

İMO İstanbul Şubesi
Tasarım Mühendislerine Yönelik Meslekiçi Seminerleri
Bahar 2017

TARİHİ YAPILARDA KULLANILAN MALZEMELER ve
HASARLAR

İstanbul İnşaat Mühendisleri Odası Bakırköy Temsilciliği
02 Mayıs 2017

Prof. Dr. Fevziye AKÖZ
Hasan Kalyoncu Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü

Tarihi yapılarda doğal taş, kerpiç, tuğla, harç, kiremit, ahşap, çini, demir, kurşun, çinko gibi malzemeler kullanılmıştır.

Zamanla eskimiş, hasara uğramış olan tarihi yapıların onarım ve restorasyonundan önce malzemelerin temel fiziksel, mekanik ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi gerekir.

Kapsamlı restorasyonda hatta basit onarımlarda bile yeni kullanılacak malzemenin yapıdaki malzeme ile uyumunun sağlanması çok önemlidir. Bunun için; yapıdaki malzemelerin hasar durumlarının ve özelliklerinin çok iyi araştırılması gerekir.

Özellikleri, yapıda mevcut malzemeler ile uyumu araştırılmamış malzemeler kullanılarak yapılan restorasyon veya onarımlar yapının tarihsel kimliğine geri dönüşü mümkün olmayan zararlar verebilir.

1. Doğal taşlar

Taş, mühendislerin, mimarların ve halkın yoğun, sert ve kütle halindeki kayaçlara verdiği isimdir; eski çağlardan beri yapı üretiminde en çok kullanılan malzemedir.

Doğal taşların yapıda kullanımı;

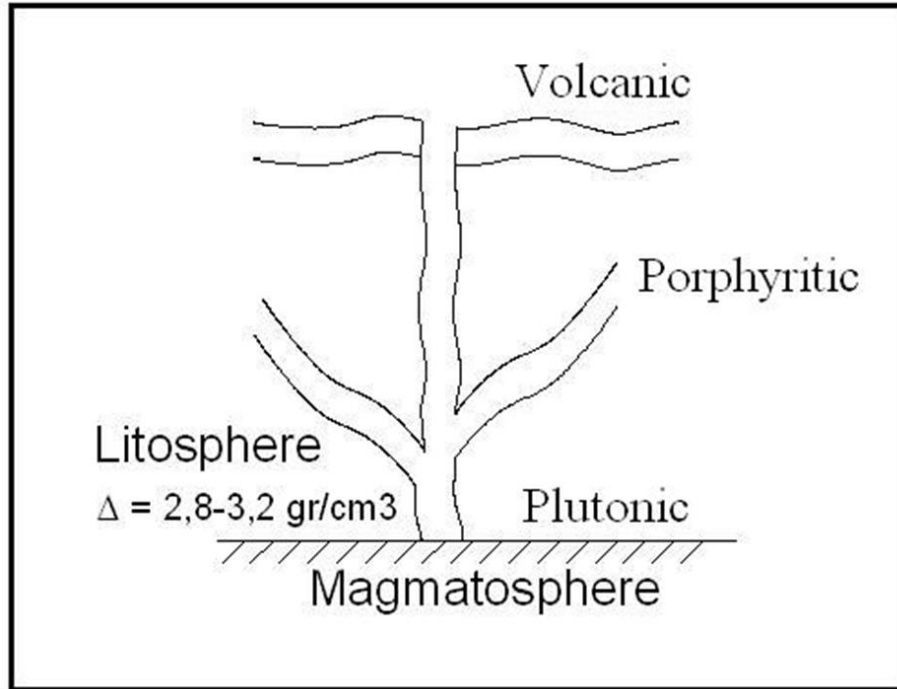
- Masif bir kayanın insan eliyle oyulup şekillendirilmesi ile
- Doğada şekillenmesi ile
- Ocaktan çıkarıldıktan sonra moloz, kaba yonu, ince yonu ya da kesme taş olarak farklı boyutlarda biçimlendirilmesi ile.

Doğal taşlar, inorganik kökenli, kristal yapılı, gözenekli ve gevrek malzemelerdir, rengini içindeki madensel tuzlardan ve oksitlerden alır.

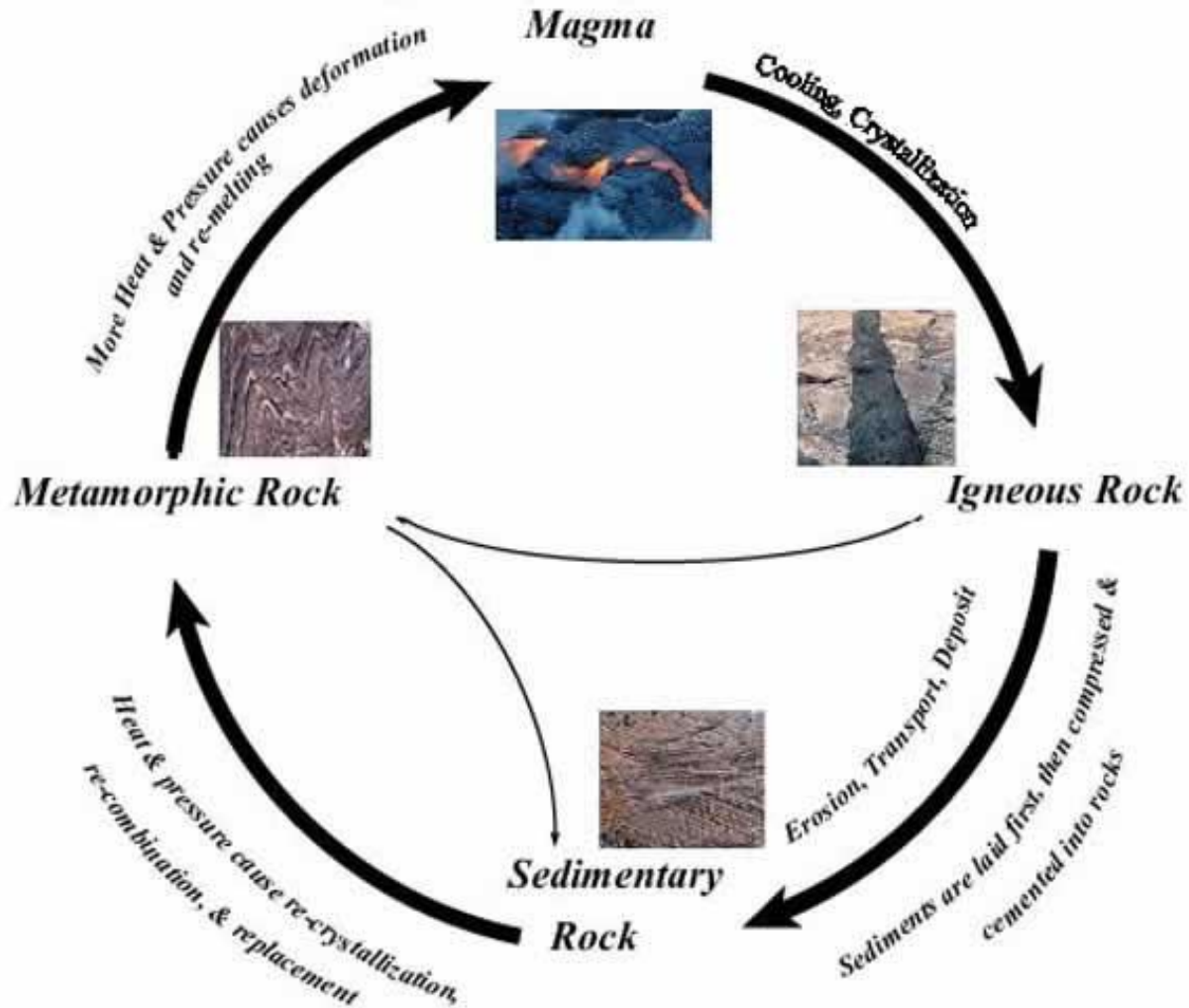
Doğal taşların mekanik ve fiziksel özellikleri,

- Elde edildiği kayacın oluşumuna,
- Minerallerine, oranına ve kristal yapısına göre çok önemli değişiklik gösterir.

Doğal taşların oluşumu



Doğal taşların oluşumu



Doğal taşlar oluşumuna göre;

- a) **Magmatik** (püskürük) kayaçlar; tuf, bims gibi yüzey kayaçları hariç granit, siyenit, diyorit, bazalt, gabro gibi taşların boşluk oranı (porozitesi) düşük, sertliği ve basınç dayanımı yüksektir. Basınç dayanımı;
granitte 150-300 MPa,
bazaltta 100-500 MPa'dır.
- b) **Tortul** (çökelik) kayaçların basınç dayanımı;
kum taşlarının (grelerin) 20-80 MPa,
kalkerlerin ve dolomitli kalkerlerinki 50-120 MPa'dır.
travertenlerinki 20-60 MPa'dır.
- c) **Başkalaşmış** (metamorfik) kayaçlar ; gnays ve mermerin fiziksel ve mekanik özellikleri başkalaştığı ana kayacın özelliklerine benzer;
mermerin özellikleri tortullardan **kalkerlilere**,
gnaysinki magmatiklerden **granitin** özelliklerine benzer.

a) Mağmatik Kayaçlar

Derinlik kayaçları;

- **granit** : Kapıdağ granitleri, Çanakkale-Kestenbolu granitleri, Armutlu graniti, Uludağ granitleri, riyolit, pekştayn, obsidyen, süngertası),
- **Siyenit**: siyenitporfir, trakit,
- **Diyorit**: diyorit, kuvarslı diyorit, andezit, dasit ,
- **gabro** : gabro, diyabaz, bazalt, süngertaşı,
- **peridotit** : serpantin, piroksenit, hornblendit,dünit, pikrit,

Damar kayaçları;

- **porfirler** : granit-porfir, siyenit-porfir, diyorit-porfir, gabro-porfir, peridotit-porfir,
- **aplitler** : granit-aplit, siyenit-aplit,
- **Pegmatitler**: granit-pegmatit, siyenit-pegmatit, diyorit-pegmatit, gabro-pegmatit

Yüzey kayaçları;

- **volkanik** : riyolit, trakit, andezit, dasit, bazalt, pikrit ,
- **bazalt ve felsitler** : riyolit-felsit, trakit-felsit, dasit-felsit,
- **pikroklastik kayaçlar** (volkanik tüfler, volkanik breş, volkanik konglomera)

b) Tortul Kayaçlar

Mekanik oluşumlular;

- **konglomeralar** (breşler, pudingler)
- **kumtaşları/greler** (kuvarsit, silisli gre, kalkerli gre, demirli gre, killi gre, arkoz, grovak, silttaşı, kiltası, killişist /şeyl),

Kimyasal oluşumlular;

- **sülfatlılar** (jips /alçıtası, magnezyum sülfat, potasyum sülfat),
- **kalkerliler** (tebeşir kalker, marn, kalker, oolitli kalker, litoğrafya kalker),
- **dolomitliler,**
- **travertenler** (kalker tüfü), albatr (oniks veya oniks mermeri, jips albatrı)
- **sarkıt, dikitler**

Organik oluşumlular;

- **kalkerler** (kavkılı kalker, füzilinli kalker, mercanlı kalker, algli kalker, maktralı kalker vb),
- **radyalit,**
- **diyatomit,**
- **fosforit**

c) Metamorfik kayaçlar

Kökeni magmatik olan metamorfikler;

- **Granit, siyenit, diyorit** (gnays, mikaşist)
- **Gabro** (hornblend-gnays, hornblend-klorit-şist)
- **Peridotit** (talkşist, kloritşist, serpantin)
- **Bazalt** (kloritşist, hornblendşist, talkşist, yeşil kayaçlar)

Kökeni tortul olan metamorfikler;

- **Gre, kuvarsit** (kuvarsitşist, kuvarsit)
- **Silt taşı, şeyl** (arduvaz, mikaşist, hornfels)
- **Kalker, dolomit** (mermer)
- **Limonit, hematit** (manyetit şist,,)

1. Doğal taşlar / Uygulamalarından Örnekler



Kerpiç/ Özellikleri

Kerpiç, kil hamurunun şekillendirilip kurutulması ile elde edilen bir malzemedir. Dayanımı ve dayanıklılığı çok düşük olmasına rağmen pişirme için enerji gerektirmediğinden kerpiç, günümüzde bile kullanılmaktadır.

Kerpiç hamuru elde etmek için bir ölçü kum, 5 ölçü orta yağlı killi toprak ve bir miktar saman (lif) karıştırılır, su katılıp iyice yoğrulur. Hazırlanan kerpiç hamuru (lehm); yapıda;

- Yığma olarak kalıp içinde **dövülerek**,
- Sadece yığılıp belli seviyelerde **şekillendirilerek**,
- Dalların kerpiç kalın bir hamuru tabakası ile **sıvanarak**,
- Kalıplanıp açık havada kurutulmuş **bloklar ile örülerek**

Geçmişte kerpicingin yer döşemesi olarak da kullanıldığı, Ön Asya'da, hamura **asfalt katılarak** dayanıklılığının artırıldığı gözlenmiştir.

Günümüzde, kerpicingin basınç dayanımını artırmak, rötresini azaltmak, düzgün yüzey elde etmek ve suya karşı dayanıklılığını bir miktar da olsa artırmak amacı ile kerpiç toprağına belirli oranlarda (%10-20) **alçı katıldığı** deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiş, olumlu sonuçlar alınmıştır

Kerpiç Uygulamasına Örnek



Büyük boyutlular 28x28x10cm, küçük boyutluları 28x13x10cm'dir, duvar örülürken kerpiç bloklar, kil ile suyun karışımı olan kerpiç harcıyla birleştirilir ve sıvanır.

SERAMİKLER

Seramikler, çok eski çağlardan beri insanoğlunun farklı amaçlar için ürettiği ve kullandığı malzemelerdir.

Arkeologlar, insan yapımı seramiklerin günümüzden 24000 yıl öncesinde var olduğuna işaret etmektedir.

Seramik sözcüğü tuğla, kiremit gibi pişmiş toprak ürünlerinden başka cam, porselen, refrakter gibi çok geniş bir malzeme grubunu temsil eder.

Tüm seramiklerin hammaddesi kildir; seramiklerin özelliği kilin bileşimine ve pişirme sıcaklığına göre değişir.

- Tuğla gibi gözenekli seramiklerin pişirme sıcaklığı; **800-1000°C**,
- Kiremit, künk gibi sırlı seramiklerinki **1250°C**,
- Porselen gibi hemen hemen gözeneksiz seramiklerinki **1300-1450°C'dir**.

Tuğla

Tuğlanın üretim tekniği ve boyutu dönemine göre değişir, taşıyıcı eleman oluşturmak için tam ve yarım boyutlarda kullanılır.

Gözenekli malzeme olan tuğlanın porozitesi (boşluk hacmi/tuğla hacmi) arttıkça basınç dayanımı azalır.

Günümüzde, TSEN771-1'e göre yapıda kullanılan dolu **(DOT)** fabrika tuğlasının basınç dayanımı **5,0-2,5** MPa'dır.

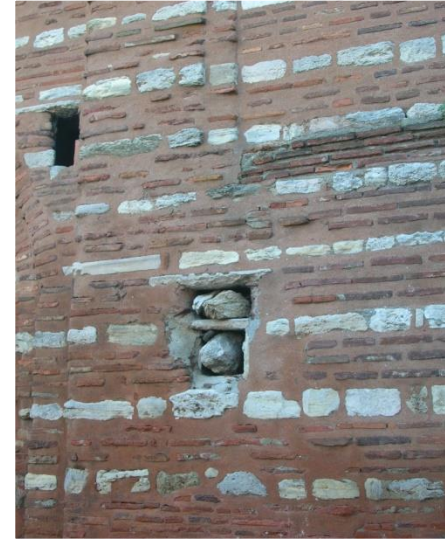
Delikli tuğlada basınç dayanımını deliklerin yeri, boyutu, miktarı, kenarlarının biçimi, yükleme yönü gibi faktörler etkiler.

Yatay delikli tuğlanın **(YDT)** basınç dayanımı **7,5-2,0** MPa,
Düşey delikli tuğlanın **(DDT)** basınç dayanımı **8,0-2,4** MPa'dır.

Gevrek bir malzeme olan tuğlanın, basınç etkisinde birim kısalması; 0,010-0,003 civarındadır,

$E=1000 f_T$ olarak kabul edilmekte (f_T tuğlanın basınç dayanımı),
Poisson oranı için 0,18-0,25 değerleri önerilmektedir

Tuğla uygulamalarından örnekler



Seramik Kaplama Uygulamalarından Örnekler



Harçlar ve sıvalar

Harçlar ve sıvalar, **agrega** denilen ince daneli malzemelerin matris denilen bir **bağlayıcı hamur** ile biraraya getirilmesi sonucu elde edilen, plastik şekil vermeye elverişli kompozit malzemelerdir.



Bağlayıcılar

Bağlayıcılar, su ile karıştırıldığında plastik özellik kazanan çoğunlukla inorganik kökenli çok ince taneli toz malzemelerdir.

Bilinen en eski bağlayıcı, ön **Asya'da kullanılmış olan organik kökenli hidrokarbonlardır.**

Organik kökenli bağlayıcılar oda sıcaklığında veya biraz üstündeki sıcaklıklarda plastik özellik kazanırlar.

Kökenine göre; organik, inorganik:

Organik kökenliler; asfalt bitüm, zift, katran ve kan tutkalı (albümin), süt tutkalı(kazein) çeşitli tutkallar.

İnorganik kökenliler; alçı, kireç, kireç+puzolan karışımları, su kireci ve çimento.

olarak sıralanabilir.

Katılaşmasına göre; havada katılaşanlar su içinde katılaşanlar:

Havada katılaşanlar (airobik) bağlayıcılar; alçı, kireç ve organik kökenliler

Su içinde katılaşanlar (hidrolik) bağlayıcılar; kireç+puzolan karışımları, su kireci , çimento örnek olarak sıralanabilir.

Bağlayıcılar / Özellikleri

Bağlayıcılardan beklenen temel özellikler;

- Yeterli dayanıma sahip olmalı,
- Dağınık fazı (agregaları) homojen olarak birleştirmeli,
- Arayüzde sürekliliği sağlamalı,
- Gelen yükü esas taşıyıcı olan dağınık faza aktarmalı,
- Atmosfer etkilerine karşı dayanıklı olmalı.

İnorganik bağlayıcılarda bu özellikler;

- Bağlayıcının cinsine,
- Pişirme sıcaklığına,
- İnceliğine

bağlıdır. Pişirme sıcaklığı ve incelik arttıkça bağlayıcılık özelliği artar.

Bağlayıcılara Örnekler /Alçı

Alçı, çok eski çağlardan beri kullanılan bir bağlayıcıdır; alçı taşının ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$),

120-160 °C sıcaklıkta pişirilip öğütülmesi ile **yapı alçısı**,



160-190 °C sıcaklıkta pişirilip öğütülmesi ile de **anhidrit** elde edilir.



Alçı taşının suyunun tamamen uçurulması işlemi, (1) ve (2) reaksiyonlarında görüldüğü gibi iki safhada gerçekleşir, bu olaya dehidratasyon denir.



Hidratasyon sonucu oluşan katılaşmış alçı, dış ortam etkilerine dayanıklı değildir. Bu nedenle alçı, çoğunlukla iç ortamda kullanılır.

Bağlayıcılara Örnekler / Kireç

Kireç de alçı gibi çok eski çağlardan beri kullanılan bir bağlayıcıdır.

Kirecin hammaddesi;

- **Kalker taşı, tebeşir taşı** gibi karbonatlı (CaCO_3) taşlar
- Magnezyum karbonat, kalsiyum karbonat (MgCO_3 , CaCO_3) gibi **dolomitli taşlardır.**

Karbonat esaslı kireç beyaz, dolomit esaslı kireç esmer renklidir.

Kireç, yaklaşık $900-1000^\circ\text{C}$ sıcaklıkta pişirilir (5a,5b)



Elde edilen toz haldeki maddeye **“sönmemiş kireç”** denir.

Bağlayıcılara Örnekler / Kireç

Sönmemiş kireç (CaO), su ile karşılaşınca, hidrate [Ca(OH)₂] olur, bağlayıcılık özelliği kazanır. Hidrate kirece “**sönmüş kireç**” denir.



Söndürülmüş kirecin hava ile temas etmeden **en az üç yıl** bekletildikten sonra kullanılması gerektiği bilinmektedir. Kirecin bekletilme süresi uzadıkça, su tutma kapasitesi ve plastik özelliği artmaktadır.

Sönmüş kireç, havadan karbondioksit alarak **karbonatlaşır ve katılaşır**.



*Kireç harcı, suya ve dış ortam etkilerine dayanıklı değildir. Dayanımın ve dayanıklılığın artırılması için **kirece puzolanik özelliği olan malzemeler** katılır.*

Bağlayıcılara Örnekler / Kireç ve Puzolan Karışımları

Avrupa'da **Romalılar**, kirecin suda erimesini önlemek amacı ile Puzzuoli kasabasının volkan tüfü olan toprağından yararlanmışlar, "**puzolan**" sözcüğü de buradan gelmiştir.

Eski Mısır'da ve Önasya'da kirece tuğla (pişmiş kil) kırıntısı ve/veya tozu katılmış, elde edilen harca "**Horasan**" denilmiştir. Osmanlılar bu harcı yaygın olarak kullanmıştır.

Puzolanlar;

- Doğadan ; volkan tüflerinden (**puzolan / tras**)
- Kilin pişirilip öğütülmesinden (**pişmiş toprak tozu**),
- Endüstri atıklarından;
 - * Demir-çelik endüstrisinden **yüksek fırın cürufu (YFC)**,
 - * Termik santral baca gazından **uçucu kül (UK)**,
 - * Silisyum alaşımları ve ferrokrom tesisleri baca gazından **silis dumanı (SF)**
 - * Tarım atıklarının yakılmasından (**pirinç kapçığı, buğday sapı vb. külünden**).

4.2.Bağlayıcılara Örnekler / Kireç ve Puzolan Karışımları

Puzolanlar, *kendi başına bağlayıcı olmayan kireç (veya çimento) ile birlikte kullanıldığında bağlayıcılık özelliği kazanan, yüksek oranda aktif silika (SiO_2), belirli oranda alümina (Al_2O_3) içeren inorganik kökenli toz malzemelerdir.*

Her silika ve alümina içeren malzeme “puzolan” değildir; bu özellik kimyasal, fiziksel ve mekanik deneyler ile araştırılır.

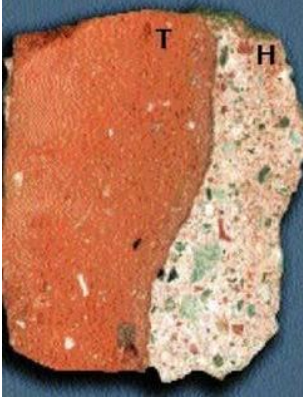
Puzolan malzeme içindeki aktif silika (SiO_2) ve alümina (Al_2O_3) hidrate kireci [$Ca(OH)_2$] bağlar;

- **Kalsiyumsilikathidrat** [$CaO.SiO_2.nH_2O$] ve
- **Kalsiyumalüminahidrat** [$CaO.Al_2O_3.mH_2O$] oluşturur;

kirecin suda erimesini önler, harcın dayanımını ve dayanıklılığını artırır.

Puzolanik özelliğinin artırılması için; puzolan çok ince öğütülmüş olmalı, harç nemli tutulmalıdır.

4.2.Bağlayıcılara Örnekler / Kireç ve Puzolan Karışımları



Restorasyonda/onarımda kullanılacak tuğlaların puzolanik özellikte olup olmadığı yukarıda belirtilen deneyler ile araştırılmalı, uygun olan tuğla seçilmeli veya üretimi sağlanmalıdır.

Horasan harcının puzolanik özelliği; harç içindeki *tuğlanın pişirilme sıcaklığına ve kilinin kimyasal bileşimine* göre farklılık göstereceği için sıcaklık değerleri deneysel olarak belirlenmeli, yapının önemine göre bu özelliklere sahip tuğlanın üretilmesi sağlanmalıdır.

Ancak **yüksek sıcaklıkta (800°C ve üstü sıcaklıklarda) pişirilmiş olan endüstriyel tuğlalarda sinterleşme olabileceği dikkate alınmalı, bu tuğlalar puzolanik özellikte olamayacağı için Horasan harcı üretiminde kesinlikle kullanılmamalıdır.**

Bağlayıcılara Örnekler / Sukireci

Su kireci, su içinde katılaştan (hidrolik), inorganik kökenli, toz bağlayıcıdır. Su kireci, killi kalkerin ($\text{CaCO}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot \text{AlO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$) **1100-1200°C** sıcaklıklarda **pişirilip ve öğütülmesi** ile elde edilir.

Killi kalker → Su kireci (10)

Piştirme sonucu, ağırlıklı olarak $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (C_2S) karma oksidi ve sönmemiş (CaO) kireç oluşur.

$2(\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2) + 4 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O} + \text{Ca}(\text{OH})_2$ (11)

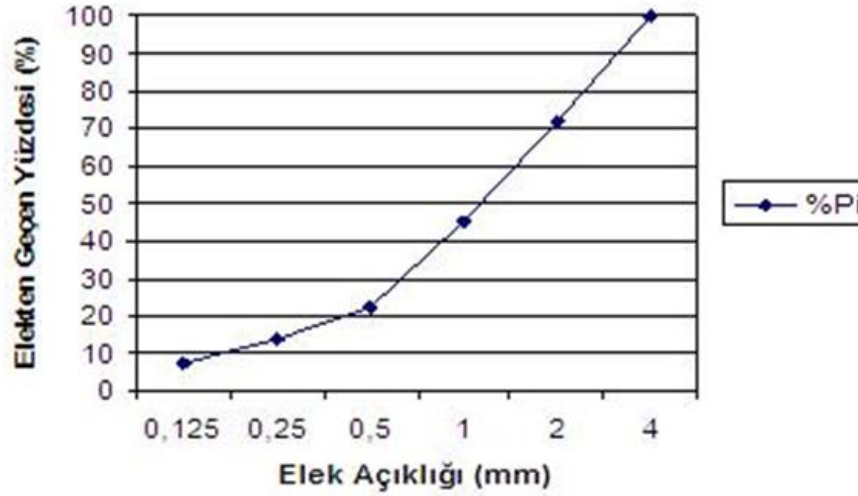
Karma oksidin hidratasyonu (11) sonucu oluşan hidrate ürün (C-S-H), suda erimez, suya karşı dayanıklıdır. Su kireci ile üretilen harçların dayanımı ve dayanıklılığı kireç harcından üstündür.

Agregalar

Agregalar, harcın dağılık fazını oluşturan mineral kökenli, daneli malzemelerdir.

Agregaların cinsi, dane boyutu, biçimi ve dağılımı harcın işlenebilmesinde ve dayanımında önemli faktördür.

Harçlarda en büyük dane 2mm-4mm olan silika veya kalker esaslı kum ya da pişmiş kil kırıntıları kullanılır.



Katkılar

Kirecin veya harcın fiziksel özelliklerini geliştirmek ve karbonatlaşmayı hızlandırmak amacıyla kirece veya harca kan, yumurta, peynir, gübre, arap zamkı, hayvan tutkalı, bitki suları, kazein vb. maddeler katılmıştır.

Yapışkan olarak: Arap zamkı, hayvan tutkalı ve incirin sütlü suyu

Sertleşmeyi hızlandırmak için: Çavdar hamuru, domuz yağı, kesik süt, kan ve yumurta beyazı

Dayanıklılığı artırmak için: Arpa, idrar ve hayvan tüyleri

Suyun donma-çözülme etkisine karşı: Şeker

Rötreyi önlemek için: Balmumu

İşlenebilmeyi artırmak için: Yumurta akı, hayvan tutkalı, şeker, süt, mineral, keten tohumu gibi yağlar

Ahşap

Ahşap, günümüzde olduğu gibi tarihi yapılarda da strüktür malzemesi, kapı ve pencere doğraması, döşeme, tavan ve duvarlarda kaplama ve mobilya malzemesi olarak kullanılmıştır.

Ahşap, organik kökenli, heterojen ve anizotrop bir malzemedir.

Ahşabın mekanik ve fiziksel özellikleri;

- Ağacın cinsine,
- Nem oranına,
- Bünye kusurlarının varlığına ve oranına,
- Liflerin yönüne göre değişir.

Ahşapta performans kayıplarına neden olan faktörler;

- Nem etkisi ile renk değişimi ve dokuda yumuşama,
- Su, nem ve mantarların etkisi ile ahşabın çürümesi,
- Böcek larvalarının boşluk oluşturması, dayanım kaybı.

Ahşap / Yapıda kullanılan ağaç türleri

İğne yapraklılar; çamlar, köknarlar, sedir, ladin ve selviler gibi yumuşak ve reçineli ağaçlardır, inşaatta kereste olarak kullanılır.

Geniş yapraklılar; meşe, kayın, gürgen, dişbudak ve ceviz gibi işlenmesi zor, sert ve çok dayanıklı ağaçlardır, kapı, pencere /doğrama, parke ve mobilya işlerinde kullanılır.

Ahşap, anizotrop bir malzemedir; lifleri doğrultusunda (paralel) ve liflerine dik doğrultuda çekme ve basınç dayanımları farklıdır. Emniyet gerilmeleri; eğik kuvvet halinde azaltılmak koşulu ile I. sınıf çam ve meşe, kayın için

- liflere **paralel çekme** 10,5-11,0 MPa,
- liflere **paralel basınç** 11,0-12,0 MPa,
- liflere **dik basınç** 2,0-3,0 MPa'dır.
- Ahşap, ***liflere dik doğrultuda çekmeye çalıştırılmaz, emniyet gerilmesi sıfır kabul edilir.***

Ahşabın elastisite modülü iğne yapraklılarda;

- liflere **dik doğrultuda** 300 MPa, liflere **paralel doğrultuda** 10000 MPa, meşe ve kayın gibi geniş yapraklılarda;
- liflere **dik doğrultuda** 600MPa, liflere **paralel doğrultuda** 12500 MPa'dır.

Ahşap

Ahşap elemanların birleşimi, lamba zivana, geçme, çapraz geçme, boğaz geçme, kurtağzı ve kamalı birleşim gibi ahşabın kendisiyle, çivi, vida veya bulonla, metal şerit veya levhalarla yapılır.

Ahşabın kusurları

Ahşapta kusura neden olan faktörler;

- yaş halkalarının genişliğindeki farklılıklar, merkezden kaçık büyümesi, yaş halkaları arasındaki dairesel çatlaklar,
- reçine ceplerinin varlığı,
- dal yerlerinin oluşturduğu budaklar,
- boyuna doğrultudaki çatlaklar,
- öz odunundaki radyal çatlaklar,
- burulmuş lifler, gövdede burulma,
- paralel olmayan lifler olarak sıralanabilir.

Ağaçtaki çentik, yara, yarık ve çürükler, tekrarlı donma-çözülme sonucunda meydana gelen çatlaklar, dairesel halkaların birbirinden ayrılmasına neden olur, çatlaklar dıştan içeriye doğru devam eder. Bu nedenlerle yapıda kullanılan ahşap, kusurların varlığına ve sayısına göre sınıflandırılır (I. sınıf, II. sınıf, III. sınıf).

METALLER

Tarihi yapılarda demir, kurşun, çinko gibi metaller ve bazı alaşımlar kullanılmıştır. Bunlardan;

Demir (Fe)

kemerlerde gergi elemanı,
taş duvarlarda kenet,
pencere ve kapılarda güvenlik unsuru olarak,

Kurşun (Pb) kubbe, tonoz gibi elemanlarda su geçirimsizliği sağlamak için kaplama malzemesi olarak,

Çinko (Zn) pencerelerin denizliklerinde ve yağmur oluklarında,

Pirinç, bronz gibi alaşımlar da kapı tokmağı, anahtar gibi tamamlayıcı unsurlarda kullanılmıştır.

Demir

Demir, **dökme ve dövme (temper) işlemleri** ile şekillendirilmiştir.

Dökme demir, bileşimi bakımından **beyaz dökme demir ve kır dökme demir** olmak üzere iki türüdür.

Beyaz dökme demirde ana faz olan demir karbür (Fe_3C) çok sert ve gevrek; keserek veya plastik şekil vererek işlenemez ancak $800^{\circ}C$ 'nin üstünde tavlaniırsa dövülebilmeye uygun **temper dökümü demir** elde edilir.

Uygulamada karışık şekilli parçalar **beyaz döküm** halinde üretilir, sonra tavlaniarak **temper döküme** dönüştürülür. Temper döküm demirin çekme mukavemeti 380 MPa, sünekliği (kopma uzama oranı) %20 düzeyindedir.

Demir

Kır dökme demir, ham demirin eritilip kalıplara dökülmesiyle şekil verilen genellikle %2,25-4,0, oranında karbon (C), %1-3 oranında silisyum (Si) içeren yüksek karbonlu, üretimi kolay bir malzemedir.

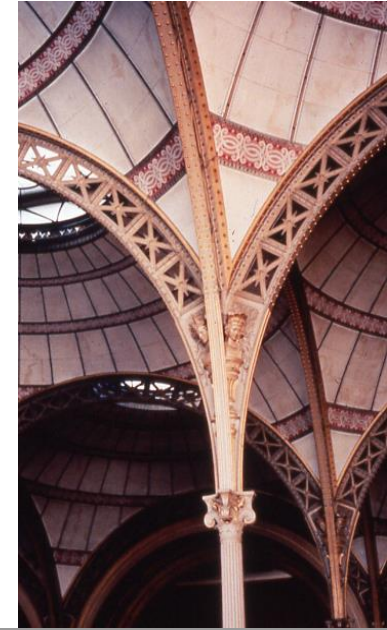
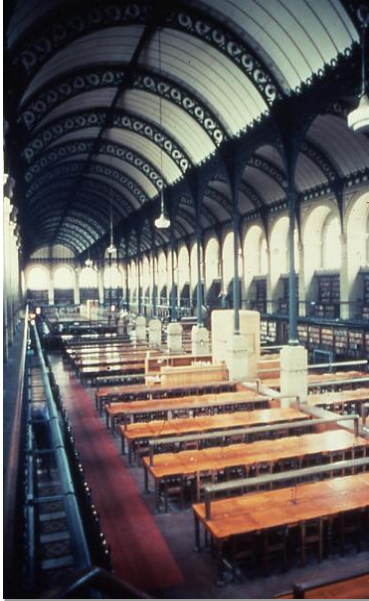
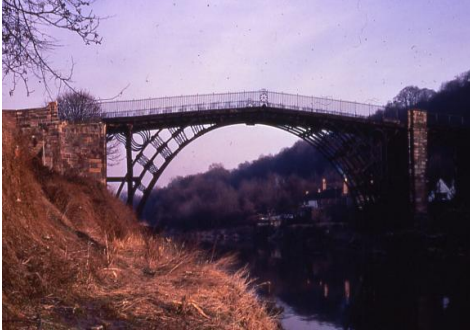
Kır dökme demirin ergime sıcaklığı düşüktür (1140 °C), kalıbı iyi doldurur, soğuma sırasında büzülmesi azdır, çekme mukavemeti düşük (120 MPa), basınç mukavemeti (720 MPa) çok yüksek, **gevrek** bir malzemedir.

Kır dökme demir, gevrek olmasına rağmen yumuşaktır, keserek kolay işlenir. 18.yy'da köprü yapımında, daha sonraları yapıda genellikle kolonlarda kullanılmıştır.

Demir – Uygulamadan örnekler



Demir – Uygulamadan örnekler



HASAR NEDENLERİ VE HASAR ÖRNEKLERİ

Gözenekli- Gevrek cisimlerin fiziksel özellikleri

Gözenekli cisimlerin fiziksel büyüklükleri; katı fazın özelliklerine, boşlukların (gözeneklerin) oranına, katı ortam içindeki dağılımına ve boyutuna bağlı olarak değişir.

Fiziksel büyüklükler:

Boşluklu birim hacim ağırlık; yoğunluk (β),

Boşluksuz (dolu kısmın birim ağırlığı); özgül ağırlık (γ),

Doluluk oranı; kompasite (k),

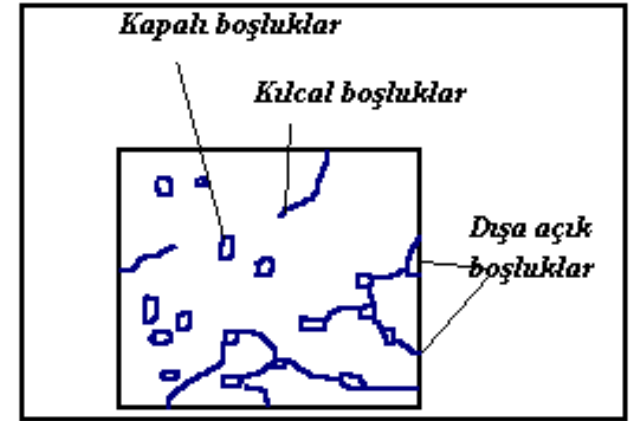
Toplam boşlukların oranı; porozite (p),

Dışa açık boşlukların oranı (zahiri Porozite); hacimce su emme (h_s),

Dışa açık boşlukların toplam boşluklara oranı; doyma derecesi (D_d),

Kılcal boşluklar ise kapiler su emme (K)

Birim hacimdeki bir cisimde bulunan boşluk iç yüzeylerinin toplam alanı; özgül yüzey (Σ) ile ifade edilir.



Gözenekli- Gevrek cisimlerin mekanik özellikleri

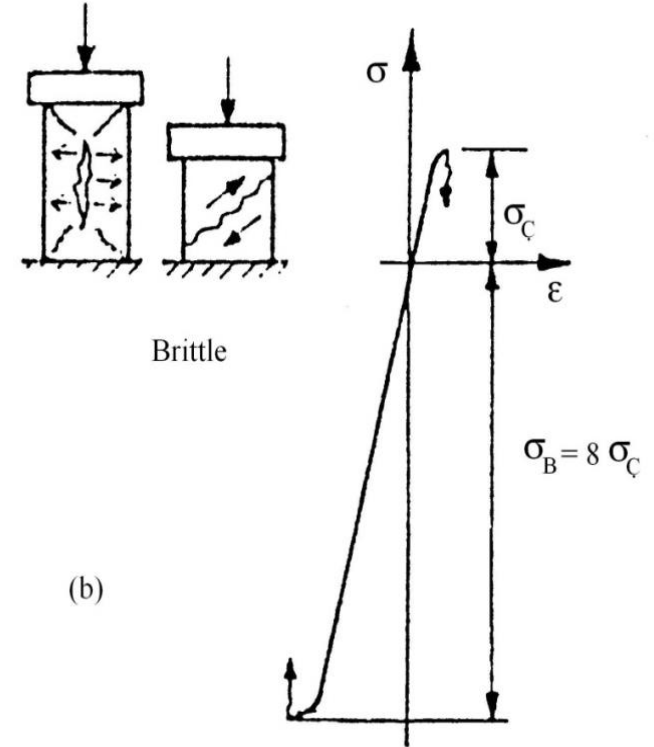
Doğal taş, tuğla, harç ve beton gibi gevrek malzemelerin ;

- plastik şekil değiştirme yeteneği yok denecek kadar az,
- çekme dayanımı, basınç dayanımından çok küçüktür.

Bu nedenle doğrudan çekme deneyi yapmak zordur.

Çekme dayanımı eğilme ve/veya yarma deneyleri ile dolaylı olarak belirlenir.

Eğilme veya yarma deneyleri yapılamıyor ise çekme dayanımı , basınç dayanımından ampirik bağıntılardan tahmin edilir.



1. Doğal taş hasarları

Doğal taşların hasara uğramasında;

- Taşın çıkartıldığı ocak,
- Mineralojik, petrografik, kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri,
- Yapının ve taşın bulunduğu konum,
- Yerüstü ve yeraltı suyunun özellikleri (suyun basıncı, taşıdığı tuzların türü ve konsantrasyonu),
- Atmosfer etkileri, sıcaklık değişimi, rüzgar, yağış, nem vb.,
- Doğal afetler,
- Çevre kirliliği,

gibi dış etkenler önemlidir.

1. Doğal taş hasarları

Bunlardan atmosfer etkileri, doğal afetler açınılması mümkün olmayan doğal olaylardır. Atmosfer etkileri;

- Girişimli ve tekrarlı olan bu olaylar, taşlarda fiziko-kimyasal olaylara ve hasarlara yolaçar.
- Atmosfer etkileri ayrıştırılmış olarak dikkate alınır; aşağıdaki gibi özetlenebilir.

Sıcaklık farkı,

- Mevsimlik ve günlük sıcaklık değişimleri nedeni ile taşlarda hacim değişikliği olur.
- Sıcaklık değişimi, taş içindeki farklı minerallerin değişik genişleme-büzülme göstermesi sonucu doğan gerilmelerin tekrarlanması ile zaman içinde yorulmadan dolayı taşlar dayanıklılığını kaybedip dağılıbilir.

1. Doğal taş hasarları

Donma-çözülme,

Atmosfer etkilerine en iyi örneklerden biridir, bu olayda;

- Gözeneklere giren su donunca hacmi büyür ve katı fazda çekme gerilmelerinin doğmasına neden olur.
- Gevrek bir malzeme olan doğal taşlarda şekildeğiştirme kapasitesi düşük olduğu için zamanla çatlaklar meydana gelir.
- Tekrarlı donma-çözülme taşlarda yorulma gerilmelerinin doğmasına neden olur;
- Gözenekli ve kaolenleşmiş taşlar, kalker ve kil bağlayıcılı greler (kumtaşları) donma-çözülmeden çok etkilenir.

1. Doğal taş hasarları

- **Yağmur ve yeraltı suları** ile killi ve marnlı taşlar şişerek yumuşar ve plastik hale gelir, dayanımını kaybeder.
- **Nem**, en önemli bozulma nedenlerinden biridir. Çünkü zararlı tuzları ve asitleri taş içine taşır ve tespit eder, kimyasal bozulmalara neden olur. Tekrarlı nemlenme-kuruma döngüsü zaman içinde taşta yorulmaya neden olduğu için zararlıdır.
- **Güneş yanması**, taşın yüzeyinde yıldız şeklinde lekeler ve kılcal çatlaklar meydana getirir, taşın parçalanmasına neden olur. Bu olay, camsı dokulu bazaltlarda daha çok görülür.
- **Rüzgâr etkisi** ile havadaki toz, kum, kurum parçaları yüzeyde birikir, yağmur ile birlikte taş yüzeyinde aşındırıcı etki yapar.

1. Doğal taş hasarları

Rüzgâr etkisi ile havadaki toz, kum, kurum parçaları yüzeyde birikir, yağmur ile birlikte taş yüzeyinde aşındırıcı etki yapar.

Çevre kirliliği doğal taşlarda hasara neden olan önemli faktörlerden biridir.

Fosil yakıtlardan ve motorlu araçların egzoz gazlarından gelen (CO_2) karbondioksit, (SO_3) kükürttrioksit gibi gazlar havanın nemi ile karbonik asit ve sülfirik asite dönüşür.

- Bu asitlerin birçok minerali çözme ve eritme özelliği vardır.
- Karbonik asit, karbonatların ve silikatların ayrışmasına sebep olur;
- Granitin içinde bulunan ortozun ayrışması ile bu sağlam taşlar bile parçalanıp dağılır; çevre kirliliğinin önlenmesi çok önemlidir.

1. Doğal taş hasarları

- Ayrıca bitkilerden gelen nitrat tuzları, fosfat tuzu, çimento veya alçıdan gelen sülfat tuzu ya da denizden gelen klorür tuzlarının taş yüzeyine ulaşması engellenmelidir.

Bu amaçla özellikle tarihi yapıların bulunduğu bölgelerde;

- Fosil yakıtların kullanılması sınırlandırılmalı,
- Trafik akışı ve hızı düzenlenmeli,
- Yüzeyde kurumayı sağlayan doğal hava akışı (vantilasyon) sağlanmalı, hava akışı düzensiz yapılaşmaya ile engellenmemelidir.

1. Doğal taş hasarları

- Bu olaylar sonucu taşlarda meydana gelen hasarlar genel olarak aşağıda verilmektedir



Yüzey kaybı derinliğine göre; ölçülebilen taş yüzeyinin özgün yüzeyden en fazla 5 cm içeride olduğu (< 5 cm) durum ve taş yüzeyinde ölçülen yüzey kaybı derinliğinin 5 cm'den fazla olduğu (> 5 cm) durum olarak iki farklı grupta incelenir.



Parça kopması, hasarı genellikle çatlak olan kısımlarda olur. Çatlak onarımında uygulanan yöntemler kullanılır veya parça yerinden alınır. Geri döndürülmesi zor bir hasardır.

1. Doğal taş hasarları



Oyuklanma, taneli yapıdaki taşlarda dış etkiler nedeniyle iri tanelerin zayıflayarak yerinden çıkmasıdır.



Çatlak, taşın oluşum sırasında ya da doğal afetler, zemin oturmaları ve titreşim etkileri gibi nedenlerle malzemedeki oluşan yarıklardır. Kılcal çatlaklar ve derin çatlaklar şeklindedir. Çatlak nedeni araştırılmalı ve çatlak hareketi izlenmelidir.

1. Doğal taş hasarları



Kavlanma, taş yüzeyinde kalınlığı 0,5-1 mm'yi geçmeyen ince kabarma ve pul pul dökülmedir. Hasarın olduğu kısımda nem oranının azaltılması için tedbir alınmalıdır.

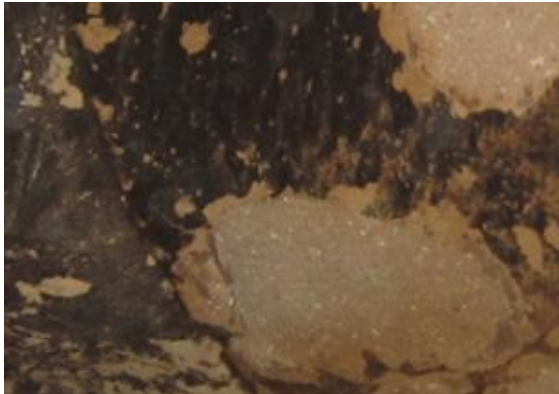


Yapraklanma, taş yüzeyinin tabakalar halinde kabarak yaprak görünümünde, çeşitli kalınlıklarda ve geniş tabakalar halinde ayrılmasıdır.

1. Doğal taş hasarları



Yüzey kirliliği, yüzeylerin yağmur suyu ile yıkanabilen bölümlerinde oluşan ince bir tabaka şeklinde ve gri renkli oluşumdur.



Kabuk oluşumu, taş yüzeyinin genellikle yağmur suyunun doğrudan ulaşmadığı kısımlarında hava kirliliği sonucu oluşur. Kalın ve koyu gri-siyah renkli kabuk şeklindedir. Kirliliği oluşturan etkene ve taş özelliklerine göre kabuğun yapısı, yüzeye ilişkisi, kalınlığı ve rengi değişir.

1. Doğal taş hasarları

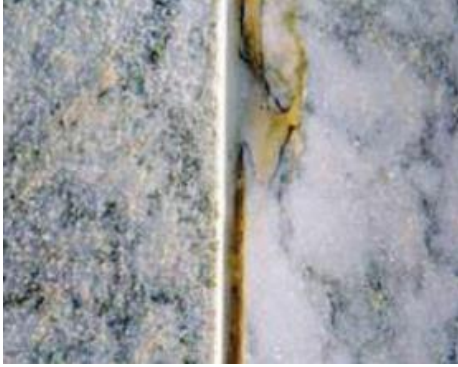


Çiçeklenme; su, nem, hava kirliliği, ıslanma-kuruma etkisi, kullanılan kimyasal maddeler sonucu suda çözünebilen tuzların gözenekli kayaçların bünyesine girmesiyle oluşur.

Taş gözeneklerine giren su, özellikle kalsiyumkarbonat esaslı taşın bünyesindeki kireci eritir, kalsiyumhidroksite dönüştürür.

Kalsiyumhidroksit su ile yüzeye doğru taşınır ve yüzeye yakın bölgelerde havadaki karbondioksit ile karşılaşınca kalsiyumkarbonata dönüşür.

1. Doğal taş hasarları



Şekerlenme, çiçeklenmede olduğu gibi kalsit kristallerinin yoğun olduğu mermerlerde taşın boşluklu hale gelmesidir. Taş yüzeyinde kesme şeker dokusu oluşur.



Aşınma, taş yüzeyinde deformasyon, kenarlarda yumuşama, yuvarlaklaşma ve elemanın kesitinde incelme meydana gelmesi durumudur.

Isıl genişleme-büzülme ve donma-çözülme ile oluşan gerilmelerin neden olduğu tekrarlı yükleme-boşalmalar ile taşlarda yorulma kırılmaları,

Su basıncı, tuz oluşumu ve biyolojik etkenlerin neden olduğu hacim artışları ile fiziksel aşınma meydana gelebilir.

1. Doğal taş hasarları



Patina: Taşın ocaktan çıkarıldıktan sonra yüzeyinde oluşan kahverengi veya turuncu renkli tabakaya denir. Kirlilikle karıştırılmamalıdır. Kirli kabukta sülfür fazla iken patinanın ana maddesi kalsiyum oksalattır. Taş yüzeyinden bu tabakayı kaldırmak yüzeyi tahribata açık hale getirir.

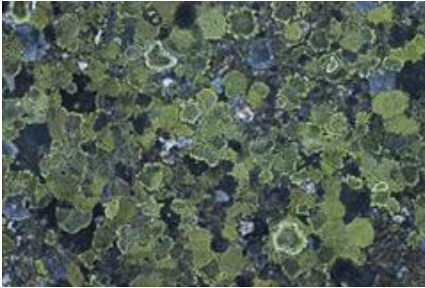


Bakteriler, tek hücreli veya hücre kolonileri şeklindedir (mavi yeşil algler). Taşların üzerinde sülfat, nitrat bakterileri ve heterotrofik bakteriler siyah kabuk, patina, dökülme ve kabarmalara neden olabilir.

1. Doğal taş hasarları



Mantarlar (fungi), bitkilerden farklıdır. Şapkalı türleri hariç renksizdir. Liken bünyesini oluşturur ve sporla üremesini sağlar.



Likenler, yeşil ve mavi-yeşil algler gibi organizmalarla ortak yaşam kurar ve kaya yüzeyinden alg için gerekli su ve minerali sağlar. Likenlerin binlerce türü vardır:

Likenler, türüne göre taşa 0,3 mm'den 16 mm'ye kadar nüfuz edebilir, çatlaklar oluşturabilir. Nemli ve gölgeli kısımlarında varsa çatlak üzerinde yüksek bitkilerin gelişmesine olanak sağlar.

2. Kerpiç hasarları

Kerpiçte hasarların en önemli nedeni;

- Büzülme çatlakları,
- Suyun ve nemin varlığıdır.

Su bulunan ortamda kurumuş haldeki kerpiç (kil)

- Suyu emer, yumuşar,
- Tekrar plastik özellik kazanır, şeklini ve mukavemetini, dolayısı ile taşıyıcı özelliğini yitirir.

Bu nedenle kerpiç, su etkisinin olmadığı veya çok az olduğu ortamlarda kullanılır.

3.Tuğla hasarları

Tuğlada

- Mekanik etkiler nedeni ile çatlaklar ve kırılmalar meydana gelir,
- Atmosfer etkileri ile görülen hasarlar, çoğunlukla doğal taşlardakine benzer.

Suyun eritme etkisi ile

- Tuğlanın köşelerinde yuvarlanma,
- Hacim değişikliği,

Donma-çözülme etkisi ile

- Kabarmalar,
- Yüzeyinde beyaz lekeler,
- Çatlaklar gözlenir.

Hasarların başlıca nedeni, boşlukların oranı (porozitesi), boyutu ve su ile ilgili etkileşimidir.

4. Ahşap hasarları



Atmosfer olaylarının neden olduğu bozulmalar

Yangın görmüş ahşap yapı



b) Yumuşak çürüklük mantarı



b) Esmer çürüklük mantarı



c) Küf mantarı

4. Ahşap hasarları



Böcek hasarlarına örnekler



Termitler ve neden olduğu hasarlar

Demir- çelik hasarları

Mekanik özellikleri diğer malzemelerden çok üstün olan metallerin en önemli kusuru su, nem ve havanın oksijeninden etkilenerek korozyona uğramasıdır.

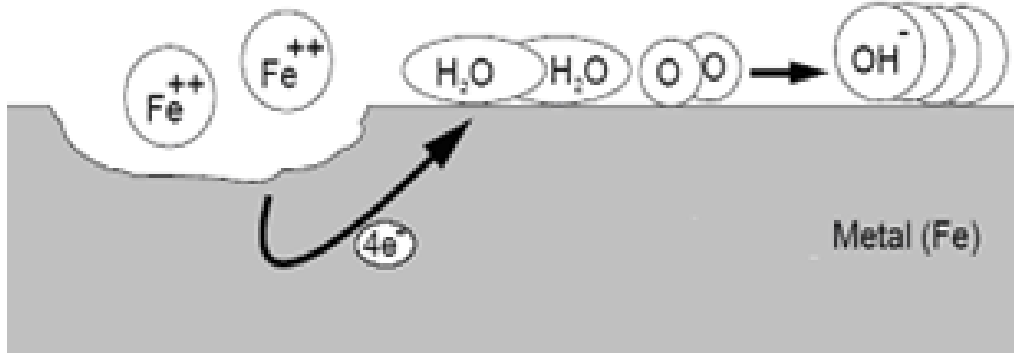
Elektrokimyasal bir olay olan korozyon, metalde kütle kaybına neden olur.

Doğada altın ve platin dışındaki metallerin tamamı oksitler, karbonatlar, sülfatlar ve silikatlar olarak bileşikler halinde bulunur; enerjileri düşük olduğundan kararlı yapıya sahiptirler.

Metalleri bileşiklerinden ayırmak (metal üretimi) zorlu bir süreçtir; bu süreç, büyük miktarlarda hammadde, enerji ve insan gücünün harcanması ile gerçekleşir.

Metallerin doğadaki asıl durumlarına dönme eğilimi **korozyon** olayının gerçek nedenidir.

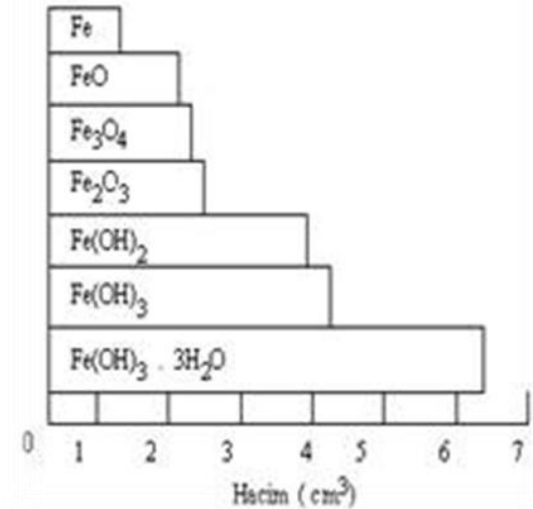
Demir- çelik hasarları



Anot reaksiyonu: $2\text{Fe} \rightarrow 2\text{Fe}^{2+} + 4\text{e}^-$

Katot reaksiyonu : $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^-$

Oluşan korozyon ürünlerinin hacmi, metalin hacminden yaklaşık bir ila altı kat daha büyük olabileceği için tarihi yapılarda özellikle gerji elemanlarının saplandığı sütunlarda çatlamalara ve parça atmalarına neden olur.



Demir- çelik hasarları



Demir- çelik hasarları



Ahşaptaki metal birleşimlerde korozyon hasarı