

## **İSTANBUL'DAKİ BETONARME YAPILARIN DEPREM GÜVENLİKLERİNİN BELİRLENMESİ, ONARIMI VE GÜÇLENDİRİLMESİ**

Erkan ÖZER  
İstanbul Teknik Üniversitesi  
İnşaat Fakültesi

### **Giriş**

Ülkemizde meydana gelen depremlerin büyüklüklerine oranla çok daha fazla hasara, can ve mal kaybına neden olmaları, bu büyük kayıpların kırsal alanlarda olduğu kadar yoğun yerleşim alanlarında ve endüstri bölgelerinde de meydana gelmiş olması dikkat çekicidir. Bu durum, deprem bölgelerinde inşa edilen yapıların önemli bir bölümünün yeterli deprem güvenliğine sahip olmadıklarını göstermektedir.

Yakın geçmişte ülkemizde meydana gelen depremlerin sonrasında yapılan yoğun incelemeler ve araştırmalar, depremde hasar gören yapıların deprem güvenliklerindeki yetersizliklerin

- a) Bilimsel esaslara ve yönetmeliklere uygun olmayan hatalı tasarımdan
- b) Malzeme ve özellikle beton kalitesindeki yetersizlikten
- c) Projeye, yönetmeliklere ve temel mühendislik prensiplerine uygun olmayan kusurlu yapımdan

kaynaklandığını göstermektedir,[1],[2],[3].

Aktif bir deprem kuşağı üzerinde bulunan ülkemizde, olası yeni depremlerde de benzeri olumsuz sonuçların meydana gelmemesi için çeşitli önlemlerin alınması kaçınılmaz olmaktadır. Bu önlemler iki grupta toplanabilir :

- a) Yeni inşa edilecek olan yapıların tasarım ve yapım aşamalarında gerekli özeni göstererek yapıların bilimsel esaslara, mühendislik prensiplerine ve yönetmeliklere uygun olarak inşa edilmelerinin sağlanması
- b) Özellikle deprem riski yüksek olan bölgelerden ve bu bölgelerdeki yoğun yerleşim alanlarından başlayarak, mevcut yapıların deprem güvenliklerinin belirlenmesi ve yeterli güvenliğe sahip olmayan yapıların güçlendirilmesi, [4],[5].

Bu bildirinin amacı, özellikle son on yıl içinde ülkemizde meydana gelen depremler sonrasında gerçekleştirilen onarım ve güçlendirme çalışmalarında kazanılan deneyimlerden yararlanmak suretiyle, deprem bölgelerindeki ve İstanbul'daki betonarme yapıların deprem güvenliklerinin belirlenmesine, onarımına ve güçlendirilmesine yönelik önerilerin sistematik bir şekilde sunulmasıdır.

Bildiri dört bölümden oluşmaktadır :

- a) Mevcut betonarme yapılar üzerinde gerçekleştirilen incelemeler ve hasar tespit çalışmaları

- b) Betonarme yapıların onarım ve güçlendirilmesinde uygulanan temel ilkeler
- c) Onarım ve güçlendirme projelerinin hazırlanması ve uygulama örnekleri
- d) İstanbul ve Marmara Bölgesindeki yapılara uygulanacak değerlendirme, onarım ve güçlendirme işlemlerine yönelik olarak, yakın geçmişte meydana gelen depremlerden alınan dersler ve kazanılan deneyimler ışığında oluşan bazı düşünceler.

## **Mevcut Betonarme Yapılar Üzerindeki İncelemeler ve Hasar Tespit Çalışmaları**

İnceleme ve hasar tespit çalışmalarının amacı, incelenen yapının mevcut durumunun saptanması ve elde edilen bulgulara dayanarak, yapıya ilişkin önerilerin belirlenmesidir. İncelemelerin ilk aşamasını inşaat alanının geoteknik ve jeofizik etüdü oluşturmaktadır, (Şekil 1). Bu kapsamda, dinamik sonda deneyleri ve açılan muayene çukurlarından alınan örnekler üzerinde yapılan laboratuvar deneyleri sonuçlarından yararlanarak, temel zemininin profili ve geoteknik özellikleri belirlenir. Ayrıca, bölgenin jeofizik etüdlere ait sonuçlar da gözönünde tutularak, bölgenin depremselliğine ve zeminin dinamik özelliklerine ilişkin veriler elde edilir.

Malzeme deneyleri özellikle yapıda kullanılan betonun karakteristik dayanımını belirlemek amacı ile yapılır. Malzeme deneyleri, yapıdan alınan yeterli sayıdaki beton karot üzerinde yapılan basınç deneyleri ile ultrases ve Schmidt çekici deneylerini içerir. Bu deney sonuçlarının kendi aralarında korelasyonu sağlandıktan sonra, sonuçlar değerlendirilir ve söz konusu bina için % 90 güvenilirlikli beton basınç dayanımı belirlenir. Benzer şekilde, donatı çeliğinden alınan örnekler üzerinde çekme deneyleri yapılarak çelik akma gerilmesi elde edilir.

Malzeme deneylerinin yanında, mevcut yapının taşıyıcı sisteminin gerek geometrik özellikleri ve donatı miktarı bakımından, gerekse sistem özellikleri açısından incelenmesi ve böylece ilerideki aşamalarda gerçekleştirilecek olan sistem analizleri için gerçek verilerin toplanması gerekmektedir, (Şekil 2).

Mevcut yapı üzerindeki incelemeler, binanın projelerinin elde olup olmamasına bağlı olarak iki şekilde yürütülebilir. Yapının taşıyıcı sistemine ait kalıp ve detay projelerinin mevcut olması halinde, rölöve mevcut yapının projeye uygunluğunun belirlenmesi amacıyla yapılır. Projelerin mevcut olmaması halinde ise, ayrıntılı bir rölöve ile mevcut taşıyıcı sistemin tanımlanmasına çalışılır.

Taşıyıcı sistem rölövesinde sistemin geometrik ölçüleri, taşıyıcı elemanların konumları ve enkesit boyutları saptanır. Ayrıca, gerek tahribatsız yöntem ile gerekse beton paspayı kaldırılarak projede öngörülen donatının mevcut yapıdaki gerçekleşme oranı veya doğrudan doğruya elemanlardaki donatı miktarı belirlenir.

Geometrik ölçümlerin yanında, taşıyıcı sistemin niteliklerinin de incelenmesi gerekir. Bu bağlamda, taşıyıcı sistemdeki çeşitli düzensizlikler, komşu binalar ile etkileşim (binalar arasındaki derz genişlikleri, olası bir depremde binaların çarpışma ihtimali), dolaylı mesnetlenmeler, kısa kolonlar, kirişkolon birleşimlerinin özellikleri ve varsa çeşitli yapısal kusurlar belirlenir.

Taşıyıcı sistemin yanında, taşıyıcı olmayan duvarların nitelikleri, miktarı ve plan-daki konumları belirlenir ve bu özellikler mevcut sistemin analizinde veya değerlendirilmesinde hesaba katılmaya çalışılır.

- **İnşaat alanına ait geoteknik raporların hazırlanması**

- muayene çukurları
- laboratuvar deneyleri
- dinamik sonda deneyleri



- zemin profili
- temel zemininin geoteknik özellikleri
  - birim hacim ağırlığı
  - zemin emniyet gerilmesi
  - yatak katsayısı
- bölgenin ve zeminin dinamik özellikleri
  - etkin yer ivmesi katsayısı ( $A_0$ )
  - spektrum karakteristik periyotları ( $T_A$  ,  $T_B$ )

- **Malzeme deneyleri**

- beton deneyleri
  - karot (~3 adet / bina)
  - ultrases deneyi (~10 adet / bina)
  - Schmidt çekici (~10 adet / bina)



korelasyon



değerlendirme



- % 90 güvenilirlikli beton basınç dayanımı

- donatı çeliği deneyleri

- çelik çekme deneyi



- donatı çeliğinin akma gerilmesi

*Şekil 1. İnşaat alanına ait geoteknik raporların hazırlanması ve malzeme deneyleri*

- **Mevcut yapı üzerindeki incelemeler**

- **Taşıyıcı sistem rölövesi**

- sistem geometrisi
  - taşıyıcı elemanların konumları
  - enkesit boyutları
- } projeye uygunluk

- **Donatı ölçümleri**

- tahribatsız yöntem
  - beton paspayı kaldırılarak donatı miktarının belirlenmesi
- ⇓
- donatı gerçekleşme oranı

- **Taşıyıcı sistemin incelenmesi**

- düzensizlikler
- komşu binalar ile etkileşim
- dolaylı mesnetlenmeler
- kısa kolonlar
- birleşimler
- yapısal kusurlar vb.

- **Taşıyıcı olmayan yapı elemanlarının incelenmesi**

- dolgu duvarlarının nitelikleri, miktarı, plandaki konumları vb.

Şekil 2. Mevcut yapı üzerindeki incelemeler

Depremde hasar gören binalarda hasar tespiti yapılarak taşıyıcı sistemin ve taşıyıcı olmayan elemanların hasar durumlarının belirlenmesi ve elde edilen sonuca göre işlem yapılması gerekir. Bu amaçla, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan 'Mühendislik Hizmeti Görmüş Yapılar İçin Hasar Tespit Formu' nun kullanılması uygun olmaktadır, [6]. Bu form ile , yapıdaki deprem hasarına bağlı olarak Toplam Hasar Puanı (THP) hesaplanır ve yapının durumu buna göre değerlendirilir.

Deprem ve/veya çevre koşulları nedeniyle hasar gören yapılarda hasar rölövesinin çıkarılması ve elde edilen verilere dayanarak onarım projelerinin hazırlanması gerekmektedir. Hasar rölövesinin çıkarılmasında özellikle incelenmesi gereken başlıca hasar türleri Şekil 3 te sıralanmıştır.

Yapı üzerinde gerçekleştirilen inceleme ve hasar tespit çalışmalarının ön sonuçlarına dayanarak, yapıdaki hasarın onarılmasına ve yapı taşıyıcı sisteminin güçlendirilmesine yönelik öneriler belirlenir. Bu kapsamda, yapıdaki her hasar türü için uygulanacak onarım yöntemlerine karar verilir ve yapının güçlendirme sistemi için önerilerde bulunulur.

## **Betonarme Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesinde Uygulanan Temel İlkeler**

Ülkemizde, gerek mevcut yapıların deprem güvenliklerinin belirlenmesi gerekse yeterli deprem güvenliğine sahip olmayan yapıların taşıyıcı sistemlerinin güçlendirilmesi işlemleri 1998 yılında yürürlüğe giren yeni Deprem Yönetmeliği (*Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik*) esaslarına uygun olarak yapılmaktadır [7].

Bu yönetmelikte öngörülen yöntemler arasında bulunan ve bina türü yapıların deprem hesaplarında genellikle kullanılmakta olan eşdeğer deprem yükü yönteminin formülasyonu Şekil 4'te özetlenmiştir. Eşdeğer deprem yükü yönteminin mevcut betonarme yapıların deprem güvenliklerinin değerlendirilmesine ve gerekli hallerde bu yapıların güçlendirilmesine uygulanmasında,  $R_a$  deprem yükü azaltma katsayısının tayini önemli bir yer tutmaktadır. Bu katsayı değerlendirme aşamasında mevcut yapının süneklik özelliklerine bağlı olarak belirlenir. Güçlendirme aşamasında ise, yapının süneklik düzeyini artırıcı önlemler alınması suretiyle  $R_a$  katsayısının artırılması uygun olmaktadır.

Yeterli güvenlikte olmayan betonarme yapıların güçlendirilmesindeki en önemli hususlardan biri güçlendirme yönteminin seçimidir. Taşıyıcı sistemin bazı elemanlarının betonarme veya çelik manto ile güçlendirilmesi, yapıya eksenel veya dışmerkez betonarme perdeler eklenmesi, diyagonal çelik çerçeve ile güçlendirme, bazı taşıyıcı olmayan duvarların donatılı duvarlara dönüştürülmesi günümüzde uygulanmakta olan güçlendirme yöntemleri arasında yer almaktadır. Bu güçlendirme yöntemleri birbirinden bağımsız olarak uygulanabildikleri gibi birlikte de kullanılabilirler.

İstanbul Teknik Üniversitesi'nin yönetiminde, 1992 Erzincan depremi sonrasında uygulanan güçlendirme işlemlerinde genellikle yapı içinde ve yapı dışında oluşturulan dışmerkez betonarme perdelerden, 1995 Dinar depremi ve 1998 Adana-Ceyhan depremini izleyen güçlendirmelerde ise eksenel betonarme perdelerden yararlanılmıştır. Bunun yanında, bazı yapı elemanlarına mantolama uygulanarak bölgesel güçlendirme yapılmıştır.

- **Hasar tespiti**
- **Hasar tespit formunun doldurulması**
  - *Bayındırlık Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü – Mühendislik Hizmeti Görmüş Yapılar İçin Hasar Tespit Formu*
- ⇓
- toplam hasar puanı (**THP**)
- ⇓
- hasar durumunun belirlenmesi
- **Hasar rölövesi**
  - taşıyıcı sistemdeki çatlaklar
  - beton kabuğundaki ezilmeler ve dökülmeler
  - donatının burkulması
  - beton çekirdek bölgesindeki ezilme ve kırılmalar
  - taşıyıcı sistem ve yapı elemanlarındaki aşırı şekil değiştirmeler
  - donatının korozyonu
  - sülfat, asit ve benzeri etkilerle oluşan beton bozuklukları vb.
- **Önerilerin belirlenmesi**
  - onarılacak yapı elemanları ve uygulanacak onarım yöntemleri
    - çatlakların onarılması
    - hafif hasarlı ve kusurlu beton yüzeylerinin onarılması
    - orta ve ağır hasarlı betonarme elemanların onarılması
  - güçlendirme sistemi için öneriler
    - yapıya eklenecek güçlendirme elemanları
    - bölgesel güçlendirme
      - mantolama
      - çelik elemanlar ile güçlendirme
      - karbon lifli malzemeler ile güçlendirme

Şekil 3. Hasar tespiti ve önerilerin belirlenmesi

- **Deprem etkilerinin belirlenmesi**

- eşdeğer deprem yükü katsayısı (1998 Deprem Yönetmeliği)

$$A(T) / R_a = A_0 I S(T) / R_a \geq 0.10 A_0$$

- etkin yer ivmesi katsayısı :  $A_0$

- yapı önem katsayısı :  $I$

- spektrum katsayısı :  $S(T)$

$$T \leq T_B \quad \text{için} \quad S(T) \cong 2.50$$

$$T > T_B \quad \text{için} \quad S(T) = 2.50 (T_B / T)^{0.8}$$

- deprem yükü azaltma katsayısı:  $R_a$

- **Güçlendirme yönteminin seçimi**

- uygulanmakta olan güçlendirme yöntemleri

- betonarme veya çelik mantolama

- aksel betonarme perde

- dışmerkez betonarme perde

- yapı içinde

- yapı dışında

- diyagonalli aksel çelik çerçeve

- donatılı aksel duvar vb..

- çeşitli uygulamalarda seçilen güçlendirme yöntemleri

- Erzincan

- yapı içinde dışmerkez betonarme perde

- yapı dışında dışmerkez betonarme perde

- Dinar, Adana

- aksel betonarme perde

+ mantolama

Şekil 4. Deprem etkilerinin belirlenmesi ve güçlendirme yönteminin seçimi

Görüldüğü gibi, mevcut yapı sistemine betonarme perdeler eklenmesi ülkemizde uygulanan güçlendirme yöntemlerinin başında gelmektedir. Bu nedenle, güçlendirme perdelerinin tasarımı (perde sayılarının, plandaki konumlarının ve boyutlarının belirlenmesi, donatılması) ile perde temellerinin oluşturulmasına yönelik temel ilkelerin ve önerilerin açıklanması bu bildirinin temel amaçları arasında yer almaktadır.

Güçlendirme perdelerinden beklenen başlıca özellikler şu şekilde sıralanabilir, (Şekil5).

- a) Güçlendirme perdelerinin konumları binanın mimari tasarımı ile uyumlu olmalı, fonksiyonlarını engellememeli, tesisatın yoğun olarak bulunduğu duvarların güçlendirme perdesine dönüştürülmesinden sakınılmalıdır.
- b) Güçlendirme perdelerinin sayısı en az üç olmalı ve her doğrultuda en az bir perde bulunmalıdır. Böylece, yapıya minimum düzeyde bir burulma rijitliği sağlanması öngörülmektedir.
- c) Yapıya eklenecek perdelerin, her iki deprem doğrultusu için ayrı ayrı olmak üzere, taban kesme kuvvetinin yaklaşık olarak % 80'ini karşılayacak boyutlarda ve sayıda olmasına, ayrıca tüm yapı yüksekliği boyunca devam etmesine özen gösterilmelidir.
- e) Güçlendirme perdelerinin plandaki yerleşimi yapıya yeterli düzeyde burulma rijitliği sağlayabilmelidir.
- f) Perdelerin düzenlenmesinde, perde temellerinin ekonomik olarak tasarımı da gözönünde tutulmalıdır.
- g) Güçlendirme perdelerinin boyutları ve donatısı aşağıda belirtilen minimum koşulları sağlamalıdır.

Güçlendirme perdelerinin boyutlandırılması ve donatılmasında şu temel ilkelere uyulması gerekmektedir.

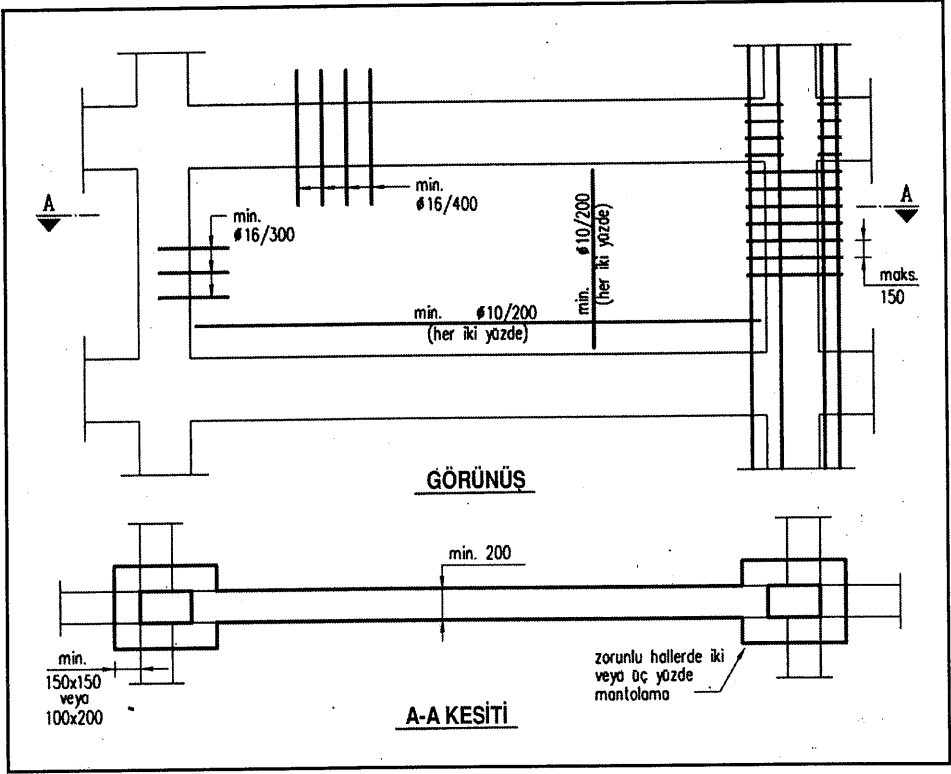
- a) Güçlendirilmiş yapı sisteminin üç boyutlu hesabı yapılmalı, farklı zamanlarda ve farklı koşullarda inşa edilmiş olan mevcut taşıyıcı sistem elemanlarının ve güçlendirme perdelerinin gerçek rijitlikleri hesaplarda göz önüne alınmalıdır.
- b) Güçlendirme perdelerinin ve perde uç bölgelerinde oluşturulan kolon mantolarının enkesit boyutları ve donatıları Şekil 6'da verilen minimum koşulları sağlamalıdır.
- c) Güçlendirme perdelerinin tasarımında ve inşasında göz önünde tutulması gereken önemli bir husus, yapıya etkiyen deprem yüklerinin bir bölümünün bu elemanlara aktarılmasının ve perdelerin mevcut yapı ile bütünleşmesinin sağlanmasıdır. Bu amaçla, güçlendirme perdelerini çevresindeki kirişlere ve kolonlara bağlayan ankraj çubuklarından yararlanılır. Perde ile kat kirişlerinin arakesitlerine yerleştirilen düşey ankraj çubukları katlara etkiyen deprem kuvvetlerinin bir bölümünün perdeye aktarılmasını sağlarlar ve bu amaca uygun olarak boyutlandırılırlar. Güçlendirme perdesini uçlarındaki mevcut kolonlara bağlayan yatay ankraj çubuklarının görevi ise, perdenin ve uç kolonlarının birlikte çalışmasını sağlamaktır. Bu ankraj elemanlarının çap ve sayıları da perde ve uç kolonları arasındaki iç kuvvetleri güvenle aktaracak şekilde belirlenmelidir.
- d) Perde uç bölgelerinde ek düşey donatı gerekmesi halinde, perde uçlarındaki mevcut kolonlar genellikle mantolanır ve manto içine yerleştirilen perde uç donatısı döşemede açılan boşluklardan geçirilerek yapı yüksekliği boyunca devam ettirilir. Böylece perde uç donatısının sürekliliği sağlanır.

Güçlendirilmiş yapı sistemine etkiyen eşdeğer deprem kuvvetlerinin önemli bir bölümünün güçlendirme perdeleri tarafından karşılanması, bu perdelerin tabanında oluşan



- **Güçlendirme perdelerinin sayılarının, plandaki konumlarının ve enkesit boyutlarının belirlenmesi**
  - **güçlendirme perdelerinden beklenen özellikler**
    - güçlendirme perdeleri *yapının mimari tasarımı ile uyumlu olmalı ve fonksiyonlarını engellememeli*
    - her doğrultuda *en az bir adet* olmak üzere, toplam *en az üç adet* güçlendirme perdesi kullanılmalı
    - her iki doğrultuda ayrı ayrı olmak üzere, deprem yüklerinden oluşan *taban kesme kuvvetinin yaklaşık olarak % 80'i* güçlendirme perdeleri tarafından karşılanmalı
    - yapıya yeterli *burulma rijitliği* sağlamalı
    - temel sisteminin ekonomik olarak tasarımına elverişli olmalı
    - perde enkesit boyutları ve donatısı *minimum koşulları* sağlamalı
  - **güçlendirme perdelerinin boyutlandırılması ve donatılması**
    - güçlendirilmiş yapı sisteminin hesabı
      - üç boyutlu hesap
      - güçlendirme perdelerinin ve mevcut taşıyıcı sistemin gerçek rijitlikleri
    - güçlendirme perdelerinin donatılması
      - minimum koşullar
    - ankraj elemanlarının hesabı
      - perde – kiriş birleşimleri
      - perde – kolon birleşimleri
    - perde uç bölgelerinin donatılması ve gerekli hallerde bu bölgelerdeki mevcut kolonların mantolanması
    - perde uç donatılarının yapı yüksekliği boyunca sürekliliğinin sağlanması

Şekil 5. Güçlendirme perdelerinin boyutlandırılması ve donatılması



Şekil 6. Güçlendirme perdelerinde minimum koşullar

deprem etkilerinin temel zeminine güvenle aktarılmasını gerekli kılmaktadır. Bu amaçla, güçlendirme perdelerinin altında inşa edilen ve çok kere mevcut yapı temelleri ile bütünleştirilen bir temel sisteminden yararlanılır. Perde temellerine etkiyen ve genellikle perde öz ağırlığından oluşan düşey yükler deprem kuvvetlerinden oluşan perde taban momentlerine oranla küçük olduğundan, temel tabanındaki dışmerkezliği azaltmak amacıyla komşu kolonların aksenal kuvvetlerinden yararlanılması uygun olmaktadır. Bu nedenle, güçlendirme perdelerinin temellerine mesnetlenen komşu kolonlar mantolanarak perde temeli ile bütünleştirilir ve böylece perde temellerinin daha ekonomik olarak tasarımına olanak sağlanır, Şekil 7.

Deprem güvenliği yeterli olmayan bir yapının güçlendirme perdeleri eklenerek veya benzeri yöntemlerle güçlendirilmesinin yanında, mevcut yapı sisteminin kolon ve kirişlerinin de kendilerine etkiyen iç kuvvetler altında tahkik edilmeleri gerekir.

Kolonların kapasite kontrolleri, güçlendirilmiş sistemin hesabı ve boyutlandırılması sonucunda bulunan gerekli donatı miktarının mevcut kolon donatısı ile karşılaştırılması suretiyle yapılır. Kapasite kontrollerinde, kolonlar arasında iç kuvvetlerin yeniden dağılımı prensibi uygulanabilir. Ayrıca, kolon aksenal kuvvetleri kendilerine ait sınıır değerler ile karşılaştırılır. Benzer tahkik işlemleri, açıklık ve mesnet momentleri arasındaki etkileşim de gözönüne alınarak, kirişler için tekrarlanır.

### • Temellerin boyutlandırılması ve donatılması

- Güçlendirme perdelerine etkiyen deprem kuvvetlerinin temele zeminine güvenle akatarılmasının sağlanması
- Bölgesel radye temel
- Temellere mesnetlenen diğer kolonların mantolanması

Şekil 7. Temellerin boyutlandırılması ve donatılması

Mevcut yapı sisteminin kolon ve kirişlerinin kapasite kontrolleri için önerilen bağlantılar Şekil 8'de özetlenmiştir.

Kapasite kontrollerini sağlamayan mevcut yapı elemanlarının bölgesel olarak güçlendirilmeleri gerekir. Bölgesel güçlendirme için uygulanan yöntemler arasında mantolama, çelik elemanlar veya karbon lifli malzemeler ile güçlendirme sayılabilir.

## Onarım ve Güçlendirme Projelerinin Hazırlanması

Önceki bölümde açıklanan temel ilkeler çerçevesinde, mevcut yapı sistemlerinin deprem güvenliklerinin belirlenmesinde ve yeterli güvenliğe sahip olmayan yapıların onarım ve güçlendirme projelerinin hazırlanmasında izlenen yol başlıca şu adımlardan oluşmaktadır.

- a) İlk olarak, mevcut yapı sisteminin düşey yükler ve düşey yükler + deprem yükleri etkisi altında hesabı yapılır. Bu hesapta, deprem etkileri 1998 Deprem Yönetmeliğine göre ve mevcut yapı sisteminin süneklik özellikleri esas alınarak belirlenir.
- b) Mevcut sistemin hesabı sonucunda elde edilen iç kuvvetler esas alınarak sistemin taşıma kapasitesi kontrol edilir. Bu işlem Şekil 9 da verilen akış diyagramına uygun olarak yapılabilir.
- c) Mevcut yapı sisteminin taşıma kapasitesinin yeterli olmaması halinde, güçlendirme-ye yönelik temel ilkeler ile inceleme ve hasar tespit çalışmaları sonucunda belirlenen öneriler doğrultusunda güçlendirme sistemi oluşturulur.
- d) Güçlendirilmiş yapı sisteminin düşey yükler ve düşey yükler + deprem yükleri etkisi altında hesabı yapılır. Bu hesapta deprem yükleri belirlenirken, güçlendirilmiş yapı sisteminin süneklik özellikleri gözönünde tutulur.
- e) Güçlendirilmiş sistemin hesabı sonucunda elde edilen kesit zorları altında, yapıya eklenen güçlendirme elemanları ile temelleri boyutlandırılır ve donatılır.
- f) Ayrıca, mevcut taşıyıcı sistemin kolon ve kirişlerinin taşıma kapasiteleri kontrol edilir. Yeterli taşıma kapasitesine sahip olmayan elemanlara bölgesel güçlendirme uygulanır, Şekil 9.
- g) Onarım ve güçlendirme projelerinin son aşamasını güçlendirilmiş sisteme ait kalıp ve temel planları ile detay projelerinin hazırlanması oluşturmaktadır. Bu aşamada kat kalıp planları, güçlendirme perdelerinin donatı detayları, temel planı ve detayları, mevcut taşıyıcı sistemin elemanlarına ait onarım ve bölgesel güçlendirme detayları çizilir.

- **Mevcut taşıyıcı sistemin diğer elemanlarının kontrolü ve güçlendirilmesi**

- **kolonlar**

- $A_{s,gerekli} \leq (1.20 - 1.50) A_{s,mevcut}$  ( $A_s$  : toplam boyuna donatı)  
veya

- $A_{s,gerekli} \leq (0.012 - 0.015) A_c$  ( $A_c$  : beton enkesit alanı)

olmalı, ayrıca tasarım normal kuvveti

- $N_d \leq 0.60 A_c f_{ck}$

koşulunu sağlamalı

- **kirişler**

- $A_{s,gerekli} \leq (1.00-1.25) A_{s,mevcut}$  ( $A_s$  : ortalama mesnet donatısı  
ile açıklık donatısının toplamı)  
veya

- $A_{s,gerekli} \leq (0.015 - 0.020) A_c$

olmalı

- **Yeterli olmayan yapı elemanları için bölgesel güçlendirme yöntemleri**

- mantolama
- çelik elemanlar ile güçlendirme
- karbon lifli malzemeler ile güçlendirme vb.

*Şekil 8. Mevcut taşıyıcı sistemin diğer elemanlarının kontrolü ve güçlendirilmesi*

• Güçlendirme projeleri

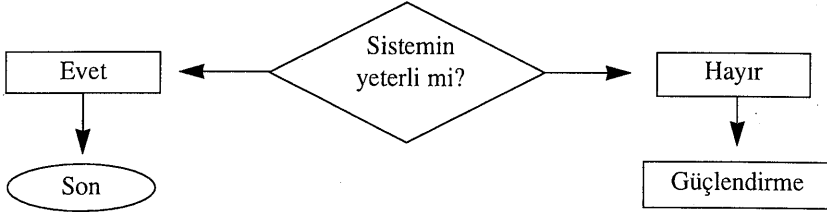
1. Mevcut yapı sisteminin hesabı

a)  $1.4 G + 1.6 Q$

b)  $G + Q + E$

} G: sabit yükler  
Q: hareketli yükler  
E: deprem yükleri

2. Mevcut sistemin taşıma kapasitesinin kontrolü



3. Mevcut taşıyıcı sistemin güçlendirilmesi

- temel ilkeler
- inceleme ve hasar tespit raporundaki öneriler

4. Güçlendirilen taşıyıcı sistemin hesabı

a)  $1.4 G + 1.6 Q$

b)  $G + Q + E$

5. Güçlendirme perdelerinin donatılması

6. Temellerin hesabı ve boyutlandırılması

7. Mevcut taşıyıcı sistemin bölgesel olarak güçlendirilmesi

- kolonlar
- kirişler

8. Güçlendirme projesine ait kalıp ve temel planları ile detay projelerinin hazırlanması

- kat kalıp planları
- güçlendirme perdelerinin donatı detayları
- temel planı ve detayları
- mevcut taşıyıcı sistemin diğer elemanlarına ait bölgesel güçlendirme detayları

Şekil 9. Güçlendirme projeleri

Güçlendirme projelerine bir örnek oluşturmak üzere, 1998 Adana – Ceyhan depreminde orta derecede hasar gören bir yapının güçlendirme sistemine ait bir bölüm kalıp ve temel planları ile perde ve temel detayları Şekil 10,..., 13 te verilmiştir.

Şekil 10'da görüldüğü gibi, incelenen yapının sismik güçlendirilmesi mevcut yapı sistemine eklenen iki boşluklu perde (P18, P19) ve üç dolu perde (P20, P21, P22) ile sağlanmaktadır.

Şekil 11a ve Şekil 11b'de, iki farklı türde güçlendirme perdesine ait enkesit ve donatı detayları verilmiştir. Görüldüğü gibi, güçlendirme perdeleri ile mevcut kolonlar arasındaki bağlantı için yatay ankraj çubuklarından yararlanılmaktadır. Ayrıca, bazı hallerde perde uç kolonlarının bölgesel olarak mantolanması gerekebilir, Şekil 11b.

Şekil 12 ve Şekil 13'te, temel planı ile perde temellerinden birine ait donatı detayları gösterilmiştir. Bölgenin sismik özelliklerine, yapının dinamik karakteristiklerine, bina yüksekliğine ve zemin özelliklerine bağlı olarak, perde temellerinin toplam alanının yapı taban alanına oranının % 40 – 60 arasında değiştiği gözlenmektedir.

## **İstanbul ve Marmara Bölgesindeki Yapılara Uygulanacak Değerlendirme, Onarım ve Güçlendirme İşlemlerine Yönelik Bazı Düşünceler**

Yakın geçmişte ülkemizde meydana gelen depremlerden alınan dersler, bu depremler sonrasında uygulanan onarım ve güçlendirme çalışmaları sonucunda kazanılan deneyimler, özellikle son yıllarda deprem mühendisliği alanında meydana gelen gelişmeler gözönünde tutularak, İstanbul ve Marmara Bölgesindeki yapılara uygulanacak değerlendirme, onarım ve güçlendirme işlemlerine yönelik olarak oluşturulan bazı görüş ve düşünceler aşağıda tartışılmıştır. (Şekil 14)

- a) Özellikle birinci derece deprem bölgelerinde yer alan yapılar için ayrıntılı sismik değerlendirme yapılmalı ve yapıların deprem kaynağına yakınlıkları hesaba katılmalıdır. Böylece, aktif fay hatları üzerinde bulunan veya fay hattına yakın olan yapıların daha gerçekçi olarak boyutlandırılmaları, deprem güvenliklerinin belirlenmesi ve güçlendirilmeleri mümkün olabilmektedir,[8].
- b) Sismik değerlendirme ve güçlendirme çalışmalarında, deprem mühendisliği alanında son yıllarda uygulanmakta olan performans (davranış düzeyine) dayanan hesap yöntemlerine başvurulmalıdır. Bu yöntemlerde ilk olarak yapıdan beklenen davranış düzeyi belirlenmekte ve bu davranış düzeyine uygun olarak yapının deprem güvenliği kontrol edilmektedir. Beklenen davranış düzeyine sahip olmayan yapılarda ise güçlendirme tasarımı yapılmaktadır, [9], [10],[11].
- c) Malzeme ve geometri değişimleri bakımından doğrusal (lineer) olmayan yapı sistemlerinin hesap yöntemlerinde meydana gelen gelişmelerden yararlanarak, bu yöntemlerin deprem mühendisliğinin pratik uygulamalarına aktarılması mümkün olabilmektedir. Bu nedenle, özellikle önemli yapıların deprem güvenliklerinin belirlenmesi ve güçlendirilmesi çalışmalarında, doğrusal olmayan statik analiz (Pushover analysis) yöntemlerinin uygulanması önerilmektedir, [5], [12],[13].

- d) Yeterli deprem güvenliğine sahip olmayan yapı sistemlerinin örneğin perdeler gibi bazı yeni elemanlar eklenerek güçlendirilmelerinin yanında, özellikle batı ülkelerinde, gelişmiş teknoloji ürünü olan bazı mekanik aygıtlardan yararlanılmaktadır. Bu aygıtların başlıcaları, yapı sisteminin tamamının veya bir bölümünün deprem etkilerinden yalıtılmasını sağlayan sismik izolatörler ve deprem enerjisini sönmölendirerek yapıya etkileyen deprem kuvvetlerinin azaltılmasını sağlayan sönmölendiricilerdir,[14],[15]. Özellikle 1999 Marmara ve Bolu-Düzce depremlerinden sonra, gerek mevcut yapıların güçlendirilmesinde gerekse yeni yapıların tasarımında, bu aygıtların daha yoğun olarak kullanılması beklenmektedir.
- e) Depremlerde hasar gören yapıların onarım ve güçlendirilmesinin yanında mevcut yapıların da deprem güvenliklerinin belirlenmesinin ve yeterli güvenlihte olmayan yapıların güçlendirilmesinin yoğun olarak gündeme geldiği günümüzde, bu amaca yönelik olarak hazırlanacak yönetmeliklere olan gereksinim kendini göstermektedir. Bilindiği gibi, 1998 Deprem Yönetmeliği yeni yapılacak yapıların tasarımına ait kuralları içermektedir. Buna karşılık, diğer batı ülkelerinde olduğu gibi [9][16], ülkemizde de yapıların deprem güvenliklerinin belirlenmesi ve rehabilitasyonuna yönelik özel yönetmeliklerin hazırlanması ve uygulanması gerekli olmaktadır.





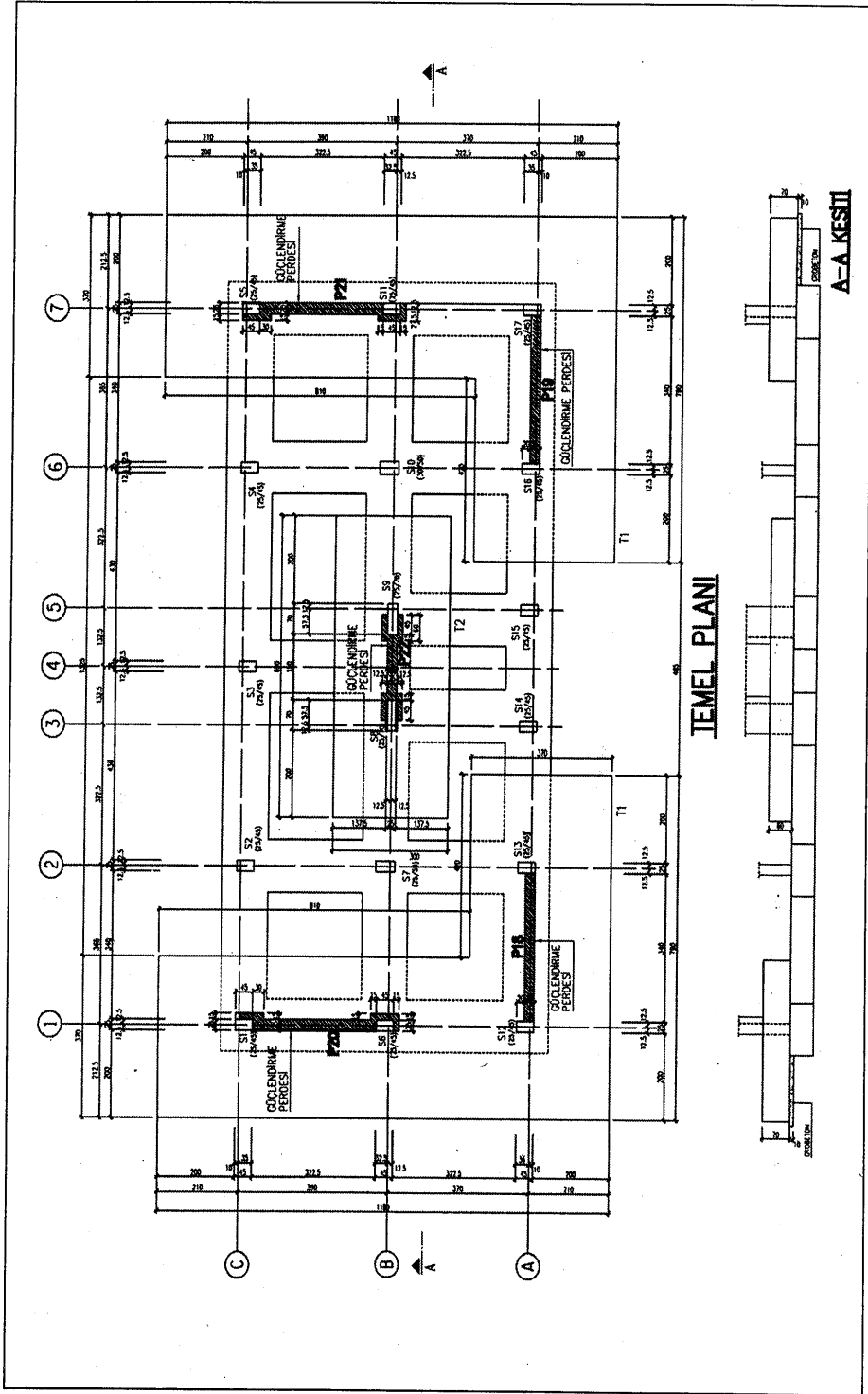
Technical drawing of a reinforced concrete beam with three rectangular openings. The beam has a total length of 250 cm and a height of 45 cm. It features three rectangular openings with heights of 16 cm and 18 cm. The beam is reinforced with longitudinal bars (labeled 13, 15, 17, 18) and stirrups (labeled 3). The openings are labeled 16 and 17. The beam is supported by a wall (labeled 18) on the right. Dimensions are given in cm.

$$\begin{array}{c} \textcircled{13} \quad 320 \quad \phi 10 \quad L=270 \\ \hline 20 \quad \quad \quad 105 \quad \quad \quad 105 \\ \quad \quad \quad 10 \quad \quad \quad 20 \end{array}$$

91

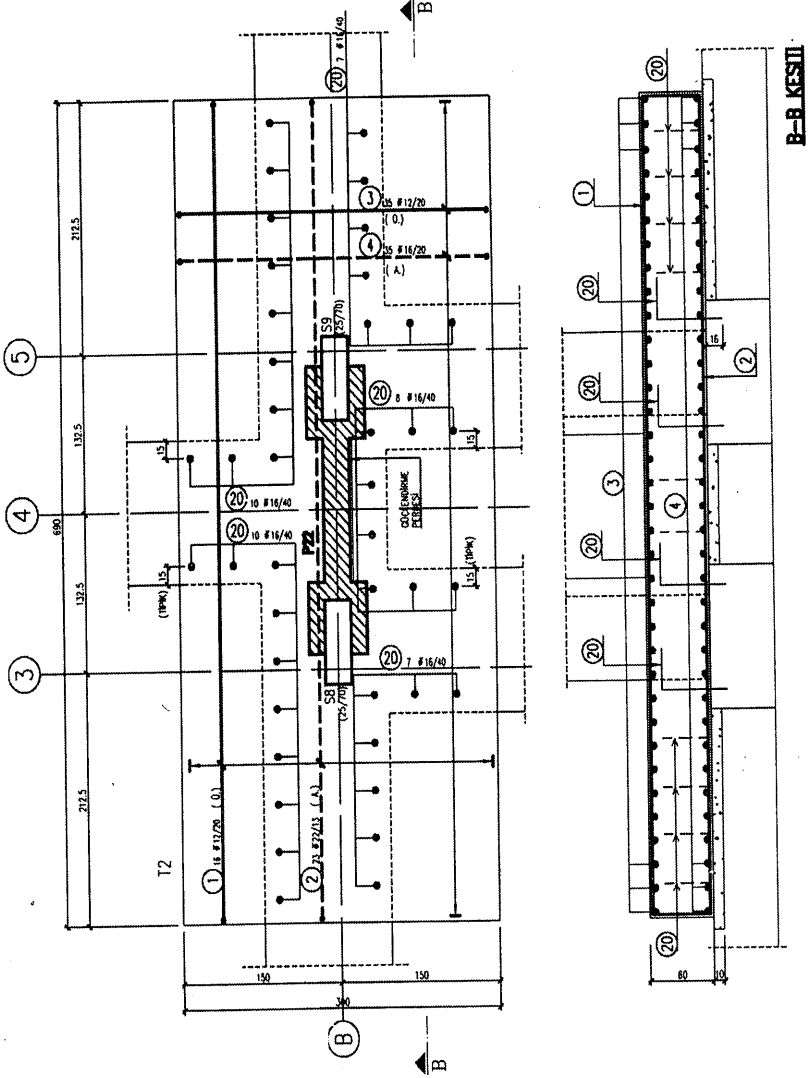
[illegible][illegible]

92



Şekil 12. Temel planı

## T2 TEMEL DETAYLARI



Şekil 13. Temel detayları

- **İstanbul ve Marmara Bölgesinde uygulanacak değerlendirme, onarım ve güçlendirme işlemlerine yönelik bazı düşünceler**
  - özellikle birinci derece deprem bölgelerinde bulunan yapılar için ayrıntılı sismik değerlendirme
  - performansa (davranış düzeyine) dayanan değerlendirme ve tasarım
  - özellikle önemli yapıların deprem güvenliklerinin belirlenmesi ve güçlendirilmesinde doğrusal olmayan statik analiz (Pushover analysis) yöntemlerinin uygulanması
  - yapıların güçlendirilmesinde yeni teknolojilerden yararlanılması
    - sismik yalıtım (seismic isolation)
    - sönümlendirme (damping)
  - yapıların sismik değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi amacıyla özel yönetmelikler hazırlanması

*Şekil 14. İstanbul ve Marmara Bölgesinde uygulanacak değerlendirme, onarım ve güçlendirme işlemlerine yönelik bazı düşünceler*

## Kaynaklar

- [1] İstanbul Teknik Üniversitesi Yapı ve Deprem Uygulama ve Araştırma Merkezi, 13 Mart 1992 Erzincan Depremi Hakkında Rapor, İstanbul, 1992.
- [2] İstanbul Teknik Üniversitesi Yapı ve Deprem Uygulama ve Araştırma Merkezi, Dinar ve Çevresinde 1 Ekim 1995 de Meydana Gelen Deprem Hakkında Ön İnceleme ve Mühendislik Raporu, İstanbul, 1995.
- [3] Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research, The Marmara, Turkey Earthquake of August 17, 1999: Reconnaissance Report, Technical Report MCEER-00-0001, Buffalo, New York, 2000.

- [4] Özer, E., Pala, S., Karadaş, M., Orakdöğen, E., Girgin, K., Mevcut Betonarme Yapıların Deprem Güvenliklerinin Belirlenmesi, 2. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 469-480, İstanbul, 1993.
- [5] Özer, E., Pala, S., Orakdöğen, E., Girgin, K., Deprem Bölgelerindeki Mevcut Betonarme Yapıların Deprem Güvenliklerinin Belirlenmesi ve Rehabilitasyonu, Türkiye Deprem Vakfı Teknik Rapor TDV/TR 028-45, İstanbul, 1999.
- [6] Gülkan, P., Yakut, A., Sucuoğlu, H., Yüçemen, M.S., Çıtıpıtıoğlu, E., Mühendislik Hizmeti Görmüş Yapılar İçin Hasar Tespit Formu Hazırlanması, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi Rapor No. 94-01, Ankara, 1994.
- [7] Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Ankara, 1997.
- [8] International Conference of Building Officials, 1997 Uniform Building Code, Vol. 2, Whittier, California, 1997.
- [9] Federal Emergency Management Agency, NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, FEMA 273, Washington D.C., 1997.
- [10] Federal Emergency Management Agency, NEHRP Commentary on the Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, FEMA 274, Washington D.C., 1997.
- [11] Applied Technology Council, Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Vols. 1-2, ATC 40, Redwood City, California, 1996.
- [12] Habibullah, A., Wilson, E.L., SAP 2000, Three Dimensional Static and Dynamic Finite Element Analysis and Design of Structures, Computers and Structures, Inc., Berkeley, California, 1999.
- [13] Valles, R.E., Reinhorn, A.M., Kunnath, S.K., Li, C., Madan, A., IDARC 2D, A Computer Program for the Inelastic Damage Analysis of Buildings, National Center for Earthquake Engineering Research, Technical Report NCEER-96-0010, Buffalo, New York, 1996.
- [14] Naeim, F., Kelly, J.M., Design of Seismic Isolated Structures from Theory to Practice, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1999.
- [15] Constantinou, M.C., Soong, T.T., Dargush, G.F., Passive Energy Dissipation Systems for Structural Design and Retrofit, Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo, New York, 1998.
- [16] Federal Emergency Management Agency, Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, FEMA 356, Washington D.C., 2000.