**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

# BETONARME YAPILARDA ONARIM VE GÜÇLENDİRME YÖNTEMLERİ VE BİR GÜÇLENDİRME UYGULAMASI



**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İnş. Müh. Yaşar YİĞİT**
**(501981025)**



**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 5 Ocak 2002**
**Tezin Savunulduğu Tarih : 16 Ocak 2002**

**Tez Danışmanı :** **Doç.Dr. Kadir GÜLER** 29.01.02

**Diğer Jüri Üyeleri** **Prof.Dr. Zekai CELEP (İTÜ)** 29.01.02

**Prof.Dr. Zekeriya POLAT (YTÜ)** 29.01.2002



**OCAK 2002**

## ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmalarım sırasında bana verdiği değerli desteği için hocam Sayın Doç. Dr. Kadir GÜLER'e, benden yardımlarını esirgemeyen İnş. Müh. Kaan YÜKSEL'e ve çalışmalarımın her aşamasında bana sabır gösteren ve destek olan aileme ve özellikle ablam Emete YİĞİT BAKIR'a teşekkürü bir borç bilirim.

Bana tüm eğitim hayatım boyunca destek olan ve bugünlere ulaşmamda en önemli etken olan çok sevdiğim babam Adem YİĞİT'e de ayrıca teşekkür ederim.

01.01.2002 Yaşar YİĞİT

## İÇİNDEKİLER

## TABLO LİSTESİ

## ŞEKİL LİSTESİ

## SEMBOL LİSTESİ

| | |
|---|---|
| $(\Delta_i)_{max}$ | : Binanın i'inci katının maksimum göreli kat ötelemesi |
| $(\Delta_{ix/y})_{ort}$ | : x/y deprem doğrultusunda, binanın i'inci katında hesaplanan ortalama göreli kat ötelemesi |
| A(T) | : Spektral ivme katsayısı |
| $A_0$ | : Etkin yer ivmesi katsayısı |
| $A_c$ | : Kolonun veya perde uç bölgesinin brüt enkesit alanı |
| $A_{ch}$ | : Perde brüt enkesit alanı |
| $A_g$ | : Perde gövdesi enkesit alanı |
| $A_s$ | : Donatı alanı |
| $A_{s(m)}$ | : Mevcut donatı alanı |
| $A_{s(max)}$ | : Maksimum donatı alanı |
| $A_{s(min)}$ | : Minimum donatı alanı |
| $A_{s(s)}$ | : Taşıyıcı sistem elemanlarında sonuç donatısı olarak tasarlanan donatı alanı |
| $A_{s(t)}$ | : Kolon donatı tasarımında bulunan gerekli donatı alanı $A_{s(s)}$'nin donatı çubuklarına dönüştürülmesiyle elde edilen donatı alanı (tasarım donatı alanı) |
| $A_{s,g(m)}$ | : Perde gövdesi mevcut donatı alanı |
| $A_{s,uç(min)}$ | : Perde uç bölgesi için hesaplanan minimum boyuna donatı alanı |
| $A_{s,uç1(m)}$ | : Mevcut perde 1. uç bölgesi donatı alanı |
| $A_{s,uç2(m)}$ | : Mevcut perde 2. uç bölgesi donatı alanı |
| $A_{sg}$ | : Perde gövde donatı alanı |
| $A_{sg(m)}$ | : Kirişteki mevcut gövde donatı alanı |
| $A_{sw}$ | : s enine donatı aralığına karşı gelen yükseklik boyunca, kolonda veya perde uç bölgesinde; tüm etriye kollarının ve çirozların enkesit alanı değerlerinin göz önüne alınan $b_k$'ya dik doğrultudaki izdüşümlerinin toplamı, kirişte; etriye kollarının enkesit alanlarının toplamı |
| BS | : Beton sınıfı |
| $b_w$ | : Kirişin gövde genişliği, perdenin gövde kalınlığı |
| $B_{x/y}$ | : Binanın planda x/y doğrultusundaki uzunluğu |
| $b_{x/y}$ | : Kolonun x/y doğrultusundaki enkesit boyutu |
| ÇS | : Çubuk sayısı |
| d | : Kirişin faydalı yüksekliği |
| $D_i$ | : Burulma düzensizliği olan binalar için i'inci katta ±%5 dışmerkezliğe uygulanan büyütme katsayısı |
| DS | : Perde gövde donatısı sıra sayısı |
| $DS_{x/y}$ | : x/y doğrultusundaki kolon donatı sıra sayısı |
| $e_x$ | : X doğrultusundaki ek kütle dışmerkezliği |
| $e_y$ | : Y doğrultusundaki ek kütle dışmerkezliği |
| $f_{cd}$ | : Beton hesap basınç dayanımı |
| $f_{ck}$ | : Beton karakteristik basınç dayanımı |

| | |
|---|---|
| **G** | : Döşeme sabit yükü |
| **g** | : Yerçekimi ivmesi |
| **Güç Or.** | : Göz önüne alınan deprem yönü için hesaplanan $(M_{ra}+M_{rü})/(M_{ri}+M_{rj})$ değeri |
| **h** | : Kolon veya perde yüksekliği |
| $h_i$ | : Binanın i'inci katının kat yüksekliği |
| $h_k$ | : Kiriş yüksekliği |
| $H_N$ | : Bina toplam yüksekliği |
| **I** | : Bina önem katsayısı |
| **Kar.Or.** | : Mevcut donatı alanının gerekli donatıyı karşılama oranı |
| **Kr.** | : Perdenin kritik bölgede olması durumunu belirten anahtar sayı |
| **l** | : Kiriş uzunluğu |
| $l_g$ | : Perde gövdesinin plandaki uzunluğu |
| $l_{g(m)}$ | : Mevcut perde gövdesi uzunluğu |
| $l_{u1}$ | : Perde 1. uç bölgesi uzunluğu |
| $l_{u1(m)}$ | : Mevcut perde 1. uç bölgesi uzunluğu |
| $l_{u2}$ | : Perde 2. uç bölgesi uzunluğu |
| $l_{u2(m)}$ | : Mevcut perde 2. uç bölgesi uzunluğu |
| $l_w$ | : Perdenin plandaki uzunluğu |
| $M_d$ | : Perdelerde tasarıma esas olarak alınan moment değeri |
| $M_{d,x/y}$ | : Kolonlarda tasarıma esas olan x/y doğrultusundaki hesap momenti |
| $M_{dmax}$ | : Kirişlerde göz önüne alınan kesitteki, cebirsel olarak en büyük pozitif moment |
| $M_{dmin}$ | : Kirişlerde göz önüne alınan kesitteki, cebirsel olarak en küçük negatif moment |
| $m_i$ | : Binanın i'inci katının kütlesi |
| $M_r$ | : Tasarlanan donatı için hesaplanan perde kapasite momenti |
| $M_{r(m)}$ | : Mevcut donatı için hesaplanan perde kapasite momenti |
| $M_{r,x/y}$ | : Tasarlanan kolon donatısı için hesaplanan, x/y doğrultusundaki kapasite momenti |
| $M_{r,x/y(m)}$ | : Mevcut kolon donatısı için hesaplanan, x/y doğrultusundaki kapasite momenti |
| $M_{r1}$ | : Göz önüne alınan kiriş kesitinde tasarlanan donatı için hesaplanan pozitif moment taşıma kapasitesi |
| $M_{r1(m)}$ | : Göz önüne alınan kiriş kesitinde mevcut donatı için hesaplanan pozitif moment taşıma kapasitesi |
| $M_{r2}$ | : Göz önüne alınan kiriş kesitinde tasarlanan donatı için hesaplanan negatif moment taşıma kapasitesi |
| $M_{r2(m)}$ | : Göz önüne alınan kiriş kesitinde mevcut donatı için hesaplanan negatif moment taşıma kapasitesi |
| $M_{ra}$ | : Kolonun veya perdenin serbest yüksekliğinin alt ucunda $f_{cd}$ ve $f_{yd}$'ye göre hesaplanan pozitif veya negatif taşıma gücü momenti |
| $M_{rb}$ | : Tasarlanan donatı için hesaplanan dengeli durum perde momenti |
| $M_{rb(m)}$ | : Mevcut donatı için hesaplanan dengeli durum perde momenti |
| $M_{rb,x/y}$ | : Tasarlanan kolon donatısı için hesaplanan, x/y doğrultusundaki dengeli durum momenti |
| $M_{rb,x/y(m)}$ | : Mevcut kolon donatısı için hesaplanan, x/y doğrultusundaki dengeli durum momenti |
| $M_{ri}$ | : Kirişin sol ucu i'deki kolon veya perde yüzünde, $f_{cd}$ ve $f_{yd}$'ye göre hesaplanan pozitif veya negatif taşıma gücü momenti |

$M_{rj}$ : Kirişin sağ ucu j'deki kolon veya perde yüzünde, $f_{cd}$ ve $f_{yd}$'ye göre hesaplanan pozitif veya negatif taşıma gücü momenti

$M_{rü}$ : Kolonun veya perdenin serbest yüksekliğinin üst ucunda $f_{cd}$ ve $f_{yd}$'ye göre hesaplanan pozitif veya negatif taşıma gücü momenti

$M_{xr}$ : Göz önüne alınan X deprem doğrultusunda binanın r'inci doğal titreşim modundaki etkin kütle

$M_{yr}$ : Göz önüne alınan Y deprem doğrultusunda binanın r'inci doğal titreşim modundaki etkin kütle

$m_{0i}$ : Kat döşemelerinin rijit diyaframı olarak çalışması durumunda, binanın i'inci katının kaydırılmamış kütle merkezinden geçen düşey eksene göre eylemsizlik momenti

$N_{0r}$ : Eksenel yük taşıma kapasitesi

$N_b$ : Kolon ve perdelerde dengeli durum eksenel yük değeri

$N_d$ : Tasarıma esas eksenel yük değeri

$N_{d(s)}$ : Eksenel yük sınır değeri (0,5 fck Ac)

$N_{dmax}$ : Kirişte mutlak değerce en büyük çekme kuvveti

$N_{dmax}$ : Kolon ve perdede hesaplanan mutlak değerce en büyük eksenel basınç yükü

$N_{dmin}$ : Kirişte mutlak değerce en büyük eksenel basınç kuvveti

Q : Döşeme hareketli yükü

$q_s$ : Zemin gerilmesi

$q_{z,emn}$ : Zemin emniyet gerilmesi

R : Taşıyıcı sistem davranış katsayısı

$R_a(T)$ : Deprem yükü azaltma katsayısı

$R_{NÇ}$ : Deprem yüklerinin tamamının süneklik düzeyi normal çerçeveler tarafından taşındığı durum için tanımlanan taşıyıcı sistem davranış katsayısı

$R_{YP}$ : Deprem yüklerinin tamamının süneklik düzeyi yüksek perdeler tarafından taşındığı durum için tanımlanan taşıyıcı sistem davranış katsayısı

s : Donatı aralığı

S(T) : Spektrum katsayısı

$s_c$ : Kolon sarılma bölgesindeki enine donatı aralığı

$s_{j,a}$ : Kolonun alt ucundaki kolon kiriş birleşim bölgesinde bulunan kolon enine donatı aralığı

$s_{j,ü}$ : Kolonun üst ucundaki kolon kiriş birleşim bölgesinde bulunan kolon enine donatı aralığı

$s_k$ : Kiriş sıklaştırma bölgesi etriye aralığı

$s_o$ : Kiriş ve kolon orta bölgesi etriye aralığı

$S_{pa}(T_r)$ : r'inci doğal titreşim modu için ivme spektrumu ordinatı

ST : Çelik sınıfı

$s_{uç1}$ : Perde 1. uç bölgesi etriye aralığı

$s_{uç2}$ : Perde 2. uç bölgesi etriye aralığı

T : Bina doğal titreşim periyodu

$T_A$, $T_B$ : Spektrum karakteristik periyotları

$T_r$ : Binanın r'inci doğal titreşim periyodu

V : Göz önüne alınan deprem doğrultusunda yalnız deprem yükünden dolayı oluşan kesme kuvveti

$V_c$ : Betonun kesme dayanımına katkısı

$V_{c,x/y}$ : Kolonlarda x/y doğrultusunda hesap için betonun kesme

dayanımına katkısı

$V_d$ : Perde ve kirişlerde yük katsayıları ile çarpılmış düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanan kesme kuvveti

$V_{d,x/y}$ : Kolonlarda x/y doğrultusunda hesaplanan kesme kuvveti

$V_{dy}$ : Kirişin kolon yüzünde, düşey yüklerden meydana gelen basit kiriş kesme kuvveti

$V_e$ : Kirişte enine donatı hesabına esas alınan kesme kuvveti

$V_{e,x/y}$ : Kolonlarda x/y doğrultusunda enine donatı hesabına esas alınan kesme kuvveti

$V_{ik}$ : Binanın i'inci katındaki tüm kolonlarda göz önüne alınan deprem doğrultusunda hesaplanan kesme kuvvetlerinin toplamı

$V_{is}$ : Binanın i'inci katında, deprem yönetmeliğinde denklem 7.3'ün hem alttaki hem de üstteki düğüm noktalarında sağlandığı kolonlarda, göz önüne alınan deprem doğrultusunda hesaplanan kesme kuvvetlerinin toplamı

$V_{ix/y}$ : x/y doğrultusundaki depremde, binanın i'inci katına etki eden kat kesme kuvveti

$V_r$ : Kiriş veya perde kesitinin kesme dayanımı

$V_{r,x/y}$ : Kolonun x/y doğrultusundaki kesme dayanımı

$V_s$ : Göz önüne alınan kiriş ve perde kesitinde kesme kuvvetinin geçmemesi gereken sınır değer

$V_{s,x/y}$ : Kolonlarda x/y doğrultusunda hesap için kesme kuvvetinin geçmemesi gereken sınır değer

$V_t$ : Eşdeğer deprem yükü yönteminde göz önüne alınan deprem doğrultusunda binaya etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti)

$V_{tBx/y}$ : Mod birleştirme yönteminde, x/y deprem doğrultusunda modlara ait katkıların birleştirilmesi ile bulunan bina toplam deprem yükü (taban kesme kuvveti)

$W$ : Binanın, hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak bulunan toplam ağırlığı

$w_i$ : Binanın i'inci katının, hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak hesaplanan ağırlığı

$X_g$ : Kat kütle merkezi X ordinatı

$Y_g$ : Kat kütle merkezi Y ordinatı

$\alpha_i$ : Herhangi bir i'inci katta hesaplanan Vis/Vik oranı

$\alpha_M$ : Süneklik düzeyi yüksek perdelerin tabanında elde edilen eğilme momentleri toplamının, binanın tümü için tabanda meydana gelen toplam devrilme momentine oranı

$\eta_{bi}$ : i'inci katta tanımlanan burulma düzensizliği katsayısı

$\eta_{bi(max)}$ : Binanın i'inci katında, farklı kaydırılmış kütle merkezleri için hesaplanan $\eta_{bi}$ değerlerinin en büyüğü

$\eta_{ci}$ : i'inci katta tanımlanan dayanım düzensizliği katsayısı

$\eta_{ki}$ : i'inci katta tanımlanan rijitlik düzensizliği katsayısı

$\eta_{ki(max)}$ : Binanın i'inci katında, farklı kaydırılmış kütle merkezleri için hesaplanan $\eta_{ki}$ değerlerinin en büyüğü

$\theta_i$ : i'inci katta tanımlanan ikinci mertebe gösterge değeri

$\theta_{ix/y}$ : i'inci katta, x/y doğrultusu için tanımlanan ikinci mertebe gösterge değeri

$\Sigma A_e$ : Herhangi bir katta, göz önüne alınan deprem doğrultusunda etkili

| | |
|---|---|
| | kesme alanları toplamı |
| $\Sigma A_g$ | : Herhangi bir katta, göz önüne alınan deprem doğrultusunda perde olarak çalışan taşıyıcı sistem elemanlarının enkesit alanlarının toplamı |
| $\Sigma A_k$ | : Herhangi bir katta, göz önüne alınan deprem doğrultusuna paralel kagir dolgu duvar alanlarının toplamı |
| $\Sigma A_w$ | : Herhangi bir katta, kolon enkesiti etkin gövde alanları toplamı |
| $\Phi$ | : Donatı çapı |

**BETONARME YAPILARDA ONARIM VE GÜÇLENDİRME YÖNTEMLERİ VE BİR GÜÇLENDİRME UYGULAMASI**

## ÖZET

Yüksek lisans tezi olarak sunulan bu çalışmada betonarme yapıların onarım ve güçlendirilmesi konusu ele alınmış ve bir güçlendirme uygulaması yapılmıştır. İlk olarak onarım ve güçlendirme konusuna giriş yapılmış, yapı tasarımının ana ilkeleri, onarım ve güçlendirmeye ihtiyaç duyma sebepleri anlatılmış ve yapılarda oluşan hasarlara ve bunların sebeplerine kısaca değinilmiştir.

Kolon, kiriş, kolon-kiriş birleşim bölgesi, perde, döşeme ve temel gibi taşıyıcı sistem elemanlarının onarım ve güçlendirme yöntemleri açıklandıktan sonra taşıyıcı sisteme yeni elemanlar ilave edilerek binanın güçlendirilmesi konusu ele alınmıştır. Daha sonra yapılarda oluşan korozyon hasarı ve onarılması konusunda bilgi verilmiştir. Onarım ve güçlendirme konusunda projelendirme esasları ve aşamaları incelenerek güçlendirme uygulamasına geçilmiştir.

Güçlendirme uygulaması olarak 1975 Deprem Yönetmeliği'ne göre projelendirilip inşa edilmiş çok katlı betonarme bir yapı 1998 Deprem Yönetmeliğine göre incelenmiştir. Binanın statik ve dinamik analizleri Sap 2000 yapısal analiz programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Betonarme hesabı ve yönetmelikteki bazı kontrolleri yapmak üzere yazar tarafından geliştirilen Trans 2000 programı kullanılmıştır. Bu hesaplar dikkate alınarak yapının güçlendirilmesine karar verilmiştir. Yeni perde elemanları taşıyıcı sisteme eklenerek ve bazı kolonlar mantolanarak bina güçlendirilmiştir.

**REPAIR AND STRENGTHENING OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES AND A STRENGTHENING APPLICATION**

## SUMMARY

In this study, which is submitted as a master's thesis, repairing and strengthening of reinforced concrete buildings is reviewed and a strengthening application is practised.

Firstly, an introduction to the topics of repairing and strengthening is given; the main principle of structural design and the reason of damages are referred. Techniques and methods related to repairing and strengthening of structural elements such as columns, shear walls, beams, column-and-beam connection points, floors and foundations are discussed and strengthening of the system by adding new bearing elements are detailed. Then, some information about corrosion damage and repairing of this damage is also presented. The principle of preparing project and project stages are discussed.

As an application a multi-storey reinforced concrete building designed according to Turkish Seismic Code of 1975 is analysed according to seismic code of 1998. Static and dynamic analysis of building is carried out by using SAP 2000 program. Sectional analysis and some check of the reinforced concrete structural elements are accomplished by using Trans 2000 program, which is created by writer. As a result of the analysis it is decided the necessity of strengthening. Strengthening is realised by adding new shear walls and jacketing of some available columns.

# 1. GİRİŞ

Deprem için yapılan projelendirmede yapıda hiç hasar olmaması koşulu, nükleer santraller gibi çok özel yapılar dışında, ekonomik nedenlerle aranmaz. Afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmelikte öngörüldüğü gibi depreme dayanıklı yapı tasarımının ana ilkesi; hafif şiddetteki depremlerde binalardaki yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarının herhangi bir hasar görmemesi, orta şiddetteki depremlerde yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda oluşabilecek hasarın onarılabilir düzeyde kalması, şiddetli depremlerde ise can kaybını önlemek amacı ile binaların kısmen veya tamamen göçmesinin önlenmesidir [1].

Yukarıda bahsedilen hasarlar söz konusu olduğunda bunları gidermek ve yapıları kullanılabilir duruma getirmek gerekir. Bu durumda söz konusu yapının veya bazı elemanlarının onarım ve/veya güçlendirilmesi söz konusu olur.

Burada öncelikle onarım ve güçlendirme terimlerini ve aralarındaki farkı açıklamakta yarar vardır.

Onarım : Görünüş ve kullanım bakımından hasar görmüş bir yapıda veya onun bir veya birkaç elemanında önceki haline getirmek için yapılan çalışma ve değişikliktir. Bu önceki haline getiriliş onun görünüşü ve kullanımı (yük taşıma kapasitesi, rijitliği, sünekliği ve dayanımı dahil) bakımlarından olabilir.

Güçlendirme : Bir yapının taşıma kapasitesini, rijitliğini, sünekliğini ve stabilitesini veya bunlardan bazılarını önceki veya mevcut durumun üzerine çıkarmak amacıyla yapılan değişikliktir.

Onarımda amaç önceki duruma geri getirmektir. Bu kullanım bakımından olabileceği gibi mukavemet gibi mekanik karakteristikler bakımından da olabilir. Güçlendirmede ise amaç mukavemet ve benzeri karakteristikleri hasardan önceki veya mevcut düzeyin üzerine çıkarmaktır.

Onarımın hasar görmüş bir yapıda yapılmasına karşılık güçlendirme için yapının hasar görmüş olması gerekmez. Bu durum genellikle yapının fonksiyonlarının değişmesi nedeniyle yüklerin artması, örneğin bir konut yapısının öğrenci yurduna çevrilmesi veya bir karayolu köprüsünün yük sınıfının H20-S16 dan H30-S24'e çıkarılması v.b. nedenlerle gündeme gelebilir. Keza zaman içinde oluşan depremler ve araştırmalardan elde edilen yeni bulgular sonucunda yeniden düzenlenen deprem yönetmeliklerinde yapının bulunduğu bölgenin deprem riskinin artması, yani deprem hesabına esas olan kuvvetlerin büyümesi de güçlendirme nedeni olabilir. Onarım ile güçlendirme arasına bir de iyileştirme seçeneğini eklemek mümkündür.

İyileştirme : Yapıda herhangi bir hasar olmayıp da orijinal olarak projesinde bulunan bir kusurun veya imalat kusurunun varlığı, yada evvelce konu edilmemiş ancak değişen deprem yönetmelikleri sonucu yapılmasına kesinlikle izin verilmeyen hususların giderilmesi olarak tanımlanabilir. Konsola kolon ötelenmesi durumunda konsol ucundaki kolonun temele kadar devamının temini, genellikle bina girişlerindeki kirişin üstüne binen kolon olması durumunda söz konusu kiriş ve oturduğu kolonların %50 artırılmış kesit tesirleri ile tahkiki ve gerekiyorsa takviyesi gibi hususlar iyileştirmeye örnek olarak verilebilir.

Yapıdaki hasarlar taşıyıcı olmayan ve/veya olan kısımlarda meydana gelebilir. Taşıyıcı kısımlardaki hasarlar yapının dayanımı ve stabilitesi bakımından önemli ve tehlikelidirler. (Örneğin bazı kolonların ve düğüm noktalarının kırılması yada parçalanması gibi). Taşıyıcı olmayan kısımlarda oluşan hasarlar yapının stabilitesi bakımından sorun çıkarmazlar ama içindekiler ve çevresindekiler için tehlikeli olabilecekleri gibi önemli maddi zarara da sebep olabilirler. Örneğin bir dolgu veya bölme duvarının tamamen veya kısmen yıkılması içeridekilerin veya sokaktakilerin can güvenliğine zarar verebilir. Dolayısıyla bu tür taşıyıcı olmayan elemanların onarımı da önemlidir.

Betonarme yapılardaki hasarlar yapıda zaten var olan ancak depremin ortaya çıkardığı hasarlar ile depremden oluşan hasarlar olarak da sınıflandırılabilir.

Depremin ortaya çıkardığı hasarların en çarpıcı ve yaygın örneği özellikle binaların bodrum katları ve iyi korunmamış cephelerinde rastlanan donatı paslanmalarıdır. Deprem nedeniyle binada oluşan salınımlar öncelikle paslı ve kesiti ufalanmış

donatıları örten pas paylarının atmasına sebep olur. Donatı paslanması genelde temel üst kotundan bodrum kat tavan hizalarına kadar devam etmektedir. Zaman içinde nem üste doğru yürümektedir. Bunun en belirgin nedenleri betonun düşük kaliteli olması ve kötü işçilik ile bodrum katlarda yeteri kadar hava sirkülasyonunun sağlanamamış veya çoğu binalarda olduğu gibi bodrum kat betonunun brüt bırakılarak sıvanmamış olmasıdır. Benzer bir hasar örneği de kolon-kiriş birleşiminde, özellikle kirişin yüksek olması halinde, kolonda etriye devamının sağlanmamış olması nedeniyle küçük bir harekette kolon eksenel kuvvetinin artışı sonucu boyuna donatının burkularak beton örtüyü atmasıdır.

Depremden oluşan hasarlar ise sistem bazında;

Rijitliklerin yetersiz olması nedeniyle aşırı yanal yerdeğiştirmelerden oluşan hasarlar,

Aynı katta diğer kolonlara göre kısa ve rijit kolonların varlığından ötürü özellikle kesilme şeklinde oluşan kısa kolon hasarları,

Planda ve taşıyıcı sistemdeki değişiklikler sonucu rijitlikteki ani değişimler (örneğin perdelerin devam ettirilmemesi hali) dolayısıyla oluşan hasarlar,

Komşu katlara göre fleksibl (esnek) olan katlardaki (örneğin dolgu duvarları çok azaltılmış ve/veya yüksek giriş katlarındaki) yumuşak kat hasarları,

Rijitliklerin uygun olmayan dağılışı nedeniyle binada aşırı burulma sonucu oluşan hasarlar,

Yatay yüklerinin büyük kısmı perdelerce alınmayan kirişsiz veya asmolen döşemeli sistemlerde kolon-döşeme, kolon-yastık kiriş birleşim yerlerindeki hasarlar,

Betonarme çerçevelerde yeterince donatılmamış düğüm bölgelerindeki etriye aralıklarının ve etriye kenetlenmesinin yetersizliği dolayısıyla oluşan hasarlar,

Zemin gerilmelerinin aşılmış olması nedeni ile temelde farklı oturmalar ve dolayısıyla üst yapıda dönmeler ve bunun sonucu olarak meydana gelen ikinci mertebe etkilerin (P-Δ etkisi) oluşturduğu hasarlar olarak sayılabilir. Eleman bazındaki hasarlar ise aşağıda sıralanmıştır [1] :

Kirişlerde, özellikle kiriş mesnetlerinde ve kirişlerin kirişlere bindiği yerlerde oluşan kayma ve eğilme çatlakları,

Kolonlarda oluşan kayma çatlakları, kolon uçlarındaki mafsallaşmalar (donatının akması ve/veya betonun ezilmesi),

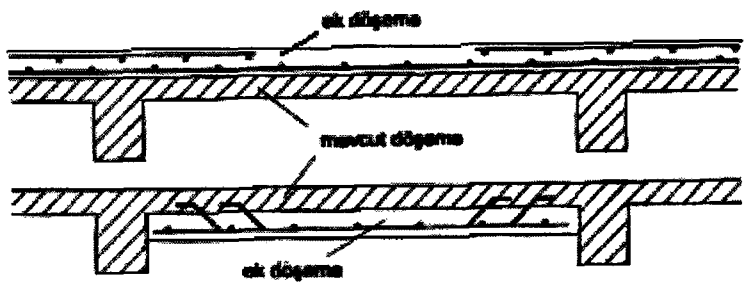
Perdelerde oluşan kayma çatlakları (eğik ve X şeklinde çatlaklar),

Dolgu duvar çatlakları (eğimli ve X şeklindeki çatlaklar).

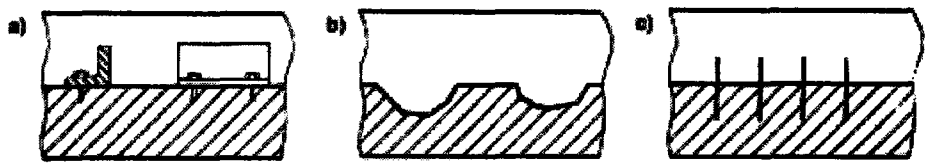
# 2. TAŞIYICI SİSTEM ELEMANLARININ GÜÇLENDİRİLMESİ

## 2.1 Döşemelerin Güçlendirilmesi

Döşemeler genel olarak düşey yükleri taşımak için projelendirilirler. Yatay yük etkisinde bu yükleri düşey taşıyıcılara (kolon ve perde) iletecek dayanım ve rijitliğe sahip olmaları arzu edilir. Hasarlar, genellikle döşemenin büyük boşluk olan kısımlarında ve doğrudan perdeye mesnetlendiği yerlerde meydana gelir. Hasarın onarılması yanında, kalınlığı yeterli olmayan döşemenin kalınlığının artırılması veya eklenen yeni perde duvarlarıyla olan yük aktarımının sağlanması gerekir. Yerel çatlak veya hasarlar epoksi, çimento şerbeti veya püskürtme beton ile onarılabilir. Bu sırada özellikle bozulan betonun uzaklaştırılması ve kırılan veya burkulan donatının kesilerek kaynakla yeni donatının eklenmesi gerekir. Döşeme kalınlığının artırılmasıyla, kesitin eğilme rijitliği artırılır. Üstten yeni beton tabakası ile kalınlaştırılabileceği gibi alttan püskürtme beton uygulanarak döşemenin dayanımı artırılabilir (Şekil 2.1). Bu sırada yeni kısımlara uygun donatılar da yerleştirilmelidir. Yeni donatının mevcut olana kaynaklı parçalarla bağlanması, sistemin bütünlüğü bakımından istenir. Yeni ve mevcut donatı arasındaki kayma gerilmesinin akışını sağlamak için yüzeyin pürüzlendirilmesi yanında, donatı veya çelik profil parçalarından da faydalanılabilir (Şekil 2.2) [2].




Şekil 2.1 Döşemenin kalınlaştırılarak Güçlendirilmesi




Şekil 2.2 Mevcut döşeme ile yeni döşeme arasında kayma gerilmesi bağının sağlanması

a) çelik profil parçalarıyla, b) yüzeyi pürüzlendirerek, c) epoksi uygulaması ve donatı ekerek

Döşemeler, kalınlığının açıklığa göre ince olması, döşeme beton dayanımının projede öngörülenden az olması, donatı yetersizliği, kalıpların erken sökülerek betonun daha tam dayanıma ulaşmadan yüklenmesi ile zamana bağlı olan sünme sehimlerinin daha büyük olması gibi nedenlerle aşırı sehim ve çatlaklara sahip olabilir. Yapılan çeşitli deneyler sonucu döşemelerin hesap yüklerinin 3-4 katı yükler altında aşırı sehim ve çatlaklı bir durumda yük taşımaya devam ettiği gözlenmiştir [3].

## 2.2 Kirişlerin Onarım Ve Güçlendirilmesi

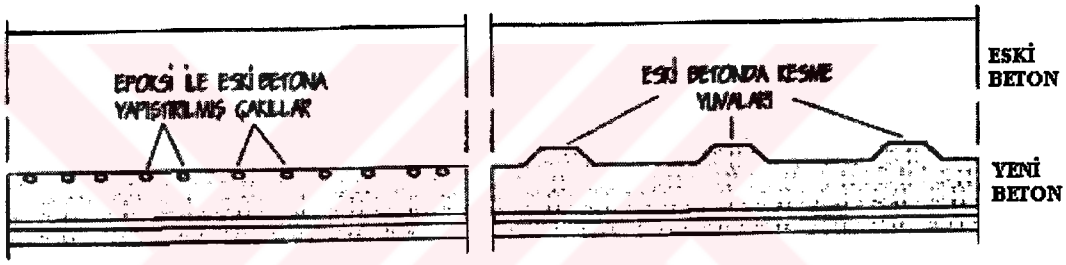
Hasar gören veya dayanım ve rijitliği yeterli olmayan kirişler değişik şekillerde onarılır ve güçlendirilir. Bu işlem sırasında komşu kolonları da göz önüne alarak kuvvetli kiriş-zayıf kolon türünden birleşim bölgesinin meydana getirilmemesine dikkat edilmelidir. Kuvvetli kiriş- zayıf kolon durumunda, deprem etkisi altında, kolon uçlarında mafsal oluşması şeklinde tehlikeli bir durum ortaya çıkar.

Hafif çatlaklı kirişler, epoksi veya çimento şerbeti enjeksiyonu ile onarılabilir. Betonun kırılması ve ezilmesi, aderansın bozulması, donatının kopması veya kırılması gibi ağır hasar durumlarında hasarlı kısmın kaldırılması ve yenisinin yapılması gerekir. Bu durumlarda, kirişin geçici olarak askıya alınması uygundur [2].

### 2.2.1 Betonarme Mantolama

Betonarme mantolama işi kirişin bir, üç veya dört yanına beton ilave edilerek gerçekleştirilebilir. İki yan yüzüne veya alt ve üst yüzlerine uygulanmasına uygulamada az rastlanmaktadır [4].

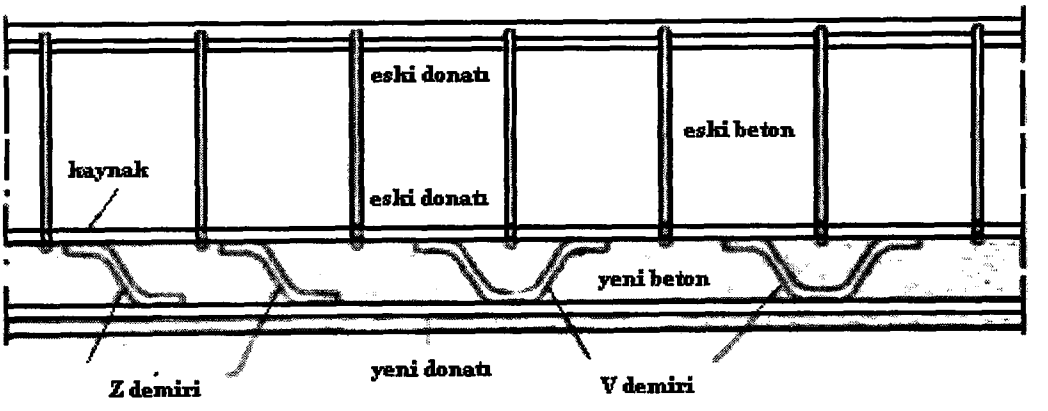
Burada problem, yeni ve eski betonların kaynaştırılması ve yeni konulan çekme donatılarının betona ankrajıdır. Mevcut ve yeni beton arasında uygun ve yeterli aderans temin edilmesi ve ilave edilen donatının mevcut donatıya kaynaklanması için beton örtü çentilip uzaklaştırılır. Eski ve yeni beton kaynaşması için eski beton yüzeye epoksi reçinesi ile çakıllar yapıştırılabilir veya betonda kesme takozları da oluşturulabilir (Şekil 2.3)[3].



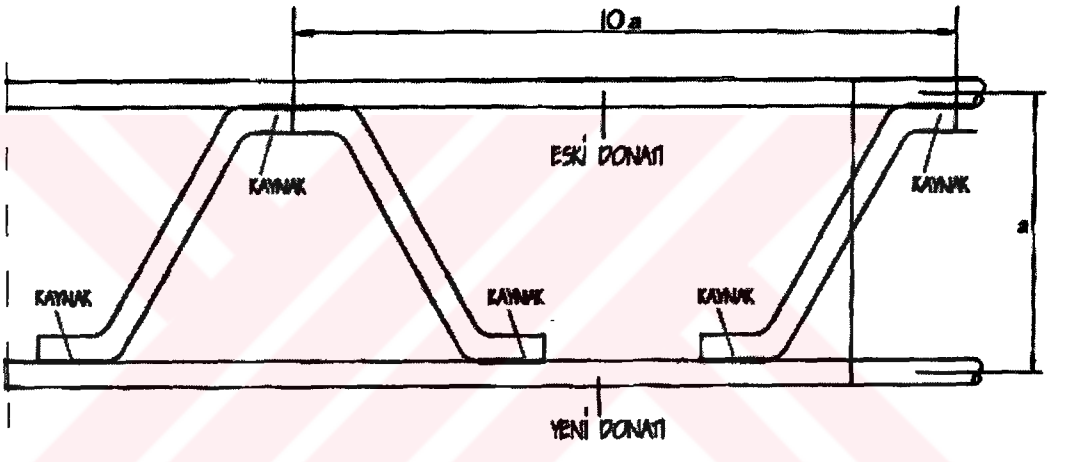

Şekil 2.3 Epoksi ile çakıl yapıştırma ve betonda kesme yuvaları oluşturma ile eski ve yeni betonun kaynaştırılması

Güçlendirme, eğilme veya kesme için olabilir ve buna göre güçlendirmede boyuna veya enine donatı öncelik kazanır.

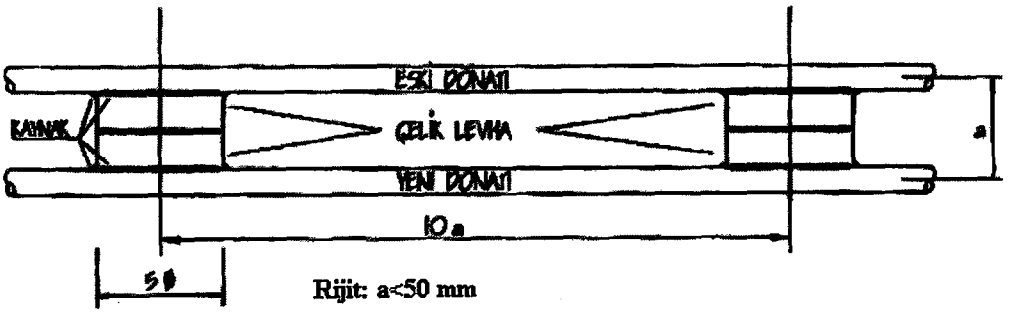
Yeni konulan çekme donatısı ile eski donatının bağlanması V yada Z bağlantısı denilen bir donatının eski ve yeni donatılara kaynaklanması ile yapılmaktadır. Şekil 2.4'de bu tür bağlantı ayrıntısı gösterilmektedir. Bu tür bağlantı kiriş beton enkesitinin de genişletildiği zaman gereklidir. Çünkü yeniden eklenecek donatıların, eklenen yeni beton enkesitin en alt düzeyine yakın bir yerde olması ile moment kolu uzayacağından moment kapasitesi artar. Eğer enkesit genişletilmesine gerek duyulmadan yalnız çekme donatısı eklenmesi ile yetinilecek ise eski boyuna donatıya yeni donatı araya yer yer levha veya çubuk konularak kaynaklanabilir. Şekil 2.5'de bu iki ayrı yöntem verilmektedir. Bu iki tür bağlantıdan Z ve V bağlantısı esnek, diğer tür bağlantı ise rijittir.




Şekil 2.4 Kiriş güçlendirmesinde eski ve yeni boyuna donatının V ve Z demirleri ile bağlanması




Esnek: a>100 mm

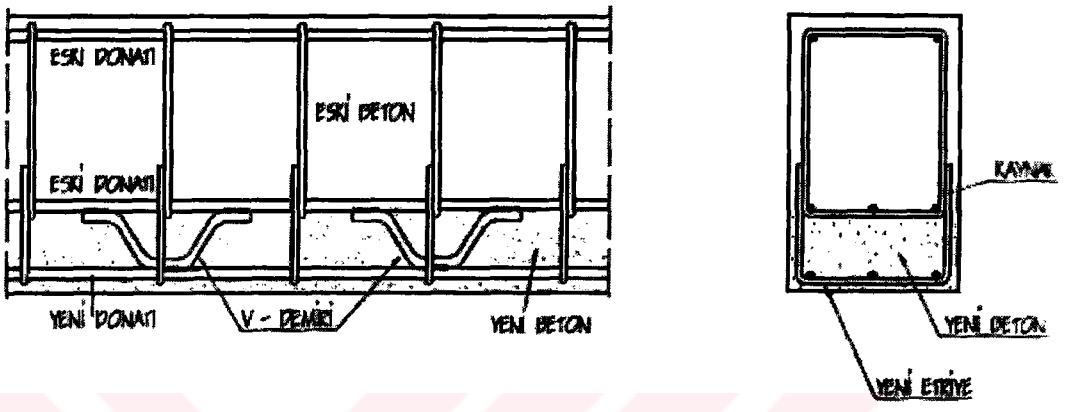



Rijit: a<50 mm

Şekil 2.5 Kirişlerde eski ve yeni donatıların birbirine rijit ve esnek olarak bağlanması

Kiriş enkesitinin genişletilmesi ile eski ve yeni donatıların birbirine bağlanması yanında kiriş enine donatısının da uzatılması gerekir. Etriyelerin eski ve yeni boyuna donatıların birlikte çalışmasına olumlu katkısı olduğu bilinmektedir. Şekil 2.6'da

enkesiti güçlendirilmiş bir kirişin görünüşü ve kesiti verilmektedir. Burada verilen güçlendirme ayrıntısı ile kirişin açıklıktaki (+) eğilme momenti taşıma gücü artırılmaktadır. Eklenen etriyelerin eski etriyelere kaynaklanması, eski ve yeni boyuna donatıların birlikte çalışması için de V demirleri ile birbirlerine kaynaklanmaları gerekir.

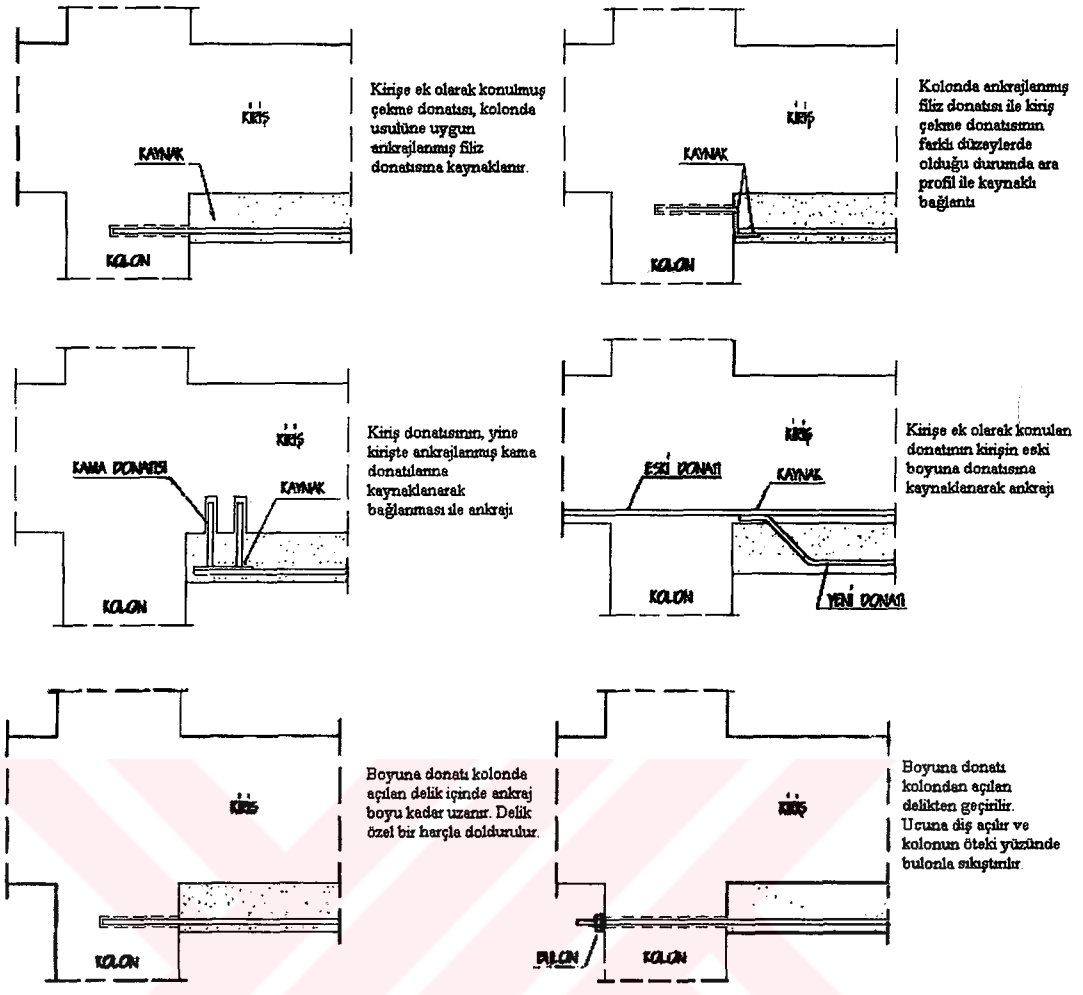



Şekil 2.6 Kirişlerde V demirleri ile enkesit güçlendirmesinde ek etriyelerin kaynakla bağlanması

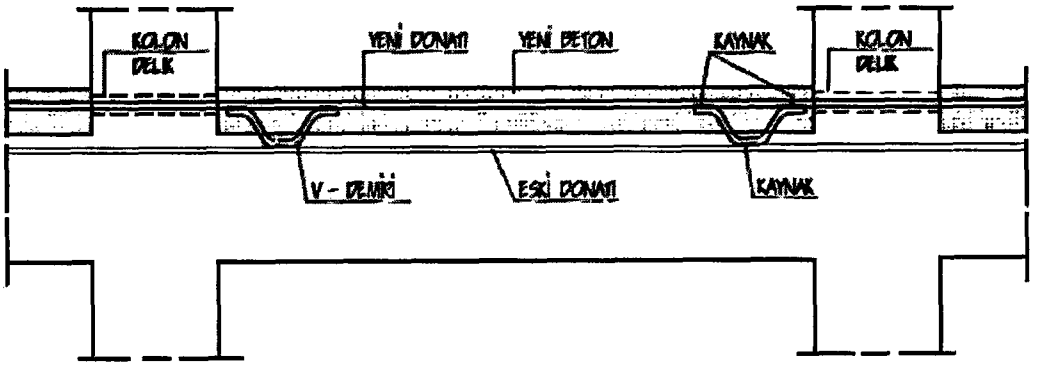
Kiriş güçlendirme yönteminde ek olarak konulan boyuna donatıların ankrajı bir diğer önemli ayrıntıdır. Şekil 2.7'de kiriş alt yüzüne ek olarak konulan boyuna donatıların ankrajı için değişik uygulamalar gösterilmektedir.

Depremlerde kirişlerde oluşan momentler nedeniyle kiriş uçlarındaki negatif moment bölgelerinin de güçlendirilmesi gerekebilir. Şekil 2.8'de kirişin üst yüzünde mesnetlerdeki moment kapasitesinin artırılması için güçlendirme ayrıntıları verilmektedir. Kiriş üst donatılarının kolonda açılacak yuvalardan geçirilmesi ve mevcut donatı ile birlikte çalışması için V demirleri ile eski donatıya kaynaklanması uygundur.

Onarım ve güçlendirme sırasında kirişe donatı eklenirken kirişin eski ve yeni donatılarının toplam yüzdesinin dengeli kırılma için gerekli maksimum donatı yüzdesini aşmamalıdır [3].




Şekil 2.7 Kiriş güçlendirmesinde Boyuna donatıların ankraj biçimleri




Şekil 2.8 Kiriş mesnetlerinde negatif moment kapasitesini artırmak için güçlendirme

#### 2.2.1.1 Bir Taraftan Mantolama

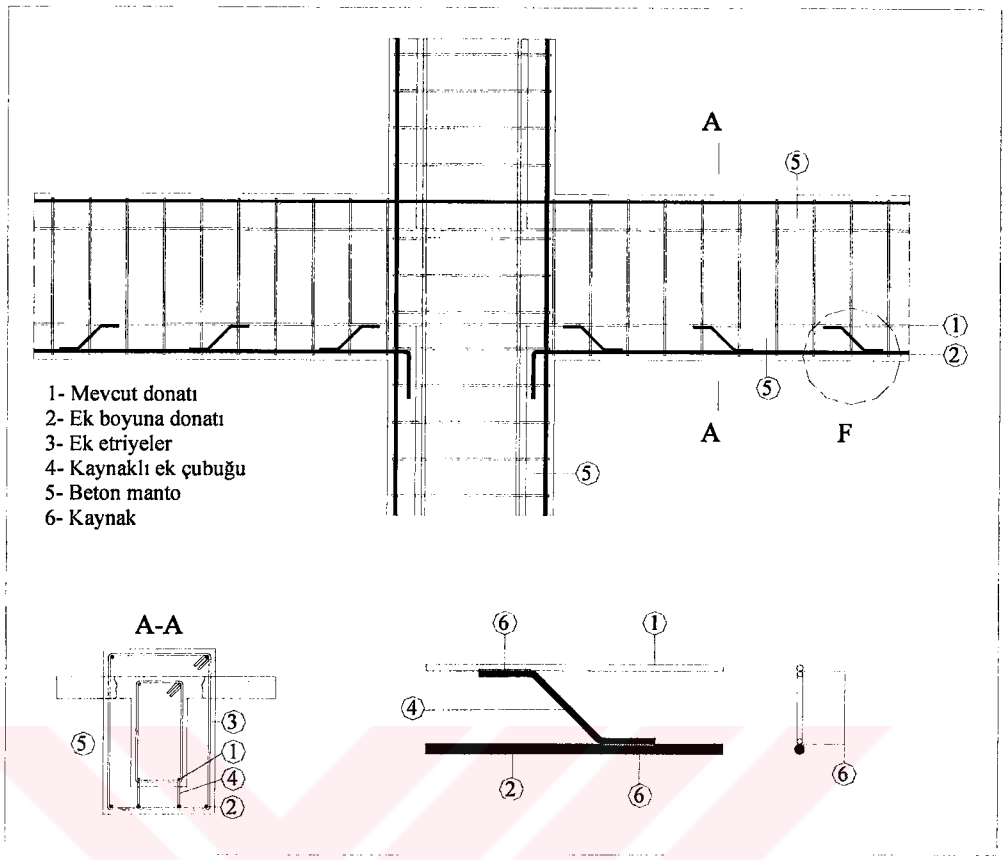
Bir taraflı mantolama, mukavemet için kirişin yalnız alt yüzüne ilave yapılması bir kirişin yalnız açıklığında eğilme momentine karşı mukavemetini artırmak gerektiğinde kullanılmalıdır. Beton örtü mevcut boyuna donatıya kadar ve mevcut etriyelerde daha yukarılara kadar çentilmelidir. Donatı ankrajı yukarıda anlatılanlara göre düzenlenir. Şekil 2.6'da bir taraflı kiriş mantolaması gösterilmiştir.

#### 2.2.1.2 Dört Taraftan Mantolama

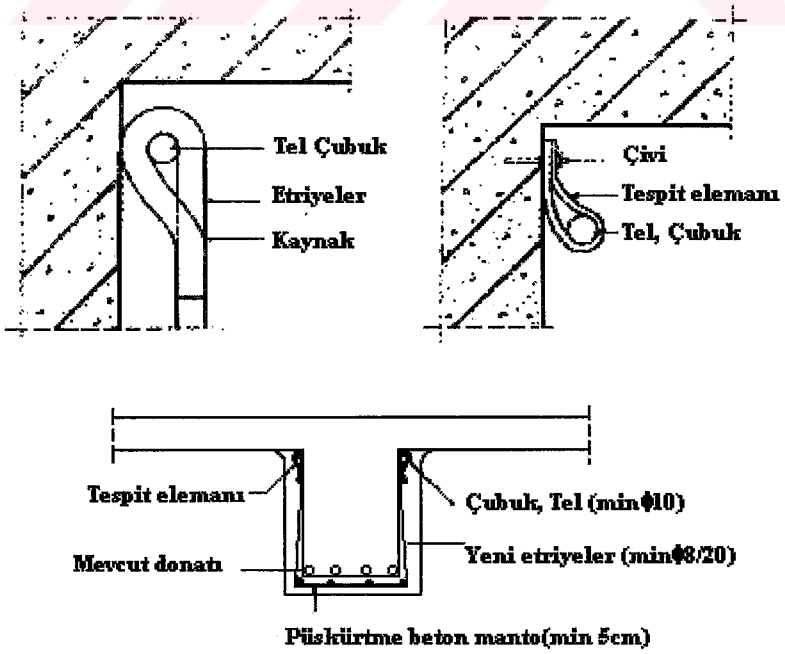
Dört tarafından mantolama (Şekil 2.9) veya bir kirişe kılıf geçirilmesi eğilme ve kesme mukavemetini önemli derecede artırır. Hem donatı alanı, hem de yükseklik ve genişlik bakımından beton kesitleri büyür. Kuvvetli kiriş-zayıf kolon oluşturmaktan kaçınmak ve uygulama kolaylığı oluşturması açısından genellikle kolon mantolaması ile beraber uygulanır. Etriyeler döşemede açılmış deliklerden geçer ve tüm kirişi çevirir. Bu delikler, betonu döşeme altındaki manto kısmına yerleştirmekte de kullanılabilirler. Negatif eğilme momentleri için de ilave donatı kullanılabilir. Bu donatı, kiriş bölgesinde döşeme yüzeyi üzerinde ve mevcut kolonun dışarısında yerleştirilmelidir. Boyuna donatı çubuklarının kolon mantosunun düğüm bölgesine ankrajına özel dikkat gösterilmelidir [4].

#### 2.2.1.3 Üç Taraftan Mantolama

Kirişin üç tarafına manto giydirilmesinde de döşemenin alt yüzü altında ilave yapılabilir (Şekil 2.10). Püskürtme beton bu tür mantolama için en uygun yöntemdir. Zayıf tarafı, mantonun yanlarının üst kısımlarında yeni etriyelerin ankrajıdır. Bu detay, dört taraflı mantolama kadar iyi değildir. Çünkü detayın etkinliği mekanik olarak çakılmış çivilerin dinamik mukavemetine ve halat gibi elemanların, yeni etriyeler için, etkin ankraj temin etmek hususunda rijitliklerine bağlıdır [4].

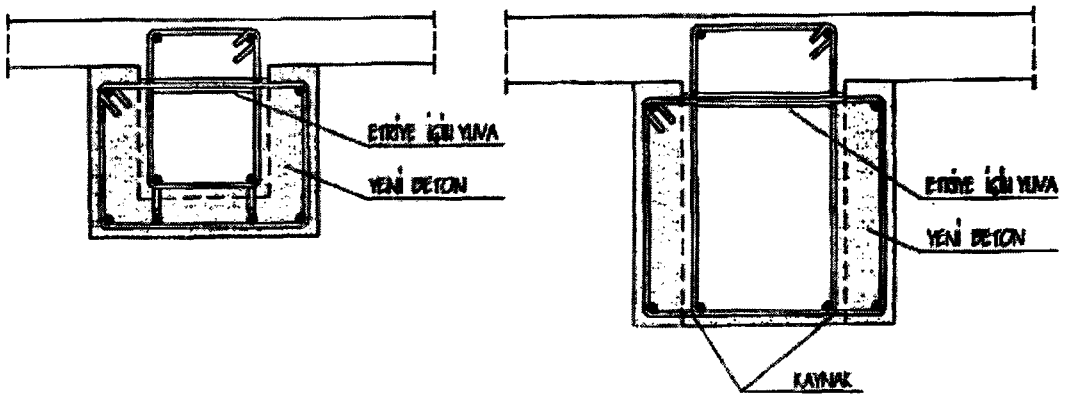



Şekil 2.9 Betonarme kirişin dört yanından mantolanması




Şekil 2.10 Betonarme kirişin üç yanından mantolanması

Üç taraftan ve iki yan yüzden kiriş mantolaması detayı Şekil 2.11'de verilmiştir.




Şekil 2.11 Kirişin enkesit ve donatı alanının artırılması

Betonarme kiriş mantolamasında şu şartlara da uyulmalıdır:

Yeni malzemelerin mukavemeti mevcut malzemenin mukavemetine eşit veya ondan fazla olmalıdır.

Manto kalınlığı püskürtme beton halinde 4 cm den, yerinde dökme beton halinde 8 cm den az olmamalıdır.

Çerçevelerin kiriş donatıları kirişin üstünde ve altında sürekli olmalıdırlar ve tablasız kesite göre oranları 0,005 den az olmamalıdır.

Üst ve alt donatı kolon yüzünden itibaren aderans boyundan az olmamak üzere ankre edilmeli veya düğüm bölgesinden sürekli olarak geçmelidir.

Mesnet bölgelerinde kirişin tüm yüksekliğinin 4 kata kadar bir uzunlukta etriye aralıkları kiriş yüksekliğinin ¼ ünden fazla olmamalıdır. Bu bölge dışında bu aralıklar iki katına çıkarılabilir [4].

Betonarme katmanla kiriş onarım ve güçlendirilmesi konusunda yapılan deneyler sonucunda, gerek onarım gerekse güçlendirme olsun, eklenen katmanın referans olarak kullanılan monolitik (birdöküm) kiriş kadar iyi davrandığı gözlenmiştir. Yük altında onarılan kiriş bile iyi davranmış, monolitik referans elemanının kapasitesinin %90'ına ulaşmıştır. Uygulamada, onarılan veya güçlendirilen kirişin monolitikmiş

gibi hesaplanan taşıma gücünün %90'ının alınması önerilecektir. Rijitlik için de benzer bir oran kullanılabilir [5].

### 2.2.2 Çelik Levha Yapıştırma İle Güçlendirme

Güçlendirme için çelik levha ile donatma yeni bir tekniktir ve esas itibarıyla statik yüklere maruz olan kirişlerin yan yüzlerine uygulanarak kesme mukavemetini ve/veya alt yüzüne uygulanarak açıklıkta eğilme mukavemetini artırmak için kullanılabilir (Şekil 2.12). Aynı kirişte hem eğilme hem de kesme için levha yapıştırılmış ise bunlar köşede kaynaklanmaktadır.

Bu yöntemle yapıştırılan levhaların enkesit alanı güçlendirme için gereken eğilmeden çekme yada kesme donatısının alanına eşdeğer miktarda alınmaktadır. Daha sonra levhalar değişik yöntemlerle betona yapıştırılmaktadır.

Betona yapıştırma işleminde hem levhanın hem de betonun yüzeylerinin hazırlanması gerekir. Aşağıdaki biçimde uygulama yapılır:

Önce çelik levhaların yüzeyi perdahlanarak pürüzlerden arındırılmalıdır.

Beton yüzeyindeki pürüzler jet taşı gibi aletlerle tümü ile giderilmeli, çukurluklar epoksi harcı ile doldurulur, harç sertleşince perdahlanır.

Kirişe yada döşemede ankraj bulonları için açılmış deliklere bulonlar yerleştirilir.

Döşeme yada kirişte ankraj bulonlarına karşılık gelen noktalarda levhada delikler açılmalı ve bu delikler ankraj bulonlarının kolayca girebilmesi için alıştırılmalıdır. Ayrıca eğer enjeksiyon yöntemi uygulanacaksa levhada enjeksiyon borularının karşısına geleceği delikler de açılmış olmalıdır.

Eğer enjeksiyon yöntemi uygulanacaksa çelik levhaların yüzeyi tiner ile silinir. Enjeksiyon ve taşıma boruları levhaya yerleştirilir. Levhanın enjeksiyon taşma borularının çevresi özel epoksi harcı ile sıvanarak kapatılır.

Daha sonra enjeksiyon borularından epoksi harcı sıkılır.

Eğer basınçla yapıştırma yöntemi uygulanacaksa Şekil 2.12'de görüldüğü gibi özel baskı düzeni ile altına epoksi reçinesi sürülmüş levha yine epoksi reçinesi sürülmüş

yüzeye yapıştırılır ve baskı düzeninin vidaları sıkıştırılarak epoksi sertleşinceye kadar baskı uygulanır. Daha sonra baskı düzeni sökülür [3].

Kirişe yapıştırılan çelik plakalarla yapılan onarım ve güçlendirme deneylerinde iki önemli sonuç elde edilmiştir [5].

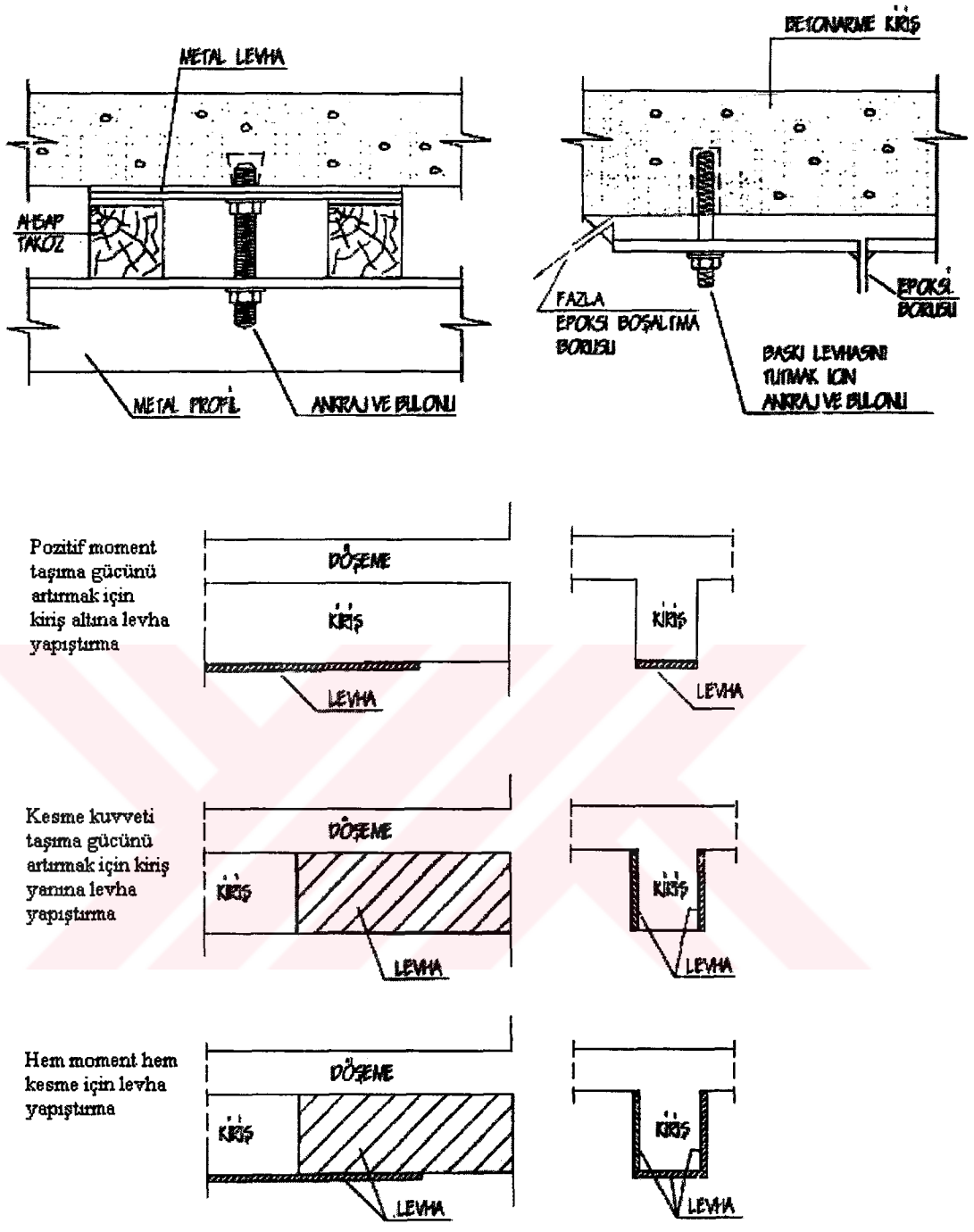
Çelik plakalar aynen betonarme donatı gibi teorik olarak gereksinme duyulmayan noktadan kiriş derinliği kadar uzatılıp kesilmelidir.

Çelik plaka uçları bir kelepçe ile kiriş gövdesine bağlanmalıdır.

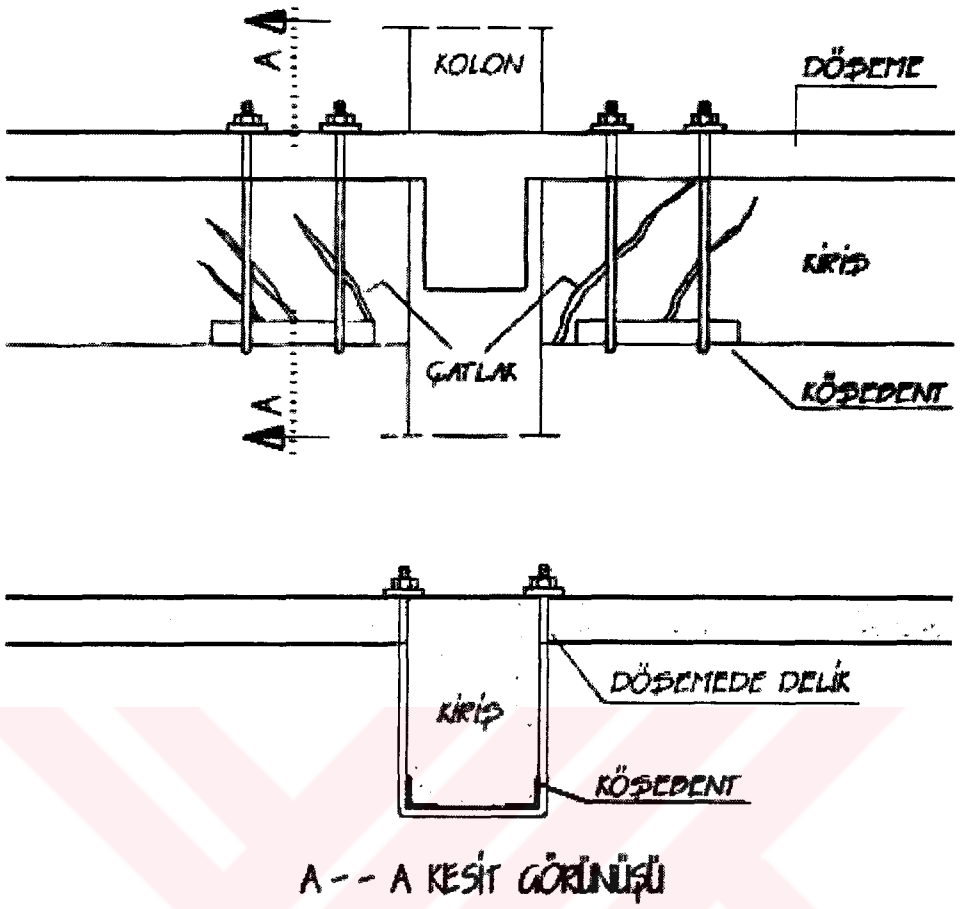
Bu yöntemin depremlerden ileri gelen değişken yüklere maruz kirişlere uygulanması tavsiye edilmez [4].

### 2.2.3 Kesmeye Karşı Mekanik Bağlayıcı İle Güçlendirme

Kirişlerde kesme kuvvetlerini taşıma kapasitesi yetersizliği sonucu olan eğik çekme çatlakları mesnet yakınlarında olmaktadır. Bu gibi çatlakların büyümesinin önlenmesi ve mesnete doğru en yüksek değerlere ulaşan kesme kuvvetlerinin taşınması için Şekil 2.13'de gösterilen biçimde sağlanabilir.Uygulama yapılmadan önce çatlaklar enjeksiyonla kapatılmalıdır. Bu uygulama çatlakların çatlağın mekanik bağlayıcılarla bir nevi "dikilmesi" işlemidir. Bu dikişler çatlağı kesen çubuklar ve çubukların uçlarının uygun biçimde bağlanması ile oluşur. Bu tür mekanik bağlayıcılar süreksiz olduklarından gerilme birikimi yapabilir. Uçlarındaki sıkıştırılmış somunlar dayandıkları yerlerde yerel ezilme ve kırılmalara yol açabilir. Mekanik bağlayıcılar bağladıkları yüzeyler arasında oluşturdukları sürtünme kuvveti ile aktarımı yaparlar. Mekanik bağlayıcılar ile çatlak yüzeylerine dik yönde bir kuvvet uygulandığı zaman, diğer bir deyişle vidalar sıkıştırıldığı zaman etkili olarak çalışmaya başlarlar. Eğer çatlağın genişleme eğilimi varsa, çatlağa dik yöndeki çubuklarda ek gerilmeler oluşmaya başlar. Çatlak, çubuklarda oluşan ek gerilmelere karşılık olan birim uzama miktarları kadar açılabilir. Bu yönteme benzer bir detay da Şekil 2.14'de gösterilmiştir [3].




Şekil 2.12 Çelik levha yapıştırma ile kiriş güçlendirme

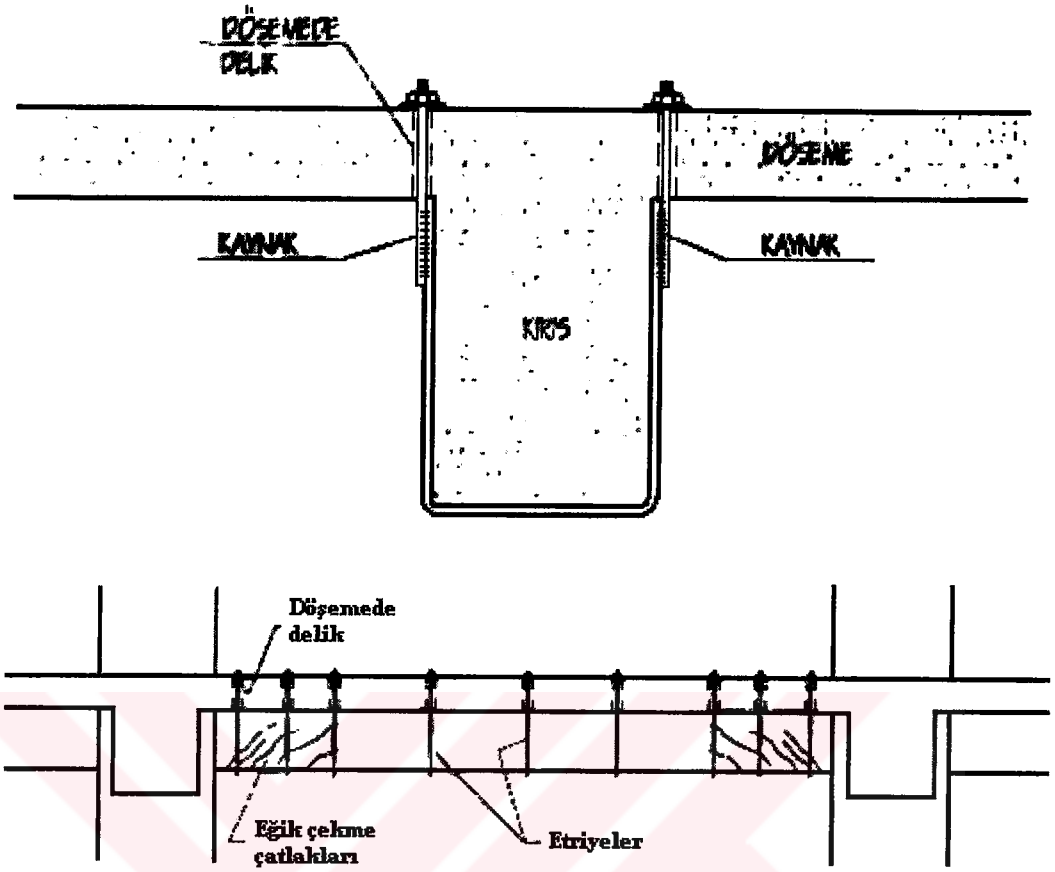



Şekil 2.13 Kiriş eğik çekme çatlağının onarımında mekanik bağlayıcı kullanılması

Kirişlerin onarım ve güçlendirilmesinde aşağıdaki hususlara da dikkat edilmelidir :

Kirişlerin onarımında mevcut bölümün kriko ile kaldırılarak üzerindeki yükün alınması, onarılan bölümdeki beton tam dayanıma ulaştıktan sonra krikolar yada destekler kaldırılarak yükün hem eski hem de yeni bölümlere aktarılması sağlanır. Yapılmış çeşitli deneylerde kirişin askıya alınarak yükünün boşaltılmış durumda yapılan onarım ve güçlendirmenin daha yüksek dayanım sağladığı ve yük altında deformasyonların daha küçük olduğu gözlenmiştir. Bu nedenle kiriş onarımında kiriş yükünün boşaltılmasında yarar vardır.

Projelendirme aşamasında, güçlendirilmiş elemanda yeterli eğilme ve kesme mukavemeti sağlanmalı ve hesapla kontrol edilmelidir. Deprem etkilerine maruz çerçevelerde kiriş ve kolonların rijitlik değerlerinin sınırları incelenmeli ve plastik mafsalların kolonlarda değil kirişlerde oluşacağı hususunda emin olunmalıdır [4].

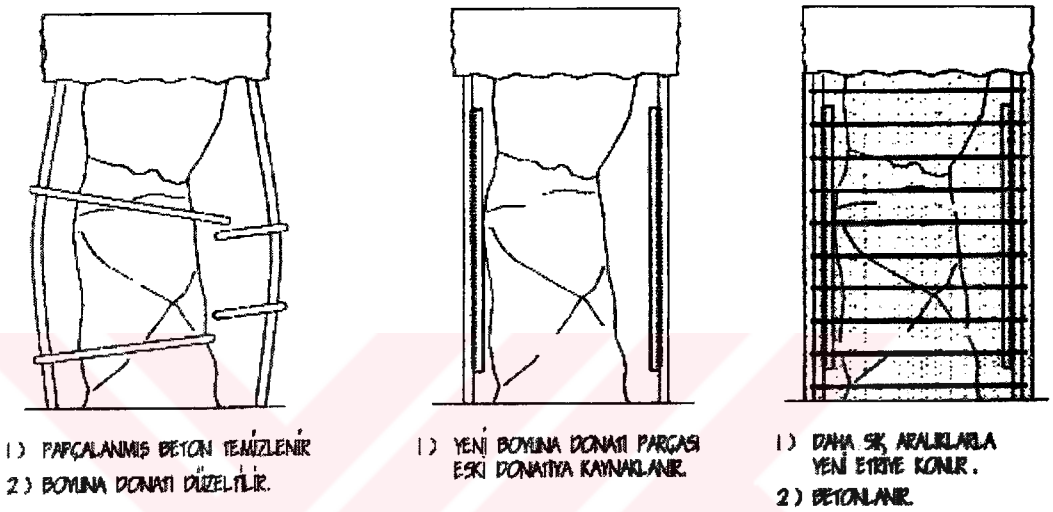



Şekil 2.14 Kirişlerin etriyelerle güçlendirilmesi

## 2.3 Kolonların Onarım Ve Güçlendirilmesi

Hasar görmüş bir kolonun deprem etkilerini taşıyabilir duruma getirilmesi veya yatay yük taşıma kapasitesinin artırılması için kolonların güçlendirilmeleri gerekebilir. Kolonun eğilme dayanımı kesit alanının büyütülmesiyle ve yeni boyuna donatılar ilave edilerek sağlanır. Buna karşılık kesme kuvveti dayanımı ve sünekliği, enine donatının sıklaştırılmasıyla gerçekleştirilir. Binanın planında kolonların kesitlerini birbirine yaklaştırmak sistemin davranışının dengeli olmasını sağlar. Kolonlarda hasar durumuna göre çeşitli onarım ve güçlendirme türü söz konusu olabilir. Kirişlerde olduğu gibi kolonlarda da 0,1~5 mm genişliğindeki çatlaklar epoksi reçinesi ile onarılabilir. Bu amaçla 0,20~1,00 m aralıkla açılan deliklerden epoksi aşağıdan başlayarak yukarı doğru enjekte edilir. Daha büyük çatlaklara çimento şerbeti enjeksiyonu uygun düşebilir. Ancak güçlendirilecek bölgenin yapılacak

deneylerle kontrol edilmesi gerekir. Eğer, kolonda yerel olarak beton ezilmesi varsa, bu bölgenin temizlenmesi, pürüzlendirilmesi durumuna göre etriye veya boyuna donatı ilave edilmesi uygundur. Beton dökülmeden, mevcut yüzeylerin suya doygun duruma getirilmesi, eski ve yeni betonun bütünleşmesini sağlar. Bu amaçla özel kalıp kullanılması ve kesitin şişirilerek beton dökülmesi veya tamir harcı kullanılması uygun olabilir. Betonun sertleşmesinden sonra fazla olan kısımlar kazınır (Şekil 2.15) [2].

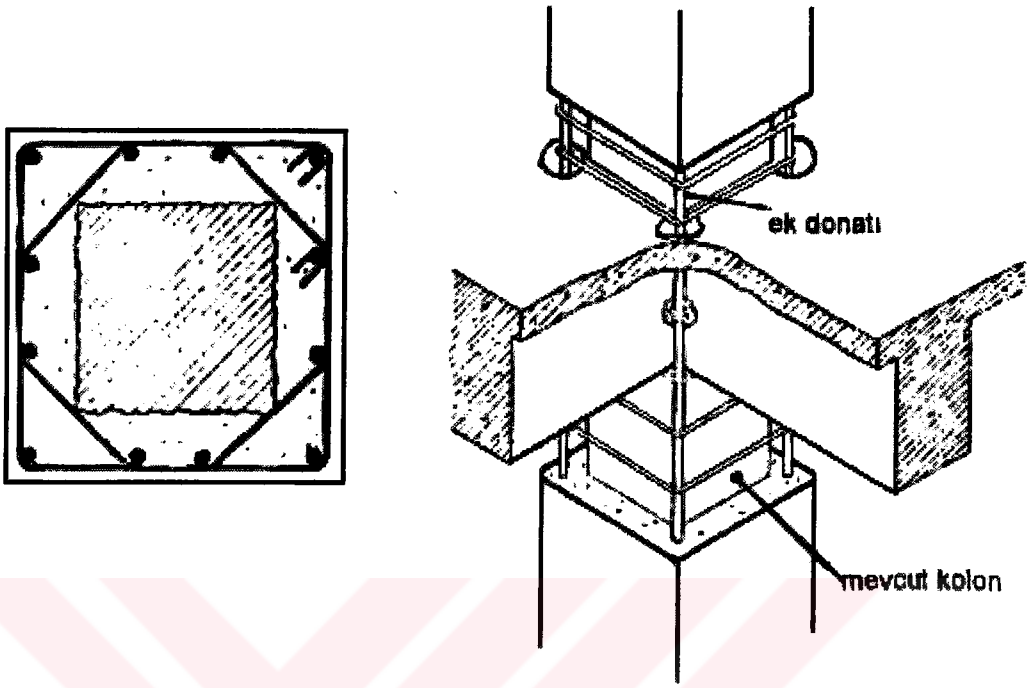



Şekil 2.15 Kolonun yeni donatı eklenmesi ile onarılması

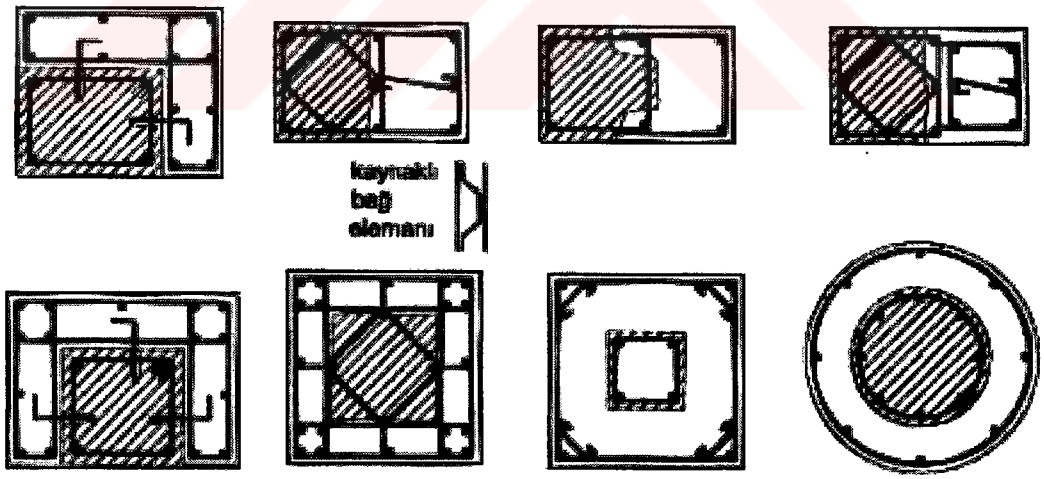
### 2.3.1 Betonarme Mantolama

Kolonun taşıma gücünün artırılması için yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir (Şekil 2.16). Mantolamada mevcut kolona, beton kesiti ve donatı eklenir. Mevcut ve yeni kolonun bütünleşmesini sağlamak için ara yüzün pürüzlendirilmesi gereklidir. Manto kalınlığının, betonlama sırasında boşluk kalmaması için 10 cm den az olmaması uygundur. Uygulamadaki duruma göre kolon bir, iki, üç ve dört tarafından mantolanabilir (Şekil 2.17). Ancak, tüm çevreyi kaplayan bir mantolama tercih edilmelidir. Bu suretle mevcut ve yeni beton arasında tam bir kuvvet iletişimi sağlanabilir. Tüm çevrenin mantolanmaması durumunda, mevcut kolonun boyuna donatısının ve etriyesinin meydana çıkarılarak, yeni etriyelerin bunlara doğrudan veya bir bağ parçası ile kaynaklanması gereklidir. Dört taraftan mantolamada yüz pürüzlendirilmesi genellikle yeterli olursa da, büyük etkiler söz konusu olduğunda beton örtü tabakasının kaldırılması uygun olur. Özellikle bir, iki ve üç taraflı

mantolamada, mevcut kolonla manto kısmının bütünleşmesine özen gösterilmelidir. Bu amaçla L şeklindeki kenetlenme donatısı kullanılabilir.



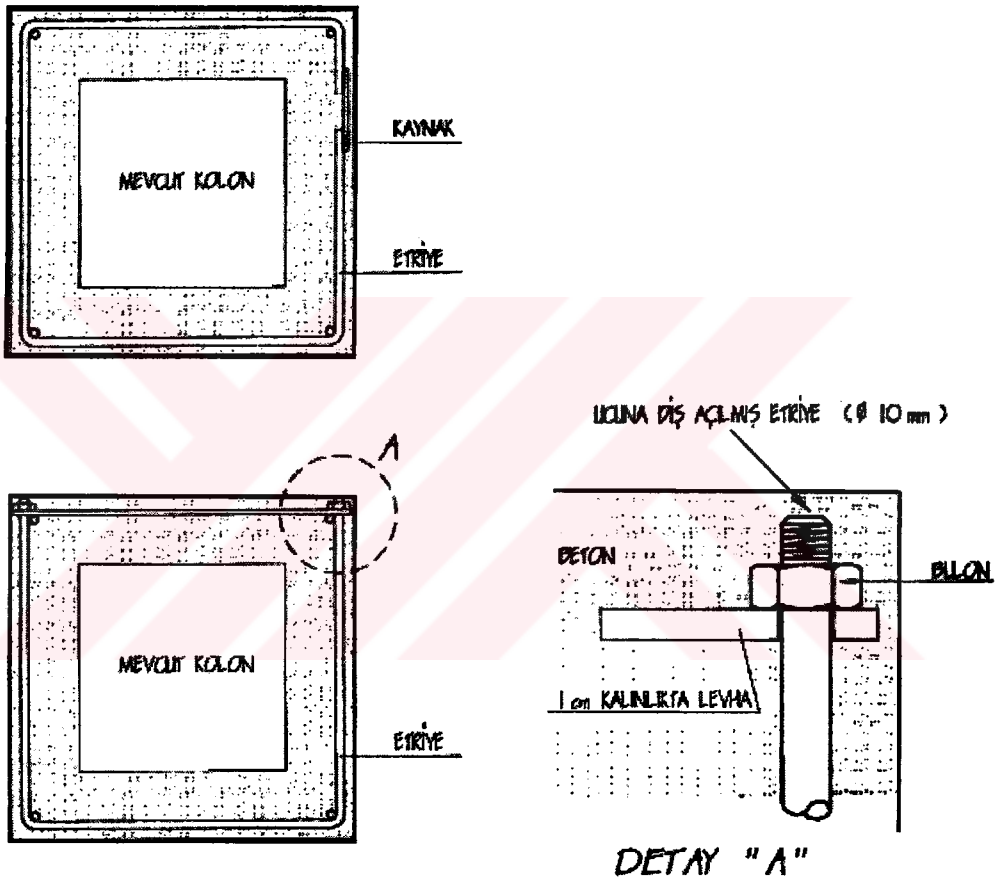

Şekil 2.16 Kolonun mantolama ile güçlendirilmesi




Şekil 2.17 Kolonun mantolama ile güçlendirilmesine değişik örnekler

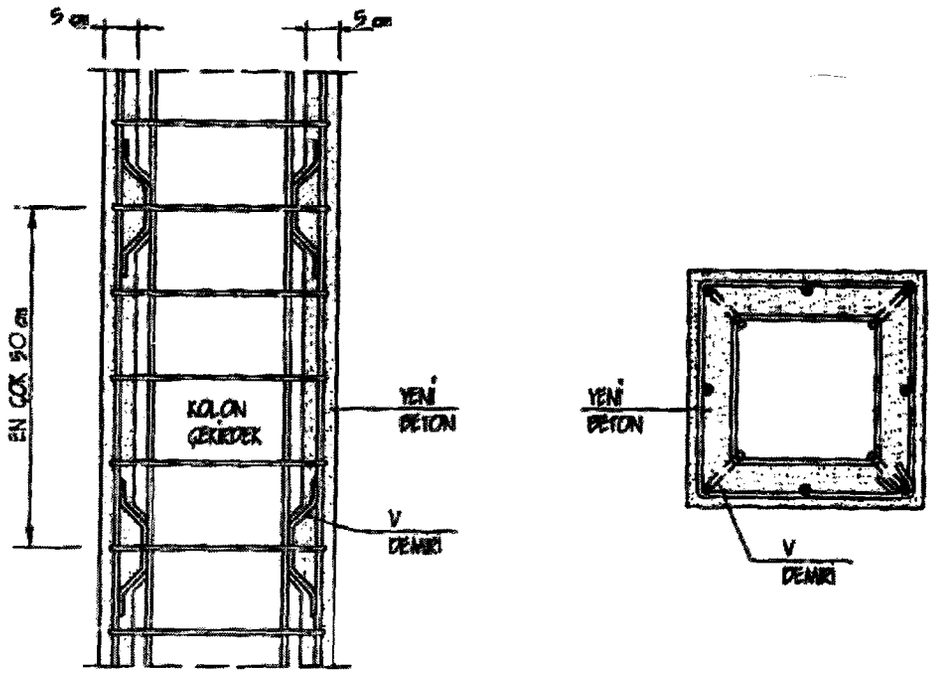
Kolonun eski ve yeni mantolanan bölümdeki donatıları arasındaki bağlantı Şekil 2.19'da verilen yöntemlerle yapılabilir. Rijit bağlantı 5 cm kalınlığında, esnek bağlantı ise 10 cm kalınlığında gömlek geçirmede uygulanmalıdır [3].

Güçlendirme için yeniden eklenen bölümlerde enine donatıların bağlanması, betonu ve boyuna donatıları sıkıca sarması gerekir. Bilindiği gibi etriyelerin, boyuna donatıların burkulmalarını önlemek, kesme gerilmelerini taşımak, betonu sararak yanal destek sağlayarak basınç dayanımını artırmak gibi görevleri vardır. Bunun için yeniden sarılan etriyelerde bir bolluk olmaması gerekir. Bu nedenle etriyeleri uçlarında bindirmeli kanca yerine kaynak yada bulonla sıkıştırmalı bağlantı yapmak çok daha etkili olacaktır. Bu ayrıntılar Şekil 2.18'de verilmektedir.

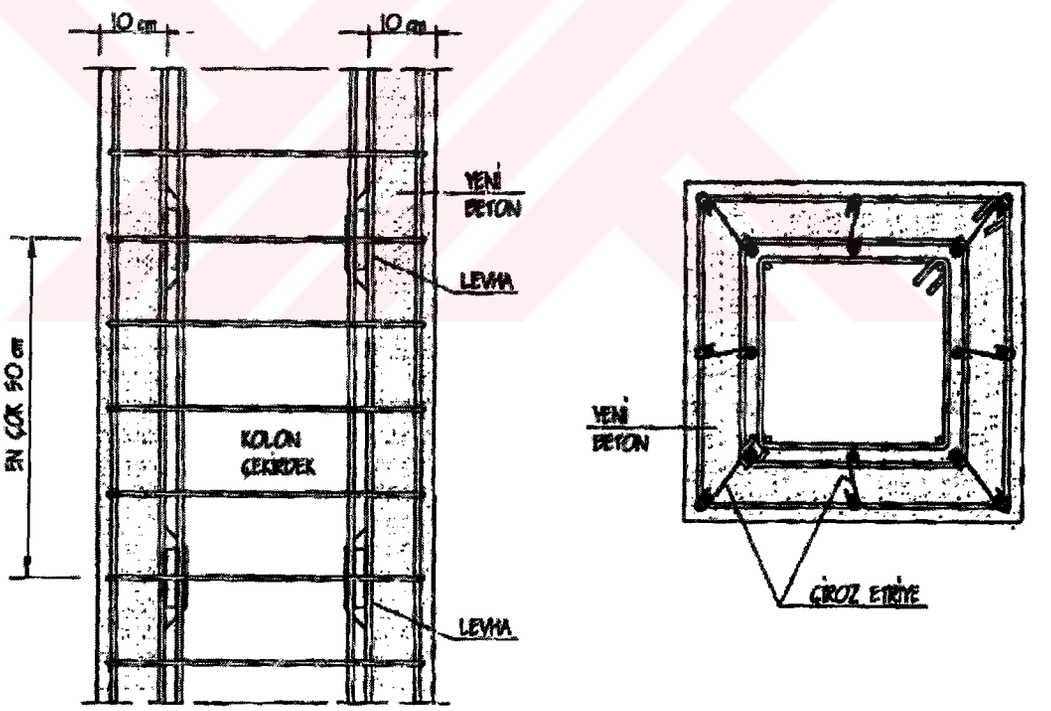



Şekil 2.18 Kolonda yeni eklenmiş bölümdeki etriyelerin betonu ve boyuna donatıyı sıkı sarması için ayrıntılar

Kolon mantolanması durumunda ek donatıların da basınç ve çekme kuvveti alabileceğini düşünerek, bunların kenetlenmesinin sağlanması ve manto gereken katlar arasında donatının sürekliğinin sağlanması önemlidir (Şekil 2.20). Mantolama işlemi üst katta devam etmiyorsa kolon boyuna donatılarının üst uçlarının ankrajlanmasında Şekil 2.22'de gösterilen yöntemler uygulanabilir. Şekil 2.21'de ise korniyerlerle kaynaklı olarak yapılan bir başka tür boyuna donatının ucunun makanik ankraj biçimi verilmektedir [6].




a) V - DEMİRİ İLE ESNEK BAĞLANTI

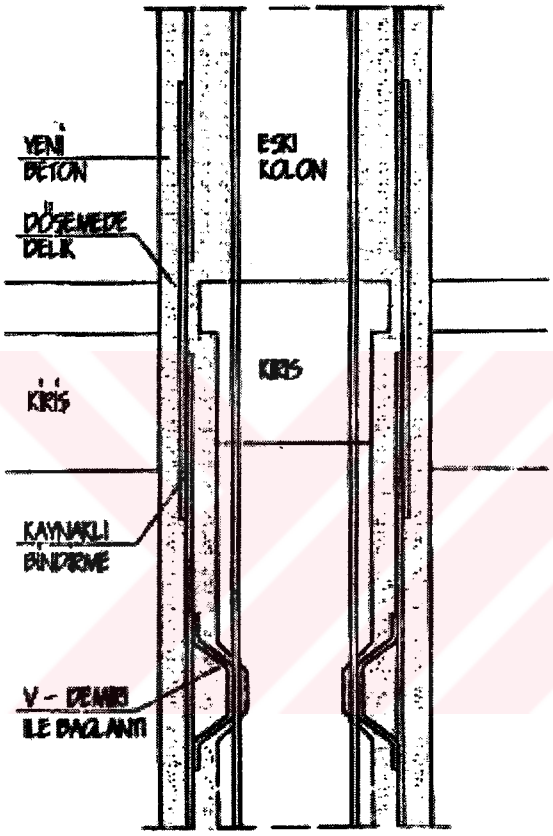



b) LEVHA KAYNAKLI RİJİT BAĞLANTI

Şekil 2.19 Kolonun eski ve yeni donatılarının birbirine rijit ve esnek olarak bağlanması

Kolonun normal ve kesme kuvvet kapasitelerinin artırılmasında, manto donatılarının döşemeyi delerek kiriş-kolon birleşim bölgesini geçmesine ihtiyaç olmayabilir. Ancak, bu durumda kolonun moment kapasitesi artırılmadığı gibi birleşim bölgesi de

güçlendirilmemiş olur. Eğer yapının güçlendirilmesi sırasında yatay deprem yüklerinin karşılanması için perdeler öngörülmüşse, bu tür mantolama kabul edilebilir. Böyle bir durum söz konusu değilse, döşemede açılacak deliklerden boyuna donatının devam ettirilmesi ve bu deliklerin beton dökmeyi sağlayacak büyüklükte olması gereklidir. Bunun gibi manto kısmında, kolonlar için öngörülen konstrüktif kurallara uyulması gerekir.



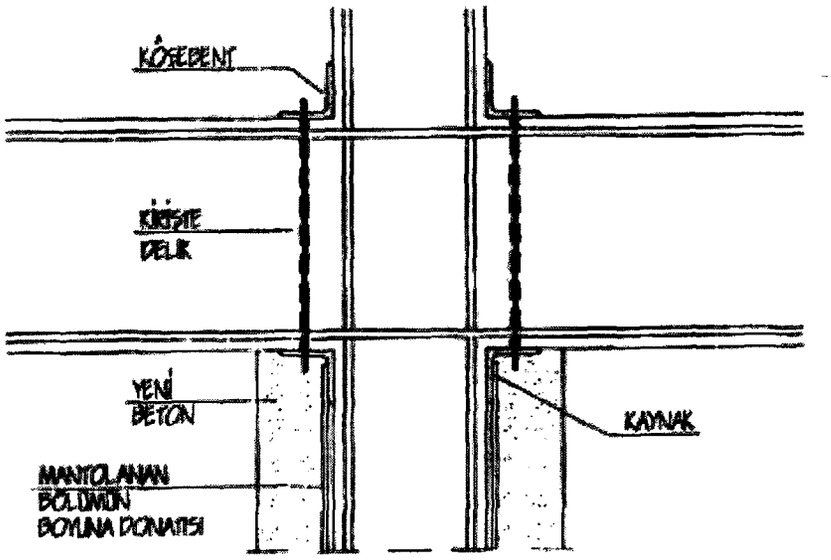



Şekil 2.20 Yeni eklenen kolon boyuna donatılarının kat düzeyinde eklenmesi

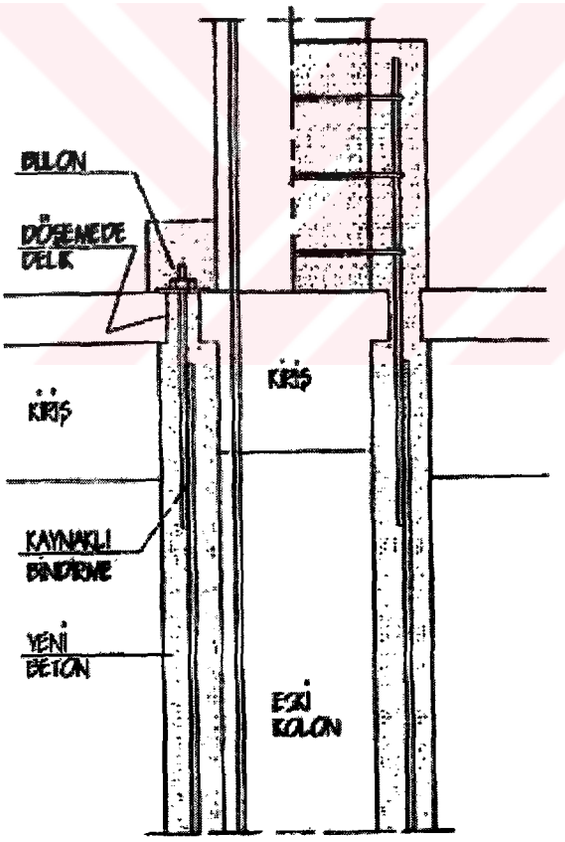
Mantolamada ayrıca şu hususlara da dikkat edilmelidir [4]:

Yeni malzemelerin mukavemeti kolonda mevcut malzemenin mukavemetine eşit veya ondan fazla olmalıdır. Yeni betonun mukavemetinin mevcut betonunkini en az 5 MPa geçmesi önerilir.

Mantonun kalınlığı püskürtme beton halinde en az 4-5 cm, yerinde dökme beton halinde en az 10 cm olmalıdır.




Şekil 2.21 Yeni eklenen kolon boyuna donatılarının mekanik ankrajı




Şekil 2.22 Yeni eklenen kolon boyuna donatılarının kolon üst başında ankrajı

İlave beton alanına göre ilave boyuna donatı oranı 0,01 den az 0,06 dan fazla olmamalıdır. Bu donatı dört yandan mantolama halinde dört adet çubuktan az ve çapları 14 mm den küçük olmamalıdır.

Etriyeler, köşe donatı çubuğu ve yanındaki boyuna çubuk etriye köşeleri tarafından yandan desteklenecek şekilde olmalıdır. Hiçbir ara çubuk köşeden 10 cm den daha uzak olmamalıdır.

Bazı hallerde mevcut kolonun içine delikler açmak, deliklerin içerisine epoksi ile etriye kancalarını tespit etmek veya kolonun kalınlığınca delik açarak etriyeleri yerleştirmek gerekebilir.

Etriyelerin çapları en az 8 mm olmalı, boyuna donatı çubuklarının çapının üçte birinden az olmamalıdır. Ancak kaynaklı donatı hasırı halinde bunun altına inilebilir.

Etriyeler arasındaki düşey aralık 20 cm den fazla olmamalıdır. Düğüm civarında kolonun serbest boyunun dörtte biri kadar bir uzunlukta bu aralık 10 cm yi geçmemelidir. Ayrıca bu aralığın manto kalınlığını geçmemesi de tavsiye olunur.

Kolonlarda uygulanan mantolamanın etkinliğini incelemek üzere çeşitli deneyler yapılmıştır. Bunlardan elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur [5].

Kolon yükünün askıya alınmadığı, güçlendirme ve onarım mantosunun yük altında yapıldığı durumlarda mantolanan elemanın taşıma gücü monolitik referans elemanlarının taşıma gücünün %50'si mertebesindedir. Aşağıda ise kolon yüklerinin askıya alınarak yapılan mantolamaya ilişkin sonuçlar verilmiştir. Aradaki etkinlik farkı dikkate alınarak kolon onarım ve güçlendirme uygulamalarında yükün askıya alınmasının gerektiği açıkça görülmektedir.

Güçlendirme mantoları (hasarsız) monolitik referans elemanlarının taşıma gücünün %90'ına ulaşabilmektedir.

Onarım mantoları (hasarlı) için taşıma gücü hesaplanırken., monolitik olarak hesaplanan kapasitenin %80'inin alınması önerilebilir.

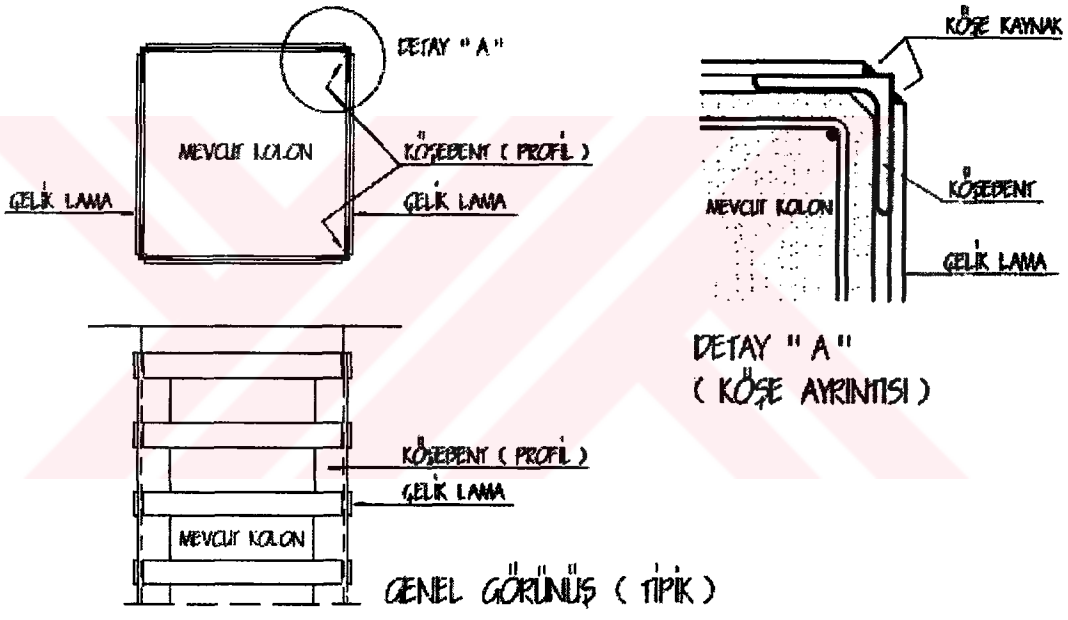
Mantolanmış kolonların deneyde gözlenen sünekliği oldukça yeterlidir. Ancak bu gözlem yanıltıcı olabilir. Deney elemanlarının kesit boyutları küçük olduğundan süneklikle ilgili bir yargıya varmak zordur.

Hasarsız olarak mantolanmış (güçlendirme) kolonun rijitliği, monolitik olarak hesaplanan rijitliğin yaklaşık %90'ıdır.

Hasarlı olarak mantolanmış (onarım) kolonun rijitliği, monolitik olarak hesaplanan rijitliğin yaklaşık %70'idir.

### 2.3.2 Çelik Profil İskelet Geçirme

Çelik profil iskelet geçirme kolonun dört köşesinin her birine bir köşebent (korniyer) profili yerleştirmek ve bunları bir iskelet teşkil etmek üzere enine kuşaklarla bağlamakla gerçekleştirilir (Şekil 2.23). Bu kuşaklar en az 12 mm çapında olmak üzere yuvarlak çelik çubuklar veya minimum 25/4 mm kesitte olmak üzere çelik bantlar olabilir ve köşelerdeki korniyerlere kaynaklanırlar. Korniyerler 50/50/5 kesitinden daha küçük olmamalıdırlar.




Şekil 2.23 Betonarme kolonun çelik profil iskelet geçirilerek güçlendirilmesi

Korniyerlerle mevcut beton arasındaki aralıklar ve boşluklar rötre yapmayan çimento harcı veya reçine harcı ile doldurulmalıdır. Kaynaklı hasır donatı ile donatılmış betonla veya püskürtme betonla gerçekleştirilen bir örtü yangına karşı etkili ve çok kere yeterlidir. Kuvvetlerin aktarılması için önemli olan, korniyer profiller ve döşeme arasındaki sıkı dayanım, döşeme ile kolon çevresi boyunca doğrudan temasta olan ve korniyerden teşkil edilmiş olan yaka, bilezik veya tasma diyebileceğimiz bir eleman vasıtası ile gerçekleştirilir. Genellikle yük taşıma kapasitesindeki artışın yanında, kolonun sünek davranışında da bir iyileşme elde edilir. Bununla beraber rijitlik

hemen hemen değişmez. Bu yöntem burada verilen daimi takviyeden başka geçici takviyede de kullanılır [3].

### 2.3.3 Çelik Levha Kılıf Geçirme

Çelik levha kılıf geçirme mevcut kolonun ince çelik levha ile tamamen çevrilip örtülmesidir (Şekil 2.24). Bu uygulamada kolon kesiti çok az artar. 4-6 mm kalınlığında çelik levhalar bir bütün teşkil etmek üzere sürekli olarak kaynaklanmışlardır ve mevcut kolondan belirli bir uzaklıkta bulunurlar. Kılıf ve kolon arasındaki boşluk rötre yapmayan veya genleşen çimento harcı veya betonla doldurulmalıdır. Dairesel kılıf en etkinidir (Şekil 2.24.a.). Çünkü bu halde çembersel kuvvetler sayesinde sarma ve kavrama temin edilir. Levhalarda eğilme etkisi oluşmaz. En etkili şekil budur.

Dikdörtgen şeklinde kılıf geçirme iki tane L şeklinde levhayı köşegensel olarak karşı köşelerde kaynaklayarak, Şekil 2.24.b.'deki gibi veya dört köşeye konulacak dört korniyere dört yüzün dört levhasını kaynaklayarak Şekil 2.24.c.'deki gibi gerçekleştirilebilir.

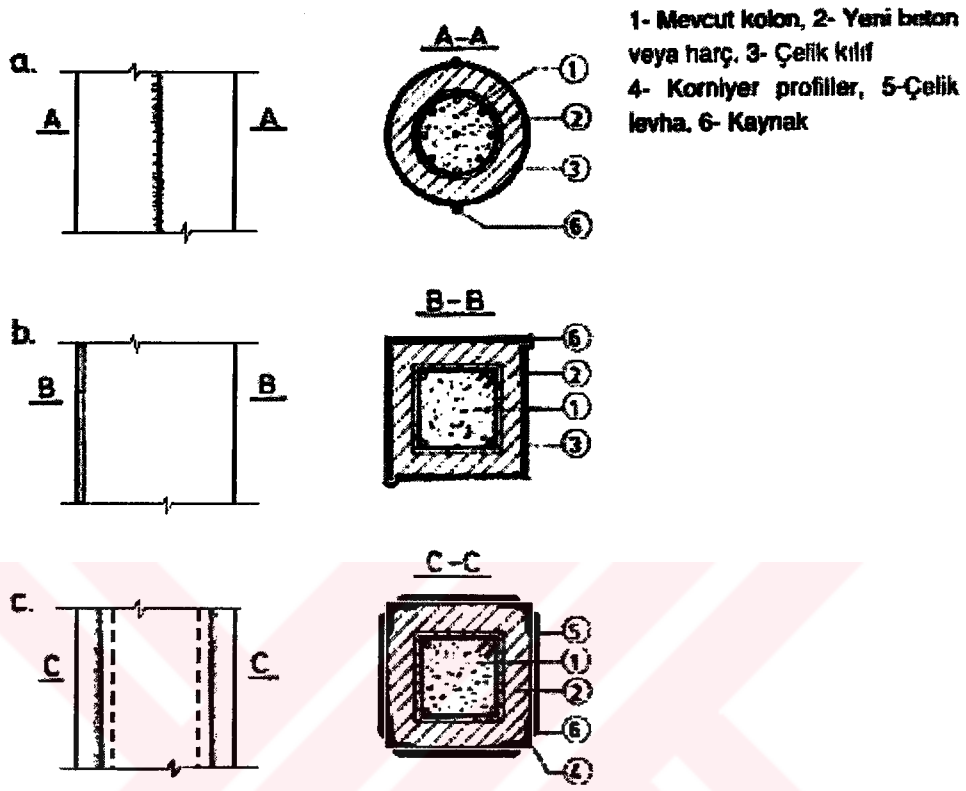
Süneklik ve eksenel yük taşıma mukavemeti çelik kılıfla (özellikle dairesel kılıf halinde) yerel olarak önemli derecede artırılabilir. Fakat bir çerçevenin eğilme mukavemeti bu yöntemle iyileştirilemez. Çünkü çelik kılıfı döşemenin içerisinden geçirmek mümkün değildir. Yangına ve korozyona karşı korunma bakımından özel önlemler düşünülmeli ve alınmalıdır.

Kolonların onarım ve güçlendirilmesinde, projelendirme safhasında aşağıdaki hususlar göz önüne alınmalıdır:

Onarılmış veya güçlendirilmiş kolonlardaki kesit büyümesi önemli rijitlik artışlarına sebep olabilir. Bu, deprem momentlerinin öncekinden farklı olarak yeniden dağılmasına, dolayısıyla da binanın çeşitli kısımlarında deprem kuvvetlerinin değişmesine sebep olur.

Güçlendirilmiş kolonların gerçek rijitlik değerlerindeki belirsizlikler nedeni ile proje mühendisi kesin proje hesapları için uygun rijitlik kabulleri yapmalıdır. Taşıyıcı sistemlerin çoğu için pratik bir yaklaşım olarak monolitik elemana ait rijitlik

değerleri kullanılır. Kompleks taşıyıcı sistemler için rijitlikte değişimle ilgili kabullere dayanan daha detaylı hesaplar kullanılabilir [4].

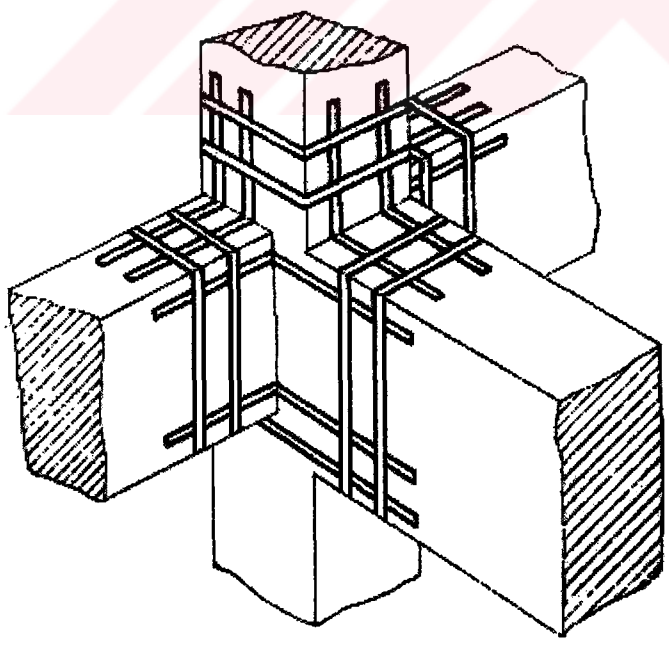



Şekil 2.24 Betonarme kolonun çelik levha kılıf geçirilerek güçlendirilmesi

## 2.4 Kiriş-Kolon Birleşim Bölgelerinin Güçlendirilmesi

Depremde en fazla hasar gören kiriş-kolon birleşim bölgeleri, taşıyıcı sistemin en çok zorlanan ve güçlendirilmesi en zor olan kısımlarını oluşturur. Birleşim bölgesindeki farklı doğrultudaki elemanlar birleşerek, kesit etkileri birbirleriyle dengelenir. Deprem yükleri altında bu bölgede kesme kuvveti dayanımının ve donatı kenetlenmelerinin yeterli olmaması en çok rastlanan hasar türlerini oluşturur. Ayrıca, büyük şiddetteki depremlerde birleşim bölgesinde birleşen kesitlerde meydana gelen plastik mafsallar sonucu büyük dönmeler, donatıda aderans çözülmesi sonucu kaymalar ve geniş çatlaklar oluşabilir. Deprem etkisinde birleşim bölgesinin iki tarafındaki eğilme momentinin farklı işarette olması, kiriş kesitinde zıt gerilme durumları doğmasına yol açar. Bu nedenle donatı kenetlenmelerine ve eklerine özen göstermek gerekir.

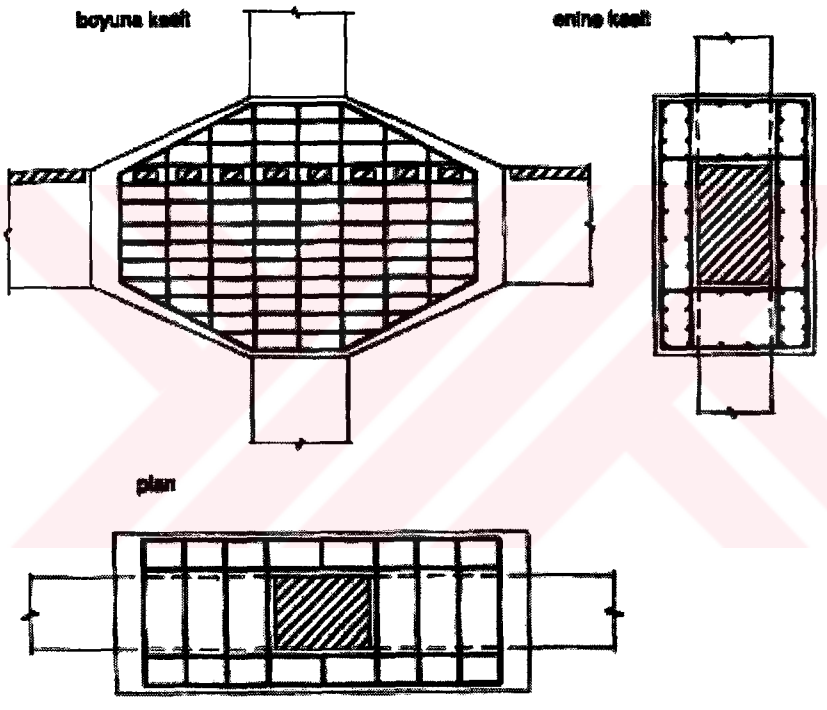
Hasarın yerel olması ve çatlaklar şeklinde görülmesi durumunda, kiriş-kolon birleşim bölgesi, çelik şeritler yapıştırılarak ve sarılarak güçlendirilebilir (Şekil 2.25). Bu suretle, kesitlerin eğilme momenti kapasiteleri artırılırken; sarılan lamalarla, bu bölgede oluşturulan enine basınçla, betonun dolayısıyla elemanın sünekliği artırılır. İhtiyaç olduğunda süneklik artırımı için etriyeleri eksik olan kolon ve kiriş kesitlerinde sadece sargı şeritleri kullanılabilir. Uygulama için bölgedeki ezilen beton temizlenir, yüzeyler düzeltilir ve özel yapıştırıcılar kullanılarak boyuna çelik şeritler yapıştırılır. Yapışmanın tam olması için şeritleri betona işkence aletleriyle bağlanması gerekebilir. Daha sonra sargı şeritleri sarılarak uçları birbirinin üzerine yeterli boyda gelecek şekilde yapıştırılır. Bu sırada kiriş sargı şeritlerinin, o bölgedeki döşeme kaplamasının kaldırılmasından ve döşemede delikler açıldıktan sonra uygulanabileceği unutulmamalıdır. Betonda enine basıncın yeterli şekilde oluşması için şeritlerin geniş (~50 mm uygun genişlik) olması ve birbirlerine yakın (~0,20m uygun aralık) yerleştirilmesi gerekir. Bu tür uygulama özel özene ihtiyaç gösterir. Ayrıca uygulanan güçlendirme şeklinin basit bile olsa, deneyle kontrolü önemlidir. Bütün bu işlemlerden sonra, bölgenin sıvanması ve şeritlerin kapatılması gerekir.



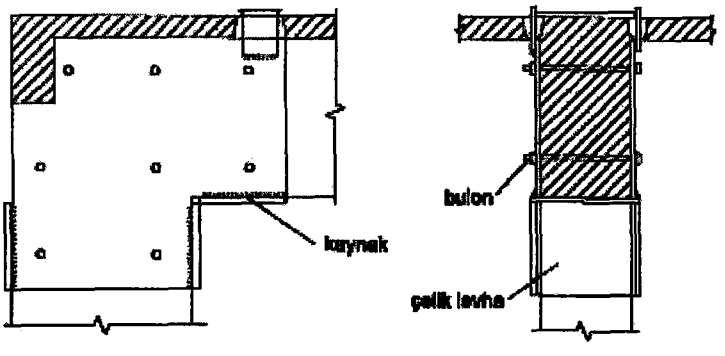
Şekil 2.25 Kiriş-kolon birleşim bölgesinin çelik şeritler sarılarak güçlendirilmesi

Duruma özgü bir yaklaşım gerektiren, kiriş-kolon birleşim bölgesinin güçlendirilmesine bir örnek de Şekil 2.26'da verilmiştir. Burada mantolama yoluyla

birleşen elemanların bütünleşmesi sağlanmaktadır. Kısa donatıların kenetlenmesi için kaynak kullanılması ve mevcut ve yeni betonun bütünleşmesi için beton örtü tabakasının kaldırılması gerekli olabilir. Yerleştirilecek donatının bir uzay kafes sistem oluşturması ve kuvvet akışı ile uyumlu yerleştirilmesi amaca hizmet edecektir. Bu donatıları örtecek ve rijitliği sağlayacak beton kesitinin oluşturulması da gereklidir. Şekil 2.26'da verilen güçlendirme biçiminin döşeme üzerine taştığı gözden kaçırılmamalıdır. Etriyeler döşemede delik açılarak bağlanmıştır. Sadece birleşim bölgesinin güçlendiren bu mantolama, kiriş ve kolonların da mantolanması durumunda daha elverişli olur ve kolay uygulanabilir.




Şekil 2.26 Kiriş-kolon birleşim bölgesinin mantolama ile güçlendirilmesi




Şekil 2.27 Kiriş-kolon birleşim bölgesinin çelik levha ve öngerilmeli bulonlarla güçlendirilmesi

Şekil 2.27'de ise çelik levhalar kullanılarak yapılan bir güçlendirme türü gösterilmiştir. Özellikle endüstri yapılarındaki çerçevelerdeki kullanımı uygun düşer. Birleşim bölgesinin şekline uygun çelik levhalar epoksi ile yapıştırılıp, bulonlarla bağlanırlar. Kuvvet akışının sağlanması için bu ek levhaların kiriş ve kolon yüzündeki diğer levhalara kaynaklanması gerekir [2].

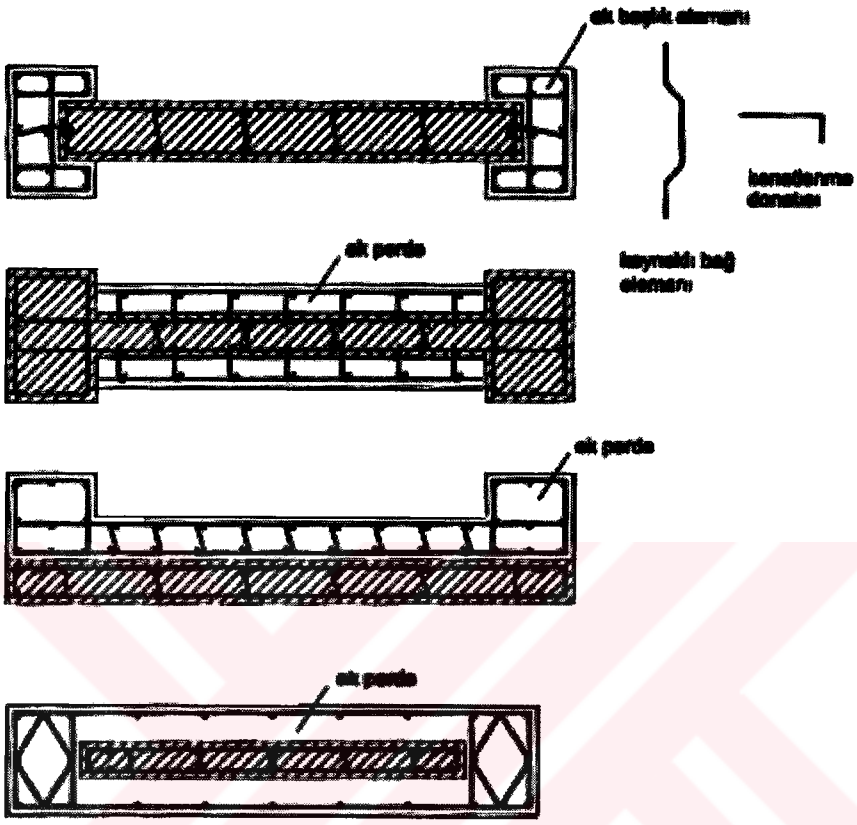
## 2.5 Perdelerin Onarım Ve Güçlendirilmesi

Perdeler, deprem yüklerinin karşılanmasında rijitlik ve dayanım bakımından taşıyıcı sistemin önemli elemanlarıdır. Hasar görmeleri durumunda, onarım ve güçlendirilmeleri özenle yapılmalıdır. Deprem yükü taşımak üzere düzenlenen betonarme perdelerde hasarlar, kayma ve eğilme taşıma gücünün yetersizliğinden veya büyük boşluklu perdelerde bağ kirişlerinin yetersizliğinden kaynaklanabilir. Perdelerin güçlendirilmesinde, eğer varsa, pencere, kapı gibi boşlukların doldurulması ile sağlanan ek taşıma gücü kapasitesi yeterli olabilir. Diğer yapı elemanlarında olduğu gibi, betonda ezilme olmadığı durumda epoksi enjeksiyonu perdeler için de yaygın olarak kullanılır. Ancak, bütün çatlaklar doldurulamadığı için hasardan önceki rijitlik elde edilemez. Perdede beton ezilmesi veya donatı burkulması varsa, kolonlarda uygulanan onarım ve güçlendirme yöntemi burada da uygun düşer. Hasar derecesine göre hasarlı kısmın temizlenmesi, ek donatı yerleştirilmesi ve bu kısmın betonlanması gerekebilir. Bunun gibi, perdenin düşey yüzeyine çelik şeritler veya lif takviyeli levhalar yapıştırılarak kolay bir onarım ve güçlendirme yapılabilir. Bu işlemden önce çatlakların epoksi enjeksiyonunun yapılması ve yüzeyin temizlenmesi önemlidir [2].

Öncekinin yerine konulacak malzemenin seçimi (polimer harcı, çimento harcı, beton veya püskürtme beton); hasarın derecesine, istenen onarım karakteristiklerine ve rehabilitasyon şartlarına bağlıdır. Harçta veya betonda rötre yapmayan veya genleşen çimento arzu edilir. Yeni betonun, özellikle mevcut betonla temas bölgelerinde sıkıştırılmasına özel özen gösterilmelidir [4].

Eğer mevcut perde yetersiz kalırsa; kesme mukavemetini artırmak için gövdeye ilave yapmak (gövdeyi kalınlaştırmak), eğilme mukavemetini artırmak için uçlara ilave yapmak (uç bölgelerinde başlık oluşturmak), her ikisini de artırmak için hem

gövdeye hem de uçlara ilave yapmak gerekir. Şekil 2.28'de bazı perde güçlendirme biçimleri gösterilmiştir.




Şekil 2.28 Perdenin kesit kalınlaştırılması ile güçlendirilmesi

Mevcut betonla yeni betonun bütünleşmesini sağlamak için; bükülmüş özel bağlantı elemanlarının mevcut ve yeni donatıya kaynaklanması veya epoksi ile tespit edilmiş ankraj çubukları kullanılması ve mevcut beton yüzünün pürüzlendirilmesi ile gerçekleştirilebilir.

Deprem perdelerinin kalınlıklarının artırılmasında şu hususlara da dikkat edilmelidir[4]:

Yeni malzemenin mukavemetleri mevcut perdedekilerden az olmamalıdır.

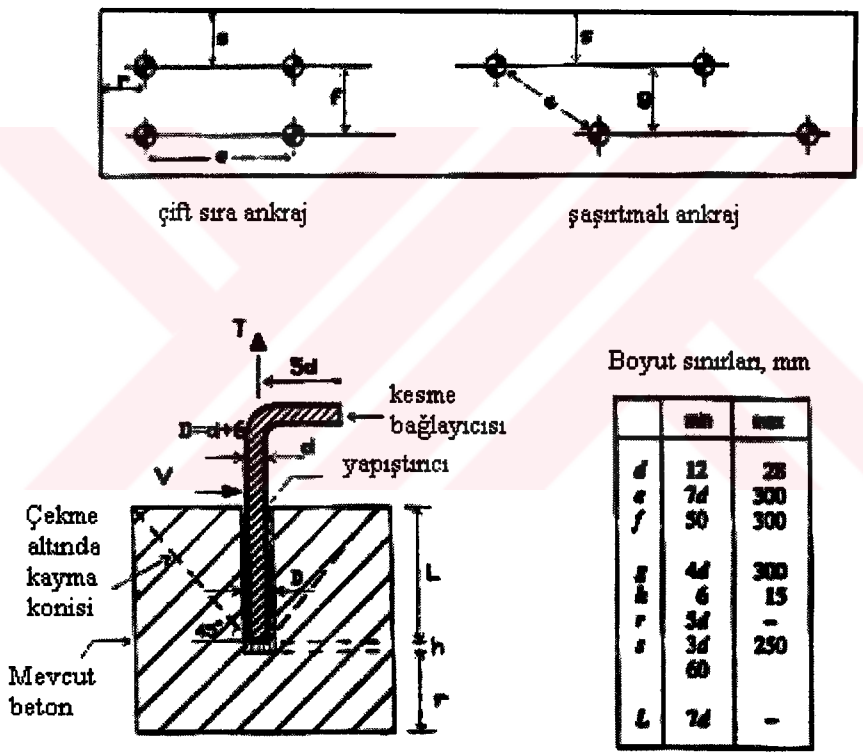
İlave perde kalınlığı en az 5 cm, ilave başlık kalınlığı en az 10 cm olmalıdır.

Hem düşey, hem yatay donatının brüt beton alanına oranı 0,0025'ten az olmamalıdır.

Perde uçlarında toplanmış olan düşey donatının alanı perdeyi kalınlaştırmak için yeni eklenen beton brüt alanının 0,0025 katından az olmamalıdır.

Perde ucundaki etriyelerin çapı 8 mm den ve o bölgedeki boyuna donatı çapının 1/3 ünden küçük olmamalıdır. Aralıkları ise uçtaki betonarme ilavenin cidar kalınlığından ve ilk iki katta 10 cm diğer katlarda 20 cm değerinden fazla olmamalıdır.

Mevcut perdenin yüzü tamamen pürüzlendirilmeli ve yeni beton mevcut betona her doğrultuda en çok 60 cm aralıklarla epoksi ile tespit edilmiş kancalı dübeller vasıtasıyla ankre edilmelidir.




Şekil 2.29 Perde gövde ankraj çubuğu örneği

Projelendirme yapılırken de aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir:

Güçlendirilecek deprem perdesi, mevcut perde ile yeni ilave kalınlık arasındaki aderansın etkinliğine ve boyutlandırılacak ve donatı hesabı yapılacaktır.

Kuvvetlerin temellere aktarılması uygun ve yeterli olarak gerçekleştirilmelidir. Bu, projelendirmede ve uygulamada dikkatli çalışmayı gerektirir.

Güçlendirilmiş perdenin rijitliğindeki artma hesaba katılmalıdır. Çünkü bu artış taşıyıcı sistemde deprem perdeleri arasında öncekinden farklı yeni bir yatay kuvvet dağılımına sebep olur.

Şekil 2.29'da bir ankraj çubuğu detayı ve ankraj uygulamasında kullanılan bazı boyut özellikleri gösterilmiştir.

## 2.6 Temellerin Güçlendirilmesi

Temellerin onarım ve güçlendirilmesi zor ve pahalı bir yöntemdir.

Kötü zemin şartları dolayısıyla temellerde aşırı çökmeler,

aşırı deprem yüklemesi dolayısıyla temel yapısında hasar,

güçlendirme işleri sonucu ölü yükün artması,

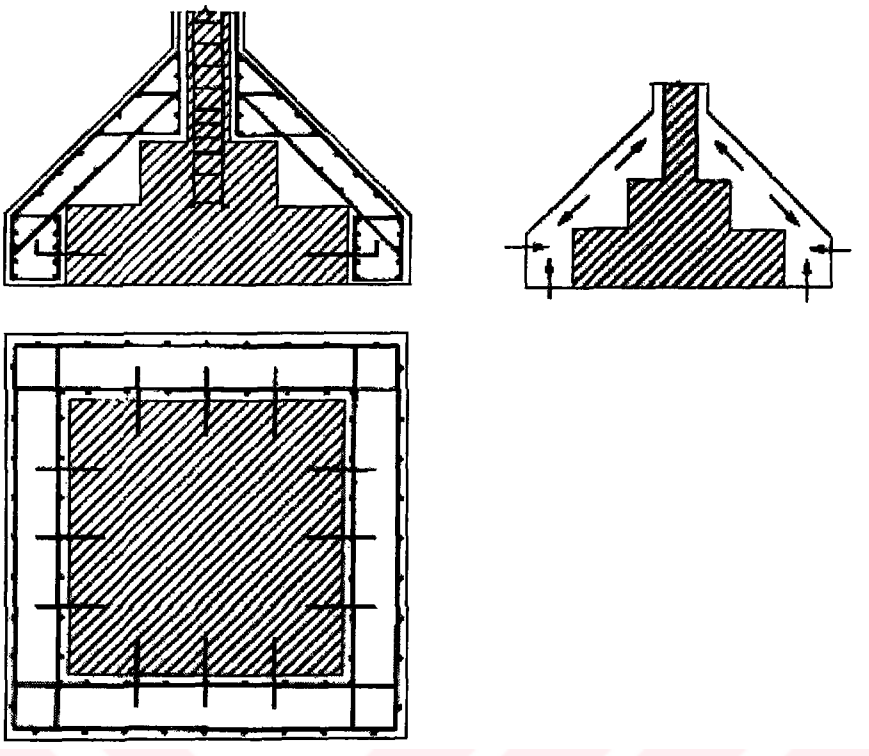
yönetmelik değişiklikleri veya takviye işleri nedeniyle deprem yüklerinin artması,

ilave edilen katlar nedeniyle ilave temel yapısı yapılmasına gerek duyulması, hallerinde temel güçlendirmesi uygulanmalıdır.

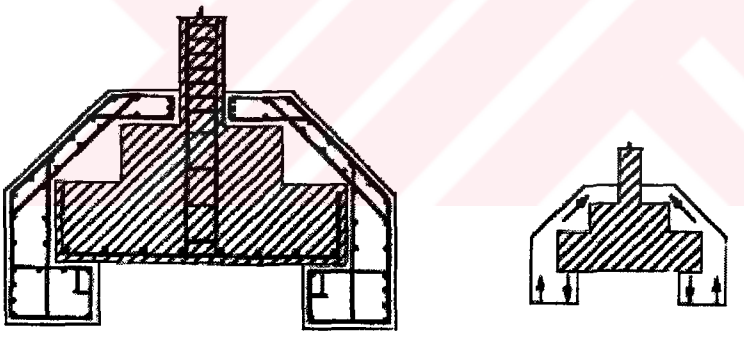
Temel yapılarının onarım ve güçlendirilmesi, mevcut temel yapısını güçlendirerek, yeni temel yapısı ekleyerek veya temel altında daha iyi taşıma gücü için zemini iyileştirerek gerçekleştirilir.

Mevcut temellerin güçlendirilmesi temelin oturma alanını artırmak için temel boyutlarını büyütmeyi gerektirir.

Şekil 2.30'da mantolanarak güçlendirilmiş bir kolonun altındaki temelin takviyesi görülmektedir. Tabanda düzenlenen temel kuşağı son derece önemlidir. Güçlendirilmiş üst kısımdaki eğik kuvvetleri zemine aktarmaya yarar. Bu nedenle uygun olarak eklenmiş kuvvetli kuşak donatısına , yeterli ve uygun etriye donatısına gereksinim vardır. Güçlendirilmemiş bir kolon halinde güçlendirilmiş kısma gelen zemin basıncı doğrudan doğruya mevcut temel gövdesine aktarılmalıdır(Şekil 2.31). Bu mevcut kolonun uçları altına bir çelik profil ekleyerek gerçekleştirilebilir. Uygun ve yeterli donatı yeni eklenen temel gövdesinin içerisine yerleştirilmelidir.



Şekil 2.30 Temel alt seviyesine inilmeden temelin güçlendirilmesi



Şekil 2.31 Temel alt seviyesine inilerek temelin güçlendirilmesi

Yeni temellerin eklenmesi yeni deprem perdelerinin veya benzer elemanların inşa edildiği binalarda zorunlu olur.

Deprem perdesinin uçtaki düşey ana donatısının temellere ankrajı çok önemlidir. Bu, ya mevcut temelde açılmış deliklere donatının veya yeni inşa edilmiş temel kısımlarına meyilli donatı çubuklarının epoksi reçinesi ile ankre edilmesi suretiyle gerçekleştirilebilir. Donatı çubuklarının meyli çelik levhalara uygun bağ çubukları ile kuvvetin yatay bileşenlerindeki farka mukavemet edecek uygun ve yeterli bağ çubukları ile kaynaklayarak gerçekleştirilebilir. Devrilme momentlerinden ileri gelen

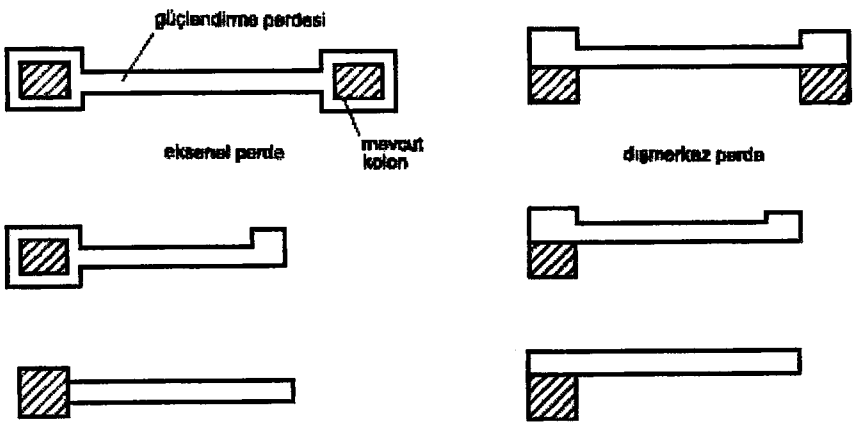
eksenel momentler yeni inşa edilen temellere konulan uygun ve yeterli şekilde detaylandırılmış donatı tarafından karşılanmalıdır. Duvar kesme kuvvetleri temellere yeterli derecede ankre edilmiş gövde donatısı ile aktarılmalıdır.

Zeminin taşıma gücünü artırmak amacı ile iyileştirilmesi ince daneli zeminler halinde sıkıştırma harcı ile veya nispeten geçirgen granüler malzeme halinde kimyasal sağlamlaştırma (katılaştırma) ile gerçekleştirilebilir. Sıkıştırılma harcı kullanılması zeminin yoğunlaşmasını temin eder. Dolayısıyla sıvılaşma potansiyelini azaltır. Granüler zeminlerde kimyasal sağlamlaştırma (katılaştırma) yolu ile kohezyon temini de sıvılaşma potansiyelini azaltır [4].

## 3. SİSTEME YENİ TAŞIYICI ELEMANLAR İLAVE EDİLMESİ

Mevcut yapının yanal yük dayanımı yeni yapı elemanlarının eklenmesiyle artırılabilir. Bu elemanlar uygun projelendirildiğinde deprem etkisinin büyük bir kısmına karşı koyarak, mevcut sistemin yükünü önemli ölçüde azaltırlar. Kullanılacak yeni taşıyıcı eleman, mevcut yapının taşıyıcı sistemine ve hasar durumuna bağlıdır. Yeni elemanlarla tüm sistemin deprem davranışının değişebileceği unutulmamalıdır. Güçlendirme için öngörülen yeni elemanlarla sistemin rijitliği artırılacağı için, genellikle deprem kuvvetleri de artar ve etkiler sistemde değişik bir dağılımla ortaya çıkar. Yeni elemanların yapı içinde düzgün dağılmasıyla, etkilerin belirli bölgede yığılması ve istenmeyen burulma etkilerinin meydana gelmesi önlenmiş olur. Mevcut ve yeni elemanlar arasındaki kuvvet geçişinin ve bütünleşmesinin sağlanması için ara bölgelerin özenle ele alınması ve projelendirilmesi gerekir [2].

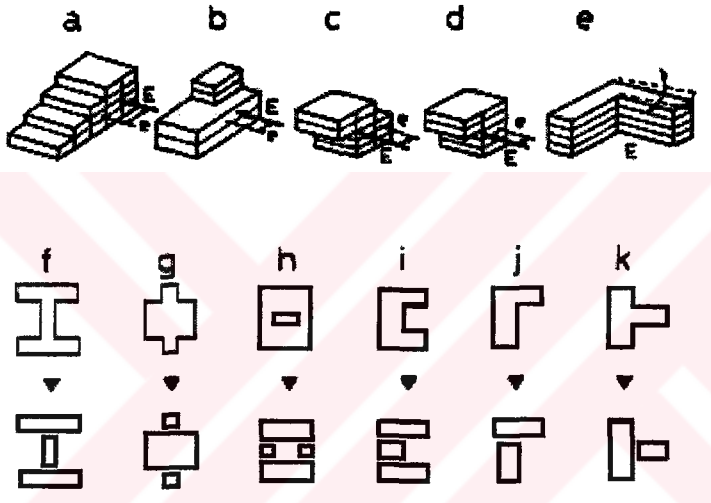
Taşıyıcı sistemin depreme karşı güçlendirilmesinde yeni perdelerin ilave edilmesine oldukça yaygın olarak rastlanır (Şekil 3.1). Yeni perdelerin yerleştirilmesinde çok dikkatli davranılmalı, düzensiz sistemler oluşturulmasından kaçınılmalıdır. Aşağıda bu konuda birtakım bilgiler verilmiştir. Bu kurallar yeni taşıyıcı sistem elemanlarının eklenmesinde olduğu gibi yeni yapılacak bir yapının tasarımında da uygulanmalıdır.




Şekil 3.1 Yapıya eklenebilecek değişik perde türleri

Taşıyıcı sistemin düzenlenmesi, deprem sırasında yapının performansında olumlu veya olumsuz büyük etkiler meydana getirdiği için son derece önemlidir. Binanın uzaysal geometrik düzeni, kütlelerin bina içerisinde dağılımı, düşeyde, yatayda ve uzaysal sistemde rijitlik ve dayanım bakımından ani değişiklikler deprem etkilerinin (eleman iç kuvvetleri ve deplasmanlar) yerel ve global olarak artmasına sebep olur.

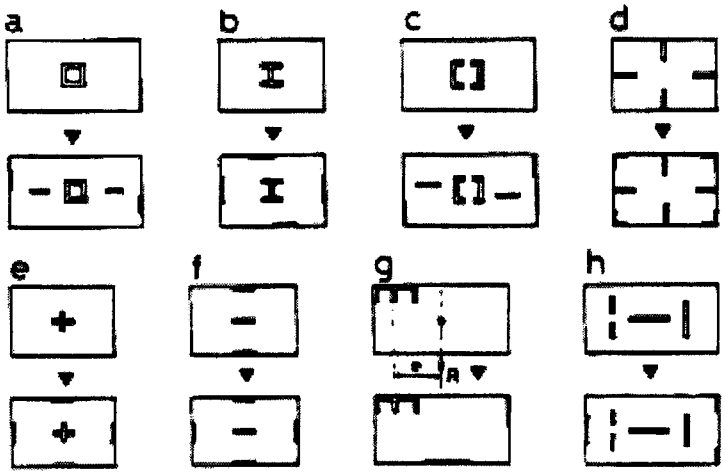
Büyük yapılarda kütle dağılımının uzaysal sistemdeki düzensizliklerine örnekler Şekil 3.2'de gösterilmiştir. Bu, istenmeyen burulma ve düşey titreşime neden olur. Bu durumda ek birtakım önlemlerin alınması gerekir. Binada kanat şeklindeki büyük çıkıntılar binadan ayrı davranışta bulunarak yerel kuvvet artışlarına sebep olurlar.



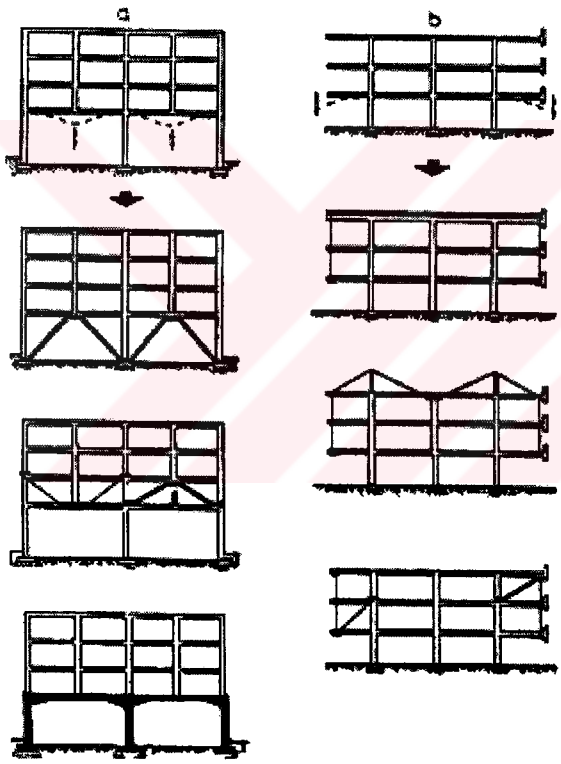

Şekil 3.2 Binada değişik düzensizlik durumları

Uygun olmayan taşıyıcı sistem dizaynı sonucu oluşan yatayda düzensizlik yapıda burulma etkilerinin çok artmasına sebep olur. Bu tür zayıflıklara sahip sistemler, uygun ve yeterli yeni elemanların sisteme yerleştirilmesiyle depreme dayanıklı hale getirilebilir. Perde duvarların yerleştirilmesi burulmaya karşı en etkili yöntemdir. Bir yöndeki perde duvar eksikliği veya perdelerin binanın bir köşesine toplanmış olması gibi durumlar yeni perdelerin uygun pozisyonlara yerleştirilmesiyle çözülür. Perde rijitlikleri arasında büyük farklar olmamalıdır.

Bina düşey eksenine göre geometrik simetri bozukluğu, bir veya daha fazla seviyede rijitlik değişimi, büyük bir kütlenin bir yerde toplanmış olması gibi düşey düzensizlikler deprem sırasında birtakım sorunlara neden olurlar. Bu etkileri azaltmak için Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'de bazı yöntemler gösterilmiştir [7].



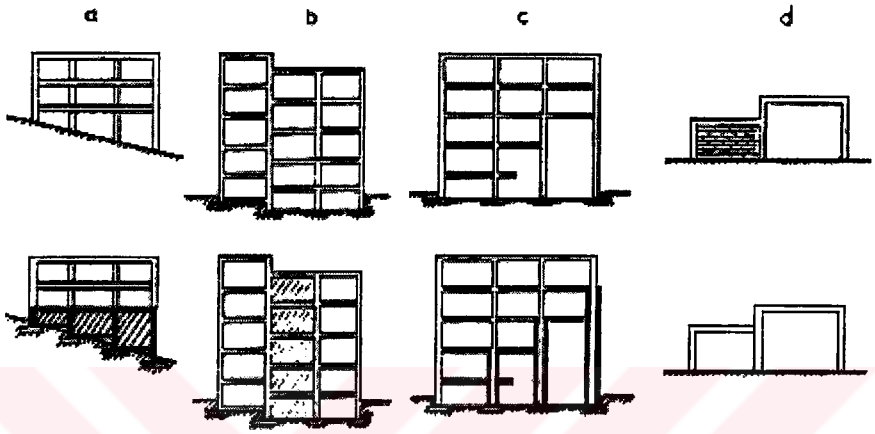

Şekil 3.3 Bina planında perdelerin yerleşimi için öneriler




Şekil 3.4 Bina düşey kesitinde çeşitli düzensizlik biçimleri

Çerçeve elemanlarındaki düşey düzensizlik çok ciddi hasarlara ve hatta yıkılmalara sebep olabilir. Binada yukarıda var olan kolonların aşağıda devam ettirilmeyip kesilmesi ve büyük konsol çıkmalar düşey titreşimler sonucunda büyük hasara sebep olurlar. Ek desteklere ihtiyaç duyarlar. Bunlar için çeşitli önlemler Şekil 3.4'de verilmiştir. Zemin kat kolonları rijitliğinde aşırı farklılıklar, kaydırılmış farklı kat seviyelerinde kirişlerin kolonlara bağlanması, kirişlerle kat seviyesinde bağlanmamış

farklı yüksekliğe sahip kolonlar, iki çerçeve parçasıyla bağlı kısa kolonlar uygun olmayan dizayna bazı örneklerdir. Bu olumsuzlukların iyileştirilmesi için bazı yöntemler Şekil 3.5'de gösterilmiştir. Yeni taşıyıcı sistem elemanları ile güçlendirme yapının depreme karşı dayanımını artırmada en etkili yoldur. Gelecek depremler için tüm yapının dinamik davranışında önemli değişiklikler sağlanır [7].




Şekil 3.5 Binada çeşitli taşıyıcı sistem elemanları düzensizlikleri

Ek zorlamaların çıkmasını önleyerek, depremin taşıyıcı sistemdeki etkisini azaltmak için yapının planda basit ve düzgün seçilmesi uygundur. T, L, U ve H gibi şekillerden kaçınmalı veya Şekil 3.6'da gösterildiği gibi bunlar basit dikdörtgenlere bölünerek kullanılmalıdır. Bunun gibi, planda farklı rijitlikteki bina bölümlerinin birleştirilmesi, deprem sırasında farklı davranan bu bölümlerin birbirini gereksiz yere zorlamasına sebep olur. Bu bölümlerin birbirlerinden derzlerle ayrılması ile bu zorlamalar ortadan kaldırılabilir. Kolon ve perde gibi, düşey elemanların plandaki düzeninde simetriye uyulması planda oluşabilecek burulma etkisini en aza indirecektir. Binaya etkiyen deprem yükü her doğrultuda bulunabileceği için, planda iki doğrultuda birbirine yakın rijitliğin bulunması uygundur. Kirişsiz döşemelerde kolonlar döşeme içindeki şeritlerle çerçeve oluşturdukları için, bunların yatay rijitlikleri zayıftır ve deprem sırasında ikinci mertebe etkisi önemli olur. Bu tür sistemlerde yatay rijitliği artıran perdelerin kullanılması ve özellikle zımbalama tehlikesine maruz kenar kolonların bir çevre kirişi ile bağlanması uygundur. Kolon ve kirişlerin oluşturduğu taşıyıcı sistemlerde bunların birbirine dik doğrultuda çerçeve oluşturması çok önemlidir. Dolaylı mesnetlenen ve kolonlara dışmerkez birleşen kirişler çerçeve oluşmasını önlerler. Bu tür durumların bilgisayar programları ile çözümünde ayrıntılı biçimde

modellenmesi de zordur. Kütlenin veya perde ve kolon gibi düşey elemanların planda düzgün dağılmamasından daima bir burulma etkisi söz konusu olur. Bu nedenle, mevcut perdelerin olabildiğince planda binanın dış çevresine yerleştirilmesi ile burulma rijitliği artırılabilir.

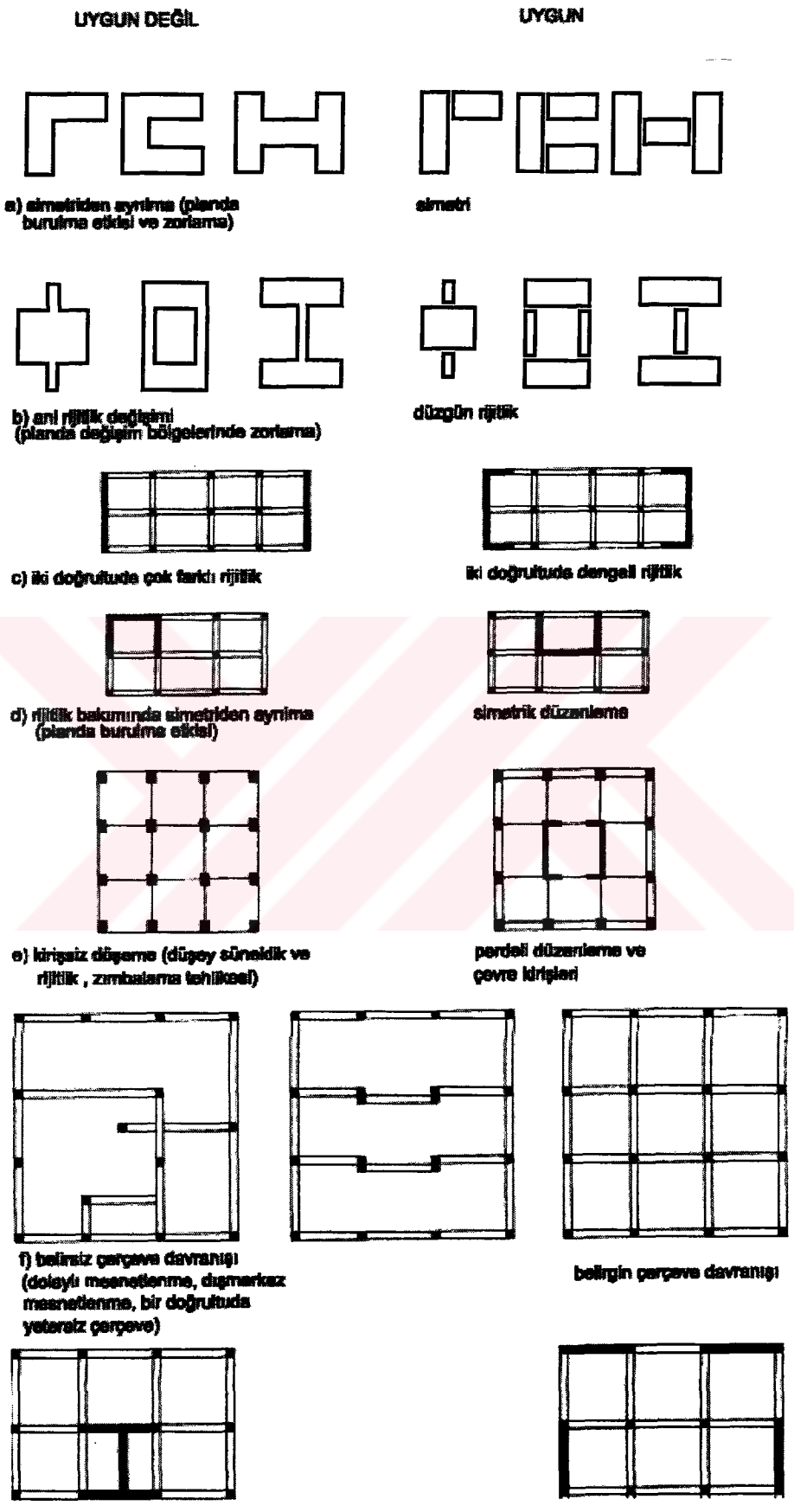
Düşey kesitte binaların kütle merkezlerinin aşağıda bulunması taşıyıcı sistemdeki deprem etkilerini azaltacaktır (Şekil 3.7). Bunun gibi, yüksek ve narin binalar devirici momentin zemine güvenli bir şekilde iletilmesinde geniş temeller gerektirdiği için tercih edilmemelidir. Kütlesi yüksekte toplanmış binalarda alt katlar aşırı biçimde zorlanacağı için elden geldiği kadar kaçınılması gerekir. Taşıyıcı sistemde düzenli durumun ani olarak bozulması, örneğin bir kolonda süreksizlik ortaya çıkarılması, hem düşey hem de yatay yükler altında yükün temele iletimindeki normal akışı bozacağı için uygun değildir. Bir taşıyıcı sistemde kolon ve perde gibi düşey elemanların temelden çatıya kadar sürekliliğinin sağlanması, böylece yüklerin güvenli olarak temele iletilmesi önemli bir husustur. Farklı binaları bağlayan geçiş yerlerinin deprem hareketinde oluşacak yerdeğiştirmeleri fazla zorlanmadan alabilecek şekilde düzenlenmeleri gerekir. İki bina tamamen aynı olsa bile, depremde aynı fazda titreşmeyebilir. Bu nedenle iki bina arasındaki köprü şeklindeki bağın binaların farklı serbest yatay titreşimini mümkün kılacak ve yatay bir kuvvet iletimini önleyecek şekilde oluşturulmasıyla, ek zorlamaların meydana gelmesi önlenebilir. Kat kirişlerinde süreksizlik bulunması, özellikle kısa kolon davranışı ortaya çıkarması ve çerçeve düğüm noktalarında ek zorlamalar oluşturması nedeniyle uygun değildir. Bunun gibi kirişlerin sürekliliği deprem etkilerinin taşıyıcı sistemde daha dengeli karşılanmasını sağlayacak ve kolonların daha az zorlanmasını beraberinde getirecektir. Taşıyıcı sistemin esas elemanlarından olan kolonların kirişlerden daha kuvvetli oluşturulması deprem yönetmeliklerinde öngörülenden daha büyük bir deprem zorlamasında hasarın kirişlerde meydana gelmesini ve sistemde toptan göçme oluşmasını önleyecektir. Farklı seviyede temel bulunması da düzenli çerçeve davranışı oluşumunu önleyeceği için tercih edilmemelidir. Bina düşey kesitte ani süreksizliğe sahipse, bu yerde aşırı zorlamalar oluşacağı için, bu durumu önleyici tedbir almak, örneğin iki blok olarak projelendirmek yerinde olur. Blokların depremde titreşimi sırasında çarpışmayı önlemek için, arada oluşacak muhtemel genliğe uygun derz bırakılması tavsiye edilir. Yerleşimin yoğun olduğu yerlerde böyle bir derz bırakılmasında zorlanıldığı taktirde en azından komşu

binaların kat seviyelerinin yakın getirilmesi, çarpışmada ortaya çıkacak zorlamaların minimum seviyede kalmasını sağlayacaktır. Düşey kesitte rijitlik veya dayanımın süreksizlik göstermesi, örneğin diğer katlara göre zemin katın daha yumuşak veya zayıf olarak çıkmasına, deprem hasarının burada yoğunlaşmasına hatta binanın toptan göçmesine sebep olabilir. Dolgu duvarlarında süreksizliğin önlenmesi veya dolgu duvarların etkisini içerecek şekilde zemin kat kolonlarının rijitlik ve dayanımlarının artırılması tavsiye edilir. Kolonlarda diğer bir deprem hasarı da, taşıyıcı olmayan rijit elemanlarla kolonun depremdeki şekil değiştirmesinin önlenmesi nedeniyle ortaya çıkar. Şekil 3.9'da gösterildiği gibi, rijit bölme duvarı kolonlardan birinin etkili boyunu kısaltırken, kolonun yanal yerdeğiştirme rijitliğini artırır. Depremden oluşan kat kesme kuvveti kolonlara yatay öteleme rijitlikleri ile dağıldığı için, yatay öteleme rijitliği artan kolon öngörülenden fazla yatay kuvvet karşılamak durumunda kalır. Kolonda kesme kuvveti artarken, etkili boyun kısalması ile eğilme momenti düşük değerde kalır. Kesme kuvveti ile oluşan güç tükenmesi şekli taşıyıcı sistemde önemli hasar oluşturabilir. Burada alınacak önlem, kısa kolon davranışının oluşmaması için kolonun serbest şekil değiştirmesinin sağlanması veya kısa kolon davranışının engellenmediği durumda, donatının pekleşmesi göz önünde tutularak artırılan uç kesit eğilme momenti kapasiteleri ile hesaplanan kesme kuvveti esas alınarak boyutlandırılmasıdır. Böylece, sünek olmayan kesme kuvveti güç tükenmesine sünek olan eğilme momenti güç tükenmesinden önce erişilmemesi sağlanmış olur [2].

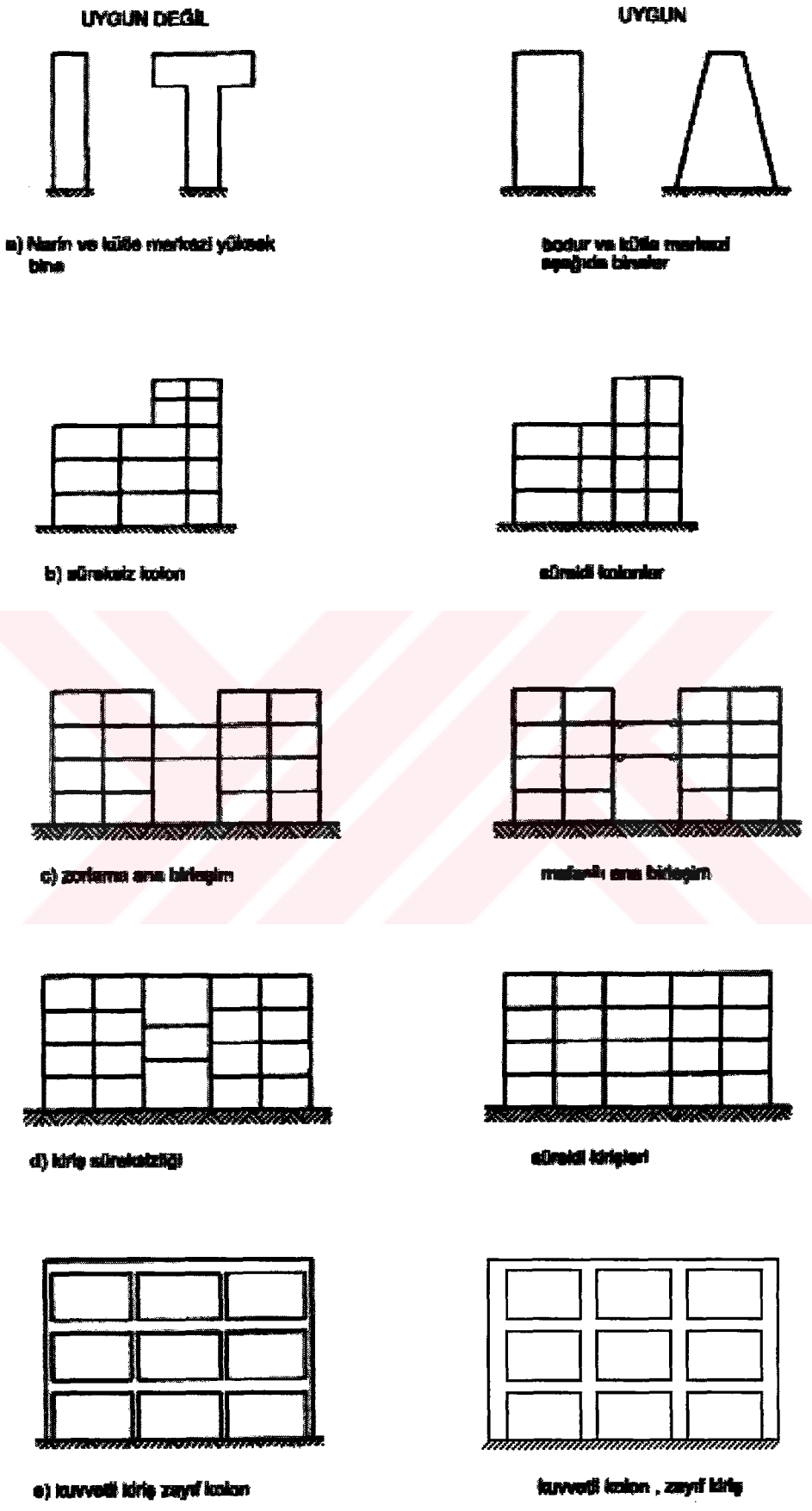
Yeni elemanların ilavesinde şu hususlara da özen gösterilmelidir:

Perde elemanlarının ilavesinde, yeni perdenin iki kolon arasında bulunması tercih edilmelidir. Bazı durumlarda bir taraftan bir kolona birleşmesi kabul edilebilir. Hiçbir kolona bitişik olmayan doğrudan döşemeyi delip geçen perde, perde-döşeme arasında çok büyük gerilme yığılmaları oluşacağı için kabul edilmemelidir [2].

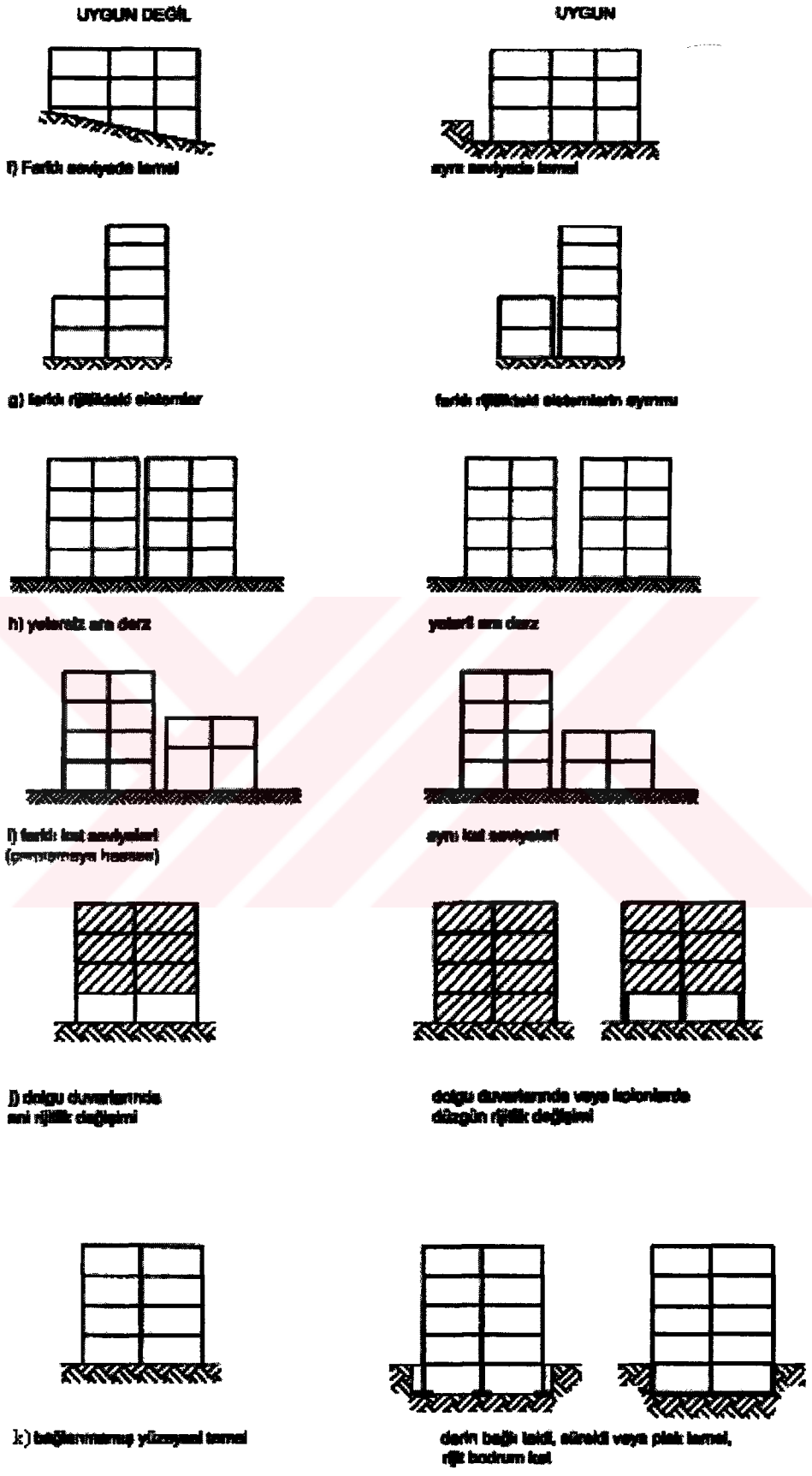
Mukavemet ve/veya düktilite kapasiteleri küçük olan elemanlarda büyük kuvvetlerin toplanması önlenmelidir. Bunun için güçlendirme elemanları yapı içinde üniform ve uygun şekilde dağıtılmalıdırlar.



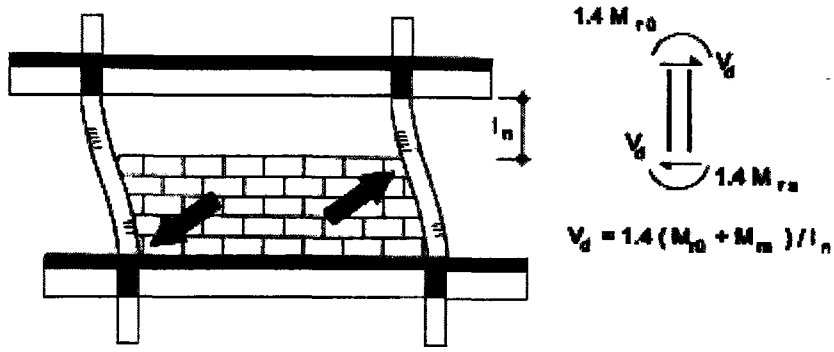

Şekil 3.6 Yapının deprem davranışı bakımından plandaki durumu




Şekil 3.7 Yapının deprem davranışı bakımından düşey kesitteki durumu




Şekil 3.8 Yapının düşey kesitindeki uygun ve uygun olmayan durumlar




Şekil 3.9 Kısa kolon oluşumu

Burulma ve düzensizlik etkileri en aza indirilerek yatay kuvvet dağılımı iyileştirilmelidir.

Tek tek elemanlara ve tüm taşıyıcı sisteme yeterli mukavemet, rijitlik ve düktilite temin edilmelidir.

Mevcut taşıyıcı sistemle yeni ilave edilen elemanlar arasındaki birleşimlere yeterli mukavemet temin edilmelidir. Mevcut ve yeni ilave edilen elemanlar arasında rijitlik uyumu sağlanmalıdır.

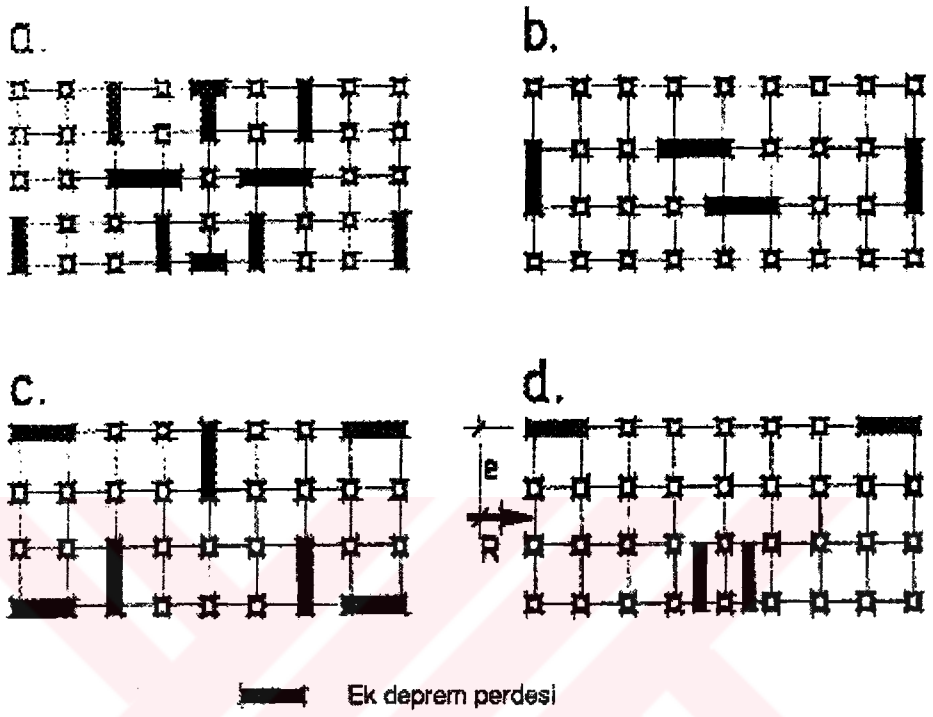
İlave elmanlar kütle merkezi ile rijitlik merkezini birbirine yaklaştıracak ve burulma rijitliğini mümkün olduğunca büyük yapacak şekilde yerleştirilmelidir.

Ayrıca, sıcaklık, rötre ve krip etkilerinin, iç kuvvetlerin eski ve yeni taşıyıcı elemanlar arasında önemli derecede farklı yeni bir dağılıma sebep olabileceği de hesaba katılmalıdır.

Deprem perdeleri arasındaki uzaklık esnek döşemeler halinde (örneğin yetersiz birleştirilmiş prefabrike panolar) az tutulmalıdır (Şekil 3.10.a.). Rijitliği fazla monolitik döşemeler halinde daha fazla alınabilir (Şekil 3.10.b.).

Uzun dikdörtgen binalarda köşelerde ve uzun doğrultuda konulan deprem perdeleri, (Şekil 3.10.c. ve Şekil 3.10.d.) sıcaklık değişimlerinden ileri gelen deformasyonları sınırlar ve taşıyıcı sistemde önemli derecede ilave kuvvetler, iç kuvvetler oluştururlar. Bu nedenle köşelerdeki deprem perdelerinin Şekil 3.10.a. ve Şekil 3.10.b.'deki gibi kısa doğrultuda konulmaları uygun olur. Deprem perdelerinin hiç de iyi olmayan bir dağılımı Şekil 3.10.d.'de görülmektedir. Burada uzun doğrultudaki

deprem perdeleri deformasyonları kısıtlar, deprem kuvvetlerinin bileşkesinin rijitlik merkezine göre dışmerkezliği büyük olur ve enine doğrultudaki duvarların manivela kolu ise burulma etkisini taşımak için yetersiz kalır [4].



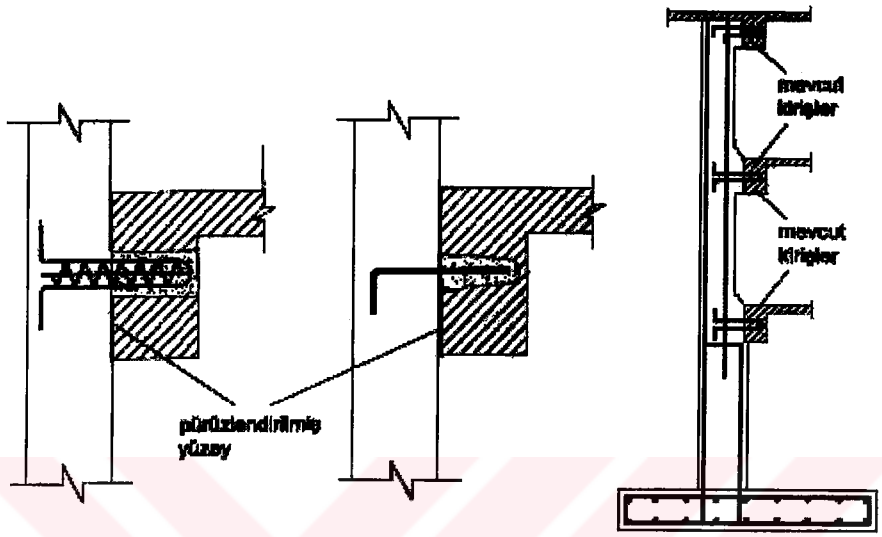

Şekil 3.10 Deprem perdelerinin uygun ve uygun olmayan dağılımları

Monolitik güçlendirme perdeleri plandaki durumlarına göre dış perdeler ve iç perdeler olarak ortaya çıkar [2].

## 3.1 Dış Betonarme Perdeler

Bina dışına yerleştirilen cephe perdeleri , mimari fonksiyonları bozmaması ve bina dışından inşa edilebilmeleri bakımından tercih edilir. Ancak, bu durumda da binanın cephelerinde bulunan pencereler dolu perde yapımını önler ve perdenin boşluklu olarak ortaya çıkmasına sebep olur. Boşluklu perdeler dolu perdelere göre daha sünek olmasına karşılık inşası ve donatı detayları daha fazla özen ister. Binanın cephesinde balkon bulunması güçlendirme perdesinin düşey sünekliliğinin oluşturulmasında zorluklar çıkarır (Şekil 3.11). Binanın dışında kalan perdelerin mevcut kirişle ve kolonlarla bağlantılarının yapılarak sistemin bütünleşmesinin sağlanması önemlidir. Perdeye komşu kolonlar mantolanarak perde ile birleştirilirse,

bütünleşme daha sağlıklı biçimde yapılabilir. Eğer böyle bir durum söz konusu olmazsa, kat seviyesindeki kirişlere yapılacak bağlantılarla perdenin mevcut sistemle bütünleşmesi gerekir. Yeni perdenin temeli, mevcut temeller kullanılarak veya yeni temel eklenerek oluşturulabilir.

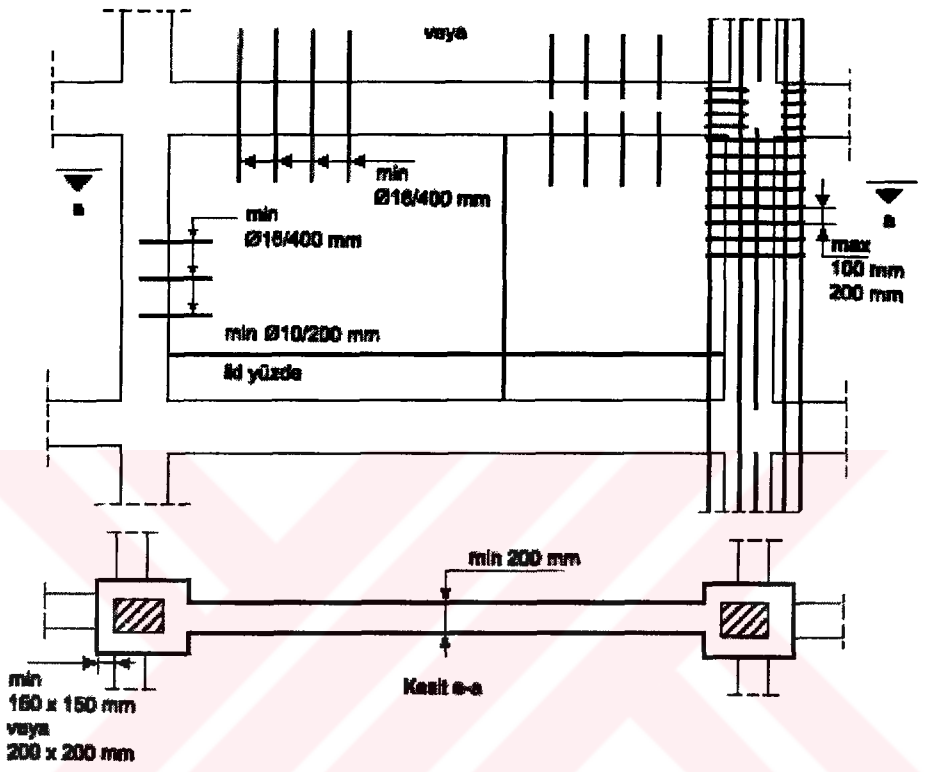



Şekil 3.11 Dış perdenin mevcut kirişlere bağlanması

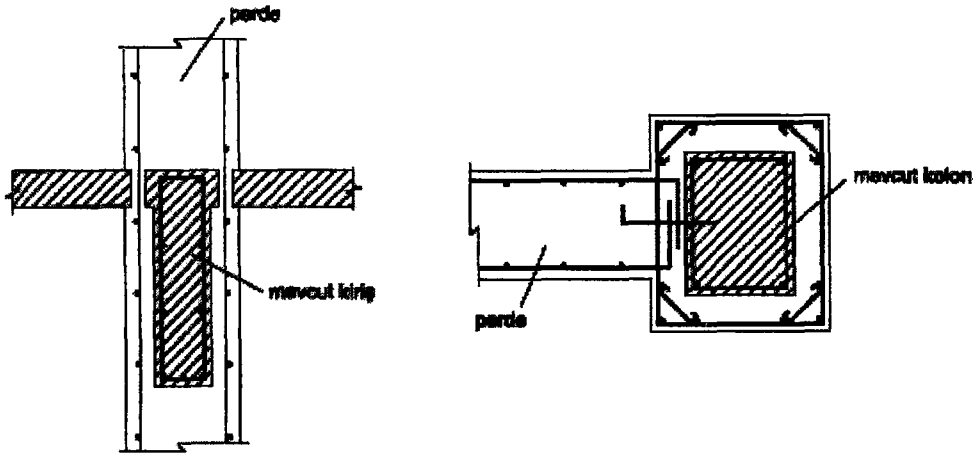
## 3.2 İç Betonarme Perdeler

İç perdeler planda binanın iç kısmında bulunurlar. Bunlar genellikle iki uçtaki kolonu mantolayarak onlarla bütünleşirler (Şekil 3.12). Bu durum perdenin mevcut sistemle bütünleşmesini sağlayacağı gibi, perdenin uçlarında meydana gelecek çekme kuvvetinin kolon basınç kuvvetini göz önüne alarak azaltılmasını da sağlar. Bunun yanında perde temelinin düzenlenmesinde kolon basınç kuvvetinin olumlu katkısı hesaba katılmış olur. Kapı ve pencere boşluğunun bulunması durumunda perde bir uçtan komşu kolona bağlanırken, diğer taraftan perde için bir uç bölgesi oluşturulur. Her iki durumda da perde kat seviyelerinde döşemeyi başlık bölgelerinde deler; bu suretle başlık donatılarının sürekliliği sağlanır. Bunun yanında perde gövdesinde döşemede yer yer boşluklar açılarak, hem beton dökümü için kolaylık sağlanır, hem de bu boşluklara yerleştirilecek çapraz donatılarla perdenin katlar arası bütünleşmesi daha da rahatlatılmış olur (Şekil 3.14). Eğer perdenin bir ucu kolonu dört kenardan mantolayarak bağlanmıyor, sadece kolonun üç, iki veya bir kenarı ile birleşiyorsa, kolon ile perde arası bütünleşmeyi komşu kolon yüzlerine belirli aralıklarla

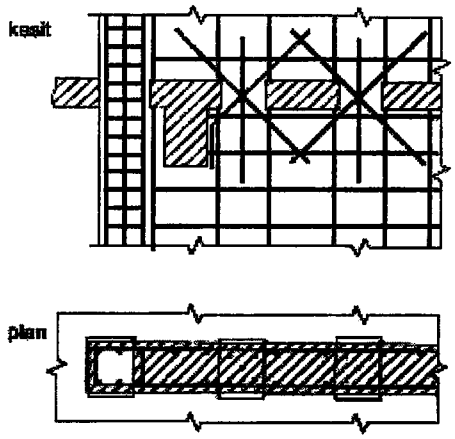
yerleştirilecek bağ (dikiş) donatıları ile sağlamak mümkün olur. Kalın perdelerin kat kirişlerini içerecek şekilde düzenlenmesi yatay kuvvet iletimini, perde donatısının sürekliliğini ve bütünleşmeyi güvenli bir şekilde ortaya çıkarır (Şekil 3.13). Ancak, bu durum perde kalınlığının büyük olmasını gerektirdiği için pek tercih edilmez.




Şekil 3.12 Eksenel perde durumunda donatı düzeni




Şekil 3.13 Güçlendirme perdesinin mevcut kirişi sararak yükselmesi ve mevcut kolonu mantolayarak bütünleşmesi




Şekil 3.14 Dışmerkez perdenin katta döşemeyi delmesi durumunda donatı düzeni

## 3.3 Çerçeveleri Doldurma Yöntemleri

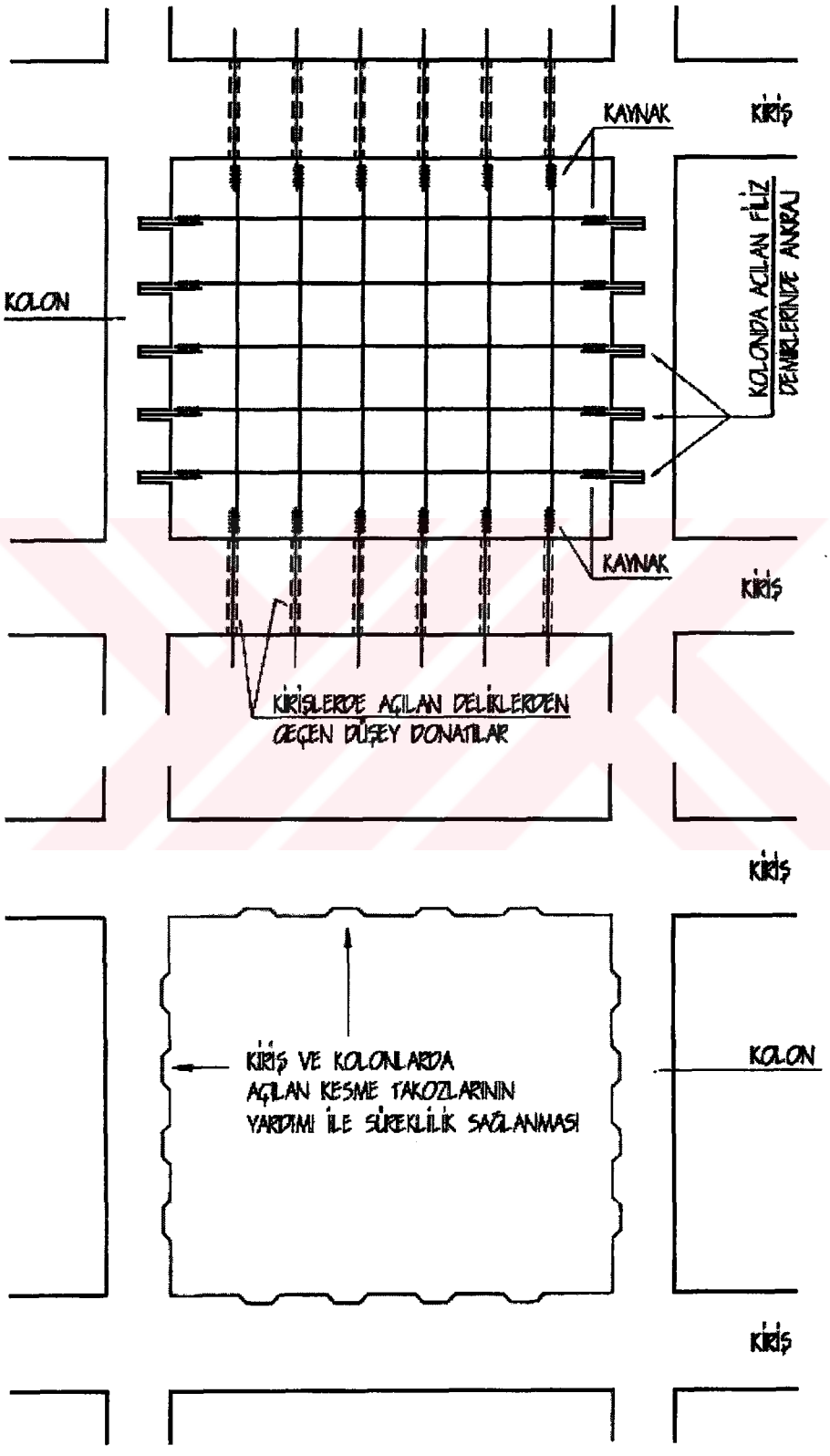
### 3.3.1 Donatısız Yığma Duvarlarla Doldurma

Çerçeve açıklığına taşıyıcı tuğla ile duvar örerek doldurma aslında çok zayıf bir güçlendirme yöntemidir. Çok sınırlı bir taşıma gücü artışı sağlanırken, süneklik artışı sağlanamaz. Bir anlamda çerçeve açıklıklarındaki kirişlerin altına mesnet yapılması, kirişlerin yükünün askıya alınması gibi bir çözümdür ve bir sonraki güçlendirme yöntemi olarak donatılı yığma duvarla dolgu yöntemine hazırlık aşaması olarak nitelemek daha doğru olacaktır [3].

### 3.3.2 Donatılı Yığma Duvarla Doldurma

Bu yöntem, çerçeve boşluğuna örülen tuğla, beton briket vb. malzemeden yapılmış duvarın her iki yüzüne hem yatay hem de düşey yönde donatıların yerleştirilmesi şeklinde uygulanır. Yatay donatıların Şekil 3.15'de gösterildiği gibi kolonlarda, düşey donatılarında kirişlerde açılan deliklerden geçirilerek yapı yüksekliği boyunca sürekliliğin sağlanması gerekir. Enine donatılar kolonlarda ankrajlanmalıdır. Bu güçlendirme yöntemi çerçeve açıklıkları tuğla duvar ile örülmüş yapılarda da uygulanabilir. Donatıların yardımı ile hem moment taşıma gücü hem de kesme kuvveti taşıma gücü artırılacaktır. Var olan tuğla duvarların güçlendirilmesi için hasır çelik de kullanılabilir. Hasır çeliğin duvarın iç ve dış yüzüne konulması ve yer yer

birbirlerine çiroz etriyelerle bağlanması gerekir. Donatılı duvarın perde duvar olarak çalışması için donatıların yapı yüksekliği boyunca sürekli olması sağlanmalıdır [3].




Şekil 3.15 Perdelerin çerçeveler ile birlikte çalışması için bir uygulama

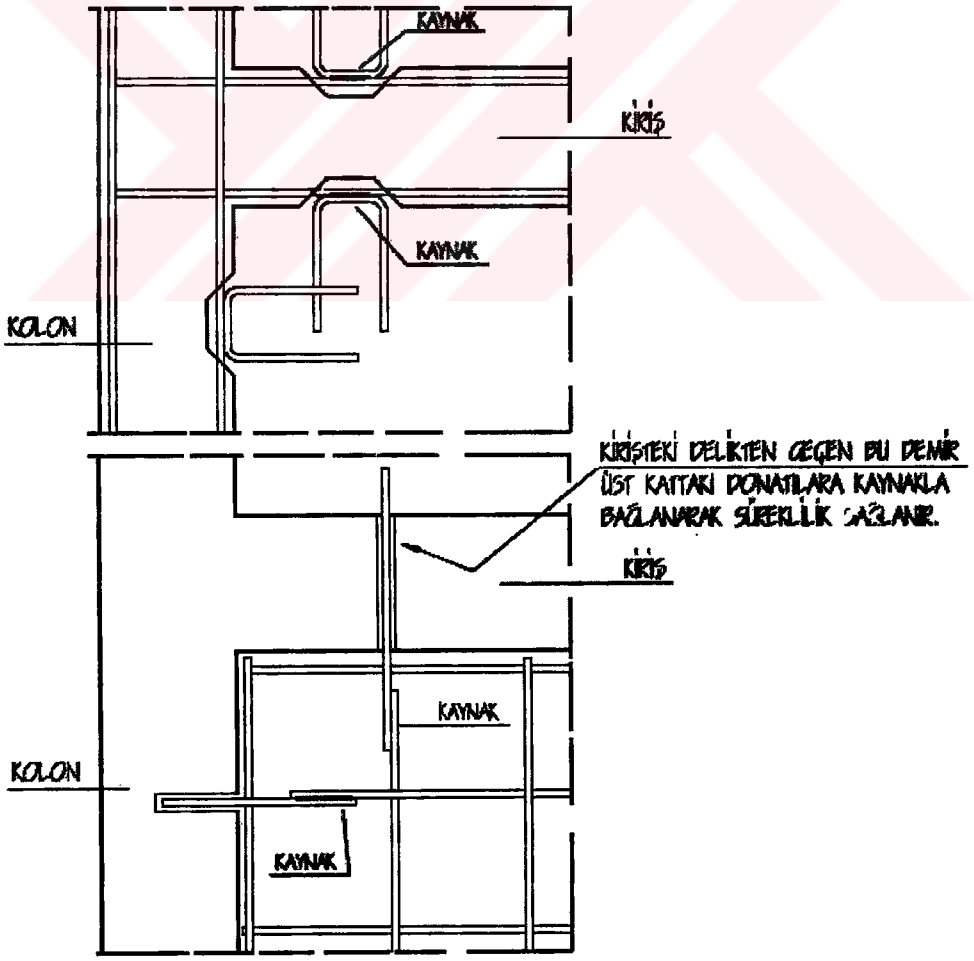
### 3.3.3 Yerinde Dökme Perde Duvarla Dolgu

Bu yöntem en çok önerilen yöntemdir. Çünkü betonun basınç ve çekmeye karşı dayanımı tuğla yada beton briket duvardan çok daha büyüktür. Ayrıca yapıya tuğla duvara göre çok daha büyük rijitlik sağlar. Yeniden dökülen betonarme perde duvarların kiriş ve kolonlara bağlantısını sağlamak için Şekil 3.15'de gösterilen yöntemler uygulanabilir. Yatay donatılar kolon içinde ankraj edilmiş filiz demirlerine kaynakla bağlanırken, düşey donatılar kirişlerde açılan deliklerden geçirilerek betonarme perdenin yapı yüksekliği boyunca sürekliliği sağlanmalıdır. Her bir katın perde düşey donatısı var olan kirişlerde açılmış yuvalarda yer alan bağlantı filiz demirlerine kaynaklanmalıdır. Çerçevelerin arasına perde yapımında mevcut kolon ve kiriş betonu ile birlikte çalışma için betonda kesme takozları kullanılmalıdır. Çerçevelerin arasına perde duvar yapımı yapı temelinden başlayarak en üst kata kadar sürekli olmalıdır. Perde duvarın herhangi bir katta kesilmesi yapıda o katta gerilme birikimi ve deprem davranışının ani olarak değişmesine neden olduğu için kritik olmaktadır. Perde duvarların sürekliliğini sağlamak için donatıların var olan kolon ve kirişlerde ankrajı gerekir. Bu çözümün uygulanabilmesi için gözün doldurulmasından sonra elde edilen deprem perdesinde deprem etkileri altında oluşacak devirme momentlerinden dolayı mevcut kolonlarda meydana gelecek kuvvetlere karşı bu kolonların yeterli mukavemette olması gerekir. Yeni oluşturulan perde ile kiriş arasındaki birleşimde hareket olursa büyük kayma gerilmeleri ortaya çıkacağından mevcut kolonun ayrıca kesme mukavemetinin de yüksek olması gerekir. Bu nedenle, yerinde dökme perde duvarla güçlendirmede çerçevenin uçlarındaki kolonların da mantolanarak güçlendirilmesi tercih edilmelidir. Perde uçlarındaki kolonlarda depremde perdeye gelecek eğilme momentlerinden dolayı büyük basınç ve çekme kuvvetleri oluşmaktadır. Eğer kolon boyuna donatıları yeterli bir biçimde etriyelerle sarılmamış ise burkulmakta ve perde duvarın sağlaması gereken moment taşıma gücüne ulaşılamamaktadır.

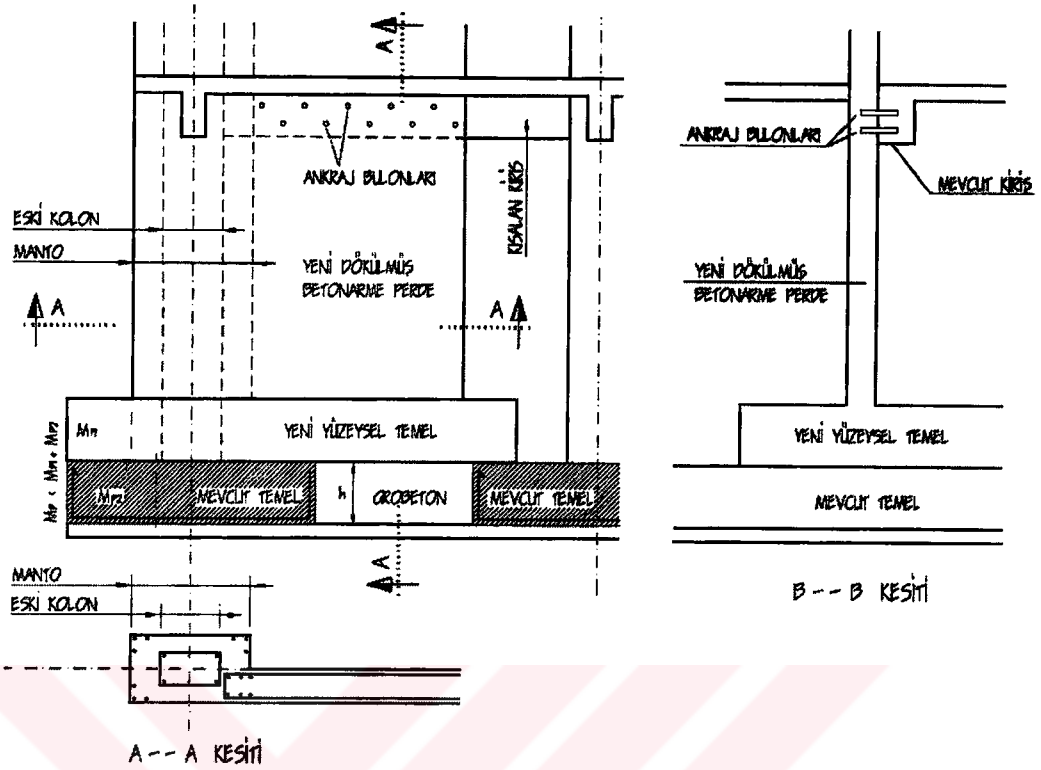
Yerinde dökme betonarme perdelerle güçlendirme uygulamasında önemli bir sorun çerçeve içine konulan perdenin betonunun dökülmesidir. Özellikle kiriş altına gelen yerde beton doldurmak güçtür. Aşağıdan basınçla beton pompalama yada duvarın üst tarafından yandan beton dökme teknikleri uygulanabilir. Özellikle kirişlerin hemen

altındaki bölgeye genleşen bir çimento ile yapılmış bir harç doldurulması uygun olacaktır.

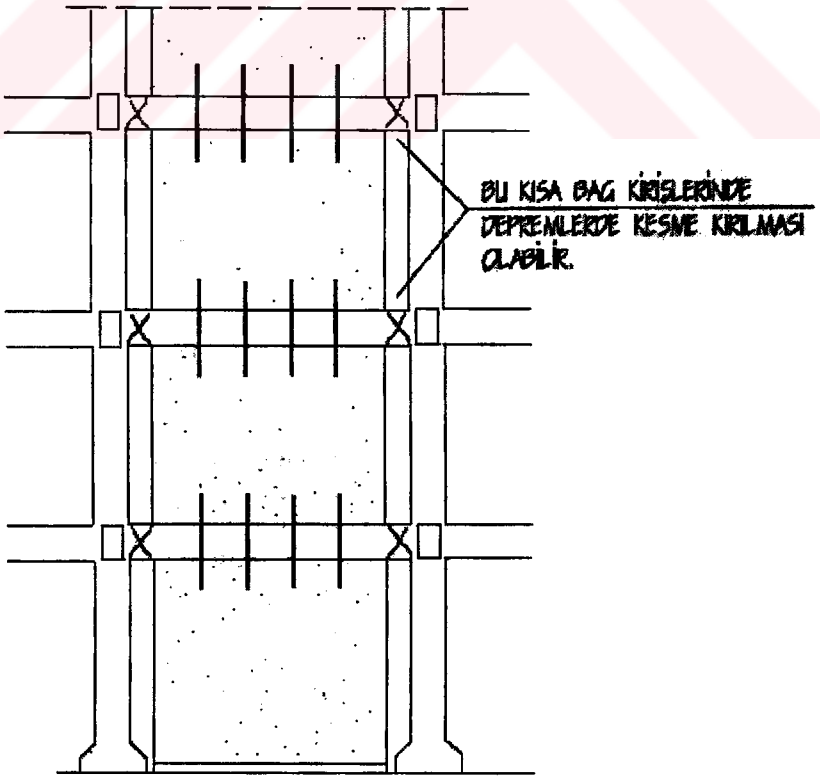
Yerinde dökme perde duvarların donatıları hem kirişlerde hem de kolonlarda ankraj edilebileceği gibi yalnızca kirişlere bağlantı yapılıp perde duvar ile kolon arasında derz bırakılabilir. Kolonlarla monolitik olmuş perde duvarlarda, yatay yükler altında, perdeler uçlarında flanş olan I kesitli elemanlar gibi çalışırlar ve uçlarındaki kolonlarda büyük basınç kuvvetleri oluşur. Eğer bu kolonlarda boyuna donatılar etriyeler ile yeterli olarak kısıtlanmamış ise var olan kolonlar hasar görür. Bu tür perde uç kolonlarında hasar olmasını önlemek için eklenen perdelerin kolonlarla aralarında derzli yapılması daha uygundur. Bu durumda da perde ile kolon arasındaki çok kısa kirişlerde yatay yüklerden dolayı kesme kırılması beklenir. Bu bölümler bağ kirişleri gibi çalışacaktır. Ancak bu tür kırılmaların yapı güvenliği açısından fazla sakıncası yoktur (Şekil 3.18) [3].




Şekil 3.16 Perde duvarların mevcut kolon ve kirişlere bağlantı şekilleri



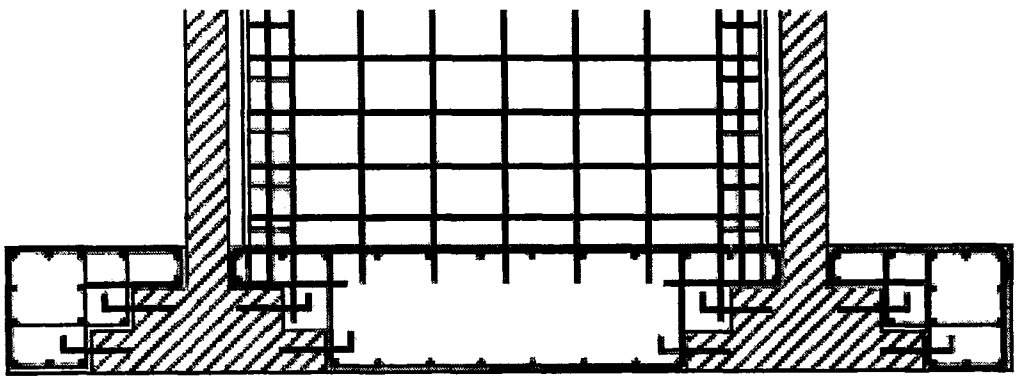

Şekil 3.17 Çerçevenin yanına perde duvar eklenmesi




Şekil 3.18 Yalnızca kirişlere bağlanmış perde duvarla güçlendirme

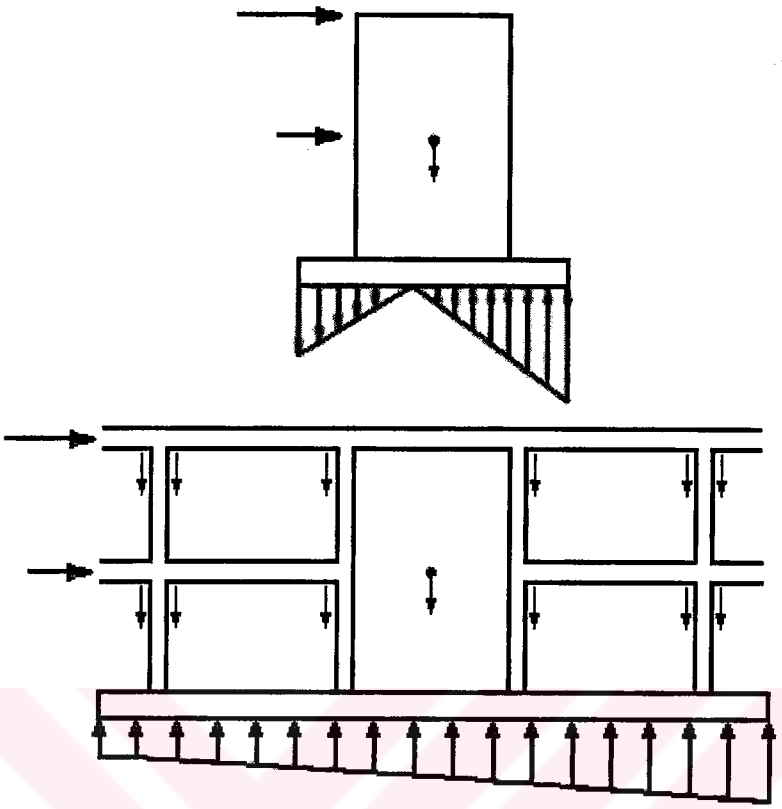
Genellikle kolonlardan oluşan çerçeve sistemlerinin perdelerle güçlendirilmesine gidilir. Ancak, perdeler rijitlikleri nedeniyle deprem kuvvetinin önemli bir kısmını alırlar. Buna karşılık sistem yükünü aldıktan sonra ilave edildikleri için, normal kuvvetleri kendi ağırlıklarından ibarettir. Sadece yeni olarak gelecek hareketli düşey yüklerin taşınmasında yardımcı olurlar. Bu tür normal kuvveti küçük, eğilme momenti büyük olan perdelere temel düzenlenmesinde, ortaya çıkan büyük çekme gerilmelerinden dolayı zorluklar meydana gelir. Temelin çekme gerilmesi almadığı kabul edilerek temelin bazı bölgelerde zeminden yerel olarak ayrıldığı kabulü yapılması gerekli olur. Temeli kalın yaparak bu bölgeleri sınırlandırmak mümkün olabilir. Bunun yanında, daha etkili bir çözüm, komşu kolonları da içerecek şekilde sürekli veya plak temel düzenlenmesidir. Bu suretle kolonların normal kuvvetlerinden faydalanılarak perdeye komşu tekil temeller birleştirilerek büyük bir perde temeli yapılması gerekebilir (Şekil 3.20).

Zemin güvenlik gerilmesinin yeterli olmadığı yerlerde, temel genişletmesinin yanında zeminin iyileştirilmesi de düşünülebilir. Bunun gibi, deprem etkisi durumunda etkinin kısa süreli olması nedeniyle zemin emniyet gerilmesinin üstündeki bazı yerel gerilme artışlarına izin verilebilir. Perde için yapılan yeni temellerin mevcutlarla beraber çalışması ve perdenin ana donatılarının temele kenetlenmesi sağlanmalıdır (Şekil 3.19). Bu amaçla temelin ortak yüzeyine epoksi sürmek ve dikiş donatıları yerleştirmek önerilir [2].





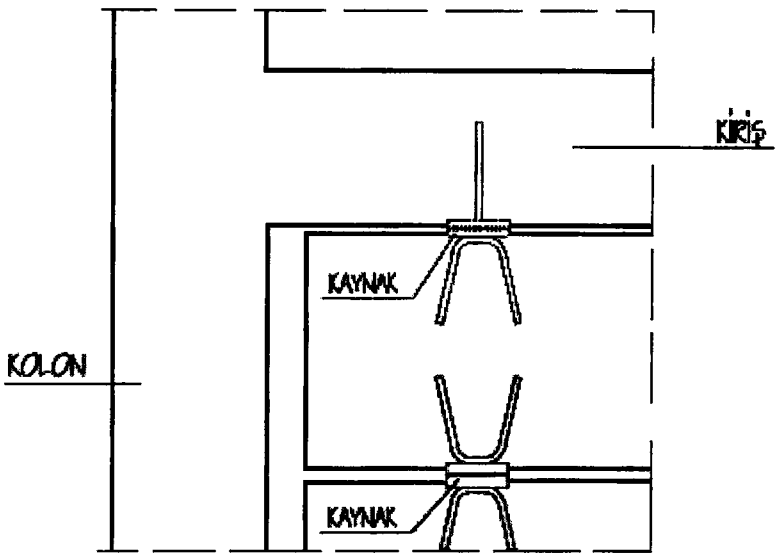
Şekil 3.19 Güçlendirme perdesi temeli



Şekil 3.20 Normal kuvveti düşük perde temelinin oluşturulmasında komşu kolonların normal kuvvetlerinden faydalanılması

### 3.3.4 Hazır Dökülmüş Panolarla Dolgu

Yerinde dökme betonarme duvar yapımı yerine hazır dökülmüş duvar elemanları da kullanılabilir (Şekil 3.21). Hazır elemanlar standart açıklıklar varsa daha kullanışlı olabilir. Öte yandan yapıda onarılması gereken çok sayıda aynı boyutta çerçeve açıklığı varsa, (okul, hastane, büro tipi yapılar) hazır dökülmüş pano ile dolgu yapılabilir. Ancak bunların yapı içinde insan gücü ile taşınabilir boyut ve ağırlıkta olması gerekir. Hazır dökülmüş betonarme panolarla dolgu yaparak güçlendirme yerinde dökme betonarme perde duvarlarla güçlendirmeye göre daha az yatay yük taşıma gücü sağlar fakat daha sünek olduğu görülmektedir. Bu yöntemde panolar birbirlerine, kolon ve kirişlere kaynaklı olarak bağlanmalıdır. Hazır panoların kolon veya kirişlere bağlantısı, yerinde dökme mevcut elemanlarda kiriş yada kolonda kesme takoz yuvaları açmak ve buralardaki kiriş ve kolon donatısına hazır elemanlardan gelen donatıları kaynaklamak biçiminde de olabilir. Kesme takozu yuvası epoksi harcı yada yüksek dayanımlı ve genleşen çimentolu beton ile doldurulmalıdır [3].



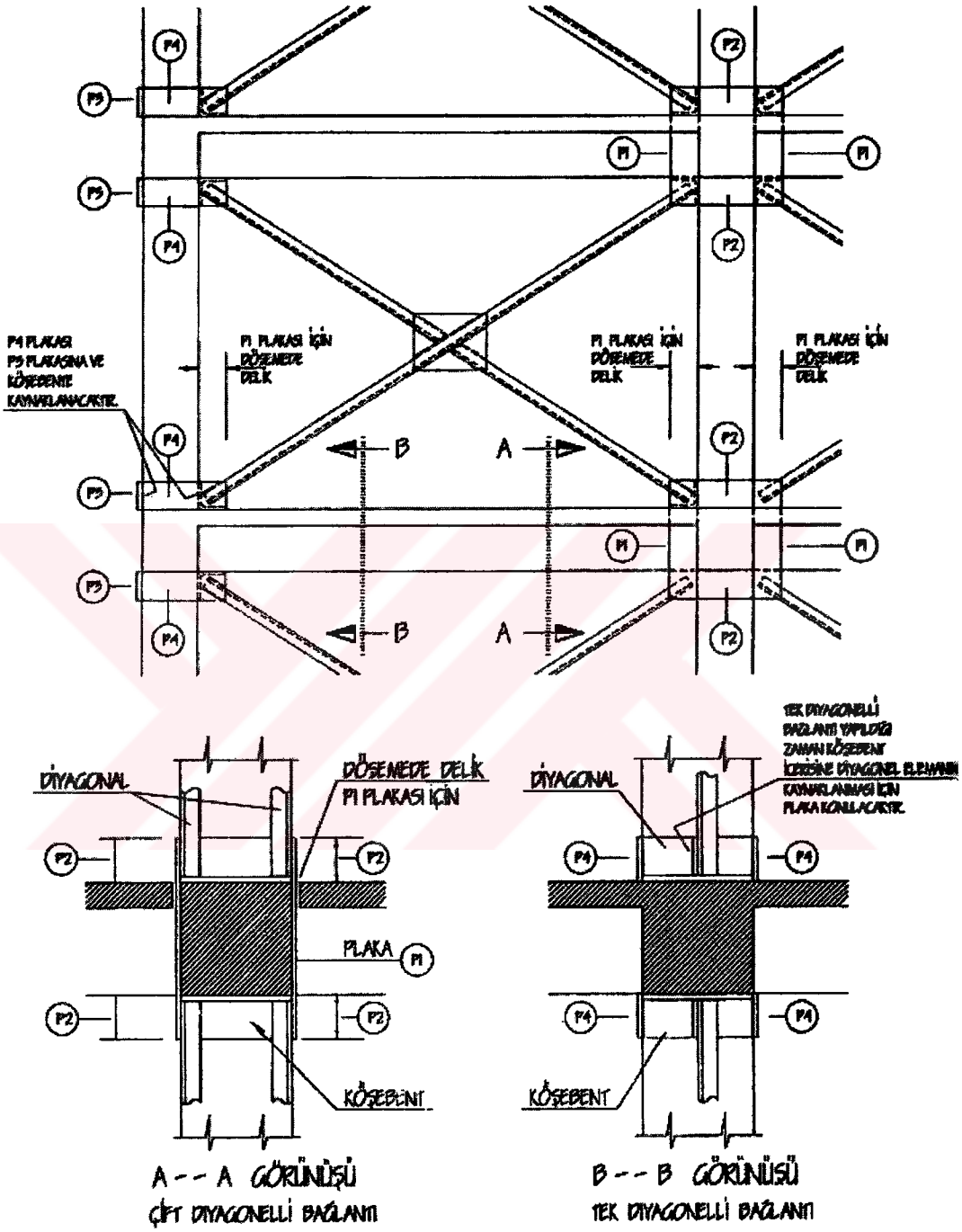

Şekil 3.21 Yeni perde eklenmesinde hazır panoların kolon ve kirişe bağlantısı

### 3.3.5 Çelik Diyagonal Elemanlarla Güçlendirme

Betonarme perde duvarların konulması yapının ağırlığını ve dolayısı ile yapıya gelen yatay deprem yüklerini de artırabilir. Bu artıştan kaçınmak yada yapının ağırlığını artırmadan rijitliğini yada daha önemlisi sünekliğini artırmak için çerçeve boşlukları arasına çelik çerçeveler yada diyagonal elemanlar konularak güçlendirme yapılabilir (Şekil 3.22-3.23). Bu tip güçlendirme diğer yöntemlere göre çok daha kısa bir süre içinde gerçekleştirilebilir. Çerçevenin betonarme kolonlara özel bir biçimde bağlanması gerekir. Şekil 3.23'de gösterildiği gibi bulonlu bağlantı olabileceği gibi, Şekil 3.22'de gösterildiği gibi kaynaklı bir bağlantı da yapılabilir. Kaynaklı bağlantı yerine bulonlu bağlantının daha iyi bir sıkıştırılma olanağı vardır. Bulonlu bağlantı kolonun dış yüzünde olabileceği gibi, betonarme kolon delinerek bulonlar betonarme kolonun içinden geçirilerek de yapılabilir. Çelik çerçeveler yatay kuvvet taşıma gücü bakımından betonarme perde duvarlara göre hem daha güçsüzdürler hem de maliyetleri daha yüksektir. Ancak daha kısa sürede yapılabilmeleri ve bir deprem sonrasında acil olarak yapıların hasarlı bölümlerinin desteğe alınmasında kullanılabilme gibi üstünlükleri de vardır.

Çelik çerçeve ile güçlendirmede diyagonal pencere boşluklarına uygun biçimlerde de konulabilir (Şekil 3.24). Diyagonalli çelik çerçevelerin önemli bir üstünlüğü

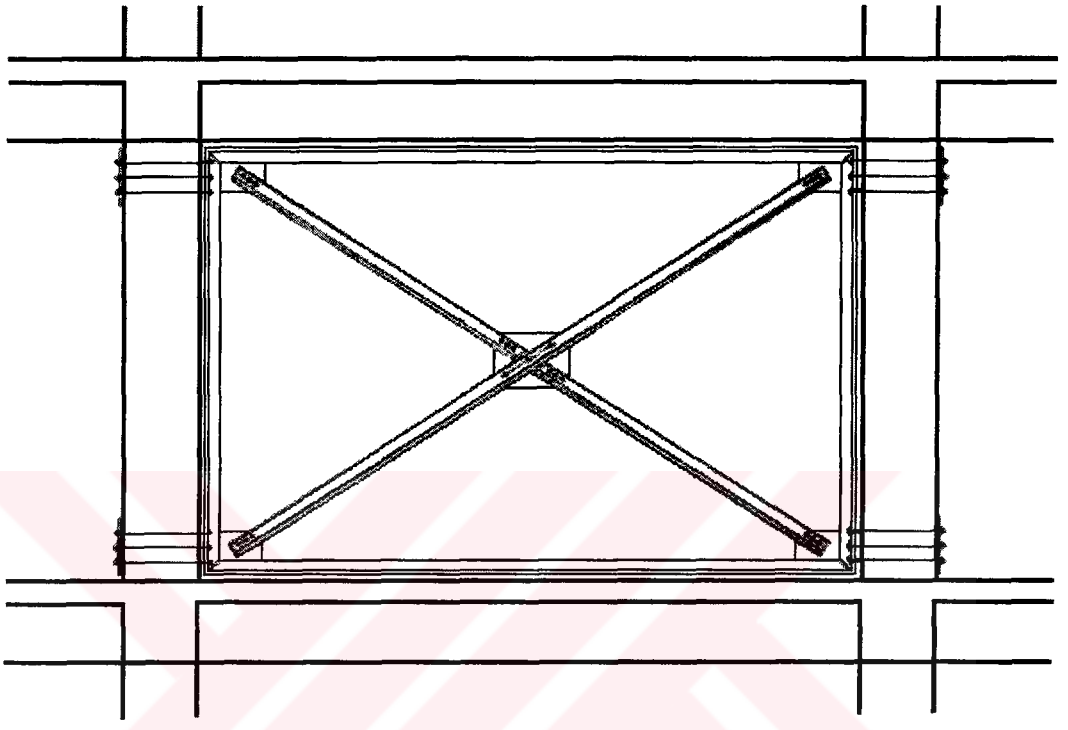
diyagonallerin açıklıktaki pencere yada kapı boşluğu kapatılmadan yerleştirilebilmesidir.



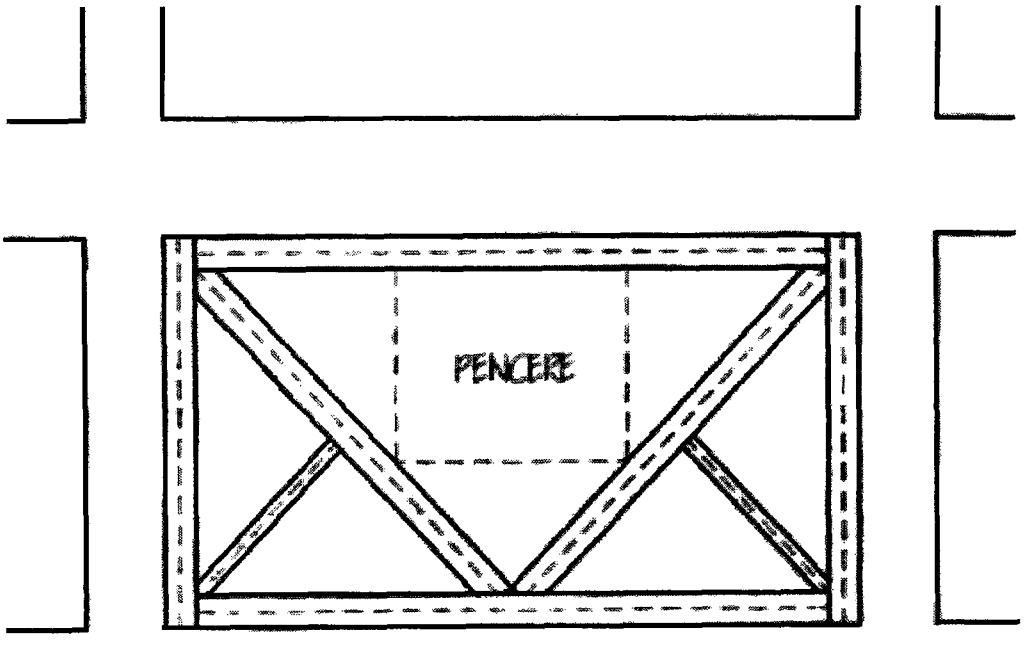

Şekil 3.22 Çerçeve açıklığına kaynaklı diyagonal çelik elemanlar konulması

Çelik çerçeve ile güçlendirmenin önemli bir sorunu çelik ve betonarme çerçeve arasında kuvvet aktarımıdır. Bu sorunun çözümü için Şekil 3.25'de gösterilene benzer ayrıntılar uygulanmaktadır. Çelik çerçevenin dış çevresine kaynakla bağlanan dişler ve yine betonarme çerçeveye ankrajlanan dişlerin arasına yaklaşık 15-20 cm

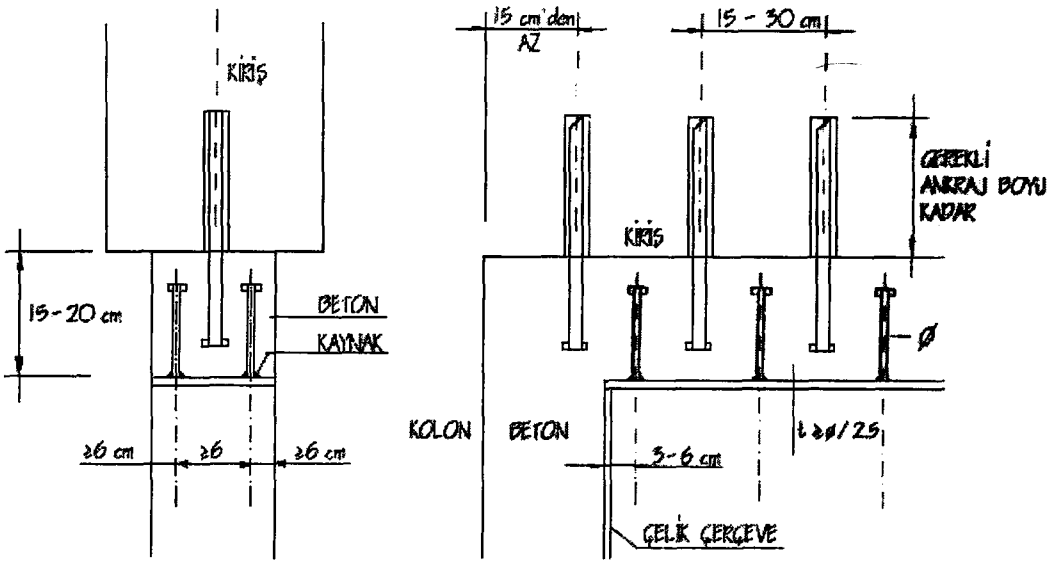
kalınlığında beton dökülmektedir. Bu betonun basınç dayanımını artırmak için bu bölüme spiral donatı konulmaktadır. Spiral donatı yerleştirmek oldukça güç bir işçiliktir. Bu yöntem genellikle geniş açıklıklı betonarme çerçeveli, eski yapıların güçlendirilmesinde kullanılmaktadır [3].



Şekil 3.23 Çerçeve açıklığına bulonlu çelik diyagonal elemanlar yerleştirilmesi




Şekil 3.24 Pencereleri kapamayan diyagonal yerleştirme biçimi




Şekil 3.25 Çelik çerçeveden betonarme elemanlara kuvvet aktarma ayrıntıları

## 3.4 Dolgu Duvarların Etkinliği

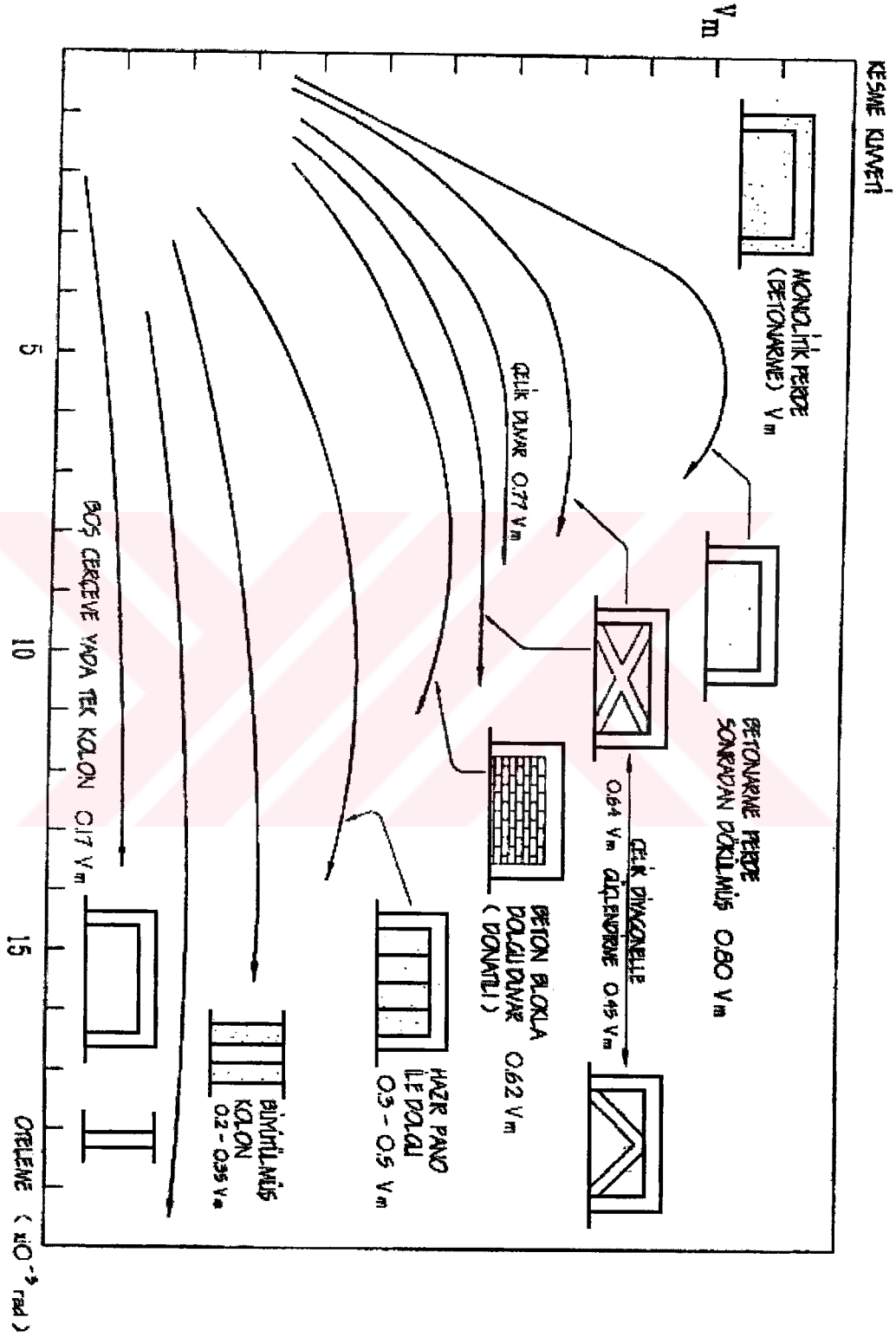
Değişik biçimde güçlendirilmiş çerçevelerin yatay yük altındaki davranışlarının deneysel olarak karşılaştırıldığı bir çalışmada Şekil 3.26'da görülen yük-deformasyon eğrileri verilmektedir. Buradan görüleceği gibi çerçeve boşluğu içine perde duvar yapılması ile boş çerçeveye göre yaklaşık 4-5 kata varan kesme kuvveti taşıma gücü artışlarına ulaşılabilmektedir.

Yapılan bir deneysel çalışmada çerçeve sisteminin içine konulan betonarme perdenin eğer çerçeve ile bağlanmamış ise tersinir ve devresel yüklemeler altında etkili olmadığı gözlenmiştir. Buna karşılık betonarme perdenin donatıları çerçeve donatıları ile kaynaklı olarak bağlanırsa iyi bir davranış sağlandığını, perde duvarın donatısının çerçevenin kolon ve kirişlerine yerleştirilmiş kamalarla bindirmeli olarak yapılması ile çok üstün bir davranış elde edildiği görülmüştür [3].

## 3.5 Kanat Duvarların Eklenmesi

Yapılarda uygulanan bir başka güçlendirme biçimi kolonun iki yanına kanat biçiminde perde duvar eklenmesidir (Şekil 3.27). Bu yöntem ile perdenin yatay donatısı kolonun yatay donatılarına kaynaklanmaktadır. Daha sonra betonlama ile

eski kolon betonunun yeni perde betonu ile tek parça olarak birlikte çalışması sağlanmaktadır.




Şekil 3.26 Çerçeve açıklığının değişik yöntemlerle doldurulmasının dayanım ve deformasyon üzerindeki etkileri

Kanat eklenerek takviye edilmiş kolonlar üzerinde yapılan deneylerde kanatsız ve kanatlı kolonun yatay yükler altında davranışı incelenmiştir. Kanat eklenmiş kolonlar ya eğilme etkisinden yada kesme etkisinden kırılmaktadır. Kolonlara kanat eklenmesi ile hem moment hem de kesme kuvveti taşıma gücü 2-3 kat artmaktadır. İnce olan kanatlardaki basınç bölgesi betonunun etriyelerle kısıtlanması oldukça güç olduğu için genellikle süneklik artışları az olmaktadır. Ancak yapılan birtakım deneylerde kolona eklenen kanatlar (Şekil 3.28), kolon kalınlığında olduğu ve çekirdek betonu etriyeler ve boyuna donatı ile iyi sarıldığı ve de eklenen bölüm ile eski bölümler arasında tam bir yapışma sağlandığı durum için yüksek süneklik gerçekleşmiştir (Şekil 3.30). Bu nedenle kolonlara kanat eklenerek dayanım ve sünekliğin artırılması için:

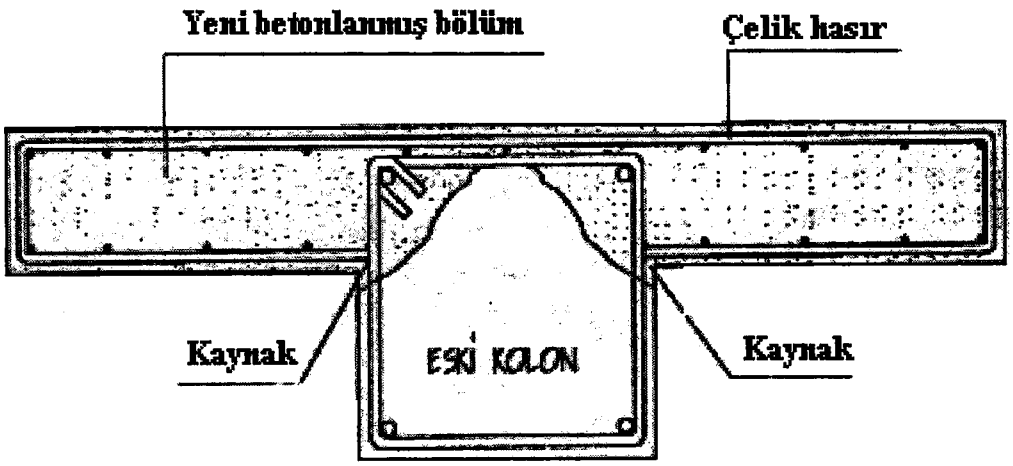
Eklenen kanatlarla kolon bir perdeye dönüştürülmelidir.

Kanatların uçlarında özel olarak kısıtlanmış uç elemanları olmalıdır.

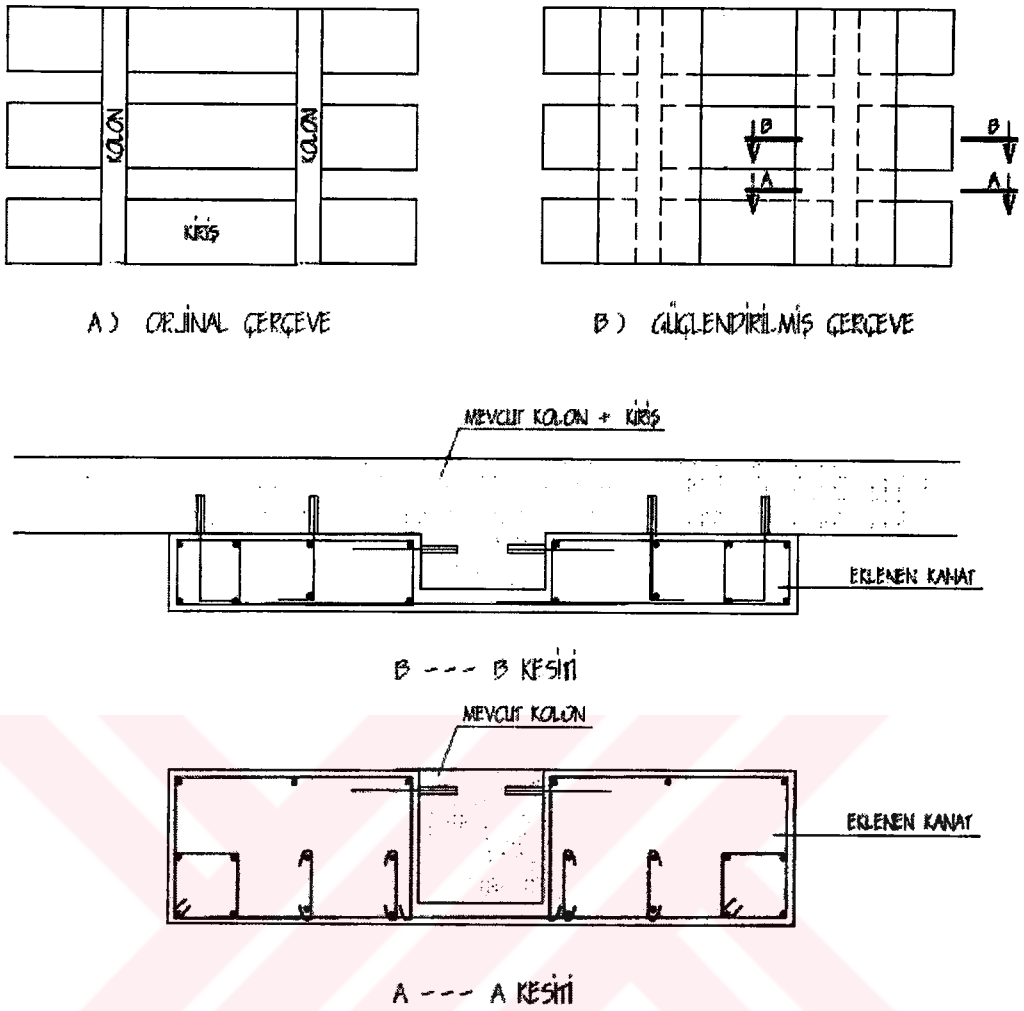
Kanatların kalınlığı uçlardaki beton çekirdek alanının etriyelerle kısıtlayabilecek kadar olmalıdır.

Kanat çekirdek betonu alanı toplam kanat alanına yakın olmalıdır.

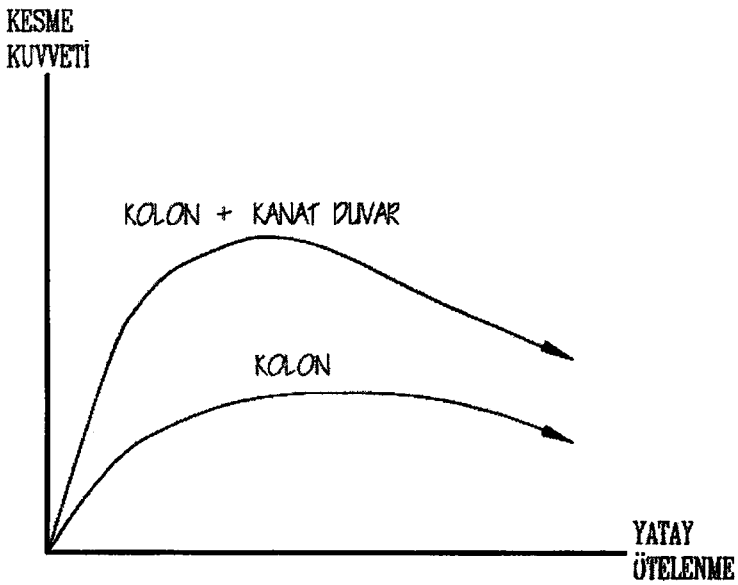
Kanat eklenmiş kolonların davranışı başlangıçta perde duvar davranışına yaklaşmakta daha sonra kanatların hasarının gelişmesinden sonra kanatsız kolonun davranışına yaklaşmaktadır (Şekil 3.29) [3].



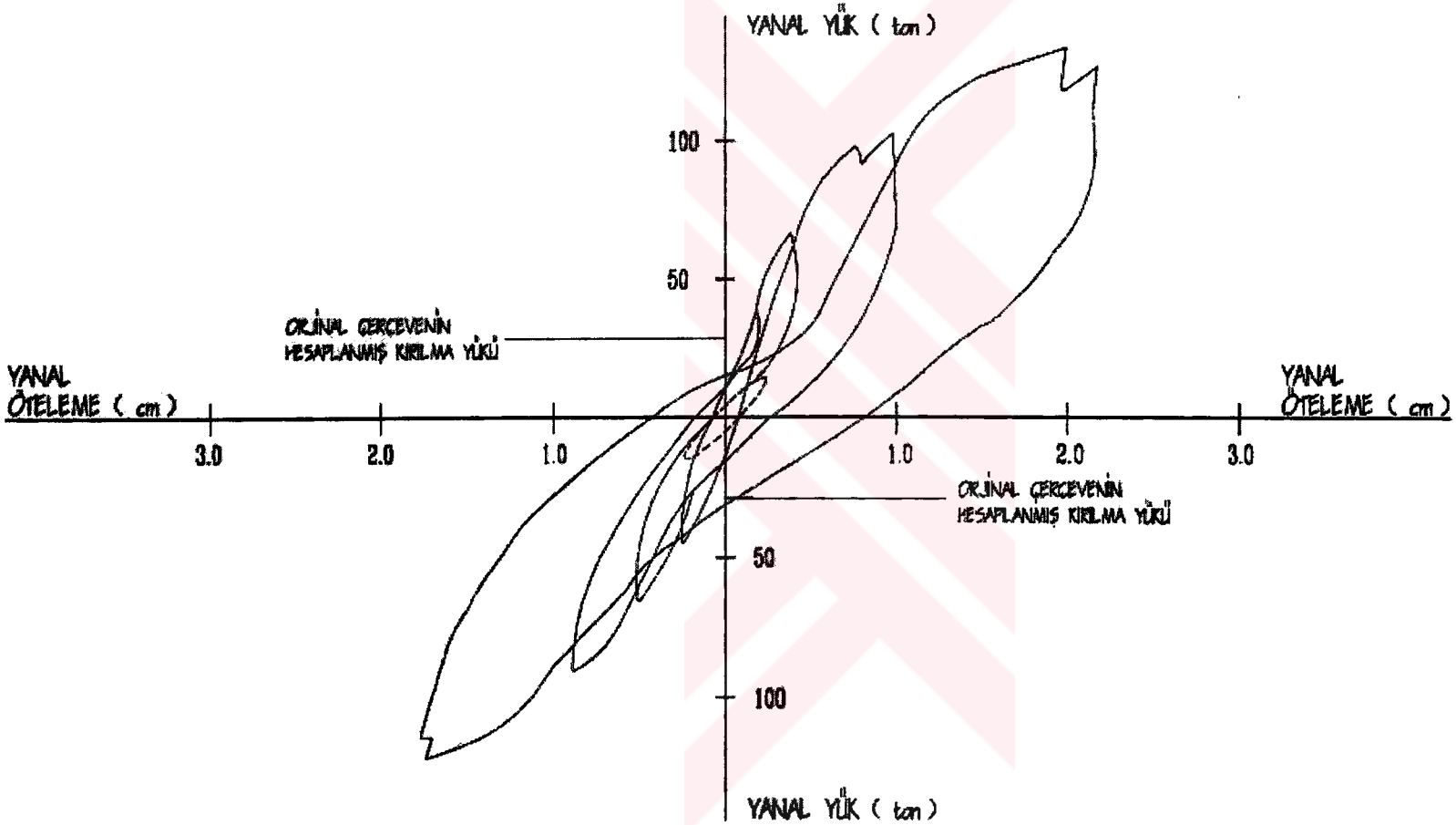

Şekil 3.27 Betonarme kolonun perde duvara dönüştürülerek güçlendirilmesi




Şekil 3.28 Kolonun kanat eklenerek güçlendirilmesi




Şekil 3.29 Kanatla güçlendirmenin yatay yük altında davranışa etkisi




Şekil 3.30 Kanat ekleme ile güçlendirmenin etkinliği

# 4. BETONARME YAPILARDA KOROZYON HASARI VE ONARIMI

Betonarme yapılarda çeşitli nedenlerden donatıda korozyon oluşur ve elemanlarda önemli hasar meydana getirir. Zamanla bu hasar önemli seviyelere ulaşır ve alınacak önlemlerin pahalı olmasına sebep olur. Bu nedenle bu tür hasarın olabildiğince erken belirlenmesi ve önlem alınması önemlidir. Donatıda korozyon esas olarak klorürlerin betona nüfuz etmesi veya beton yüzünde karbonatlaşmanın oluşmasıyla meydana gelir.

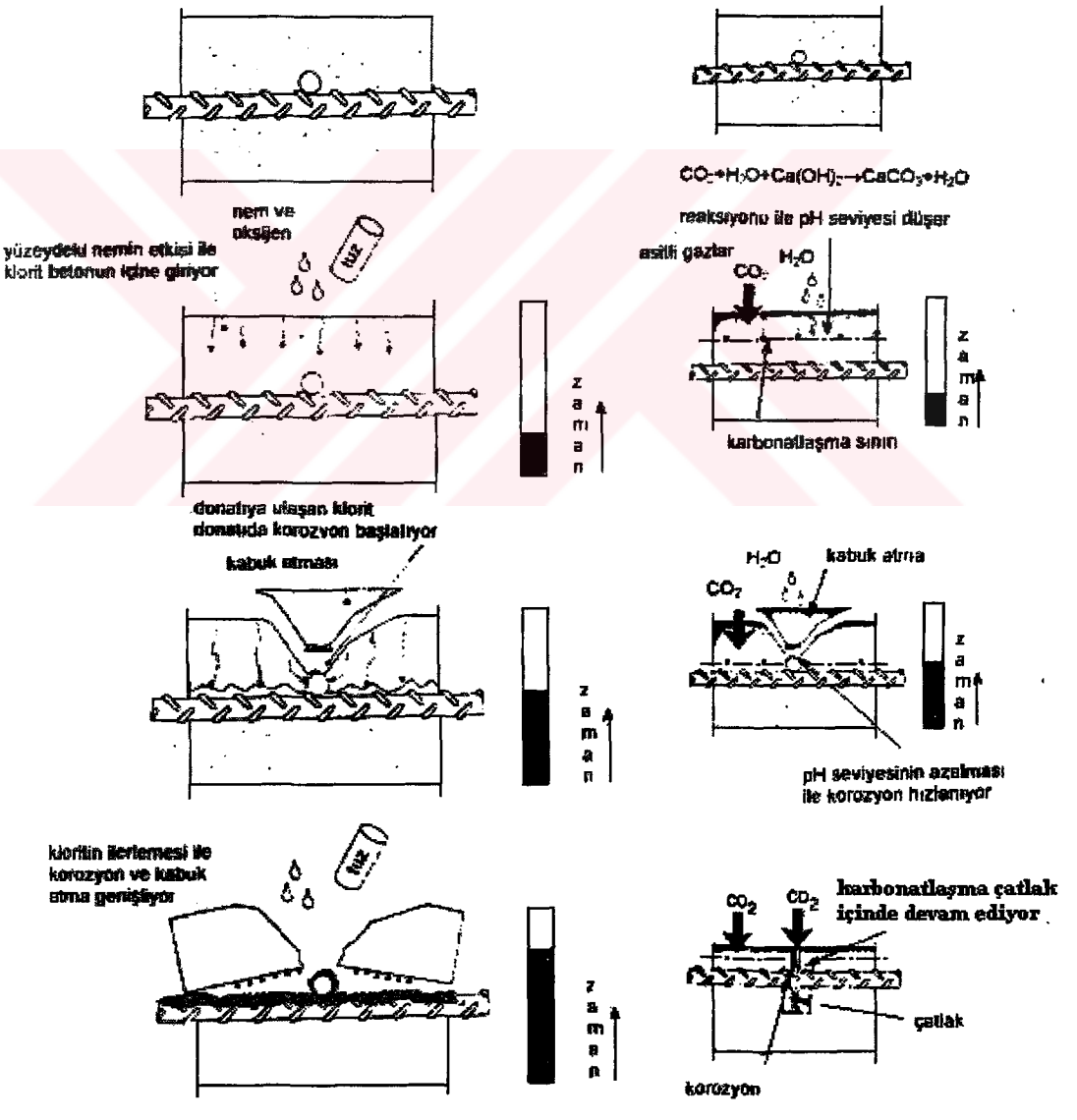
Betonun, klorür içeren deniz suyu veya buz çözücü tuzla temas etmesi sonucu, klorür, içeri doğru nüfuz eder. Klorürün ilerlemesi, klorür miktarına, betonun geçirgenliğine ve ortamda mevcut nem miktarına bağlı olur. Donatıya erişen klorürle beraber, oksijenle nemin bulunması donatıda korozyonun başlamasına sebep olur. Korozyon sonucu genişlemek isteyen donatı, çevresindeki betonda çatlamaya ve kabuk atmasına sebep olur. Çatlama ve kabuk atması, elemanın yüklü olması durumunda daha da çabuklaşır. Bunun sonucu donatıya; korozyona sebep olan tuz, nem ve oksijen daha kolay ulaşacağı için olay ayrıca hızlanır ve beton yüzünden daha derinde bulunan donatılarda da korozyon başlar. Bunun yanında betonun pH değerinin düşük olması, korozyonun başlamasında etkili olur (Şekil 4.1).

Betonun agregasında bulunan klorür de korozyonun içten başlamasına neden olur. Klorür, agreganın veya beton karışım suyunun kendi bileşiminde bulunabildiği gibi, deniz kumunun yıkanmadan doğrudan kullanılması durumunda betonun bileşimine girebilir. Klorür, asitle çözülebilir durumda bulunduğu gibi, daha tehlikelisi su ile çözülebilir ve kolayca korozyona sebep olabilecek durumda da bulunabilir. Korozyon işleminde klorür işleme giremez, sadece katalizör olarak etkili olur. ACI 201.1R'de Tablo 4.1'de verilen üst sınırlar öngörülmüştür.

Betonun karbonatlaşması, atmosferde bulunan asitli gazların ve çimento hidratasyonunda oluşan bileşiklerin reaksiyonu sonucu meydana gelir. Normal havada %0,03 gibi oldukça düşük oranda karbondioksit gazı ($CO_2$) bulunur. Bu oran

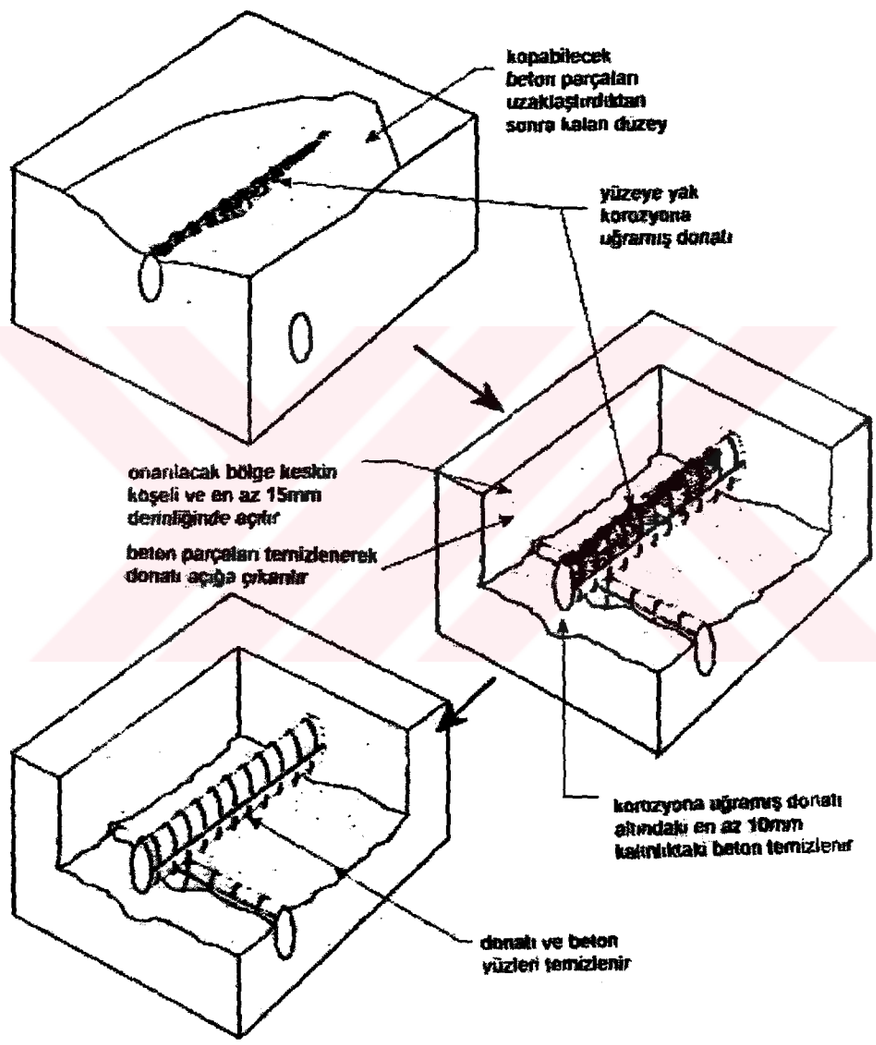
endüstriyel ortamlarda daha yüksektir. Karbondioksit betonun boşluklarından içeri girerek, boşluk suyunda çözünmüş olan kalsiyum hidroksitle (CaOH) oluşturduğu reaksiyonla betonun pH seviyesini düşürür.

Karbonatlaşan betonun yüzeyi sertleşir ve betonun donatıyı koruması azalır. Nüfuz eden oksijen ve nem sonucu donatıda korozyon başlar. İyi betonda karbonatlaşma işlemi çok yavaştır. Ayrıca, olayın oluşması için, nem seviyesinin nem ile kuruluk arasında periyodik değişmesi gerekir. Betonun sürekli su içinde kalması karbonatlaşmaya sebep olmaz (Şekil 4.1). Betonarme elemanda derz bulunması veya gerilme sonucu oluşan çatlaklar korozyonun hızlanmasına sebep olur.




Şekil 4.1 Betonarme elemanlarda korozyon ve karbonatlaşma hasarının zamanla oluşması

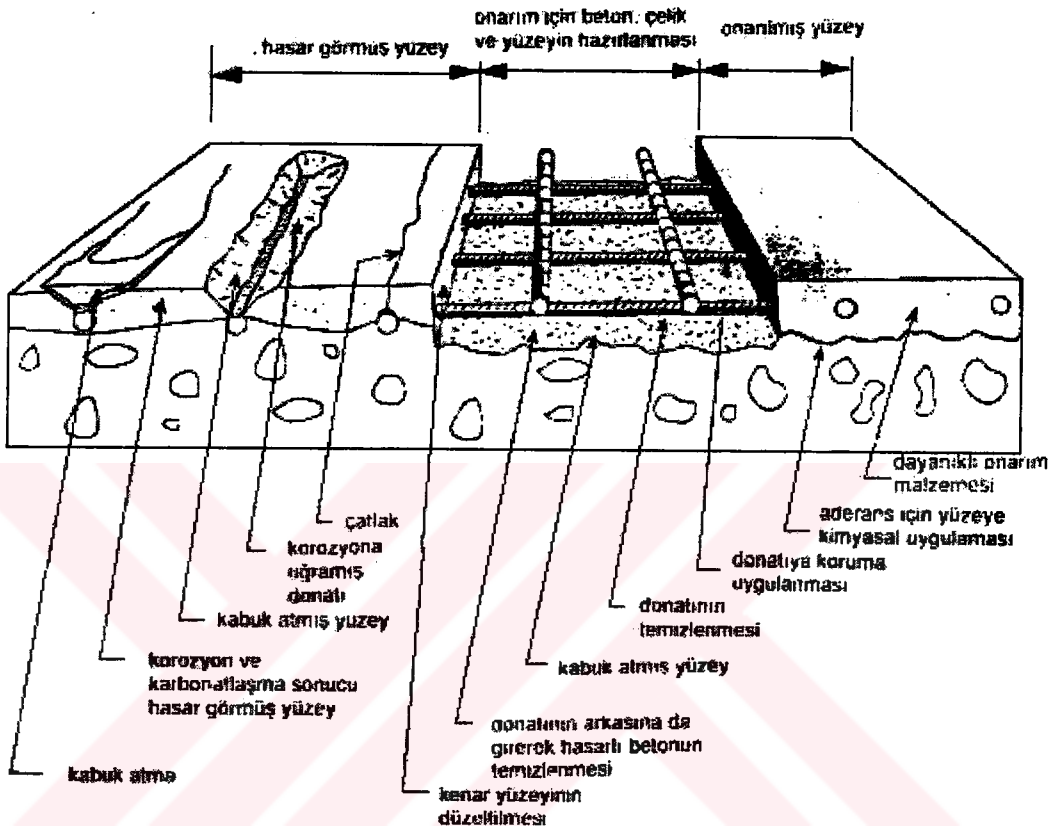
Korozyona uğramış donatının ve kabuk atmış yüzeyin onarılmasında, işlemin özenle yapılması önemlidir. Sadece bir sıva ile geçiştirilmesi, korozyonun iç kısımda devam etmesine sebep olur. Donatıda çap küçülmesi devam ederken bir müddet sonra betonun kabuk atmasıyla hasar daha ağır bir şekilde ortaya çıkar. Onarım için; donatının korozyondan temizlenmesi, beton yüzeyinin hazırlanması ve tamir harcı gibi uygun onarım malzemesinin kullanılması gerekir (Şekil 4.2 ve Şekil 4.3).




Şekil 4.2 Korozyon hasarına uğramış betonarme elemanda onarım

Korozyonun başlaması ve ilerlemesinde, betonarme elemanın bulunduğu ortamdaki nem ve oksijen etkili olur. Alınacak önlemler yanında ortamın kuru tutulması da önemlidir. Bunun yanında yeni yapılarda seçilecek beton kalitesinin dayanım ilkeleri yanında geçirgenlik özellikleri de göz önünde bulundurularak seçilmesi gerekir.

Korozyonun ileri durumlarında, donatı kesiti küçülebilir ve elemanın taşıyıcılık güvenliği zayıflayabilir. Bu durumda kolonlarda mantolama işlemi bir çözüm olabilir. Eğer bu korozyon örneğin binanın bodrum katında çok yaygınsa, bu katta çevre perdesi yapılması da tavsiye edilebilir [2].




Şekil 4.3 Korozyon hasarına uğramış betonarme döşemede onarım

Tablo 4.1 Maksimum klorür sınırları

| Kullanım Durumu | Çimento ağırlığına göre % olarak Cl sınırı |
|---|---|
| Öngerilmeli beton | 0,06 |
| Klorüre maruz olan ve nemli ortamda bulunan yerinde dökme beton | 0,10 |
| Klorüre maruz olmayan ve nemli ortamda bulunan yerinde dökme beton | 0,15 |

# 5. ONARIM VE GÜÇLENDİRMEDE PROJELENDİRME ESASLARI VE AŞAMALARI

## 5.1 Giriş Ve Genel Bilgiler

Yapı hasarının giderilmesinde temel olarak iki düzey vardır. Yapının veya yapı elemanının dayanımı hasar öncesi düzeye getirilir yada yapı elemanının veya yapının hasar öncesine göre daha yüksek bir dayanımı olması sağlanır. Genellikle hasar öncesi dayanım düzeyine getirmek onarım, hasar öncesine göre daha yüksek bir dayanım düzeyine getirmek güçlendirme olarak nitelenmektedir [3].

Onarım: Görünüş veya kullanım bakımından hasar görmüş bir yapıda veya onun bir veya birkaç elemanında önceki haline getirmek için yapılan çalışma ve değişikliktir. Bu önceki haline getiriş onun görünüşü ve kullanımı (yük taşıma kapasitesi, rijitliği, düktilitesi ve dayanıklılığı dahil) bakımlarından olabilir.

Güçlendirme: Bir yapının yük taşıma kapasitesini, rijitliğini, düktilitesini ve stabilitesini veya bunlardan bazılarını önceki veya mevcut durumunun üzerine çıkarmak amacı ile yapılan değişikliktir.

Görülüyor ki onarımda amaç önceki durumu geri getirmektir. Bu, kullanım bakımından olabileceği gibi mukavemet gibi mekanik karakteristikler açısından da olabilir. Güçlendirmede ise amaç, mukavemet ve benzeri karakteristiklerini önceki düzeyin üzerine çıkarmaktır.

Onarımın hasar görmüş yapıda yapılmasına karşın güçlendirme için yapının hasar görmüş olması gerekmez. Hasar görmemiş bir yapının da takviyesi söz konusu olabilir [4].

Ekonomik ömrü içinde sık sık olması beklenen düzeyde bir depremde hasar gören yapının aynı boyutta depremlerin birçok kez yenilenmesi beklentisi karşısında aynı hasarın tekrar olmaması için eski durumundan daha güçlü duruma getirilmesi gerekir.

Yük altında aşırı sehim, deformasyon ve çatlak yapmış bir yapı yada yapı elemanı yükünü taşırken zorlandığını gösterir. Bu durumda ya yükü azaltmak ve hasara yol açan etkiyi gidermek, yada elemanın dayanımını artırmak gerekir [3].

Onarım ve/veya güçlendirme işlerinin tasarlanması, planlanması, projelendirilmesi aşağıdaki çalışmaları kapsar:

Yapının şimdiki halinin belirlenmesi,

onarım ve/veya güçlendirme gereklerinin belirtilmesi,

bir onarım ve/veya güçlendirme programı hazırlanması,

onarım ve takviyeden sonra yapıda temin edilmesi istenen hedef ve şartların belirlenmesi,

hatıra gelen ve önerilen onarım ve/veya güçlendirme sistemlerinin uygunluğunun ve uygunluk derecesinin belirtilmesi,

kalitenin tutturulabilmesi için iş mahallinde gözetim ve kontrolde bulunulması,

yapılanların bir daha gözden geçirilmesi ve kontrolü aşamalarıdır[4].

## 5.2 Mevcut Durum Hasar Tespiti Ve Değerlendirilmesi

Binanın mimari rölevesinin hazırlanması: Elde proje mevcut değilse, hazırlanacak rölevede binanın hacimlerinin kullanım şekillerinin, kapı, pencere yerleri ve boyutlarının belirtilmesi gerekir. Mevcut bir mimari plan varsa, bunun yerinde uygunluğu kontrol edilerek gerekli değişiklikler not edilmeli; banyo ve mutfakta tesisatın bağlı olduğu yerler gösterilmelidir.

Binanın taşıyıcı sistem rölevesinin hazırlanması: Betonarme proje yoksa, bu rölevede; kiriş, kolon, perde yerlerinin ve boyutlarının belirtilmesi, kat yüksekliklerinin bulunması gerekir. Bunun gibi, merdiven kısmı esas alınarak döşeme yüksekliği ve döşeme türü tespit edilebilir. Binada temel yer yer açılarak temel düzeni, temelin geometrik boyutları, derinliği ve bağ kirişlerinin durumu belirlenmelidir. Temellerin yerel veya dışardan açılması yeterli olabilir. Eğer binanın

statik ve betonarme hesapları ve ilgili çizimleri varsa, bunun yerinde uygunluğu, açıklık, eleman boyutları, doğrultuları bakımından kontrol edilerek gerekli değişiklikler not edilmelidir.

Genellikle eski binaların projesini bulmak mümkün olmaz. Bu durumda binanın mimari rölevesi ile taşıyıcı sistem rölevesinin hazırlanması gerekir. Kolon ve perdelerin yerleşim durumu ile kirişlerin plandaki düzeninin belirlenmesi için bazı duvarların kırılması gerekebilir. Özellikle kirişlerin bölme duvarları içinde kalması veya asmolen döşemelerde geniş kirişlerin döşeme içinde bulunması taşıyıcı sistemin belirlenmesi için büyük zorluk çıkarır.

Binanın hasar rölevesinin hazırlanması: Hazırlanan taşıyıcı sistem rölevesi esas alınarak binada her katta bölme duvarı, kolon, kiriş, kolon-kiriş birleşim bölgesi, perde ve temel hasarı işlenmelidir. Binada, dönme ve temelin zemine batması durumları not edilmelidir. Özellikle, çatlakla kesilmiş veya dağılmış kolonlar belirlenmeli ve bunların depremden önceki durumuna getirilebilmesi için epoksi reçinesi enjeksiyonu veya mantolama gerekip gerekmediğine karar verilerek, hasar rölevesine kayıt edilmelidir. Dört tarafından mantolama gerektiren kolonlardaki veya kiriş-kolon düğüm bölgelerindeki çatlaklara epoksi uygulaması gerekmeyebilir. Binaların büyük bir kısmının kolon mantolaması veya perde ilavesi ile güçlendirilebileceği göz önünde tutularak, hasar tespiti sırasında güçlendirme perde yerlerinin belirlenmesi ve güçlendirme perdelerinin hasar gören ve mantolanması gereken kolonlara en azından bir kenarından bitişik yapılması, mantolama ile perdeyi beraber ortaya çıkaracağı için tercih edilmelidir. Hazırlanacak hasar raporuna varsa çatı hareketi veya göçmesi, kalkan duvarlarının ve bacanın yıkılması gibi hususlar işaretlenerek yerinde alınacak tedbire karar verilmelidir. Bu tedbirler, bacaların kısaltılması, kalkan duvarlarına yatay ve düşey hatıllar konması, çatının döşemeye bağlanması şeklinde olabilir.

Hazırlanan kat kalıp planları esas alınarak binadaki hasarın incelenmesi ve bunların bu planlara işlenmesi, taşıyıcı sistemin elemanlarındaki hasarın belirtilmesi yanında bölme duvarlarındaki X çatlaklarının yeri ve hasarın derecesi de binanın depremden etkilenme derecesini göstermesi bakımından önemlidir. Taşıyıcı sistem elemanlarında hasar, kiriş ve kolonlarda çatlak olarak ortaya çıkar. En önemli hasar kolon-kiriş birleşim bölgelerinin depremde zorlanmasından oluşan çatlaklar, beton

dökülmeleri veya donatı burkulmalarıdır. Depremden sonra kolonlarda betonun bölgesel boşalması ve donatının burkulması gibi önemli hasarların meydana geldiği gözlenmiştir. Binanın merdiven bölgesi taşıyıcı sistemin düzenli olmadığı bir bölümdür. Bu nedenle burada özellikle duvar hasarları daha çok kendini gösterir. Genellikle hasar zemin katta yoğunlaşmış olarak görülür. Üst katlara çıkıldıkça hasar azalır. Yurdumuzda kalıp işçiliğinin kaliteli olmadığı yerlerde meydana gelen kusurları örtmek amacıyla kalın sıva kullanılır. Bu ise, büyük sıva çatlaklarının oluşmasına sebep olur. Bazı durumlarda, bu çatlaklar taşıyıcı elemanlarda devam etmeden yüzeyde kalabilir. Bunun gibi, merdiven kolu plağında ve bunun sahanlık plağı ile birleşim yerinde hatalı donatı uygulamasına yaygın olarak rastlanır. Bu durum deprem hasarlarının buralarda yoğunlaşmasına sebep olur.

Yapılan hasar tespitinin sonunda meydana gelen hasarın sebepleri hakkında işin sırasına göre kısa bilgi verilmesi faydalıdır. Yurdumuzdaki deprem hasarının ana sebepleri önem sırasına göre aşağıdaki gibi sıralanılabilir:

Beton kalitesinin düşük olması hasarın en önemli nedeni olarak görülebilir. Betonun elastiklik modülünün düşük olması büyük yatay şekil değiştirmeye neden olduğu için bölme duvarlarda büyük hasar meydana gelir. Bunun yanında düşük kaliteli beton, kesitlerin de mukavemetinin düşmesine neden olur.

Kolon başlarında ortaya çıkan kesilmelerin en önemli sebebi de bu bölgelerde donatı detaylarına gerekli özenin gösterilmemiş olması ve beton yüzeylerinin bütünleşmesinin sağlanmamış olmasıdır.

Taşıyıcı sistemin düzgün ve sürekli çerçevelerden oluşturulmaması da hasarın artmasına neden olur.

Betonarme perdelerin bulunmaması, yatay yerdeğiştirmelerin artmasına ve bölme duvarlarında ağır hasara sebep olur.

Donatı düzenindeki yanlışlıklar merdiven sahanlıklarındaki hasarın diğer bir sebebi olarak belirir.

Temellerin yüzeye yakın olması, deprem yüklerinin yapıdaki etkilerinin artmasına neden olur.

Bazı bloklarda, çatının odun ve kömür deposu olarak kullanılması deprem yüklerini artırması nedeniyle hasarı artırır.

Kolon-kiriş birleşim bölgelerinde etriye konulmaması da hasarın artmasının bir diğer nedenidir.

Binada hasar tespiti yapanın, ilk tespitlere dayanarak bir güçlendirme sistemi önermesi, projelendirmenin daha kolay oluşturulması ve gözden önemli bir şeyin kaçmamasını sağlar. Yapılacak öneride, hasar görüp düşey yük taşıyıcılığı şüpheli olan kolonların mantolanması bulunmalıdır. Taşıyıcı sistemin toplam deprem güvenliği kolonların mantolanması ile oluşturulabildiği gibi güçlendirme perdelerinin öngörülmesi ile de sağlanabilir. Bunun için mantolanması uygun görülen kolonların belirlenmesi veya muhtemel perde yerlerinin işaretlenmesi önemlidir. Bunların yerleri daha sonra hazırlanacak proje çözümlerinde alınacak sonuçlara göre kontrol edilecektir. Yerinde yapılacak incelemede kolon mantolanmasının veya perde yerlerinin mimari bakımdan bir sakınca doğurup doğurmadığı kontrol edilmelidir.

Binada beton kalitesinin belirlenmesi: Binada beton kalitesi en az üç karot numunesi alarak belirlenmelidir. Karot sayısı binanın büyüklüğüne göre arttırılabilirse de, bulunan mukavemetin ortalama bir değer olması ve bunların alınan elemanları zayıflatacağı düşünülerek, çoğaltılması tercih edilmeyebilir. Karot değerleri, her katta en az üç kolon veya perdede yapılacak darbeli çekiç deneyleri ve ses hızı ölçümü deneyleri ile karşılıklı korelasyon kurularak yaygınlaştırılır.

Ölçülen bu değer ile karot sonuçları arasında korelasyon kurularak, beton kalitesi konusunda oldukça gerçekçi sonuç elde etmek mümkündür. Beton dayanım değişiminin geniş bir dağılımla ortaya çıkması, bu sonuçların daima karot deneyleri ile desteklenmesinin önemine işaret etmektedir. Karotların varsa perdelerden alınması tercih edilmeli ve donatının kesilmemesine özen gösterilmelidir [2].

Betonun yapı hesaplarında asıl olan 28 günlük dayanımıdır. Bitmiş ve üzerinden bir yıldan çok zaman geçmiş bir yapıda betondan deneyle yada ölçümle bulunan basınç dayanımının 0,67 ile çarpılarak küçültülmüş bir değerinin kullanılması düşünülebilir. Çünkü betonda zamanla olmuş dayanım artışı dikkate alınmalıdır. Bu artış yapı güvenliği için olumlu olmakla birlikte genellikle normal yapı hesaplarında dikkate alınmaz [3].

Binada donatı kalite ve düzeninin belirlenmesi: Binada bodrum veya zemin katta açılacak en az üç kolonda pas payı kaldırılarak boyuna donatı ve enine donatı miktarı ve düzeni tespit edilmelidir. Kolonlardan biri bütün kenarlarından açılabilirse de, diğerlerinin bir veya iki kenardan açılması mevcut sistemi zayıflatmamak bakımından tercih edilmelidir. Benzer şekilde seçilecek üç kirişte donatı, açıklıkta ve mesnet kesitine yakın alttan bakılarak, boyuna donatı düzeni, pilye sayısı, enine donatı aralık ve çapı tespit edilebilir. Donatılarda korozyon nedeniyle çap küçülmesi varsa belirlenmelidir. Kullanılacak manyetik aletle donatının belirlenmesi işlemi yaygınlaştırılabilir. Bütün bu bilgilerin elde edilmesinde daima belirsizliklerle karşı karşıya bulunulacağı gözden uzak tutulmamalıdır.

Geoteknik bilgilerin belirlenmesi: Temel zeminine ait geoteknik bilgilerin toplanması için muayene çukuru açılabileceği ve sondaj yapılabileceği gibi, çevrede elde edilen benzer bilgilerden de faydalanılabilir. Yapılacak işlemlerin seçimi, güçlendirme işlemlerinin kapsamına bağlı olacaktır. Geoteknik inceleme sonucu yapısal hasar ve muhtemel güçlendirme sistemi ile doğrudan ilgili parametreler olan zeminin doğal birim hacim ağırlığı, zemin emniyet gerilmesi, yatak katsayısı olarak verilmelidir. Bölgedeki deprem durumu göz önüne alınarak zemin karakteristik periyotları ve etkin yer ivmesi katsayısı da belirtilmelidir. Yeraltı su seviyesi hakkında bilgi ve binadaki temel durumu, temel derinliği de geoteknik inceleme sırasında tespit edilebilir [2].

## 5.3 Binanın Deprem Güvenliğinin Belirlenmesi

Binanın taşıyıcı sisteminin durumu, hasarı ve varsa deprem hesabı incelenmelidir. Taşıyıcı sistemin depremde orta hasar görmüş olması veya yüklerin iletilmesinde açıkça belirlenen önemli bir eksiklik güçlendirme kararının verilmesi için yeterli olabilir (alt katlarda kolon kaldırılması gibi). Mevcut binanın 1998 Deprem Yönetmeliği esas alınarak incelenmesinde genel olarak iki problemle karşılaşılacaktır.

Bunlardan birisi yönetmelikte tanımlanan deprem kuvvetlerinin taşınması, bu yükler altında kesitlerin ve donatıların yeterliliğinin kontrol edilmesidir. Taşıyıcı sisteme duyulan güven oranında, deprem yükleri 1998 deprem yönetmeliği'nde öngörülen

yükler, kamu yapıları dışında en fazla 0,25 oranında azaltılarak hesaba katılabilir ve yapılacak kontrollerde kirişlerde mesnet ve açıklık kesitlerinin aralarında yardımlaşmaları ile aynı katta bulunan kolonların yardımlaşmaları (denge koşulu korunarak momentlerin kesitler veya elemanlar arasında aktarılması) hususları da göz önüne alınabilir.

Bina taşıyıcı sisteminin sağlaması gereken diğer bir grup yönetmelik koşulları da sünekliğin sağlanması ile ilgili hususlar ve kapasite tasarım ilkeleridir. Bunlardaki eksiklikler bir ölçüde taşıyıcı sistem davranış katsayısının seçimi ile göz önüne alınabilir. Taşıyıcı sistemin durumuna göre süneklikle ilgili konular (etriye sıklaştırması, beton kalitesi, donatı düzenindeki özen gibi hususlar) ve kapasite tasarımı ile ilgili konular (kuvvetli kolon tasarımı, kiriş-kolon birleşim bölgesi, kesme kuvveti hesabının mevcut eğilme donatısına göre yapılması gibi hususlar) taşıyıcı sistem davranış katsayısı çerçeve türünden yapılar için R=4 (normal süneklikte yapı) ve R=8 (yüksek süneklikte yapı) arasında bir değer seçilerek göz önüne alınabilir. Bununla beraber yapıda tüm süneklik koşullarının sağlanması, nadiren gerçekleşecek bir durum olup, ancak bu durumda R=8 alınabileceği unutulmamalıdır. Perdeli yapılar için de aynı durum söz konusudur. Kamu yapılarının deprem güvenliğinin belirlenmesinde, 1998 Deprem Yönetmeliği'nde öngörülen yüklerin azaltılmadan hesaba katılması gerekir.Bütün güçlendirme işleri 1998 Deprem Yönetmeliği'ne göre yapılmalıdır. Deprem yüklerinin taşınmasında mevcut sistem göz önüne alınırken eğer belirsizlikler varsa mevcut sistemin kapasitesi 0,85 katsayısı ile azaltılabilir.

## 5.4 Güçlendirme Projesinin İlkelerinin Belirlenmesi

Güçlendirme projesi aşağıdaki adımların izlenilmesi ile hazırlanacaktır:

### 5.4.1 Taşıyıcı Sistemin Depremden Önceki Durumunun İncelenmesi

Mevcut taşıyıcı sistemin kusurlarının tespiti için binanın depremden hasar görmemiş durumu TS500 ve 1998 Deprem Yönetmeliği esas alınarak düşey yük ve deprem etkisi altında (1,4G+1,6Q) ve (G+Q+E) çözümlemesi yapılacaktır. Kesit kontrolünde, eğer binanın projesi yoksa sınırlı sayıda yapılan donatı belirlemeleri göz önüne alınabileceği gibi, minimum donatı şartları kullanılabilir. Yapılan inceleme ve kesit

kontrolü ile tespit edilen hasar sebepleri hakkında yorum yapılması mümkün olacak ve deprem yüklemesi altındaki taşıyıcı sistemin davranışı anlaşılacaktır.

### 5.4.2 Güçlendirilmiş Taşıyıcı Sistemin Çözümlenmesi

Hasar belirleme raporu esas alınarak mantolanacak kolonlar tespit edilir.Güçlendirme için bina içine veya dışına, eksenel veya dışmerkez perde yerleştirilerek sistem çözülür. Güçlendirme perdeleri her iki doğrultuda en az ikişer tane olmalı ve bina yüksekliğince devam etmelidir. Kapı ve pencere boşluklarının bırakılması için boşluklu perdeye de karar verilebilirse de, boşluklu perdenin kalıp ve donatı detaylarının uygulaması daha çok özen ister. Binanın kat adedinin ve plandaki alanının küçük olması durumunda perde sayısı üçe indirilebilir. Gerektiğinde ise bunların kalınlıkları ve boyları küçültülebilir.

Yapılacak çözümlemede mevcut taşıyıcı sistem ile güçlendirme elemanlarının elastisite modüllerinin farklılığı göz önüne alınacaktır. Bu durum mevcut elemanlarla güçlendirme elemanları arasındaki yük paylaşımında etkili olacaktır. Çözümleme 1998 Deprem Yönetmeliği çerçevesinde belirlenen etkiler altında, TS500'ün öngördüğü (1,4G+1,6Q) ve (G+Q+E) yüklemeleri için yapılacaktır.

Betonarme veya çelik güçlendirme perdelerinin, deprem etkisinden oluşan taban kesme kuvvetinin mevcut yapının durumuna göre en az % 70'lik bir bölümünü karşılaması sağlanacaktır. Bu oranın mevcut taşıyıcı sistem kolon ve kirişlerinde ek güçlendirme gerektirmeyecek şekilde belirlenmesi uygundur. Belirlenecek bu koşul perde sayısı ve boyutlarının belirlenmesinde etkili olacaktır. Genel olarak mevcut sistemin normal süneklikte olduğu kabul edilerek ve güçlendirme elemanlarını yüksek süneklikte projelendirilerek, deprem etkisi R=6 ve deprem bölgesine bağlı olarak ilgili $A_0$ katsayısı alınarak hesaplanacaktır.

Elde edilen çözüm sonuçları esas alınarak, mevcut taşıyıcı sistemle, güçlendirme sistemi arasındaki kuvvet akışının sağlandığı gösterilmelidir. Perde uç donatılarının katlar arası sürekliliğinin sağlanması, deprem yüklerinin kat kirişlerinden perdelere geçmesi ve kolonlarla perdenin bütünleşmesinin sağlanması gibi. Perde gövde donatısının sürekliliği, kolonu veya kirişi geçen veya delen tek sıra, kolonlarda minimum Φ16/300mm ve kirişlerde minimum Φ16/400mm donatısı ile

sağlanacaktır. Kolon donatıları hesaba katılarak perde uç donatıları azaltılabilir. Perdede her iki yüzde ve her iki doğrultuda minimum Φ10/200mm (veya çelik hasır eşdeğeri) gövde donatısı bulunacaktır. Perde uç bölgesinde minimum bir etriye yerleştirilecektir (ilk katta Φ10/100mm ve diğer katlarda Φ10/200mm) [2].

Çerçeve içine perde yerleştirilmesi durumunda oluşturulan perdeler çerçeve kolon ve kirişlerine açılacak deliklere epoksi ile kenetlenen filizlere bağlanabilir. Filizlerin çerçeve elemanlarına gömülme boyu en az 10Φ, tercihen 15Φ olmalıdır. Delik çapı filiz çapından 5 mm büyük olmalıdır. Filizler nervürlü donatıdan oluşturulmalıdır. Filizler perde içine en az 35Φ kadar uzatılmalıdır. Kolon ve kirişe yerleştirilen filizlerin toplam kesit alanı, o yöndeki perde donatısı toplam kesit alanından az olmamalıdır. Temele ekilecek filizler temel içine 20Φ, perde içine 35Φ kadar uzatılmalıdır. Perdeyi temele bağlayan filizlerin toplam kesit alanı, perdenin düşey donatı alanı toplamının en az iki katı olmalıdır [5].

Güçlendirilmiş yapıda, mevcut kolon ve kiriş gibi mevcut taşıyıcı sistem elemanlarının kontrolünde, aşağıda verilen koşulların sağlanmaması durumunda kolon ve kirişlerin güçlendirilmesi gerekecektir:

$A_s$(gerekli)< (1,20~1,50) $A_s$(mevcut) (kolon donatısı biliniyorsa)

$A_s$(gerekli)< (0,012~0,015) $A_c$(mevcut) (kolon donatısı bilinmiyorsa)

$A_s$(gerekli)< (1,00~1,25) $A_s$(mevcut) (kiriş donatısı biliniyorsa)

$A_s$(gerekli)< (0,015~0,020) $A_c$(mevcut) (kiriş donatısı bilinmiyorsa)

Burada $A_c$ eleman kesit alanı, $A_s$ kolonlarda toplam donatı alanı ve kirişlerde açıklık ve ortalama mesnet çekme donatılarının toplamıdır. Deprem yüklerinin önemli bir kısmının güçlendirme perdeleri ile taşındığı için, kolonlarda yapılan betonarme kesit hesabında $N_d/(b.d) > 0,6.f_{ck}$ gibi minimum bir koşul esas alınarak, güçlendirmeye karar verilebilir.

Her durumda güçlendirme perdelerine gelen deprem momentlerinin ve mantolanan kolon etkilerinin güvenli bir şekilde temele ve zemine iletildiği gösterilmelidir. Binada düzgün sürekli temeller mevcutsa, perdeler bu temellere mesnetlenebilir. Eğer perde deprem etkilerinin bu temeller tarafından alındığı gösterilebilirse, ilave

bir temel güçlendirmeye ihtiyaç yoktur. Diğer durumlarda mevcut temelin güçlendirilmesi mevcut üzerine yeni temel yapılması gerekebilir. Her iki durumda da mevcut ve yeni temelin bütünleşmesi için tedbir alınmalıdır [2].

# 6. BETONARME BİR YAPIDA GÜÇLENDİRME UYGULAMASI

## 6.1 Binanın Tanıtımı

İnceleme konusu bina; İstanbul İli, Kadıköy ilçesi, Suadiye Mahallesi, Noter Sokak, 85 pafta, 349 ada, 60 parselde bulunmaktadır. Sahibi Paksa İnşaat Sanayi ve Ticaret A.Ş.'dir. Bina esas eksen doğrultusu kuzeydoğu-güneybatı (N45E) doğrultusudur. Bina ayrık nizamda serbest bir konumdadır. Bir bodrum, zemin ve dokuz normal kat olmak üzere 11 kattan ibarettir. Bodrum dilatasyonla ayrılmış iki kısımdan oluşuyor ve bunlardan biri otopark olarak kullanılıyor olup üst katlarda devam etmemektedir. Diğer kısım ise sığınak, kazan dairesi ve kapıcı dairesi olarak teşkil edilmiştir. Bodrum çepeçevre rijit perdeler ihtiva etmektedir. Zemin kat dükkan, 1.-5.normal katlar iki dairelik konut, 6.-9.normal katlar ise tek daireli konut olarak planlanmıştır. Binanın iki cephesinde 1,35m diğer iki cephesinde 1,50m çıkmalar mevcuttur. Bina toplam alanı 2374 $m^2$ dir. Yapı, yerinde dökme betonarme elemanlar ve boşluklu tuğla dolgu duvarlardan teşkil edilmiştir. Çatı, ahşap oturtma çatı ve çatı örtüsü kiremittir. Yapılan incelemelerden işçiliğin iyi olduğu görülmüştür. Taşıyıcı sistem yerinde dökme betonarme perde ve çerçevelerden oluşmaktadır. Döşemeler; bodrum tavanı ve düşük döşemeler için plak döşeme, diğer tüm döşemeler için ise asmolen döşemedir. En büyük açıklık 5,75 m ve zemin emniyet gerilmesi 250 $kN/m^2$ (2,5$kg/cm^2$) dir. Temeller mütemadi ve münferit temel tipindedir. Bina; 1995 yılında 1975 deprem yönetmeliğine göre projelendirilmiştir. Bina yapıldığı tarihte bölge 2. derece deprem bölgesi kabul ediliyor olup 1998 deprem yönetmeliğine göre binanın yapıldığı bölge birinci derece deprem bölgesidir.

Statik ve betonarme hesaplarında beton sınıfı olarak B225 (C18), beton çeliği sınıfı olarak S420 kullanılmıştır.

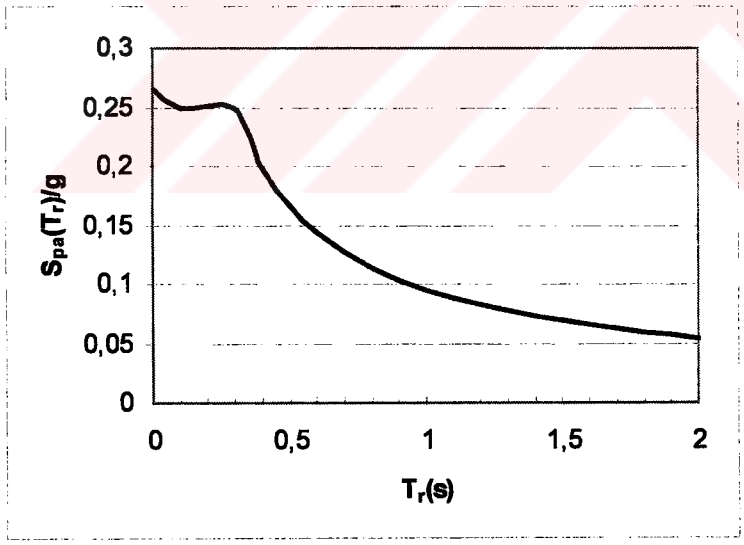
Yapı hizmet süresi boyunca 1999 Gölcük ve Düzce Depremlerine maruz kalmıştır. Yapılan incelemeler sonucunda binada yapısal (taşıyıcı) elemanlarda bir hasar

olmadığı yapısal olmayan bazı elemanlarda (dolgu duvarlarda) kısmî kılcal çatlaklar olduğu görüldü.

Bina kat kalıp planları Şekil A.1, Şekil A2, Şekil A3'de gösterilmiştir.

## 6.2 Mevcut Yapının 1998 Deprem Yönetmeliğine Göre İncelenmesi

Mevcut binanın statik ve dinamik hesaplarında Sap 2000 yapısal analiz programı kullanılmıştır. Bu program yapı sistemlerinin statik ve dinamik analizini sonlu elemanlar kullanarak gerçekleştirir. Bina üç boyutlu olarak modellenmiş, kolonlar ve kirişler çubuk elemanlarla, perdeler kabuk elemanlarla teşkil edilmiştir. Statik yüklemeler için 7 adet yükleme durumu tanımlanmıştır. Bunlardan birinci yükleme sabit yük, diğer yüklemeler ise elverişsiz yükleme durumlarını göz önünde tutarak hazırlanan hareketli yüklere ait yüklemelerdir. Deprem analizi için deprem yönetmeliğinde tanımlanan elastik tasarım ivme spektrumu esas alınmıştır. Buna göre R=4 durumu için $S_{pa}(T_r)/g$- $T_r$ grafiği Şekil 6.1'de gösterilmiştir.

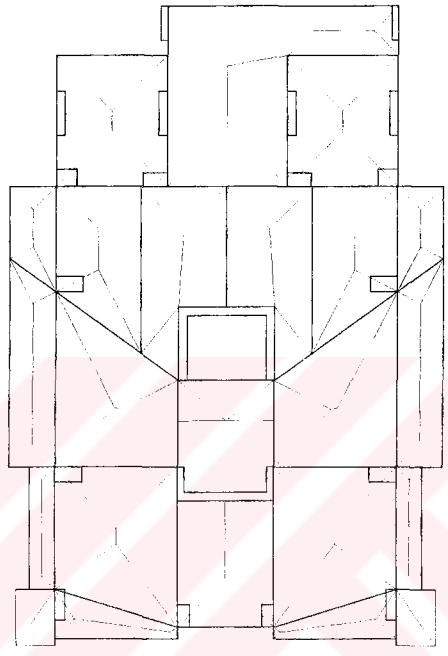



Şekil 6.1 Mevcut durumun çözümünde kullanılan spektrum eğrisi

Duvar yükleri kirişlere düzgün yayılı yük olarak etkitilmiştir. Döşemelerden kirişlere etkiyen yükler Şekil 6.2'de gösterildiği gibi bir yük akışı dikkate alınarak hesaplanıp trapez yük olarak kirişlere etkitilmiştir. Döşemelerde yük analizi sonucunda bulunan değerler Tablo 6.1'de gösterilmiştir.

Tablo 6.1 Döşeme yükleri

| Döşeme mahalli | G (kN/m$^2$) | Q (kN/m$^2$) |
|---|---|---|
| Bina normal kat tavanı asmolen döşemeleri | 8,0 | 2,0 |
| Bodrum kat tavanı üstü toprak dolgulu kısım | 14,5 | 2,0 |
| Islak zemin döşemeleri | 8,0 | 2,0 |
| Merdiven sahanlığı | 8,0 | 3,5 |
| Balkon | 8,0 | 3,5 |



Şekil 6.2 Döşemelerden kirişlere yük aktarımı

Deprem yönetmeliği binanın yatay yüklere göre hesabında kaydırılmış kütle merkezlerini kullanmayı öngörür. Kaydırılmış kütle merkezleri, gerçek kütle merkezinin göz önüne alınan deprem doğrultusuna dik doğrultudaki kat boyutunun +%5'i ve –%5'i kadar kaydırılması ile belirlenen noktalardır. Bu amaçla Tablo 6.2'de belirtilen ek dışmerkezlikler kullanılarak binanın 5 farklı modeli hazırlanmış ve bunların tamamının sonuçları statik ve betonarme hesaplarda dikkate alınmıştır.

Tablo 6.2 Ek kütle dışmerkezlikleri

| Kat | $B_x$ (m) | $B_y$ (m) | $e_x$ (m) | $e_y$ (m) |
|---|---|---|---|---|
| Zemin | 10,00 | 18,95 | 0,50 | 0,95 |
| Diğer Katlar | 10,00 | 17,30 | 0,50 | 0,87 |

Bina modelinde 20 adet yük kombinasyonu tanımlanmıştır. Bu kombinasyonlar ve karşı geldiği durumlar Tablo 6.3'de belirtilmiştir.

Tablo 6.3 Bina çözümünde kullanılan yük kombinasyonları

| Kombinasyon | Karşı geldiği yük durumu |
|---|---|
| Comb1-Comb8 | 1,4G+1,6Q |
| Comb9-Comb12 | $G+Q\pm E_x$ |
| Comb13 | $0,9G\pm E_x$ |
| Comb14-Comb17 | $G+Q\pm E_y$ |
| Comb18 | $0,9G\pm E_y$ |
| Comb19 | $E_x$ |
| Comb20 | $E_y$ |

Kat kütleleri ve kat kütle merkezi koordinatları hesaplanarak sonuçlar Tablo 6.4'de sunulmuştur. Bu değerler taşıyıcı sistem modeline uygulanmıştır.

Tablo 6.4 Kat kütleleri ve kütle merkezi koordinatları

| Kat | $X_g$(m) | $Y_g$(m) | $m_i$(kN.s$^2$/m) | $m_{\theta i}$(kN.s$^2$.m) |
|---|---|---|---|---|
| Zemin | 6,40 | 8,89 | 298,11 | 11145,54 |
| 1.Kat-4.Kat | 6,35 | 8,49 | 284,62 | 10085,13 |
| 5.Kat-8.Kat | 6,39 | 8,79 | 262,20 | 9819,88 |
| 9.Kat | 5,83 | 8,88 | 244,47 | 9886,77 |

Sap 2000 analiz sonuçlarının daha rahat anlaşılabilmesi açısından düğüm noktası, kolon, kiriş ve perde elemanları belli bir düzende etiketlenmiştir ve eleman çıktıları bu etiketlere göre sunulmuştur. Kiriş etiketlerinde ilk iki karakter kirişin ait olduğu katı (ZK=zemin kat, 1K=birinci kat,...vb.), üçüncü karakter kiriş belirtecini (K), dördüncü karakter kiriş doğrultusunu (X=X doğrultusu, Y=Y doğrultusu), geri kalan karakterler ise kiriş numarasını ifade eder. Örnek:ZKKX10

Kolon etiketlerinde ilk iki karakter kolonun ait olduğu katı (ZK=zemin kat, 1K=birinci kat,...vb.), üçüncü karakter kolon belirtecini (S), geri kalan karakterler ise kolon numarasını ifade eder. Örnek:ZKS05

Kolon etiketleme düzeni tüm katlarda aynı olduğu için yalnız zemin kat kolon etiketleri Şekil B.5'de sunulmuştur. Binada zemin kat, 1.-8. kat ve 9.kat olmak üzere üç tip kiriş geometrik model ve etiketleme düzeni Şekil B2-B4'de sunulmuştur.

Binanın Sap 2000 programı ile dinamik ve statik analizleri yapıldıktan sonra Trans 2000 programı yardımıyla taşıyıcı sistem elemanları için betonarme hesaplar ve deprem yönetmeliğindeki gerekli birtakım kontroller yapılabilmektedir. Bu program yazar tarafından tez çalışması sırasında geliştirilmiş olup program hakkında gerekli açıklayıcı bilgiler ekte sunulmuştur.

### 6.2.1 Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R) Seçimi

1998 Deprem yönetmeliği 6.5.3.1.'e göre kirişsiz döşemeli betonarme sistemler ile, kolon ve kirişleri 7.3, 7.4 ve 7.5'te verilen koşullardan herhangi birini sağlamayan dolgulu veya dolgusuz dişli ve kaset döşemeli sistemler, süneklik düzeyi normal sistemler olarak göz önüne alınacaktır. Binanın analizi sonucunda bazı kirişlerde boyuna donatı yetersizliklerinin bulunduğu, enine donatı aralıklarının fazla olduğu, enkesit koşullarının sağlanmadığı görülmüştür. Bazı kolonlarda ise, kolonların kirişlerden güçlü olması koşulunun sağlanmadığı ve boyuna donatı alanlarının yetersiz olduğu görülmüştür. Bu nedenle mevcut bina için çerçeveler süneklik düzeyi normal çerçeveler olarak ele alınmıştır.

Yukarıda tanımlanan sistemlerin ise birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde veya $H_N > 13$ m olması durumunda üçüncü ve dördüncü derece deprem bölgelerinde uygulanabilmesi için, binanın tüm yüksekliği boyunca devam eden ve aşağıdaki koşulları sağlayan süneklik düzeyi normal veya yüksek betonarme boşluksuz ya da bağ kirişli (boşluklu) perdelerin kullanılması zorunludur.

Süneklik düzeyi normal kolon ve kirişler ile süneklik düzeyi yüksek perdelerin bir arada kullanıldığı binalar karma taşıyıcı sistem grubuna girmiş olur. Bu tür karma taşıyıcı sistemlerde her bir deprem doğrultusunda mutlaka $\alpha_M \geq 0{,}40$ olmalıdır. Mevcut bina için X deprem doğrultusunda $\alpha_M = 0{,}438$ Y deprem doğrultusunda $\alpha_M = 0{,}340$ olarak hesaplanmıştır. Yukarıda anlatılan sebepler doğrultusunda R=4 alınmıştır.

### 6.2.2 Hesaba Katılacak Yeterli Titreşim Modu Sayısı

Tablo 6.5'de bina modlarına karşılık gelen periyot değerleri ve her bir mod için o moda ait etkin kütlenin toplam kütleye oranı gösterilmiştir. Buna göre, hesaplanan 10 mod için bulunan etkin kütlelerin toplamı bina toplam kütlesinin %90'ından büyük olduğu için deprem yönetmeliğindeki şart sağlanmış olur.

Tablo 6.5 Mevcut durum çözümü için modlara karşılık gelen periyot ve etkin kütle değerleri

| Mod | Periyot (sn) | Etkin Kütle Oranı% | | Kümülatif toplam | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | $M_{xr}/\Sigma m_i$ | $M_{yr}/\Sigma m_i$ | $M_{xr}/\Sigma m_i$ | $M_{yr}/\Sigma m_i$ |
| 1 | 1,41 | 0,01 | 69,80 | 0,01 | 69,80 |
| 2 | 1,22 | 9,98 | 0,23 | 9,99 | 70,03 |
| 3 | 1,10 | 60,37 | 0,01 | 70,36 | 70,04 |
| 4 | 0,40 | 0,00 | 16,47 | 70,36 | 86,51 |
| 5 | 0,37 | 0,02 | 0,25 | 70,38 | 86,76 |
| 6 | 0,30 | 17,76 | 0,00 | 88,14 | 86,76 |
| 7 | 0,19 | 0,11 | 0,39 | 88,25 | 87,15 |
| 8 | 0,18 | 0,01 | 6,02 | 88,26 | 93,17 |
| 9 | 0,14 | 6,39 | 0,00 | 94,64 | 93,17 |
| 10 | 0,12 | 0,04 | 0,00 | 94,68 | 93,17 |

### 6.2.3 Göreli Kat Ötelemeleri Kontrolü

1998 deprem yönetmeliğine göre $(\Delta_i)_{max}/h_i \leq 0{,}0035$ ve $(\Delta_i)_{max}/h_i \leq 0{,}02/R$ şartları sağlanmalıdır. Tablo C1'den de görülebileceği gibi bu şart binanın mevcut durumu için sağlanmaktadır.

### 6.2.4 Yumuşak Kat Düzensizliği Kontrolü

Binada Tablo C2'de görüldüğü gibi $\eta_{ki} = (\Delta_i)_{ort} / (\Delta_{i+1})_{ort} > 1{,}5$ durumu hiçbir katta meydana gelmemektedir ve bu nedenle binada yumuşak kat düzensizliği mevcut değildir.

### 6.2.5 Zayıf Kat Düzensizliği Kontrolü

Binada Tablo C3'de görüldüğü gibi $\eta_{ci} = (\sum A_e)_i / (\sum A_e)_{i+1} < 0{,}80$ durumu hiçbir katta meydana gelmemektedir ve bu nedenle binada zayıf kat düzensizliği mevcut değildir.

### 6.2.6 Burulma Düzensizliği Kontrolü

Binada Tablo C4'de görüldüğü gibi zemin kat, 1. kat, 4. kat için $\eta_{bi} = (\Delta_i)_{max} / (\Delta_i)_{ort} > 1,2$ durumu nedeniyle bu katlarda burulma düzensizliği mevcuttur. Bu katlar için yeni ek dışmerkezlikler Tablo C4'deki gibi hesaplanıp uygulanmıştır.

### 6.2.7 Taban Kesme Kuvvetinin Eşdeğer Statik Yöntemle Bulunanla Karşılaştırılması

Deprem bölgesi: I. Bölge

Bina önem katsayısı (I): 1

Taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R): 4

Bina toplam ağırlığı (W): 26778 kN

Yerel zemin sınıfı: Z1

X doğrultusu:

Doğal titreşim periyodu (T) :1,09 s

$A_0$=0,40 $T_A$=0,10 sn $T_B$=0,30 sn Ra(T)=R=4 ($T>T_A$)

$$S(T) = 2,5(T_B/T)^{0,8} = 2,5(0,30/1,09)^{0,8} = 0,890$$
$$A(T) = A_0.I\ .S(T) = 0,40 \times 1 \times 0,890 = 0,356$$
$$V_t = W \times A(T)/Ra(T) \geq 0,10 \times A_0 \times I \times W \Rightarrow V_t = 2383,2\ \text{kN}$$

Y doğrultusu:

Doğal titreşim periyodu (T) :1,41 s

$A_0$=0,40 $T_A$=0,10 sn $T_B$=0,30 sn Ra(T)=R=4 ($T>T_A$)

$$S(T) = 2,5(T_B/T)^{0,8} = 2,5(0,30/1,41)^{0,8} = 0,725$$
$$A(T) = A_0.I\ .S(T) = 0,40 \times 1 \times 0,725 = 0,290$$
$$V_t = W \times A(T)/Ra(T) \geq 0,10 \times A_0 \times I \times W \Rightarrow V_t = 1941,4\ \text{kN}$$

$V_{tBx}$=2978,7 kN> $V_{tx}$=2383,2 kN ve $V_{tBy}$=2399,8 kN> $V_{ty}$=1941,4 kN olduğundan dinamik analiz sonucu elde edilen kesit tesirlerini artırmaya gerek yoktur.

Tablo 6.6 Mevcut durum çözümü için kat kesme kuvvetleri ve kat ağırlıkları

| Kat | $V_{ix}$ (kN) | $V_{iy}$ (kN) | $w_i$ (kN) |
|---|---|---|---|
| Zemin | 2978,70 | 2399,80 | 2924 |
| 1 | 2399,80 | 2842,50 | 2792 |
| 2 | 2842,50 | 2291,80 | 2792 |
| 3 | 2291,80 | 2580,70 | 2792 |
| 4 | 2580,70 | 2096,80 | 2792 |
| 5 | 2096,80 | 2295,30 | 2572 |
| 6 | 2295,30 | 1893,60 | 2572 |
| 7 | 1893,60 | 2043,90 | 2572 |
| 8 | 2043,90 | 1726,80 | 2572 |
| 9 | 1726,80 | 1846,10 | 2398 |
| **Toplam** | | | 26778,00 |

### 6.2.8 İkinci Mertebe Etkileri

Göz önüne alınan deprem doğrultusunda her bir katta, ikinci mertebe gösterge değeri, $\theta_i$ 'nin $\theta_i = (\Delta_i)_{ort} \sum_{j=i}^{N} w_i \Big/ V_i\, h_i \leq 0{,}12$ ile verilen koşulu sağlaması gerekir. Tablo 6.7'den de görüleceği gibi bu koşul sağlanmaktadır.

Tablo 6.7 Mevcut durum çözümü için ikinci mertebe etkileri

| Kat | $(\Delta_{ix})_{ort}$ (cm) | $(\Delta_{iy})_{ort}$ (cm) | $\sum_{j=1}^{N} w_j$ | $V_{ix}$ (kN) | $V_{iy}$ (kN) | $h_i$ (cm) | $\theta_{ix}$ | $\theta_{iy}$ | Sonuç |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Zemin | 0,250 | 0,251 | 26778 | 2978,70 | 2399,80 | 390 | 0,0058 | 0,0072 | Yeterli |
| 1 | 0,303 | 0,391 | 23854 | 2399,80 | 2842,50 | 290 | 0,0104 | 0,0113 | Yeterli |
| 2 | 0,381 | 0,506 | 21062 | 2842,50 | 2291,80 | 290 | 0,0097 | 0,0160 | Yeterli |
| 3 | 0,426 | 0,571 | 18270 | 2291,80 | 2580,70 | 290 | 0,0117 | 0,0139 | Yeterli |
| 4 | 0,611 | 0,583 | 15478 | 2580,70 | 2096,80 | 290 | 0,0126 | 0,0148 | Yeterli |
| 5 | 0,447 | 0,603 | 12686 | 2096,80 | 2295,30 | 290 | 0,0093 | 0,0115 | Yeterli |
| 6 | 0,450 | 0,603 | 10114 | 2295,30 | 1893,60 | 290 | 0,0068 | 0,0111 | Yeterli |
| 7 | 0,438 | 0,584 | 7542 | 1893,60 | 2043,90 | 290 | 0,0060 | 0,0074 | Yeterli |
| 8 | 0,419 | 0,553 | 4970 | 2043,90 | 1726,80 | 290 | 0,0035 | 0,0055 | Yeterli |
| 9 | 0,386 | 0,504 | 2398 | 1726,80 | 1846,10 | 280 | 0,0019 | 0,0023 | Yeterli |

### 6.2.9 Mevcut Durum İçin Hesap Sonuçlarının İncelenmesi Ve Güçlendirme Sisteminin Tasarımı

Kolon boyuna donatı hesap sonuçları EK J'de gösterilmiştir. Bu tablo incelenerek aşağıdaki durumlar tespit edilmiştir:

ZKS1-ZKS8, ZKS10, ZKS11, 1KS1-1KS8, 1KS10,1KS11, 2KS1-2KS8, 3KS1, 3KS2, 3KS5-3KS8, 4KS5-4KS8 kolonlarında eksenel yük değeri $N_{dmax}<N_{d(s)}=0,5f_{ck}A_c$ değerini aşmaktadır.

ZKS14, ZKS15, ZKS17, ZKS18, 1KS5-1KS8, 1KS14, 2KS7, 2KS8, 3KS7, 3KS8, 3KS14, 3KS15, 4KS5-4KS8, 4KS13-4KS16, 5KS5-5KS8, 5KS13-5KS16, 6KS5-6KS7, 6KS13-6KS16, 7KS5-7KS6, 7KS13-7KS16, 8KS5-8KS6, 8KS13-8KS16, 9KS5-9KS8, 9KS13-9KS16 kolonlarında donatı yetersizliği vardır. Mevcut donatının gerekli donatıyı karşılama oranı genellikle %70-80 civarındadır.

ZKS17, ZKS18, 2KS7, 2KS8, 3KS7, 3KS8, 4KS5, 4KS7, 4KS8, 5KS5, 5KS7, 5KS8, 6KS5-6KS8, 7KS5, 7KS6, 8KS5, 8KS6, 9KS5-9KS8 kolonlarında moment taşıma kapasitesi hesap momentinden küçüktür.

Kolon enine donatı ve kayma hesabı sonuçları EK J'de gösterilmiştir. Bazı kolonlarda mevcut etriye aralıkları hesaplanan aralıklardan daha fazla olmakla birlikte tüm kolonlarda mevcut kolon kesme dayanımı ($V_r$) hesap kesme dayanımından ($V_d$) büyüktür.

Perdeler için boyuna donatı hesap sonuçları EK J'de gösterilmiştir. Bu tablonun incelenmesinden aşağıdaki sonuçlar bulunmuştur:

ZKP2, ZKP3 perdelerinde hesaplanan maksimum eksenel yük değeri $N_{d(s)}$ eksenel yük sınır değerini aşmaktadır.

ZKP2, ZKP3, ZKP4 perdelerinde eksenel yük taşıma kapasitesi ($N_{0r}$)yetersizdir.

Zemin kat-6.katlarda P1 perdelerinde, zemin kat-2.katlarda P2 ve P3 perdelerinde, zemin katta P4 perdesinde donatı yetersizliği bulunmaktadır. Özellikle zemin ve 1. katlardaki perdelerde mevcut donatının gerekli donatıyı karşılama oranı %55-60 civarlarına kadar gerilemektedir.

ZKP1-ZKP4, 1KP1-1KP3, 2KP1-2KP3, 3KP1-3KP3, 4KP1 perdelerinde moment kapasitesi yetersizliği bulunmaktadır.

Genellikle perdelerde uç bölgesi alanı yetersizliği bulunmaktadır.

Perde enine donatı ve kayma hesabı sonuçları EK J'de gösterilmiştir. Perdelerde enine donatı yönünden yetersizlik bulunmamaktadır.

Kirişlerde boyuna donatı miktarları yönetmelikte belirtilen konstrüktif şartları birebir karşılamamakla birlikte moment kapasitesi yönünden yeterlidir. Tüm kirişler enine donatı ve kesme dayanımı açısından yeterlidir. Kiriş boyuna donatı sonuçları ve enine donatı sonuçları EK J'de gösterilmiştir.

Yukarıdaki açıklamalar ışığında binanın takviyesine karar verilmiştir. Bunun için süneklik düzeyi yüksek yeni perde elemanların binaya yerleştirilmesi ve bazı kolonların mantolanması yoluna gidilmiştir. Mevcut kolon ve kirişler süneklik düzeyi normal kabul edilmiş ve eklenen yeni perdelerle karma taşıyıcı sistem oluşturulmuştur. Yeni konulacak perdelerin burulma dayanımını artıracak, rijitlik merkezini kütle merkezine yaklaştıracak şekilde konumlandırılmasına dikkat edilmiştir. Yeni konulacak bu perdelerin deprem yükünün önemli bir kısmını alarak diğer taşıyıcı sistem elemanlarını rahatlatması sağlanmıştır. İlk 5 kattaki bazı kolonlarda maksimum eksenel yük sınırının aşılması nedeniyle bazı kolonların mantolanması yoluna gidilmiştir. P2 ve P3 perdesinin bir ucuna başlık eklenerek hem kapasitesinin hem de sünekliğinin artırılması sağlanmıştır. Seçilen takviye yöntemi aşağıda anlatılmıştır:

S9 ve S13 kolonları arasına TP1, S12 ve S16 kolonları arasına TP2 takviye perdeleri Y doğrultusunda tüm bina yüksekliği boyunca yerleştirilmiştir. Bu perdelerin uç kısımlarında bulunan S9, S13, S12, S16 kolonları da mantolanarak perde ile bütünleşmesi ve perdelerin uç bölgeleri olarak çalışması sağlanmıştır.

S3, S4, S5, S6, S7, S8 kolonları mantolanmış, bu mantolamalar 5. katta sona erdirilmiştir.

P2 ve P3 perdelerinin bir ucuna başlık eklenmiştir.

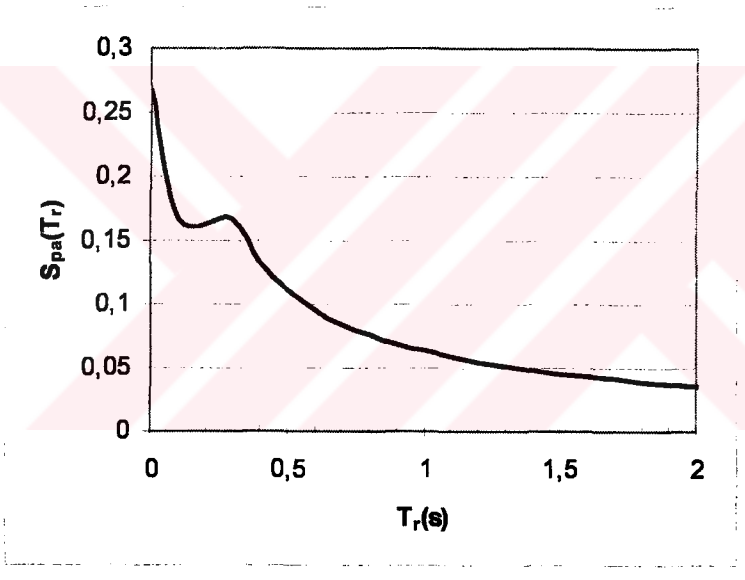
Güçlendirme işlerinde beton C25 donatılar S420 olarak düşünülmüştür.Daha sonra tasarlanan bu sistemin çözüm aşamasına geçilmiştir.

## 6.3 Güçlendirilmiş Taşıyıcı Sistemin İncelenmesi

### 6.3.1 Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R) Seçimi

Binada X doğrultusu için $\alpha_M$ =0,679 Y doğrultusu için $\alpha_M$ =0,671 olarak bulunmuştur. Deprem yönetmeliğinde karma taşıyıcı sistemler için $0,40 < \alpha_M < 2/3$ aralığında ise, her iki deprem doğrultusunda da taşıyıcı sistemin tümü için $R = R_{NÇ} + 1,5\ \alpha_M\ (R_{YP} - R_{NÇ})$ uygulanması istenmiştir.

R= 4+1,5 .0,671. (7-4)=7 olarak bulunmuştur. Buna göre R=6 alınacaktır. Şekil 6.3'de R=6 durumu için $S_{pa}(T_r)/g$- $T_r$ grafiği gösterilmiştir.




Şekil 6.3 Güçlendirilmiş durum çözümünde kullanılan spektrum eğrisi

### 6.3.2 Hesaba Katılacak Yeterli Titreşim Modu Sayısı

Tablo 6.8'de bina modlarına karşılık gelen periyot değerleri ve her bir mod için o moda ait etkin kütlenin toplam kütleye oranı gösterilmiştir. Buna göre, hesaplanan 10 mod için bulunan etkin kütlelerin toplamı bina toplam kütlesinin %90'ından büyük olduğu için deprem yönetmeliğindeki şart sağlanmış olur.

Tablo 6.8 Güçlendirilmiş durum çözümü için modlara karşılık gelen periyot ve etkin kütle değerleri

| Mod | Periyot (sn) | Etkin Kütle Oranı% | | Kümülatif toplam | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | $M_{xr}/\Sigma m_i$ | $M_{yr}/\Sigma m_i$ | $M_{xr}/\Sigma m_i$ | $M_{yr}/\Sigma m_i$ |
| 1 | 1,02 | 65,49 | 0,15 | 65,49 | 0,15 |
| 2 | 1,01 | 5,35 | 3,30 | 70,84 | 3,45 |
| 3 | 0,97 | 0,02 | 65,54 | 70,86 | 68,99 |
| 4 | 0,29 | 0,89 | 0,08 | 71,75 | 69,07 |
| 5 | 0,28 | 16,19 | 0,01 | 87,94 | 69,08 |
| 6 | 0,25 | 0,00 | 17,66 | 87,94 | 86,74 |
| 7 | 0,14 | 2,44 | 0,00 | 90,38 | 86,74 |
| 8 | 0,13 | 3,81 | 0,00 | 94,19 | 86,74 |
| 9 | 0,11 | 0,00 | 6,64 | 94,19 | 93,38 |
| 10 | 0,09 | 1,64 | 0,00 | 95,84 | 93,38 |

### 6.3.3 Göreli Kat Ötelemeleri Kontrolü

1998 deprem yönetmeliğine göre $(\Delta_i)_{max}/h_i \leq 0{,}0035$ ve $(\Delta_i)_{max}/h_i \leq 0{,}02/R$ şartları sağlanmalıdır. Tablo G1'den de görülebileceği gibi bu şart binanın mevcut durumu için sağlanmaktadır.

### 6.3.4 Yumuşak Kat Düzensizliği Kontrolü

Binada Tablo G2'de görüldüğü gibi $\eta_{ki} = (\Delta_i)_{ort} / (\Delta_{i+1})_{ort} > 1{,}5$ durumu hiçbir katta meydana gelmemektedir ve bu nedenle binada yumuşak kat düzensizliği mevcut değildir.

### 6.3.5 Zayıf Kat Düzensizliği Kontrolü

Binada Tablo G3'de görüldüğü gibi $\eta_{ci} = (\Sigma A_e)_i / (\Sigma A_e)_{i+1} < 0{,}80$ durumu hiçbir katta meydana gelmemektedir ve bu nedenle binada zayıf kat düzensizliği mevcut değildir.

### 6.3.6 Burulma Düzensizliği Kontrolü

Binada Tablo G4'de görüldüğü gibi zemin kat için $\eta_{bi} = (\Delta_i)_{max} / (\Delta_i)_{ort} > 1{,}2$ durumu nedeniyle bu katta burulma düzensizliği mevcuttur. Bu kat için yeni ek dışmerkezlikler Tablo G4'deki gibi hesaplanıp uygulanmıştır.

### 6.3.7 Taban Kesme Kuvvetinin Eşdeğer Statik Yöntemle Bulunanla Karşılaştırılması

Deprem bölgesi: I. Bölge

Bina önem katsayısı (I): 1

Taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R): 6

Bina toplam ağırlığı (W): 26778 kN

Yerel zemin sınıfı: Z1

X doğrultusu:

Doğal titreşim periyodu (T) :1,02 s

$A_0$=0,40 $T_A$=0,10 sn $T_B$=0,30 sn Ra(T)=R=6 (T>$T_A$)

$$S(T) = 2,5(T_B/T)^{0,8} = 2,5(0,30/1,02)^{0,8} = 0,939$$
$$A(T) = A_0.I\ .S(T) = 0,40 \times 1 \times 0,939 = 0,376$$
$$V_t = W \times A(T)/Ra(T) \geq 0,10 \times A_0 \times I \times W \Rightarrow V_t = 1678,1\ \text{kN}$$

Y doğrultusu:

Doğal titreşim periyodu (T) :0,97 s

$A_0$=0,40 $T_A$=0,10 sn $T_B$=0,30 sn Ra(T)=R=6 (T>$T_A$)

$$S(T) = 2,5(T_B/T)^{0,8} = 2,5(0,30/0,97)^{0,8} = 0,978$$
$$A(T) = A_0.I\ .S(T) = 0,40 \times 1 \times 0,978 = 0,391$$
$$V_t = W \times A(T)/Ra(T) \geq 0,10 \times A_0 \times I \times W \Rightarrow V_t = 1745,0\ \text{kN}$$

$V_{tBx}$=2137,0 kN> $V_{tx}$=1678,1 kN ve $V_{tBy}$=2200,9 kN> $V_{ty}$=1745,0 kN olduğundan dinamik analiz sonucu elde edilen kesit tesirlerini artırmaya gerek yoktur.

Tablo 6.9 Güçlendirilmiş durum çözümü için kat kesme kuvvetleri ve kat ağırlıkları

| Kat | $V_{ix}$ (kN) | $V_{iy}$ (kN) | $w_i$ (kN) |
|---|---|---|---|
| Zemin | 2137,00 | 2200,90 | 2924 |
| 1 | 2200,90 | 2043,80 | 2792 |
| 2 | 2043,80 | 2117,80 | 2792 |
| 3 | 2117,80 | 1887,90 | 2792 |
| 4 | 1887,90 | 1953,10 | 2792 |
| 5 | 1953,10 | 1703,30 | 2572 |
| 6 | 1703,30 | 1758,70 | 2572 |
| 7 | 1758,70 | 1546,70 | 2572 |
| 8 | 1546,70 | 1588,80 | 2572 |
| 9 | 1588,80 | 1386,90 | 2398 |
| **Toplam** | | | 26778,00 |

### 6.3.8 İkinci Mertebe Etkileri

Göz önüne alınan deprem doğrultusunda her bir katta, ikinci mertebe gösterge değeri, $\theta_i$'nin $\theta_i = (\Delta_i)_{ort} \sum_{j=i}^{N} w_i \Big/ V_i\, h_i \leq 0{,}12$ ile verilen koşulu sağlaması gerekir.

Tablo 6.10 Güçlendirilmiş durum için ikinci mertebe etkileri

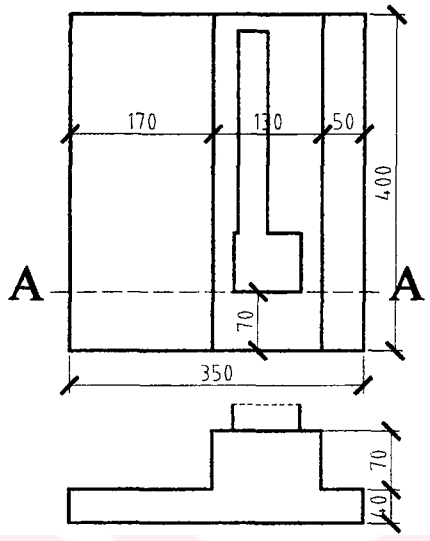
| Kat | $(\Delta_{ix})_{ort}$ (cm) | $(\Delta_{iy})_{ort}$ (cm) | $\sum_{j=1}^{N} w_j$ | $V_{ix}$ (kN) | $V_{iy}$ (kN) | $h_i$ (cm) | $\theta_{ix}$ | $\theta_{iy}$ | Sonuç |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Zemin | 0,137 | 0,103 | 26778 | 2137,00 | 2200,90 | 390 | 0,0044 | 0,0032 | Yeterli |
| 1 | 0,187 | 0,161 | 23854 | 2200,90 | 2043,80 | 290 | 0,0070 | 0,0065 | Yeterli |
| 2 | 0,234 | 0,209 | 21062 | 2043,80 | 2117,80 | 290 | 0,0083 | 0,0072 | Yeterli |
| 3 | 0,261 | 0,238 | 18270 | 2117,80 | 1887,90 | 290 | 0,0078 | 0,0079 | Yeterli |
| 4 | 0,274 | 0,255 | 15478 | 1887,90 | 1953,10 | 290 | 0,0078 | 0,0070 | Yeterli |
| 5 | 0,276 | 0,263 | 12686 | 1953,10 | 1703,30 | 290 | 0,0062 | 0,0068 | Yeterli |
| 6 | 0,271 | 0,264 | 10114 | 1703,30 | 1758,70 | 290 | 0,0055 | 0,0052 | Yeterli |
| 7 | 0,261 | 0,258 | 7542 | 1758,70 | 1546,70 | 290 | 0,0039 | 0,0043 | Yeterli |
| 8 | 0,248 | 0,248 | 4970 | 1546,70 | 1588,80 | 290 | 0,0027 | 0,0027 | Yeterli |
| 9 | 0,228 | 0,229 | 2398 | 1588,80 | 1386,90 | 280 | 0,0012 | 0,0014 | Yeterli |

Tablo 6.10'dan da görüleceği gibi bu koşul sağlanmaktadır.

### 6.3.9 Temel Kontrolü

Mevcut bina, çerçeve açılığına betonarme perde yerleştirilmesi ve bazı kolonların mantolanması yöntemiyle güçlendirilmiştir. Yeni eklenen perdeler mevcut TK04 temellerine oturmaktadır. Yapılan hesaplar sonucunda TK04 temelinde ve diğer temellerde herhangi bir yetersizlik bulunmamaktadır. Bunun yanında güvenliği

artırmak amacıyla TK04 temeli Şekil E.2'de görüldüğü gibi TK03 ve TK05 temelleriyle bağlanmış ve oturum alanı genişletilmiştir. Aşağıda yalnızca TK04 temeli için yapılan hesaplar sunulmuştur:




Şekil 6.4 TK04 temel kontrolü

G+Q±E durumu:

TK04 temeli için kesit tesirleri göz önüne alınarak yalnızca Y doğrultusu için hesap yapılmıştır.

Zemin gerilmesi ve donatı kontrolünde kullanılacak yükler:

$N_d$=3138 kN  $M_d$=493,5 kN.m

$q_{z,emn}$= 250 kN/m$^2$

$q_s$=3138/(3,50.4,00)±493,5/(3,50.4,00$^2$)

$q_{smax}$=233 kN/m$^2$< 1,33.250=333=$q_{z,emn}$ (Zemin emniyet gerilmesi aşılmıyor.)

$q_{smin}$=215 kN/m$^2$>0 (Zeminde çekme gerilmesi yoktur.)

Temele oturan perde yüzünde (A-A kesiti) kesit tesirleri $V_{dA}$, $M_{dA}$:

$V_{dA}$=(233+229,8).0,70.3,50/2=566,9 kN

$M_{dA}$=(229,8.0,70.3,50.0,35)+(233-229,8).0,70.3,50/2=201,0 kN.m

d=105 cm Malzeme:C18, S420

Buna göre gerekli donatı alanı 5,85 $cm^2$ olarak bulunur. Mevcut donatı alanı 27,94 $cm^2$ olduğu için yeterlidir.

TS 500'e göre minimum çekme donatısı oranı:

$\rho_{min}=0,8.f_{ctd}/f_{yd}=0,8.950/365000=0,002$

Minimum çekme donatısı alanı=0,002.130.105=27,30 $cm^2$

Mevcut çekme donatısı alanı=27,94 $cm^2$>minimum çekme donatısı alanı=27,30 $cm^2$ olduğundan yeterlidir.

Kayma hesabı:

$V_{cr}=0,65.f_{ctd}.b.d=0,65.950.1,30.1,05=843$ kN

$V_{dA}<V_{cr}$ olduğundan kayma donatısı hesabına gerek yoktur. Minimum etriye kontrolü yapılacaktır. $A_{sw}/s\geq 0,3.f_{ctd}/f_{ywd}.b_w$ koşulu sağlanmalıdır. Mevcut etriye 4Φ12/10 dur. Buna göre $A_{sw}$=4,52 $cm^2$, s=10 cm alınırsa:

$A_{sw}/s=4,52/10=0,452$ cm

$0,3.f_{ctd}/f_{ywd}.b_w=0,3.0,095/36,5.130=0,102$ cm

Böylece $A_{sw}/s=0,452\geq 0,3.f_{ctd}/f_{ywd}.b_w=0,102$ olduğundan minimum etriye koşulu sağlanmıştır.

G+Q durumu:

Zemin gerilmesinin kontrolünde kullanılacak kullanma durumuna ait değerler:

$N_d$=3138kN $M_d$=372,9 kN.m

$q_s=N_d/(b.h)\pm M_d/(b.h^2).6=(3138/(3,50.4,00)\pm 372,9/(3,50.4,00^2)$

$q_{smax}=231$ kN/$m^2$< $250=q_{z,emn}$ (Zemin emniyet gerilmesi aşılmıyor.)

$q_{smin}=217$ kN/$m^2$>0 (Zeminde çekme gerilmesi yoktur.)

Donatı hesabında kullanılacak artırılmış yük değerleri:

$N_d$=5474 kN  $M_d$=650 kN.m

$q_s=N_d/(b.h)\pm M_d/(b.h^2).6=(5474/(3,50.4,00)\pm 650/(3,50.4,00^2)$

$q_{smax}$=402,6 kN/m$^2$  $q_{smin}$=379,4 kN/m$^2$

Temele oturan perde yüzünde (A-A kesiti) kesit tesirleri $V_{dA}$, $M_{dA}$:

$V_{dA}$=(402,6+383,5).0,70.3,50/2=963,0 kN

$M_{dA}$=(383,5.0,70.3,50.0,35)+(402,6-383,5).0,70.3,50/2=352,2 kN.m

d=105 cm  Malzeme:C18, S420

Buna göre gerekli donatı alanı 9,34 cm$^2$ olarak bulunur. Mevcut donatı alanı 27,94 cm$^2$ olduğu için yeterlidir.

Kayma hesabı:

$V_{cr}=0,65.f_{ctd}.b.d$=0,65.950.1,30.1,05=843 kN

$V_{dA}$=963,0 kN>$V_{cr}$ olduğundan kayma donatısı yeterliliğinin kontrolü gerekir.

Betonun katkısı alındıktan sonra kesme kuvvetinin etriyelere kalan kısmı:

$V_w=A_{sw}.f_{ywd}.d/s=V_{da}-0,80.V_{cr}$=963,0-0,80.843=288,6 kN

Mevcut etriye dört kollu Φ12 olarak konulmuştur. Buna göre gerekli etriye aralığı hesaplanırsa:

4,52.36,5.105/s  s=60 cm

Mevcut etriye aralığı s=10 cm olduğu için yeterlidir. Minimum etriye kontrolü daha önce yapılmıştı.

### 6.3.10 Güçlendirilmiş Taşıyıcı Sistem Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Binaya uygulanan güçlendirme sistemi sonucunda binanın davranışı çeşitli bakımlardan olumlu yönde değişmiştir. Bu gelişmeler aşağıda belirtilmiştir:

Binanın mevcut durumu için $\alpha_M$ değeri x doğrultusunda $\alpha_M$=0,438 y doğrultusunda $\alpha_M$=0,340 olarak hesaplanmıştı. Bu değer güçlendirilmiş durum için x doğrultusunda $\alpha_M$=0,679 y doğrultusunda $\alpha_M$=0,671 olarak gerçekleşmiştir. Böylece deprem yüklerinin büyük bir kısmının perdeler tarafından alınması sağlanmış ve deprem yönetmeliğinde tanımlanan karma taşıyıcı sistemler için gerekli $\alpha_M$ değerine her iki doğrultuda da ulaşılmıştır.

Güçlendirilmiş taşıyıcı sistem için hesaplanan göreli kat ötelemeleri mevcut duruma göre x doğrultusu için % 35-50, y doğrultusu için % 60-65 daha azdır. Ayrıca yumuşak kat düzensizliği durumunda da olumlu gelişme olmuştur.

Yeni eklenen perdeler sayesinde binanın burulma rijitliği artmış ve binadaki burulma etkisi azalmıştır.

İkinci mertebe etkileri ortalama olarak x doğrultusu için % 30, y doğrultusu için % 50 azalmıştır.

Mevcut kolon ve perdeler için var olan yetersizlikler giderilmiştir.

Karma taşıyıcı sistemler için kolonların kirişlerden güçlü olması koşulunun sağlanması zorunlu olmamakla birlikte güçlendirilmiş taşıyıcı sistem için bu koşulun sağlanmasında mevcut duruma göre olumlu gelişmeler sağlanmıştır. Tablo 6.11'de güçlendirilmiş sistem ve mevcut sistem için $\alpha_i$ değerleri verilmiştir.

Mantolanan kolonlara konulacak ek donatılar Tablo 6.12'de, yeni eklenen TP1 ve TP2 perdelerinin donatıları Tablo 6.13'de gösterilmiştir. Bu kolon ve perdelere ait çeşitli detaylar EK H'de verilmiştir. Güçlendirme uygulaması bu detaylar dikkate alınarak yapılacaktır.

Tablo 6.11 Güçlendirilmiş sistem ve mevcut sistem için $\alpha_i$ karşılaştırma

| | Güçlendirilmiş Sistem | | Mevcut Sistem | |
|---|---|---|---|---|
| Doğrultu | X | Y | X | Y |
| Kat | $\alpha_i$ | $\alpha_i$ | $\alpha_i$ | $\alpha_i$ |
| Zemin | 0,95 | 1,00 | 0,92 | 0,92 |
| 1 | 0,86 | 1,00 | 0,75 | 0,85 |
| 2 | 0,86 | 1,00 | 0,75 | 0,85 |
| 3 | 0,82 | 1,00 | 0,68 | 0,82 |
| 4 | 0,82 | 1,00 | 0,68 | 0,82 |
| 5 | 0,80 | 1,00 | 0,65 | 0,82 |
| 6 | 0,80 | 1,00 | 0,65 | 0,82 |
| 7 | 0,76 | 1,00 | 0,60 | 0,81 |
| 8 | 0,76 | 1,00 | 0,60 | 0,81 |
| 9 | 0,71 | 0,91 | 0,56 | 0,77 |

Tablo 6.12 Mantolanan kolonlara konulacak donatılar

| | S3-S4 Kolonu | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Mevcut | | Mantolu | | Ek | |
| Kat | bx(cm) | by(cm) | bx(cm) | by(cm) | Donatı | Etriye |
| Bodrum | 30 | 90 | 50 | 110 | 14Φ16 | Φ10/10 |
| Zemin | 30 | 90 | 50 | 110 | 14Φ16 | Φ10/10 |
| 1 | 30 | 80 | 50 | 100 | 12Φ18 | Φ10/10 |
| 2 | 30 | 75 | 50 | 100 | 12Φ18 | Φ10/10 |
| 3 | 30 | 75 | 50 | 100 | 12Φ18 | Φ10/10 |
| 4 | 30 | 70 | 50 | 90 | 12Φ18 | Φ10/10 |
| | S5-S6 Kolonu | | | | | |
| | Mevcut | | Mantolu | | Ek | |
| Kat | bx(cm) | by(cm) | bx(cm) | by(cm) | Donatı | Etriye |
| Bodrum | 80 | 55 | 100 | 75 | 14Φ18 | Φ10/10 |
| Zemin | 80 | 45 | 100 | 65 | 14Φ18 | Φ10/10 |
| 1 | 75 | 40 | 100 | 65 | 14Φ18 | Φ10/10 |
| 2 | 75 | 40 | 100 | 60 | 14Φ18 | Φ10/10 |
| 3 | 75 | 35 | 100 | 60 | 14Φ18 | Φ10/10 |
| 4 | 75 | 30 | 100 | 50 | 12Φ18 | Φ10/10 |
| | S7-S8 Kolonu | | | | | |
| | Mevcut | | Mantolu | | Ek | |
| Kat | bx(cm) | by(cm) | bx(cm) | by(cm) | Donatı | Etriye |
| Bodrum | 80 | 45 | 100 | 75 | 14Φ18 | Φ10/10 |
| Zemin | 80 | 45 | 100 | 65 | 14Φ18 | Φ10/10 |
| 1 | 75 | 40 | 100 | 65 | 14Φ18 | Φ10/10 |
| 2 | 75 | 35 | 100 | 55 | 12Φ18 | Φ10/10 |
| 3 | 75 | 30 | 100 | 50 | 12Φ18 | Φ10/10 |
| 4 | 75 | 30 | 100 | 50 | 12Φ18 | Φ10/10 |

Tablo 6.13 Yeni eklenen TP1 ve TP2 perdeleri boyuna ve enine donatıları

| | Sol uç bölgesi | | | | Sağ uç bölgesi | | | | Gövde | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Kat | $b_x$ (cm) | $b_y$ (cm) | Ek Donatı | Etriye | $b_x$ (cm) | $b_y$ (cm) | Ek Donatı | Etriye | Boyuna Donatı | Enine Donatı |
| Bodrum | 80 | 75 | 12Φ14 | Φ10/10 | 35 | 70 | 9Φ18 | Φ10/10 | Φ12/20 | Φ10/20 |
| Zemin | 80 | 75 | 12Φ14 | Φ10/10 | 35 | 70 | 9Φ18 | Φ10/10 | Φ12/20 | Φ10/20 |
| 1 | 80 | 75 | 12Φ14 | Φ10/10 | 35 | 70 | 9Φ18 | Φ10/10 | Φ12/20 | Φ10/20 |
| 2 | 80 | 75 | 12Φ14 | Φ10/10 | 35 | 70 | 9Φ18 | Φ10/10 | Φ12/20 | Φ10/20 |
| 3 | 80 | 75 | 12Φ16 | Φ10/10 | 35 | 70 | 9Φ18 | Φ10/10 | Φ12/20 | Φ10/20 |
| 4 | 80 | 75 | 12Φ16 | Φ10/10 | 35 | 70 | 9Φ18 | Φ10/10 | Φ12/20 | Φ10/20 |
| 5 | 80 | 75 | 12Φ16 | Φ10/10 | 35 | 70 | 9Φ18 | Φ10/10 | Φ12/20 | Φ10/20 |
| 6 | 80 | 75 | 12Φ16 | Φ10/10 | 35 | 70 | 9Φ18 | Φ10/10 | Φ12/20 | Φ10/20 |
| 7 | 80 | 75 | 12Φ20 | Φ10/10 | 35 | 70 | 9Φ18 | Φ10/10 | Φ12/20 | Φ10/20 |
| 8 | 80 | 75 | 12Φ20 | Φ10/10 | 35 | 70 | 9Φ18 | Φ10/10 | Φ12/20 | Φ10/20 |
| 9 | 80 | 75 | 12Φ20 | Φ10/10 | 35 | 70 | 9Φ18 | Φ10/10 | Φ12/20 | Φ10/20 |

# 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapı hasarlarının belirlenmesi, yapının güvenlik düzeyinin hesaplanması ve onarım ve güçlendirme projeleri hazırlanması sırasında mühendislerin özellikle unutmamaları gereken bazı noktaları bir kez daha vurgulamakta yarar vardır:

Yapı hasarını belirlemek ve değerlendirmek için dikkatli ve özenli bir çalışma gereklidir. Bundan başka yapı malzeme ve elemanlarının davranışlarının deneysel olarak çıkarıldığı yayınları izlemek gerekir. Yapı tasarım kavramlarının altındaki yaklaşımlar tekrar tekrar gözden geçirilmelidir.

Eski bir yapının güvenlik düzeyinin belirlenmesinde yeni bir yapının statik hesabının gerektirdiğinden daha çok emek harcanacaktır. Statik hesap yapılırken uyulması gereken yönetmelik ve şartnameler vardır. Bunlar bir hesap hatası yapılmadığı zaman projeciyi hukuki bir sorumluluktan kurtarabilir. Oysa yapı değerlendirme alanında özel bir yönetmelik ve şartname olmayıp diğer yol göstericiler de belirsizlikler taşır. Bu durumda mühendislik sağduyusu ve deneyimi öne çıkar. Güvenlik kontrolü yapan mühendisin işin bilinci içinde sorumluluğunu duyarak davranmasında hem kendisi hem de müşterisi için büyük yarar vardır.

Hangi koşullarda yapıldığı bilinmeyen bir yapının güvenliğinin değerlendirilmesinde, herhangi bir tehlikeye karşı güvenlik katsayısının, tasarımdaki katsayılardan biraz daha yüksek seçimi ve bu güvenliği sağlamak için de gerekli önlemlerin alınmasında dikkatli olmak gerekir. Şüpheli durumlarda güvenlik payı yüksek tutulmalıdır.

Onarım ve güçlendirmenin gerektirdiği yüksek nitelikli işçilik yanında çok sıkı denetimin de sağlanması gerektiği unutulmamalıdır. Çünkü ayrıntılarda yapılan en küçük bir değişiklik onarımın tümü ile yararsız olmasına neden olabilir.

Onarım ve güçlendirmenin bedeli bazen yapının yeniden yapılmasından daha fazla olabileceği gibi sağladığı güvenlik de istenilen düzeyde olmayabilir. Bu nedenle

bazen onarılabilecek düzeyde hasar görmesine karşın, arsa değeri artmış olması sebebi ile yapı yıkılıp yerine yenisi yapılabilir.

Malzeme ve işçilik olanaklarının kısıtlı olduğu yerlerde yetersiz güvenlikte yapılmış bir yapının güçlendirilmesi için gereken çok daha nitelikli işçilik ve malzemeyi sağlamak hiçte kolay olmayacaktır. Bu nedenle de başlangıçta gerekli özen gösterilip nitelikli yapı yapılmalıdır.

Onarım ve güçlendirmede başarı sağlayan önemli bir ayrıntı, onarım sırasında yapı elemanının askıya alınması, yükünün başka geçici elemanlar tarafından taşınmasıdır. Daha sonra onarılan betonarme eleman yeterli dayanıma ulaştıktan sonra yeniden yüklenmektedir. Yük kaldırılarak yapılan onarım çok daha etkili olmaktadır. Bilindiği gibi betonun sertleşmeden, tam dayanıma ulaşmadan yüklenmesi zamana bağlı deformasyonların daha çok olmasına neden olmaktadır.

Verilen onarım ve güçlendirme yöntemleri her zaman gelişmeye açıktır. Mühendis uygulamada mühendislik mekaniği, malzemelerin özellikleri vb. temel ilkelerden giderek onaracağı yapı ve yapı elemanının özelliklerine bağlı yeni, özgün ve pratik onarım ve güçlendirme yöntemleri geliştirebilir.

## KAYNAKLAR


[1] **Aydoğan, M.**, 2000. Betonarme Binalarda Onarım ve Güçlendirme Sistemleri ve Tasarımı, İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi.

[2] **Celep, Z., Kumbasar, N.**, 2000. Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Beta dağıtım, İstanbul.

[3] **Bayülke, N.**, 1999. Depremlerde Hasar Gören Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi, İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi.

[4] **Demir, H.**, 1999. Depremden Hasar Görmüş Betonarme Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi, Emlak pazarlama Proje Yönetimi ve Servis A.Ş., İstanbul.

[5] **Tübitak, İMO**, 1999. Betonarme Binaların Onarım ve Güçlendirilmesi Kurs Notları.

[6] **Tankut, T., Ersoy, U., Aksan, B.**, 1989. Repair and Strengthening of Reinforced Concrete Columns, *Seminar on Assessment and Redesign of Reinforced Concrete Structures*, İzmir, Turkey, April 12-13

[7] **Ignatiev, N.**, 1998. Some Problems of Strengthening of Existing Buildings with New Structural Components, *Second Japan-Turkey Workshop on Earthquake Engineering*, ITU, İstanbul, Turkey, February 1998, Volume I pp. 11-42.

[8] **TS-500**, 2000. Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

[9] **TS-498**, 1987. Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

[10] **TS-708**, 1985. Beton Çelik Çubukları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

[11] **Bayındırlık ve İskan Bakanlığı**, 1998. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Ankara.

[12] **Celep, Z., Kumbasar, N.**, 1996. Betonarme Yapılar, Beta Dağıtım, İstanbul.

[13] **Ersoy, U.**, 1985. Betonarme Cilt I, Evrim Yayınları ve Ticaret Ltd. Şti., İstanbul.

[14] **Tekin, Z.**, 2001. Kentimiz Yapılarında Onarım ve Güçlendirme Projelerinin Güvenilirlikleri ve Yapım Aşaması Denetimi, *İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi Bülteni*, **55**, s.37-46

[15] **CSI, Inc.**, 1999. SAP2000 Basic Analysis Reference, California, USA.

**EKLER**

**EKA. MEVCUT DURUM KALIP PLANI VE TEMEL ÇİZİMLERİ**

**EKB. MEVCUT DURUM BİNA MODELİ VE ELEMAN ETİKETLERİ**

**EKC. MEVCUT DURUM DEPLASMAN KONTROLLERİ**

**EK D. MEVCUT DURUM KOLON, KİRİŞ, PERDE HESAP TABLOLARI ÖRNEKLERİ**

**EK E. GÜÇLENDİRİLMİŞ DURUM KAT KALIP PLANI VE TEMEL ÇİZİMLERİ**

**EK F. GÜÇLENDİRİLMİŞ DURUM BİNA MODELİ VE ELEMAN ETİKETLERİ**

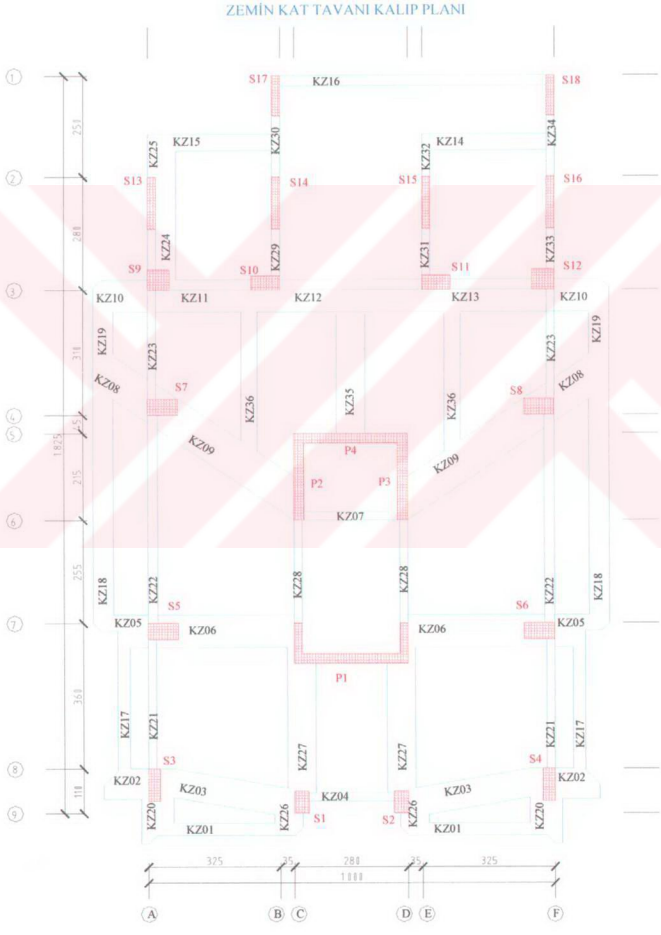
**EK G. GÜÇLENDİRİLMİŞ DURUM DEPLASMAN KONTROLLERİ**

**EK H. GÜÇLENDİRİLMİŞ DURUM PERDE VE KOLON DETAYLARI**

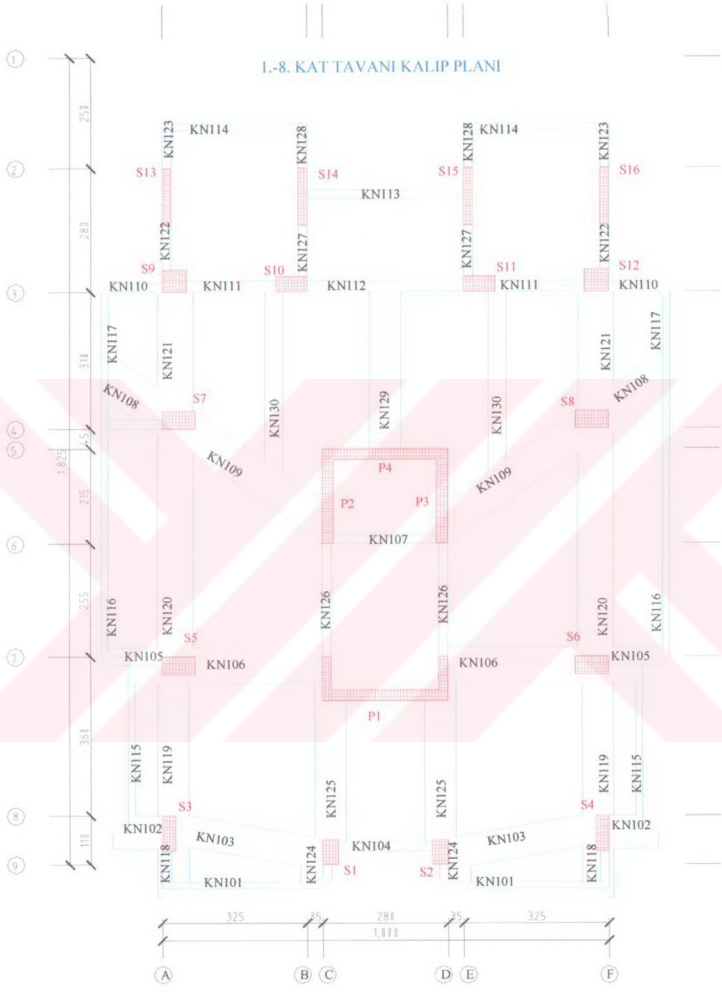
**EK I. TRANS 2000 PROGRAMI**

**EK J. KOLON, KİRİŞ, PERDE HESAP TABLOLARI**

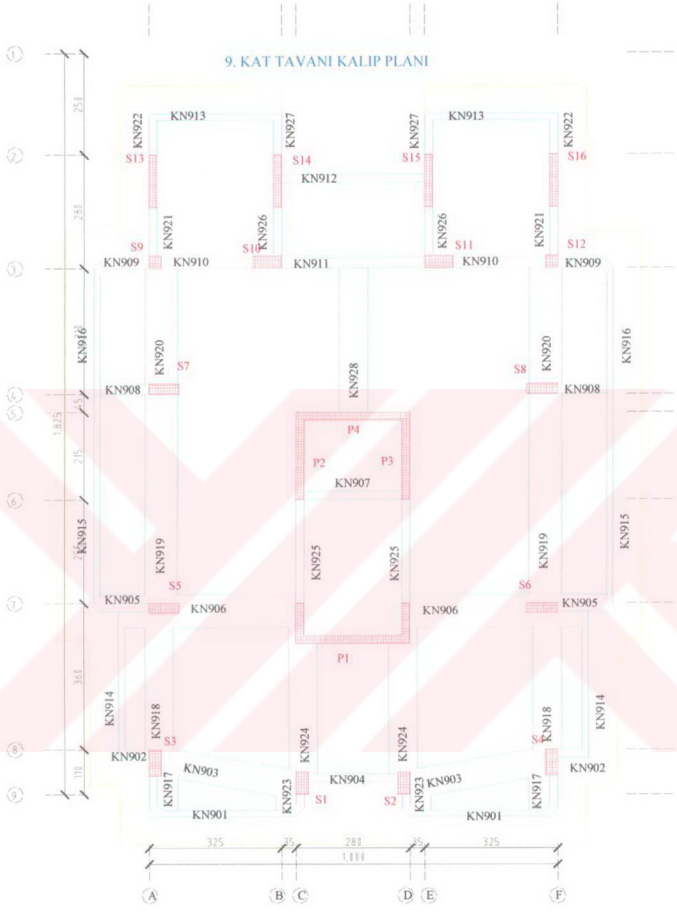
# EK A. MEVCUT DURUM KALIP PLANI VE TEMEL ÇİZİMLERİ



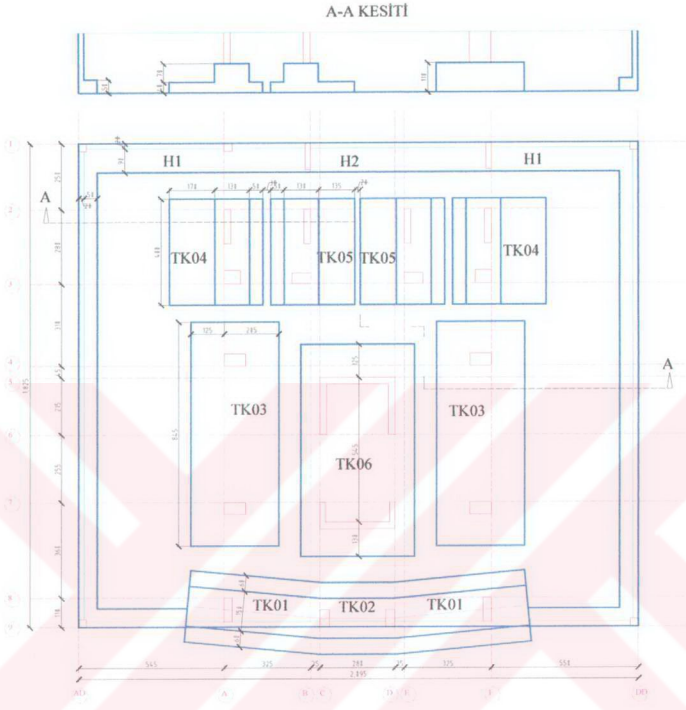

Şekil A.1 Mevcut durum zemin kat kalıp planı




Şekil A.2 1.-8. Kat mevcut durum kalıp planları

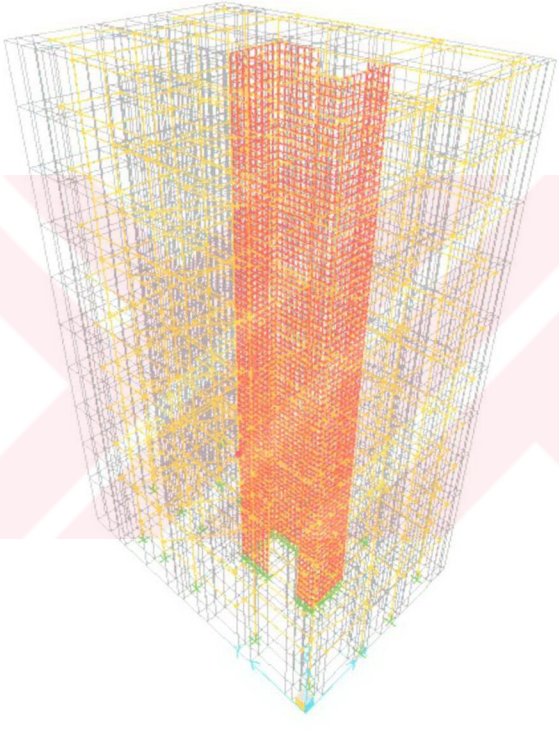



Şekil A.3 9. Kat mevcut durum kalıp planı

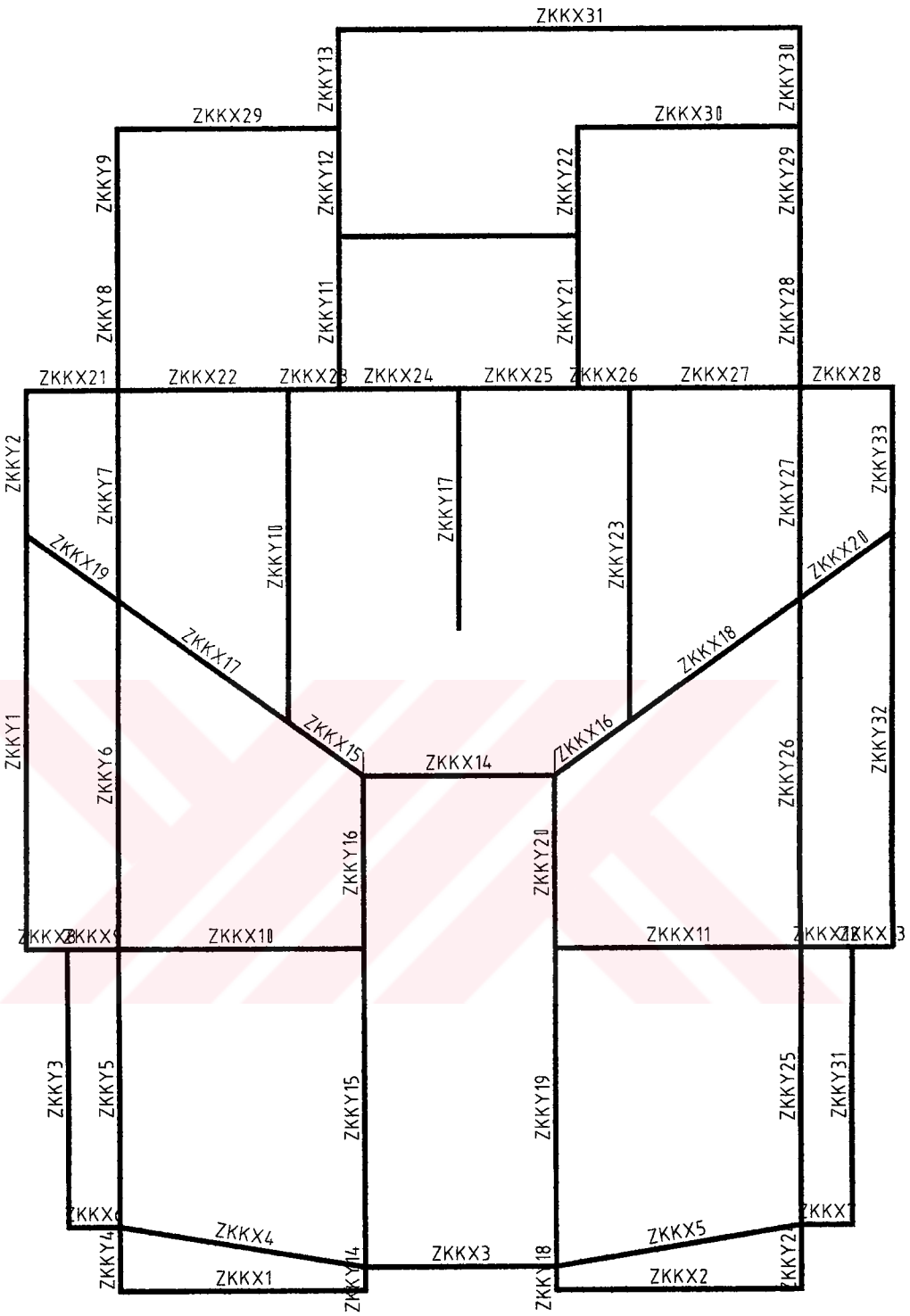



Şekil A.4 Mevcut durum temel planı

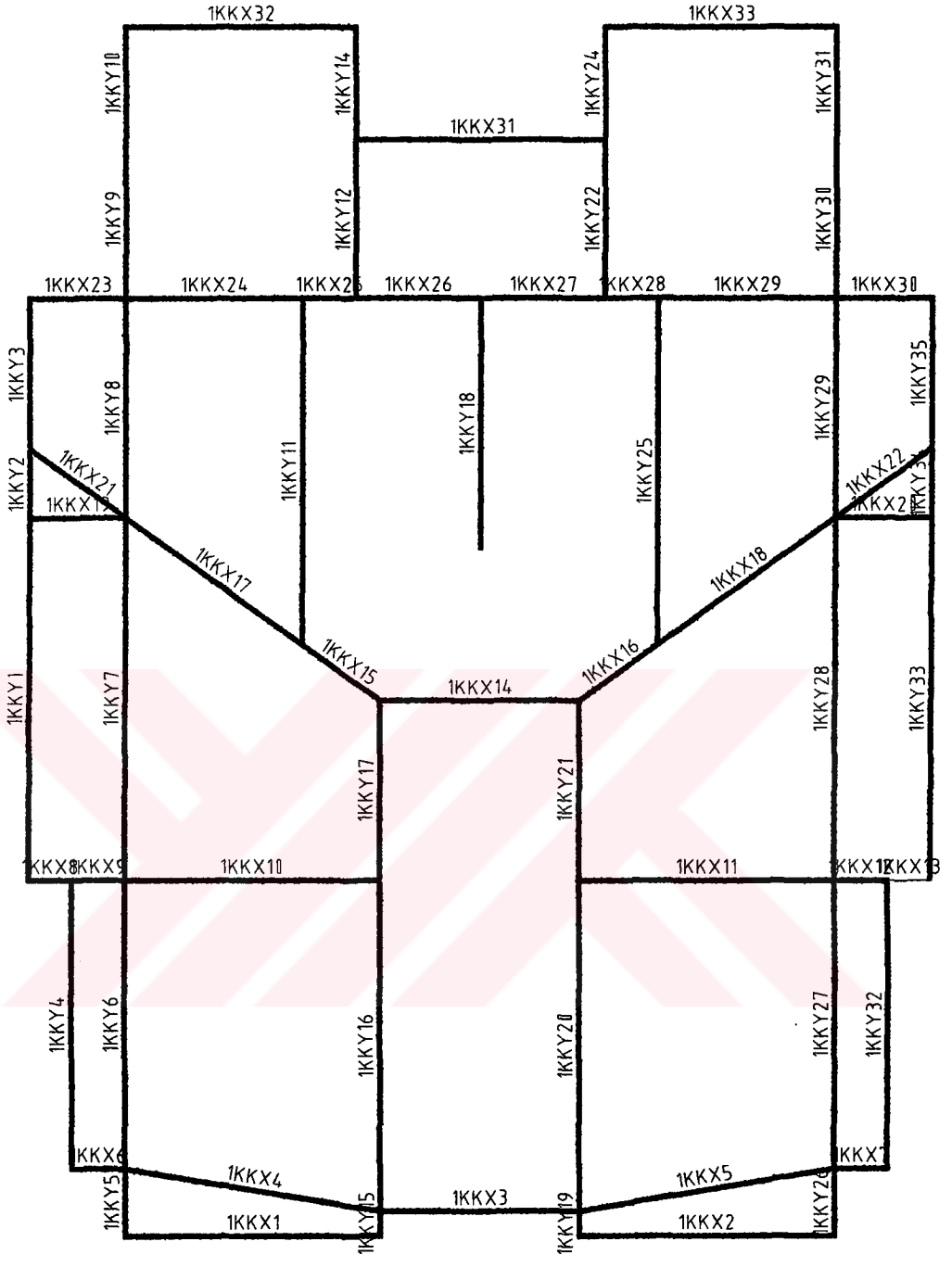
## EK B. MEVCUT DURUM BİNA MODELİ VE ELEMAN ETİKETLERİ



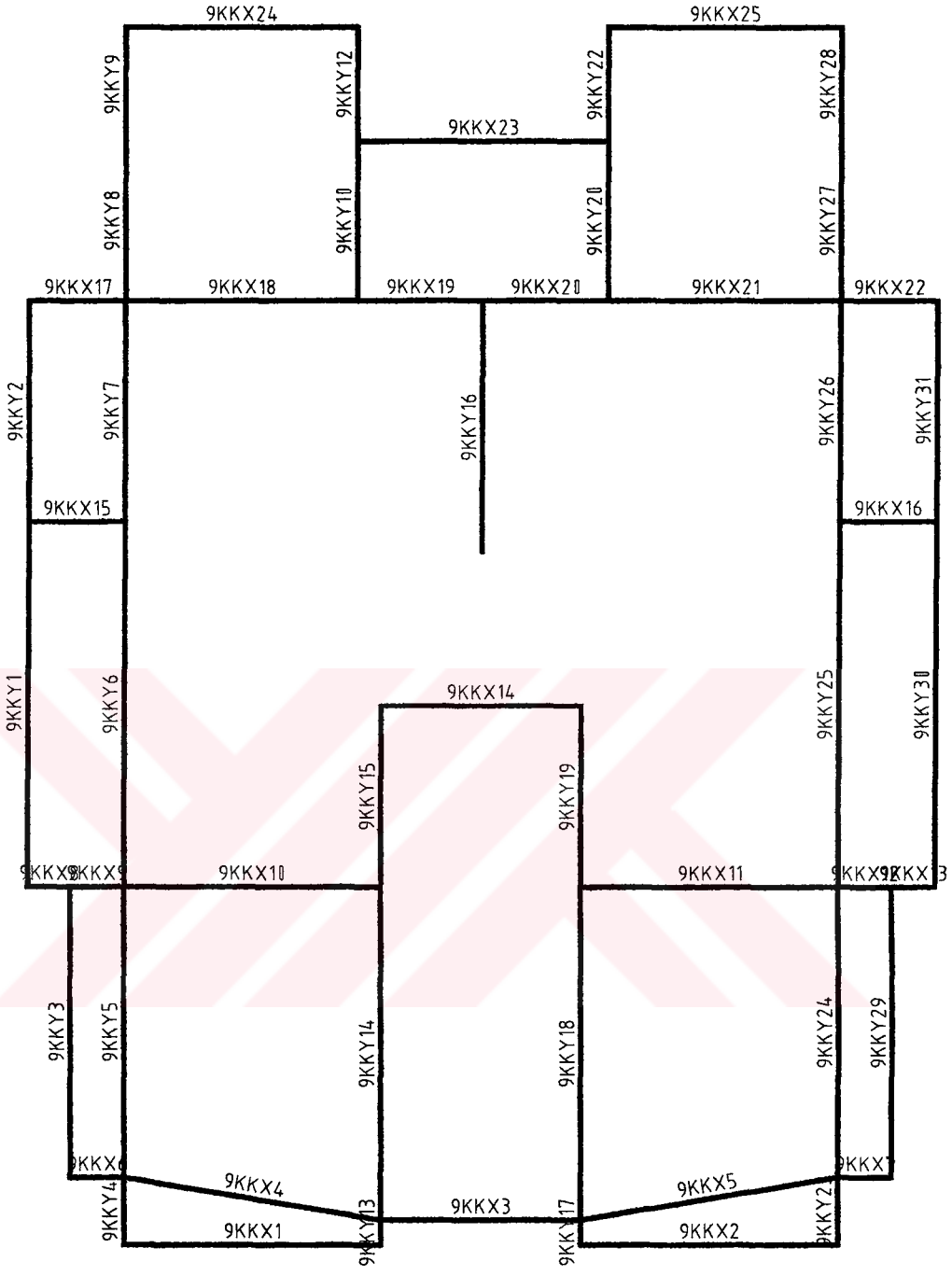
Şekil B.1 Mevcut durum üç boyutlu bina modeli



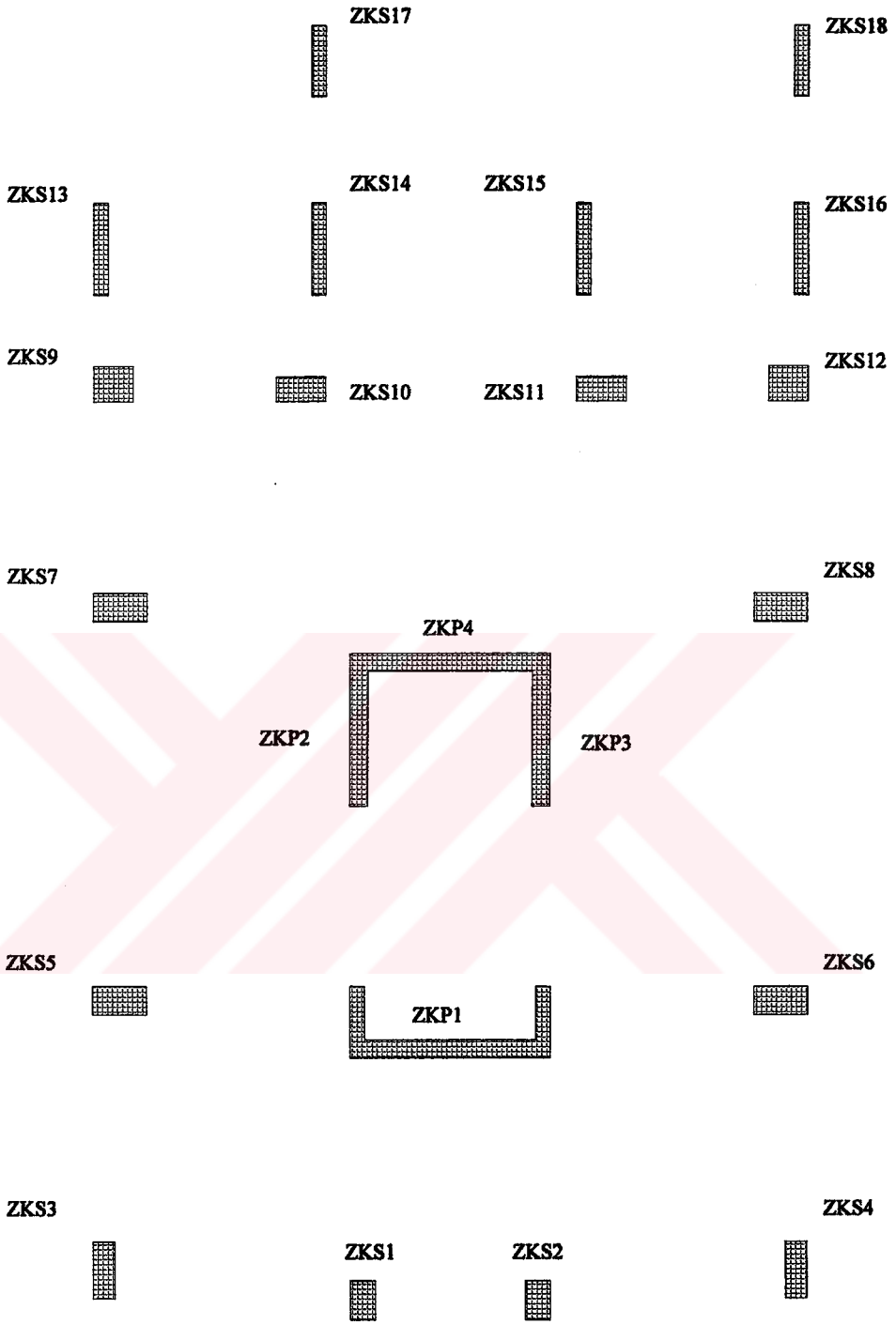

**Şekil B.2 Mevcut durum zemin kat kirişleri etiketleme düzeni**




**Şekil B.3 Mevcut durum 1.-8. kat kirişleri etiketleme düzeni**




**Şekil B.4 Mevcut durum 9. kat kirişleri etiketleme düzeni**




**Şekil B.5 Mevcut durum kolon etiketleme düzeni**

## EK C. MEVCUT DURUM DEPLASMAN KONTROLLERİ

Tablo C.1 Mevcut durum göreli kat ötelemesi kontrolü

**Göreli Kat Ötelemeleri Kontrolü**

**X doğrultusu**

| Kat | $(\Delta_i)_{max}$ (cm) | $h_i$ (cm) | $(\Delta_i)_{max}/h_i$ (cm) | 0,0035 (cm) | 0,02/R (cm) | Sonuç |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Zemin | 0,3689 | 390 | 0,0009 | 0,0035 | 0,005 | Yeterli |
| 1 | 0,3641 | 290 | 0,0013 | | | Yeterli |
| 2 | 0,4421 | 290 | 0,0015 | | | Yeterli |
| 3 | 0,4812 | 290 | 0,0017 | | | Yeterli |
| 4 | 0,8244 | 290 | 0,0028 | | | Yeterli |
| 5 | 0,5039 | 290 | 0,0017 | | | Yeterli |
| 6 | 0,4994 | 290 | 0,0017 | | | Yeterli |
| 7 | 0,4905 | 290 | 0,0017 | | | Yeterli |
| 8 | 0,4786 | 290 | 0,0017 | | | Yeterli |
| 9 | 0,4458 | 290 | 0,0015 | | | Yeterli |

**Y doğrultusu**

| Kat | $(\Delta_i)_{max}$ (cm) | $h_i$ (cm) | $(\Delta_i)_{max}/h_i$ (cm) | 0,0035 (cm) | 0,02/R (cm) | Sonuç |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Zemin | 0,2940 | 390 | 0,0008 | 0,0035 | 0,005 | Yeterli |
| 1 | 0,4374 | 290 | 0,0015 | | | Yeterli |
| 2 | 0,5559 | 290 | 0,0019 | | | Yeterli |
| 3 | 0,6232 | 290 | 0,0021 | | | Yeterli |
| 4 | 0,6828 | 290 | 0,0024 | | | Yeterli |
| 5 | 0,6516 | 290 | 0,0022 | | | Yeterli |
| 6 | 0,6499 | 290 | 0,0022 | | | Yeterli |
| 7 | 0,6272 | 290 | 0,0022 | | | Yeterli |
| 8 | 0,5912 | 290 | 0,0020 | | | Yeterli |
| 9 | 0,5360 | 290 | 0,0018 | | | Yeterli |

Tablo C.2 Mevcut durum yumuşak kat düzensizliği kontrolü

**Yumuşak Kat Düzensizliği Kontrolü**

| X Doğrultusu | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | $\eta_{ki}$ | | | | |
| KAT | ($e_y$=0) | (+$e_y$) | (-$e_y$) | $\eta_{ki(max)}$ | Sonuç |
| Zemin | 0,83 | 0,74 | 0,90 | 0,90 | Yok |
| 1 | 0,80 | 0,79 | 0,81 | 0,81 | Yok |
| 2 | 0,89 | 0,89 | 0,91 | 0,91 | Yok |
| 3 | 0,70 | 1,21 | 0,86 | 1,21 | Yok |
| 4 | 1,37 | 0,78 | 1,12 | 1,37 | Yok |
| 5 | 0,99 | 0,99 | 1,01 | 1,01 | Yok |
| 6 | 1,03 | 1,02 | 1,03 | 1,03 | Yok |
| 7 | 1,05 | 1,04 | 1,06 | 1,06 | Yok |
| 8 | 1,09 | 1,08 | 1,09 | 1,09 | Yok |

| Y Doğrultusu | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | $\eta_{ki}$ | | | | |
| KAT | ($e_x$=0) | (+$e_x$) | (-$e_x$) | $\eta_{ki(max)}$ | Sonuç |
| Zemin | 0,64 | 0,64 | 0,65 | 0,65 | Yok |
| 1 | 0,77 | 0,77 | 0,78 | 0,78 | Yok |
| 2 | 0,89 | 0,89 | 0,89 | 0,89 | Yok |
| 3 | 0,98 | 0,92 | 1,05 | 1,05 | Yok |
| 4 | 0,97 | 1,03 | 0,90 | 1,03 | Yok |
| 5 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | Yok |
| 6 | 1,03 | 1,03 | 1,03 | 1,03 | Yok |
| 7 | 1,06 | 1,06 | 1,06 | 1,06 | Yok |
| 8 | 1,10 | 1,10 | 1,10 | 1,10 | Yok |

Tablo C.3 Mevcut durum zayıf kat düzensizliği kontrolü

**Zayıf Kat Düzensizliği Kontrolü**

| X Doğrultusu | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Kat** | $\Sigma A_w$ ($cm^2$) | $\Sigma A_g$ ($cm^2$) | $0,15\Sigma A_k$ ($cm^2$) | $\Sigma A_e$ ($cm^2$) | $\eta_{ci}$ |
| Zemin | 52950 | 14000 | 3165 | 70115 | 1,14 |
| 1 | 41450 | 14000 | 6120 | 61570 | 1,08 |
| 2 | 39900 | 11200 | 6120 | 57220 | 1,06 |
| 3 | 36900 | 11200 | 6120 | 54220 | 1,02 |
| 4 | 35850 | 11200 | 6120 | 53170 | 1,00 |
| 5 | 35850 | 11200 | 6120 | 53170 | 1,07 |
| 6 | 32050 | 11200 | 6630 | 49880 | 1,02 |
| 7 | 31100 | 11200 | 6630 | 48930 | 1,00 |
| 8 | 31100 | 11200 | 6630 | 48930 | 1,00 |

| Y Doğrultusu | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Kat** | $\Sigma A_w$ ($cm^2$) | $\Sigma A_g$ ($cm^2$) | $0,15\Sigma A_k$ ($cm^2$) | $\Sigma A_e$ ($cm^2$) | $\eta_{ci}$ |
| Zemin | 52950 | 10750 | 5805 | 69505 | 1,15 |
| 1 | 41450 | 10750 | 8430 | 60630 | 1,07 |
| 2 | 39900 | 8600 | 8430 | 56930 | 1,06 |
| 3 | 36900 | 8600 | 8430 | 53930 | 1,02 |
| 4 | 35850 | 8600 | 8430 | 52880 | 1,00 |
| 5 | 35850 | 8600 | 8430 | 52880 | 1,02 |
| 6 | 32050 | 8600 | 11310 | 51960 | 1,02 |
| 7 | 31100 | 8600 | 11310 | 51010 | 1,00 |
| 8 | 31100 | 8600 | 11310 | 51010 | 1,00 |

Tablo C.4 Mevcut durum burulma düzensizliği kontrolü

**Burulma Düzensizliği Kontrolü**

| X Doğrultusu | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | $\eta_{bi}$ | | | |
| KAT | ($e_y$=0) | (+$e_y$) | (-$e_y$) | $\eta_{bi(max)}$ |
| Zemin | 1,28 | 1,06 | 1,36 | 1,36 |
| 1 | 1,14 | 1,08 | 1,21 | 1,21 |
| 2 | 1,13 | 1,09 | 1,19 | 1,19 |
| 3 | 1,12 | 1,09 | 1,18 | 1,18 |
| 4 | 1,14 | 1,10 | 1,21 | 1,21 |
| 5 | 1,10 | 1,10 | 1,16 | 1,16 |
| 6 | 1,10 | 1,08 | 1,14 | 1,14 |
| 7 | 1,09 | 1,09 | 1,12 | 1,12 |
| 8 | 1,06 | 1,10 | 1,10 | 1,10 |
| 9 | 1,05 | 1,10 | 1,08 | 1,10 |

| Y Doğrultusu | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | $\eta_{bi}$ | | | |
| KAT | ($e_x$=0) | (+$e_x$) | (-$e_x$) | $\eta_{bi(max)}$ |
| Zemin | 1,07 | 1,07 | 1,18 | 1,18 |
| 1 | 1,04 | 1,07 | 1,14 | 1,14 |
| 2 | 1,03 | 1,07 | 1,13 | 1,13 |
| 3 | 1,03 | 1,07 | 1,12 | 1,12 |
| 4 | 1,05 | 1,10 | 1,12 | 1,12 |
| 5 | 1,03 | 1,06 | 1,11 | 1,11 |
| 6 | 1,03 | 1,06 | 1,10 | 1,10 |
| 7 | 1,03 | 1,06 | 1,10 | 1,10 |
| 8 | 1,03 | 1,05 | 1,10 | 1,10 |
| 9 | 1,03 | 1,05 | 1,09 | 1,09 |

| KAT | $\eta_{bi}$ | Düzensizlik | $D_i$ | $B_x$ (cm) | $B_y$ (cm) | $e_x$ (cm) | $e_y$ (cm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Zemin | 1,36 | Mevcut | 1,28 | 1000 | 1895 | 63,9 | 121,2 |
| 1 | 1,21 | Mevcut | 1,02 | 1000 | 1730 | 50,8 | 87,9 |
| 2 | 1,19 | Yok | 1,00 | 1000 | 1730 | 50,0 | 86,5 |
| 3 | 1,18 | Yok | 1,00 | 1000 | 1730 | 50,0 | 86,5 |
| 4 | 1,21 | Mevcut | 1,02 | 1000 | 1730 | 50,8 | 87,9 |
| 5 | 1,16 | Yok | 1,00 | 1000 | 1730 | 50,0 | 86,5 |
| 6 | 1,14 | Yok | 1,00 | 1000 | 1730 | 50,0 | 86,5 |
| 7 | 1,12 | Yok | 1,00 | 1000 | 1730 | 50,0 | 86,5 |
| 8 | 1,10 | Yok | 1,00 | 1000 | 1730 | 50,0 | 86,5 |
| 9 | 1,10 | Yok | 1,00 | 1000 | 1730 | 50,0 | 86,5 |

## EK D. MEVCUT DURUM KOLON, KİRİŞ, PERDE HESAP TABLOLARI ÖRNEKLERİ

Tablo D.1 Mevcut durum zemin kat kolonları boyuna donatı hesap tablosu örneği

| Kolon | $b_x$ (cm) | $b_y$ (cm) | h (cm) | BS | ST | İm. Dur.* | $N_{dmax}$ (kN) | $N_{d(s)}$ (kN) | $N_b$ (kN) | Yükleme | Komb. | Kütle Eks. | $M_{d,x}$ (kN.m) | $M_{d,y}$ (kN.m) | $N_d$ (kN) | $A_{s(min)}$ ($cm^2$) | $A_{s(max)}$ ($cm^2$) | $A_{s(h)}$ ($cm^2$) | $A_{s(s)}$ ($cm^2$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ZKS1 | 35 | 65 | 390 | C18 | S420 | 1 | -2277,1 | 2047,5 | -605,2 | 1,4G+1,6Q | COMB8 | ex=ey=0 | -23,3 | 2,8 | -2277,1 | 22,8 | 91,0 | 17,2 | 22,8 |
| ZKS2 | 35 | 65 | 390 | C18 | S420 | 1 | -2354,6 | 2047,5 | -605,2 | 1,4G+1,6Q | COMB8 | ex=ey=0 | -23,7 | -4,8 | -2354,6 | 22,8 | 91,0 | 19,4 | 22,8 |
| ZKS3 | 30 | 90 | 390 | C18 | S420 | 1 | -2705,1 | 2430,0 | -436,4 | 1,4G+1,6Q | COMB8 | ex=ey=0 | -15,7 | 0,1 | -2705,1 | 27,0 | 108,0 | 21,2 | 27,0 |
| ZKS4 | 30 | 90 | 390 | C18 | S420 | 1 | -2779,6 | 2430,0 | -436,4 | 1,4G+1,6Q | COMB8 | ex=ey=0 | -15,8 | 1,6 | -2779,6 | 27,0 | 108,0 | 23,3 | 27,0 |
| ZKS5 | 80 | 45 | 390 | C18 | S420 | 1 | -3912,4 | 3240,0 | -3359,6 | 1,4G+1,6Q | COMB8 | ex=ey=0 | -13,7 | 15,8 | -3912,4 | 36,0 | 144,0 | 33,0 | 36,0 |
| ZKS6 | 80 | 45 | 390 | C18 | S420 | 1 | -3903,4 | 3240,0 | -3359,6 | 1,4G+1,6Q | COMB8 | ex=ey=0 | -14,4 | -16,5 | -3903,4 | 36,0 | 144,0 | 32,8 | 36,0 |
| ZKS7 | 80 | 45 | 390 | C18 | S420 | 1 | -4096,2 | 3240,0 | -3359,6 | 1,4G+1,6Q | COMB8 | ex=ey=0 | 5,2 | 4,9 | -4096,2 | 36,0 | 144,0 | 38,5 | 38,5 |
| ZKS8 | 80 | 45 | 390 | C18 | S420 | 1 | -3946,6 | 3240,0 | -3359,6 | 1,4G+1,6Q | COMB8 | ex=ey=0 | 3,1 | -8,1 | -3946,6 | 36,0 | 144,0 | 34,1 | 36,0 |
| ZKS9 | 60 | 50 | 390 | C18 | S420 | 1 | -2614,3 | 2700,0 | -1861,0 | G+Q+Ex | COMB12 | ex=ey=0 | -34,8 | -172,8 | -2614,3 | 30,0 | 120,0 | 19,4 | 30,0 |
| ZKS10 | 70 | 40 | 390 | C18 | S420 | 1 | -2645,1 | 2520,0 | -2555,4 | G+Q+Ex | COMB12 | ey=(-) | -9,7 | -236,6 | -2084,8 | 28,0 | 112,0 | 16,3 | 28,0 |
| ZKS11 | 70 | 40 | 390 | C18 | S420 | 1 | -2633,6 | 2520,0 | -2555,4 | G+Q+Ex | COMB12 | ey=(-) | -7,3 | -232,9 | -2083,9 | 28,0 | 112,0 | 16,0 | 28,0 |
| ZKS12 | 60 | 50 | 390 | C18 | S420 | 1 | -2601,1 | 2700,0 | -1861,0 | G+Q+Ex | COMB10 | ey=(-) | -65,4 | -171,1 | -2597,7 | 30,0 | 120,0 | 18,8 | 30,0 |
| ZKS13 | 25 | 130 | 390 | C18 | S420 | 1 | -2355,5 | 2925,0 | -295,1 | G+Q+Ey | COMB17 | ex=(-) | -644,1 | -15,3 | -2355,5 | 32,5 | 130,0 | 27,1 | 32,5 |
| ZKS14 | 25 | 130 | 390 | C18 | S420 | 1 | -2376,1 | 2925,0 | -295,1 | G+Q+Ey | COMB17 | ex=ey=0 | -626,9 | -3,3 | -2374,8 | 32,5 | 130,0 | 26,6 | 32,5 |
| ZKS15 | 25 | 130 | 390 | C18 | S420 | 1 | -2494,5 | 2925,0 | -295,1 | G+Q+Ey | COMB17 | ex=(+) | -556,0 | -5,3 | -2482,5 | 32,5 | 130,0 | 25,0 | 32,5 |
| ZKS16 | 25 | 130 | 390 | C18 | S420 | 1 | -2244,0 | 2925,0 | -295,1 | 0,9G+Ey | COMB18 | ex=(+) | 631,3 | 7,1 | -152,4 | 32,5 | 130,0 | 26,9 | 32,5 |
| ZKS17 | 20 | 100 | 390 | C18 | S420 | 1 | -335,1 | 1800,0 | -181,2 | 0,9G+Ey | COMB18 | ex=(-) | 340,6 | 3,7 | 71,1 | 20,0 | 80,0 | 23,8 | 23,8 |
| ZKS18 | 20 | 100 | 390 | C18 | S420 | 1 | -324,9 | 1800,0 | -181,2 | 0,9G+Ey | COMB18 | ex=(+) | 347,7 | 11,0 | 84,8 | 20,0 | 80,0 | 25,7 | 25,7 |

Tablo D.1 Mevcut durum zemin kat kolonları boyuna donatı hesap tablosu örneği (devam)

| Kolon | $A_{s(t)}$ ($cm^2$) | $A_{s(m)}$ ($cm^2$) | $A_{s(m)}$ /$A_{s(s)}$ % | ÇS | Φ (mm) | $DS_x$ | $DS_y$ | $M_{r,x}$ (kN.m) | $M_{rb,x}$ (kN.m) | $M_{r,y}$ (kN.m) | $M_{rb,y}$ (kN.m) | $M_{r,x(m)}$ (kN.m) | $M_{rb,x(m)}$ (kN.m) | $M_{r,y(m)}$ (kN.m) | $M_{rb,y(m)}$ (kN.m) | Hata Kodu** | $M_{r,x(m)}$ /$M_{d,x}$% | $M_{r,y(m)}$ /$M_{d,y}$% |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ZKS1 | 24,1 | 25,4 | 112 | 12 | 16 | 4 | 4 | 234,5 | 378,2 | 119,7 | 192,7 | 244,9 | 388,2 | 124,6 | 197,5 | (1) | 1050 | 4482 |
| ZKS2 | 24,1 | 25,4 | 112 | 12 | 16 | 4 | 4 | 218,8 | 378,2 | 111,7 | 192,7 | 229,5 | 388,2 | 116,9 | 197,5 | (1) | 968 | 2453 |
| ZKS3 | 32,2 | 30,5 | 113 | 16 | 16 | 4 | 6 | 434,8 | 686,8 | 130,7 | 202,9 | 415,3 | 666,9 | 125,3 | 197,6 | (1) | 2647 | 146106 |
| ZKS4 | 32,2 | 30,5 | 113 | 16 | 16 | 4 | 6 | 414,5 | 686,8 | 124,8 | 202,9 | 394,7 | 666,9 | 119,1 | 197,6 | (1) | 2501 | 7355 |
| ZKS5 | 44,0 | 40,6 | 113 | 14 | 20 | 5 | 4 | 238,9 | 432,7 | 443,9 | 815,2 | 219,9 | 415,6 | 408,1 | 781,1 | (1) | 1605 | 2576 |
| ZKS6 | 44,0 | 40,6 | 113 | 14 | 20 | 5 | 4 | 240,3 | 432,7 | 446,2 | 815,2 | 221,3 | 415,6 | 410,6 | 781,1 | (1) | 1538 | 2487 |
| ZKS7 | 44,0 | 40,6 | 105 | 14 | 20 | 5 | 4 | 211,5 | 432,7 | 393,2 | 815,2 | 191,6 | 415,6 | 356,2 | 781,1 | (1) | 3701 | 7220 |
| ZKS8 | 44,0 | 40,6 | 113 | 14 | 20 | 5 | 4 | 233,9 | 432,7 | 434,7 | 815,2 | 215,1 | 415,6 | 398,7 | 781,1 | (1) | 6858 | 4953 |
| ZKS9 | 30,5 | 55,9 | 186 | 12 | 18 | 4 | 4 | 277,1 | 369,1 | 337,7 | 448,8 | 420,3 | 516,6 | 515,1 | 630,8 | | 1208 | 298 |
| ZKS10 | 28,1 | 40,6 | 145 | 14 | 16 | 5 | 4 | 229,3 | 268,4 | 426,5 | 497,2 | 282,8 | 324,1 | 534,2 | 607,0 | (1) | 2911 | 226 |
| ZKS11 | 28,1 | 40,6 | 145 | 14 | 16 | 5 | 4 | 229,4 | 268,4 | 426,6 | 497,2 | 282,8 | 324,1 | 534,3 | 607,0 | (1) | 3878 | 229 |
| ZKS12 | 30,5 | 55,9 | 186 | 12 | 18 | 4 | 4 | 279,0 | 369,1 | 340,0 | 448,8 | 422,2 | 516,6 | 517,4 | 630,8 | | 646 | 302 |
| ZKS13 | 40,2 | 38,2 | 117 | 20 | 16 | 4 | 8 | 1106,1 | 1246,0 | 174,0 | 200,5 | 1070,9 | 1210,2 | 169,5 | 195,6 | | 166 | 1105 |
| ZKS14 | 40,2 | 29,6 | 91 | 20 | 16 | 4 | 8 | 1100,4 | 1246,0 | 173,3 | 200,5 | 918,7 | 1059,7 | 149,8 | 174,9 | (3) | 147 | 4597 |
| ZKS15 | 40,2 | 29,6 | 91 | 20 | 16 | 4 | 8 | 1067,2 | 1246,0 | 169,0 | 200,5 | 887,3 | 1059,7 | 145,4 | 174,9 | (3) | 160 | 2724 |
| ZKS16 | 40,2 | 38,2 | 117 | 20 | 16 | 4 | 8 | 950,4 | 1246,0 | 150,6 | 200,5 | 908,6 | 1210,2 | 144,7 | 195,6 | | 144 | 2030 |
| ZKS17 | 24,6 | 20,6 | 86 | 16 | 14 | 4 | 6 | 384,5 | 578,3 | 60,1 | 93,4 | 318,4 | 525,3 | 50,5 | 86,3 | (3)(5) | 93 | 1381 |
| ZKS18 | 32,2 | 20,6 | 80 | 16 | 16 | 4 | 6 | 498,5 | 677,4 | 76,2 | 106,5 | 312,5 | 525,3 | 49,6 | 86,3 | (3)(5) | 90 | 449 |

| **Hata Kodu | Açıklama: |
|---|---|
| (1) | $N_d > N_{d(s)}$ |
| (2) | $A_{s(t)} > A_{s(max)}$ |
| (3) | $A_{s(m)} < A_{s(s)}$ |
| (4) | $A_{s(m)} > A_{s(max)}$ |
| (5) | $M_{r,x(m)} < M_{d,x}$ |
| (6) | $M_{r,y(m)} < M_{d,y}$ |
| (7) | $N_{0r(m)} < N_d$ |

***İm. Dur.(Eleman imalat durumu)**

1 Monolitik(birdöküm) olarak imal edilmiş eleman
2 Yük kaldırılarak imal edilmiş güçlendirme mantosu bulunan eleman
3 Yük kaldırılarak imal edilmiş onarım mantosu bulunan eleman
4 Yük kaldırılmadan imal edilmiş güçlendirme mantosu bulunan eleman
5 Yük kaldırılmadan imal edilmiş onarım mantosu bulunan eleman

Tablo D.2 Mevcut durum zemin kat kolonları kesme ve enine donatı hesap tablosu örneği

**KOLON KESME VE ENİNE DONATI HESAP SONUÇLARI**

| Kolon | $b_x$ | $b_y$ | $V_{d,x}$ | $V_{d,y}$ | $V_{e,x}$ | $V_{e,y}$ | $V_{c,x}$ | $V_{c,y}$ | $V_{s,x}$ | $V_{s,y}$ | Tasarım | | | | | | | Mevcut | | | | | | | | Sonuç |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | | | Φ | Kol adedi | | $s_c$ | $s_o$ | $s_{j,a}$ | $s_{j,ü}$ | $A_{sw}(cm^2)$ | | $s_c$ | $s_o$ | $V_{r,x}(kN)$ | | $V_{r,y}(kN)$ | | |
| | (cm) | | (kN) | | | | | | | | (mm) | x | y | (cm) | | | | x | y | (cm) | | sık | orta | sık | orta | |
| ZKS1 | 35 | 65 | 22,6 | -32,2 | 98,8 | 194,2 | 134,8 | 141,7 | 540,5 | 568,3 | 8 | 4 | 3 | 8 | 17 | 8 | 10 | 1,00 | 1,00 | 10 | 20 | 249,8 | 192,3 | 366,2 | 253,9 | Yeterli |
| ZKS2 | 35 | 65 | -23,6 | -31,8 | 98,8 | 194,2 | 136,1 | 143,1 | 540,5 | 568,3 | 8 | 4 | 3 | 8 | 17 | 8 | 10 | 1,00 | 1,00 | 10 | 20 | 251,1 | 193,6 | 367,6 | 255,3 | Yeterli |
| ZKS3 | 30 | 90 | 12,6 | -73,7 | 104,0 | 354,7 | 150,9 | 164,2 | 629,6 | 685,1 | 8 | 6 | 3 | 7 | 15 | 7 | 10 | 1,00 | 1,00 | 10 | 20 | 247,6 | 199,2 | 479,9 | 322,0 | Yeterli |
| ZKS4 | 30 | 90 | 13,0 | -62,1 | 103,6 | 354,6 | 152,4 | 165,8 | 629,6 | 685,1 | 8 | 6 | 3 | 7 | 15 | 7 | 10 | 1,00 | 1,00 | 10 | 20 | 249,1 | 200,8 | 481,5 | 323,7 | Yeterli |
| ZKS5 | 80 | 45 | 58,8 | -63,4 | 419,4 | 222,0 | 226,0 | 217,9 | 908,8 | 876,5 | 8 | 3 | 5 | 10 | 20 | 10 | 10 | 1,00 | 1,00 | 10 | 20 | 505,2 | 365,6 | 369,4 | 293,7 | Yeterli |
| ZKS6 | 80 | 45 | -59,1 | -57,6 | 419,4 | 222,0 | 225,8 | 217,8 | 908,8 | 876,5 | 8 | 3 | 5 | 10 | 20 | 10 | 10 | 1,00 | 1,00 | 10 | 20 | 505,0 | 365,4 | 369,3 | 293,5 | Yeterli |
| ZKS7 | 80 | 45 | 59,1 | 61,8 | 419,4 | 222,0 | 227,8 | 219,7 | 908,8 | 876,5 | 8 | 3 | 5 | 10 | 20 | 10 | 10 | 1,00 | 1,00 | 10 | 20 | 507,0 | 367,4 | 371,2 | 295,4 | Yeterli |
| ZKS8 | 80 | 45 | -61,6 | 53,2 | 419,4 | 222,0 | 226,2 | 218,2 | 908,8 | 876,5 | 8 | 3 | 5 | 10 | 20 | 10 | 10 | 1,00 | 1,00 | 10 | 20 | 505,4 | 365,8 | 369,6 | 293,9 | Yeterli |
| ZKS9 | 60 | 50 | -73,8 | 53,3 | 229,6 | 188,7 | 155,3 | 153,4 | 745,8 | 736,6 | 8 | 4 | 4 | 10 | 20 | 10 | 10 | 1,00 | 1,00 | 10 | 20 | 361,5 | 258,4 | 323,1 | 238,2 | Yeterli |
| ZKS10 | 70 | 40 | -106,9 | 39,0 | 255,3 | 137,4 | 157,9 | 151,6 | 702,2 | 674,5 | 8 | 3 | 5 | 10 | 20 | 10 | 10 | 1,00 | 1,00 | 10 | 20 | 400,6 | 279,2 | 284,8 | 218,2 | Yeterli |
| ZKS11 | 70 | 40 | 107,1 | 30,5 | 255,4 | 137,3 | 159,6 | 153,3 | 702,2 | 674,5 | 8 | 3 | 5 | 10 | 20 | 10 | 10 | 1,00 | 1,00 | 10 | 20 | 402,3 | 280,9 | 286,5 | 219,9 | Yeterli |
| ZKS12 | 60 | 50 | 74,1 | 58,2 | 229,2 | 188,4 | 154,4 | 152,5 | 745,8 | 736,6 | 8 | 4 | 4 | 10 | 20 | 10 | 10 | 1,00 | 1,00 | 10 | 20 | 360,6 | 257,5 | 322,2 | 237,3 | Yeterli |
| ZKS13 | 25 | 130 | -14,4 | -131,9 | 102,6 | 644,8 | 140,0 | 158,4 | 737,9 | 834,9 | 8 | 8 | 2 | 6 | 12 | 6 | 10 | 4,71 | 1,57 | 13 | 16 | 424,3 | 371,0 | 716,0 | 611,5 | Yeterli |
| ZKS14 | 25 | 130 | 8,7 | 186,0 | 102,6 | 644,9 | 149,2 | 168,8 | 737,9 | 834,9 | 8 | 8 | 2 | 6 | 12 | 6 | 10 | 4,71 | 1,57 | 13 | 16 | 433,5 | 380,2 | 726,4 | 621,9 | Yeterli |
| ZKS15 | 25 | 130 | -7,5 | -111,1 | 102,7 | 645,2 | 147,9 | 167,3 | 737,9 | 834,9 | 8 | 8 | 2 | 6 | 12 | 6 | 10 | 4,71 | 1,57 | 13 | 16 | 432,2 | 378,9 | 724,9 | 620,4 | Yeterli |
| ZKS16 | 25 | 130 | 12,4 | 188,4 | 102,5 | 644,5 | 141,8 | 160,4 | 737,9 | 834,9 | 8 | 8 | 2 | 6 | 12 | 6 | 10 | 4,71 | 1,57 | 13 | 16 | 426,1 | 372,8 | 718,1 | 613,5 | Yeterli |
| ZKS17 | 20 | 100 | -18,6 | 164,0 | 40,9 | 259,3 | 70,8 | 82,8 | 435,6 | 509,5 | 8 | 6 | 2 | 5 | 10 | 5 | 8 | 1,00 | 1,00 | 10 | 20 | 131,0 | 100,9 | 435,0 | 258,9 | Yeterli |
| ZKS18 | 20 | 100 | 19,0 | 166,3 | 40,7 | 258,3 | 69,1 | 80,8 | 435,6 | 509,5 | 8 | 6 | 2 | 5 | 10 | 5 | 8 | 1,00 | 1,00 | 10 | 20 | 129,3 | 99,2 | 433,0 | 256,9 | Yeterli |

Tablo D.3 Mevcut durum perde boyuna donatı hesap tablosu örneği

**PERDE BOYUNA DONATI HESAP SONUÇLARI**

| Perde | $\ell_w$ | $b_w$ | h | Kr.*** | BS | ST | İm. | $N_{dmax}$ | $N_{d(s)}$ | $N_b$ | Yükleme | Komb. | Kütle | $M_d$ | $N_d$ | $\ell_g$ | $\ell_{u1}$ | $\ell_{u2}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | (cm) | | | | | | Dur.* | (kN) | (kN) | (kN) | | | Eks. | (kN.m) | (kN) | (cm) | | |
| ZKP1 | 280 | 25 | 390 | 1 | C18 | S420 | 1 | -5613,9 | 9000,0 | -3794,7 | 0,9G+Ex | COMB13 | ey=(+) | -8513,7 | -3141,3 | 240 | 20 | 20 |
| ZKP2 | 215 | 25 | 390 | 1 | C18 | S420 | 1 | -5740,8 | 4837,5 | -2902,6 | 0,9G+Ex | COMB13 | ey=(-) | 254,5 | 2258,0 | 115 | 50 | 50 |
| ZKP3 | 215 | 25 | 390 | 1 | C18 | S420 | 1 | -5714,5 | 4837,5 | -2902,6 | 0,9G+Ex | COMB13 | ey=(-) | 301,2 | 2278,1 | 115 | 50 | 50 |
| ZKP4 | 280 | 25 | 390 | 1 | C18 | S420 | 1 | -6114,5 | 6300,0 | -3794,7 | 0,9G+Ey | COMB18 | ex=(-) | 212,9 | 2456,8 | 168 | 56 | 56 |
| 1KP1 | 280 | 25 | 390 | 1 | C18 | S420 | 1 | -5063,0 | 9000,0 | -3794,7 | 0,9G+Ex | COMB13 | ey=(+) | -8371,8 | -2879,7 | 240 | 20 | 20 |
| 1KP2 | 215 | 25 | 290 | 1 | C18 | S420 | 1 | -4145,8 | 4837,5 | -2902,6 | G+Q+Ey | COMB17 | ex=(-) | 2054,9 | -434,2 | 115 | 50 | 50 |
| 1KP3 | 215 | 25 | 290 | 1 | C18 | S420 | 1 | -4130,2 | 4837,5 | -2902,6 | G+Q+Ey | COMB16 | ex=(+) | 2036,3 | -335,4 | 115 | 50 | 50 |
| 1KP4 | 280 | 25 | 290 | 1 | C18 | S420 | 1 | -4596,9 | 6300,0 | -3794,7 | 0,9G+Ex | COMB13 | ey=(-) | -2606,6 | -1445,9 | 168 | 56 | 56 |
| 2KP1 | 280 | 20 | 390 | 2 | C18 | S420 | 1 | -4534,1 | 7920,0 | -3035,7 | 0,9G+Ex | COMB13 | ey=(+) | 7917,7 | -2587,3 | 240 | 20 | 20 |
| 2KP2 | 215 | 20 | 290 | 2 | C18 | S420 | 1 | -3153,8 | 3870,0 | -2322,1 | G+Q+Ey | COMB17 | ex=(-) | 1852,4 | -705,1 | 172 | 22 | 22 |
| 2KP3 | 215 | 20 | 290 | 2 | C18 | S420 | 1 | -3134,0 | 3870,0 | -2322,1 | G+Q+Ey | COMB17 | ex=(+) | 1835,7 | -678,1 | 172 | 22 | 22 |
| 2KP4 | 280 | 20 | 290 | 2 | C18 | S420 | 1 | -3558,0 | 5040,0 | -3035,7 | 0,9G+Ex | COMB13 | ey=(+) | -2696,9 | -1265,4 | 224 | 28 | 28 |
| 3KP1 | 280 | 20 | 390 | 2 | C18 | S420 | 1 | -4002,2 | 7920,0 | -3035,7 | 0,9G+Ex | COMB13 | ey=(+) | -6725,8 | -2273,6 | 240 | 20 | 20 |
| 3KP2 | 215 | 20 | 290 | 2 | C18 | S420 | 1 | -2495,2 | 3870,0 | -2322,1 | G+Q+Ey | COMB17 | ex=(-) | 1650,0 | -695,9 | 172 | 22 | 22 |
| 3KP3 | 215 | 20 | 290 | 2 | C18 | S420 | 1 | -2484,0 | 3870,0 | -2322,1 | G+Q+Ey | COMB17 | ex=(+) | 1635,1 | -694,2 | 172 | 22 | 22 |
| 3KP4 | 280 | 20 | 290 | 2 | C18 | S420 | 1 | -2846,4 | 5040,0 | -3035,7 | 0,9G+Ex | COMB13 | ey=(+) | -2299,9 | -1060,9 | 224 | 28 | 28 |
| 4KP1 | 280 | 20 | 390 | 2 | C18 | S420 | 1 | -3453,9 | 7920,0 | -3035,7 | 0,9G+Ex | COMB13 | ey=(+) | -5902,8 | -1958,5 | 240 | 20 | 20 |
| 4KP2 | 215 | 20 | 290 | 2 | C18 | S420 | 1 | -2069,6 | 3870,0 | -2322,1 | G+Q+Ey | COMB16 | ex=(-) | 1447,5 | -451,3 | 172 | 22 | 22 |
| 4KP3 | 215 | 20 | 290 | 2 | C18 | S420 | 1 | -2061,2 | 3870,0 | -2322,1 | 0,9G+Ey | COMB18 | ex=(+) | 1367,6 | -315,0 | 172 | 22 | 22 |
| 4KP4 | 280 | 20 | 290 | 2 | C18 | S420 | 1 | -2407,3 | 5040,0 | -3035,7 | 0,9G+Ex | COMB13 | ey=(+) | 2200,7 | -926,1 | 224 | 28 | 28 |
| 5KP1 | 280 | 20 | 390 | 2 | C18 | S420 | 1 | -2889,8 | 7920,0 | -3035,7 | 0,9G+Ex | COMB13 | ey=(+) | -5079,8 | -1634,0 | 240 | 20 | 20 |
| 5KP2 | 215 | 20 | 290 | 2 | C18 | S420 | 1 | -1777,8 | 3870,0 | -2322,1 | 0,9G+Ey | COMB18 | ex=(-) | 1245,0 | -135,8 | 172 | 22 | 22 |
| 5KP3 | 215 | 20 | 290 | 2 | C18 | S420 | 1 | -1778,4 | 3870,0 | -2322,1 | 0,9G+Ey | COMB18 | ex=(+) | 1233,8 | -155,3 | 172 | 22 | 22 |
| 5KP4 | 280 | 20 | 290 | 2 | C18 | S420 | 1 | -2097,9 | 5040,0 | -3035,7 | 0,9G+Ex | COMB13 | ey=(-) | -1534,4 | -750,7 | 224 | 28 | 28 |
| 6KP1 | 280 | 20 | 390 | 2 | C18 | S420 | 1 | -2313,8 | 7920,0 | -3035,7 | 0,9G+Ex | COMB13 | ey=(+) | -4625,8 | -1332,4 | 240 | 20 | 20 |
| 6KP2 | 215 | 20 | 290 | 2 | C18 | S420 | 1 | -1484,5 | 3870,0 | -2322,1 | G+Q+Ey | COMB17 | ex=(-) | 1042,6 | -99,3 | 172 | 22 | 22 |
| 6KP3 | 215 | 20 | 290 | 2 | C18 | S420 | 1 | -1487,6 | 3870,0 | -2322,1 | G+Q+Ey | COMB17 | ex=(+) | 1033,2 | -119,9 | 172 | 22 | 22 |
| 6KP4 | 280 | 20 | 290 | 2 | C18 | S420 | 1 | -1802,5 | 5040,0 | -3035,7 | 0,9G+Ex | COMB13 | ey=(-) | -1266,3 | -589,3 | 224 | 28 | 28 |

Tablo D.3 Mevcut durum perde boyuna donatı hesap tablosu örneği (devam)

| | Gövde | | | Uç bölges | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Perde | Φ | s | DS | ÇS | Φ | $A_{s,uç(min)}$ | Kar.Or. | $\ell_{g(m)}$ | $\ell_{u1(m)}$ | $\ell_{u2(m)}$ | $A_{s,g(m)}$ | $A_{s,uç1(m)}$ | $A_{s,uç2(m)}$ | $M_r$ | $M_{rb}$ | $M_{r(m)}$ | $M_{rb(m)}$ | Hata | $M_{r(m)}$ |
| | (mm) | (cm) | | | (mm) | ($cm^2$) | | (cm) | | | ($cm^2$) | | | (kN.m) | | | | Kodu** | $/M_d$% |
| ZKP1 | 12 | 16 | 14 | 20 | 18 | 14,0 | 62 | 240 | 20 | 20 | 24,9 | 28,9 | 28,9 | 9305,7 | 9189,1 | 7079,0 | 7402,4 | (3)(6)(10) | 83 |
| ZKP2 | 12 | 13 | 8 | 12 | 18 | 10,8 | 73 | 165 | 25 | 25 | 22,6 | 12,1 | 22,9 | 663,1 | 3142,9 | 0,0 | 2792,8 | (1)(3)(5)(7)(8) | 0 |
| ZKP3 | 12 | 13 | 8 | 12 | 18 | 10,8 | 73 | 165 | 25 | 25 | 22,6 | 12,1 | 22,9 | 638,0 | 3142,9 | 0,0 | 2792,8 | (1)(3)(5)(7)(8) | 0 |
| ZKP4 | 12 | 17 | 9 | 12 | 18 | 14,0 | 81 | 230 | 25 | 25 | 20,3 | 22,9 | 22,9 | 709,5 | 4812,3 | 0,0 | 4726,9 | (3)(6)(7)(8)(10) | 0 |
| 1KP1 | 12 | 16 | 14 | 20 | 18 | 14,0 | 60 | 240 | 20 | 20 | 22,6 | 28,9 | 28,9 | 9163,6 | 9189,1 | 6866,3 | 7368,6 | (3)(6)(10) | 82 |
| 1KP2 | 10 | 12 | 9 | 8 | 20 | 10,8 | 69 | 175 | 20 | 20 | 20,3 | 10,1 | 14,1 | 2331,1 | 2850,4 | 1732,7 | 2457,8 | (3)(5)(8)(9) | 84 |
| 1KP3 | 10 | 12 | 9 | 8 | 20 | 10,8 | 69 | 175 | 20 | 20 | 20,3 | 10,1 | 14,1 | 2276,8 | 2850,4 | 1661,3 | 2457,8 | (3)(5)(8)(9) | 82 |
| 1KP4 | 12 | 24 | 6 | 4 | 22 | 14,0 | 115 | 240 | 20 | 20 | 22,6 | 14,1 | 14,1 | 3153,6 | 3674,3 | 3545,7 | 4044,0 | (8) | 136 |
| 2KP1 | 10 | 11 | 21 | 20 | 18 | 6,2 | 55 | 240 | 20 | 20 | 20,3 | 26,9 | 26,9 | 8942,0 | 9155,7 | 6348,2 | 6789,2 | (3)(6)(10) | 80 |
| 2KP2 | 10 | 16 | 10 | 4 | 22 | 6,2 | 87 | 175 | 20 | 20 | 18,1 | 8,0 | 14,1 | 2040,8 | 2311,4 | 1686,1 | 2076,7 | (3)(5)(8) | 91 |
| 2KP3 | 10 | 16 | 10 | 4 | 22 | 6,2 | 87 | 175 | 20 | 20 | 18,1 | 8,0 | 14,1 | 2026,6 | 2311,4 | 1671,0 | 2076,7 | (3)(5)(8) | 91 |
| 2KP4 | 10 | 20 | 10 | 4 | 20 | 6,2 | 113 | 240 | 20 | 20 | 18,1 | 14,1 | 14,1 | 2914,1 | 3247,4 | 3156,9 | 3480,7 | (8) | 117 |
| 3KP1 | 10 | 12 | 19 | 16 | 18 | 6,2 | 65 | 240 | 20 | 20 | 18,1 | 26,9 | 26,9 | 7705,5 | 8191,5 | 6055,3 | 6756,9 | (3)(6)(10) | 90 |
| 3KP2 | 10 | 19 | 8 | 4 | 20 | 6,2 | 101 | 175 | 20 | 20 | 15,8 | 8,0 | 14,1 | 1787,7 | 2106,0 | 1632,1 | 2052,4 | (5)(8) | 99 |
| 3KP3 | 10 | 19 | 8 | 4 | 20 | 6,2 | 101 | 175 | 20 | 20 | 15,8 | 8,0 | 14,1 | 1786,7 | 2106,0 | 1631,7 | 2052,4 | (5)(8) | 100 |
| 3KP4 | 10 | 22 | 9 | 4 | 18 | 6,2 | 134 | 240 | 20 | 20 | 18,1 | 14,1 | 14,1 | 2528,9 | 3022,4 | 3034,0 | 3480,7 | (8) | 132 |
| 4KP1 | 10 | 13 | 17 | 12 | 18 | 6,2 | 77 | 240 | 20 | 20 | 18,1 | 24,6 | 24,6 | 6412,2 | 7228,2 | 5568,2 | 6553,3 | (3)(6)(10) | 94 |
| 4KP2 | 10 | 19 | 8 | 4 | 20 | 6,2 | 107 | 175 | 20 | 20 | 18,1 | 8,0 | 14,1 | 1640,3 | 2106,0 | 1528,6 | 2076,7 | (8) | 106 |
| 4KP3 | 10 | 19 | 8 | 4 | 20 | 6,2 | 107 | 175 | 20 | 20 | 18,1 | 8,0 | 14,1 | 1546,0 | 2106,0 | 1432,5 | 2076,7 | (8) | 105 |
| 4KP4 | 10 | 22 | 9 | 4 | 18 | 6,2 | 134 | 240 | 20 | 20 | 18,1 | 14,1 | 14,1 | 2435,3 | 3022,4 | 2942,6 | 3480,7 | (8) | 134 |
| 5KP1 | 10 | 15 | 15 | 8 | 20 | 6,2 | 91 | 240 | 20 | 20 | 18,1 | 24,6 | 24,6 | 5496,0 | 6693,8 | 5236,3 | 6553,3 | (3)(10) | 103 |
| 5KP2 | 10 | 19 | 8 | 4 | 20 | 6,2 | 107 | 175 | 20 | 20 | 18,1 | 8,0 | 14,1 | 1413,8 | 2106,0 | 1298,1 | 2076,7 | (8) | 104 |
| 5KP3 | 10 | 19 | 8 | 4 | 20 | 6,2 | 107 | 175 | 20 | 20 | 18,1 | 8,0 | 14,1 | 1428,9 | 2106,0 | 1313,5 | 2076,7 | (8) | 106 |
| 5KP4 | 10 | 25 | 8 | 4 | 16 | 6,2 | 161 | 240 | 20 | 20 | 18,1 | 14,1 | 14,1 | 2058,5 | 2817,9 | 2813,4 | 3480,7 | (8) | 183 |
| 6KP1 | 10 | 16 | 14 | 8 | 20 | 6,2 | 93 | 240 | 20 | 20 | 18,1 | 24,6 | 24,6 | 5108,8 | 6240,3 | 4901,8 | 6553,3 | (3)(10) | 106 |
| 6KP2 | 10 | 22 | 7 | 4 | 18 | 6,2 | 114 | 175 | 20 | 20 | 13,6 | 8,0 | 14,1 | 1175,6 | 1932,8 | 1139,7 | 2028,8 | (8) | 109 |
| 6KP3 | 10 | 22 | 7 | 4 | 18 | 6,2 | 114 | 175 | 20 | 20 | 13,6 | 8,0 | 14,1 | 1191,9 | 1932,8 | 1156,2 | 2028,8 | (8) | 112 |
| 6KP4 | 10 | 25 | 8 | 4 | 16 | 6,2 | 161 | 240 | 20 | 20 | 18,1 | 14,1 | 14,1 | 1915,9 | 2817,9 | 2687,3 | 3480,7 | (8) | 212 |

| **Hata Kodu | Açıklama: |
|---|---|
| (1) | $N_d > N_{d(s)}$ |
| (2) | $A_{s(t)} > A_{s(max)}$ |
| (3) | $A_{s(m)} < A_{s(s)}$ |
| (4) | $A_{s(m)} > A_{s(max)}$ |
| (5) | $M_{r,x(m)} < M_{d,x}$ |
| (6) | $M_{r,y(m)} < M_{d,y}$ |
| (7) | $N_{0r(m)} < N_d$ |
| (8) | $Alan_{uç(m)} < Alan_{uç(s)}$ |
| (9) | $A_{s,uç(m)} < A_{s,uç(min)}$ |
| (10) | $A_{s,g(m)} < A_{s,g(min)}$ |

***İm. Dur.(Eleman imalat durumu)**

1 Monolitik(birdöküm) olarak imal edilmiş eleman
2 Yük kaldırılarak imal edilmiş güçlendirme mantosu bulunan eleman
3 Yük kaldırılarak imal edilmiş onarım mantosu bulunan eleman
4 Yük kaldırılmadan imal edilmiş güçlendirme mantosu bulunan eleman
5 Yük kaldırılmadan imal edilmiş onarım mantosu bulunan eleman

*****Kr.**

1 Perde kritik bölgede bulunuyor.
2 Perde kritik bölgede bulunmuyor.

Tablo D.4 Mevcut durum perde enine donatı ve kesme hesap tablosu örneği

**PERDE ENİNE DONATI VE KESME HESAP SONUÇLARI**

| | | | | | | Gövde | | Uç Bölgesi | | | | | Mevcut | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PERDE | $\ell_w$ (cm) | $b_w$ (cm) | $A_{ch}$ ($cm^2$) | $V_d$ (kN) | $V_s$ (kN) | $\Phi$ (mm) | s (cm) | $\Phi$ (mm) | $s_{uç1}$ (cm) | $Kol_1$ | $s_{uç2}$ (cm) | $Kol_2$ | $A_{sg}$ ($cm^2$) | $A_g$ ($cm^2$) | $V_r$ (kN) | SONUÇ |
| ZKP1 | 280 | 25 | 10000 | -951,0 | 2640,0 | 10 | 25 | 10 | 10 | 5 | 10 | 5 | 42,7 | 6000 | 3212,7 | Yeterli |
| ZKP2 | 215 | 25 | 5375 | 558,4 | 1419,0 | 10 | 25 | 10 | 10 | 2 | 10 | 2 | 42,7 | 2875 | 3243,0 | Yeterli |
| ZKP3 | 215 | 25 | 5375 | 504,1 | 1419,0 | 10 | 25 | 10 | 10 | 2 | 10 | 2 | 42,7 | 2875 | 3243,0 | Yeterli |
| ZKP4 | 280 | 25 | 7000 | 1480,4 | 1848,0 | 10 | 21 | 10 | 10 | 2 | 10 | 2 | 42,7 | 4200 | 3027,4 | Yeterli |
| 1KP1 | 280 | 25 | 10000 | -796,2 | 2640,0 | 10 | 25 | 10 | 10 | 5 | 10 | 5 | 31,6 | 6000 | 2539,8 | Yeterli |
| 1KP2 | 215 | 25 | 5375 | 543,4 | 1419,0 | 10 | 25 | 10 | 10 | 2 | 10 | 2 | 31,6 | 2875 | 2488,3 | Yeterli |
| 1KP3 | 215 | 25 | 5375 | 514,5 | 1419,0 | 10 | 25 | 10 | 10 | 2 | 10 | 2 | 31,6 | 2875 | 2488,3 | Yeterli |
| 1KP4 | 280 | 25 | 7000 | 1256,4 | 1848,0 | 10 | 20 | 10 | 10 | 2 | 10 | 2 | 31,6 | 4200 | 2354,6 | Yeterli |
| 2KP1 | 280 | 20 | 8800 | 641,0 | 2323,2 | 10 | 25 | 10 | 20 | 5 | 20 | 5 | 31,6 | 4800 | 2658,0 | Yeterli |
| 2KP2 | 215 | 20 | 4300 | 443,1 | 1135,2 | 10 | 25 | 10 | 20 | 2 | 20 | 2 | 31,6 | 3440 | 1707,3 | Yeterli |
| 2KP3 | 215 | 20 | 4300 | 437,5 | 1135,2 | 10 | 25 | 10 | 20 | 2 | 20 | 2 | 31,6 | 3440 | 1707,3 | Yeterli |
| 2KP4 | 280 | 20 | 5600 | 979,6 | 1478,4 | 10 | 25 | 10 | 20 | 2 | 20 | 2 | 31,6 | 4480 | 1787,6 | Yeterli |
| 3KP1 | 280 | 20 | 8800 | -549,1 | 2323,2 | 10 | 25 | 10 | 20 | 5 | 20 | 5 | 31,6 | 4800 | 2658,0 | Yeterli |
| 3KP2 | 215 | 20 | 4300 | 371,9 | 1135,2 | 10 | 25 | 10 | 20 | 2 | 20 | 2 | 31,6 | 3440 | 1707,3 | Yeterli |
| 3KP3 | 215 | 20 | 4300 | 364,0 | 1135,2 | 10 | 25 | 10 | 20 | 2 | 20 | 2 | 31,6 | 3440 | 1707,3 | Yeterli |
| 3KP4 | 280 | 20 | 5600 | 789,7 | 1478,4 | 10 | 25 | 10 | 20 | 2 | 20 | 2 | 31,6 | 4480 | 1787,6 | Yeterli |
| 4KP1 | 280 | 20 | 8800 | -453,5 | 2323,2 | 10 | 25 | 10 | 20 | 5 | 20 | 5 | 31,6 | 4800 | 2658,0 | Yeterli |
| 4KP2 | 215 | 20 | 4300 | 312,5 | 1135,2 | 10 | 25 | 10 | 20 | 2 | 20 | 2 | 31,6 | 3440 | 1707,3 | Yeterli |
| 4KP3 | 215 | 20 | 4300 | 303,8 | 1135,2 | 10 | 25 | 10 | 20 | 2 | 20 | 2 | 31,6 | 3440 | 1707,3 | Yeterli |
| 4KP4 | 280 | 20 | 5600 | 602,9 | 1478,4 | 10 | 25 | 10 | 20 | 2 | 20 | 2 | 31,6 | 4480 | 1787,6 | Yeterli |
| 5KP1 | 280 | 20 | 8800 | -387,7 | 2323,2 | 10 | 25 | 10 | 20 | 5 | 20 | 5 | 31,6 | 4800 | 2658,0 | Yeterli |
| 5KP2 | 215 | 20 | 4300 | 263,9 | 1135,2 | 10 | 25 | 10 | 20 | 2 | 20 | 2 | 31,6 | 3440 | 1707,3 | Yeterli |
| 5KP3 | 215 | 20 | 4300 | 254,5 | 1135,2 | 10 | 25 | 10 | 20 | 2 | 20 | 2 | 31,6 | 3440 | 1707,3 | Yeterli |
| 5KP4 | 280 | 20 | 5600 | 446,7 | 1478,4 | 10 | 25 | 10 | 20 | 2 | 20 | 2 | 31,6 | 4480 | 1787,6 | Yeterli |
| 6KP1 | 280 | 20 | 8800 | -360,2 | 2323,2 | 10 | 25 | 10 | 20 | 5 | 20 | 5 | 31,6 | 4800 | 2658,0 | Yeterli |
| 6KP2 | 215 | 20 | 4300 | 305,3 | 1135,2 | 10 | 25 | 10 | 20 | 2 | 20 | 2 | 31,6 | 3440 | 1707,3 | Yeterli |
| 6KP3 | 215 | 20 | 4300 | 288,8 | 1135,2 | 10 | 25 | 10 | 20 | 2 | 20 | 2 | 31,6 | 3440 | 1707,3 | Yeterli |
| 6KP4 | 280 | 20 | 5600 | 489,5 | 1478,4 | 10 | 25 | 10 | 20 | 2 | 20 | 2 | 31,6 | 4480 | 1787,6 | Yeterli |

Tablo D.5 Mevcut durum kiriş boyuna donatı hesap tablosu örneği

| Kiriş | $b_w$ | $h_k$ | $\ell$ | BS | ST | $N_{dmax}$ | $N_{dmin}$ | $M_{dmax}$ | $M_{dmin}$ | Mevcut Üst | Mevcut Alt | $A_{sg(m)}$ | $M_{r1(m)}$ | $M_{r2(m)}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | (cm) | | | | | (kN) | | (kN.m) | | $A_{s(m)}$ ($cm^2$) | | | (kN.m) | |
| sol | | | | | | 0,0 | 0,0 | 14,8 | -25,6 | 2,26 | 2,26 | | 22,7 | 22,7 |
| **ZKKX1** | 30 | 32 | 250 | C18 | S420 | 0,0 | 0,0 | 12,1 | -1,0 | 2,26 | 2,26 | 0,00 | 22,7 | 22,7 |
| sağ | | | | | | 0,0 | 0,0 | 13,2 | -26,7 | 2,26 | 2,26 | | 22,7 | 22,7 |
| sol | | | | | | 0,0 | 0,0 | 13,4 | -26,5 | 2,26 | 2,26 | | 22,7 | 22,7 |
| **ZKKX2** | 30 | 32 | 250 | C18 | S420 | 0,0 | 0,0 | 12,8 | -1,0 | 2,26 | 2,26 | 0,00 | 22,7 | 22,7 |
| sağ | | | | | | 0,0 | 0,0 | 14,9 | -24,8 | 2,26 | 2,26 | | 22,7 | 22,7 |
| sol | | | | | | 0,0 | 0,0 | 44,6 | -54,4 | 8,80 | 4,02 | | 79,1 | 169,1 |
| **ZKKX3** | 20 | 60 | 215 | C18 | S420 | 0,0 | 0,0 | 5,3 | -4,1 | 2,26 | 4,02 | 0,00 | 79,0 | 45,0 |
| sağ | | | | | | 0,0 | 0,0 | 44,5 | -55,3 | 8,80 | 4,02 | | 79,1 | 169,1 |
| sol | | | | | | 0,0 | 0,0 | 38,2 | -48,9 | 10,68 | 4,52 | | 46,0 | 101,9 |
| **ZKKX4** | 70 | 32 | 328 | C18 | S420 | 0,0 | 0,0 | 12,3 | -1,4 | 4,52 | 4,52 | 0,00 | 45,9 | 45,9 |
| sağ | | | | | | 0,0 | 0,0 | 36,9 | -45,6 | 8,80 | 4,52 | | 45,8 | 85,1 |
| sol | | | | | | 0,0 | 0,0 | 37,3 | -54,5 | 8,80 | 4,52 | | 56,3 | 104,2 |
| **ZKKX5** | 70 | 38 | 328 | C18 | S420 | 0,0 | 0,0 | 21,1 | -1,5 | 4,52 | 4,52 | 0,00 | 55,8 | 55,8 |
| sağ | | | | | | 0,0 | 0,0 | 38,5 | -52,8 | 9,61 | 8,54 | | 102,1 | 113,9 |
| sol | | | | | | 0,0 | 0,0 | 0,9 | -3,2 | 10,68 | 4,52 | | 46,0 | 101,9 |
| **ZKKX6** | 70 | 32 | 100 | C18 | S420 | 0,0 | 0,0 | 3,0 | -20,8 | 10,68 | 4,52 | 1,57 | 46,0 | 101,9 |
| sağ | | | | | | 0,0 | 0,0 | 6,3 | -43,7 | 10,68 | 4,52 | | 46,0 | 101,9 |
| sol | | | | | | 0,0 | 0,0 | 5,6 | -40,1 | 10,68 | 4,52 | | 46,0 | 101,9 |
| **ZKKX7** | 70 | 32 | 100 | C18 | S420 | 0,0 | 0,0 | 2,7 | -18,9 | 10,68 | 4,52 | 1,57 | 46,0 | 101,9 |
| sağ | | | | | | 0,0 | 0,0 | 0,9 | -3,4 | 10,68 | 4,52 | | 46,0 | 101,9 |

Tablo D.5 Mevcut durum kiriş boyuna donatı hesap tablosu örneği (devam)

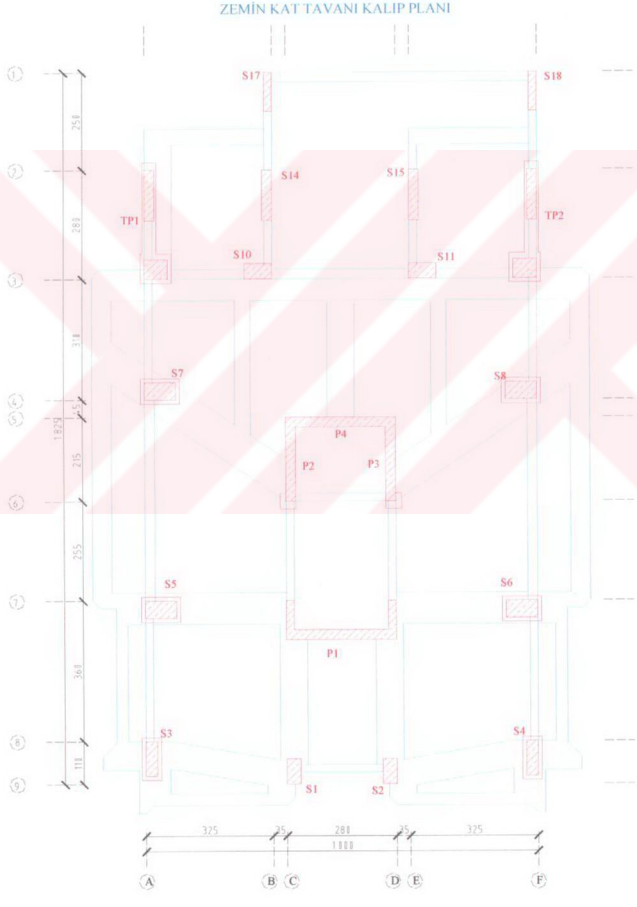
| Kiriş | Tasarım | | | | | | | | | | *Hata Kodu | $M_{r1(m)}$% /$M_{dmax}$ | $M_{r2(m)}$% /$M_{dmin}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Üst Donatı($cm^2$) | | | Alt Donatı($cm^2$) | | | Gövde | | $M_{r1}$ | $M_{r2}$ | | | |
| | $A_{s(min)}$ | $A_{s(max)}$ | $A_{s(s)}$ | $A_{s(min)}$ | $A_{s(max)}$ | $A_{s(s)}$ | $A_{s(cm2)}$ | Φ/s | (kN.m) | | | | |
| sol | 2,26 | 17,10 | 3,04 | 2,26 | 17,10 | 2,26 | | | 22,5 | 29,6 | (2) | 153 | 89 |
| ZKKX1 | 2,26 | 17,10 | 2,26 | 2,26 | 17,10 | 2,26 | 0,00 | | 22,7 | 22,7 | | 187 | 2160 |
| sağ | 2,26 | 17,10 | 3,04 | 2,26 | 17,10 | 2,26 | | | 22,5 | 29,6 | (7) | 171 | 85 |
| sol | 2,26 | 17,10 | 3,04 | 2,26 | 17,10 | 2,26 | | | 22,5 | 29,6 | (2) | 169 | 85 |
| ZKKX2 | 2,26 | 17,10 | 2,26 | 2,26 | 17,10 | 2,26 | 0,00 | | 22,7 | 22,7 | | 177 | 2162 |
| sağ | 2,26 | 17,10 | 2,58 | 2,26 | 17,10 | 2,26 | | | 22,6 | 25,5 | (7) | 152 | 92 |
| sol | 2,94 | 22,60 | 3,18 | 2,94 | 22,60 | 2,94 | | | 58,5 | 63,4 | (1)(2) | 177 | 311 |
| ZKKX3 | 2,94 | 22,60 | 2,94 | 2,94 | 22,60 | 2,94 | 2,26 | 12/26 | 58,6 | 58,6 | (12) | 1504 | 1101 |
| sağ | 2,94 | 22,60 | 3,18 | 2,94 | 22,60 | 2,94 | | | 58,5 | 63,4 | (7) | 178 | 306 |
| sol | 5,19 | 39,90 | 5,19 | 5,19 | 39,90 | 5,19 | | | 51,9 | 51,9 | (1)(2)(3) | 120 | 208 |
| ZKKX4 | 5,19 | 39,90 | 5,19 | 5,19 | 39,90 | 5,19 | 0,00 | | 51,9 | 51,9 | (12)(13) | 372 | 3188 |
| sağ | 5,19 | 39,90 | 5,19 | 5,19 | 39,90 | 5,19 | | | 51,9 | 51,9 | (7)(8) | 124 | 187 |
| sol | 6,29 | 48,30 | 6,29 | 6,29 | 48,30 | 6,29 | | | 76,0 | 76,0 | (1)(2)(3) | 151 | 191 |
| ZKKX5 | 6,29 | 48,30 | 6,29 | 6,29 | 48,30 | 6,29 | 0,00 | | 76,0 | 76,0 | (12)(13) | 265 | 3695 |
| sağ | 6,29 | 48,30 | 6,29 | 6,29 | 48,30 | 6,29 | | | 76,0 | 76,0 | (7)(8) | 265 | 216 |
| sol | 5,19 | 39,90 | 5,19 | 5,19 | 39,90 | 5,19 | | | 51,9 | 51,9 | (1)(2)(3) | 5240 | 3230 |
| ZKKX6 | 5,19 | 39,90 | 5,19 | 5,19 | 39,90 | 5,19 | 0,00 | | 51,9 | 51,9 | (12)(13) | 1510 | 490 |
| sağ | 5,19 | 39,90 | 5,19 | 5,19 | 39,90 | 5,19 | | | 51,9 | 51,9 | (7)(8) | 734 | 233 |
| sol | 5,19 | 39,90 | 5,19 | 5,19 | 39,90 | 5,19 | | | 51,9 | 51,9 | (1)(2)(3) | 819 | 254 |
| ZKKX7 | 5,19 | 39,90 | 5,19 | 5,19 | 39,90 | 5,19 | 0,00 | | 51,9 | 51,9 | (12)(13) | 1732 | 539 |
| sağ | 5,19 | 39,90 | 5,19 | 5,19 | 39,90 | 5,19 | | | 51,9 | 51,9 | (7)(8) | 5277 | 2981 |

| *Hata_Kodu: | Açıklama: |
|---|---|
| (1) | $A_{sg}(m)<A_{sg}$ |
| (2) | Sol mesnet üst bölgesinde $A_{s(m)}<A_{s(s)}$ |
| (3) | Sol mesnet alt bölgesinde $A_{s(m)}<A_{s(s)}$ |
| (4) | Sol mesnet üst bölgesinde $A_{s(m)}>A_{s(max)}$ |
| (5) | Sol mesnet alt bölgesinde $As_{(m)}>A_{s(max)}$ |
| (6) | Sol mesnette $A_{s(m)}$>Dengeli donatı alanı |
| (7) | Sağ mesnet üst bölgesinde $A_{s(m)}<A_{s(s)}$ |
| (8) | Sağ mesnet alt bölgesinde $As_{(m)}<A_{s(s)}$ |
| (9) | Sağ mesnet üst bölgesinde $As_{(m)}>A_{s(max)}$ |
| (10) | Sağ mesnet alt bölgesinde $A_{s(m)}>A_{s(max)}$ |
| (11) | Sağ mesnette $A_{s(m)}$> Dengeli donatı alanı |
| (12) | Açıklık üst bölgesinde $A_{s(m)}<A_{s(s)}$ |
| (13) | Açıklık alt bölgesinde $As_{(m)}<A_{s(s)}$ |
| (14) | Açıklık üst bölgesinde $A_{s(m)}>A_{s(max)}$ |
| (15) | Açıklık alt bölgesinde $As_{(m)}>A_{s(max)}$ |
| (16) | Açıklıkta $As_{(m)}$> Dengeli donatı alanı |
| (17) | Sol mesnet üst bölgesinde $A_{s(s)}>A_{s(max)}$ |
| (18) | Sol mesnet alt bölgesinde $A_{s(s)}>A_{s(max)}$ |
| (19) | Sağ mesnet üst bölgesinde $A_{s(s)}>A_{s(max)}$ |
| (20) | Sağ mesnet alt bölgesinde $A_{s(s)}>A_{s(max)}$ |
| (21) | Açıklık üst bölgesinde $A_{s(s)}>A_{s(max)}$ |
| (22) | Açıklık alt bölgesinde $As_{(s)}>A_{s(max)}$ |

Tablo D.6 Mevcut durum kiriş enine donatı ve kesme hesap tablosu örneği

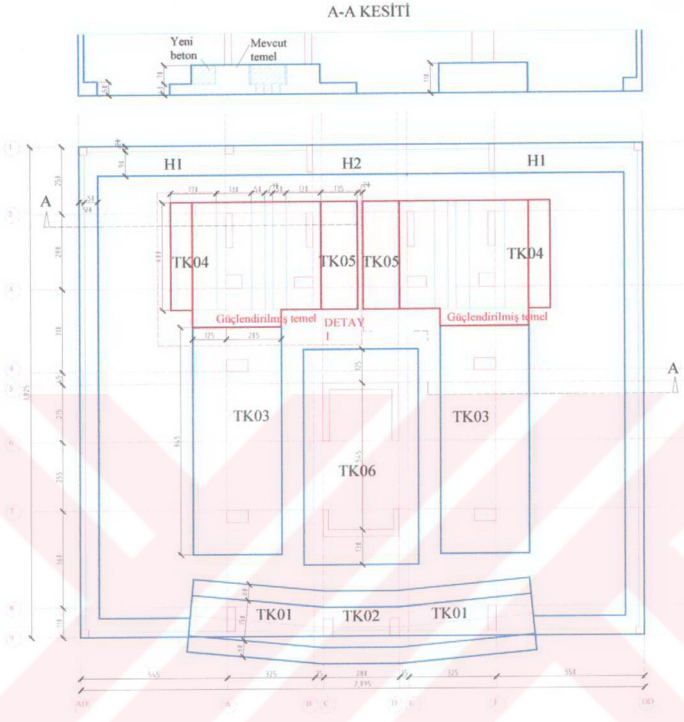
| | | | | | | | | Tasarım | | | | Mevcut | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| KİRİŞ | $b_w$ (cm) | d (cm) | $V_d$ (kN) | $V_{dy}$ (kN) | $V_e$ (kN) | $V_c$ (kN) | $V_s$ (kN) | Φ (mm) | Kol | $s_k$ (cm) | $s_o$ (cm) | $A_{sw}$ (cm2) | $s_k$ (cm) | $s_o$ (cm) | $V_r$ Sık | $V_r$ orta | Sonuç |
| ZKKX1 | 30 | 28,5 | 31,0 | 41,1 | 70,3 | 42,2 | 225,7 | 8 | 2 | 7 | 14 | 1,00 | 16 | 16 | 107,3 | 107,3 | Yeterli |
| ZKKX2 | 30 | 28,5 | 31,3 | 39,5 | 68,7 | 42,2 | 225,7 | 8 | 2 | 7 | 14 | 1,00 | 16 | 16 | 107,3 | 107,3 | Yeterli |
| ZKKX3 | 20 | 56,5 | 27,9 | 41,1 | 120,4 | 55,8 | 298,3 | 8 | 2 | 9 | 28 | 1,00 | 13 | 13 | 214,5 | 214,5 | Yeterli |
| ZKKX4 | 70 | 28,5 | 38,3 | 25,7 | 70,0 | 98,6 | 526,7 | 8 | 4 | 7 | 14 | 2,00 | 7 | 16 | 395,8 | 228,6 | Yeterli |
| ZKKX5 | 70 | 34,5 | 50,6 | 40,7 | 105,6 | 119,3 | 637,6 | 8 | 4 | 8 | 17 | 2,00 | 7 | 16 | 479,1 | 276,7 | Yeterli |
| ZKKX6 | 70 | 28,5 | 67,4 | 140,6 | 285,8 | 98,6 | 526,7 | 8 | 4 | 7 | 14 | 2,00 | 14 | 14 | 247,2 | 247,2 | Yeterli |
| ZKKX7 | 70 | 28,5 | 62,4 | 130,4 | 275,6 | 98,6 | 526,7 | 8 | 4 | 7 | 14 | 2,00 | 14 | 14 | 247,2 | 247,2 | Yeterli |
| ZKKX8 | 80 | 28,5 | 79,7 | 97,3 | 225,0 | 112,6 | 601,9 | 8 | 4 | 7 | 14 | 2,00 | 14 | 14 | 261,2 | 261,2 | Yeterli |
| ZKKX9 | 80 | 28,5 | 147,4 | 417,9 | 673,1 | 112,6 | 601,9 | 8 | 4 | 7 | 14 | 2,00 | 14 | 14 | 261,2 | 261,2 | Yeterli |
| ZKKX10 | 80 | 28,5 | 72,0 | 28,2 | 96,6 | 112,6 | 601,9 | 8 | 4 | 7 | 14 | 2,00 | 7 | 16 | 409,8 | 242,7 | Yeterli |
| ZKKX11 | 80 | 28,5 | 72,1 | 28,1 | 96,5 | 112,6 | 601,9 | 8 | 4 | 7 | 14 | 2,00 | 7 | 16 | 409,8 | 242,7 | Yeterli |
| ZKKX12 | 80 | 28,5 | 142,5 | 407,6 | 627,7 | 112,6 | 601,9 | 8 | 4 | 7 | 14 | 2,00 | 14 | 14 | 261,2 | 261,2 | Yeterli |
| ZKKX13 | 80 | 28,5 | 79,5 | 98,2 | 225,9 | 112,6 | 601,9 | 8 | 4 | 7 | 14 | 2,00 | 14 | 14 | 261,2 | 261,2 | Yeterli |
| ZKKX14 | 20 | 56,5 | 36,9 | 127,8 | 205,4 | 55,8 | 298,3 | 8 | 2 | 9 | 28 | 1,00 | 13 | 13 | 214,5 | 214,5 | Yeterli |
| ZKKX15 | 90 | 28,5 | 166,9 | 45,7 | 140,2 | 126,7 | 677,2 | 8 | 4 | 7 | 14 | 2,00 | 7 | 16 | 423,9 | 256,7 | Yeterli |
| ZKKX16 | 90 | 28,5 | 150,5 | 41,2 | 135,7 | 126,7 | 677,2 | 8 | 4 | 7 | 14 | 2,00 | 7 | 16 | 423,9 | 256,7 | Yeterli |
| ZKKX17 | 90 | 28,5 | 115,2 | 63,8 | 130,2 | 126,7 | 677,2 | 8 | 4 | 7 | 14 | 2,00 | 7 | 16 | 423,9 | 256,7 | Yeterli |
| ZKKX18 | 90 | 28,5 | 96,8 | 61,2 | 127,7 | 126,7 | 677,2 | 8 | 4 | 7 | 14 | 2,00 | 7 | 16 | 423,9 | 256,7 | Yeterli |
| ZKKX19 | 90 | 28,5 | 138,6 | 207,9 | 442,0 | 126,7 | 677,2 | 8 | 4 | 7 | 14 | 2,00 | 14 | 14 | 275,3 | 275,3 | Yeterli |
| ZKKX20 | 90 | 28,5 | 138,7 | 205,9 | 440,1 | 126,7 | 677,2 | 8 | 4 | 7 | 14 | 2,00 | 14 | 14 | 275,3 | 275,3 | Yeterli |
| ZKKX21 | 80 | 28,5 | 69,8 | 179,0 | 320,0 | 112,6 | 601,9 | 8 | 4 | 7 | 14 | 2,00 | 14 | 14 | 261,2 | 261,2 | Yeterli |
| ZKKX22 | 25 | 78,5 | 87,7 | 17,0 | 230,1 | 96,9 | 518,1 | 8 | 2 | 9 | 39 | 1,00 | 13 | 13 | 317,4 | 317,4 | Yeterli |
| ZKKX23 | 25 | 78,5 | 115,6 | 85,4 | 271,0 | 96,9 | 518,1 | 8 | 2 | 9 | 39 | 1,00 | 13 | 13 | 317,4 | 317,4 | Yeterli |
| ZKKX24 | 25 | 78,5 | 112,1 | 20,7 | 296,1 | 96,9 | 518,1 | 8 | 2 | 9 | 39 | 1,00 | 17 | 17 | 265,5 | 265,5 | Yeterli |
| ZKKX25 | 25 | 78,5 | 112,0 | 20,1 | 295,6 | 96,9 | 518,1 | 8 | 2 | 9 | 39 | 1,00 | 17 | 17 | 265,5 | 265,5 | Yeterli |
| ZKKX26 | 25 | 78,5 | 114,7 | 85,0 | 270,7 | 96,9 | 518,1 | 8 | 2 | 9 | 39 | 1,00 | 13 | 13 | 317,4 | 317,4 | Yeterli |
| ZKKX27 | 25 | 78,5 | 88,4 | 16,2 | 229,3 | 96,9 | 518,1 | 8 | 2 | 9 | 39 | 1,00 | 13 | 13 | 317,4 | 317,4 | Yeterli |
| ZKKX28 | 80 | 28,5 | 69,8 | 179,7 | 320,7 | 112,6 | 601,9 | 8 | 4 | 7 | 14 | 2,00 | 14 | 14 | 261,2 | 261,2 | Yeterli |
| ZKKX29 | 40 | 28,5 | 43,2 | 37,4 | 73,4 | 56,3 | 301,0 | 8 | 2 | 7 | 14 | 1,00 | 16 | 16 | 121,3 | 121,3 | Yeterli |
| ZKKX30 | 40 | 28,5 | 69,3 | 31,7 | 61,3 | 56,3 | 301,0 | 8 | 2 | 7 | 14 | 1,00 | 16 | 16 | 121,3 | 121,3 | Yeterli |
| ZKKX31 | 25 | 56,5 | 73,4 | 31,4 | 62,7 | 69,8 | 372,9 | 8 | 2 | 9 | 28 | 1,00 | 13 | 20 | 228,4 | 172,9 | Yeterli |

## EK E. GÜÇLENDİRİLMİŞ DURUM KAT KALIP PLANI VE TEMEL ÇİZİMLERİ



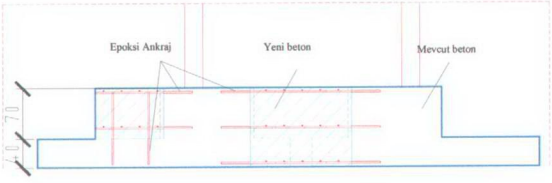



Şekil E.1 Güçlendirilmiş durum zemin kat kalıp planı

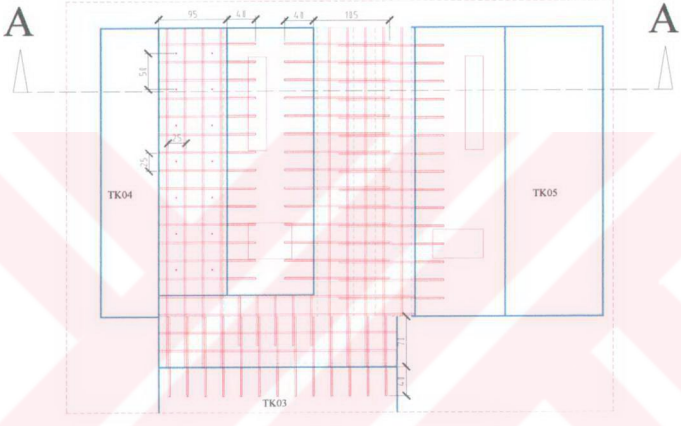



Şekil E.2 Güçlendirilmiş durum temel planı

A-A KESİTİ

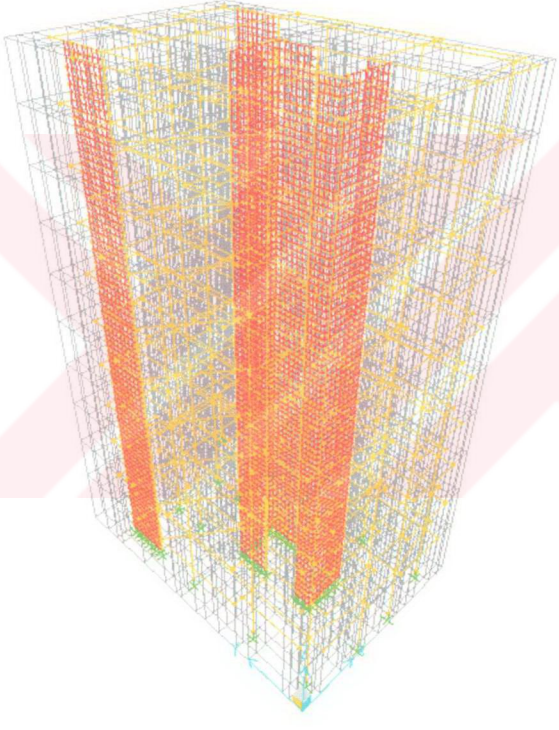



DETAY1

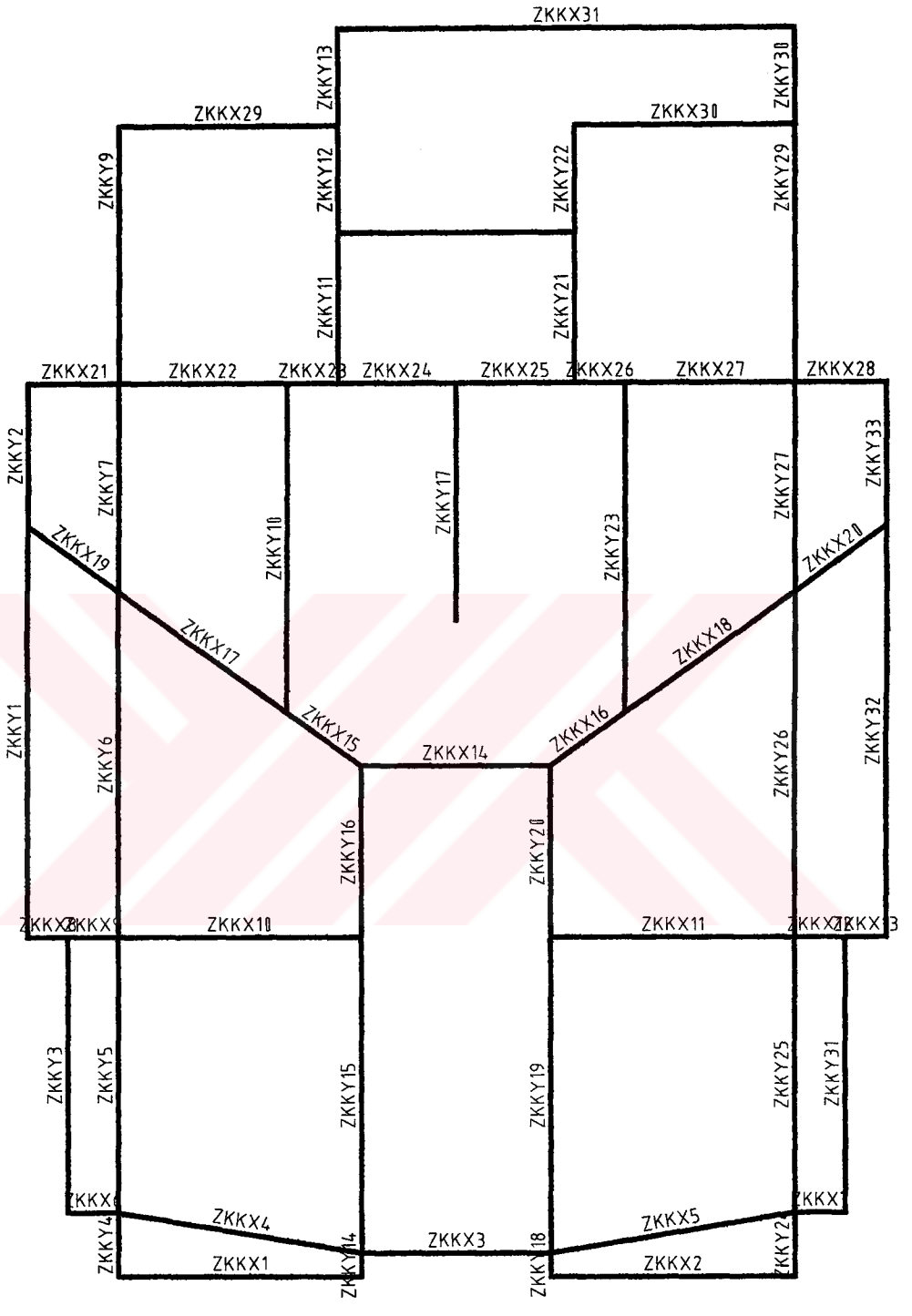



Şekil E.3 Güçlendirilmiş TK04 temeli detayı

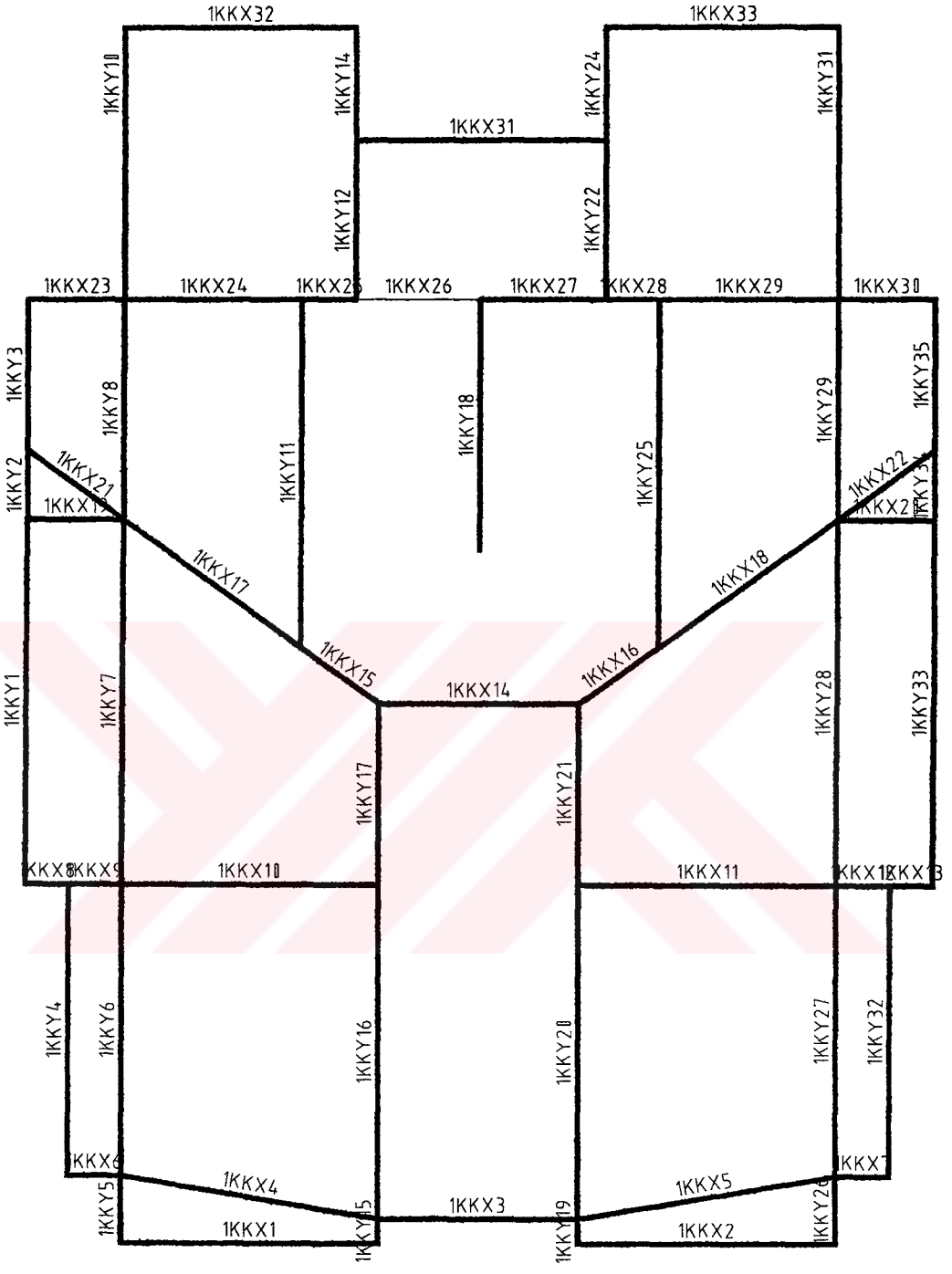
## EK F. GÜÇLENDİRİLMİŞ DURUM BİNA MODELİ VE ELEMAN ETİKETLERİ



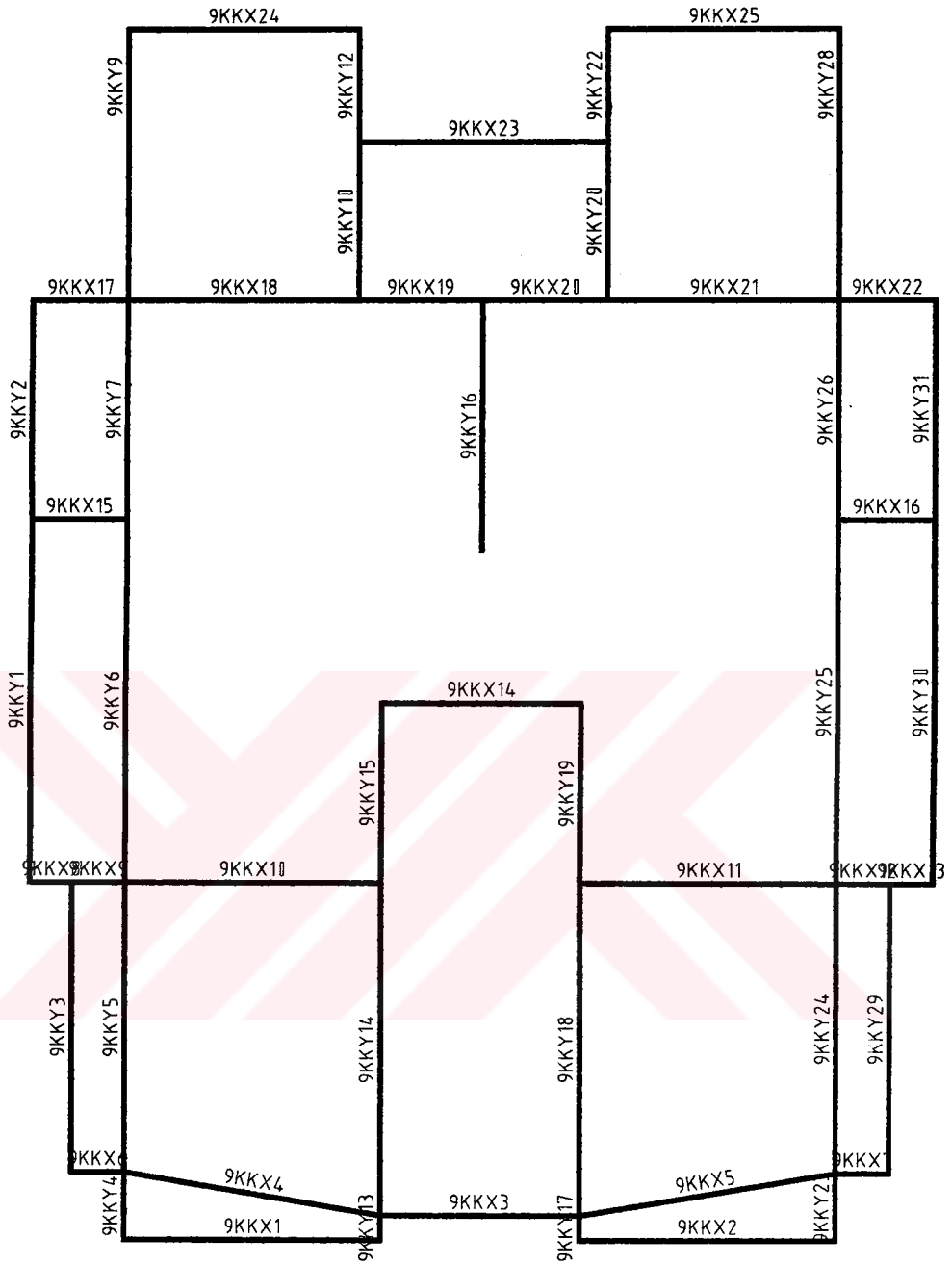
Şekil F.1 Güçlendirilmiş durum üç boyutlu bina modeli



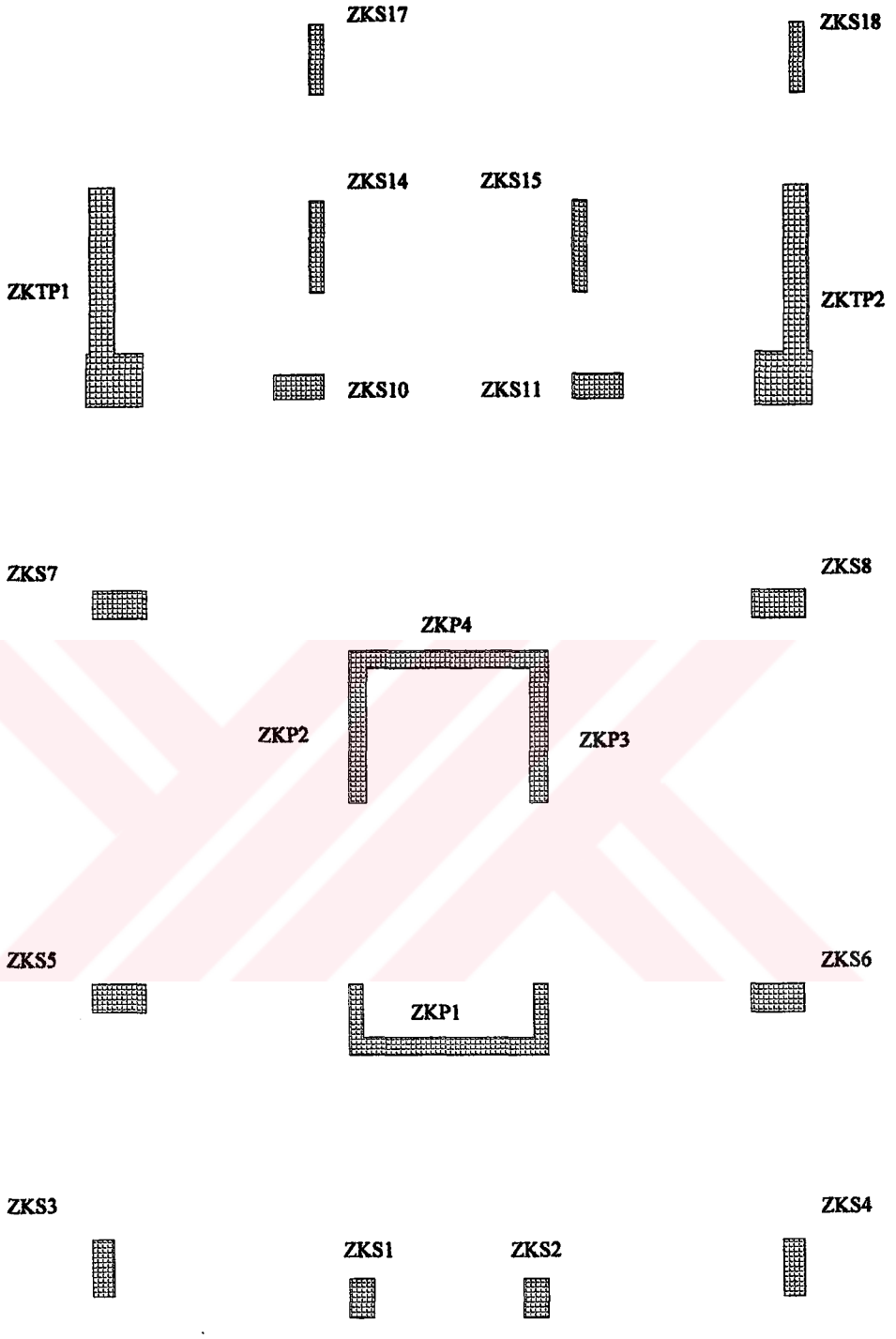

**Şekil F.2 Güçlendirilmiş durum zemin kat kirişleri etiketleme düzeni**




**Şekil F.3 Güçlendirilmiş durum 1.-8. kat kirişleri etiketleme düzeni**




**Şekil F.4 Güçlendirilmiş durum 9. kat kirişleri etiketleme düzeni**




Şekil F.5 Güçlendirilmiş durum kolon etiketleme düzeni

# EK G. GÜÇLENDİRİLMİŞ DURUM DEPLASMAN KONTROLLERİ

Tablo G.1 Güçlendirilmiş durum göreli kat ötelemeleri kontrolü

**Göreli Kat Ötelemeleri Kontrolü**

**X doğrultusu**

| Kat | $(\Delta_i)_{max}$ (cm) | $h_i$ (cm) | $(\Delta_i)_{max}/h_i$ (cm) | 0,0035 (cm) | 0,02/R (cm) | Sonuç |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Zemin | 0,1795 | 390 | 0,0005 | 0,0035 | 0,0033 | Yeterli |
| 1 | 0,2187 | 290 | 0,0008 | | | Yeterli |
| 2 | 0,2765 | 290 | 0,0010 | | | Yeterli |
| 3 | 0,3105 | 290 | 0,0011 | | | Yeterli |
| 4 | 0,4295 | 290 | 0,0015 | | | Yeterli |
| 5 | 0,3355 | 290 | 0,0012 | | | Yeterli |
| 6 | 0,3303 | 290 | 0,0011 | | | Yeterli |
| 7 | 0,3181 | 290 | 0,0011 | | | Yeterli |
| 8 | 0,3016 | 290 | 0,0010 | | | Yeterli |
| 9 | 0,2753 | 290 | 0,0009 | | | Yeterli |

**Y doğrultusu**

| Kat | $(\Delta_i)_{max}$ (cm) | $h_i$ (cm) | $(\Delta_i)_{max}/h_i$ (cm) | 0,0035 (cm) | 0,02/R (cm) | Sonuç |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Zemin | 0,1078 | 390 | 0,0003 | 0,0035 | 0,0033 | Yeterli |
| 1 | 0,1662 | 290 | 0,0006 | | | Yeterli |
| 2 | 0,2151 | 290 | 0,0007 | | | Yeterli |
| 3 | 0,2431 | 290 | 0,0008 | | | Yeterli |
| 4 | 0,2627 | 290 | 0,0009 | | | Yeterli |
| 5 | 0,2683 | 290 | 0,0009 | | | Yeterli |
| 6 | 0,2686 | 290 | 0,0009 | | | Yeterli |
| 7 | 0,2619 | 290 | 0,0009 | | | Yeterli |
| 8 | 0,2514 | 290 | 0,0009 | | | Yeterli |
| 9 | 0,2325 | 290 | 0,0008 | | | Yeterli |

Tablo G.2 Güçlendirilmiş durum yumuşak kat düzensizliği kontrolü

**Yumuşak Kat Düzensizliği Kontrolü**

| X Doğrultusu | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | $\eta_{ki}$ | | | | |
| **KAT** | **($e_y$=0)** | **(+$e_y$)** | **(-$e_y$)** | $\eta_{ki(max)}$ | **Sonuç** |
| Zemin | 0,73 | 0,79 | 0,71 | 0,79 | Yok |
| 1 | 0,80 | 0,80 | 0,80 | 0,80 | Yok |
| 2 | 0,90 | 0,91 | 0,90 | 0,91 | Yok |
| 3 | 0,95 | 0,77 | 1,36 | 1,36 | Yok |
| 4 | 0,99 | 1,24 | 0,69 | 1,24 | Yok |
| 5 | 1,02 | 1,02 | 1,02 | 1,02 | Yok |
| 6 | 1,04 | 1,05 | 1,04 | 1,05 | Yok |
| 7 | 1,05 | 1,06 | 1,06 | 1,06 | Yok |
| 8 | 1,09 | 1,10 | 1,09 | 1,10 | Yok |

| Y Doğrultusu | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | $\eta_{ki}$ | | | | |
| **KAT** | **($e_x$=0)** | **(+$e_x$)** | **(-$e_x$)** | $\eta_{ki(max)}$ | **Sonuç** |
| Zemin | 0,64 | 0,64 | 0,64 | 0,64 | Yok |
| 1 | 0,77 | 0,77 | 0,77 | 0,77 | Yok |
| 2 | 0,88 | 0,88 | 0,88 | 0,88 | Yok |
| 3 | 0,93 | 0,97 | 0,93 | 0,97 | Yok |
| 4 | 0,97 | 0,94 | 0,97 | 0,97 | Yok |
| 5 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | Yok |
| 6 | 1,02 | 1,02 | 1,03 | 1,03 | Yok |
| 7 | 1,04 | 1,04 | 1,04 | 1,04 | Yok |
| 8 | 1,08 | 1,08 | 1,08 | 1,08 | Yok |

Tablo G.3 Güçlendirilmiş durum zayıf kat düzensizliği kontrolü

**Zayıf Kat Düzensizliği Kontrolü**

| X Doğrultusu | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Kat** | $\Sigma A_w$ ($cm^2$) | $\Sigma A_g$ ($cm^2$) | $0,15\Sigma A_k$ ($cm^2$) | $\Sigma A_e$ ($cm^2$) | $\eta_{ci}$ |
| Zemin | 57650 | 14000 | 3165 | 74815 | 1,07 |
| 1 | 49950 | 14000 | 6120 | 70070 | 1,09 |
| 2 | 46950 | 11200 | 6120 | 64270 | 1,02 |
| 3 | 45400 | 11200 | 6120 | 62720 | 1,05 |
| 4 | 42400 | 11200 | 6120 | 59720 | 1,36 |
| 5 | 26600 | 11200 | 6120 | 43920 | 1,04 |
| 6 | 24400 | 11200 | 6630 | 42230 | 1,01 |
| 7 | 24100 | 11200 | 6630 | 41930 | 1,00 |
| 8 | 24100 | 11200 | 6630 | 41930 | 1,00 |

| Y Doğrultusu | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Kat** | $\Sigma A_w$ ($cm^2$) | $\Sigma A_g$ ($cm^2$) | $0,15\Sigma A_k$ ($cm^2$) | $\Sigma A_e$ ($cm^2$) | $\eta_{ci}$ |
| Zemin | 57650 | 32450 | 5805 | 95905 | 1,06 |
| 1 | 49950 | 32450 | 8430 | 90830 | 1,06 |
| 2 | 46950 | 30300 | 8430 | 85680 | 1,02 |
| 3 | 45400 | 30300 | 8430 | 84130 | 1,04 |
| 4 | 42400 | 30300 | 8430 | 81130 | 1,24 |
| 5 | 26600 | 30300 | 8430 | 65330 | 0,99 |
| 6 | 24400 | 30300 | 11310 | 66010 | 1,00 |
| 7 | 24100 | 30300 | 11310 | 65710 | 1,00 |
| 8 | 24100 | 30300 | 11310 | 65710 | 1,00 |

Tablo G.4 Güçlendirilmiş durum burulma düzensizliği kontrolü

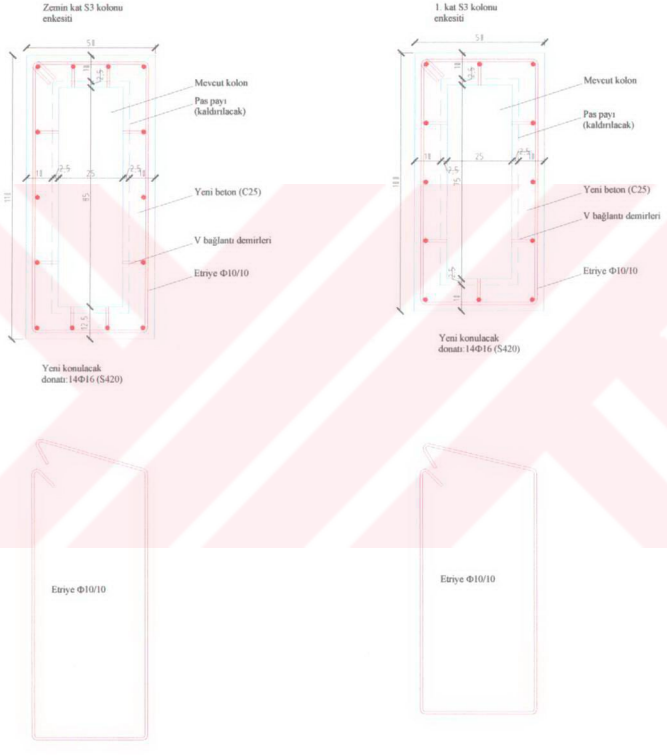
**Burulma Düzensizliği Kontrolü**

| X Doğrultusu | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | $\eta_{bi}$ | | | |
| KAT | ($e_y$=0) | (+$e_y$) | (-$e_y$) | $\eta_{bi(max)}$ |
| Zemin | 1,07 | 1,22 | 1,13 | 1,22 |
| 1 | 1,01 | 1,13 | 1,16 | 1,16 |
| 2 | 1,00 | 1,12 | 1,17 | 1,17 |
| 3 | 1,01 | 1,11 | 1,17 | 1,17 |
| 4 | 1,03 | 1,13 | 1,18 | 1,18 |
| 5 | 1,04 | 1,10 | 1,19 | 1,19 |
| 6 | 1,05 | 1,09 | 1,19 | 1,19 |
| 7 | 1,06 | 1,09 | 1,19 | 1,19 |
| 8 | 1,07 | 1,08 | 1,19 | 1,19 |
| 9 | 1,07 | 1,07 | 1,19 | 1,19 |

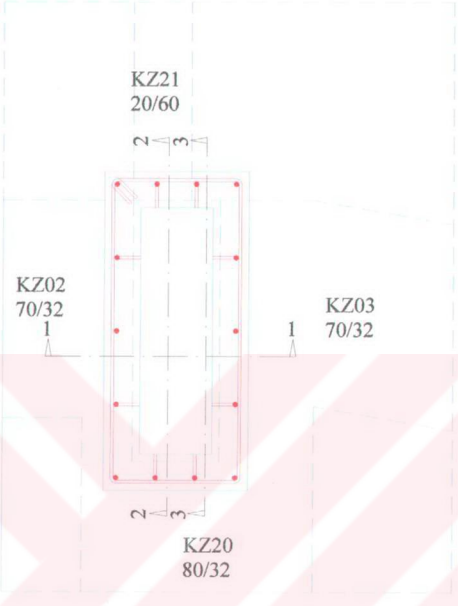
| Y Doğrultusu | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | $\eta_{bi}$ | | | |
| KAT | ($e_x$=0) | (+$e_x$) | (-$e_x$) | $\eta_{bi(max)}$ |
| Zemin | 1,01 | 1,05 | 1,07 | 1,07 |
| 1 | 1,02 | 1,04 | 1,06 | 1,06 |
| 2 | 1,02 | 1,03 | 1,06 | 1,06 |
| 3 | 1,02 | 1,03 | 1,06 | 1,06 |
| 4 | 1,03 | 1,05 | 1,07 | 1,07 |
| 5 | 1,02 | 1,02 | 1,05 | 1,05 |
| 6 | 1,02 | 1,02 | 1,05 | 1,05 |
| 7 | 1,02 | 1,02 | 1,05 | 1,05 |
| 8 | 1,01 | 1,03 | 1,05 | 1,05 |
| 9 | 1,01 | 1,03 | 1,04 | 1,04 |

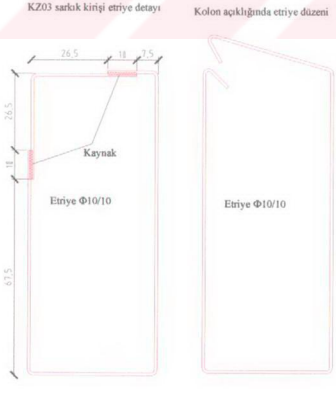
| KAT | $\eta_{bi}$ | Düzensizlik | $D_i$ | $B_x$ (cm) | $B_y$ (cm) | $e_x$ (cm) | $e_y$ (cm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Zemin | 1,22 | Mevcut | 1,03 | 1000 | 1895 | 51,6 | 97,8 |
| 1 | 1,16 | Yok | 1,00 | 1000 | 1730 | 50,0 | 86,5 |
| 2 | 1,17 | Yok | 1,00 | 1000 | 1730 | 50,0 | 86,5 |
| 3 | 1,17 | Yok | 1,00 | 1000 | 1730 | 50,0 | 86,5 |
| 4 | 1,18 | Yok | 1,00 | 1000 | 1730 | 50,0 | 86,5 |
| 5 | 1,19 | Yok | 1,00 | 1000 | 1730 | 50,0 | 86,5 |
| 6 | 1,19 | Yok | 1,00 | 1000 | 1730 | 50,0 | 86,5 |
| 7 | 1,19 | Yok | 1,00 | 1000 | 1730 | 50,0 | 86,5 |
| 8 | 1,19 | Yok | 1,00 | 1000 | 1730 | 50,0 | 86,5 |
| 9 | 1,19 | Yok | 1,00 | 1000 | 1730 | 50,0 | 86,5 |

# EK H. GÜÇLENDİRİLMİŞ DURUM PERDE VE KOLON DETAYLARI

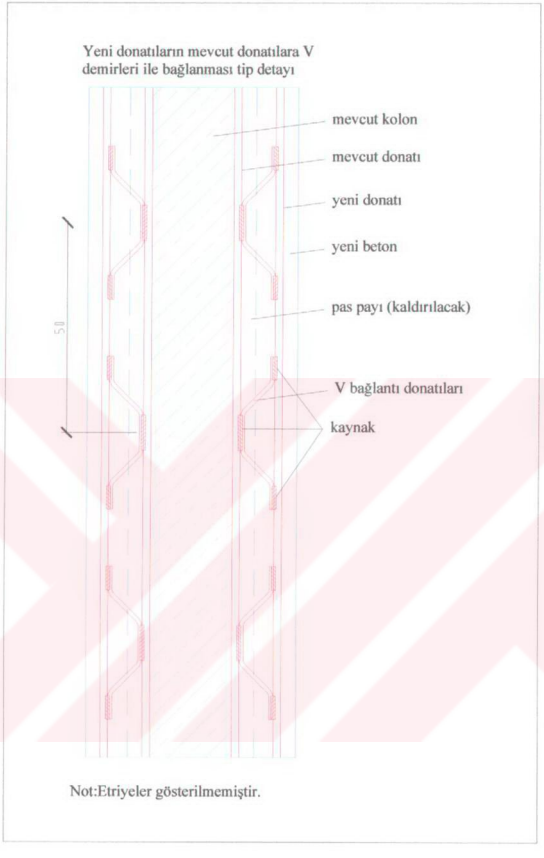



Şekil H.1 Mantolanmış S3 kolonu enkesiti



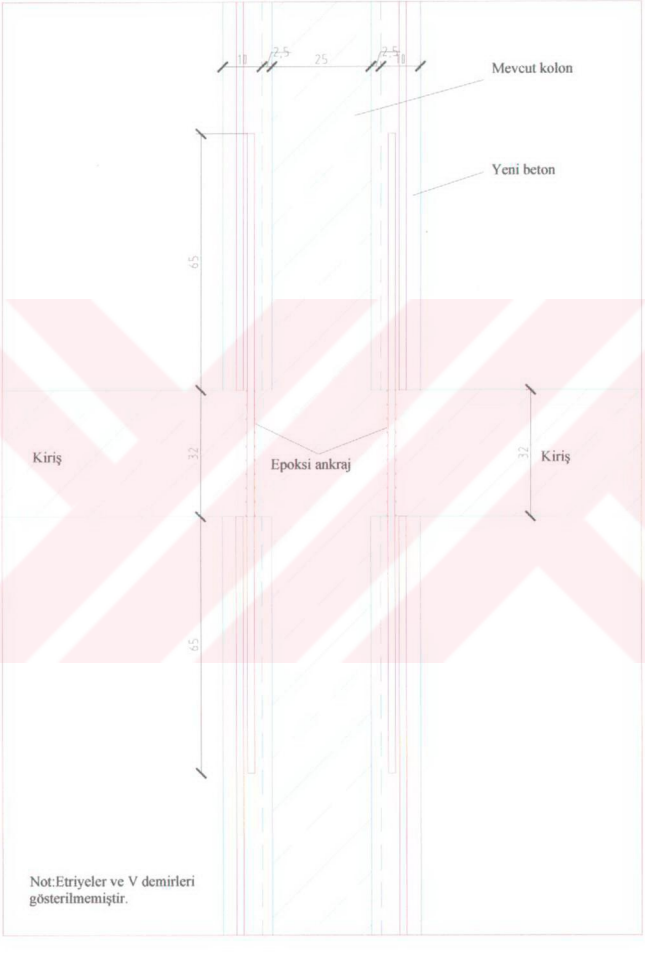




Şekil H.2 Mantolanmış S3 kolonunda mevcut kirişle kenetlenme detayı



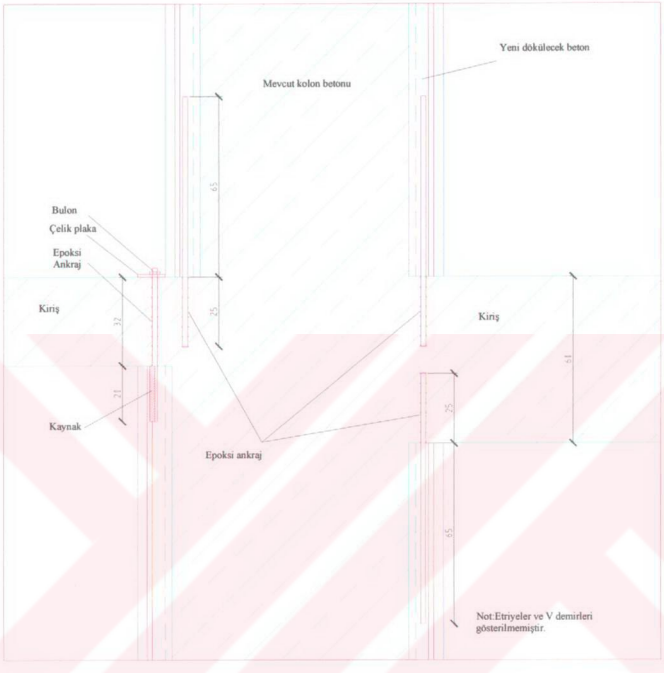

Şekil H.3 Mantolanmış kolonlarda uygulanacak yeni ve mevcut donatıların bağlantı detayı

# 1-1 kesiti



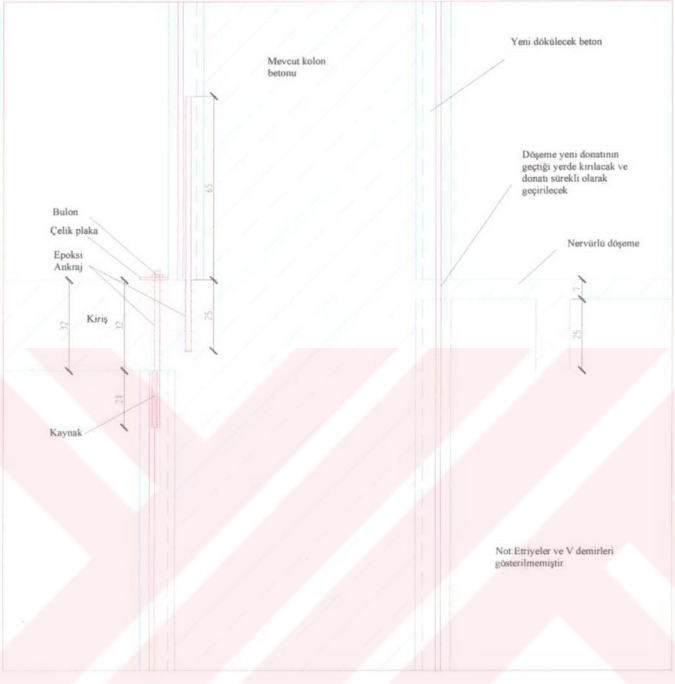

Şekil H.4 S3 kolonu 1-1 boykesiti

2-2 kesiti

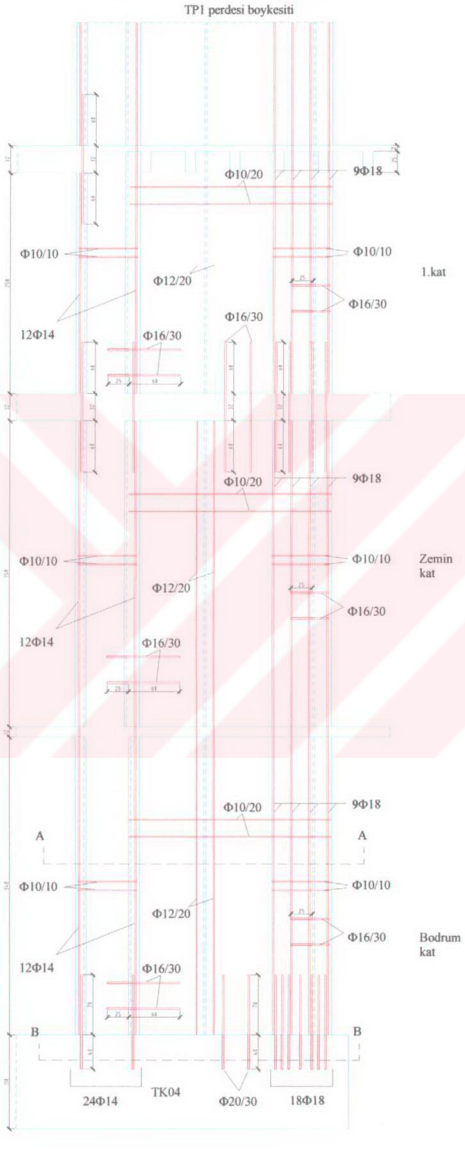



Şekil H.5 S3 kolonu 2-2 boykesiti

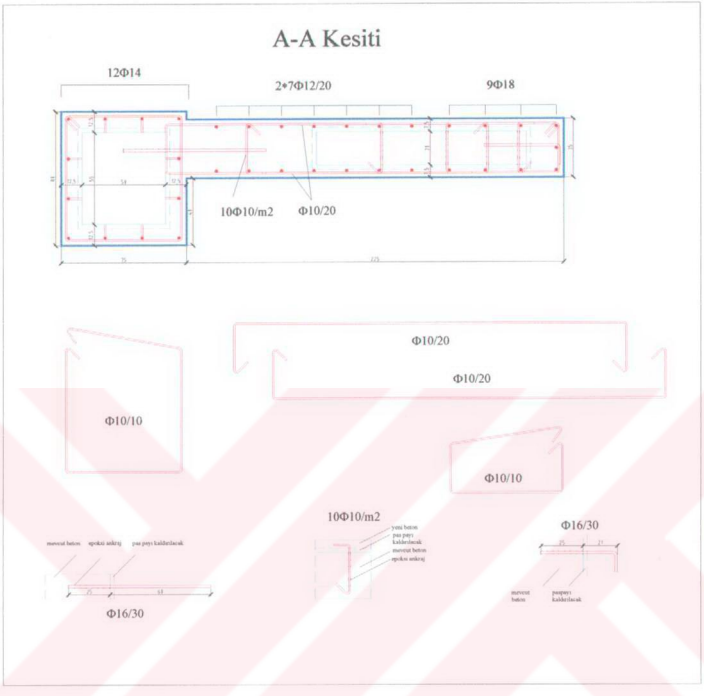
3-3 kesiti



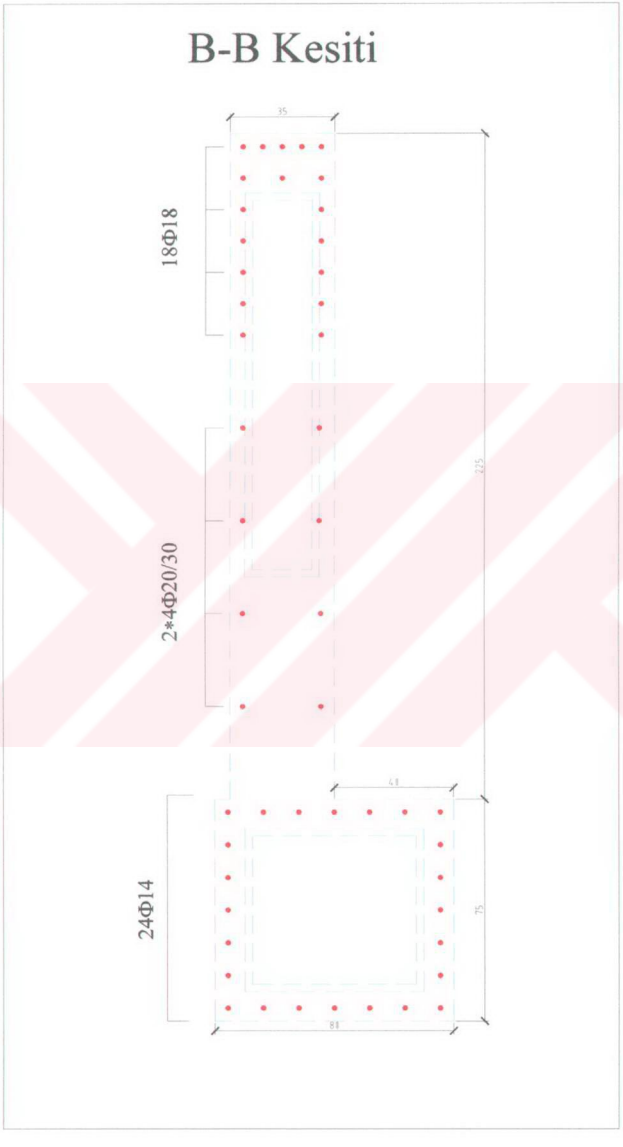

Şekil H.6 S3 kolonu 3-3 boykesiti



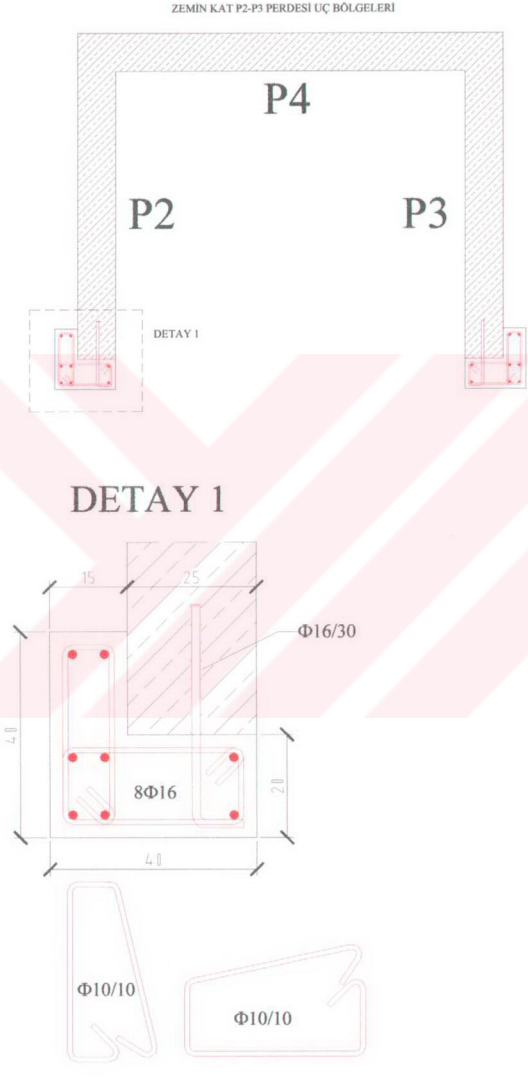

Şekil H.7 Yeni eklenen TP1 perdesi boykesiti




Şekil H.8 TP1 perdesi A-A enkesiti




Şekil H.9 TP1 perdesi B-B enkesiti




Şekil H.10 Zemin kat P2-P3 perdeleri uç bölgeleri

## EK I. TRANS 2000 PROGRAMI

Bu tez çalışması kapsamında incelenen konuyla ilgili olarak yazar tarafından bir bilgisayar programı geliştirilmiş ve bu program tez çalışmasına yardımcı olmak üzere kullanılmıştır. Program "Microsoft BASIC Compiler Version 7.00" programlama diliyle yazılmıştır. Trans 2000 programı, Sap 2000 yapısal analiz programı statik ve dinamik hesap çıktılarını kullanarak kolon, kiriş, perde elemanlar için betonarme hesaplarını ve tasarımını taşıma gücü yöntemini kullanarak TS 500 ve 1998 deprem yönetmeliği esaslarına ve teknik standartlara uygun olarak gerçekleştirir. İstenirse mevcut bir yapı için elemanların mevcut donatıları ve özellikleri girilerek sistem incelenebilir. Program aşağıda belirtilen özelliklere sahiptir:

1998 deprem yönetmeliğine göre zayıf kat, yumuşak kat, burulma düzensizlikleri ve göreli kat ötelemesi kontrollerini yapar.

Süneklik düzeyi yüksek veya normal sistem tanımlanabilir.

Her eleman için ayrı beton sınıfı ve çelik sınıfı tanımlanabilir.

Bina elemanları monolitik eleman, onarım veya güçlendirme elemanı olarak tanımlanabilir.

Kaydırılmış kütle merkezleri dikkate alınır.

Kolon ve kirişler dikdörtgen enkesit kabulü ile çözüm yapılır.

Perdeler, bir ucu başlıklı, iki ucu başlıklı, başlıksız olarak tanımlanabilir.

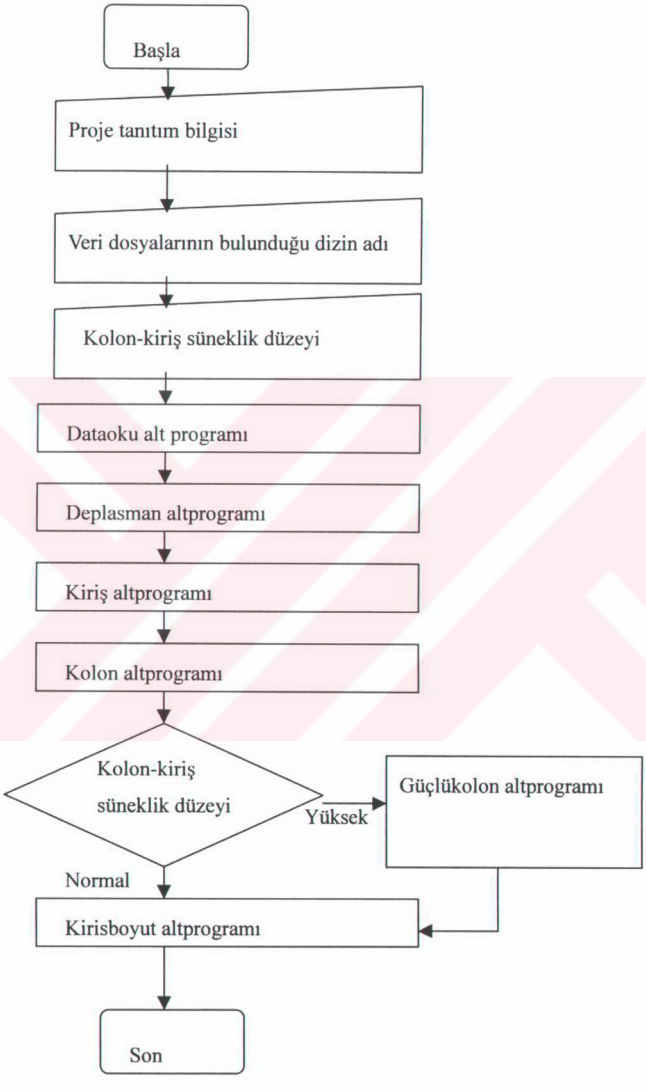
Sünek çerçeveler için güçlü kolon, kuşatılmış kolon kontrolleri yapılır.

Kolonlarda iki eksenli eğilmeye göre tasarım yapılır.

Kolon, perde boyuna donatı sonuçları ve kolon, kiriş, perde enine donatı sonuçları donatı çubuk sayısı ve çapı belirtilerek sunulur. Kirişlerde boyuna donatı sonuçları donatı alanı cinsinden verilir.

Programda kat ve eleman sayısı sınırlaması yoktur.

Yürürlükte bulunan 1998 deprem yönetmeliği X ve Y doğrultusunda deprem hesabında kat kütleleri için ek dışmerkezlikler tanımlar ve buna göre hesap yapılmasını öngörür. Trans 2000 programı bu durumu dikkate alır. Bu nedenle Sap 2000 programında, beş farklı bina modeli tasarlanır. Program akış diyagramı Şekil I1'de verilmiştir.




Şekil I.1 Trans 2000 programı akış diyagramı

# ÖZGEÇMİŞ

Yaşar YİĞİT, 1978 yılında Kayseri'nin Develi ilçesinde doğmuştur. İlköğrenimini İstiklal İlkokulu'nda, orta öğrenimini Develi Merkez Ortaokulu'nda, lise eğitimini de Kayseri Sümer Lisesinde tamamlamıştır. 1994 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünde lisans eğitimine başlamıştır. 1998 yılında buradaki eğitimini birincilikle tamamladıktan sonra aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Mühendisliği Programı'nda yüksek lisans eğitimine başlamıştır.