıkardıkları asitler dolayısı ile kimyasal ayrışmaya sebep olurlar. Bunlardan başka organik madde ve atmosferden nitrojen tutan bakteriler de taşlara etkir. Bunlar bilhassa ayrışmış taş yüzlerinde ve çatlaklarda yığılır.

2.2.1.2.1. Mikro-Organizmalar

Isı ve nem değişimleri biotik etmenlerin yaşamları için uygun ortamın canlı tutulmasına neden olur. Biyolojik etkinlik yüksek bağıl nem (>%70), yüksek sıcaklık (>10°C) ve ışıksız ortamda artar. Yüksek bir sıcaklıkla çok yüksek bir bağıl nem (%80 ya da daha fazla), bütün mantarsı bitki topluluklarının gelişmesini kolaylaştırır. Bunun sonucunda özellikle organik malzemeden

yapılmış eserlerde çürüme, yumuşama, süngerleşme, lekelenme, renk değişimi ve ayrışma gibi bozulmalara neden olur. Liken ve algler taş yüzeyinde lekelenme ve oyulmalara neden olan değişik renklerde kabuk ve lekeler şeklinde fark edilebilir.

Bakteriler, kükürt bakterileri ve azot bakterileri suda eriyen tuzları oluşturarak veya ürettikleri asitlerle eserlerin mineral yapısını değiştirerek bozunmayı hızlandırmaktadırlar.

Sıcaklık ve nem değişimleri biyotik etmenlerin (mantarlar, yosunlar, likenler vd) yaşamları için uygun ortamın canlı tutulmasına neden olur. Biyolojik etkinlik yüksek bağıl nem (>%70), yüksek sıcaklık (>10°C) ve ışısız ortamda artış gösterirler. Yüksek bir sıcaklıkla çok yüksek bir bağıl nem (%80 ya da daha fazla), bütün mantarsı bitki topluluklarının gelişmesini kolaylaştırır.

Özellikle gözenekli ve fosil içeren eserlerde, taş yüzeyindeki çatlakların da sayısının fazla olması nedeniyle, taş kapilerite ile suyu emmekte ve bu suyun yükselmesinden dolayı alt kısımlar kururken üst kısımlar nemli kalmaktadır. Bu da taşta birtakım yosunların birikmesine sebep olmaktadır. Taş üzerine yerleşmiş olan likenler, yosunlar ve sarmaşıklar suyu tutarlar ve taş yüzeyinin devamlı ıslak kalmasına sebep olarak üzerlerinde yaşadıkları kayaç yüzeylerinde daha nemli ve kimyasal bir mikro-çevre yaratırlar.

Likenler taş eserlerin ve yapı taşlarının ayrışarak bozunması sürecine etkili şekilde katılmaktadır. Bu etki, likenin ve üzerinde olduğu kayacın türüne ve bulukları ortama bağlı olarak değişmektedir. Likenler, kaba yüzeyi ve süngersi yapısı ile hem suyu bünyesinde tutarak taş yüzeyinin hemen altında sürekli nemli bir ortam oluşturarak, hem de iyon değişimi ve asit salgılamaları¹⁷ ile taşların bozunmaya uğramasına yardımcı olurlar. Alg (su yosunu) ve mantar hücrelerinin karşılıklı fayda prensibine dayanan simbiyotik birliktelikleri (ortak yaşam) sonucu oluşan likenler, birçok yerde bulunabilen organizmalar olup morfolojilerine göre dalsı,¹⁸ yapraksı¹⁹ ve kabuksu²⁰ olarak sınıflandırılırlar. Belirli mantar ve su yosunu türlerinin ortak yaşamı sonucunda meydana gelmiş olan likenler, iki ayrı gruba ait canlıdan oluşmalarına rağmen tek bir birey gibi davranırlar ve ayrı yaşadıklarında üretmedikleri bazı maddeleri sentez ederler. Gayet yavaş büyüler, senede ancak birkaç milimetre artarlar.²¹ Likenler, çıplak kayalık alanları ilk olarak örten bitkiler arasındadırlar. Saldıkları asitlerle yapı taşlarının aşınmasına neden oldukları gibi ölen talluslarından da organik madde biriktirirler. Bu işlemler çok yavaş olur fakat bir süre sonra yeter miktarda toprak ve organik madde birikince bu sahada yosunlar ve eğreltiler yerleşebilir. Bazı liken türleri, bazı hayvanlar için besin kaynağıdır. Bir likenin yaşaması için sıcaklık çok büyük bir fark oluşturmaz. Tropik bölgelerde yaşayabildikleri gibi soğuk kutup bölgelerinde, deniz seviyesinden en yüksek yerlere kadar yaşayabilirler. Likenler, havanın toksik etkisine karşı güçlü olmadıklarından sadece hava kirliliğinin olmadığı yerlerde yaşamlarını sürdürebilirler.

Likenlerin kayaçları ayrıştırması liken hiflerinin²² kayanın içine girmesi, likenin büzülüp-genişlemesi, likenin donması ve çözünmesi ile likenlerin taş minerallerini sarması şeklinde gerçekleşir.

¹⁷ Kısaca liken asitleri olarak adlandırılan bu 600 kadar bileşik, daha çok mantar metabolizmasının ürünü olan fenol asitleri ve pigmentlerdir.

¹⁸ Ağaçlar bazen de kayalar üzerinde gelişen, oldukça büyük talluslu, sık dallanma gösteren likenlerdir.

¹⁹ Tallusları loblar halinde olan ve genellikle rozetler oluşturan likenlerdir.

²⁰ Genellikle kayalar üzerinde gelişen tallus kabuk biçiminde olan likenlerdir. Kayaları eritebilen enzimleri ürettiklerinden epilitik veya endolitik likenler adı ile de bilinirler.

²¹ Bazı liken türlerinin yılda en fazla 1 cm'lik bir büyüme gösterdiği saptanmıştır.

²² Mantarların misel (ağsı) yapısını oluşturan iplikçığe "hif" adı verilir.

Taşın likenler tarafından ayrışarak bozunması iki aşamada olur. Önce likenlerin solunum yoluyla ortama verdikleri CO₂, liken asitleri ve diğer bileşiklerle ortamın yapısı değiştirilir, sonra da değişen bu yapıyla birlikte likenlerin yapılarında bulundukları veya kayaçla temas ettikleri yerlerdeki taş minerallerini kullanarak yeni bileşikler oluştururlar (Sevgi-Makineci, 2005).

Likenlerin yerleşmiş oldukları taş yüzeylerine etkileri, hiflerin çeşitli kaya boşluklarına girmesiyle başlar ve bu kaya parçalanmasına yönelik doğrudan etki diğer parçalama süreçlerini hızlandıran en önemli etkidir (Chen vd, 2000). Hiflerin kaya içerisinde ilerlemesi kayaç ve liken türüne göre değişiklik gösterebilmektedir.²³ Taştaki boşluklara giren hifler nedeniyle liken-kaya ilişki yüzeyi genişlediğinden likenin kayacı etkileme olasılığı artmaktadır. Liken medulasının normal ağırlığından 3 kat fazla su alabilmesi nedeniyle kısa zaman aralıkları ile ıslanması (genişlemesi) ve kurumması (büzülmesi) sonucunda taşın etkilenecek ayrışması düşünülmektedir. Likenlerin donması ve çözünmesi sonucunda oluşan taş bozunması, daha çok soğuk bölgelerde görülen önemli bir parçalanma etkenidir. Hiflerin kaya içine girmesi sonucu, yüzey suyu aşağılara inmekte, sıcaklığın 0 °C altına düşmesiyle de likenin donarak genleşmesiyle oluşan bu duruma "buz kaması" denmekte ve böylece kaya boşluklarını dolduran likenlerin donması ve çözünmesi ile kayaçların parçalanması gerçekleşmektedir. Likenlerin oluşturduğu diğer bir bozunma türü ise kaya ve mineral parçalarını sararak bünyelerinde tutmalarıyla neden oldukları ayrışmadır (Chen vd, 2000).

Likenler tarafından tutulan suda likenin solunumu sonucu açığa çıkan karbon dioksitin artmasıyla ortaya çıkan karbonik asit, ortamdaki pH oranını düşürerek çözünme süreçlerini ilerletir (Chen vd, 2000). Likenin mantar kısmını oluşturan oksalik, sitrik, glukonik, laktik asit gibi düşük molekül ağırlıklı "karboksilik asitler", suda az çözünen asit özellikli "çelat" oluşturan "polifenolik" bileşikler liken asidi olarak isimlendirilirler (Adamo-Violante, 2000).

Her ne kadar bazı çalışmalarda likenlerin taş yüzeyini örterek onları korudukları belirtilse de, bu durum kayacın parçalanmasına ve ayrışmasına neden olduğundan, likenler daha çok bir bozunma faktörü olarak ele alınmalıdır.

Likenler yapılarında bulundukları mantar hifleriyle²⁴ bazı asitler salgılayarak kayanın üzerini yavaş yavaş ayrıştırırlar. Kayanın rüzgâr ve yağmur ile parçalara ayrılmasına neden olurlar.

Biyolojik çözüme, özellikle bitki örtüsünün, ormanların zengin olduğu sıcak ve nemli sahalarda etkili olur.

Yıpranan bina duvarları üzerine rüzgârla bir miktar toprağın taşınması ve atmosferdeki toz bulutlarından da bir miktar ilavesiyle ortam bitki tohumlarının çimlenmesine elverişli duruma gelmektedir. Daha sonra bitkilerin diasporları rüzgâr veya hayvanlar (karıncalar ve kuşlar) tarafından taşınmaktadır. Buraya gelen bitkilerin tohumları çimlenerek yıldan yıla büyüyüp ortamı bitkilerin yaşayabileceği duruma sokmaktadır. Bu bitkilerin köklerinin salgılamış olduğu asit benzeri sıvılar taşların yıpranmasına neden olmaktadır. Taşların içine doğru giden bitki kökleri suyu içeri çekerek binanın iç kısmının akmasına ve dolayısıyla tarihi binaların ömrünün azalmasına ve yapının bozunmasına zemin hazırlayacaktır. Ayrıca kazık köke sahip olan otsu

²³ Örneğin *Lecidea sarcogynoides* türünün kum taşında 3,21 mm, kuvarsitte 1,12 mm ilerlediği saptanmıştır.

²⁴ Küflerde hücrelerin arka arkaya yer aldığı iplikli yapı.

ve ağaçsı bitkilerin köklerinin büyümeleri sonucu tarihi yapıların taşlarını iterek, birbirinden uzaklaştırıp bunların bozunmalarına neden olacaktır.

Zaman içerisinde sahilin tektonik hareketler sonucunda kıyı çizgisini değiştirmesiyle bazı yapılar veya anıtlar deniz ile temas haline geçerler. Bu durumlarda deniz suyu içerisinde kalan yapılar denizde yaşayan canlıların etkisinde kalırlar. Koloniler halinde yaşayan sünger, istiridye ve denizkestanesi gibi delici hayvanlar, taşın yüzeyine yerleşerek salgıladıkları asitlerle zayıf yapıda bir asit olmasına rağmen taş yüzeylerinde oyuklar oluştururlar.

Tarihi eserlerin taşları üzerinde bulunan mikroorganizmaların suyu emen polisakkarit üreterek taşların gözenekliliğini ve geçirgenliğini değiştirdiği bilinmektedir. Ayrıca buradaki mikroorganizmalar asit yağmurları sonucu buraya gelen sulardaki azot ve kükürttan sonra burada nitrik ve sülfürik asit oluşturarak, taşlardaki gözenek miktarını ve büyüklüğünü artırır. Daha sonra bu gözeneklere liken ve siyanobakteriler gelir ve yerleşirler. Bakteriler ise, toprakta birçok faaliyette bulunarak gruplar halinde gelişir ve yaşarlar. Amonyakla birlikte taşın içindeki silisi parçalarlar. Ayrıca organik maddelerin çürümesiyle meydana gelen organik asitler de kayaların ayrışmasına ve bunun sonucu olarak taşların bozunmasına neden olur.

Taş eserlerin yüzeyine yerleşerek koloniler halinde yaşayan likenler, yosunlar ve mantarlar çoğu zaman koruyucu fakat aynı zamanda da taşın ayrışmasına yardım eden bozunma faktörleridir. Yosunlar taş yüzeyini soldurmakla kalmaz aynı zamanda yüzeylerde değişik boyutlarda gözenekler oluştururlar. Likenler ise iyon değişimi ve asit salgılamasıyla, aynı zamanda kaba yüzeyi ve süngerimsi karakteri ile mekanik olarak suyu belli bir zaman dilimi içinde taş yüzeyinin hemen altında tutup, taşa sürekli olarak nem aktararak bozunmayı kolaylaştırır.

2.2.1.2.2. Bitki ve Hayvanlar

Kayaların çözünmesiyle açığa çıkan besin maddelerine bağlı olarak alan bitki örtüsü tarafından yavaş yavaş örtülmeye başlar. Yosun, liken, çalı ve ağaçların sahaya yerleşmesi ile bitki kökleri ve bitki artıklarının toprağa karışması ve humuslaşma ile birlikte oluşan çeşitli organik asitler parçalanma ve ayrışmayı daha da ilerletir. Böylece bitki örtüsü ve onunla birlikte gelen canlılar, ayrışmanın oluşumunda önemli bir safhayı başlatırlar.

Bakımsız kalmış ören yerleri, yapılar ve anıtların yanlarında veya üzerlerinde yetişen ağaçlar, çalılar vs gibi boylu yüksek bitkiler, mikroklimatik bir ortam oluştururlar. Bu yüksek boylu bitkilerin köklerinin açığı kanallar boyunca yüzeydeki su derinlere kadar sızar ve yapının temelini nemli kalmasına neden olur ve bu da zamanla yapıda deformasyona neden olur. Ayrıca kökler kendi başlarına ana kayanın fiziksel ve kimyasal yönden ayrışmasını, çözmesini sağlarlar.

Ağaç ve çalı gibi güçlü köklere sahip bitkiler, çatlak ve yarıklardan girerek 1-1,5 MPa'lık bir basınç oluştururlar ve bunun sonucunda patlamalar nedeniyle eserlerde fiziksel ayrışmaya neden olurlar. Taş minerallerini kullanarak çatlaklarda toprak oluşumunu sağlayan bu mikro bitkiler yüzey yapısının bozunmasına, mikro çatlakların büyümesine yol açmaktadırlar. Bitkiler bir süre sonra ölür ve kırıntı halinde kayaç içinde kalır. Kayaç içerisine bir şekilde girmiş olan bitkilerin çürüyerek yok olan kısımlarının ve özellikle gövdelerinin yerleri kayaç içinde boşlukların ve ince kanalların oluşmasına neden olarak taşın gözenekliliğini artırır. Gözeneklerin artması da kayanın ayrışma faktörlerine karşı direncini azaltan bir özelliktir. Gözeneklerin birbirleri ile bağlantılı

ağı kayacın iç ve dış kısmı arasında su girişine imkân tanımakta ve suya bağlı bozunmaların çoğu için temel faktör olmaktadır.

Bitkiler, kökleri vasıtasıyla kayaları hem mekanik, hem de kimyasal yolla ayırmaya uğratır. Daha büyük ölçekte, özellikle bitki kökleri kayaçlar üzerinde fiziksel basınç yaratarak²⁵ ilerler ve su ile kimyasal çözeltilerin nüfuzuna olanak verecek süreksizlikler yaratırlar. Aynı şekilde çeşitli delici hayvanlar ve böcekler, meydana getirdikleri oyuk ve delikler aracılığıyla su ve diğer kimyasal etkenlere daha açık ve daha az dayanımlı ortamlar oluştururlar.

Hayvanların taş eserlere olan tahribatı ise, kimyasal olarak organik asitlerin taş aralarına bırakılması ile veya mekanik olarak delme ve kazma şeklinde olabilir. Hayvan dışkısının nitrat içermesi taş eserde yüzey bozunmasına neden olmaktadır.



Şekil 2.5. Ağaç ve köklerinin tarihi mezar taşına verdiği zarar (İstanbul).



Şekil 2.6. Kırklareli / Vize Şerbetdar Hasan Bey Camii bakımsızlıktan akasya ve incir ağaçlarının yapı üzerinde yetişerek yapıda oluşturdukları hasar (üstte). Bakımsızlık nedeniyle bitki örtüsüyle kaplanmış Kolombiya'nın Aipe şehri yakınlarındaki doğal ana kayaca işlenmiş kaya yazıtları grubu.

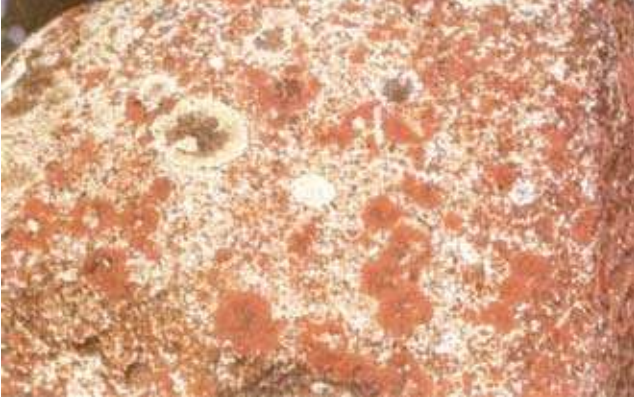
²⁵ Diğerlerine göre daha dar kapsamlıdır ve çok az görülen bir çözünme şeklidir.



Şekil 2.7. Edirne Bayezid Camii bahçe harpuşta taşları üzerinde beyaz, gri ve siyah likenler, kara yosunu ve yüksek bitkiler (Küçükkaya, 2004).



Şekil 2.8. Edirne Bayezid Camii kalkerli taştan yapılmış bahçe duvarı üzerinde nem oranının yükseldiği kış aylarında ortaya çıkan, yazın uykuda kalan liken ve kara yosunları (Küçükkaya, 2004).



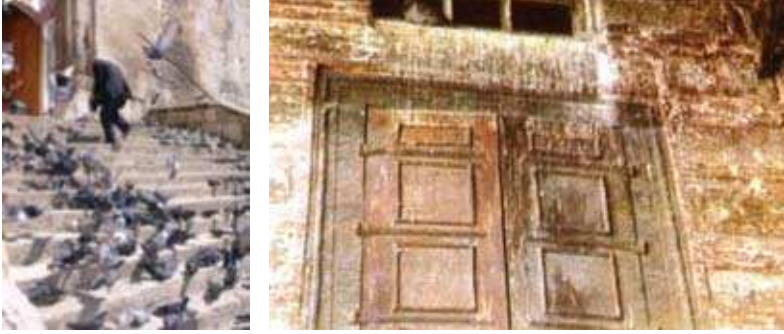
Şekil 2.9. Alacahöyük kalıntıları üzerinde kırmızı ve beyaz renkli kabuksu likenler (Küçükkaya, 2004).



Şekil 2.10. Kaya kütleleri üzerinde farklı renklerdeki liken ve onların üzerinde kara yosunları.



Şekil 2.11. Kabuksu liken, *Lecanora rupicola* (Flechtenbilder)(Çakar, 2009).



Şekil 2.12. Uç Şerefeli Cami'de ve Kırklareli Hızır Bey Külliyesinde güvercinler konuştıkları yerlere dışkıları ile bozunmaya neden olurlar (solda). İstanbul / Yeni Cami / Hünkâr Kasrı giriş kapısında güvercinlerin neden olduğu kirlilik, taş çözünmeleri ve bozunmalar (Küçükkaya, 2004).



Şekil 2.13. Bogota'daki San Francisco Kilisesinin giriş kapısındaki mermer heykelin bulunduğu nişte görülen güvercin dışkıları (solda). Tarihi mezar taşında güvercin ve kuş pisliklerinin verdiği zarar (İstanbul).

2.2.2. Antropojenik Etmenler

Taş eserlerin ve yapıların bozunmasında etkili olan antropojenik kökenli etmenlere dünyadaki nüfusun artmasının ve gelişme sürecinin yarattığı sonuçlardır. Tarım alanlarının genişlemesi, konut ve her türlü altyapı inşaatı, sanayi inşaatları, havaalanı, liman, metro gibi ulaşım amaçlı yol yapımı ile baraj yapımları, bu gelişme sürecinin unsurlarıdır ve eski eser bozunmasında etkilidirler.

İnsanların neden olduğu bilinçli tahribat, eski eser kaçakçıları ve defineciler tarafından, bilinçsiz tahribat ise sulu ziraat ve modern tarım araçları ile yapılan çalışmaların yanı sıra toprak nakli, taş sökülüp taşınması nedeniyle yapılan tahribattır.

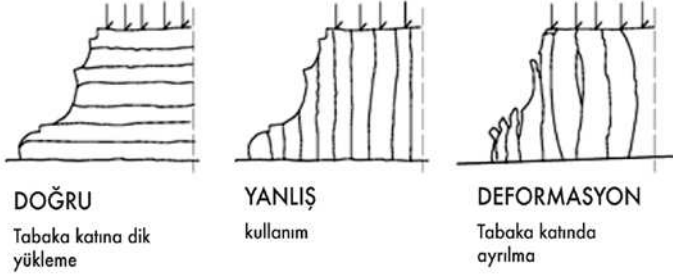
Arkeolojik ya da tarihi eserlerin ticaretini yapıp para kazanmak ya da define bulmak amacıyla toprak altında bulunup ya da oldukları yerden sökülerek çıkarıldıkları ya da çalındıkları sırada kültür varlığının bütününe veya bir kısmına verilen zarar ve tahribat yine sıkça görülen bir bozunma türüdür. İdeolojik düşünsel nedenlerle, yok etmek veya kısmen zarar vermek amacıyla kültür varlıklarının bilinçli olarak tahrip edilmesi ile savaş ve silahlı çatışma nedeniyle tahrip olması insan kaynaklı bozunma faktörleridir.

İnsanlar bakımsızlık, terk, kasıtlı tahrip gibi eylemlerle anıtların ve tarihi yapıların yok olmalarına neden olmaktadır. Taşın yatağından alınıp yapıda kullanılmasına veya işlenmesine kadar geçen safhada uygulanan hatalı işlemler, farklı malzemelerin kullanılmasından dolayı meydana gelen olumsuz etkiler ve hatalı yapılan kazı, onarım, depolama ve sergileme çalışmaları, antropojenik etkenler arasında sayılabilir.

Taştan yapılmış tarihsel ve kültürel değeri olan eserlerin, sergilendiği ve depolandığı ortamlarda, binalarda ve müzelerde zaman içerisinde bozunmaya uğradıkları bilinmektedir. Bu bozunmanın birincil nedeni, buldukları, sergilendikleri ve saklandıkları ortamların ısısı, bağıl nem değerleri, ışık miktarı ve oranları, hava kirliliği, böcekler ve diğer istenmeyen zararlı canlılardır. İnsanların sorumlu oldukları yanlış yönetim ve dikkatsizlik bu faktörleri etkileyen ve oluşacak hasarların artmasına veya daha kısa süre içerisinde gerçekleşmesine neden olan ikincil bir faktördür. Çoğu kez sosyal, ekonomik sorunlarla ilişkili olan bakımsızlık, terk, kasıtlı tahrip gibi eylemler, tarihi yapıların yok olmalarına yol açabilmektedir.

Taşların bünyesinde bulunan ocak suyu dolayısı ile taşlar yumuşaktır ve işlenmeleri kolaydır. Bir süre sonra bu su buharlaşır ve kayaç sertleşir. Boşluklarda bulunan tuzlar da buharlaşma ile yüzeye çıkar ve işlenerek uzaklaştırılır. Taşın hemen kullanılması halinde bu durum dezavantaj sağlar. Çünkü kullanıldıktan sonra taşın bütün yüzeylerinin atmosferik hava koşullarına maruz kalmasından dolayı tüm yüzeylerde bozunmalar olacaktır (Winkler, 1966). Taşlar antik dönemlerde de çekiç, balyoz, küllük ve murç gibi metalik aletlerle işlenmekteydi. Bazı yanlış vurmalar sonucu berelenmesi ve ezilmesi olasıdır. Bu ezilmeler, taşın dayanımının azalmasına neden olur. Sonuçta bu zayıflık yerleri kayacın erken bozunmasını etkiler. Yüzeylerin şekillendirilmesi sırasında kullanılan alet, teknik, yüzeylere verilen aşırı detay ve küçük pürüzler taşın dış cephesindeki belirli bir kalınlığı zayıflatmaktadır. Taşın binada doğal tabakalaşmasına uygun olarak yer alması da bozunma sürecini etkilemesi açısından önemlidir. Eğer blok tabakasına, başka bir deyişle taşın suyuna ters olarak hazırlanır ve tabakalaşmasına dikkat edilmeden yerine konulmuş ise, bozunma, tabakaların cepheden geriye doğru katman katman dökülmesi şeklinde olur. Taşın genel yapısının dayanıksız olması da, kolayca ayrışıp dağılmasına neden olur. Bazen yapı taşlarının bozunması taşın hatalı kullanılmış olması ile doğru orantılıdır. Tabakalı bir

yapıya sahip tortul (sedimanter) kayalar, taş bozunmaya başladığı zaman bu tabakalı kısımlardan ayrılmalar olur. Bunların basınç dirençleri tabakalaşma yüzüne dik doğrultuda daha büyüktür. Bu bakımdan bunların en büyük basınç istikametinde kullanılmış olması yani tabakalanma yüzlerine paralel olarak kullanılmış olması taşın direncini arttırmaktadır (Şekil 2.14).



Şekil 2.14. Ocaktaki tabakalanma yönüne göre olası bozunma durumu doğru/yanlış kullanım biçimi (Küçükkaya, 2004).

Üretim yapılan ocağın tamamında aynı doku, renk ve de-sende taş çıkmaz. Bu nedenle sağlam taşın seçilmesi ayrı bir tecrübe işidir. Farklı özellik ve bileşimdeki taşların üst üste kullanılması bozunmayı hızlandırmakta, taşın pul pul dökülmesine, üzerinde lekelerin meydana gelmesine neden olmaktadır.

2.2.2.1. İnsanların Direkt Olarak Verdiği Zararlar

Taşı ocağından çıkartma çalışmaları sırasında ve daha sonra taşın çekiç, keski ve murç gibi aletlerle işlenirken bazen el kayması veya yanlışlıkla vurulan sert bir darbe sonucu üzerinde mikro çatlaklar oluşmaktadır (Şekil 2.15). Bu tür taşlar doğa koşullarından daha çabuk etkile-neceğinden tahrip olmaları daha hızlı bir şekilde olmaktadır. Farklı özellik ve bileşimlere sahip taşlardan yapılmış mimari elemanların, üst üste kullanılmaları durumunda da, birbirlerini etkilemeleri sonucunda bozunmalar hızlanmaktadır. Toprak altında bulunan taş eserler, kazmanın çarpması sonucu kırılma veya çatlama ya da açığa çıkarılan taş eserlerin kaldırılmasında kendir halat yerine çelik halat kullanılması nedeniyle, bağlantı yerlerinde meydana gelen ezilme ve kopmalar şeklinde tahribata uğramaktadır. Yangın sırasında taş eserler fiziksel değişim dışında ayrıca kimyasal etkiler sonucu molekül yapıları değişerek, başkalaşıma uğramaktadır.



Şekil 2.15. Bitlis'in Ahlat ilçesindeki taş ustalarının taşları ocaktan halen geleneksel tekniklerle keski ve murç kullanarak çıkartmaları. Karatepe Açık Hava Müzesindeki geç Hitit çağı kalesinin duvar restorasyonunda Kahramanmaraş'ta hâlâ eski geleneksel usullerle çalışan taş ustalarından yararlanılmıştır (sağda).

Zaman içinde işlevsel, faydalı amaçlarla yapılarda yapılan değişiklikleri ve ekleri yine insanların direkt olarak verdiği zararlar olarak belirtilebilir. Bunların dışında, toprak ve zemin koşullarında insanlar tarafından yapılan değişiklikler de (yeraltı suyu düzeyinin değiştirilmesi, maden ocaklarında, metrolarda tüneller, pasajlar açılması vs) temellerin en fazla yük taşıdığı ve zemine aktardığı yerlerde, zeminde farklı oturmalara neden olabilirler.

2.2.2.1.1. Onarımlar

Tarihi yapılarda gözlenen başka bir ayrışma nedeni ise değişik dönemlerde uygulanan restorasyon çalışmalarıdır. Taş eserlerin, çeşitli asitli maddeler kullanılarak kimyasal yöntemlerle veya raspalama gibi hatalı mekanik yöntemlerle temizlenmesi durumunda, taş eserin yüzeyi bozulacağından doğa koşullarından etkilenmesi daha çabuk olur. Bu da taşın tahrip olma sürecini hızlandırmaktadır. Yapıyı oluşturan bileşenlerin uygun bir bağlayıcı malzeme ve teknikle birleştirilmeleri, dayanımları açısından önemlidir. Özgün malzeme ile uyumlu olmayan, basma ve çekme dayanımı yüksek ve gözenekliliği daha düşük olan çimentonun seçilmesi yapıda önemli hasarlara neden olabilmektedir. Özellikle çimentonun kuruma sürecinde oluşan hacim büyümesi, temasta olduğu duvarda kullanılan orijinal malzemenin çatlamasına neden olmaktadır. Ayrıca su geçirimi düşük olduğundan dış cephede sıva olarak kullanıldığında kurumayı engelleyen bir tabaka oluşturarak özgün duvar malzemesine zarar verebilirler.



Şekil 2.16. Kırklareli Hızır Bey Hamamı'nda görülen metallerin korozyona uğraması ile yapı cephesinde görülen pas ve is lekelerinin oluşturduğu tahribat.

Yapıların inşasında kullanılmış olan metaller, korozyona uğrayarak duvardaki yapı taşları üzerinde görsel kirlilik oluşturur (Şekil 2.16). Taş blokların birleştirilmesinde kullanılan kenet ve mil gibi metal elementlerin iyi izole edilmemesi sonucunda derz ve taşlardan içeri giren su, bu demir öğelerin paslanmasına neden olmaktadır. Korozyon adı verilen bu bozunma faktörü, metal malzemelerin yüzeyden başlayan ve malzeme derinliklerine doğru kimyasal ve elektrokimyasal bir reaksiyonla etki oluşturarak değişikliğe uğraması ya da aşınması olayıdır. Paslanma sırasında hacmi büyüyen metaller, yarattıkları iç gerilimle birleştirdikleri duvar bloğunu veya söve, sütun başlığı gibi mimari bileşenleri çatlatmakta, müdahale edilmeyip bozunma ilerlediğinde, mimari öge parçalanmaktadır.

Demir öğelerin kullanılmasında genellikle taş yüzeyinde kırmızımsı turuncu renkte bir tabaka halinde



Şekil 2.17. Kolombiya'daki San Agustin Arkeolojik Parkı içerisindeki volkanik tüften yapılmış olan heykelerde restorasyon amacıyla çimento kullanılarak yapıştırılması ile yine Kolombiya-Aipe'deki en tanınmış olan "Boyalı Kaya" anıtında, taşın çatlamasından sonra kırılarak ayrılmasının engellenmesi için çatlak bölümün çimento ile doldurularak onarılması.

gözlenirken bakır veya bronz malzeme kullanılması durumunda da yeşil renkle kahverengi arasında bir leke olarak kendini gösterir. Bu lekeler yüzeyde çözünmüş bakır tuzlarının birikerek oksitlenmesiyle ortaya çıkmaktadır.

2.2.2.1.2. Trafik

Tarihi eserlerin yer aldığı bölgelerin taşıt trafiğine açılması yeni bir bozunma faktörüdür. Taşıt trafiği bir yandan oluşturduğu titreşimle²⁶ ve temellere yapılan baskı sonucu duvar örgüsünü etkilemekte, diğer yandan ise egzoz gazlarının yoğunluğuna bağlı olarak taş yüzeylerinde kirlilik yaratabilmektedir. Bunun dışında uçakların yarattığı titreşimler de taşların bozunmalarına neden olabilir. Buna bağlı olarak kentleşmenin bir ürünü olan yol inşaatlarındaki havalı delgi aletleri ve makineler de yarattıkları titreşimlerle yine yapı taşlarında kılcal çatlakların oluşmasına neden olabilmektedir.

Dar sokakların köşeleri, tarihi kapılar da turist otobüslerinin veya kamyonların sürtünmeleri sonucu çizilmekte, zarar görmektedir. Ender olmakla birlikte, trafik kazaları (kara, hava ve deniz) da anıtlarda kayıplara neden olmaktadır. İstanbul Boğazı'nda gemilerin kıyıya çıkması ve yalılarını yıkması birkaç kez tekrarlanan kazalar arasındadır.



Şekil 2.18. Bogota'da taşıt trafiğine açık olan eski kolonyal mahallesinde, yolun hemen kenarındaki Rosario KİLisesinin duvarlarında gözlenen hava kirliliğinin neden olduğu lekelenme, renk değişimi ve erozyon gibi, değişik türdeki bozunmalar.

2.2.2.1.3. Vandalizm

Başta ABD, İngiltere ve İsveç gibi ülkelerde olmak üzere altmışlı yıllarda araştırmacıların dikkatini çeken kasıtlı tahrip anlamına gelen Vandalizm, günümüzde sosyal ve psikolojik bir sorun

²⁶ Adana Bölge Müzesi'nde hemen yanından geçen E-5 karayolunu oluşturduğu titreşimler nedeniyle müze binası içindeki vitrinlerde bulunan eserlerin hareket ettikleri görülmüştür.

olup eski eserlerin bozunmaya uğramasındaki diğer bir etmendır. Bir Doğu Cermen boyu olan Vandallara affen, bir kimsenin kendine ait olmayan mallara yönelik saldırganca davranışlarda bulunma eğilimini ifade etmek için kullanılan bir terimdir. Türkçeye “tahripçilik” olarak çevrilebilecek bu olguya ilk kez 18. yüzyılın ikinci yarısında Fransız Devrimi sırasında hazırlanan raporlarda halkın belli davranış biçimlerinin açıklanmasında kullanılmıştır. Aradan iki yüz yıldan fazla bir süre geçmiş olmasına karşın günümüzde de aynı anlama gelmektedir.

Vandalizm yaşamın hemen her evresinde ve alanında gözlenmektedir. Binaların camını kırmak, duvarlara yazılar yazmak, parklardaki veya okul sıralarındaki oturma yerlerini kazımak veya kırmanın yanında eski eserlere de zarar vermek tahripçiliğın bir sonucudur. Bu tür davranışlarda bulunan ve “Vandal” olarak adlandırılan bireyler, tarihi yapıları veya anıt eserlere zarar verirler. Tahripçi olarak nitelendirilen kişiler bu davranışları kasıtlı olarak yaparlar, yani yaptığı eylemin zarar verdiğinin farkındadırlar.

Tarihi yerlerde, arkeolojik sitelerde ve müzelerde en sık görülen bir tahrip şekli, eserlere el ile dokunma sonucu oluşan kirli yağ tabakasıdır. Yine eserler üzerine kazıma yoluyla yazılar yazılması ve şekiller çizilmesi sıkça rastlanan, taş eserler üzerinde görülen diğer bir bozunma türüdür. Bazı ören yerlerinde eserlerin veya yapının ayrıntılarının çekilecek fotoğraflarında daha net ve görülebilir olması için söz konusu detayların boyalarla boyandığı veya tebeşir veya kömürle çizildikleri görülmüştür.

Değişik nedenlerle yapı taşlarının yerlerinden alınması,²⁷ kitabelerin kırılıp toz haline getirerek çimento harcının içine katılması, binaların aydınlatma ve ses tertibatı için kitabelerini delerek kordon geçirilmesi veya buralara hoparlör takılması günümüzde hâlâ gözlenen Vandalizm türündeki bozunma etmenleridir. Antik bir kentin bulunduğu yere yakın köylerde, köy evlerinde bu eski yapılardan sökülen mimari özellikleri olan taşların kullanıldığı sıkça rastlanan bir tahribat şeklidir. Bir mezar stelinin ortası delinerek çeşme haline getirilerek kitabesinin tahrip edildiği ya da yine bir mimari parçanın su yalağı yapıldığını görmek olasıdır.

Dünyanın her ülkesinde arkeolojik yerleşmelere ve tarihsel alanlara en çok zarar veren eylemin kaçak kazılar ve tahribatların olduğu söylenebilir. Tarihsel veya arkeolojik eser toplamanın, koleksiyonerliğin tarihçesi Roma İmparatorluğu dönemine kadar uzanmaktadır. Türkiye'nin de aralarında olduğu dünyanın birçok ülkesinde ticareti yapılan eski eserlerin önemli bir kaynağı kaçak kazılar, müze ve ören yeri soygunları ve talandır. Günümüzün define arayıcılarının tümülüs odalarını dinamit kullanarak havaya uçurması, sütunları, sütun başlıklarını ve heykelleri içinde define olduğu inancıyla balyozla parçalara ayırmaları sıkça görülen bir zarar verme şeklidir.

2.2.2.1.4. Savaşlar

Antropojenik kökenli bir bozunma etmenleri arasına, zaman içerisinde uluslararasıdaki anlaşmazlıklardan kaynaklanan silahlı savaşlar da dahil edilebilir. Dünyanın hemen her yerinde, savaş durumunda gerek hava akınları sırasında atılan bombalar nedeniyle ve gerekse top atışları nedeniyle tarihi yapıların, hatta anıtların gördükleri zararlar bilinmektedir. İsabet sırasında

²⁷ Bugün Alanya İçkale'deki “Adam Atacağı” denilen yerden denize taş atabilmek için ziyaretçilerin kale içindeki yapılardan taş söktükleri bilinmektedir.

fiziksel olarak kırılarak parçalanmalarının yanında, darbeler sırasında oluşan şokların neden olduğu kılcal çatlakların daha sonra diğer bozunma etmenlerinin de yardımıyla gelişerek çatlaklara ve yarıklara dönüşerek kırılıp parçaların düşmesi olasıdır.

Nitekim 19. yüzyılda Osmanlı-Rus savaşları, iki Balkan savaşı ve iç savaşların ardından Balkan ülkelerindeki Osmanlı mimari eserleri büyük bir tahribata uğramıştır. Yine aynı şekilde Kamboçya, Afganistan, Bosna, Irak²⁸ gibi ülkelerde hem yabancı güçlerin işgalinin, hem de iç çatışmaların yol açtığı kültürel tahribat ve kaos ortamının körüklediği talan fırsatları savaşların bir sonucudur.



Şekil 2.19. Hızır Bey Külliyesi Arastası'nın cephelerine dayanarak inşa edilen yeni yapılaşmaların oluşturduğu görsel bozunum.

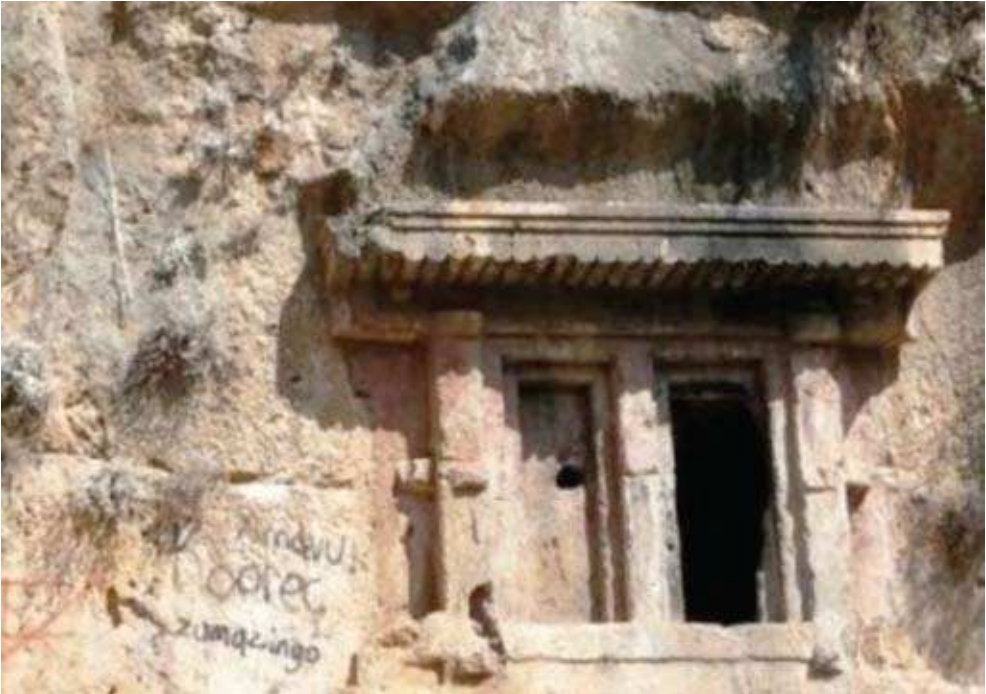
²⁸ Yağmacıların Bağdat Arkeoloji Müzesine saldırarak yağmaladıkları ve salonlara dalarak tahrip ettikleri, salonlardaki heykellerin devrilerek kırıldığı bilinmektedir.



Şekil 2.20. Eserlerdeki ayrıntıların fotoğraf çekerken daha net görülebilmesi için boyanması, bozunmanın bir türü olan Vandalizme bir örnektir.



Şekil 2.21. Bogota (Kolombiya) şehir merkezindeki San Francisco Kilisesinin dış cephesindeki grafiti kirliliği.



Şekil 2.22. İnsanların bilinçli olarak iz bırakmak amacıyla yazma yoluyla eserlere verdikleri zararlar özellikle kontrol mekanizmasının çok az olduğu veya hiç olmadığı ören yerlerinde büyük boyutlara ulaşabilmektedir.



Şekil 2.23. Giriş kapısının fark edilmesini sağlamak amacıyla, "güzel" gözükmesi için amatörce restorasyon denemeleri de yine insan kaynaklı bozunmalar olarak nitelendirilmektedir (solda). İstanbul Sultanahmet'te bir Osmanlı çeşmesinin, duvarlarına uygulanan grafitilerin sonucundaki görsel bozunmalar.

2.2.2.2. İnsanın Dolaylı Olarak Verdiği Zararlar

2.2.2.2.1. Hava Kirliliği

Atmosferdeki kirliliğe neden olan çeşitli maddeler, yeryüzünde var olan hemen hemen bütün canlı ve cansız varlıklar üzerinde zararlı etkilere neden olmaktadır. Bu cansız varlıklar içerisinde yer alan anıtlar ve yapılar da, atmosferik kirliliğinin etkilerinden önemli ölçüde zarar görmektedir.

Taştan yapılmış anıtların ve yapıların bozunmasında; farklı tip hava kirleticiler, iklimsel bileşimler, mikrobiyolojik faktörler, metal oksitlere benzer katalizörler, kil mineralleri, SO_2 , NO_x ve organik maddelerin hazır bulunmasının önemli rol oynarlar.

Hava kirliliği temel olarak volkanik patlamalar, orman yangınları gibi *doğal kaynaklardan* ve insan aktivitelerine bağlı olarak oluşabilen *yapay kaynaklardan* meydana gelmektedir. Aşırı kentleşme, endüstri ve taşıt araçları, yeşil alan azlığı, ısınmak için kullanılan kömür gibi yakıtların kalitesinin düşüklüğü ve tekniğe uygun yakılmaması, hava kirliliğinin başlıca nedenlerindedir.

Hava kirliliğine yol açan kaynaklar temel özellikleri bakımından iki ana grupta ele alınabilir. Bunlar doğal hava kirliliği kaynakları ve insan kökenli (antropojenik) hava kirliliği kaynaklarıdır. Bu iki tür içerisinde insan kökenli olanı daha etkin olanıdır.

Doğal hava kirliliği kaynakları, volkanlar, tozlar orman yangınları, okyanus aerosolleri ve buharlaşma gibi faktörlerden oluşur. Bunların dışında, okyanusların ve denizlerin üzerindeki tuz aerosolleri oluşumlarının rüzgâr ve buharlaşma ile atmosfere karışması ve orman alanlarındaki fotokimyasal reaksiyonlar sonucunda hidrokarbonların açığa çıkması da önemli doğal hava kirliliği kaynakları içerisinde ele alınabilir. Atmosfere kükürt sadece insan kaynaklı değil doğal işlemler sonrasında da atılabilmektedir, günümüzde en önemli doğal kükürt kaynağının denizlerdeki biyolojik işlemler sonrasında atmosfere yayılması yoluyla olduğu bilinmektedir.

Hava kirleticilerini birincil ve ikincil olmak üzere iki grupta toplamak mümkündür. Birincil kirleticiler, kaynaktan direkt olarak atmosfere verilenler, ikincil kirleticiler ise birincil kirleticilerle atmosferde bulunan birtakım kimyasal maddelerin reaksiyonu neticesinde ortaya çıkanlardır.

Özellikle kükürt oksitler (SO_x) ve azot oksitler (NO_x) gibi birincil kirleticiler olarak nitelendirilen maddelerin yağmur suyu, kar, nem, rüzgâr, güneş ışığı ve radyasyonu ile don olayı gibi atmosferik parametrelerin de yardımıyla birleşmesi ve farklı kimyasal reaksiyonların katalizör etkisiyle yapı malzemelerine olan etkileri agresif bir yapıda olur ve zamana bağlı olarak da doğal taş yapı malzemeleri üzerindeki bozunmaların gelişimini gözle görünür boyutlara taşır. Söz konusu bu kirleticiler (kükürt oksitler ve azot oksitler), doğal taşlar üzerine gaz şeklini içeren *kuru çökeltme mekanizması* ve sulu (asitik) şekli içeren *ıslak çökeltme mekanizması* olmak üzere iki farklı yoldan ulaşır ve taşlar üzerinde kimyasal reaksiyonların gelişimini başlatır (Gökaltun, 1999).

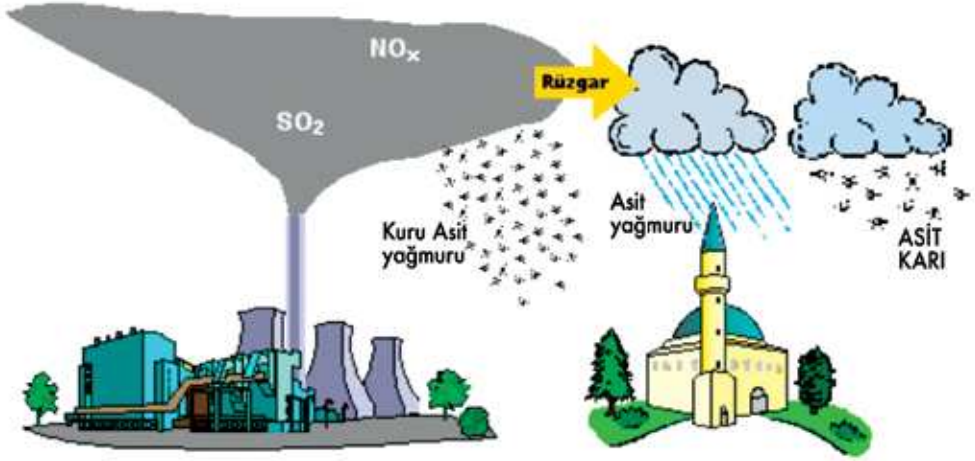
Özellikle karbonatlı kayaçlar üzerinde olumsuz etkileri gözlenen belli başlı kirleticiler SO_2 , NO_x , organik asitler, Cl, asit yağmurları, CO_2 ve partikül maddelerdir. Farklı şekillerde malzeme üzerine ulaşan ve burada biriken atmosferik kirleticiler, malzeme özellikleri, iklimsel koşullar gibi birçok etkenlerinde yardımıyla taş anit ve yapıların bozunmasına neden olurlar.

İnsan faaliyetleri sonucunda oluşan yapay kirlilik kaynakları iki şekilde sınıflandırılır. Bunlar, ısınma ve üretim amaçlı faaliyetlerin yapıldığı yerler olan *sabit kaynaklar*; diğeri ise taşımacılık amacı ile kullanılan araçların neden olduğu *hareketli kaynaklar*'dır. Diğer bir sınıflandırma ise *nokta kaynaklar* ile *alan kaynaklar* şeklinde yapılabilir. Evsel kaynakların hâkim olduğu kentsel alanlardaki bacalar ve taşıt egzozları "alan kaynaklar"ı, büyük endüstriyel tesisler ise "nokta kaynaklar"ı meydana getirir.

Yapay kaynaklardan oluşan kirliliği etkileyen değişik faktörler vardır. Bunlar arasında "meteorolojik faktörler" adı altında, sıcaklık, basınç, yağış, rüzgâr, nem ve güneş radyasyonundan söz edilebilir. Yapı ve anıtların bulunduğu yerin coğrafi konumu ve topografik yapısı da ayrı bir faktördür. Hâkim rüzgârlara açık olmayan alanlar üzerinde yeterli hava hareketleri olmayacağından, hava kirlenmesinin daha da artması söz konusu olabilmektedir. Kırsal kesimlerden kentlere aşırı göçün getirdiği plansız yerleşiminde bir sonucu olarak, yeşil alanların zaman içinde önemli ölçüde azalması söz konusudur ki bu da hava kirliliğini etkileyen ayrı bir faktör olarak ortaya çıkabilir. Hava kirliliğini etkileyen faktörlerin en önemlisini ısınma veya ulaşım amacı ile kullanılan yakıtların kalitesi teşkil eder. Kullanılan yakıt ve proseslere yönelik uygun teknolojilerin kullanılmaması ise kirliliği etkileyen diğer bir etmendir.

Hava ortamındaki asitlilik çok büyük oranla temel kirlenmeler olarak kabul edilen kükürt ve azot oksitlerden meydana gelmekte ve bu türler endüstriyel faaliyetler, ulaşım ve yanma işlemleri sonrasında atmosfere yayılmakta ve sonrasında dış ortamlardan iç ortamlara taşınmaktadır. Müze ve tarihi binaların iç ortamlarında sergilenen veya depolanan eserlerin ayrışmasına neden olabilecek kirlenici türleri genel başlıklar altında kükürt dioksit, azot dioksit, ozon, hidrojen sülfid, formik asit, formaldehit, asetik asit ve partikül madde sayılabilir. Bu kirlenicilere ek olarak bir dizi özel organik ve inorganik kirleniciden de söz edilebilir.

Atmosferde bulunan ve özellikle fosil kaynaklı yakıtların yakılması sonucunda ortama yayılan azot ve kükürt oksitleri atmosferik nemin etkisi ile asit forma dönüşürler. Özellikle sanayinin yoğunlaştığı bölgelerde çeşitli yanma olayları sonucu havaya karışan SO_3 , CO_2 gibi gazlar yağmur veya havanın nemi ile birleşerek sülfürik asit (H_2SO_4), nitrik asit (HNO_3), sülfüroz asit (HSO_3) vb sülfürik ve karbonik asitlerin (H_2CO_3) oluşmasına neden olarak asit yağmurları şeklinde taşın yüzeyinin çözülüp aşınmasına, ufalanma ve kirlenmeye neden olmaktadır.



Şekil 2.24. Asit yağmurlarının oluşum şekli.

Asit yağmurları, son yıllarda etkisini hissettirmeye başlayan, meteorolojik olaylarla atmosferden yeryüzüne inen ve eski eserler üzerinde olumsuz etki bırakan kirlenici elementler içeren yağmurlar olarak bilinir. Endüstriyel faaliyetler, konutlarda ısınma amaçlı olarak kullanılan fosil yakıtlar, motorlu taşıtlardan çıkan egzoz gazları ve fosil yakıtlara dayalı olarak enerji üreten termik santraller, bu faaliyetleri sonucu havayı kirlenmekte ve kükürt dioksit, azot oksit, partikül madde ve hidrokarbon yaymaktadır. İki ile yedi gün arasında havada asılı kalabilen bu kirleniciler, atmosferde çeşitli kimyasal ve fiziksel reaksiyonlara uğrayarak, zaman zaman çok uzaklara taşınabilmekte ve atmosferdeki su partikülleri ve diğer bileşenlerle tepkimeye girerek kirlenici maddelerin oluşumuna neden olurlar. Bunların yeryüzüne geri dönüşleri yaş ve kuru asit depolanması sonucu olur.

Yaş depolamada atmosferde oluşan bütün ürünler, yağmur ve kar içinde çözülmüş halde yeryüzüne taşınırlar. Bu çerçevede belirtildiği gibi, yalnız yağmur değil, diğer bütün yağış biçimleri

de asidik olabilmektedir. Yaş birikme, kükürt dioksitin (SO_2) derişimine, atmosferdeki konumuna, yağmur damlacıklarının büyüklüğüne ve pH'ına bağlıdır.

Kentsel atmosferik ortamlarda son derece aktif ve yüksek oranlarda bulunan kükürt oksitler (SO_x) ve azot oksitler (NO_x), yağmur veya kar yağışının olmadığı ortamlarda, rüzgâr ve türbülans etkileri ile atmosferden, taş yüzeyine gaz şeklinde ulaşır ve yüzey üzerinde birikir. *Kuru çökme* olarak adlandırılan bu olayda atmosferik kirleticilerin gaz biçiminde taş yüzeyine ulaşmasında ve bozunmaların oluşumunda; yağışsız sürenin uzunluğu, güneş ışığının parlaklığı, rüzgâr hızı, çiy, sis ve bağıl nemlilik gibi atmosferik faktörler, atmosferik kirletici konsantrasyonunun durumu ve miktarı, O_2 (oksijen) ve O_3 (ozon) gibi katalizörler, taşın karakteristik özellikleri, su emme oranı, pürüzlülük ya da gözeneklilik gibi taş yüzeyinin doğal yapısı, taşın bünyesinin ya da yüzeyinin nemliliği son derece önemlidir. Kuru depolamada, atmosferdeki partiküllerin ve gazların yeryüzüne taşınması esnasında yağmur veya kar bulunmaz, sis içinde aerosol şeklinde bulunurlar. Kirleticilerin eserler üzerindeki kuru birikimi, atmosferik sürece ve birikmeye başlayan kirletici türlerinin kimyasal özelliklerine bağlıdır. Taş üzerindeki kükürt dioksit birikiminde, taş yüzeyindeki nem kadar ortamdaki bağıl nem düzeyi²⁹ oranının da önemi vardır. Ayrıca gün ışığı, rüzgârın hızı ve taşın kendi doğal yapısı da kirlilik konsantrasyonuna etkili olabilmektedir.

Gaz halindeki kirleticilerin yağmur suyu, bağıl nemlilik, sis veya bulutların içindeki su damlacıkları ile birleşip çözünmesini içeren bir kimyasal oluşum olan *ıslak çökme* ise, kirletici maddelerin atmosferdeki mutlak konsantrasyonunu ve atmosferdeki yerini, damlacık boyutlarını ve pH'ını kapsar. Bu mekanizmaya göre, kükürt oksitler ve azot oksitler gibi kirleticilerin kimyasal bir reaksiyonu sonucu dönüşüme uğraması ile meydana gelen sülfürik asit (H_2SO_4) ve nitrik asit (HNO_3), taş yüzeyine damlacıklar halinde etki ederek veya çok ince bir su tabakasının bulunduğu yüzey üzerinde biçimlenerek, doğal taşların üzerinde bozunmaların gelişimini başlatır.

Bir diğer kirletici olan azot oksidin taş üzerindeki etkisinin sıkça görülmemesinin nedeni, bozunma ürünlerinin³⁰ çözünürlüğünün yüksek olması yüzünden taş yüzeyinden iklimsel faktörlerin yardımıyla hızlı bir şekilde temizlenmesidir.

Atmosferde bulunan çok küçük katı parçacıklarına ve sıvı damlacıklarına verilen isim olan **partiküllerin**³¹ taş yapı ve anıtlardaki olumsuz etkileri daha azdır. Gözle görülebilecek kadar büyük tozlardan birçok filtreden geçebilecek mikroskobik partiküle kadar çok geniş aralıkta parçacık boyutlarını kapsayan partikül maddelerin neden olduğu bozunma, biriktiği kayacın türüne, taştaki birikim oranına ve partikül içeriğine bağlıdır. Bazı durumlarda partikül tanecikleri, karbonatlı kayaçlardaki jips oluşum sürecinde, kirleticilerin oksidasyonunda katalizör rol oynamaktadırlar.

Petrol ve kömür yakan elektrik santralleri partikül maddenin en büyük nokta kaynaklarıdır.

²⁹ Bağıl nemin %80 üzerinde olduğu durumlarda SO_2 gazının kireçtaşı ile reaksiyonu artar.

³⁰ Kalsiyum nitrat ve diğer bozunma ürünleri.

³¹ Saf su damlacıkları hariç.

Partiküllerin başlıcaları sis, duman, toz ve istir. Sisli veya puslu havadaki çok küçük su kürecikleridir. Bunlardan bazıları havadaki su buharının yoğunlaşmasıyla, bazıları da deniz suyunun sıçramasıyla meydana gelir. Duman (tütsü), inorganik ve organik buharların havada yoğunlaşması sonucu oluşurken is (smoke), yanma sonucu meydana gelen siyah parçacıklardır ve ise "kurum" adı da verilir. Toz, büyük katı maddelerin ufalanmaları sonucu meydana gelen parçacıklardır. Atmosferde, bu sözü edilen cansız partiküllerin yanında canlı partiküller de vardır.

Müze gibi kapalı alanlarda depolanan ve sergilenen eserleri tehdit eden diğer bir bozunma faktörü ise iç ortam hava kirleticileridir. Bunun için, müze içerisindeki eserlerin sergilendiği veya depolandığı çevrelerin mikro-çevreden makro-çevreye kadar incelenmesidir. Makro-çevre, müze binasının iç ve dış ortamlarına entegre olarak ele alan çevre, mikro-çevre ise eserlerin saklandığı veya sergilendiği vitrin, kabin ve çekmeceler olarak düşünülebilir. Tarihi yapılarda belirli düzeylerde bu tip kirleticilerin varlığı günümüzde yapılan birçok çalışma ile ortaya konulmuştur. Önceki çalışmalarda asidik gaz türlerinin kapalı müze ortamında dış ortamlardan daha yüksek seviyelere çıktığı ortaya konmuştur. Özellikle mermerden yapılmış bazı eserlerin yüzeylerinde SO_2 gazının kalsit ile girdiği etkileşim sonrasında jips oluşumu gözlemlendiği ve mermerden yapılmış eserlerin bu yolla önemli bozunma gösterdiği iyi bilinmektedir (Katsanos vd, 1999).

Çok iyi bilinen bu etkinin yanı sıra iç ortamlarda bulunan SO_2 kirleticisi hemen hemen tüm malzemeler üzerinde belirgin hasar ve bozunmalara neden olabilmektedir. Bilinen temel kirleticilere ilave olarak aldehitler ve organik asitler de müze ortamlarında eserler üzerinde deformasyona neden olan kirleticilerdir. İç ortamlarda gözlenen aldehit ve organik asitlerin temel kaynakları olarak, vitrin ve iç ortamın dekorasyonunu imalatı esnasında kullanılan ahşap malzemeler, yapıştırıcılar, cila ve parlaticıların yanında değişik boya malzemeleri belirlenmiştir (Gibson vd, 1997).

Doğal taş yapı malzemelerinin bozunmasındaki en önemli etken, taşın içerdiği kalsiyumun oranı ile ilgilidir.³² Kireçli ya da killi kumtaşları saf yağmur suyundan bile etkilenip çözülebilirken, silikat veya demir içeren türleri, asitlere veya suya karşı oldukça dayanıklıdır. Yapılarda yoğun biçimde kullanılagelmiş olan kireçtaşlarının bazı türleri, atmosferik ortam içinde biçimlenen sülfürik asit ve nitrik asit gibi asitler ile reaksiyona girdikleri halde, bazıları ise çok olumsuz koşullar altında bile büyük bir dayanım gösterir (Gökaltun, 1999). Ancak buna rağmen kireçtaşları, atmosferik kirleticilerden en çok etkilenen ve zarar gören yapı taşlarıdır. Sert bir magmatik kayaç türü olan granit, yapısında kalsiyum bulunmadığı için, hava kirliliğinden oldukça az zarar görürler. Buna rağmen hava kirliliğinin olumsuz bir sonucu olarak granitten yapılmış anıtlarda, renk değişimleri olabilir³³ ve hatta granitin içindeki demir bileşenlerinin bozularak ayrılmasının bir sonucu olarak da pas lekelenmeleri görülebilir.

³² Örneğin kalsiyum içeren kalsitler ile hem kalsiyum, hem de magnezyum içeren dolomitlerin gösterdiği direnç ve aşınmalar arasında büyük farklılıklar olabilmektedir.

2.2.2.2. Turizm

Beraberinde getirdiği ekonomik kazançla olumlu etkilere sahip olduğu kabul edilmekle beraber eski yapı ve sitelere gelen turizm aracılığıyla yoğun ziyaretçi topluluklarının neden olduğu bozunma, bazı durumlarda küçümsenmeyecek ölçülere varabilmektedir. Aşırı ziyaretçi akınları eski binalarda yapısal yorgunluğa neden olmakta ve fiziksel olarak taş döşemelerin ve basamakların erozyona uğrayarak aşınmasını sağlamaktadır. Yine turizm etkinliklerinin bir sonucu olan içecek ve yiyecek paketlerinin çevreye atılması, insanların fotoğraf çektiirmek için tehlikeli yerlere tırmanması ve eser kalıntılarının üzerine basarak kırılmalarına yol açılması çoklukla gözlenmektedir.



Şekil 2.25. Turizme açık olan ören yerlerinde sıkça görülen ve özellikle insanların neden olduğu bir bozunma türü örneği (Kolombiya).

³³ Bazı gri granitler, sarı veya kahverengiyeye dönüşebilir.

3. BÖLÜM: AYRIŞMA TÜRLERİ

Taştan yapılmış anıt eserlerin ve yapıların korunmasında dünya çapında büyük çabalar sarf edilmektedir. Uzmanlar etkili ve ekonomik taş anıt-eser korumasının, ayrışma durumunun ayrıntılı ve güvenilir bir gözlemi gerektirdiğini kabul ederler. Kayıt, belgeleme ve bozunmanın değerlendirilmesi, taş eser ayrışma durumunun saptanmasında önemli parçalarını temsil ederler.

Bir anıtın bozunma durumu, türü, yoğunluğu ve dağılımı ile karakterize edilir. Bu özellikler ise değişik metodolojiler ve ayrıntı düzeyleri kullanılarak belgelenebilir. Çok uygun bir araştırma yöntemi olarak kullanılagelmekte olan bozunma durumu haritalaması ile ayrışma biçimlerinin sınıflandırılması yoluyla taş eserlerin yüzeyi incelenerek fenomenolojik olarak açıklanabilir.

3.1. AYRIŞMA SONUÇLARI

Kayaçların hammadde olarak kullanıldığı eser ve yapılarda, doğal veya yapay ayrışma sonucu oluşan bozunma, iklim, taş türü, organizma, topografya ve zaman etkenlerine bağlıdır. Oluşumda tüm bu etkenler az veya çok oranda katkı sağlar. Bu faktörler içerisinde ise iklim en belirleyici rolü oynar.

Daha çok iklimsel faktörlerin³⁴ etkisiyle oluşan bir bozunma olan ayrışma taşların yüzeylerindeki yıpranma ve erimelerdir. Kayaçların yapısına ve etki altında kaldıkları olumsuz faktörlere bağlı olarak yüzeysel ve derin (birkaç mm'den birkaç cm'ye kadar) aşınma olmak üzere farklı şekillerde oluşumlar izlenmektedir.

Yosun, liken ve algler taş yüzeyinde değişik renklerde kabuk ve lekeler şeklinde fark edilebilir. Taş minerallerini kullanarak toprak oluşumunu da sağlayan bu mikro bitkiler yüzey yapısının bozunmasına, mikro çatlakların büyümesine yol açmaktadırlar. Yosun, liken ve algler nemli ortamlarda artarak taş eserin tüm yüzeyini kaplayabilirler taş eserde lekelenme ve oyulma gibi etkiler gözlenir.

Taş eserlerin yüzeylerinde farklı yoğunluklardaki yüzeysel birikim, atmosferik kirlenmenin neden olduğu siyah tabaka ve leke gibi farklı etkenlere bağlı olarak sonradan oluşmuş kirlen-

³⁴ Yağmur, kar, rüzgâr vs.

meler görülebilmektedir. Atmosferik kirlenmenin neden olduğu bozunma sonucunda eğer taş eser kapalı bir alanda ise taş bünyesinde çatlama, korozyon ve kabuklanma, eğer taş eser açıkta ise taş bünyesinde çatlama ve sonrasında kırılma, korozyon ve kabuklanmanın yanında ayrışma ve kavlanma görülür. Rüzgârın da yardımıyla havadaki tozların neden olduğu bozunma sonucunda taş eser yüzeyinde aşınma, kirlenme, lekelenme, ayrışma ve tanelenme oluşur.

Atmosferde oluşan gaz ve partikül haldeki azot, kükürt, nitrat gibi kirli bileşikler zamanla yüzeyde birikerek kabuk formasyonlarını oluşturmaktadır. Taş yüzeylerindeki bu birikim kar ve yağmur yoluyla oluşan nemli ortamda reaksiyona girip asidik bir etki yapmakta ve taşın esas bileşenlerinden kalsiyum karbonatı (kireç) jipse (alçı) dönüştürerek aşınmayı hızlandırmaktadır. Bozunmayı hızlandıran bu kir tabakalarının uygun yöntemlerle temizlenmesi, özgün renk ve dokunun ortaya çıkması bakımından da önemlidir. Uygun yöntem, bir koruma uzmanı denetiminde yapı üzerinde gerçekleştirilecek bir dizi deneme uygulamasından sonra belirlenmelidir.

“Yüzeysel kirlenme” toz, toprak gibi ortamda var olan kirlenme maddelerinin zaman içinde malzeme üzerinde birikmesiyle oluşan basit kirlenmedir ve eserlerin yüzeyinde değişik kalınlık ve yoğunluktaki tabaka oluşumu olarak gözlenir.

Nemin neden olduğu bozunma sonucunda taş bünyesinde eğer taş eser kapalı bir alanda ise çözünme, tuz kristalleşmesi, yüzeyde çatlama ve sonrasında kırılma, ufalanma ve kavlanma gibi etkiler, eğer taş eser açıkta ise donma nedeniyle bünyesinde çözünme ve ayrışma, yüzeyde ufalanma, tuz kristalleşmesi ile tozuma gözlenir.

3.2. AYRIŞMA BİÇİMLERİNİN SINIFLANDIRILMASI

Ayrışma biçimlerinin sınıflandırılması çalışmaları kapsamında, değişik türdeki eserlerde gözlenen bozunma durumu anıt haritalaması metodu ile ayrıntılı olarak gösterilebilir. Bu konudaki çalışmaların temelini, Geologischen Institut der RWTH Aachen'daki “Natursteine und Verwitterung”³⁵ Araştırma Grubu'nun geliştirdiği, fenomenolojik ayrışma kriterlerin, eserler üzerindeki ayrıntılı analizleri ve belgelenmesi yoluyla oluşturmaktadır (Fitzner vd, 1992, 1995, 1997; Fitzner 2002, 2004; Fitzner -Heinrichs 2002, 2004, 2005).

Anıt haritalaması,³⁶ arkeolojik eserler ile tarihsel yapı korumacılığında konservasyon işlemlerinden önce, esere zarar vermeden uygulanan bir metod olup ayrışma durumu bilgileri içeren bir çalışma şeklidir. Uygulama, Geologischen Institut der RWTH Aachen'daki “Natursteine und Verwitterung”³⁷ Araştırma Grubu'nun geliştirdiği, fenomenolojik ayrışma kriterlerinin eserler üzerindeki ayrıntılı analizleri ve belgelenmesi yoluyla, yıllar süren bir araştırmalar sürecinin sonucudur.

Yüksek bir duyarlılık oranıyla gerçekleştirilebilen bir sistem olan anıt haritalama metodu, eserler ve bina cephelerinde yapılan gözlemlerle, üzerinde değişik türde ayrışma formları

³⁵ Doğal taşlar ve ayrışması.

³⁶ Almanca “Kartierung” sözcüğünün karşılığı ve İngilizce “mapping” sözcüğünün çevrimi olarak bu Türkçe karşılık uygun görüldü.

³⁷ Doğal taşlar ve ayrışması.

saptanarak çizimler yoluyla veya fotoğraflar yardımıyla gösterilmesidir. Üzerinde bozunma durumunu gösteren eser çizimi için temel olarak arazide *in situ* çekilmiş dijital fotoğraflar kaynak olarak kullanılmaktadır. Yıllardır süregelen deneyimler anıt haritalamasının taş anıt-eserlere uygulanan güvenilir bir yöntem olduğunu göstermiştir. Uluslararası platformda da kabul edilen bu sistem, taş yapı ve eserlerdeki ayrışma fenomeninin kesin bir sınıflandırılmasını, kaydını, belgelenmesini ve değerlendirilmesini ortaya koyarak bozunma durumlarının kalitatif (nitel) ve kantitatif (nicel) olarak değerlendirilmesidir. Tüm taş tipleri ve taştan yapılmış anıtlara uygulanabilen metod, taş eserin tüm yüzeyinin ayrıntılı bir bilgisini sunmaktadır.

Ayrışma biçimlerinin sınıflandırılması, değişik türdeki kayaların incelenmesi sonucunda bir tablo halinde sunulmuş ve günümüzde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu standart sınıflandırma sistemi, ayrışma biçimlerinin ayrıntılı olarak açıklanarak her ayrışma formunun bir sembol ile gösterilerek ayrışmanın yoğunluğuyla birlikte bir atlas halinde gösterilmesi esasına dayanmaktadır. Bu sınıflandırma sisteminde, ayrışma biçimleri hiyerarşik olarak ilk aşamada 5 büyük grup halinde verilmektedir (Fitzner, Heinrichs, Kownatzki 1992, 1995, 1997; Fitzner, 2002, 2004; Fitzner, Heinrichs, 2002, 2004, 2005; ICOMOS 2008).

- Çatlaklar / Deformasyon
- Ayrılma / Eksilme
- Materyal kaybı
- Renk değişimi / Birikme
- Biyolojik yerleşim

Yukarıdaki 5 büyük ana ayrışma grubunu tamamlayıcı formlar olarak, 33 ayrışma biçiminden oluşan bir ikinci seviye ile 36 alt sınıf ayrışma biçiminden oluşan üçüncü bir seviye ile sınıflandırılma tamamlanmaktadır. Bunlara ek olarak individual ayrışma biçimi farklılıklarına bağlı olarak, ayrışma yoğunluğu dördüncü bir nivel olarak gösterilmektedir.

Ayrışma derecesinin yoğunluğu, eserlerin bozunma durumunun anlaşılmasında önemli bir ölçüt olarak, eserlerdeki bozunmanın görsel olarak ölçüm metodları kullanılarak veya tahmin edilmek suretiyle yapılan araştırmalar anlaşılmaktadır. Taşta oluşan materyal kaybının orijinal taş yüzeyinden itibaren derinliği, kırık bölümün hacmi, taşta oluşan tabakalaşma veya kabukların kalınlığı ile çatlakların genişliği, ölçülebilir bozunma parametreleri olarak örnek gösterilebilir. Taş yüzeyindeki kumlanma, ufalanma, renk değişiminin niteliği, tuz kristallenmesinin miktarı ve taş yüzeyindeki biyolojik kolonizasyon ise tahmin edilmek suretiyle yapılan gözlemlere örnek olarak gösterilebilir.

Ayrışma formları, ayrışmaya neden olan etmenlerin doğal taş yüzeyinde oluşturdukları bozunmanın bir sonucudur. Türünün saptanmasının çok kolay olmadığı ayrışma sürecinin ortaya konulması, bozunma nedenlerinin genetik ölçütlerle tamamlanması gereken geometrik-fenomenolojik esaslara dayanmaktadır (Kownatzki, 1997). Bunlar arasında, taş işlenirken oluşan mikro çatlaklar, taş oluşumundaki doğal nedenler, antropojenik etkiler ve biyojenik etkiler sayılabilir.

3.3. SINIFLANDIRMA ÖĞELERİ

Ayrışma biçimlerinin sınıflandırılması, uygun bir terminolojiyle kullanılabilen kavramları içeren bir belgeleme sistemi ile yapılması gerekmektedir. Uygun bir hiyerarşik düzenleme ile sıralanan bu kavramlar topluluğu, ortak bir ayrışma terminolojisi kullanılmasına izin veren, eski eser korumacılığına çok büyük katkılar getirecek olan yeni bir disiplinin uluslararası platformda kabul edilmesine olanak sağlamaktadır.

Sonrasında, bu ayrışma ölçütlerini tamamlayıcı nitelikteki ayrışma yoğunluğunun derecesini belirterek taştan yapılmış eski eserlerdeki bozunmanın belgelenmesi ortaya konulmuş olacaktır.

Eski eserlerde gözlenen bozunmayı ortaya koyabilmek için, kullanılan ölçütlerin saptanmasında, ayrışma biçimi, ayrışma türü ile ayrışma biçim farklılıkları göz önüne alınmaktadır. "Ayrışma biçimleri" adı altında, taştaki çatlak oluşumu ve bükülmeler, yüzeyden materyal ayrılması, materyal kaybı, taştaki renk değişimi ve yabancı materyal birikmesi ile mikroorganizma ve bitkilerin neden olduğu biyoalterasyon anlaşılmaktadır. Sözü edilen bu ayrışma biçimlerinin çok genel kalması durumunda ayrıntıların yer aldığı alt sınıf tanımlamalarına gidilmektedir. Çatlaklar ve bükülme ana sınıfı altında kırıklar, yıldız şeklindeki çatlaklar, kılcak çatlaklar, yüzeysel çatlaklar ve yarık halindeki bozunmalar yer almaktadır. Yüzeyden materyal ayrılmasını kapsayan ana bozunma sınıfının alt sınıflarını ise kabarma, patlama, tabakalaşma, dağılma, parçalanma, soyulma ve kabuklaşma terimleri ile belirtilen bozunma türleri yer almaktadır. Taştan değişik yollarla materyal kaybının alt sınıflarını ise alveolar ayrışma, aşınma, mekanik nedenlerle taşta oluşan hasarlar, mikrokarst oluşumu, kayıp parçalar ve delinme gibi bozunma türleri oluşturmaktadır. Taş yüzeyinde gözlenen renk değişimlerini ve yabancı madde birikimini belirten ana bozunma sınıfının daha fazla ayrıntı içeren bölümlerini kabuk oluşumu, yığılma, taş yüzeyinde oluşan çeşitli türdeki renk değişimleri ile renk açılması, lekeler, tuz kristallenmesi, kabuklar halinde ayrılma, taş yüzeyinde film ve patina oluşumu, kullanımdan dolayı gözlenen parlama, kirlenme ve kabuk altı çiçeklenmesi gibi terimler ifade eder. En son olarak biyobozunum olarak nitelendirilen canlıların neden olduğu ana sınıfının alt sınıflarında da algler, likenler, yosunlar, mantarlar ve yüksek bitkilerin neden olduğu bozunumlar yer alır.

Ayrışma olgusunun diğer özelliklerini belirtmek için ise, materyal kaybı ve taş çözünmesi; taştan materyal kaybında, çözünmesinde ve deformasyonunda etkinlikleri olan yapı içeriği ile tekstürü ele alınmaktadır. Özet olarak, ayrışma biçimlerini tanımlamak için çok çeşitli tanımlama olanakları kullanılmaktadır. Bu tanımlara ek olarak da tamamlayıcı bir sınıflandırma olarak, ayrışma yoğunluğu kesinlik / tamlık derecesine göre, kantitatif bir değerlendirme ölçütü olarak yukarıdaki gruplandırmalara eklenmektedir.

Ayrışma türleri olarak da aşınmış taşın yüzeyin morfolojisi, taşın yüzeyinde birikmiş materyalin morfolojisi, çözünmüş materyalin biçim ve türü ile taş deformasyonunun tipi anlaşılmaktadır.

3.4. AYRIŞMA FORMLARI VE TANIMI

Taşların farklı ayrışabilirlik özelliklerine bağlı olarak ayrışma formları ve tanımları, ortak bir terminoloji kapsamında türü, biçimi ve çeşitliliği ölçütleri kullanılmak yoluyla, ayrışma formlarının

sınıflandırılması yoluyla yapılabilmektedir. Bunların yanında, ayrışma yoğunluğunu belirtmek üzere 1'den 5'e kadar değişen nümerik sistem kullanılmaktadır. Ayrışma formlarıyla ilgili tanımlamalar, önceki çalışmalardan yararlanılarak yapılmıştır. Uluslararası ortak terminolojide dil birliği sağlanması amacıyla, tercüme yapılırken en uygun Türkçe karşılıklarının seçilmesine özen gösterilmiştir. Jeolojik anlamda bir ayrışma terminolojisinin varlığı biliniyor olmasına rağmen, bu terminolojiyle arkeolojik anlamdaki eski eser bozunmasının açıklanması da gerektiğinden yeni sözcüklerin de bu ayrışma veya bozunma terminolojisine eklenmesi zorunluluğu doğmuştur.

Ayrışmanın genel bir sınıflandırılması aşağıda özet olarak verilmektedir (Fitzner & Heinrichs 1998; Kownatzki & Fitzner 1999; Fitzner & Heinrichs 2004; ICOMOS-ISCS, 2008):

1. Çatlaklar & Deformasyon
1.1. Çatlaklar
1.1.1. Kırık
1.1.2. Yıldız şeklindeki çatlak
1.1.3. Kılcal çatlak
1.1.4. Yüzeysel çatlak
1.1.5. Yarık
1.2. Deformasyon
2. Ayrılma / Eksilme
2.1. Kabarma
2.2. Patlama
2.3. Tabakalaşma
2.4. Dağılma
3. Materyal kaybı
3.1. Alveolar ayrışma
3.2. Erozyon
3.2.1. Diferensiyal erozyon
3.2.2. Yuvarlaklaşma
3.2.3. Pürüzlenme
3.3. Mekanik hasar
3.3.1. Darbe hasarı
3.3.2. Kesme
3.3.3. Çizme
3.3.4. Aşınma
3.3.5. Delinme
3.4. Kayıp parça

3.5. Tozuma
3.6. Kırıntılanma
4. Renk değişimi / Birikme
4.1. Kabuk oluşumu
4.2. Birikme
4.3. Renk değişimi
4.3.1 Renklenme
4.3.2. Renk açılması
4.3.3. Nemli alanlar
4.3.4. Leke
4.4. Çiçeklenme (Tuz kristallenmesi)
4.5. Parlak görünüş
4.6. Grafiti
4.7. Kirlenme
4.8. Kabuk altı çiçeklenmesi
5. Biyolojik Yerleşim
5.1. Alg
5.2. Liken
5.3. Yosun
5.4. Mantar
5.5. Bitki

Tablo 3.1. Ayrışmanın özet olarak sınıflandırılması.

3.4.1. Çatlaklar / Deformasyon

Bu ayrışma grubu adı altında, taşta eklenen bir materyal veya taştan bir eksilme söz konusu olmadan, taşın kendi yapısında oluşan değişimler sonucundaki ayrışma türleri ele alınmaktadır. Genel olarak “çatlaklar” ve “deformasyon”³⁸ olmak üzere iki ayrışma formu halinde gözlenir.

3.4.1.1. Çatlaklar

Birçok doğal taşta tozu ve nemi içine çeken, taş yüzeyini ve kesitini çaprazlamasına geçen ince, kılcal çatlaklar bulunmaktadır. Bununla birlikte taşta çeşitli nedenlerden dolayı oluşan ince ve küçük (kılcal), tek çatlak veya çatlaklar sistemi yine bir ayrışma türü olarak nitelendirilmektedir. Bazı taşlar gözle görülür belirgin çatlakları olmamasına rağmen kırılabilirlik eğilimi gösterirler. Bu çatlaklar bazen taş yapısını izleyerek bazen de taş yapısından tamamen bağımsız olarak ge-

³⁸ Şekil değişikliği veya bükülme de denilebilir.

lişerek eserlerde kırılmaya neden olur. Taş yüzeyinde bozunma sonucu olarak görülen çatlaklar sistemi ya doğal nedenlerden dolayı ya da taşın işlenişi sırasında darbelerden dolayı oluşabilmektedir ve çıplak gözle hemen görülebilecek türde gelişir. Bazı tip çatlaklar ise kil ve benzeri malzeme içerir ki buralardaki bozunma süreci daha hızlı gelişir. Özellikle traverten ve bazı bej renkli mermerlerde çeşitli büyüklüklerde doğal gözenekler, hatta delikler bulunabilmektedir.

Bu grup altında yer alan ayrıntılı tanımlara kırılma, yıldız şeklindeki kırılma, kılcal çatlaklar, çatlaklar ağı ile yarıklar dahil edilebilir.



Şekil 3.1. İstanbul Sultanahmet'te bulunan hipodromun ortasındaki Sultanahmet örme dikilitaşının kaidesinde gözlenen çatlaklar dizisi.

Kırılma, çatlakların taş üzerinde boydan boyya gelişerek parçaların düşmeden birbirinden ayrılması anlamında kullanılmaktadır. Bu tip ayrışmaya, taşın işlenmesi sırasındaki oluşan kılcal çatlakların zaman içerisinde büyüyerek neden olabileceği kırılmalar yanında, Vandalizm ve savaş gibi insan kaynaklı veya deprem gibi doğal afetler de neden olabilmektedir. **Yıldız şeklindeki kırılma**, daha çok mekanik bir darbe sonucunda oluşan bir çatlak şeklidir. **Kılcal çatlaklar**, aralığı 0,1 milimetreyi aşmayan çatlaklara verilen isimdir. **Çatlaklar ağı**, birbirlerine bağlı kısa formda bir ağ görünümünde olan çatlak oluşumudur ve daha çok kireçtaşlarında gözlenir. Bu tip çatlaklar taşta kırılmalar yaratmazlar. Yüzeyle açıklıklara yol açan bu "kanal" tipi çatlaklar aslında bir çeşit gözenek olarak da kabul edilebilir. **Yarıklar**, çatlakların bir sonraki aşaması olarak daha geniş yapıdaki aralıklardır. Taşın zayıf yapıda olduğu bölgelerde, kil minerallerinin yoğunlaştığı alanlarda oluşur ve genellikle taşta dikey durumda gelişir.



Şekil 3.2. Volkanik tuf taşından yapılmış bir monolitin taşınma sırasında düşmesi sonucunda oluşan kırılma (San Agustín, Kolombiya).



Şekil 3.3. Bir darbe sonucunda, kırılma nedeniyle oluşan materyal kaybı (Santa Barbara de Usaquen Kilisesi, Kolombiya).



Şekil 3.4. Bazalt taşından yapılmış rölyefli orthostat yüzeyinde görülen küçük boyuttaki kırılmalar nedeniyle parça düşmeleri (Karatepe-Aslantaş Açık hava Müzesi, Kadırlı).



Şekil 3.5. Taş anıtlarda görülen taş yapısına bağlı çatlaklar.



Şekil 3.6. Taşlarda görülen kendi yapısına bağlı olarak veya taş yapısından bağımsız olarak gelişen çatlak ve yarıklar.



Şekil 3.7. Bazalt eserlerde gözlenen çatlak oluşumu (Karatepe-Aslantaş Açık hava Müzesi, Kadırlı).

3.4.1.2. Deformasyon

Şekil değişikliği veya bükülme olarak da bilinen bu bozunma türü taşlar üzerinde bazen konveks bazen da konkav şeklinde görülür. Özellikle mermerde görülen bükülme gibi plastik değişimler sonucunda oluşan bir bozunma türüdür.



Şekil 3.8. Daha çok mermer taşlarda görülen deformasyon veya bükülmeye örnekler: Fransa Queyras bölgesindeki Ville Vieille şatosu (sol üstte); Fransa, Sélestat (Haut-Rhin) mezarlığı (sağ üstte); Almanya Köln mezarlığı (sol altta), Almanya Bonn eski mezarlığı (sağ altta) (ICOMOS-ISCS, 2008).

3.4.2. Materyal Ayrılması / Eksilmesi

Taş eserden çözünme yoluyla materyal ayrılması bu grup altında ele alınmaktadır. Materyal çözünmesiyle ilgili alt grupları ise kabarma, patlama, tabakalaşma, dağılma, parçalanma, soyulma ile kabuklanma adı altında ele alınmaktadır.

3.4.2.1. Kabarma

Taş yüzeyinde ince bir katman halinde taş ile arasında hava dolu hemisferik yüksekliklere verilen tanımlamadır. Taş dokusu ile ilgili olmayan bu kabuklaşmaya bazı durumlarda çözünebilir tuzların neden olduğu kabul edilmektedir. Çoğunlukla çökel (sedimentar) kayalara özgü bir bozunma şeklidir.



Şekil 3.9. Taş yüzeyinde oluşan kabarma: Almanya, Magdeburg Katedrali (solda) ile yine Almanya Naumburg Katedrali (ICOMOS 2008).

3.4.2.2. Patlama

Taş yüzeyinde belirli bölgelerde, taşın iç basıncından dolayı düzgün olmayan parça ayrılması olarak nitelendirilir. Taştan kırılma yoluyla parça ayrılmasıyla aynı anlamdadır. Yüzeye herhangi bir nedenle



Şekil 3.10. İstanbul'daki Müslüman mezarlıklarından birinde gözlenen metal kenedin korozyonuyla oluşan patlamanın sonuncundaki kopma.

mekanik bir çarpmanın neden olduğu darbe kırılmaları ile karıştırılmamalıdır. Patlamalara, bazen değişik nedenlerle oluşan yüzeydeki yıldız şekilli çatlatmaların neden olduğu saptanmıştır.

Bu tür bozunma, doğal taşın yapısında bulunan ve yüzeeye yakın minerallerin (kil, demir mineralleri vb) hacim artışına bağlı olarak gelişebilir. Bazı durumlarda özellikle yapı taşlarının birbirlerine bağlanmasında kullanılan metalik takviye elemanlarının korozyonu da patlamaya neden olabilir.

3.4.2.3. Tabakalaşma

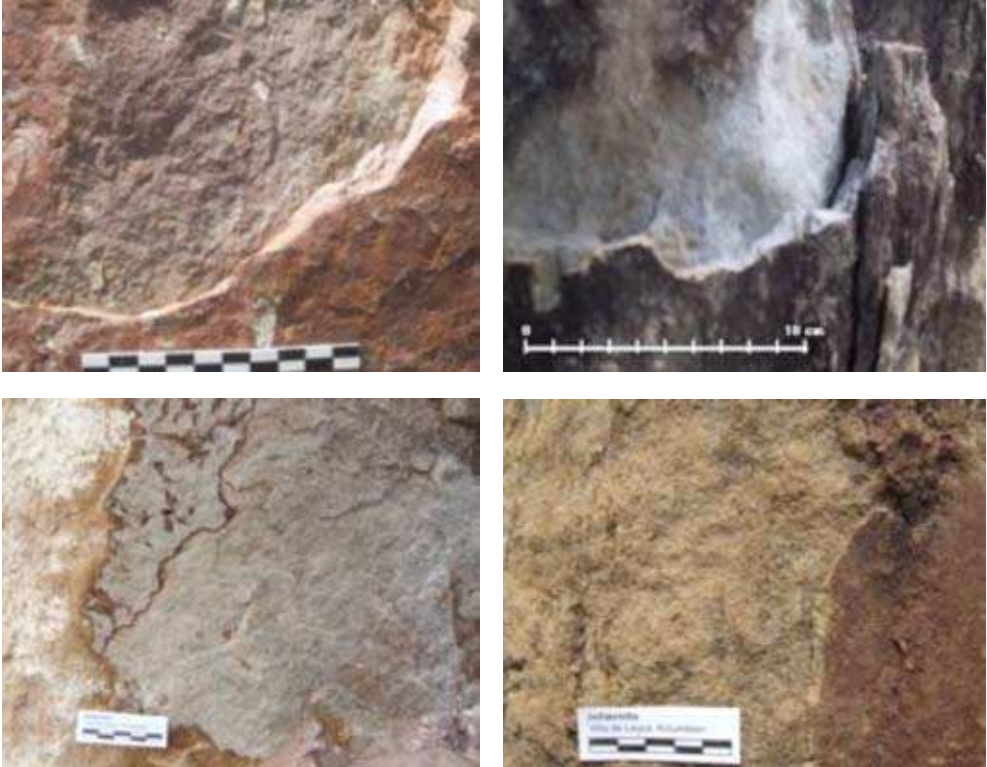
Taşın yüzeyine paralel olarak, geniş yapılı, taş yapısını izlemeyen bir ayrışma türüdür. Birkaç milimetreden birkaç santimetreye kadar değişebilen boyutlarda olabilen yaprak şeklindeki ayrışmalar tek veya çok katlı olabilmektedir.

Dokuya bağlı veya bağımsız olarak gelişebilmektedir. Dokuya bağlı çözünme taşın orijinal yapısına göre tabakalar halinde gelişen bir ayrışma türüdür. Sıcaklık değişimleri ve kimyasal ayrışma olayları sonucunda kaya kütlelerinin ince katlar halinde soğan zarları şeklinde soyulması (eksfolyasyon) veya taşın yüzeyine paralel levhalar halinde (bölünme) ayrışmasıdır. Boyutları mm'den cm'ye kadar değişen taş tekstürünü takip ederek gelişen bu tür ayrışmalar, sembol olarak "X" harfi ile gösterilir.



Şekil 3.11. Sıcaklık değişimleri ve kimyasal ayrışma olayları sonucunda kaya kütlelerinin ince tabakalar halinde taşın yüzeyine paralel levhalar halinde ayrışması (eksfolyasyon) olan dokuya bağlı çözünme.

Taş yüzeyinde yabancı maddelerin yapışarak oluşturduğu kabuğun zamanla düşmesi sırasında beraberinde taştan da bir parça götürmesi şeklinde görülen bir ayrışma türüdür. Bu tip kabuk oluşumu genel olarak açık veya koyu renkli olarak iki türde görülür. Milimetrik boyutlarda gerçekleşen, taşın yüzeyine paralel olarak ama taş yapısını izlemeyen bir ayrışma türü olan tabakalaşma yoğun şekilde görülen bir ayrışma şeklidir. İklim koşullarındaki ani değişimlerin ve tuzlanmanın neden olduğu sanılmaktadır.



Şekil 3.12. Birkaç milimetre'den birkaç cm'ye kadar değişebilen boyutlarda olabilen yaprak şeklindeki ayrışmalar tek veya çok katlı olabilmektedir.



Taştan, taş yüzeyine paralel olarak küçük boyutlu ve ince yapılı plakalar halindeki ayrılmalar "ince tabaka" olarak nitelendirilir ve pullanma yoluyla gelişmektedir. Büyüklüğü cm ile ifade edilirken kalınlığı mm ile ifade edilen ince tabaka oluşumu, pullanma olarak da adlandırılır. Tek katlı olabildiği gibi birden fazla katlar halinde de görülebilen bozunma nedenini taşın yapısında aramak gerekir.

Şekil 3.13. Kabartmalarda gözlenen, kalınlığı 1 mm ile 8 mm arasında değişen kalkerli tabakalaşma.



Şekil 3.14. Taş yüzeyindeki ince tabaka oluşumu.



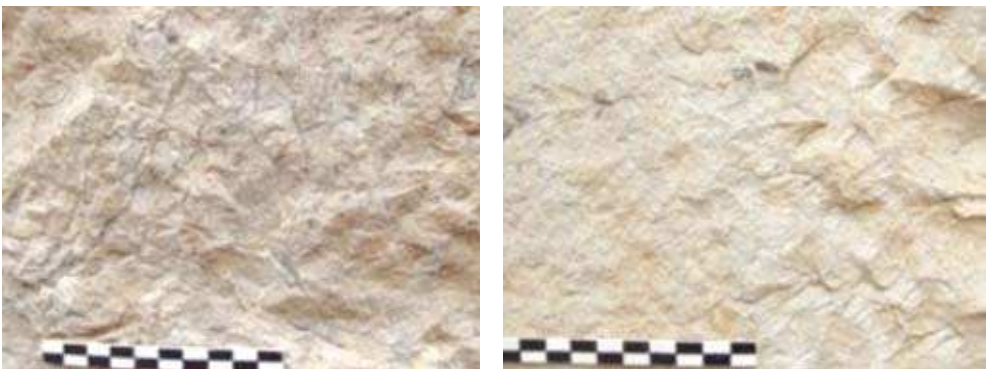
Şekil 3.15. İnce tabaka oluşumu.

3.4.2.4. Dağılma

Taşın yapısından düzensiz yapıda kompakt zerreler halinde parçalanma yoluyla materyal kaybetmesidir. Boyutları mm'den cm'ye kadar değişebilmektedir.



Şekil 3.16. Boyutları mm'den cm'ye kadar değişen dağılma.



Şekil 3.17. Bogota'daki (Kolombiya) Usaquen Kilisesinin cephesini oluşturan kumtaşlarının çoğunda gözlenen bir ayrışma şekli olan dağılma.

Taştan çok küçük parça olarak granül veya agrega halinde materyal ayrılması granüler çözünme olarak nitelendirilir. Tozlanma, ufalanma ve kumlanma şeklinde gelişen granüler çözünme, genellikle taştan çok küçük parça olarak granül halinde materyal ayrılması olarak kendini gösterir ve taş yüzeyine hafifçe dokunulmasıyla hemen fark edilebilir.



Şekil 3.18. Granüler çözünme.

3.4.3. Materyal kaybı

Bozunma formlarının üçüncü grubunu oluşturan taştan materyal kaybı içerisinde aşınma, rölyef ve kırılmalar alt grupları ele alınmaktadır. Bu birinci grup ayrışma formu adı altında taşın genel olarak orijinal görünüşünü artık korumadığı, tümüyle veya bölgesel olarak açık bir şekilde fark edilebilen yüzeydeki morfolojik değişimler anlaşılmaktadır.

Taştan bazı etkenler sonucunda materyal ayrılması, bu başlık altında değerlendirilmektedir. Bu etkenler arasında, rüzgârın ve yağmurun yüzeyde erozyon oluşturması; mekanik nedenlerle oluşan darbe, çizilme ve kazınma gibi bozunma sonuçları sayılabilir.

3.4.3.1. Alveolar Ayrışma

Taş yüzeyinde, değişken şekil ve büyüklükte birbirine bağlı olarak gelişebilen boşluklara (alveollere) verilen bir addır. Bu boşlukların boyutları genelde santimetre boyutunda olmakla birlikte bazı durumlarda metrik boyutlara da ulaşabilmektedir. Alveolizasyon adı altında genelleştirilen alveolar aşınma, alveolar bozunma veya arı peteği şeklindeki bozunmalar tanımlarıyla bilinmektedir (Şekil. 3.19).

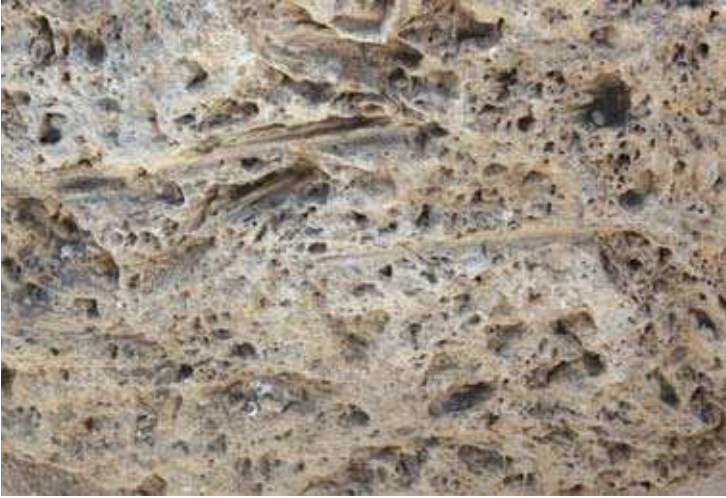
Alveolar ayrışma, milimetreden santimetreye varan boyutlarda birbirlerine bağlantılı ağ şeklinde gelişen mikrokarst ile karıştırılmamalıdır. Bazı durumlarda da tozuma veya karıncalanma (*pitting*) adıyla bilinen milimetrik boyutlarda, birbirinden bağımsız olarak gelişen bozunma formasyonu ile de karıştırılabilmektedir.



Şekil 3.19. Kumtaşında (yukarıda) ve bazalt taşında gözlenen Alveolar ayrışma.

Alveolizasyon, olasılıkla taşın fiziksel veya kimyasal özelliklerinin homojen olmayan düzensizlikleri nedeniyle oluşan bir ayrışma türüdür. Bazı durumlarda alveolizasyon granüler disintegration gibi diğer bozunma formasyonlarının sonucunda meydana gelir. Kurak iklimlerde metre boyutundaki büyük boy alveollere daha sıkça rastlanır (örneğin Petra antik kenti, Ürdün).

Alveolar bozunmanın bir alt grubu olan çukurlaşma veya oyuklanma (Şekil 3.20, 3.21, 3.22), birbirleriyle bağlantılı olmadan gelişen alveolar ayrışmadır. Bileşiminde dış etkilere karşı zayıf dirençli mineral yığılımları bulunan kayalarda, minerallerin alterasyonu ile çakıl taşı, aglomera, iri kavkılı ve killi kireçtaşı gibi tortul kökenli kayalarda ise, zamanla yapışma direncinin kaybolması sonucu, iri tanelerin yerinden çıkması ile kayaç üzerinde gelişigüzel oyuklar ve boşluklar oluşmaktadır. Çözünmeye bağlı boşluklanmış ve boşlukları kil ile doldurulmuş kireçtaşlarında, oyuklar daha hızlı gelişmekte ve derinlere ilerlemektedir (İTÜ Geliştirme Vakfı, 2000).



Şekil 3.20. Denizli ilinin 6 km doğusunda, Eskihisar, Goncalı ve Bozburun köy sınırları içinde kalan, antik çağdaki ismi Lykos (Çürüksu) Vadisinin en önemli antik kenti Laodikeia'da bulunan kumtaşında görülen çukurlaşma.



Şekil 3.21. Genellikle kumtaşlarında gözlenen çukurlaşma veya oyuklanma olarak tanımlanan bozunma.



Şekil 3.22. Kumtaşında görülen mağaracık şeklindeki bozunma.

3.4.3.2. Erozyon

Taşın orijinal yüzeyinde yumuşak hatlar şeklindeki materyal kaybı olarak nitelendirilen aşınma veya erozyon, doğal etmenler nedeniyle oluşabildiği gibi insanların neden olduğu etkileşimler sonucunda görülebilmektedir. Daha çok iklimsel faktörlerin (yağmur, dolu, rüzgâr gibi) etkisiyle malzemelerin yüzeylerinde meydana gelen yıpranma ve erimeler, fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçlerin bir sonucudur (Şekil 3.23). Taşın orijinal yüzeyine paralel, uniform olarak materyal kaybıdır. Pullanma şeklinde, ufalanma, dağılma ve ince katlar halinde kendini gösteren bir ayrışma türü olup taşın kesitini izleyerek gelişir. Malzeme yapısına ve maruz kaldığı olumsuz etkenlere bağlı olarak yüzeysel ve derin (birkaç mm'den birkaç cm'ye kadar) aşınma olmak üzere farklı şekillerde oluşumları izlenebilmektedir. Yapı veya heykelerde doğrudan yağmur suyuna maruz kalan bölgelerde, özellikle de duvar diplerindeki taş yüzeylerinde yoğunlaşmakta ve homojen bir bütünlük gösterebilmektedir. Yağmur damlası erozyonu adı verilen bu erozyon türü, herhangi bir korumadan yoksun açık havadaki taş anıtların yüzeyine yağmur damlalarının şiddetle çarpması sonucu oluşmaktadır. Erozyonun neden olduğu bozunmalar diferansiyel erozyon, yuvarlaklanma ve pürüzlenme şeklinde ortaya çıkar.



Şekil 3.23. Duvar cephesinin zemine yakın olan bölgedeki taşlarda sık görülen ve yerle birleştiği bölümlerde yoğunlaşan aşınmalar.

Diferansiyel erozyon, taşın düzensiz bir aşınma gösterdiği durumlar için kullanılan bir tanımdır. Sonuç olarak, taşın heterojen yapısının bir sonucu olarak sert ve yumuşak bölümlerinin farklı aşınma göstermelerini açıklar. Özellikle bazı liken türlerinin kalsit içerikli kayaların yüzeyine yerleşerek neden oldukları erozyon, "diferansiyel erozyon" olarak tanımlanır. Daha çok çökel ve volkanik taşlarda görülen bir bozunma türüdür. "Rölyef oluşması" olarak da bilinen diferan-

siyel erozyon, taş yüzeyindeki bölgesel veya genel olarak morfolojik değişimler için kullanılan bir kavramdır. Taşın yapısal karakterine bağlı olarak gelişebilmekle beraber veya taş içerisinde entegre olmuş taşçık ve fosil gibi maddelerin zamanla taş bünyesinden ayrılması şeklinde gelişir.

Taşın yapısına göre farklılık göstermekte olan rölyef şeklindeki bozunma, taşı oluşturan sediment tabakalarının doğrultusuna, taş yapısının homojenliğine ve fosil içeriğine göre ayrışma yoğunluğu değişebilmektedir.

Taş bileşenlerinin ve matrisinin bölgesel veya tümüyle kaybı da erozyonun bir alt grubu olarak ele alınmaktadır. Bu şekilde taştan materyal kaybı yumuşak minerallerin yoğun olduğu bölümlerde daha sıkça görülmekle beraber sert yapıdaki minerallerin de bozunmaya uğrayarak aşınması gözlenmektedir.

Erozyonun diğer bir alt grubu olarak ele alınan **yuvarlaklaşma**, taşın kenarlarındaki materyal kaybından dolayı aşınarak yuvarlak bir duruma gelmesi olarak nitelendirilir. Yuvarlaklaşma, özellikle ekolojik ortam koşullarının uygun olduğu durumlarda taş yüzeyindeki granüler dağılmanın bir sonucu olarak ortaya çıkar.

Pürüzlenme, taş yüzeyinde oluşan küçük parçacıkların kaybı anlamına gelmektedir ancak taşın iç bölümlerine henüz ulaşamayan bir yapıdadır. Uzun dönemli bir bozunma süreci olmakla beraber, bazı sert/ agresif temizleme yöntemlerin de bu bozunmaya neden olabildiği görülmüştür.



Şekil 3.24. Taş yapısından bağımsız olarak gelişen rölyef şeklindeki bozunma.



Şekil 3.25. Taşın yapısal karakterine bağlı olarak gelişebilen rölyef şeklindeki bozunma.



Şekil 3.26. Fosil içerikli kumtaşlarında gözlenen diferansiyel erozyon veya rölyef şeklindeki bozunma.



Şekil 3.27. Diyarbakır Ulu Cami sütunlarından birinde, erozyon sonucunda sütün başlığında görülen yuvarlaklaşma.



Şekil 3.28. Kumtaşından bir monolitte, kenarlarda gözlenen yuvarlaklaşma.

3.4.3.3. Mekanik Hasar

Taş eser ve anıtlarda sıkça görülen, fiziksel bir etkileşim sonucunda oluşan mekanik hasarlar bu grup altında ele alınmaktadır. Şok darbeler, kesme, çizme ve kazıma gibi eylemler mekanik hasarların alt grubunu oluştururlar. Hemen hemen tüm mekanik hasarlarda insan faktörü ön plana çıkmaktadır.

Herhangi bir metal cismin taş yüzeyine değişik nedenlerle çarparak oluşturduğu hasarlar **şok darbeler** terimi altında ele alınır (Şekil 3.29).



Şekil 3.29. Erzurum Murat Paşa Camii'nin duvarlarında savaş sırasında Rusların kullandıkları mermi izlerinin neden olduğu şok darbeler.



Şekil 3.30. Van Akdamar Kilisesi duvar taşlarında gözlenen, ziyaretçilerin anı bırakmak amacıyla yazma ve çizme yoluyla oluşturdukları hasarlar.

Taş yüzeyinde farklı nedenlerle bilinçli veya bilinçsiz olarak insanların neden olduğu, çoğunlukla kesici bir alet kullanarak taşta zarar vermelerine **kesme** yoluyla materyal kaybı denmektedir. Taş yüzeyinde kazıyarak boşluk oluşturma veya keserek parça çıkarılması şeklinde gözlenir. Daha çok antropojenik nedenlerle oluşan bu tür bozunmaya, sıklıkla yerleşim birimleri arasında yer alan eser ve yapılarda rastlanır.

Yine insanların daha çok bilinçli olarak neden olduğu taş yüzeyine sert bir cisim yoluyla dokunarak oluşturdukları hasara **çizme** adı verilir. Taşın defalarca çizilmesi sonucunda yüzeyde materyal kaybı gözlenir.



Şekil 3.31. Urfa Birecik'teki bir han girişinde, yoğun araç trafiği nedeniyle kapı taşlarında gözlenen çizikler ve aşınma (solda) ile Tercan'daki Mama Hatun Kümbeti giriş kapısında yine ziyaretçilerin neden olduğu hasarlar.



Şekil 3.32. Van Akdamar Kilisesi (solda) ile Kars'taki Havariler Kilisesi duvarlarını oluşturan taş yüzeyinde mekanik etkiler sonucunda oluşan delikler.



Şekil 3.33. Bir kolonyal şehir olan Villa de Leyva'da (Kolombiya) bulunan sayısız anıt eserlerden birinde, alışveriş merkezi olarak kullanılmasından dolayı ziyaretçilerin neden olduğu eşik taşındaki aşınma.

3.4.3.4. Parça Kaybı

Taşa değişik nedenlerin etkili olması sonucunda taştan materyal kaybına eksik parça adı verilmektedir. Doğal olarak taşa ait olan parçaların yok olması şeklinde oluşmaktadır (bir heykelin burnu, parmağı, kolu veya bacağı gibi).



Şekil 3.34. Aydın şehri yakınlarındaki antik Priene kentinde yer alan mermer bir mimari öğeyi oluşturan kabartmanın kırılarak yok olan burnu.

3.4.3.5. Tozuma

Taş yüzeyinde, taşın ufalanmasından oluşan, toz halindeki birikintilere verilen ad olan tozuma, "karıncalanma" olarak da bilinmektedir. Taşa elle dokunulduğunda, pudra halinde ele yapışmakta ve boyamaktadır. Tozumada, korozyonun önemli etkisi vardır. Bu durum, daha çok killi kireçtaşlarında görülmektedir.

3.4.3.6. Kırıntılanma

Bu durum, taşların kendi tabiatında mevcut olan dayanıksızlığının veya içindeki bağlayıcının kademeli olarak alterasyonlarının ya da taşın mukavemetini etkileyen dış faktörlerin bir sonucu olarak ortaya çıkabilir. Kırıntılanma görülen taş yüzeyleri, is veya toz birikimi nedeniyle griden koyu siyaha kadar renk alırlar. Kalınlıklar genellikle 1 mm civarındadır. Kırıntılanma, tüm karbonatlı taşlarda yaygınca gözlenmiştir. Doğal olarak, mermer ve kalkerlerde daha fazladır. Bu oluşumda atmosferik etkilerin rolü büyüktür. Büyük kentlerde kirlilik muhtevasının yoğun olması nedeni ile daha fazladır. Yerleşmeleri, yapının yağmur alan ve almayan bölgelerinde farklılıklar gösterir (Çorapçıoğlu, 1995).

3.4.4. Renk Değişimi / Birikme

Üçüncü bir bozunma grubu olarak taşta oluşan renk değişimleri ve yabancı madde birikmeleri ele alınmaktadır. Kirlenmeler, tuzlanma, tabakalaşma ve biyolojik birikme alt grubunu oluşturmaktadır. Gerek taşın içerdiği minerallerinin ayrışması yoluyla ve gerekse dış biyolojik etmenlerden dolayı, taşın orijinal renginin değişime uğrayarak rengini değiştirmesi veya renginin açılması, renk değişimi adı altında ele alınır. Değişik nedenlerle taşınan sedimenter materyalin taş yüzeyinde üst üste yığılması veya birikmesi, depolanma ya da çökelme olarak tanımlanır.

3.4.4.1. Kabuk Oluşumu

Taş yüzeyindeki çok güçlü yapışkan özellikli kompakt madde birikimi olarak nitelendirilen kabuklanma, geniş bir renk çeşitliliği göstermekte, bazı durumlarda taşın orijinal yapısıyla entegre olup taşın rengini değiştirebilmektedir. Daha çok atmosfer kirlenmesinden kaynaklanan taş yüzeyindeki bu kabuk oluşumu çeşitli tuzlar ve oksitlerden oluşmaktadır ve gri renkten siyah renge kadar çok geniş bir çeşitlilik gösterebilmektedir (siyah kabuk ile tuz kabuk).

Kabuklanma, taşın kendi yapısındaki morfolojik değişimlerin bir sonucu olabileceği gibi dışarıdan gelen organik veya inorganik kökenli yabancı maddelerin yüzeyde birikip kimyasal bir reaksiyonla kabuk haline dönüşmesi yoluyla da oluşabilmektedir. Yapısı kalınlığına bağlı olan kabuklanma için, ince olduğu durumlarda herhangi özel bir yapısı olmazken, kalın olduğu durumlarda kabuğun gelişme sürecine bağlı olarak kendine has bir morfolojik yapı gösterdiği söylenebilir. Atmosferde bulunan karbondioksit, yağmur suyu ile birleşerek özellikle kireçtaşından yapılmış anit eserlerin yüzeyinde bikarbonat oluşturarak suyun aktığı yüzey üzerinde kalınlığı değişen kalsiyum karbonat (CaCO_3) çökmesine neden olur. Yine aynı şekilde, havadaki SO_2 nem ile birleşince kalsit içerikli taş ile reaksiyona girerek alçıtaşı ($\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) oluşumuna neden olurlar.



Şekil 3.35. Kırklareli Hızır Paşa Külliyesi Hamamının kuzey cephesindeki duvar taşlarında görülen siyah renkli yoğun kabuk oluşumu.



Şekil 3.36. Bitlis İslahiye Şeref Han Medresesi duvar taşlarında görülen beyaz renkli kabuk oluşumu.



Şekil 3.37. Değişik tür ve renkteki kabuklanmalar.



Şekil 3.38. Yapıların cephe taşlarında gözlenen kabuklanma.



Şekil 3.39. Değişik renkteki kabuk oluşumu.

3.4.4.2. Birikme

Taş yüzeyinde taşla ilgisi olmayan yabancı maddenin yığılarak oluşturduğu kalınlığı değişen birikmeleri tanımlamak için kullanılan terimdir. Boya ve harçların oluşturduğu tabakalar, deniz kökenli tuz aerosolleri, toz ve is gibi atmosferik partiküller, korunma amaçlı uygulanmış olan

konservasyon materyallerinin kalıntıları gibi maddeler birikme adı altında ele alınmaktadır. Değişik yollarla esere ulaşan bu yabancı malzemeler genel olarak taş yüzeyine yapışma yoluyla birikme oluşturmaktadır ve yüzey birikimi olarak da bilinirler. Kuş ve yarasa dışkıları da birikme olarak nitelendirilmektedir ancak yapıtaşları veya anıtların üzerindeki kuş yuvaları ve örümcek ağları biyolojik kökenli bir birikim olduğundan bu sınıflandırmaya dahil edilmezler. Taş yüzeyinde bu şekildeki birikimler renk, morfoloji ve boyut özellikleriyle belirtilmektedir. Eğer tanımlanabiliyorsa, birikmelerin kökeninin de belirtilmesinde büyük yarar vardır.



Şekil 3.40. Tarsus Donuktaş'ta duvar taşlarının üzerinde değişik kaynaklı yabancı madde birikimi.



Şekil 3.41. Adana'daki Yeni Hamam'ın arka bölümündeki kapısının çevre insanlarınca çöplük olarak kullanılması sonucunda oluşan yabancı madde birikimi.

3.4.4.3. Renk Değişimi

Taş yapısındaki minerallerin bir zorlama ile kimyasal olarak ayrışması (demir ve manganez içerikli minerallerin oksidasyonu), biyolojik kolonizasyondan kaynaklanan renk pigmentlerinin etkilemesi ile renkli maddelerin birikmesi sonucu taşın orijinal renginin değişime uğraması ile taşta renk açılması şeklinde görülür. Taşlarda görülen renk değişimi, taşın ana renginin taş minerallerinin su ile buluşmasının sonucunda yüzeyde oluşan daha çok demir oksitlerinin neden olduğu bir bozunma grubu olarak gözlenmektedir.

3.4.4.3.1. Renklenme

Taş yüzeyinde, bazı durumlarda iç kısımlarda gözlenen renk değişimlerini içeren bir tanımlama olup rengin tonu, rengin açık-koyuluğu ve renk yoğunluğu³⁹ parametreler olarak ele alınır. Renk tonu, taş yüzeyinde oluşan rengin en önemli özelliği olan renk adlarını belirtmek için kullanılır (kırmızı, mavi, sarı, turuncu vb). Rengin açık veya koyu ton grubuna aitliğinin (açık mavi, koyu gri vb) belirtilmesinde kullanılan parametre ile renk yoğunluğunu belirtmek için kullanılan parametreler, taşta gözlenen bir bozunma türü olan renklenmenin özelliklerinin açıklanmasında kullanılır. Renklenmenin sadece taşın yüzeyini etkilemekle kalmayıp, bazı durumlarda taşın içerisinde de etkili olduğu gözlenmiştir. Bu bozunma türü kromatik alterasyon veya renksel bozunum olarak da bilinir.

Renklenmenin alt gruplarını beyazlaşma, nemden dolayı koyulaşma ve lekelenme oluşturmaktadır. Genellikle koyu renkli taşların yüzeyinde rastlanan bir bozunma türü olan beyazlaşma, taşın yapısında bulunan demir veya mangan bileşiklerinin indirgenmesiyle mineral ayrışmasının bir sonucudur. Genellikle koyu renkteki mermer taşlarında yüzeysel bir birikim olarak gözlenir ve sıklıkla taşın renk veren maddelerinin kimyasal bir yıkanma sonucu taştan uzaklaşmasının bir sonucudur. Taşın neme maruz kaldığı durumlarda, taş yüzeyindeki renk koyulaşmasını belirtmek için "nemli alan" terimi kullanılır. Bazen taş üzerinde belli bir alanda sınırlı kalan renk değişimi gözlenir ki bu bozunma da lekelenme adı ile anılır. Bu bozunma türü, patina, taştaki yüzeysel kirlenme ve taşın yüzeyindeki yabancı madde birikimi ile karıştırılmamalıdır. Taş yüzeyindeki renklenmeye sıklıkla tuzlar neden olmaktadır. Ancak özellikle yapıtaşlarıyla veya anıtlarla birlikte değişik amaçlarla kullanılmış olan demir, kurşun ve bakır gibi metallerin de taş üzerindeki renk değişiminde etkili olduğu bilinmektedir. Bunların yanında bazı mikroorganizmalar da taş yüzeyinde renk değişimine neden olmaktadır. Özellikle mantar ve siyanobakterilerin neden oldukları karotenoid⁴⁰ ve melanin⁴¹ gibi maddelerin ortamda oluşması sonucunda taş yüzeyinde sarı, turuncu, kahverengi ve siyah renkte lekeler görülebilir. Taş yüzeyinde biriken organik maddeler (yaprak, çiçek, polen) ayrışarak yüzeyde kahverengi tonlarında bir leke oluşturabilirler. Çok güçlü yapıda olmayan bu lekeler kaynağın ortadan kaldırılmasıyla yok olabilirler.

Nemden dolayı oluşan koyulaşmaya, yağmur suları, kapiler nem, tuzların oluşturduğu higroskopik nem ve kondenzasyon/yoğunlaşma neden olmaktadır.

³⁹ "Rengin yoğunluğu" da denilebilir.

⁴⁰ Sarıdan kırmızıya renk veren yağıda eriyen pigmentler grubu.

⁴¹ Koyu kahverengi pigment.



Şekil 3.42. Mermer çeşmede kullanılmış olan musluğun neden olduğu demir oksitli renklenme (Hızır Bey Camii, Kırklareli).



Şekil 3.43. Pencereye takılan demirin neden olduğu renklenme (Hızır Bey Külliyesi Hamamı, Kırklareli).



Şekil 3.44. Kumtaşı yüzeyindeki renk değişimi.



Şekil 3.45. Kumtaşı yüzeyinde görülen renk değişimi.



Şekil 3.46. Fethiye kaya mezarlarında sıkça görülen, değişik etmenlerin neden olduğu renk değişimleri.



Şekil 3.47. Volkanik tüften yapılmış bir heykelin yüzeyinde yağmur sularının neden olduğu renk değişimi (San Agustín, Kolombiya).



Şekil 3.48. Bazalt taşından yapılmış orthostatların yüzeylerinde görülen renk değişimi (Karatepe Açık Hava Müzesi, Kadirli).

3.4.4.4. Çiçeklenme / Tuz Kristallenmesi

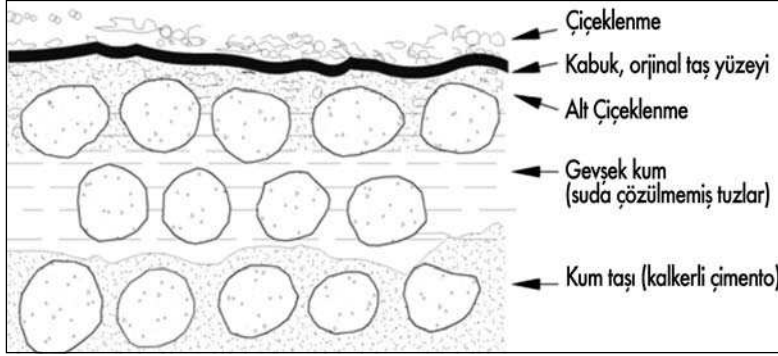
Taş yüzeyinde veya yüzeyin hemen altındaki zayıf karakterli tuz agregalarının renksiz bir yapıda veya beyaz bir renk göstererek birikmesi “çiçeklenme” veya “tuz kristallenmesi” adı altında ele alınmaktadır. Yağışlarla ve zeminden kapiler yolla esere ulaşan suların içerdiği çözülmüş kimyasallar, ortamdaki ısı artışıyla yüzeye doğru hareket ederek buharlaşır. Bu buharlaşma anında beraberinde sürüklediği çözünebilir tuzlar,⁴² bazen de az çözünebilir tuzlar⁴³ taş yüzeyinde “çiçeklenme” adı da verilen yüzeysel bir birikim oluştururlar. Tuzlar taşın kendi yapısından kaynaklandığı gibi dışarıdan da taşta ulaşarak yerleşebilir. İki şekilde oluşan tuz birikimine yüzeyde oluştuğunda “çiçeklenme” (efflorescence), yüzeyin hemen altında birikmesine de “kabuk altı çiçeklenme” (subflorescence) adı verilir. Tuz kristalleri genellikle taş yüzeyine çok güçlü bağlarla tutunmazlar, hatta bazen yağmur sularının yardımıyla yüzeyden koparlar veya yıkanır. Bundan dolayı çözülebilir tuz kristalleri olarak adlandırılırlar. Kabuk altı çiçeklenme ile karıştırılmamalıdır zira alt çiçeklenme taşın iç bölümünde oluşur. Bazı durumlarda taş yüzeyindeki birikmelerle aynı fiziksel görüntüyü verir ancak çiçeklenmede taşın kendi iç yapısının rolü de varken taş yüzeyindeki birikmelere sadece taşın dışındaki yabancı maddeler neden olur.

⁴² Sodyum Klorür (halite: NaCl) veya sodyum sülfat (thenardite: Na₂SO₄), magnezyum sülfat (MgSO₄.7H₂O).

⁴³ Kalsit (CaCO₃), baryum sülfat (BaSO₄) ve amorf silika (SiO₂.nH₂O).

Çiçeklenme

Zeminden veya yağışlar yoluyla atmosferden gelen sular, içlerinde çözünmüş değişik kimyasal maddeler taşır. Bu maddeler, temas ettikleri malzemeleri bozucu etkiye sahiptir. Islanmış gözenekli malzeme içerisinde bulunan ve içinde çözünmüş kimyasallar barındıran su, kuruma evresinde yüzeye doğru hareket ederek buharlaşır. Ancak buharlaşma anında beraberinde sürüklediği çözülmüş tuzlar, malzemenin dış yüzünde "çiçeklenme" adı verilen yüzeysel birikime neden olur. Diğer taraftan, suyun içinde bulunan çözülmüş kimyasal maddeler suyun kimyasal etkinliğini artırdığı gibi, içine girdiği malzemedeki çözünebilir tuzların da bu suyla sürüklenmesine ve yüzeye çıkmasına neden olur (Gürdal, 2000).



Şekil 3.49. Tuzların taş yüzeyinin üzerinde ve altında çiçeklenmesi (Yıldırım, 2007).



Şekil 3.50. Açık havada sergilenen kumtaşında yapılmış monolitlerde görülen tuz kristallenmesi (Infiernito, Kolombiya).

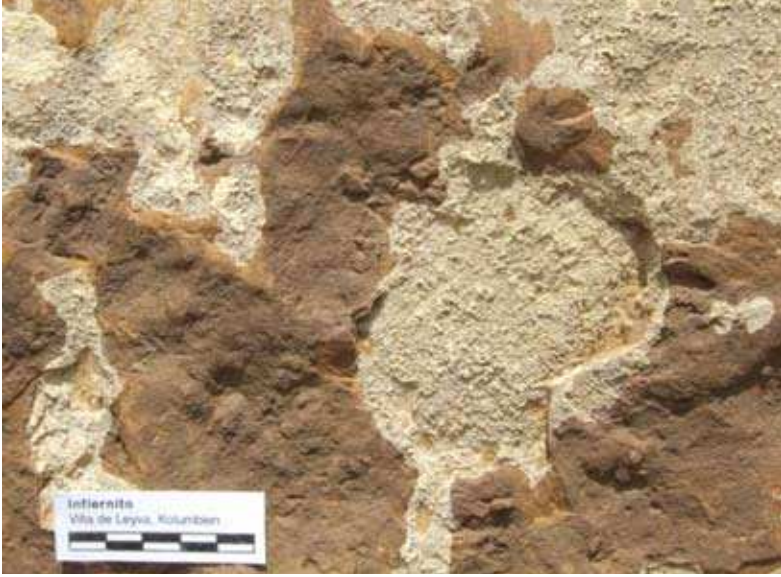
3.4.4.5. Kabuklanma

Taş yüzeyinde mineral içerikli sert yapıdaki kabuk oluşumu “kabuklanma” veya “inkrustasyon” adı ile nitelendirilir. Yüzeydeki bu kabuklanma, genellikle taşın orijinal yapısından farklı bir renk ve morfolojisinden farklı olduğundan, hemen fark edilir. Bazı durumlarda bu kabuklaşma taş yüzeyine yapıştığından, uzaklaştırılmak istendiğinde taştan parçalar kopması olasıdır. Inkrustasyon, genellikle yapı duvarlarının yere yakın olan bölümlerinde, suyun yapıtaşlarına infiltrasyon olduğu bölgelerde yoğunlaşır. Taş yüzeyindeki kabuklanmanın ileriki aşamalarda katılaşarak sertleşmesi sonucunda bozunma ürünü olarak kabuklanma değişik formlarda anılır (düğüm, küre, üzüm şeklinde vb). Bazı durumlarda sarkıt ve dikitlerde olduğu gibi konik biçimli kabuklaşma da görülebilir. Bazı liken türleri taş yüzeyinde kabuklanma gibi görülebilir, ancak likenlerin yapısı kabuklanmaya göre daha yumuşak olduğundan dokunmak suretiyle fark anlaşılır. Ayrıca likenlerin üzeri çizildiğinde siyah veya yeşil renkli bir iz gözlenir ki bu da likenle birlikte ortak yaşayan algler veya siyanobakterilerin varlığına işaret eder. Kabuklanma, genellikle su ile taşınan veya taşın kendi yapısındaki karbonatlar, sülfatlar, metal oksitleri ve silikaların birikmesi ile oluşur.

Taş yüzeyinde kimyasal olarak biriken yabancı maddelerdir. İnce bir film tabakası şeklinde taş yüzeyini kaplayan bu maddeler, çeşitli tuzlar ve oksitlerden oluşur. Yağmur suyu ve havadaki karbondioksit, karbonat bileşimli kireçtaşlarını eriterek bikarbonat oluşturmaktadır. Bu durum, suyun aktığı yüzey üzerinde, kalınlığı giderek artan kalsiyum karbonat (CaCO_3) çökmesine yol açar. Benzer şekilde, havada bulunan SO_2 , suyun varlığında kalsit içerikli taşla reaksiyona girerek alçıtaşı ($\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) oluşumuna neden olacaktır.



Şekil 3.51. Kireçtaşında görülen kalsitli kabuklanma (Bitlis Şerefli Camii).



Şekil 3.52. Kumtaşında görülen kalsitli kabuklanma (Infiernito Arkeolojik Parkı, Kolombiya).

3.4.4.6. Parlak Görünüş

Bazı yapılarda veya anıtlarda zaman içerisinde kullanımdan dolayı veya bakım veya konservasyon amaçlı uygulanan işlemlerin neden olduğu, özellikle döşeme taşlarının yüzeyinde ayna gibi, ışığı yansıtan bir parlaklık oluşur. Bilinçli veya bilinçsiz bir uygulamanın ürünü olan ve “parlaklık” adı verilen bu olgu da taş yüzeyindeki renklemenin veya birikmenin bir alt sınıfı olarak bozunma sonucu olarak ele alınır.



Şekil 3.53. Kolombiya'nın en eski ve korunmuş İspanyol kolonizasyonu dönemi şehri Villa de Leyva da eski bir han girişindeki taş döşemenin yoğun ziyaretçilerin oluşturduğu aşınma nedeniyle parlak bir görünüş edinmesi.



Şekil 3.54. Adana Müzesinde bulunan Sidon İlahinde ve Antakya Müzesindeki eski Hitit çağına ait olan aslan heykeline, ziyaretçilerin esere dokunmak suretiyle oluşturdukları parlak görünüş.

3.4.4.7. Grafiti

Eski eserler üzerinde kazıma, çizme, kesme, boyama ve yazı yazma gibi eylemler “grafiti” adı altında diğer bir bozunma türü olarak belirtilmiştir. Genel olarak grafiti, Vandalizm sonucunda oluşan lekelenme de bir kirlenme türüdür. Yağ ve boya lekeleri gibi organik veya inorganik kökenli kirler, taş yüzeyinde ince bir film halinde griden siyaha doğru giden bir renk değişimi olarak gözlenir. Bazı durumlarda ise tarihsel veya kültürel değeri olduğundan korunması tercih edilebilir.



Şekil 3.55. Niğde’deki Konaklı Rum Kilisesi’nin iç bölümünde ziyaretçilerin oluşturduğu grafitiler.

3.4.4.8. Kirlenme

Taş yüzeyinde, taşla ilgisi olmayan yabancı materyal birikimi. Atmosferdeki çok yapışkan özelliği olmayan toz, kül ve is partiküllerinin, homojen olmayan gri renkten siyaha varan renklerde taş yüzeyinde birikmesi en sık rastlanan kirlenme türüdür. Yerde bulunan toz, toprak ve çamur partiküllerinin güçlü yağışların sıçratması yoluyla taş yüzeyinde, griden kahverengine varan değişen renklerde birikmesi de kirlenmelere örnek olarak gösterilebilir. Dış cephedeki taş yüzeylerinde yüzeysel birikim, siyah tabaka ve leke gibi farklı etkenlere bağlı olarak sonradan oluşmuş kirlenmelerin yanında antropojenik kökenli kirlenmeler de (Vandalizm, grafiti ve reklam ilanları) görülmektedir. Farklı bölgelerde farklı yoğunluklarda ortaya çıkan bu basit kirlenmeler, toz, toprak gibi ortamda var olan kirlenme maddelerinin zaman içinde malzeme üzerinde birikmesiyle oluşmaktadır.

Ürik asit bakımından çok zengin olan kuş dışkıları (özellikle kumru ve güvercinler) içerdikleri sülfat, nitrat ve fosfat gibi suda çözülebilir tuzların, taş yüzeyinde birikerek eserde bozunma oluşturması da yaygın bir kirlenme türüdür.

Genel veya lokal, taşın rengindeki bozunma "leke" olarak tabir edilir. Lekelenme, taşın veya yapısal elemanların dışarıdan gelen maddelere maruz kalması sonucu ortaya çıkar. En genel lekelenme tipleri ve neden olan maddelerin bazıları şunlardır:

Yağ/gres lekeleri: Bu lekeler genellikle Vandalizm veya kullanımın sonucudur. Organik veya inorganik türdeki yağlar, taşla temas ettiğinde taş bünyesine nüfuz eder. Penetrasyonun derinliği, yağ/gresin viskozitesi, sıcaklık, taşın porozitesi ve kuruluşuna bağlıdır. Yağ/gres lekelerinin görünümü genellikle, taşla temas ettiği bölgede bir siyahlık şeklindedir. Lekenin kenarları zamanla genişler. Yağ ve gres lekelerini kaldırmak için standart teknikler vardır.

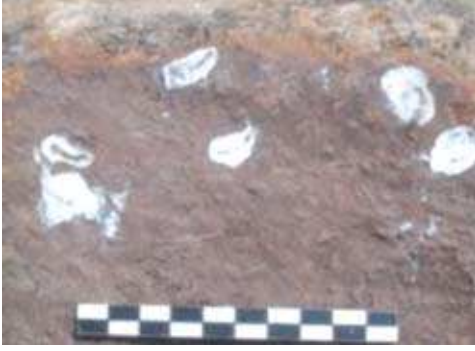
Boya maddeleri: Leke, boyanın kaynağı veya tipine göre herhangi bir renk olabilir. Bu tip lekelerin temas bölgesi civarında olması olasıdır. Renklendirici içeren likit, taşın içine absorbe olur ve normal buharlaşma süresince, renkli pigment taşın içinde birikir.

Organik lekeler: Organik lekeler, ayrışan organik maddeyle (yapraklar, çiçekler, hayvan dışkısı) direkt temas halinde ortaya çıkarlar. Kaynağı önemsenmeyen bu lekeler, kırmızımı-siyah-kahve rengi renktedir. Bu lekeler kaynağın ortadan kalkmasıyla kaybolurlar.

Metalik lekeler: Metalik lekeler iki büyük kategoride ortaya çıkarlar:

a) Pas lekeleri: Bu lekeler kırmızımı turuncudur ve demirin oksidasyonu ile ortaya çıkarlar. Demir lekelerinin kaynağı genellikle yapısal veya bağlantı parçalarıdır. Bu bağlantılar saklı veya korunmuştur. Bununla birlikte, kötü kirleşler veya çatlaklardan dolayı su penetrasyonu paslanmayı hızlandırır. Bunun sonucunda, taşta renk bozunması veya taşın yüzeyinde pas birikimi olabilir.

b) Bakır lekeleri: Bu lekelerin rengi açık yeşil ile koyu kahve arasında değişir. Lekeler taş üzerinde çözülmüş bakır tuzlarının birikmesi ve daha sonra oksitlenmesiyle ortaya çıkar (bakır veya bronz).



Şekil 3.56. Taş eserler üzerindeki kuş dışkıları (solda) ile eserlerin toprakla buluştuğu alt kısmındaki kirlenmeler.



Şekil 3.57. Fethiye kaya mezarlarının birinde değişik nedenlerle oluşan kirlenme (solda) ile Didyma antik kentindeki mermer bir mimari ayrıntı yüzeyinde gözlenen kirlenme.



Şekil 3.58. Bakterilerin neden olduğu mikrobiyolojik kirlenme.



Şekil 3.59. Kilisenin giriş kapısının her iki yanında bulunan sütunlarda görülen kirlenme.



Şekil 3.60. Karatepe kapı sfenksinde görülen, elle dokunmadan kaynaklanan yağlı kir tabakası.



Şekil 3.61. Yasak edilmesine rağmen kilise cephesinde görülen duvar afişlerinin yarattığı kirlilik.

3.4.4.9. Kabuk Altı Çiçeklenmesi

İki şekilde oluşan tuz birikimine yüzeyde oluştuğunda “çiçeklenme” (efflorescence), yüzeyin hemen altında birikmesine de “kabuk altı çiçeklenme” (subflorescence) adı verilir. Alt çiçeklenme oluşum süreci yüzey çiçeklenmesi ile aynıdır. Taş yüzeyine doğru hareketlenen tuzlar, taş orijinal kabuğunun atmosferik kirlenme nedeniyle sertleşmesi nedeniyle yüzeye ulaşamayıp kabuk altında kristalleşirler. Alt çiçeklenme, bulunduğu gözeneklere basınç yaparak zaman içerisinde yüzey kabuğunun taşla bağlantılarını zayıflatır ve sonrasında taşın kabuklar halinde parçalar dökülmesine neden olurlar. Sonuçta yüzey kabuğunun altında yeni bir tabaka olarak ortaya çıkan alt çiçeklenme atmosferik kirlenme nedeniyle yoğunlaşarak sertleşir.

Duvarın gözenekleri içinde (görünmez bir şekilde) ortaya çıkan kristalizasyon “alt çiçeklenme” olarak adlandırılır. Alt çiçeklenme mekanizması, çiçeklenme mekanizması ile aynıdır. Taş yüzeyine doğru hareket eden tuzlar, yüzeye ulaşamadıklarında kir ve isle yoğunlaşarak sertleşmiş yüzey kabuğu altında kristalleşirler. Bu nedenle, zamanla yüzeydeki kabuğun taşla olan bağları zayıflar ve parçalanarak dökülür. Bunun altında, tuz konsantrasyonundan dolayı sertleşmiş yeni bir kabuk ortaya çıkar ve zamanla atmosferik artıkların da etkisi ile yoğunlaşır ve sertleşir. Ancak, sürekli yağmur etkisine maruz yüzeylerdeki mekanizma, yüzey sürekli olarak yıkanacağından çözünebilir tuzların kabuk oluşturmaya imkân verilmeyeceği için farklı olacaktır (Torraca, 1982). Alt çiçeklenme, duvar içinde çatlaklara veya gözenek duvarlarında basınca neden olur. Oluşan basıncın büyüklüğü, tuzun cinsine, gözeneklerin düzeni ve boyutuna bağlıdır.



Şekil 3.62. Kumtaşında görülen kabuk altı çiçeklenmesi.

3.4.5. Biyolojik Yerleşim

Taş yüzeyinde bakteri, algler, likenler, yosun ve mantar gibi mikroflora ile ot, çalı ve ağaç türündeki bitki gelişimi, “biyolojik yerleşim”⁴⁴ adı altında değerlendirilir. Bazı böcek ve hayvan türlerinin gerek taş içerisinde ve gerekse taş yüzeyinde oluşturdukları bozunma türleri de gözlemlendiğinden, bu grup altında ele alınırlar. Biyolojik yerleşim, doğrudan taş yüzeyinde ve

içerisinde olabildiği gibi dolaylı olarak taş yakınındaki ağaçların ve diğer canlı organizmaların etkisi altında da bozunmaya neden olabilir. Gerek mikroorganizmalar ve gerekse bitki toplulukları, fiziksel/mekanik olarak ve kimyasal olarak eserlerin ayrışmasına neden olurlar. Taşın yapısındaki mineralleri olumsuz yönde etkileyen çeşitli organik asitleri üreten mikroorganizmalar, aynı zamanda mikroskobik boyuttaki küçük hayvan ve böceklere de bir habitat oluşturmaktadırlar.



Şekil 3.63. Edirne Selimiye Camii arka giriş cephesinde zemine yakın bölgedeki fosilli kalker taşlarında gelişen biyolojik alterasyonlar.

⁴⁴ “Biyolojik gelişme” veya “biyolojik kolonizasyon” olarak da nitelendirilebilir.

Özellikle yapı duvarlarının yere yakın olan bölümlerinde ve açık havada yağmur sularıyla temas halindeki taş heykellerde sıklıkla görülen yosun ve likenler salgıladıkları asidik enzimlerle taşta bozunmaya neden olmaktadır. Bu enzimler zayıf asit özellikleri göstermesine karşın zamanla yüzeyde oyuklaşmaya ve lekelenmeye neden olabilmektedir.

Taş üzerinde koloni şeklinde yaşayan mantarlar, likenler, yosunlar ve algler oksidasyon-reduksiyon reaksiyonlarını hızlandırmakta, kayaçları yıpratmaktadır. Kayaç üzerinde yaşayarak sülfat, nitrat üreten sülfat, nitrat bakterileri ve tyobosiller önemli ölçüde bozunma olayına katılmaktadır. Sülfat bakterilerinin ürettikleri SO_4 'lar karbonat bileşimli taşlarda jips-anhidrit dönüşümüne yardımcı olmaktadır.

Nitrat bakterileri ise salgıladıkları enzimlerle nitrat, nitritleri meydana getirmekte ve bu yolla taşları kemirmektedir. Bunlar bazen koruyucu, bazen de zararlıdır. Bazıları karbonatlı kayaçlar üzerinde yaşar. Bunlar kalsiyumlu mineralleri kahverengi ve pembe renge dönüştürür. Diğer türleri silisli taşlar üzerinde yaşar. Likenler suyu tutar ve taş yüzünün devamlı ıslak kalmasına neden olur. Sarmaşıklar da aynı etkiyi gösterir. Ayrıca bitki kökleri karbondioksit ve asitler üreterek taşlarda parçalanmalar oluştururlar.

Biyolojik kolonizasyonu, taş yüzeyinde yabancı madde birikmesi veya yığılması ile karıştırılmamalıdır. Kuş yuvaları ve örümcek ağları biyolojik yerleşim içerisinde ele alınırken, kuş ve yarasa dışkıları birikim sınıfı içerisinde incelenir. Ayrıca biyolojik kolonizasyonunun türü anlaşılamadığı durumlarda algler, mantar, liken vb yine bu genel isim kullanılarak tanımlanır.

Taş yüzeyi üzerinde kalınlığı 2 mm'yi geçmeyen bir veya birden fazla mikrobiyolojik tabaka olması halinde "biyofilm" veya "biyopatina" tanımı kullanılır. Çoğunlukla çok az sayıda hücre içeren değişik makro organizmaların oluşturduğu bir tabakadan olan biyofilm, ortamdaki su oranına göre çekme veya genişleme özelliğine sahiptir ve çok renkli bir özellik gösterir (ICOMOS 2008).

3.4.5.1. Algler

Tek hücreli veya koloni halinde, mikroskobik formları ya da çok hücreli metrelerce büyüklüğe kadar formları olan fotosentetik organizmalar⁴⁵ olan algler, su yosunları olarak da bilinirler. Yeşil, altın sarısı, kırmızı, kahverengi veya siyah renklerde çeşitli sınıflara ayrılan alglerin deniz ve tatlı sular ile karadaki kaya, toprak ve ağaç kabuklarında yaşayan binlerce türü bulunmaktadır. Bitkilerde bulunmayan başka pigment maddeleri bulduklarından (klorofil-C taşırılar) çeşitli su yosunu gruplarına özel renklerini bu pigment maddeleri verir.

Genelde çok nemli ortamlarda gelişen algler, çevresel koşullara bağlı olarak kayaçlar üzerinde kompakt, sık dokulu veya filimsi bir tabaka oluştururlar. Anıtların veya yapıtaşlarının yüzeylerinde tek hücreliden çok hücreli yapıya kadar geniş bir tür yelpazesi gösteren alglerin boyutları sınırlı kalır ve hiç bir zaman makro organizma boyutlarına ulaşmazlar. Taşlara daha çok yüzeysel zararlar veren algler, bazı durumlarda çatlaklar aracılığıyla köklerini taşın derinliklerine sararak taşı çatlatabilirler. Birçok alg, fotosentez için ışığa gereksinim duyar ve bu nedenle hem ışık hem suyun olduğu yerlerde gelişirler.

⁴⁵ Örneğin durgun suların üzerinde oluşan yeşil köpük birikintileri ya da denizdeki kaygan deniz otları, su yosunlarıdır.

Çevredeki iklim koşullara ve taş türüne bağlı olarak değişik gruplar halinde yapıtaşları ve anıtların üzerinde gelişirler. Yeşil algler (bazan *trentepohlia* gibi kırmızı türde), diatom (genellikle sarıdan kahverengine kadar değişen renkte) ve nadir durumlarda kırmızı algler en çok rastlanan türleridir. Mavi-yeşil algler veya mavi-yeşil bakteriler olarak da bilinen siyanobakteriler (*cyanobacteria*) çok sık olarak taş yüzeylerinde yerleşirler ve siyah, mavimsi hatta violet renkte lekelerin oluşmasına neden olurlar. Normal olarak taş yüzeyi sadece yerleşerek gelişmelerine olanak sağlasa da bazı durumlarda taşın yapısından dolayı algler taşı besin kaynağı olarak gelişmelerine yardımcı olur.

Mikroskobik bitkisel organizma olan algler yaprak veya gövdeye sahip değildirler ve açık havada olduğu gibi iç mekânlarda da gözlenebilirler. Taş üzerinde kalınlığı birkaç mm'yi geçmeyen tozumsu gözenekli bir yapıyla görülürler. Algler bazen epilitik likenler ile karıştırılabilir ancak, algler ıslatıp bir fırça ile temizlenmeye başlandığında taş yüzeyinde yeşilimsi bir leke gözlenir.

3.4.5.2. Liken

Likenler kayalar, taşlar, kiremit, toprak, ağaç kabuğu, odun gibi çok çeşitli tabakalar üzerinde yaşayan, biyolojik olarak yapılarında alg (su yosunları) ve mantarların birlikte yer aldığı simbiyotik doğal (ortak yaşam) canlılardır. Likenler kara yosunlarından farklı olarak beyaz, siyah, turuncu, yeşil, kırmızı, sarı ve kahverengi gibi çeşitli renklerde, daha sert ve kırılğan yapıdadırlar. Bunlar yavaş büyümeleri, yaşamlarının uzunluğu ile karakterize edilirler ve sıcaklık, susuzluk gibi şartlarda olağanüstü dayanıklılık sergileyen organizmalardır. Toprak desteğine ihtiyaç duymaksızın çıplak kaya yüzlerine tutunma yeteneğine sahip olan likenler, ayrıca yüksek bitkilerin gelişmesi için gerekli olan humus oluşumunun düzenleyicileridirler. Kalkerli ve silikatlı taşların yüzeylerinde ve içlerinde yaşayan likenler, su emici karakterde olduklarından, taş yüzeylerini uzun sürelerle nemli tutmakta ve bu nem de taşta bozunmalara neden olmaktadır. Likenler yapısında bulunan mantarlarla bazı asitler salgılayarak taşta sıkıca tutunurlar ve taşta zaman içerisinde aşınmaya neden olurlar. Bir gövdeye sahip olan likenler taş yüzeyinde gelişir ve kökleri aracılığıyla taşın iç kısmına doğru birkaç milimetreye varan derinlikte ilerleyebilir. Su olmadığına fotosentez yapamadığı halde solunuma devam ederek yaşayabilmesi, kuru ve güneşli ortamlara dahi dayanıklı olmaları özelliği onların eski taşlar üzerinde yüzyıllarca kalmalarına olanak verir (Schaffer, 1932).

Bitkisel bir organizma olan likenler taş yüzeyinde milimetreden santimetre varan boyutlarda koloniler kurarak taşın yüzeyini tamamen örtebilirler. Genel olarak yapıların dış yüzeyinde ve açık havada sergilenen anıtların yüzeyinde gelişirler. Alışlagelmiş olarak gri, sarı, turuncu, yeşil veya siyah renkte olurlar ve görünüş itibarıyla ayırt edilebilirler.

Likenlerin ürettiği bileşiklerin bazıları diğer canlılar için öldürücü, bazılarının büyümesini engelleyici, bazıların da kaçırtıcı (örneğin salyangozlar için) özelliklere sahiptir (Huneck, 1999). Likenler bulunduğu ortamı bu şekilde etkiledikleri gibi ürettiği bileşiklerle kayaların ayrışmasını da gerçekleştirirler. Likenlerin kayaları ayrıştırma süreçleri, kayanın parçalanma süreçleriyle birlikte devam eder. Parçalanma süreçleri hızlandıkça, yüzey genişler ve buna bağlı olarak ayrışma da hızlanır (Adamo ve Violante, 2000).

Syers ve Iskandar 1973'te likenler tarafından minerallerin kimyasal yollarla çözülmesinde ana süreçlerini, 1) CO₂ solunumu oluşumları, 2) oksalik asit salınımı ve 3) karmaşık yapıları oluşturma yeteneği ile canlı(biyo)-kimyasal bileşiklerin üretimi olarak sınıflandırmıştır (Chen vd, 2000).

Bu süreçlerden oksalik asit salınımı, birçok likenin mantar kısmı (mycobionts) tarafından yapılmaktadır. Oksalik asitin kayaların ve minerallerin kimyasal ayrışmasında hayati önem taşıyan bir rol oynamakta olduğu kabul edilir. Oksalik asit liken-kaya yüzü arasında bulunduğu, gibi sabit koşullarda yapılan deneylerde kaya ve minerallerin ayrışma yerlerinde de belirlenmiştir. Kaya yüzeyindeki oksalik asidin tek kaynağı likenler değildir. Diğer küçük canlılar (mantar, bakteri vb) oksalik asit salgıladığı gibi, bazı polisakkaritler ve proteinler vb organik maddelerin asidik koşullarda ayrışması sonucunda da oluşmuş olabilmektedir (Chen vd, 2000).

Birçok liken oluşturan mantarlar tarafından salgılanan oksalik asidin kayaların mineralleriyle girdiği reaksiyonlar oksalatların çökmesine yol açar. Tallsun gerek içinde gerekse hemen altında çökelen çözünmez oksalatların tipi ile kayanın mineral bileşimi arasında yakın ilişki bulunmaktadır (Adamo ve Violante, 2000). Dolomit ve kireçtaşı gibi kalkerli kayaların bünyesindeki kalsiyumdan dolayı, oksalik asitle genellikle kalsiyum oksalatlar, magnezyumca zengin serpantin ana kayaları üzerinde magnezyum oksalatları oluşturmaktadır (Adamo ve Violante, 2000). Örneğin *Fuscidea cyathoides*, *Ochrolechia tartarea*, *Ophioparma ventosa* ve *Pertusaria corallina* bünyelerinde kalsiyum oksalatlar çeşitli düzeylerde tespit edilmiştir (Bjelland vd, 2002). Böylece likenlerce salgılanan oksalik asit kayada bulunan minerallerin bazı elementleriyle yeni reaksiyonlara girerek oksalatları oluşturur. Bu da kayanın mineralojik yapısının bozunmasıyla ayrışmasına neden olur. Özellikle kaya-liken arasındaki yüzeyde oksalik asidin artmasıyla kayadaki, Si, Fe, Al, P, Mn ve K'nın çözünürlüğü artmaktadır (Johnston ve Vestal, 1993).

Magmatik ana kayalardan bazal koyu renkli ve çok ince taneli olup, başlıca minerali plajyoklaslar ve piroksen, daha az miktarda bulunan mineraller ise, olivin ve amfibol'dür (Thompson ve Turk, 1992). Bu minerallere ek olarak ojit, apatit ve zirkona da rastlanmaktadır (Hausrath vd, 2009). Bazalt ana kayasının ayrışması ve topraklaşması sürecine diğer etkenlerle birlikte bitkilerde katılmaktadır (Hinsinger vd, 2001). Bununla birlikte, likenler de bu ayrışma süreçlerinde önemli yer tutmaktadır. Bu önem likenlerin biyolojisi ve ekolojisinden kaynaklanmaktadır. Özellikle iklim değişkenlerinin en uç değerlerinin bulunduğu yetişme ortamlarında dahi yaşayabilmektedir.

Likenle kaplı bazalt ana kayası ile likensiz bazalt ana kayasının ayrışması karşılaştırıldığında bariz olarak üzerinde liken bulunanın daha fazla ayrıştığı belirlenmiştir (Krasilnikov, 1949). Eick ve arkadaşlarının 1996 yılında yaptıkları deneylere göre bazaltı oluşturan piroksen, olivin ve feldspat mineralleri organik asit muamelelerinden etkilenmektedir. Örneğin oksalik asit uygulanmış piroksen yüzeyinin sınırlarında yavaş yavaş aşınmalar gösterirken, olivin taneleri çukurlu veya dalgalı yüzey görünümündedir (Chen vd, 2000). Benzer durum başka çalışmalarda da ortaya konulmuştur. Bundan dolayı likenlerle kayaların ayrıştırılmasında bazalt iyi bir örnek tir. Bazalt ana kayasının ayrışma süreçleri şekilsiz malzeme yapılarına veya mineral yüzeylerine sulu ferrik oksitle (hydrous ferric oxide) kaplanması, ana minerallerden kalsiyum ve alüminyumun salınımı ile demir ve magnezyumun hareketlenmesi şeklinde olur (Chen vd, 2000).

Bazalt ana kayasının ayrışması üzerinde likenlerin açık [*Lecanora polytropa* (Hoffm.) Rabenh veya koyu renkli (*Rhizocarpon geminatum* Korb.) olması dahi önem arz etmektedir. Çünkü bu renk farkı kaya-liken arasındaki sıcaklığı etkilemekte, bu da ayrışma süreçlerini etkilemektedir. Özellikle soğuk koşullarda (kutuplar vb) ayrışmayı fiziksel süreçlerden daha çok canlı-kimyasal süreçleri etkilemektedir (Arocena ve Hall, 2004). Bir başka deneyde bazalt ana kayasına sitrat uygulanmış, uygulanmayana göre Zr, Sc, Mn, Y, La, Ce, Th, Ti, Al, P, Pb, Ni ve Fe elementlerinin daha fazla ayrışmış olduğu belir-

lenmiştir (Hausrath, vd, 2009). Kanarya adalarındaki bazalt lavlarının üzerindeki *Stereocaulon vesuvianum* (Fruticose) hüfleri $325,13 \mu\text{m}$, *Ramalina bourgeana* (Fruticose) hüfleri $239,30 \mu\text{m}$ ve Crustose türler hüfleri $33,51 \mu\text{m}$ derinliğine ulaşabilmektedir (Stretch ve Viles, 2002). Likenle kaya arasındaki yüzeyin özellikle mantar kısmınca salgılanan çeşitli organik asitlerce pH değerleri düşürülmektedir. Buna bağlı olarak da ortamın pH'ı düştükçe minerallerin ayrışma hızı artmaktadır (Wilson, 2004).



Şekil 3.64. Alacahöyük antik kenti duvarlarında gözlenen alg ve liken kolonizasyonu.



Şekil 3.65. Bitlis Şerefiye Camii duvarlarında (solda) ve XIII. yüzyıla ait kırmızı tüf taşından yapılmış Ahlat mezar taşlarında gözlenen yoğun liken yerleşimi.

3.4.5.3. Yosun

Çoğunlukla su yosunları (algler) için kullanılan bir terim olan yosun, kara yosunları ve su yosunları (algleri) gruplarını kapsayan genel bir terimdir.

Kara yosunları ya da karasal yosunlar, gerçek kök, yaprak ve gövdeleri olmayan, çok hücreli fotosentetik bitkilerdir. Kara yosunlarının iletim demeti taşımayan ilkel gövdesi basit veya dallanmıştır. Gövdenin bütün etrafı üzerinde sık dizilişli küçük ve damarsız yapraklar bulunur. Çoğu yapraklı olan küçük yapıları türler içerirler. Kök yerine bir ya da çok hücreden oluşan köksü yapılar (rizoidler) bulunur. Buldukları ortamda yeşil renkte yumuşak halı gibi bir örtü meydana getirirler. Genellikle nemli ortamda gelişirler, ancak kuraklığa aylarca tahammül eden cinsleri de vardır. Yosunlar boyutları milimetreyi aşmayan, çok sıkı bir şekilde yan yana dizilmiş birçok mikro-yapraktan oluşurlar.

Yapıların nemli olan bölümlerinde ve gölge alan bölümlerinde kolonileşirler ve zamanla taş yüzeyinde çukurlaşmalara ve çatlaklara neden olurlar. Maksimum kalınlığı 1-2 milimetre olan bu bitki türü, taş yüzeyinde rizoidler geliştirerek salgıladığı asidik enzimlerle taşı ayrıştırmakta ve böylece taş yüzeyi ile kendi gövdesi arasında ince bir toprak tabakası oluşturmaktadır. Yosunlar yapı malzemelerinin yüzeylerinde 1 cm veya biraz daha derine kadar zararlı etkilerde bulunurlar. Alkali yüzeyler, örneğin kireç harcı, çimento veya sağlamlaştırma amacıyla kullanılan çimento betonu yüzeyler üreme ortamı olmaktadır.

Yosunlar ortamdaki su oranına bağlı olarak morfolojik ve renksel değişimler gösterirler. Normal nemli ortamda yeşilken kurak mevsimlerde çekerek boyları küçülür ve kahverengine dönüşür.



Şekil 3.66. Karatepe Açık Hava Müzesi giriş kapısı aslanlarında görülen liken ve yosundan oluşan biyolojik birikim.

3.4.5.4. Mantar

Klorofil içermeyen, bitki benzeri canlılar olan mantarlar, tek hücreli ve ilkel oldukları gibi, çok hücreli ve gelişkin bir yapı da gösterebilirler. Çok karmaşık bir grup oluşturan mantarlar geleneksel sınıflandırma sistemlerinde bitki olarak kabul edilmekle birlikte, günümüzde bu canlıları ayrı bir grup altında toplama eğilimi daha yaygındır. Çok basit yapıli canlılar olan mantarlar “küf” veya “fungi” olarak da bilinirler. Gerçek bitkiler gibi kök, gövde ve yaprakları bulunmayan bu canlılar “hif” denen dallanmış ince iplikçiklerden oluşurlar. Hifler yani mantar iplikçikleri kolaylıkla beslenebileceği herhangi bir ortamda örneğin bir odunun, toprağın ya da taşın üzerinde hızla büyüyerek gelişir.

“Fungi” adıyla da bilinen mantarlar, taş üzerinde çıplak gözle fark edilebilen beyaz, gri ve siyah renkte, pudra yapısında bir leke şeklinde görülür. Taşın birkaç santimetre iç kısmına girebilmektedir. Mantarlar çoğunlukla kimyasal ve mekanik aktiviteler sonucunda gelişen bir renk değişimi şeklinde bozunmaya neden olurlar. Organik doku gereksinimi nedeniyle, atmosferdeki organik kirlenme mantarların gelişimine olanak sağlamaktadır.

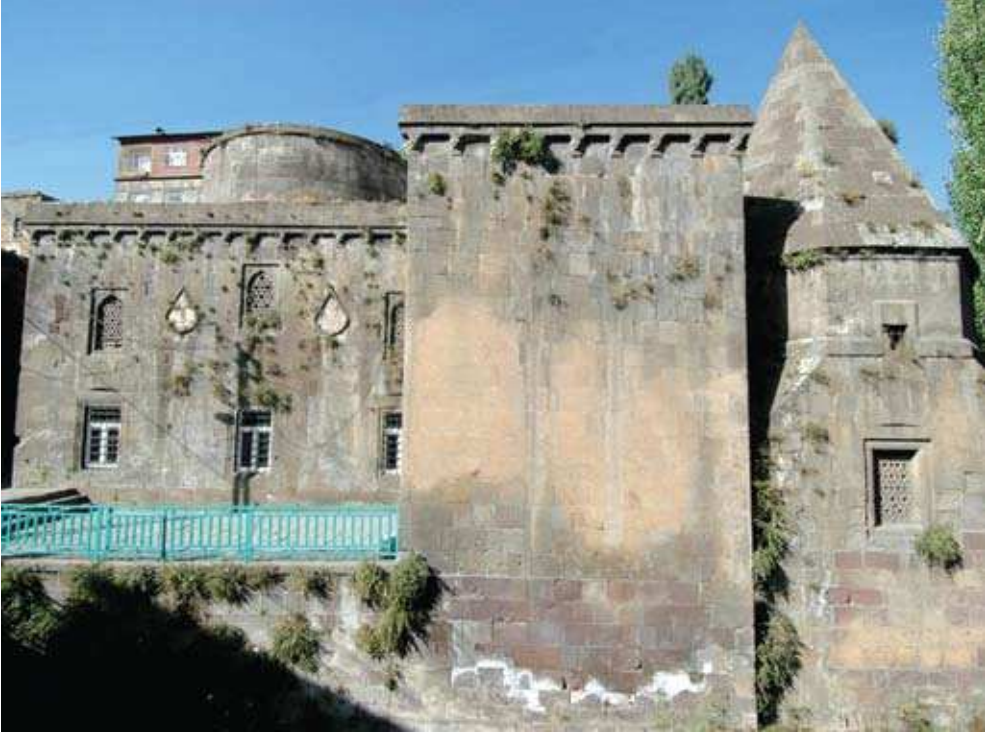
Taşa alterasyona neden olan bakterileri iki grupta incelemek mümkündür. Bunlar, enerjilerini kimyasal oksitlenme ve redüksiyon yoluyla güneş ışığından alan ototrofik bakteriler ile enerjilerini topraktaki organik maddelerden sağlayan heterotrofik bakterilerdir. Bu reaksiyonların sonucunda oluşan zayıf ve güçlü asitler (karbonik asit, nitrik asit ve daha zayıf bazı asitler ve kimyasallar) karbonat ve silikat minerallerine zarar verirler. Diğer bakteri ve mantar türleri ise yaşamları için gerekli enerjiyi organik maddelerin oksidasyonundan elde ederler. Bu reaksiyonların sonucunda organik asitler ortaya çıkar. Bu asitlerden biri oksalik asittir. Ayrışmış taş yüzeylerindeki kabuklarda bulunan kalsiyum oksalat, bu olguyla açıklanmaktadır.

3.4.5.5. Bitki

Bulunduğu yere kökleriyle tutunup gelişen ve yaşam sürecini tamamladıktan sonra kuruyarak varlığı sona eren, ağaç, ot, yosun gibi organizmaların genel adı olan bitki topluluğu taşların bozunmasında etken olan diğer bir faktör olarak ele alınır. Yüksek bitkiler veya vejetasyon olarak da bilinen bitkiler, mekanik ve kimyasal etkenlerle taşta zarar vermektedirler. Terk edilerek artık kullanılmayan bir yapıda, ortamda suyun olması durumunda çok geçmeden bazı ot ve bitki türlerinin geliştiği sıklıkla görülür. Bitkilerin kökleri ve diğer kısımları, taşın gözenek sistemi içine nüfuz ederek taşta mekanik çatlaklara ve kopmalara neden olurlar. Aynı zamanda ortamı nemli tutarak diğer bozunma türlerini de hızlandırmış olurlar.⁴⁶

Eski yapılar üzerinde bazı tür kuşlar kolaylıkla yuvalanabilmekte ve dışkılarını yapı üzerinde bırakmaktadırlar. Fazla miktardaki dışkı, özellikle karbonatlarla ve diğer taşlarla reaksiyona girerek kalsiyum fosfat ve bazı nitratlar oluşturan fosforik ya da nitrik asit içerdiği için tehlikeli olmaktadır.

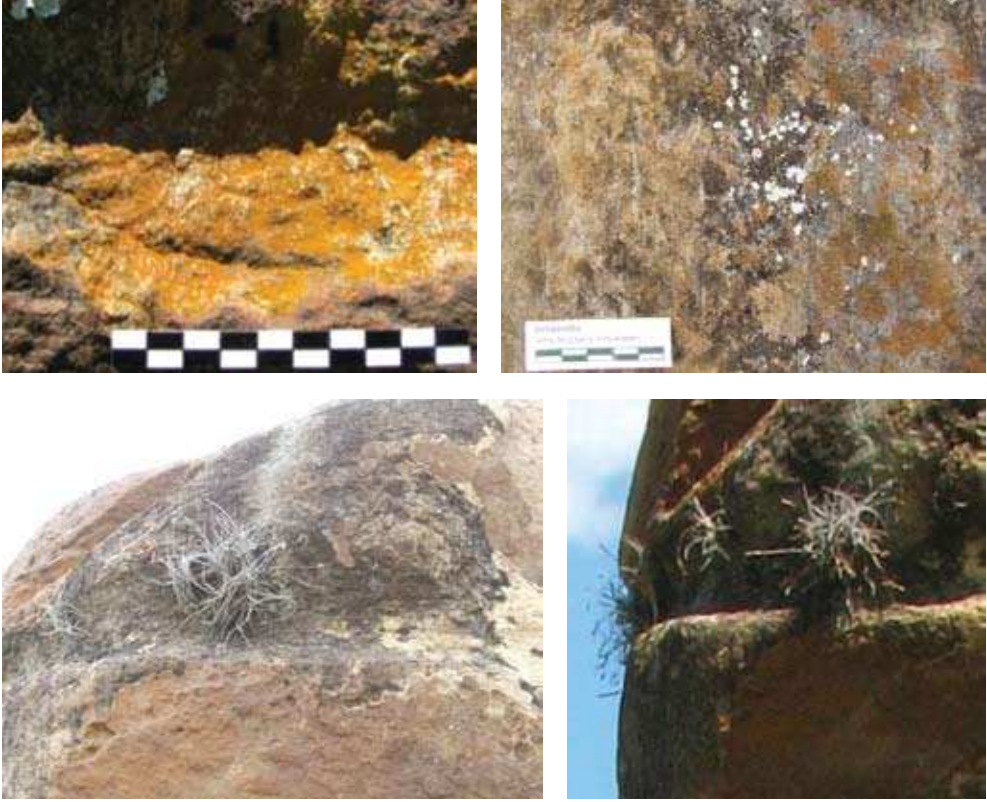
⁴⁶ Tuz kristallenmesi gibi.



Şekil 3.67. Bitlis Şerefiye Camii'nin duvarlarında gelişen bitki örtüsü.



Şekil 3.68. İstanbul Mahmut Paşa Hamamı (solda) ile Iznik Hadrianus Kapısında gözlenen bitki örtüsü.



Şekil 3.69. Taş heykellerde gözlenen biyolojik kolonizasyon.

3.5. AYRIŞMA YOĞUNLUĞU

Ayrışma yoğunluğu, taş eserlerdeki bozunmanın görsel olarak değişik ölçüm sistemlerinden yararlanılarak ayrışma derecesinin belli parametreler yardımıyla nitelendirilmesidir. Taş eserlerdeki bozunma derecesinin yoğunluğu, bozunma durumunun anlaşılmasında önemli bir ölçüttür. Ayrışma derecesinin saptanmasında kullanılan ölçütler temel olarak eserde yapılan görsel incelemelere dayanmakla birlikte, bazı tür ayrışmanın saptanmasında ölçüm metotları da kullanılmaktadır.

Bozunma derecesinin anlaşılmasında, kullanılan parametreler eserlerdeki hasarın boyutunu görselleştirerek bir anlamda konservasyon metotlarının nasıl olması gerektiği yolunda da ipuçları vermiş olacaktır. Materyal kaybının ve yüzeydeki aşınmanın boyutları, tabakalaşmanın kalınlığı, çatlakların genişliği ve boyu, ayrışma yoğunluğu parametreleridir. Eserdeki bozunmanın saptanmasındaki en önemli kavram "boyut"tur. Boyut burada tümüyle fiziksel anlamda kullanılmaktadır ve hem nicel (kantitatif) hem de nitel (kalitatif) değerlendirmeleri içermektedir. Ayrışma formlarının yoğunluk saptaması temel boyutlar olan "uzunluk" ve "hacim" bakımından değerlendirilmektedir.

Ayrışma formlarının yoğunluğunun saptanmasında "doğrudan" ve "dolaylı" olmak üzere iki türlü ölçüt kullanılmaktadır. Doğrudan kullanılan ölçütlerde, eserde gözlenen bozunma so-

nuçları sayısal değerlerle⁴⁷ verilmiştir. Dolaylı yönden kullanılan ölçütlerde ise taş yüzeyindeki kirlenmenin oranı/miktarı tahmin yoluyla verilmektedir.

Taşa oluşan materyal kaybının nitelendirilmesinde, ayrışmanın gerçekleştiği bölümde derinlik parametresi doğrudan bir ölçüt olarak kullanıldığı gibi, bazı durumlarda tahmin etme yoluyla dolaylı ölçütler de kullanılmaktadır (Tablo 3.1, Tablo 3.2). Aşınma yoluyla oluşan bozunma, materyal kaybının yüzeyden derinliği hesaplamak suretiyle doğrudan ölçüt olarak kullanılmaktadır. Bunun yanında eksilen kısmın tahmini hacmi veya miktarı ise dolaylı ölçüt parametresi olarak önceki sonucu desteklemektedir. Her iki ölçüt kullanımında taşın orijinal yüzeyi baz alınmaktadır.

Rölyef türündeki ayrışma formunun nitelendirilmesinde doğrudan ölçüt parametreleri kullanılarak ayrışmanın yüzeyden derinliği ölçülürken, eksilen materyalin miktarının belirtilmesi de dolaylı ölçüt olarak desteklemektedir. Yuvarlaklaşma ve alveolar ayrışma için ise ek olarak çapların ölçüleri verilmektedir.

Kırılma için, morfolojik olarak düzensiz bir yapı gösterdiğinden, eksik olan kısmın miktarını nitelendirmek için doğrudan ölçüt değerleri yerine dolaylı ölçüt parametreleri kullanılmaktadır. Yine her iki ölçüt sisteminde taşın önceden var olan orijinal yüzeyi baz alınmaktadır.

Bu ayrışma grubunun kantitatif değerlendirilmesi için temel olarak dolaylı ölçüt parametreleri kullanılmak durumundadır (Tablo 3.1, Tablo 3.2).

Tablo 3.1. Taştan Materyal Kaybıyla İlgili Ayrışma Yoğunluğu Ölçütleri

Ayrışma formu	Doğrudan yoğunluk ölçütü	Dolaylı yoğunluk ölçütü
Aşınma	Aşınma derinliği (mm, cm)	Eksilen kısmın miktarı
Rölyef	Rölyef derinliği, çapı, uzunluğu (mm, cm)	Eksilen kısmın miktarı
Kırılma	Eksik kısmın derinliği (mm, cm)	Eksilen kısmın miktarı

Renk değişimi, taşın bozunmamış yerindeki renk ile bozunmaya uğramış bölümün rengi karşılaştırılarak renklenme derecesi belirlenmek suretiyle nitelendirilir (Çizelge 3-3). Kirlenmeyle ilgili saptamalar, her kirlenme alt sınıfının durumuna göre doğrudan veya dolaylı ölçüt parametreleri kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Atmosfer kirlenmesi nedeniyle oluşan partikülleri yüzeyi kaplama oranı ve renk durumlarıyla nitelendirilmesi yapılırken, yerden gelen kirlenmelerle kuş dışıklarının yoğunluğu ve miktarı, dolaylı bir ölçüt olarak, tahmin edilmek suretiyle açıklanmaktadır.

Ayrışma yoğunluğunun derecesini belirtmek için esas olarak 3 farklı bozunma ölçütü kullanılmaktadır. Bazı özel durumlarda, bozunma ölçütleri 5'e çıkarılabilmektedir (Tablo 3.1, Tablo 3.2, Tablo 3.3, Tablo 3.4). Daha çok tarihi bir yapının ayrışma haritası çıkarıldığında, ayrıntıları daha net ortaya koymak amacıyla parametrelerin sayısının artırılması yoluna gidilmektedir. Bu sınıflandırma hem doğrudan hem de dolaylı ölçüt parametreleri için geçerlidir.

⁴⁸ Kabuk kalınlığı, rölyef derinliği vs.

Tablo 3.2. Renk Değişimi/Kirlenmeyle İlgili Kullanılan Ayrışma Yoğunluğu Ölçütleri

Ayrışma formu	Doğrudan yoğunluk ölçütü	Dolaylı yoğunluk ölçütü
Renk değişimi	-	Renk derecesi, renk farkı
Kirlenme	-	Yüzeyi kaplama oranı, kir miktarı
Tuz birikimi	-	Yüzeydeki tuz miktarı
Kabuklanma	Kabuk kalınlığı (mm, cm)	Yüzeyi kaplama oranı, morfolojik yapı özellikleri
Biyolojik kolonizasyon	-	Yüzeyi kaplama oranı, miktarı

Tablo 3.3. Ayrışma Yoğunluğunun Doğrudan Ölçüt Parametreleri Kullanılması Halindeki Sınıflandırılması (Kownatzki, 1997)

Ayrışma Yoğunluğu Ölçütleri		
Seviye	Materyal Kaybı Derinlik (mm)	Materyal Çözülmesi Kalınlık (mm)
1	1-5	1-10
2	6-10	11-15
3	>10	>15

Tablo 3.4. Ayrışma Yoğunluğunun Dolaylı Ölçüt Parametreleri Kullanılması Halindeki Sınıflandırılması (Kownatzki, 1997)

Ayrışma Yoğunluğu Değerleri		
Seviye	Miktar	Derece
1	Az	Zayıf
2	Orta	Orta
3	Çok	Güçlü

KAYNAKLAR

- Abdüsselamoğlu, N. Ş., 1982, Tortul Kayaç Petrografisi, İstanbul Teknik Üniversitesi Yayını, İstanbul.
- Adamo, P., P. Violante, 2000, Weathering of Rocks and Neogenesis of Minerals Associated With Lichen Activity, *Applied Clay Science* 16 2000 229-256.
- Altınlı, İ. E., 1986, *Yerbilimleri Sözlüğü*, Maden Teknik Arama, Ankara.
- Altıntepe, A., 2004, Değişik Kaya Birimlerinden Üretilmiş Sert Kırmataşın Beton Dayanımına Etkisinin Araştırılması, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Akın, M., 2008, Eskipazar (Karabük) Travertenlerinin Bozunmasının Araştırılması, Ankara Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Bölümü Doktora Tezi, Ankara.
- Arocena, J. M., Hall, K., 2004, Dark and Light Lichen Coloration and Basalt Weathering in a Cold Environment: Preliminary Results From Northern Canada. *Polar Geography*, 28, No. 1, pp. 32-42.
- Aydın, S., 1987, Taş ve Ahşap Mimari Anıtların Bozunma Nedenleri ve Onarım Teknikleri, YTÜ Yayını, İstanbul.
- Bjelland, T., Saebo, L. and Thorseth, 2002, The Occurrence of Biomineralization Products in Four Lichen Species Growing on Sandstone in Western Norway. *Lichenologist*, 34 (5): 429 - 440.
- Caner, E. N., Türkmenoğlu, A.G. 1985, Deterioration of Basalts from a Hittite Archaeological Site, Karatepe, Turkey: Vth International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, ed. G. Felix, Ecole Polytechnique Federale de Lausanne, 411-419.
- Caner-Saltık, E. N., 2000, Taş ve Seramik Eserlerin Özelliklerinin ve Bozunmalarının Koruma Amacıyla İncelenmesi, 1. Ulusal Taşınabilir Kültür Varlıkları Konservasyonu ve Restorasyonu Kolokyumunu, 6-7 Mayıs 1999, No: 1, s.119-123.
- Caneva, G., M. P. Nugari, O. Salvadori, 2000, *La Biología en la Restauración*, Editorial Nerea, Hondarribia (Guipúzcoa).
- Chen, J., H.-P. Blume, L. Beyer. 2000, Weathering of Rocks Induced by Lichen Colonization - A Review, *Catena* 39 2000 121-146
- Çakar, T., 2009, Likenlerin Karatepe Aslantaş Açık Hava Müzesi Bazaltik Kayaç Eserler Üzerindeki Ayrışmaya/Bozunmaya Etkisi, Çukurova Üniversitesi, FBE Arkeometri Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Adana.
- Çambel, H., 2004, Karatepe-Aslantaş ve Domuztepe 2003 Yılı Çalışmaları. 26. Kazı Sonuçları Toplantısı, Konya, 1. cilt, s. 139-142.
- Çorapçıoğlu, K., 1983, Doğal Taş Kagir Yapılarda Taş Ayrışmasının Nedenleri ve Maktralı Kalkerler Üzerine Bir Araştırma, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yayınlanmamış Doktora Tezi, İstanbul.

- Dal, M., 2011, Mimarinin En Soylu Yapı Malzemesi Olarak Doğal Taş, Mimarlar Odası İstanbul Büyükkent Şubesi, Mimarlıkta Malzeme Dergisi, Temmuz 2011, 19: 90-95, İstanbul.
- Dal, M., 2010, Trakya Bölgesi Tarihi Yapılarında Kullanılan Karbonatlı Taşların Bozunma Nedenleri, Vakıflar Genel Müdürlüğü Yayınları, Vakıflar Dergisi Aralık 2010 Sayı: 34, Ankara, 47-59.
- Dal, M., 2010, Classification of Traditional Sediment Building Stones in the view of Formation and Composition, Türkiye 63. Jeoloji Kurultayı, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, 5-9 Nisan 2010, Ankara.
- Dal, M., 2008, Vize-Pınarhisar (Kırklareli) Bölgesi Kalkerlerinin Restorasyonda Kullanılabilirliği, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı Doktora Tezi, Edirne.
- Dal, M., 2007, Sedimanter Kayaçların Bileşimsel Adlandırılması-Alterasyon Etkileri, 15. Yıl Mühendislik-Mimarlık Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Cilt-IV, 14-16 Kasım 2007, Süleyman Demirel Üniversitesi Matbaası, Isparta, 133-137.
- Dal, M., 2005, Edirne'deki Dolomitik Esaslı Yapı Kayaçlarının Bozunma Şekilleri ve Restorasyon Yöntemleri, Trakya Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Mimarlık Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Edirne.
- Dal, M., Gültekin, A. H., 2010, Trakya Bölgesi Geleneksel Yapı Restorasyonlarında Kullanılan Pınarhisar Kalkerinin Mineralojik ve Petrografik Özellikleri, Mimarlar Odası İstanbul Büyükkent Şubesi, Mimarlıkta Malzeme Dergisi 15. Sayı, 92-96.
- Dal, M., Gültekin, A. H., 2007, Geology and Alteration of Building Stones Using Conventional Architecture in the Kırklareli-Vize Region, 3rd International Symposium on Architect Sinan-Housing in Historical Centers and Rural Areas, Abstracts, 12-13 April 2007, Trakya University, Faculty of Engineering & Architecture Department of Architecture Edirne/Turkey, 84.
- Dal, M., Artık, K., 2008, Geleneksel Mimaride Taş Alterasyonu, MERSEM 2008 Türkiye VI. Mermer ve Doğaltaş Sempozyumu, 26-27 Haziran 2008, Afyonkarahisar, 59-63.
- Devellioğlu, F., 1992, Osmanlıca-Türkçe Ansiklopedik Lûgat, Ankara.
- DPT, 2001, Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Madencilik ÖİK Raporu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Yapı Malzemeleri II (Mermer-Granit-Yapı Taşları-Arduvaz (sleyt)) Çalışma Grubu Raporu, Ankara.
- DPT, 1991, Altıncı Beş Yıllık Kalkınma Planı, Özel İhtisas Komisyonu Raporu Refrakter Sanayi Maddeleri, Ankara.
- Dünya Kültür Köprüsü Türkiye Tanıtım Projesi, Güvem Bazalt Sütunları Jeositi, http://kizilcahamamgezi.com/Kizilcahamam_Guvenm_Bazalt_Sutunlari_Jeositi.htm (erişim tarihi: 10.12.2011)
- EN 1925, 2000, Doğal Taş Test Yöntemi - Kılcal Etkiye Bağlı Su Emme Katsayısının Tayini
- EN 1926, 2000, Doğal Taş Test Yöntemi - Basınç Dayanımı Tayini
- EN 12372, 2001, Doğal Taş Test Yöntemi - Bükülme Direnci Tayini

- EN 12370, 2001, Doğal Taş Test Yöntemi - Tuzlara Karşı Kristalizasyon Direnci
- EN 12407, 2002, Doğal Taş Test Yöntemi - Petrografik Tanımlama
- EN 12440, 2002, Doğal Taş İsim Verme Kriterleri
- Ehling, A., 1999, Die oberkretazischen Bausandsteine Schlesiens. Petrographie, Geochemie, Gesteintechnische Eigenschaften, Verwitterung und Verwendung sowie Charakterisierung ihres Kathodolumineszenz-Verhaltens. Doktora tezi. Univ. Hannover, Hannover. 131 s.
- Eren, E., 1989, Dolmabahçe Yapı Taşlarının Bozunma Nedenlerinin Saptanması ve Korunması Üzerine Bir Araştırma, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, İstanbul.
- Eren, Y., Mühendislere Jeoloji Ders Notları, Selçuk Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Konya. <http://www.yasareren.com/yasareren/muhendislerejeo.htm> (Erişim tarihi: 10.12.2011, Prof. Dr. Yaşar Eren)
- Erginal, A. E. Gönüz, A., Bozcu, M., Ateş, A. S., Çetiner, Z. S., 2007, Gelibolu Yarımadası Batı Kıyılarında Alveolar Ayrışmanın Kökeni Üzerine İlk Bulgular, MTA Dergisi, 134, 27-34.
- Erguvanlı, K., 1987, Mühendislere Jeoloji, İTÜ Yayını, İstanbul.
- Erguvanlı, K., 1955, Türkiye Mermerleri ve İnşaat Taşları, İTÜ Yayını, İstanbul.
- Erguvanlı, K., Sayar, M., 1962, Türkiye Mermerleri ve İnşaat Taşları, İTÜ Yayını, İstanbul.
- Ersen, A., 1991, Taş Koruma ve Uygulamalarının Evrimi, Doçentlik Tezi, İTÜ Mimarlık Fakültesi Restorasyon Anabilim Dalı, İstanbul.
- Fitzner, B., 2002, Damage Diagnosis on Stone Monuments - in situ Investigation and Laboratory Studies. Proceedings of the International Symposium of the Conservation of the Bangudae Petroglyph, 15.07.2002, Ulsan City / Korea: 29-71, Stone Conservation Laboratory, Seoul National University, Seoul, Korea.
- Fitzner, B., 2004, Documentation and Evaluation of Stone Damage on Monuments (Kwiatkowski, D. & Löfvendahl, R. eds). Proceedings of the 10th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, 27 June - 2 July 2004, Stockholm, Vol. II, 677-690, ICOMOS, Sweden.
- Fitzner, B., Heinrichs K., 2002, Damage Diagnosis on Stone Monuments – Weathering Forms, Damage Categories and Damage Indices.– In Prikryl, R. & Viles, H. (ed.): Understanding and Managing Stone Decay, Proceeding of the International Conference Stone weathering and Atmospheric Pollution Network (SWAPNET), Charles University, Prague, The Karolinum Press p. 11-56.
- Fitzner, B., Heinrichs K., 2002, Damage Diagnosis on Stone Monuments - Weathering Forms, Damage Categories and Damage Indices.- In Prikryl, R. & Viles, H. A. (ed.): Understanding and managing stone decay, Proceeding of the International Conference Stone weathering and atmospheric pollution network (SWAPNET 2001), 11-56, Charles University in Prague, The Karolinum Press.
- Fitzner, B., Heinrichs K., 2004, Photo Atlas of Weathering Forms on Stone Monuments. www.stone.rwth-aachen.de

- Fitzner, B., Heinrichs K., 2005, Kartierung und Bewertung von Verwitterungsschäden an Natursteinbauwerken (S. Siegesmund, M. Auras, J. Ruedrich und R. Snethlage editör). Z. dt. Ges. Geowiss., 156/1:7-24.
- Fitzner, B., Heinrichs K., Kownatzki, R., 1992, Classification and Mapping of Weathering Forms. Proceedings of the 7th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, Lisbon, 15.-18.06.1992, Lisbon (Portugal), p. 957-968.
- Fitzner, B., Heinrichs K., Kownatzki R., 1995, Weathering Forms –Classification and Mapping, Verwitterungsformen –Klassifizierung und Kartierung. Denkmalpflege und Naturwissenschaft, Natursteinkonservierung 1. Ernst & Sohn, Berlin, p. 41-88.
- Fitzner, B., Heinrichs K., & Kownatzki, R., 1997, Weathering Forms at Natural Stone Monuments –Classification, Mapping and Evaluation. International Journal for Restoration of Buildings and Monuments, Vol. 3, No. 2: 105-124.
- Fitzner, B., Heinrichs K., & La Bouchardiere, D., 2002, Damage Index for Stone Monuments.- in: Galan, E. & Zezza, F. (ed.): Protection and Conservation of the Cultural Heritage of the Mediterranean Cities, Proceedings of the 5th International Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin, Sevilla, Spain, 5-8 April 2000: 315-326, Swets & Zeitlinger, Lisse, The Netherlands.
- Fitzner, B., Heinrichs K., & La Bouchardiere, D., 2003, Weathering Damage on Pharaonic Sandstone Monuments in Luxor-Egypt. - Building and Environment, 38:9-10, p. 1089-1103.
- Fitzner, B., Heinrichs K., & La Bouchardiere, D., 2004, The Bangudae Petroglyph in Ulsan / Korea - Studies on Weathering Damage and Risk Prognosis. - Environmental Geology (2004) 46:504-526, Springer.
- Fitzner, B., Heinrichs, K., & Volker, M., 1997, Monument Mapping – a Contribution to Monument Preservation (F. Zezza editör). Proceedings of the E. C. Research Workshop "Origin, Mechanisms and Effects of Salts on Degradation of Monuments in Marine and Continental Environment", March 25-27, 1996, Bari: C.U.M. University School of Monument Conservation Bari (Italy): 347-355.
- Goretzki, L., 2004, Krustenbildung - Veränderung an der Baustoffoberfläche durch Umwelteinflüsse. Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. -WTA-.
- Gökaltun, E., 1999, Atmosferik Kirleticilerin Kuru ve Islak Çökeltme Mekanizmalarının Kireçtaşlarındaki Parlaklık Kaybına Etkisi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 001, 134-156.
- Güleç, A., 1990, Yapı Taşlarında Koruma Yöntemleri, Topkapı Sarayı Dergisi, 2,3:88-91.
- Gürdal, E., 2000, Yapı Elemanı Tasarımında Malzeme, Literatür Yayıncılık, İstanbul.
- Gürdal, E., 1982, Anıtlarda ve Yapılarda Kullanılmış Doğal Taşların Bozunma ve Korunmaları, Röleve ve Restorasyon Dergisi, Özel sayı: 24-29.
- Hausrath, E. M., Neaman, A., and Brantley, S.L., 2009, Elemental Release Rates from Dissolving Basalt and Granite With and Without Organic Ligands. American journal of science, vol. 309, October, 2009, p. 633-660.

- Heinrichs, K., 2005, Diagnose der Verwitterungsschäden an den Felsmonumenten der antiken Stadt Petra / Jordanien.- Dissertation - RWTH Aachen, Aachener Geowissenschaftliche Beiträge, Band 41, Wissenschaftsverlag Mainz, Aachen.
- Hinsinger, P., Barros, O. N. F., Benedetti, M. F., Noack, Y., Callot, G., 2001, Plant-Induced Weathering of a Basaltic Rock: Experimental Evidence. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 65, No. 1, pp. 137-152.
- Hörenbaum, W., 2005, Verwitterungsmechanismen und Dauerhaftigkeit von Sandsteinsichtmauerwerk, Doktora tezi, Universität Karlsruhe (TH), Karlsruhe, 357 s.
- Huneck, S., 1999, The Significance of Lichens and Their Metabolites. *Naturwissenschaften* 86, pp. 559-570
- ICOMOS-ISCS, 2008, ICOMOS-ISCS, Illustrated Glossary on Stone Deterioration Patterns (Paris: ICOMOS, 2008).
- İTÜ Geliştirme Vakfı, 2000, Dolmabahçe Sarayı Kullanılan Taşların Korunmuşluk Durumlarının ve Ayrışma Nedenlerinin Belirlenmesi Koruma ve Onarım Yöntemlerinin Saptanması Projesi Sonuç Raporu, İstanbul.
- Johnston, C. G., Vestal, J. R., 1993, Biogeochemistry of Oxalate in the Antarctic Cryptoendolithic Lichen - Dominated Community. *Microbial Ecology* 25: 305 - 319.
- Kaddey, L. F., 1975, *Diyomit-Industrial Rocks and Minerals*, New York. Çeviri; Okay, L., 1978, MTA Rap. No. 1206, Ankara.
- Katsanos, N. A., De Santis, F., Cordoba, A., Roubani-Kalantzopoulou, F., Pasella D., 1999, Corrosive Effects From the Deposition of Gaseous Pollutants on Surfaces of Cultural and Artistic Value Inside Museums, *Journal of Hazardous Materials*, 64, 1, 21-36,.
- Kownatzki, R., 1997, Verwitterungszustandserfassung von Natursteinbauwerken unter besonderer Berücksichtigung phänomenologischer Verfahren. Doktora tezi, RWTH Aachen, Aachener Geowissenschaftliche Beiträge, Band 22, Verlag der Augustinus Buchhandlung, Aachen.
- Kownatzki, R., Fitzner, B., 1999, Verwitterungszustandserfassung an Natursteinbauwerken. *Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft*, 150/3: 543-564.
- Krasilnikov, N. A., 1949, The Role of Microorganisms in the Weathering of Rocks. *Mikrobiologiya*, Vol. 18, No. 4, pp. 318-323, Translated for Jet Propulsion Laboratory, October, 1967, Pasadena, California.
- Küçükkaya, A. G., 2004, Taşların Bozunma Nedenleri ve Koruma Yöntemleri, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Kumar, R. & Kumar, A. V., 1999, Biodeterioration of Stone in Tropical Environments: An Overview, The Getty Conservation Institute (GCI), Research in Conservation, USA.
- Ketin, İ., 1982, Genel Jeoloji, İTÜ Yayını, İstanbul.
- Ketin, İ., 1977, Genel Jeoloji, İTÜ Yayını, İstanbul.

- Kulaksız, S., 2005, Doğal Taş (Mermer) Maden İşletmeciliği ve İşleme Teknolojileri, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Ankara.
- Küçükaya, A. G., 2004, Taşların Bozunma Nedenleri ve Koruma Yöntemleri, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Martinez, M., Gaylarde, C., Otorola, A., 2002, Análisis microbiológico de las biopelículas implicadas en el biodeterioro de monumentos de piedra en Villa de Leyva, Boyacá, Colombia y evaluación de sustancias biocidas para su control. Mundo Microbiológico, 1.
- Öcal, A. D., 1998, Conservación y restauración de la Toba Volcánica, Estudio técnico y gráfico de presentación profesional, Bilimsel rapor, Bogota, Kolombiya.
- Öcal, A. D., 2000, Deterioration of archaeological environment in the Eastern Mediterranean. Cevdet Bayburtluoğlu'na Armağan, Homer Yayınevi, İstanbul.
- Öcal, A. D., Cramer, T., Siegesmund, S., 2007, Caracterización de agentes del deterioro de los monolitos de piedra arenisca del Infiernito – Colombia. 2do. Congreso Argentino y 1ro. Latinoamericano de Arqueometría, 6 al 8 de junio de 2007, Comisión Nacional de Energía Atómica, Buenos Aires, Arjantin.
- Öcal, A. D., Siegesmund S., 2007, Toba volcánica como material arqueológico en Colombia: Caracterización, causas de la descomposición y conceptos de conservación, in 2do. Congreso Argentino y 1ro. Latinoamericano de Arqueometría, 6 al 8 de junio de 2007, Comisión Nacional de Energía Atómica, Buenos Aires, Arjantin.
- Öngen, S., 2009, Jeolojiye Giriş I Dersi, <http://www.istanbul.edu.tr/eng/jeoloji/akademik/gj/ders-uygulama/jeolojiyegiris-1/notlar/metamorfikkayaclar.pdf> (Erişim Tarihi: 15.02.2012)
- PrEN 1342, 1996, Yapı ve Kaplama Taşları Olarak Kullanılan Parke Taşı Kaliteleri
- PrEN 1343, 1996, Yapı ve Kaplama Taşları Olarak Kullanılan Bordür Taşı Kaliteleri
- PrEN 1341, 1996, Kaplama Taşı Olarak Kullanılan Kaplama Levhaların Kaliteleri
- Price, D. G., 1995, Weathering and Weathering Process. Quarterly Journal of Engineering Geology, 28, pp. 243-252.
- Schaffer, R. J., 1932, The Weathering of Natural Building Stones, Department of Scientific and Industrial Research, Building Research Establishment, Special Report No: 18, Garston, Wafford.
- Sevgi, O., Makineci, E., 2005, Likenlerin Kaya Parçalanması ve Ayrışmasında İşlevleri, İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Dergisi, Seri B, Cilt 55, Sayı 2, 75-83.
- Siegesmund, S., Auras, M., Ruedrich, J., Snethlage, R. (Hrsg.), 2005, Geowissenschaften und Denkmalpflege. Bauwerkskartierung, Natursteinverwitterung, Konservierungsstrategien, - Themenheft aus der Reihe „Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften“, 156 (1), Schweizerbart, Stuttgart.
- Snethlage, R., 2005, Leitfaden Steinkonservierung: Planung von Untersuchungen und Maßnahmen zur Erhaltung von Denkmälern aus Naturstein. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 288s.

- Stretch, R. C. Viles, H. A., 2002, The Nature and Rate of Weathering by Lichens on Lava Flows on Lanzarote. *Geomorphology* 47 (2002) 87-94.
- Sür, A., Sür, Ö., Yiğitbaşıoğlu, H., 2001, *Mineraller ve Kayaçlar*, Özkan Matbaacılık, Ankara.
- Tavukçuoğlu, A., 2001, *Taş Yapılarda Malzeme Bozunmalarının Görsel Analizi*, s. 223, İstanbul.
- Thompson, G. R., Türk, J., 1992, *Modern Physical Geology*. Printed in the United States of America, ISBN: 0-03-096910-7, 608 pages.
- Torraca, G., 1982, *Porous Building Materials*, ICCROM, Rome.
- TS 699, 1987, *Tabii Yapı Taşları - Muayene ve Deney Metotları*, TSE, Ankara.
- TS 1910, 1975, *Kaplama Olarak Kullanılan Doğal Taşlar*, TSE, Ankara.
- TS 2513, 1977, *Doğal Yapı Taşları*, TSE, Ankara.
- TS 6809, *Mohs Sertlik Cetveline Göre Sertlik Tayini*, TSE, Ankara.
- TS 6234, 1998, *Granit Yapı ve Kaplama Taşları Standardı*, TSE, Ankara.
- TS 10835, 1993, *Andezit Yapı ve Kaplama Taşları Standardı*, TSE, Ankara.
- TS 5762, 1998, *Diyabaz Yapı ve Kaplama Taşları Standardı*. TSE, Ankara
- TS 11137, 1993, *Kireçtaşı (Kalker) Yapı ve Kaplama Taşları Standardı*, TSE, Ankara
- TS 10449, 1992, *Mermer (Kalsiyum Karbonat Esaslı) Yapı ve Kaplama Taşları Standardı*. TSE, Ankara
- TS 10834, 1993, *Gabro Yapı ve Kaplama Taşları Standardı*, TSE, Ankara.
- TS 11145, 1993, *Konglomera Yapı ve Kaplama Taşları Standardı*, TSE, Ankara
- TS 11553, 1993, *Siyenit Yapı ve Kaplama Taşları Standardı*, TSE, Ankara
- TS 11143, 1993, *Traverten Yapı ve Kaplama Taşları Standardı*, TSE, Ankara
- TS 11135, 1993, *Trakit Yapı ve Kaplama Taşları Standardı*, TSE, Ankara
- TS 11444, 1994, *Dolomit Yapı ve Kaplama Taşları Standardı*, TSE, Ankara
- TS 12370, 2001, *Tuz Kristallenmesine Direncin Tayini*, TSE, Ankara.
- TÜMMER, *Doğal Taşlar, Türkiye Mermer Doğal Taş ve Makinaları Üreticileri Birliği*, Ankara. <http://www.tummer.org.tr> (Erişim Tarihi: 05.11.2011)
- Ulu, M. I., 2009. *Türkiye Doğal Taş Kullanım Kültürü ve Kireçtaşının Önemi*, Ar&Ge Şubesi, İstanbul. www.immib.org.tr/userfiles/documents/pdf/.../Son%20hali.pdf, (Erişim tarihi: 21.04.2010)
- Yıldırım, N., 2007, *Kireçtaşlarında Tuzların Yıkıcı Etkilerinin Araştırılması*, İTÜ FBE Mimarlık/Restorasyon Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

- Yüzer, E., 2004, Türkiye'nin Doğal Taşları, Yapı, 277, Yapı Endüstri Merkezi, 11-15, İstanbul.
- Yüzer, E., Angı, S., 2007, Nerede Hangi Doğaltaş, Hanlar-Kervansaraylar Geleneksel&Modern Mimaride Taş Sempozyumu, Antalya Expo Center, 29-30 Kasım 2007, Antalya, 155-164.
- Yüzer, E., Güngör, Y., Angı, S., 2008. Doğal Taş Deyince...!, Granitaş, Taş Kültür Yayını, Mart 2008, İstanbul.
- Yüzer, E., Gürdal, E., vd, 2000, Dolmabahçe Sarayı Kullanılan Taşların Korunmuşluk Durumlarının ve Ayrışma Nedenlerinin Belirlenmesi Koruma ve Onarım Yöntemlerinin Saptanması Projesi, Sonuç Raporu, İTÜ Geliştirme Vakfı, İstanbul.
- Wessman, L., 1997, Studies on the Frost Resistance of Natural Stone, Lund University, Lund Institute of Technology, Licentiate Thesis, Division of Building Materials, Sweden.
- Winkler, E.M., 1966, Important Agent of Weathering for Building and Monumental Stone, Engineering Geology, V: 1 (5), p.381.
- Woolfitt, C., 2000, Soluble Salts in Masonry, The Building Conservation Directory, London.