
**HASAR GÖRMÜŞ BETONARME KİRİŞLERİN MANTOLAMA
YÖNTEMİYLE ONARIM VE GÜÇLENDİRİLMESİ**

Turan ÖZTURAN
Doç.Dr.
Boğaziçi Üniversitesi
İnşaat Müh. Bölümü
İstanbul, Türkiye

Cengizhan ÇEÇEN
Ar.Gör. Doktora Öğr.
Boğaziçi Üniversitesi
İnşaat Müh. Bölümü
İstanbul, Türkiye

Şevket ÖZDEN
Ar.Gör. Doktora Öğr.
Boğaziçi Üniversitesi
İnşaat Müh. Bölümü
İstanbul, Türkiye

ÖZET

Tasarım hataları, yetersiz detaylandırma, kalitesiz malzeme ve üretim yöntemleri veya bunların kombinasyonları sonucu betonarme kirişlerde çeşitli mertebelerde yapısal hasarlar görülebilir. Bu tür hasarlı elemanları onarmak ve/veya güçlendirmek için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bunlardan birisi de onarım ve güçlendirmenin aynı anda yapıldığı mantolama yöntemidir.

Burada rapor edilen deneysel çalışmada, daha önce biri tek noktadan yükleme sonucu eğilmeden, diğeri ise iki noktadan yükleme sonucu kaymadan göçen iki betonarme kirişin tüm yüzeylerden mantolama yöntemiyle onarılıp güçlendirilmesinin, kirişlerin yük taşıma kapasiteleri ve sünek davranışları üzerindeki etkileri verilmiştir. Deney sonuçları incelendiğinde, mantolama yöntemiyle kirişlerin taşıma kapasitelerinin ve rijitliklerinin arttırılabildiği; TS-500ün mantolanmış kirişlerde herhangi bir kapasite azaltma katsayısına gerek olmadan kesit kapasitesi tayininde kullanılabileceği görülmüştür.

1. GİRİŞ

Betonarme mühendislik yapıları servis süreleri boyunca çeşitli zamanlarda deprem, rüzgar, zemin hareketi, hizmet değişikliği, yangın, patlama gibi sebeplerden dolayı değişik mertebelerde aşırı yüklenmelere maruz kalabilirler. Bu aşırı yüklemeler veya hatalı tasarım ve üretimden dolayı taşıyıcı yapı elemanlarında çatlama, ezilmeler hatta göçmeler görülebilir. İşte bu durumdaki hasar görmüş bir elemanın tekrar tasarım taşıma kapasitesine ulaştırılması işlemi onarım, elemanın hasar görmüş olması gerekmeden veya hasarlı halinden alınarak bu kapasitenin üzerine çıkılması işlemi ise güçlendirme olarak tanımlanmaktadır [1].

Yapı mühendisliği, iki ana değişkenin, yani yapı dayanımı ve yapı ekonomisinin, sürekli rekabet halinde olduğu bir bilimdir. Binaların ve diğer mühendislik yapılarının orjinal yapım aşamalarında en az harcamayla insan hayatını en az riske atan en sağlam sistemlerin oluşturulması bir ilkedir. Bunun yanı sıra hasarlı binaların yeniden ekonomiye kazandırılması sırasında da aynı şeylere dikkat edilmelidir. Hasarlı binaların yıkılıp yeniden yapılması bazı durumlarda orjinal yapım maliyetinin yaklaşık 1.20 ile 1.60 katına ulaşabilmektedir. Buna karşın, eğer yeterli bir onarım ve gerekirse güçlendirme sonucu yapı emniyeti sağlanabiliyorsa, birçok mühendisin de mutabık olduğu gibi orjinal yapım masrafının 0.60 hatta 0.75'i seviyesine kadar yapılan masraf oldukça ekonomik gözükmetedir [2].

Ülkemizin de içinde bulunduğu, betonarme yapı sistemlerinin oldukça yoğun biçimde kullanıldığı birçok ülkede son zamanların en çok cevap bekleyen ve en popüler konusu hasarlı binaların onarılması ve eski binaların yeni şartnamelere uygun hale getirilmesi için güçlendirilmesidir. Bu amaçla Boğaziçi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Laboratuvarında da çeşitli deneysel araştırmalar gerçekleştirilmektedir. Burada rapor edilen deneysel çalışma da adı geçen Laboratuvarda yapılmıştır.

2. ÇALIŞMANIN AMACI

Kiriş onarım ve güçlendirilmesinde kullanılan mantolamanın etkinliğinin ve kesit kapasitesi hesap yönteminin saptanması oldukça önemlidir. Bu sayede tasarım ofislerinde onarım projeleri konusundaki çekinceler ortadan kaldırılabilir ve hasarlı yapıların onarım ve güçlendirmeyle ekonomiye kazandırılması daha hızlı ve daha bilinçli olabilecektir.

Hasar görmüş tabliyesiz kirişlerin mantolama yöntemiyle onarılıp güçlendirilmesinin deneysel olarak araştırılmasına yönelik bu çalışmada, temel olarak şu sorulara cevap aranmıştır:

- mantolanmış kirişler, halihazırda ki dizayn kodları ve yöntemleriyle analiz edilebilir mi?
- analitik yöntemlerle yapılan kapasite ve süneklik tayinleri güvenilir mi?

Bu amaçla daha önce biri tek noktadan yüklemeye eğilmeden, diğeri ise iki noktadan yükleme sonucu kesmeden geçen iki kiriş bütün yüzeylerinden mantolanmış ve yeni oluşan kiriş ortadan tek nokta yüklemesi yapılarak göçmeye kadar izlenmiştir.

3. MALZEME

Orijinal kirişlerdeki ve onarım esnasındaki beton, maksimum tane boyutu 16mm olan dere çakılı ve dere kumundan hazırlanmıştır. Her iki aşamada da PÇ42.5 çimento kullanılmış ve su/çimento oranı 0.6 da tutulmuştur. Bütün dökümlerde elde edilen beton çökme değeri 5cm ile 8cm arasındadır. Deney elemanları ve beraberlerinde dökülen 15x30cm lik silindir numuneleri ilk 7 gün ıslak çuval sarılarak, daha sonrada deney gününe kadar laboratuvar şartlarında kapalı ortamda tutulmuşlardır.

Bütün kirişlerde boyuna çekme donatısı olarak nervürlü demir kullanılmıştır. Basınç donatısı sadece mantolanmış kirişlerde (ASM32 ve ASM43) kullanılmış olup düşük akma dayanımlı düz demirdir, ve montaj demiri amacıyla kullanılmıştır (analiz esnasında hesaplara dahil edilmiştir). Orijinal kirişler etriyesiz olmalarına karşın mantolanmış kirişlerde 150mm aralıkla ϕ 6lık etriye kullanılmıştır.

4. DENEY DÜZENEĞİ VE TEKNİĞİ

Orijinal ve mantolanmış kirişler Yapı Laboratuvarındaki delikli döşemeden faydalanarak kurulan kapalı bir çerçeve yardımıyla test edilmişlerdir. Yükleme 40ton kapasiteli manuel kriko ile yapılmıştır. Deney esnasında hızlı ve ani yüklemeler olmamış, yükleme hızı sabit tutulmaya çalışılmıştır.

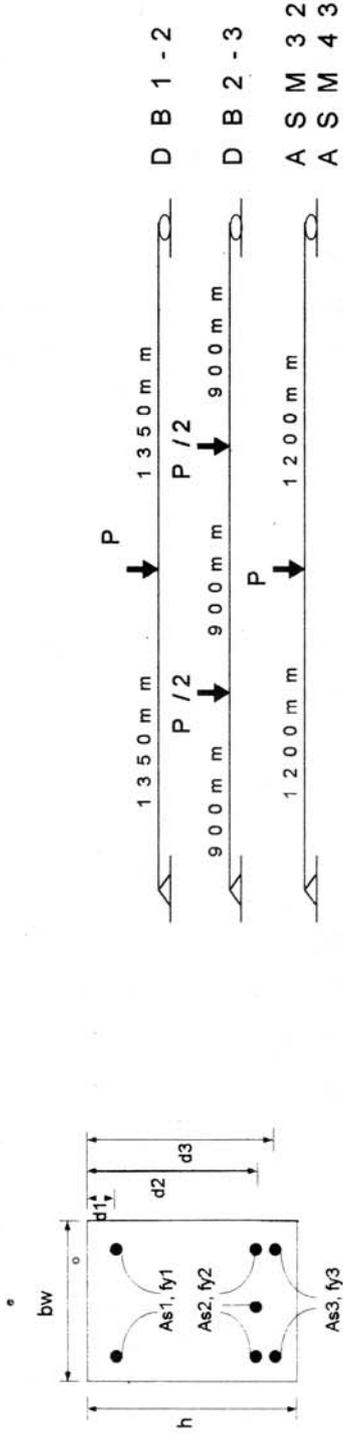
Kiriş mesnetleri ve yükleme noktalarında lokal ezilmeyi önlemek amacıyla, yük ve mesnetler alçıyla elemana yapıştırılmış olan 3cm kalınlığında demir plakalar yardımıyla uygulanmışlardır. Yük, elektronik yük hücresiyle okunmuş, deformasyonlar elektronik komparatörlerle tesbit edilmişlerdir. Deney süresi boyunca mesnet çökmeleri ve açıklık ortası çökmenin yanında kiriş ortasında eğrilik ölçümleri de iki elektronik komparatör yardımıyla yapılmıştır.

Bütün ölçümler deney süresince bilgisayar ortamında DATA-COLLECT [3] programıyla eşit zaman aralığıyla yapılmıştır. Deney esnasında, başlangıçtan itibaren kiriş davranışı göçmeye kadar izlenmiş ve oluşan çatlaklar kirişin üzerinde işaretlenmiştir.

5. DENEY ELEMANLARI

Orjinal kirişler, kesiti 150x200mm boyutlarında, basınç ve kesme donatısı olmayan elemanlardır (DB1-2 ve DB2-3). DB1-2 numaralı kirişte 3 adet çekme donatısı konulmuş olup, eleman ortadan tek noktada yüklenmiştir. DB2-3 numaralı kirişte ise 4 adet boyuna çekme donatısı vardır. Bu kirişteki yükleme ise $l=1/3$ ten iki noktalı yüklemedir. Her iki kirişte de yük oynar başlıklar yardımıyla uygulanmıştır.

Orjinal kiriş deneylerinden sonra, kirişlerin betonu ezilmiş olan bölgeleri boşaltılmış, kırık olan beton parçaları temizlenmiş ve bütün yüzeyler taraklanarak manto betonunun iyi yapışması için zemin oluşturulmuştur. DB1-2 numaralı orijinal kirişin mantolanmış hali ASM32; DB2-3 numaralı orjinal kirişin mantolanmış hali ASM43 olarak adlandırılmıştır.



TABLO 1 - Kirişlerin Kesit ve Malzeme Karakteristikleri

| Elm. | h mm | b _w mm | d ₁ mm | φ ₁ mm | A _{s1} mm ² | f _{y1} MPa | d ₂ mm | φ ₂ mm | A _{s2} mm ² | f _{y2} MPa | d ₃ mm | φ ₃ mm | A _{s3} mm ² | f _{y3} MPa | φ _w mm | f _{yw} MPa | s _w mm | f' _c MPa |
|-------|---------|----------------------|----------------------|----------------------|------------------------------------|------------------------|----------------------|----------------------|------------------------------------|------------------------|----------------------|----------------------|------------------------------------|------------------------|----------------------|------------------------|----------------------|------------------------|
| DB1-2 | 200 | 150 | - | 174 | 339 | 448 | 3φ12 | 339 | 339 | 448 | - | - | - | - | - | - | - | 28.0 |
| ASM32 | 280 | 250 | 40 | 2φ6 | 56.5 | 220 | 225 | 3φ12 | 339 | 448 | 240 | 2φ14 | 308 | 500 | 6 | 220 | 150 | 15.5 |
| DB2-3 | 200 | 150 | - | 174 | 452 | 344 | 4φ12 | 452 | 452 | 344 | - | - | - | - | - | - | - | 33.0 |
| ASM43 | 280 | 250 | 40 | 2φ6 | 56.5 | 220 | 225 | 4φ12 | 452 | 344 | 240 | 3φ14 | 462 | 500 | 6 | 220 | 150 | 21.0 |

TABLO 2 - Kirişlerin Deneysel ve Analitik Verileri

| Elm. | Deneysel Veriler | | | | | | | | | | Analitik Veriler | | | | | | |
|-------|------------------------|-------------------------|--------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|--|--|--|
| | TS-500 | | | | | | | | | | SAWI | | | | | | |
| | M _v kN.m | φ _v rad/m | M _{max} kN.m | M _u kN.m | φ _u rad/m | M _v kN.m | M _y kN.m | φ _y rad/m | M _u kN.m | φ _u rad/m | M _v kN.m | φ _y rad/m | M _u kN.m | φ _u rad/m | | | |
| DB1-2 | 22.20 | 0.0229 | 24.23 | 24.09 | 0.1481 | 23.19 | 22.87 | 0.0234 | 23.11 | 0.0694 | 22.87 | 0.0234 | 23.11 | 0.0694 | | | |
| ASM32 | 66.19 | 0.0384 | 67.14 | 59.18 | 0.2784 | 61.36 | 60.21 | 0.0192 | 57.50 | 0.0452 | 60.21 | 0.0192 | 57.50 | 0.0452 | | | |
| DB2-3 | - | - | 29.79 | 29.79 | 0.0176 | 24.18 | 24.08 | 0.0297 | 24.28 | 0.0781 | 24.08 | 0.0297 | 24.28 | 0.0781 | | | |
| ASM43 | 89.12 | 0.0176 | 103.22 | 75.45 | 0.2077 | 74.84 | 78.67 | 0.0200 | 74.85 | 0.0368 | 78.67 | 0.0200 | 74.85 | 0.0368 | | | |

Mantolanmış kirişlerde basınç donatısı ve etriye kullanılmıştır. Kesit boyutları 250x280mm ye çıkarılan kirişlerde kullanılan beton karışımı orjinal kirişlerde kullanılanın aynıdır. Bütün kirişlerin kesit ölçüleri ve malzeme karakteristikleri Tablo 1 de verilmiştir.

6. DENEY SONUÇLARI VE İRDELENMESİ

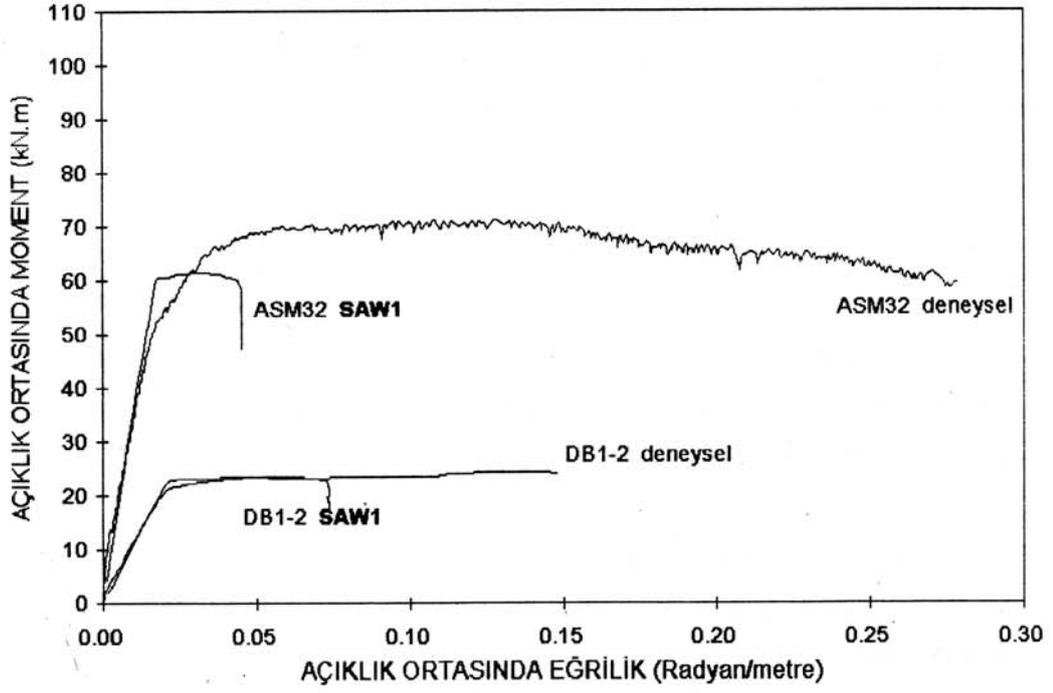
Orijinal kirişlerden DB2-3 numaralı eleman yükleme şeklinin özelliğinden dolayı kesme kuvveti tükenmesinden geçmiştir. Bu nedenle kirişte süneklik elde edilememiştir. Buna karşın diğer üç deneyde de kirişler önemli süneklik değerlerine ulaşmışlardır

Mantolanmış ve orijinal kirişler çatlak genişliği ve aralığı bakımından incelendiğinde mantolanmış kirişlerde 150mm aralıkla kullanılan etriyenin etkisi açıkça ortaya çıkmaktadır. Orijinal kirişlerde çatlaklar daha geniş ve birbirlerinden oldukça uzakken bu durum etriyeli mantolanmış kirişlerde daha sık ve daha dar çatlak oluşumları olarak ortaya çıkmıştır.

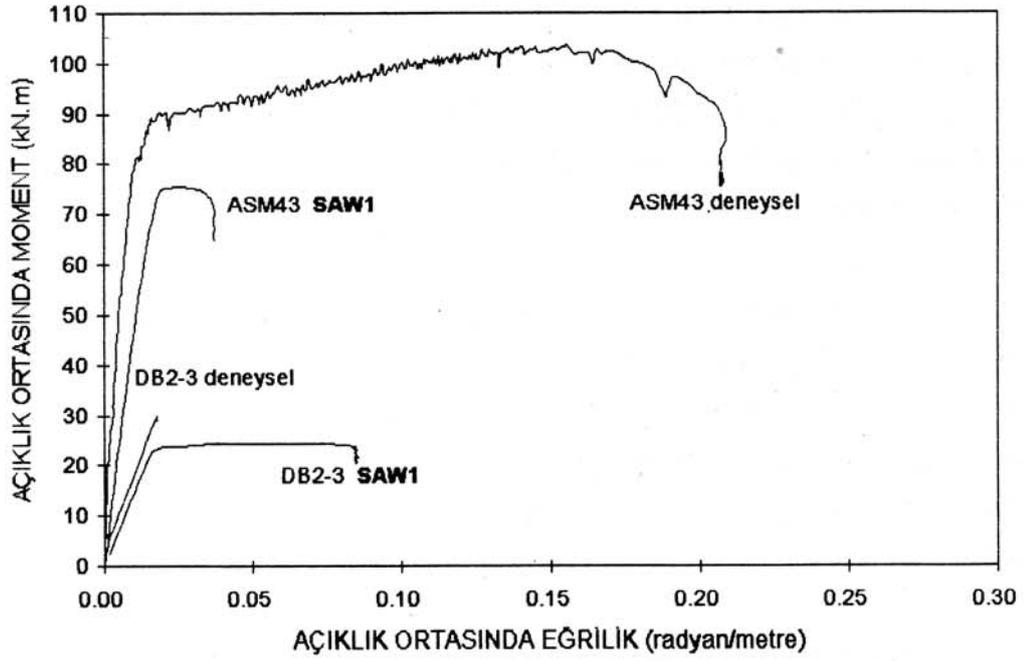
Deney elemanlarında lokal ezilmeyi önlemek amacıyla yükün uygulandığı noktada ve mesnetlerde alçıyla yapıştırılmış kalın demir plakalar kullanılmasına rağmen, geçmeye yakın bu bölgedeki beton iç kuvvetlerden dolayı oluşan basınç ve plakanın oluşturduğu lokal basınç sebebiyle ezilmiştir. Bu ezilmeden dolayı güç tükenmesi ASM43 numaralı elemanda daha belirgin olarak oluşmuştur.

Kiriş deneylerinde elemanın davranışını en iyi biçimde belirleyen moment-eğrilik grafikleri (Şekil 1 ve 2) incelendiğinde mantolama yöntemiyle kiriş onarımının pozitif etkisi açık olarak görülmektedir. Kirişlerde artan kesit boyutlarından ve boyuna demir miktarından dolayı kesitlerin taşıma kapasitelerinde önemli artışlar gözlemlenmiştir. Mantolanmış kirişlerdeki moment-eğrilik diagramlarının başlangıç eğimleri orjinal kirişlerdekinden daha fazladır.

İki kiriş üzerinde yapılan toplam dört deneyde elde edilen veriler analitik yöntemle de incelenmiştir. SAW1 [4] kesit analiz programı ve TS-500ün önerdiği yöntemle yapılan bu analizlerin sonuçları Tablo 2 de ayrıntılı olarak verilmiştir. Her iki analiz şeklinde de kesit akma moment değerleri %15 lik güvenli bir bölgede olmak kaydıyla hesaplanabilmektedir.



Şekil 1 - Birinci kirişte (orjinal ve mantolanmış) moment-eğrilik ilişkisi



Şekil 2 - İkinci kirişte (orjinal ve mantolanmış) moment-eğrilik ilişkisi

Buna rağmen süneklik hesaplarında deneysel değerlerin oldukca altında değerler elde edilmiştir. SAW1 kesit analiz programı, orjinal ve mantolanmış kirişlerde akma yüküne kadar gerçeğe çok yakın sonuçlar vermiş, bu noktadan sonra ise elemanın az bir süneklik göstereceğini ortaya koymuştur.

7. SONUÇLAR

Çalışmanın amacı başlıklı kısımda ortaya konulan sorulara aşağıdaki deneysel ve analitik sonuçlar cevap teşkil edebilmektedirler:

- mantolanmış kirişler, TS-500 n önerdiği yöntemle herhangi bir kapasite azaltma katsayısına gerek kalmadan analiz edilebilirler.
- SAW1 kesit analiz programıyla yapılan kapasite hesapları ve akmaya kadar olan davranış biçimleri gerçeğe çok yakındır ancak süneklik hesaplamaları gerçeği yansıtamamaktadır.

KAYNAKLAR

[1] TRIKHA, D.N.; JAIN, S.C.; HALI, S.K. "Repair and Strengthening of Damaged Concrete Beams" ACI, Concrete International, V.13, N.6, pp.53-59, June 1991

[2] Prof.Dr. P. Gavrilovic, IZiIS-Macedonia, Kişisel Temas

[3] DATA-COLLECT, Boğaziçi Üniversitesi Yapı Laboratuvarında nc yazar tarafından geliştirilen bilgisayar ortamında veri toplama programı

[4] ÖZDEN, şevket Behaviour of High-Strength Concrete Under Strain Gradient MASC Thesis, University of Toronto, Canada, 1992

SEMBOLLER VE KISALTMALAR

- b_w : kiriş kesiti genişliği
 h : kiriş kesiti yüksekliği
 d_1 : basınç donatısının merkezinin kirişin üst yüzeyine olan uzaklığı
 d_2 : birinci çekme donatısı sırası merkezinin kirişin üst yüzeyine olan uzaklığı
 d_3 : ikinci çekme donatısı sırası merkezinin kirişin üst yüzeyine olan uzaklığı
 A_{s1} : basınç donatısı toplam alanı
 A_{s2} : birinci sıra çekme donatısı toplam alanı
 A_{s3} : ikinci sıra çekme donatısı toplam alanı
 f_{y1} : basınç donatısı akma gerilmesi
 f_{y2} : birinci sıra çekme donatısı akma gerilmesi
 f_{y3} : ikinci sıra çekme donatısı akma gerilmesi
 ϕ_1 : basınç donatı çapı
 ϕ_2 : birinci sıra çekme donatısı çapı
 ϕ_3 : ikinci sıra çekme donatısı çapı
 ϕ_w : etriye demiri çapı
 f_{yw} : etriye demiri akma gerilmesi
 s_w : etriye aralığı
 f_c' : beton basınç dayanımı (15x30cm silindirlerde ölçülmüştür.)
 M_y : kesit akma momenti
 ϕ_y : akma anındaki kesit eğriliği
 M_{max} : deneysel maksimum kesit momenti (orta noktada)
 M_u : göçmeden hemen önceki kesit kapasitesi
 ϕ_u : göçmeden hemen önceki kesit eğriliği

İÇİNDEKİLER

MÜHENDİSLİK YAPILARININ KORUNMASI

| | | | |
|----|--|--|-----|
| 1 | Yüksek Binalarda Yangın Güvenliği | Yaman Üzümeri (North York Belediyesi) | 13 |
| 2 | Hasarlı Betonarme Çerçevelerin Çelik Dolgu Çerçeve ve Öngörme Çubukları ile Onarımı ve Güçlendirilmesi | Engin Keyder Tunç Gündoğmuş | 35 |
| 3 | Hasar Görmüş Betonarme Kirişlerin Mantolama Yöntemiyle Tamir ve Güçlendirilmesi | Turan Özturan Cengizhan Çeçen Şevket Özden | 43 |
| 4 | Kolonların Karşılıklı İki Yüzden Mantolama Tekniği İle Güçlendirilmesi | Ahmet Durmuş Selim Pul | 53 |
| 5 | Küçük Ayasofya Camii Sergiusue Bachus Kilisesi Kubbesindeki Çatlak Nedenlerinin Araştırılması | Görün Özşen Fevziye Aköz Nabi Yüzer Mine Özkaraman Elif Bayram | 67 |
| 6 | Tarihi Konya Alaaddin Camii'nin Restorasyon Öncesi Yapılan Üstyapı Onarım ve Güçlendirme Çalışmaları | Mustafa Karaduman M. Yaşar Kaltakçı Ali Umucalılar | 81 |
| 7 | Yapıların Yatay Yüklere Karşı Takviyelerinde Karşılaşılan Bazı Uygulama Güçlükleri ve Çözüm Önerileri | Hüseyin Tekel | 99 |
| 8 | Betonarme Kirişlerin Epoksiyle Yapıştırılan Çelik Plaklarla Güçlendirilmesi | S.Tanvir Wasti Asuman Özaltay | 113 |
| 9 | Betonda Korozyon | Necat Cilason Barbaros Aksöz Feridun Kocagil | 123 |
| 10 | Kenar Kolonları Kısa Konsollara Oturan Binaların Dinamik Davranışı | Kadir Güler | 135 |

TMMOB
İNŞAAT MÜHENDİSLERİ ODASI

TÜRKİYE
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
XIII. TEKNİK KONGRESİ

MÜHENDİSLİK YAPILARININ KORUNMASI
•
TASARIM VE YAPIMA YÖNELİK ARAŞTIRMALAR
•
ZEMİN VE YERALTI SUYU KİRLENMESİ İLE İLGİLİ
SORUNLARIN ÇÖZÜMÜNDE İNŞAAT MÜHENDİSİNİN ROLÜ

MİLLİ KÜTÜPHANE
20-21-22 ARALIK 1995 ANKARA

T Ü R K İ Y E
İN SA AT M Ü H E N D İ S L İ Ğ İ
XIII. teknik
KONGRE ve SERGİSİ
BİLDİRİLER KİTABI



TMMOB İNŞAAT MÜHENDİSLERİ ODASI

M İ L L İ
K Ü T Ü P H A N E
20 - 21 - 22
A R A L I K 1 9 9 5
A N K A R A