

TMMOB İNŞAAT MÜHENDISLERI ODASI İSTANBUL ŞUBESI · SEMINER

Yığma Yapılarda Geleneksel ve Modern Güçlendirme Teknikleri

Prof. Dr. Ferit ÇAKIR

Gebze Teknik Üniversitesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü

Seminer akışı

01	Yığma yapıların doğası: Yığma yapılar neden hasar görür?
02	Müdahale felsefesi, teşhis ve karar mantığı
03	Geleneksel onarım ve güçlendirme teknikleri
04	Modern onarım ve güçlendirme teknikleri
05	Uygulamalardan örnekler: Hatay, Malatya, Antalya, Artvin, Ankara
06	Soru-cevap

01

Yığma yapıların doğası

Yığma yapılar neden hasar görür?

01 · YIĞMA YAPILARIN DOĞASI

Yığma yapı nedir?



Tanım

Taş, tuğla veya kerpiç gibi birimlerin harçla üst üste örülmesiyle oluşturulan; yükleri kolon-kiriş çerçevesi yerine duvarlarıyla taşıyan yapılardır.

Nasıl çalışır?

Yükü büyük ölçüde basınçla aktarır. Açıklıklar kemer, tonoz ve kubbe gibi basınçla çalışan eğrisel formlarla geçilir; çekme dayanımı sınırlıdır.

Nerede karşımıza çıkar?

Cami, han, hamam, kale ve köprülerden kırsal konutlara ve kentlerdeki eski binalara kadar. Türkiye'de 127.287 tescilli taşınmaz kültür varlığı bulunuyor (2024 sonu).

Yığma yapı = yığma birim + harç + geometri. Dayanımını malzemesinden çok formundan ve bütünlüğünden alır.

Yığmanın bileşenleri: birim ve harç



Taş

Kesme, yonu veya moloz taş. Basınç dayanımı ve yoğunluğu yüksek, sünekliği çok düşük.



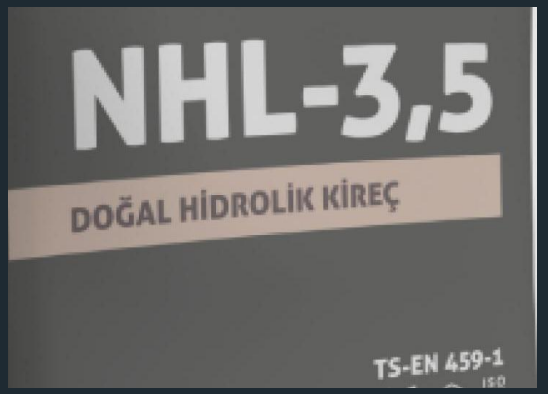
Tuğla

Pişmiş kilden, dolu veya delikli. Orta-yüksek basınç dayanımı, orta yoğunluk.



Kerpiç

Kil, saman ve suyla güneşte kurutulur. Hafif ve düşük dayanımlı; suya karşı hassas.



Harç

Birimleri bağlar, yükü dağıtır. Tarihi yapılarda kireç ve horasan, yenilerde çimento esaslı.

> **Harç, yığma birimden daima daha zayıf olmalıdır: çatlak birimde değil, onarılabilir derzde oluşmalıdır.**

Temel uyuşmazlık: yığmanın doğası deprem kuvvetleriyle çelişir

1

Ağır kütle

Büyük kütle, deprem sırasında büyük atalet kuvveti (F = m·a) üretir. Ağır toprak damlar bu etkiyi katlar.

2

Gevrek davranış

Taş, tuğla ve kerpiç enerjiyi şekil değiştirerek sönümleyemez; ani ve gevrek biçimde kırılarak göçer.

3

Düşük çekme ve kayma dayanımı

Düşey basıncı iyi taşır; depremin yarattığı yatay çekme ve kayma gerilmelerine karşı son derece zayıftır.

Yığma yapılar neden hasar görür?

Hasar çoğunlukla tek bir etkiden değil, birden fazla zafiyetin birleşiminden kaynaklanır.

01 Deprem etkileri

Yatay atalet kuvvetleri, düzlem içi kesme ve düzlem dışı eğilme oluşturur.

02 Zemin ve temel hareketi

Diferansiyel oturmalar ve temel dönmeleri çatlaklara yol açar.

03 Malzeme bozulması

Nem, tuz, donma–çözülme ve harç kayıpları dayanımı azaltır.

04 Taşıyıcı sistem zafiyetleri

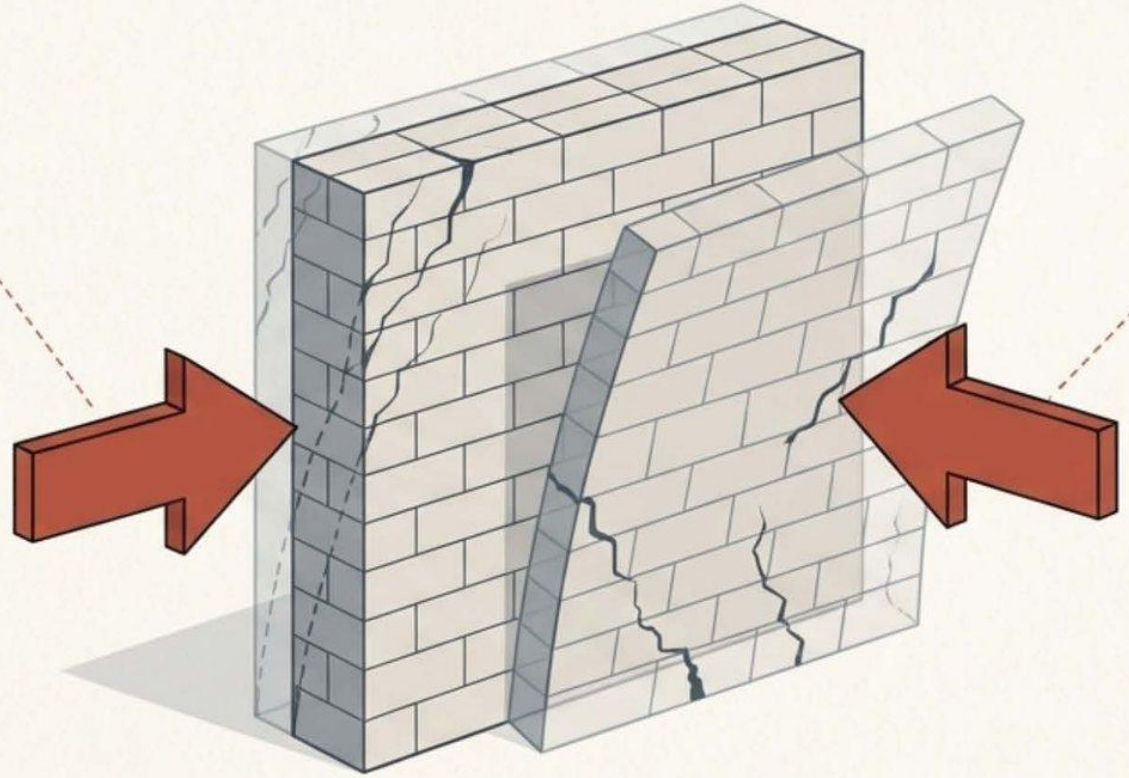
Yetersiz duvar bağlantısı, büyük açıklıklar ve ağır örtüler riski artırır.

Deprem Yüküyle İki Farklı Karşılaşma: Düzlem İçi ve Düzlem Dışı Davranış

Bir deprem sırasında yığma duvarlar yatay yüklerle iki temel şekilde karşılaşır. Bu iki davranış modu, duvarın hasar mekanizmasını ve dayanımını kökten değiştirir.

Düzlem İçi (In-plane) Davranış

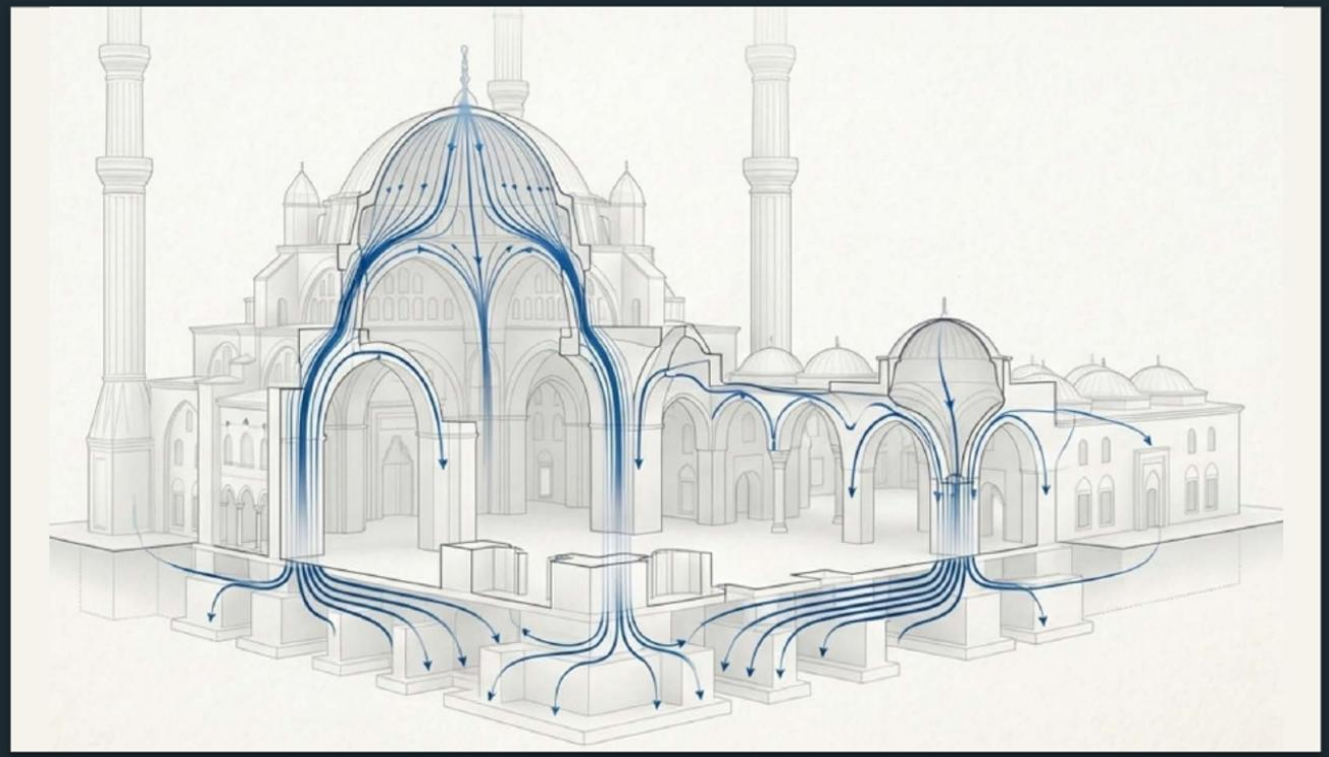
Deprem yükü, duvarın geniş yüzeyine paralel etki eder. Duvar, kendi düzlemi içinde bir kiriş gibi eğilmeye ve kesme kuvvetlerini karşılamaya çalışır. Bu, duvarın en güçlü olduğu yöndür. Hasar genellikle kesme çatlakları şeklinde oluşur.



Düzlem Dışı (Out-of-plane) Davranış

Deprem yükü, duvarın geniş yüzeyine dik olarak etki eder. Duvar, narin bir eleman gibi düzleminin dışına doğru itilir ve devrilmeye çalışır. Bu, yığma duvarların en zayıf ve en tehlikeli davranış modudur. Yetersiz bağlantılar devrilmeye yol açabilir.

Yığma yapılarda yük aktarım mekanizması



Kubbeden kemerlere

Kubbe yükü meridyenler boyunca kasnağa iner; pandantif ve tromplar dairesel tabanı kare plana bağlayarak yükü büyük kemerlere aktarır.

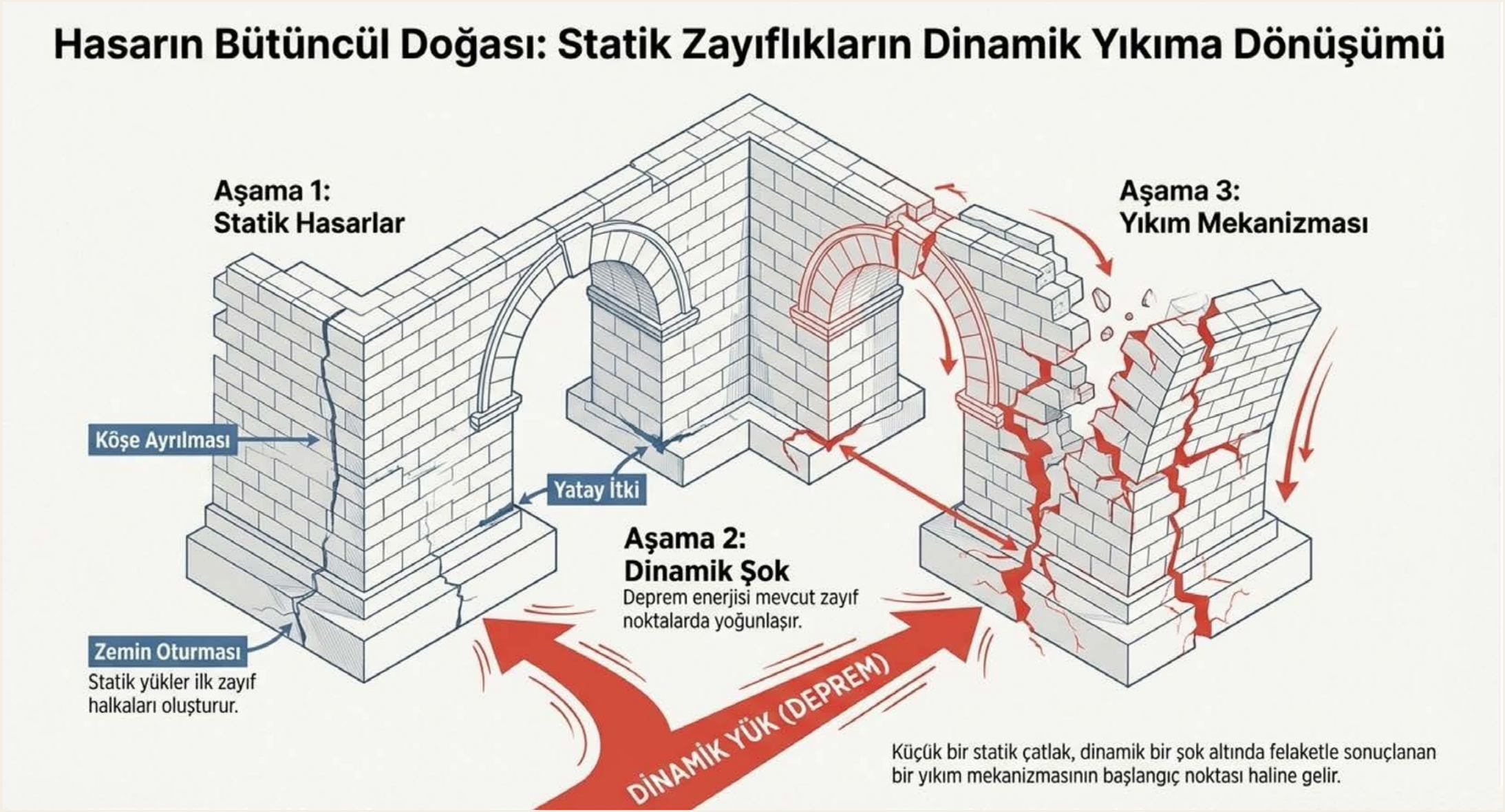
Yarım kubbe ve ayaklar

Yarım kubbeler ve kemerler ana kubbenin itkisini karşılar; yük birkaç büyük ayakta toplanarak yoğunlaşır.

Temele ve zemine

Ayaklardaki yoğun yük temelde geniş alana yayılır. Farklı oturma, tüm bu zincirin dengesini bozar.

Kubbeli yapılarda yük birkaç kritik noktada toplanır; o noktalardaki hasar bütün sistemi etkiler.


Hasarın Bütüncül Doğası: Statik Zayıflıkların Dinamik Yıkıma Dönüşümü
Aşama 1:
Statik Hasarlar
Köşe Ayrılması
Yatay İtki
Zemin Oturması
Statik yükler ilk zayıf halkaları oluşturur.
Aşama 2:
Dinamik Şok
Deprem enerjisi mevcut zayıf noktalarda yoğunlaşır.
DİNAMİK YÜK (DEPREM)
Aşama 3:
Yıkım Mekanizması
Küçük bir statik çatlak, dinamik bir şok altında felaketle sonuçlanan bir yıkım mekanizmasının başlangıç noktası haline gelir.

02

Müdahale felsefesi ve teşhis

Neye, ne kadar ve hangi sırayla dokunacağımıza karar vermek: tekniği seçmekten önce gelir.

Onarım ve güçlendirme aynı şey değildir

Onarım (repair)

Amaç: Hasar öncesi duruma döndürmek.

Kapsam: Hasar görmüş yapısal ve yapısal olmayan elemanlar.

Hedef: Yapım anındaki dayanım ve güvenlik düzeyini yeniden kazandırmak.

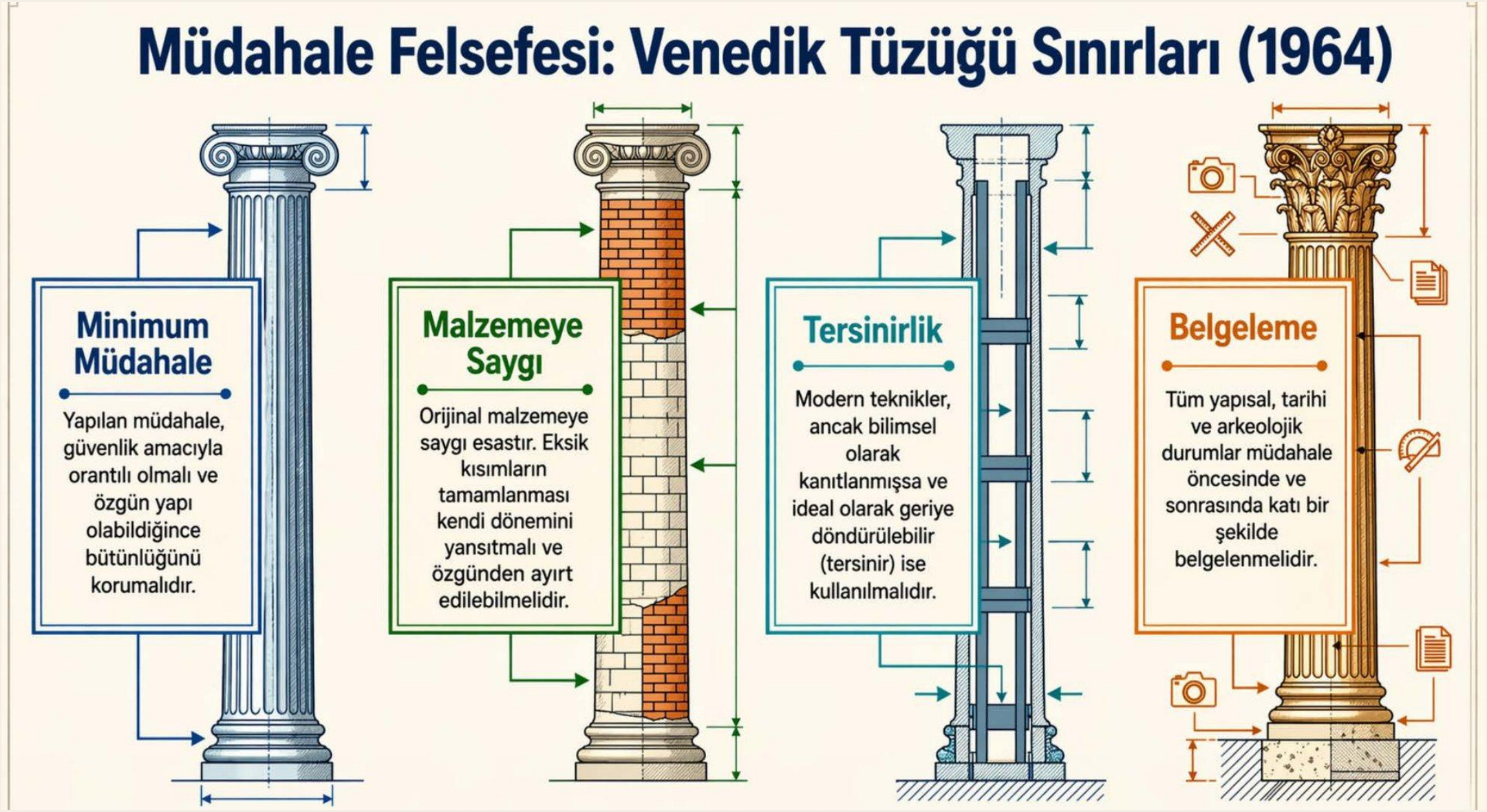
Güçlendirme (strengthening)

Amaç: Gelecekteki depremler için performansı iyileştirmek.

Kapsam: Yeni eleman ilavesi veya mevcut elemanların rijitlik/dayanım artışı.

Hedef: Hasar öncesinden daha yüksek dayanım ve sünekliğe ulaşmak.

Müdahale Felsefesi: Venedik Tüzüğü Sınırları (1964)



Güçlendirmede altı temel ilke

1 · Etkeni yok et

Çatlak onarımından önce hasarın nedenini tespit et ve ortadan kaldır.

2 · Yükleri hafiflet

Yapıdaki gereksiz yükleri kaldır veya azalt.

3 · Rijitliği dengele

Köşelere yakın boşlukları kapat; kütle ve rijitlik merkezini çakıştır.

4 · Lokal uygunluk

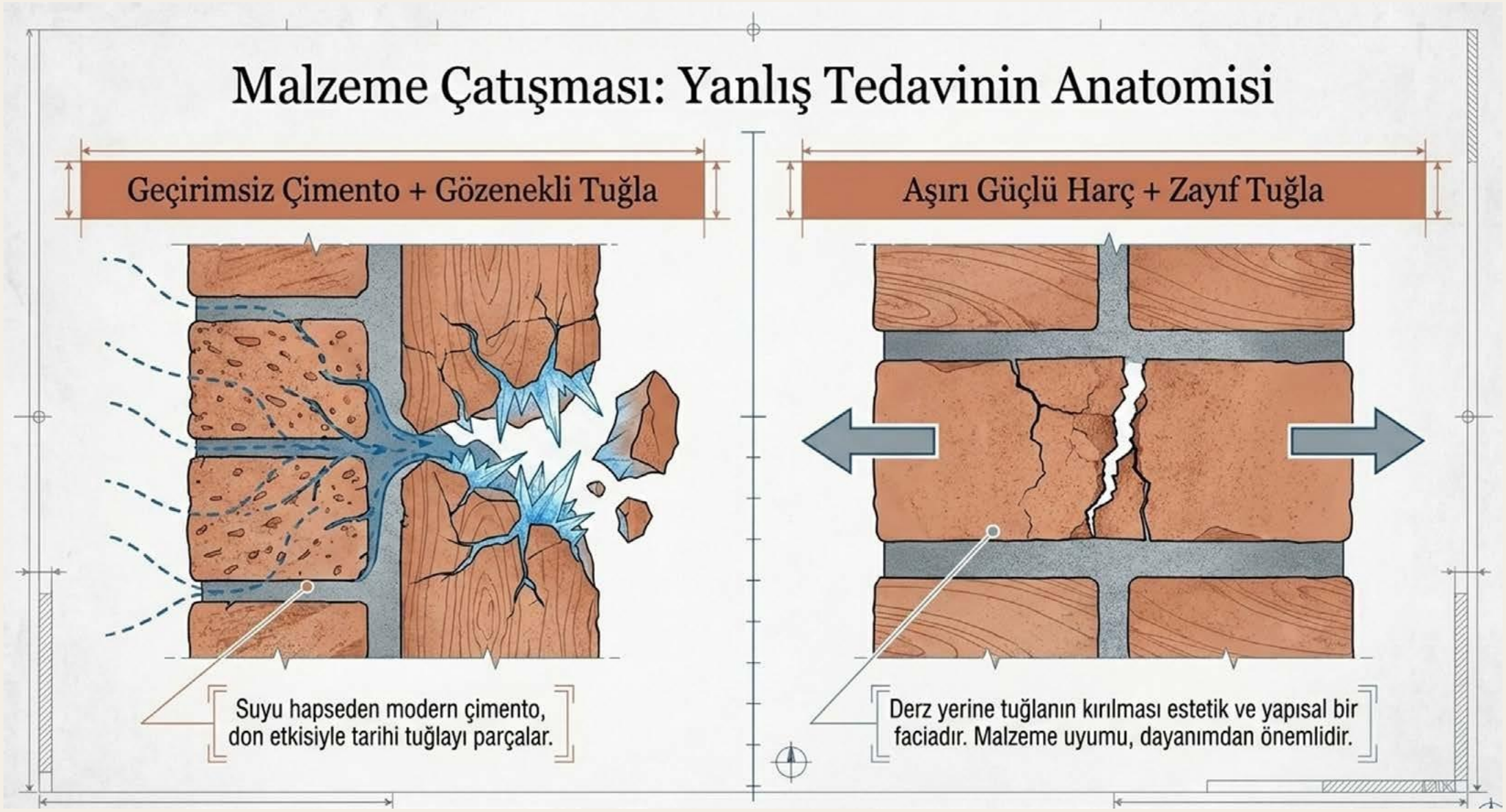
Seçilen yöntem, malzeme ve işçilik açısından bölgede uygulanabilir olmalı.

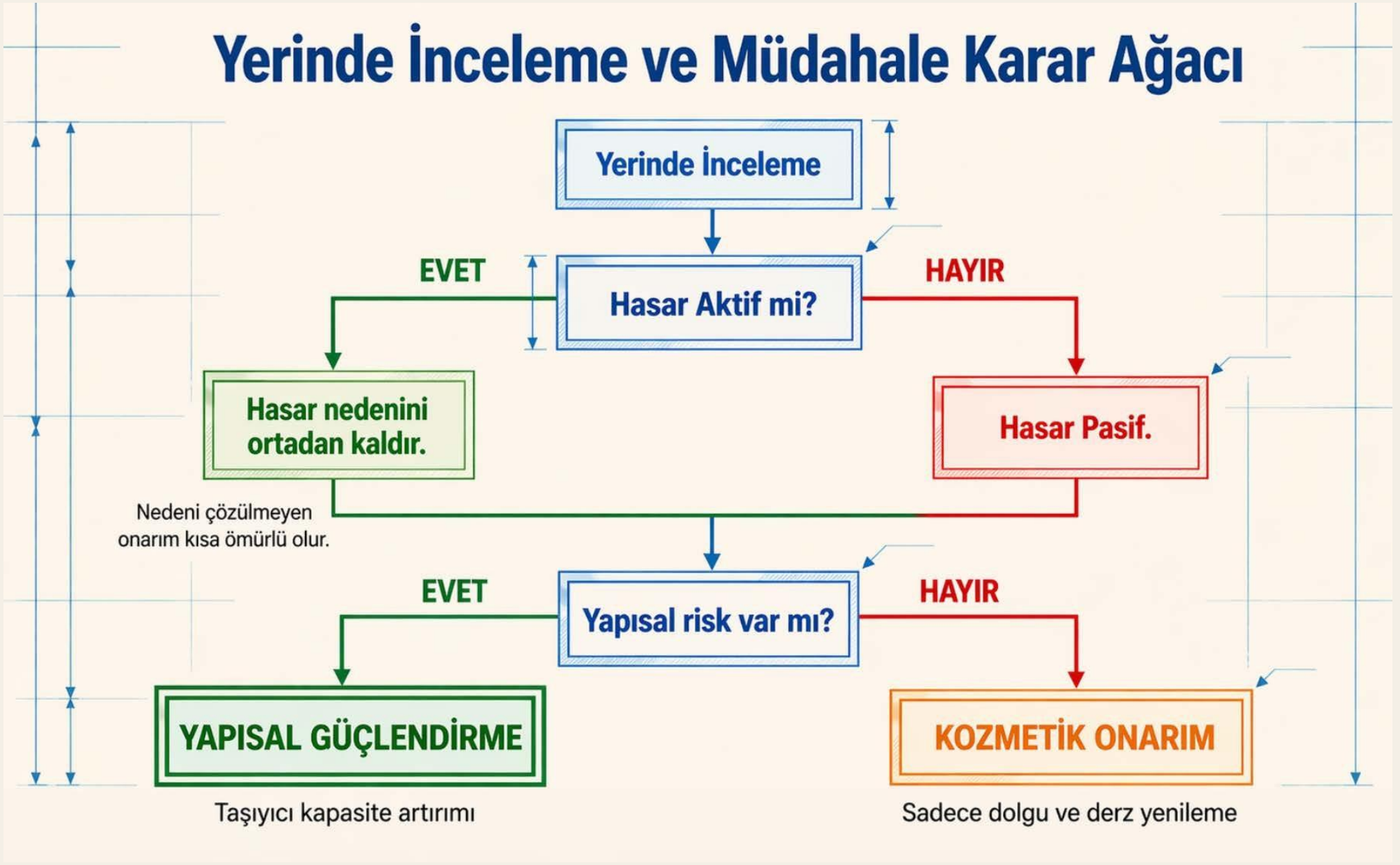
5 · Kapasiteyi aş

İşlem bittiğinde yapı, deprem öncesi durumundan kesinlikle daha sağlam olmalı.

6 · Geometriyi basitleştir

Asimetrik veya farklı katlı blokları ayırarak basit, bağımsız yapılara dönüştür.


Malzeme Çatışması: Yanlış Tedavinin Anatomisi
Geçirimsiz Çimento + Gözenekli Tuğla
Suyu hapseden modern çimento, don etkisiyle tarihi tuğlayı parçalar.
Aşırı Güçlü Harç + Zayıf Tuğla
Derz yerine tuğlanın kırılması estetik ve yapısal bir faciadır. Malzeme uyumu, dayanımdan önemlidir.


Yerinde İnceleme ve Müdahale Karar Ağacı
Yerinde İnceleme
Hasar Aktif mi?
EVET
HAYIR
Hasar nedenini ortadan kaldır.
Hasar Pasif.
Nedeni çözülmeyen onarım kısa ömürlü olur.
Yapısal risk var mı?
EVET
HAYIR
YAPISAL GÜÇLENDİRME
KOZMETİK ONARIM
Taşıyıcı kapasite artırımı
Sadece dolgu ve derz yenileme

03

Geleneksel teknikler

Kireç harcı, ahşap hatıl, payanda ve gergi: yapının kendi dilinde güçlendirme. Ardından zemin ve temel.

Geleneksel güçlendirme matrisi

Yöntem	Ana işlev	Ölçek	Hedef kuvvet	Özgünlük
Kireç esaslı harç	İç bütünlük, derz yenileme	Mikro	Basınç, kayma	Çok yüksek
Ahşap hatıl	Süneklik, enerji sönümü	Mezo / makro	Çekme, kesme	Yüksek
Yeniden örme	Yapısal sürekliliğin onarımı	Mezo	Basınç	Yüksek (anastylosis)
Payanda	Yatay itkiyi zemine aktarma	Makro	Devirici moment	Orta (silüet değişir)
Demir gergi	Karşılıklı duvarları kilitleme	Makro	Çekme, itki	Orta / yüksek

03.1

Kireç harcı ve enjeksiyon

İşlev: iç bütünlük ve derz yenileme

Mikro ölçek · basınç ve kayma · özgünlük çok yüksek

Kireç harcı | Ahşap hatıl | Yeniden örme | Payanda | Demir gergi

Harç ve Enjeksiyon: Kirecin Mikroskobik Bütünleştiriciliği

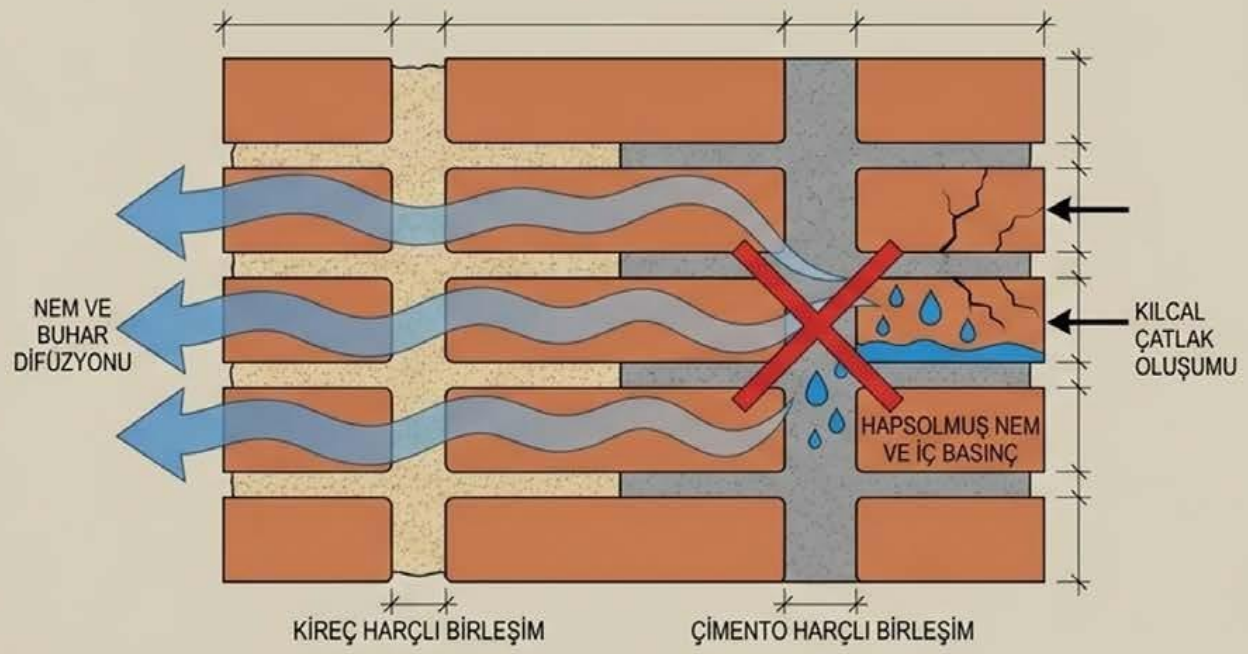


DERZ YENİLEME NUMUNESİ



DÜŞÜK BASINÇLI ENJEKSİYON NUMUNESİ

Nefes Alabilirlik Metaforu



Derz Yenileme (Repointing)
Bozulmuş harcın değiştirilmesi. Düşük elastisite modülü ile yapıya uyumlu deformasyon sağlar.

Düşük Basınçlı Enjeksiyon
İç boşlukların doldurularak çekirdek bütünlüğünün sağlanması. Mikro çatlakları onarır, tuz kusmasını engeller.

03.2

Ahşap hatıl ve kuşaklar

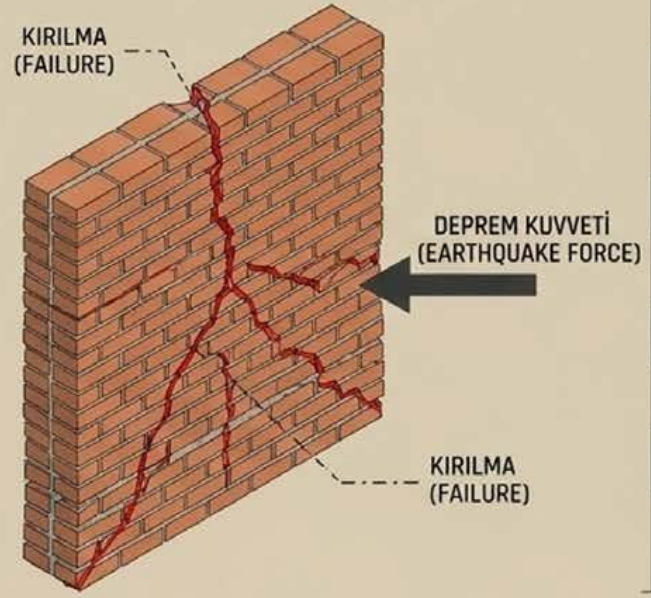
İşlev: gevrek yapıya süneklik ve enerji sönümü

Mezo / makro ölçek · çekme ve kesme · özgünlük yüksek

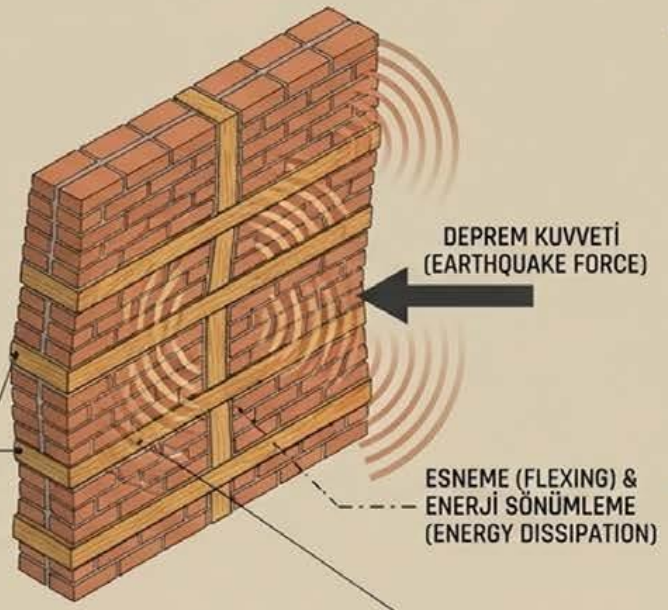
Kireç harcı | **Ahşap hatıl** | Yeniden örme | Payanda | Demir gergi

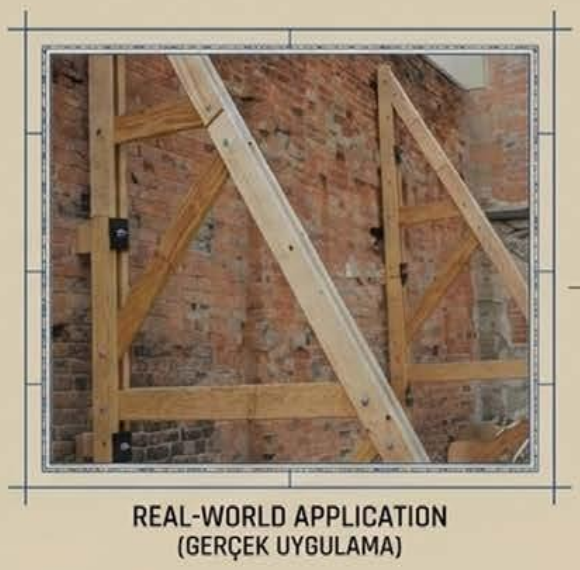
Ahşap Elemanlar: Gevrek Yapıya Süneklik Kazandırmak

GEVREK DAVRANIŞ
(BRITTLE BEHAVIOR)



SÜNEK DAVRANIŞ
(DUCTILE BEHAVIOR)





REAL-WORLD APPLICATION
(GERÇEK UYGULAMA)

Hatıl ve Kuşaklar
Duvar seviyelerinde yatay bağlayıcılık.

Döşeme Diyaframları
Yüklerin duvarlar arasında eşit dağıtılması.

Mekanik Katkı
Sadece taşıyıcı değil, deprem enerjisini yutan bir amortisör işlevi görür.

Ahşap hatıl ve kuşaklar





03.3

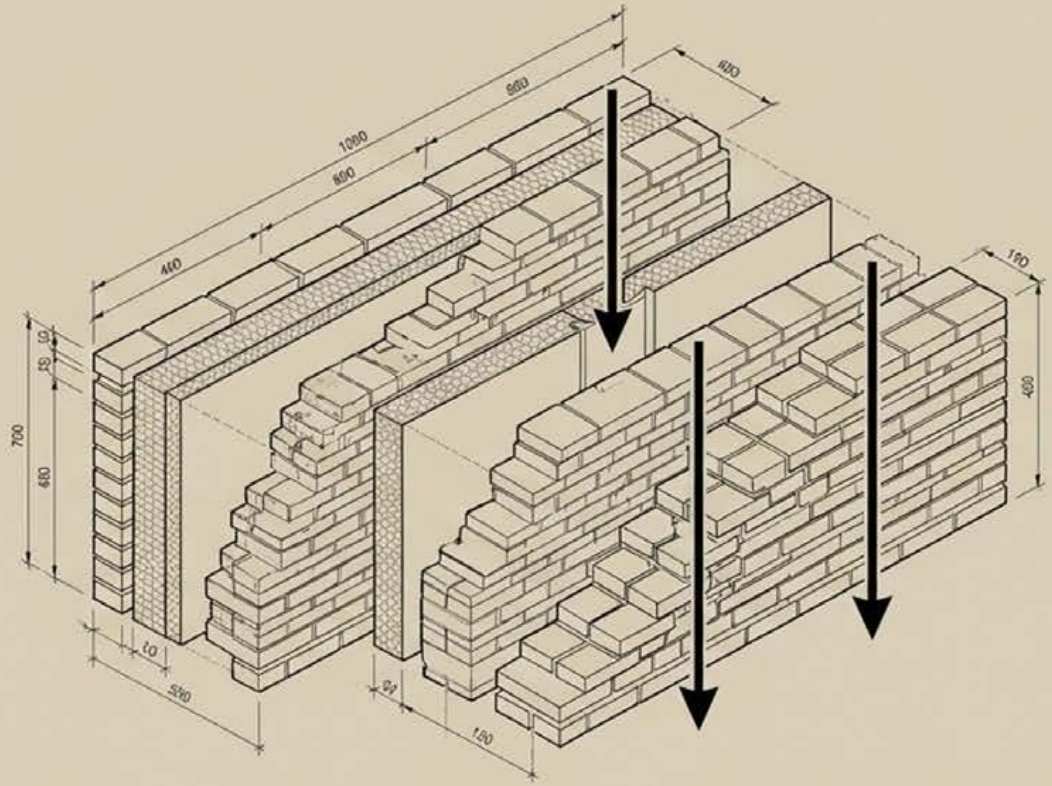
Yeniden örme ve anastylosis

İşlev: yapısal sürekliliğin onarımı

Mezo ölçek · basınç · anastylosis ile yüksek özgünlük

Kireç harcı | Ahşap hatıl | **Yeniden örme** | Payanda | Demir gergi

Yeniden Örme ve Anastylosis: Yük Sürekliliğinin İnşası





REAL-WORLD APPLICATION
Yeniden Örme ve Buttress Wall
Project Code: 0020

1 Kısmi Söküm ve Örme

Ağır hasarlı bölgelerin yapısal sürekliliği kesintiye uğratmadan, lokal olarak onarılması.

2 Anastylosis

Düşen veya sökülen orijinal parçaların, tam olarak eski yerlerine yerleştirilerek malzemenin kendi tarihinin korunması.

3 Fiziksel Sonuç

Kaybolan basınç dayanımının %100'e yakın oranda geri kazanılması.



1910



Günümüz

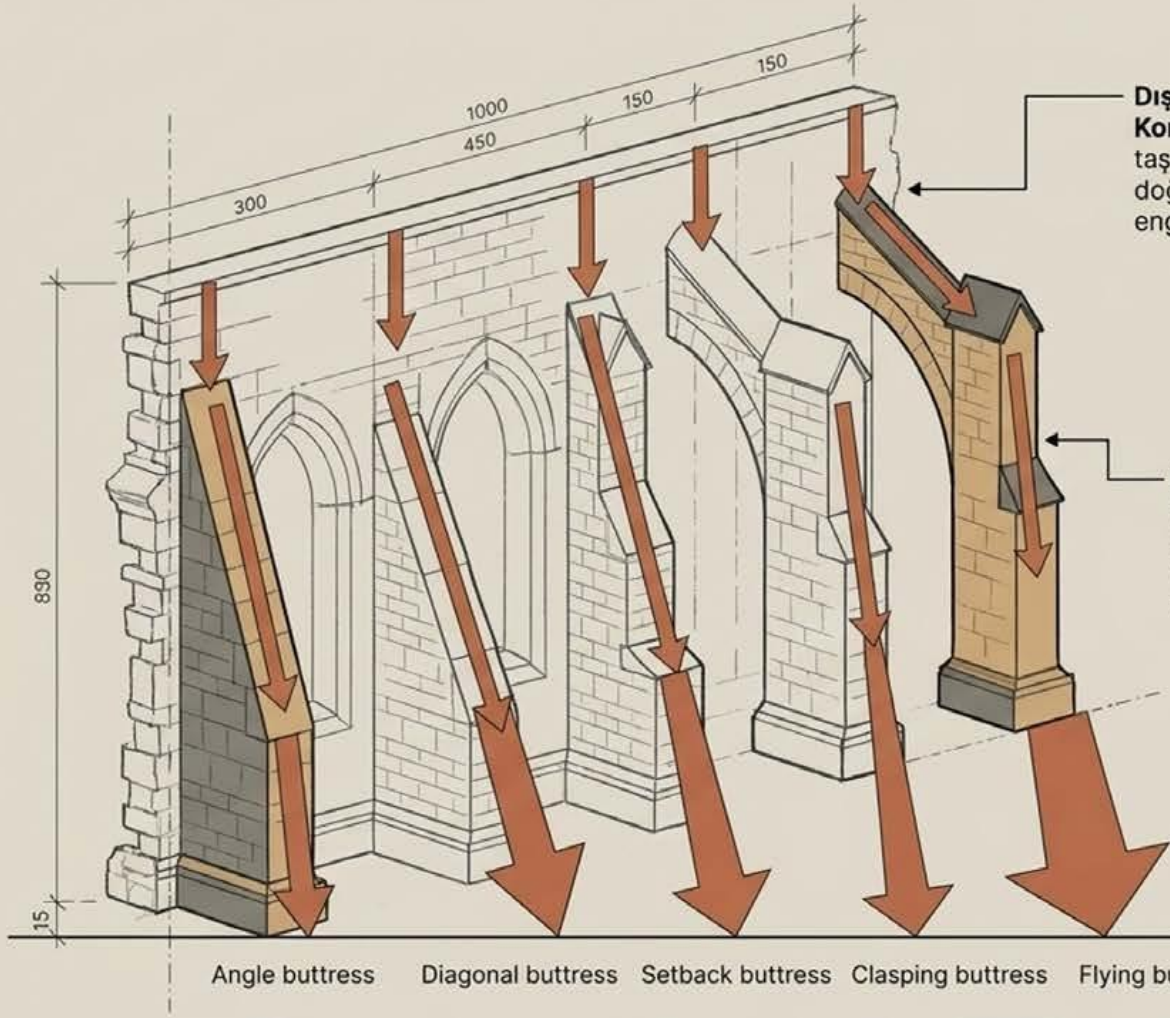
03.4

Payandalar

İşlev: yatay itkiyi zemine aktaran dışsal destek

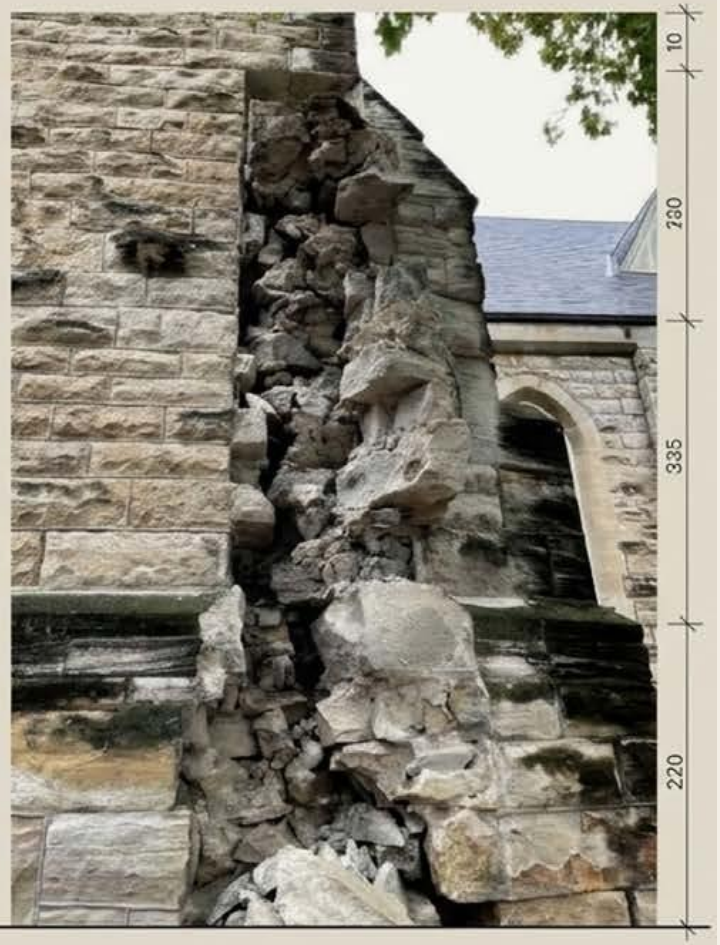
Makro ölçek · devirici moment · yapının silüeti değişir

Payandalar: Devirici Momentlere Karşı Dışsal Destek



Dışa Doğru Devrilme Kontrolü: Zayıflayan taşıyıcı duvarların dışarı doğru patlamasını engeller.

İtki Yönlendirmesi: Kemer ve tonozların oluşturduğu yatay ve diyagonal itkileri toprağa aktarır.




555.yıl



03.5

Demir gergiler

İşlev: karşılıklı duvarları kilitleyen çekme elemanı

Makro ölçek · kemer ve tonoz itkisi · özgünlük orta / yüksek

Demir Gergiler: Kemer ve Tonoz İtkilerinin Nötralizasyonu

Fonksiyon
Karşılıklı duvarları bağlayarak açılma mekanizmalarını kilitler.

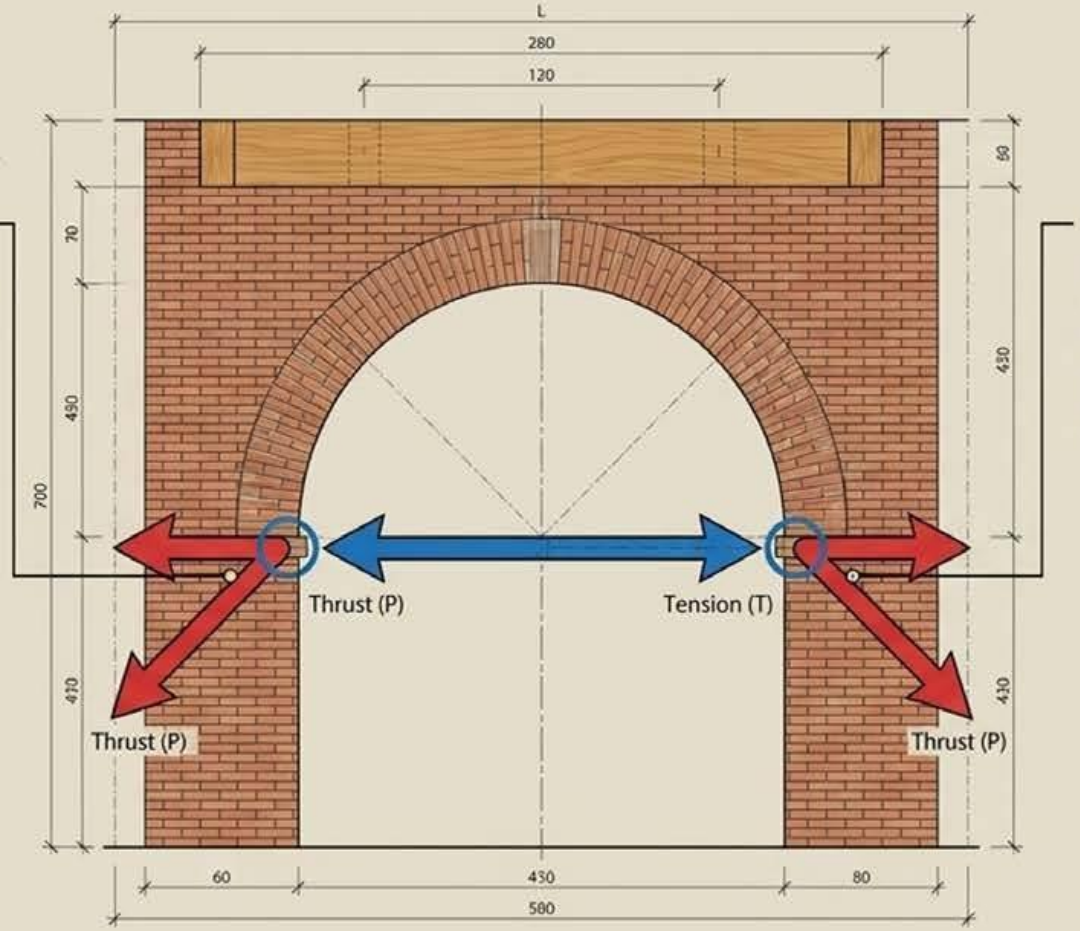


Fig. 1.0 Archway Equilibrium

Nötralizasyon
Kemer itmelerini dengeler, yığma içindeki yıkıcı çekme gerilmelerini devralır.



Fig. 1.1 Tie-Rod Detail







04

Modern teknikler

Kompozit çubuk, kumaş, mesh ve plakalar; paslanmaz çelik rod, plaka ve ankrajlar.
Güçlü olan her zaman doğru olan değildir.

04.1

Kompozitler

Kapsam: kompozit çubuklar, FRP kumaşlar, TRM / FRCM, pultrüzyon plakalar

Dört temel müdahale biçimi; seçim yapısal analize göre yapılır

Yapısal Analizlere Göre Seçilebilecek Dört Temel Kompozit Müdahale Yöntemi



Kompozit Çubuklar (Lokal Bağlantı & Bütünlük)



Kompozit Kumaşlar (FRP - Yüksek Kesme Dayanımı)



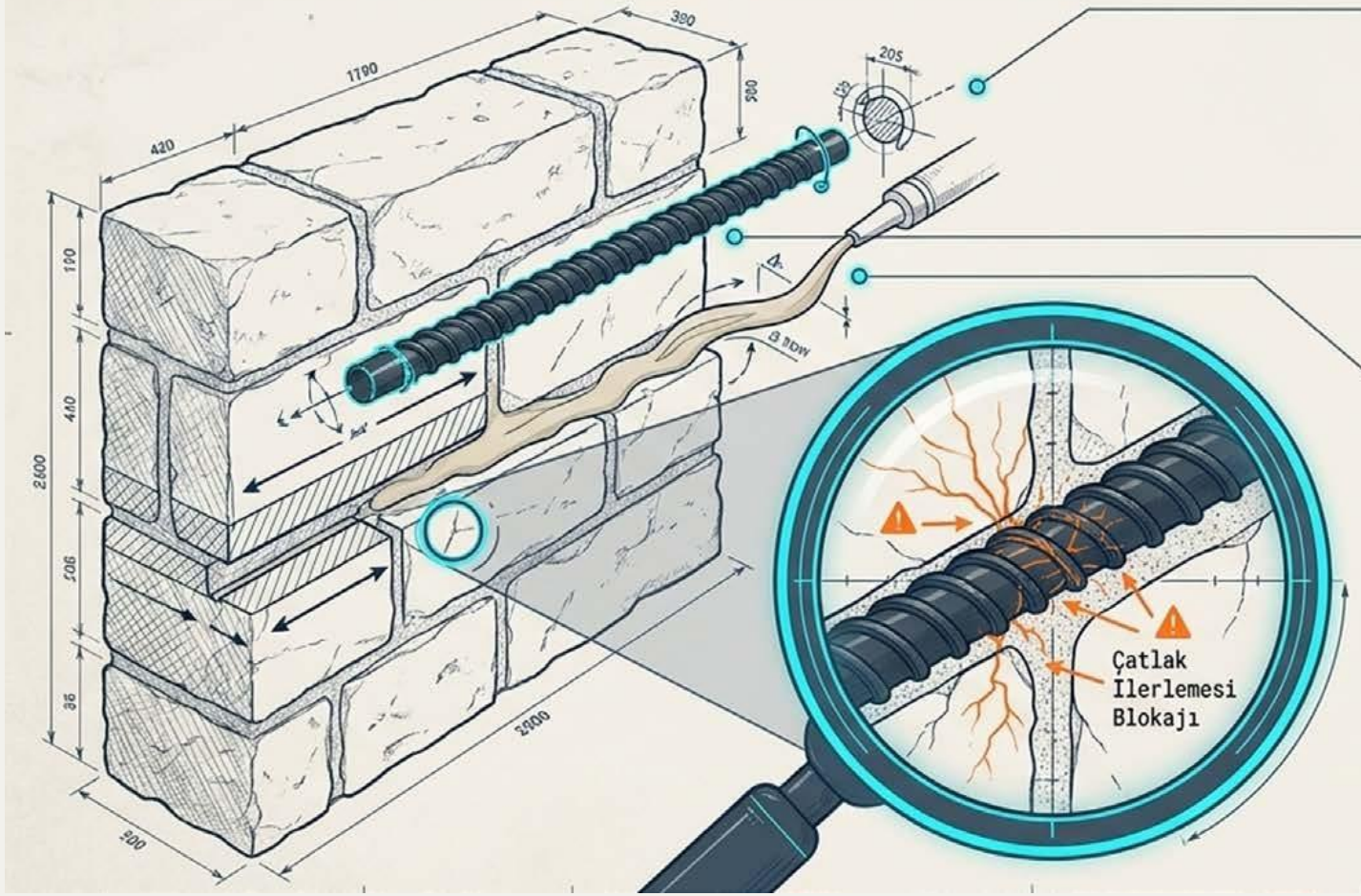
Kompozit Meshler (TRM - Nefes Alabilen Ağ)



Kompozit Plakalar (Rijit Eğilme Desteği)

Kompozit Çubuklar Çatlak İlerlemesini Sınırlandırarak Duvarı Bütünleştirir

CFRP (Karbon) → GFRP (Cam) → BFRP (Bazalt) →



1. Kanal Açma:
Derz aralarında veya yüzeyde yatak hazırlanır.

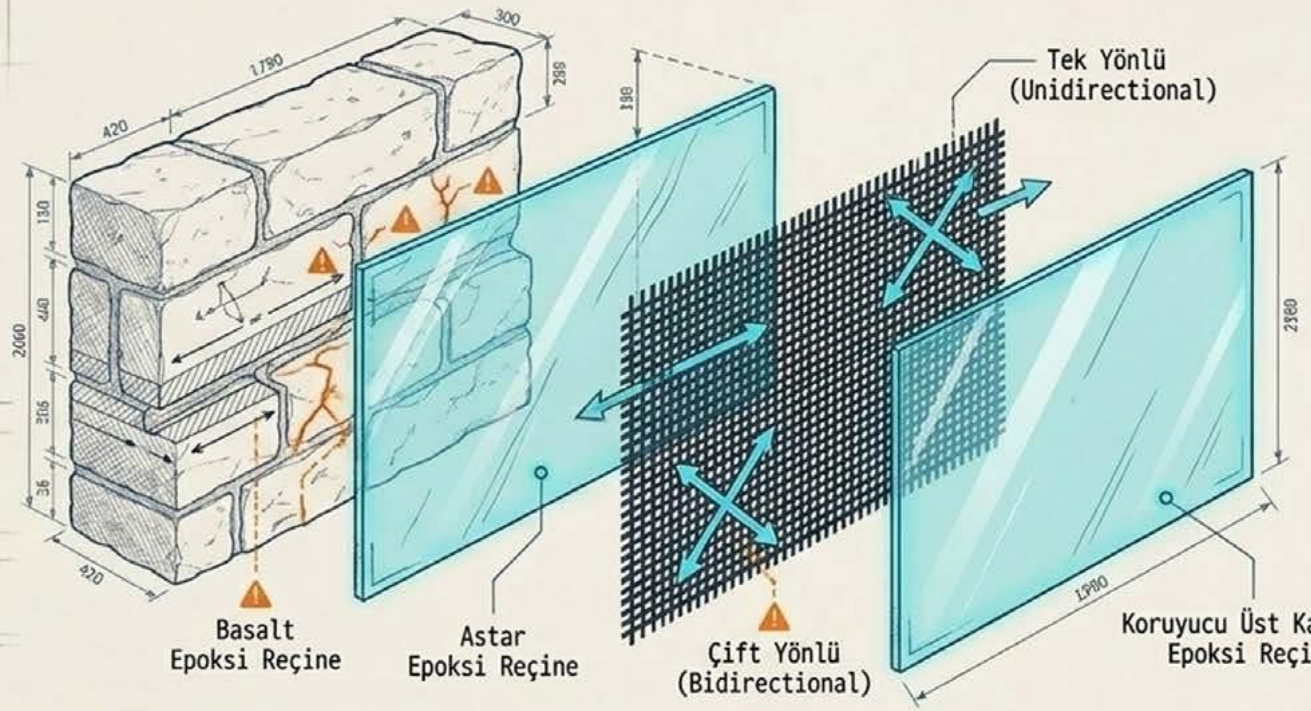
2. Çubuk Yerleşimi:
Yüksek çekme dayanımlı donatı entegre edilir.

3. Ankraj:
Epoksi veya hidrolik kireç esaslı harç ile kilitlenir.

Mekanik Etki (Crack Arrest):
Düzlem dışı stabiliteyi artırır ve çatlakların büyümesini mekanik olarak bloke eder.

Kompozit Kumaşlar Kesme Dayanımını ve Enerji Yutma Kapasitesini Dramatik Şekilde Artırır

FRP (Fiber Reinforced Polymer) Sistem Mimarisi



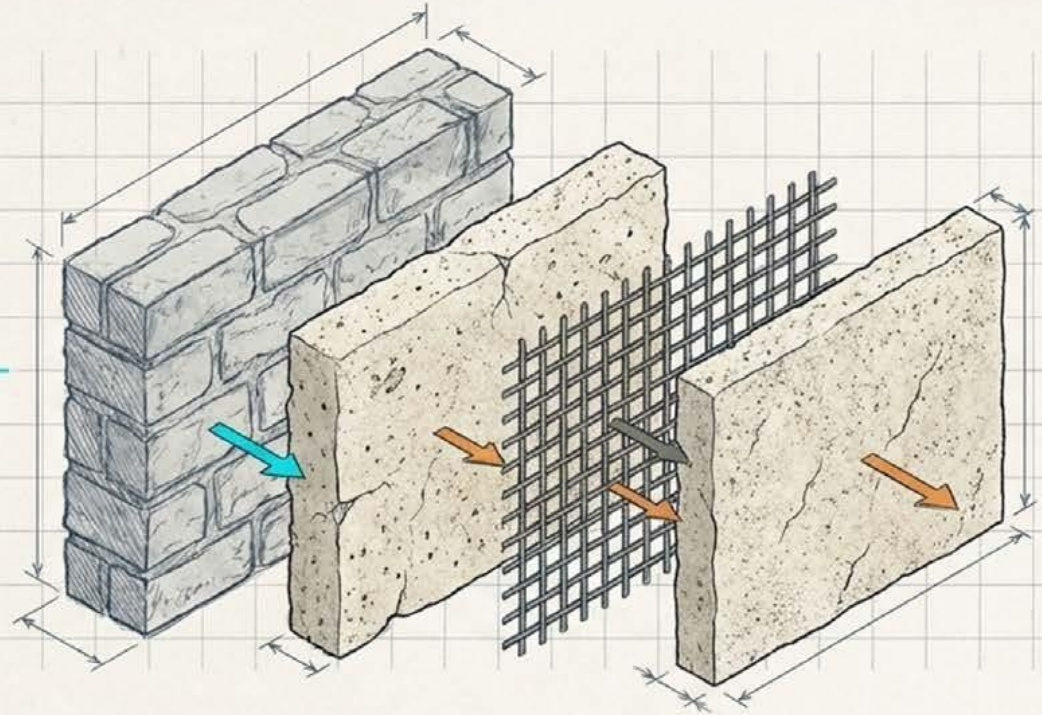
Mechanical Output Data Block

- Düzlem içi rijitlikte maksimizasyon.
- Deprem anında gevrek kırılmayı geciktirerek kontrollü hasar mekanizması yaratır.

Yüzey Hazırlığı → Epoksi Reçine → Kompozit Kumaş (Karbon/Cam/Aramid) → İkinci Kat Reçine

Kompozit Meshler Lifli Ağ ve Kireç Harcı ile Düzlem Dışı Dayanımı Homojenleştirir

TRM (Textile Reinforced Mortar) / FRCM Sistem Mimarisi



Core Mechanism Metrics

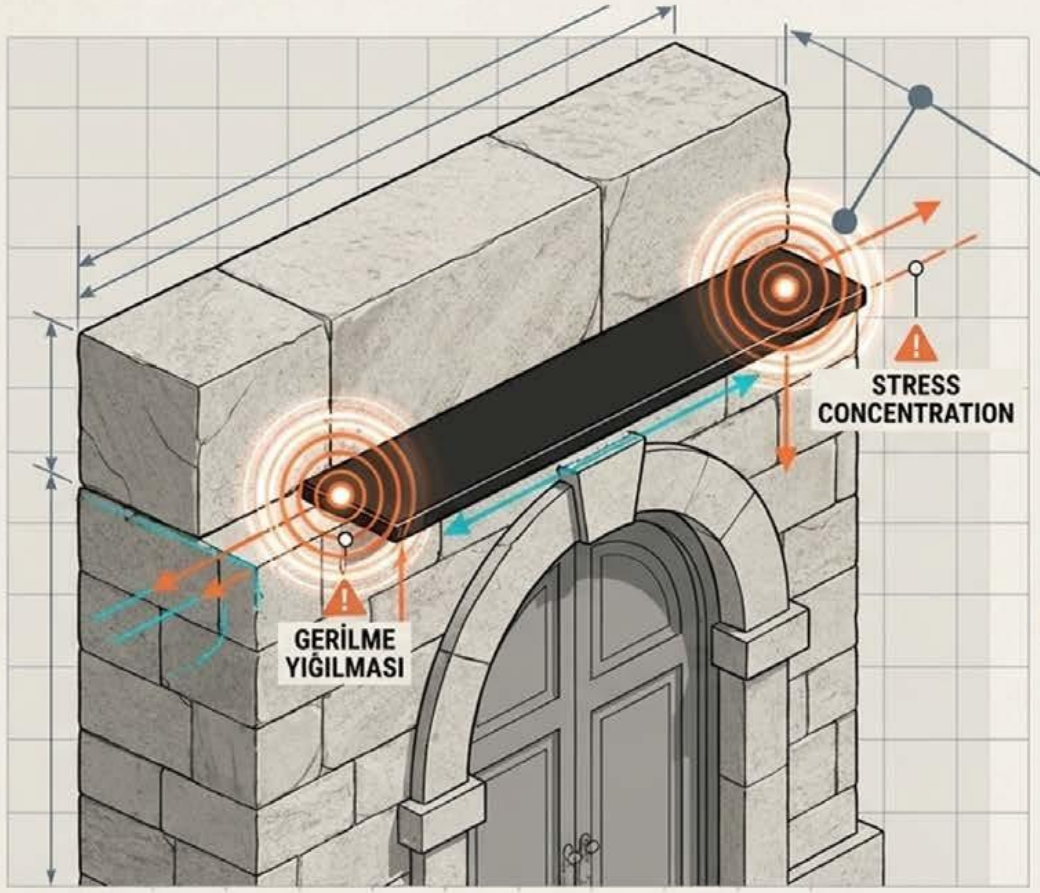
Düzlem dışı (out-of-plane) stabilitede radikal artış.

Tüm yüzeyde bütünleşik davranış ve homojen çatlak dağılımı.

Material Callout

Geleneksel çimento yerine 'Hidrolik Kireç Harcı' ve 'Bazalt Mesh' kombinasyonu, tarihi uyumluluğun temelidir.

Pultrüzyon Yöntemiyle Üretilen Rijit Kompozit Plakalar Sadece Spesifik Eğilme Elemanlarında Kullanılır



Kullanım Alanı (Hedef Alan)

Lento, kiriş ve benzeri yatay elemanlarda lokal eğilme dayanımını maksimize etmek için epoksi ile yapıştırılarak veya mekanik ankrajla uygulanır.

Diagnostic Warnings

Gerilme Yığılması: Aşırı rijitlik farkı, bağlantı noktalarında masonry duvarı parçalayabilir.

Estetik & Difüzyon: Rijit FRP profiller görsel uyumsuzluk yaratır ve alt yüzeyde nefes almayı engeller.

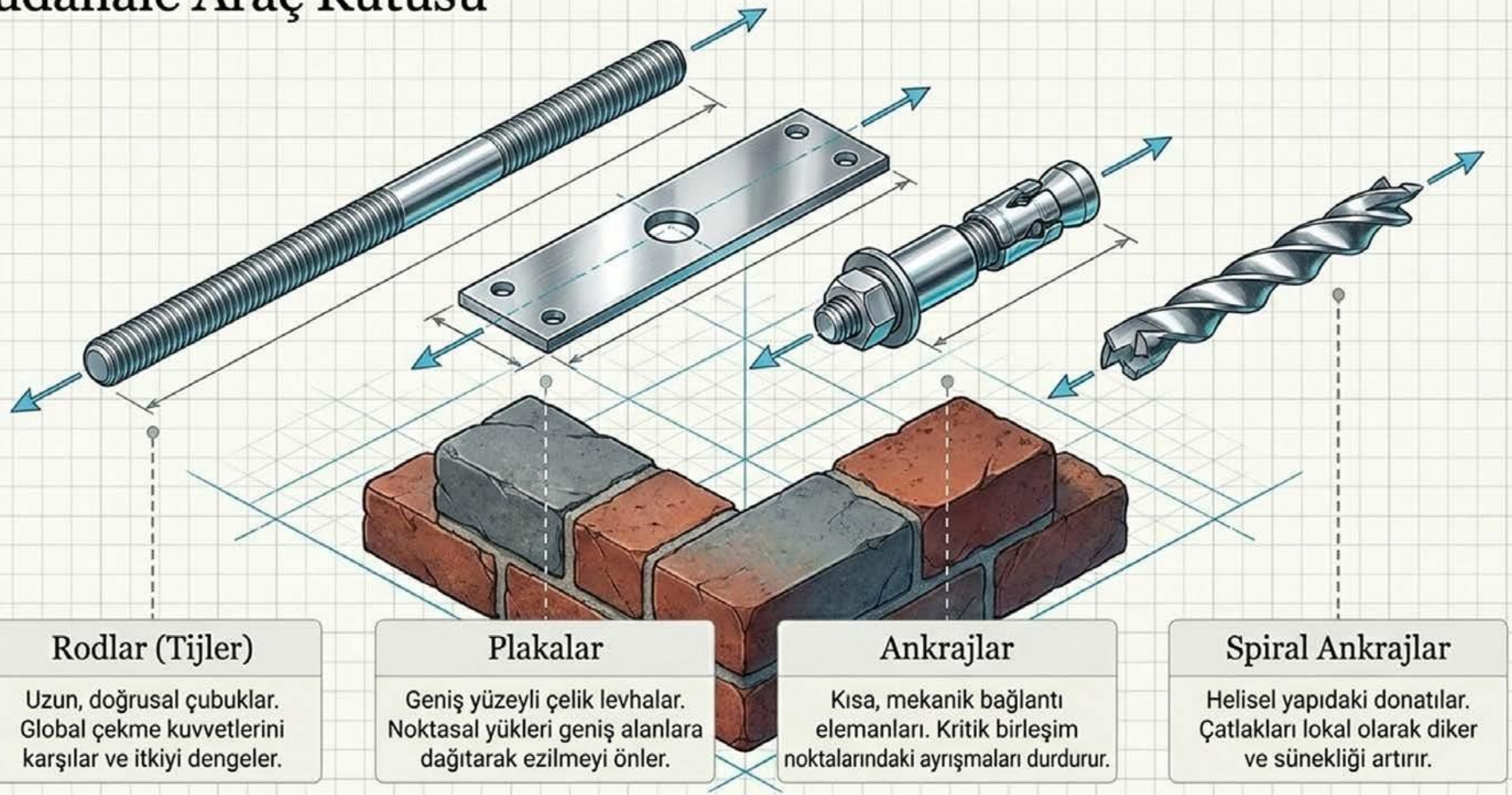
04.2

Paslanmaz çelik

Kapsam: rodlar, kubbe gergi halkası, sütun sargılama, spiral ankrajlar

Global çerçeveden yerel dikişe uzanan müdahale araç kutusu

Müdahale Araç Kutusu



Rodlar (Tijler)

Uzun, doğrusal çubuklar. Global çekme kuvvetlerini karşılar ve itkiyi dengeler.

Plakalar

Geniş yüzeyli çelik levhalar. Noktasal yükleri geniş alanlara dağıtarak ezilmeyi önler.

Ankrajlar

Kısa, mekanik bağlantı elemanları. Kritik birleşim noktalarındaki ayrışmaları durdurur.

Spiral Ankrajlar

Helisel yapıdaki donatılar. Çatlakları lokal olarak diker ve sünekliği artırır.

1. Rodlar (Tijler): Global Çerçeveyi Kurmak

Diyafram Etkisi

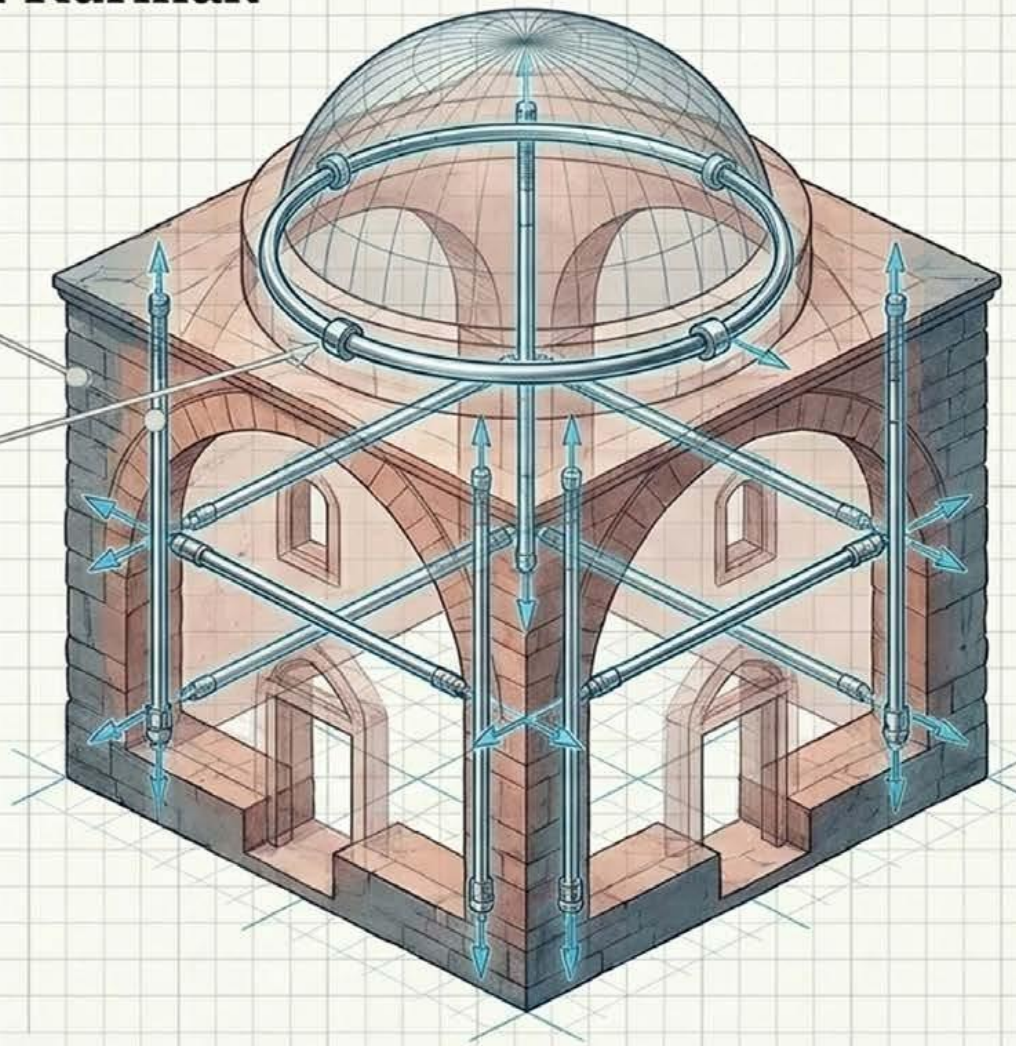
Duvarlar arasında çapraz veya doğrusal bağlar kurarak yapının bir bütün olarak (diyafram etkisiyle) hareket etmesini sağlar. Düzlem dışı devrilmeleri engeller.

İtki Dengeleme

Tonoz, kemer ve kubbelerin tabanında oluşan dışa doğru açılma kuvvetlerini (itki) çemberleme (tie-rod) sistemleriyle kendi içine hapseder.

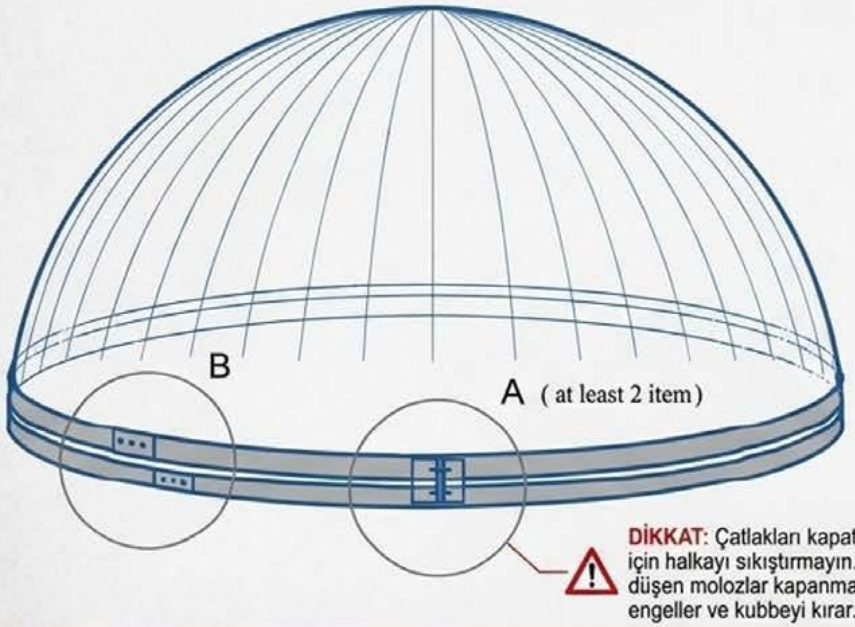
Teknik Detay

Duvar içine açılan kanallara yerleştirilir. Epoksi esaslı reçineler veya tarihi dokuya daha uyumlu olan hidrolik kireç esaslı enjeksiyon harçları ile ankrajlanır.



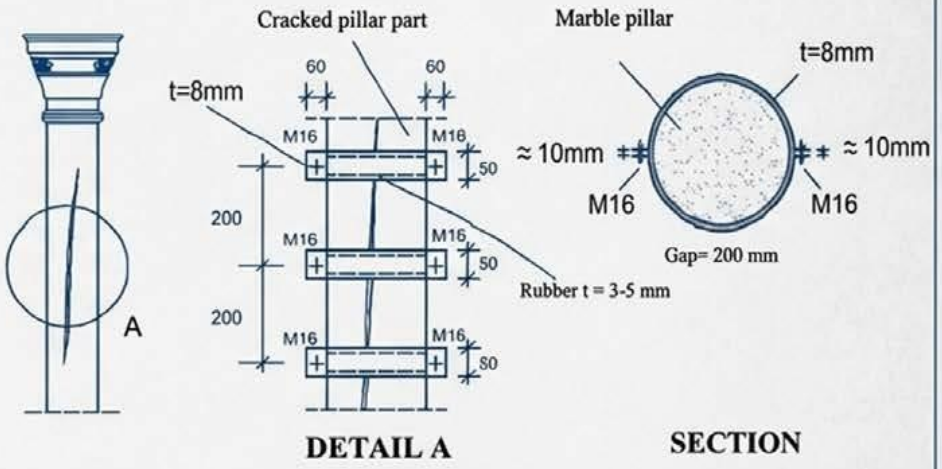
Kubbe ve Sütunların Stabilizasyonu

Kubbe Gergi Halkası (Tensional Ring)



Radyal çekme gerilmelerini karşılamak için kubbe eteğine paslanmaz çelik veya FRP halka yerleştirilir.

Sütun Sargılama (Confining)



Hasarlı veya çatlamış mermer sütunlar, arasına kauçuk yastıklar (3-5mm) yerleştirilmiş dairesel metal takviye halkaları ile sarılarak onarılır.

4. Spiral Ankrajlar: Çatlakları Dikmek (*Stitching Effect*)

Helisel Geometri

Kendine has sarmal (spiral) yapısı sayesinde harç ile arasında muazzam bir aderans (tutunma) yaratır. Çatlak boyunca gerilme transferinin sürekliliğini sağlar.

Süneklik Artışı

Derz aralarına veya açılan kanallara hidrolik kireç esaslı harç ile yatay veya çapraz yerleştirilir. Sistemin lokal sünekliğini ve enerji yutma kapasitesini artırır.

Görünmez Müdahale

Sadece ince derz hatlarına uygulandığı için sıva gerektirmeyen çıplak taş veya tuğla cephelerde bile estetiği bozmadan tamamen gizlenebilir.



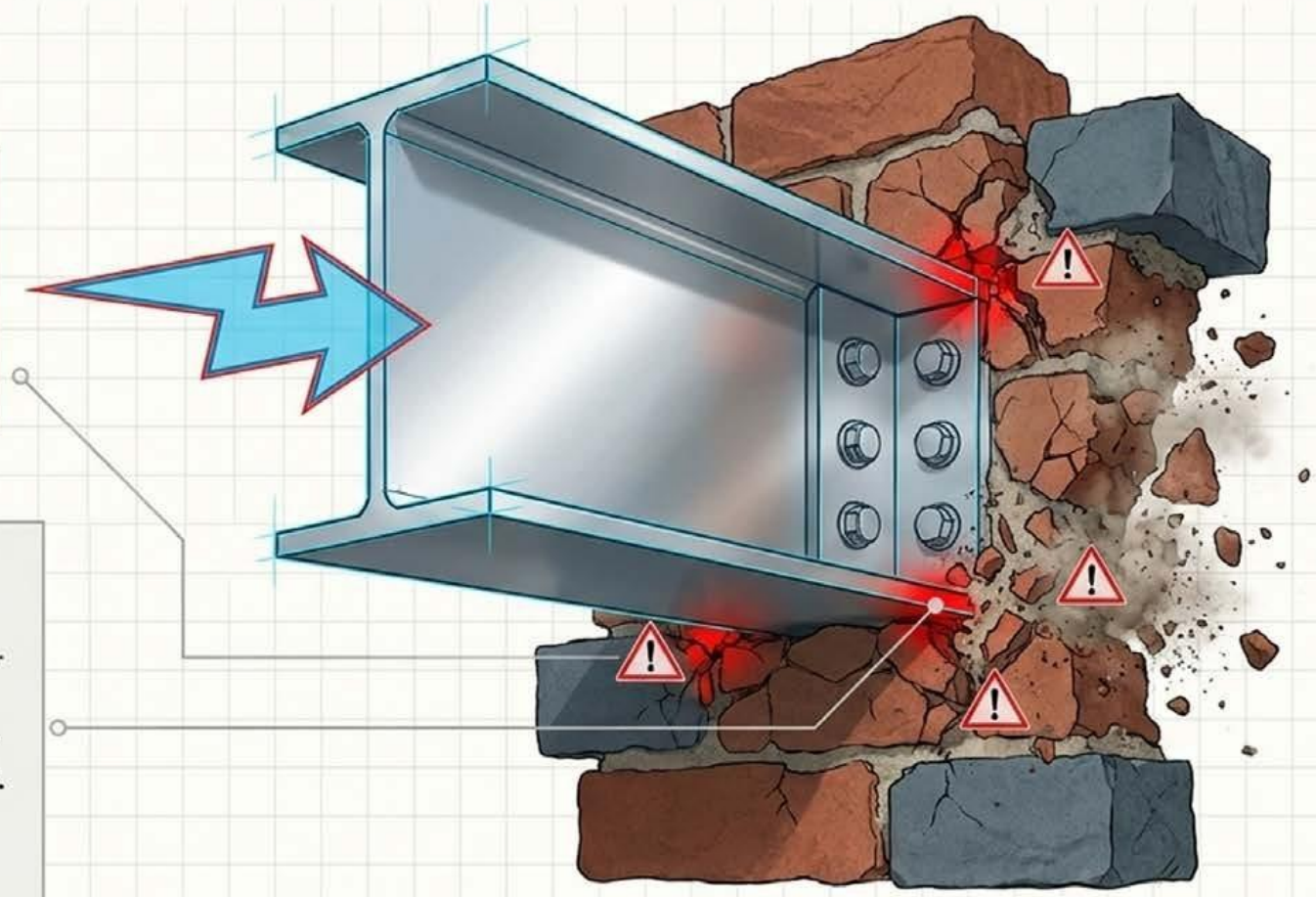
Paslanmaz çelik sistemlerin karşılaştırması

	Rodlar	Plakalar	Ankrajlar	Spiral ankrajlar
Etki ölçeği	Global taşıyıcı	Lokal yük dağıtıcı	Lokal bağlantı	Lokal süreklilik
Temel işlev	Diyafram etkisi, itki dengeleme	Gerilme yığılmasını önleme	Ayrışma ve devrilmeyi engelleme	Çatlak dikme, enerji yutma
Uygulama yeri	Duvar içi, kubbe/tonoz çevresi	Duvar yüzeyi, lento kenarı	Duvar–döşeme, cephe birleşimi	Harç derzleri, çatlak hatları
Kritik sınır	Yanlış yerleşim lokal hasar yaratır	Görsel etkisi yüksek (sıva altı gerekir)	Hassas delgi planlaması şart	Büyük açıklıkta tek başına yetersiz

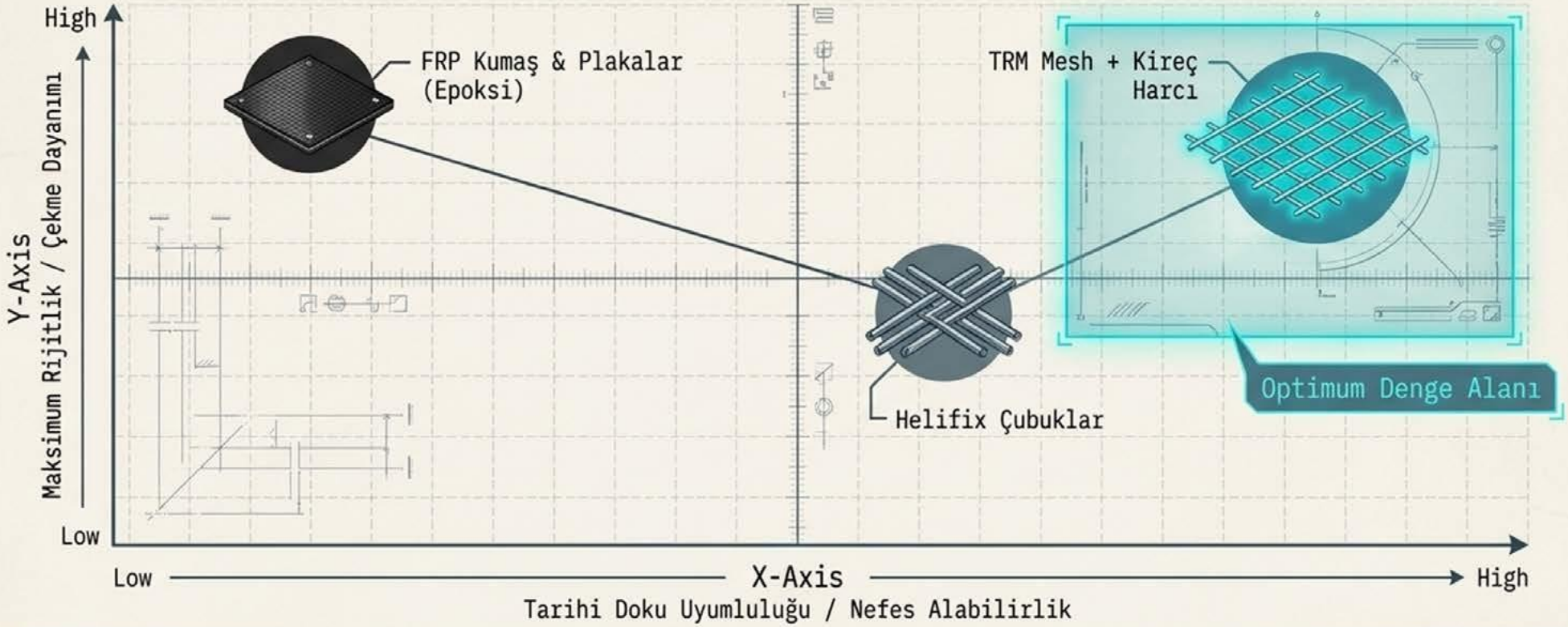
Kritik Risk: Rijitlik Uyumsuzluğu

Çelik çok güçlüdür, ancak bu her zaman bir avantaj değildir.

Uygulama öncesinde detaylı bir yapısal analiz ve malzeme uyum testi şarttır. Çeliğin yüksek rijitliği ile yığma malzemenin esnekliği arasındaki uyumsuzluk, deprem anında çeliğin tarihi dokuyu yırtmasına (gerilme yığılması) neden olabilir. Güçlendirme, yapıyı boğmamalı, onunla birlikte hareket etmelidir.



Güçlendirme Seçiminde Koruma ve Dayanım Arasındaki Hassas Denge



Key Takeaway: Tarihi yığma yapılarda salt maksimum rijitlik arayışı yapıya zarar verir. Gerçek mühendislik başarısı, yapının özgün mekaniği ile uyumlu, hasar dağıtıcı ve nefes alabilen sistemleri (TRM) seçmektir.

Geleneksel ve modern: yan yana

Ölçüt	Geleneksel müdahale	Modern müdahale
Eklenen ağırlık	Yüksek (ör. betonarme manto, yeniden örme)	Çok düşük (ör. karbon FRP, halat)
Geri döndürülebilirlik	Düşük, çoğunlukla kalıcı	Yüksek; epoksili sistemlerde sınırlı
Çekme dayanımı artışı	Orta (çelik gergilerle sınırlı)	Çok yüksek (kompozitler)
Uygulama hızı	Yavaş, kapsamlı inşaat işi	Hızlı, yüzey veya derz uygulaması
Malzeme uyumu	Yüksek (kireç, taş, ahşap)	Detaya bağlı: TRM yüksek, FRP düşük

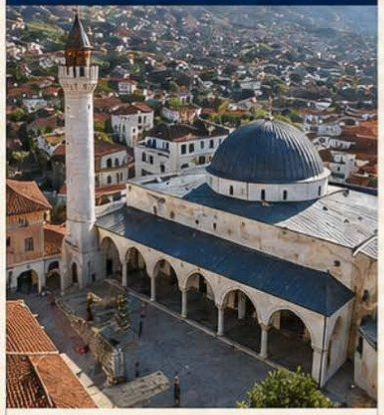
05

Sahadan beş proje

Habib-i Neccar Camii · Malatya Yeni Camii · Antalya Saat Kulesi · İşhan Kilisesi · Ankara Kalesi

ÖRNEK ANALİZLER VE GÜÇLENDİRME UYGULAMALARI

HABİBİ NECCAR CAMİİ
Hatay / ANTAKYA



ANALİZ ÖZETİ
- 2023 depremleri sonrası kubbenin tamamen yıkılması.
- Yapının ağır hasar alması.

GÜÇLENDİRME UYGULAMALARI
- Yığma kubbe yerine ahşap kubbe yapılması
- Yapının hafifletilmesi
- Helifix ile güçlendirme
- FRP kompozitlerle güçlendirme

MALATYA YENİ CAMİİ
Malatya / MALATYA



ANALİZ ÖZETİ
- 2023 depremleri sonrası kubbenin tamamen yıkılması.
- Yapının ağır hasar alması.

GÜÇLENDİRME UYGULAMALARI
- Yığma kubbe yerine çelik kubbe yapılması
- Taşarme sistemi ile duvarların güçlendirilmesi
- Zemin güçlendirme

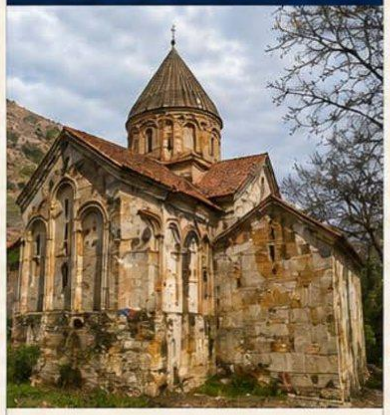
ANTALYA SAAT KULESİ
Antalya / KALEİÇİ



ANALİZ ÖZETİ
- Yapısal derin çatlaklar.
- Çatlak sistemlerinde ilerleme.
- Raylı sistemlerden etkilenme.

GÜÇLENDİRME UYGULAMALARI
- Kompozit halatlarla güçlendirme
- Enjeksiyon yapılması
- Çelik ve ahşap güçlendirme sistemleri

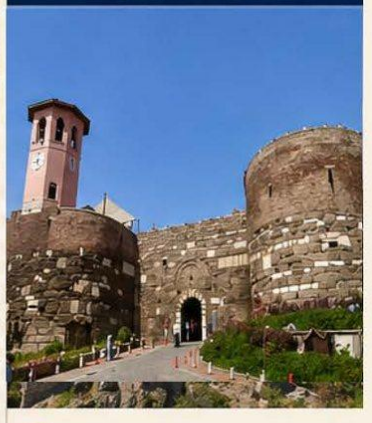
ARTVİN İŞHAN KİLİSESİ
Artvin / İŞHAN (İshkhani)



ANALİZ ÖZETİ
- Yapı tonozlarının tamamen yıkılması.
- Beden duvarlarında ciddi hasarlar.

GÜÇLENDİRME UYGULAMALARI
- Paslanmaz çelik gergi sistemleri kullanılarak üst yapının yeniden inşa edilmesi
- Enjeksiyon uygulamaları
- Çatlakların dikilmesi

ANKARA KALESİ
Ankara / ALTINDAĞ



ANALİZ ÖZETİ
- Burçlarda ciddi çatlaklar.
- Yapısal stabilizasyon sorunu.
- Komşu yapılarla olan olumsuz etkileşim.

GÜÇLENDİRME UYGULAMALARI
- Helifix uygulamaları ile dikiş yapılması
- Derz aralarının helifixler ile sargılanması
- Enjeksiyon uygulamaları

YAPISAL ANALİZ
Taşıyıcı sistemin davranışının analiz edilmesi

HASAR TESPİTİ
Hasar mekanizmalarının belirlenmesi

MÜDAHALE STRATEJİSİ
Uygun müdahale yöntemlerinin belirlenmesi

GÜÇLENDİRME TASARIMI
Uygulama projelerinin hazırlanması

KÜLTÜREL MİRAS KORUMA
Tarihi dokunun korunarak gelecek nesillere aktarılması

05.1

Habib-i Neccar Camii

Sorun: kubbe tamamen yıkıldı

Çözüm: ahşap kubbe, hafifletme, Helifix ve FRP



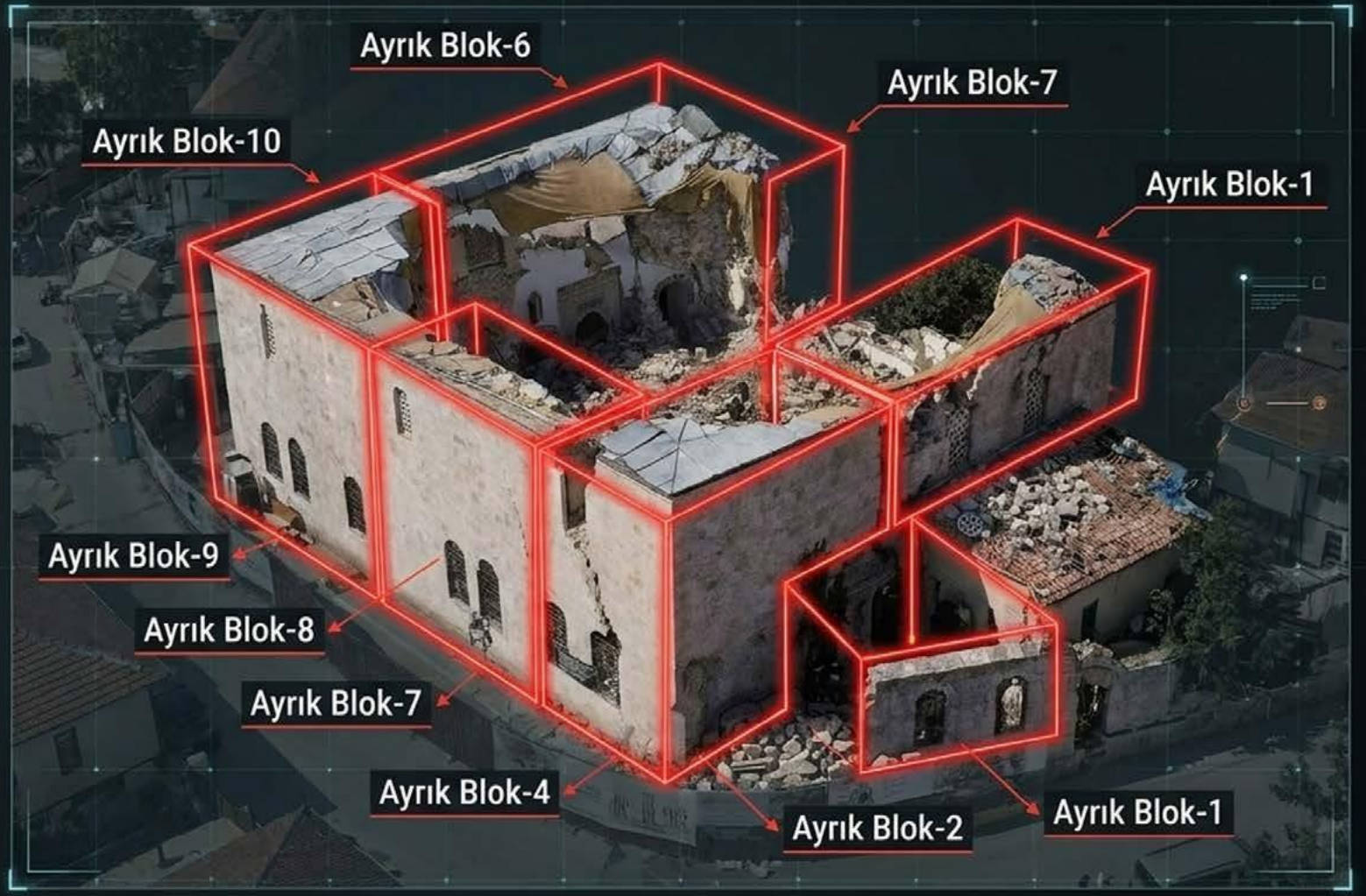
Damage Matrix

Makro Teşhis: Monolitik Yapıdan “Ayrık Bloklar” Fenomenine

Cami artık tek bir yapısal gövde (monolitik) olarak çalışmamaktadır.

Beden duvarlarında oluşan asimetrik derin kırılmalar, yapıyı birbirinden bağımsız hareket eden “Ayrık Bloklara” bölmüştür.

Bu bloklar, olası bir artçı sarsıntıda birbirine çarparak kendi kendini yıkma riski taşır.



Sinerji Stratejisi: Üç Fazlı Müdahale Protokolü

01. TEŞHİS (Diagnosis)

Yapısal Sağlık İzleme (SHM)

Dinamik rezonans frekanslarının sensörlerle tespiti ve dijital ikiz modellemesi.



data transfer

02. KONSOLİDASYON (Consolidation)

Helisel Kenetleme ve Enjeksiyon

Mevcut taş dokusunun çelik sarmal donatılarla içeriden dikilerek stabilize edilmesi.

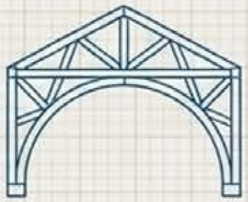


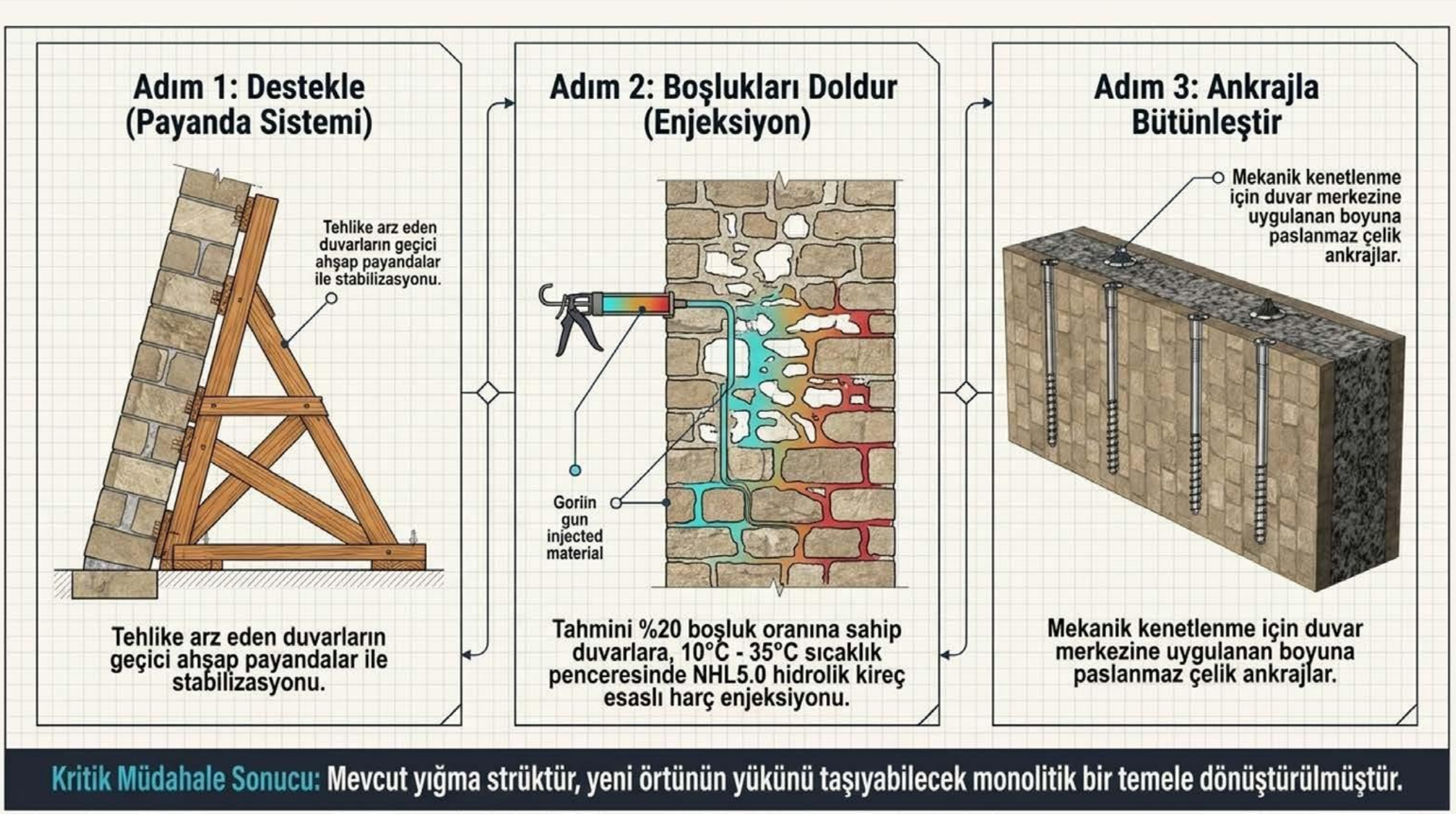
data transfer

03. REKONSTRÜKSİYON (Reconstruction)

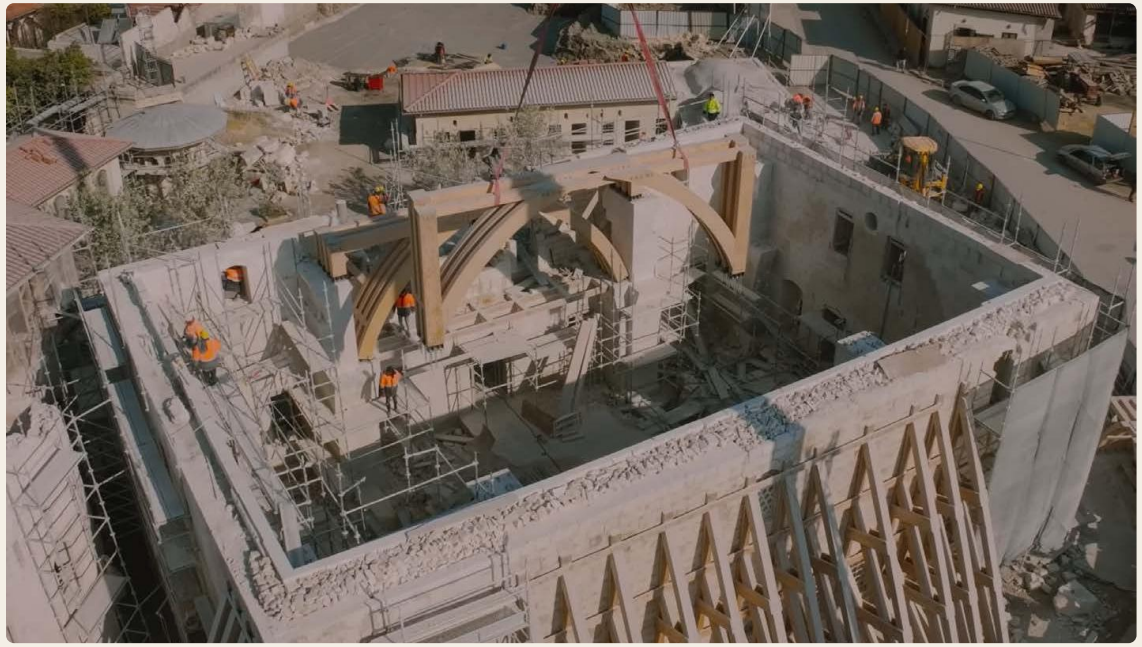
Mühendislik Ahşabı (Glulam)

Tarihi temellere ekstra sismik yük bindirmeyen, esnek ve hafif strüktür inşası.




Adım 1: Destekle (Payanda Sistemi)
Tehlike arz eden duvarların geçici ahşap payandalar ile stabilizasyonu.
Tehlike arz eden duvarların geçici ahşap payandalar ile stabilizasyonu.
Adım 2: Boşlukları Doldur (Enjeksiyon)
Goriin gun injected material
Tahmini %20 boşluk oranına sahip duvarlara, 10°C - 35°C sıcaklık penceresinde NHL5.0 hidrolik kireç esaslı harç enjeksiyonu.
Adım 3: Ankrajla Bütünleştir
Mekanik kenetlenme için duvar merkezine uygulanan boyuna paslanmaz çelik ankrajlar.
Mekanik kenetlenme için duvar merkezine uygulanan boyuna paslanmaz çelik ankrajlar.
Kritik Müdahale Sonucu: Mevcut yığma strüktür, yeni örtünün yükünü taşıyabilecek monolitik bir temele dönüştürülmüştür.

Ağır yığma kubbenin yerine hafif, esnek ve geri alınabilir bir ahşap üst örtü





Glulam kaburga kemerler ölü yükü ve kar/rüzgâr yükünü kendi geometrisi içinde toplar.

Gizli çelik plakalar ve epoksi enjeksiyonlu bulonlar düğüm noktalarını rijitleştirir.

Yük Dağılım Modeli: Ağırlığı Yönlendirmek



Kaburga Kemerler (Ribbed Arches): Çatıdan gelen ölü yükü ve rüzgar/kar yüklerini kendi geometrisi içinde toplar.

Konsantre Yük Aktarım Noktaları: Yük, zayıf duvarların her yerine rastgele dağıtılmaz. Sadece Faz 2'de özel olarak güçlendirilmiş (enjekte edilmiş) köşe bentlerine ve ana taşıyıcı sütunlara aktarılır.

Ahşabın hafifliği, yapının deprem sırasındaki eylemsizlik kuvvetini (inertia) dramatik şekilde düşürür.

05 · HABIB-I NECCAR CAMII · SONUÇ

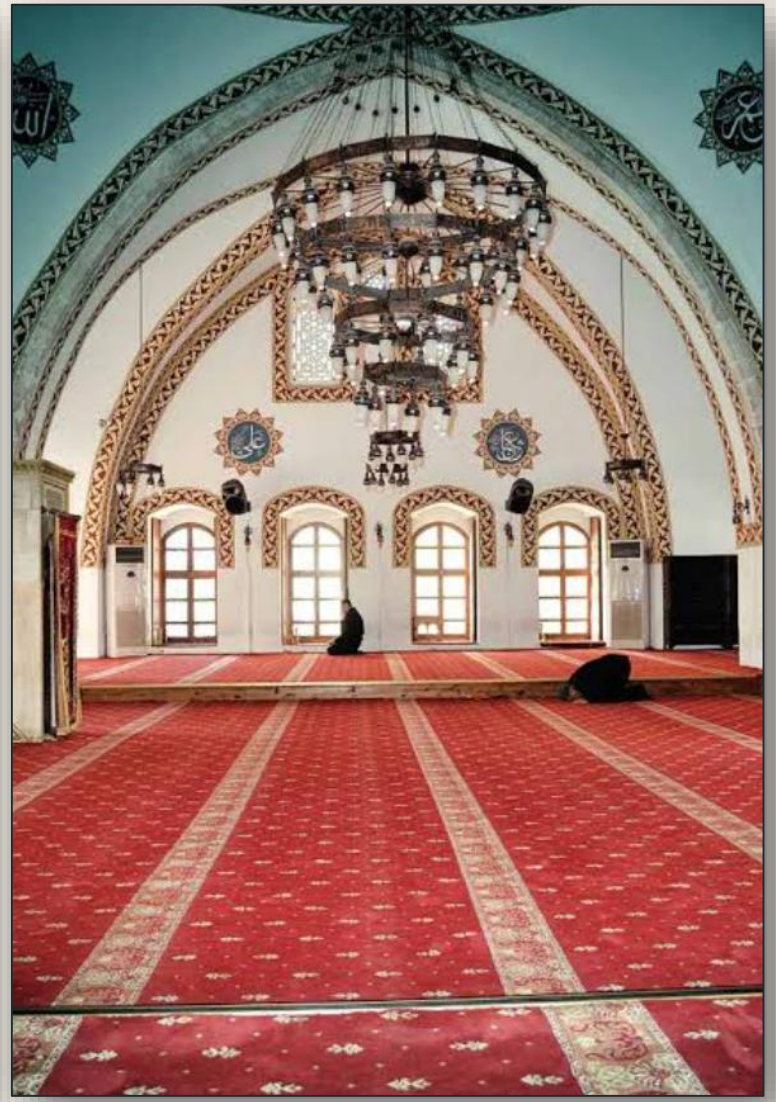
Geri dönüşlülük ilkesi

Glulam çatı ve çelik kenetler, yapının tarihi özgünlüğüne zarar vermeden, istendiği takdirde tamamen geri alınabilecek şekilde tasarlandı.

Bu proje salt bir yeniden inşa değil; geleneksel konsolidasyon ile modern hafif strüktürün birlikte çalıştığı bir müdahale.







05.2

Malatya Yeni Camii

Sorun: kubbe yıkıldı, ağır hasarlı taşıyıcı sistem

Çözüm: hibrit taşıyıcı sistem ve zemin güçlendirme

Makro Ölçekte Yıkım Haritası

1 Çöken Ana Üst Örtü (Kubbe ve Tonoz Sistemi)

2 Kısmi Olarak Ayakta Kalan Çevre Taş Duvarlar

3 Hasarlı Minare Gövdeleri ve Şerefe Kayıpları



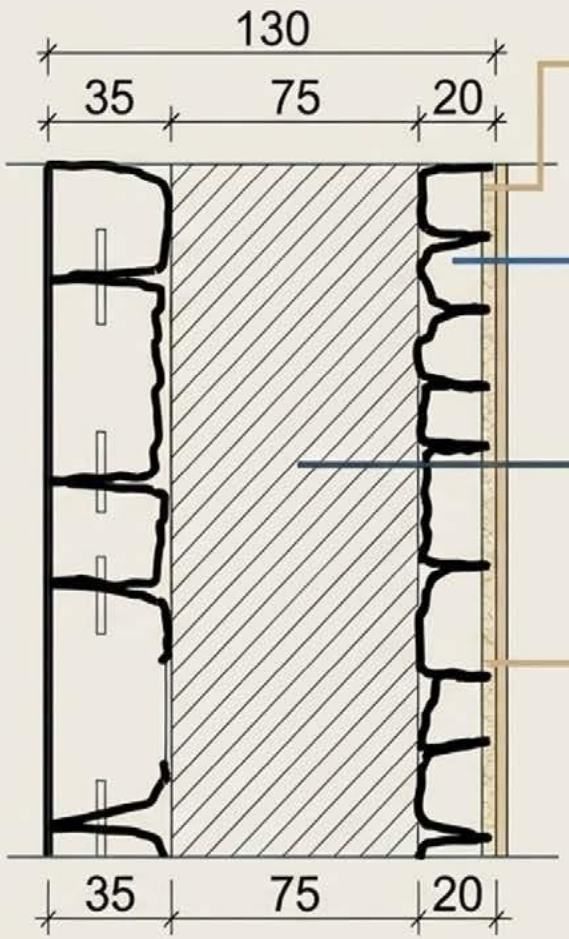
Yapının ana taşıyıcı **kabuğu büyük oranda bütünlüğünü yitirmiş**, iç mekan tamamen enkaz ile dolmuştur.

Alternatiflerin Değerlendirilmesi: Eleme Matrisi

Yöntem	Mimari Sadakat	Malzeme Uyumluluğu	Yapısal Bütünlük	Sismik Performans (DD1/R1)
Öneri 1: Mevcut Yöntemle Birebir İnşa	✓	✓	✗	✗
Öneri 2: Taş Duvar + Ahşap/Çelik Çatı	⚠	✗	✗	✗
Öneri 3: Çelik Kolonlu Destek Sistemi	✗	⚠	⚠	✗
Öneri 4: Duvar İçi Ard Germe Sistemi	✗	⚠	⚠	✗
Öneri 5: Betonarme Perde + Çelik Kemer	⚠	⚠	✗	✗
Öneri 6: Yeni Nesil Hibrit Sistem	✓	✓	✓	✓

Duvar Anatomisi: Tarih ve Çeliğin Kenetlenmesi





DIŞ CİDAR (35 cm Kesme Taş): Orijinal estetik kimlik ve dış hava koruması.

PASLANMAZ METAL KENETLER: Dış taşı, içteki betonarme öze kilitleyen esnek, korozyon dirençli bağlar.

BETONARME PERDE (75 cm): Sismik enerjiyi sönümleyen ve yapıyı ayakta tutan ana rijit çekirdek.

İÇ CİDAR (20 cm Moloz/Kaba Yonu Taş): İç mekan estetiği ve sıva tabanı.

Toplam 130 cm kalınlığındaki bu kompozit sistem, dışarıdan 100% yığma taş gibi görünürken, içeride modern bir sığınak gibi davranır.



05.3

Antalya Saat Kulesi

Sorun: derin çatlaklar ve raylı sistem titreşimi

Çözüm: kompozit halat ve enjeksiyon

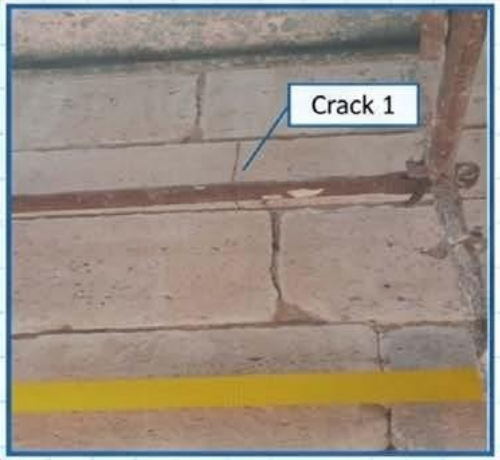




Hasar ve İlk Gözlemler: Kritik Tehdit

6 Şubat 2023 depremleri, kulede derin yapısal çatlaklara neden oldu. Hızlı bozulmayı izlemek için 8 kritik çatlak belirlendi.











Kritik Nokta: Çatlak 7 (Crack 7)

Genişleme: Bir ay içinde 15 mm'den 30 mm'ye ulaşan açılma.

Sonuç: Yapısal bütünlükte hızlı bozulma tespiti ve acil müdahale gereksinimi.

Aşama 1: Acil Müdahale ve Dinamik Veri Toplama

Panel A: Geçici Fiziksel Müdahale



Araç: 16 ton taşıma kapasiteli ağır hizmet tipi cırcırlı kayışlar.

Amaç: Duvar ayrışmasını durduran "acil durum turnikesi".

Panel B: Dinamik Ölçüm



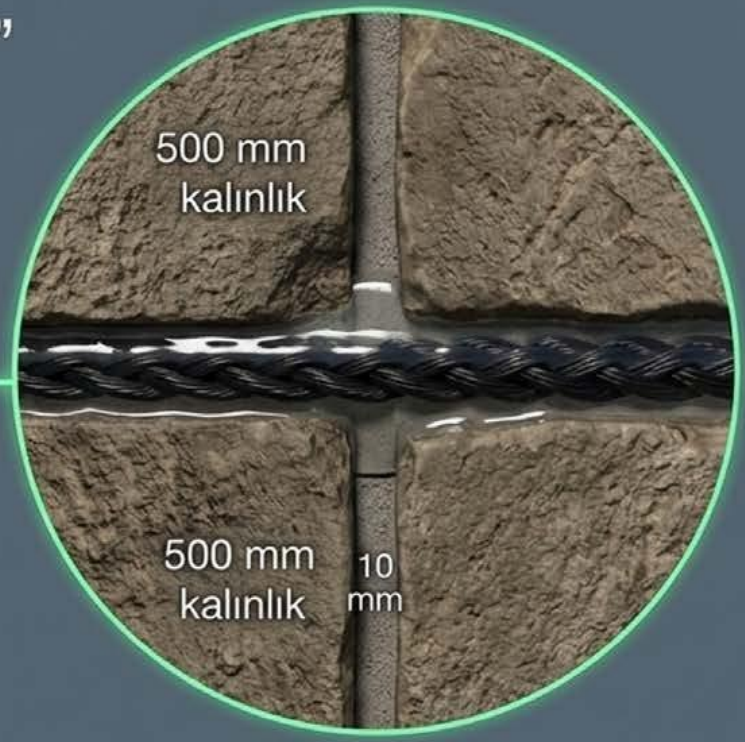
Araç: 3 eksenli yüksek hassasiyetli ivmeölçerler.

Veri: Tramvay hatları ve rüzgar kaynaklı 75 dakikalık çevresel titreşim (ambient vibration) kaydı.

Amaç: Yapının doğal kalp atışını (frekanslarını) belirlemek.

Cerrahi Uygulama: “Görünmez Zırh”





Parametrik Optimizasyon: SEM analizleri sonucunda, halat sayısı ve çapı yapısal aşırı yüklenmeyi engelleyecek şekilde optimize edildi.

Ölçek ve Aralık: Sadece 6 mm çapındaki karbon fiber kompozit halatlar kullanıldı.

Yerleşim: Her bir taş birimi (500 mm kalınlık) baz alınarak, yapının tüm çevresi boyunca 500 mm dikey aralıklarla yatay sargı tasarlandı.

Uygulama: Halatlar epoksi reçineye batırılarak tarihi dokunun 10 mm'lik derz boşluklarına yerleştirildi ve enjeksiyon harcı ile sabitlendi. Dışarıdan görünmeyen, ancak yapıyı mengene gibi tutan bir zırh oluşturuldu.



05.4

İşhan Kilisesi

Sorun: tonoz yıkılmaları ve beden duvarı hasarı

Çözüm: paslanmaz çelik gergi, enjeksiyon, çatlak dikişi





Müdahale 1: Gergili Güçlendirme Sistemi

Mühendislik Çözümü 1

Tonozların beden duvarlarına yaptığı yanal itkiyi sönümlemek ve çekme gerilmelerini karşılamak amacıyla sisteme 40 mm çapında çelik gergi çubukları entegre edilmiştir.



Gergi Kasnağı 2

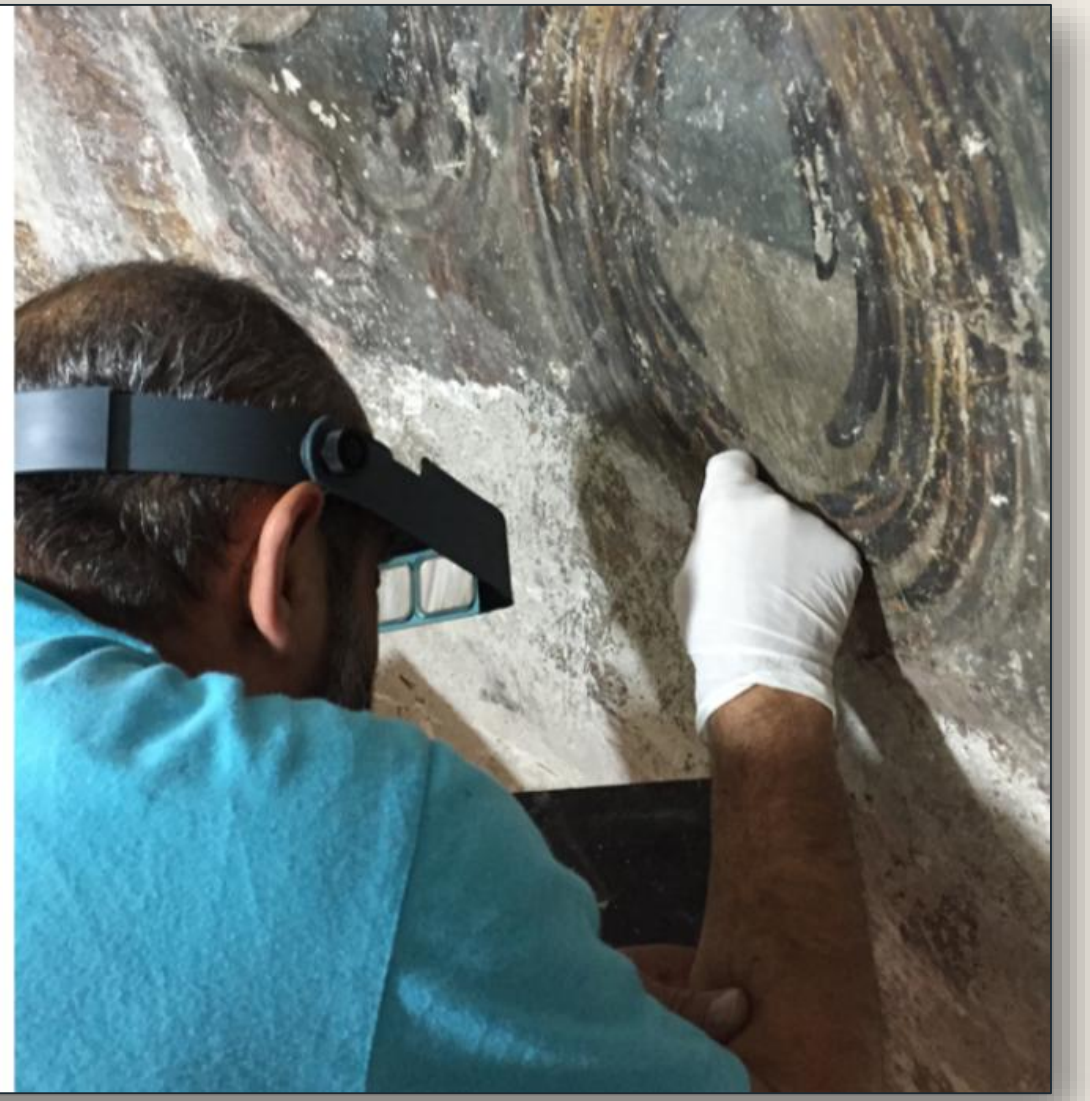
Ana kubbeyi taşıyan düzlem dışı öteleme yapmış kemerler için dıştan çelik bir gergi kasnağı konumlandırılmıştır.

Etki Mekanizması 3

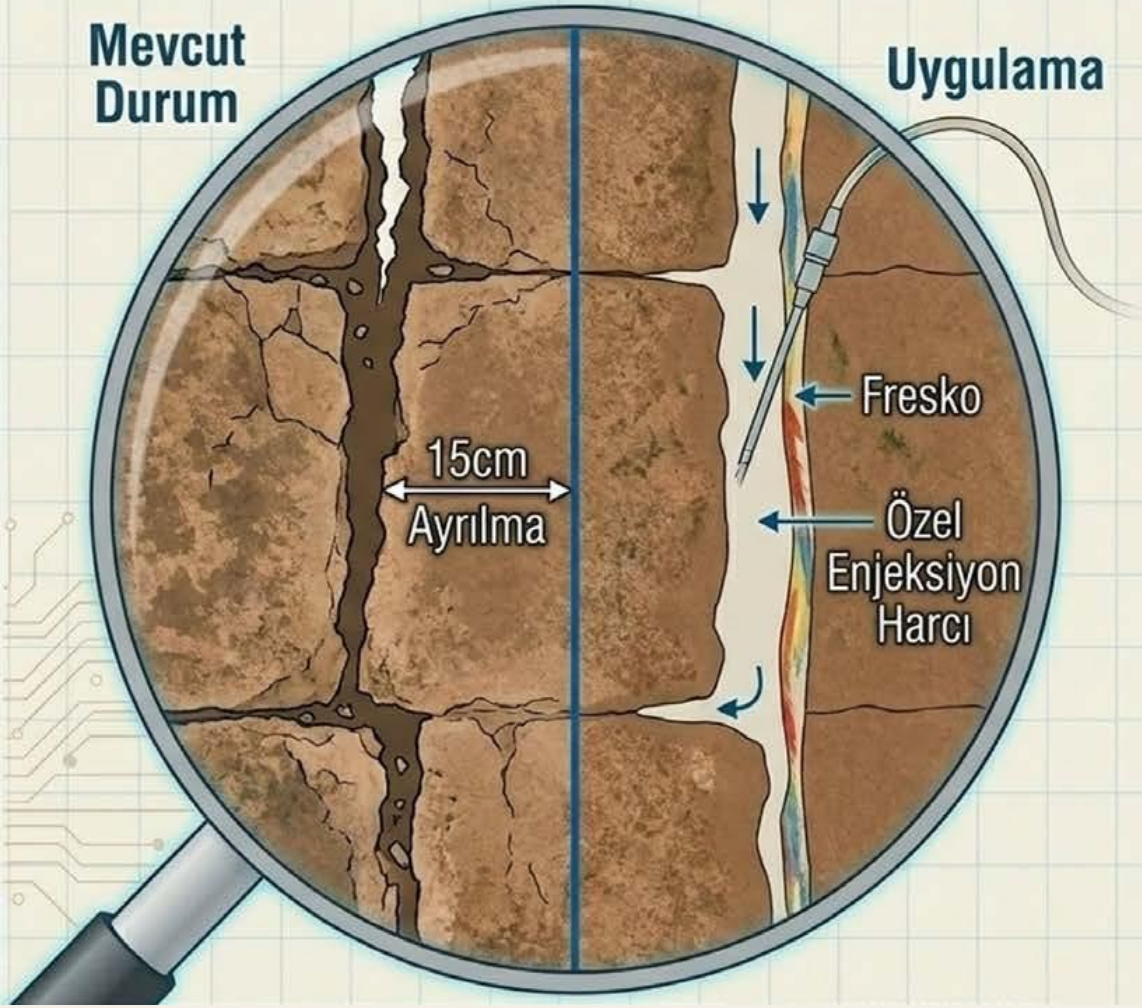
Gergiler, yığma duvarın eksik olan çekme mukavemetini devralarak strüktürü "bir arada kilitler."

Müdahale 2: Çatlakların Onarımı





Müdahale 3: Mikro-Konsolidasyon ve Çatlak Enjeksiyonu



Hedef:

Batı cephesindeki 15 cm'ye varan derin ayrılmaların ve kubbedeki mikro çatlakların yapısal bütünlüğünü sağlamak.

Uygulama:

İç yüzeylerdeki paha biçilmez fresklere kesinlikle zarar vermeden, dışarıdan düşük basınçlı, tarihi taşın 11-13 MPa dayanımına kimyasal ve fiziksel olarak uyumlu özel enjeksiyon harcı basılması.

Sonuç:

Boşlukların doldurulmasıyla iki ayrık duvar bloğunun tek bir monolitik kütle gibi davranması sağlanacaktır.



05.5

Ankara Kalesi

Sorun: burçta ciddi çatlaklar, komşu yapı etkileşimi

Çözüm: Helifix dikiş ve enjeksiyon







İlk yardım: burgulu dikiş






DİKKAT!

06 · SENTEZ

Beş projeden üç kalıcı ders

1

Minimum müdahale

Müdahale, gerekli güvenlik düzeyi için en az olan kadar tutulmalı. Önce etkeni ve yükü kaldır, sonra güçlendir.

2

Uyum dayanımdan önemlidir

Yeni malzemenin esneklik ve geçirgenlik uyumu, salt taşıma kapasitesinden daha kritiktir.

3

Tersinirlik önceliktir

Bugünkü teknik, gelecekte tarihi dokuya zarar vermeden geri alınabilmeli.



6 ŞUBAT 2023 · HABIB-I NECCAR CAMII, ANTAKYA

Asıl soru “ne kadar güçlendirelim?” değil; “en az dokunuşla neyi, nasıl kurtarabiliriz?”



SORU · CEVAP

Teşekkürler

Prof. Dr. Ferit ÇAKIR

Gebze Teknik Üniversitesi

cakirf@gtu.edu.tr, ferit.ckr@gmail.com