



Trakya Bölgesi Tarihi Yapılarında Kullanılan Karbonatlı Taşların Bozulma Nedenleri

Murat Dal*

Özet

Atmosfer, su ve canlıların etkileriyle kayalarda meydana gelen değişimlere bozulma veya ayrışma (weathering) denir. Bozulma sonucunda kayaların mineralojik ve petrografik özellikleri, kimyasal bileşimi, yapısal özellikleri, fiziko-mekanik özellikleri değişerek, kayada dağılma, parçalanma ve dökülmeler meydana gelir. Bazı kayalar süratle bozulur; bazıları ise uzun yıllar bozulmadan ilk orijinal durumlarını korurlar. Tarihi eserlerde kullanılmış olup binlerce yıldan beri bozulmamış taşlar vardır. Taşlar yapıda kullanılmadan önce bozulma süreci ve miktarları hakkında fikir sahibi olmak için mimar, jeolog, kimyacı, arkeolog, biolog ve meteorologların ortaklaşa çalışmaları gerekir.

Tarihi eserler incelendiğinde, yapıya en yakın çevredeki kayaların kullanıldığı görülmektedir. Kayaların kullanımı ulaşım ve ekonomi nedeniyle sınırlanmıştır. Yapıda kullanılacak malzemenin bilinçli seçimi, yapının ayakta kalma süresini etkilemektedir. Doğal etkenler karşısında varlığını sonsuza kadar sürdüreceği bir doğal malzemeden söz edilemez. Geleneksel yapılar; olumsuz atmosferik koşullardan, fiziksel ve biyolojik etkenlerden korunamadıkları taktirde, zaman içinde hızla tahrip olmaktadır.

Bu çalışmada, Trakya bölgesi geleneksel yapılarındaki oluşturduğu, malzeme ve detaylarda oluşan bozulmalar; litolojik etkiler, yapısal etkiler, işçilik hataları (tabakalı taşların yanlış konması, yapı taşının hemen kullanılması, ocağın yanlış işletilmesi, taşın işlenmesi, yapıya uygun taşın seçilmemesi), atmosferik bileşiklerin etkileri (SO₂, NO_x, CO₂, asit yağmurları) fiziksel etkiler (ısı, don, kapillarite, tuzlar), metal korozyonu etkisi, canlılar, bitkiler ve mikroorganizma etkileri fiziksel çevre koşullarına bağlı olarak irdelenmiştir.

Degeneration Reasons of Limestone Which Is Used in Traditional Structures of Thrace Region

Abstract

The changes in stones due to the atmosphere, water and biological effects are called as weathering. The mineralogical, petrography, chemical composition, structure, physic-mechanical features of stones change because of weathering and then the rock will scatter and laminate. While same rock types decompose rapidly, some of them preserve their initial state. There are some buildings stones which were used in the historical monuments haven't decomposed since thousands of years. Deciding the best choice for the building it requires an interdisciplinary works through the meteorologist, architect, geologists, chemist, archaeologist and biologist to decide the intensity and the duration of the decomposition.

In the old sites, people used the closest rocks for their buildings. Using materials for buildings are limited because of availability, economics and transportation. Deciding the best stone type for the building increases the life expectancy of building. It is impossible that building stones last forever without any harm in the nature. Traditional materials decompose rapidly without any precaution of atmospheric, physical and biological conditions.

In this study, the deterioration in the material and details that depend on litological effects, structural effects, stone working problems (wrong-putting of layered stones, use the building stones quickly, wrong running of quarries, wrong choices of stones for the building) atmospheric compounds effects (SO₂, NO_x, CO₂, acid rains), physical effects (temperature, frozen, capillarity, salts), metal corrosion, living things, micro organisms and some trees kind of Thrace region traditional buildings are investigated according to the physical, environmental conditions.

* Dr., Kırklareli Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü

Giriş:

KALKERLERİN BOZULMASINI ETKİYEN FAKTÖRLER

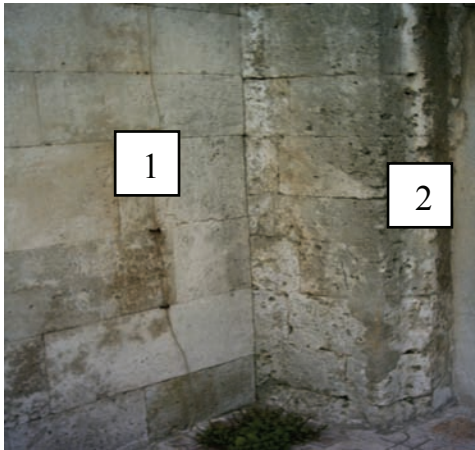
Kayaçların bozulması, birçok faktörün etkisi ile meydana gelir. Kayaçların zaman içinde bozulmaları doğal bir değişimdir. Ancak, malzemelerde gözlenen bozulmaların yaşlanmadan mı, yoksa yapının yer aldığı çevredeki olumsuz etkilerden mi kaynaklandığı kesinlikle belirlenmelidir. Yaşlanmanın boyutu, kayacın geldiği ocaktaki kalıntılara bakılarak veya yapıda çok iyi korunmuş kısımlar incelenerek bulunabilir. Çevre kirliliği, kayaç içinde gelişen kimyasal olaylar ve mikroorganizma etkileri kayaçtan alınan örnekler üzerinde yapılacak kimyasal analiz ve mikroskop çalışmaları ile ortaya koyulabilir.

1. Litolojik Etkiler

Yerinde ve laboratuvarında yapılan gözlemlerden elde edilen sonuçlara göre tortul taşlarda bozulma-ayırışma, metamorfik ve mağmatik taşlara oranla çok hızlı olmaktadır. Özellikle kalker, konglomera, kumtaşlarında erime, çiçeklenme, ayrılma ve kabuk oluşumu şeklindeki değişimler yaygındır. Metamorfik ve mağmatik kökenli taşlar tortul (sedimanter) taşlara göre daha dayanıklıdır.

Metamorfik ve mağmatik taşlarda; mineral türü, boyutu, kenetlenme derecesi, tortul taşlarda tane boyutu, çimentonun cinsi önemlidir. Diğer yandan kristallerin birbiri ile olan durumu, dilinim sistemleri, kristallerarası boşluklar, taşın direncini belirlemektedir. Ayrışmaya, şişmeye yatkın mineraller taş dokusunu zayıflatmakta, bozulmayı hızlandırmaktadır.

Kayaçlardaki minerallerin bozulma dereceleri farklıdır. Kuvars çok yavaş, Olivin ve kalsiyumlu feldispatlar çabuk bozulurlar. Önemli bazı minerallerin bozulma sırası yavaştan hızlıya doğru; Ku-



Şekil 1. Kırklareli Hızırbey Külliyesi Hamamı Doğu Cephesi 1. kısımdaki taşlar daha küçük kristallere sahip olduğundan parçalanma 2. kısımdaki iri kristalli taşlara göre daha azdır.



Şekil 2. Edirne Selimiye Camii Giriş sütununda kullanılan Hereke pudinginde oluşan büyük parça kayıpları ve çatlaklar şeklinde görülen bozulmalar.

vars → Muskovit → Potasyumlu Feldispat → Biotit → Sodyumlu Feldispat → Hornblend → Ojit → Olivin → Kalsiyumlu Feldispat şeklinde sıralanabilir (Erguvanlı, 1967).

Birçok taşın oluşumu homojen değildir. Kayaç içinde farklı sertlikte kısımlar ile kum, silt, kil ve marnlı kısımlar bulunur. Bu kısımların farklı dayanımında olması nedeniyle yumuşak kısımlarının dağılıp düştüğü, bozulduğu ve oyukların meydana geldiği görülür. Bu taşlar atmosfer etkisinin fazla olduğu yerlerde kullanılacak olursa farklı bozulmalar meydana gelir. Farklı bozulmalar özellikle kalkerlerde ve kumtaşlarında görülür. Örneğin büyük camilerin kemerlerinde ve sütunlarında kullanılmış olan Hereke pudinglerinin yumuşak olan kalker çimentolu kısımları, daha sert olan çakıllı kısımlarından önce ayrıışıp dökülerek çirkin görünümünün oluşmasına neden olur (Şekil 1,2).

2. Yapısal Özellikler

Taşların içinde çeşitli şekillerde meydana gelmiş bulunan fissür, kırık ve çatlaklardan kayacın bünyesine giren sular ısıdon farklılıkları ile taşın erken tahribine neden olmaktadır. Bazen bu boşluklar kalsit, kil ve jips gibi çeşitli maddelerle dolar. Böylece sert ve yumuşak kısımların meydana gelmesine ve kayacın homojenliğinin bozulmasına sebep olur. Yumuşak kısımlardan kopma, bozulma ve aşınmalar olur (Şekil 3).



Şekil 3. Taşlardaki porozite türleri (Torraca, 1988).

3. Taşın Yapıda Hatalı Kullanımı

Bazen yapı taşlarının bozulması taşın hatalı kullanılması ile olur.

3.1. Ocağın yanlış işletilmesi: Ocaklarda geliş güzel çalışılmalar veya patlayıcı maddelerin kullanılması küçük fissür ve çatlakların meydana gelmesine sebep olur. Bilhassa dinamit atılması halinde çatlaklar gelişir. Bugün yapı taşlarının üretilmesi çıkarılması kamalama veya tel kesme ile olmaktadır. Taşın ocaktan çıkartılma yöntemi, işlenmesi ve yapıya yerleştirilmesi çok önemlidir. Ocaktan patlatma yoluyla çıkartılan taş daha başlangıçta, patlatma şoku ile gözle görülmeyen süreksizlikler kazanmaktadır.

3.2. Taşın işlenmesi: Taşlar çekiç, balyoz, külünk ve murç gibi âletlerle işlenirken yanlış vurmalar sonucu berelenir ve ezilirler. Bu ezilmeler, taşın dayanımının azalmasına neden olur. Sonuçta bu zayıflık yerleri kayacın erken bozulmasını etkiler. Yüzeylerin şekillendirilmesi sırasında kullanılan alet, teknik, yüzeylere verilen aşırı detay ve küçük pürüzler taşın dış cepesindeki belirli bir kalınlığı zayıflatmaktadır. Taşların üst üste yerleştirilmesinde subasmana dayanıklı olanların seçilmesi, birleşme yerlerinin olabildiğince düz, dudak-dudağa ve derz bırakılmadan yapılması, taşın tabakalanmaya dik yük alacak şekilde konulması daha sağlıklı olmaktadır (Şekil 4).

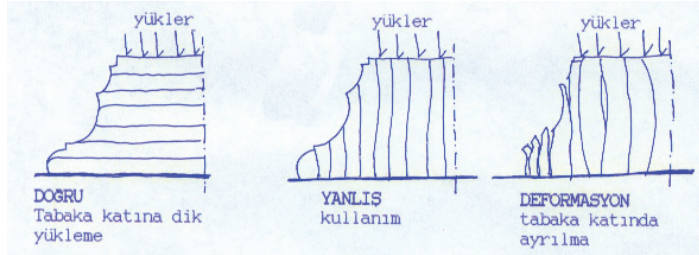


Şekil 4. Taş işlerken ince kalemlerle (demir) taşın işlenmesi (<http://www.midyat.net>).

3.3. Yapıtaşının hemen kullanılması: Herhangi bir taş yapıda kullanılmadan önce dinlendirilmiş olmalıdır. Bütün taşlarda bir miktar su bulunur. Bu suya *Ocak Suyu* denir. Ocak suyu dolayısı ile taşlar yumuşaktır ve işlenmeleri kolaydır. Bir süre sonra bu su buharlaşır ve kayaç sertleşir. Boşluklarda bulunan tuzlarda, buharlaşma ile yüzeye çıkar ve işlenerek uzaklaştırılır. Taşın hemen kullanılması halinde bu durum dezavantaj sağlar. Özellikle mezar taşlarının kullanılmadan önce mutlaka dinlendirilmesi gerekir. Çünkü kullanıldıktan sonra taşın bütün yüzeylerinin atmosferik hava koşullarına maruz kalmasından dolayı tüm yüzeylerde bozulmalar olacaktır (Winkler, 1966).

3.4. Yapıya uygun kayacın seçilmemesi: Üretim yapılan ocağın tamamında aynı doku, renk ve desende taş çıkmaz. Bu nedenle sağlam taşın seçilmesi ayrı bir tecrübe işidir. Farklı özellik ve bileşimdeki taşların üst üste kullanılması bozulmayı hızlandırmakta, taşın pul pul dökülmesine, üzerinde lekelerin meydana gelmesine neden olmaktadır.

3.5. Tabakalı taşların yanlış konması: Bütün tortul (sedimanter) taşlar tabakalıdır. Taş bozulmaya başladığı zaman bu tabakalı kısımlardan ayrılmalar olur. Bunların basınç dirençleri tabakalaşma yüzüne dik doğrultuda daha büyüktür. Bu bakımdan bunların en büyük basınç istikametinde kullanılmaları gerekir. Bundan dolayı tabakalanma yüzlerine paralel olarak kullanılmalıdır (Şekil 5,6).



Şekil 5. Ocaktaki tabakalanma yönüne göre doğru/yanlış kullanım biçimi (Küçükkaya, 2003)



Şekil 6. Edirne Üç Şerefeli Cami Güney Cephesi/ taş blokları arasında içinde killi yumuşak tabakalar olan kötü kalitedeki tabakadan alınmış taşların yapılarda kullanılması görsel ve statik olarak kullanılması uygun değildir. Kayaç; gri, bej, beyazımsı renkli, kalker kayacı (dolomit%2, feldispat%0, kalsit%95, kuvars%0.2) (Dal, 2005).

4. Atmosfer Bileşiklerinin Etkisi

Kayaçların bozulmasında, sülfat (Jips-anhidrit), nitrat, karbonat ve klorür bileşimli tuzlar etkilidir. Taş içinde toplanan elementler, su içeriği artınca, kendi aralarında reaksiyonlara girerek asit ve tuzları meydana getirmektedir. Oluşan tuzlar kayacın su içeriğine bağlı olarak taş porlarına yerleşmekte, zaman zaman yeniden kristallenerek por içi gerilmelerinin artmasına sebep olmaktadır (Şekil 7).

Atmosfer bir gaz karışımıdır. Bileşiminde O_2 , N_2 , CO_2 ile az miktarda H_2O , Ar vardır. Sanayi bölgelerinde fazla miktarda SO_2 , SO_3 , NO_2 ve NH_3 içerir. Bu iyonlar, is ve toz halinde, atmosfer içinde konsantre olmuşlardır. Özellikle sıvı, katı ve gaz yakacıklardan

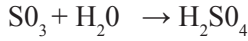
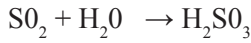


Şekil 7. Kırklareli Vize Antik Taş Ocağı yapı taşının atmosferik hava koşullarında uğradığı tahribat.

oluşan ve fabrika, kalorifer, eksoz gemi bacalarından çıkan iyonlar büyük şehirlerde hava kirliliğe neden olur (Şekil 8).

Atmosferdeki önemli bileşimlerin kayaçlar üzerindeki etkileri aşağıda verilmiştir;

4.1. SO₂ etkisi: Karbonatlı kayaçların bozulmasına etki eden en önemli kirleticisi SO₂'dir. SO₂'nin taş etkisinin ürünü jipstir. SO₂ ve diğer kirleticisi gazlar malzeme yüzeyleri üzerinde kuru ve yaş depolanma şeklinde birikirler.

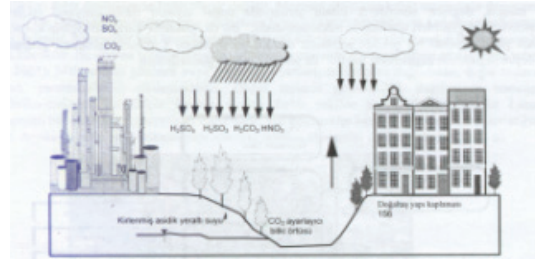


Kirleticilerin kuru birikimi; atmosferdeki değişimlere ve birikmeye başlayan kirleticisi türlerinin kimyasal özelliklerine bağlıdır. Bu konudaki çalışmalar SO₂ birikiminde malzeme yüzeylerinin, tampon asit kapasitesi, nemli yüzey ve bağıl nemin önemli olduğunu göstermiştir. SO₂'nin taş ve diğer yapı malzemeleri üzerindeki birikiminin veya emilmesinin iki farklı tesirle değişebileceği ileri sürülmektedir. Bunlardan biri kirlilik konsantrasyonuna, rüzgar hızına, nemli yüzeye ve malzemelerin doğal yapısına bağlı olmasıdır. SO₂ emilimine tesir eden ikinci önemli faktör ise yüzeydeki nemin miktarı ve yüzeyin kimyasal aktivitesidir. Alkalinite derecesi belirlenir. Yapılardaki SO₂ birikiminde yüzeylerdeki nem, güneş ışığı ve gece serin esintilerin sebep olduğu sıcaklık farklılıklarının daha etkili olduğu rapor edilmektedir (Weber, 1985; Spiker et al., 1992).

Kirleticilerin yaş depolanması; havada asılı kirleticisi parçacıklarının yağmurla taşınması şeklinde olmaktadır (Garland, 1978). Yaş depolanma, SO₂'nin derişimine, atmosferdeki konumuna, yağmur damlacıklarının büyüklüğüne ve pH'asına bağlıdır (Hales, 1978).

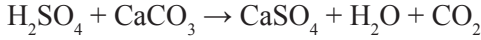
Doğal kaynaklar ve insan faaliyetleri sonucu kirleticisi maddelerin atmosfere girişiyle başlayan asit depolanmasının, yağış sularıyla etkileşmesi sonucu oluşan yaş depolanma, başka bir ifadeyle asit yağışları pek çok yağış suyu analizlerinde yüksek asite ve çözünmüş madde konsantrasyonuna sebep olmaktadır. Normal koşullarda yağışların pH'ının 7 dolayında olması beklenir. Ancak atmosferde doğal olarak bulunan CO₂, suda çözünerek yağışlara H₂CO₃ olarak girdiğinden, normal yağış pH'sı 5-6 civarına düşer. Yağmur sularında, küçük pH değerlerine, çeşitli yanma olaylarıyla atmosfere karışan SO₂, NO_x ve SO₃ gibi kirleticilerden kaynaklanan H₂SO₄ ve HNO₃'ün sebep olduğu anlaşılmıştır (Gürpınar, 1986; Çakır, 1988). Avrupa'nın sanayi bölgelerinde yağmurun pH'sının 4,5-5,5 arasında olduğu görülmüştür (Kuleli, 1985; Keppens et al., 1985).

İki farklı mekanizmayla (kuru ve yaş depolanma) malzeme yüzeyine ulaşan SO_x'ler taşın kimyasal bileşimine etki ederek bozulmasına neden olur. SO₂ ile taş arasındaki reaksiyon ürünü jipstir. SO₂'ye maruz kalan karbonatlı kayaçlarda Ca kaybı ve SO₄ zenginleşmesi, bir çok araştırmacı tarafından belirlenmiştir (Steiger and Dannecker, 1993; Wittenburg and Dannecker, 1994; Grossi et al., 1994).



Şekil 8. Yapı taşı olarak doğal taşların çevre ile etkileşimi (Saruşık,2006).

Atmosferik SO_2 'nin kuru ve yaş depolanma sırasında; çeşitli reaktif ve reaktif aramaddeleri yardımıyla, bazen de su damlacıkları içinde çözünmesiyle bunlardan biri homojen veya heterojen olarak H_2SO_4 'e yükseltgenir. H_2SO_4 'e maruz kalan, ana bileşeni CaCO_3 olan karbonatlı kayaçların, bozulma reaksiyonları aşağıdaki gibidir (Eggleton and Cox, 1978; Beilke and Gravenhorst, 1978);



Bu tepkimede, CaCO_3 'ün bozularak CaSO_4 'a dönüşmesinde, biyolojik, meteorolojik katalizörler ve malzemenin karakteristikleri rol oynamaktadır.

4.2. NO_x etkisi: Azot oksitlerin karbonatlı yapı taşlarına etkileri konusunda SO_2 'ye nazaran geniş bilgi bulunmamaktadır. Kükürtdioksit çalışmalarının aksine azotoksitlerin zararının sıkça gözlemlenmemesi; çözünabilirliği yüksek olan kalsiyum nitratin ve diğer tepkime ürünlerinin taş yüzeyinden hızlı bir şekilde temizlenmesi nedeniyledir.

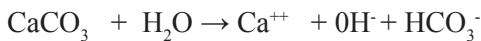
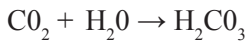
Şehir atmosferinde bulunan ve kükürt bileşiklerinin temeli olan kükürt dioksitin aksine azotun farklı oksitleri vardır ve günlük çevrime bağlı olarak relatif konsantrasyonları değişmektedir. NO ve NO_2 nin atmosferik konsantrasyonları üzerine elde edilen bilgilerin NO_x olarak bilinen tek bir değere eşitlenmesi alışıla gelmiş bir pratiktir. Atmosferde çeşitli azot oksitlerin yanında NO_x 'lerin suyun bulunduğu bir ortamda oksidasyonu ile meydana gelen ve ikincil tür olan HNO_3 de bulunmaktadır.

Gelecekteki çeşitli nedenlerle kaynaklarının artması beklenen NO_x 'lerin taş bozulmada daha önemli bir rol oynayabileceği ileri sürülmektedir (Gavri and Gwinn, 1982/1983).

NO_x 'e ek olarak, karbonatlı taşlarla reaksiyona girebilecek en önemli azot türü nitrik asittir. Atmosferde nitrik asit bulunduğu bilinmektedir, fakat bunun rutin bir şekilde doğru ölçülmesi zordur. Kentsel bölgelerde yüksek seviyelerde NO_x mevcut iken, $10\text{-}20\mu\text{g}/\text{m}^3$ mertebesinde nitrik asit seviyeleri kaydedilmiştir. Kırsal bölgelerde bu değer $1\mu\text{g}/\text{m}^3$ mertebesinde (Livingston, 1985).

NO_x 'lerin oksidasyon ürünü olan ve fotokimyasal olarak üretilen nitrik asitin mermer ve kalkerli taşlara yaptığı etkiyi inceleyen laboratuvar çalışmalarının; HNO_3 'in diğer nitratlar ve azot içeren kirleticilerden daha saldırgan olduğunu göstermiştir. Bu da fotokimyasal kirlilikten etkilenen şehirlerde nitrik asitin (HNO_3), anıtlarda kullanılan taşlarda bozulmaya neden olan önemli bir kirleticilerden biridir (Sikiotis and Kirkitsos, 1994).

4.3. CO_2 etkisi: Yapı malzemesi, karbonatlı taş olan tarihi yapılar, asidik hava kirleticilerine karşı savunmasızdır. Önemli kirletici olan CO_2 , kent atmosferinin bir bileşenidir. Antropojenik kaynaklardan dolayı konsantrasyonu önemli miktarda artmıştır. Buna rağmen, taş anıtlar üzerindeki olumsuz etkileri daima küçük olmaktadır (Sikiotis and Kirkitsos, 1994).



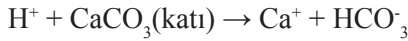
Havadan ya da zemin sularından emilen CO_2 taşta karbonik asit (H_2CO_3) oluşturur. Bu asit; kalsit, kaolinit, sodyum, potasyum ve kalsiyum montmorillonite ile reaksiyona girer. Kalsit ile reaksiyon sonucunda suda çözünen $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ açığa çıkar. Diğer minerallerle olan reaksiyon ürünleri ise karbonatlardır ve hidrolizleri sonucunda suda daha az çözünen hidroksitlerine dönüşür. Ha-

vanın bileşimindeki CO₂ konsantrasyonunun hızlı olması karbonatlı kayaçların bozulmasında ilerde önemli faktör olabilecektir (Yılmaz, 1988).

Karbonik asitli sular yalnız kalkerleri değil aynı zamanda dolomit ve feldispatları ayrıştırarak kil minerallerini meydana getirir. Kil minerallerinin oluşması kayaçların fizik ve mekanik özelliklerinin zayıflamasına neden olur (Dal, 2005).

4.4. Asit Yağmurlarının Etkisi: Çevresel kirlilik konsantrasyonunda asidik yağışa maruz bırakılmış karbonatlı kayaçlar üzerinden sızan yağış suları analizleri, genellikle Ca, HCO₃ ve SO₄'ın aşırı konsantrasyonlarda olduğunu göstermektedir. Bu durum, iki farklı mekanizma tarafından açıklanmıştır. Birincisi, asit yağmurlarının yüksek Ca çözübilirlik özelliğidir. İkincisi ise asitlerin veya asit öncülerinin (asit oluşumuna neden olan gazlar) kuru depolanmasıyla daha sonraki yağmurlar etkisiyle kolay çözünebilecek kalsiyum tuzlarının oluşmasıdır. Yağış suları analizlerindeki aşırı HCO₃ konsantrasyonu, asit yağmurlarının bu malzemelerde kalsit ayrışımına neden olduğunun bir göstergesidir (Steiger et al., 1993; Guidobaldi and Mecci, 1993).

Asit yağmurları, karbonatlı yapı malzemelerinin kimyasal yapısına etki ederek bozulmasına ve yüzey çekilimine sebep olur. Karbonatlı kayaçlar üzerine asit yağmurlarının etkilerini araştıran çalışmalar, bu kayaçlarda kimyasal bozunma sonucu Ca kaybı, HCO₃ ve SO₄ birikmesini ortaya çıkarmıştır. Asit yağmuru tarafından CaCO₃'ün çözünüm stokiyometrisi şu şekilde yazılabilir (Canner and Seeley, 1979).



Asit yağmurunun sebep olduğu bozulma; yağış miktarı, yağış pH'ı, taş malzemenin su dengesi, gözenek hacmi dağılımı, rüzgar hızı ve yönü ile yerel meteorolojik parametrelere bağlıdır. Bütün önemli parametreler, kompleks bir şekilde etkileşir ve yüksek oranda değişkendirler. Birbiri ile ilişkili bütün işlemler lineer olmadığından doğal taşın davranışının belirlenmesi gerçek bina yüzeylerinde oldukça zordur (Şekil 9).

Birçok yapının temeli yeraltı suları ile temastadır. Bunların iyon içeriği yeraltındaki taşların bileşimlerine bağlıdır. Genellikle Ca, Mg, SO₄, Cl ve Fe bakımından zengindirler. Sıcak bölgelerde kapilarite ile yüzeye gelen sular bu iyonları da, beraber getirir. Böylece yapı cephesinde çiçeklenme şeklinde görülen görsel kirlilik oluşturlar.



Şekil 9. Edirne Eski Cami güney cephesinde asitli yağmur sularının ve tapraktaki tuzların kapilarite ile cephede yarattığı tahribat (Dal, 2005).

5. Fiziksel Etkenlerle Bozulma

Yapı taşlarının bozulmasına neden olan başlıca fiziksel olaylar; donma-çözünme, termik şok, buharlaşma, yoğunlaşma, hidrotasyon, boşluklarda tuz kristallenmesidir. Atmosferdeki bağıl nem ora-

nı, temelden kapilarite ile su yükselimi, yağış sularının taş yüzeyinden içeriye girmesi, su içeriğini artırır. Taş bünyesindeki suda artan tuz konsantrasyonu buharlaşma ile boşluklarda kristallenmekte, taş içinde gerilmeler oluşturmaktadır. Yoğun hava kirliliğinin bir sonucu olarak porlarda oluşan jips, buharlaşma ile anhidrite dönüşmektedir. Donma-çözülme oluştuğunda kayaçlarda kabuk oluşumu, oyulma, çiçeklenme görülür. Alterasyon bir kez başlayınca kimyasal reaksiyonlar, mikroorganizmalar, likenler için gelişme ortamı doğmakta ve kayacın ayrışması hızlanmaktadır.

Birim hacim ağırlığı, su emme, porozite, boşluk oranı gibi fiziksel özellikleri, dış etkenler karşısında taşın davranışını belirlemektedir. Taşın donma-çözülmeden etkilenmesi boşlukların boyutuna, dağılımına, birbirleri ile ilişkili olup olmayışına bağlıdır. Boşluk boyutu 50µ küçük olan taşlar donma-çözülme olayında, iri boşluklu taşlardan daha fazla etkilenmektedir. Kayaçların ısısal iletkenlikleri, genleşme katsayıları, ısınma-soğuma sırasında ortaya çıkan değişimleri gözönüne alınmalıdır.

5.1. Isı etkisi: Isının değişimi taşı oluşturan minerallerin hacimlerini değiştirir. Her mineralin genleşmesi, özgül ısı ve ısı alma kapasitesi farklıdır. Bu nedenle ısınan kayaç içindeki mineraller farklı yönlerde genişerek birbirine karşıt kuvvetler meydana getirir. Ayrıca dış yüzleri iç yüzlerinden fazla ısınan veya soğuyan kayaçların iç ve dış yüzleri arasında farklı kesme gerilmeleri olur. Sonuçta farklı gerilmeler dolayısı ile kayaçlarda fissürler oluşur. Gece gündüz ile yıllık sıcaklık farkları etkili bir bozulma nedenidir. Bu bozulmalarda kimyasal bir değişiklik olmaz. Taşların kırılması sonucu parça kayıpları oluşur.

5.2. Don basıncı etkisi: Mevcut bulunan çatlaklara suların girmesi ve düşük sıcaklıklarda donması büyük bir bozulma etkenidir. Su donduğu zaman % 9 hacmini artırır. Don basıncı meydana gelir. İlk donma anındaki basınç 160 kg/cm² civarında olup, bu basınca çoğu taşlar dayanamazlar. Örneğin -13°C deki don basıncı 2000 kg/cm² civarındadır. Taşların fissür ve çatlakları arasına giren su, sıvı halden katı hale geçince taşları parçalayacak boyutta bir kuvvet oluşur. Porozitesi yüksek taşlarda donmanın etkili olabilmesi için Saturasyon Katsayısı'na (su emme/ porozite) bakılır. $Sk = V/Wo$ dır. Burada, V=tüm hacim, Wo = kuru ağırlıktır (Schaffer, 1932). $St < 0.9$ ise don etkisi pek olmaz. $Sk=0.9-1$ ise etkili olur. Pratik işlerde bu katsayı 0,8 alınmaktadır (Şekil 10) (Schaffer, 1932).

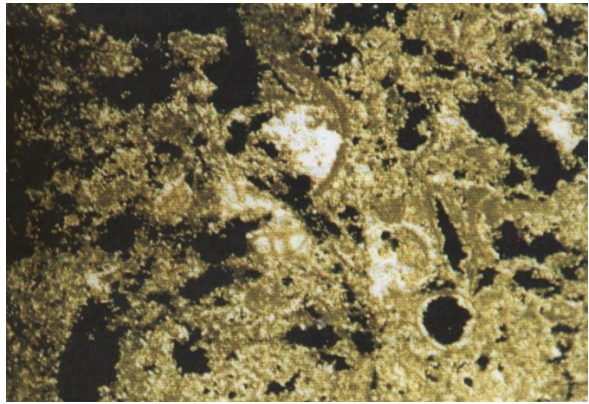


Şekil 10. Edirne Saatli Medresesinin restorasyonu için Urfa'dan getirilen taşların Edirne'nin hava koşullarında dona maruz kalmasıyla oluşan kalcal çatlaklar, büyük parça kopmaları şeklinde görülen tahribatları oluşmuştur.

5.3. Buharlaşma ve Kapilarite etkisi: Sıcaklığın artması ile buharlaşmada artar ve temeldeki sular kapiler kuvvetle üst kısma taşınır. Bu olayla su içindeki çözünmüş tuzlar da taşınacaktır. Suyun buharlaşması ile erimiş tuzlar porlarda birikir ve sert kabuklar oluşur. Bilhassa boşluklu taşlarda suyun yükselmesi nedeniyle alt kısımlar kururken üst kısımlar nemli kalmakta, boşluk suyu basıncı dolayısı ile farklı dirençli kısımlar oluşmaktadır. Taşın nemli kısımlarına yapışan tozlar kirlenmelere ve yosunların birikmesine sebep olmaktadır. İstanbul Bakırköy kireçtaşları fosilli ve çatlaklı olmalarından dolayı kapilarite ile suyu emmekte ve nemli olduğu müddetçe rengi değişmektedir. Bu ise bozulmalara, taşın yosun tutmasına ve kirlenmesine sebep olmaktadır. Tarihi yapıların temellerinde veya temellerine yakın kısımlarda kullanılan taşların fazla harap olması bu nedenlerdir (Şekil 11, 12) (Sayar ve Erguvanlı, 1964).

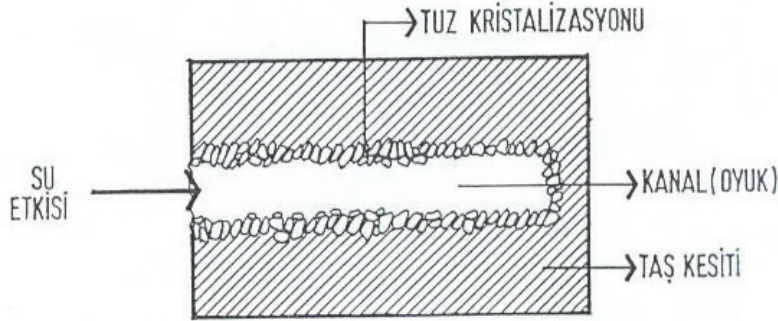


Şekil 11. Edirne Saatli Medrese Güney Cephesi/kapilarite ile tuzların, asitli yağmur sularının taştaki yarattığı yüzeysel erozyon tahrifatı. Çatıda yüksek bitki tahrifatı (Dal, 2005)



Şekil 12. Edirne Saatli Medrese beden duvarından alınmış yapı taşının mikroskop altında görüntüsü. Boşluklu yapıya sahip olan bu taşın fosil boşlukları büyük ve birbirlerine çok yakındır (siyah kısımlar boşluklardır). Su bu boşluklar içinde ilerlemekte, kristalize tuzlar reaksiyona girmekte, kimyasal reaksiyonlar sonucu veya kışın donun etkisiyle boşluklar büyümekte ve taş hızlı bir şekilde bozulmaktadır (Küçükkaya, 2003).

5.4. Taş içindeki eriyen tuzların etkisi: Taşların içindeki gözeneklerde, eriyici tuzların bulunması önemli bir bozulma etkenidir. Eriyen tuzlar kapilarite ile taşın yüzüne çıkar, dış kristallenme meydana gelir. Eriyen tuzlar bazen taşın içindeki boşluklarda kristallenir. Bu şekilde, taşın gözeneklerinde meydana gelen kristallenmeye gizli kristallenme denir. Gizli kristallenmelere çiçeklenme ismi verilmektedir. Çiçeklenmeye neden olan tuzlar özellikle alkali ve toprak alkali tuzlarıdır. Bunlar asit ve gazların etkisi ile sülfatlara dönüşür (Şekil 13).



Şekil 13. Karbonatlı kayalarda kristal tane sınırları boyunca tuz ve asit etkisi ile derin çözünmenin olması sonucunda kanal (oyuk) açılması ve daha derinlere suda çözünen tuzların taşınmasıyla tahribat hızla büyümekte ve böylece yapı taşı dayanımını kaybetmektedir (Haneef, 1992).

6. Aşınma Etkisi

Duvar, döşeme ve merdiven gibi yerlerde kullanılan taşlar aşınırlar. Karayolu istasyonları, koridorları, bekleme odaları, devlet binaları ve yaya kaldırımlarında kullanılan taşlar benzer etkiye maruz kalırlar. Bu taşlar dayanıklı değilse kısa zamanda aşınarak, bakım ve onarım giderlerinin artmasına neden olur. Örneğin eski binaların döşeme ve merdivenlerinde kullanılmış olan yapı taşları yıkanma etkisiyle aşınmış orta kısımları çukurlanmıştır. Yaya trafiğinin yoğun olduğu yerlerde, aşınmaya dayanıklı olmayan, iri taneli mermerler, tebeşirli kireçtaşları ve çimentolu kumtaşları kullanılmamalıdır.

7. Metal Korozyonu Etkisi

Korozyon; metal malzemelerin yüzeyden başlayan ve malzeme derinliklerine doğru kimyasal ve elektrokimyasal bir reaksiyonla etki oluşturarak değişikliğe uğraması ya da aşınması olayıdır. Metaller, korozyona uğrayarak yapı taşları üzerinde görsel kirlilik oluşturur (Şekil 14,15).



Şekil 14. Kırklareli Hızırbey Hamam'ında görülen metallerin korozyona uğraması ile yapı cephesinde görülen pas ve is lekelerinin oluşturduğu tahribat



Şekil 15. Edirne Selimiye Camii Güney Cephesi/ demir pas lekeleri, kayda büyük parça kaybı ve kimyasal çözünme tahribatı görülmektedir. Yapıtaşı; beyaz bej renkli, iri-orta taneli, düşük orta derecede çözünmüş, mangan içerikli yüksek kuvars içeren kireçtaşları (dolomit%2, feldispat%0, kalsit%80, kuvars %14) (Dal, 2005).

8. Canlıların Etkisi

Taşların bozulmasına etki yapan faktörlerden biride canlılardır. Bunlar kazıma ve tırmanma gibi mekanik etkilerle ve çıkardıkları asitlerle kimyasal bozulmalara neden olur. Güvercinler, tırmanıcılar, sünger, solucan v.s. gibi canlılar taşlarda delikler ve oyuklar oluşturur (Şekil 16, 17).



Şekil 16. Edirne Üç Şerefeli Cami'inde güvercinlerin yemlenirken merdiven taşlarında oluşturdukları tahribatlar.



Şekil 17. Kırklareli Hızırbey Külliyesi Arastası'nın cephelerine dayanarak inşa edilen yeni yapılaşmaların oluşturduğu tahribatlar.

9. Yüksek Bitki ve Mikroorganizma Etkisi

Taş üzerinde koloni şeklinde yaşayan mantarlar, likenler, yosunlar ve algler oksidasyon-redüksiyon reaksiyonlarını hızlandırmakta, kayaçları yıpratmaktadır. Kayaç üzerinde yaşayarak sülfat, nitrat üreten sülfat, nitrat bakterileri ve tyobosiller önemli ölçüde bozulma olayına katılmaktadır. Sülfat bakterilerinin ürettikleri SO_4 'lar karbonat bileşimli taşlarda jips-anhidrit dönüşümüne yardımcı olmaktadır (Şekil 18).

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 Ca 'lu mineralleri kahverengi ve pembe renge dönüştürür. Di-



Şekil 18. Kırklareli Vize Şerbetdar Hasan Bey Camii'nde yüksek bitki tahribatı (incir ağacı) (Dal, 2008)

ğer türleri silisli taşlar üzerinde yaşar. Likenler suyu tutar ve taş yüzünün devamlı ıslak kalmasına neden olur. Sarmaşıklar da aynı etkiyi gösterir. Ayrıca bitki kökleri CO₂ ve asitler üreterek taşlarda parçalanmalar oluşturlar (Şekil 19).

SONUÇLAR

Yapıtaşları kullanım öncesi, oluşabilecek mekanik deformasyonlar, aşınma, ısı, su, nem, güneş ve atmosfer etkilerinin tümü fiziksel, kimyasal, mekanik ve biyolojik değişimler açısından araştırılmalı, elde edilecek sayısal değerlerin kullanılabilirlik limitleri içinde olduğu görüldükten sonra kullanılmalıdır.



Şekil 19. Edirne Selimiye Camii Kuzey Cephe tretuvar üstü ve merdiven girişi cephesinde yosunlaşma ve bakteri şeklinde oluşan tahribat.

KAYNAKLAR

- Caner, E. N., Seeley, N. J., (1979), *Dissolution and Precipitation of Limestone*, 3rd International Congress on the Deterioration and Preservation of Stone, Venice, 107-129.
- Dal, M., (2005), *Edirnedeki Dolomitik Esaslı Yapı Kayaçlarının Bozulma Şekilleri ve Restorasyon Yöntemleri*, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Restorasyon Anabilim Dalı, Edirne.
- Dal, M., 2008, *Kırklareli (Vize) Bölgesi Kalkerlerinin Restorasyonda Kullanılabilirliği*, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı Doktora Tezi, 2008, Edirne.
- Eggleston, A. E. J. and Cox, R. A., (1978), Homogeneous Oxidation of Sulphur Compounds in the Atmosphere, *Atmospheric Environment* V. 12, 221-230.
- Erguvanlı, K., (1967), *Mühendislere Jeoloji*, İ.T.Ü. Matbaası, İstanbul.
- Garland, J. A., (1978), *Dry and Wet Removal of Sulphur From the Atmosphere*, *Atmospheric Environ*, V.12, 349-362.
- Gavri, K. and Gwinn, J., (1982/1983), *Deterioration of Marble in Air Containing 5-10 ppm SO and NO*, No:76, Kurtuluş Mat., İstanbul, s.115
- Gürpınar, T., (1986), Ormanları Kim Öldürüyor”, *Çevre ve İnsan*, Sayı 1, s. 23-27.
- Hales, J. M., (1978), *Wet Removal of Sulphur Compounds from the Atmosphere*, *Atmospheric Environ*. V. 12, s. 389-399.
- Haneef, S.J., Johnson, J.B., Dickinson, C., Thompson, G.E., Wood, G.C., (1992) “Effect of Dry Deposition of NO_x and SO₂ Gaseous Pollutants on the Degradation of Calcareous Building Stones”, *Atmospheric Environment*, Vol.26 A, No.16.
- Kuleli, Ö., (1985), “Çocuklarımıza Nasıl Bir Dünya Bırakacağız”, *Kimya Müh.* 14 (5-6),114-115, s. 3-5. Küçükaya, A.G., (2003), *Yapı Taşlarının Tahrip Nedenleri, Bozulma Şekilleri ve Restorasyon Yöntemleri*, Trakya Üniversitesi, Birsan Yayınevi, Edirne.
- Livingston, R. A., (1985), “The Role of Nitrogen Oxides in the Deterioration of Carbonate Stone”, *V.th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone*, V. 1., Lausanne, 509-516.
- Sarıışık, A., Sarıışık, G., Şentürk, A., (2006), “Restorasyonda kullanılacak kalsiyum karbonat kökenli doğal yapı taşlarının teknik özellikleri ve kullanım alanlarının belirlenmesi”, TMMOB Maden Mühendisleri Odası MERSEM 2006, *Türkiye V. Mermer ve Doğaltaş Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 2-3 Mart 2006, s. 7-23, Afyonkarahisar.

- Sayar, M. - Erguvanlı, K. (1964), *Türkiye Mermerleri ve İnşaat Kayaçları*, İ.T.Ü. Yayını, İstanbul.
- Schaffer, R.J. (1932), *The Weathering of Natural Building Stones*, *Building Research*, No:18, London.
- Sikiotis, D. and Kirkitsos, P., (1994) “The Adverse Effects of Gaseous Nitric Acid on Stone Monuments”, *The conservation of Monuments in the Mediterranean Basin, Proceedings of the 3rd. International Symposium*, Venezia, 203-211.
- Steiger, M., Wolf, F., Dannecker, W., (1993), *Deposition and Enrichment of Atmospheric Pollutants on Building Stones as Determined by Field Exposure Experiments, Conservation of Stone and Other Materials, Proceedings of the International Congress*, RILEM/UNESCO Paris V.2, 35-42.
- Torraca, G., (1988), *Porous Building Materials, Science for Architectural Conservation*, ICCROM, Rome.
- Weber, J. (1985), “Natural and Artificial of Austrian Building Stones Due to Air Pollution”, *V.th. International Congress on Deterioration and Conservation of Stone*. V. 1, 527-533.
- Winkler, E.M. (1966), Important Agent of Weathering for Building and Monumental Stone, *Engineering Jeoloji*, V: 1 (5), p.381.
- www.midyat.net