

**T-KESİTLİ BETONARME KİRİŞLERİN ARDGERME İLE
GÜÇLENDİRİLMESİ**

155807

Turgut ESENCAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
(İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ)**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Ocak 2004

ANKARA

Turgut ESENCAN tarafından hazırlanan T-KESİTLİ BETONARME KİRİŞLERİN
ARDGERME İLE GÜÇLENDİRİLMESİ adlı bu tezin YÜKSEK LİSANS tezi
olarak uygun olduğunu onaylarım.



Prof.Dr. Hüsnü CAN

Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

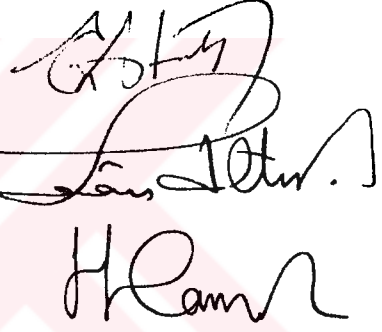
Başkan: : Prof.Dr. Ergin ATIMTAY

Üye : Prof.Dr. Sinan ALTIN

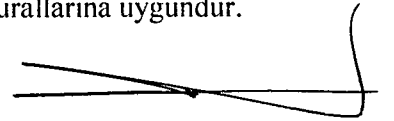
Üye : Prof.Dr. Hüsnü CAN

Üye : _____

Üye : _____



Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	iv
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	v
RESİMLERİN LİSTESİ.....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	vii
1. GİRİŞ.....	1
2. DENEY MODELLERİ VE LABORATUVAR TEKNİĞİ.....	11
2.1. Genel	11
2.2. Modellerin Tasarımı.....	11
2.3. Malzeme Özellikleri.....	14
2.3.1. Beton özellikleri	14
2.3.2. Donatı özellikleri	16
2.3.3. Ardgerme kablosu özellikleri.....	18
2.4. Deney Elemanlarının Hazırlanması.....	18
2.5. Kirişlerin Güçlendirilmesi	22
3. DENEY SİSTEMİ	30
3.1. Genel	30
3.2. Yükleme ve Deney Düzeni	30
3.3. Ölçüm Düzeni	33
3.3.1. Ölçüm aletleri	33

3.3.2. Ölçüm aletlerinin yerleştirilmesi	34
3.3.3. Ölçüm sistemi	36
3.4. Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi	36
3.4.1. Genel.....	36
3.4.2. Kiriş orta nokta deplasman ölçümleri	37
3.4.3. Moment-eğrilik ilişkisinin hesabı	38
3.4.4. Eğilme rijitlik ilişkisi	39
3.4.5. Süneklik ilişkisi	39
3.4.6 Enerji tüketimi	40
4. DENEYLER VE DENEY SIRASINDAKİ GÖZLEMLER	41
4.1. Genel	41
4.2. Referans Kirişi (TM)	42
4.3. T1 (Yüklendikten sonra ardgerme ile güçlendirilen kiriş $F = 30\text{kN}$)	45
4.4. T2 (Ardgerme ile güçlendirilen kiriş $F = 30\text{ kN}$)	50
4.5. T3 (Ardgerme ile güçlendirilen kiriş $F = 60\text{ kN}$)	55
4.6 Göçme Mekanizmaları	60
5. DEĞERLENDİRME	62
5.1. Genel	62
5.2. Rijitlik	66
5.3. Enerji Tüketimi.....	67
5.4. Süneklik	68
5.5. Moment- Eğrilik İlişkisi.....	69
5.6. Ardgerme Kuvveti	75

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 77

6.1. Sonuçlar 77

6.2. Öneriler..... 79

KAYNAKLAR81

ÖZGEÇMİŞ.....82



**T-KESİTLİ BETONARME KİRİŞLERİN ARDGERME İLE
GÜÇLENDİRİLMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Turgut ESENCAN

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Ocak 2004**

ÖZET

Bu çalışmada dıştan ardgerme ile güçlendirilen T-kesitli betonarme kirişler üzerine yapılan deneyler sunulmuştur. Ardgerme hem yapıların inşaatında, hem de kirişlerin güçlendirilmesinde kullanılan bir yöntemdir. Fakat bu konuda yeterli sayıda deney yapılmamıştır. Dört adet dıştan ardgerme ile güçlendirilen T-kesitli betonarme kiriş, başlangıç ardgerme kuvvetinin etkilerinin incelenmesi için kırılana kadar denenmiştir. Bu çalışmada, ardgerme kablosunun kirişlerin altına çelik plakalar ile yerleştirildiği yeni bir model sunulmuştur. Araştırmanın amacı başlangıç ardgerme kuvvetinin kirişlerin yük-deplasman davranışı, sünekliği ve dayanımına etkileri incelemektir. Deney sonuçları artan başlangıç ardgerme kuvvetinin kirişlerin eğilme kapasitesini artırdığını; fakat sünekliğini azalttığını göstermiştir.

**Bilim Kodu :
Anahtar Kelimeler : güçlendirme, ardgerme, dıştan ardgerme, kiriş
Sayfa Adedi : 82
Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Hüsnü CAN**

STRENGTHENING OF T-CROSS SECTIONED REINFORCED CONCRETE BEAMS

(M.Sc. Thesis)

Turgut ESENCAN

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
Ocak 2004**

ABSTRACT

In this study, the result of a series of experiments on externally post-tension strengthening of T-cross sectioned reinforced concrete beams are presented. Post-tension is used both in construction of structures and strengthening of beams. But, there aren't enough experiments on this subject. Four T-beams post-tensioned with an external tendon were tested to failure to investigate the effect of initial post-tension stress on the beams. In this study, a new model where post-tension tendon is placed under the beams with steel plates is presented. The aim of the investigation was to see how initial post-tension stress effects the load-deflection behaviour, ductility and overall strength of beams. The results indicated that increasing initial post-tension stress, increases the flexural capacity of beams; but decreases the ductility.

**Bilim Kodu :
Anahtar Kelimeler : strengthening, post-tension, external post-tension, beam
Sayfa Adedi : 82
Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Hüsnü CAN**

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Hocam Prof. Dr. Hüsnü CAN'a, laboratuarda yardımcı olan Faruk OGÜN'e, ayrıca kıymetli tecrübelerini paylaşan Sabahattin AYKAÇ ve Özgür ANIL teşekkürlerimi sunarım.



ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Deney elemanları beton karışım oranları.....	15
Çizelge 2.2. Deney elemanları ortalama beton basınç dayanımları.....	15
Çizelge 2.3. Donatıların dayanım değerleri.....	17
Çizelge 2.4. Ardgerme kablosu çekme dayanım değerleri.....	18
Çizelge 5.1. Deney elemanlarının yük-deplasman grafik sonuçları.....	64
Çizelge 5.2. Deney elemanlarının rijitlik değerleri	66
Çizelge 5.3. Deney elemanlarının enerji tüketim miktarları.....	67
Çizelge 5.4. Deney elemanlarının süneklik oranları	69
Çizelge 5.5. Deney elemanları ardgerme yük değerleri	75

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Deney elemanları kiriş boyutları ve donatı çizimi	13
Şekil 2.2. Çelik plakaların mesnetlere yerleştirilme şekli (yandan görünüş).....	24
Şekil 2.3. Çelik plakaların mesnetlere yerleştirilme şekli (alttan görünüş).....	25
Şekil 3.1. Yükleme çerçevesi ve deney kirişi.....	32
Şekil 3.2. Deney kirişlerine LVDT yerleşimi.....	35
Şekil 3.3. Kiriş orta nokta deplasman şeması.....	37
Şekil 3.4. Kiriş eğrilik hesabı şeması.....	33
Şekil 4.1. TM numaralı kiriş yük-deplasman grafiği.....	44
Şekil 4.2. T1 numaralı kirişin yük-deplasman grafiği.....	47
Şekil 4.3. T1 numaralı kirişin yük-ardgerme grafiği.....	48
Şekil 4.4. T2 numaralı kirişin yük-deplasman grafiği.....	53
Şekil 4.5. T2 numaralı kirişin yük-ardgerme grafiği.....	54
Şekil 4.6. T3 numaralı kirişin yük-deplasman grafiği.....	56
Şekil 4.7. T3 numaralı kirişin yük-ardgerme grafiği.....	57
Şekil 4.8. Deney kirişleri çatlak haritası.....	61
Şekil 5.1. Deney kirişleri yük-deplasman grafiği.....	63
Şekil 5.2. TM numaralı kirişin M-K grafiği.....	70
Şekil 5.3. T1 numaralı kirişin M-K grafiği.....	71
Şekil 5.4. T2 numaralı kirişin M-K grafiği.....	72
Şekil 5.5. T3 numaralı kirişin M-K grafiği.....	73
Şekil 5.6. Deney kirişleri M-K grafiği.....	74
Şekil 5.7. Deney kirişleri yük-ardgerme grafiği.....	76

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Beton numuneleri basınç dayanım testi.....	16
Resim 2.2. Deney elemanları donatı resmi.....	17
Resim 2.3. Donatı kafesi ve kalıp.....	19
Resim 2.4. Donatı kafesleri ve hazırlanmış kalıplar.....	20
Resim 2.5. Deney kirişlerine beton dökülmesi.....	21
Resim 2.6. Deney kirişleri betonun sıkıştırılması.....	21
Resim 2.7. Deney elemanlarının mesnetlerine yerleştirilen çelik plakalar.....	28
Resim 2.8 Deney elemanlarına yerleştirilen çelik plakalar ve mesnetler.....	28
Resim 2.9 Deney kirişleri mesnetlerine yerleştirilen çelik plakalar genel görünüşü.....	29
Resim 3.1. Kapalı deney çerçevesi.....	32
Resim 3.2 Ardgerme kablosuna bağlı yük hücresi.....	31
Resim 4.1. TM referans kirişi deney öncesi görünümü.....	42
Resim 4.2. Yükleme sonrası TM kirişi.....	43
Resim 4.3. T1 numaralı kirişin deney öncesi görünüşü.....	45
Resim 4.4. Ardgerme yük hücresi.....	46
Resim 4.5. Sol mesnet ve çelik plakalar	49
Resim 4.6. T2 numaralı kirişin deney öncesi görünüşü.....	50
Resim 4.7. T2 numaralı kirişin deney öncesi görünüşü.....	52
Resim 4.8. T2 numaralı kirişin deney sonrası sol mesneti.....	52
Resim 4.9. T3 numaralı kirişin deney öncesi görünüşü.....	55
Resim 4.10 T3 numaralı kirişin ardgerme sonrası görünümü.....	58
Resim 4.11 T3 numaralı kirişin deney sonrası görünümü.....	59

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
a	Yük mesnet mesafesi
b_w	Kiriş gövdesi kesit genişliği
d	Kiriş faydalı yüksekliği
f_{ck}	Betonun karakteristik basınç dayanımı
f_s	Ardgerme kablosundaki gerilme miktarı
F	Ardgerme kuvveti
δ_{R1}	Sol mesnet çökmesi
δ_{R2}	Sağ mesnet çökmesi
δ_o	Orta nokta deplasmanı
δ_{onet}	Orta nokta net deplasmanı
δ_3	Orta nokta deplasmanı
δ_4	Orta nokta deplasmanı
Kısaltmalar	Açıklama
LVDT	Linear variable displacement transducer

1. GİRİŞ

Günümüzde bulunun yapıları incelediğimizde betonun en önemli ve en çok kullanılan yapı malzemesi olduğunu görmekteyiz. Betonun bu kadar geniş bir kullanım alanı bulmasının en önemli nedenlerinin bazılarını maliyetinin ucuz olması, kalifiye işçilik istememesi, saha uygulamalarının kolay olması ve istenen şekle girebilmesi olarak sayabiliriz. Bunun yanı sıra beton ile demir çubukların birleşmesi sonucu oluşan ve betonarme diye adlandırılan malzeme de beton ve demir birlikte kullanılmakta ve birbirlerinin dezavantajlarını ortadan kaldırmaktadırlar.

Genel olarak yukarıda bahsedilen betonarme yapılarda karşılaşılan en önemli problem ise, zamanla bu yapıların güçlendirilmesi gerekliliğinin ortaya çıkmasıdır. Yapıların kullanım amacının değişmesi sonucu daha büyük yükler altında kalmaları, proje ve yapım aşamasında ortaya çıkan hatalar ve yapılan araştırmalar doğrultusunda geliştirilen yeni şartnamelere uyma zorunluluğu yapıların güçlendirilmesi veya yıkılıp yeniden yapılması gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Bunun yanı sıra yapılarda zamanla ortaya çıkan zemin sorunları, rötre nedeniyle betonda oluşan çatlaklar ve bu çatlaklar nedeniyle korozyona uğrayan donatı, deprem, yangın ve kaza gibi olaylarda betonarme yapıların hasar görmesine neden olmakta, bu da bu yapıların güçlendirilmesi gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır. Bu noktada yetersiz olarak görünen yapıların yeterli hala getirilmesi için iki yöntem ortaya çıkmaktadır. Bunlardan birincisi yapının yıkılıp tekrar yeni şartlar göz önüne alınarak yapılması, ikincisi ise yapının güçlendirilmesi suretiyle yeni şartlara uymasının sağlanmasıdır. Bunlardan ilki, ikincisi olan yapıların güçlendirilmesine göre çoğu zaman çok daha maliyetlidir.

Güçlendirme işlemi hasar görmemiş yapıların dayanım ve davranışlarının çeşitli yöntemlerle istenen düzeye çıkarılmasıdır. Bu yöntemler güçlendirilecek olan yapının özellikleri, yapının kesme kuvvetlerine mi, yoksa eğilmeye karşımı güçlendirileceği, güçlendirme işleminin maliyeti ve uygulanabilirliğine göre farklılık göstermektedir.

Şu ana kadar betonarme kirişlerin güçlendirilmesi konusunda çok çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmaları ilk olarak ikiye ayırabiliriz : kesme karşı güçlendirme ve eğilmeye karşı güçlendirme. Bu teze konu olan deneylerde , betonarme kirişlerin eğilmeye karşı olan dayanımını güçlendirmek hedeflenmiştir. Her ne kadar bu konuda daha öncede çeşitli çalışmalar yapıldıysa da, burada farklı bir yöntem 'ardgerme ile güçlendirme' yöntemi kullanılmıştır. Ardgerme yöntemi her ne kadar yapıların inşasında kullanılan bir yöntem olsa, son zamanlarda ardgermenin yapıların güçlendirilmesinde kullanımı konusunda çeşitli çalışmalar ve saha uygulamaları yapılmaktadır. Burada amaç avantajları ile çeşitli inşaat yapılarında betonarmenin yerini alan bu yöntemin avantajlarından güçlendirme konusunda da yararlanmaktır. Bu güçlendirme yöntemi daha önce çeşitli çalışmalarda kullandıysa da , burada ardgerme uygulamasının dıştan ve kirişlerin altından verilmesi ve elde edilecek kuvvetin çelik plakalarla kirişe aktarılması denenecektir.

Betonarme keşfedildiği zamandan bu yana çok önemli gelişmeler göstermiş ve bunu sonucu olarak da kullanım alanı gitgide artmıştır. Bu dönemde hem hesaplama yöntemlerinde görülen gelişme ve hızlanma, hem malzeme teknolojisinde görülen ilerleme, hem de yapılan deneysel çalışmalar sonucunda betonarme davranışının çok daha iyi anlaşılması sonucu betonarmenin uygulama alanındaki gelişme daha da artmıştır. Buna karşın insan ihtiyaç ve isteklerindeki gelişmeler bunun çok daha üstü çıkmış ve bunun sonucu olarak da yeni inşaat yöntemleri ortaya çıkmıştır. Bu yöntemlerden en önemlilerinden biride öngerme ya da ardgerme adı ile bilinen yöntemdir.

Bu yöntemin temel mantığı betona, çelik kablolar vasıtası ile basınç uygulanması sonucu dayanımının artmasıdır. Yöntem genel olarak öngerme ve ardgerme olarak ikiye ayrılır.

Genel olarak baktığımızda bu yöntemlerin klasik betonarmeye karşı iki önemli avantajı vardır. İlk olarak beton yüksek bir başlangıç basınç kuvvetine maruz kalmakta ve bunu sonucu olarak da yapıya ilerde etkileyecek olan sabit ve hareketli yükler betonda ya hiçbir çekme gerilmesi yaratmamakta, veya yarattıkları çekme

kirişlere ters sehim verilmesi. İkinci aşama ise, kirişlerin iki nokta yüklemesi ile yüklenmesi ve kiriş davranışlarının, eğilme kapasitesindeki artışın, deformasyonların ve kiriş sünekliliğinin gözlenmesi olacaktır. Bu amaçla, biri referans kirişi olmak üzere 3 kiriş denenecektir. Ayrıca dördüncü bir kiriş, önce referans kirişinin %80 kapasitesine kadar yüklenecek, daha sonra ardgerme uygulanacak ve en sonun da kiriş kırılmaya kadar yüklenecektir. Bu amaçla toplam dört adet T kesitli kiriş tasarlanmış ve laboratuarda üretilmiştir. Tüm kirişlerde kullanılan donatı ve boyutlar aynıdır. Güçlendirilen kirişlerden iki tanesine 30 kN, sonuncu kirişe ise 60 kN başlangıç ardgerme kuvveti uygulanacaktır.

Dışarıda hazırlanan çelik plakalar ise, kirişlerin altına kirişler ters çevrildikten sonra yerleştirilmiştir. Ayrıca bu plakalar kirişlerde her iki mesnetinde üstüne gelecek şekilde ve kiriş kesit yüksekliğinin ortasına gelecek şekilde açılan delikler sayesinde montajlanmıştır.

Bu çalışmada denecek olan ardgerme sistemi daha önceki çalışmalardan oldukça farklıdır. Daha önceki çalışmalarda özellikle ardgerme kabloları kirişlerin yan yüzeyine yerleştirilmiştir ki bu da başta köprü kirişleri olmak üzere bazı saha uygulamalarında zorluklar çıkarmaktadır. Kirişlerin altına çelik plakaların yerleştirildiği bu sistemin kirişlere monte edilmesi, ilerde görüleceği üzere oldukça pratik bir sistemdir.

Bu çalışmanın amacı kısa olarak, bu çalışmada gösterilen ardgerme sisteminin güçlendirmede ne kadar iyi verdiğini görmek, başlangıç ardgerme kuvvetinin değişiminin kirişlerin hem eğilme kapasitesi, hem de davranışlarına olan etkilerini incelemektir.

Şu an ülkemizde bulunan karayolu köprülerini incelediğimizde bu köprülerden eskiden yapılan birçoğunun günümüz şartnamelerine uygun olmadığı ve yetersiz kaldıkları görülmektedir. Bu deneylerde kullanılan ardgerme mantığı ve sisteminin detayları tasarlanırken gerçek köprü kirişleri dikkate alınmış, ve ilerde belirtilen

gerilmesi büyüklüğü standartlarda belirtilen değerlerin altında kalmaktadır. Zaten başlangıç ardgerme kuvveti büyüklüğü, bu kriterler dikkate alınarak hesaplanır. Diğer önemli nokta ise, ardgerme kuvvetin ile sabit ve hareketli yüklerin oluşturduğu momente ters yönde bir moment oluşturulması, bununda yapıların dayanımlarını artırmasıdır.

Yukarda genel mantığı belirtilen ardgerme, inşaat mühendisliğinde önemli avantajlar sağlamaktadır. Diğer çözümlere göre daha düşük donatı ve beton miktarları ortaya çıkması, yapının toplam ağırlığının azalmasına bu da daha düşük kolon ve temel boyutları kullanılabilmesine neden olmaktadır. Buna karşın kullanılan daha kaliteli malzemelerden dolayı, kullanılan daha ufak kesitler ekonomik olarak bir avantaj sağlamamaktadır. Ama yapının toplam ağırlığının azalması deprem olması durumunda yapıya daha az deprem yüklerinin etki etmesini sağlamaktadır. Ayrıca kullanılacak olan kalıp sistemlerinin daha kompleks olması kalıp maliyetini artırmaktadır. Yapılarda oluşan deformasyonlar azalmakta ve servis yükleri altında yapıda oluşan çatlaklar azalmaktadır, bu da servis yükleri altında yapıların daha iyi davranış göstermesini sağlamaktadır. (1)

Amaç ve Kapsam

Son yıllarda ardgerme ve öngermenin bu avantajlarının yapıların güçlendirilmesinde kullanılması düşünülmüştür. Bu amaçla daha önce hem pratik, hem deneysel, hem de teorik çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda ardgerme ile kirişler güçlendirilmiş ve başlangıç ardgerme kuvveti ile ardgerme kablo geometrisinin kirişlerin eğilme kapasitesine etkileri incelenmiştir. Bu çalışmada da hem başlangıç ardgerme kuvvetinin kirişlerin eğilme kapasitesi ve davranışlarına olan etkileri incelenmiş, hem de bu çalışma da sunulan çelik plaka sistemi denenmiştir.

Avantajları görülen ardgerme bu deneylerde daha önceki çalışmalardan farklı olarak kirişlerin altlarına yerleştirilen çelik plakalara bağlı ardgerme toronları ile uygulanacak ve bu çelik plakalar sayesinde ardgerme kuvveti kirişlere iletilecektir. Deneyler iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada kirişlere ardgerme kuvveti ile

ölçülerde modelleme yapılarak deney şartlarına uygun kiriş ölçüleri elde edilmiştir.
Önceki Çalışmalar

Angel C. Aparicio, Gonzalo Ramos, Juan R. Casas (2002)(2), dıştan ardgermeli kirişleri denemişlerdir. Beş monolitik ve üç segmentli kiriş eğilme ve eğilme ve kesme karşı test edilmiştir. Basit mesnetli kirişler 7.20 m ve sürekli kirişler 7.20 + 7.20 m açıklık ve 0.60 m derinliği sahip, sandık kesitli kirişlerdir. Dıştan ardgerme kablosu kirişin ortasından geçmekte ve kiriş açıklığının 1/3 lük mesafesinde simetrik olarak kirişin dışına çıkmaktadır. Monolitik kirişlerde 8 mm çapında ve sadece kirişin ağırlığını taşıması amacıyla kullanılan donatı kullanılmıştır. Kesme donatısı ise İspanyol standartlarına göre tasarlanmıştır.

Monolitik kirişler iki nokta yüklemsi ile yüklenmiş ve aynı şekilde sürekli kirişlerde de iki nokta yükleme yapılmıştır, ama sadece tek bir açıklık da yükleme yapılmıştır. Deformasyonlar ikisi mesnetlere yakın dönmeyi ölçmek ve üç tanesinde açıklıkta hem orta nokta deplasmanını, hem de ortalama eğriliyi ölçmek amacıyla yerleştirilen LVDT'ler sayesinde izlenmiştir. Ayrıca ardgerme kablolarındaki yük miktarı da yük hücreleri yardımı ile ölçülmüştür.

Sonuçlar incelendiğinde eğilme testlerinde ardgerme kablosundaki gerilme miktarının verilen ilk ardgerme kuvveti azaldıkça arttığı; deneyler çekme donatısı aktığında durdurulduğunda ardgerme kablosunun akmadığı; kırılma yükünün %40 - %60 ına ulaşıldığı zaman ardgerme kablolarında kayma görülmeye başlanmış; kırılma yükünde tüm kablolarda aynı gerilme miktarı ölçülmüş; segmentli kirişlerde çok yüksek kırılma yükü gözlenmiş ve bu kirişler betonun ezilmesi ile kırılmıştır. Sürekli kirişlerde yapılan eğilme deneyleri sonucunda ise, kirişlerin rijitliklerinde önemli bir düşüş gözlenmiş ve bu ilk çatlakların oluşması ile daha da hızlanmıştır.

Sürekli kiriş deneylerinde çıkarılan en önemli sonuç ardgerme kablosu uzunluğunun, dıştan ardgermeli kirişlerin davranışın önemli ölçüde etkilediğidir. Ardgerme kablosu boyunu azaltmak, kirişin kırılma kapasitesini %5 artırmaktadır. Pratik uygulamalar açısından bu noktanın önemi, artan ankraj parçaları nedeniyle bunun ekonomik olup

olmayacağıdır. Deneyler ayrıca dıştan ardgerme uygulamasının onarılan yapılardaki kapasitesi hakkında bilgi vermiş ve dıştan ardgermenin kirişin dayanımını artırdığı görülmüştür.

Bijan O. Aalami, David T. Swanson (1988)(3) yaptığı çalışma San Francisco'da bulunan Pier 39 ismindeki çok katlı bir otoparkın ardgerme ile güçlendirilmesi prosedürünü, rehabilitasyon seçenekleri, ekonomik hesaplamaları, yapısal analizleri ve yapım aşamasını ve sonuçlarını açıklamaktadır.

Çatıda görülen su sızdırması ve çatlakların daha geniş çaplı olarak incelenmesi sonucu yapıda negatif döşeme momentleri sonucu oluşan çatlaklar ve 38 mm ye varan kiriş deformasyonları görülmüştür. 1976 yılında inşa edilmiş olan beş katlı otopark binası, 118.9 x 63.0 m lik bir alanı kapsamaktadır. Binanın orijinal yapısı ardgermeli kirişler ve tek yönde ardgermeye sahip döşemeden oluşmaktadır. Rehabilitasyon seçenekleri olarak çelik kafes kullanılması ya da ardgerme ile kirişlerin güçlendirilmesi düşünülmüş ve hem orijinal yapı, hem de maliyet analizi ardgerme ile güçlendirmeye karar verilmiştir.

Ardgerme ile yapılan güçlendirme de ise ardgermenin kirişe orta açıklıkta mı, yoksa 1/3 açıklıkta iki noktada mı bağlanacağı; ardgerme kablosunu kirişin doğal eksenine mi ankrajlanacağı, yoksa belli bir dışmerkezlik mi verileceği; uygulamada ardgerme donanımının nasıl yerleştirileceği ve ardgermenin nasıl verilebileceği noktaları önem kazanmıştır.

Tasarım sırasında dikkat edilen diğer önemli noktalar kirişlerde ardgermeden dolayı oluşacak gerilme miktarıdır ve büzülme, elastik kısalma, sünme ve sıcaklık değişimlerinden dolayı oluşan kısaltmalardır. Birbirine bağlı kısımlarda oluşan farklı kısaltmalar gerilme yaratabilir ve bu yüzden kolonların kirişlerin kısaltmasından dolayı kontrol edilmesi gerekmektedir. Son bir önemli nokta ise korozyon ve yangına karşı seçilecek olan ardgerme donatısı ve donanımına dikkat edilmesidir.

Sonuç olarak ardgerme teknolojisinin daha ilk zamanlarında ortaya çıkan tasarım, ardgerme donanımı ve ardgermeye ait standartların gelişmemiş olması bugünkü standartlara göre kabul edilemez sonuçların ortaya çıkmasını sağlamıştır. Ama Pier 39 çok katlı otoparkında olduğu gibi ardgerme ile güçlendirme, yapının günlük işlevini aksatmadan yapılabilir.

G. Tassi, N. P. Lukin (1996)(4) yaptıkları çalışmada yazarın memleketi olan Macaristan da köprü ve yolların durumu incelenmiş ve bu yapıların güçlendirilme ve rehabilitasyon nedenleri sunulmuştur. İncelenen güçlendirme yöntemlerinden bir tanesinde ardgerme ile güçlendirilmiştir.

Ardgerme ile güçlendirmenin iki önemli avantajından bahsedilmiştir. Bunlardan ilki yerleştirilen ek donatı ve bunun beton elemanındaki gerilme dağılımını olumlu yönde değiştirdiğidir. Diğer avantajı ise ardgermeden dolayı yapıya verilen kuvvetin yapının davranışını olumlu etkilediğidir.

Ardgerme ile Macaristan'da Birinci dünya Savaşında önce yapılan ve iyi durumda olmasına rağmen değişen tasarım yüklerinden dolayı köprünün dayanımının yeterli ve oluşan çatlak ve bunların yol açtığı korozyonunda etkisinden dolayı köprünün ardgerme ile güçlendirilmesi incelenmiştir. Kullanılan ardgerme kablosu köprünün altından geçmekte ve köprü ayaklarında döşeme seviyesine çıkmaktadır ve bu sayede kırık çizgi şeklinde bir görünüme sahiptir. Güçlendirmenin ardından yapılan testlerde yapının günümüz şartnamelerine uygun dayanım ve rijitliğe ulaştığı görülmüştür. Ardgerme kablosu korozyona karşı koruyucu yağın içinde plastik bir kablonun içine yerleştirilmiştir.

Kiang Hwee Tan, Robert A. Tjandra (2003)(5) çalışmalarında köprülerde çok sık kullanılan basit mesnetli dökme kirişlerin, günümüz ağır trafik koşullarına uyum sağlamaları için kapasitelerinin dıştan ardgermeli kablolar kullanılması ve bu sayede birbirini takip eden açıklıklar arasında kısmi süreklilik sağlanmasını incelemektedir. Etkili ardgerme kuvveti kiriş deplasmanını ve birbirini takip eden açıklıklar arasındaki açılma miktarını belirlemektedir.

Her biri iki adet basit mesnetli T-kesitli kirişin dıştan kablolar yardımı ile kısmi sürekli haline getirilen dört deney elemanı üretilmiştir. Her T-kesitli kiriş 3 m uzunluğunda ve 300 mm derinliğindedir. Kirişlerde 2 adet 16 mm çapında nervürlü çekme donatısı ve 4 adet 10 mm çapında basınç donatısı ve 10 mm çapında etriye kullanılmıştır. Yapılan deneylerde kullanılan dört deney elemanından ilkinde ardgerme kablosu ek yerinde ortasına yerleştirilmiş, ikinci örnekte yine aynı yere bu sefer karbon fiber donatılı polimeri kablo yerleştirilmiştir ve bu kabloda ilk elemanla aynı uzunlukta seçilmiştir. Üçüncü deney elemanında birinci elemandaki kablonun aynısı kullanılmış; fakat kablo boyu daha kısa seçilmiştir. Dördüncü deney elemanında ise üçüncü deney elemanında kullanılan kablonun aynısı kullanılmış, ayrıca her iki T-kesitli kirişin pozitif moment bölgesine yine ardgerme kabloları yerleştirilmiştir. Deneyler sırasında tüm kirişlere dört nokta yüklemesi yapılmıştır.

Yapılan deney sonucunda yük-deplasman grafikleri incelendiğinde ilk iki deney elemanının benzer davranış gösterdiği ve güçlendirilmemiş kirişe göre yük taşıma kapasitesinin %20 civarında arttığı görülmüştür. Daha kısa ardgerme kablosu kullanılan üçüncü deney elemanında yük taşıma kapasitesindeki artış % 40 civarlarında görülmüş ve kirişlerin pozitif moment bölgesinde güçlendirildiği son deney elemanında yük taşıma kapasitesinde %80 civarında artış görülmüştür.

Bütün kirişler ek yeri açılana kadar benzer davranış göstermiş, ek yerinin açılmasından sonra kirişlerin davranışı farklılaşmıştır. Bununla beraber kirişlerin rijitliğinde önemli ölçüde düşme gözlenmiştir. Ek yerinin daha da açılmasının ardından moment dağılımı değişmiş ve kirişlerin pozitif moment taşıyan orta açıklıkları moment almaya başlamıştır. Son olarak da tüm kirişler yüksek kırılğan davranış göstermiştir. Çalışmanın diğer kısmında bu tip kirişlere ait teorik analiz yapılmış ve bir hesaplama yöntemi incelenmiştir.

P. R. Chakrabarti, Tai Ping Whang, Wade Brown, Kenan M. Arsad, Edwardo Amezea(1994)(6) bağısız ardgermeli kirişler üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada farklı beton donatısı ve ardgerme kablosu, T-kesitli kiriş ve dikdörtgen kesitli kiriş, normal ve yüksek dayanımlı beton, düşük ve yüksek (kiriş

uzunluğu/kiriş derinliği) oranı ve farklı başlangıç gerilmeleri karışımları incelenmiştir.

Orta seviyede donatı ve indeksi ve kısmi ardgerme oranına sahip kirişler çatlakların oluşmasından sonra daha sünnek davranış, daha iyi yük-taşıma kapasitesi ve performans göstermiştir. Optimum w 0.1 ile 0.25 arasında (T kesitli kirişler için 0.075 ile 0.2) ve PPR 0.25 ile 0.7 arasında çıkmıştır. Burada $w = (P_p * f_{ps}) / f_c + (P_s * f_y) / f_c$ ve $PPR = A_{ps} * f_{ps} / (A_{ps} * f_{ps} + A_s * f_y)$ dır.

PPR'nin çok yüksek olduğu deney elemanlarında çekme bölgesinde ani büyük çatlaklar ve yüksek w olan deney elemanlarında basınç bölgesinde ezilme görülmüştür. Donatı indeksini sabit tutarak PPR'ı azaltmak kirişin hem çatlak kontrolü, deformasyon kontrolü ve sünnekliliğinde olumlu davranış görülmesini sağlamıştır.

T kesitli kirişlerde w ve PPR'ın optimum değerler arasında tutulması daha yüksek Δf_{ps} değerlerine ulaşılmasını, bu da daha iyi yük taşıma kapasitesi, deformasyon kontrolü ve daha iyi çatlak sonrası davranış görülmesini sağlamıştır. Ayrıca hem T kesitli, hem de dikdörtgen kesitli kirişlerde yüksek dayanımlı beton kullanılması daha yüksek mukavemet ve deformasyon kontrolü sağlamıştır.

Kiriş uzunluğu-derinliği oranının 35 i geçmesi durumunda donatı eklenmesi çatlak sonrası davranışları ve deformasyon kontrolünün gelişmesini sağlamıştır. İlk ardgerme kuvvetindeki artış, kiriş davranışına belirgin bir etki yapmamıştır.

Tevfik Çetin Ünsal'ın çalışması (7) Çalışmada betonarme kirişlerin monolitik yük altında davranış ve dayanımları araştırılmıştır. Deneysel çalışma, ikisi referans kirişi, beşi güçlendirilmiş kiriş olmak üzere yedi tane denge-altı donatılı kiriş modeli üzerinde gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan kirişler 150x250 mm dikdörtgen kesitli ve 3 m açıklıklıdır. Eski ve yeni boyuna donatılar Z-demirleri ile birbirine bağlanmış, bazılarında U-biçimindeki yeni etriyeler eski etriyelere kaynaklanmıştır. Bazı kirişlerde güçlendirme katmanı mesnete kadar uzatılırken, bazılarında ise yerel

güçlendirme etkisinin incelenmesi için güçlendirme mesnetlerden uzakta kesilmiştir. Güçlendirme ile amaçlanan taşıma gücüne ne kadar yaklaşılabileceği, ek çekme donatısının kolon-kiriş birleşimlerinde nereye kadar uzatılması gerektiği, eski ve yeni boyuna donatıları birbirine bağlayan Z-şeklindeki bağ demirleri ile kaynaklanmalarının güçlendirmeye etkisi incelenmiştir.

Deneyler sonucunda güçlendirilen kirişlerin moment taşıma kapasiteleri bir döküm kiriş kapasitesine çok yaklaştığı görülmüş, eski ve yeni betonun tam kaynaşması sağlanmış ve güçlendirilmiş kirişlerin rijitliklerinin, güçlendirme uygulanan yapım farklılıklarına bağlı olarak büyük bir fark görülmemiştir.



2.DENEY MODELLERİ VE LABORATUVAR TEKNİĞİ

2.1. Genel

Betonarme kirişlerin kırılma yük altındaki davranışlarının incelenmesi sonucu yükleme mesafesinin kiriş mesnetlerine olan uzaklığı (a) ile kesit faydalı yüksekliğine (d) olan uzaklığı arasında bir ilişki olduğudur. (a/d) oranı kirişlerin deneylerdeki davranışı direk olarak etkilemekte ve hem çatlak oluşumu hem de göçme mekanizmasını belirlemektedir. Bu da kirişin kesmeden mi , eğilmeden mi ya da eğilme ve kesmeden mi kırılacağını belirlemektedir. (a/d) oranını 7.0 ya da 8.0 ı geçmesi durumunda normal yüzdeli donatıya sahip kirişin davranışını eğilme belirlemektedir. Tabi ki donatı miktarı da önemlidir ama normal yüzdelerde donatı kullanılması durumunda kiriş çekme donatısının akması ve betonun basınç donatısının ezilmesi ile kırılmaktadır. (a/d) oranının 7.0 dan küçük ve 3.0 dan büyük olması durumunda ise kırılma eğilme kapasitesinin altında köşegen çatlaklarla olmaktadır. Kirişte önce maksimum moment bölgesinde eğilme çatlakları oluşmakta ve bunlar kesme açıklığında gelişip yüke doğru ilerlemektedir. Bu tip kırılmalar ani ve gevrekli. Eğer (a/d) oranı 1.5 ile 3.0 arasında ise kırılma değişmektedir. Önceki duruma benzer şekil de çatlaklar eğilme çatlağı olarak oluşur, yükün artması ile kesme açıklığında da gelişirler ve yüke doğru eğim yaparak ilerlerler. Bir önceki durumdan farklı olarak bu noktada kirişte kırılma olmaz ve kiriş yük taşımaya devam eder. Sonunda kiriş basınç bölgesindeki betonun ezilmesi ile kırılmaktadır. (8)

Gerçekleştirilen deneyde kirişin eğilme kapasitesindeki artışın gözlenebilmesi için eğilmeden gitmesi düşünülerek ve yukarıdaki kriterler dikkate alınarak hesaplamalar yapılmıştır.

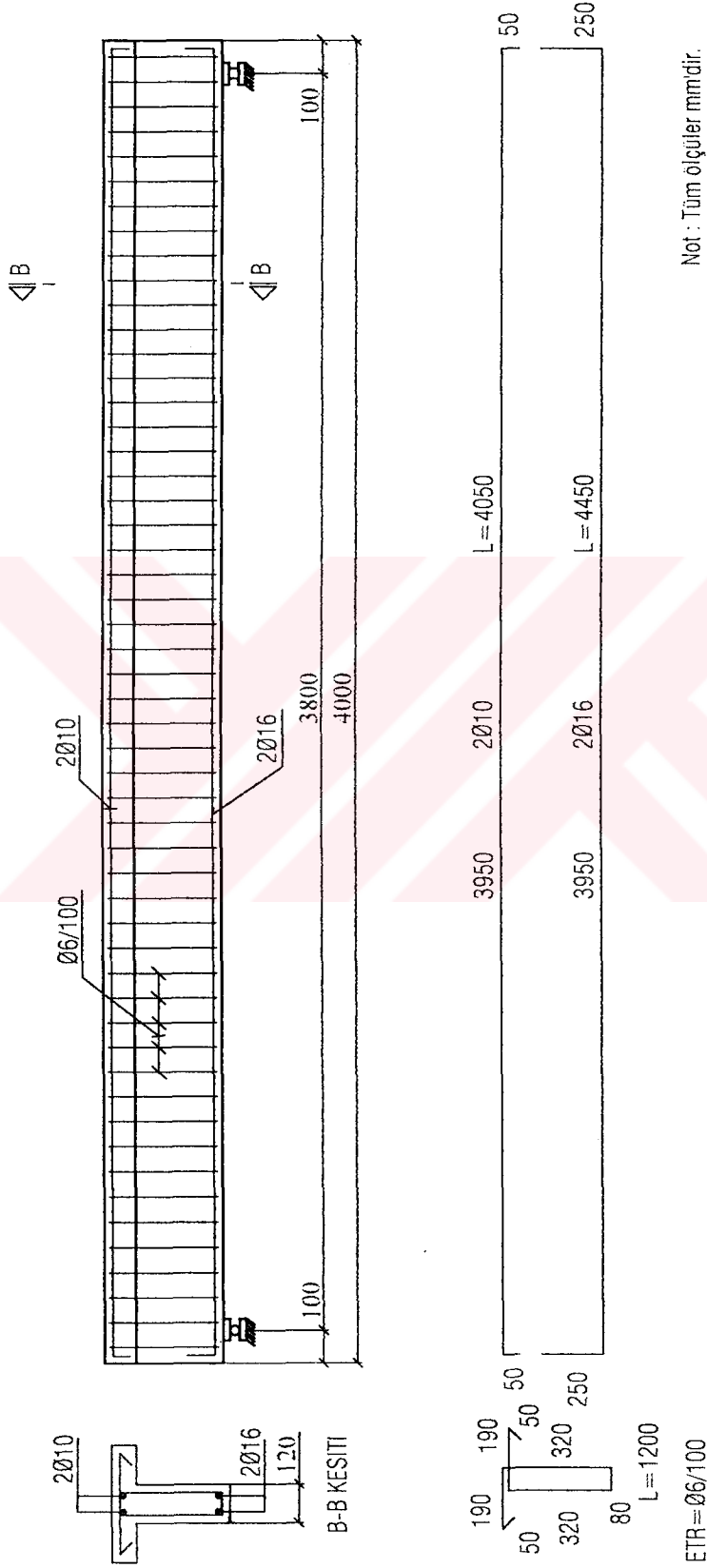
2.2.Modellerin Tasarımı

Betonarme yapılarda kirişlerin döşeme ile beraber çalıştığı ve tüm hesaplamalarında bu yönde yapıldığı göz önüne alınarak deney elemanları tablalı kiriş olarak seçilmiştir. Kiriş boyutları belirlenirken 6.5 m açıklıklı ve 200x600 mm kesitli

betonarme kesitler esas alınmıştır. Laboratuvar çalışması için de kiriş boyutları 3/5 ölçeğinde küçültülmüştür. Bunun sonuncu olarak kiriş açıklığı 4 m ve kiriş kesiti 120x360 mm olmuştur. Referans kirişi dahil tüm kirişlerde $\Phi 16$ mm çapından nervürlü çekme donatısı, $\Phi 10$ mm çapından düz basınç donatısı ve $\Phi 6$ mm çapından düz etriye donatısı kullanılmıştır. Kirişlere deneylerde uygulanacak yükleme sistemi olarak iki simetrik tekil yükle yüklemeye karar verilmiştir. Bu yükleme sırasında da kirişlerin eğilmeden kırılması davranışının hakim olması için, (a/d) oranı 4.33 olacak şekilde seçilmiştir. Şekil 2.1 de kirişlerin boyutları, kullanılan donatı boyutları ve donatı adetleri ile etriye donatısı açıklığı belirtilmiştir.

Kirişlerin gerek boyutlandırılmasında, gerek kullanılan donatı miktarında, gerekse kirişlere uygulanacak yükleme şeklinin seçiminde kirişlerin güçlendirileceği göz önüne alınmış ve bu güçlendirmeden sonra da kirişlerde eğilmeden dolayı kırılma davranışının hakim olmasına dikkat edilmiştir. Aynı şekilde kirişlere uygulanacak ardgerme ve bu ardgermenin kirişlerde meydana getireceği ters sehimde düşünülmüş ve basınç donatısının seçilmesinde bu kriter dikkate alınmıştır. Kirişlerde meydana getirilen güçlendirme sonrası kirişlerde eğilme davranışından dolayı kırılma görülmemesi için etriye aralıklarına özellikle dikkat edilmiştir. Ayrıca hem kirişlere uygulanacak ardgerme yerinin hesaplanmasında, hem de bunun kirişlerin dayanımı ve kırılma davranışı üzerine yapacağı etkilerde dikkatle incelenmiştir.

Güçlendirme esnasında kirişlere bağlanacak olan çelik plakaların boyutlandırılmasında uygulanacak ardgerme kuvveti, kiriş geometrisi ve yükleme esnası ve sonrasında çelik plakaların taşıyacağı yükler göz önüne alınmıştır. Ardgerme kablosu olarak da 6' (inç) ardgerme kablosu seçilmiştir. Yine bu kablolunun boyutlarının seçiminde hem uygulanacak ardgerme kuvveti, hem de yükle esnasında kirişlerde oluşacak sehimden dolayı artacak gerilme miktarı göz önüne alınmıştır. Kirişlere takılacak olan ardgerme kablolarını çelik plakalara bağlayan ve kaymadan durmasını sağlayan ankrajlar da yine kullanılacak olan ardgerme kablusunun çapı dikkate alınarak seçilmiştir.



Şekil 2.1. Deney elemanlarının kiriş boyutları ve donatı çizimi

2.3. Malzeme Özellikleri

Deney elemanlarının davranışlarının karşılaştırılması düşünüldüğü için beton ve donatı dayanımlarının yakın olması istenmiş ve gerek beton üretiminde gerekse donatıların alımında buna dikkate edilmiştir. Kirişlere beton dökülmesi sırasında, dökülen betondan numuneler alınmış ve bu numuneler laboratuarda deney günü test edilmiştir. Aynı şekilde, kullanılan donatılardan da numuneler alınarak, bu numunelerde laboratuarda test edilmiştir. Ardgerme kablosunda ise akma noktasına kadar yük vermek hedeflenmediği için fabrika değerleri esas alınmıştır.

2.3.1. Beton Özellikleri

Deney elemanlarında kullanılan betonun 28 günlük basınç dayanımının 25 Mpa olması hedeflenmiştir. Deney sonuçlarının karşılaştırılabilmesi içinde bütün kiriş elemanlarında aynı kalite beton kullanılmasına dikkat edilmiştir. Beton kalitesinden oluşabilecek farkları saptamak amacıyla kiriş elemanlarına beton dökülmesi sırasında 3'er adet 150 mm çapında ve 300 mm yüksekliğinden silindirlere betondan numuneler alınmıştır. Ayrıca bu numuneler alınırken tüm numuneler tek seferde alınmamış, beton dökümünün başında, ortasında ve sonunda alınarak daha sağlıklı sonuçların elde edilmesi hedeflenmiştir. Daha sonra bu numuneler, deney günü deneylere başlanmadan laboratuarda basınç testine tabi tutulmuştur.

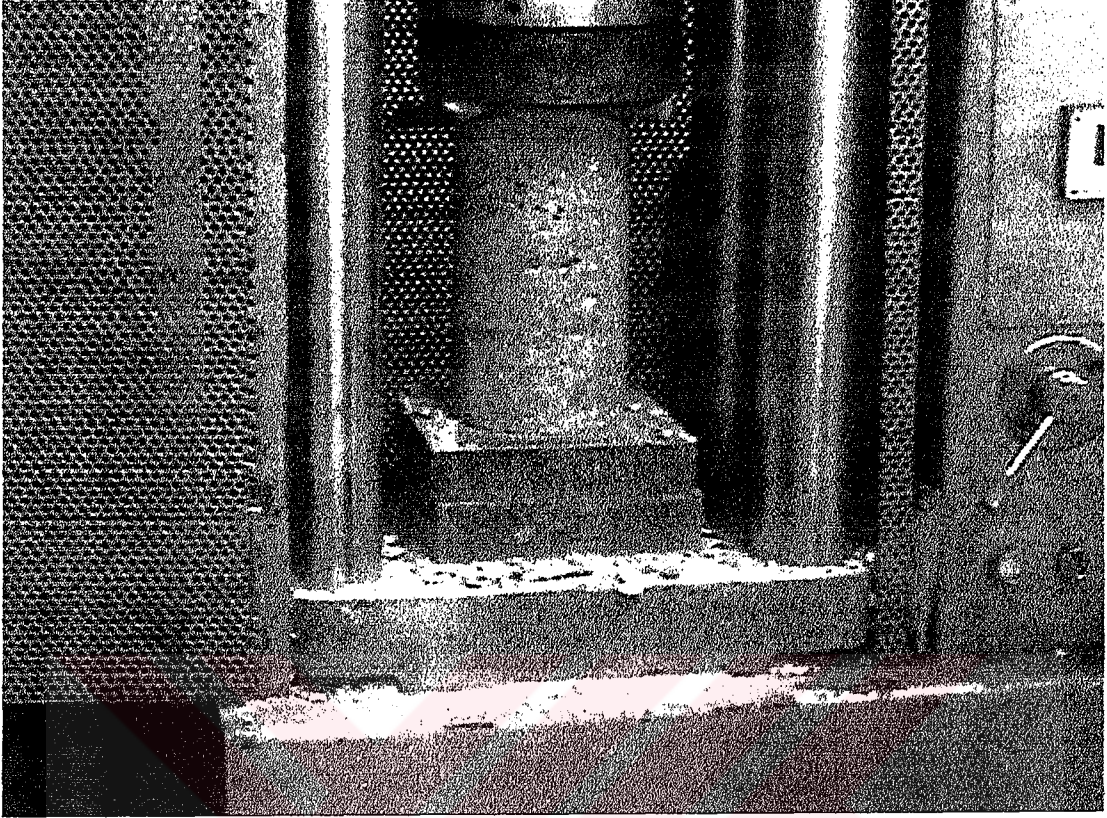
Deneylerde kullanılacak olan beton karışım oranları Çizelge 2.1 de verilmiştir. Beton hazırlanırken dikkat edilmesi gereken en önemli etken su/çimento oranıdır. Beton karışımında kullanılan su miktarı azaldıkça betonun dayanımı artmaktadır, buna karşın betonda kullanılan su, hem çimentonun kimyasal reaksiyonlarla hidrasyona uğramasına, hem de betonun rahatça dökülmesi, kalıpta istenen şekli alması ve kalıbın tamamını doldurmasını sağlamaktadır. Hesaplamalar yapılırken de beton numunelerinden elde edilen sonuçların aritmetik ortalaması alınmıştır. Bu numunelerin sonuçları Çizelge 2.2 de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Deney elemanları beton karışım oranları

Malzeme Türü	Ağırlık (N)
Portland Çimentosu	4500
Su	2470
Kum (0-7 mm)	5290
Çakıl (7-15 mm)	10740

Çizelge 2.2. Deney elemanlarının ortalama beton basınç dayanımları

Model Kiriş	f_{ck} (N/mm ²)
TM (referans kirişi)	28,719
T1 (30 kN ardgerme ile güçlendirilen kiriş)	28,181
T2 (30 kN ardgerme ile güçlendirilen kiriş)	28,719
T3 (60 kN ardgerme ile güçlendirilen kiriş)	28,181



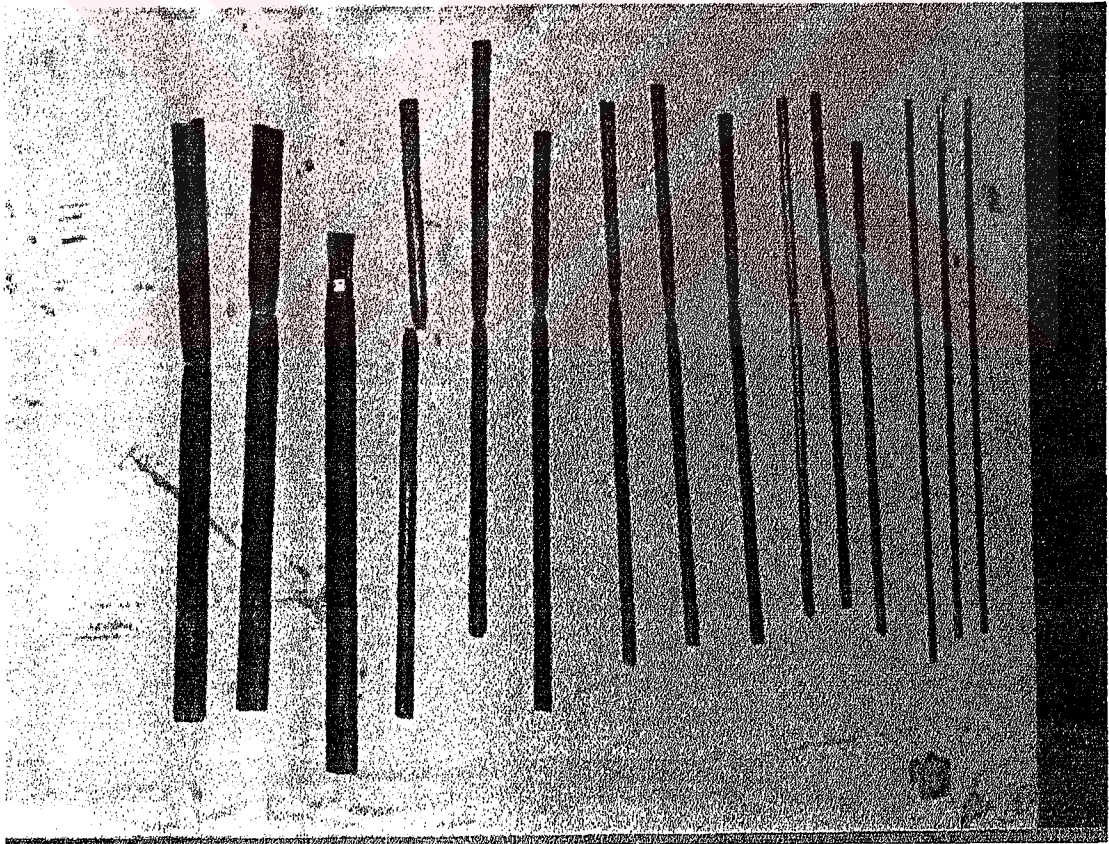
Resim 2.1. Beton numuneleri basınç dayanım testi

2.3.2. Donatı özellikleri

Kiriş elemanlarında BÇ-1 (a) normunda inşaat donatısı kullanılmıştır. Kullanılan donatılardan basınç bölgesinde kullanılan $\Phi 16$ mm çapındaki donatı nervürlü, $\Phi 10$ mm çapındaki çekme donatısı düz ve yine $\Phi 6$ mm çapındaki etriye donatısı düzdür. Hesaplamaların daha sağlıklı olması için kullanılan donatılardan 3'er adet numune alınmış ve bu numuneler çekme deneyine tabi tutularak, akma dayanımları elde edilmiştir. Yine hesaplamalarda bu deney sonuçları, üç numunenin aritmetik ortalaması alınarak kullanılmıştır. Çizelge 2.3 de donatı numunelerinden elde edilen dayanım değerleri verilmiştir. Resim 2.2 de ise çekme deneyi sonrası numuneler görülmektedir. Çekme deneyleri yine Gazi Üniversitesi laboratuvarlarında yapılmıştır.

Donatı Türü Φ (mm)	Akma Dayanımı f_{yk} (N/mm ²)	Kopma Dayanımı F_{su} (N/mm ²)
$\Phi 6$ (düz)	257,67	336
$\Phi 10$ (düz)	315,0	427
$\Phi 16$ (nervürlü)	427	682,0

Çizelge 2.3. Donatıların dayanım değerleri



Resim 2.2. Deney elemanları donatı resmi

2.3.3. Ardgerme Kablosu Özellikleri

Deneylerde 15,34 mm (0,6 inç) çapında yedi telli sıkıştırılmış ardgerme donatısı kullanılmıştır. Ardgerme kablosuna ait çekme deneyi grafikleri ve değerleri Ek-2 de verilmiştir.

Çizelge 2.4. Ardgerme kablosu çekme dayanım değerleri

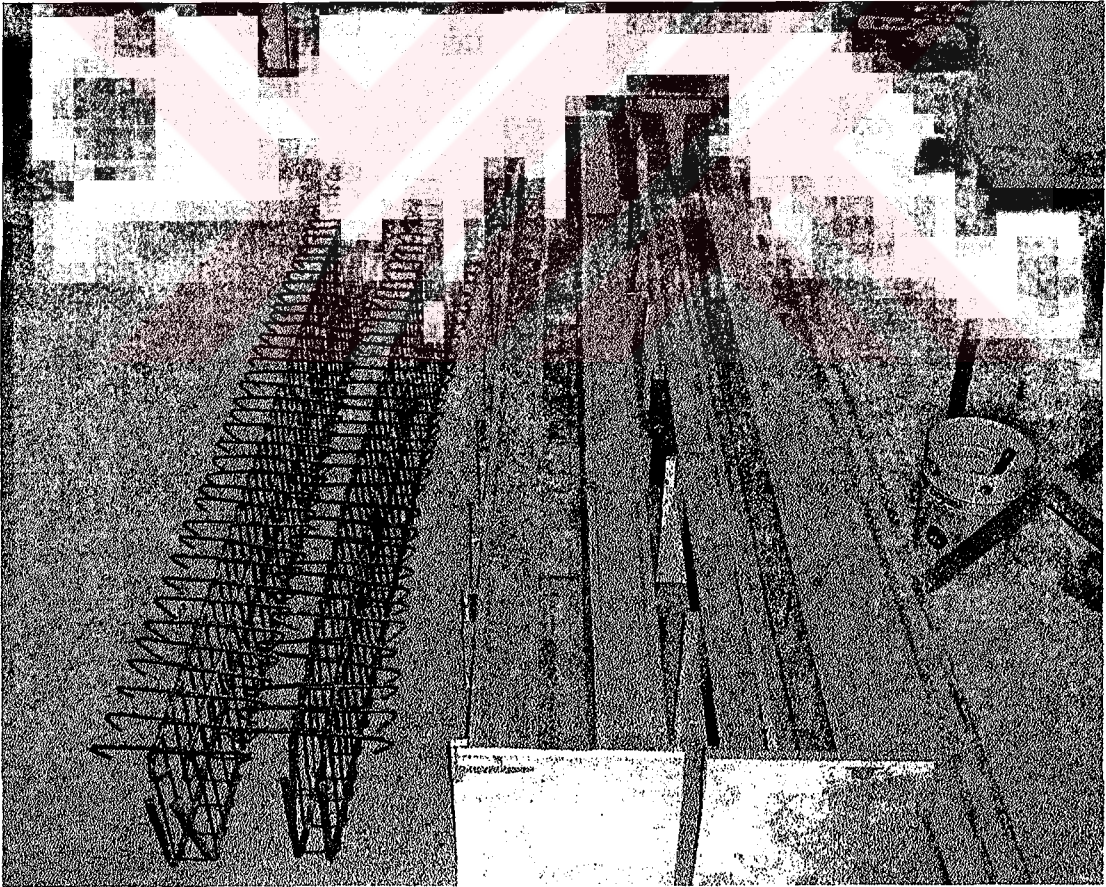
Cinsi	Çap (mm)	Alan (mm ²)	Çekme Dayanımı (kN)
7 telli toron	15,34	167,4	300

2.4. Deney Elemanlarının Hazırlanması

Deney elemanı olan kirişler tamamen laboratuvar ortamında hazır hale getirilmiştir. Kirişlerde kullanılacak donatı laboratuvara getirilmiş, yine laboratuvar ortamında hazırlanan kalıplara yerleştirilmiş ve laboratuvar ortamında üretilen beton kullanılmıştır. Ardından da kirişlerde güçlendirme işlemleri yine laboratuvar ortamında yapılmış, sadece ardgerme donatısı ve çelik plakalar kiriş donatısı gibi getirilmiş, geri kalan tüm işlemler laboratuvar ortamında yapılmıştır. Bütün bu aşamalardan sonra yükleme çerçevesinde yapılacak deneye ve kiriş boyutlarına göre gerekli değişiklikler yapılmıştır. Deney elemanlarının dayanımlarının hesabında TS-500 'den yararlanılmıştır. (9)

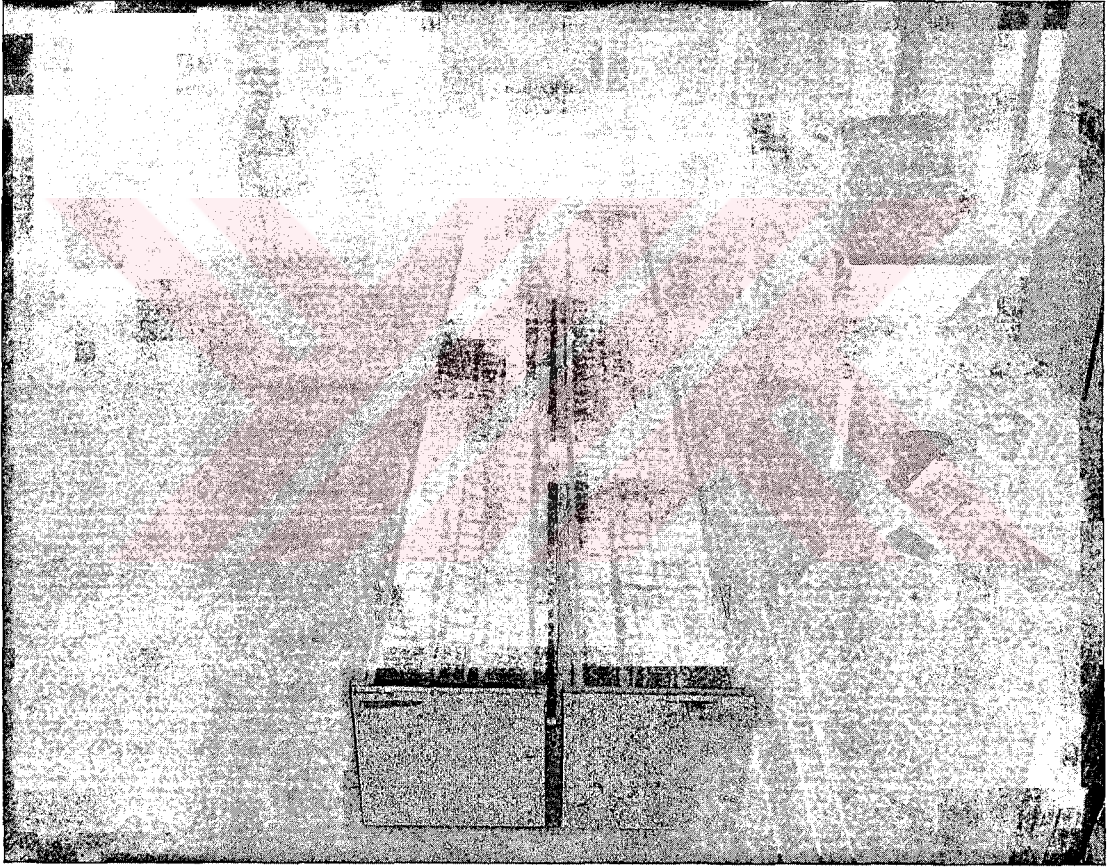
Deneylerde kullanılacak tüm kiriş modellerinin gerek donatı, gerekse boyut özellikleri tamamen aynıdır. Kiriş boyları $l = 4000$ mm , kiriş genişliği $b = 360$ mm ve $b_w = 120$ mm ve kiriş yüksekliği $h = 360$ mm olarak saptanmıştır. Şekil 2.1 de kiriş ve donatı boyutları ve detayları verilmiştir. Kiriş elemanları denge-altı donatılı olacak şekilde tasarlanmıştır. Kiriş elemanlarından kullanılacak betonun basınç dayanımının 25 MPa olması hedeflenmiştir. Kullanılacak basınç donatısı olarak 2Φ16 nervürlü demir, çekme donatısı olarak 2Φ10 düz demir ve etriye olarak da Φ6/75 mm düz demir kullanılacaktır.

Deney elemanlarının hazırlanmasına kiriş donatısının hazırlanması ile başlanmıştır. Bu nokta da ilk önce kullanılacak her üç çeşit donatıdan 3 er adet numune alınarak çekme deneyine tabi tutulmuş ve bu sayede donatıların çekme dayanımları elde edilmiştir. Etriyeler $\Phi 6$ mm çapında düz donatı kullanılarak hazırlanmış, bunu için önce Şekil 2.1 de belirtilen ölçülerde kesilmiş ve daha sonra bükme kalıplarında üretilmişlerdir. Aynı şekilde kullanılacak olan $\Phi 16$ mm çapında nervürlü çekme donatısı ve $\Phi 10$ mm çapında düz basınç donatılarında belirtilen ölçülerde kesilmiş ve bükülmüştür. Donatı kafesleri tüm dört kiriş için altta $2\Phi 16$ mm çapından nervürlü, üstte $2\Phi 10$ mm çapından düz ve 75 mm. aralıklarla $\Phi 6$ mm çapında düz etriye donatısı kullanılarak hazırlanmıştır. Resim 2.3 donatı kafeslerini ve hazırlık aşamasındaki kalıpları göstermektedir.



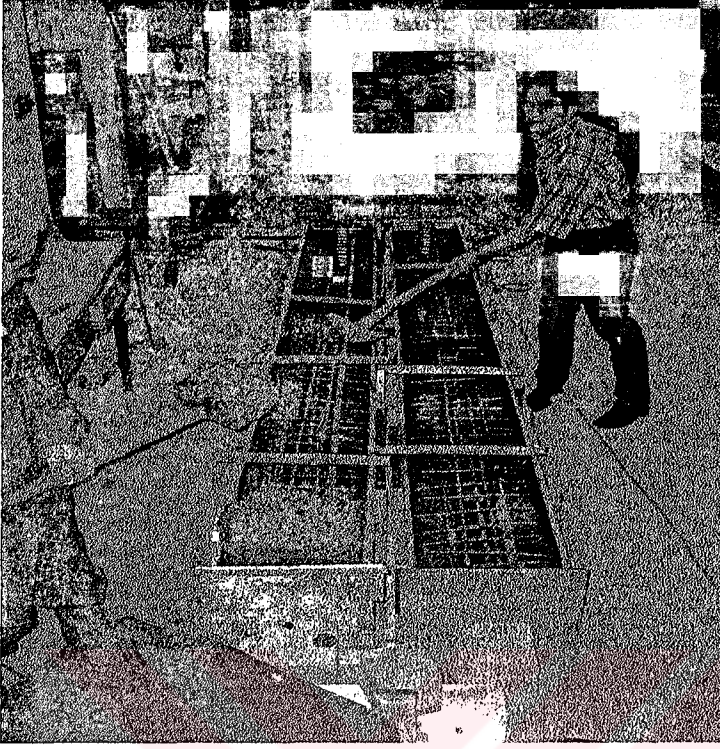
Resim 2.3. Donatı kafesi ve kalıp

Deney elemanlarının kalıpları laboratuvar hazırlanmıştır. Resim 2.4 de görüldüğü üzere bitişik iki adet kalıptan oluşan düzenek kurulmuş ve böylece dört kiriş toplam iki seferde hazırlanmıştır. Kalıpların beton dökülmesi sırasında açılmaması için ise kalıplar payandalarla desteklenmiş ve kalıp boyunca dıştan profillerle sıkıştırılmıştır. Kalıpların hazırlanmasının bitmesinin ardından da, kalıplar yağlanmış ve donatı kafesleri kalıpların içine yerleştirilmiştir. Resim 2.5 beton dökme aşaması gösterilmektedir.

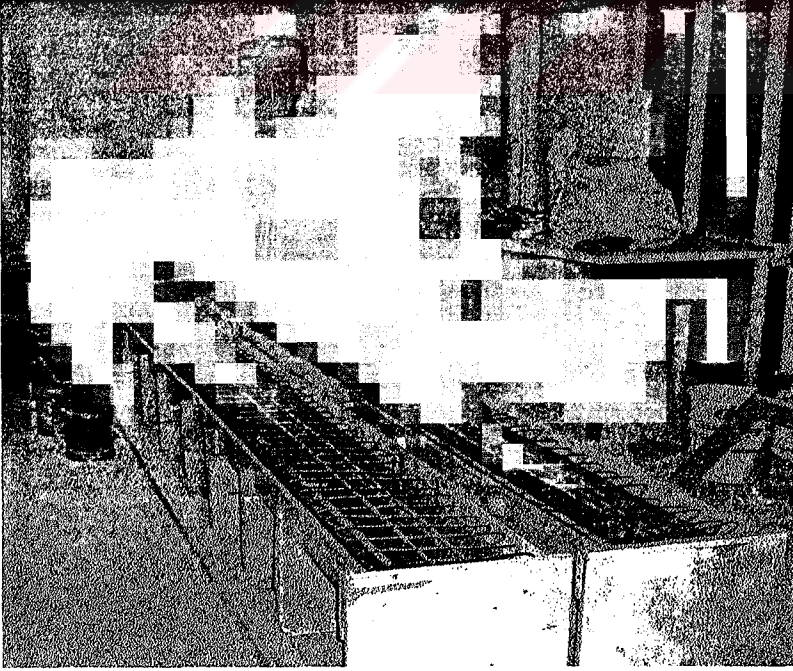


Resim 2.4. Donatı kafesleri ve hazırlanmış kalıplar

Bütün bu işlemlerden sonra beton dökümü aşamasına geçilmiştir. Laboratuvarda hazırlanan beton kalıplara dökülmüş ve vibratörle sıkıştırılmıştır. Beton dökümü sırasında 3'er adet silindirik beton numunesi, saklanmak ve deney günü basınç deneyine tabi tutulmak üzere alınmıştır. Resim 2.6 kirişlere vibrasyon yaparken görülmektedir.



Resim 2.5. Deney kirişlerine beton dökülmesi



Resim 2.6. Deney kirişleri betonun sıkıştırılması

2.5.Kirişlerin Güçlendirilmesi

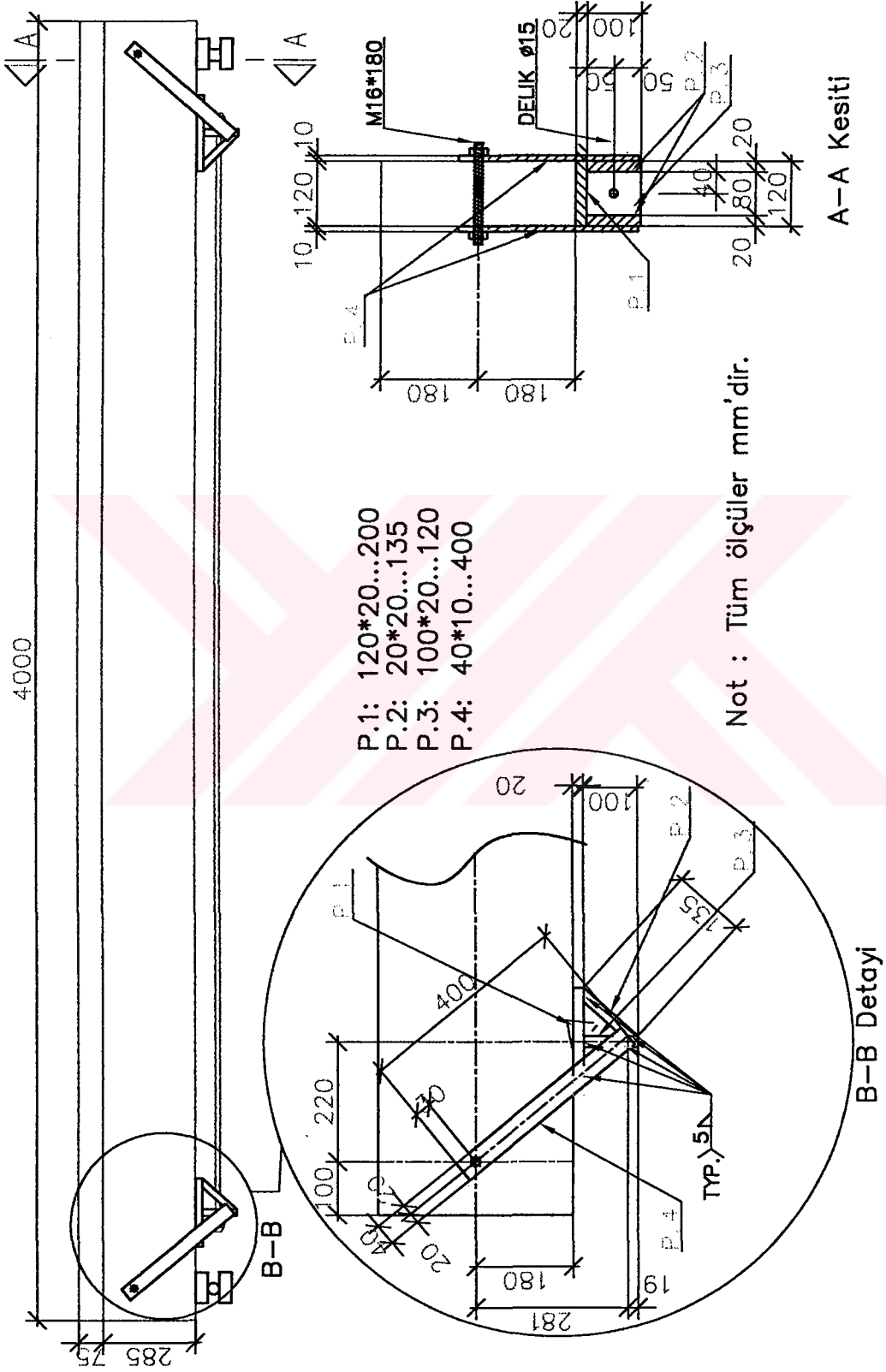
Beton dökümü ve kürünün ardından betonun mukavemet kazanması için 28 gün beklenmiş, bu sürenin ardından deneylere geçilmiştir. Deneylerde 4 adet T-kesitli kiriş kullanılacaktır. Bu dört kirişten bir tanesi referans kirişi olarak düşünülmüştür ve bu yüzden bu kiriş güçlendirilmeden denenecektir. Diğer üç kiriş ise dıştan ardgerme ile güçlendirilecektir. Deneyler sırasında incelenen konu ardgerme kuvvetinin, burada denenen dıştan ardgerme yöntemi ile güçlendirilme kirişin güçlendirilmesine olan etkilerini incelemektir. Değişkenin ardgerme kuvveti olması nedeniyle güçlendirilen 3 adet T-kesitli kirişte de yapılan güçlendirme uygulaması benzerdir. Dıştan ardgermenin uygulanacağı bölge, çelik plakaların takılacağı yerler ve deney öncesi yükleme çerçevesinde yapılan hazırlıklar bu üç kirişte de birbirinin aynı olacaktır.

Güçlendirme işlemi iki aşamadan oluşmaktadır. Bunlardan ilki çelik plakaların kiriş elemanlarının daha önce belirlenen yerlerine yerleştirilmesi, ki bu aşama deneyden önce yapılmaktadır. İkinci aşama ise ardgerme kuvvetinin uygulanması ile kirişlerin güçlendirilmesidir, ki bu ikinci aşama deney sırasında yapılmıştır ve Bölüm 4 de anlatılacaktır.

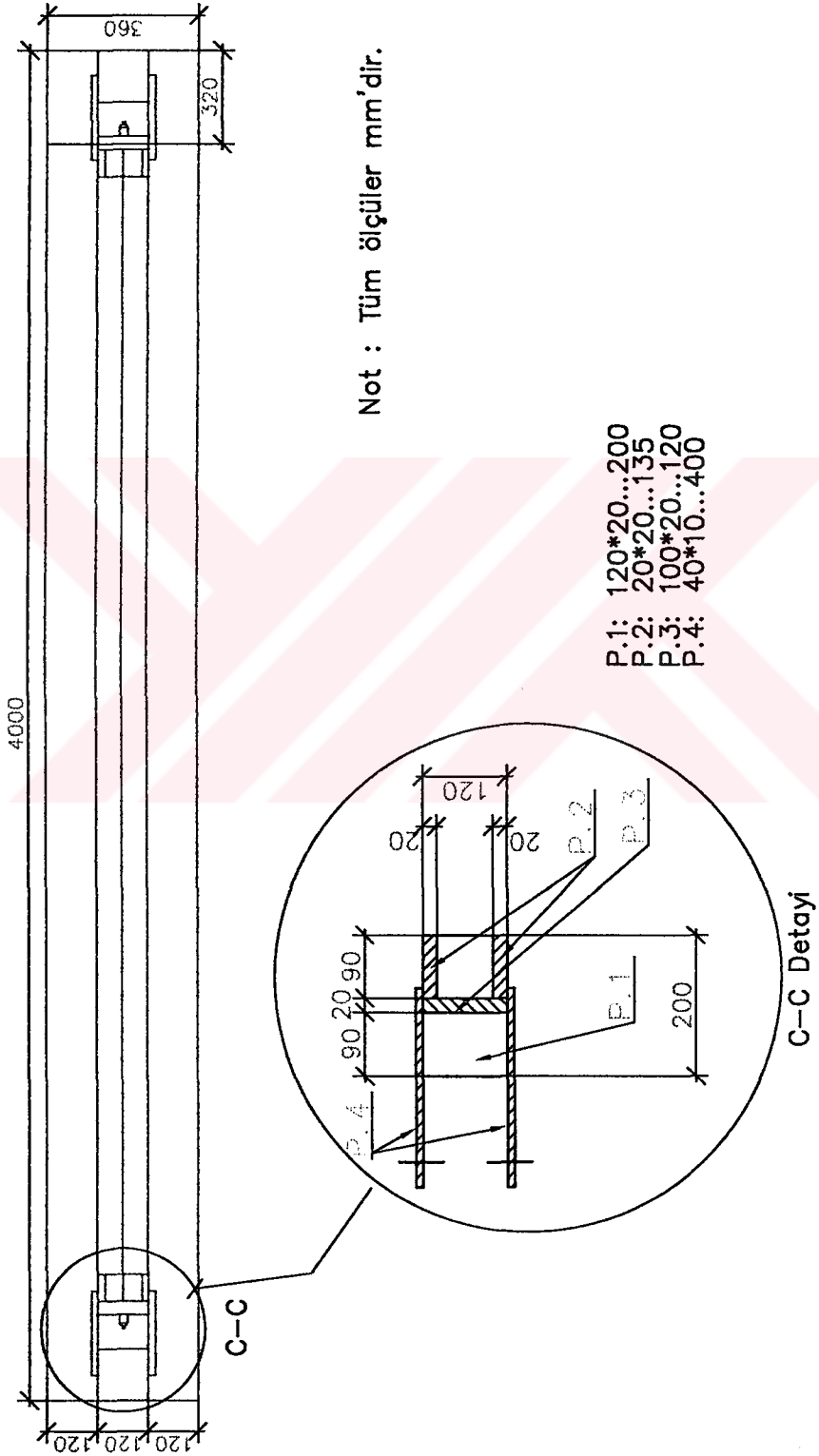
Yapılacak olan ardgerme ile güçlendirme işleminde, kirişlerin deney düzeneğine yerleştirilmesinden sonra, çelik plakalar kirişlere yerleştirilecek ve bunun ardından ardgerme kablosu çelik plaklara takılıp, ankrajlar yardımı ile sabitlenecektir. Burada çelik plakaların kullanılmasının nedeni ardgerme kablosunun bu sayede kirişlerin altından kirişlere bağlanmasını sağlamak ve ardgerme kablosuna kuvvet verilmesinin ardından bu kuvvet çelik plaklar sayesinde kirişin ortasından kirişe aktarılacaktır. Ardgerme kablosuna kuvvet verilmesi ve ankrajların bağlanmasından sonra kablo çelik plakaları çekecek ve kirişlerin ortasından kirişlere bağlı olan bu sistem sayesinde bu çekme kuvveti basınç olarak kirişlerin ortasından kirişlere aktarılacaktır.

Öngörme ve ardgerme ile yapılan kirişlerdeki temel mantık, ardgerme kablosuna uygulanan kuvvet sayesinde bu kablonun kirişlerde basınç yaratması ve bu basınç kuvvetinin de kirişlerde oluşan çekme gerilmelerini en aza indirmektedir. Bu sayede kirişlerin dayanımı artmaktadır. Diğer ardgerme uygulamalarında ve ardgerme ile güçlendirme işlemlerinde olduğu gibi burada ardgerme kablosu kirişe sadece belirli noktalardan bağlıdır ve öngermeli kirişlerde olduğu gibi kirişle beraber hareket etmemektedir. Bu iki sistem arasındaki en önemli fark tamamen kirişle beraber deformasyon gösteren ve kirişe bağlı olan öngermeli sistemlerde elastik teorisinin geçerli olması ve bu sayede klasik betonarmede olduğu gibi iç kuvvetlerin bulunması sonucu hesaplamaların yapılmasıdır. Ardgerme kablosunun kirişlere tam bağlı olmadığı bu gibi sistemlerde ise ardgerme kablosu ve kirişler farklı deformasyonlar yapmaktadır ve bu yüzden ardgerme kablosunun tam deformasyon şeklinin bulunması oldukça güçtür. Ayrıca bu sistemlerde ardgerme kablosu kirişlere bağlı olmadığı için bu kabloda oluşan gerilme tüm kablo boyunca yayılmaktadır. Bu sistemlerde ardgerme donatısının yanı sıra, normal donatı kullanılmaması durumundan kirişlerde az sayıda ve büyük çatlaklar oluşmakta ve buradaki çalışmada olduğu gibi normal donatının kullanıldığı kirişlerde ise çatlaklar daha çok sayıda ama daha ufak kalmaktadır.

Kirişlerin dıştan ardgerme ile güçlendirilmesinde kullanılacak olan çelik plakalar daha önceden dışarıda hazırlanmış ve laboratuara getirilmiştir. Şekil 2.2 ve Şekil 2.3 de çelik plakaların ölçüleri bulunmaktadır. Çelik plakalar iki takım halinde hazırlanmış ve her takım 5 parçadan oluşmaktadır. Çelik plakalardan Şekil 2.2 de gösterilen 1 numaralı parça 20 mm kalınlığında, 200 mm uzunluğunda ve 120 mm genişliğindedir. 2 numaralı parça 100 mm yüksekliğinde, 20 mm kalınlığında ve 120 mm genişliğindedir. Bu parçanın ortasında alttan 60 mm yüksekliğinde bulunan delik ardgerme kablosunun geçeceği deliktir. Şekil 2.3 de gösterilen 3 numaralı parça 140 mm uzunluğunda ve 20 mm genişliğinde ve kalınlığındadır ve bu parçadan 2 adet üretilmiştir. 4 numaralı parça 400 mm uzunluğunda, 20 mm genişliğinde ve 10 mm kalınlığındadır. Bu parçanın bir ucunun 40 mm uzaklığında 20 mm genişliğinde bir delik bulunmaktadır.



Şekil 2.2.Çelik plakaların mesnetlere yerleştirilme şekli (yandan görünüş)



Şekil 2.3. Çelik plakaların mesnetlere yerleştirilme şekli (alttan görünüş)

Güçlendirme yapılacak kirişlerde 1 numaralı parça kirişin alt tarafına yerleştirilecektir ve kirişin her iki tarafında da olmak üzere iki adet 1 numaralı parça kiriş alt yüzeyinin toplam %10 u kadar bir bölgeyi kapsamaktadır. Parçaların kiriş üzerine tam oturması için ayrı ayrı üretilen bu parçalar, önce kiriş üzerine yerleştirilecek ve daha sonrada kaynakla birleştirilecektir.

Yapılacak olan işlem kısaca Şekil 2.2 deki 1 numaralı parça kirişin altına yerleştirilecek, daha sonra 2 numaralı parça 1 numaralı parçanın üstüne kaynaklanacaktır. Bunun ardından iki adet olan 3 numaralı parçalar, kirişin iç tarafına gelecek şekilde yerleştirilecektir. 5 numaralı parça kirişin içine açılacak olan deliğe yerleştirilecek ve yine iki adet olan 4 numaralı parçalar delikleri 5 numaralı parçanın içinden geçirilerek , Şekil 2.3 de gösterildiği üzere 2 numaralı parçaya kaynaklanacaktır. En son olarak da somunlar yardımı ile 4 numaralı parçalar kiriş yüzeyine yapışacak şekilde 5 numaralı parçaya monte edilecektir. Kirişlerin güçlendirilmesinin ilk aşaması olan deney öncesi hazırları, ardgerme kablosu ve ankrajların yerleştirilmesi ile son bulacaktır.

Güçlendirme işleminin ilk aşaması olan kirişlere çelik plakaların yerleştirilmesi için öncelikle kirişler ters çevrilmiştir. Bu sayede çelik plakalar kiriş altına yerleştirilebilecek ve herhangi bir sorun parçalar kaynaklanmadan giderilebilecektir. Öncelikle kirişlerde Şekil 2.4 da yerleri gösterilen ve Şekil 2.3 de gösterilen 5 numaralı parçanın yerleştirileceği deliklerin yerleri işaretlenmiştir. Kiriş üzerinden belirlenen bu yerlerde hilti yardımı ile delik açılacağı için, öncelikle etriyelerin denk gelip gelmediği kontrol edilmiştir. Ardından bu yerler hilti yardımıyla dikkatlice açılmıştır. Delik kalınları Şekil 2.3 de gösterilen 5 numaralı parçaya tam uyacak şekilde 16 mm çapında açılmıştır.

Çelik plakalardan Şekil 2.3 gösterilen 2 ve 4 numaralı parçaların delikleri laboratuarda delinmiştir. Ayrıca tüm parçaların yüzeyleri kontrol edilmiş ve gerekli kısımları pürüzsüz hale getirilmiştir. 5 numaralı parça başta olmak üzere çelik plakalar, ters duran kiriş alt yüzeyine yerleştirilmiş ve kaynaklanmadan önce kaynak yerleri ve çelik plakaların kiriş üzerinde denk geleceği yerler işaretlenmiştir. Çelik

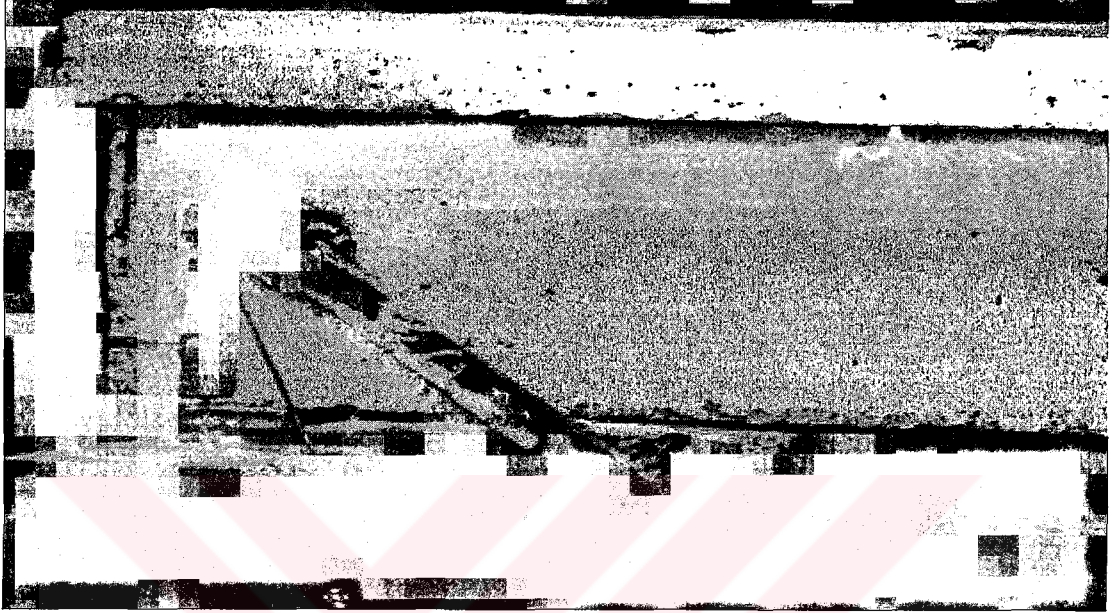
plakların kiriş üzerine tam oturabilmesi için temas yüzeyleri hilti yardımı ile temizlenip düzeltilmiştir. Çelik plakalar bir kez daha yerleştirilmiş ve hem birbirleri ile temas edecek yüzeyleri belirlenmiş, hem de kiriş yüzeyi ile tam temas edip etmedikleri kontrol edilmiştir.

Çelik plakaların tam olarak istenen şekil yerleştirildiğinin gözlenmesi ardından, çelik plakaların kaynaklanma işlemine geçilmiştir. Kaynaklanma işlemi yapılırken deney sırasında hem ardgerme verilmesi, hem de yükleme sırasında çelik plaklarda oluşacak yüksek kuvvetler göz önüne alınarak kaynak işlemi hassasiyetle yapılmış ve parçalar dikkatlice kontrol edilerek kaynak yerlerinde oluşabilecek kusurlar ortadan kaldırılmıştır. Çelik parçaların kaynak yapılması işlemi ilk olarak kiriş üzerinde yapılmış, bu sayede kaynak bölgelerinin kayması önlenmiştir. Kaynak işleminden sonra çelik plaklar kiriş üzerinden sökülmüş ve ısıdan ve kaynaktan dolayı çelik plakalarda oluşan hem bozulma hem de yüzeylerindeki pürüz yine, spiral yardımı ile düzeltilip temizlenmiştir. Resim 2.7 yerleştirilmiş çelik plakaları yakından göstermektedir.

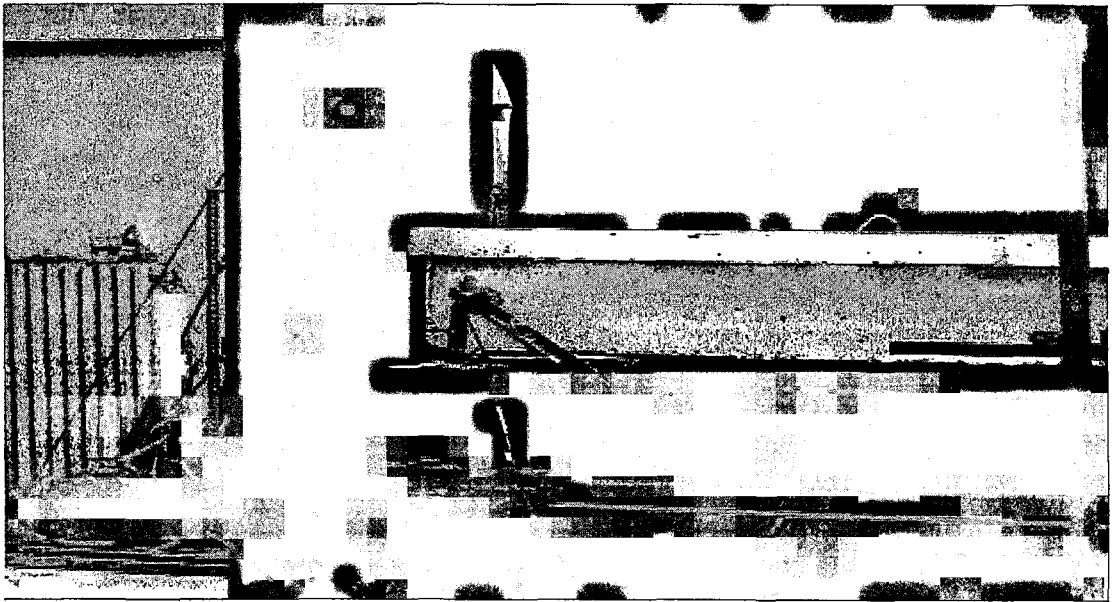
Çelik plakalar kirişe yerleştirildikten sonra, yükleme çerçevesi üzerinde Şekil 2.3 de 5 numaralı ile belirtilen parçanın somunları yerleştirilmiş ve bu somunlar anahtar yardımı ile sıkılarak 4 numaralı parçaların birbirlerine paralel olması ve kiriş yüzeyine tam oturması sağlanmıştır. Güçlendirme işleminin deney öncesi son aşaması ise ardgerme kablounun her iki tarafta da 2 numaralı parçanın deliğinden geçmesi ile yerleştirilmesi ile son bulmaktadır.

Kirişlerin güçlendirilmesi için yapılan bu hazırlıklar, güçlendirilen 3 kiriş içinde benzerdir. Bütün deneylerde aynı çelik plakaların kullanılmasından dolayı ikinci ve üçüncü deneylerde baştan kaynaklama işlemi yapılmamış ve çelik parçaların kaynakları kontrol edilip, daha da sağlamlaştırılmıştır. Ayrıca bir önceki deneyde çelik plakalara gelen yüklerden dolayı oluşan deformasyonlar düzeltilmiş ve yüzeyleri spiral yardımı ile temizlenmiştir. Çelik parçalardan sadece 5 numaralı olanı her deneyde değiştirilmiştir. Bu parçanın değiştirilmesinin nedeni ise deneyler

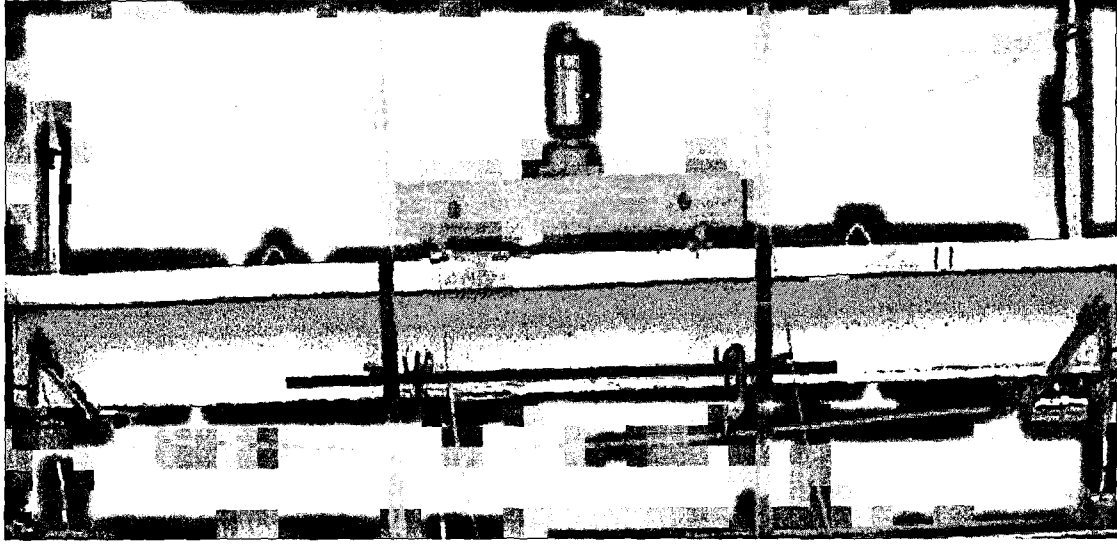
sırasında ardgerme kablосundaki yükün artması ile bu parçaya etkileyen yük miktarının da artması ile bu parçanın deforme olmasıdır.



Resim 2.7. Deney elemanlarının mesnetlerine yerleştirilen çelik plaklar



Resim 2.8. Deney elemanlarına yerleştirilen çelik plakalar ve mesnet



Resim 2.9. Deney kirişleri mesnetlerine yerleştirilen elik plakalar genel görünüş

3. DENEY SİSTEMİ

3.1. Genel

Deneyler Gazi Üniversitesi mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Mekaniği Laboratuvarında yapılmıştır. Deney elemanları hem laboratuvarda hazırlanmış, hem de deneyler laboratuvarında yapılmıştır.

3.2. Yükleme ve Deney Düzeni

Deney elemanlarının testleri laboratuvar zeminine oturan, reaksiyonları tamamıyla kendi içinde taşıyabilen kapalı bir deney çerçevesinde yapılmıştır. Resim 3.1 kapalı deney çerçevesini göstermektedir.

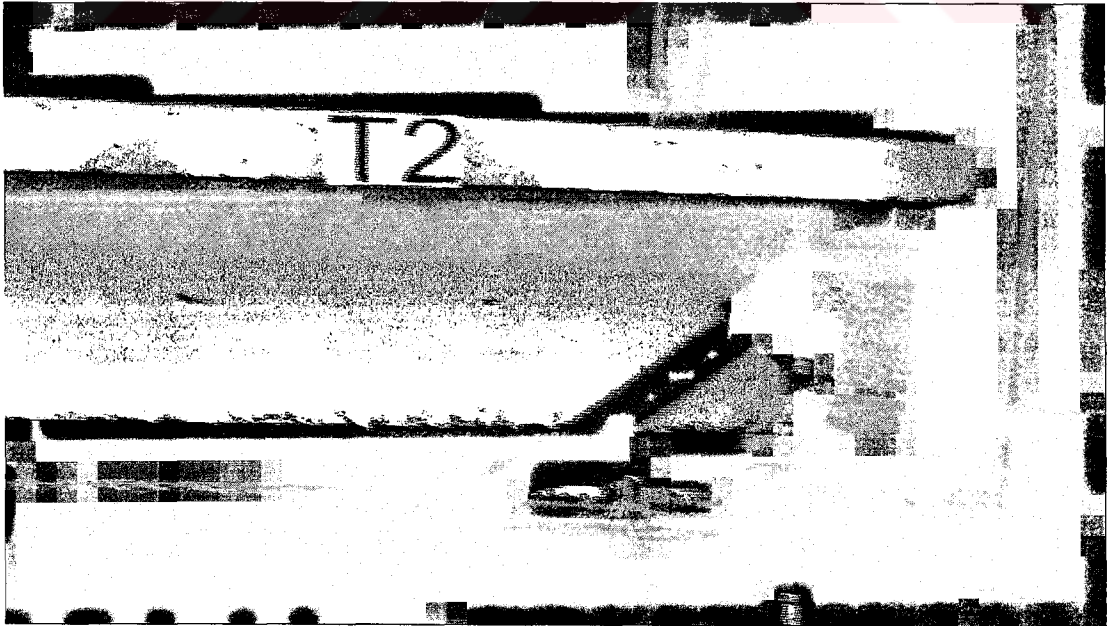


Resim 3.1. Kapalı deney çerçevesi

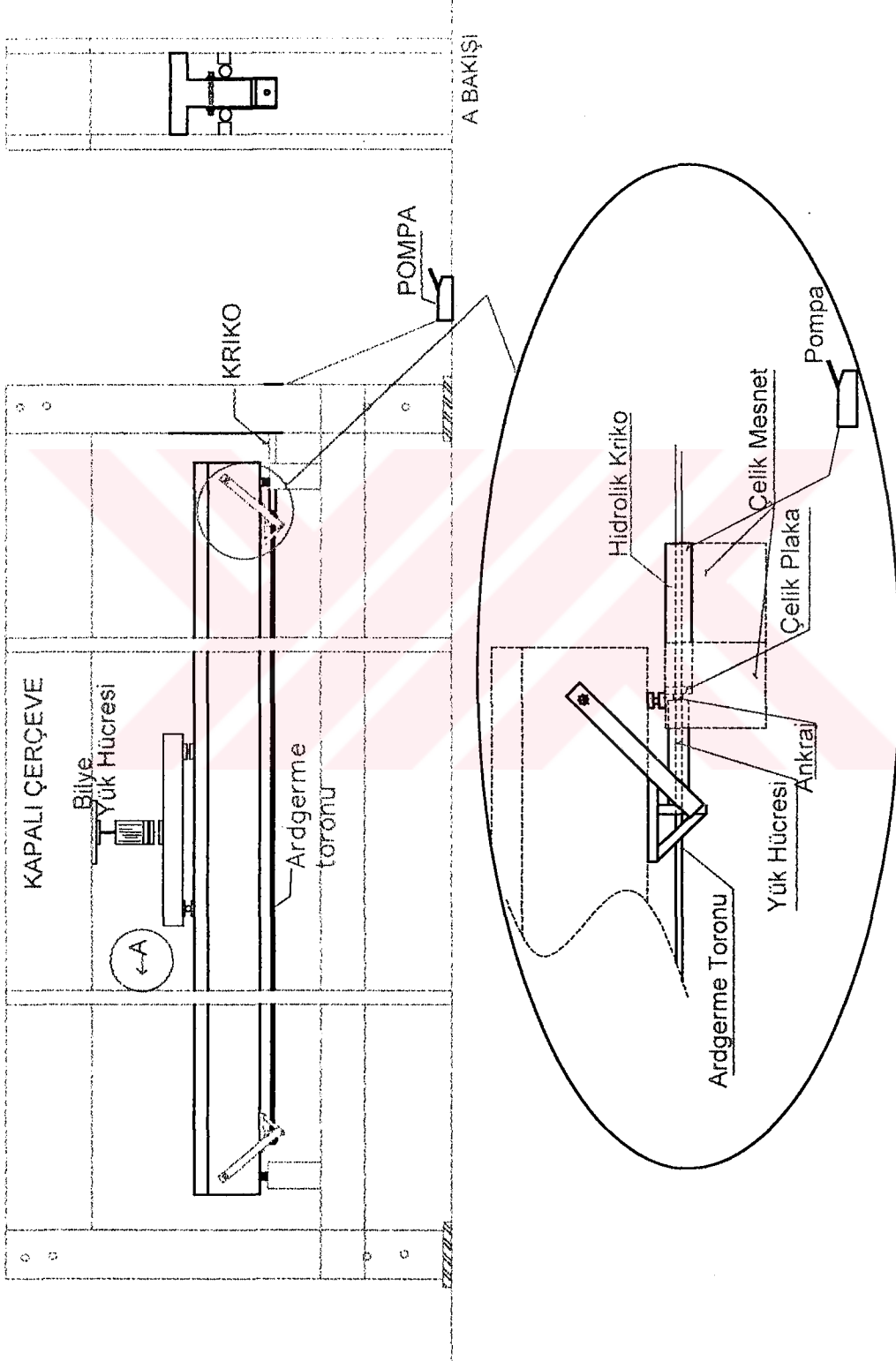
Deneyler kapalı deney çerçevesinde yapılmıştır. Çerçevenin dışından deneylerde yükleme sırasında kiriş elemanlarında oluşan deformasyonu belirlemek için 5 LVDT, biri kirişe uygulanan dikey yük veren öteki de güçlendirme için kullanılan ardgerme

kablosuna verilen kuvveti uygulayan iki adet hidrolik krika ve LVDT'lerin ve krikolardan deney boyunca gelen ölçümleri kaydeden bilgisayar sistemi kullanılmıştır.

Deneylerde kullanılan deney yükleme çerçevesi 300 kN kapasitesindedir. Kirişler elemanları deney çerçevesinde çelik kutu kirişlere basit mesnet şekline oturtulmuş ve deney çerçevesine paralel olacak şekilde yerleştirilmiştir. Deneylerde iki noktadan tekil yükleme yapılmak istendiği için, mesnet aralığı 860 mm olan bir reaksiyon kirişi deney çerçevesinin ortasında bulunan krikonun verdiği yükü kirişe aktarmak için kullanılmıştır. İki adet U200 çelik profilin birbirine kaynaklanması ile elde edilen reaksiyon kirişi 1200 mm uzunluğundadır. Reaksiyon kirişi, deney elemanın tam ortasına gelecek şekilde ortaya yerleştirilmektedir. Bu sayede krika ile verilen 2P büyüklüğündeki yük, reaksiyon kirişi yardımı ile deney elemanına P büyüklüğünde iki tekil yük olarak aktarılmaktadır. Şekil 3.1 de yükleme çerçevesine yerleştirilmiş kiriş ve reaksiyon kirişi gösterilmiştir.



Resim 3.2 Ardgerme kablosuna bağlı yük hücresi



Şekil 3.1. Yükleme çerçevesi ve deney kirişi

Deney süresinde yükleme 200 kN kapasitesinde hidrolik krikoya bağlı el kontrollü pompa ile yapılmıştır. Hidrolik kriko ile verilen yük deney çerçevesine yerleştirilen 300 kN kapasiteli bir yük hücresi yardımı ile ölçülmüştür. Sıfır okuma değeri ile başlanan deneylerde yük deney sonunda boşaltılmıştır.

Deneylerde 200 kN kapasitesinde hidrolik krikoya bağlı el kontrollü pompa ile ardgerme kablosuna istenen ardgerme kuvveti verilmiştir. Hidrolik kriko ile verilen yük ardgerme kablosuna 200 kN kapasitesindeki bir yük hücresi yardımı ile ölçülmüştür. Sıfır okuma değeri ile başlanan deneylerde ardgerme kuvvetinin verilmesinin ardından, yükleme sırasında ardgerme kablosunda artan ardgerme kuvveti yine bu yük hücresi yardımı ile ölçülmüş ve deney boyunca kontrol edilmiştir. Resim 3.2 ardgerme kablosuna bağlı yük hücresi ve Resim 3.3 hidrolik krikoyu göstermektedir.

3.3. Ölçüm Düzeni

3.3.1. Ölçüm aletleri

Deneyler sırasında kiriş elemanlarının gösterdiği tüm deplasmanlar elektronik doğrusal deplasman okuyucuları (LVDT) yardımı ile ölçülmüştür. Ölçüm aletleri kiriş orta nokta deplasmanlarının ve yükleme şekline bağlı olarak oluşacak eğilme çatlaklarının oluşumuna göre tasarlanmıştır. Şekil 3.2 de ise yapılacak olan yükleme şekline göre LVDT'lerin yerleri gösterilmiştir. Bunların dışında deneyler sırasında iki adet yük hücresi kullanılmıştır. Bu yük hücrelerden bir tanesi gerek ilk ardgerme kuvvetini ölçmek, gerekse deney boyunca ardgerme kablosunda oluşan gerilmeyi ölçmek için kullanılmıştır. Diğer yük hücresi ise deney sırasında kirişse uygulanan yük miktarını takip etmek amacıyla kullanılmıştır.

Kirişlerin orta nokta deplasmanını ölçmek amacıyla 3 adet LVDT kullanılmıştır. Bunlardan birincisi 200 mm kapasiteli ve 0.05 mm hassasiyetli olup kirişin orta noktasına yerleştirilmiştir. Diğer iki LVDT ise 5 mm kapasitesinde ve 0.005 mm hassasiyetinde olup kirişlerin oturduğu iki mesnete yerleştirilmiştir. Mesnetlere

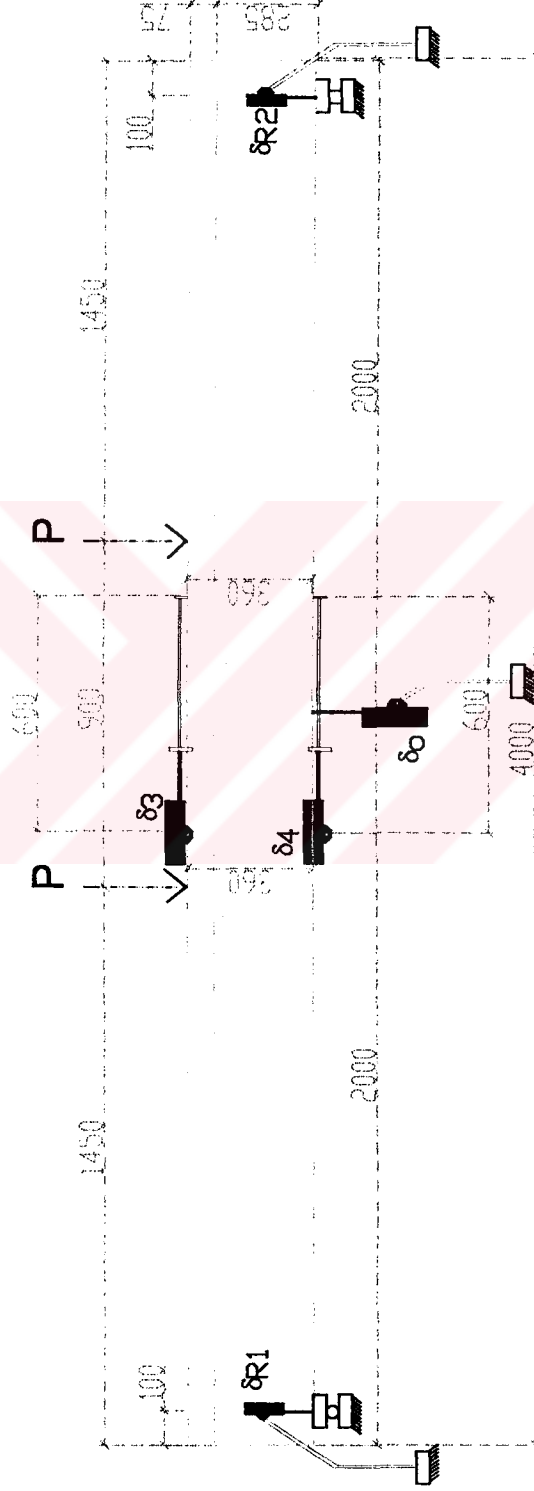
yerleştirilen LVDT'ler kirişlerdeki mesnet çökmesini ölçmek amacıyla kullanılmıştır ve bu sayede 200 mm lik LVDT ile bulunan orta nokta deplasmanının düzeltilmesi ve daha sağlıklı orta nokta deplasman değerlerinin bulunması amaçlanmıştır. Hesaplamaları sırasında mesnetlerde yer alan LVDT'lerin ölçtükleri değerlerin aritmetik ortalamasının alınması ve bulunan bu değer orta nokta çökmesini ölçen LVDT'nin ölçtüğü değerden çıkarılması ile düzeltilmiş orta nokta deplasmanı hesaplanmış olur.

Kirişlerde oluşan eğilme çatlaklarının ölçümü kirişlerin ortasına yerleştirilen ölçme aletleri ile yapılmıştır. İki adet 100 mm kapasitesinde ve 0.025 mm. hassasiyetin LVDT kirişin orta bölgesine yerleştirilmiştir. LVDT'lerden bir tanesi kirişin üst yüzeyine paralel olarak yerleştirilmiş ve diğer LVDT ise kirişin alt yüzeyine paralel olarak yerleştirilmiştir. Bu sayede ardgerme kuvveti verilmesine ya da kirişlere yükleme yapılmasına bağlı olarak kirişlere yerleştirilen bu iki LVDT'den bir tanesi kapanırken, diğeri açılmaktadır. Hesaplamalar yapılırken bu iki LVDT'den alınan değerlerin ortalaması alınması ile asıl sonuçlara ulaşılmıştır. Resim 3.4 ölçüm aletlerinin yerleştirilmesini göstermektedir.

3.3.2. Ölçüm aletlerinin yerleştirilmesi

LVDT'lerden 200 mm kapasiteye sahip olan ve orta nokta deplasmanını ölçmek için kullanılan ölçme aleti kirişin orta noktasına ve kirişin altına gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Yerleştirme yüzeyinin düz olması için kirişin altına ufak bir parça de cam yerleştirilmiş ve LVDT'nin bu cama denek gelmesi sağlanmıştır. Mesnetlere yerleştirilen LVDT'ler kiriş alt yüzeyinin çökmesini ölçecek şekilde ve deney çerçevesine işkence ile sıkıştırılarak yerleştirilmiştir. Yükleme şekli ve kirişin beklenen davranışı göz önüne alınarak , eğilme çatlaklarının kirişin orta bölgesinde oluşacağı hesaplanmış ve LVDT'ler kirişin ortasında 600 mm aralık bırakılarak yerleştirilmiştir. Bu LVDT'lerden bir tanesi kirişin üst yüzeyine, matkap ile açılan deliklere sabitlenmiş ve diğer LVDT ise kirişin alt yüzeyine paralel olacak şekilde yerleştirmiştir. Ölçümlerin hassas ve doğru olması için LVDT'lerin kendi ağılıkları ile hareket etmedikleri deneyler öncesi kontrol edilmiştir.

Not : Tüm ölçüler mm'dir.



Şekil 3.2. Deney kirişlerine LVDT yerleşimi

3.3.3. Ölçme sistemi

Deneylere başlamadan önce, deneylerde kullanılacak ölçme aletlerinin (LVDT) kalibrasyonu yapılmıştır. Deneyler boyunca kalibrasyonu yapılan bu LVDT'lerin okuduğu değerler bir tarayıcı yardımı ile bilgisayara aktarılmıştır. Bilgisayarın yardımı ile de hem aktarılan verilerin deney sırasında takip edilmesi sağlanmış, hem de deneylerden sonra deney sonuçlarının değerlendirilmesi yapılmıştır. Deneyler sırasında bilgisayardan hem yük-deplasman grafiği, hem de ardgerme kablosundaki gerilme miktarı izlenmiş ve bu sayede deneylerin daha güvenli ve sağlıklı takip edilmesi sağlanmıştır. Ayrıca deneyler sırasında gözlemler yapılmış ve bu gözlemlerin deneyin hangi aşamasında olduğu not edilmiştir.

3.4. Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi

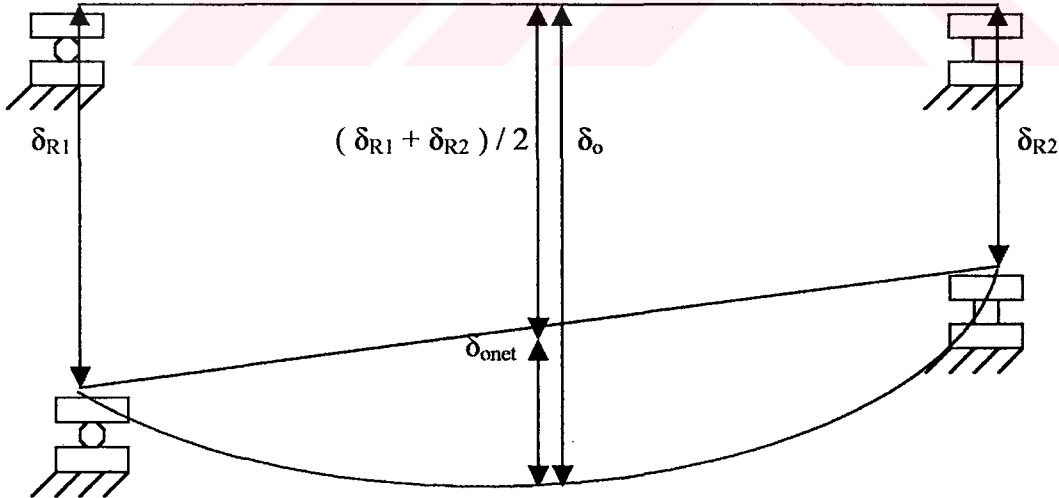
3.4.1. Genel

Kapalı deney çerçevesinde yapılan deneyler sırasında gerek kirişlerde olan değişimler, gerekse de kirişe ve ardgerme kablosuna uygulanan kuvvetler LVDT'ler, yük hücreleri, tarayıcı ve bilgisayar yardımı ile kontrol edilmiştir. Deneylerde iki adet yük hücresi kullanılmıştır. Bu yük hücrelerinden bir tanesi kirişe uygulanan düşey yükü kontrol etmek için, diğeri de kirişlere bağlanan ardgerme kablolarına verilen ardgerme kuvveti miktarı kontrol etmek amacıyla kullanılmıştır. Deneylerde beş adet LVDT kullanılmıştır. Bu LVDT'lerden iki tanesi mesnet göçmelerini belirlemek, bir tanesi orta nokta deplasmanını ölçmek için ve iki tanesi de kiriş eğriliklerini ölçmek için kullanılmıştır. Elde edilen veriler bir tarayıcı yardımı ile bilgisayara aktarılmış ve hem deneyler sırasında kontrol edilmişlerdir, hem de deneylerden sonra kirişlerin davranışlarının ve kapasitelerinin hesaplanabilmesi için kullanılmışlardır. Elde edilen ölçümler sonucunda kirişlerin yaptığı net orta nokta deplasmanları, yük-deplasman grafikleri, moment-eğrilik grafikleri, süneklikleri, rijitlikleri ve enerji tutma kapasiteleri hesaplanmıştır.

Deneyler sırasında bu ölçümlerin yapılmasının amacı kirişlerin bu güçlendirme ile davranışlarının ve kapasitelerinin nasıl değiştiğini görmektir. Mesnetlere ve orta noktaya yerleştirilen LVDT'ler yardımı ile kirişlerin orta nokta ve mesnet deplasmanları ölçülecek ve bu veriler o anki yük değerleri de kullanılarak yük-deplasman grafiklerinin bulunmasına yardımcı olacaktır. Daha sonrada yük-deplasman grafiklerinden kirişlerin kapasitesi, yaptıkları en büyük deplasman, rijitlikleri, süneklikleri ve enerji tüketim kapasiteleri elde edilecektir. Ayrıca kirişlerin moment-eğrilik grafikleri de, eğrilik ölçmek için yerleştirilen LVDT'ler yardımı ile bulunup, moment eğrilik-grafikleri çizilecektir.

3.4.2 Kiriş orta nokta deplasman ölçümleri

Model kirişlerin orta nokta deplasmanı (δ_o) ve mesnet çökmeleri (δ_{R1} , δ_{R2}) kullanılarak kiriş orta nokta net deplasmanı (δ_{onet}) hesaplanmıştır. Şekil 3.3 da net orta nokta deplasmanının nasıl hesaplandığı ve Denklem 3.1 ise formülü verilmiştir.



Şekil 3.3 Kiriş orta nokta deplasman şeması

$$\delta_{onet} = \delta_o - (\delta_{R1} + \delta_{R2}) / 2 \dots\dots\dots (\text{Denklem 3.1})$$

Bu denklemde :

δ_{R1} : Sol mesnet çökmesi

δ_{R2} : Sağ mesnet çökmesi

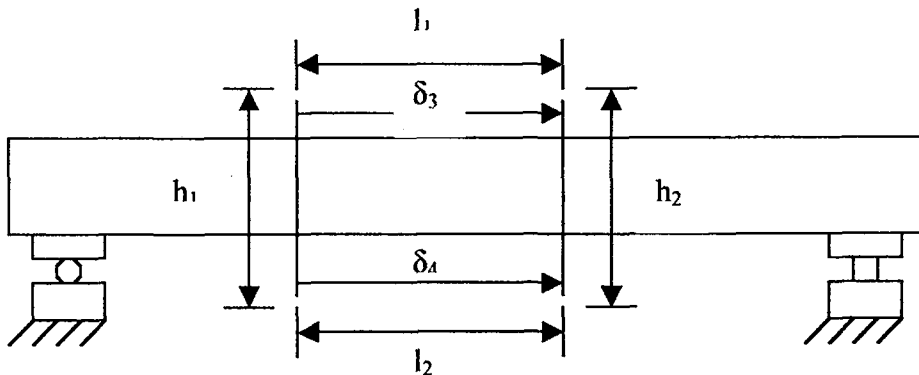
δ_o : Orta nokta deplasmanı

δ_{onet} : Orta nokta net deplasmanı

Kirişlerin orta noktasında, mesnet çökmesi ve eğilme deplasmanı nedeniyle oluşan açısal deplasman düşey doğrultudaki yapılan ölçümlerin hatalı olmasına sebep olmakta; fakat bu deplasman çok küçük olduğu için hesaplamalarda ihmal edilebilirler.

3.4.3 Moment-eğrilik ilişkisinin hesabı

Deney elemanlarının orta bölgesi için moment-eğrilik grafikleri çizilmiştir. Eğrilik birim boy başına düşen, radyan olarak dönme açısıdır. Kirişteki eğrilğin hesaplanabilmesi için kirişin üst ve alt yüzeylerine yerleştirilen LVDT'ler yardımı ile alınan veriler yardımı ile bu iki kesit arasındaki dönme açısı farkı ortaya çıkmıştır.



Şekil 3.4 Kiriş eğrilik hesabı şeması

$$\theta = (|\delta_3| + |\delta_4|) / h \text{ olmak üzere } k = \theta / l = (|\delta_3| + |\delta_4|) / (l * h) \dots (\text{Denklem 3.2})$$

Burada :

$$h = (h_1 + h_2) / 2 \dots \dots \dots (\text{Denklem 3.3})$$

$$l = (l_1 + l_2) / 2 \dots \dots \dots (\text{Denklem 3.4})$$

k : eğrilik

θ : dönme açısı

3.4.4. Rijitlik ilişkisi

Eğilme rijitliği deney elemanlarının moment-eğrilik grafiklerinin eğimine eşittir. Ama eğrilik için seçilen bölgenin seçimi rijitliği önemli ölçüde değiştirebilmektedir. Bölge içindeki çatlak sayısı ve dağılımı rijitliği etkilemektedir. Bu nedenle rijitlik hesaplarında moment-eğrilik grafiğinin yanı sıra, yük-deplasman grafiği de kullanılabilir. Moment-eğrilik ilişkisi yük-deplasmanın bir fonksiyonu olduğu için hesaplamalarda yük-deplasman grafiklerinin kullanılması sakınca yaratmamaktadır. Rijitlik hesapları yapılırken de başlangıç, akma ve kırılma rijitlikleri hesaplanacaktır. Başlangıç rijitliği ilk eğilme çatlağının olduğu yük dikkat alınarak hesaplanacak, akma rijitliği akma noktası dikkat alınarak hesaplanacak ve göçme rijitliği yükün %90'a indiği nokta dikkat alınarak hesaplanacaktır.

3.4.5. Süneklik ilişkisi

Süneklik, dayanımda önemli bir kayıp olmaksızın deformasyon yapabilme kapasitesi ve süneklik oranı ise kırılma anı deformasyonun, akma anı deformasyona olan oranıdır. Süneklik oranı hem yük-deplasman grafiği, hem de moment-eğrilik grafiği yardımı ile bulunabilir ve her ikisi de aynı sonucu verir. Ama deneysel çalışmalarda betonarmenin kendine özgü davranışından dolayı moment-eğrilik grafiğinden elde edilen süneklik oranı pek tercih edilmez ve yük deplasman grafikleri kullanılır.

Burada yük-deplasman grafikleri kullanılarak süneklik hesabı yapılacak ve bu eğrilerde kirişlerin göçme noktası deplasmanı, akma noktası deplasmanına bölünerek bulunacaktır.

3.4.6. Enerji tüketimi

Deney elemanı olan kirişlerin yük-deplasman grafiklerinin altında kalan alan, bu elemanların enerji tüketebilme kapasitelerini belirlemektedir. Yapıların tasarımında, yapıların elasto-plastik davranış göstermeleri ve özellikle deprem yükleri karşısında, yapının üzerindeki enerjinin bir kısmını tüketmesi istenmektedir.



4. DENEYLER VE DENEY SIRASINDAKİ GÖZLEMLER

4.1. Genel

Bu çalışmada toplam dört adet kiriş test edilmiştir. Bu dört kirişten bir tanesi referans kirişi olarak test edilmiş, diğer üç kiriş ise güçlendirilip test edilmiştir. Referans kirişi bir aşamada test edilirken, güçlendirilen kirişler iki aşamada test edilmiştir. Bu aşamalardan ilki ardgerme kablosuna yük verilmesi ile kirişlerin güçlendirilmesi, ikinci aşama ise kirişlere yük verilmesi ile test edilmesidir. Güçlendirilen kirişlerde ardgerme uygulamasının yapılabilmesi için deney çerçevesinde çeşitli değişiklikler yapılmıştır.

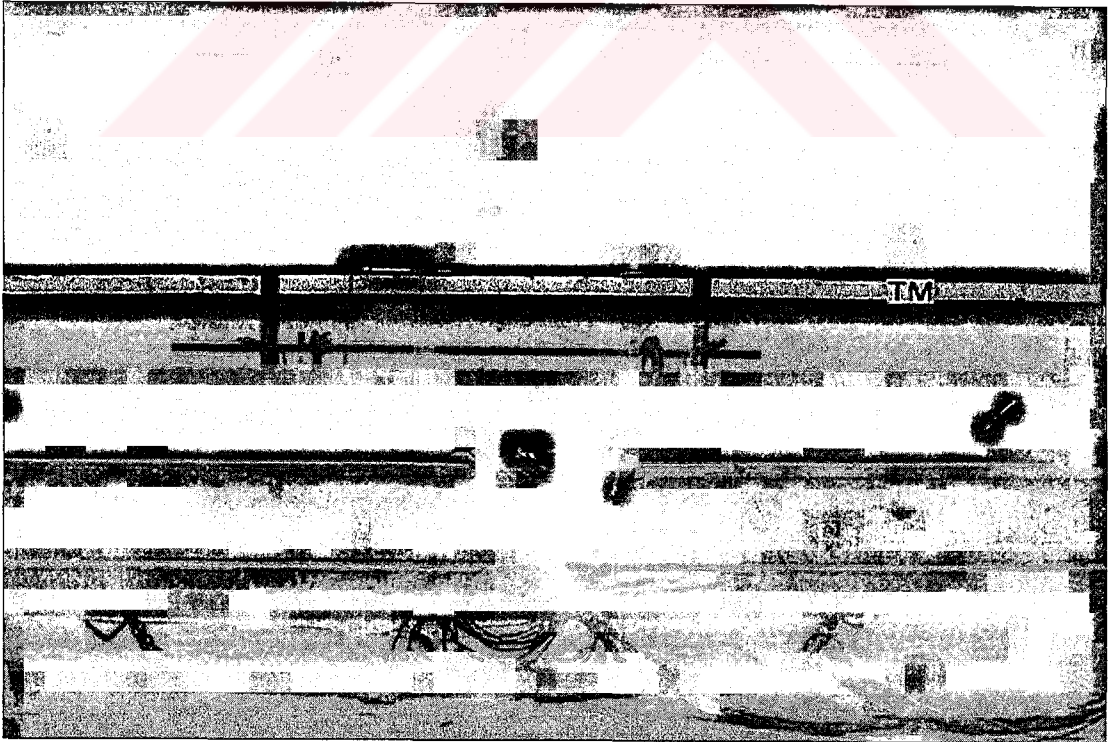
Deneyler sırasından yapılan gözlemleri üçe ayırabiliriz. Gözlemlerden ilki, deney boyunca hem verilen yükün, hem orta nokta deplasmanının, hem de ardgerme kablosundaki yük büyüklüğünün bilgisayar programı vasıtası ile kontrol edilmesidir. İkinci olarak , deney boyunca yükleme sırasında kirişlerde oluşan çatlaklar, yerleri ve büyüklükleri verilen yük miktarı ile birlikte gözlenmiş ve not alınmıştır. Son olarak da deneyler baştan sona kamera ile çekilmiş ve kirişlerde ve çelik plakalarda oluşan değişimler deney boyunca kaydedilmiştir.

Yapılan deneylerde test edilecek kirişlere sırası ile TM , T1, T2 ve T3 numaraları verilmiştir. TM isimli kiriş ilk olarak test edilecek olan referans kirişidir. Bu kiriş üzerinde herhangi bir ardgerme güçlendirme işlemi yapılmamıştır. T1 numaralı kiriş ikinci olarak test edilecektir ve bu kiriş ardgerme ile güçlendirilmiştir. Bu güçlendirme işlemi sırasında 30 kN'luk ardgerme yükü verilecektir. T2 numaralı kiriş ise öncelikle yüklenmiş, daha sonra ardgerme ile güçlendirme yapılmıştır. Bu kirişin ardgerme ile güçlendirilmesinde yine 30 kN'luk ardgerme kuvveti kullanılmıştır. T3 numaralı kiriş ise T1 numaralı kiriş gibi ardgerme işi güçlendirilmiş ve daha sonra test edilmiştir. Bu kirişin ardgerme ile güçlendirilmesinde T1 numaralı kirişten farklı olarak 60 kN'luk ardgerme kuvveti kullanılmıştır. T1 kirişi en büyük başlangıç ardgerme kuvveti verilen kiriştir.

Deneylerde kullanılan T1, T2 ve T3 numaralı kirişlere yapılmış olan güçlendirme miktarı hesaplanırken referans kirişinin eğilme ve kesme dayanımı, yükleme çerçevesinin kapasitesi ve kirişlerin ardgerme ile güçlendirilmesi sırasında oluşacak ters sehim göz önüne alınmıştır. Bütün bu kriterler dikkate alınmış ve kirişlere uygulanacak olan ardgerme kuvveti miktarı hesaplanmıştır. T2 numaralı kirişin ardgerme ile güçlendirilmesinden önce, kirişe uygulanacak yükleme miktarı hesaplanırken de, TM referans kirişinin dayanımı dikkate alınmıştır.

4.2. Referans Kirişi (TM)

Test aşamasında ilk olarak referans kirişi olan TM kirişi kırılmıştır. Kiriş tasarlanırken eğilmeden dolayı kırılması istenmiştir, bu yüzden eğilme dayanımı kesme dayanımına göre daha küçük olarak şekilde tasarlanmıştır. TM kirişine iki nokta yüklemesi yapılmıştır. Resim 4.1 TM referans kirişinin deney öncesini göstermektedir.

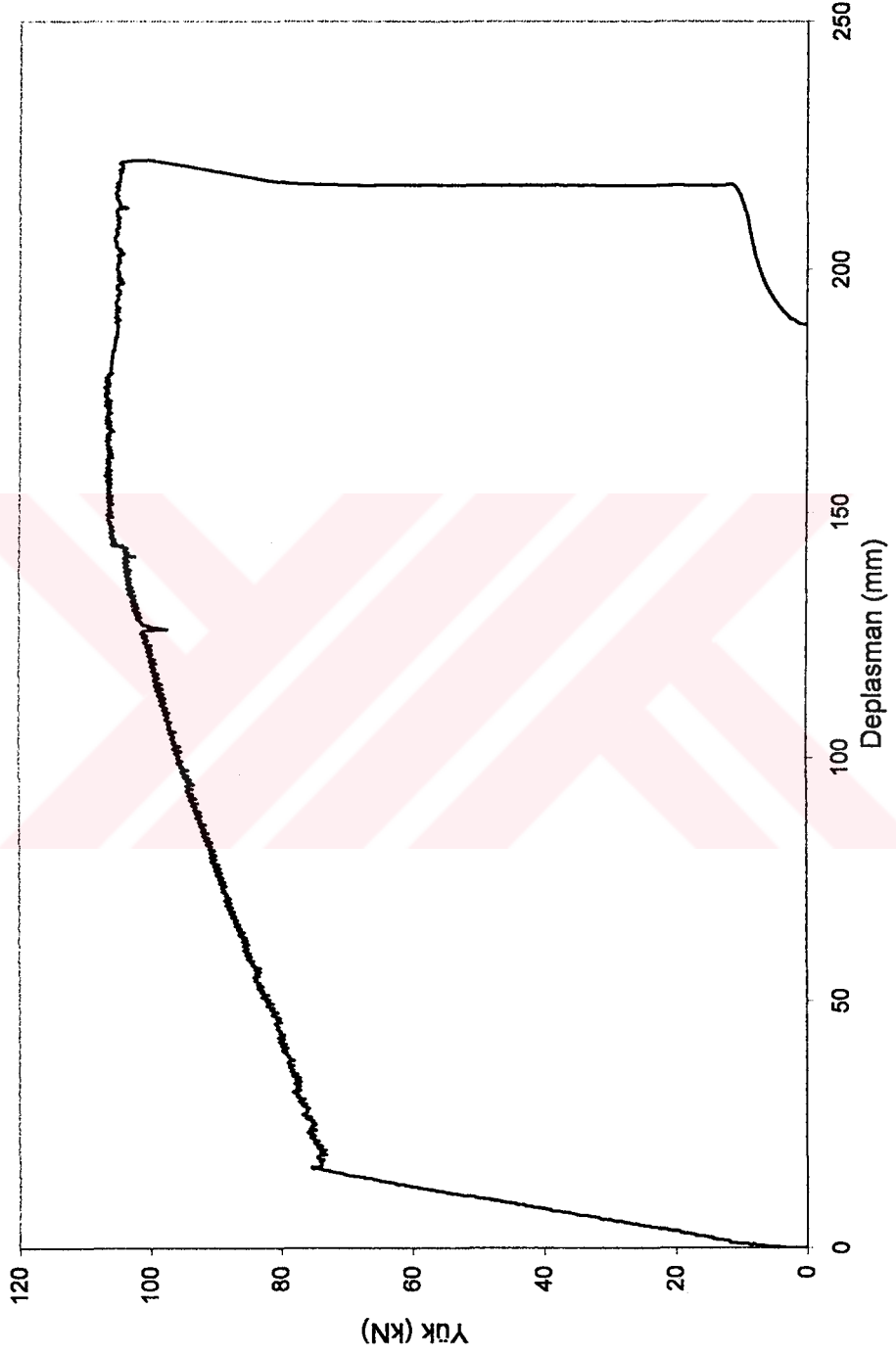


Resim 4.1. TM referans kirişi deney öncesi görünümü

Model kiriş TM' de ilk çatlak ölçüm bölgesi içinde yük 19 kN ve deplasman 3.3 mm iken, 5 adet kılcal eğilme çatlakları olarak görülmüştür. Yük 25 kN' a ve deplasman 4.7 mm'ye ulaştığı zaman ölçüm bölgesi dışında solda 1 tane, sağda 2 tane kılcal eğilme çatlakları görülmüştür. Yük 43 kN ve deplasman 8,5 mm iken sağ ölçüm bölgesinde hafif eğimli kesme çatlakları görülmüştür. Yük 49 kN ve deplasman 9,8 mm iken sol ölçüm bölgesi dışında 3 tane kesme çatlakları görülmüştür. Yük 67 kN ve deplasman 14,0 mm iken çatlakların bir çoğu tablanın alt bölgesine ulaşmıştır. Sol ölçüm bölgesi dışındaki çatlak genişliği 0,1 mm oldu. Yük 74 kN ve deplasman 21,4 mm iken ölçüm bölgesi içindeki 3 çatlakların yaklaşık açıklığı eşit ve 1 mm olmuştur. Bu noktada eğilme çatlakları daha etkili hale gelmiş, kesme çatlakları sabit kalmış ve deformasyonlar orta yoğunlaşmıştır. Yük 78 kN ve deplasman 36,2 mm iken ölçüm bölgesi içindeki çatlak dağılımı çok iyi gelişmiştir. En büyük çatlak aralığı 1,5 mm civarına ulaşmıştır. Bu noktada kesme çatlakları henüz gelişmemiş ve kılcal düzeyde kalmıştır. 82 kN yük ve 50,0 mm deplasman değerine ulaşıldığında çatlaklar tablayı kesmiş ve tablanın yaklaşık olarak %40 ına ulaşmıştır. 102 kN yük ve 131,6 mm deplasmana ulaşıldığı zaman betonda ezilme belirtisi ölçüm bölgesi içinde görülmüştür. Betonda ezilme ise yükün 104 kN ve deplasman 221,8 mm ye ulaştığı zaman görülmüştür. Resim 4.2'de deney sonrası TM kirişi görülmektedir.



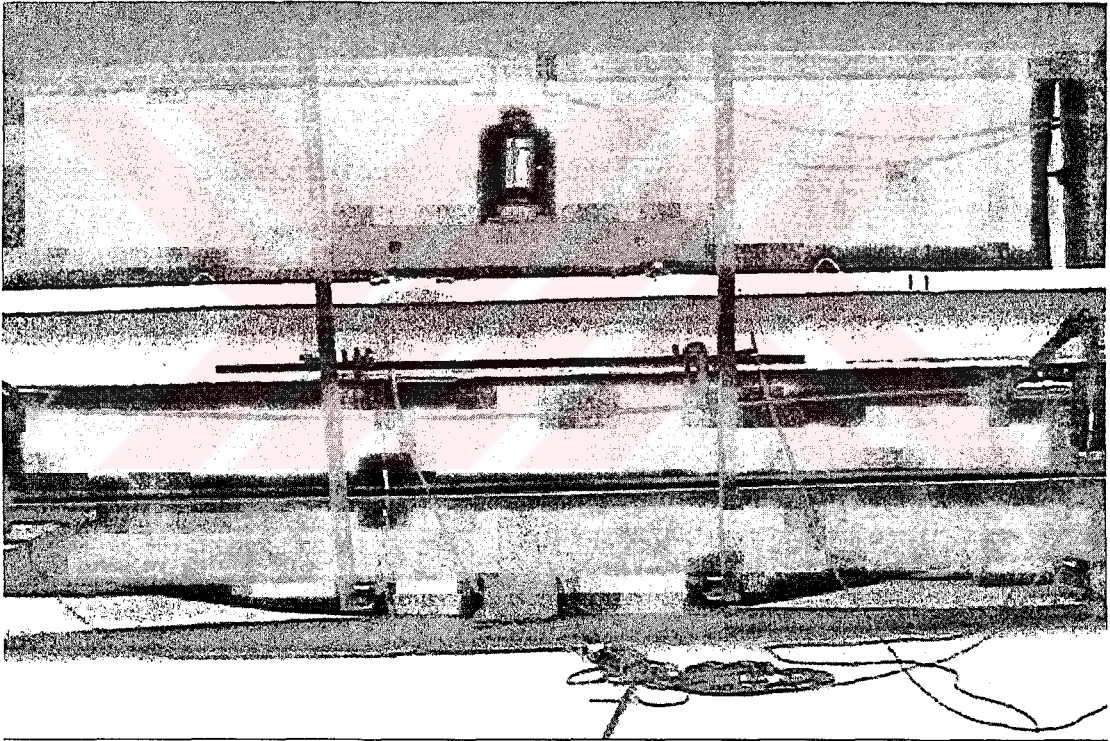
Resim 4.2. Yükleme sonrası TM kirişi



Şekil 4.1. TM numaralı kiriş yük-deplasman grafiği

TM kirişinin göçmesi mekanizmasının eğilme olarak tasarlanmıştır. Kirişin davranışı beklenen şekilde gerçekleşmiş, çatlak dağılımı kullanılan nervürlü donatının etkisi ile çok güzel gelişmiş ve eğilme ölçümlerinin yapıldığı orta bölge de ana çatlaklar oluşmuştur. Deneyin gelişimi sırasında ölçme bölgesi dışında kesme çatlakları oluşmuş ama bu çatlaklar gelişmemiş ve tasarıma uygun olarak eğilme çatlakları gelişip kirişin göçmesi eğilmeden olmuştur. Ayrıca kiriş oldukça sünek bir davranış göstermiştir.

4.3. T1 (Yüklendikten sonra ardgerme ile güçlendirilen kiriş $F=30$ kN)

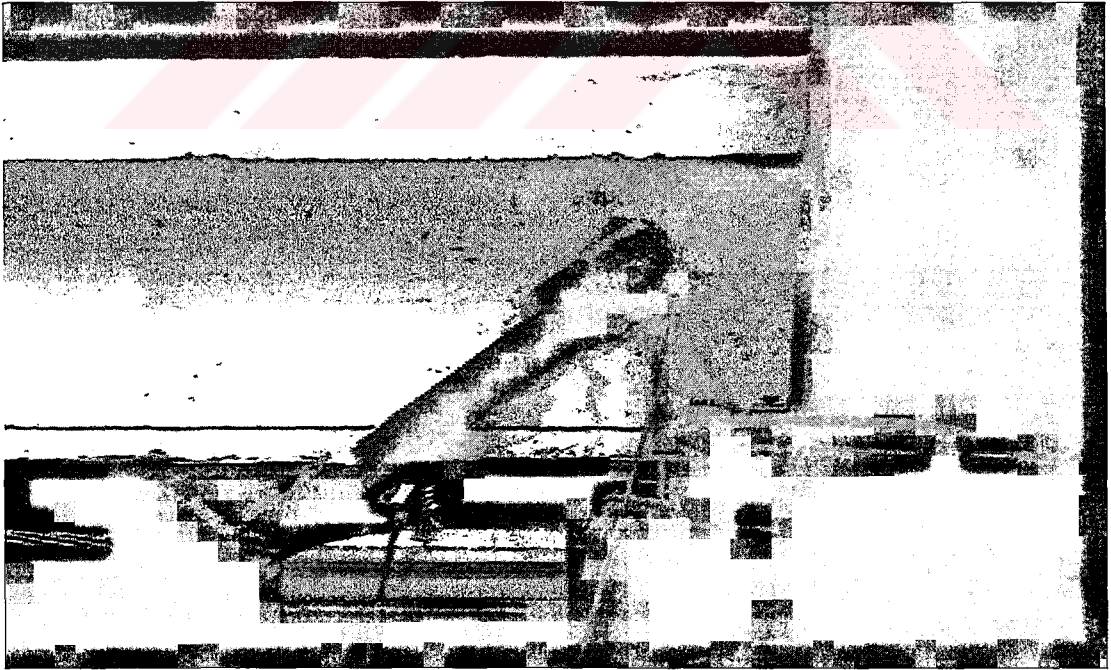


Resim 4.3. T1 numaralı kirişin deney öncesi görünüşü

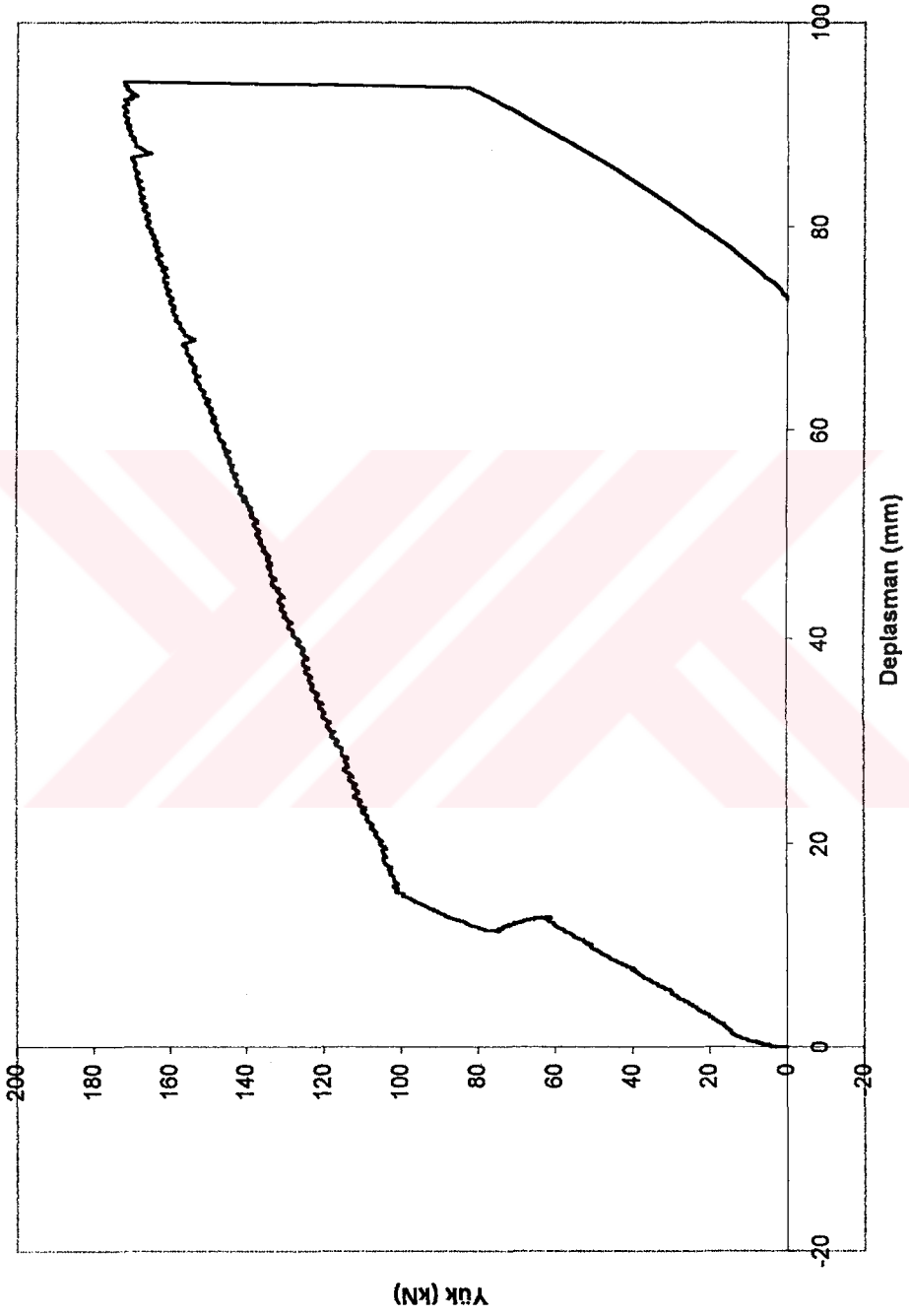
Resim 4.3’de deney öncesi T1 deney elemanı görülmektedir. T1 kirişi, TM referans kirişi ile aynı boyut ve donatı özelliklerine sahiptir. T1 kirişi deney aşaması üç kısımdan oluşmuştur. Deneyin birinci kısmında kirişe TM referans kirişinde olduğu gibi iki nokta yükleme yapılmış. TM referans kirişinden farkı olarak bu deney elemanında yükleme kirişin kırılacağı noktaya kadar yapılmamış ve yükleme TM referans kirişinin dayanımının %80 ine ulaşıldığında durdurulmuştur. İkinci kısımda

kirişe 3 ton ardgerme kuvveti verilmiş ve güçlendirilmiştir. Bu aşamada gerek ardgerme kuvvetindeki değişim, gerek ters deplasman ve kirişin bu ters yük altındaki davranışı incelenmiş ve takip edilmiştir. Deneyin son bölümünde ise kirişe iki nokta yüklemesi yapılmış ve kiriş kırılmıştır. Deneyin bu ikinci aşaması sırasında kirişin hem yük-deplasman davranışı incelenmiş, hem de ardgerme kablosundaki yük miktarı takip edilmiştir. Böylece yüklenmiş ve deforme olmuş kirişlerde ardgerme ile güçlendirmenin etkileri incelenmiştir.

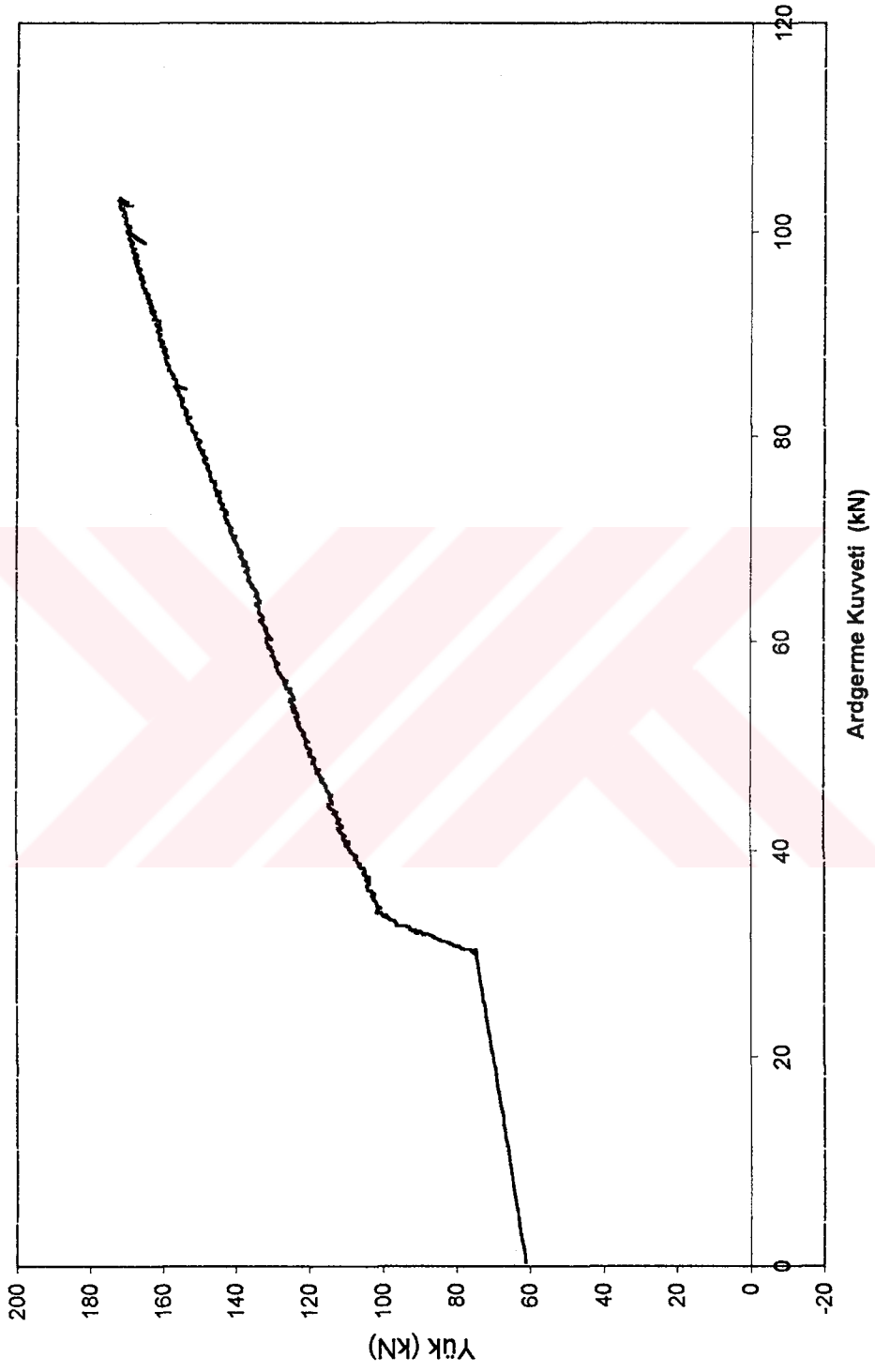
Resim 4.4 de görüldüğü üzere ardgerme kablosuna yük vermek ve ardgerme kablosundaki yükün kirişin yüklenmesi sırasındaki değişimini izlemek için kirişin sağ mesnet bölgesine bir yük hücresi yerleştirilmiştir. Bu yük hücresinden geçen ardgerme kabloları krikoya gitmektedir ve bu kriko yardımı ile ardgerme kuvveti verilmektedir. Yük hücresi sayesinde de ardgerme kablosundaki yük miktarının değişimini bilgisayardan izlemek mümkün olmuştur. Resim 4.5 de ise sol mesnet bölgesi görülmektedir.



Resim 4.4. Ardgerme yük hücresi

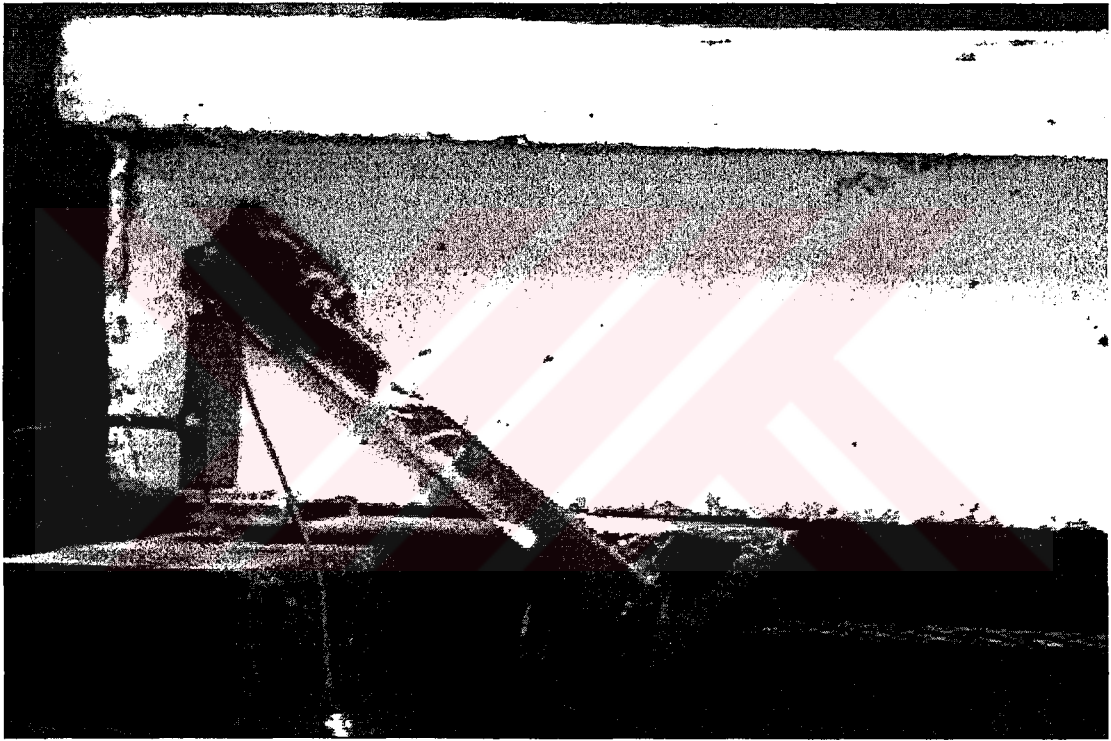


Şekil 4.2.T1 numaralı kirişin yük-deplasman grafiği



Şekil 4.3. T1 numaralı kirişin yük-ardgerme grafiği

Model kiriş T1' de ilk eğilme çatlağı yük 16,546 kN a ulaştığı ve deformasyon 2,503 mm'ye ulaştığı zaman ölçüm bölgesi içinde, kılcal çatlak şeklinde görülmüştür. Bu noktada ardgerme işlemine daha geçilmemiştir ve ardgerme kablosunda 0,261 kN bir yük gözlenmiştir. Yük 19,33 kN a ulaştığı zaman ölçüm bölgesi içinde 2. ve 3. kılcal çatlaklar gözlenmiştir. Bu noktada deformasyon miktarı 3,129 mm ye ulaşmıştır. Yük miktarı 30 kN a ulaştığı zaman sol ölçüm bölgesi dışında ilk eğilme kılcal çatlakları görülmüştür ve deplasman miktarı 5,8 mm'ye ulaşmıştır.



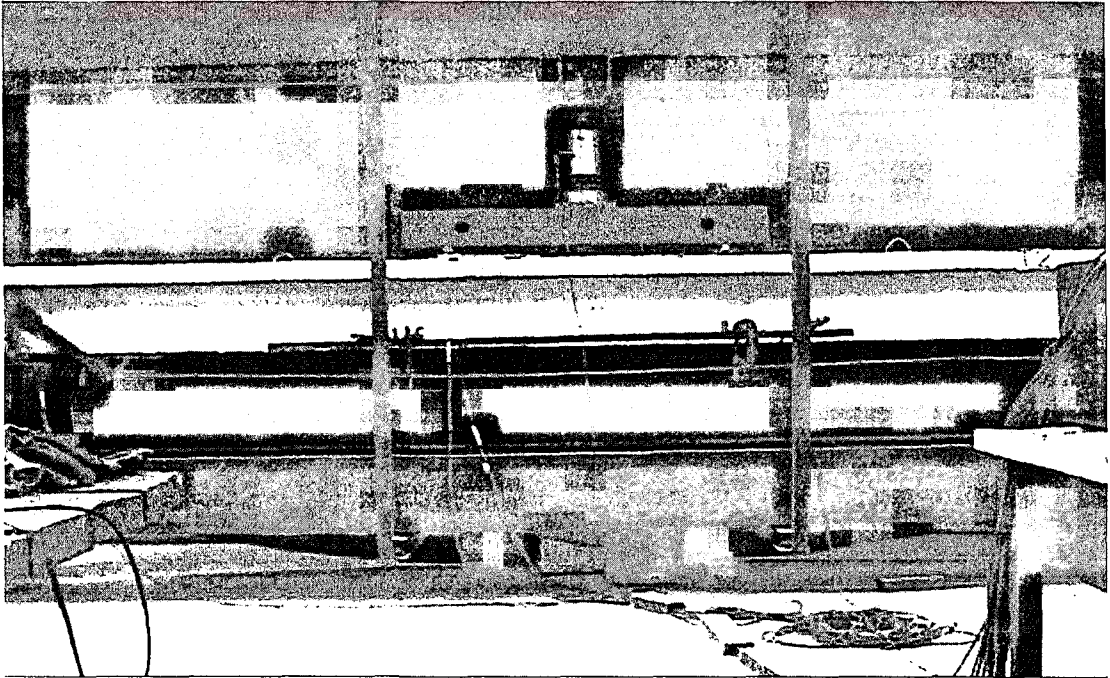
Resim 4.5. Sol mesnet ve çelik plakalar

Yük miktarı 30 kN a ulaştığı ve deplasmanın 5,9 mm'ye ulaştığı noktada sağ ölçüm bölgesi dışında 2 kılcal eğilme çatlakları kesme çatlağı halini almıştır. Yükün 60 kN a ulaşmasının ardından yükleme durdurulmuş ve deplasman 13,2 mm'ye ulaşmıştır. Ardgerme ile güçlendirmeye başlanmadan önce beklenmiş, kiriş davranışı gözlemlendikten sonra ardgerme ile güçlendirme işlemine başlanmıştır. Ardgerme işlemine başlandığında toplam yük 61 kN ve deplasman 13,3 mmdir.

Ardgerme ile güçlendirme işlemini ardgerme yükü 30 kN a ulaşınca kadar devam edilmiştir. Ardgerme kuvvetinin 74 kN a ulaşmış ve deplasman 12,4 mm ye ulaşmıştır. Ardgerme yükündeki düşmeyi kontrol etmek için beklenmiş ve ardgerme kuvvetinde 0,4 kN düşme görülmüştür. Ardgerme yükünün tekrar 30 kN a çıkarılması ve düşmenin gözlenmemesinin ardında iki nokta yüklemesine geçilmiştir. Bu noktada gerilme etkisi ile toplam yük miktarı 75 kN a ulaşmıştır. Toplam deplasman miktarı ise 12,287 mm dir. Beton ezildiğinde toplam yük 170,877 kN, deplasman 95,246 mm ve 122,911 kN'luk ardgerme yüküne ulaşmıştır.

T1 kirişi de TM kirişi gibi eğilmeden göçmesi için tasarlanmıştır. Deneyin ilk aşamasında beklendiği üzere ölçüm bölgesi içinde kılcal eğilme çatlakları görülmüş ve bu çatlaklar güçlendirme işlemine başlanmadan önce gelişme göstermemiştir. Kiriş betonun üst yüzeyinde, ölçüm bölgesi içinde ve sağ çelik mesnet tarafında ezilmesi ile göçmüştür. Oluşan çatlakların hem genişlikleri, hem de sayıları referans kirişine göre çok daha az sayıda olmuştur.

4.4 T2. (Ardgerme ile güçlendirilmiş kiriş $F=30$ kN)

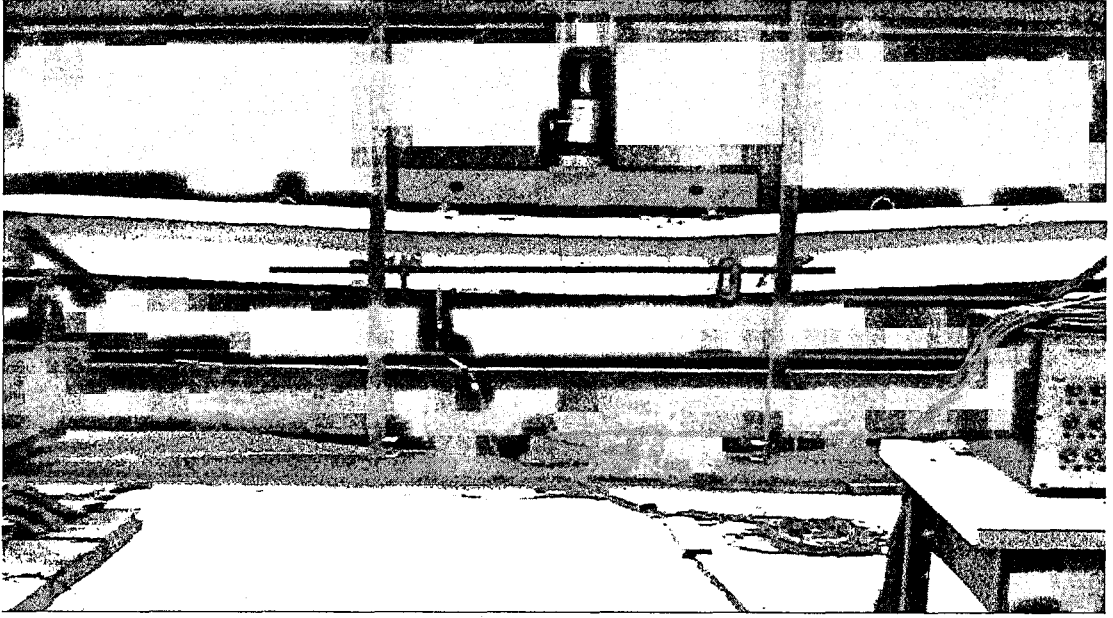


Resim 4.6. T2 numaralı kirişin deney öncesi görünüşü

T2 numaralı kiriş T1 numaralı model kiriş gibi ardgerme ile güçlendirilmiştir. Bu kirişte de güçlendirme yükü olarak 30 kN seçilmiştir ve T1 kirişinden farklı olarak T2 kirişinde sadece ardgerme ile güçlendirilmiş ve sonra kırılmıştır.

Ardgerme yükü 30 kN a ulaştığı zaman 0,1 mm'lik ters deplasman oluşmuştur ve ardgerme yükündeki kayıpların görülmesi için bu noktada, iki nokta yüklemesine geçilmezden önce beklenmiştir. T2 kirişinde ilk çatlaklar ardgerme yükünün 29 kN ve ters yöndeki deplasmanın 0,1 mm'ye ulaşması ile görülmüştür. 3 adet sağ ölçüm bölgesi dışının ortasında, tabliye üstü boydan boya ölçülemeyen kılcal çatlaklar oluşmuştur. Ardgerme yükü 0,6 kN düşmüş, tekrar 30 kN'a çıkarılmış ve ardgerme yükünün sabit kalmasının ardında iki nokta yüklemesine geçilmiştir. Yükün 52 kN a ulaşması ile ölçüm bölgesinde ilk kılcal eğilme çatlağı, uzunluğu 0,1 mm olarak gözlenmiştir. Bu noktada ardgerme yükü 33 kN a ulaşmış ve deplasman 3,9 mm çıkmıştır. Yükün 57 kN ulaşması ile ölçüm bölgesi içinde 2 adet ilave çatlak, ayrıca sağ ölçüm bölgesinde 2 hafif kesme çatlağı gözlenmiştir. Ardgerme yükü 34 kN ve deplasman 4,8 mm dir. Sol mesnet ölçüm bölgesinde 1 adet kesme çatlağı oluşmuştur. Bu nokta da yük 71 kN , ardgerme kuvveti 37 kN ve deplasman 7,5 mm'dir. Yükün 101 kN ulaşması ile sol ölçüm bölgesi dışında 1 adet 0,1 mm kalınlığında kesme çatlağı ve sağ mesnet bölgesinde de benzer bir çatlak oluşmuştur. Ardgerme yükü 43 kN ve deplasman 12,9 mm'dir. Sağ ölçüm bölgesi dışında 4 adet kesme çatlağı yükün 110 kN a ulaşması ile gözlenmiş ve deplasman 14,7 mm ve ardgerme yükü 44 kN'dır.

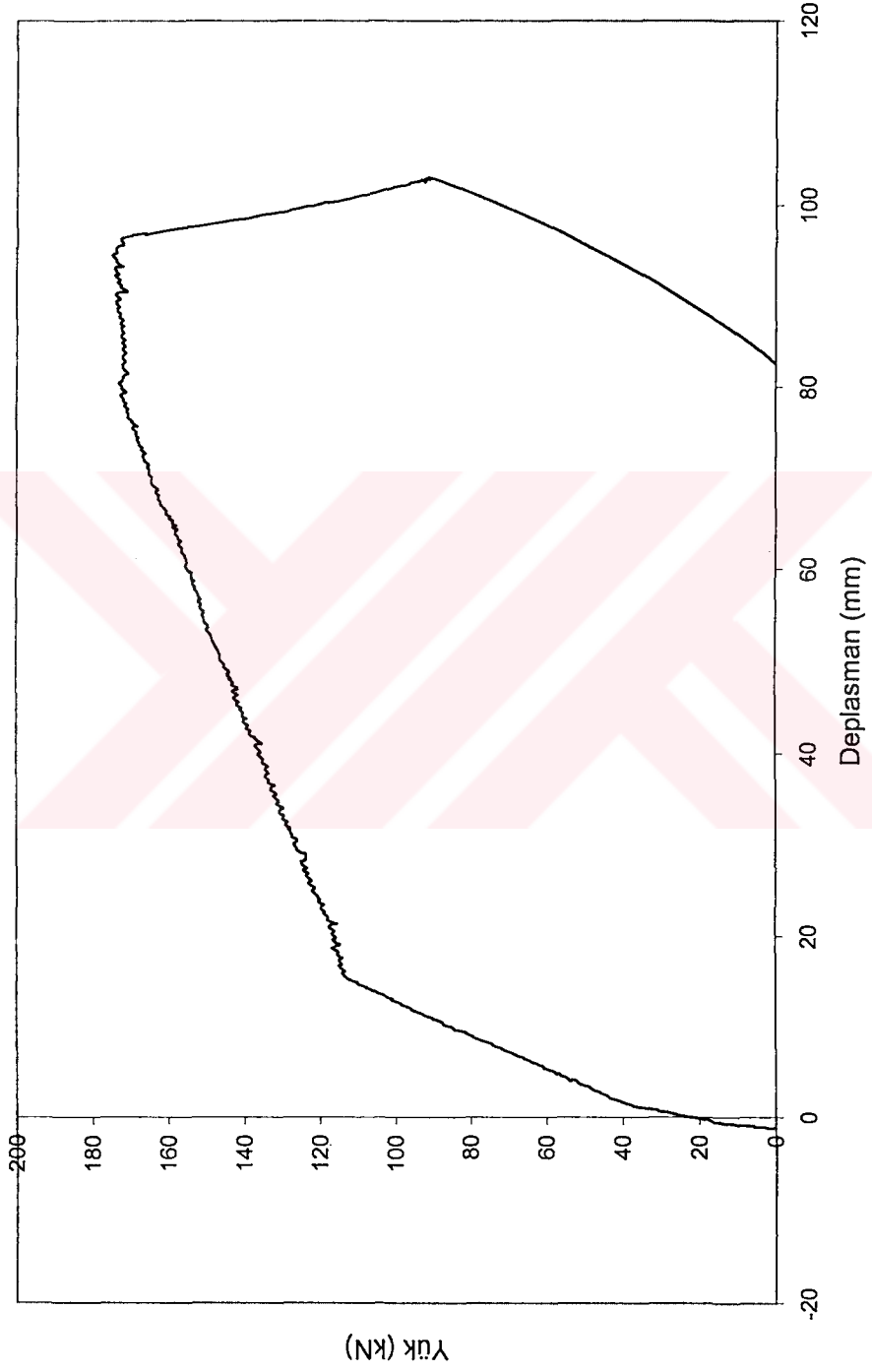
Yükün 117 kN'tığında sağ ölçüm bölgesi içindeki eğilme çatlaklarının genişliğinin en büyüğü 1 mm ye ulaşmıştır. Deplasman 20,9 mm ve ardgerme yükü 51 kN'a ulaşmıştır. Yükün 130 kN'a ulaşması ile çatlak genişlikleri 1,5 mm'ye, çatlaklar tabliye ye ulaşmış ve 5 adet ağır eğilme çatlağı gözlenmiştir. Bu noktada ardgerme yükü 64 kN ve deplasman 33,8 mm dir. Yükün 173 kN a ulaşması ile betonda ezilme görülmüştür. Ardgerme kuvveti 120 kN ve deplasman 89,6 mm'dir.



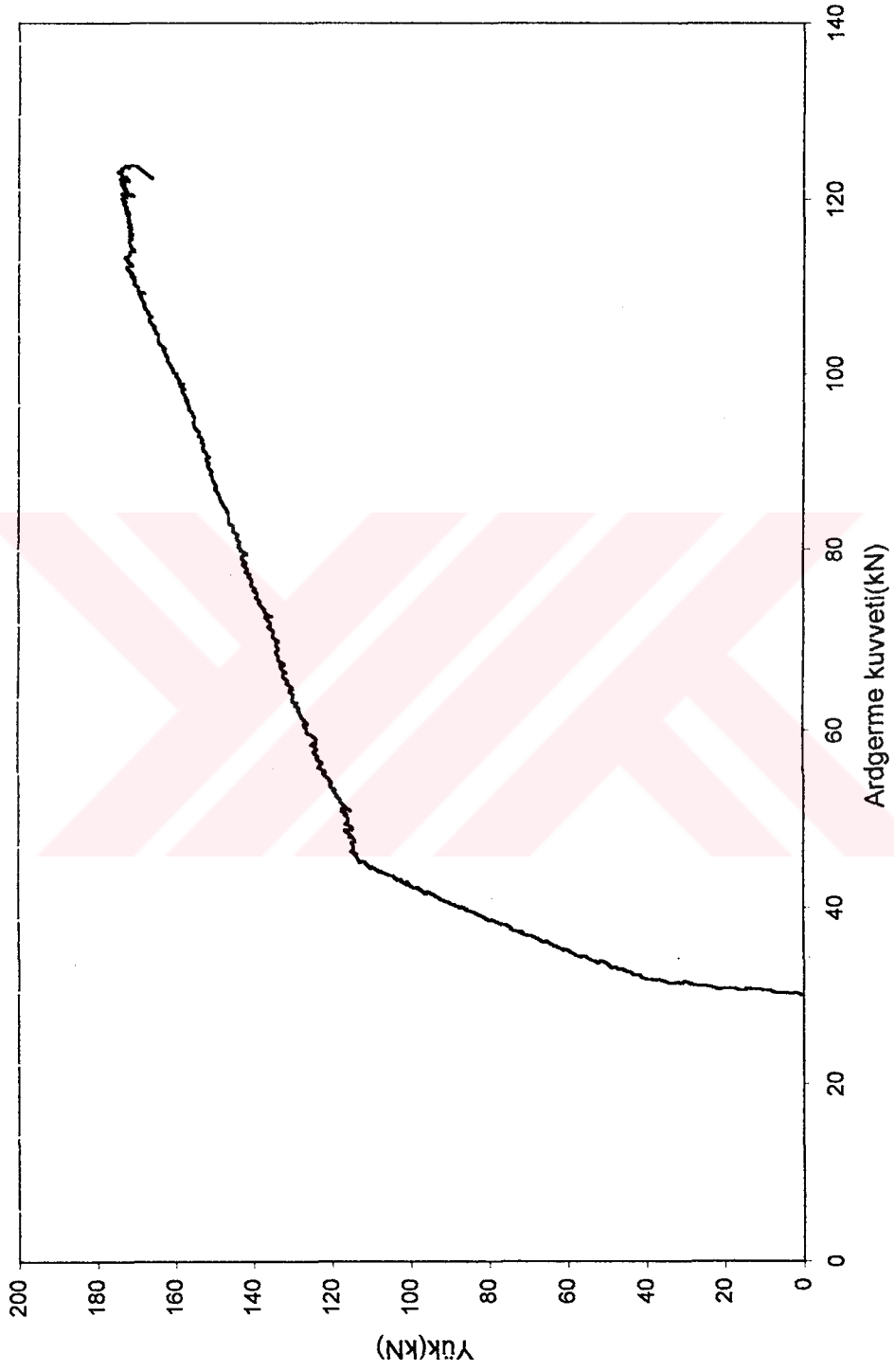
Resim 4.7. T2 numaralı kirişin deney sonrası görünüşü



Resim 4.8. T2 numaralı kirişin deney sonrası sol mesneti



Şekil 4.4 T2 numaralı kirişin yük-deplasman grafiği



Şekil 4.5. T2 numaralı kirişin yük-ardgerme grafiği

T2 kirişi eğilmeden göçecek şekilde tasarlanmıştır. Ardgerme güçlendirilmesi yapıldığı sırada önemli çatlak oluşumu gözlenmemiş, yükleme sırasında oluşan çatlaklar ise ölçüm bölgesi içinde ve eğilme çatlaklarıdır. Oluşan kesme çatlakları ise gelişmemiş ve kılcal düzeyde kalmıştır. Göçme ölçme bölgesinde oluşan eğilme çatlaklarının tabliye ye ulaşması ve betonda ezilme görülmesi ile görülmüştür.

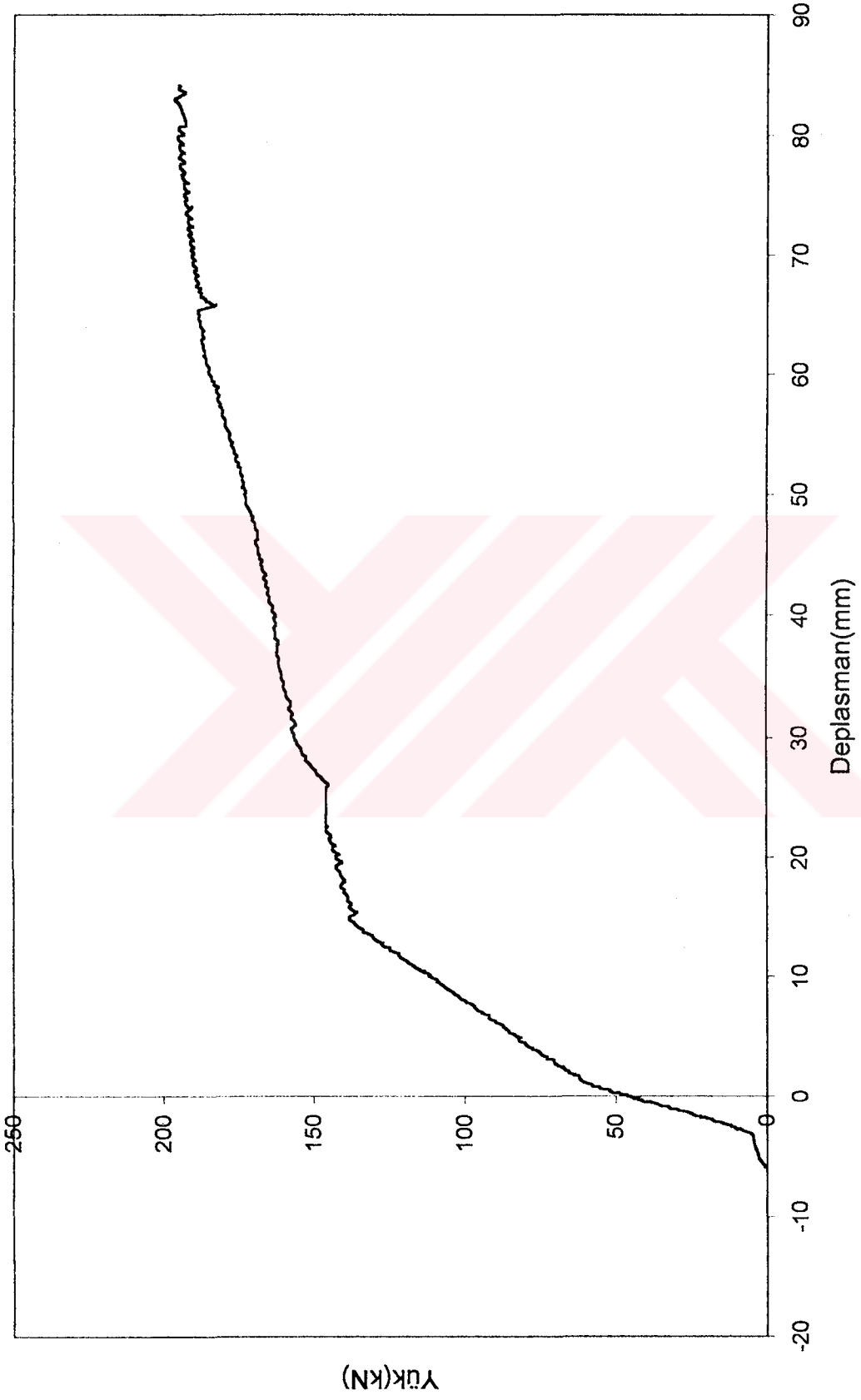
4.5. T3 (Ardgerme ile güçlendirilmiş kiriş $F = 60 \text{ kN}$)

Son deney elemanı T3 numaralı kiriş, 60 kN'luk ardgerme kuvveti ile güçlendirilmiştir.

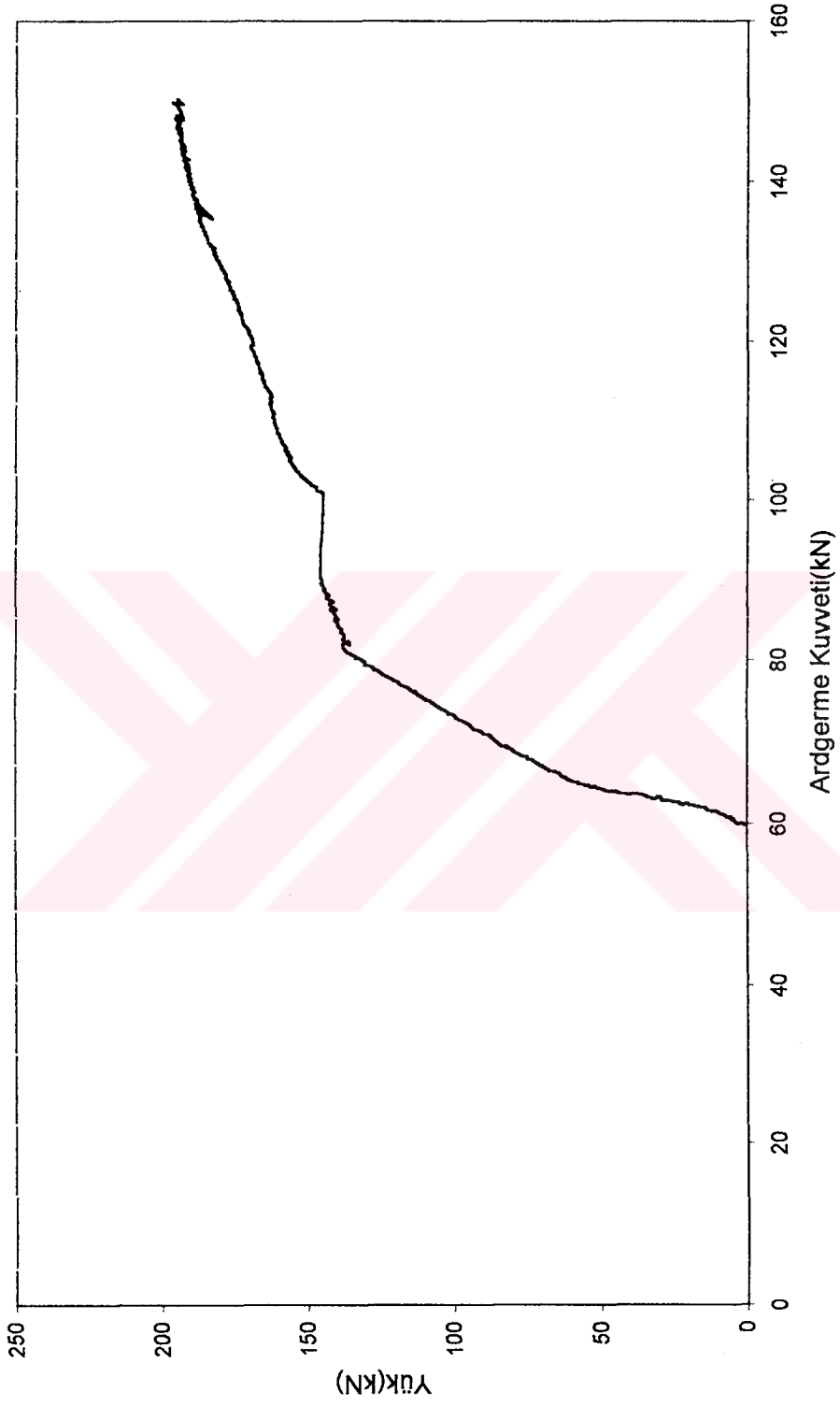


Resim 4.9. T3 numaralı kirişin deney öncesi görünüşü

Ardgerme kuvveti 40 kN a ulaşınca ardgerme kuvveti verilmeye devam edilmiş ve bu noktada kontrol ve ardgerme kuvvetindeki kaybın gözlenmesi için beklemiştir. Bu noktadaki deplasman ters yönde 0,1 mm dir. 0,3 kN luk ardgerme yük kaybı gözlenmesinin ardından, ardgerme yükü tekrar 40 kN a çıkarılmış ve yük artırımı devam ettirilmiştir..



Şekil 4.6. T3 numaralı kirişin yük-deplasman grafiği



Şekil 4.7. T3 numaralı kirişin yük-ardgerme grafiği

Ardgerme yükünün 50 kN a ulaştığı noktada, 3,8 mm ters deplasman ve sol ölçüm bölgesi dışı tabliye de boydan boyda geçen 0,1 mm den daha ince ölçülemeyen kılcal çatlak gözlenmiştir. Yükün 54 kN a ulaştığı noktada, ters deplasman 4,6 mm olarak gözlenmiş ve sağ ölçüm bölgesinde tabliye yi boydan boyda geçen kılcal eğilme çatlak gözlenmiştir. Sol ölçüm bölgesi dışında tabliye yi boydan boyda geçen 0.1 mm lik eğilme çatlak ve sağ ölçüm bölgesi dışında da benzer tabliyeyi boydan boyda geçen eğilme çatlak gözlenmiştir. Ölçüm bölgesi içinde de soldaki eğrilik ölçen LVDT'nin tam hizasında 0,1 mmlik çatlak ve çelik kiriş sağ mesnet altında da 0,1 mm'lik çatlaklar gözlenmiştir. Ardgerme yük kontrolü amacıyla beklenmiş ve ardgerme yükünde 0,6 kN'luk yük düşmesi gözlenmiştir. Ardgerme yükünün tekrar 60 kN'a yükseltilmesinin ardından, iki nokta yüklemesine geçilmiştir. Bu noktada ters deplasman miktarı 6,1 mm olmuştur.



Resim 4.10. T3 numaralı kirişin ardgerme sonrası görünümü

Yükün 82 kN' a ulaşması ile ölçüm bölgesi içinde 3 adet 0,1 mm'den az kılcal eğilme çatlağı gözlenmiştir. Yükün 92 kN a ulaşması ile sağ ölçüm bölgesi dışında kılcal eğilme olarak başlayan ve kesmeye dönüşen bir çatlak gözlenmiştir. Ardgerme yükü 71 kN'a ve deplasman 8,1 mm'ye ulaşmıştır. Ölçüm bölgesi için 0,1 mm'lik eğilme çatlağı; sol ve sağ ölçüm bölgeleri dışında 5'er adet yatayla 85,75,65,45,45 derece açılar yapan kesme çatlakları gözlenmiştir. Bu noktada yük 110 kN, deplasman 11,4 mm ve ardgerme yükü 75 kN'dur. Yükün 142 kN a ulaşması ile ölçüm bölgesi içi maksimum çatlak genişliği 1 mm ye ulaşmıştır. Ardgerme yükü 87 kN ve deplasman 22,2 mmdir. Kırılma noktasında yük 195 kN ve deplasman 86,3 mm olarak gerçekleşmiştir. Ardgerme kablosundaki son yük miktarı 150 kN olmuştur..



Resim 4.11. T3 numaralı kirişin deney sonrası görünümü

T3 kirişi eğilmeden göçecek şekilde tasarlanmıştır. Ardgerme ile güçlendirme sırasında kirişin tabliyesini boydan boya geçen kılcal eğilme çatlakları gözlenmiş, ama bu çatlaklar gelişme göstermemiş ve kılcal düzeyde kalmışlardır. Düşey yükleme sırasında ölçüm bölgesi dışında kılcal eğilme çatlakları görülmüş, kirişin göçmesi ise tasarlandığı şekilde kiriş ölçme bölgesinde oluşan eğilme çatlaklarının gelişmesi ve betonda ezilme ile görülmüştür.

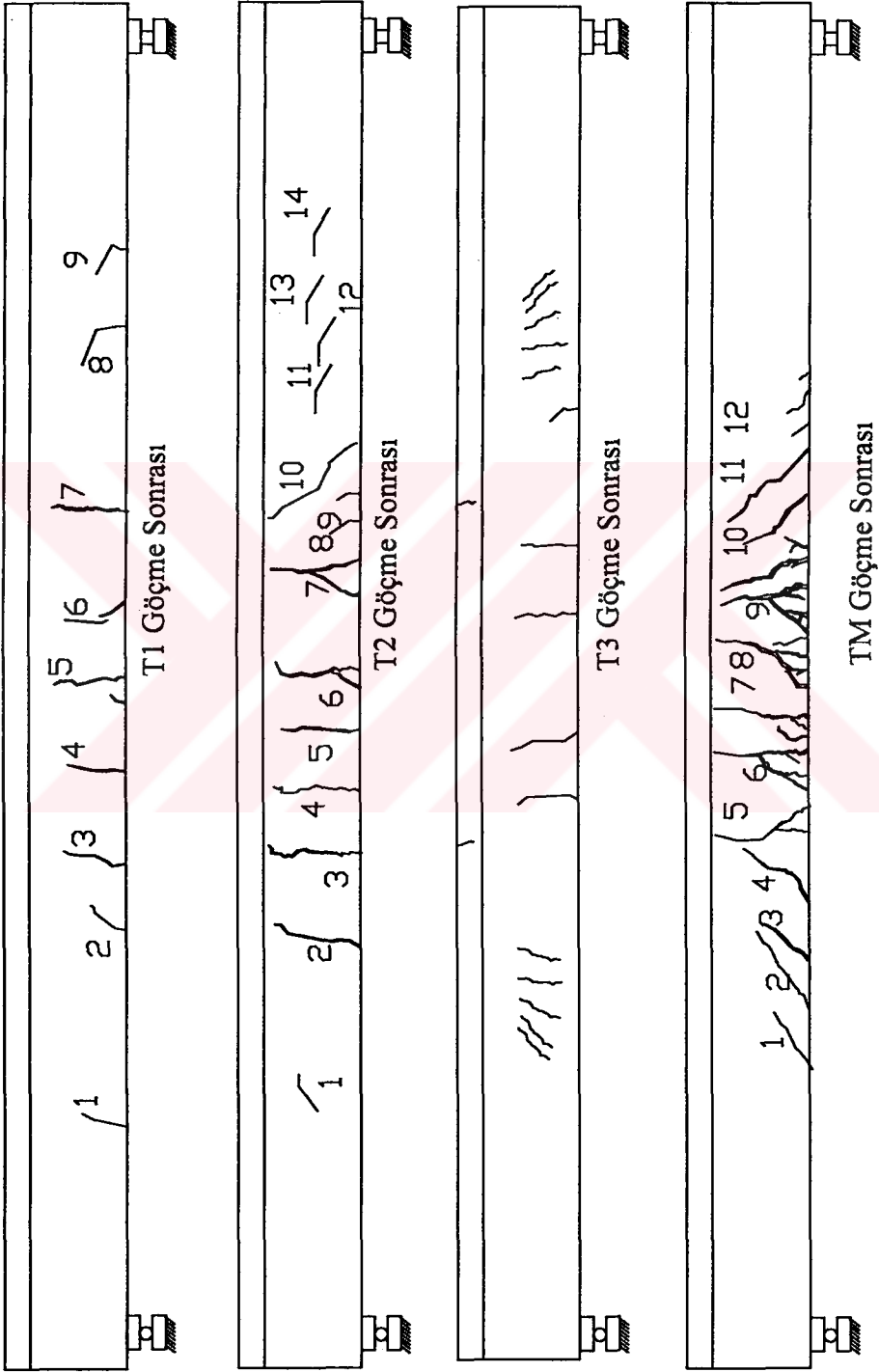
4.6. Göçme Mekanizmaları

TM referans kirişin de 5,6,7,8 ve 9 numaralı eğilme çatlakları yükün 19 kN a ulaşması ile görülmüş ve kılcal çatlaklar betonda ölçüm bölgesinde ezilme görülmesine kadar genişlemişlerdir. 4,11ve 12 numaralı çatlaklarda aynı yükte oluşmuşlar ama ortadaki ana çatlaklar kadar genişleyememişlerdir. Yükün 75 kN a ulaşması ile görülen 1,2 ve 3 numaralı çatlaklar kılcal kesme çatlaklarıdır.

T1 kirişinde 4,5 ve 6 numaralı çatlaklar kirişte ilk aşamadaki 30 kN luk yükleme sırasında oluşmuşlardır. 8 ve 9 numaralı çatlaklar ise ardgerme kuvvetinin 30 kN a ulaşması ile görülmüşlerdir. Bu çatlaklar fazla gelişmemiş ve kılcal düzeyde kalmışlardır. 1, 2 ve 3 numaralı çatlaklar ise güçlendirmenin ardından yapılan düşey yükleme sırasında görülmüş, bu sırada 4,5 ve 6 numaralı çatlaklar ise gelişmişlerdir.

T2 kirişinin ardgerme ile güçlendirilmesi sırasında tablayı boydan boya geçen kılcal çatlaklar oluşmuştur. 2,3,4,5,6 ve 7 numaralı eğilme çatlakları düşey yükleme sırasında görülmüştür. 11, 12, 13 ve 14 numaralı kesme çatlakları yükün 110 kN 'a ulaşması ile görülmüş ve kılcal kalmıştır. Ortadaki 5 ana çatlağın 130 kN da 1,5 mm çatlak genişliğine ulaşması ile betonda ölçüm bölgesinde ezilme görülmüştür.

T3 kirişte ise ardgerme sırasında tablayı boydan boya kesen kılcal çatlaklar görülmüştür. Düşey yükleme sırasında ölçüm bölgesi içinde eğilme çatlakları görülmüş ve bunlar gelişirken, sol ve sağ ölçüm bölgesi dışında görülen kesme çatlakları ise kılcal düzeyde kalmıştır.



Şekil 4.8. Deney kirişleri çatlak haritası

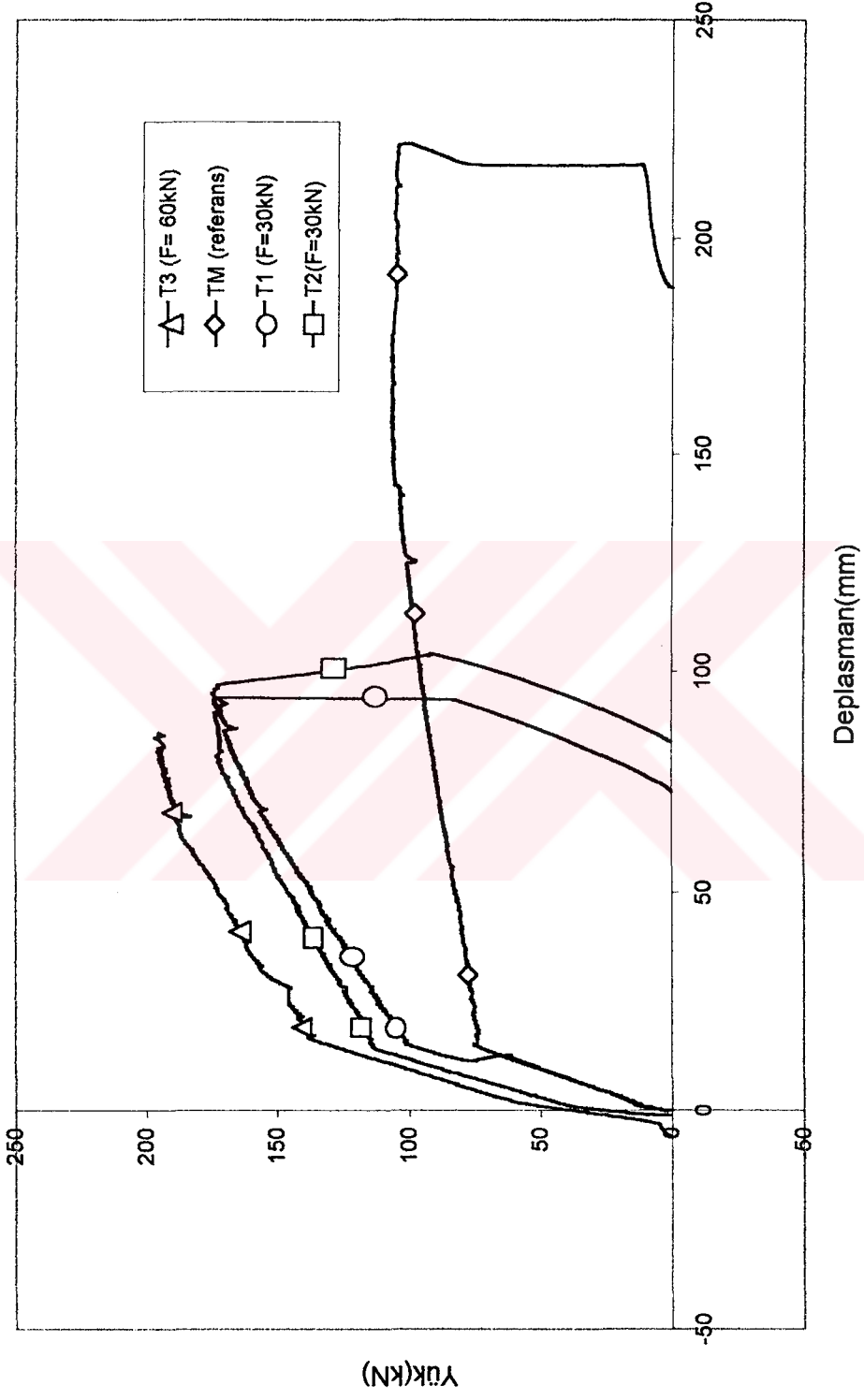
5. DEĞERLENDİRME

5.1. Genel

Bu bölümde, deney elemanlarının testlerinden elde edilen veriler değerlendirilecek ve ardgerme ile güçlendirmenin güçlendirilen elemanın davranışı, dayanımı, rijitliği, enerji tüketimine etkileri incelenecektir. Bu nokta değerlendirilmeler referans kirişidin verileri ile karşılaştırılarak verilmiştir. Karşılaştırılacak olan verilerden güçlendirilen kirişlerin kapasitesi, deneyler sırasında elde edilen yük-deplasman eğrileri kullanılarak yapılacaktır. Diğer karşılaştırılma değerleri de bu yük-deplasman grafiğinin yorumlanmasından elde edilecektir. Örneğin rijitlik değerleri yük-deplasman grafiğinin çeşitli noktalarında eğiminde, sunaklık ve sunaklık oranı değerleri yük-deplasman grafiğinde deney elemanın yaptığı en büyük ve akma anındaki deplasmanlardan ve enerji tüketimi de yük-deplasman grafiğinin altında kalan alandan bulunulacaktır.

Şekil 5.1 tüm kirişlerin yük-deplasman grafiklerinin karşılaştırılması gösterilmiştir. Bu grafik incelendiği zaman ardgerme ile güçlendirme işleminin kirişlerin dayanımını artırdığı görülmektedir. Ayrıca ardgerme kuvvetindeki değişimin kirişin dayanımı ile doğru orantılı olduğu ve ardgerme kuvvetinin artırılması ile kirişlerin dayanımlarının arttığı görülmüştür. Ayrıca TM referans kirişinin %80 kapasitesine kadar yüklenen ve daha sonra T2 kirişi gibi 3 tonluk ardgerme ile güçlendirilen T1 kirişinin davranışının güçlendirme işlemine başlayıncaya kadar aynı olduğu, güçlendirilmeden sonra davranışın değiştiği ama kirişin kapasitesinin sadece güçlendirilen T2 kirişi ile tamamen aynı olduğu görülmektedir. Ayrıca güçlendirilen kirişlerin davranışlarının benzer olduğu ve grafiğin paralel olarak kaydığı görülmüştür.

Süneklik açısından baktığımızda ise TM referans kirişinin sünekliğinin güçlendirilen kirişlere göre daha fazla olduğu görülmüştür. Bu nokta deneylerin kirişlerin ardgerme kablosuna temas etmesinden kısa bir süre sonra durdurulmasının da etkisi



Şekil 5.1. Deney kirişleri yük-deplasman grafiği

olduğu hatırlatmakta yarar vardır. Ardgerme ile güçlendirilen kirişlerin başlangıç rijitliklerinin de referans kirişine göre daha yüksek olduğunu söyleyebiliriz.

Yük-deplasman grafiklerinin incelenmesi sonucunda ardgerme ile güçlendirme işleminin kirişin yük taşıma kapasitesini artırmasının yanı sıra, kirişlerin servis yükleri altındaki performansını artırdığını da görebilmekteyiz. Güçlendirilen kirişlerin akma noktasının, referans kirişine göre daha yüksek olduğunu ve servis yükleri altında kiriş davranışının önemli ölçüde iyileştiğini söyleyebiliriz. Çizelge 5.1 de 4 kirişe ait akma deplasmanı, akma noktasındaki yük, kırılma deplasmanı, kırılma noktasındaki yük ve kirişler düşey yük altında iken oluşan ilk eğilme çatlaklarının hangi yük ve deplasmanda olduğu gösterilmektedir.

Çizelge 5.1. Deney elemanlarının yük-deplasman grafik sonuçları

Kiriş İsmi	Akma Yüğü (kN)	Akma Deplasmanı (mm)	Kırılma Yüğü (kN)	Kırılma Deplasmanı (mm)	İlk Eğilme Çatlağı Yüğü (kN)	İlk Eğilme Çatlağı Deplasmanı (mm)
TM	73,609	17,49	100,748	222,203	19,485	3,294
T1 (F=30kN)	102,604	18,032	169,717	96,661	16,456	2,503
T2(F=30kN)	115,593	17,997	169,698	96,660	51,959	3,962
T3(F=60kN)	137,552	18,053	195,156	86,304	82,423	5,999

Bu tabloya bakıldığında akma noktasında tüm kirişlerin yaptıkları deplasman miktarının yaklaşık aynı olduğu, buna karşın bu noktadaki yük miktarının

güçlendirilen kirişlerde çok daha fazla olduğunu görmekteyiz. T1 isimli yüklendikten sonra 3 tonluk ardgerme yükü ile güçlendirilen kirişte bu yük artışının TM isimli kirişin %39.4 fazlası, T2 isimli 3 tonluk ardgerme kuvveti ile güçlendirilen kirişte %57.1 ve T3 isimli 6 tonluk ardgerme kuvveti ile güçlendirilen kirişte bu artışın %86.87 olduğu görülmektedir.

Model kirişlerin kırılma yüklerinin karşılaştırılması sonucu ise 3 er tonluk ardgerme ile güçlendirilen T1 ve T2 kirişlerinin dayanımlarının ve kırılma deplasmanlarının aynı olduğu ve dayanımlarının %69 , TM referans kirişine göre daha yüksek çıktığını görmekteyiz. Benzer şekilde T3 isimli ve 6 tonluk ardgerme ile güçlendirilen kirişte ise kırılma yükünün %95 arttığı; fakat kırılma deplasmanlarının referans kirişe göre az olduğu görülmektedir. Bu nokta güçlendirilen kirişlerde ardgerme donatısının akmamış ve deney ardgerme donatısı kirişe temas ettikten belli bir süre sonra deney güvenliği açısından bitirilmiştir.

İlk eğilme çatlaklarının oluşması incelendiğinde ise güçlendirilen kirişlerde hem ilk eğilme çatlağının oluşma yükü, hem de ilk eğilme çatlağı olduğu zaman model kirişlerin yaptıkları deplasmanların referans kirişine göre daha fazla oldukları gözlenmiştir. T1 kirişi deneyin ilk aşamasında güçlendirilmeden yüklendiği için bu kirişte görülen ilk eğilme çatlağının oluşma yükü ve bu noktadaki deplasman değeri TM referans kirişine yakın değerlerde çıkmıştır. Buna karşın güçlendirilen diğer iki kirişten T2 isimli kirişte ilk eğilme çatlağı TM referans kirişindeki yükü %265 daha fazladır, buna karşın yapılan deplasman miktarı ise %20 daha fazladır. 6 tonla güçlendirilen T3 kirişinde ise ilk eğilme çatlağı, TM kirişine göre %423 daha yüksek bir yükte ve bu noktadaki deplasman ise %182 daha fazladır.

Genel olarak bir değerlendirme yapacak olursak, güçlendirmenin kirişlerin kırılma yükü kapasitesini önemli ölçüde ve verilen ardgerme yüküne bağlı olarak arttırdığıdır. Ayrıca kirişlerin servis yükleri altında ve akma noktasına kadar olan davranışlarının da olumlu etkilendiği, hem akma yüklerinin, hem de ilk eğilme çatlağının olduğu yüklerin referans kirişine göre önemli ölçüde gelişme gösterdiği. Ayrıca T1 kirişinin kırılma yükünün, T2 kirişi ile aynı olduğu; fakat

kırılma noktasına kadar olan davranışın incelenmesi ile T2 kirişinin daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

5.2. Rijitlik

Kirişlerin rijitlikleri hesaplanırken üç noktadaki rijitlik değerleri hesaplanıp karşılaştırılmıştır. Bu noktalar başlangıç, akma ve göçmedir. Bu noktaları orijine birleştiren doğruların eğimleri, bu noktalar ait rijitlik değerlerini vermektedir. Başlangıç rijitliği hesaplanırken, ilk eğilme çatlağının olduğu nokta esas alınmıştır. Akma rijitliği hesaplanırken kirişin akma noktasındaki yük-deplasman grafiğinin eğimi hesaplanmıştır. göçme rijitlikleri bulunurken ise yükte %15 düşme olduğu noktayı merkeze birleştiren doğrunun eğimi bulunarak hesaplanmıştır. Bu değerler Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Deney elemanlarının rijitlik değerleri

Deney Elemanı	Başlangıç Rijitliği (kN/mm)	Akma Rijitliği (kN/mm)	Göçme Rijitliği (kN/mm)
TM	5,91	4,31	0,467
T1 (F=30kN)	6,61	5,57	1,79
T2(F=30kN)	13,11	6,61	1,76
T3(F=60kN)	13,73	7,55	2,26

TM referans kirişi ve ilk başta normal yüklendikten sonra güçlendirilen T1 kirişinin başlangıç rijitlikleri birbirine yakın çıkarken, güçlendirilen T2 ve T3 kirişlerinin başlangıç rijitlikleri diğerlerinin başlangıç rijitliklerinin iki katından daha fazla

çıkıştır. TM referans kirişinin başlangıç rijitliği 5,91 kN/mm çıkarken, T1 kirişinin 6,61 kN/mm, T2 kirişinin 13,11 kN/mm ve T3 kirişinin 13,73 kN/mm çıkıştır.

Akma rijitliklerine baktığımızda ise özellikle güçlendirilen kirişlerin rijitliklerinde önemli bir düşüş görülmüş ve %50 ye yakın bir oranda rijitlik kaybı görülmüştür. Akma noktası rijitliklerini karşılaştırdığımızda, güçlendirilen kirişlerin rijitliklerinin TM referans kirişine yaklaştığını görmekteyiz.

Göçme rijitliklerini karşılaştırdığımızda ise T3 güçlendirilen kirişlerin rijitliklerinin, referans kirişine göre çok daha fazla olduğunu söyleyebiliriz. Bunda daha öncede belirtildiği gibi ardgerme kablolarının akmasına kadar sistemin denenmemesinin de etkisi vardır.

5.3. Enerji Tüketimi

Deneyssel çalışmada uygulanan güçlendirme tekniğinin model kirişlerin enerji tüketimi araştırılmıştır.Çizelge 5.3 'de bu değerler vardır.

Çizelge 5.3. Deney elemanlarının enerji tüketim miktarları

Deney Elemanı	Enerji Tüketimi (kN-mm)
TM	20186,585
T1 (F=30kN)	11253,67
T2(F=30kN)	12629,22
T3(F=60kN)	13770,65

Enerji tüketimlerini her bir kiriş elemanı için incelediğimizde servis yüklerinde, ardgerme ile güçlendirilen kirişlerin enerji tüketimi daha fazla iken, bu değer ardgermeli kirişlerin sünekliğinin TM referans kirişine göre daha az olmasından dolayı kırılma enerjisi TM referans kirişine göre daha az olmaktadır. Bu enerji miktarının daha az olmasının bir diğer nedeni ise ardgerme ile güçlendirme yapılan kirişlerde, kirişin ardgerme kablosuna göre daha çok deplasman yapmasından dolayı, kirişin ardgerme kablosuna temas etmesinden sonra deneylerin durdurulması da etkili olmuştur.

Betonun ezilme noktasına kadar olan enerji tüketimlerinin incelenmesinde ise, daha sünek olan TM kirişinin daha çok enerji tükettiğini görürüz. Bunda ardgerme kablosunun akmasının da etkisi vardır.

5.4. Süneklik

Süneklik yükte önemli azalma olmadan deplasman yapabilme kabiliyetidir. Süneklik oranı da kırılma anındaki deplasmanın akma anındaki deplasmana oranıdır. Sünek davranış yapılar da istenen bir davranış türüdür. Çizelge 5.3’de süneklik değerleri verilmiştir.

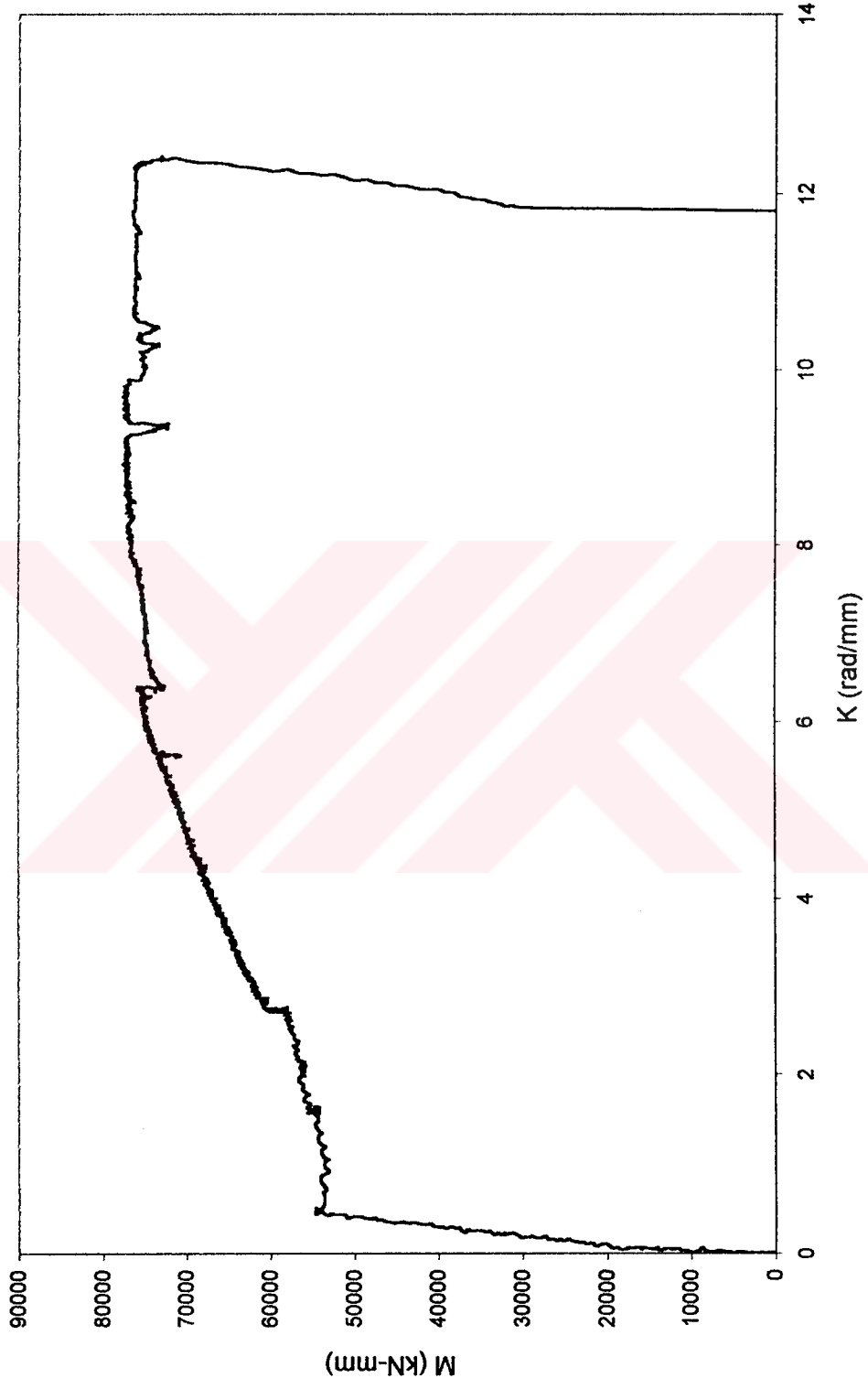
Model kirişlerin süneklik değerlerinin incelenmesi sonucunda en sünek davranışı TM referans kirişinin gösterdiğini, diğer güçlendirilen 3 kirişte ise sünekliğin ve sünelilik oranının azaldığını görmekteyiz. Bu noktada güçlendirme yapılan kirişlerde ardgerme kablosunun akmasından önce deneyin sona erdirilmesi etkili olmuştur. Deney güvenliği için deneyin durdurulması güçlendirilen elemanların sünek davranışının tam olarak yansıtılmamasına neden olmuştur. Betonda ezilmenin görüldüğü noktaları incelediğimizde, güçlendirilen elemanların yaptıkları deplasmanın düştüğü göze çarpmaktadır. Ayrıca tabloya dikkat edilecek olursa, bütün kirişler için akma noktasında yapılan deplasmanların birbirine çok yakın olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.4. Deney elemanlarının süneklik oranları

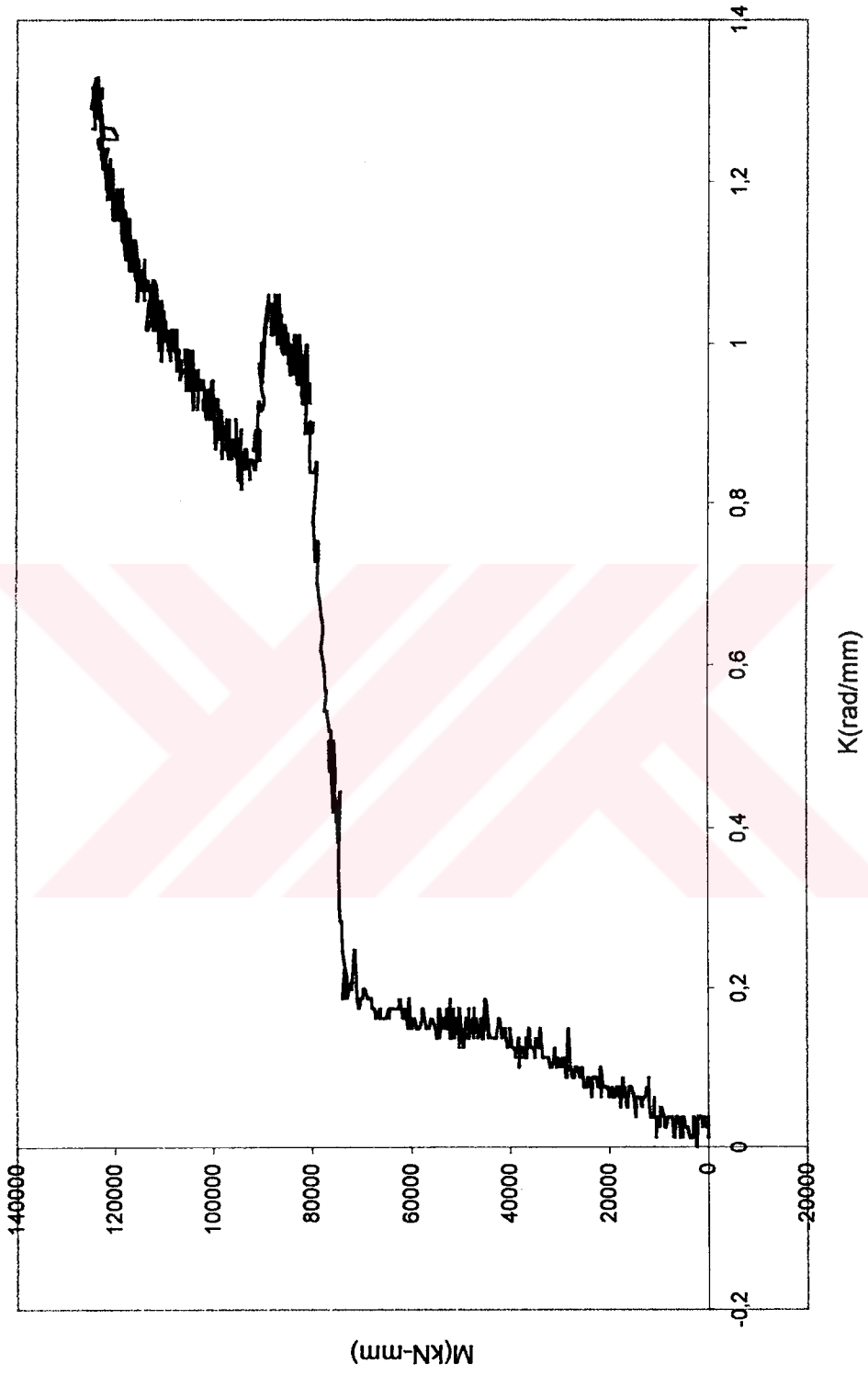
Deney Elemanı	Akmada Deplasman(mm) δ_y	Göçmede Deplasman(mm) δ_u	δ_u/δ_y
TM	17,49	222,033	12,69
T1 (F=30kN)	18,032	96,420	5,55
T2(F=30kN)	17,997	96,548	5,74
T3(F=60kN)	18,053	85,172	4,5

5.5. Moment- Eğrilik İlişkisi

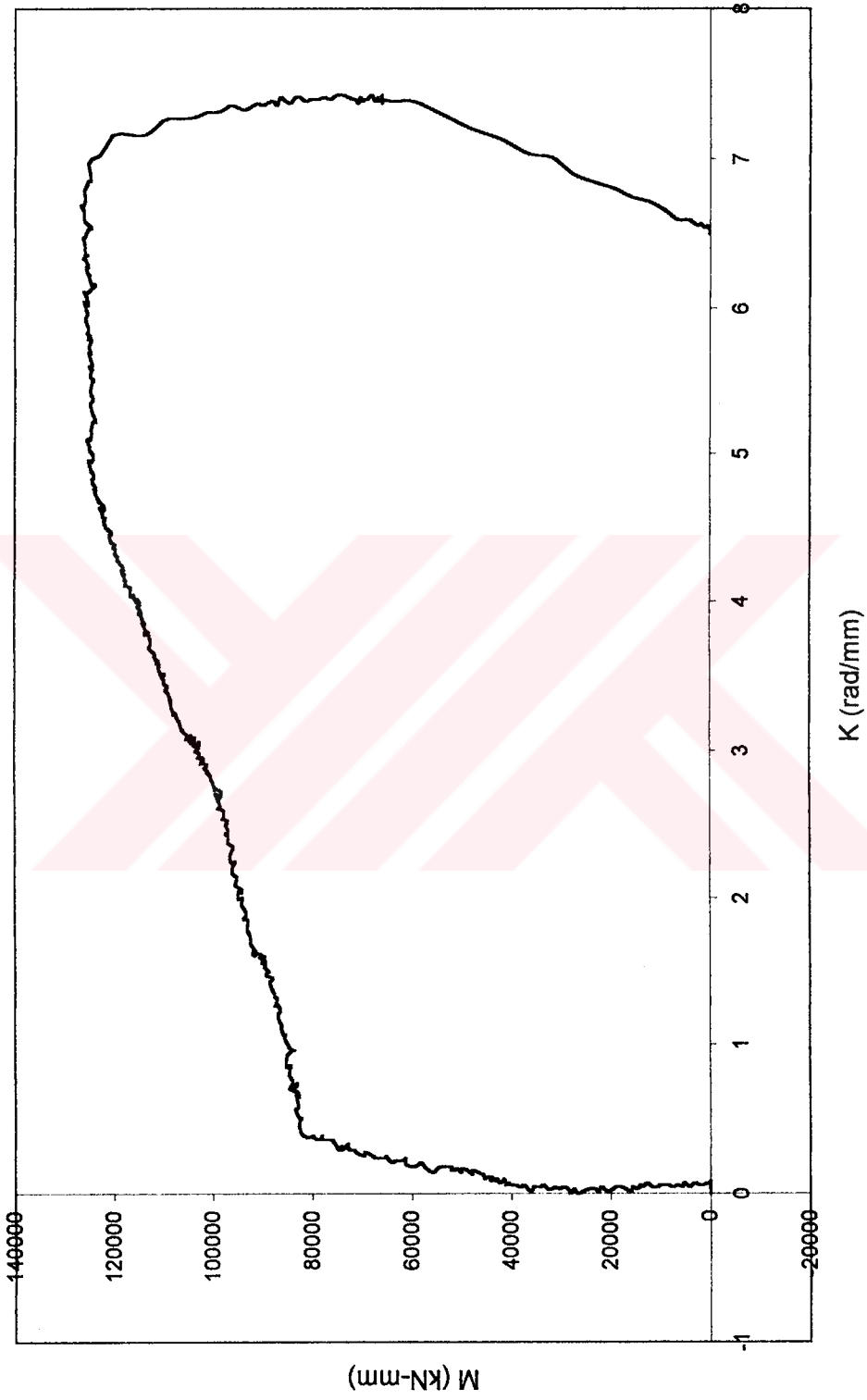
Şekil 5.2 ile Şekil 5.6 arasında model kirişlerin moment-eğrilik grafikleri görülmektedir. Bu grafiklerin incelenmesi sonucu iki nokta göze çarpmaktadır. Bu noktalardan ilki, güçlendirilen kirişlerin başlangıç eğriliklerinin referans kirişine göre çok daha az olduğu, ama akma noktasından sonra her iki durum içinde grafiğin eğiminin birbirine yakın olduğudur. Kirişlerin kırılma noktasındaki eğrilikleri ise birbirine yakın çıkmıştır. İkinci önemli nokta ise önce düşey yüke maruz kaldıktan sonra, güçlendirilen T1 kirişinin moment-eğrilik grafiğinin diğer kirişlere göre farklılık gösterdiğidir. Güçlendirilme işlemine başlayıncaya kadar TM referans kirişi ile benzer özellikler gösteren T1 kirişinin, güçlendirme başladıktan sonra taşıdığı moment miktarında önemli bir artış olmasına rağmen, eğriliğinde önemli bir değişim görülmemiştir.



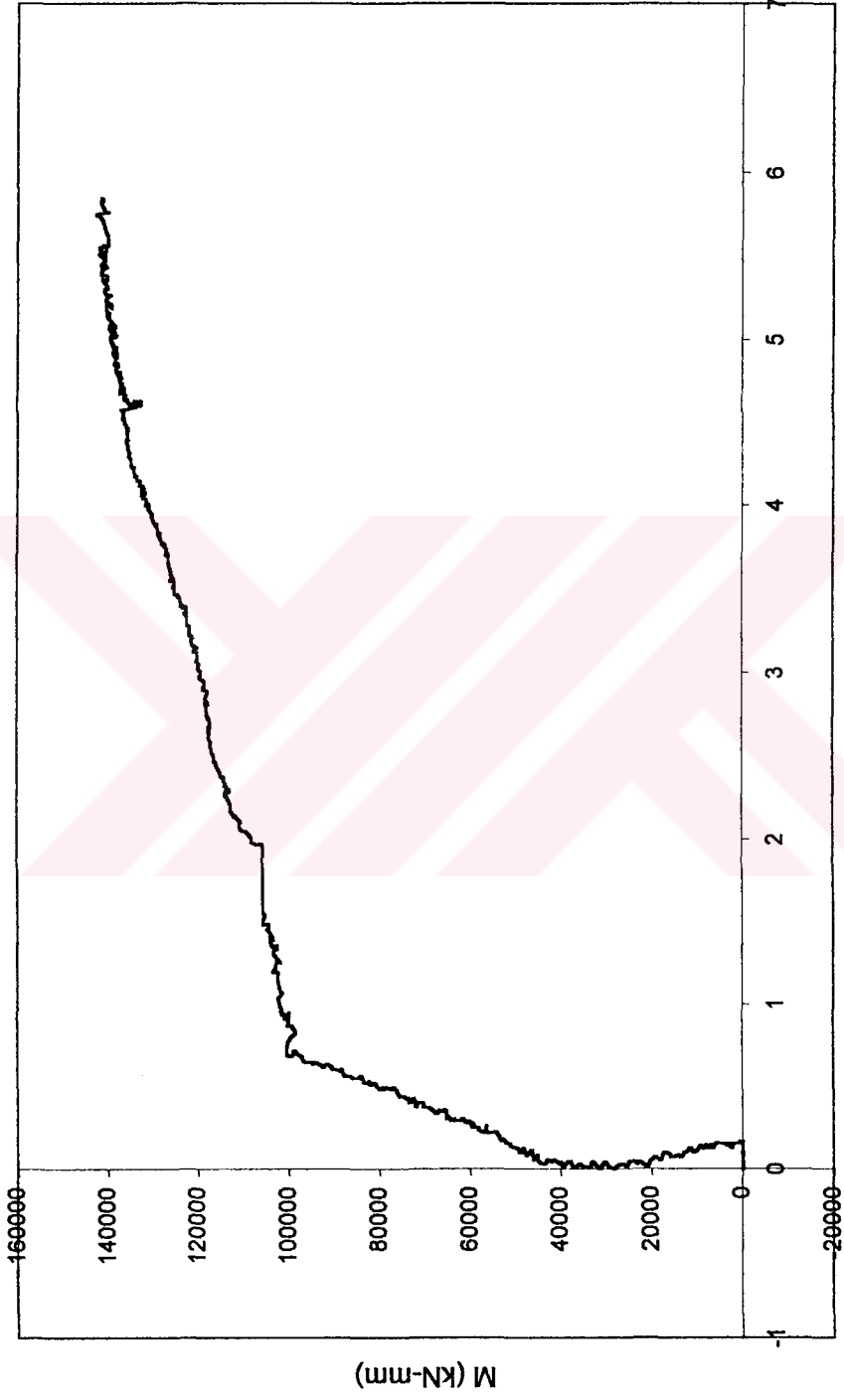
Şekil 5.2. TM numaralı kirişin M-K grafiği



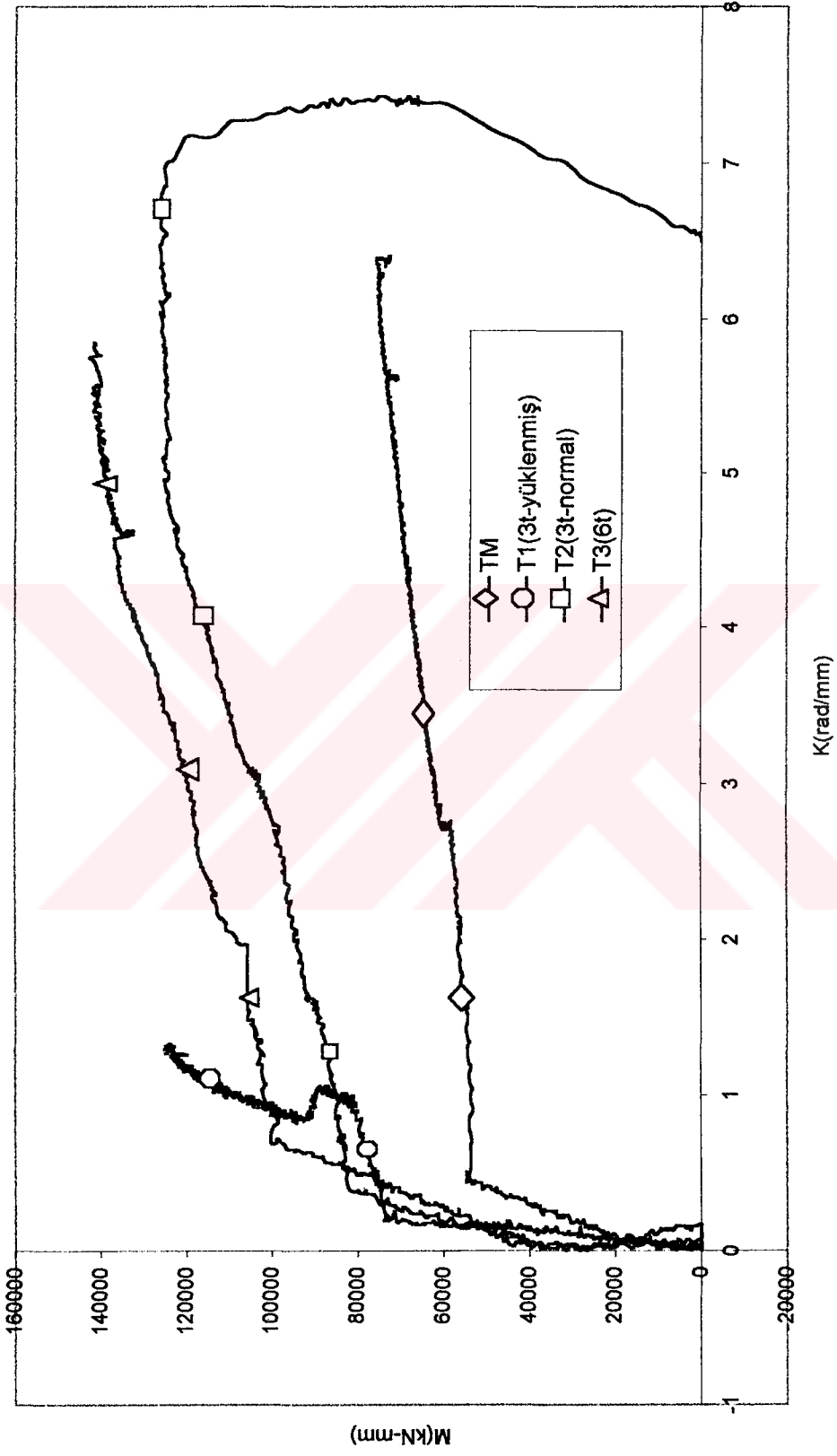
Şekil 5.3.T.1 numaralı kirişin M-K grafiği



Şekil 5.4.T2 numaralı kirişin M-K grafiği



Şekil 5.5.T3 numaralı kirişin M-K grafiği



Şekil 5.6. Deney kirişleri M-K grafiği

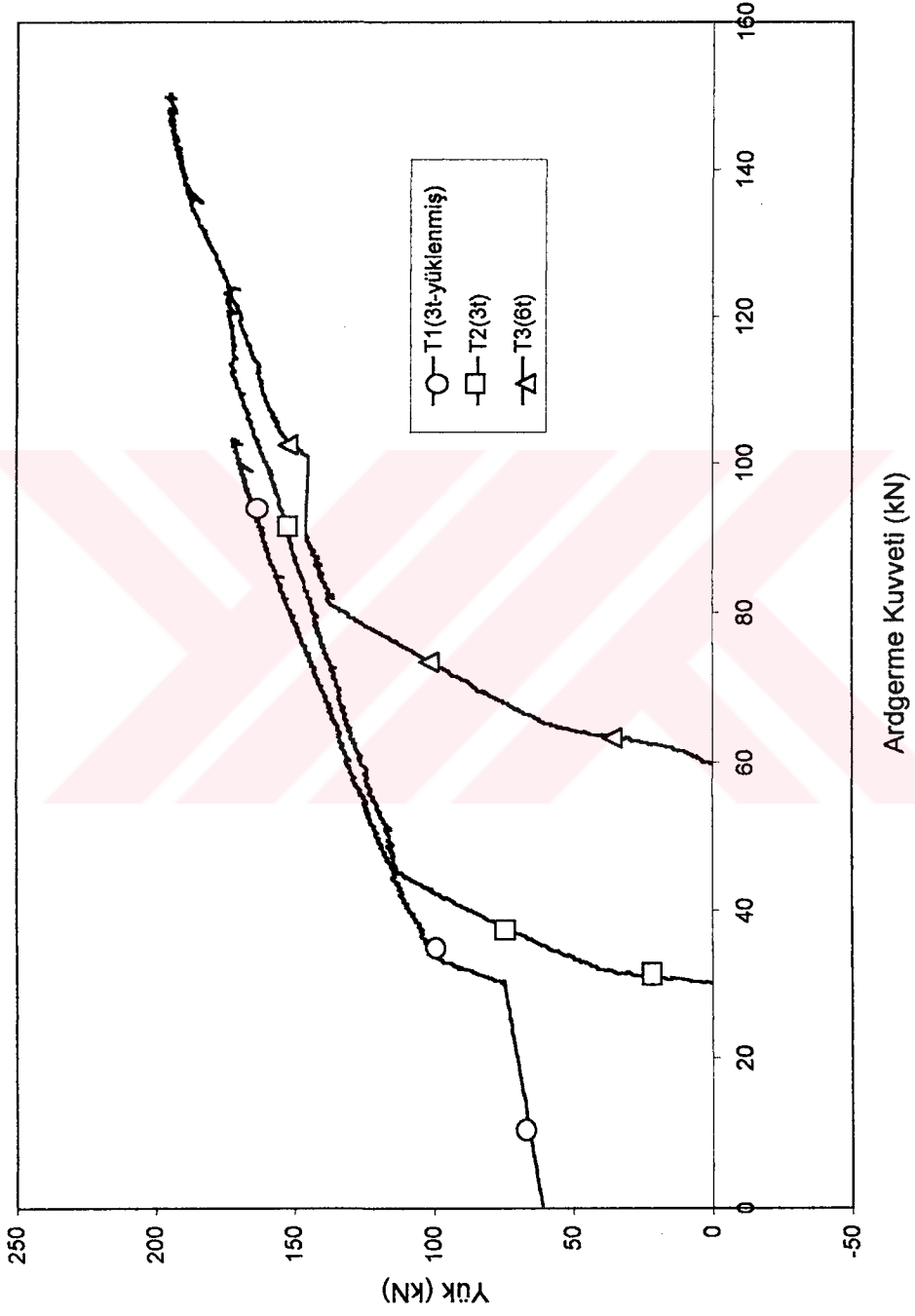
5.6. Ardgerme Kuvveti

Deneyler sırasın ardgerme kablosunda oluşan yük miktarı da gözlenmiş ve bu değişim Şekil 5.7 arasında yük ardgerme kuvveti olarak grafiklerde sunulmuştur. Çizelge 5.6 da deney elemanlarının başlangıç ardgerme yükü, son ardgerme yükü, kırılma yükü ve son deplasman miktarları bir tablo halinde sunulmuştur.

Çizelge 5.5. Deney elemanları ardgerme yük değerleri

Kiriş İsmi	Başlangıç Ardgerme Yükü (kN)	Son Ardgerme Yükü (kN)	Son Deplasman (mm)	Kırılma Yükü (kN)	Son / Başlangıç Ardgerme Oranı
T1	30	171,9	96,661	169,717	5,73
T2	30	173,4	96,660	169,698	5,78
T3	60	195,1	86,304	195,156	3,25

Bu tabloyu incelediğimiz zaman ilk ardgerme yükü ile son ardgerme yükü arasında belli bir oran olduğu ve son ardgerme yükünün ilk ardgerme yükünü bağlı olduğunu görmekteyiz. Aynı ardgerme kuvveti verilen T1 ve T2 kirişlerinde T1 kirişi T2'den farklı olarak önceden yüklenmiş olmasına rağmen, son ardgerme yükleri birbirine yakın değerler çıkmıştır. Ayrıca yük-ardgerme grafiklerinin incelenmesi sonucunda grafiklerin eğiminin belli bir noktadan sonra değiştiği ve ardgerme kuvvetindeki artışın yükteki artışa göre daha fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 5.7. Deney kirişleri yük-ardgerme grafiği

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Gazi Üniversitesi Laboratuvarında yapılan bu çalışmada T-kesitli betonarme kirişlerin ardgerme ile güçlendirilmesi incelenmiştir. Hem deneysel çalışmalarda, hem de pratik uygulamalarda ardgerme ile kirişlerin güçlendirilmesi günümüzde gittikçe rağbet gören bir yöntemdir ve bu çalışmada literatürde olmayan farklı bir sistem kullanılmıştır. Deneylerin amacı ardgerme ile güçlendirmenin T-kesitli kirişlerin eğilme dayanımını ne ölçüde artırdığını bulmaktır. Ayrıca ardgerme yönteminin kirişlerin kırılmaya kadar olan davranışına etkilerini incelemek ve çelik plaklarla yapılan sistemin uygulama aşamasında yaşayabileceği sorunları ortaya çıkarmaktır. Deneyler sırasında incelenen değişken ise ardgerme kuvveti olmuştur. Ayrıca kırılan deney elemanlarından bir tanesi önceden referans kirişinin %80'ine kadar yüklenmiş ve daha sonra güçlendirilmiştir. Bu sayede ardgerme ile güçlendirmenin pratik uygulamalarda çoktan deformasyona uğramış olan kirişlerin hem davranış, hem de kapasiteleri üzerine etkilerini incelemektir.

6.1. Sonuçlar

1. Bu çalışmada incelenen ardgerme ile güçlendirme yöntemi kirişlerin eğilme kapasitesini artırmakta oldukça etkili olmuştur. 3 ton güçlendirilen T1 ve T2 kirişlerinin kırılma yükleri TM referans kirişine göre %69 daha yüksek çıkmıştır. 6 ton güçlendirilen T3 kirişi ise TM referans kirişine göre %95 artmıştır.
2. Başlangıç ardgerme kuvvetinde değişim, kirişlerin eğilme kapasitesini artırmada etkili olmuştur. Daha yüksek başlangıç ardgerme kuvveti verilen kirişlerde, eğilme kapasitesi daha yüksek çıkmıştır. Aynı ardgerme kuvveti ile güçlendirilen T1 ve T2 kirişleri aynı yükte kırılırken, T3 kirişi bu kirişlere göre %15 daha yüksek yükte kırılmıştır.
3. Başlangıç ardgerme kuvvetinin değişmesi kirişlerin eğilme kapasitesini artırsa da, bu kirişlerin davranışını etkilememiştir.

4. Deneyler sırasında iki kiriş aynı başlangıç ardgerme kuvvet ile güçlendirilmiştir. Bu iki kirişten bir tanesi güçlendirilmeden önce referans kirişinin %80'e kadar düşey yüklendikten sonra güçlendirilirken, diğeri sadece güçlendirilmiştir. Bu iki kiriş karşılaştırıldığında kırılma yüklerinin aynı olduğu görülmektedir. Ayrıca kırılmaya kadar olan davranışları benzerdir.
5. Kirişlerin sünekliklerinin karşılaştırılması yapıldığında, güçlendirilen kirişlerin referans kirişine göre daha az sünek olduğu görülmüştür. TM kirişinin süneklik oranı 12,69 iken T1, T2 ve T3 kirişlerinin süneklik oranları ise sırası ile 5,55 , 5, 74 , 4,5 olmuştur. Burada güçlendirilen kirişlerde deney güvenliği de düşünülerek, ardgerme kablosu akmadan deneyin sona erdirildiği akılda tutulmalıdır. Deneyler daha fazla deplasman yapan kirişlerin ardgerme kablosuna temas etmesinden sonra durdurulmuştur. Eğer deneyler ardgerme kablosunun akma noktasına kadar devam edilmiş olsaydı, kirişlerde daha sünek davranış görülebilirdi.
6. Deneyler sonucunda ardgerme kablosunda oluşan ardgerme kuvveti miktarı verilen ilk ardgerme kuvvetine bağlıdır. Ayrıca ardgerme kablosunda deneyler sonrasında önemli bir kuvvet artışı olmuştur. Örneğin, 6 tonluk başlangıç ardgerme kuvveti verilen kirişte, deney sonunda ardgerme kuvveti 20 tona yaklaşmıştır. T1 kirişinde ardgerme kuvveti 5,73 ve T2 kirişinde 5,78 kat artarken, T3 kirişinde bu artış oranı 3,25 de kalmıştır. Bu da başlangıç ardgerme kuvveti arttıkça, ardgerme kuvvetindeki artışın azaldığı görülmektedir.
7. Sadece güçlendirilen iki kiriş ile referans kirişinin moment-eğrilik ilişkisi benzer çıkarken, önceden yüklendikten sonra güçlendirilen kirişte moment-eğrilik ilişkisi çok farklı çıkmıştır. Ayrıca diğer kirişlere oranla eğrilik miktarı üçte bir düzeyinde kalmıştır. T1, T2 ve T3 kirişlerinin enerji tüketme miktarlarını karşılaştırsak TM referans kirişinin %55, %62 ve %68 de kaldıklarını görmekteyiz.

8. Deneylerin ilk kısmında ardgerme uygulaması sırasında oluşan çatlaklar, önemli bir gelişme göstermemiştir. Deneylerin ikinci kısmında düşey yükleme yapılan kirişlerde orta bölgede eğilme çatlakları hakim olmuştur.

6.2. Öneriler

1. Bu çalışmada sınırlı sayıda kiriş üzerinde ardgerme kuvvetinin değişmesinin etkileri incelenmiştir. Daha ilerdeki çalışmalarda daha çok sayıda örnek üzerinde araştırma yapılmalıdır.
2. Bu çalışmada ardgerme kuvvetini kirişlere aktaran çelik plakalar kirişlere yüksekliğin orta noktasında bağlanmıştır. Çelik plakaların farklı yükseklikte bağlanması ve bunun kiriş dayanımı ve davranışı üzerine etkileri incelenmelidir.
3. Daha önce yapılan başka çalışmalarda kullanılan ardgerme kablolarının boyunun kirişlerin dayanımına etkileri incelenmiştir. Burada gösterilen sistem için farklı boylarda ardgerme kablosu kullanılarak kiriş dayanımı ve davranışı üzerindeki etkileri incelenebilir.
4. Buradaki çalışmada deneyler ardgerme kablosu akana kadar devam edilmemiştir. Daha ileriki çalışmalarda ardgerme kablosu akana kadar deneyler devam ettirilip, bunun hem kirişlerin dayanımı, hem de sünekliğine etkileri incelenebilir. Bu noktada daha ufak kesitli bir ardgerme kablo seçilir ve daha yüksek başlangıç ardgerme kuvveti uygulanırsa burada anlatılan ardgerme sisteminin davranışı ile ilgili olarak daha sağlıklı sonuçlara ulaşılabilir.
5. Çelik plaklara gelen yükler dikkate alınarak, daha büyük ardgerme kuvvetleri kullanılacak deneylerde ve pratik uygulamalarda çelik plakların tasarımına özen gösterilmelidir.

6. Korozyon ve yangın gibi etkilerden aridgerme kablosu, donanımı ve elik plakları korumak için pratik uygulamalarda çeşitli sistemler dşitnşlmelidir.

KAYNAKLAR

1. Nawy, E. G., "Basic concepts" , Prestressed Concrete A Fundamental Approach 4th ed. , *Prentice-Hall international series in civil engineering and engineering mechanics*, 1-30 (2003).
2. Angel C. Aparicio, Gonzalı Ramos, Juan R. Casas, "Testing of externally prestressed concrete beams", *Engineering Structures*, 24, 73-84 (2002).
3. Bijan O. Aalami, David T. Swanson, "Innovative Rehabilitation of a Parking Structure", *Concrete International*, February, 298-303 (1988).
4. G. Tassi, N. P. Lukin, "Updating and Reconstruction of Concrete Road Bridges", Concrete Technology for Developing Concrete, *Fourth International Conference, Eastern Mediterranean University*, North Cyprus, 564-572 (1996).
5. Kiang Hwee Tan, Robert A. Tjandra, " Strengthening of Precast Concrete Girder Bridges by Post-Tensioning for Continuity", *PCI Journal*, May-June, 56-71 (2003).
6. P. R. Chakrabarti, Tai Ping Whang, Wade Brown, Kenan M. Arsad, Edwardo Amezea, "Unbonded Post-Tensioning Tendons and Partially Prestressed Beams", *ACI Structural Journal*, September-October, 616-625 (1994).
7. Ünsal T. Ç. , "Güçlendirilmiş betonarme kirişlerin davranış ve dayanımları", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara , 64-67 (1989).
8. E. Uğur, " Reinforced Concrete", *METU*, Ankara, 268-275 (1997).
9. TS 500, Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, *Türk Standardları Enstitüsü* (2000).
10. TS 3233 Öngerilmeli Beton Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, *Türk Standardları Enstitüsü* (1979).

ÖZGEÇMİŞ

Turgut ESENCAN 1977 yılında Ankara’da doğmuştur. Orta ve lise öğrenimini Ankara Atatürk Anadolu Lisesi’nde tamamlamıştır. Ardından yüksek öğrenimini Orta Doğu Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nde tamamlayıp 2000 yılında mezun olmuştur. Daha sonra 2000 yılında Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Anabilim dalında yüksek lisans programına başlamıştır.

