

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

79170

HASARLI YAPI ONARIMI

İnşaat Müh. Onur UZEL

F.B.E İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında

hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez danışmanı : Prof. Dr. Ercüment KÖKSAL

Jüri üyesi : Prof. Sinan ÇAĞDAŞ

Jüri üyesi : Prof. Dr. Özkan İŞLER

E. Köksal  
Özkan İşler

79170

İSTANBUL , 1998

## İÇİNDEKİLER :

### Bölüm 1

|           |   |
|-----------|---|
| 1.0 Giriş | 1 |
|-----------|---|

### Bölüm 2

|   |   |
|---|---|
| 2.0 Malzemenin Hasar Oluşturabilecek Davranışları | 2 |
|---|---|

|             |   |
|-------------|---|
| 2.1 Kırılma | 2 |
|-------------|---|

|             |   |
|-------------|---|
| 2.1.1 Genel | 2 |
|-------------|---|

|                      |   |
|----------------------|---|
| 2.1.2 Gevrek kırılma | 3 |
|----------------------|---|

|                        |   |
|------------------------|---|
| 2.1.3 Griffith teorisi | 4 |
|------------------------|---|

|                     |   |
|---------------------|---|
| 2.1.4 Sünek kırılma | 5 |
|---------------------|---|

|  |   |
|--|---|
| 2.2 Malzemenin Zamana Bağlı Davranışları | 7 |
|--|---|

|             |   |
|-------------|---|
| 2.2.1 Genel | 7 |
|-------------|---|

|                        |   |
|------------------------|---|
| 2.2.2 Elastik davranış | 7 |
|------------------------|---|

|                        |   |
|------------------------|---|
| 2.2.3 Plastik davranış | 7 |
|------------------------|---|

|                             |   |
|-----------------------------|---|
| 2.2.4 Viskoelastik davranış | 8 |
|-----------------------------|---|

|             |   |
|-------------|---|
| 2.2.5 Sünme | 8 |
|-------------|---|

|               |   |
|---------------|---|
| 2.2.6 Gevşeme | 9 |
|---------------|---|

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| 2.3 Betonda Meydana Gelen Hasarlar | 10 |
|------------------------------------|----|

|  |    |
|--|----|
| 2.3.1 Erken yaşta meydana gelen hasarlar | 10 |
|--|----|

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| 2.3.2 Taze betondaki hasarlar | 10 |
|-------------------------------|----|

|                    |    |
|--------------------|----|
| 2.3.3 Isı etkileri | 10 |
|--------------------|----|

|             |    |
|-------------|----|
| 2.3.4 Rötne | 11 |
|-------------|----|

|   |    |
|---|----|
| 2.3.5 Beton karışımındaki elemanlardan dolayı oluşan hasarlar | 11 |
|---|----|

|  |    |
|--|----|
| 2.3.6 Dış etkilerden dolayı meydana gelen hasarlar | 12 |
|--|----|

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| 2.3.7 Beton için zararlı faktörler | 12 |
|------------------------------------|----|

### Bölüm 3

|  |    |
|--|----|
| 3.0 Çatlak ve Sehimlerle İlgili Şartname Kayıtları | 14 |
|--|----|

|  |    |
|--|----|
| 3.1 TSE-500 / Nisan 1984'e Göre Sehim ve Çatlak Kontrolü | 14 |
|--|----|

|                      |    |
|----------------------|----|
| 3.1.1 Sehim kontrolü | 14 |
|----------------------|----|

|  |    |
|--|----|
| 3.1.2 Zamana bağlı sehim   | 15 |
| 3.1.3 Sehim sınırları  | 16 |
| 3.1.4 çatlak kontrolü  | 17 |
| 3.1.5 çatlak genişliklerinin hesaplanması                                | 18 |
| 3.2 ACI 318-89'a Göre Sehim ve atlak Kontrolü                           | 19 |
| 3.2.1 Sehim kontrolü   | 19 |
| 3.2.2 Sehimlerin kontrol nedeni  | 20 |
| 3.2.3 Sehimlerin hesaplanması  | 22 |
| 3.2.4 Sehimlerin hesaplanmasında kullanılacak eğilme rijitliğinin hesabı | 22 |
| 3.2.5 Ani sehimlerin hesabı  | 24 |
| 3.2.6 Sünme ve rötreten dolayı zamanla oluşan sehimlerin hesabı          | 25 |
| 3.2.7 Eğilebilir elemanların minimum derinlikleri                        | 28 |
| 3.2.8 çatlak kontrolü  | 29 |
| 3.2.9 Kirişler ve tek doğrultudaki döşemeler                             | 30 |
| 3.2.10 Aşındırıcı ortamlar   | 32 |
| 3.2.11 T- kirişlerin flanşlarında çekme donatısı dağılımı                | 33 |
| 3.2.12 Derin eğilme elmanlarında çatlak kontrolü                         | 33 |
| 3.2.13 İki doğrultuda çalışan döşemeler                                  | 37 |
| 3.3 EUROCODE 2'ye Göre Sehim ve atlak Kontrolü                          | 38 |
| 3.3.1 Sehim kontrolü   | 38 |
| 3.3.2 Hesapların ihmal edildiği durumlar                                 | 38 |
| 3.3.3 çatlak kontrolü  | 40 |
| 3.3.4 Minimum donatı alanları  | 41 |
| 3.3.5 Direkt hesaplama olmaksızın çatlakların kontrolü                   | 43 |
| 3.3.6 çatlak genişliklerinin hesaplanması                                | 47 |
| 3.4 DIN 1045-1978'E Göre Sehim ve atlak Kontrolü                        | 49 |
| 3.4.1 Servis yükleri altında sehimlerin sınırlandırılması                | 49 |
| 3.4.2 Sehimlerin sınırlandırılması için basitleştirilmiş tahkik          | 49 |
| 3.4.3 Servis yükleri altında çatlak genişliklerinin sınırlandırılması    | 50 |
| 3.4.4 çatlak genişliğinin sınırlandırılmasının tahkiki                   | 50 |

## **Bölüm 4**

|  |    |
|--|----|
| 4.0 Onarım ve Güçlendirme                            | 53 |
| 4.1 Onarım ve Güçlendirme Kavramları                 | 53 |
| 4.2 Hasar Derecesi Tayini                            | 54 |
| 4.3 Çatlakların Tamirat Yöntemleri                   | 57 |
| 4.3.1 Reçine enjeksiyonu                             | 58 |
| 4.3.2 Vakumla tamirat                                | 59 |
| 4.3.3 Çatlakların donatılarla tutturulması           | 59 |
| 4.3.4 Çatlakların genişletilerek doldurulması        | 60 |
| 4.3.5 Çimentolu ve polimerli şerbetle tamirat        | 60 |
| 4.3.6 Delerek tamirat                                | 61 |
| 4.3.7 Donatı ilavesiyle çatlak tamirâtı              | 62 |
| 4.4 Kolonların Onarım ve Güçlendirilmesi             | 63 |
| 4.4.1 Deneysel çalışmalar ve sonuçları               | 65 |
| 4.4.2 Kolonların çelik korniyerlerle güçlendirilmesi | 86 |
| 4.5 Kirişlerin Onarım ve Güçlendirilmesi             | 90 |
| 4.5.1 Kirişlerin eğilme kapasitesinin artırılması    | 90 |
| 4.5.2 Mantolama                                      | 90 |
| 4.5.3 Tutkallı ince çelik levhalar                   | 95 |
| 4.5.4 Kirişlerin kesme kapasitesinin artırılması     | 96 |
| 4.5.5 Mantolama                                      | 96 |
| 4.5.6 Kirişlerin kesme kapasitesinin artırılması     | 97 |

## **Bölüm 5**

|  |     |
|--|-----|
| 5.0 Uygulanmış Bir Onarım Projesinden Örnekler | 98  |
| 5.1 Yükleme Deneyleri                          | 101 |

## ŞEKİL LİSTESİ

|   |    |
|---|----|
| Şekil 2.1 - Kırılma çeşitleri   | 2  |
| Şekil 2.2 - Gevrek kırılma türleri  | 3  |
| Şekil 2.3 - Çentik ve çatlak ucundaki gerilme yığılması                         | 5  |
| Şekil 2.4 - Sünek kırılma   | 6  |
| Şekil 2.5 - Elastik , plastik ve viskoelastik davranış                          | 8  |
| Şekil 2.6 - Gevşeme eğrisi  | 9  |
| Şekil 3.1 - Eksenel çekme altında kiriş kesiti                                  | 18 |
| Şekil 3.2 - Z için tasarı eğrisi  | 30 |
| Şekil 3.3 - Farklı ebatlarda çubukların kullanıldığı etkin çekme alanı          | 31 |
| Şekil 3.4 - Tablo 3.8 ve 3.9 için kriterler                                     | 31 |
| Şekil 3.5 - Flanşlı kirişlere ilave donatılar                                   | 33 |
| Şekil 3.6 - Derin kirişler için yüzey donatısı                                  | 36 |
| Şekil 4.1 - Reçine , epoksi enjeksiyonu   | 58 |
| Şekil 4.2 - Çatlakların donatılarla tutturulması                                | 59 |
| Şekil 4.3 - Çatlakların genişletilerek doldurulması                             | 60 |
| Şekil 4.4 - Çatlakların delerek tamirata  | 61 |
| Şekil 4.5 - Donatı ekleyerek çatlak tamirata                                    | 62 |
| Şekil 4.6 - Yapıda kısmi veya tam mantolama yapılabilecek kolon durumları       | 64 |
| Şekil 4.7 - Bir yüzünden mantolanmış kolon (güçlendirilmiş hal)                 | 66 |
| Şekil 4.8 - Bir yüzünden mantolanmış kolon (monolitik hal)                      | 67 |
| Şekil 4.9 - İki yüzünden mantolanmış kolon (güçlendirilmiş hal)                 | 68 |
| Şekil 4.10 - İki yüzünden mantolanmış kolon (monolitik hal)                     | 69 |
| Şekil 4.11 - Üç yüzünden mantolanmış kolon (güçlendirilmiş hal)                 | 70 |
| Şekil 4.12 - Üç yüzünden mantolanmış kolon (monolitik hal)                      | 71 |
| Şekil 4.13 - Dört yüzünden mantolanmış kolon                                    | 72 |
| Şekil 4.14 - Bir yüzünden mantolanmış kolonların yük-birim deformasyon eğrileri | 75 |
| Şekil 4.15 - Bir yüzünden mantolanmış kolonların moment eğrilik ilişkileri      | 75 |
| Şekil 4.16 - İki yüzünden mantolanmış kolonların yük-birim deformasyon eğrileri | 76 |

|  |     |
|--|-----|
| Şekil 4.17 - Üç yüzünden mantolanmış kolonların yük-birim deformasyon eğrileri       | 78  |
| Şekil 4.18 - Dört yüzünden mantolanmış kolonların yük-birim deformasyon eğrileri     | 80  |
| Şekil 4.19 - Kolonların çelik korniyerlerle güçlendirilmesi                          | 82  |
| Şekil 4.20 - Kolonların yük- birim deformasyon eğrileri                              | 87  |
| Şekil 4.21 - Kiriş tabanını mantolanmasıyla kirişin eğilme kapasitesinin artırılması | 89  |
| Şekil 4.22 - Kirişlerin dört yüzünden mantolanması                                   | 92  |
| Şekil 4.23 - Kirişlerin üç yüzünden mantolanması                                     | 93  |
| Şekil 4.24 - İlave etriyeler ve manto ile kirişin kesme kapasitesinin artırılması    | 94  |
| Şekil 4.25 - Kirişlerin çelik levhalarla güçlendirilmesi                             | 97  |
| Şekil 5.1 - Plak döşemeli villaların kalıp planı                                     | 99  |
| Şekil 5.2 - Nervürlü vilların kalıp planı  | 100 |
| Şekil 5.3 - Plak döşemede ek kirişler ve ek donatılar                                | 103 |
| Şekil 5.4 - Nervürlü döşemede ek kirişler ve ek donatılar                            | 104 |
| Şekil 5.5 - Ek kirişler ( 1-1 kesiti )   | 105 |
| Şekil 5.6 - Ek kirişler ( 2-2 kesiti )   | 106 |
| Şekil 5.7 - Döşeme dikişi  | 107 |
| Şekil 5.8 - Konsol kirişin askıya alınması   | 108 |
| Şekil 5.9 - Kiriş kolon birleşimlerinin guse ile güçlendirilmesi                     | 109 |
| Şekil 5.10 - Kirişin eğilme için güçlendirilmesi                                     | 110 |

## TABLO LİSTESİ

|  |     |
|--|-----|
| Tablo 2.1 - Beton için zararlı faktörler   | 13  |
| Tablo 3.1 - Eğilme ile zorlanan elemanlarda sehim sınırı gerektirmeyen yükseklik       | 16  |
| Tablo 3.2 - İzin verilen çatlak genişlikleri   | 17  |
| Tablo 3.3 - Minimum kalınlıklar  | 21  |
| Tablo 3.4 - İzin verilebilir maksimum sehimler   | 21  |
| Tablo 3.5 - Sünme ve rötre tesirlerini göz önüne alan katsayılar                       | 27  |
| Tablo 3.6 - Ani sehim değerleri ve kesitin aldığı gerilme yüzdesine göre min. derinlik | 28  |
| Tablo 3.7 - En az sehim değerini verecek minimum derinlikler                           | 28  |
| Tablo 3.8 - Çatlak kontrolü için kirişlerdeki maksimum çubuk aralığı                   | 34  |
| Tablo 3.9 - Çatlak kontrolü için tek yönlü plakalardaki maksimum çubuk aralığı         | 35  |
| Tablo 3.10 - Açıklık / Faydalı yükseklik oranları                                      | 39  |
| Tablo 3.11 - Maksimum çubuk çapları  | 44  |
| Tablo 3.12 - Maksimum çubuk aralıkları   | 44  |
| Tablo 3.13 - Çatlak kontrolü için kirişlerdeki etriye aralıkları                       | 46  |
| Tablo 3.14 - Fiktif açıklığın hesabı için katsayılar                                   | 50  |
| Tablo 3.15 - Çatlak kontrolü için sınır çubuk çapları                                  | 51  |
| Tablo 3.16 - Bağlantı özelliklerinin göz önünde alınmasında kullanılan katsayılar      | 52  |
| Tablo 4.1 - Hasar yorumu   | 56  |
| Tablo 4.2 - Deney elemanlarının kesit , donatı ve dayanım artışları                    | 74  |
| Tablo 4.3 - Deney elemanlarının rijitlik ve enerji tüketimleri                         | 74  |
| Tablo 4.4 - Deney elemanlarının kesit , donatı ve dayanım artışları                    | 77  |
| Tablo 4.5 - Deney elemanlarının kesit , donatı ve dayanım artışları                    | 79  |
| Tablo 4.6 - Deney elemanlarının kesit , donatı ve dayanım artışları                    | 81  |
| Tablo 4.7 - Deney elemanlarının dayanım ve birim deformasyon değerleri oranları        | 88  |
| Tablo 4.8 - Deney elemanlarının rijitlik ve enerji tüketim oranları                    | 88  |
| Tablo 5.1 - Yükleme deneyi   | 102 |

## ÖZET :

Bu tez çalışmasında öncelikle yapılarda hasar oluşturabilecek malzeme davranışları ele alınmıştır. Betonda çeşitli nedenlerle oluşan bozulmalar , hasarlar ele alınmıştır.

Hasar oluşumunda önemli rol oynayan çatlak ve sehimlerle ilgili şartname kayıtları incelenmiştir. TSE-500 , ACI-318 , EUROCODE2 , DIN 1045 şartnamelerinden ani sehim , zamana bağlı sehim ve çatlaklarla ilgili hesap esasları ve bunların sınır değerleri alınmıştır.

Onarım ve güçlendirme bölümünde ise hasar konusunda bir fikir sahibi olabilmemize yardımcı bir sayısal model incelenmiştir. Çatlakların çeşitli yöntemlerle tamirata , kolonların onarım ve güçlendirilmesine ait deneysel çalışma sonuçları , kirişlerin onarım ve güçlendirilmesine ait yöntemler le alınmıştır.

Son bölümde ise Prof. Dr. Ercüment KÖKSAL ve tarafımdan uygulanan bir onarım projesinden bazı örnekler incelenmiştir.

## **ABSTRACT :**

In this thesis study first of all the behaviors of the damage that occurs material in the building and also the damage that occurs with different reasons in concrete had taken charge of.

The specification register about cracks and deformations that takes place in damage formation had delicated. From TSE-500 , ACI-318 , EUROCODE2 , DIN 1045 specifications craks , deformations and calculation principles of their limit value had obtained.

Although in the part of repair and strengthening a numeral model that help us to have opinion about damage had taken charge of. The repair of the cracks with different methods , the experimental study that belongs to the repair and strengthening of columns , techniques for repair and strengthening of beams had delicated.

At the last part some examples from repair project that arenged by Prof. Dr. Ercüment KÖKSAL and me had delicated.

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Betonarme yapılar , yapı şartnamelerinde belirtilen esaslara göre tasarlanmalıdır. Belirtilen esaslara uygun şekilde tasarlanmayan veya tasarlanmasına karşın pratikte uygulanmayan yapılarda hasar oluşması kaçınılmazdır .Bunların dışında düşey yükler , deprem , korozyon, yangın , deformasyonlar da yapıda hasar meydana getirecek etkenlerdir. Bu etkenler sonucu meydana gelen sorunların çözümü için iki yola başvurulabilir. Bunlar yapının tamamen yıkılıp yeniden inşası veya onarım ve güçlendirme yoluna gidilmesidir. Bu çözümlerin seçilmesi hasar büyüklüğü ve ekonomik faktörlere bağlıdır. Betonarme yapılarda hasar olmadığı zamanlarda da yapısal onarıma ( güçlendirme) gereksinim duyulabilir. Hızla değişen deprem yönetmelikleri eski yapıların yetersiz olduğunu ortaya çıkartmaktadır. Gelişmiş ülkelerde bu gibi durumlarda yapıların güçlendirilmesi söz konusu olmaktadır. Yapı tasarımının şartnamelere uygun olmasına rağmen donatı alanlarının ve detaylarının projeye uygun olmaması , beton dayanımının düşük olmasında güçlendirme için diğer bir nedendir.

Yapının kullanım amacının değişmesinde de güçlendirme yoluna gidilir. Örneğin bir yapının hizmet binası olarak inşa edilip daha sonra depo olarak kullanılmak istenmesi gibi. Yapıya etki edecek yüklerin değişmesi sonucu yapının güçlendirilmesine gereksinim duyulur.

Onarım ve güçlendirmenin amacı yapıyı ve yapı elemanlarını eski dayanımlarına veya projede öngörülen dayanımlarına getirmektir. Ayrıca yapıya etkimesi beklenen çeşitli yükler altında yapının davranışının istenen düzeyde olmasını sağlamaktır . Örneğin yapı deprem bölgesinde ise onarım ve güçlendirme kriterleri dayanımın yanı sıra süneklik ve enerji yutmak olacaktır.

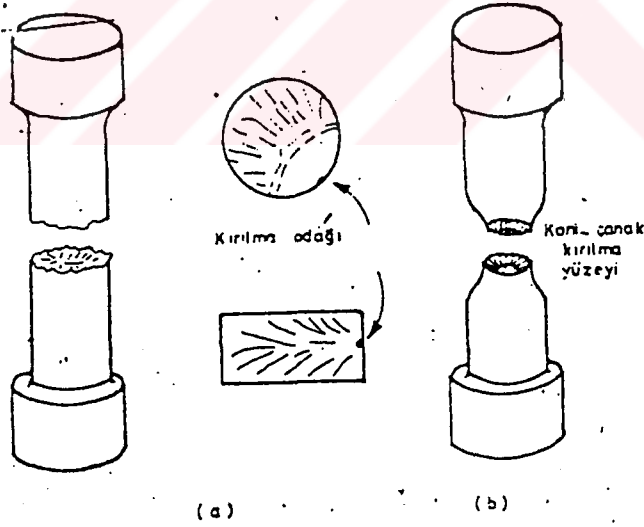
## BÖLÜM 2

### MALZEMENİN HASAR OLUŞTURABİLECEK DAVRANIŞLARI:

#### 2.1 Kırılma :

##### 2.1.1 Genel :

Malzemenin dış kuvvetler etkisinde parçalara ayrılmasına kırılma denir. Kırılma oluşum biçimine göre gevrek ve sünek olmak üzere ikiye ayrılır. Gevrek kırılma plastik şekil değiştirme olmaksızın aniden meydana gelir ve çok az enerji yutar. Bu tür kırılmanın ne zaman nerede oluşacağı önceden kestirilemediği için çok tehlikelidir ve önemli hasarlara yol açar. Sünek kırılma ise belirgin ölçüde plastik şekil değiştirme ve büzülmeden sonra oluşur ve büyük enerji yutar. Nerede oluşacağı görülebildiği için gerekli önlemler alınarak hasar oluşumu önlenir.

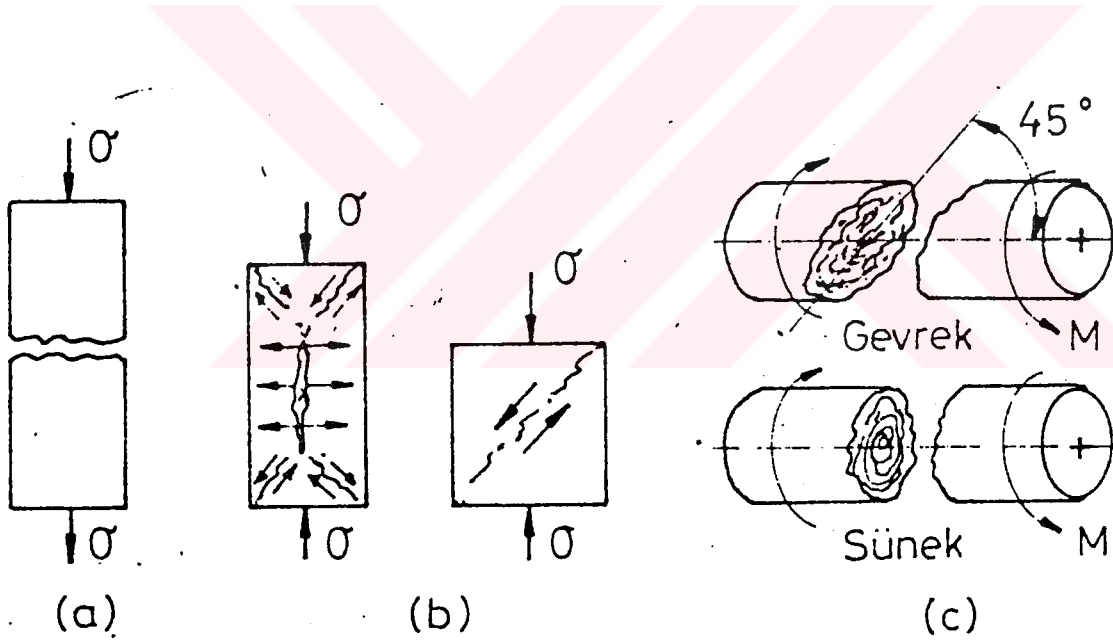


Şekil 2.1 - a) Gevrek kırılma b) Sünek kırılma

Kırılmanın türü malzemedan malzemeye değiştiği gibi çoğunlukla uygulanan gerilme halinde , parçanın geometrik biçimine , sıcaklığa ve şekil değiştirme hızına bağlıdır. Bütün kırılma olayları çatlak oluşumu ve çatlağın yayılması sonucu oluşur

### 2.1.2 Gevrek Kırılma :

Malzemenin plastik şekil değiştirme olmaksızın aniden iki veya ikiden fazla parçaya ayrılmasına gevrek kırılma denir. Çekme etkisinde , basınç etkisinde ve burma etkisinde olmak üzere üç çeşit gevrek kırılma meydana gelebilir.



şekil 2.2 Gevrek kırılma türleri a) çekmede b) basınçta c) burmada

Basınç etkisinde kırılma mukavemeti ve kırılma şekli parçanın biçimine büyüklüğüne ve yükün etkime hızına bağlıdır. Parçanın boyu kısa ve yassı ise kayma etkisinde  $45^\circ$  eğimli düzlemler boyuna , uzun ise yanal çekme gerilmeleri etkisinde düşey doğrultuda ortadan yarılarak kırılır. Burulma etkisinde kırılma yüzeyleri malzemenin gevrek yada sünek olmasına bağlıdır. Basit burulma halinde maksimum çekme gerilmeleri eksenle  $45^\circ$  açı yapan düzlemlere dik doğrultudadır.

Gevrek malzemelerde gerilme yığılması oluşturan çatlak , çizik , çentik gibi kusurlar nedeniyle çekme mukavemeti düşüktür. Aynı kusurlar basınç etkisiyle kapanabilir. Yük bir yüzeyden diğerine aktarılır , gerilme yığılmaları oluşmaz. Bu durumda malzemeler daha yüksek gerilmeleri taşırlar.

### 2.1.3 Griffith Teorisi ( Gevrek Kırılma Teorisi ) :

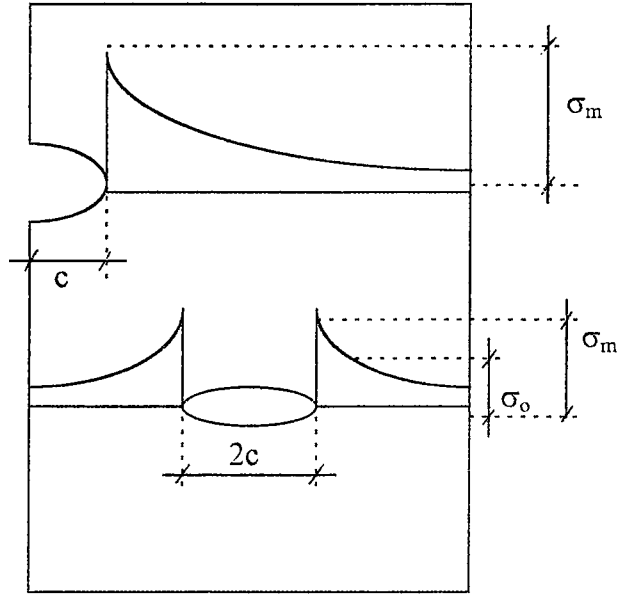
Tam gevrek malzemelerde teorik mukavemet ile gerçek kırılma mukavemeti arasındaki fark ilk defa Griffith tarafından açıklanmıştır. (1921) Yaptığı geniş kapsamlı çalışmalarda malzeme üzerinde gözle gözükmeyen çatlakların mukavemeti çok azalttığını saptamıştır.

Yüzeyinde veya içerisinde eliptik bir çatlak içeren malzemede çatlak ucunda yüksek gerilme yığılması doğar. Çatlak ucundaki max gerilme ( $\sigma_m$ ) ortalama  $\sigma$  gerilmesinden çok büyüktür ve şu bağıntıyla hesaplanır.

$$\sigma_m = 2 \sigma ( c / r )^{1/2} \quad (2.1)$$

$c \Rightarrow$  iç çatlağın boyunun yarısı

$r \Rightarrow$  çatlak ucu eğrilik yarıçapı



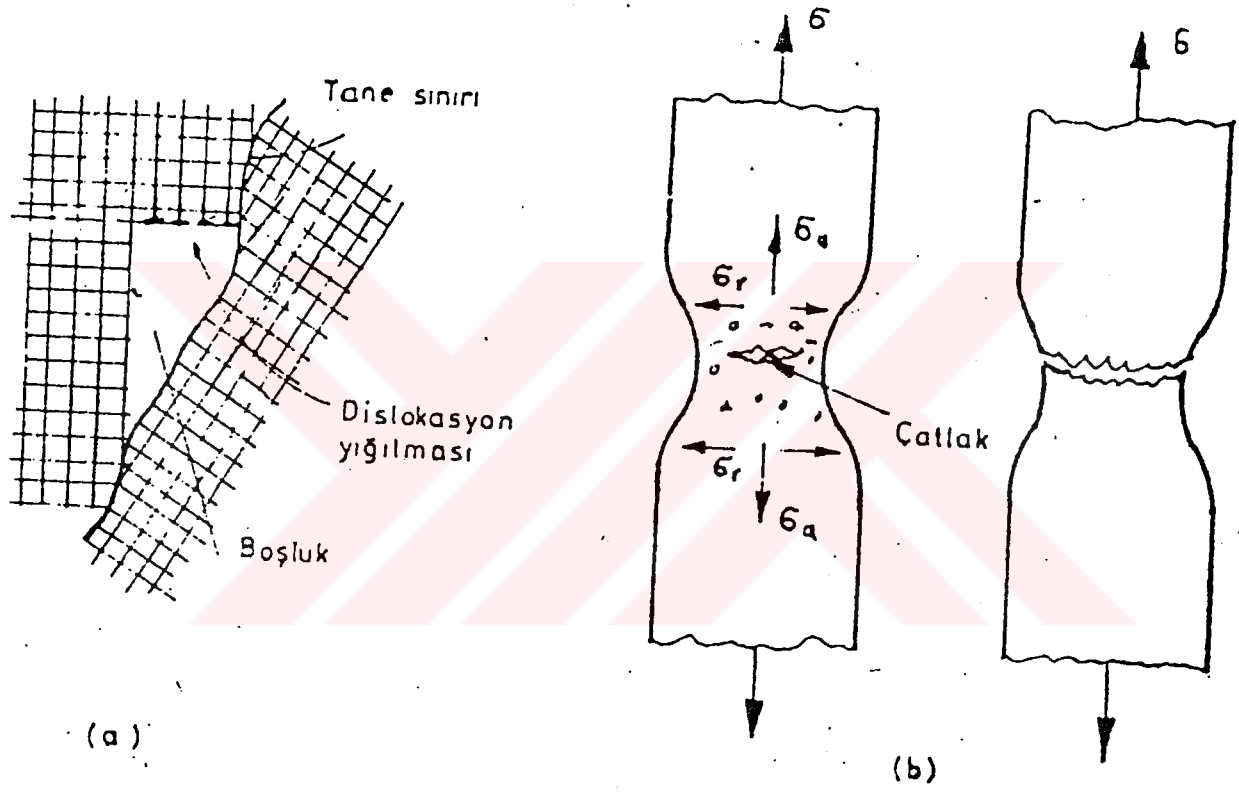
Şekil 2.3 Çentik ve çatlak ucunda gerilme yığılması

Maksimum gerilmenin ortalama gerilmeye oranına gerilme yığılması faktörü (k) denir. Bu yalnızca çatlak geometrisine bağlıdır.

Griffith' in önerdiği teoriye göre gerilmenin çatlak çevresinde oluşturacağı elastik enerji yeni oluşacak yüzeylerin yüzey enerjisine eşit olunca çatlak yayılmaya başlar.

#### 2.1.4 Sünek Kırılma :

Sünek malzemelerde kırılma önemli ölçüde plastik şekil değiştirme ve büzülmeden sonra oluşur ve oldukça büyük enerji absorbe eder. Bütün kırılma olaylarında olduğu gibi sünek kırılmadan önce de çatlak doğar sonra bu çatlak yayılarak ani kırılmayla son bulur.



Şekil 2.4 - Sünek kırılma

## 2.2 Malzemelerin Zamana Bağlı Davranışları :

### 2.2.1 Genel :

Bazı durumlarda malzeme türüne ve koşullarına bağlı olarak yükleme süresi de mekanik davranışı etkiler. Hızlı yüklemelerde mukavemet artabilir , süneklik azalabilir, yavaş yüklemelerde tersi olabilir. Gerilme sabit kaldığı halde şekil değiştirme zamanla artabilir. Uygulamada yapı sistemlerinde gerilmenin yanında şekil değiştirmelerinde sınırlandırılması gerekir.

Malzemenin zamana bağlı üç çeşit davranışı vardır.

### 2.2.2 Elastik Davranış :

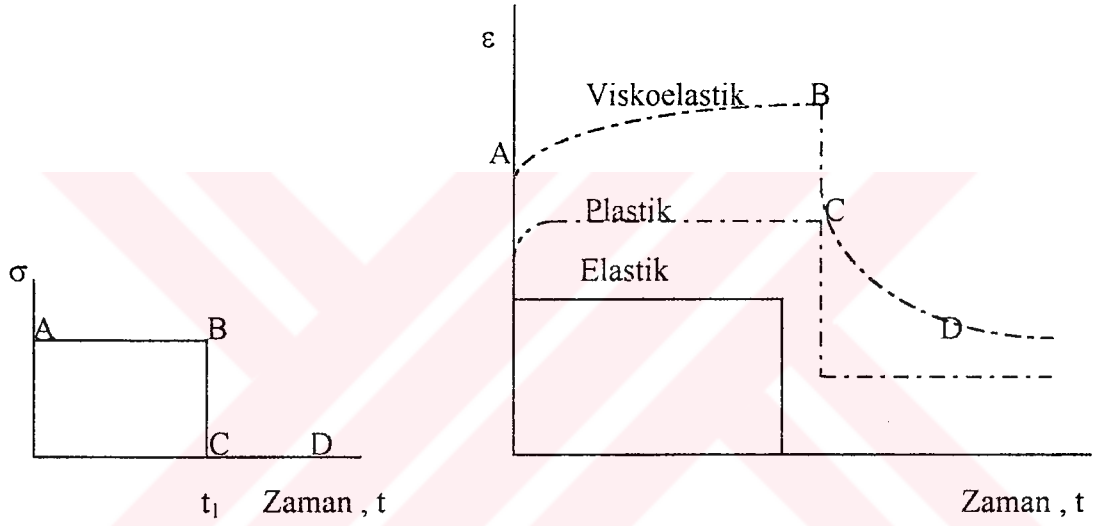
Bir malzemeye şekil 2.5'te görüldüğü gibi yükleme-boşaltma programı uygulandığı zaman şekil değiştirmeye gerilme aynı anda oluşur. Gerilme sabit kaldığında şekil değiştirme sabit kalır , gerilme sıfır olduğunda şekil değiştirme sıfır oluyorsa , başka bir deyimle eş zamanlı olarak değişirlerse bu davranışa elastik davranış denir. Elastik cisimlerde şekil değiştirme gerilmenin son değerine bağlıdır , geçmişte aldığı değer etkisi yoktur.

### 2.2.3 Plastik Davranış :

Malzemeye akma sınırı üzerinde gerilme uygulanınca ani elastik şekil değiştirme ve onu izleyen plastik şekil değiştirme kısa sürede oluşur ve zamanla değişmez. Yük kaldırıldıktan sonra ani elastik toparlanmadan sonra plastik şekil değiştirme kalır. Plastik şekil değiştirme zamandan ve normal koşullarda yükleme hızından bağımsızdır , yalnız gerilmenin geçmişte aldığı en büyük değerine bağlıdır.

### 2.2.4 Viskoelastik Davranış :

Bu tür davranış gösteren cisme sabit gerilme uygulanınca ani elastik uzama , onu izleyen zamanla sürekli artan uzama görülür. Yük kaldırılınca ani elastik toparlanma ve sonra hızı zamanla azalan gecikmiş toparlanma oluşur. Viskoelastik davranışta yükleme hızının ve yükleme süresinin şekil değiştirmede etkisi vardır. Herhangi bir andaki şekil değiştirme gerilmenin geçmişte aldığı bütün değerlere bağlıdır. Ayrıca sıcaklıkta bu tür davranış için önemli bir etkidir.



Şekil 2.5 - Elastik , plastik ve viskoelastik davranış

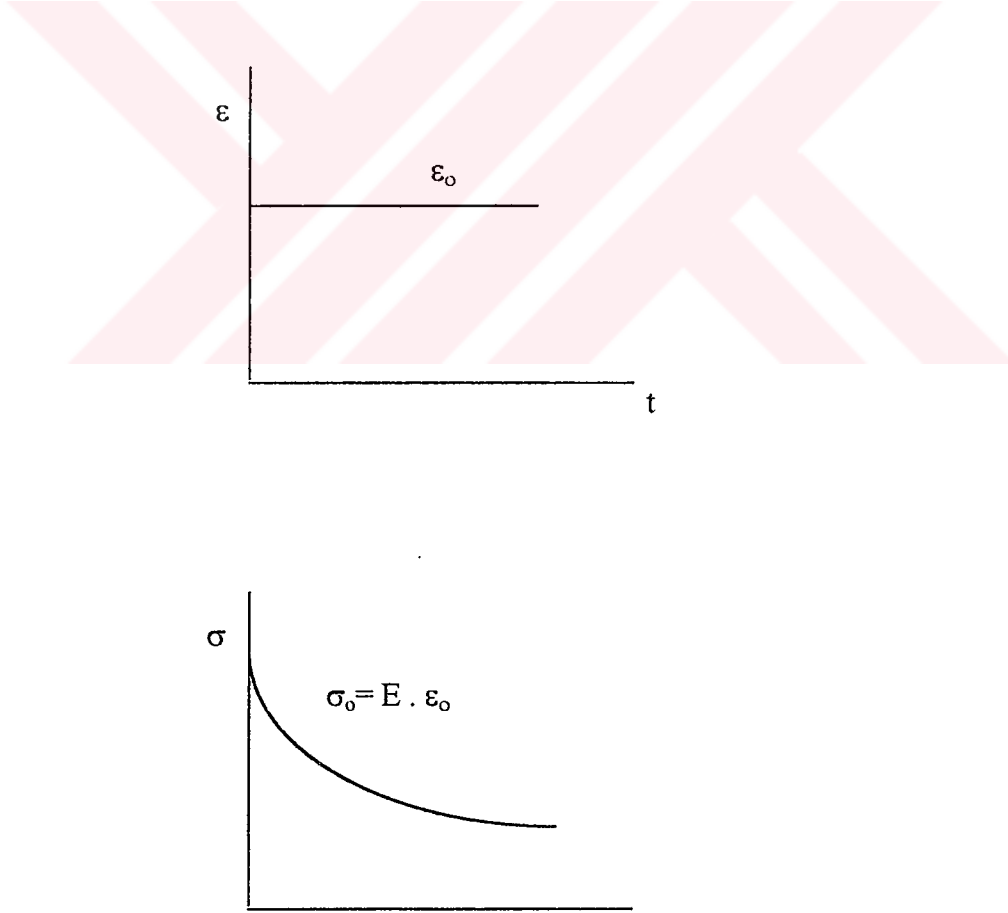
### 2.2.5 Sünme :

Sünme sabit gerilme altında malzemelerde zamanla sürekli oluşan şekil değiştirme olarak tanımlanır. Betonda oda sıcaklığında sünme oluşur , özellikle yüksek binalarda sünmeyi önleyici önlemler alınmalıdır.

### 2.2.6 Gevşeme:

Sabit şekil değiştirme uygulanan bir malzemede gerilmenin zamanla azalmasına gerilme gevşemesi veya rölaksasyon denir. Gevşeme sünme gibi zamana bağlı bir davranıştır. Şekil 2.6'da görüldüğü gibi malzemeye  $\epsilon_0$  kadar bir ilk uzama uygulaması ve sabit tutulursa gerilme zamanla azalır. Gevşeme denen bu olay gerçekte sünme olayından kaynaklanır. Bazı uygulama alanlarında gevşeme olayının gözönüne alınması gerekir.

Öngerilmeli betonarme elemanlarda kullanılan donatı çeliklerinde gevşemenin düşük olması gerekir.



Şekil 2.6 - Gevşeme eğrisi

## **2.3 Betonda Meydana Gelen Hasarlar :**

### **2.3.1 Erken Yaşta Meydana Gelen Hasarlar :**

Erken yaşta betonda oluşabilecek bozulmaların doğuracağı sonuçlar ilerde hasar oluşumu için neden teşkil edebilirler.

### **2.3.2 Taze Betondaki Hasarlar :**

Betonda dikkat edilmesi gereken en önemli bileşenlerden birisi sudur. Taze betonda yer çekimi kuvveti ağır parçaları aşağıya çekmeye çalışır. Ağır parçalar aşağıya doğru inerken su yüzeye çıkar. Yeterli suyla yapılmış betonda bu olay gözlenmez. Fazla suyun kullanıldığı betonlarda oluşan bu olayın neden olduğu zararlı etkiler şunlardır.

- Betonun bünyesinden ayrılmış su donatıların altında sıkışabilir. Bu durumda beton ile donatının temas yüzeyi azalır. Bu olay aderans kaybını ve donatının alt bölümünde korozyonu beraberinde getirmektedir.
- Su agregaların altında sıkışıp kalabilir ve eğer bu agregalar yüzeye yakınlarsa don etkisi nedeniyle beton yüzeyinden kopmalara , dökülmelere neden olabilirler.
- Suyun yükselmesi sırasında aşağıya çöken agregalar donatıların üzerinde kalabilirler. Beton sertleşince bu bölgelerde çatlaklar oluşur.
- Sıcaklığın fazla olduğu hava koşullarında yüzeye çıkan su buharlaşır. Su kaybeden betonda da çatlaklar meydana gelir.

### **2.3.3 Isı Etkileri :**

Önceden dökülmüş ve sertleşmiş betonun üzerine dökülen perdelerde veya duvarlarda termal hareketler sonucu çatlaklar oluşabilir. Yeni dökülen beton soğurken sertleşmiş beton , arakesit bölgesinde büzölmeye karşı direnç gösterecektir. Bu da yeni dökülen betonda çatlak oluşumuna neden olacaktır.

Termal çatlaklar kütle betonda da görülebilir. Dökülen betonun dış tabakaları soğurken iç bölgesi hala ısı etkisiyle genişleme eğiliminde ise çatlaklar meydana gelir.

#### **2.3.4 Rötire :**

Rötire taze betonda suyun sistemden ayrılarak buharlaşmadır. Su buharlaştığında betonda bir büzülme oluşur. Bu büzülmeden dolayı geniş ve dağınık çatlaklar gözlenebilir. Genellikle bütün betonlarda büzülme ve termal etkiler nedeniyle mikro çatlaklar oluşabilir. Bu çatlaklar büyük boyutlara ulaştınca problem yaratırlar.

#### **2.3.5 Beton Karışımındaki Elemanlardan Dolayı Oluşan Hasarlar :**

Bu etkilerin sebebi beton karışımında bulunması istenmeyen maddelerden kaynaklanmaktadır.

#### **Alkali -Agrega Reaksiyonu :**

Alkali - agrega reaksiyonu bir hacim genişlemesi olayıdır. Bazı çimentolarda bulunan  $\text{Na}_2\text{O}$  ve  $\text{K}_2\text{O}$  gibi alkali oksitler , agregaların bünyesinde bulunabilen aktif silisle reaksiyona girerek bir silikat jeli oluştururlar. Bazı durumlarda bu jel agregalar arasındaki boşlukları doldurarak hasar yaratmaz ama bazı durumlarda ise hacmi genişleyen jel basınçtan dolayı betonda çatlaklar oluşmasına neden olur. Beton sertleştiği zaman jel yapı büzülür ve çatlakları genişletmeye devam eder.

### 2.3.6 Dış Etkilerden Dolayı Meydana Gelen Hasarlar :

Beton gözenekli ve geçirgen bir yapıya sahiptir. İyi betonda geçirgenlik düşük olmalıdır. Betonun yüzeyinde onu koruyacak bir tabaka oluşturulmalıdır. Bu tabakanın ortadan kalması betonu çevre etkilerine karşı korumasız bırakacaktır. Betonun zarar görebileceği etkiler şunlardır.

- Atmosferik koşullar
- Asit etkisi
- Sülfat etkisi
- Don etkisi
- Tuz kristalizasyonu
- Yangın hasarları
- Korozyon

### 2.3.7 Beton İçin Zararlı Faktörler :

Beton için zararlı faktörler ve doğurabileceği sonuçlar aşağıdaki tabloda kısaca özetlenmiştir.

**Tablo 2.1 - Beton İçin Zararlı Faktörler**

| FAKTÖRLER  | DOĞABİLECEK SONUÇ   |
|--|---|
| <u>İKLİM</u><br>-Çok yüksek sıcaklıklar<br>-Yüksek ısı değişimleri<br>-Kurutucu rüzgarlar<br>-Yüksek nem değişiklikleri<br>-Buharlaşma   | Plastik oturma çatlakları , büzülme çatlakları , ince sır çatlakları , ani ve büyük çökmeler  |
| <u>MALZEME</u><br>-Kirli , tozlu agrega<br>-Dayanısız agrega<br>-Değişkenlik gösteren çimento<br>-Delikli agrega<br>-Agresif maddeli su  | Ani ve büyük çökme , ince sır çatlakları , düşük mukavemeti beton ,yüzey hataları ,donatı paslanması ve bunun sonucunda oluşan çatlaklar , alkali-agrega reaksiyonu |
| <u>İŞÇİLİK</u><br>-Zayıf vibrasyon<br>-Birbiriyle uyuşmayan kalıplar<br>-Kötü kür<br>-Yüksek su/çimento oranı<br>-Uygunsuz karışım tasarımı                                      | Yüzey çatlakları , iç boşluklar , peteklenme , düşük mukavemet , plastik oturma   |
| <u>PROJE VE TASARIM</u><br>-Kalite kontrolüne önem verilmemesi<br>-Yapıtı erken servise açmak<br>-Beton döküm sırasının önemsenmemesi<br>-Tasarımında detayların iyi verilmemesi | Düşük kaliteli beton ,betonda istenmeyen gerilmeler, iklim ,malzeme ve işçilik kaynaklı hasarların daha kolay oluşması  |

## BÖLÜM 3 :

### ÇATLAK VE SEHİMLERLE İLGİLİ ŞARTNAME KAYITLARI :

#### 3.1 TSE-500 / Nisan 1984'e Göre Sehim ve Çatlak Kontrolü :

##### 3.1.1 Sehim Kontrolü :

Sehim hesabı için elemanın ekseni boyunca değişik şiddette momentlere maruz kalması sonucu çatlamasıyla , sünme ve rötre etkileri dikkate alınmalıdır.

Ani sehim hesabında öz ağırlık ve hareketli yüklerin toplamı , zamana bağlı sehimde de yalnızca kalıcı yükler dikkate alınmalıdır. Plakların sehim hesabında plak boyutları , geometrisi , mesnet koşulları ve plak çevresindeki elemanların rijitlikleri göz önünde bulundurulmalıdır.

Basit donatılı kesitler için  $\rho$  , çift donatılı kirişler için  $(\rho-\rho')$  aşağıdaki sınırları geçmediği takdirde sehim kontrolüne gerek yoktur.

$$\rho \text{ veya } (\rho-\rho') \leq 0,18 (f_{ck}/ f_{yk}) \quad (3.1)$$

$$\text{veya } \leq 0,235(f_{cd}/f_{yd}) \quad (3.2)$$

Ani sehim hesabında elemanın doğrusal -elastik davrandığı kabul edilir ve bu davranışa uygun bağıntılar kullanılır.

$$\text{Betonun elastisite modülü} \Rightarrow E_c = 3250 \sqrt{f_{ck}} + 14000 \text{ n/mm}^2 \quad (3.3)$$

Çatlamayı içeren eylemsizlik momenti  $\Rightarrow$

$$I_{ef} = (M_{cr} / M_{max})^3 I_c + [1 - (M_{cr} / M_{max})^3] I_{cr} \quad (3.4)$$

$$M_{cr} = 1,3 f_{ct} ( I_c / y) \quad (3.5)$$

Sürekli kirişlerde mesnetteki eylemsizlik momentlerinin açıklıktakine oranı ikiden küçük , mesnet momentide ankastrelik momentine eşit veya daha küçük olduğu durumlarda , açıklık ortasında hesaplanan eylemsizlik momenti açıklık boyunca geçerli sayılabilir.

Aksi taktirde aşağıdaki eğilme rijitliği kullanılabilir.

$$[EI]_{av} = [EI]_c [1 - (M_e/M_o) + (1/\alpha_o)(M_e/M_o)] \quad (3.6)$$

$$M_o = M_e + M_c \quad \alpha_o = ([EI]_c/[EI]_e)$$

$[EI]_c \Rightarrow$  açıklık ortası eğilme rijitliği

$[EI]_e \Rightarrow$  iki mesnedin ortalama eğilme rijitliği

$M_c \Rightarrow$  açıklık momenti

$M_e \Rightarrow$  mesnet momentlerinin ortalaması

### 3.1.2 Zamana Bağlı Sehim :

Uzun süreli sehim şu bağıntıdan hesaplanabilir.

$$\Delta t = \Delta i + \Delta ig * \eta \quad (3.7)$$

$$\eta = 2,5 / [1 + 0,7 (As / As')]$$

$\Delta i \Rightarrow$  toplam ani sehim

$\Delta ig \Rightarrow$  ani sehimin yalnız kalıcı yükler tarafından oluşanı

### 3.1.3 Sehim Sınırları :

Eğilme ile zorlanan kiriş ve döşeme gibi yapı elemanlarının boyutları çizelgede belirtilen koşulları sağlıyorsa sehim hesabına gerek yoktur. Bu şartlar sağlanmıyorsa sehim hesabı yapılmalı ve bu değerlerin sınırları geçip geçmediği kontrol edilmelidir. Bu sınırların aşıldığı tespit edilirse eleman boyutları büyütülmelidir.

Hareketli yükü kısa süreli yüklemeler için sehim sınırları açıklık cinsinden aşağıdaki gibidir.

- Asma tavan taşımayan çatı döşemelerinde 1 / 180
- Asma tavan taşıyan çatı döşemeleri ile bölme duvar taşımayan döşemelerde 1/360
- Bölmelere bağlanması ve bölmeleri taşıması düşünülen döşemelerde , çatı yapılarında veya döşemenin fazla sehiminden ötürü hasar konusu olabilecek durumlarda , hareketli yükün kısa süreli etkisiyle rötme , sünme gibi uzun süreli etkilerden gelen toplam sehimin güvenlik sınırı 1/ 360

**Tablo 3.1 Eğilme İle Zorlanan Elemanlarda Sehim Kontrolü Gerektirmeyen Yükseklik :**

|                          | Basit Mesnetli | Sürekli Yapı Elemanları | Konsol |
|--------------------------|----------------|-------------------------|--------|
| Döşeme (küçük açıklıklı) | 1 / 25         | 1 / 30                  | 1 / 12 |
| Kiriş                    | 1 / 10         | 1 / 12                  | 1 / 5  |

### 3.1.4 Çatlak Kontrolü :

Yapının genel görünümünü bozan ve donatının aşırı korozyonuna yol açabilecek genişlikteki çatlaklara izin verilmemelidir. İzin verilen karakteristik çatlak genişlikleri ortama göre şöyledir.

**Tablo 3.2 - İzin verilen çatlak genişlikleri**

|  |        |
|--|--------|
| Normal atmosferik koşullarda iç yapı elemanlarında   | 0,4 mm |
| Nemli veya agresif atmosferde yapı iç elemanlarında ve normal atmosferik koşullarda dış yapı elemanlarında | 0,2 mm |
| Özellikle agresif bir ortamdaki içerde ve dışarıdaki yapı elemanlarında ve geçirimsizlik istenen yerlerde  | 0,1 mm |

### 3.1.5 Çatlak Genişliklerinin Hesaplanması :

Donatı merkezindeki çatlak genişliği aşağıdaki bağıntıdan hesaplanabilir.

— Düz yüzeyli çubuklar için ;

$$W_m = 1,2 [ 2c + 0,12 ( \phi / \rho_r ) ] ( \sigma_s / E_s ) \quad (3.8)$$

— Nervürlü çubuklar için ;

$$W_m = [ 2c + 0,12 - ( \phi / \rho_r ) ] ( \sigma_s / E_s ) [ 1 - 0,7 ( \sigma_{sr}^2 / \sigma_s^2 ) ] \quad (3.9)$$

$$W_k = 1,7 W_m \quad (3.10)$$

$W_m \Rightarrow$  ortalama çatlak genişliği (mm)

$W_m \Rightarrow$  karakteristik çatlak genişliği

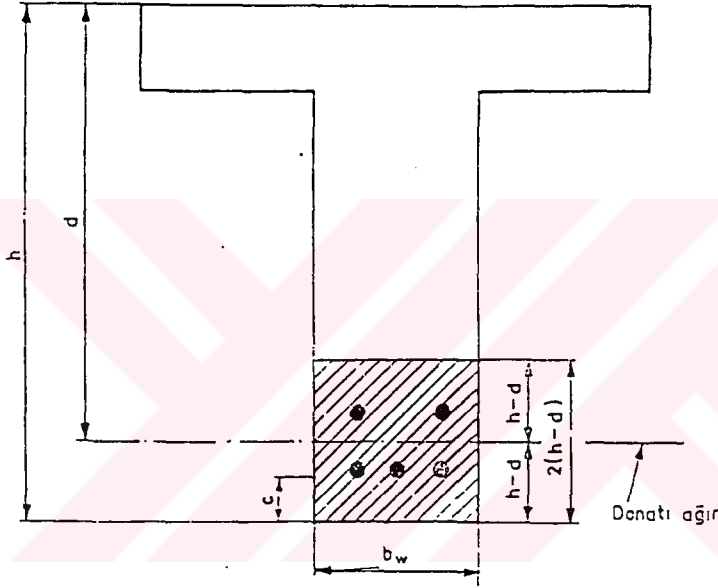
$c \Rightarrow$  dış yüzeye en yakın olan çekme çubuğunun beton örtüsü (mm)

$\phi \Rightarrow$  donatı çapı

$\rho_r \Rightarrow A_s / [b_w 2 (h-d)]$

$\sigma_s \Rightarrow$  kullanım yükleri altında donatıdaki gerilme

$E_s \Rightarrow$  çeliğin elastisite modülü  $2 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$



Şekil 3.1 - Eksenel çekme altında kiriş kesiti

Eksenel çekme altındaki elemanlar için çatlak genişlikleri hesaplanırken , nervürlü çubuklar için kullanılan bağıntılar geçerlidir. Burada  $\rho_r$  yerine toplam kesite göre donatı yüzdesi  $\rho$  kullanılmalıdır.

Karakteristik çatlak genişliğinin 0,1 mm ile sınırlandırıldığı yapılarda düz yüzeyli donatı kullanılmalıdır.

## 3.2 ACI 318-89'a G6re Sehim ve atlak Kontrol6 :

### 3.2.1 Sehim Kontrol6 :

Betonarme elemanların deformasyon hesabı , homojen ve doğrusal elastik davranış g6steren malzemelerden yapılmış elemanlara oranla çok daha karmaşık ve kesin olmaktan uzaktır. Bunun en 6nemli nedenlerinden biri , atlamamın deformasyon 6zerindeki etkisidir. Çatlama sistematik bir olay değildir. Açıklık boyunca b6y6k değişiklikler g6sterebilir. Betonarme elemanlarda çatlama , eğilme gerilmeleri nedeniyle olabileceği gibi kayma gerilmelerinin oluşturduğu eğik çekme gerilmelerinden de meydana gelebilir. Bu iki t6r atlamamın deformasyon 6zerindeki etkileri de değişik olur. B6t6n bu nedenlerle elemanın eğilme rijitliği açıklık boyunca değişeceğinden deformasyonun kesin hesabı olanaksızdır.

Betonarme elemanlarda meydana gelen toplam deformasyonun , ani y6klemelerden ve buna ilaveten ilk deformasyonun 6 katı kadar b6y6kl6kte oluşacak deformasyonun zamana bağlı olarak değiştiği de unutulmamalıdır. Zamana bağlı deformasyon , betonda oluşan r6tre ve s6nmeye , basınc donatısına ve evre koşullarına g6re değişir.

B6t6n bu nedenlerle deformasyon kontrol6 için geliştirilen veya geliştirilecek y6ntemlerin mukavemet hesabı için geliştirilmiş y6ntemler kadar gerçekçi sonuç vermesi d6ř6n6lemez. Zaten deformasyon hesabında aranan kesinlik hiçbir zaman mukavemet hesabında aranan kesinlik kadar fazla değildir.

Ancak son yıllarda çeşitli deney sonuçlarından yararlanılarak geliştirilen modern ve pratik y6ntemler kullanıldığı taktirde deformasyon hesaplarında yapılabilecek hata kabul edilebilir sınırlar içerisindedir.

### 3.2.2 Sehımlerin Kontrol Nedeni :

Sehimleri kontrol altında tutmak lüzumu vardır. Kullanılan beton ve yüksek mukavemetli çelik , ileri mukavemet hesaplarına giriş daha narin yapıların tasarlanmasını mümkün kılmıştır . Modern bina inşaatlarında dahi taşıyıcı duvarlara ve perdelere sık sık ihtiyaç duyulmuştur .Bu gibi taşıyıcı elemanların deformasyonları sonucu taşıyıcı olmayan elemanlar yıkılarak veya geniş çatlaklar oluşturarak hasara yol açabilirler.

Bunun için işletme yükleri altındaki eğilebilir elemanların izin verilir sınırlar içerisinde olmasına ehemmiyet verilir. Amerikan beton komitesinin 435 sayılı raporuna göre izin verilir sehımler , sehımlerin etkilerine göre dört geniş başlık altında guruplandırılmıştır.

- Kabul edilebilir duyarlılık
- Yapının işletebilirliği
- Taşıyıcı olmayan elemanlar üzerindeki etkiler
- Taşıyıcı elemanlar üzerindeki etkiler

İşletme yükleri altında son deformasyon sınırında olan ve yeterli rijitliğe haiz hasar görmüş elemanların sehımleri daha önce alınacak tedbirlerle kontrol altına alınabilir. Oluşan sehımler , normal olarak elemanlarda yatay ve düşey yer değiştirmelerdir. Mesnetlenmiş veya bölümleri birbirine bağlı olmayan ve diğer buna benzer yapısal düzenlemeler büyük sehımler neticesi hasar görürler. Bundan dolayı izin verilen sınırlar içerisinde sehım meydana gelmesi açısından aşağıdaki tabloda tanımlandığı gibi bu kalınlık değerlerinden az olmamak şartıyla elemanların kalınlıklarını tayin etmek gereği vardır.

### 3.2.2 Sehımlerın Kontrol Nedenı :

Sehımlerı kontrol altında tutmak lüzumu vardır. Kullanılan beton ve yüksek mukavemetlı elik , ilerı mukavemet hesaplarına gırış daha narin yapıların tasarlanması mümkün kılmıştır . Modern bina inşaatlarında dahi taşıyıcı duvarlara ve perdelere sık sık ihtiyaç duyulmuştur .Bu gibi taşıyıcı elemanların deformasyonları sonucu taşıyıcı olmayan elemanlar yıkılarak veya geniş çatlaklar oluşturarak hasara yol açabilirler.

Bunun için işletme yükleri altındaki eğilebilir elemanların izin verilir sınırlar içerisinde olmasına ehemmiyet verilir. Amerikan beton komitesinin 435 sayılı raporuna göre izin verilir sehımler , sehımlerin etkilerine göre dört geniş başlık altında guruplandırılmıştır.

- Kabul edilebilir duyarlılıklđ
- Yapının işletebilirliği
- Taşıyıcı olmayan elemanlar üzerindeki etkiler
- Taşıyıcı elemanlar üzerindeki etkiler

İşletme yükleri altında son deformasyon sınırında olan ve yeterli rijitliğe haiz hasar görmüş elemanların sehımleri daha önce alınacak tedbirlerle kontrol altına alınabilir. Oluşan sehımler , normal olarak elemanlarda yatay ve düşey yer değiştirmelerdir. Mesnetlenmiş veya bölümleri birbirine bağlı olmayan ve diğer buna benzer yapısal düzenlemeler büyük sehımler neticesi hasar görürler. Bundan dolayı izin verilen sınırlar içerisinde sehım meydana gelmesi açısından aşağıdaki tabloda tanımlandığı gibi bu kalınlık değerlerinden az olmamak şartıyla elemanların kalınlıklarını tayin etmek gereği vardır.

**Tablo 3.3 - Minimum kalınlıklar (h)**

|  | Basit mesnetli | Bir ucu ankastre | İki ucu ankastre | Konsol |
|--|----------------|------------------|------------------|--------|
| Tek doğrultulu döşemelerde                   | L/20           | L/24             | L/28             | L/10   |
| Kirişlerde veya nervürlü tek doğrultulu döş. | L/16           | L/18,5           | L/21             | L/8    |

**Tablo 3.4 - İzin verilebilir maksimum sehimler**

| Eleman tipi   | Düşünülen sehim   | Sehim sınırı |
|---|---|--------------|
| Asma tavan taşımayan basit mesnetli çatı döşemelerinde  | sadece hareketli yükten ileri gelen ani   | L/180        |
| Bölme duvarlara bağlanması yada bölmeleri taşınması düşünülen basit mesnetli döşemelerde yada döşemenin aşırı sehiminden dolayı taşıyıcı olmayan elemanların hasar görmesi beklenen durumlarda      | sadece hareketli yükten ileri gelen ani sehim   | L/360        |
| Bölme duvarlara bağlanması yada bölmeleri taşınması düşünülen kenarları sürekli döşemelerde yada döşemenin aşırı sehiminden dolayı taşıyıcı olmayan elemanların hasar görmesi beklenen durumlarda   | hareketli yükün kısa süreli etkisiyle rötire ve sünme gibi uzun süreli etkilerle oluşan sehim | L/480        |
| Bölme duvarlara bağlanması yada bölmeleri taşınması düşünülen kenarları sürekli döşemelerde yada döşemenin aşırı sehiminden dolayı taşıyıcı olmayan elemanların hasar görmesi beklemeyen durumlarda |   | L/240        |

L ⇒ eleman açıklık uzunluğu

### 3.2.3 Sehımlerın Hesaplanması :

İşletme yükleri altında betonarme elemanlarda sehımlerın tam doğrulukla tanımlanması zordur. Donatısı simetrik olmayan kirişlerde , betondaki rötreten dolayı sehımler meydana gelir ki bu sehıme yüklerden ileri gelen sehım eklenir. Kalıcı işletme yükleri altındaki elemanlarda sünmeden ileri gelen ve azar azar büyüyen sehımler de görülür .

Değişik sıcaklık ve nem oranları tesiri ile değişik boyutlarda rötre ve sünme meydana gelir. Çeşitli şartlarda zamanla yükler altında eskiyen beton ve diğer kesit dışındaki faktörler de rötre ve sünmeyi artırır.

Sehımler neticesinde betonda oluşacak çatlaklar eğilme rijitliğini azaltır. Bu belirsiz büyüyen , genişleyen çatlaklar elemanlarda etkili atalet momentinin belirlenmesini zorlaştırır. Bununla birlikte sehımlerın belirlenmesi %20 hata payı dahilinde mümkündür. Bu ki bir çok pratik maksatlar ve durumlar için yeterli doğruluktadır.

Sehımler iki aşamada hesaplanabilir:

- İlk yükmeden meydana gelen ani sehım
- Zamanla meydana gelen ve ani sehıme eklenen sehım

### 3.2.4 Sehım Hesaplarında Kullanılacak Eğilme Rijitliği Hesabı:

Bilindiği gibi betonarme elemanlarda eğilmeğe karşı direnç gösteren unsurlar, betonun haiz olduğu elastisite modülü ile betonarme kesitin atalet momentidir. Bunların birbirleri ile çarpımı eğilme rijitliği olarak adlandırılır.

ACI yönetmeliğinde normal ağırlıklı betonlar için kullanılan beton elastisite modülü aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$E_c = 4730 \sqrt{f_{ck}} \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (3.11)$$

$f_{ck} \Rightarrow$  betonun karakteristik basınç mukavemeti

Atalet momenti ise , elemanın çatlamış veya çatlamamış olması ile doğrudan ilgilidir. Şayet işletme yükleri betonu çatlatmayacak büyüklükte maksimum çekme gerilmeleri oluşturuyorsa çatlamamış kesit temel alınarak hesap yapılır . Yani çekme gerilmelerinin betonun kırılma modülünden küçük olması gerekir. Buradan da anlaşılacağı gibi bu varsayım; çekme çatlakları meydana gelmeden önce yapılan bir kabuldür. Bu durumda atalet momenti olarak , çatlamamış beton kesitte merkezden geçen eksene göre alınan atalet momenti (  $I_c$  ) alınmalıdır. Donatının eşdeğer beton alanına dönüştürülmesi dikkate alınmayacaktır. Daha doğrusu çatlamamış kesitte alınan atalet momentinde , donatı eşdeğer beton alanına dönüştürülerek dikkate alınabilir. Bundan dolayı atalet momenti %30 oranında artabilir. Bunun önemi fazla değildir. Elemanda meydana gelen eğilme momentinin meydana getirdiği çekme gerilmeleri , betonun kırılma modülünü aşacak kadar büyük ise çatlaklar çeşitli aralıklarla eleman boyunca oluşur ve kesitin atalet momenti çatlaklar yüzünden değişir. Bu değişime az donatılı kesitlerde , çok donatılı kesitlere nazaran daha fazladır.

Çatlamış kesitin atalet momenti , beton kesitin çekme bölgesindeki (çatlamış) betonun atalet momenti ihmal edilerek ve betonarme kesit eşdeğer beton kesite dönüştürülerek belirlenir. Yani donatı alanı eşdeğer beton alanına dönüştürülürken modüler oran ile çarpılır.

$$n = E_s / E_c \quad (\text{modüler oran}) \quad (3.12)$$

Beton kesitteki çekme çatlakları arasındaki çatlamamış beton biraz çekme gerilmesi taşır. Çünkü çekme gerilmesi çelikten betona aderans sayesinde geçer. Bunun için betonun gerekli aderans boyuna ihtiyaç vardır.

Bu sayede çatlaklar arası beton , çelikle beraber çekme gerilmeleri taşıyarak elemanın rijitliğini sağlar. Bir de eleman içinde betonu çatlatmayacak kadar az eğilme momentine maruz bölgeler de vardır. Bu yüzden çatlamış elemanlarda etkili atalet momenti alınması istenir. Bu ise , beton kesitte çatlamanın etkisi göz önüne alınarak bulunan atalet momentidir.

ACI 318 bildiğine göre bir kesitte etkili atalet momenti aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$I_e = (M_{cr} / M_{max})^3 \cdot I_c + [1 - (M_{cr} / M_{max})^3] \cdot I_{cr} \quad (3.13)$$

$I_c \Rightarrow$  çatlanmamış beton kesitin atalet momenti

$I_{cr} \Rightarrow$  eşdeğer betona dönüştürülmüş çatlama kesitin atalet momenti

$M_{max} \Rightarrow$  işletme yükleri altındaki elemanda meydana gelen max moment ( sehimin hesaplandığı kesitte )

$M_{cr} \Rightarrow$  kesitte ilk çatlama neden olan moment

$$M_{cr} = f_r \cdot I_c / y_t \quad (3.14)$$

$f_r \Rightarrow$  betonun kırılma modülü ( Eğilme tesiri ile oluşacak çatlama hesaplarında kullanılır. Birim uzunluktaki betonun çekme gerilmesi kapasitesidir).

- normal ağırlıklı betonlar için  $f_r = 0,62 \sqrt{f_{ck}} \text{ (N/mm}^2\text{)}$

- tüm hafif betonlar için  $f_r = 0,47 \sqrt{f_{ck}} \text{ (N/mm}^2\text{)}$

$y_t \Rightarrow$  beton kesitin tarafsız eksenine ile en uç çekme gerilmesi lifi arasındaki mesafe

Etkili atalet momenti eşitliğinde iki sınır vardır.  $I_c$  ve  $I_{cr}$  dir. Yani  $I_c > I_e > I_{cr}$  dir. Bu eşitlik çatlakların genişlemesine bağlıdır.  $M_{cr} / M_{max}$  oranı küçülürse  $I_c$  de o oranda küçülür.

Sürekli kirişler için etkili atalet momenti olarak, pozitif ve negatif moment bölgeleri için belirlenen ( $I_e$ ) değerlerinin ortalaması alınmalıdır.

### 3.2.5 Ani Şahimlerin Hesabı :

İşletme yüklerinden ileri gelen ani şahimlerin hesabında elastik teori eşitlikleri kullanılır.

$$\Delta = \beta \cdot ( M \cdot L^2 / E_c \cdot I_e ) \quad (3.15)$$

$\Delta \Rightarrow$  işletme yükü altında elemandaki ani sehim

$\beta \Rightarrow$  mesnetlenme şartlanma ve yük durumuna bağlı katsayı

$E_c \Rightarrow$  betonun elastisite modülü

$M \Rightarrow$  sehim hesabı yapılan kesitte işletme yüklerinden meydana gelen max moment

$L \Rightarrow$  elemanın açıklık uzunluğu

$I_e \Rightarrow$  Eğer betonarme eleman çatlamış ( $M_{max} > M_{cr}$ ) ise , eleman boyunca değişik yerler için hesaplanan etkili atalet momentlerinin ortalamasıdır. Eğer betonarme eleman işletme yükleri altında çatlamamış ( $M_{max} < M_{cr}$ ) ise bu durumda  $I_e$  yerine sehim hesabı yapılan yerdeki çatlamamış beton kesitin atalet momenti ( $I_c$ ) alınarak hesap yapılmalıdır.

Elemanlarda kalıcı yük tesiri ile oluşacak ani sehimler tüm kalıcı yükler düşünülerek hesap yapılır. Fakat hareketli yüklerden oluşacak ani sehimler ise aşağıdaki formülden bulunur.

$$(\Delta_i)_L = (\Delta_i)_{D+L} - (\Delta_i)_D \quad (3.16)$$

$(\Delta_i)_L \Rightarrow$  elemanda sadece hareketli yüklerden ileri gelen sehim

$(\Delta_i)_{D+L} \Rightarrow$  elemanda kalıcı ve hareketli yüklerin toplamından ileri gelen ani sehim

$(\Delta_i)_D \Rightarrow$  elemanda kalıcı yüklerden ileri gelen ani sehim

### 3.2.6 Sünme ve Rötreden Dolayı Zamanla Oluşan Sehimlerin Hesabı :

ACI yönetmeliğinde kalıcı yüklerin neden olduğu sünme ve rötreden dolayı uzun sürede oluşan sehim , yine kalıcı yüklerden meydana gelen ani sehimin bir katsayısıyla ( $k_r \cdot T$ ) çarpılmasıyla hesaplanır.

$$(k_r \cdot T) = 2 - 1,2 (A_s / A_s') \geq 0,6 \quad (3.17)$$

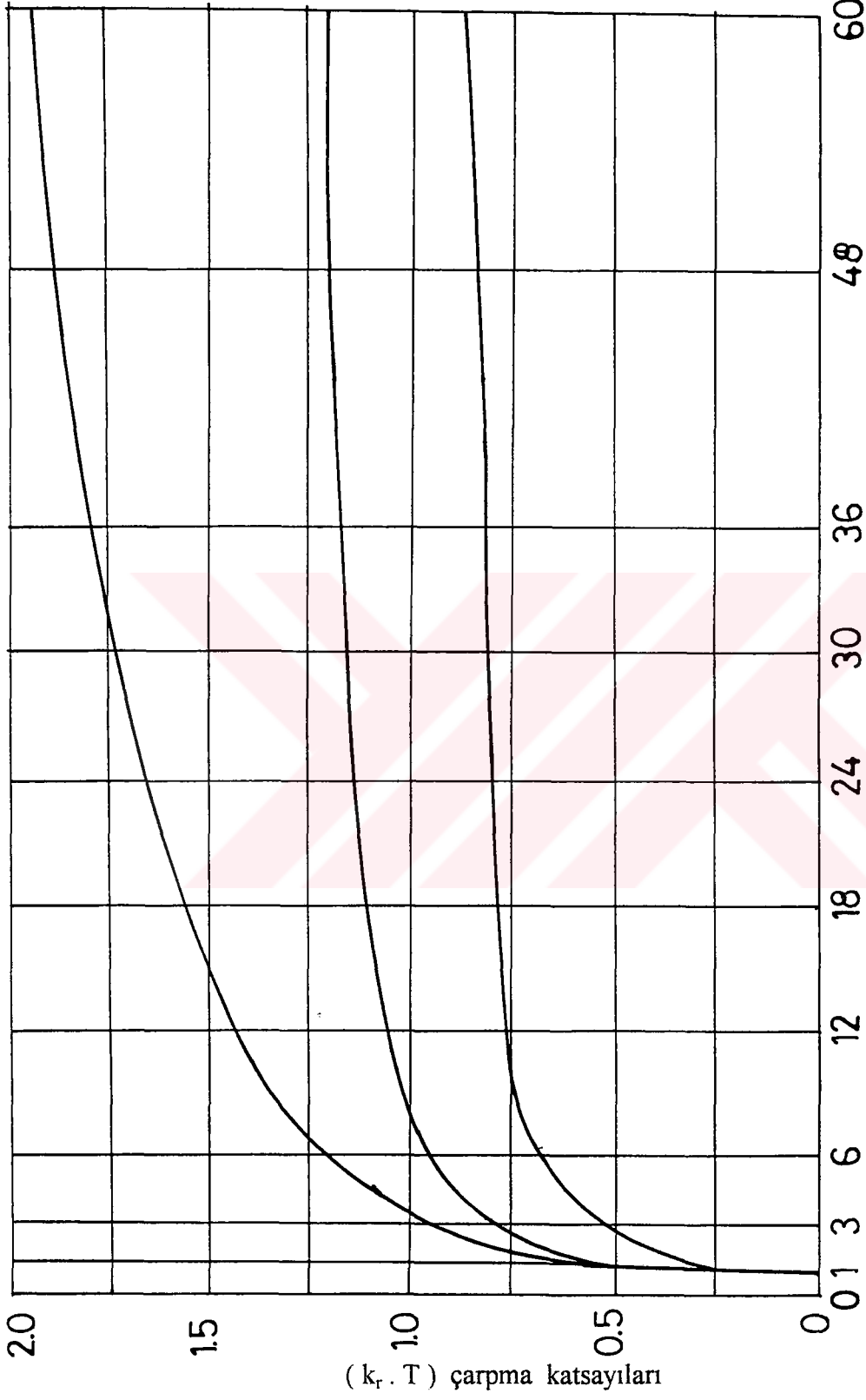
$$\Delta_{cp+ah} = (k_r \cdot T) \cdot (\Delta i)_D \quad (3.18)$$

$\Delta_{cp+ah} \Rightarrow$  sünme ve rötreden oluşan sehim

$(k_r \cdot T) \Rightarrow$  basınç çeliğinin ve betonun , rötre ve sünme üzerindeki etkisini içeren bir çarpma katsayısı.



**Tablo 3.5 - Sünme ve rötre tesirlerini göz önüne alan  $(k_r \cdot T)$  katsayıları**



### 3.2.7 Eğilebilir Elemanların Minimum Derinlikleri :

Tek doğrultuda çalışan elemanlar için ACI minimum derinlikler belirlemiştir. Diğer etkileri gözetmeksizin , sehimleri gözetererek en az sehim meydana getirecek derinlikler bulunmuştur.

**Tablo 3.6-** Ani sehim değerleri ve kesitin aldığı gerilme yüzdesine göre min derinlikler

| Kesitin gerilme yüzdesi | Ani Sehim ( $\Delta_i$ ) |                  |                  |                   |                   |
|-------------------------|--------------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|
|                         | $\Delta = L/300$         | $\Delta = L/360$ | $\Delta = L/480$ | $2\Delta = L/300$ | $2\Delta = L/360$ |
| 100                     | L/23,2                   | L/19,3           | L/14,5           | L/11,5            | L/9,7             |
| 67                      | L/35                     | L/29             | L/21,5           | L/17,5            | L/14,5            |
| 60                      | L/39                     | L/32             | L/24             | L/19,5            | L/16              |
| 50                      | L/46,5                   | L/38,5           | L/29             | L/23              | L/19,5            |

Kesitteki çekme bölgesindeki çekme çeliğinin alacağı son gerilme durumu kesitte % 100 gerilme varmış gibi düşünülmüştür.

**Tablo 3.7 -** En az sehim değerini verecek minimum derinlikler

| Eleman tipi                                       | Basit mesnetli | Bir ucu sürekli | İki ucu sürekli | Konsol |
|---|----------------|-----------------|-----------------|--------|
| Kiriş<br>$f_{yd} = 420$                           | L/16           | L/18,5          | L/21            | L/8    |
|   | $f_{yd} = 280$ | L/20            | L/23            | L/10   |
| Tek doğ-<br>rultudaki<br>döşeme<br>$f_{yd} = 280$ | $f_{yd} = 420$ | L/20            | L/24            | L/10   |
|   | $f_{yd} = 280$ | L/25            | L/30            | L/12,5 |

### 3.2.8 Çatlak Kontrolü :

Eğilme çatlakları kontrol etmek için kirişlerde ve tek yönlü plaklarda çekme donatısının uygun şekilde dağıtılması gerekmektedir. Eskiden 40.000 veya daha az psi dayanımlı donatı kullanılarak inşa edilen binalarda, servis yüklerinde donatıda düşük çekme gerilmeleri oluşmaktadır. Laboratuarda yapılan araştırmalarda saptandığına göre, çatlak genelde çelik çekme gerilmesi ile orantılıdır. Bu nedenle, servis yüklerinde donatıda düşük çekme gerilmeleri bulunan binalarda çok az sayıda eğilmeli çatlama sorunları görülmektedir.

60.000 ve 75.000 psi ve hatta daha fazla akma gerilmelerine sahip yüksek dayanımlı çeliklerin geliştirilmesinden ötürü, ve akma dayanımının daha yüksek orantılarına gerilen çelik donatı içeren dayanım tasarımının kullanılmasından ötürü, uygun donatı ayrıntıları kullanarak eğilmeli çatlakların kontrol edilmesi büsbütün önem kazanmıştır. Örnek olarak, eğer bir kirişi tasarlarken çelik akma dayanımı 40.000 psi ise, servis yüklerinde donatıda yaklaşık 20.000 psi gerilme meydana gelir. Çelik akma dayanımı 60.000 psi ise, servis yüklerinde gerilme 36.000 psi kadar yüksek bir değer olur. Eğer eğilmeli çatlama gerçekten çelik çekme gerilmesi ile orantılı ise, tasarım sürecine çatlak kontrol kriterlerinin eklenmesi gerektiği belirgindir.

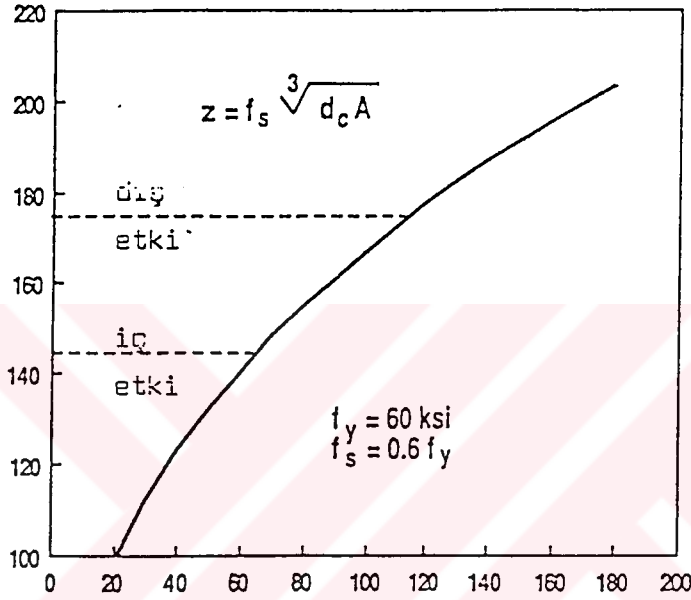
Eksenel çekmeye maruz kalan kirişlerdeki ve elemanlardaki çatlakların genişliği konusunda yapılan eski araştırmalarda, çatlak genişliğinin çelik gerilmesi ve çubuk çapı ile orantılı olduğu, fakat donatı yüzdesi ile ters orantılı olduğu saptanmıştır. Modern çubuk demirler kullanılarak yapılan yeni araştırmalar, çatlak genişliğinin çelik gerilmesi ile orantılı olduğunu onaylamıştır. Ancak, çatlak genişliğini etkileyen başka değişkenler de saptanmıştır; bu değişkenler arasında beton örtünün kalınlığı, ve herbir bağımsız donatı çubuğunu çevreleyen maksimum çekme bölgesindeki betonun yüzölçümü bulunmaktadır. Laboratuvar ölçümleri ile çok dikkatli şekilde çalışılsa bile çatlak genişliklerinin büyük ölçüde değişebildiği saptanmıştır. Bu nedenle, yasada sadece basit bir çatlak kontrol kuralı yer almaktadır; söz konusu kural, laboratuvar incelemelerine ve pratikteki tecrübelere uygun makul donatı ayrıntılarının belirlenmesi için tasarlanmıştır.

### 3.2.9 Kirişler ve Tek Doğrultudaki Döşemeler :

Yasaya göre, donatının akma dayanımı 40.000 psi'den fazla ise, eğilmeli çekme donatısı öyle düzenlenmelidir ki aşağıda belirtilen formül ile hesaplanan "z" değeri, belirtilen limitleri aşmamalıdır:

$$z = f_s^3 d_c A$$

(3.19)

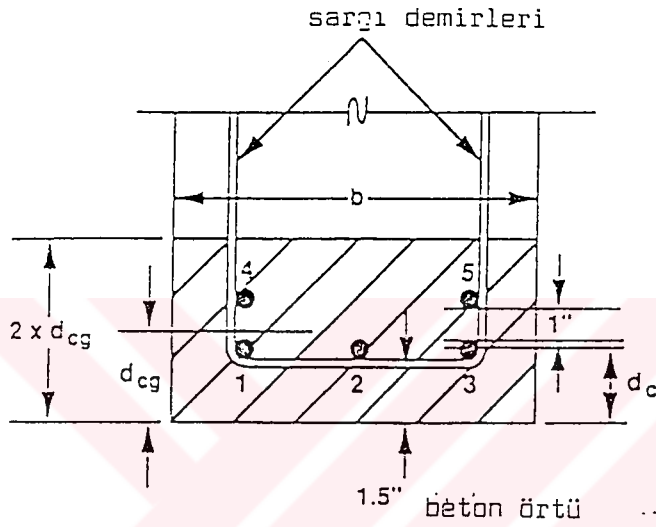


Şekil 3.2 - Z için tasarım eğrisi

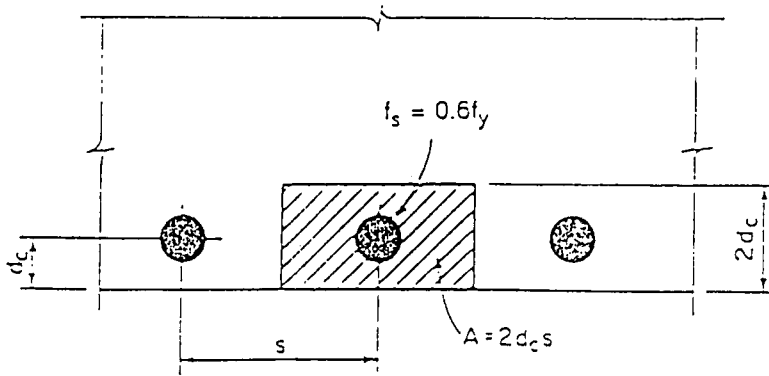
Söz konusu limitler iç etki için 175 ve dış etki için 145'tir. Denklem 3.19 , çatlak genişliğini değil donatı ayrıntılarını dikkate almak için yazılmıştır. Bu denklem, eğilme donatısının dağılımını, yeterli eğilmeli çatlama kontrolü sağlayacak hale getirmektedir. Yani çok sayıda küçük çaplı çubuk, birbirlerine yakın aralıklarla yerleştirilmektedir. Z ile  $d_c A$ 'nın karşılaştırılması eğrisi Şekil 3.2'de verilmiştir ve tasarlama için yardımcı olacaktır.

Denklem 3.19'da  $f_s$  (ksi) değeri, servis yükleri altında donatıda oluşan gerilmedir. Belirtilen akma dayanımının % 60'ı kabul edilebilir;  $f_y \cdot d_c$  (in.) ise en uzaktaki çekme lifi ile çubuğun merkezi ya da ona en yakın tel arasında ölçülen beton örtü kalınlığıdır.  $A$ (in.<sup>2</sup>) değeri eğilmeli çekme donatısını çevreleyen ve donatı ile aynı ağırlık

merkezine sahip etkin çekme alanı bölü çubuk veya tel sayısı. Eğilme desteği farklı ebatlarda çubuklardan veya tellerden oluşuyorsa, çubukların veya tellerin sayısı toplam destek yüzölçümü bölü kullanılan en büyük çubuğun veya telin yüzölçümü olur (Şekil 3.3). Bu tanımlama, demet halindeki çubuklar hariç tüm donatı ayrıntıları için uygundur.



Şekil 3.3 - Farklı ebatlarda çubuklar kullanıldığında etkin çekme alanı



Şekil 3.4 - Tablo 3.8 ve 3.9 için kriterler

Denklem 3.19'un türetildiği orjinal çatlak genişliği denkleminde, parametrelerden biri  $\beta$  faktörüdür; söz konusu  $\beta$  faktörü, en uzaktaki çekme lifi ile tarafsız eksen arasındaki mesafenin ve destek ağırlık merkezi ile tarafsız eksen arasındaki mesafenin birbirine oranıdır. Kirişlerin pratikte tasarlanmasını kolaylaştırmak için, Denklem 3.19'da  $\beta$  için yaklaşık 1.2 değeri kullanılmıştır. Orjinal denklemin geliştirilmesinden bu yana yapılan araştırmalarda, çatlak genişliği denkleminin tek yönlü plaklar için de geçerli olduğu, burada  $\beta$  değerinin yaklaşık 1.35 olduğu saptanmıştır. Bu nedenle, yasa hakkında yapılan yorumda, tek yönlü plaklar için maksimum  $z$  değerinin 1.2/1.35 oranı kadar azaltılması önerilmiştir; böylece iç etki için  $z = 156$ , dış etki için  $z = 129$  olmaktadır.  $\beta$  değerinin 1.2'den fazla olduğu diğer işlerde de benzer ayarlamalar yapılabilir.

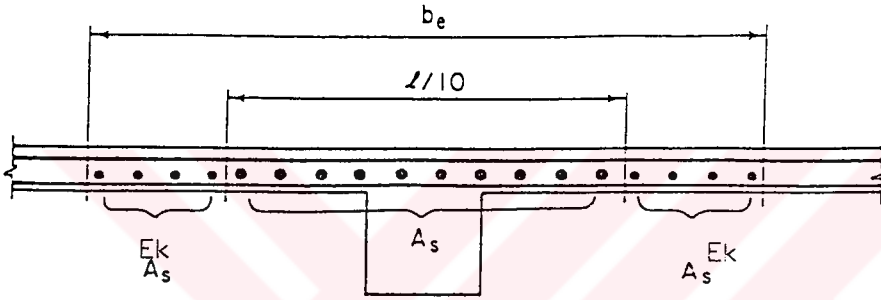
Tablo 3.8 ve 3.9, tasarıma yardımcı olmak amacı ile düzenlenmiştir ve yasada 60 kalitesi donatı için izin verilen maksimum çubuk aralıklarını göstermektedir (bkz. Şekil 3.2). Bu tablolar servis yükü gerilmesini  $f_s = 0.6 f_y$  almaktadır. Bu tablolar tek bir tabaka halinde donatı için düzenlenmiştir. Tablo 3.8 ve 3.9'da görüldüğü gibi, normal donatı aralığı genelde 1 ½ inç veya daha ince beton örtü için çatlak kontrol koşullarını sağlamaktadır. Ancak 2 inçten kalın beton örtülerde, maksimum çubuk aralıkları genelde bu koşullarla sınırlanmaktadır.

### 3.2.10 Aşındırıcı Ortamlar

Belirli bir çatlak genişliği aşıldığında aşınma tehlikesi meydana geldiğini gösterir bilgiler yoktur. Yapılan testler sonucunda, beton kalitesi, yeterli sıkıştırma ve yeterli beton örtü faktörlerinin beton yüzeydeki çatlak genişliğine kıyasla aşınmaya karşı korumayı daha çok etkilediğini göstermektedir.  $z$  değerleri sınırlaması, mevcut yapılardan elde edilen pratik tecrübeler açısından makul donatı ayrıntıları oluşturmak için seçilmiştir. Yasanın kuralları, çok fazla baskıya maruz kalan yapılar için veya su geçirmez yapılar için geçerli değildir. Bu tür yapılar için özel önlemler alınması ve araştırılması gerekmektedir.

### 3.2.11 T-Kirişlerinin Flanşlarında Çekme Desteği Dağıtımı :

T-kirişlerinin flanşlarındaki eğilme çatlaklarını kontrol etmek için, eğilme çekme donatısı , flanş genişliği üzerinde dağıtılmalıdır ve flanş genişliği, etkin flanş genişliğini açıklığının 1/10'unu aşmamalıdır. Eğer etkin flanş genişliği, açıklığının 1/10'undan büyük ise Şekil 3.5'te gösterildiği gibi bir ek uzunlamasına donatı, flanşın dış bölümlerine konulmalıdır.



Şekil 3.5 - Flanşlı kirişlere ilave donatılar

### 3.2.12 Derin Eğilme Elemanlarında Çatlak Kontrolü :

Derin (gövde derinliği 90 cm'den fazla) eğilme elemanlarında, çatlak kontrolü için gereken ek uzunlamasına donatı, eğilme çekme bölgesinin tüm derinliği üzerinden yan yüzler boyunca dağıtılmalıdır. 1989 tarihli yasada, "yüzey desteği" kuralları değiştirilmiştir, çünkü yasanın eski koşullarının bazı durumlarda yetersiz kaldığı saptanmıştır.

**Tablo 3.8 - Çatlak Kontrolü için Kirişlerdeki Maksimum Çubuk Aralığı**

| Çubuk<br>Ebadı | Dış Etki<br>z= 145 |     |       | İç Etki<br>z= 175 |      |     |
|----------------|--------------------|-----|-------|-------------------|------|-----|
|                | Beton Örtü - inç   |     |       | Beton Örtü - inç  |      |     |
|                | 1 ½                | 2   | 3     | 1 ½               | 2    | 3   |
| no.4           | 10.7               | 6.5 | 3.1   | 18.8              | 11.3 | 5.4 |
| no.5           | 9.9                | 6.1 | 3.0   | 17.5              | 10.7 | 5.2 |
| no.6           | 9.3                | 5.8 | 2.9   | 16.3              | 10.2 | 5.0 |
| no.7           | 8.7                | 5.5 | 2.8   | 15.3              | 9.7  | 4.9 |
| no.8           | 8.2                | 5.2 | 2.7   | 14.4              | 9.2  | 4.7 |
| no.9           | 7.7                | 5.0 | 2.6   | 13.5              | 8.7  | 4.5 |
| no.10          | 7.2                | 4.7 | 2.5   | 12.6              | 8.3  | 4.3 |
| no.11          | 6.7                | 4.5 | 2.4** | 11.8              | 7.8  | 4.2 |

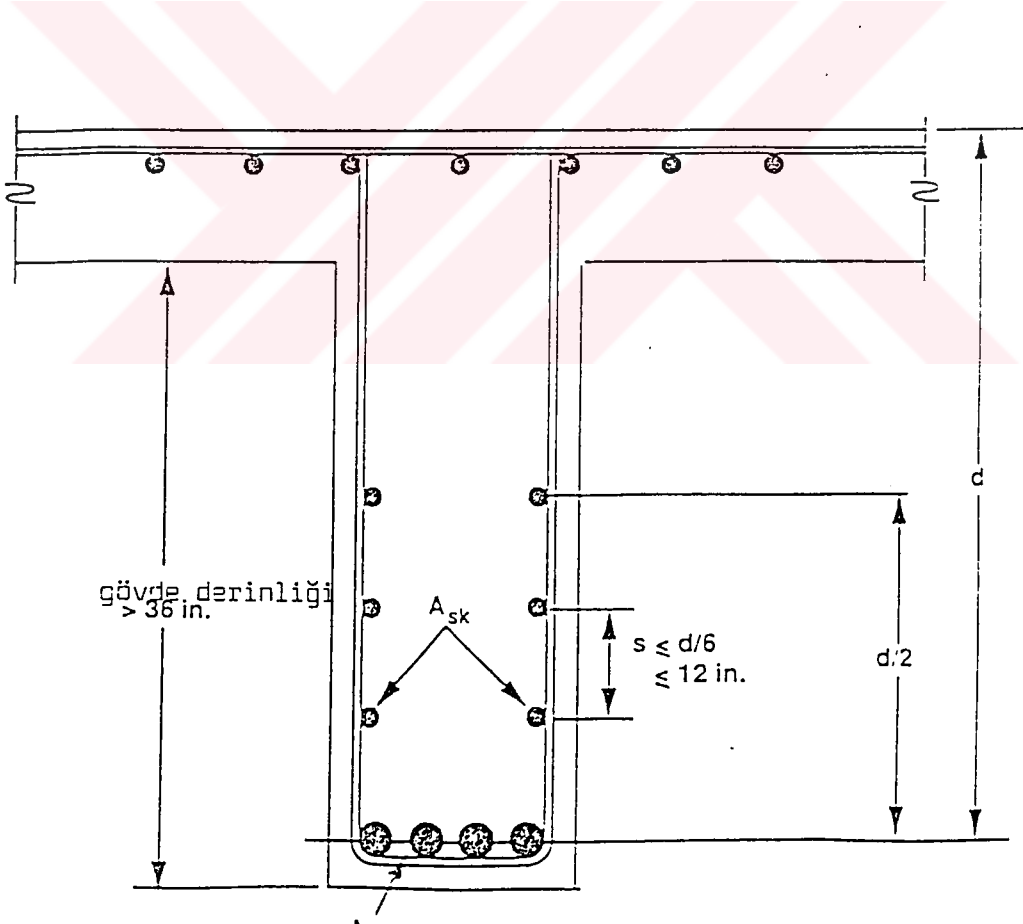
**Tablo 3.9 - Çatlak Kontrolü\* için Tek Yönlü Plaklardaki Maksimum Çubuk Aralığı**

| Çubuk | Dış Etki<br>z = 129 |      |     |     | İç Etki<br>z = 156 |      |      |     |
|-------|---------------------|------|-----|-----|--------------------|------|------|-----|
|       | Ebadı               |      |     |     | Ebadı              |      |      |     |
|       | Beton Örtü - inç    |      |     |     | Beton Örtü - inç   |      |      |     |
|       | ¾                   | 1    | 1 ½ | 2   | ¾                  | 1    | 1 ½  | 2   |
| no.4  | --                  | 14.7 | 7.5 | 4.5 | --                 | --   | 13.3 | 8.0 |
| no.5  | --                  | 13.4 | 7.0 | 4.3 | --                 | --   | 12.4 | 7.6 |
| no.6  | --                  | 12.2 | 6.5 | 4.1 | --                 | --   | 11.6 | 7.3 |
| no.7  | 16.3                | 11.1 | 6.1 | 3.9 | --                 | --   | 10.8 | 6.8 |
| no.8  | 14.7                | 10.2 | 5.8 | 3.7 | --                 | --   | 10.2 | 6.5 |
| no.9  | 13.3                | 9.4  | 5.4 | 3.5 | --                 | 16.6 | 9.6  | 6.2 |
| no.10 | 12.0                | 8.6  | 5.0 | 3.3 | --                 | 15.2 | 8.9  | 5.9 |
| no.11 | 10.9                | 7.9  | 4.7 | 3.1 | --                 | 14.0 | 8.4  | 5.6 |

\* İnç cinsinden aralık,  $f_s = 0.6$ ,  $f_y = 36$  ksi, tek tabaka destek. Aralık, plak kalınlığının 3 mislinden fazla olmamalıdır ve 18 inçten fazla olmamalıdır (Madde 7.6.5). Hiçbir değerde aralık 18 inçten fazla olmamalıdır.

Yeni yan yüz çatlak kontrolü kuralları, gövdenin derinliğini arttırmak için yüzey donatısı miktarını arttırmaktadır. Çoğu durumda, yeni kurallar uyarınca daha kısa aralıklarla daha fazla çatlak kontrol donatısı gerekmektedir. Öngerilmeli betonarme elemanlar için geçerli değildir, çünkü öngerilmeli elemanların davranışı, önceden gerilmemiş elemanlarınkilerden çok farklıdır. Öngerilmeli elemanlarda donatıyı uygun şekilde dağıtmak için tecrübelerle dayanarak karar verilmelidir.

Gereken yüzey donatısı (bkz. Şekil 3.6), eğilme çekme bölgesi içindeki elemanın her iki yan yüz boyunca düzgün şekilde dağıtılmalıdır ve ana çekme desteğine en yakın  $d/2$  mesafesi boyunca uzanması sağlanmalıdır. Yan yüz başına gereken yüzölçümü:  $A_{sk} = 0.012 (d-30)$  inç<sup>2</sup>/fit derinliktir, aralık  $d/6$ 'dan veya 12 inçten uzun olmamalıdır. Her iki yan yüzde ( $d/2$  mesafe) sağlanan yüzey desteğinin toplam yüzölçümü (inç<sup>2</sup>), ana çekme desteğinin ( $A_s$ ) toplam yüzölçümünün yarısından büyük olmamalıdır.



Şekil 3.6 - Derin kirişler için yüzey donatısı

### 3.2.13 İki Doğrultuda Çalışan Döşemeler :

İki yönlü döşemelerde eğilme çatlaklarını kontrol etmek genelde mümkündür, bu nedenle yasada ayrıca ele alınmamıştır. Kritik moment kesitlerindeki döşeme donatısı aralığını plak kalınlığının iki misli ile sınırlamaktadır, ve iki doğrultuda çalışan plak sistemlerinin her bir yönündeki donatının yüzölçümünün kısalma ve sıcaklık için gerekenden az olmasını istenilmektedir. Bu kısıtlamalar, çatlama kontrol etmek amacıyla belirlenmiştir. Ayrıca, sehim kontrolü için iki doğrultuda çalışan döşemelerde gereken minimum kalınlık, aşırı çatlama dolaylı olarak kontrol etmektedir.



### 3.3 EUROCODE 2'ye Göre Sehim ve Çatlak Kontrolü :

#### 3.3.1 Sehim Kontrolü :

Bir elemanın veya yapının deformasyonu tam fonksiyonel görünüşü olumsuz etkileyecek şekilde olmamalıdır.

Deformasyonlar diğer bağlanmış elemanların kaldırabileceği değerleri geçmemelidir. Bazı durumlarda sınırlandırma yapının taşıdığı makinaların veya mekanizmaların tam fonksiyonunu sağlamak için veya düz çatılarda gölcükleri önlemek için gerekli olabilir. Titreşim bina kullananların korku ve rahatsızlıklarına sebep olabileceği gibi nadir durumlarda yapı hasarına yol açabileceğinden bir sınırlandırma gerekebilir.

Yarı sabit yüklere maruz kalan kiriş , döşeme veya konsolun hesaplanan çökmesi "açıklık / 250" değerini aşarsa yapının genel kullanım ve görünümü bozulabilir.

Hasara dayanabilecek elemanların inşasından sonra oluşan , hesaplanan sehim aşırı ise , sehimler bölme duvarlara , ilgili elemanlara veya gözönüne alınan elemanla temasta olan elemanlara zarar verebilir. Uygun bir limit hasara dayanabilecek elemanların yapısına bağlı olacaktır. Fakat yönetmelik için , "açıklık / 500" sınırı çoğu durumlar için uygun sayılır.

#### 3.3.2 Hesapların İhmal Edilebileceği Durumlar :

Genel olarak sehimi tam olarak hesaplamak gerekli değildir. Basit kurallarla örneğin açıklık / yükseklik oranıyla formüle edilebilecek sınırlar , normal şartlar altında sehim problemlerini önlemek için uygun olacaktır.

Yapılardaki betonarme kirişler veya döşemeler bu bölümde verilen açıklık/yükseklik sınırlarına uyacak şekilde boyutlandırılırsa sehim sınırları aşılmayacaktır. Açıklık/yükseklik oranının sınırlandırıldığı tablo 3.10 temel bir oran alınıp bu oranın, kullanılan donatı tipini ve diğer değişkenleri hesaba katmak için düzeltme faktörüyle çarpılmasıyla istenen sehim sınırı elde edilmiş olunur.

**Tablo 3.10 - Açıklık / Faydalı Yükseklik Oranları**

| Yapı Sistemi  | Yüksek gerilmelere zorlanmış beton | Düşük gerilmelere zorlanmış beton |
|---|------------------------------------|-----------------------------------|
| Basit mesnetli kiriş ,bir veya iki doğrultuda çalışan basit mesnetli döşeme   | 18                                 | 25                                |
| Sürekli kirişin veya bir doğrultuda çalışan sürekli döşemenin ya da bir uzun kenarı üzerinde sürekli olan iki doğrultuda çalışan döşemenin kenar açıklığı | 23                                 | 32                                |
| Bir veya iki doğrultuda çalışan döşeme veya kirişin iç açıklığı   | 25                                 | 25                                |
| Kirişsiz döşeme   | 21                                 | 30                                |
| Konsol  | 7                                  | 10                                |

Tablo 3.10' dan elde edilen değerler aşağıdaki durumlarda azaltılabilir.

- Tabla genişliğinin gövde genişliğine oranının 3'ü geçtiği tablalı kesitler için , değerler 0,8 ile çarpılmalıdır.
- Aşırı deformasyonlarla hasar görmesi söz konusu olan bölmeleri taşıyan ve kiriş döşemeleri dışındaki , 7 m'yi geçen açıklıklar için değerler 7 / açıklık ile çarpılmalıdır.
- Büyük açıklığın 8,5 m'yi geçtiği kirişsiz döşemeler için değerler 8,5 / açıklık ile çarpılmalıdır.

Tablo 3.10'daki değerler , bir konsolun mesnedi veya kirişin orta açıklığındaki çatlamış kesitte , hesap kullanım yükü altında elik gerilmesinin  $250 \text{ N / mm}^2$  olduğuna dair kabullerden türetilmiştir. Diğer gerilme düzeyinin kullanıldığı yerlerde tablo 3.10'daki değerler  $250 / \sigma_s$  ile çarpılmalıdır.

$$250 / \sigma_s = 400 / (f_{yk} \cdot A_{s,req} / A_{s,prov}) \quad (3.20)$$

$A_{s,req} \Rightarrow$  gerekli sınır dayanım momentini veren kesitteki gerekli elik alanı

$A_{s,prov} \Rightarrow$  açıklanan kesitte bulunan elik alanı

$f_{yk} \Rightarrow$  karakteristik elik gerilmesi

Tablo 3.10 yorumlanırken aşağıdaki noktalara dikkat edilebilir.

— Verilen değerler genel olarak güvenli olarak seçilmiştir ve hesaplar daha zayıf elemanların mümkün olduğunu gösterebilir.

— Betonun düşük gerilmelere zorlanmış elemanları  $\rho < \% 0,5$  ( $\rho = A_s / (b \cdot d)$ ) olan elemanlardır. Döşemelerin düşük gerilmelere zorlandığı kabul edilir.

— Donatı oranı bilinirse yüksek gerilmelere zorlanmış ve düşük gerilmelere zorlanmış durumlardaki ara değerler , düşük gerilmelere zorlanmış değerlerin  $\rho = \% 0,5$ 'e karşılık geldiği ve yüksek gerilmelere zorlanmış değerlerin  $\rho = \% 1,5$ 'a karşılık geldiği kabul edilerek enterpolasyonla bulunabilir.

— İki doğrultuda çalışan döşemeler için , daha kısa açıklığa dayanarak kontrol yapılmalıdır. Kirişsiz döşemeler için daha büyük açıklık alınmalıdır.

### 3.3.3 Çatlak Kontrolü :

Çatlama , yapının gerçek fonksiyonunu bozmayacak veya görünüşünün kabul edilemez olmasına yol amayacak bir seviyede sınırlandırılmalıdır

Çatlama ya direkt yüklemeden yada Şekil değiştirmelerin engellenmesinden dolayı oluşan , eğilme , kesme , burulma veya çekmeye maruz betonarme yapılarda hemen hemen kaçınılmazdır. Çatlaklar aynı zamanda sertleşmiş beton içinde yayılıp

genişleyen kimyasal reaksiyonlar veya plastik rötre gibi diğer sebeplerden de doğabilir.

Özel şartların yokluğunda , nemli ve agresif ortamlara maruz içerideki yapı elemanları ve normal atmosferik koşullara maruz dışarıdaki yapı elemanları için maksimum hesap çatlak genişliğinin 0,3 mm'lik sınırlandırılması , görünüş ve durabilitiye göre binalardaki betonarme elemanlar için genellikle yeterli olacaktır. Normal atmosferik koşullardaki iç yapı elemanları için , çatlak genişliğinin durabilitede etkisi yoktur. Agresif ortama maruz içeride ve dışarıdaki yapı elemanları için özel çatlak sınırlandırma tedbirleri gerekli olabilir. Uygun tedbirlerin seçimi agresif kimyasal yapıya bağlıdır.

Kabul edilebilir genişlikteki çatlak genişliklerinin sınırlandırılması aşağıdakilerin sağlanmasıyla temin edilir.

- Şekil değiştirmelerin engellenmesinden dolayı , önemli gerilmeye maruz kalabilecek bütün kesitlerde minimum bir kenetli donatı bulundurmak , donatı akmasının çatlama yüküne kadar oluşmamasını sağlamak için yeterli olacaktır.
- Çatlak genişliğini sınırlandırmak için çubuk aralıkları ve çapları sınırlandırılır.

### 3.3.4 Minimum Donatı Alanları :

Şekil değiştirmelerin engellenmesinden dolayı çekme gerilmesine maruz olabilecek bir eleman veya elemanın bir kısmında , çatlama kontrol etmek için gerekli minimum donatı alanının tayininde böyle gerilmelerle ortaya çıkabilecek iki mekanizma durumu arasında ayırım yapmak gereklidir. Bu iki mekanizma durumu ;

- İç şekil değiştirmelerin engellenmesi :

Göz önüne alınan elemanın boyutsal değişiminden dolayı elemanda gerilmelerin oluştuğu yerler (örneğin elemanın büzülmesinin engellenmesinden dolayı elemanda meydana gelen gerilme)

— Dışa ait şekil değiştirmelerin engellenmesi :

Gerilmelerin göz önüne alınan elemandan , onun uygulanan dış şekil değiştirmelerin dayanımı ile oluştuğu yerler (örneğin mesnet çökmesi nedeniyle bir elemanın zorlandığı yerler)

Çatlama başlangıcında eleman dahilinde , gerilme dağılımının iki temel tipi arasında ayırım yapmak da gerekir.

— Eğilme :

Kesit dahilinde çekme gerilmesi dağılımının üçgen olduğu yerler (kesitin bazı bölümleri basınçta kalmakta)

— Çekme :

Kesitin tümünün çekme gerilmesine maruz olduğu yerler

Daha kesin bir hesap , uygun daha az bir alan göstermedikçe gerekli minimum donatı alanları aşağıdaki ilişkiden hesaplanabilir.

$$A_s = k_c \cdot k \cdot f_{ctef} \cdot A_{ct} / \sigma_s \quad (3.21)$$

$A_s \Rightarrow$  çekme bölgesi dahilindeki donatı alanı

$A_{ct} \Rightarrow$  çekme bölgesi dahilindeki beton alanı

$\sigma_s \Rightarrow$  çatlak oluşumundan sonra kabul edilen maksimum gerilme -Bu donatının akma dayanımı olarak alınabilir

$f_{ct,ef} \Rightarrow$  çatlakların ilk oluşması umulan andaki beton çekme dayanımı - Bir çok durumda , hidrasyon ısısının dağılmasından dolayı oluşan şekil değiştirmelerin olduğu yerler gibi beton dökümden sonra 3-5 gün zarfında çevre koşullarına , elemanın şekline ve kalıp yapısı türüne bağlı olarak olabilir. Çatlama zamanı emniyetle saptanamadığı zaman 28 günden az olarak ,  $3 \text{ N/mm}^2$  lik bir minimum çekme dayanımı kabul edilebilir.

$k_c \Rightarrow$  çatlama öncesi kesit dahilinde gerilme dağılımının tipini hesaba katan katsayı. Gerilme dağılımı frenlenen şekil değiştirmeler ve yükleme etkilerinin kombinasyonundan meydana gelen dağılımdır.

-  $k_c = 1,0$  ( basit çekme için )

-  $k_c = 0,4$  ( normal basınç kuvvetsiz eğilme için )

$k \Rightarrow$  üniform olmayan kendi kendini dengelemeyen gerilmelerin etkisini hesaba katan bir katsayı

- Şekil değiştirmelerin engellenmesinden dolayı çekme gerilmesi  $k=0,8$

dikdörtgen kesitler için  $\begin{cases} h \leq 30 \text{ cm} & k = 0,8 \\ h \geq 80 \text{ cm} & k = 0,5 \end{cases}$

- Dış şekil değiştirmelerin engellenmesinden dolayı çekme gerilmeleri  $k=1,0$

Eğer şekil değiştirmeler çatlama neden olmayacak kadar küçüklerse , minimum donatı azaltılabilir veya tamamen vazgeçilebilir. Böyle durumlarda minimum donatıyı yalnızca engellemeden dolayı oluşan gerilmelere direnmek için temin etmek gerekebilir.

### 3.3.5 Direkt Hesaplama Olmaksızın Çatlakların Kontrolü :

Bağıntı 3.21' de verilen minimum donatının sağlandığı yerlerde , çatlak

genişliklerinin kabul edilebilir değerlerle sınırlandırılması ve geniş aralıklı çubukların arasında kontrolsüz çatlama dan sakınılması , genel olarak çubuk aralıklarının ve/veya çubuk çapının sınırlandırılmasıyla yapılabilir. Aşağıdaki tablolar çatlak genişliklerinin 0,3 mm'yi aşmamasını sağlamak için tasarlanmıştır. Aşağıdaki şartlar sağlanırsa çatlak genişlikleri genellikle aşırı olmayacaktır.

**Tablo 3.11 - Maksimum çubuk çapları**

| Çelik Gerilmeleri (Mpa) | Maksimum çubuk aralıkları |             |
|-------------------------|---------------------------|-------------|
|                         | Basit Eğilme              | Basit Çekme |
| 160                     | 300                       | 200         |
| 200                     | 250                       | 150         |
| 240                     | 200                       | 125         |
| 280                     | 150                       | 75          |
| 320                     | 100                       | -           |
| 360                     | 50                        | -           |

**Tablo 3.12 - Maksimum çubuk aralıkları**

| Çelik Gerilmeleri (Mpa) | Maksimum çubuk çapı(mm) |
|-------------------------|-------------------------|
|                         | Donatılı kesitler       |
| 160                     | 32                      |
| 200                     | 25                      |
| 240                     | 20                      |
| 280                     | 16                      |
| 320                     | 12                      |
| 360                     | 10                      |
| 400                     | 8                       |
| 450                     | 6                       |

Betonarme için maksimum çubuk aşağıdaki gibi değiştirilebilir

— Engelleme sonucu oluşan çatlaklar için ;

$$\phi_s = [ (\phi_s^* \cdot f_{ctm}) / 2,5 ] [ h / 10 (h-d) ] \geq \phi_s^* \cdot (f_{ctm} / 2,5) \quad (3.22)$$

— Yüklemeden dolayı oluşan çatlaklar için ;

$$\phi_s = \phi_s^* \cdot h / 10 (h - d) \geq \phi_s^* \quad (3.23)$$

$\phi_s \Rightarrow$  düzeltilmiş maksimum çubuk çapı

$\phi_s^* \Rightarrow$  tabloda verilen maksimum donatı çapı

$h \Rightarrow$  kesitin derinliği

Ana donatının yüksekliğinin küçük bir oranında yoğunlaştığı 1m veya daha fazla derinlikli kirişlerde kirişin kenar yüzlerinde çatlamayı kontrol etmek için ilave yüzey donatısı temin edilmelidir. Yüzey donatısı alanı bağıntı 3.21'de  $k'y$ ı 0,5 ve  $\sigma_s$ 'i  $f_{yk}$  olarak , elde edilen miktardan az olmamalıdır. Uygun çubuk aralıkları ve büyüklüğü ( tablo 3.11 ve 3.12) basit çekme gerilmesi ve ana çekme donatısı için tayin edilen değer yarısında bir çelik gerilmesi kabul ederek elde edilebilir.

Tablo 3.13'de verilen etriye aralıkları temin edilirse , teğetsel hareket etkilerinden dolayı oluşan çatlağın yeterli şekilde kontrol edildiği farz edilebilir. Kayma donatısı gerektirmeyen ( yani  $V_{cd} > V_{sd}$  olan ) elemanlarda kontrol gerekmez.

**Tablo 3.13 - Çatlak kontrolü için kirişlerde etriye aralıkları**

| $(V_{sd} - V_{cd})$<br>$\rho_w \cdot b_w \cdot d \quad (N/mm^2)$ | Etriye aralığı (mm) |
|--|---------------------|
| 200  | 300                 |
| 250  | 250                 |
| 300  | 200                 |
| 350  | 150                 |
| 400  | 100                 |

$$\rho_w = A_{sw} / (s \cdot b_w \cdot \sin \alpha) \quad (3.24)$$

$V_{sd} \Rightarrow$  kesme kuvveti hesap değeri

$V_{cd} \Rightarrow$  betonun kesme dayanımı

$A_{sw} \Rightarrow$  kayma donatısı alanı

$\rho_w \Rightarrow$  kayma donatısı oranı

$s \Rightarrow$  kayma donatısı aralığı

$b_w \Rightarrow$  kesitin genişliği

$d \Rightarrow$  kesitin derinliği

$\alpha \Rightarrow$  kayma donatısı ve ana donatı arasındaki açı

Ani gerilme değişikliklerinin olduğu kesitlerde meydana gelen büyük çatlakların belirli tehlikeleri olduğuna dikkat edilmelidir.

- kesitin değişikliğinde
- tekil yüklerin yakınında
- çubukların uzatılmayıp kesildiği yerlerde
- yüksek aderans gerilmeli alanlarda , özellikle bindirmelerin uçlarında

Böyle kesitlerde gerilme değişimlerini en aza indirmek için mümkün olduğunca dikkat gösterilmelidir.

### 3.3.6 Çatlak Genişliklerinin Hesaplanması :

Hesap çatlak genişliği aşağıdaki bağıntıdan elde edilebilir.

$$W_k = \beta \cdot S_{rm} \cdot \epsilon_{sm} \quad (3.25)$$

$W_k \Rightarrow$  hesap veya karakteristik çatlak genişliği

$S_{rm} \Rightarrow$  ortalama nihai çatlak aralığı

$\epsilon_{sm} \Rightarrow$  ortalama birim deformasyon

$\beta \Rightarrow$  ortalama çatlak genişliğinin hesap genişliğine oranıyla ilgili katsayı

-  $\beta = 1,7$  ( 800 mm'yi geçen bir minimum boyuta sahip kesitlerdeki engellemeden dolayı oluşan çatlaklar ve yük çatlakları için )

-  $\beta = 1,3$  ( Bir minimum derinlik , genişlik veya kalınlık boyutuna sahip ve bu boyutun 300mm'den küçük olduğu kesitlerdeki engellemeden dolayı oluşan çatlaklar için )

$$\epsilon_{sm} = \sigma_s / E_s [1 - \beta_1 \beta_2 (\sigma_{sr} / \sigma_s)^2] \quad (3.26)$$

$\sigma_s \Rightarrow$  çatlama kesite dayanarak hesaplanan çekme donatısındaki gerilme

$\sigma_{sr} \Rightarrow$  çatlama anında donatıdaki gerilme

$\beta_1 \Rightarrow$  çubukların bağ özelliklerini hesaba katan katsayı

-  $\beta_1 = 1,0$  ( nervürlü çubuklar için )

-  $\beta_1 = 0,5$  ( düz yüzeyli çubuklar için )

$\beta_2 \Rightarrow$  yüklemenin sürekliliğini veya tekrarlanan yüklemeyi hesaba katan katsayı

-  $\beta_2 = 1,0$  ( tek , kısa süreli yükleme için )

-  $\beta_2 = 0,5$  ( sürekli yük veya pek çok defa tekrarlanan yükler için )

Sadece iç şekil değiştirmelere maruz kalan elemanlar için  $\sigma_s$  ,  $\sigma_{sr}$ 'ye eşit alınabilir.

Eğilme veya çekmeye maruz olan elemanlar için ortalama nihai çatlak aralığı aşağıdaki eşitlikten hesaplanabilir.

$$S_{m} = 50 + 0,25 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot \phi / \rho_r \quad (3.27)$$

$\phi \Rightarrow$  çubuk çapı ( bir kesitte değişik çapta çubuk kullanılıyorsa ortalama çubuk çapı alınabilir )

$k_1 \Rightarrow$  çubukların bağ özelliklerini hesaba katan bir katsayı

-  $k_1 = 0,8$  (nervürlü çubuklar için )

-  $k_1 = 1,6$  (düz yüzeyle çubuklar için )

$k_2 \Rightarrow$  şekil değiştirme dağılımı şeklini hesaba katan bir katsayı

-  $k_2 = 0,5$  (eğilme için )

-  $k_2 = 1,6$  (basit çekme için)

$\rho_r \Rightarrow$  etkili donatı oranı

### 3.4 DIN 1045-1978'e Göre Sehîm ve Çatlak Kontrolü :

#### 3.4.1 Servis Yükleri Altında Sehîmlerin Sınırlandırılması:

Büyük sehîmler yapıya zarar getiriyorsa ve yapının kullanma imkanlarını azaltıyorsa bu gibi hallerde sehîmler uygun bir şekilde sınırlandırılmalıdır. Ancak bu sınırlandırılmalar diğer konstrüktif esaslara zarar vermemelidir.

Yapılarda sehîmlerin sınırlandırılması şu sebeplerden önemlidir.

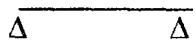
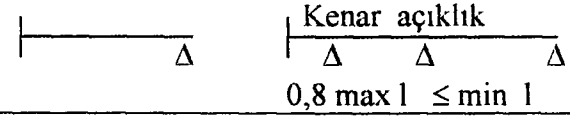
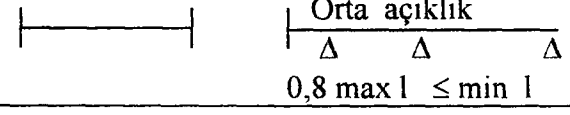
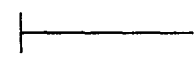
- İşletme bakımından düzlem yüzeylere ihtiyaç duyulması halinde
- Değişken hareketli yükler altında salınımlara engel olmak için
- Göze görünüş bakımından
- Döşeme üzerinde bulunan ve sehîmlere karşı hassas bölme duvarları için
- Döşeme altında bulunan ve taşıyıcı olmayan duvarlara yük aktarmamak için

#### 3.4.2 Sehîmlerin Sınırlandırılması İçin Basitleştirilmiş Tahkik :

Eğilmeye maruz yapı kısımlarında , kalıbın ortası yeterince kaldırılarak inşa edilmişse  $l_i / h$  oranı 35' ten büyük olamaz. Bölme duvarları taşıyan yapı kısımlarında ise , ara duvarlarda meydana gelebilecek zararlı çatlaklar başka tedbirlerle giderilemiyorsa  $l_i / h \leq 150 l_i$  olmalıdır.

Yapı elemanlarında , eğer herhangi bir açıklıktaki sehîmin önemli bir kısmını aynı açıklıktaki yük meydana getiriyorsa , tahkik hesapları  $l_i = \alpha l$  fiktif açıklıklı sabit atalet momentli basit kiriş üzerinde yapılabilir. Bu basit kiriş ile esas yapı elemanında , düzgün yayılı yük altında kiriş ortasındaki sehîmlerin açıklığa oranı  $(f/l)$  ve yine açıklık ortasındaki eğrilikleri  $(M/EI)$  aynı olmalıdır.

Tablo 3.14 - Fiktif açıklığın hesabı için katsayılar

| Statik sistem   | $\alpha = l_i / l$ |
|---|--------------------|
|  | 1,00               |
|  | 0,80               |
|  | 0,60               |
|  | 2,40               |

### 3.4.3 Servis Yükleri Altında Çatlak Genişliklerinin Sınırlandırılması :

Betonarme yapı elemanlarının kullanma ve dayanıklılık olanaklarını emniyete almak için çatlak genişliği, yapıların kullanma yerlerine göre, donatı miktarı, çelik gerilmeleri ve demir çapları vasıtasıyla sınırlandırılmadır.

Çatlak gerilmesinin sınırlandırılmasının tahkiki şu elemanlarda yapılmalıdır.

- Çekmeye çalışan elemanlarda
- Dinamik tesirli yüklerin etki yaptığı yapı elemanlarında
- Yüzeyi düz olan hasır çeliklerin kullanıldığı yerlerde

Betonarme binalarda aşağıdaki hallerde böyle bir tahkike gerek yoktur

- Eğilmeye maruz, kalınlığı  $d \leq 16$  cm olan dolu döşemelerde
- Plağı çekme bölgesinde, tarafsız eksenide kiriş gövdesi içinde bulunan ve çalışan tabla genişliğinin kiriş genişliğine oranı  $b'/b > 3$  olan tablalı kirişlerde

### 3.4.4 Çatlak Genişliğinin Sınırlandırılmasının Tahkiki :

Çatlak tahkiki genellikle çelik gerilmelerinin en büyük olduğu yerlerde yapılır. Çatlak genişliğinin sınırlandırılmış kabul edilmesi için aşağıdaki üç şarttan birinin

sağlanması gerekir.

—  $\mu_z \leq \% 0,3$  ; bütün kesitin çekme çalıştığı yerlerde donatı bölgesinin her biri için  $d_e \leq \% 0,15$

— Tablo 3.15'e göre  $d_{ec} \leq$  demir çapının max değeri

—  $d_e \leq r (\mu_z / \sigma_{ed}^2)$

$d_e \Rightarrow$  boyuna doğrultuda en büyük demir çapı (mm)

$r \Rightarrow$  Tablo 3.16'ya göre çeliğin aderans derecesine bağlı katsayı

$\mu_z \Rightarrow 100 F_e / F_{bz}$  demir miktarının  $F_{bz}$  çekme alanına oranının yüzdesi

$\sigma_{ed} =$ devamlı etkileyen kısmi yükten meydana gelen çelik çekme gerilmesi

**Tablo 3.15 - Çatlak kontrolü için sınır çubuk çapları (mm)**

| Yapı kısımları  | 1  |     | 2  |     | 3   |    |
|---|----|-----|----|-----|-----|----|
|   | a  | b   | a  | b   | a   | b  |
| Düz beton çeliği<br>Bst 22/34 GU                                  | 28 | 28  | 28 | 25  | 28  | 18 |
| Nervürlü beton çeliği<br>Bst 22/34 RU                             | 40 | 40  | 40 | 40  | 40  | 32 |
| Nervürlü beton çeliği<br>Bst 42/50                                | 28 | 16  | 20 | 12  | 14  | 8  |
| Düz beton hasır çelikleri<br>ve profilli beton hasır<br>çelikleri | 12 | 8,5 | 10 | 5   | 6   | 4  |
| Nervürlü beton hasır<br>çelikleri                                 | 12 | 12  | 12 | 7,5 | 8,5 | 5  |

a kolonundaki değerler  $\sigma_{ed} = 0,7 \beta_{\sigma} / 1,75$  ; b kolonundaki değerler  $\sigma_{ed} = \beta_{\sigma} / 1,75$  için geçerlidir.

**Tablo 3.15'deki Yapı Kısımları :**

1 ⇒ Kapalı hacimdeki yapı kısımları , evler , bürolar , okullar , hastaneler , sudan devamlı korunan veya devamlı kuru olan yapı kısımları , üzerinde su geçirmez izolasyon bulunan çatılar

2 ⇒ Açıkta bulunan yapı kısımları ve hava ile devamlı temasta olan yapı kısımları

3 ⇒ Kapalı hacimde olupta , normal hacim ısısında çok fazla nem meydana getiren yapı kısımları , örneğin mutfak , banyo , çamaşırhane ,kapalı yüzme havuzları ve önemli korozyon yapan tesirlerin etkisinde olan yapı kısımları

**Tablo 3.16 - Bağlantı özelliklerinin gözönüne alınmasında kullanılan katsayılar**

| Yapı kısımları  | 1      | 2  | 3      |
|---|--------|----|--------|
| Beklenen çatlak genişliği                             | normal | az | çok az |
| Tek düz çubuk ve düz çubuklu hasır çelikleri          | 60     | 40 | 35     |
| Hasır çelikleri için profilli beton çelikleri         | 80     | 60 | 35     |
| Nervürlü çelikler (tek çubuk ve hasır çelikleri için) | 120    | 80 | 50     |

## BÖLÜM 4

### ONARIM VE GÜÇLENDİRME

#### 4.1 Onarım ve Güçlendirme Kavramları :

Onarım , hasar gören bir yapı veya elemanın öngörülen yapı güvenliğine sahip olabilmesi için yapılan işlemdir. Güçlendirme ise, hasar görmemiş bir yapı veya yapı elemanının öngörülen bir yapı güvenliğine sahip olabilmesi için yapılan işlemler olarak tanımlanabilir. Görüldüğü gibi yapılan işlemlerin onarım veya güçlendirme olarak tanımlanmasında başlıca kriter “hasar” dır.

Bir yapının onarılması veya güçlendirilmesin sırasında mühendisin görevi rijitlik değişimlerini de hesaba katmaktır. Eğer rijitlik önemli derecede artmışsa eylemsizlik yüklerine ( deprem gibi ) karşı dayanımın da artırılması gerekecektir. Bu konu üzerinde fazla düşünülmemişse dayanımı öngörülen yapı güvenliğine çıkartmak için yapılan onarım ve güçlendirmeler sonucu doğal olarak yapının rijitliği de artacaktır. Böyle bir durumda sismik hareketler altında yapının dayanımı artmayacak tam tersine daha az emniyetli olacaktır.

Onarım iki grup altında sınıflanabilir,

- Taşıyıcı yapı onarımı
- Taşıyıcı olmayan onarım

Taşıyıcı olmayan onarımda asıl amaç görünüm ve kullanımın düzeltilmesidir. Dayanım , süneklik ve rijitlikle ilgisi yoktur. Bir deprem yaşamış insanların taşıyıcı olmasa da hasar görmüş bir binanın içine oturabilmeleri için o binanın gelebilecek diğer depremler altında güvenli olduğuna ikna edilmeleri ve yaşanan deprem etkilerinin tamamen yok edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle taşıyıcı olmayan onarım , taşıyıcı sistemi hasar görmemiş yapılar için önemli olmasa da içinde yaşayan insanların huzuru için son derece gereklidir.

Taşıyıcı yapı onarımında asıl amaç yapısal davranışı ve dayanımı iyileştirebilmelidir.

#### 4.2 Hasar Derecesi Tayini :

Yapı elemanlarının ya da tüm yapının hasarını saptamak için birçok model üretilmiştir. Bazı araştırmacılar birkaç belirli parametrelerin işlevi olan enerji parametreleri geliştirmişlerdir.

Hasar derecesiyle ilgili en eski araştırmalar , süneklikle ilgilidir ve şu iki durumun sonuçlarından doğmaktadır. Monolitik yükleme ve düşük süreçsel yorulma. Hasar derecesinin tayininde yapılan çalışmalardan bazıları şunlardır. Rouafiel ve Meyer' in “modifiye edilmiş eğilme hasarı oranı” (1987). Darwin ve Nmai (1986) , Stephens ve Yao (1987) , Chung (1987) . Bu üç çalışmada hasar değerlendirilmesinde hem süneklik hem de enerji dağılım konuları birlikte ele alınmıştır.

Park , Young-ji , Ang ve Alredo (1984) tarafından önerilen hasar modeli betonarme binalarda gözlenen hasarı en iyi şekilde tespit eden model olarak benimsenmiştir. Bu modelde yapısal hasar , maksimum deformasyonun yol açtığı hasarın ve tekrarlanan süreçsel yüklemekten doğan enerji dağılımının lineer bileşimi olarak tanımlanmaktadır.

$$D = \frac{\delta_m}{\delta_u} + \frac{\beta}{Q_v \delta_u} \quad | \quad D_e \quad (4.1)$$

$D \Rightarrow$  hasar indeksi ( $D \geq 1.0$  ise çökmeyi göstermektedir.)

$\delta_m \Rightarrow$  maksimum deformasyon

$\delta_u \Rightarrow$  statik yükleme altında nihai deformasyon

-Kirişler ve kolonlar için ;

$$\delta_u (\%) = 0.52 l_s^{0.93} p^{-0.27} p_w^{0.48} n_o^{-0.48} (f_c)^{-0.15}$$

-Perdeler

$$\delta u (\%) = 0.53 l_s^{1.23} p_h^{-0.56} p_c^{-0.05} p_v^{-0.3} n_o^{0.09} (f'_c)^{0.85}$$

$l_s \Rightarrow$  açıklık oranı =  $l/d$

$p \Rightarrow$  normal çelik oranı =  $p_t f_y / f'_c$

$p_w \Rightarrow$  sabitleştirme oranı

$p_t \Rightarrow$  germe çelik oranı

$n_o \Rightarrow$  normal eksen gerilmesi  $N/bdf'_c$

$p_h \Rightarrow$  yatay destek oranı (minimum değer %0.4)

$p_c \Rightarrow$  kenar kolon destek oranı (minimum değer %0.2)

$p_v \Rightarrow$  dikey destek oranı

$\beta \Rightarrow$  süreçsel yükleme etkisi katsayısı (yapısal parametrelerin işlevi) =  $(-0.447 + 0.073$   
 $i/d + 0.24 n_o + 0.314 p_t) \times 0.7 p_w$

$Q_y \Rightarrow$  hesaplanan akma dayanımı

$dE \Rightarrow$  dağılan enerji kademesi.

Yukarıda belirtilen hasar indeksi ( $D$ ), binadaki herbir elemanın hasarını gösterir. Yerel hasarın miktarının belirlenmesi, tüm yapının veya onun bölümlerinin açıklanması için her zaman yeterli değildir. Bu nedenle güçlü bir hasar indeksi tanımlanmıştır. Bu indeks, zayıf sütunlu ve güçlü kirişli yapıları, yani ani kesme akımlarından ötürü tüm yapının progresif şekilde çökebileceği durumları analiz etmek için uygundur. Güçlü düzey hasar indeksini saptamak amacıyla, yerel hasar indekslerinin ( $D_1$ ) ortalaması alınır, bunun için elemanların enerji soğurma kapasitesine dayalı bir ağırlıklılık faktörü kullanılır.

$$D = \Sigma D_1 \quad ; E_1 / \Sigma E_1 \quad (4.2)$$

burada  $E_1$  elemanın soğurduğu toplam enerjidir. Güçlü sütunlu ve zayıf kirişli tip binalarda , yukarıda belirtilen kavramı tüm yapıya uyarlamak gerekir. Yukarıda belirtilen denklemi binadaki tüm elemanlar için uygulayarak genel hasar indeksi saptanır. Kullanılan genel hasar indeksi, 1971'de ABD'de San Fernando'da meydana gelen depremde ve 1978'de Japonya'da Miyagiken-Okı'de meydana gelen depremde

orta veya ağır düzeyde hasar gören dokuz betonarme binada gözlenen hasar bilgilerine dayanılarak kalibre edilmiştir (Park ve arkadaşları, 1984). Tablo 4.1’de kalibre edilmiş indeks gösterilmiştir, bu sadece yukarıda belirtilen kalibrasyonda kullanılan hasar indeksinin niteliksel göstergesidir. Daha önce belirtildiği gibi, daha ağır düzeyde yerel hasar, eleman veya bina katı düzeyinde saptanabilir. Bu nedenle, kritik hasarın değerlendirilmesi, yoruma bağlıdır.

**Tablo 4.1:** Hasar Yorumu (Park ve arkadaşları, 1984)

| Hasar Derecesi | Fiziksel Görünüş  | Hasar İndeksi | Binanın Durumu       |
|----------------|---|---------------|----------------------|
| Çökme          | Binanın kısmen veya tümüyle çökmesi                           | >1.0          | Bina tümüyle yıkıldı |
| Ciddi onarım   | Beton ağır derecede ezildi, destekler büküldü                 | 0.4-1.0       | Onarılamaz           |
| Orta           | Zayıf elemanların betonunda çok sayıda büyük çatlak var       | <0.4          | Onarılabilir         |
| Küçük          | Binada küçük çatlaklar var; sütunlardaki beton kısmen ezilmiş | --            | --                   |
| Önemsiz        | Yer yer çatlaklar var   | --            | --                   |

Park ve arkadaşları tarafından önerilen (1984) yukarıda belirtilen hasar indeksi, betonarme binalarda fiilen gözlenen hasara dayalı tek kalibrasyonlu modeldir. Bu model, yapıların ve elemanlarının gördüğü genel hasarı yorumlamakta yararlı bir gösterge olarak kullanılmaktadır.

### 4.3 Çatlakların Tamirat Yöntemleri :

Betonarme yapılarda çatlak oluşumu beklenmesi gereken bir olaydır. Betonarme elemanlar detaylandırılırken oluşabilecek çatlak genişlikleri göz önünde bulundurulmalıdır. Oluşan çatlaklar şartnamelerde belirtilen değerleri geçmemelidirler. Şartnamelerde belirtilen sınırları geçmeyen çatlaklar sorun yaratmayan küçük çatlaklardır. Çatlaklar aşağıda belirtilen durumlarda sorun haline gelirler.

- Yapının dayanımını etkilediği durumlar
- Yapının su geçirimsizliğini bozduğu durumlar
- Yapısal Açıdan kabul edilemez olduğu durumlarda
- Yapının görünümünü bozduğu durumlarda

Yapılarda oluşabilecek çatlaklar üç çeşit olarak incelenebilir.

- Aktif olmayan çatlaklar
- Aktif çatlaklar
- Genişleyen çatlaklar

Aktif olmayan çatlaklar yapım sırasında veya büzülme gibi diğer etkilerden ortaya çıkmış ve devam etmeyen çatlaklardır. Hareketi söz konusu olmayan bu çatlakların rijit bir dolgu malzemesiyle doldurulmasında bir sakınca yoktur.

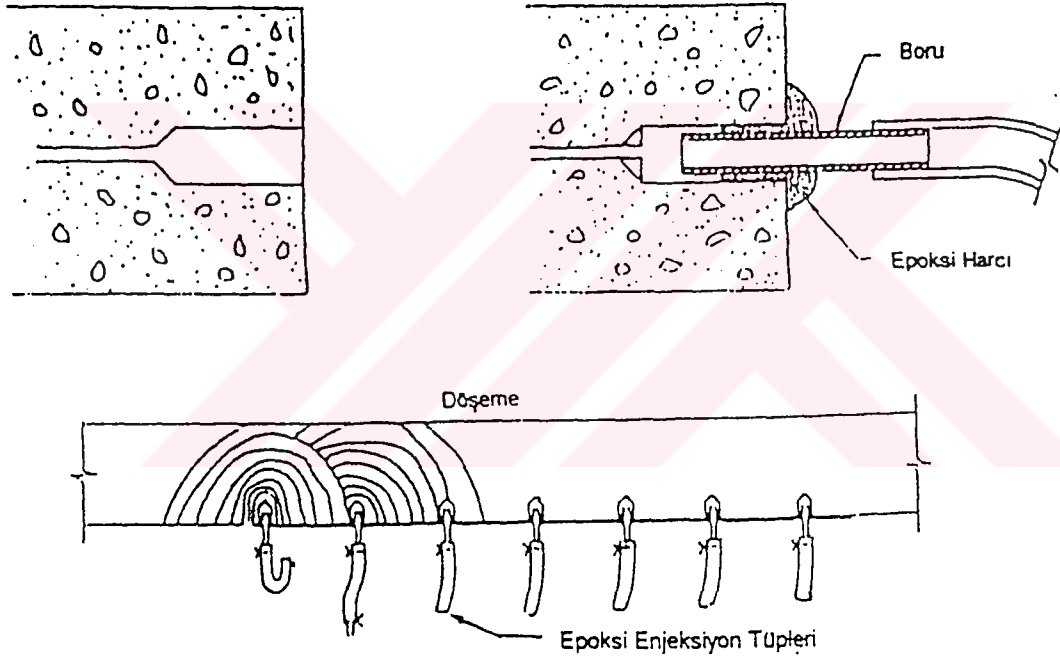
Aktif çatlaklar termal etkilerden veya yapı yükleri gibi sebeplerden dolayı açılıp kapanabilirler. Bu gibi çatlaklara uygulanabilecek çatlak malzemesi çatlakların hareketine izin verebilecek esneklikte olmalıdır.

Genişlemekte olan çatlaklarda ise yapılabilecek en doğru şey çatlağı oluşturan sebebi ortadan kaldırarak çatlağın daha fazla genişlemesinin önlemek olacaktır.

### 4.3.1 Reçine Enjeksiyonu:

Epoksi reçineleri mukavemetlerinin yüksek oluşu ve kimyasal etkilere karşı koyabildikleri için çatlak enjeksiyonlarında kullanılmaktadırlar.

Epoksi enjeksiyonu için çatlak boyunca belli aralıklarla delikler açılır. Bu deliklere epoksi enjeksiyon tüpleri yerleştirilir. Çatlak üzeri epoksi harcı ile kapatılır. Reçinenin çatlak içerisinde ilerleyerek boşlukları doldurması için tüplere basınç uygulanır.



Şekil 4.1 - Reçine , epoksi enjeksiyonu

Düşük vizkoziteli sıvı reçinelerle , 0,1 mm ve daha dar çatlakların doldurulması basınç uygulanmadan gerçekleşebilmektedir. Sıvı reçineler yüzeye akıtıldıktan sonra yüzeye yayılır. Bir süre beklendikten sonra yüzeydeki fazla malzeme temizlenir. Çatlaklar izole edilmiş olurlar.

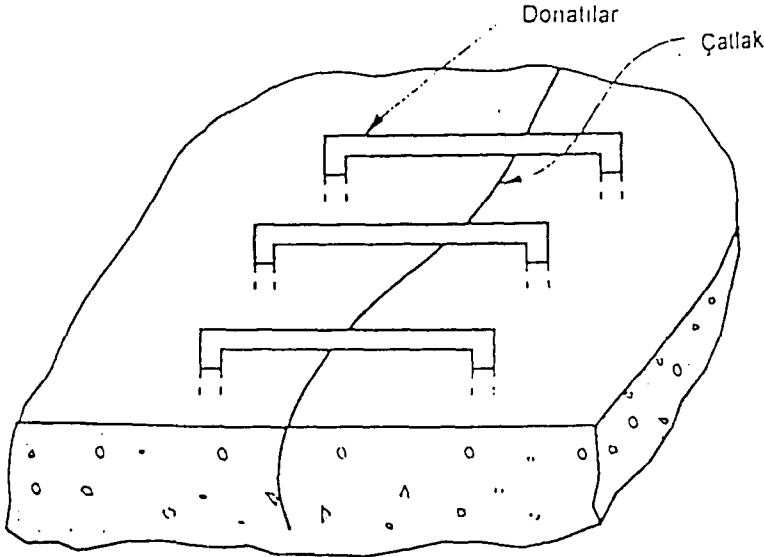
### 4.3.2 Vakumla Tamirat :

Bu tamirat yönteminde çatlakların olduğu yüzeye gergin bir örtü yerleştirilir ve hava almayacak şekilde yüzeye yapıştırılır. İçeriye vakum uygulandıktan sonra çatlakların dolması için kullanılacak malzeme örtü üzerine dökülür ve atmosferik basınçla çatlakların içerisinde ilerlemesi sağlanır. Bu yöntemin sağladığı avantajlar şunlardır.

- Enjeksiyon malzemesi , normal enjeksiyona göre çatlaklara daha iyi nüfuz eder ve daha az boşluk bırakır.
- Normal enjeksiyon sırasında hareketli olması gereken bazı yapı derzlerine dolup sabit hale geçebilir. Vakum tamiratında malzemenin yüzeye emdirilmesi böyle bir olayı engeller.

### 4.3.3 Çatlakların Donatılarla Tutturulması :

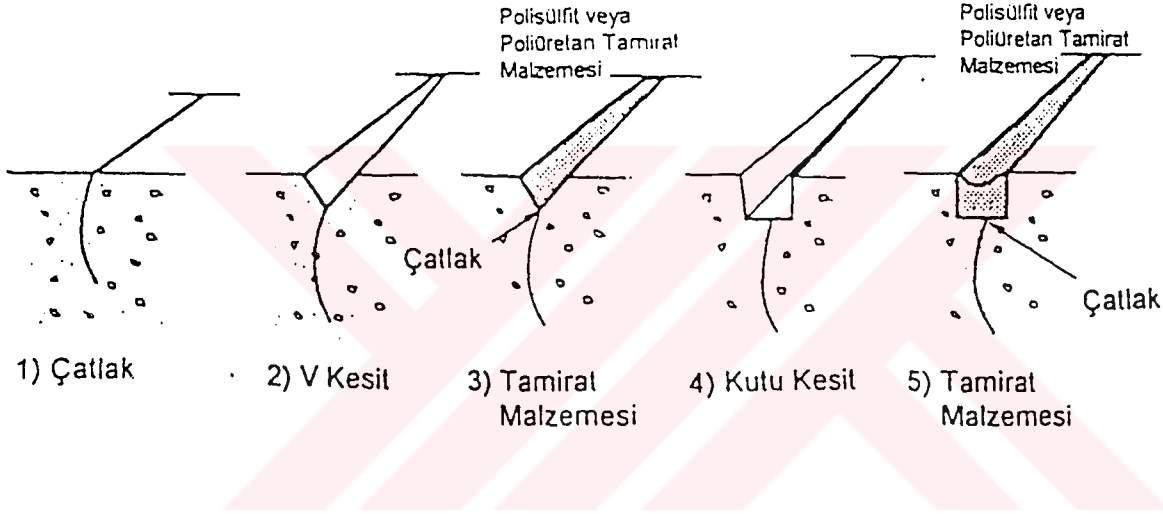
Çatlaklar U şeklindeki donatılarla çatlak boyunca tutturularak sabitleştirilir. Bu yöntem hareketli çatlaklara uygulanan bir yöntemdir. Yapıyı kısmen de olsa rijitleştirdiği için hareketli olmayan çatlaklara uygulandığında yeni çatlak oluşabileceği göz önünde bulundurulmalıdır.



Şekil 4.2 - Çatlakların donatılarla tutturulması

#### 4.3.4 Çatlakların Genişleterek Doldurulması :

Yapısal önemi olmayan hareketsiz çatlaklar için çok pratik olan ve uygulanan bir yöntemdir. Bu yöntemde çatlaklar 10 - 12 mm kadar genişletilir ve uygun tamirat malzemesiyle doldurulur. Malzemenin seçiminde , malzemenin elastik kalması , sabit kalması veya mimari görünüş gibi kriterler göz önüne alınır. Genellikle epoksi bileşimleri tercih edilir. Üretanlar ise elastik kalabilme özelliğine sahiptirler.



Şekil 4.3 - Çatlakların genişleterek doldurulması

#### 4.3.5 Çimentolu ve Polimerli Şerbetlerle Tamirat :

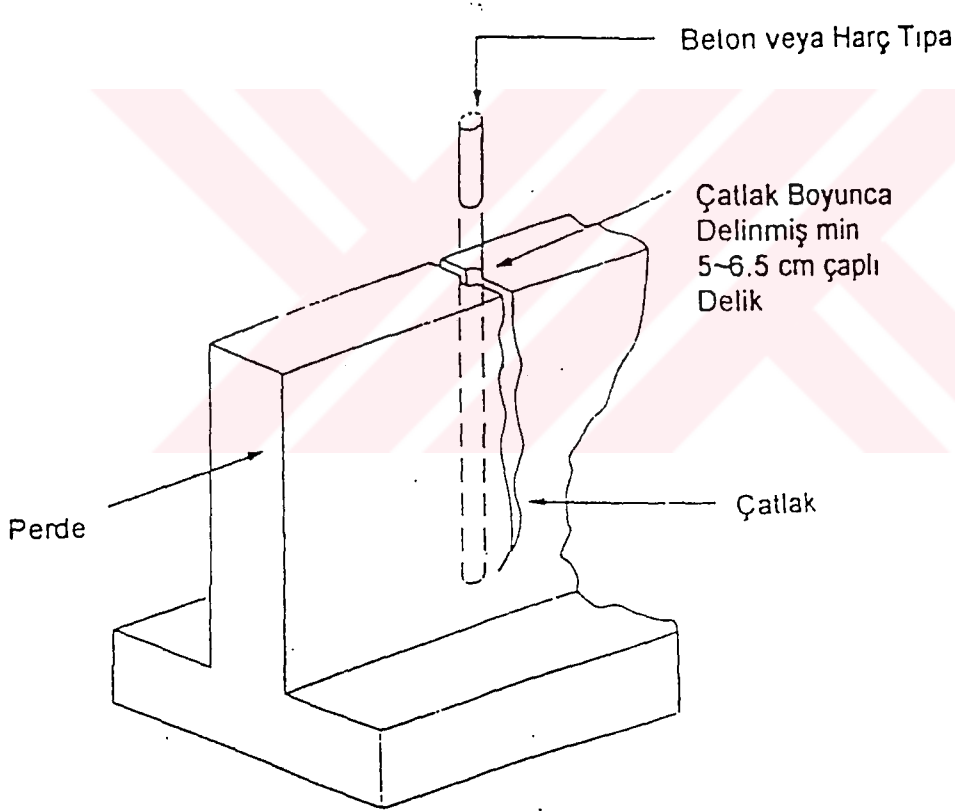
Barajlardaki , kalın beton bloklardaki ve sualtındaki yapılardaki çatlaklar çoğu zaman çimentolu şerbetler ile tamir edilir. Çimento şerbeti enjeksiyon tabancasıyla çatlak içerisine enjekte edilir.

Polimerli şerbetler üretan ve akrilamid kökenlidir. Su ile reaksiyona girerek katı ve köpüksü görünüm alırlar. Bu malzemelerin tercih sebebi düşük vizkoziteli olmaları ve koyak işlenebilirlikleridir.

#### 4.3.6 Delerek Tamirat :

Özellikle düşey doğrultuda düzgün bir şekilde ilerleyen ve bir noktada biten çatlakların tamiratında kullanılan bir yöntemdir. Perdelerde veya benzer yapılarda büzülme veya sıcaklık değişiminden bu tip çatlaklar oluşabilir.

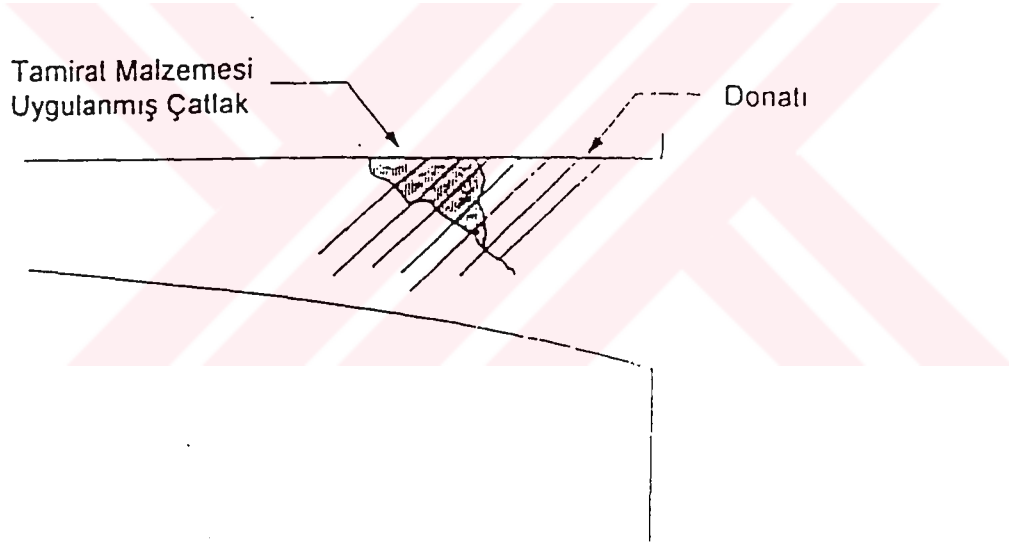
Bu yöntem uygulanırken 50 -75 mm çaplı bir delik delinir ve bu delik yeterince dolgu malzemesiyle doldurularak kapatılır. Bu yöntemde kullanılan dolgu malzemesi genellikle çimentolu veya polimerli şerbetlerdir.



Şekil 4.4 - Çatlakların delerek tamirâtı

#### 4.3.7 Donatı İlavesiyle Çatlak Tamiratı :

Bu yöntemde çatlak doğrultusuna dik doğrultuda delinen deliklere epoksi enjeksiyonu yapılır. Daha sonrada deliklere donatılar yerleştirilir. Tamirattan iyi bir sonuç alabilmek için geçici elastik bir dolgu malzemesine ihtiyaç vardır. Silikon esaslı dolgu malzemeleri bunun için uygundur.



Şekil 4.5 - Donatı ekleyerek çatlak tamiratı

#### 4.4 Kolonların Onarım ve Güçlendirilmesi:

Betonarme yapılarda kolonların onarımı veya güçlendirilmesi için uygulanan en yaygın yöntem mantolama yöntemidir. Bu yöntem , varolan kolonun çevresini saran ve yeni donatı taşıyan beton katmanı oluşturarak kesitin büyütülmesini sağlayan bir yöntemdir.

Mantolama tekniği ideal olarak kolonun dört yüzünden yapılır. Ancak hem kolonun durumu hem de mimari nedenlerden dolayı bu teknik , kolonun sadece tek ya da iki veya üç yüzünden uygulanabilir.

Bu teknik uygulanırken , onarılması gereken hasarlı kolonun ezilen ve kabaran kabuk bölümünün temizlenmesi güçlendirilecek kolonun da paspayının sıyırılması yapılacak ilk işlemdir. Bu işlemden sonra boyuna ve enine donatı ilavesi beton katmanıyla kapatılarak kesit büyütülür.

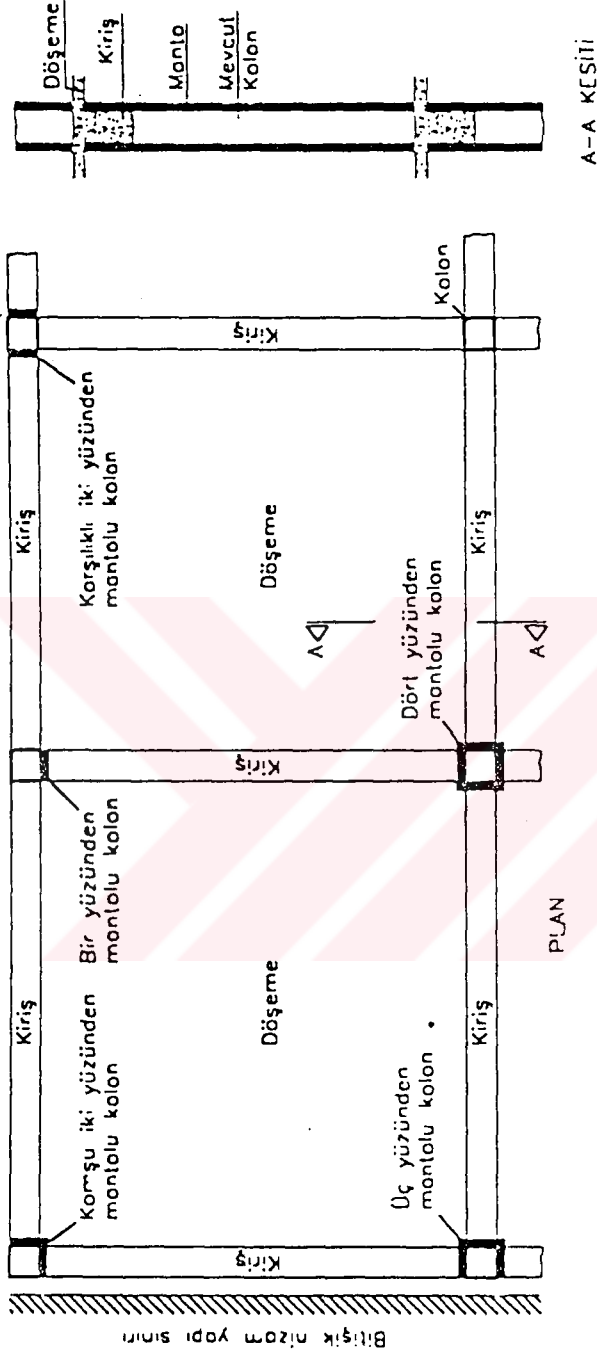
Onarılacak veya güçlendirilecek kolonun beton alanı ve donatı alanını arttırmak dayanımı önemli bir şekilde arttırmaktadır. Ekstra uzunlamasına donatılarla ve iyi detaylandırılmış sargı donatılarıyla süneklik ve enerji yutumunu da arttırmak mümkündür. Doğal olarak kolon kesiti arttığı için rijitlik de artmaktadır.

Mantolama tekniğinde dikkat edilmesi gereken önemli bir husus mevcut kolon ile eklenen kısımların birlikte davranış göstermesini sağlamaktır. Aşağıdaki koşullar dahilinde bunun söz konusu olması mümkün değildir.

- Eski ve yeni dökülen betonun arasındaki bağın zayıf olması
- Uygulanan yükün mevcut kesit ve manto arasında eşit dağılmaması
- Hasar görmüş kesitin rijitliğinin belirlenmesinin zor olması ve mantonun sisteme katılma miktarının belirlenmesinin zor olduğu durumlar

Bu nedenlerden dolayı mevcut kolon ve manto sismik hareketler altında davranış , dayanım , süneklik , enerji yutumu ve rijitlik açısından eşdeğer bir döküm elemandan beklenen davranışı göstermeyecektir.

Betonarme kolonların onarım ve güçlendirilmesinde uygulanan başka bir yöntem ise kolonun çelik korniyerlerle takviye edilmesidir.



Şekil 4.6 - Yapıda kısmi veya tam mantolama yapılabilecek kolon durumları

#### 4.4.1 Deneysel Çalışmalar ve Sonuçları :

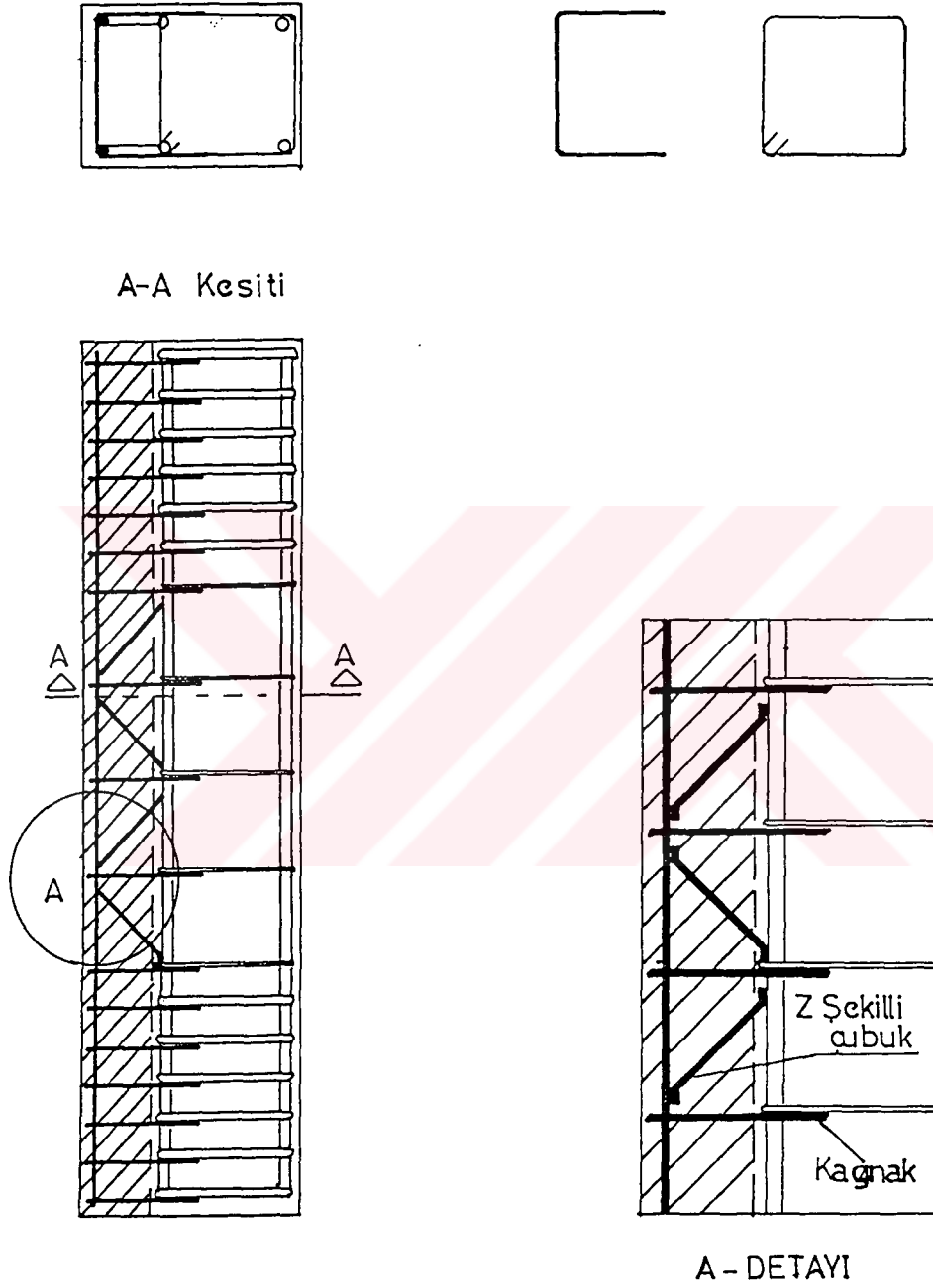
Güçlendirilmiş veya onarılmış betonarme kolonların davranışlarını incelemek için yapılan deneysel çalışmalar karşılaştırmalı olarak yapılmıştır. Genelde dört ayrı deney elemanı üretilip , bunların çeşitli yükler altındaki davranışları karşılaştırılmıştır.

Bu dört deney elemanı aşağıdaki gibidir.

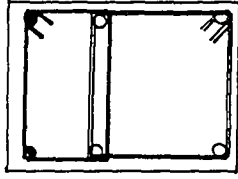
- Yalın
- Monolitik (Birdöküm)
- Güçlendirilmiş
- Onarılmış

Bu deney elemanlarının beton ve donatı dayanımları belirlenir. Sonuçların karşılaştırılacağı düşünülürse bunların aynı olması gerekir.

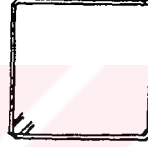
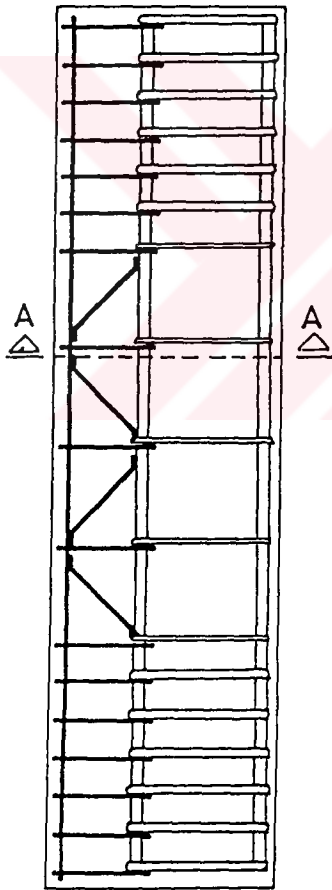
Kolonlar çeşitli yüklemelere maruz bırakılarak , dayanım , süneklik , enerji tüketimi , rijitlik gibi istenilen değerlerindeki değişimleri incelemek mümkün olmuştur.



Şekil 4.7 - Bir yüzünden mantolanmış kolon (Güçlendirilmiş hal)

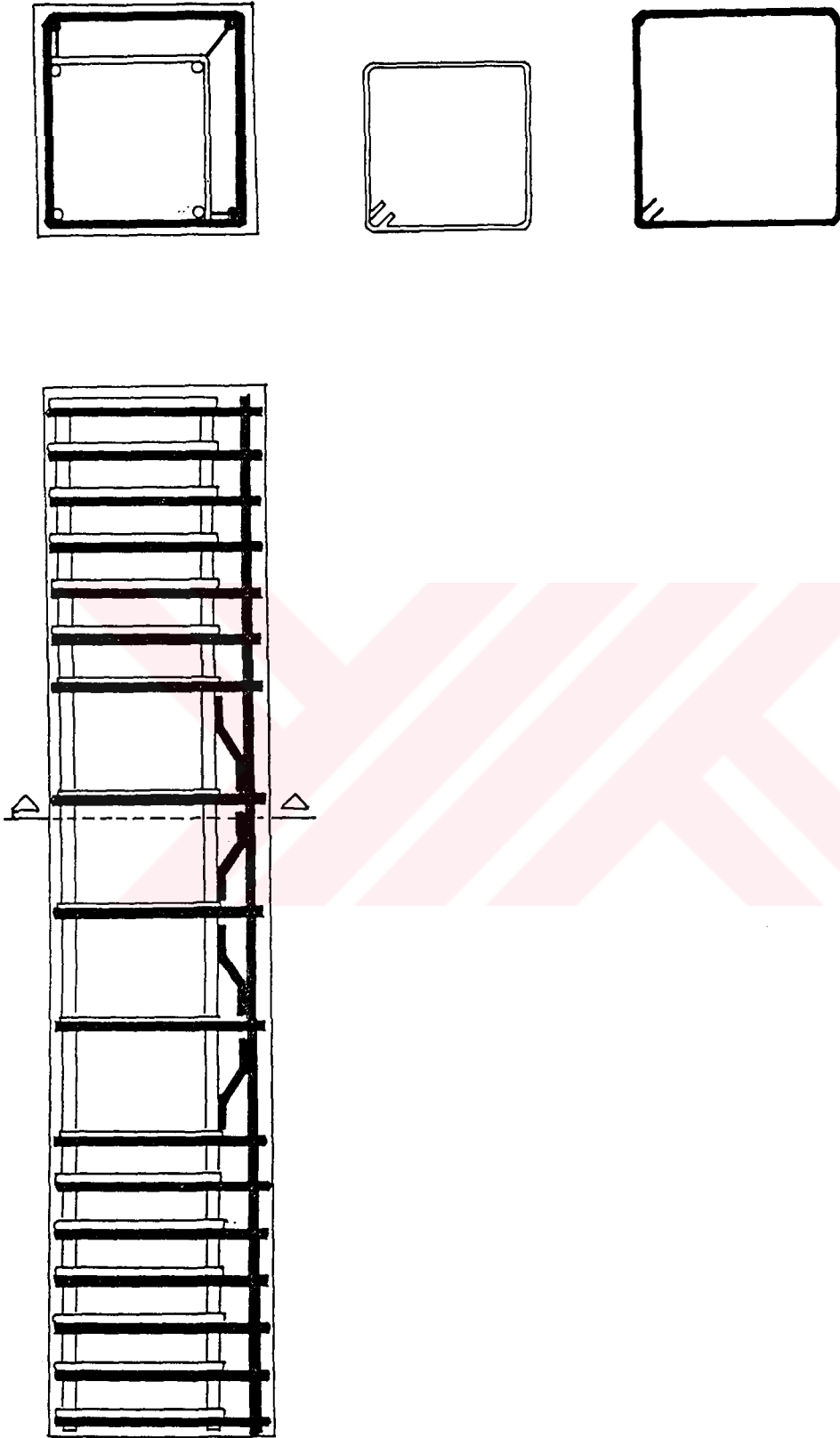


A-A Kesiti

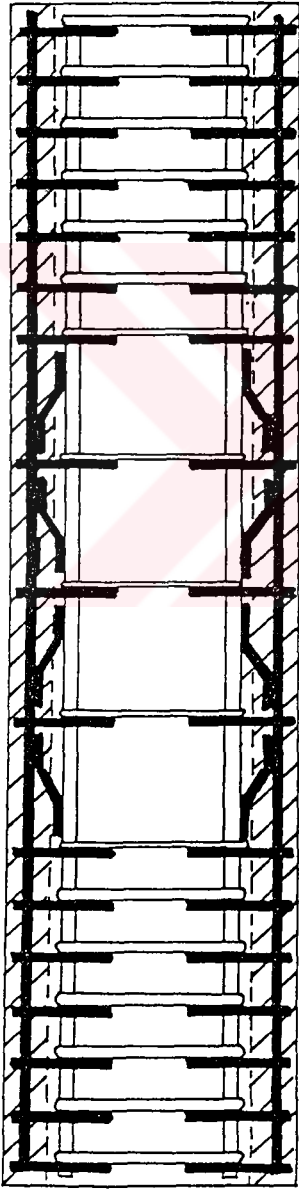
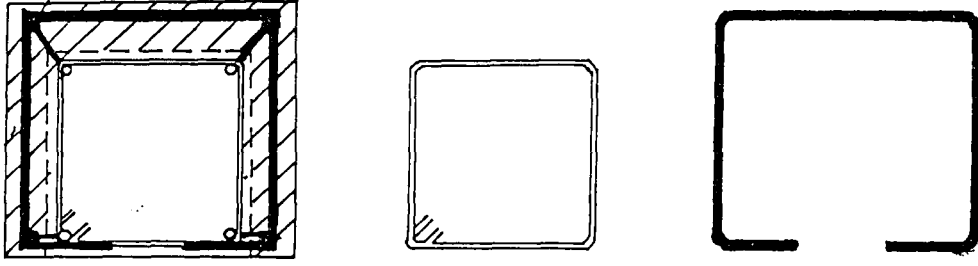


Şekil 4.8 - Bir yüzünden mantolanmış kolon (Monolitik hal)

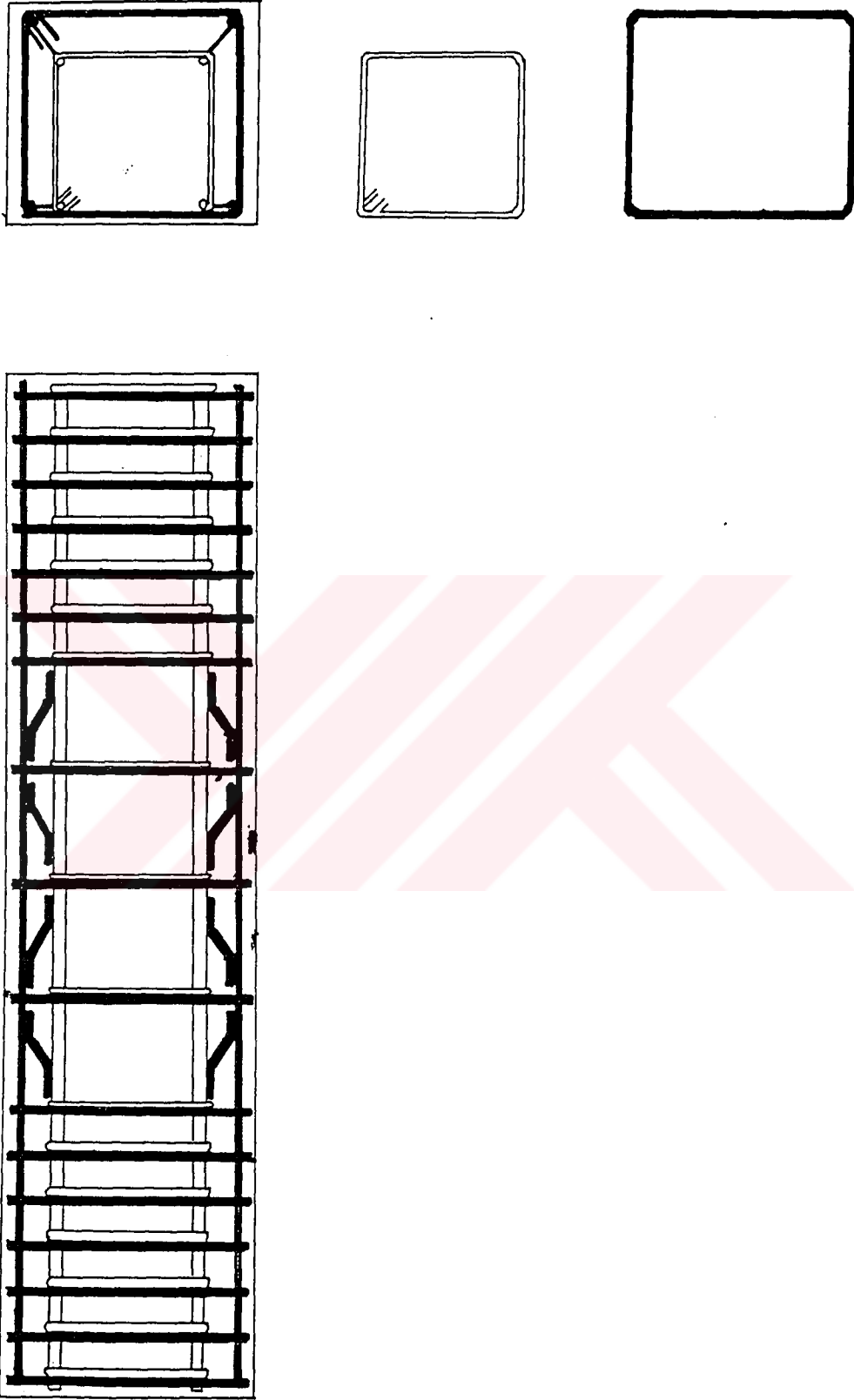




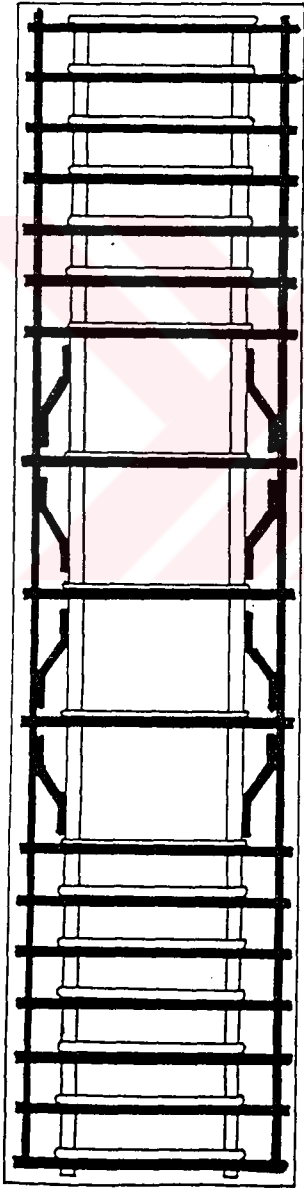
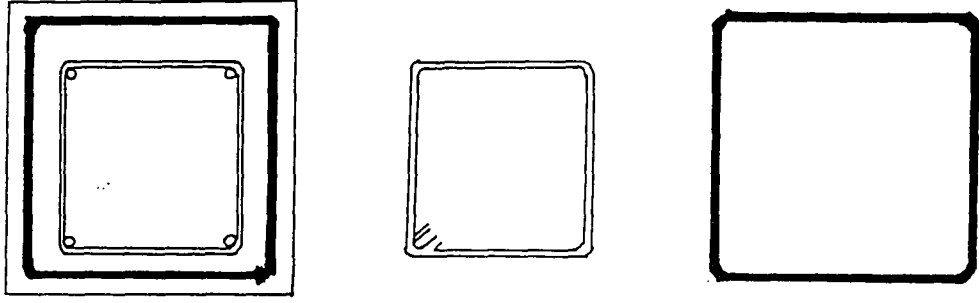
Şekil 4.10 - İki yüzünden mantolanmış kolon (Monolitik hal)



Şekil 4.11 - Üç yüzünden mantolanmış kolon (Güçlendirilmiş hal)



Şekil 4.12 - Üç yüzünden mantolanmış kolon (Monolitik hal)



Şekil 4.13 - Dört yüzünden mantolanmış kolon

**Hellesand - Green (1972) :**

Yapılan deneysel çalışmada sabit eksantrisite altında yükleme yapılmış , onarılmış betonarme kolonların yük taşıma kapasitesi ve deformasyonları incelenmiştir.

— Onarılmış kolonların yük taşıma kapasitesi , tek düze ve tersinir yüklemeye tabi tutulmuş birdöküm referans elemanlarının kapasitelerinden % 20 daha az olduğu gözlemlenmiştir.

— Onarılmış kolon ile birdöküm kolon karşılaştırıldığında , onarılmış kolonun servis yükünde yaptığı sehim önemli oranda daha büyüktür.

— Servis yüklemesi altındaki onarılmış elemanın rijitliği , birdöküm elemana oranla % 50 - % 90 civarındadır.

**Lawrence (1980) :**

Mevcut betonarme kolonların deprem dayanımını sağlaması için güçlendirilmesi deneysel olarak araştırılmıştır.

Araştırmanın sonucunda çelik bilezikleri ve U demirleri betonarme kolonları güçlendirmiş ve sünekliğini önemli şekilde arttırmıştır.

**Bett - Klinger - Jirsa :**

Bu çalışmada onarılmış ve güçlendirilmiş betonarme kolonların yanal yükleme altındaki sonuçları incelenmiştir.

—Onarılmış ve güçlendirilmiş kolonlar yalın kolonlardan daha iyi performans göstermiştir.

— Ek çapraz bağların kullanıldığı veya kullanılmadığı manto ile güçlendirilmiş kolonlar orjinal kolonlarla karşılaştırıldığında daha güçlü ve rijit olduğu görülmüştür.

— Onarılmış kolonlar da güçlendirilmiş kolonlar kadar iyi performans göstermiştir

**Hüsnü Can (1995) :**

Tek , iki , üç ve dört yüzünden mantolanmış kolonların davranışlarını incelemiş ve şu sonuçları elde etmiştir.

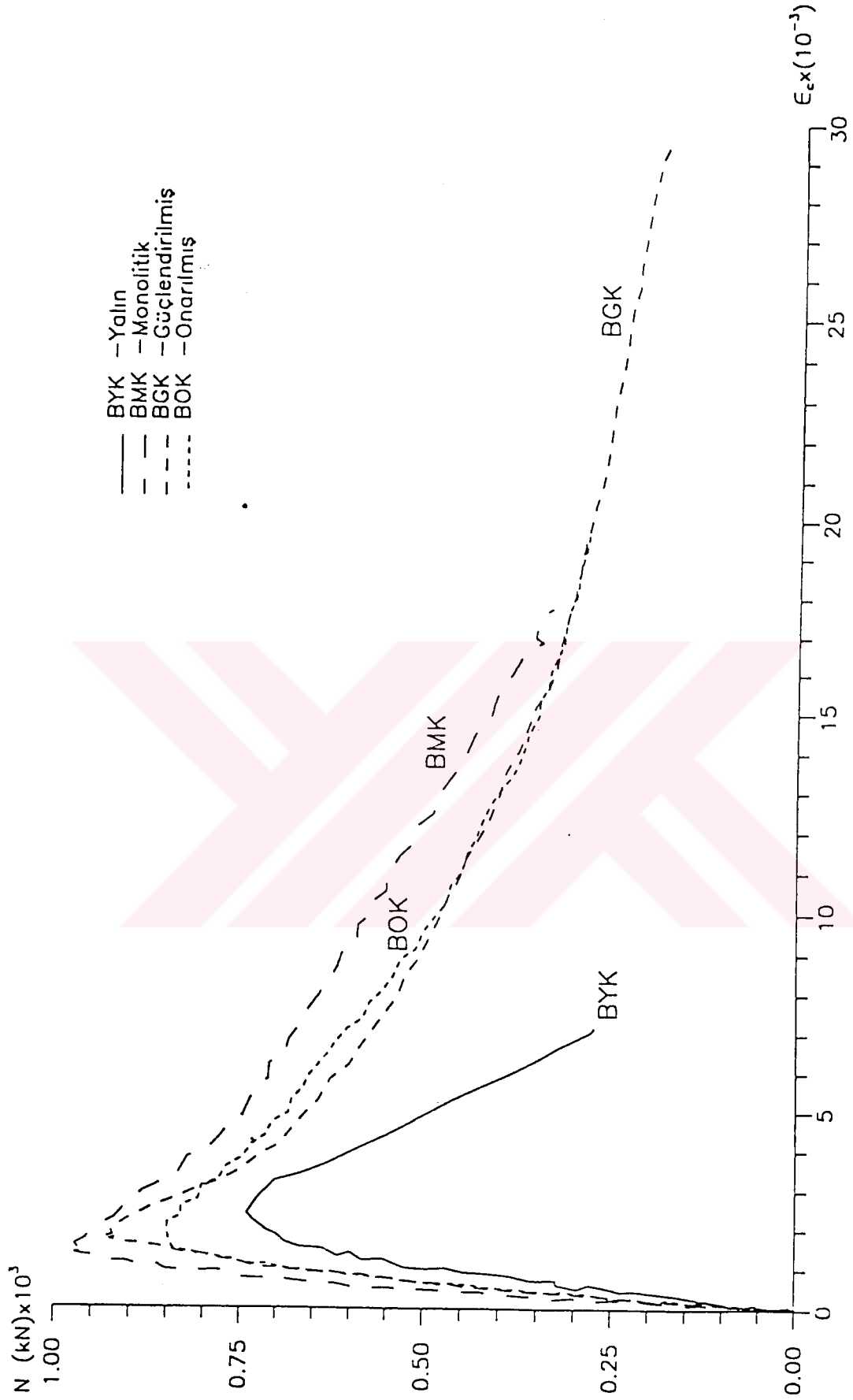
—Tek Yüzünden Mantolanmış Kolon :

**Tablo 4.2 - Deneysel Elemanların Kesit , Donatı ve Dayanım Artışları**

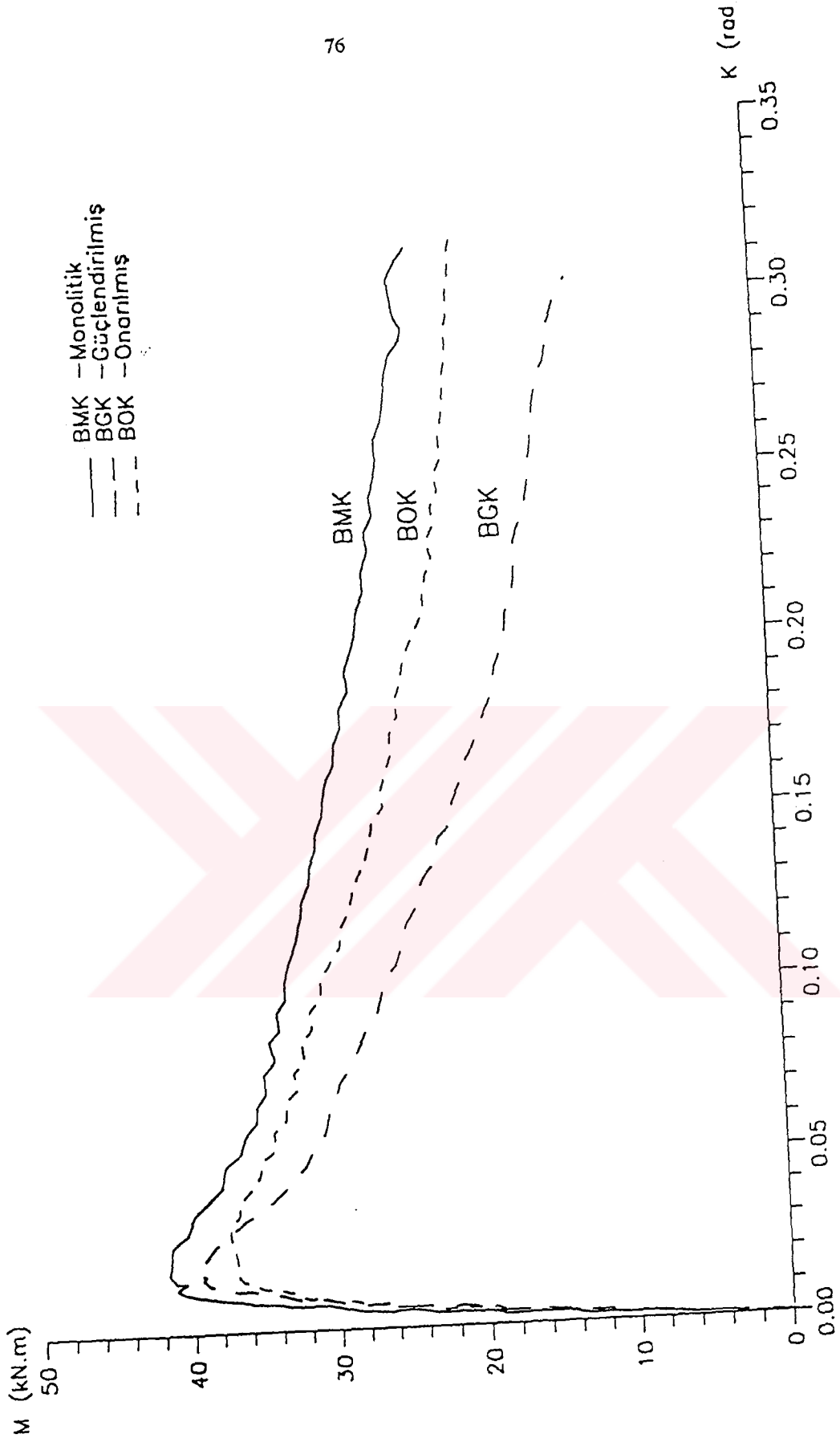
|                             | Monolitik<br>(BMK) | Güçlendirilmiş<br>(BGK) | Onarılmış<br>(BOK) |
|-----------------------------|--------------------|-------------------------|--------------------|
| Kesit Artışı $\lambda_{AC}$ | 1,50               | 1,50                    | 1,50               |
| Donatı Artışı $\lambda_p$   | 1,50               | 1,50                    | 1,50               |
| Dayanım Artışı $\lambda_N$  | 1,32               | 1,26                    | 1,15               |
| $\lambda_N / \lambda_{AC}$  | 0,88               | 0,84                    | 0,77               |

**Tablo 4.3 - Deneysel Elemanların Rijitlik ve Enerji Tüketimi :**

|   | BYK  | BOK  | BGK  | BMK   |
|---|------|------|------|-------|
| Rijitlik<br>(kN/(m/m).10 <sup>6</sup> ) | 0,48 | 0,67 | 0,76 | 1,08  |
| Rijitlik Oranı<br>(BMK ya göre)         | 0,45 | 0,62 | 0,71 | 1,00  |
| Enerji Tüketimi<br>(kN x m/m)           | 3,63 | 9,48 | 9,44 | 10,83 |
| Enerji Tüketim Oranı<br>(BMK ya göre)   | 0,88 | 0,88 | 0,87 | 1,00  |



Şekil 4.14 - Tek yüzünden mantolanmış kolonların yük birim deformasyon eğrileri



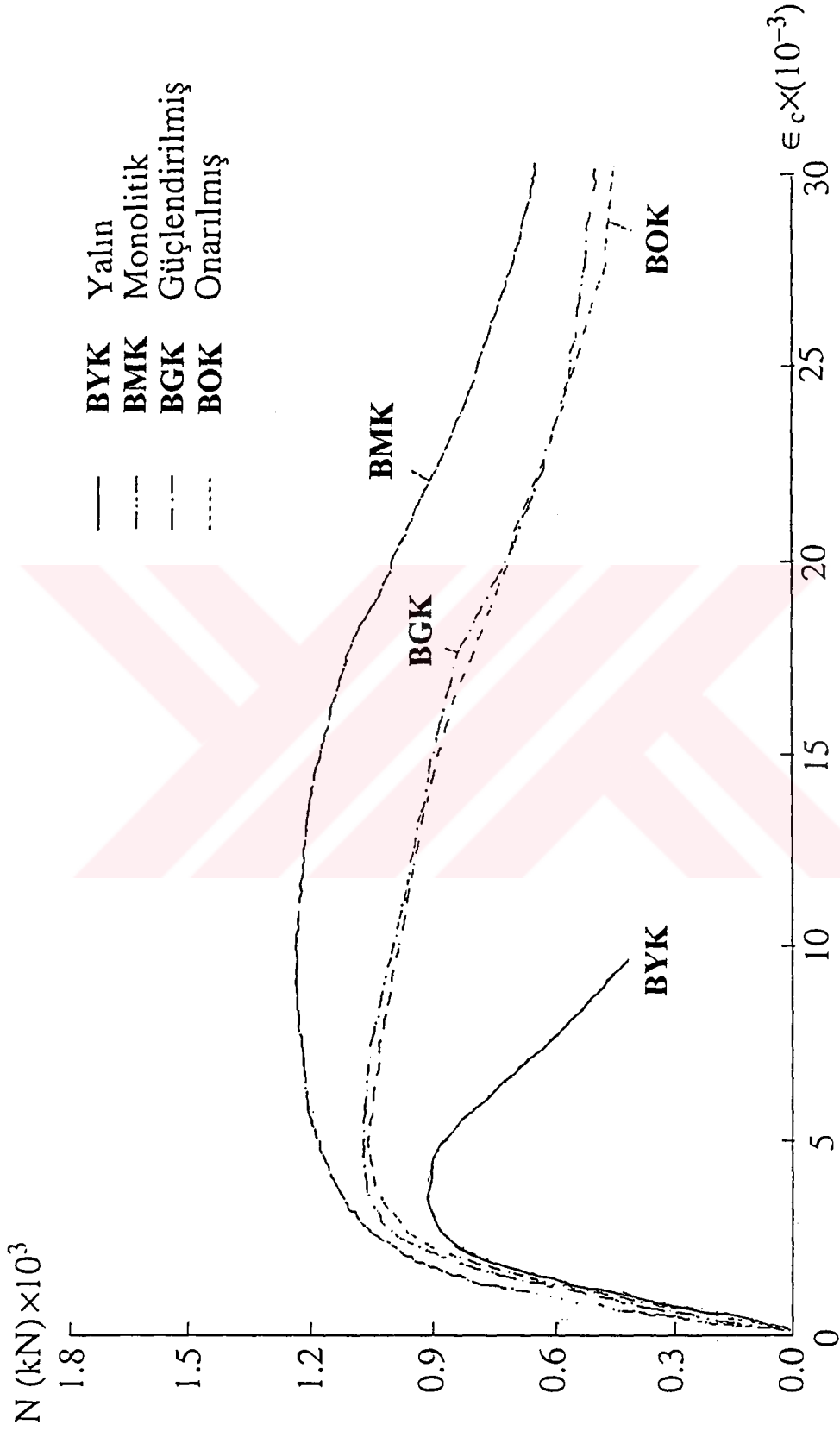
Şekil 4.15 - Tek yüzünden mantolanmış kolonların moment eğrilik ilişkileri

- Güçlendirme mantosu neticesinde , kesit kapasitesi monolitik kesit kapasitesinin % 96' sına ulaşabilmektedir.
- Güçlendirilmiş kolon monolitik kolonla kıyaslandığında rijitlikte % 29 kadar bir azalma olmuştur. Aynı karşılaştırmadaki süneklikte ise % 37' lik bir azalma olmuştur.
- Güçlendirilmiş kolonun enerji tüketme kapasitesi , monolitik kolonun enerji tüketme kapasitesinin % 87' si kadar olmuştur.
- Onarım mantosu sonucunda , kesit kapasitesi monolitik kolon kesit kapasitesinin % 87' sine ulaşmıştır.
- Onarılmış kolon monolitik kolonla karşılaştırıldığında rijitlikte % 38 kadar bir azalma olmuştur. Aynı karşılaştırmadaki süneklikte ise % 16' lık bir azalma olmuştur.
- Onarılmış kolonun enerji tüketme kapasitesi monolitik kolonun enerji tüketme kapasitesinin % 88'i kadar olmuştur.

— Komşu İki Yüzünden Mantolanmış Kolon :

**Tablo 4.4 - Deney Elemanlarının Kesit , Donatı ve Dayanım Artışları**

|                             | Monolitik<br>(BMK) | Güçlendirilmiş<br>(BGK) | Onarılmış<br>(BOK) |
|-----------------------------|--------------------|-------------------------|--------------------|
| Kesit Artışı $\lambda_{AC}$ | 1,49               | 1,49                    | 1,49               |
| Donatı Artışı $\lambda_p$   | 1,52               | 1,52                    | 1,52               |
| Dayanım Artışı $\lambda_N$  | 1,35               | 1,20                    | 1,16               |
| $\lambda_N / \lambda_{AC}$  | 0,90               | 0,80                    | 0,78               |



Şekil 4.16 - İki yüzünden mantolanmış kolonların yük birim deformasyon ilişkileri

— Onarım mantosu monolitik kolon dayanımının yaklaşık olarak % 86'sı düzeyinde bir taşıma gücü ortaya koyarken , bu değer güçlendirme mantosunda % 89 olmuştur.

— Mantolanmış kolonların gösterdiği süneklik , monolitik kolona kıyasla biraz daha düşük olmuştur. Bu davranış enerji tüketme kapasitelerinde de ortaya çıkmıştır. Bunun nedeni ilerleyen yük aşamalarında , boyuna donatıların aşırı burkulması ve dolayısıyla ilave etriyelerin kaynaklarından kopmasıdır.

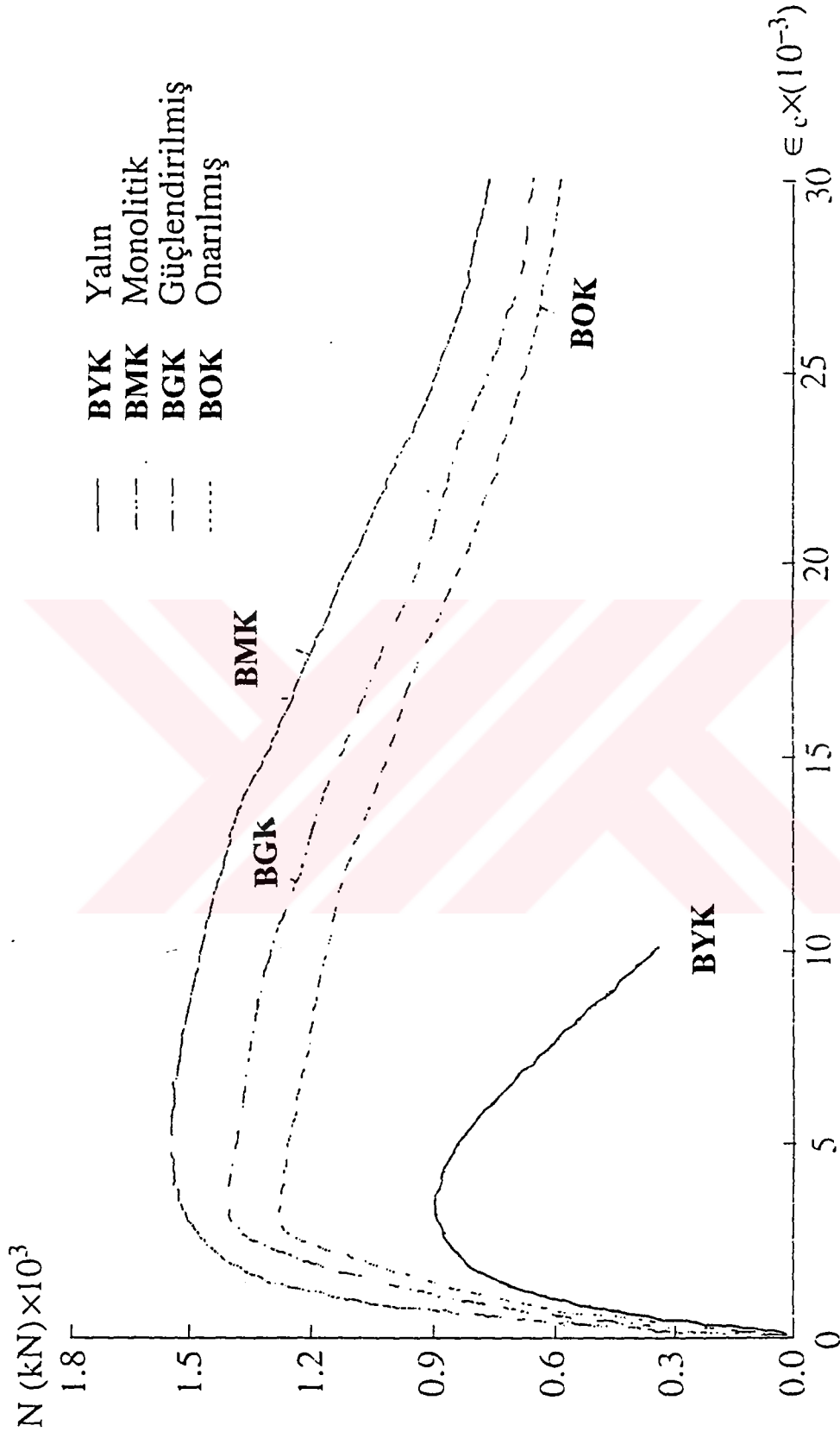
— Hem güçlendirme hem de onarım mantoları , rijitlik açısından son derece iyi davranış sergilemişlerdir. İlerleyen yük aşamalarında monolitik kolonun sergilediği rijitliğe kıyasla , bu kolonlarda % 10 bir azalma olduğu görülmüştür.

— Güçlendirme mantosu neticesinde yalın kolonun dayanımı % 20 artarken , onarım mantosu neticesinde ise % 16 artmıştır. Monolitik kolon durumunda ise , bu artış % 35 olarak gerçekleşmiştir. Dayanımda ortaya çıkan bu farklılık , süneklik ve enerji tüketimi davranışları bakımından da benzerlik göstermektedir.

— Üç Yüzünden Mantolanmış Kolon :

**Tablo 4.5 - Deney Elemanlarının Kesit , Donatı ve Dayanım Artışları**

|                             | Monolitik<br>(BMK) | Güçlendirilmiş<br>(BGK) | Onarılmış<br>(BOK) |
|-----------------------------|--------------------|-------------------------|--------------------|
| Kesit Artışı $\lambda_{AC}$ | 1,75               | 1,75                    | 1,75               |
| Donatı Artışı $\lambda_p$   | 1,69               | 1,69                    | 1,69               |
| Dayanım Artışı $\lambda_N$  | 1,69               | 1,53                    | 1,39               |
| $\lambda_N / \lambda_{AC}$  | 0,97               | 0,87                    | 0,79               |

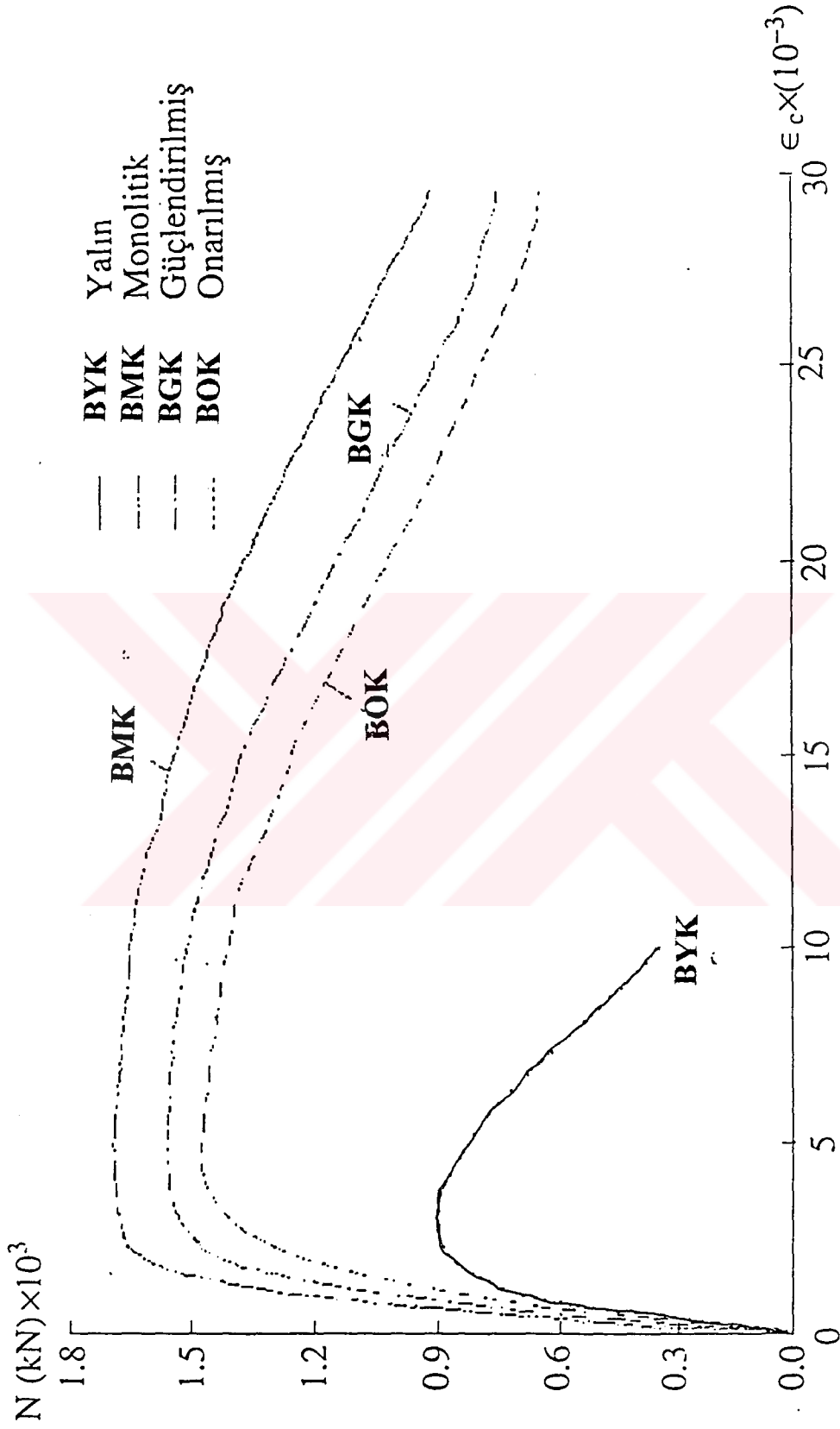


Şekil 4.17 - Üç yüzünden mantolanmış kolonların yük birim deformasyon ilişkileri

- Güçlendirme mantosu kullanıldığında monolitik kesit kapasitesinin % 90'nına ulaşılrken , bu değ er onarım mantosunda % 82 olmaktadır.
- Yalın kolonun taşıma gücü kapasitesi güçlendirme mantosu neticesinde % 53 oranında artarken , bu artış onarım mantosunda ancak % 39 olmuştur. Monolitik kolon durumunda ise bu artış % 69 olmaktadır.
- Taşıma gücü kapasitesinde ortaya çıkan bu farklılığa rijitlik değ işiminde de rastlanmaktadır. Yalın kolon rijitliği onarım neticesinde % 46 artarken , güçlendirme neticesinde de % 51 oranında artmıştır.
- Güçlendirilmiş ve onarılmış kolonun gösterdiği süneklik monolitik kolona kıyasla daha düşük olmuştur. Bu davranış kolonun enerji tüketme kapasitesinde de ortaya çıkmıştır. Enerji tüketme kapasiteleri monolitik kolonla kıyaslandığında , güçlendirilmiş kolonun % 14 onarılmış kolonunda % 23 daha az enerji tüketmiş olduğu anlaşılmaktadır.
- Onarım ve güçlendirme mantosu neticesinde ortaya konan rijitlik ve süneklilik davranışı monolitik kolonun davranışı ile kıyaslandığında , mantolama neticesinde görülen azalmanın önemli olmadığı anlaşılmaktadır.
- Dört Yüzünden Mantolanmış Kolon :

**Tablo 4.6 - Deney Elemanlarının Kesit , Donatı ve Dayanım Artışları**

|                             | Monolitik<br>(BMK) | Güçlendirilmiş<br>(BGK) | Onarılmış<br>(BOK) |
|-----------------------------|--------------------|-------------------------|--------------------|
| Kesit Artışı $\lambda_{AC}$ | 2,06               | 2,06                    | 2,06               |
| Donatı Artışı $\lambda_p$   | 1,69               | 1,69                    | 1,69               |
| Dayanım Artışı $\lambda_N$  | 1,89               | 1,75                    | 1,66               |
| $\lambda_N / \lambda_{AC}$  | 0,92               | 0,85                    | 0,81               |



Şekil 4.18 - Dört yüzünden mantolanmış kolonların yük birim deformasyon ilişkileri

— Güçlendirme mantosu neticesinde ( hasar öncesi ) , kesit kapasitesi monolitik kolon ( kolonla mantonun birlikte dökülmesi durumu ) kesit kapasitesinin % 92'sine kadar ulaşabilmektedir.

— Güçlendirme mantosu monolitik kolona kıyaslandığında , rijitlik ve süneklik davranışında belirgin bir azalma görülmektedir. Sadece , aksenal yük taşıma kapasitesi % 8 kadar azalmaktadır.

— Onarım ( kolon taşıma gücü aşılması ile ortaya çıkan hasar neticesinde ) mantosunun kesit kapasitesi , monolitik kolonun kesit kapasitesinin % 88'ine ulaşabilmektedir.

— Onarım mantosunun aksenal yük taşıma kapasitesi % 12 kadar bir düşüş göstermesine rağmen , ilerleyen yük aşamalarında rijitlikte küçük bir azalma (yaklaşık % 20 ) oluşmakta ve yük - birim deformasyon eğrisinin tepe noktası aşıldıktan sonraki aşamalarda ise sargılanmış betonla taşınabilen aksenal yükte yaklaşık % 5 kadar bir düşüş görülmektedir.

— Yalın kolon taşıma gücü kapasitesi , güçlendirme mantosu ile % 75 artar iken , onarım mantosu durumunda da % 66 arttığı belirlenmiştir. Bu kıyaslama monolitik kolon ile yapıldığında , artışı % 89 olduğu görülmektedir.

— Güçlendirme ve onarım mantolarının deneysel yük - birim deformasyonlarına ait kuyruk biriminin sonunda ( 0.03 birim deformasyona karşılık gelen ) gerçekleşen dayanım azalması sırasıyla , % 46 ve % 40 seviyesinde olmuştur.

— Dört yüzünden mantolanmış ( güçlendirilmiş ve onarılmış ) kolonlar genel olarak , dayanım , rijitlik ve süneklik yönüyle oldukça başarılı bir davranış sergilemişlerdir.

**İNTAG 512 (1995):**

— Mekanik kenetleme yöntemiyle mantolanarak güçlendirilmiş kolonun bileşik aksenal yük ve tersinir eğilme altındaki dayanımı , referans elemanından % 5 daha düşük bulunmuştur. Bununla birlikte , dayanım azalması , süneklik , enerji tüketimi ve rijitlik değişimi bakımından birdöküm referans elemanından daha iyi bir davranış sergilediği görülmüştür.

— Mekanik kenetlenme yöntemiyle mantolanarak onarılmış ve diriltilmiş kolonların bileşik aksenal yük ve tersinir eğilme altındaki dayanımları referans elemanından % 10 daha düşüktür. Bu oran enerji tüketiminde ve rijitlik değişiminde de gözlenmektedir.

— Mekanik kenetleme yöntemiyle mantolanarak onarılmış ve diriltilmiş yalın kolonların hasar miktarları çok farklı olmasına rağmen ağır hasar görmüş olan mantolanmış kolon ( diriltme ) bileşik aksenal yük ve tersinir eğilme altında daha iyi sonuç vermiştir. Bunun nedeni de diriltme mantosundaki mekanik kenetleme yönteminin işçilik açısından iyileştirilmiş olmasıdır.

— Sürekli kenetlenme yöntemiyle mantolanarak onarılmış ve diriltilmiş kolonların dayanım ve davranışı , birdöküm referans elemanının dayanım ve davranışı aynıdır. Mantolanacak yalın kolonun hasar derecesi mantolanmış kolonun dayanım ve davranışını belirgin biçimde etkilememektedir.

— Epoksili kenetleme yöntemiyle mantolanan kolonlardan beklenen sonuç elde edilememiştir. Bu elemanın maksimum dayanımları birdöküm referans elemanının dayanımından yüksek olmasına rağmen kolon - kiriş birleşimi çabuk hasar görmüş ve eleman yük taşıma kapasitesini çok çabuk tüketmiştir.

— Epoksili kenetlenme yöntemi düz demirlerde aderans tükenmesi sonucu epoksiden sıyrılmış , nervürlü demirlerde bu sıyrılmama olmamış fakat kolon - kiriş birleşiminin hasar görmesine neden olmuştur. Bu nedenlerden dolayı epoksili kenetlenme yöntemi güvenilir sonuç vermemiştir.

— Epoksili kenetlenme yöntemiyle mantolanmış kolonlarda kolon - kiriş birleşimi hasar görmesine rağmen tüm diğer kenetlenme yöntemlerinde ve mantolarda mantolanmış kolon , kiriş yüzünden hasara uğramıştır.

— Mekanik kenetlenme yöntemiyle mantolanmış onarılmış ve diriltilmiş kolonların yalnızca tersinir eğilme altındaki ( aksenal yüksüz ) dayanım ve davranışı birdöküm referans elemanının dayanım ve davranışı ile aynıdır. Mantolanacak yalın kolonun hasar derecesi mantolanmış kolonun dayanım ve davranışı belirgin biçimde etkilenmemektedir.

— Mekanik kenetlenme yönteminde kullanılan korniyerlerin rijitliği , saplamaların ve saplama üzerindeki vida dişlerinin dayanımları ile kullanılan somunların dayanımları mekanik kenetlenme yönteminin dayanım ve davranışı açısından çok önemlidir. Mekanik kenetlenme yönteminde işçiliğin de önemi çok büyüktür.

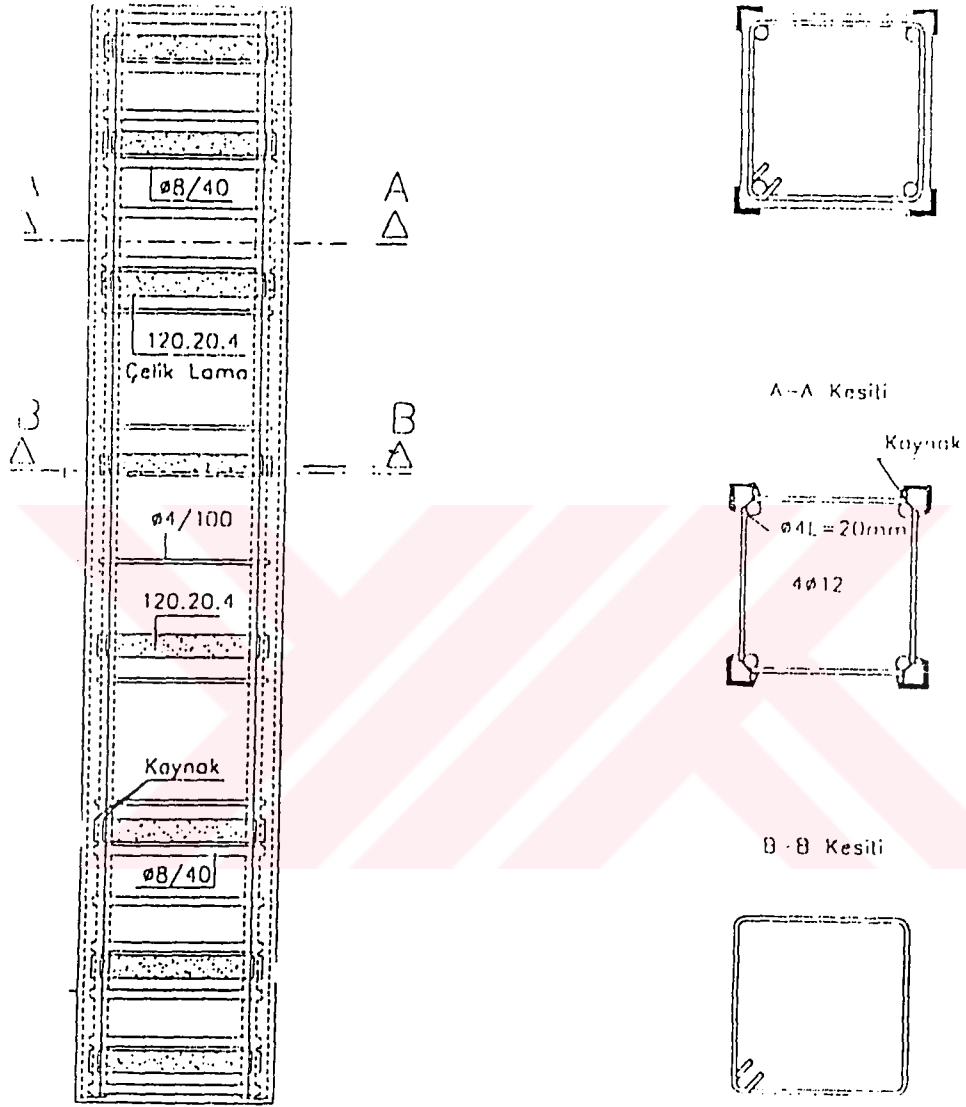
— Hangi kenetlenme yöntemi kullanılırsa kullanılsın betonarme mantolamada yalın kolonun hasar derecesi ( mantolamadan önce eleman ve donatı deformasyonlarının giderilmesi ve hasarlı bölgenin iyi temizlenmesi şartıyla) fazlaca önem taşımamaktadır.

— Manto boyuna donatılarını yalın kolon boyuna donatılarına birleştiren Z demirleri bilhassa sürekli kenetlenme yönteminde olmak üzere dayanım ve davranışı çok etkilemektedir. Bu Z demirlerinin aralığına , yerleştiriliş düzenine ve boyuna donatılara kaynaklanmasına dikkat edilmelidir.

#### 4.4.2 Kolonların Çelik Korniyerlerle Güçlendirilmesi :

Betonarme kolonların güçlendirilmesi veya onarılmasında mantolama dışında yaygın olarak uygulanan bir yöntemdir. Mevcut kolonun dört köşesine yerleştirilen çelik korniyerlerle dayanımın artırılmasının amaçlandığı bu yöneme ait yapılan deneysel çalışmalar olumlu sonuç vermiştir.





Şekil 4.19 Kolonların çelik korniyerlerle güçlendirilmesi

**Tablo 4.7 - Deneysel elemanların dayanım ve birim deformasyon değerleri oranları**

|     | $N_o/N_{o_{yalın}}$ | $N_o/N_{o_{mono}}$ | $N_o/N_y$ | $\epsilon_{co}/\epsilon_{cy}$ | $\epsilon_{c85}/\epsilon_{cy}$ |
|-----|---------------------|--------------------|-----------|-------------------------------|--------------------------------|
| BYK | 1,00                | 0,78               | 1,158     | 2,50                          | 4,16                           |
| BOK | 1,14                | 0,89               | 1,152     | 2,66                          | 7,33                           |
| BGK | 1,18                | 0,92               | 1,146     | 2,85                          | 8,14                           |
| BMK | 1,27                | 1,00               | 1,114     | 3,33                          | 9,66                           |

**Tablo 4.8 - Deneysel elemanların rijitlik ve enerji tüketimleri oranları**

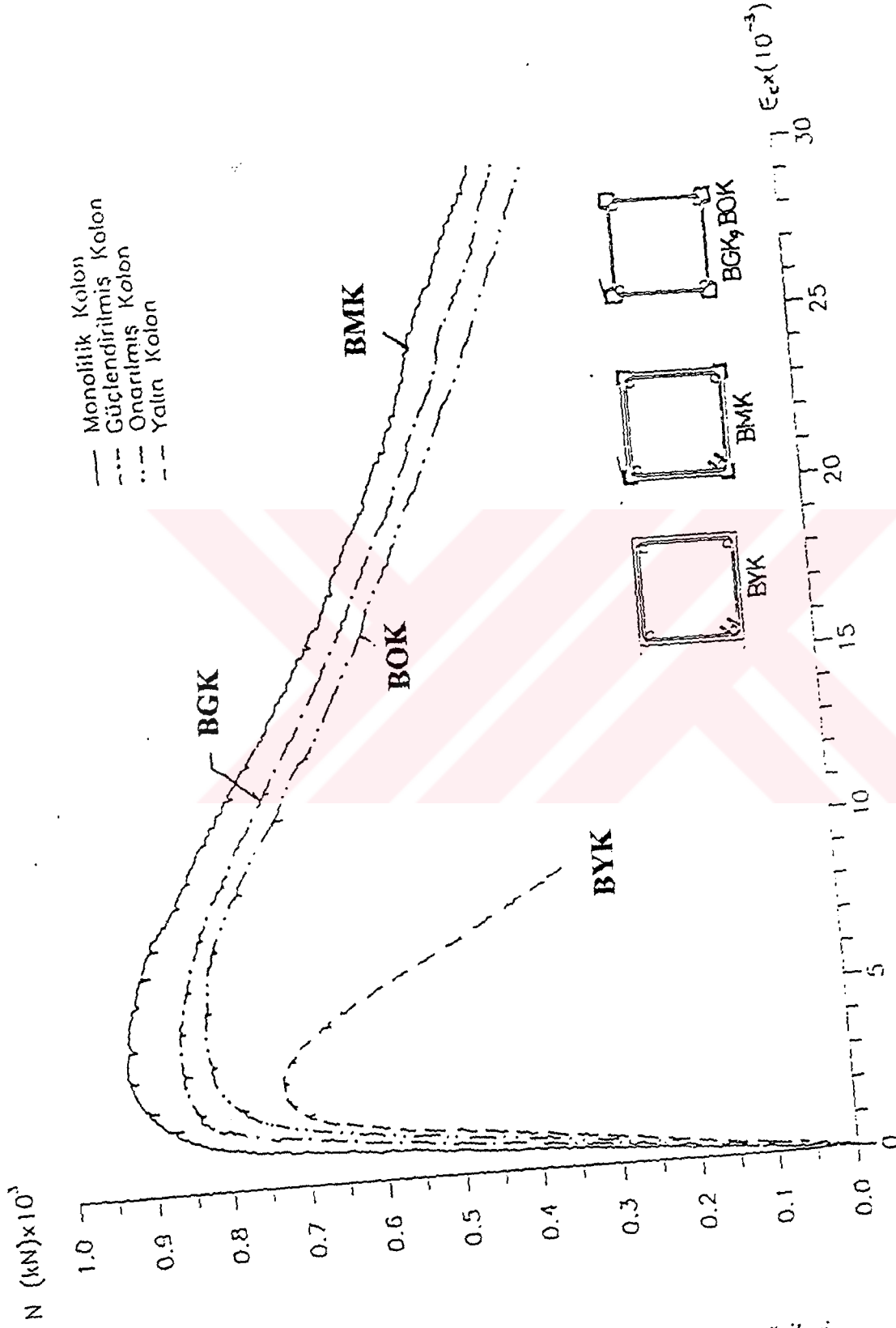
|     | Rijitlik<br>[kN/(m/m)] $10^3$ | Rijitlik oranı<br>(BMK'ya göre) | Enerji tüketimi<br>kN(m/m) | Enerji Tük. Oranı<br>(BMK'ya göre) |
|-----|-------------------------------|---------------------------------|----------------------------|------------------------------------|
| BYK | 442,56                        | 67,26                           | 4,775                      | 23,84                              |
| BOK | 538,46                        | 81,79                           | 18,089                     | 90,33                              |
| BGK | 584,00                        | 88,70                           | 18,785                     | 94,25                              |
| BMK | 658,33                        | 100                             | 20,026                     | 100                                |

— Kolonlar güçlendirme durumunda monolitik kesitin dayanımının % 92'sine , onarım durumunda ise % 89'una ulaşmıştır.

— Yalın kolon , onarım ve güçlendirmeye sırasıyla % 18 ve % 14 oranında dayanım artışı sergilemiştir. Ancak bu artış kullanılan çelik korniyerlerin boyutlarıyla doğru orantılıdır.

— Yalın kolonun onarım ve güçlendirme sayesinde rijitliğinde sırasıyla % 22 ve % 32 oranında artış olduğu gözlenmiştir.

— Onarılan ve güçlendirilen kolonlarda , sünelik ve enerji tüketimi bakımından belirgin bir iyileşme görülmüştür.



Şekil 4.20 - Kolonların yük - birim deformasyon eğrileri

#### 4.5 Kirişlerin Onarım ve Güçlendirilmesi :

Kirişlerin güçlendirilmesinin amacı, yerçekimi ve sismik yüklere karşı direnç göstermede zayıf kalan hasarlı ya da hasarsız kirişlere yeterli dayanıklılığı ve sağlamlığı kazandırmaktır. Onarım teknikleri için, “güçlü kiriş-zayıf kolon”lu yapıların ortaya çıkışını önlemek için daha fazla dikkatin gösterilmesi gerekmektedir. Kirişlere takviye kazandırmasıyla ilgili teknikleri kendi aralarında ikiye bölmek mümkündür:

- Kirişlerin eğilme kapasitesini arttırmak için dayanıklılık verme
- Kesme kapasitesini arttırmak için dayanıklılık verme

##### 4.5.1 Kirişlerin Eğilme Kapasitesini Arttırma :

Bir kirişin eğilebilme gücünü arttırmaya yönelik mevcut teknikler, mantolama ve tutkallı ince çelik sac levhalardır.

##### 4.5.2 Mantolama:

Kirişin bir, üç ya da dört tarafına beton eklemek yoluyla gerçekleştirilebilir. Bu yöntemde, beton muhafaza yontulduktan sonra yeni, uzunlamasına takviyeli yeni bir beton tabaka dökülür. Eski ve yeni beton tabakalarının birbirine yapışmasını garantilemek için , mevcut çeliğe kaynaklı , Z ya da U şeklinde bağlantılar kullanılır. Betonun katılaşmasıyla ortaya çıkan ve kaynaklı sargı demirleriyle ankrajlanan düzensiz şekilli beton yüzeyi, gömleğin iyi kesme dayanımı ve mevcut kirişe gergin bir şekilde bağlanmasını sağlar. Çelik ankraj plakalara ya da profillere yeterli geliştirme uzunluğu uygulamak ya da takviyeli kaynak yapmak yoluyla birleşik alanlardaki uzunlamasına takviye çubuklarının güvenilir ankrajı çok önemlidir.

Yeterli kesme dayanımı ve süneklik , mevcut çubukların tüm yanlarına dağıtılan ilave sargı demirleri tarafından sağlanmalıdır. Sargı demirlerinin ayakları, mantonun üst kısmında yer alan döşemedeki matkapla açılmış deliklerin içine girmelidir. Burada bu ayaklar, gerektiği gibi ankrajlanmalıdır.

Tek taraflı mantolama (Şekil 4.21) ya da sadece kiriş tabanının güçlendirilmesi, sadece kirişin ortasındaki eğilme dayanımını artırılmasının zorunlu olduğu durumlarda kullanılmalıdır. Bu teknik, yukarıda belirtilen tavsiyelere uygun olarak gerçekleştirilmelidir.

Bir kirişin dört taraftan mantolanması (Şekil 4.22) ya da betonla sarılması, donatı alanının ve beton kesit boyutlarının (derinliğin ve genişliğin) artması nedeniyle dikkate değer ölçüde eğilme ve kesme dayanımı sağlamaktadır.

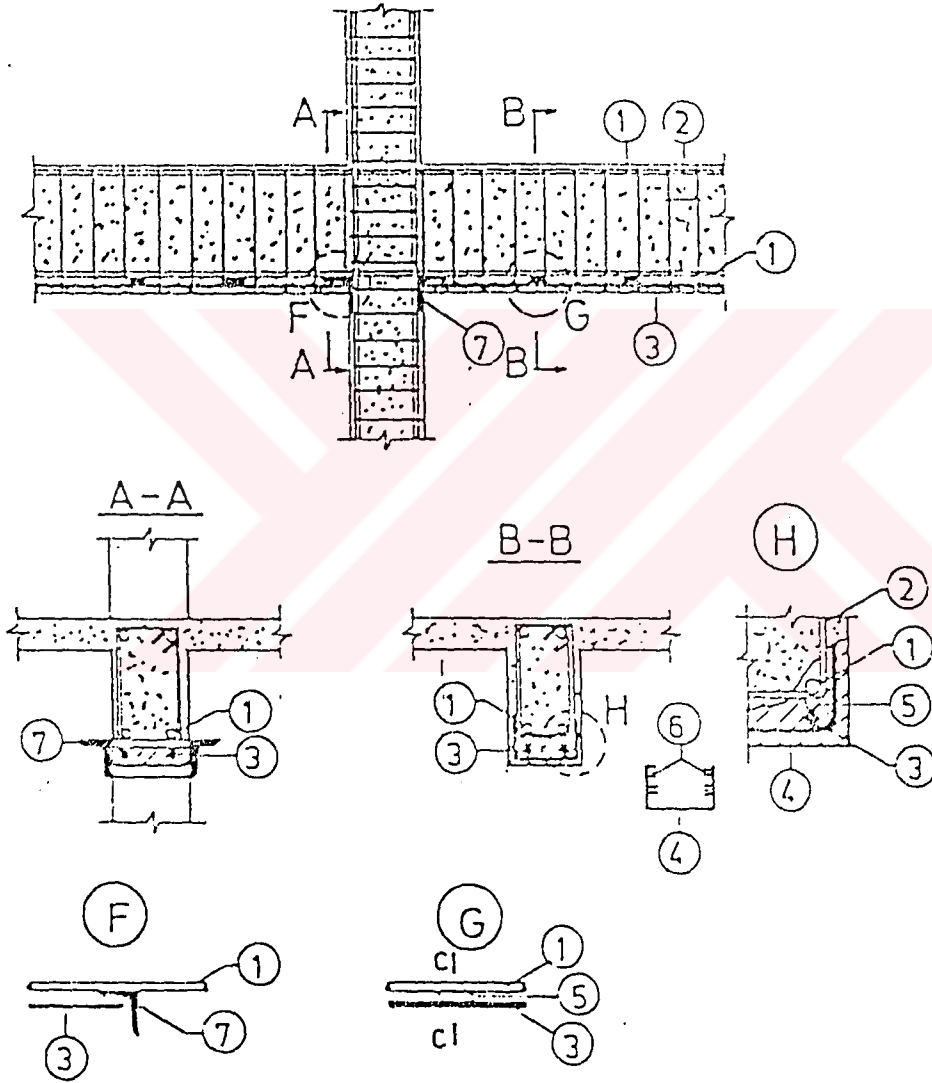
İlave uzunlamasına donatı, diyagonal olarak kaynaklanmış dirsek bükümlü çubuklar ya da küçük çelik plakalar ile mevcut donatılara bağlanmalıdır. Sargı demirleri, döşemeye açılmış olan deliklerden geçmekte ve tüm kirişi çepeçevre sarmalamaktadır. Bu delikler, betonun, mantonun döşemenin altına gelen kısmına yerleştirilmesi için kullanılabilir. Negatif eğilme döndürme etkisi için gerekli olan ilave donatı, kiriş bölgesindeki döşeme yüzeyinin üzerine ve mevcut sütunun dışına eklenmelidir. Beton koruyucunun birleşme bölgesindeki uzunlama çubukların ankrajlanması işlemine özel bir dikkat gösterilmelidir.

Kirişin üç tarafının mantolanması, Şekil 4.23'te gösterildiği gibi döşemenin tabanına yapılabilir. Bu tür mantolamanın yapılmasında en uygun yöntem, püskürtme beton yöntemidir ve bu yöntemin başlıca zayıf noktası, koruyucunun yan yüzlerine yeni sargı halkalarının ankrajlanmasıdır. Sargı halkası ankrajlamasının yararlı olup olmadığı, mekanik olarak çakılmış çivilerin dinamik dayanıklılığına ve yeni sargı halkalarının etkin bir şekilde ankrajlanmasını sağlayacak halat kalınlığına bağlıdır.

Mantolamada aşağıdaki şartlara uyulması gerekmektedir:

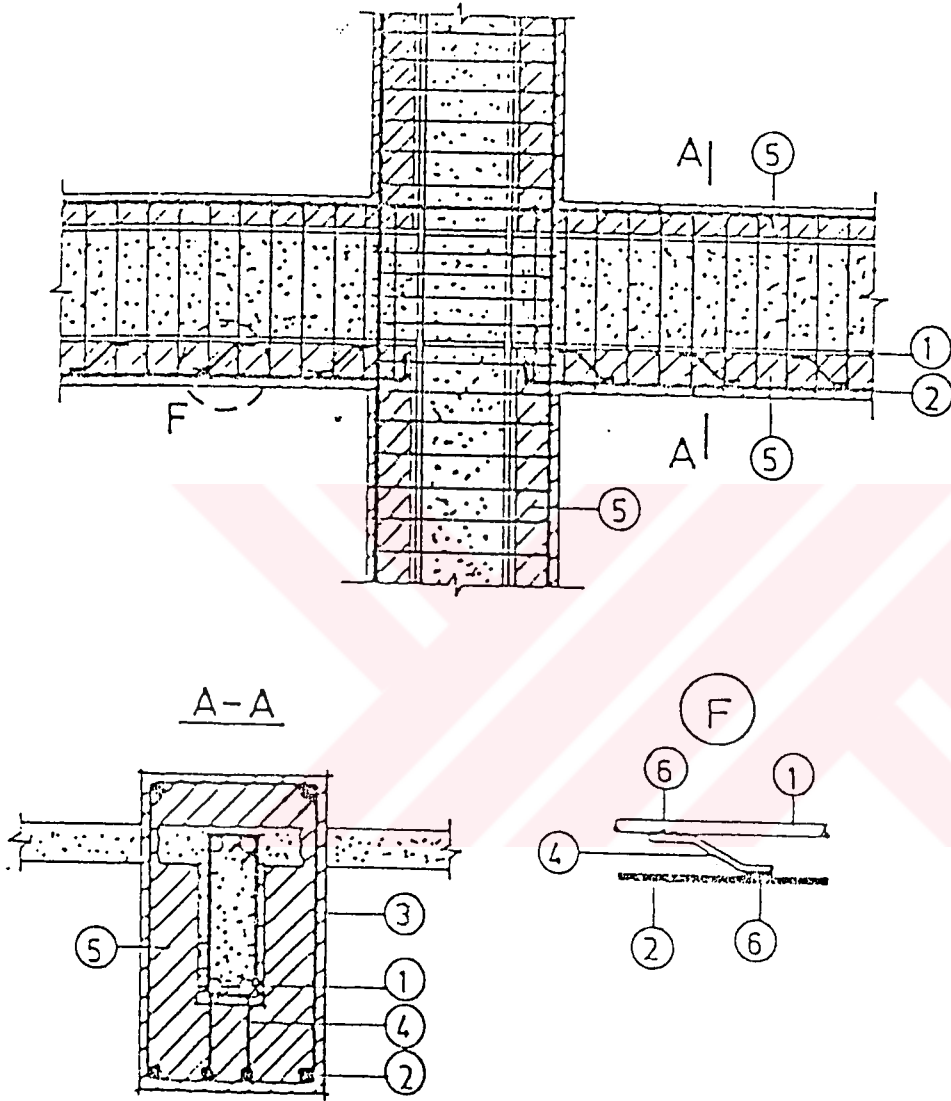
- Yeni malzemelerin dayanıklılığı, mevcut kirişinkilerden daha az olmamalıdır.
- Mantonun kalınlığı, püskürtme beton uygulamasında 40mm'den, yerinde dökme beton yönteminde ise 80mm'den az olmamalıdır.
- Momente dirençli çerçevelerin kiriş donatıları, kirişin üst ve alt kısımlarında sürekli olmalıdır, bunun yanında donatı, mesnet bölgelerinde kirişin brüt alanının en az 0.005 katı olmalıdır.
- Üst ve alt donatı, kolon birleşme alanı içerisinde, kolonun yüzünden başlayarak ya da birleşme bölgesinden geçerek ankrajlanmalıdır.

— Mesnet bölgelerinde tüm kiriş yüksekliğinin 4 katına eşit bir uzunluk için sargı halkalarının arasındaki mesafe, kiriş yüksekliğinin  $\frac{1}{4}$ 'ünden fazla olmamalıdır. Bu bölgenin dışında ise sargı halkalarının arasındaki mesafe iki katına çıkarılabilir.



- 1) mevcut donatı 2) mevcut etriye 3) ilave boyuna donatı 4) ilave etriye 5) kaynaklı bağlama çubuğu  
6) kaynak 7) L profil

Şekil 4.21 - Kiriş tabanının mantolanmasıyla kirişin eğilme kapasitesinin artırılması



- 1) mevcut donatı                      2) ilave boyuna donatı                      3) ilave etriye  
 4) kaynaklı bağlantı çubuğu      5) manto örtüsü      6) kaynak

Şekil 4.22 - Kirişlerin dört yüzünden mantolanması



Şekil 4.23 - Kirişlerin üç yüzünden mantolanması

### 4.5.3 Tutkallı İnce Çelik Levhalar :

Epoksi ile tutturulmuş çelik levha , Avrupa , Güney Afrika ve Japonya'da, mevcut betonarme köprü kirişlerinin yük taşıma kapasitesinin artırılması için etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Uygulayıcılar , bu dayanıklılığı artırma yönteminin ekonomik ve verimli sonuçlar doğurduğunu bulmuşlardır. Bu teknikteki ana prensipler , gerçekten de çok basittir. Çelik levhalar , çekme tarafında epoksi ile yapıştırılır , böylelikle kirişin dayanıklılığı ve rijitliği artırılır. Bu tekniğin dezavantajı ise , epoksi-çelik ara yüzeyindeki korozyon tehlikesidir: Korozyon yapışkanın dayanıklılığını olumsuz yönde etkiler. Aşağıdaki hususların dikkate alınması yerine getirilmesi ve denetlenmesi gerekmektedir:

— Beton , kum , toz ve tüm gevşek parçalardan , sertleşmiş köpükten (makine yağı gibi) temizlenmeli, dikkatli bir şekilde pürüzsüz hale getirilmeli ve tozdan arındırılmalıdır.

— Çelik levhalar , kısa bir süreyle asit çözeltileri içerisinde (oksitlerin giderilmesi için) tutulmalı ve daha sonra, makine yağı ve normal yağları çözücü özelliğe sahip temizleyici bir madde olan trikloreten uygulamasından geçirilmelidir.

— Reçine tabakasının kalınlığı 1.5mm'yi , çelik levhaların kalınlığı ise 3.0mm'yi geçmeyecektir (sac için özellikle özel ankrajlama sistemlerinden kullanılması durumunda kalınlık 10mm'yi aşmamak şartıyla daha fazla olabilir).

— Birbirine tutturulan tüm çelik levhaların , beton parçalara vida mungesi ile kelepçelenmesi gerekmektedir. Kelepçeleme sırasında en az (esasen reçinenin formülasyonuna ve çevre sıcaklığına bağlı olarak) 24 saat boyunca hafif kuvvette, fakat her noktaya eşit şekilde dağılan bir basınç uygulanmalıdır.

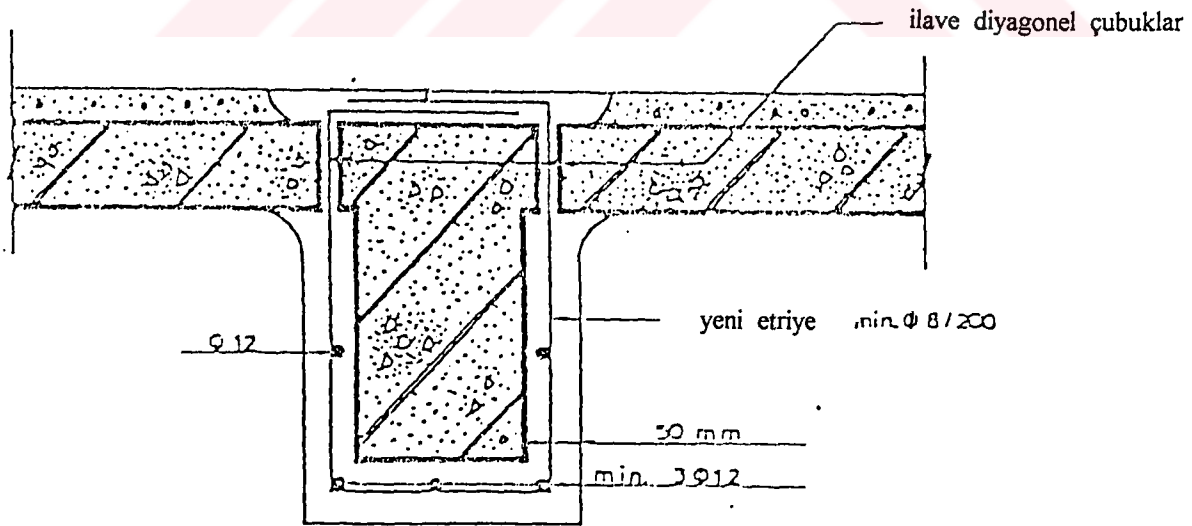
— En son olarak betonun kuvvetlendirilmiş kısmı sıcaklık değişikliklerinden ve özellikle de yangından (tel kafesli zengin içerikli çimento harcı tabakası ya da daha uygun bir yolla) korunmalıdır.

#### 4.5.4 Kirişlerin Kesme Kapasitesinin Arttırılması için Güçlendirme :

Bir kirişin kesme kapasitesini arttırmak için mevcut teknikler , eğilme kapasitesinin artırılmasında olduğu gibi mantolama ve tutkallı ince çelik levhalardır.

#### 4.5.5 Mantolama:

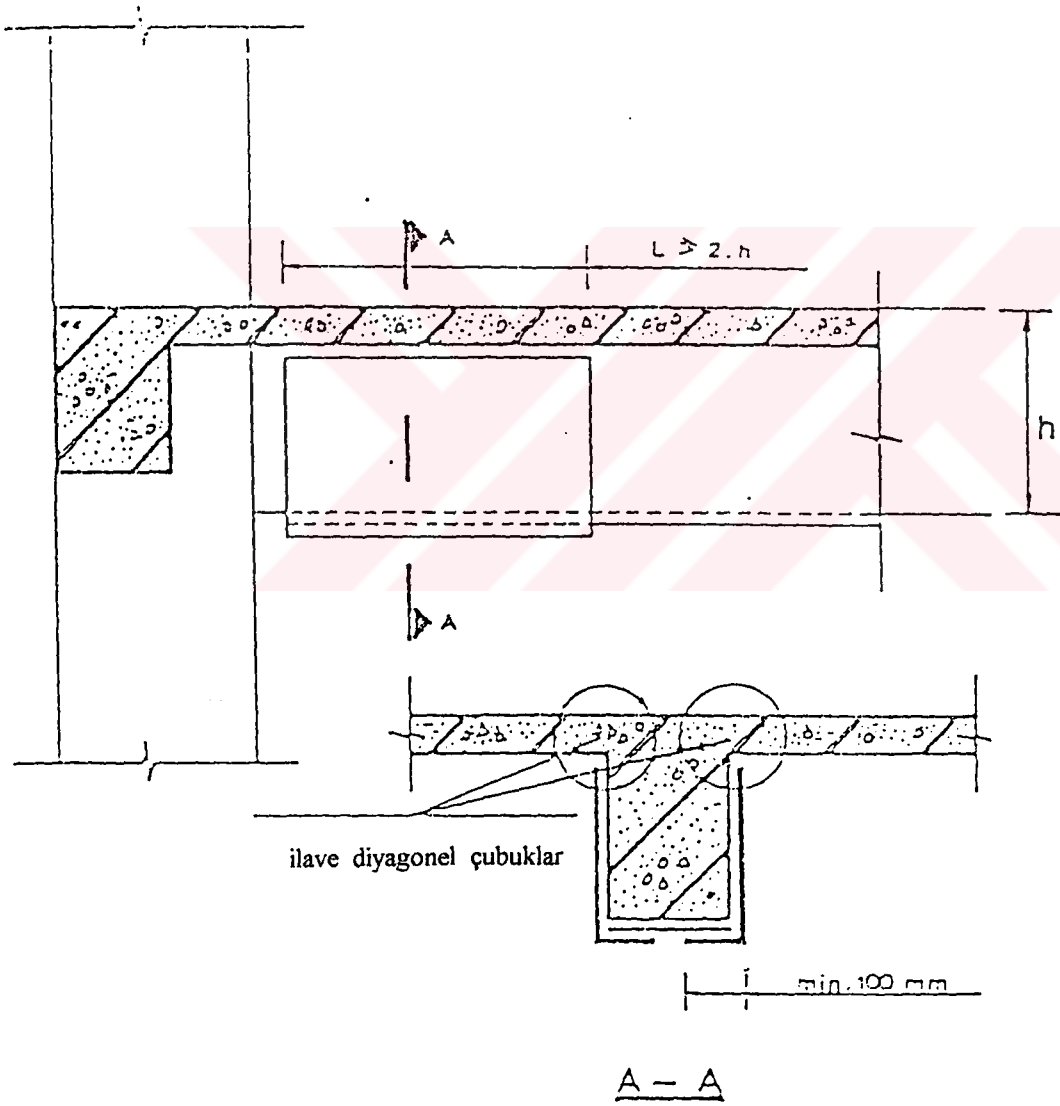
Uzunlamasına donatı ve sargı halkalarıyla beraber , bir kirişin üç ya da dört yüzüne beton ilave edilerek gerçekleştirilir. Daha önce belirtilen şartların aynısı özenle ve eksiksiz uygulanmalıdır. Genellikle , kesme ve eğilme dayanıklılığının bir arada arttırılmasında en önemli husus betonarme koruyucuların tüm ilave kesme donatısının (sargı halkalarının , diyagonal çubukların) dikkatli bir şekilde ankrajlanmasıdır. Bu durumda gerekli olan ilave şartlar (ilave takviyelerin minimum yüzdeleri, minimum ilave kalınlık, vs), Şekil 4.24'te gösterilmiştir.



Şekil 4.24 - İlave etriyeler ve mantolama ile kirişlerin kesme kapasitesinin arttırılması

#### 4.5.6 Tutkallı İnce Çelik Levhalar :

Maksimum kesme kuvvetinin bulunduğu bölgede , epoksi reçinesi ile bir kirişin her iki yüzüne ince çelik levhaların yapıştırılmasıyla gerçekleştirilebilir. Bölüm 4.6.3'te belirtilen şartların aynısı (tabakaların ve yapıştırma tabakalarının kalınlığı, yüzeyin hazırlanması, yangından koruma ilgili şartlar), tamamen göz önüne alınmalı ve yerine getirilmelidir.



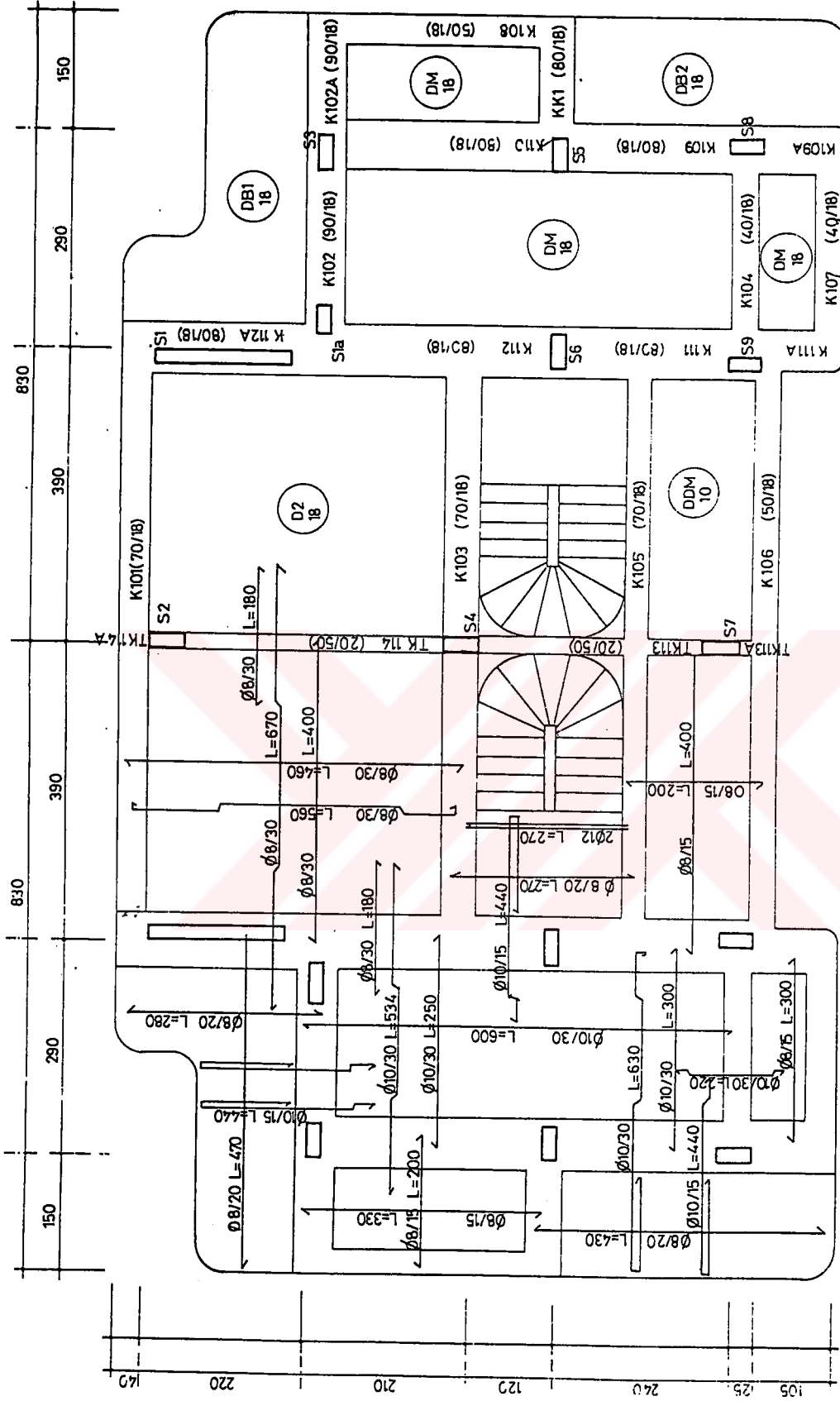
Şekil 4.25 - Kirişleri çelik levhalarla güçlendirilmesi

## BÖLÜM 5

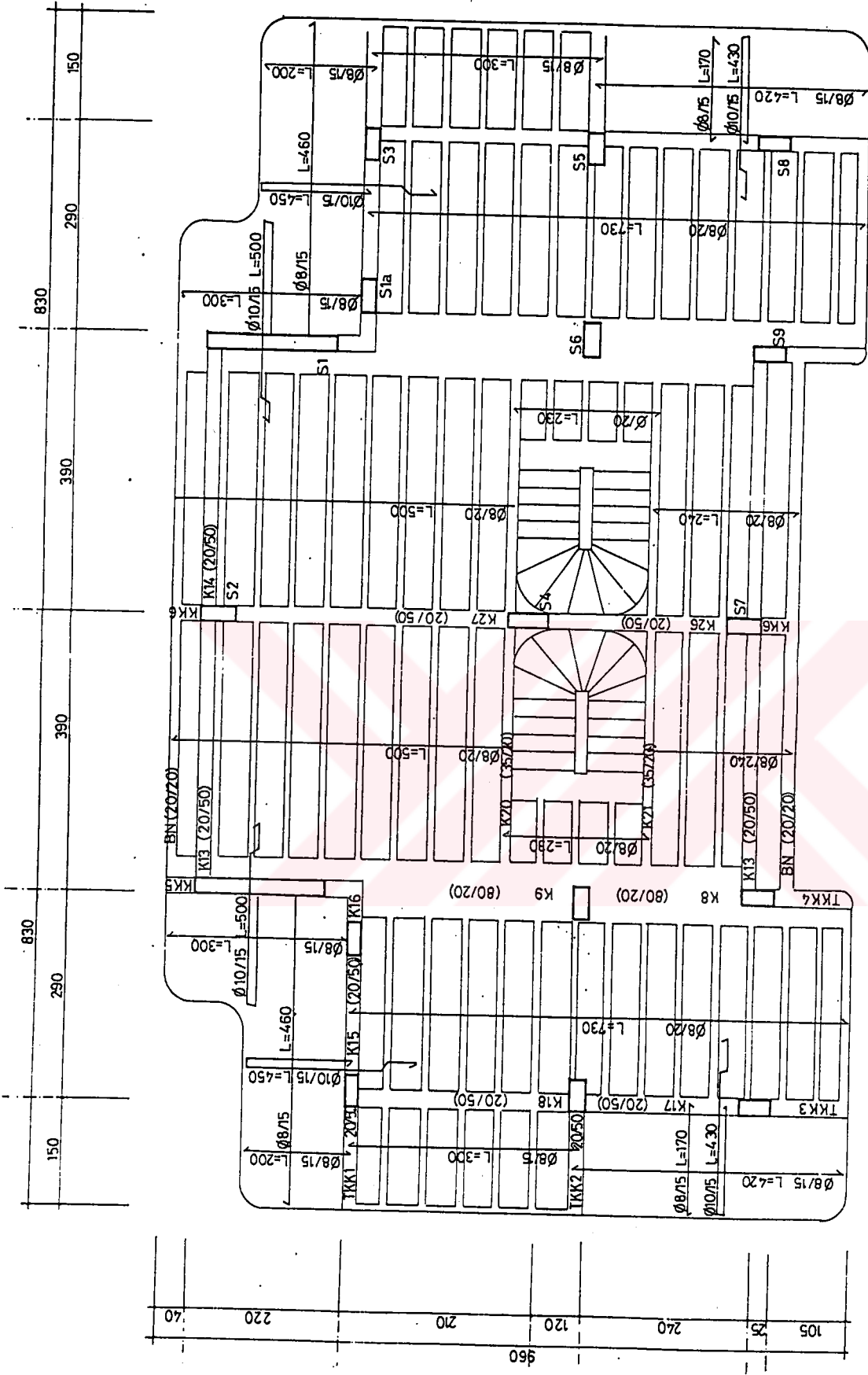
### UYGULANMIŞ BİR ONARIM PROJESİNDEN ÖRNEKLER :

Bu bölümde Prof. Dr. Ercüment KÖKSAL ve tarafımdan Büyükçekmece Güzelce villarında uygulanan onarım projesinden örnekler verilecektir. Bahsi geçen konutlardaki genel problem balkon ve döşemelerde meydana gelen sehimler ve bundan dolayı oluşan çatlaklardır. Bu problemin başlıca sebepleri kullanılan malzemenin özellikle de betonun yeterli dayanıma sahip olmaması , donatıların yerinde ve uygun döşenmemeleri ve kötü işçiliktir. Şantiye şartlarında hazırlanan betonda karışımın iyi ayarlanamamış olması ve yeterince sulanmayarak betonun yanması bu sonucu doğurmuştur.

Söz konusu villaların bir kısmı nervürlü , bir kısmı da gizli kirişli plak sistem şeklinde inşa edilmiştir. Nervürlü sistemde nervürler T şeklinde hazır nervürlerdir. Plak sistemde ise kirişler döşeme kalınlığıyla aynı kalınlıkta yassı kiriş olarak dizayn edilmiştir. Sehimler ve çatlaklar her iki türde de mevcuttur. Şekil 5.1 ve şekil 5.2'de plak ve nervürlü döşemelere ait kalıp planları verilmiştir.



Şekil 5.1 - Gizli kirişli plak sistemli villaların kalıp planı



Şekil 5.2 - Nervürlü döşemeli villaların kalıp planı

### 5.1 Yükleme Deneyleri :

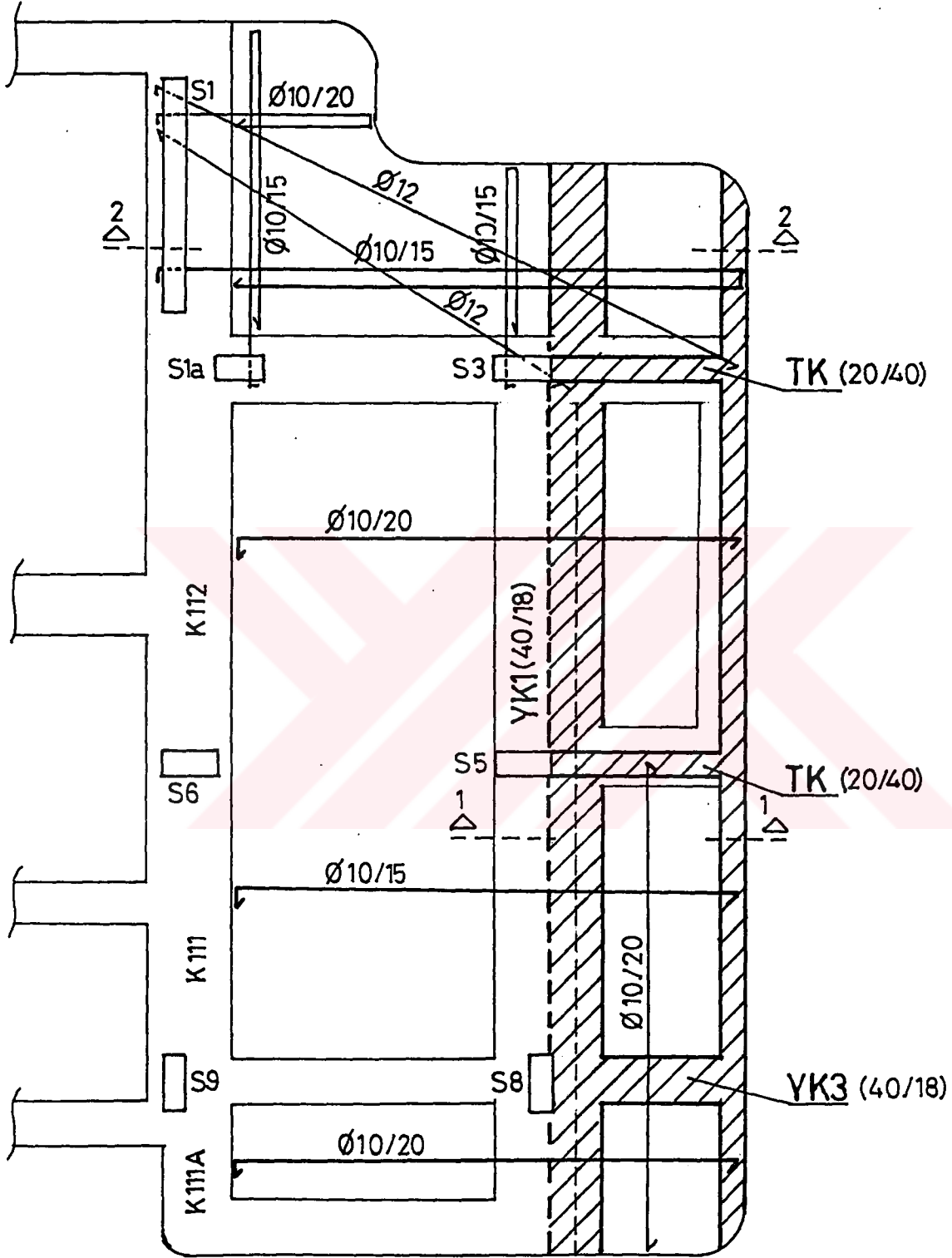
Döşemelerde ve balkonlarda meydana gelen sehimlerin büyüklüğünü incelemek amacıyla yükleme deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucu elastik ve plastik deformasyonlar ile bunların ani ve gecikmeli değerleri tespit edilip hesaplanmıştır. Onarım yöntemi bu aşamadan sonra saptanmıştır. Sehim ve çatlak durumları ile elemanın genel beton , donatı ve sistem gibi durumları da dikkate alınarak onarım tiplerine karar verilmiştir.

Bütün bunlar için sistem komple ele alınmıştır ve ;

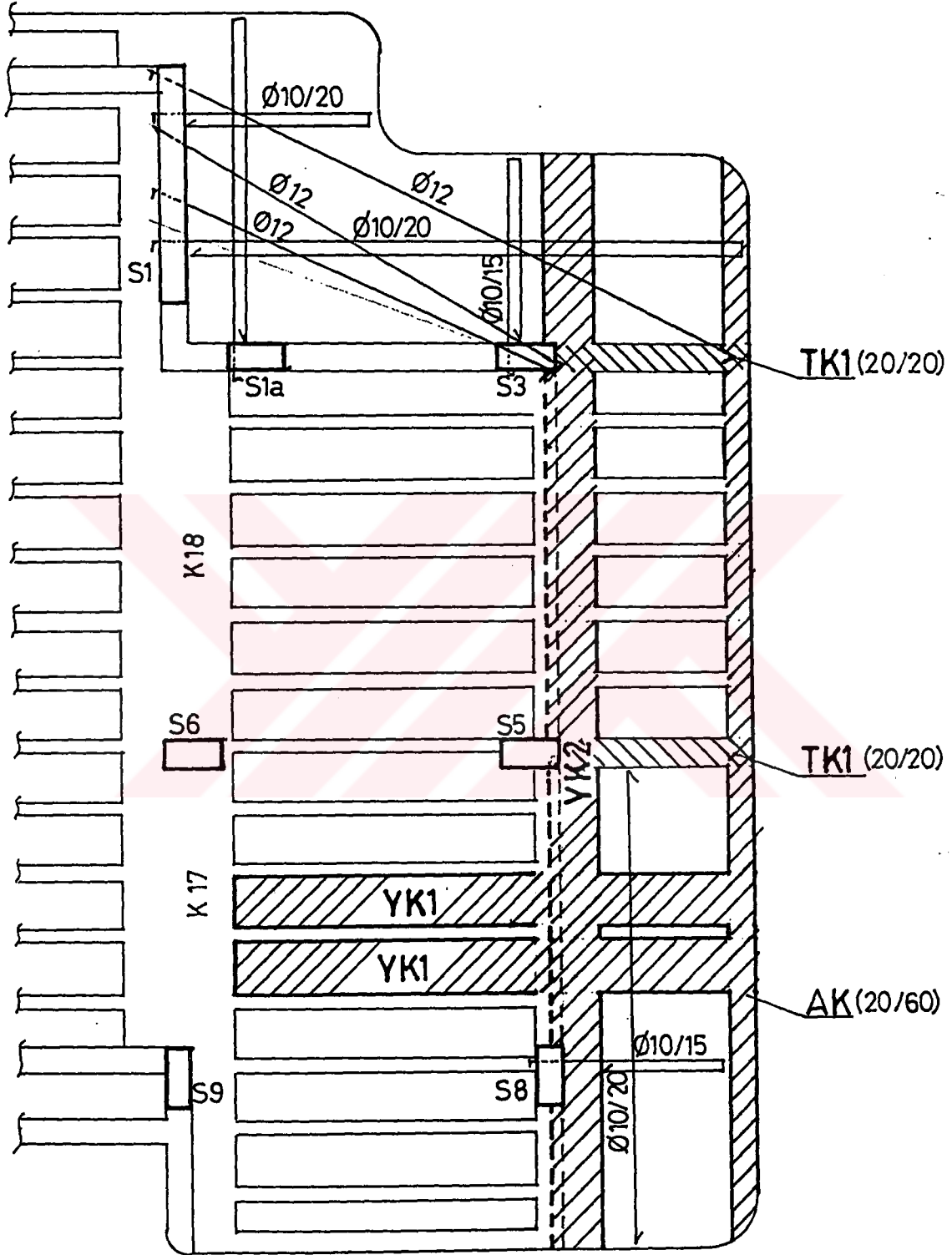
- Sehim ve çatlakların şartnamelerde verilen değerlerden fazla olduğu yerlerde kısmi yıkımlar yapılarak onarım projesine uygun biçimde yeniden inşa edilmesi
- Sehim ve çatlakların değerleri şartname sınırları altında olup , elastik deformasyonun kalıcı deformasyona göre büyük olduğu durumlarda , döşeme ve kiriş elemanlarında onarım projesine uygun betonarme takviye yoluna gidilmesi
- Plak döşemelerin yıkılıp yeniden onarım projesine göre yapılması
- Hazır nervürlü döşemelerin onarım projelerine göre yeniden yada asmolenler boşaltılarak betonarme takviyeli imalat ile güçlendirilmesi
- Plak balkonların aynı şekilde onarım projesine göre yıkılıp yapılması
- Plak döşeme ve balkonların yıkılmadan betonarme taviyesi
- Plak döşeme ve balkonlarda dikiş yolu ile sehime karşı takviyesi
- Sarkan kirişlerin mantolanarak güçlendirilmesi
- Gerekli görülen kolonların mantolanması ile güçlendirilmesi
- Gerekli görülen kiriş kolon birleşimlerine guse yapılması yöntemleri uygulanmıştır.

Tablo 5-3 Yükleme Deneyi

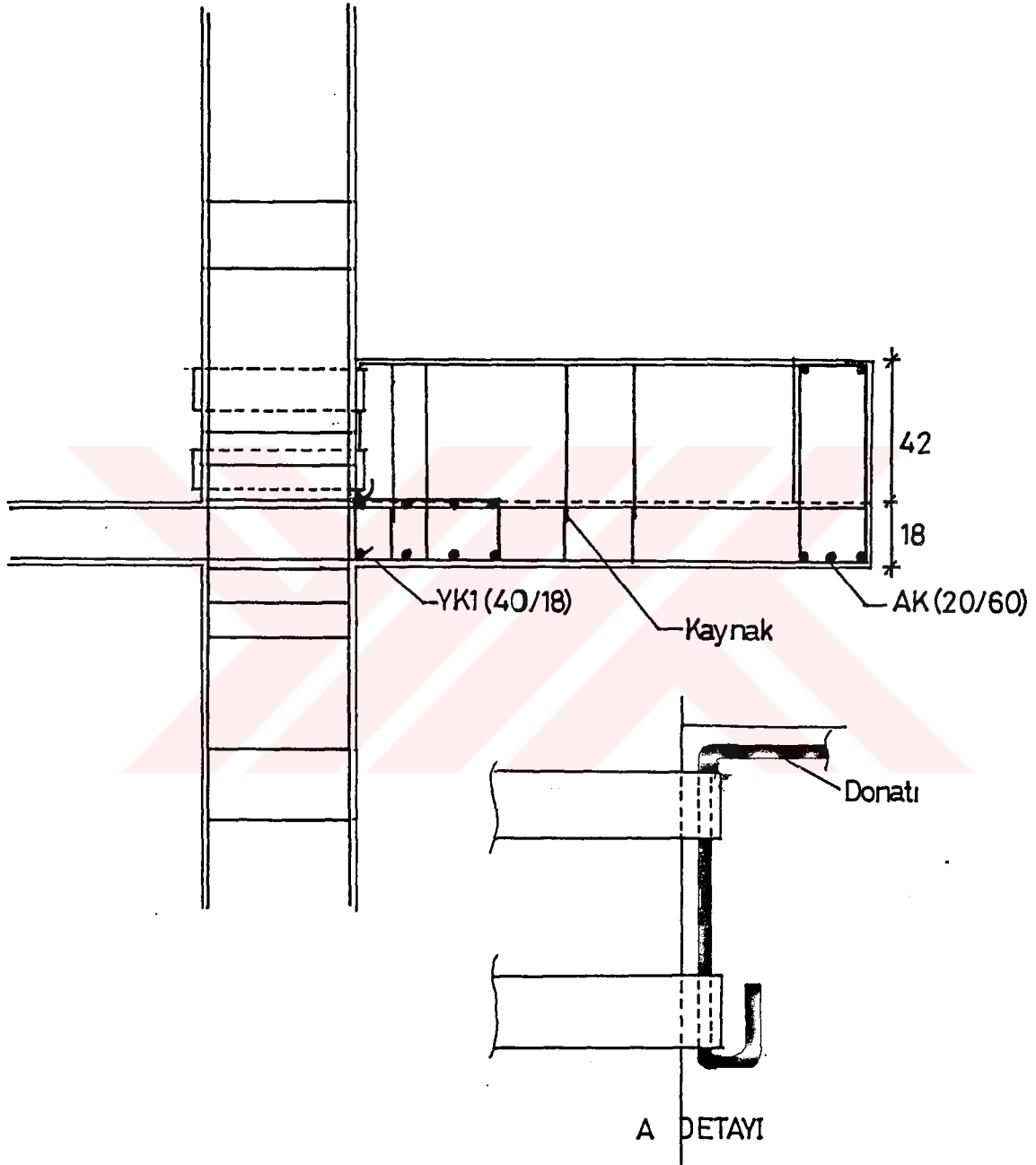
| NO   | BALKONDA TEST    |         |        |         |       |                   |                   | DÖŞEMEDE TEST    |         |        |         |       |              |              |
|------|------------------|---------|--------|---------|-------|-------------------|-------------------|------------------|---------|--------|---------|-------|--------------|--------------|
|      | t/m <sup>2</sup> | Başlama | 3 Saat | 24 Saat | Bitiş | $\epsilon_c$ (cm) | $\epsilon_p$ (cm) | t/m <sup>2</sup> | Başlama | 3 Saat | 24 Saat | Bitiş | $\epsilon_c$ | $\epsilon_p$ |
| 3112 | 2000/3           | 0.95    | 2.30   | 4.20    | 2.60  | 1.60              | 0.65              |                  |         |        |         |       |              |              |
| 3119 | 2000/3           | 0.25    | 1.20   | 2.30    | 1.05  | 1.25              | 0.80              |                  |         |        |         |       |              |              |
| 3127 | 1800/3           | 0.60    | 1.50   | 2.15    | 1.20  | 0.95              | 0.60              |                  |         |        |         |       |              |              |
| 3128 | 1800/3           | 0.80    | 1.40   | 1.90    | 1.60  | 0.30              | 0.80              |                  |         |        |         |       |              |              |
| 3118 | 1800/3           | 2.70    | 3.60   | 4.70    | 2.70  | 2.00              | -                 |                  |         |        |         |       |              |              |
| 3119 | 1800/3           | 0.11    | 2.30   | 2.40    | 1.80  | 0.61              | 1.69              |                  |         |        |         |       |              |              |
| 3110 | 2000/3           | 0.07    | 1.20   | 2.62    | 1.07  | 1.55              | 1.00              |                  |         |        |         |       |              |              |
| 3109 | 2000/3           | 0.45    | 1.70   | 2.90    | 2.80  | 0.10              | 2.35              |                  |         |        |         |       |              |              |
| 3108 |                  |         |        |         |       |                   |                   | 2000/3           | 0.25    | 1.05   | 2.20    | 1.60  | 0.60         | 1.35         |
| 3107 |                  |         |        |         |       |                   |                   | 1800/3           | 0.22    | 0.25   | 0.32    | 0.30  | 0.02         | 0.08         |
| 3105 |                  |         |        |         |       |                   |                   | 1800/3           | 0.30    | 0.40   | 0.42    | 0.35  | 0.07         | 0.05         |
| 3104 |                  |         |        |         |       |                   |                   | 1800/3           | 0.85    | 1.05   | 1.39    | 1.00  | 0.39         | 0.15         |
| 3102 |                  |         |        |         |       |                   |                   | 2200/3           | 0.11    | 1.20   | 1.75    | 1.41  | 0.34         | 1.30         |



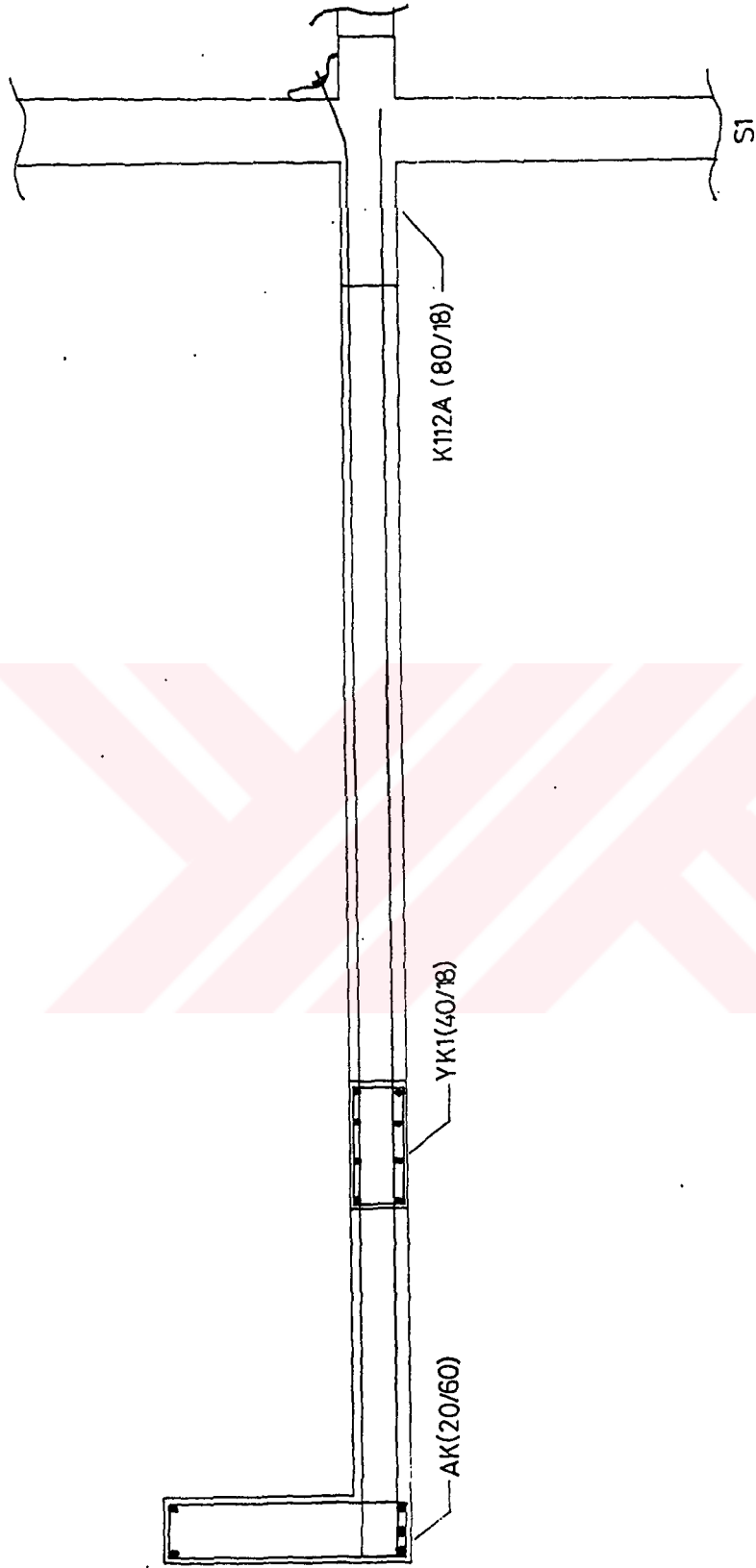
Şekil 5.3 - Gizli kirişli plak sistemde ek kirişler ve ek donatılar



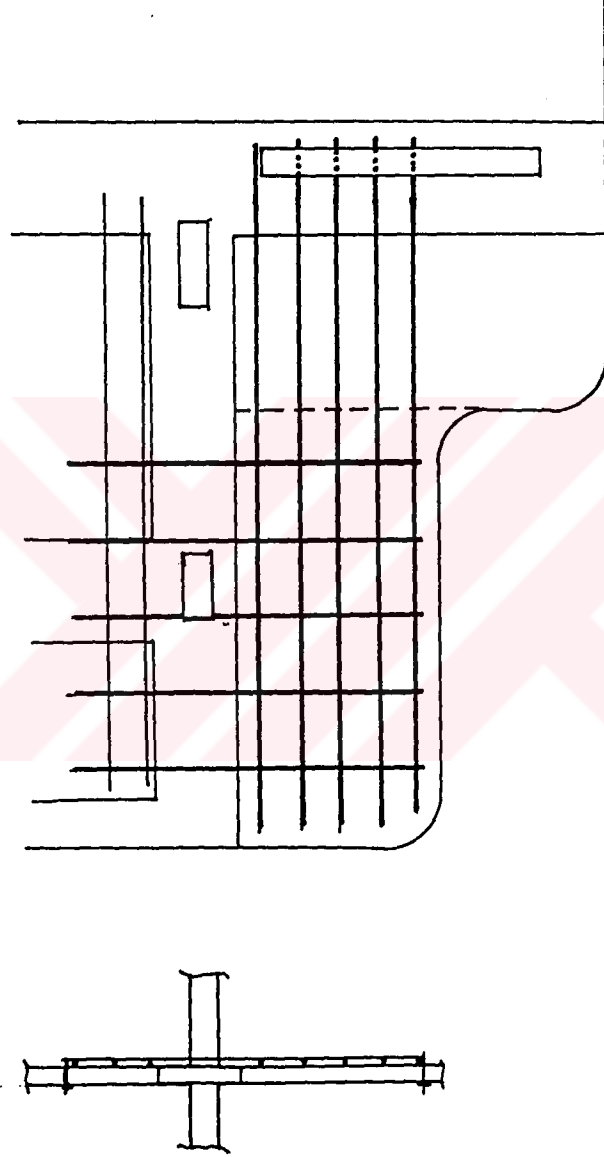
Şekil 5.4 - Nervürlü döşemede ek kirişler ve ek donatılar



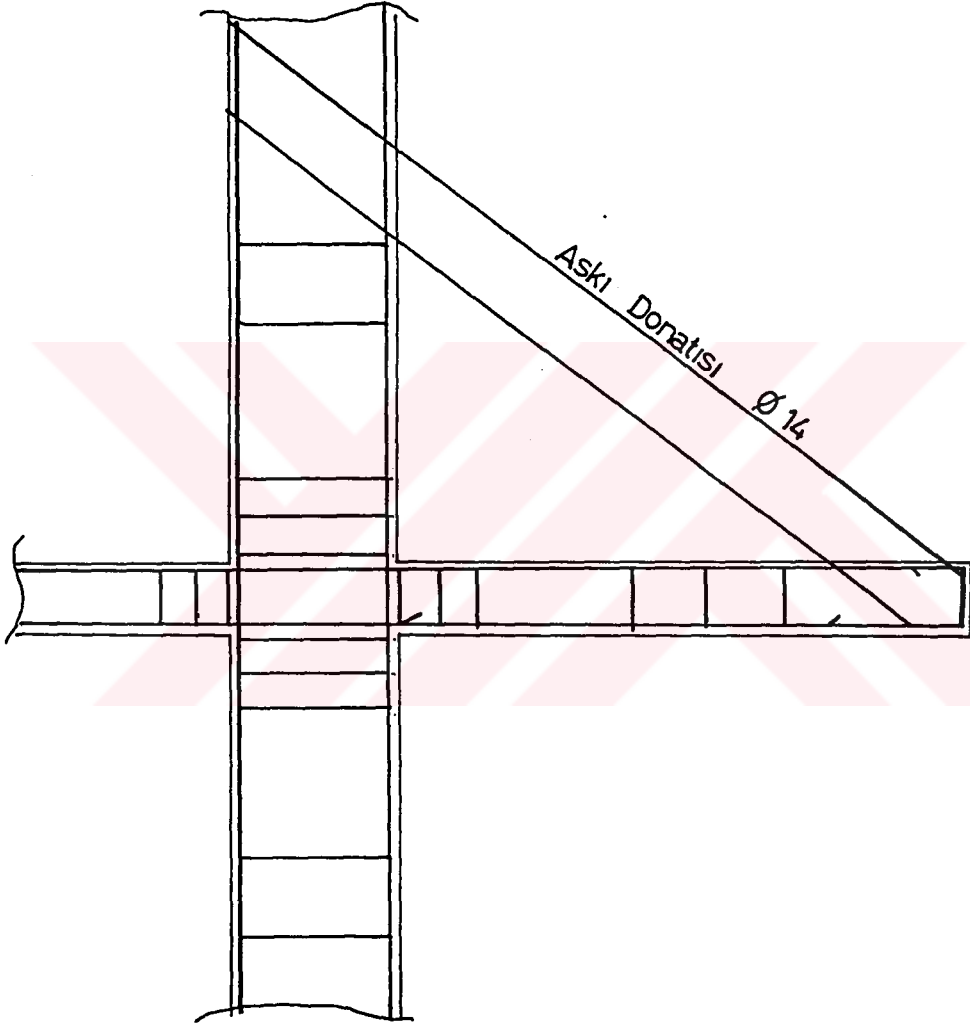
Şekil 5.5 - (1-1) Kesiti



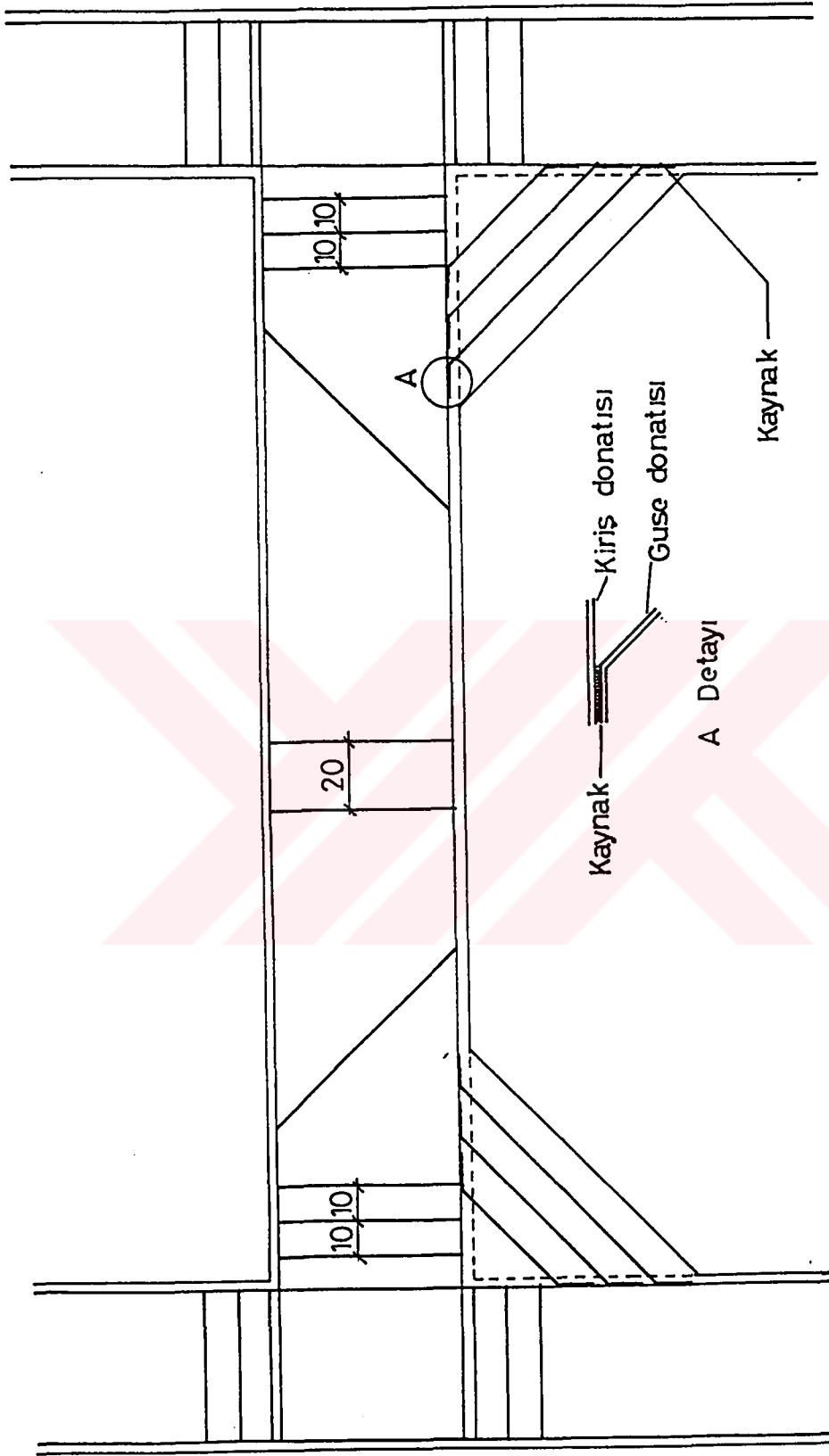
Şekil 5.6 - (2-2) Kesiti



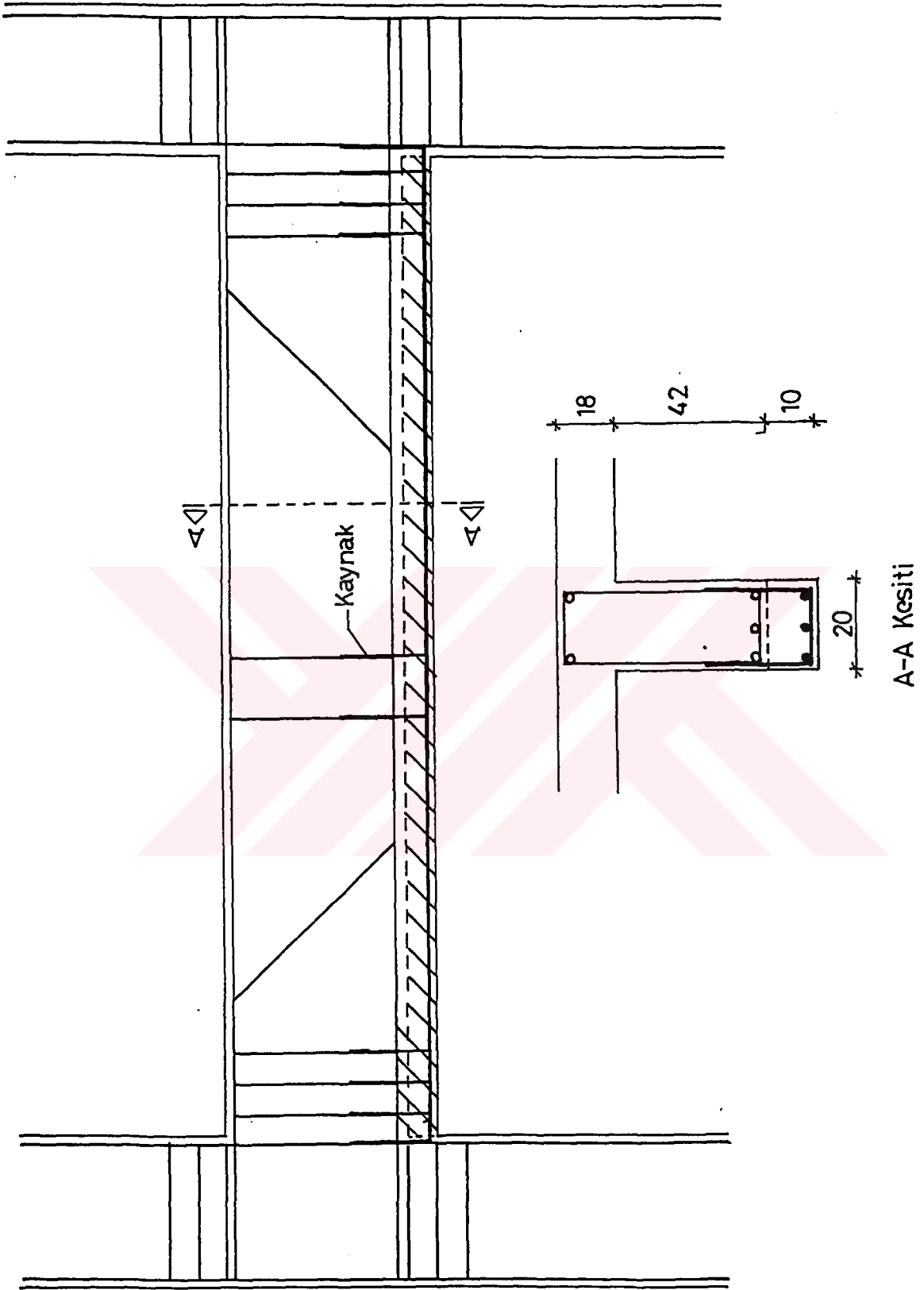
Şekil 5.7 - Döşeme dikişi



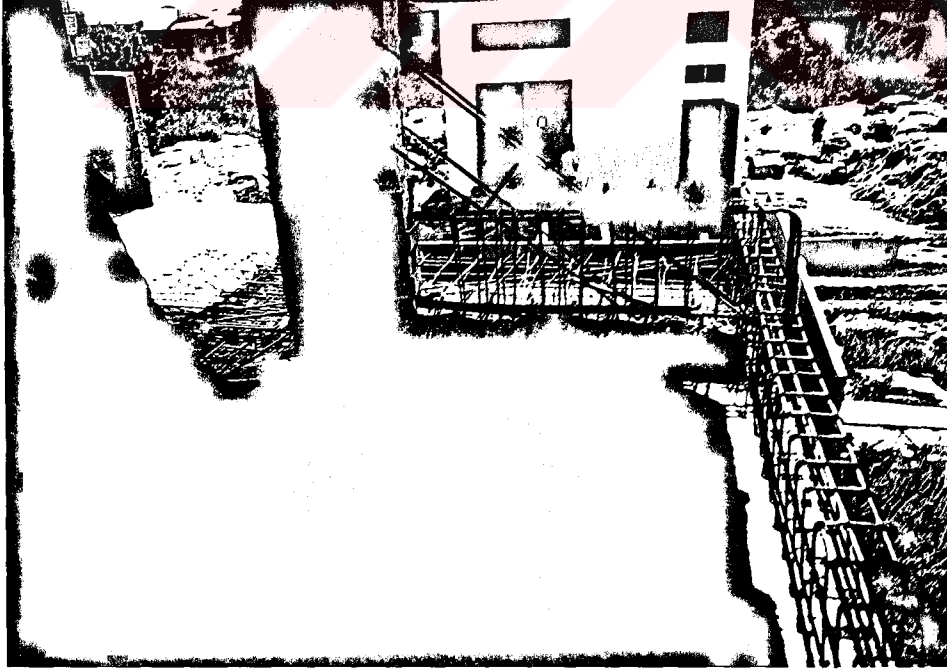
Şekil 5.8 - Konsol kirişin askıya alınması



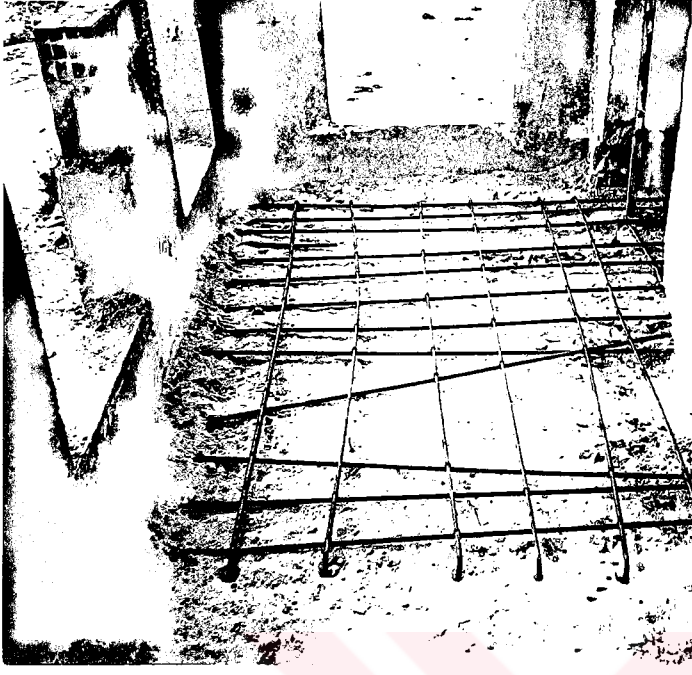
Şekil 5.9 - Kiriş kolon birleşimlerinin guse ile güçlendirilmesi



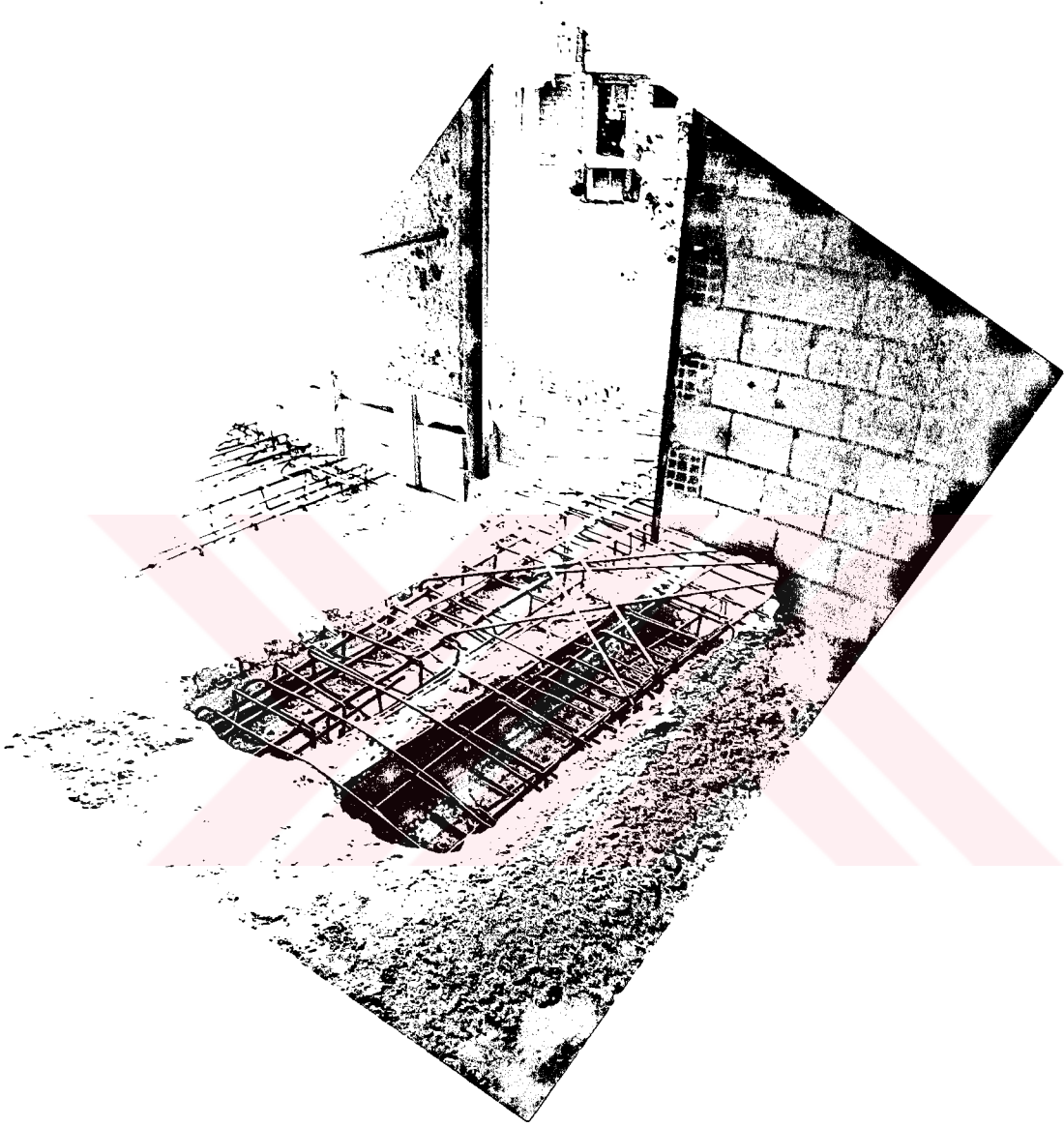
Şekil 5.10 - Kirişin eğilme için güçlendirilmesi



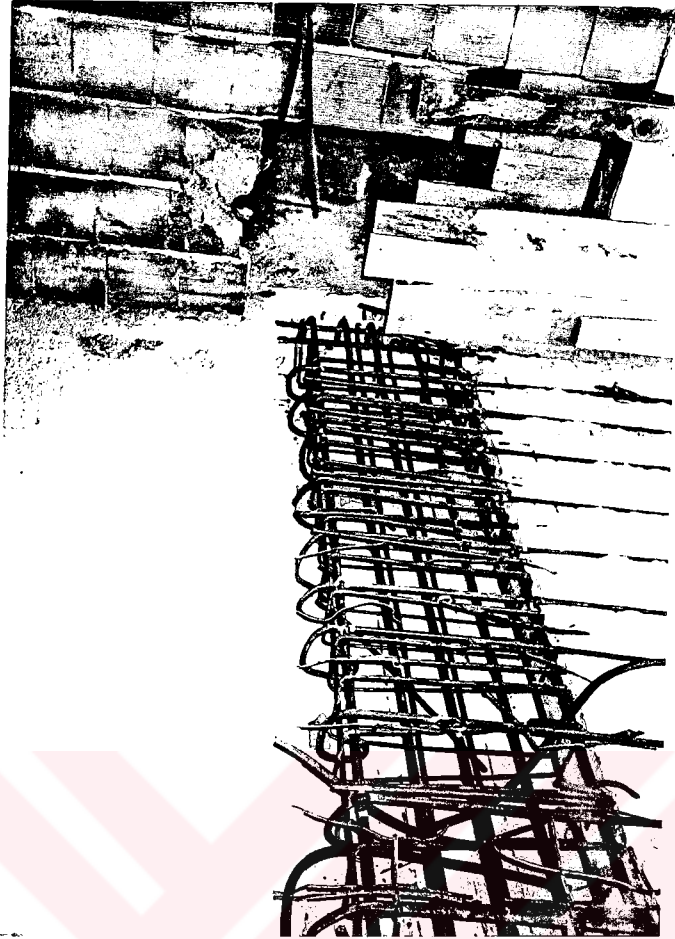
— Ek ters kiriş ve askı —



— Döşeme dikışı —



— Asmolen yerine yassı kiriş yapılması —



## KAYNAKLAR

— ACI Commitee 224 , 1984 , “Causes , Evaluation And Repair Of Cracks In Concrete Structures”

— ACI 318 , 1989

— CAN Hüsnu , 1994 , “Betonarme Kolonların Komşu İki Yüzünden Onarımı ve Güçlendirilmesi”

— CAN Hüsnu , 1994 , “Deprem Etkisindeki Betonarme Kirişlerin Onarılması”

— CAN Hüsnu , 1995 , “Bir yüzünden Onarılmış / Güçlendirilmiş Betonarme Kolonların Eksenel Yük Altındaki Davranışı”

— CAN Hüsnu , 1995 , “İki , Üç ve Dört Yüzünden Mantolanmış Kolonların Eksenel Yük Altında Davranışı”

— CAN Hüsnu , 1997 , “Çelik Korniyerlerle Güçlendirilmiş / Onarılmış Betonarme Kolonların Eksenel Yük Altında Davranışı”

— DIN 1045 , 1978

— ERSOY Uğur , 1994 , “Çelik Korniyerlerle Güçlendirilmiş / Onarılmış Betonarme Kolonların Eksenel Yük Altında Davranışları”

— ERSOY Uğur , TANKUT Tuğrul , 1993 “Behaviors Of Jacketed Columns”

— KAPLAN Hasan , 1995 , “1995 Dinar Depremi Sonucu Oluşan Hasarlar ve Önleme Çareleri”

— KÖKSAL Ercüment , 1997 , “Büyükçekmece Güzelce Vilları Onarım Projesi”

— ONARAN Kaşif , 1993 , “Malzeme Bilimi”

— OKADA K. , 1988 , “Influence of Longitudinal Cracking Due to Reinforcement Corrosion on Characteristics of Reinforced Concrete Members”

— SARAYLI M. Ali , 1992 “Yapı Malzemeleri Bilimi”

— SHOEB Abdulla , 1993 , “State - of - art in Repair and Strengthening of Reinforced Concrete Buildings”

— TANKUT Tuğrul , CAN Hüsnü , DEMİREL Yusuf , 1995 , “Onarılmış / Güçlendirilmiş Betonarme Kolon Davranış ve Dayanımı”

— TSE - 500 / Nisan 1984

## ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi : 14.01.1973

Doğum Yeri : İZMİR

### Eğitim

- İlkokul : İzmir Fevzi Özakat İlkokulu

- Ortaokul : İzmir Özel Çamlaraltı Lisesi

- Üniversite : Yıldız Teknik Üniversitesi

