T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

128255

TÜNEL KALIP PERDE DUVARLARININ DEPREM DAVRANIŞININ DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI

Şevket Murat ŞENEL

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
...TEZİ

Doktora Tezi

128255

DENİZLİ-2001

TÜNEL KALIP PERDE DUVARLARININ DEPREM DAVRANIŞININ DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI

Pamukkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Tarafından Kabul Edilen

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

Şevket Murat ŞENEL

Tez Savunma Sınavı Tarihi: 16 / 11 / 2001

DENİZLİ-2001

TEZ SINAV SONUÇ FORMU

Bu tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Hasan KAPLAN
(Yönetici)

Prof. Dr. Ergin ATIMTAY
(Jüri Üyesi)

Prof. Dr. M. Duran TEKİN
(Jüri Üyesi)

Prof. Dr. Adnan KUYUCULAR
(Jüri Üyesi)

Doç. Dr. Muzaffer TOPÇU
(Jüri Üyesi)

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
30.11.20 tarih ve .....32/3..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Güngör ÜLKÜ
Müdür
Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Tünel Kalıp Perde Duvarların Deprem Davranışının Deneysel Olarak Araştırılması konulu tez çalışması Doç. Dr. Hasan Kaplan'ın yönetiminde gerçekleşmiştir. Deneysel çalışma konusundaki teşviki ve çalışma boyunca verdiği destekten ötürü sayın hocama teşekkür ederim. Deneysel çalışma konusunda bizi cesaretlendiren, bu tez çalışmasının TUBITAK projesi olarak önerilmesinde bize yol göstericilik yapan Prof. Dr. Ergin Atımtay hocama, vermiş olduğu destek ve bize duyduğu güvenden ötürü şükran borçluyum. Bu çalışmaya destek veren TUBITAK'a (INTAG-564) da ayrıca teşekkür ederim. Deneysel çalışmalar konusunda tecrübe kazanma çabamıza, İTÜ deneyimini bizlerle paylaşarak destek veren Yrd. Doç. Dr. Alper İlki'ye teşekkür ederim. Numunelerin hazırlanması sırasında göstermiş olduğu destek ve kolaylıktan dolayı Modern Beton A.Ş. çalışanlarına ve Üretim Müdürü Sn. Barış Kılınç'a teşekkür ederim. Deneyler boyunca yardımlarını esirgemeyen çalışma arkadaşlarım Y.Selim Tama, Gökhan İmançlı, Nihat Çetinkaya, Soner Haldenbilen'e ve laboratuar görevlilerine şükran borçluyum.

Yetişmemde hiçbir fedakarlıktan kaçınmayan, destek ve sevgilerini her zaman hissettiğim aileme ve uzun süren çalışma boyunca desteğini esirgemeyen sevgili eşim Dilek Şenel'e teşekkür ederim.

Şevket Murat ŞENEL

ÖZET

Betonarme yapı elemanlarının farklı şekilde etki eden yükler altındaki davranışları ile ilgili deneysel ve kuramsal çalışmalar çok uzun bir zamandır devam etmektedir. İnsanların kırsal kesimlerden kentlere doğru yapmış olduğu göçler sonucu kentlerde yığılmaya başlayan nüfus çok katlı bina yapımını bir zorunluluk haline getirmektedir. Başka bilim dallarının gelişme süreci içinde uğraşılan konular ve kullanılan malzemelerde geçen zaman içinde büyük farklılıklar meydana gelmiştir. Betonarme ise üzerinde yüz yıldan fazladır çalışılmasına rağmen gizemini korumaya devam etmektedir. Diğer malzemeler ile karşılaştırıldığında fiyatının ucuzluğu ve istenilen şekle sokulabilmesi gibi özellikleri nedeniyle, bugün de özellikle ülkemiz şartlarında alternatifsiz olma özelliğini sürdürmektedir.

Çok katlı betonarme yapıların deprem karşısında güvenliğini arttırmak için bulunabilecek en uygun ve ucuz çözüm perde duvarlar kullanmaktır. Yaşanan deprem felaketleri perde duvarlı binaların çok daha az hasar görerek bu büyük felaketlere dayandığını göstermiştir.

Betonarme davranışı konusunda özellikle son elli yıl içinde davranışı modellemeye yönelik çok sayıda kuramsal model geliştirilmiştir. Buna rağmen üzerinde kesin olarak mutabakata varılmış bir model yoktur. Sargılamanın betonarme davranışı üzerinde olumlu etkileri olduğu bilinmektedir. Kullanılan donatının da elemanın sünek davranışı üzerinde etkili olduğunu yapılan kuramsal ve deneysel çalışmalar göstermiştir. Bu çalışmada da 12 perde duvar numunesinin yön değiştiren tekrarlı yükler altında davranışı deneysel ve kuramsal olarak incelenmiştir.

Deney numuneleri hazırlanırken, gövde ve sargı donatısı yerleşimleri ve miktarları değişken olarak alınmış, farklı yerleşim ve oranlara sahip numunelerin yük-deplasman ve moment-eğrilik mukabeleleri araştırılmıştır.

Çalışmanın 2. bölümünde konu ile ilgili önceki çalışmalar hakkında bilgi verilmektedir. 3. bölümde ise beton ve donatı davranışı hakkında bilgi verilmiş, mevcut kuramsal modellerden bazıları kısaca açıklanmıştır. Bu bölümde anlatılan Mander yaklaşımı kullanılarak sargılı kesitlerin davranışı modellenmiştir. Deney numunelerinde kullanılan sargılama şeklinin beton dayanımı üzerinde çok büyük etkileri olmasa da süneklik üzerinde etkili olduğu anlaşılmıştır. Çalışmanın 4. bölümünde ise numunelerin tasarımında kıstas alınan konular hakkında bilgi verilmiştir. Ayrıca hazırlanan deney numunelerinin özellikleri, deneylerin yapılış yöntemi gibi konular da bu bölümde anlatılmıştır.

Deneysel sonuçların sunulması ve bu sonuçların kuramsal sonuçlar ile karşılaştırılması ise bölüm 5'te yapılmıştır. Kuramsal hesapların elde edilebilmesi için geliştirilen bilgisayar uygulaması tarafından hesaplanan sonuçların deneysel sonuçlara oldukça yakın olduğu görülmüştür.

Yukarıda bahsedilen bölümlerden oluşan çalışmanın sonuçları ise 6. bölümde verilmiştir.

Şevket Murat ŞENEL

SUMMARY

Theoratical and experimental studies on the behavior of reinforced concrete members under different type of loadings have been studied for a long time. Crowded populatins in the cities coused by migration from urbain regions make necessary to build higher buildings. Investigated subjects and used materials of many kind of science area was widely improved and changed during time period. Inspite of many studies was performed on for 100 years, the reinforced concrete continues to keep it's mystry. Especially in our country, concrete continues to become a rivaled material becouse of the properties such as cheapness and formability with respect to other materials.

The cheapest and most appropriate solution to improve the safety of high rise reinforced concrete buildings is to use shear walls. The past experinces of earthquake disasters show that buildings with shear walls can withstand to these effects without significant damage.

There have been made a lot of studies especially for fifty years which aimed to model the behavior of reinforced concrete. However, there is no behavior model which was reached an agreement. It was known that confinement improves the concrete beavior. Theoratical and experimental studies also shows that steel bars also effects the ductile behavior of member. In this study, behavior of 12 reinforced concrete shear wall was examined under cyclic-static load reversals.

Reinforcement amounts and arrangaments used in web and flange regions are accepted as variable and load-displacement and moment-curvature responses of specimens which have different reinforcement amounts and arrangements were invetigated.

In the 2nd. Chapter, the informations about the recent studies was mentioned. In the 3rd. Chapter some of theoratical models was explained and some information about the

behavior of concrete and steel is given. Mander approach which is mentioned in this chapter was used as a confined concrete model in this study. It was understood that the shape of confinement which was used in specimens has not significant effects on bearing capacity but effects the bearing strain. In the 4th. Chapter the basis of theory which concerned for design of shear wall specimens was mentioned. Moreover, properties of specimens, procedure of experiments was mentioned in this chapter.

Presentation of experimental results and comparison of theoratical and experimental results were made in 5th. Chapter. It was seen that the results of computer application which was designed during this study are quite closer to that of experimental ones.

The results of this study which composed of chapters mentioned above was given in the 6 th. Chapter.

Şevket Murat ŞENEL

İÇİNDEKİLER

İçindekiler IX
Şekiller Dizini XII
Çizelgeler Dizini XVIII
Simgeler Dizini XX

Birinci Bölüm

GİRİŞ

1. GİRİŞ 1

İkinci Bölüm

ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 8
2.1 Giriş 8
2.2 Beton Ve Donatı Çeliği Üzerine Yapılan Çalışmalar 8
2.2.1 Beton Üzerine Yapılan Çalışmalar 8
2.2.2 Donatı Çeliği Üzerine Yapılan Çalışmalar 13
2.3 Eleman Davranışı İle İlgili Çalışmalar 16

Üçüncü Bölüm

BETON VE ÇELİK İÇİN DAVRANIŞ MODELLERİ

3. BETON VE ÇELİK İÇİN DAVRANIŞ MODELLERİ 22
3.1 Giriş 22
3.2 Sargılı Beton İçin Gerileme-Şekil Değiştirme İlişkisi 22
3.2.1 Kent Ve Park Modeli 25
3.2.2 Saatcioğlu Ve Razvi Modeli 27

3.2.3 Mander Modeli 29
3.2.4 Sargılı Beton İçin İskelet Gerilme-Şekil Değiştirme Eğrisi 33
3.3 Donatı Çeliğinin Gerilme-Şekil Değiştirme Davranışı 34
3.3.1 Monoton Artan Yükleme Durumu 34
3.3.2 Tekrarlı Yükler Altında Donatı Çeliğinin Davranışı 36
3.3.3 Dinamik Yükleme Durumu 38

Dördüncü Bölüm

AMAÇ VE YÖNTEM

4. AMAÇ VE YÖNTEM 41
4.1 Deneysel Çalışmanın Amacı 41
4.2 Numunelerin Tasarımı Ve Üretilmesi 46
4.2.1 Numunelerin Tasarımı 46
4.2.2 Numunelerin Üretilmesi 54
4.3 Yükleme Düzeneği 56
4.4 Veri Toplama Sistemi 59
4.5 Yüklemenin Yapılış Şekli 62

Beşinci Bölüm

TERSİNİR YÜKLER ALTINDA PERDE DUVARLARIN EĞİLME DENEYLERİ VE KESİT HESAPLARI

5. TERSİNİR YÜKLER ALTINDA PERDE DUVARLARIN EĞİLME DENEYLERİ VE KESİT HESAPLARI 66
5.1 Giriş 66
5.2 Malzeme Deneyleri 66
5.2.1 Beton Basınç Deneyleri 67
5.2.2 Donatı Çeliği Çekme Deneyleri 68
5.3 Kesit Hesaplarında Kullanılan Davranış Modelleri 70
5.3.1 Sargılı Beton Davranış Modeli 70

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU DOKÜMANTASYON MERKEZİ

5.3.2 Donatı Çeliği Davranış Modeli 73
5.4 Kuramsal Hesap Yöntemi 77
5.4.1 Yapılan Kabuller 77
5.4.2 Hesap Yöntemi 78
5.5 Deney Sonuçları Ve Kuramsal Hesaplar 80
5.5.1 Deneysel Yük-Deplasman İlişkileri 84
5.5.2 Deneysel Moment-Eğrilik İlişkileri 90
5.5.3 Numunelerde Çatlak Oluşumları 96
5.5.4 Deneysel Sonuçlar İle Kuramsal Hesapların Karşılaştırması 97
5.5.5 Boyuna Donatı Miktarının Süneklik Üzerindeki Etkisi 106
5.5.6 Boyuna Donatı Miktarının Dayanım Artışı Üzerindeki Etkisi 110
5.5.7 Bilgisayar Uygulaması İle Perde Kesitlerinin İncelenmesi 115

Altıncı Bölüm

SONUÇLAR

6. SONUÇLAR 120

KAYNAKLAR 126

EKLER

Ek A Donatı Çizimleri 134
Ek B Donatı Çeliği Deney Sonuçları 141
Ek C Fotoğraflar 150
Ek D Farklı Sargılama Yöntemlerinin Eleman Davranışına Etkisi 162

ÖZGEÇMİŞ 173

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1: Zemin katın kaybolduğu çerçeve sistem binalar (Marmara Depremi-1999) 2

Şekil 1.2: Gölcükte perde sistemine sahip çok katlı bina (Marmara Depremi-1999) 2

Şekil 1.3: Perde duvarların alçak ve yüksek olarak sınıflandırılması 4

Şekil 1.4: H_y/L oranına göre ACI ve Yeni Zelanda Yönetmeliklerinin K-katsayıları 5

Şekil 1.5: Tersinir yükler altında kesme kırılması 5

Şekil 1.6: Tersinir yükler altında sünek perde davranışı (Goodsir,1985) 6

Şekil 3.1: Tekrarlı yükler altında beton için gerilme-şekil değiştirme ilişkisi 24

Şekil 3.2: Monoton yükleme altında sargılı beton davranışı için Kent-Park modeli 25

Şekil 3.3: Saatcioglu ve Razvi tarafından geliştirilen monoton artan yükleme için gerilme-şekil değiştirme bağıntısı 27

Şekil 3.4: Dikdörtgen kesitlerde yanal sargı basıncının dağılımı 28

Şekil 3.5: Monoton artan yükleme durumu için gerilme-şekil değiştirme bağıntısı 30

Şekil 3.6: Etkili olarak sarılan kesitin görünümü 31

Şekil 3.7: Monoton artan yükleme altında çeliğin gerilme-şekil değiştirme davranışı 33

Şekil 3.8: Tekrarlı yükler altında donatı çeliğinin gerilme-şekil değiştirme davranışı (Kato,1973) 37

Şekil 3.9: Dinamik yükleme altında donatı çeliğinin zarf eğrisindeki değişim 39

Şekil 3.10: Yön değiştiren dinamik yükleme altında donatı çeliğinin davranışı 40

Şekil 4.1: Tersinir yükler altında ankastre kiriş davranışı 41

Şekil 4.2: Perde duvar modeli 47
Şekil 4.3: Perde duvar deney numunesinin boyutları 47
Şekil 4.4: Farklı gövde ve sargı donatısı yerleşimleri 48
Şekil 4.5: Deney numunelerindeki donatı yerleşimleri 49
Şekil 4.6: Kare hasır şeklinde bağlanmış gövde donatıları 50
Şekil 4.7: Gövde tip 1-Sargı tip 1 (G1-S1) 51
Şekil 4.8: Gövde tip 1-Sargı tip 2 (G1-S2) 51
Şekil 4.9: Gövde tip 1-Sargı tip 3 (G1-S3) 51
Şekil 4.10: Gövde tip 1-Sargı tip 4 (G1-S4) 51
Şekil 4.11: Gövde tip 2-Sargı tip 1 (G2-S1) 52
Şekil 4.12: Gövde tip 2-Sargı tip 2 (G2-S2) 52
Şekil 4.13: Gövde tip 2-Sargı tip 3 (G2-S3) 52
Şekil 4.14: Gövde tip 2-Sargı tip 4 (G2-S4) 52
Şekil 4.15: Gövde tip 3-Sargı tip 1 (G3-S1) 53
Şekil 4.16: Gövde tip 3-Sargı tip 2 (G3-S2) 53
Şekil 4.17: Gövde tip 3-Sargı tip 3 (G3-S3) 53
Şekil 4.18: Gövde tip 3-Sargı tip 4 (G3-S4) 53
Şekil 4.19: Numune donatılarının bağlanması ve kalıpların hazırlanması 54
Şekil 4.20: Numune betonlarının dökülmesi 55
Şekil 4.21: Numune kalıplarının sökülmesi 55
Şekil 4.22: Deneyler sırasında kullanılan yükleme düzeneği 56
Şekil 4.23: Deneye başlamadan önceki son durum 58
Şekil 4.24: Mesnetlerde itme ve çekmeye karşı hareketin önlenmesi 58
Şekil 4.25: Düzlem dışına hareket önleyiciler 59
Şekil 4.26: Yer değiştirme ölçerlerin kullanımı 61
Şekil 4.27: Yatayda kullanılan yer değiştirme okumaları ile eğrilik hesabı 61
Şekil 4.28: Yatayda ve düzlem dışına doğru oluşan deplasmanların kontrolü 62
Şekil 4.29: Yükleme ünitesi ve ADU veri toplama ünitesi 65
Şekil 4.30: Deney boyunca veren deplasmanının değişimi 65
Şekil 5.1: Standart silindir numunelerin kırıldıktan sonraki görünümü 67
Şekil 5.2: Çekme deneyi uygulanmış donatı çubuklarının görünümü 69

SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ

Şekil 5.3: Sargı donatısı şekilleri ve ölçüleri (mm.) 71
Şekil 5.4: S1, S2, S3 ve S4 sargıları için elde edilen gerilme-şekil değiştirme eğrileri 73
Şekil 5.5: Çekme ve basınç altında çelik gerilme- şekil değiştirme ilişkisi 75
Şekil 5.6: Kuramsal hesaplar sırasında kullanılan gerilme-şekil değiştirme kabulleri 75
Şekil 5.7: Pekleşme bölgesinde çekme testi ve türetilen fonksiyona ait verilerin dağılımı..... 76
Şekil 5.8: Perde duvar kesitinde oluşan şekil değiştirme ve kuvvetlerin gösterimi..... 78
Şekil 5.9: α x β katsayılarının değişimi 79
Şekil 5.10: Ölçüm bölgesinde oluşan kesit tesirleri..... 81
Şekil 5.11: G2_S3 numunesi için elde edilen yük okumaları..... .82
Şekil 5.12: Çekme anında ulaşılan tepe noktalarındaki şekil değiştirme dağılımı..... 83
Şekil 5.13: İtme anında ulaşılan tepe noktalarındaki şekil değiştirme dağılımı. 83
Şekil 5.14: G1_S1 Numunesi yük-deplasman ilişkisi 84
Şekil 5.15: G1_S2 Numunesi yük-deplasman ilişkisi 85
Şekil 5.16: G1_S3 Numunesi yük-deplasman ilişkisi 85
Şekil 5.17: G1_S4 Numunesi yük-deplasman ilişkisi..... 86
Şekil 5.18: G2_S1 Numunesi yük-deplasman ilişkisi..... 86
Şekil 5.19: G2_S2 Numunesi yük-deplasman ilişkisi..... 87
Şekil 5.20: G2_S3 Numunesi yük-deplasman ilişkisi..... 87
Şekil 5.21: G2_S4 Numunesi yük-deplasman ilişkisi..... 88
Şekil 5.22: G3_S1 Numunesi yük-deplasman ilişkisi..... 88
Şekil 5.23: G3_S2 Numunesi yük-deplasman ilişkisi..... 89
Şekil 5.24: G3_S3 Numunesi yük-deplasman ilişkisi 89
Şekil 5.25: G3_S4 Numunesi yük-deplasman ilişkisi 90
Şekil 5.26: G1_S1 Numunesi Moment-eğrilik ilişkisi..... 91
Şekil 5.27: G1_S2 Numunesi Moment-eğrilik ilişkisi..... 91
Şekil 5.28: G1_S3 Numunesi Moment-eğrilik ilişkisi..... 92

Şekil 5.29: G2_S1 Numunesi Moment-eğrilik ilişkisi 92
Şekil 5.30: G2_S3 Numunesi Moment-eğrilik ilişkisi 93
Şekil 5.31: G2_S4 Numunesi Moment-eğrilik ilişkisi 93
Şekil 5.32: G3_S1 Numunesi Moment-eğrilik ilişkisi 94
Şekil 5.33: G3_S2 Numunesi Moment-eğrilik ilişkisi 94
Şekil 5.34: G3_S3 Numunesi Moment-eğrilik ilişkisi 95
Şekil 5.35: G3_S4 Numunesi Moment-eğrilik ilişkisi..... 95
Şekil 5.36: G2_S4 numunesinin deneyden sonraki görünümü..... 96
Şekil 5.37: G1_S1 numunesi için kuramsal ve deneysel sonuçların değişimi .. 103
Şekil 5.38: G1_S2 numunesi için kuramsal ve deneysel sonuçların değişimi .. 103
Şekil 5.39: G1_S3 numunesi için kuramsal ve deneysel sonuçların değişimi .. 103
Şekil 5.40: G2_S1 numunesi için kuramsal ve deneysel sonuçların değişimi .. 104
Şekil 5.41: G2_S3 numunesi için kuramsal ve deneysel sonuçların değişimi .. 104
Şekil 5.42: G2_S4 numunesi için kuramsal ve deneysel sonuçların değişimi... 104
Şekil 5.43: G3_S1 numunesi için kuramsal ve deneysel sonuçların değişimi... 105
Şekil 5.44: G3_S2 numunesi için kuramsal ve deneysel sonuçların değişimi... 105
Şekil 5.45: G3_S3 numunesi için kuramsal ve deneysel sonuçların değişimi... 105
Şekil 5.46: G3_S4 numunesi için kuramsal ve deneysel sonuçların değişimi... 106
Şekil 5.47: Süneklik seviyesi ve yük taşıma kapasitesindeki artış oranları. (G1)..... 108
Şekil 5.48: Süneklik seviyesi ve yük taşıma kapasitesindeki artış oranları (G2)..... 108
Şekil 5.49: Süneklik seviyesi ve yük taşıma kapasitesindeki artış oranları (G3)..... 108
Şekil 5.50: Süneklik seviyesi ve yük taşıma kapasitesindeki artış oranları (S1)..... 109
Şekil 5.51: Süneklik seviyesi ve yük taşıma kapasitesindeki artış oranları (S2)..... 109
Şekil 5.52: Süneklik seviyesi ve yük taşıma kapasitesindeki artış oranları (S3)..... 109

Şekil 5.53: Süneklik seviyesi ve yük taşıma kapasitesindeki artış oranları (S4) 110
Şekil 5.54: Boyuna donatı oranındaki artış ile yük taşımadaki artış oranlarının karşılaştırılması (G1) 111
Şekil 5.55: Boyuna donatı oranındaki artış ile yük taşımadaki artış oranlarının karşılaştırılması (G2) 111
Şekil 5.56: Boyuna donatı oranındaki artış ile yük taşımadaki artış oranlarının karşılaştırılması (G3) 112
Şekil 5.57: Boyuna donatı oranındaki artış ile yük taşımadaki artış oranlarının karşılaştırılması (S1) 112
Şekil 5.58: Boyuna donatı oranındaki artış ile yük taşımadaki artış oranlarının karşılaştırılması (S2) 113
Şekil 5.59: Boyuna donatı oranındaki artış ile yük taşımadaki artış oranlarının karşılaştırılması (S3) 113
Şekil 5.60: Boyuna donatı oranındaki artış ile yük taşımadaki artış oranlarının karşılaştırılması (S4) 114
Şekil 5.61: Yük -eğrilik ilişkisi (Kuramsal yükleme, ε_c=0.015) 116
Şekil 5.62: Yük-Eğrilik ilişkisi içinde betonda oluşan şekil değiştirmeler(G3). 117
Şekil 5.63: Yük -eğrilik ilişkisi (Kuramsal yükleme, ε_c=0.003) 118
Şekil A.1: G1_S1 numunesi donatı çizimleri 135
Şekil A.2: G1_S1 numunesi donatı çizimleri 135
Şekil A.3: G1_S1 numunesi donatı çizimleri 136
Şekil A.4: G1_S1 numunesi donatı çizimleri 136
Şekil A.5: G1_S1 numunesi donatı çizimleri 137
Şekil A.6: G1_S1 numunesi donatı çizimleri 137
Şekil A.7: G1_S1 numunesi donatı çizimleri 138
Şekil A.8: G1_S1 numunesi donatı çizimleri 138
Şekil A.9: G1_S1 numunesi donatı çizimleri 139
Şekil A.10 G1_S1 numunesi donatı çizimleri 139
Şekil A.11 G1_S1 numunesi donatı çizimleri 140
Şekil A.12 G1_S1 numunesi donatı çizimleri 140

Şekil B.1: Spektral analiz 1 142
Şekil B.2: Spektral analiz 2 143
Şekil B.3: Spektral analiz 3 144
Şekil B.4: Çekme testi 1 145
Şekil B.5: Çekme testi 2 146
Şekil B.6: Çekme testi 3 147
Şekil B.7: Çekme testi 4 148
Şekil B.8: Çekme testi 5 149
Şekil C.1: Donatıların bir başka açıdan görünümü (G3_S1) 151
Şekil C.2: Numune G1_S1 (itme) 151
Şekil C.3: Numune G1_S1 (çekme) 152
Şekil C.4: Numune G1_S2 (çekme) 152
Şekil C.5: Numune G1_S3 (itme) 153
Şekil C.6: Numune G1_S3 (çekme) 153
Şekil C.7: Numune G1_S4 (deney sonu) 154
Şekil C.8: Numune G2_S1 (çekme) 154
Şekil C.9: Numune G2_S1 (itme) 155
Şekil C.10 Numune G2_S2 155
Şekil C.11 Numune G2_S3 (itme) 156
Şekil C.12 Numune G2_S3 (çekme) 156
Şekil C.13 Numune G2_S4 (çekme) 157
Şekil C.14 Numune G2_S4 (itme) 157
Şekil C.15 Numune G3_S1 (itme) 158
Şekil C.16 Numune G3_S1 (çekme) 158
Şekil C.17 Numune G3_S2 (Deney Sonu) 159
Şekil C.18 Numune G3_S2 159
Şekil C.19 Numune G3_S3 (itme) 160
Şekil C.20 Numune G3_S3 (çekme) 160
Şekil C.21 Numune G3_S4 (itme) 161
Şekil C.22 Numune G3_S4 (çekme) 161

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

Şekil D.1: Sargılama şeklinin betonun gerilme-şekil değiştirme davranışı üzerindeki etkileri 165
Şekil D.2: Sargılama şeklinin betonun moment-eğrilik İlişkisi üzerindeki etkileri (G1&S2)..... 166
Şekil D.3: Sargılama şeklinin betonun moment-eğrilik İlişkisi üzerindeki etkileri (G2&S2) 167
Şekil D.4: Sargılama şeklinin betonun moment-eğrilik İlişkisi üzerindeki etkileri (G3&S2) 168
Şekil D.5: Sargılama şeklinin betonun moment-eğrilik ilişkisi üzerindeki etkileri (G1&S3) 169
Şekil D.6: Sargılama şeklinin betonun moment-eğrilik ilişkisi üzerindeki etkileri (G2&S3)..... 170
Şekil D.7: Sargılama şeklinin betonun moment-eğrilik ilişkisi üzerindeki etkileri (G3&S3) 171
Şekil D.8: Moment-eğrilik ilişkisi içinde betonda oluşan şekil değiştirmeler.. 172

ÇİZELGELER DİZİNİ

		Sayfa
Çizelge 2.1:	Perde duvarların maksimum basınç gerilmeleri (ACI 318-83) (MPa)	21
Çizelge 3.1:	Şekil değiştirme hızının çelik dayanımı üzerindeki etkileri	39
Çizelge 4.1:	Boyuna donatı miktarları ,geometrik oranları ve karşılaştırma değerleri	50
Çizelge 4.2:	Deneyler sırasında uygulanan yer değiştirme değerleri	64
Çizelge 5.1:	Beton basınç deneyi sonuçları	68
Çizelge 5.2:	Donatı çeliği çekme testi sonuçları (ortalama)	69
Çizelge 5.3:	Sarılmış ve sarılmamış beton için dayanım ve şekil değiştirme değerleri	72
Çizelge 5.4:	Donatı çeliklerinin pekleşme ve kopma şekil değiştirmeleri	74
Çizelge 5.5:	G1_S1 numunesi için deneysel ve kuramsal sonuçların karşılaştırılması	97
Çizelge 5.6:	G1_S2 numunesi için deneysel ve kuramsal sonuçların karşılaştırılması	98
Çizelge 5.7:	G1_S3 numunesi için deneysel ve kuramsal sonuçların karşılaştırılması	98
Çizelge 5.8:	G2_S1 numunesi için deneysel ve kuramsal sonuçların karşılaştırılması	99
Çizelge 5.9:	G2_S3 numunesi için deneysel ve kuramsal sonuçların karşılaştırılması	99
Çizelge 5.10:	G2_S4 numunesi için deneysel ve kuramsal sonuçların karşılaştırılması	100
Çizelge 5.11:	G3_S1 numunesi için deneysel ve kuramsal sonuçların karşılaştırılması	100
Çizelge 5.12:	G3_S2 numunesi için deneysel ve kuramsal sonuçların karşılaştırılması	101

Çizelge 5.13: G3_S3 numunesi için deneysel ve kuramsal sonuçların karşılaştırılması 101
Çizelge 5.14: G3_S4 numunesi için deneysel ve kuramsal sonuçların karşılaştırılması 102
Çizelge 5.15: Akma anı ile ε_c=0,002 anındaki değerlerin karşılaştırılması.... 107
Çizelge D.1: Kuramsal hesaplarda kullanılan numunelerin özellikleri..... 164
Çizelge D.2: Sargılamanın dayanım ve şekil değiştirme üzerindeki etkisi.... 164

SİMGELER DİZİNİ

A_c :Tarafsız eksen üzerinde basınca maruz beton alanı (mm^2)

A_{cc} :Sarılmış beton enkesit alanı (mm^2)

A_e :Etkili olarak sarılmış alan (mm^2)

A_s :Boyuna donatı toplam alanı (mm^2)

A_{sh} :Enine donatı enkesit alanı (mm^2)

A_{shx} :x doğrultusuna paralel enine donatı kesit alanı (mm^2)

A_{shy} :y doğrultusuna paralel enine donatı kesit alanı (mm^2)

A_{smin} :En aza donatı içeren kesitteki boyuna donatı toplam alanı (mm^2)

b :Kesit genişliği (mm)

b'' :Betonda sargılanan alanın genişliği (mm)

b_c :Sarılmış kesit genişliği (mm)

b_{cx} :Sarılmış kesit genişliği (mm)

b_{cy} :Sarılmış kesit genişliği (mm)

C :Tarafsız eksenin en dış basınç lifine uzaklığı (mm)

d :Yükleme açıklığı (mm)

d_c :Sarılmış kesit yüksekliği (mm)

E_c :Beton elastisite modülü (MPa)

E_{sh} :Donatı için pekleşme modülü

E_{st},E_s :Çelik için elastisite modülü (MPa)

f_l :Yanal basınç (MPa)

f_l' :Etkili yanal basınç (MPa)

$f_{l\,x}'$:x doğrultusundaki etkili yanal basınç (MPa)

$f_{l\,y}'$:y doğrultusundaki etkili yanal basınç (MPa)

f_c :Betonda oluşan basınç gerilmesi

f'_{cc} :Sargılı beton basınç dayanımı (MPa)

f'_{co} :Sargısız beton basınç dayanımı (MPa)

f_{si} :i seviyesindeki donatıda oluşan gerilme (MPa)

f_{yh} :Sargı donatısı akma dayanımı (MPa)

h_d :Kat yüksekliği

H_y :Perde duvarın zeminden yüksekliği

K :Deprem hesap katsayısı

k_1 :Beton dayanım artışı katsayısı

k_2 :Beton şekildeğiştirme artışı katsayısı

k_e :Sargı etki katsayısı

L :Perde duvarın uzunluğu

M_{deney} :Deneysel moment değeri (kNm)

M_{teori} :Kuramsal moment değeri (kNm)

P_{deney} :Deneysel yük değeri (kN)

P_{teori} :Kuramsal yük değeri (kN)

s :Sargı donatıları arasındaki mesafe (mm)

s' :Sargı donatıları arasındaki temiz açıklık (mm)

S_l :Boyuna donatılar arasındaki mesafe (mm)

T :Kesme kuvveti

w' :Boyuna donatılar arasındaki mesafe (mm)

Z :Sargılı beton gerileme-şekildeğiştirme eğrisinde düşen kolun eğimi

α :Eşdeğer dikdörtgen dağılımı için katsayı

β :Eşdeğer dikdörtgen dağılımı için katsayı

ε_{20c} :Sarılmış betonda dayanımın %20'sinekarşılık gelen şekildeğiştirme

ε_{50c} :Sarılmış betonda dayanımın yarısına karşılık gelen şekildeğiştirme

ε_{50u} :Sarılmamış betonda dayanımın yarısına karşılık gelen şekildeğiştirme

ε_{co} :Sarılmamış betonda basınç dayanımına karşılık gelen şekil değiştirme

ε_{cc} :Sarılmış betonda basınç dayanımına karşılık gelen şekil değiştirme

ε_c :Beton için şekil değiştirme ifadesi

ε_{cc85} :Sarılmış betonda dayanımın %85'ine karşılık gelen şekil değiştirme

ε_{co85} :Sarılmamış betonda dayanımın %85'ine karşılık gelen şekil değiştirme

ε_{sh} :Çelik için pekleşme şekildeğiştirmesi

ε_{si} :i seviyesindeki donatıda oluşan şekil değiştirme

ε_{sy} :Çelik için akma şekildeğiştirmesi

ε_{su} :Çelik için kopma şekildeğiştirmesi

ρ_{cc} :Boyuna donatı alanının sarılmış alana oranı

ρ_s :Boyuna donatı geometrik oranı

ρ_{sh} :Sargı donatısı alanının sargılı beton alanına oranı

ϕ :Eğrilik (1/m)

BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

Ülkemizin belli aralıklar ile yaşadığı deprem felaketleri çok büyük miktarda mal ve can kaybına sebep olmaktadır. Söz konusu kayıpları en aza indirebilmek ve depremlere karşı daha hazırlıklı hale gelebilmek için ülkemiz, bina yapımından kontrolüne dek yeni bir anlayışı ve disiplini yerleştirmeye çalışmaktadır. Yenilenen "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik" ve imalat sırasında yapıların denetimi hakkındaki yasal düzenleme çalışmaları bu çabanın örneklerindendir.

Depreme dayanıklı bina yapımında perde duvarların önemi büyüktür. Erzincan (1992), Dinar (1995), Ceyhan (1998), Marmara ve Düzce (1999) depremlerinin ardından hasar gören binalarda yapılan gözlemler, bu binaların çoğunda perde duvar kullanılmadığını, söz konusu binaların yatay kuvvetlerin hepsini kolon ve kirişlerden oluşan çerçeve sistemler ile taşıdıklarını göstermiştir. Özellikle ülkemiz için asrın felaketi olarak nitelenen Marmara ve Düzce depremlerinin ardından bölgede yapılan incelemeler sırasında, geleneksel yöntemler kullanılarak yapılan yapıların büyük oranda hasar gördüğü, tünel kalıp sistemi ile yapılan ve perdeli sistemlerden oluşan binaların ise büyük depremlerden etkilenmedikleri gözlenmiştir. Her iki depremden sonra yapılan hasar tespit çalışmaları, artan kat sayısının binaların hasar görebilme ihtimalini arttırdığını göstermektedir. Şekil 1.1'de 17 Ağustos 1999 Marmara depremi sırasında fay kırığına yaklaşık 4 km. uzaklıkta bulunan çerçeveli sistemden oluşan bir binanın durumu görülmektedir. Uzun periyotlu ve aşırı hız değerine sahip yer atımları, özellikle zemin katlarda aniden beliren büyük süneklik taleplerine sebep olmaktadır (Gülkan, 2000). Prefabrik panellerden oluşan çok katlı yapılarda ise, her iki doğrultuda da yeterli perde duvar alanının sağlanması durumunda sağlıklı davranış elde edildiği gözlenmiştir. Bu tür binalarda meydana gelen hasarın ise genellikle elemanlar arasında moment aktarımını sağlayacak olan bağlantıların doğru

bir biçimde detaylandırılmamasından kaynaklandığı anlaşılmıştır. Panel elemanların kullanılmadığı prefabrik sanayi yapılarında ise bağlantı noktası hatası ve taşıyıcı sistemin yanlış seçilmesi gibi etkiler sebebiyle kısmen veya tamamen hasar gören binaların oranı %80'e ulaşmaktadır (Ersoy ve diğ. 2000).



Şekil 1.1: Zemin katın kaybolduğu çerçeve sistem binalar (Marmara Depremi-1999)



Şekil 1.2: Gölcükte perde sistemine sahip çok katlı bina (Marmara Depremi-1999)

Şekil 1.2'de ise perde duvarlardan oluşan taşıyıcı sistem ile tasarlanmış çok katlı betonarme bir yapının 17 Ağustos 1999 Marmara depreminden sonraki durumu görülmektedir. Söz konusu bu yapı fay kırığından birkaç yüz metre mesafede yapılmış olmasına rağmen, depremi hiç hasara uğramadan atlatmıştır (Gülkan,2000).

Perde duvarların betonarme yapılara depremde gelen yatay yüklerin önemli bir bölümünü taşıdıkları, yapının yanal rijitliğini arttırarak yatay ötelenmeleri kısıtlayıp yapıda oluşabilecek büyük hasarları önledikleri ve özellikle çok katlı betonarme yapılar için en iyi çözüm oldukları bilinmektedir. Perde duvarlar özellikle yüksek binalarda katlar arasında meydan gelen göreceli deplasmanları ve burulma düzensizlikleri ile meydana gelebilecek kat dönmelerinin etkilerini azaltmaktadır.

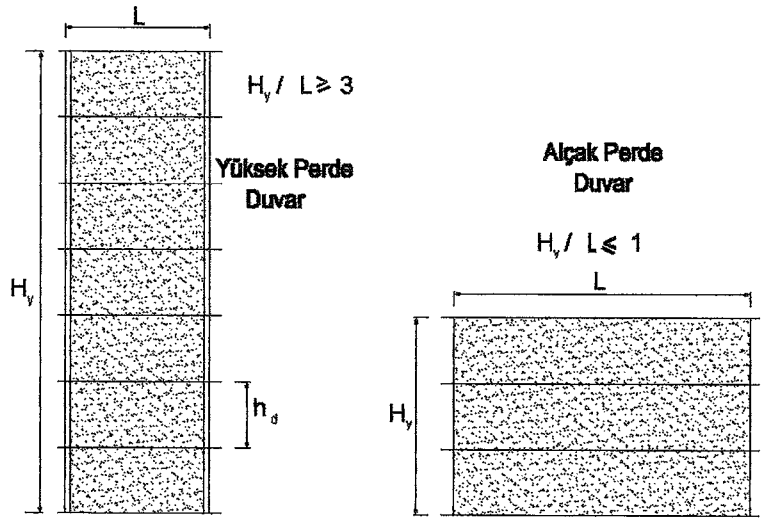
Bütün bu işlevlerin yerine getirilebilmesi, perde duvarların yeterli dayanıma, rijitliğe ve sünekliğe sahip olmasını gerektirmektedir. Perde duvarların, bazı donatıların akmasına ve çatlakların oluşmasına rağmen yük taşımaya devam ettikleri gözlenmiştir. Depremlerde genellikle gevrek olan kesme kırılmaları yapmış olmaları nedeniyle perde duvarlı yapıların tasarımında daha büyük yapı tipi katsayıları ve dolayısıyla daha büyük deprem hesap kuvvetleri seçilmektedir. Bertero (1980) ise uygun biçimde tasarlanmış perde duvarlı yapıların betonarme çerçeveli yapılardan daha yüksek yatay kuvvetlere göre hesaplanması düşüncesine karşı çıkmaktadır. AT-3 yönetmeliğinde (Applied Technology Council,1978) bu durum kabul edilerek perde duvarlı yapıların yatay yükleri çerçeveli yapılara göre %15 daha az alınmaktadır (Bayülke,1989).

Depreme dayanıklı betonarme çerçeveli yapılarda deprem enerjisinin kiriş uçlarında mafsallaşma ile tüketilmesi öngörülmektedir. Bunun sağlanabilmesi için kolon uç moment taşıma kapasitelerinin, kiriş uç moment taşıma kapasitesinden fazla olması gerekir. Hal böyle iken yaşanan büyük depremler göstermiştir ki yüksek titreşim modları ve döşemelere bağlanan kirişler, mafsallaşmanın kolon uç bölgelerinde oluşmasına neden olmaktadır. Bağ kirişleri ile bağlanan perde duvarlar üzerinde yapılan çalışmalar, perde duvarların bağ kirişlerine göre çok daha rijit

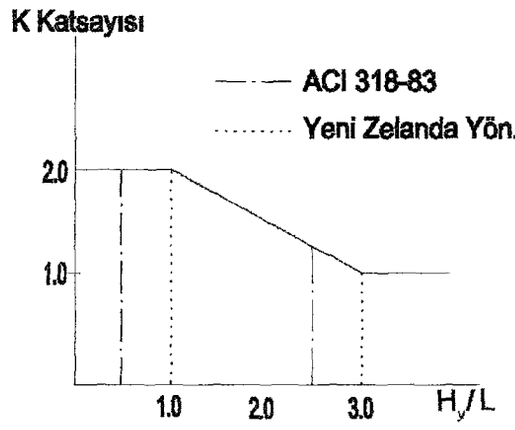
olması nedeniyle mafsallaşmanın kiriş uç bölgelerinde oluştuğunu, böylelikle yapılarda önerilen kuvvetli kolon zayıf kiriş şartının kesinlikle sağlandığını göstermiştir. 1983 Erzincan depreminde perde duvarları olan 5 katlı sosyal konutlarda en ufak çatlaklar bile oluşmazken, 4 katlı kooperatif evlerinde çok önemli bölme duvar hasarlarına rastlanmıştır.

Perde duvarların yatay yükler altındaki davranışını etkileyen en önemli faktörlerden bir tanesi duvarın yükseklik/genişlik oranıdır. Bu orana göre perdeler yüksek ve alçak perdeler olarak ayrılmaktadır. Yatay yükler altında yüksek perdeler eğilme etkisi altında zorlanırken, alçak perdeler kesme etkilerine maruz kalmaktadır. H_y/L oranı 3'den az olan perde duvarlar alçak perde duvar olarak tanımlanmaktadır. Şekil 1.3'de gösterildiği gibi H_y perde duvarın zeminden yüksekliği, L ise perde duvarın uzunluğudur.

Amerikan Betonarme Yönetmeliği (ACI 318-83) 'e göre ise alçak perde duvar tanımlamasının yapılabilmesi için h_d/L oranının 0.5' den az olması gerekmektedir. Bu ifadede h_d kat yüksekliğidir. Perde duvarın h_d/L oranının 2 den büyük olması durumunda eğilme davranışı gözlenmektedir. ACI 318-83'e ve Yeni Zelanda yönetmeliğine göre yapıların deprem hesabında kullanılan K katsayılarının H_y/L oranına göre değişimleri Şekil 1.4'de verilmiştir. (Bayülke,1989)

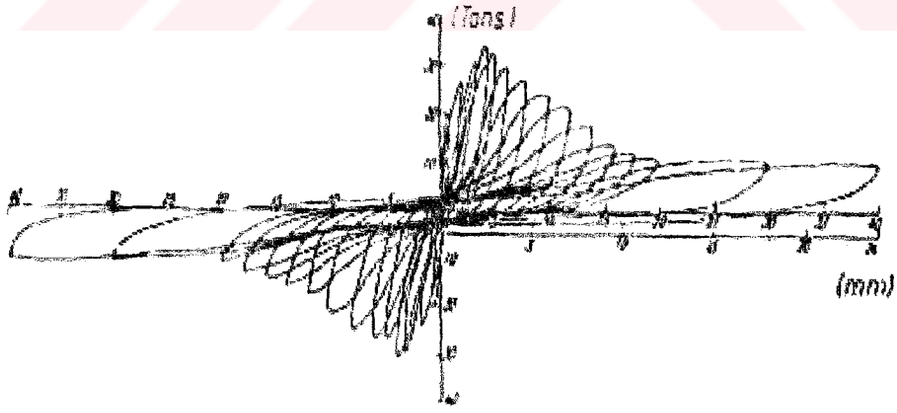


Şekil 1.3: Perde duvarların alçak ve yüksek olarak sınıflandırılması



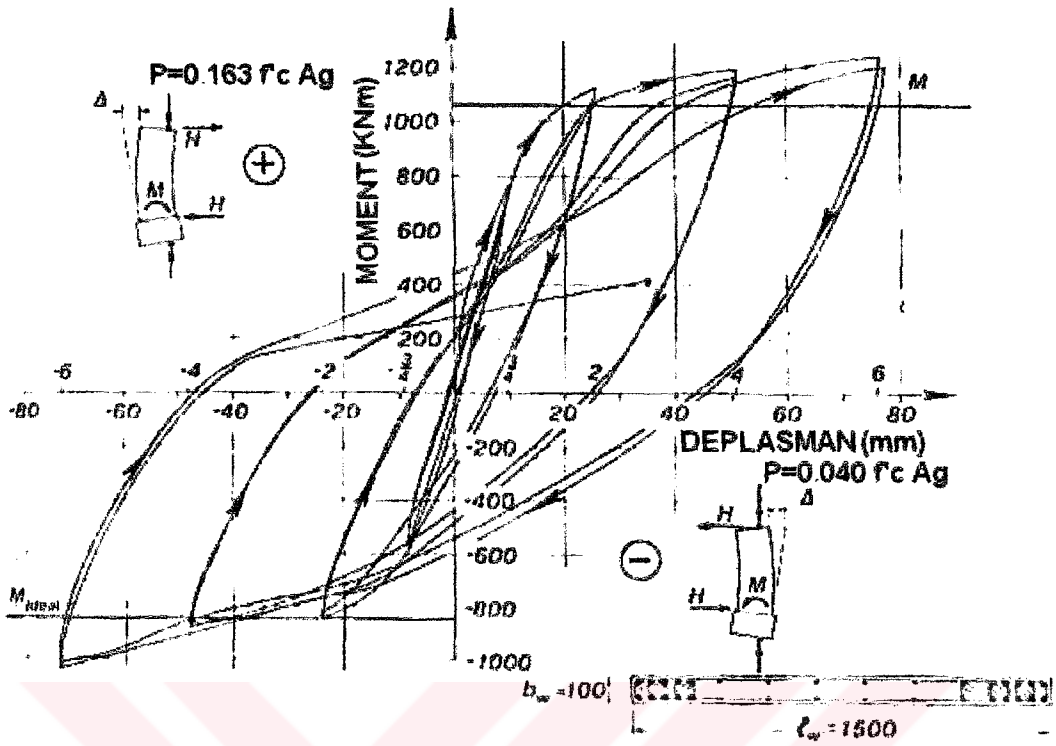
Şekil 1.4: H_y/L oranına göre ACI ve Yeni Zelanda Yönetmeliklerinin K-katsayıları

Tersinir yükler altında yapılan perde duvar deneyleri sonucunda elde edilen yük deplasman ilişkileri, perde duvarın davranış ve kırılma biçimleri hakkında ipuçları içermektedir. Şekil 1.5 ve 1.6'da tersinir yükler altında perde duvarların yük-deplasman ilişkileri şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 1.5 Tersinir yükler altında kesme kırılması

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ



Şekil 1.6 Tersinir yükler altında sünek perde davranışı (Goodsir,1985)

Şekil 1.5'te görülen perde duvar kesme kırılmasına maruz kalmaktadır. Tekrarlanan her tersinir yükleme adımında yük yaşıma kapasitesi hızla azalmaktadır. Davranış deprem açısından son derece sakıncalıdır. Şekil 1.6'da ise perde duvar numunesi sünek bir davranış göstermektedir. Tersinir yükleme adımları boyunca, artan yer değiştirmelere maruz kalan eleman yük taşıma kapasitesini korumaktadır. Şekil 1.5 ve 1.6'da de görüldüğü gibi, şiddetli depremler karşısında elastik ötesi zorlanmalar ile karşılaşan perde duvarların dayanımı yanında sünekliği de son derece önemlidir.

Monoton artan yükler altında betonarme elemanların davranışı, tersinir ve dinamik yükler altındaki davranıştan bazı farklılıklar göstermektedir. Yürütülen bu tez çalışmasında, perde duvarların tersinir yükler altında salt eğilme davranışının incelenmesi için deneysel bir çalışma gerçekleştirilmiştir.

Pamukkale Üniversitesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuarında perde duvarların deprem davranışının araştırılması üzerine yapılan bu çalışmada, farklı gövde ve sargı donatısı miktarları ve yerleşimlerine sahip, özdeş geometrilerde üretilen 12 adet betonarme perde duvar modeli üzerinde tersinir yükler altında eğilme deneyleri yapılmıştır. Numuneler, 3 farklı gövde ve 4 farklı sargı donatısı şeklinin sırası ile bir araya getirilmesi ile hazırlanmıştır. Yürütülen çalışmada malzeme davranışı ile ilgili gerilme-şekil değiştirme modelleri hakkında bilgi verilmiş, bu gerilme-şekil değiştirme modelleri kullanılarak yapılan kuramsal çözümleme sonuçları ile deneysel sonuçların karşılaştırılması yapılmıştır. Perde duvar numuneleri tasarlanırken göçmenin kesme etkileri ile değil eğilme etkileri ile oluşmasına özen gösterilmiştir. Boyutların belirlenmesinde "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik" ve yabancı yönetmeliklerde yer alan yükseklik/boy oranlarına dikkat edilmiş, yüksek perde duvar numunelerinin hazırlanması sağlanmıştır.

Laboratuarımızın deneysel çalışmanın yapıldığı dönemdeki imkanları ile numunelere eksenel basınç uygulamak mümkün olmamıştır. Hazırlanan numuneler salt eğilme etkisi altında denenmiştir. Üniversitemizin Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuarı açısından yürütülen bu çalışma, betonarme üzerine tersinir yüklerin uygulandığı ve bu kapsamda gerçekleştirilen ilk deneysel çalışmadır. Pek çok cihazın ilk defa kullanıldığı bu çalışmanın, mevcut imkanların da geliştirilmesi ile birlikte yeni ve daha kapsamlı deneysel çalışmalar için başlangıç olduğu düşünülmektedir.

İKİNCİ BÖLÜM

ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1 Giriş

Betonarme yapı elemanlarının statik ve dinamik yükler altındaki davranışlarını incelemek amacıyla pek çok çalışma yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalar statik ve dinamik davranışın incelendiği kuramsal ve deneysel araştırmaları içermektedir. Günümüze dek betonarme ile ilgili yapılan çalışmalar, betonarmeyi oluşturan beton ve donatı çeliğini ele alan malzeme çalışmalarını ve bütünün incelendiği eleman davranışı üzerine yapılan araştırmaları içermektedir. Söz konusu bu çalışmaları da uygulanan yüklemenin şekline göre statik, tekrarlı ve dinamik yükleme altında davranış gibi alt başlıklara ayırmak mümkündür. Perde duvarlar, kolonlar, kirişler, perdeli-çerçeveli sistemler ve kolon kiriş birleşim yerleri ile ilgili yapılmış pek çok deneysel ve kuramsal çalışma Abrams (1991) tarafından özetlenmiştir. Çalışmanın bu bölümünde tarihsel süreç içinde malzeme ve eleman davranışı hakkında yapılan bazı araştırmalar hakkında bilgi verilmiştir.

2.2 Beton Ve Donatı Çeliği Üzerine Yapılan Çalışmalar

2.2.1 Beton Üzerine Yapılan Çalışmalar

Beton davranışı ile ilgili çalışmalar 1900'lü yıllara kadar dayanmaktadır. İlk defa Considere (1903) sarılmış betonun eksenel yükleme altındaki davranışında iyileşme olduğunu belirtmiştir (İlki,2000).

Richart ve diğ. (1928,1929), sarılmış betonlar üzerinde yaptıkları deneysel çalışmada dayanım ve dayanıma karşılık gelen şekil değiştirmede iyileşme olduğunu göstermişlerdir. Yazarlar elde ettikleri deney sonuçlarına dayanarak dayanım ve bu dayanıma karşılık gelen şekil değiştirme için 2.1 ve 2.2 ifadelerini önermişlerdir.

$$f'_{cc} = f'_{c0} + k_1 + f_1 \tag{2.1}$$

$$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{c0} + \left(1 + k_2 \frac{f_1}{f'_{c0}}\right) \tag{2.2}$$

Bu ifadelerde f'_{cc} ve ε_{cc} sarılmış beton basınç dayanımını ve bu dayanıma karşılık gelen şekil değiştirme değerini, f'_{co} ve ε_{co} ise sarılmamış betona ait dayanım ve şekil değiştirme değerlerini göstermektedir. Yazarlar k_1 ve k_2 değerleri için ortalama olarak sırası ile *4.1* ve $5k_1$ değerlerini önermişlerdir (İlki,2000).

Hognestad (1951) ve Hognestad ve diğ. (1955), salt eksenel basınç ve eksenel basınç ve eğilme durumları için birbirine çok benzeyen gerilme-şekil değiştirme ilişkileri elde etmiştir.

Blume ve diğ. (1961), dörtgen etriyeler ile sarılmış beton dayanımı için 2.1 bağıntısını kullanarak, dairesel sargı donatısının daha etkili olduğunu göstermişlerdir. Yazarlar depreme dayanıklı yapı tasarımında sargılı betonun sağladığı faydalara değinmişlerdir.

Johnston (1970), çok sayıda farklı beton karışım oranları kullanarak hazırladığı numuneler üzerinde yaptığı çalışmada, dayanım ve şekil değiştirmenin değişimini incelemiştir. Yazar bu çalışmasında su, çimento, agrega, en büyük dane çapı gibi ifadeleri değişken olarak almış, farklı karışım durumları için dayanım ve şekil değiştirme ifadelerini içeren tablolar hazırlamıştır.

Sargin ve diğ. (1971), sarılmış ve sarılmamış beton numuneler üzerinde yaptıkları deneysel çalışmaların sonuçlarına dayanarak betonun gerilme-şekil değiştirme

bağıntısı için bir eğri önermişleridir. Yazarlar tarafından önerilen bu bağıntı başlangıç elastisite modülü ve düşen kolun eğimini kontrol edebilmektedir. Sargin ve diğ. salt eksenel basınç ve dışmerkezli eksenel basınç uyguladıkları deneysel çalışmalarında, her iki yükleme durumunda elde edilen dayanım değerlerinde önemli bir değişiklik olmadığını belirtmişlerdir.

Kent ve Park (1971), betonun gerilme-şekil değiştirme eğrisini parabol halinde yükselen kol ve doğrusal olarak düşen koldan oluşan eğriler ile ifade etmişlerdir. Eğrinin yükselen kolu için Hognestad (1955) tarafından önerilen bağıntıyı 0.002 şekil değiştirmesine ulaşana dek kullanmışlar, düşen kol için dayanımın yarısına karşılık gelen şekil değiştirme değerini baz almışlardır. Yazarlar bu çalışmalarında sargılı beton için de aynı dayanım değerlerinin geçerli olduğunu, sargılama etkisinin sadece eğrinin düşen kolu üzerinde etkili olduğunu öngörmüşlerdir. Yazarların bu çalışmasında sargılı beton dayanımının silindir numune dayanımına eşit olduğu kabul edilmektedir. Düşen kolun eğiminin hesabı için yazarlar, sargı donatısı hacmini ve etriye aralığını göz önüne alan bir ifade önermişlerdir.

Popovics (1973), betonun gerilme-şekil değiştirme eğrisi için bir bağıntı önermiştir. Tez çalışması kapsamında sargılı beton davranışı için gerilme-şekil değiştirme eğrilerinin hesabı yapılırken, yazar tarafından geliştirilen bu bağıntı kullanılmıştır.

Menegotto ve Pinto (1973), eksenel kuvvet ve yön değiştiren tekrarlı yükler altında betonarme elemanların davranışları üzerine bir çalışma yapmışlardır. Yazarlar bu çalışmada tekrarlı yükleme ve boşaltma durumlarını, gerileme-şekil değiştirme eğrisinin başlangıç eğimine paralel yükleme ve boşaltma kolları tanımlayarak modellemişlerdir.

Yamada ve diğ. (1973), tekrarlı yükler altında betonarme çerçevelerin davranışlarını incelerken, iki doğrudan oluşan gerilme-şekil değiştirme eğrisinden

faydalanmışlardır. Yazarlar iki doğrudan oluşan bu iskelet eğri üzerinde eğimleri ilerleyen çevrimler boyunca azalan yükleme ve boşaltma kolları tanımlamışlardır.

Aktan ve Pecknold (1974), yön değiştiren tekrarlı yükler altında betonarme elemanların davranışlarını inceledikleri çalışmada, sargılı beton davranışını yükselen bir kol ve yatay devam eden bir kol ile tanımlamışlardır. Yazarlar yatay devam eden kol üzerinde boşaltma ve tekrar yükleme kollarını tanımlarken, gerileme-şekil değiştirme eğrinin başlangıç eğiminden faydalanmışlardır.

Leslie ve Park (1974), sarılmış dairesel kesitli kolonlar için yükselen kolun iki parabolden, düşen kolun da bir doğrudan oluştuğunu varsayan bir bağıntı önermişlerdir. Yazarlar düşen kol üzerinde dayanımın %20'sine ulaşıldıktan sonraki kısım için gerilme-şekil değiştirme eğrisini yatay devam eden kol ile tanımlamışlardır.

Vallenas ve diğ. (1977), sarılmış beton için parabol şeklinde yükselen kol ve doğrusal olarak düşen koldan oluşan bir gerilme-şekil değiştirme bağıntısı önermişleridir. Yazarların önerdiği bu bağıntının Kent-Park modelinden farkı, sargı donatısının dayanım üzerindeki etkisinin de kabul edilmiş olmasıdır.

Sheikh ve Uzumeri (1980), sarılmış beton ile hazırladıkları kare kesitli numuneler üzerinde yaptıkları eksenel basınç deneyleri sonucunda sargılı beton için bir gerilme-şekil değiştirme bağıntısı önermişleridir. Yazarlar bu çalışmalarında kemerlenme etkisi sebebiyle etriye seviyesinde ve iki etriye seviyesi arasında sargılama etkisinin farklılaşacağına işaret etmişlerdir.

Scott ve diğ. (1982), farklı yükleme hızları altında denedikleri numunelerde sargılı beton davranışını incelemişlerdir. Yazarlar Kent ve Park modelinin düşük hızla yüklenen numunelerde başarılı sonuçlar verdiğini fakat yüksek hızla yüklenen numunelerde davranışı yeterince iyi yansıtmadığını belirtmişlerdir. Yazarlar 0.0000033/s ve 0.0167/s şekil değiştirme hızları altında yükledikleri numunelerde,

yüksek yükleme hızlarının %25'e varan dayanım artışlarına sebep olduğunu bildirmişlerdir.

Mugurama ve diğ. (1983), yüksek dayanımlı beton kullanılması durumunda sargı donatısının etkilerini inceledikleri deneysel çalışmalarında, kare kesitli kolonları eksenel basınç altında denemişlerdir. Yazarlar elde ettikleri sonuçlara dayanarak bir davranış modeli önermişlerdir.

Dilger ve diğ. (1984), sarılmış ve sarılmamış kolonları eksenel basınç ve değişken şekil değiştirme hızları ile denemişlerdir. Elde ettikleri deney sonuçlarına dayanarak sargı donatısının, dayanım ve düşen kolun eğimi üzerindeki etkilerini göstermişlerdir.

Mander ve diğ. (1988a), tekrarlı yükler altında betonun gerilme-şekil değiştirme davranışı ile ilgili bir model önermişlerdir. Yazarlar tarafından önerilen bu model dairesel, kare ve dikdörtgen olarak hazırlanmış, sarılmış ve sarılmamış numunelerden elde edilen deney sonuçlarına dayanmaktadır.

Saatcioğlu ve Razvi (1992), dairesel ve dikdörtgen sargı donatısı için kullanılabilen bir davranış modeli önermişlerdir. Geliştirilen bu model parabol şeklinde yükselen bir kol, dayanımın %20'sine dek doğrusal düşen kol ve bu noktadan sonra yatay ilerleyen bir koldan oluşmaktadır. Yazarlar düşen kolun eğimini belirlemek için dayanımın %85'ine karşılık gelen gerilme değerini kullanmışlardır.

Saatcioğlu ve diğ. (1995), dışmerkezlikle etkiyen eksenel basınca maruz numuneler üzerinde yaptıkları çalışmada, Saatcioğlu ve Razvi modelinin geçerliliğini araştırmışlardır. Deneysel ve analitik sonuçların birbiri ile uyumlu olması üzerine yazarlar, eksenel basınç ile yüklenen kolon deneyleri ile elde edilen sargılı beton modellerinin, dışmerkezlikli yükleme durumu için de kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Sato ve diğ. (1994), sarılmış betonun eğilme ve eksenel kuvvet altındaki davranışını incelemek amacıyla 200 mm. x 200 mm. lik kesitlere sahip elemanlar üzerinde deneysel bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Yazarlar elde ettikleri deneysel sonuçlara dayanarak bir davranış modeli önermişlerdir.

Attard ve Setunge (1996), farklı karışımlar kullanarak hazırladıkları farklı dayanımlardaki betonarme kolon numunelerini, üç eksenli basınç deneyine tabi tutmuşlardır. Yazarlar deneysel çalışmayı eksenel basıncın arttığı, yanal basıncın ise sabit kaldığı deney düzeneklerini kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Yazarlar elde ettikleri deney sonuçlarına dayanarak bir davranış modeli önermişlerdir.

2.2.2 Donatı Çeliği Üzerine Yapılan Çalışmalar

Betonarme elemanların yüksek yer değiştirme ve eğrilik değerlerine ulaşabilmesi büyük oranda kullanılan donatı çeliğinin davranışı ile ilgilidir. Donatı çelikleri büyük miktardaki şekil değiştirmelere önemli dayanım kayıplarına uğramadan ulaşabildiği için, kesitlerdeki sünekliğin temel kaynağıdır. Donatı çeliklerinin tekrarlı ve yön değiştiren yükler altındaki davranışları üzerine yapılan pek çok çalışma bulunmaktadır.

Burns ve Siess (1966), tekrarlı yükler altında yüklediği betonarme elemanlar üzerinde yaptığı deneysel çalışmada Bauschinger etkisinin varlığını ortaya koymuştur.

Park ve diğ. (1972), tersinir tekrarlı yükler altında betonarme elemanlar üzerinde yaptıkları deneysel çalışmada kuramsal ve deneysel olarak elde edilen moment eğrilik ilişkilerinin karşılaştırmasını yapmışlardır. Elde edilen sonuçlar arasında uyum görülmekte ise de karşılaştırma işlemi pekleşme şekil değiştirmesinden küçük şekil değiştirmeler için yapıldığından, kullanılan modelin daha büyük şekil değiştirmeler için gerçekçi sonuçlar veremeyeceği düşünülmektedir.

Menegotto ve Pinto (1973), daha sonra yapılacak pek çok araştırmada da kullanılacak olan bir model önermişlerdir. Önerilen bu model Bauschinger etkilerini ve çeliğin pekleşme özelliklerini göz önüne alabilmektedir. Ramberg-Osgood fonksiyonlarından ayrı olarak gerilemeler şekil değiştirmenin fonksiyonu olarak tanımlanabilmektedir. Bu model oldukça uzun bir süre önce önerilmiş olmasına rağmen, deneysel sonuçlarla oldukça uyumlu sonuçlar verdiği için geçerliliğini korumaktadır.

Yamada ve diğ. (1973), betonarme çerçeveler üzerinde yaptıkları deneysel çalışmada donatı çeliği için üç doğru parçasından oluşan bir gerilme-şekil değiştirme modeli önermişlerdir. Yazarların önerdikleri bu modelde Bauschinger etkileri ve pekleşme gözönüne alınmaktadır.

Kato ve diğ. (1973), farklı dayanımlara sahip çok sayıda donatı çeliği üzerinde deneysel bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Yazarlar tarafından elde edilen en önemli sonuçlardan bir tanesi, tekrarlı ve yön değiştiren yükleme altında denenen donatı çeliklerinin, monoton artan yükler altında denenen çelikler ile çakışan zarf eğrileri vermesidir. Eğri üç farklı bölüm ile temsil edilmiştir. Bunlar iskelet eğri, boşaltma kolu ve Bauschinger etkileri ile yumuşamış olan ters yönde yükleme koludur. Yazarlar iskelet eğriyi monoton artan eksenel çekme deneylerinden elde edilen eğri ile, boşaltma kolunu ise gerilmenin sıfır olduğu ana dek doğrusal inen kol ile tanımlamışlardır. Bauschinger etkisi ile yumuşamış olan kolun tarifi için ise gerilmenin sıfır olduğu andan başlayıp, bir önceki adımda gerilmenin sıfıra indiği ana dek geçerli olan bir bağıntı önermişlerdir (Şekil 3.8).

Bazant ve Bhat (1977), tersinir ve tekrarlı yükler altında yaptıkları deneysel çalışmada, mevcut modellerin ilerleyen yükleme çevrimlerini yeterince iyi temsil edemediğini belirtip, boşaltmanın pekleşme şekil değiştirmesinden önce veya sonra gerçekleşmesi durumlarını yansıtan farklı bağıntılar önermişlerdir.

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU DOKÜMANTASYON MERKEZİ

Mander (1983), yumuşak ve sert çelikler için tersinir tekrarlı yükler altında kullanılabilecek bir model önermiştir. Kato tarafından önerilen modelde olduğu gibi Mander de geliştirmiş olduğu modelde, monoton yükleme durumu için elde edilen eğriyi iskelet eğri olarak kullanmıştır. Yazar tarafından önerilen bu modelde boşaltmanın akma platosu veya pekleşme bölgesinden başlaması durumları için iki ayrı bağıntı öngörülmektedir. Söz konusu bu çalışma sırasında Mander, burkulmanın önlendiği bir deney düzeneği içinde donatı çubuklarına basınç ve çekme uygulayarak, gerilme-şekil değiştirme eğrilerini elde etmiştir.

Taucer ve diğ. (1991), yürüttükleri çalışma neticesinde Menegotto ve Pinto modelinin uyumlu sonuçlar verdiğine işaret etmişlerdir.

Murayama ve diğ. (1994), betonarme kolon elemanları üzerinde yaptıkları çalışmalar sırasında pek çok modelin vermiş olduğu sonuçları, deneysel sonuçlar ile karşılaştırmışlar ve en uyumlu sonuçları Kato modelinin verdiğini belirtmişlerdir.

Chang ve Mander (1994), köprü ayaklarının sismik kapasitelerini belirlemek amacıyla yürüttükleri çalışmada Mander (1983) modelini kullanmışlar, elde ettikleri sonuçları farklı araştırmacılar tarafından elde edilen sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Yazarlar bu karşılaştırma neticesinde Mander (1983) modelinin çelik davranışını oldukça iyi bir şekilde temsil ettiğini bildirmişlerdir.

2.3 Eleman Davranışı İle İlgili Çalışmalar

Malzemenin davranışını ele alan çalışmaların yanında eleman davranışı üzerine yapılan çalışmalar da mevcuttur. Bu çalışmalar betonarme yapı elemanları, kesitlerin davranış özellikleri ve bu özelliklerin analitik olarak modellenmesi konularını kapsamaktadır. Kesit çözümlemesi sırasında davranış modeli ile ilgili yapılan kabullerin sonuçlar üzerindeki etkisi büyüktür. İdeal elasto-plastik model kullanılarak yapılan çözümlemeler tekrarlı yükler altında ortaya çıkan dayanım ve

rijitlik azalmasını yansıtmamaktadır. Yöntem basit olması nedeniyle uzun bir süre kullanılmıştır. Malzemenin pekleşmeli elasto-plastik davrandığını kabul ederek yapılan çözümlemeler ise davranışın farklılaşmasına sebep olan, ve yüklerin yön değiştirmesi ile ortaya çıkan etkileri tam olarak yansıtmamaktadır. Bu etkiler artan çevrimler boyunca donatıda meydana gelen Bauschinger etkileri ve elemanda oluşan rijitlik ve dayanım azalmasıdır. Elemanda meydana gelen dayanım ve rijitlik azalması ve çevrim sıkışması gibi etkileri gözönüne almak üzere geliştirilmiş kuramsal modellerde bulunmaktadır.

Takeda ve diğ. (1970), gerçekleştirdikleri deneysel çalışmada, betonarme elemanların rijitlik ve enerji yutma kapasitelerinin deney boyunca hızlı bir biçimde değişebildiğini belirlemişlerdir. Yazarlar üç doğrudan oluşan bir iskelet eğri tanımlayarak, çatlamadan sonra ortaya çıkan rijitlik değişimini de gözönüne almışlardır. Betonarme yapıların tekrarlı yükler altında davranışının belirlenmesinde büyük kabul görmüş olan bu model, sabit eksenel kuvvete maruz betonarme elemanların davranışını yükleme çevrimlerinde kararlılığın kaybedilmediği yükleme çevrimlerine dek sürdürmektedir.

Roufaiel ve Meyer (1987), rijitlik ve dayanım azalması ile kesme kuvveti nedeniyle oluşan çevrim sıkışmasını da gözönüne alan bir model tanımlamışlardır. Tanımlanan bu modelde dayanım kaybı tanımlanan kritik şekil değiştirme seviyesinin aşılması ile orantılı olarak tanımlanmıştır (Saatcioglu,1991).

Kritik kesitlerde yapıların doğrusal olmayan çözümlemelerinde kullanılacak en uygun yöntemin, moment-eğrilik çözümlemesi olduğu çeşitli araştırmacılar tarafından belirtilmiştir (İlki,2000). Kesitlerin moment-eğrilik hesaplamaları sırasında lif yaklaşımı yöntemi ile yapılan çözümlemelerin daha gerçekçi sonuçlar verdiği bildirilmektedir.

Taucer ve diğ. (1991), lif yaklaşımı yönteminin eğilme altındaki betonarme elemanların doğrusal olmayan çözümlemeleri için en uygun yol olduğunu

bildirmektedir. Söz konusu bu yöntemde, kesit eleman boyunca uzanan lif şeklindeki küçük parçacıklara ayrılmakta, eleman üzerinde oluşan şekil değiştirme dağılımına göre her parçacıkta oluşan farklı şekil değiştirme değerleri için malzemeye ait gerilme-şekil değiştirme eğrilerinden alınan değerler bir araya getirilerek hesap yapılmaktadır. Dolayısıyla betonarmeyi oluşturan beton ve çeliğin doğrusal olmayan gerilme-şekil değiştirme davranışı, her lif parçacığı için teker teker uygulanmaktadır. Bu durum lif yaklaşımı yönteminde kullanılacak olan malzeme modellerinin doğru bir biçimde belirlenmesini gerektirmektedir. Yukarıda bahsedilen kuramsal çözümleme yöntemleri üzerine yapılan çalışmaların yanısıra, eleman davranışı ile ilgili yürütülmüş pek çok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalardan bazıları aşağıda kısaca özetlenmiştir.

Bresler ve Bertero (1968), tersinir tekrarlı yükler altında çok küçük yükleme seviyeleri altında dahi rijitlik ve dayanım azalması olduğunu bildirmiş, bu durumu da çok sayıda yük tekrarı sebebiyle beton ve donatı arasındaki aderans kaybı ile açıklamışlardır.

Barda ve diğ.(1973)'ne göre, H_y/L oranı ½ ve daha küçük olan duvarlarda yatay donatının kesme kuvveti taşımaya katkısı olmamakta, ancak çatlakların gelişmesine engel olmaktadır. Boyuna donatıların ise H_y/L oranı ½ ve daha küçük olan perde duvarlarda kesme kuvveti taşımaya büyük katkısı olmaktadır. Perde duvarın yüksekliği arttıkça, $H_y/L \geq 1.0$ ve daha büyük oranlarda, düşey donatının katkısı azalmaktadır.

Bertero (1980), perde duvar deney sonuçlarının değerlendirilmesi sonucunda perde duvardaki donatı yüzdesinin eğilme momenti taşıma gücü üzerinde fazla etkili olmadığını, ya da en azından donatı yüzdesinde olan artış ile taşıma gücünde çok sınırlı bir artış sağlandığını bildirmektedir. Yazara göre donatıların diyagonal olarak yerleştirilmesi enine ve boyuna olarak donatı yerleştirme biçiminden daha iyi davranış göstermekte, süneklik ve enerji tüketiminde önemli artışlar olmaktadır. Bertero (1980) tarafından yapılan deneylerde hem monoton artan yükleme hem de

tersinir yüklemelerde I-kesitli perde duvarların dikdörtgen kesitli perde duvarlara göre çok daha iyi davrandıkları, daha çok enerji tüketip daha sünek davranış gösterdikleri gözlenmiştir. Bu davranış biçiminde en önemli faktörün, I-kesitli perde duvarların çok daha yüksek kesit atalet momentleri nedeniyle düzlem dışına doğru oluşacak erken bir burkulmaya imkan vermemesi olduğu bildirilmektedir. Dikdörtgen kesitli perde duvarlarda ise çatlayan beton örtüsü ve bunun sonucunda zaten küçük olan diğer eksen etrafındaki rijitliğin kaybedilmesi elemanın erken bir burkulma ile kırılmasına neden olmaktadır.

Endo ve diğ.(1980), yaptıkları deneysel çalışmada tersinir yükler altında perde duvarların yük-deplasman tepkilerini incelemişlerdir. 37 adet numunenin denendiği bu çalışmada yazarlar tekrarlı yükler altında elde edilen yük-deplasman ilişkilerinin monoton yükleme durumunda elde edilen eğrilerden biraz daha farklı olduğunu, monoton artan yükleme altındaki numunelerde yük deplasman eğrilerinin bir süre yatay devam ettiğini ve bu noktadan sonra düşen kolun aniden oluştuğunu bildirmektedirler. Yazarlar tekrarlı yükleme durumunda elde edilen yük deplasman eğrilerinde ise düşen kolun monoton yükleme durumundaki gibi aniden değil kademeli olarak oluştuğunu bildirmişlerdir.

Saatcioğlu ve diğ.(1980), değişken eksenel kuvvet-eğilme ve doğrusal olmayan kesme deformasyonlarının etkilerini araştırmak üzere bağ kirişli perde duvarların sismik yükler altındaki davranışlarını incelemişlerdir. Yazarlar değişen eksenel kuvvet seviyelerinin bağ kirişli perde duvarların dinamik davranışı üzerinde önemli etkileri olduğunu belirtmektedirler. Yazarlara göre artan eksenel kuvvet seviyesi daha yüksek süneklik ihtiyacını doğurmaktadır. Doğrusal olmayan kesme deformasyonlarının ise genel davranış üzerindeki etkisi daha küçük olmaktadır.

Bannon ve diğ. (1981), sismik etkiler sebebiyle betonarme çerçevelerde meydana gelen hasar oranlarının tespiti ve tarifi üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Yazarlar farklı araştırmacılar tarafından elde edilen deney sonuçlarını

değerlendirerek numunelerde oluşan hasar oranını matematiksel bir ifade ile temsil etmeye çalışmışlardır.

Paulay (1986), perde duvarların servis yükleri altında bile çatladığına işaret etmektedir. Yazar momente maruz kalan zemine ankastre perde duvarlarda, hesaplarda kullanılacak kesit atalet momentinin çatlamamış kesit atalet momentinin %60 kadar alınmasını önermektedir. Etkin olan atalet momentinin %60 oranındaki bu değer olacağını bildiren yazar, moment ile birlikte eksenel kuvvetin de etkimesi durumunda çatlamamış kesit ataletinin %80'inin alınmasını öngörmektedir (Bayülke,1989).

Wood (1991), donatı miktarının, eksenel gerilmelerin ve yükleme yönteminin davranış üzerindeki etkilerini araştırmak amacıyla 27 numune üzerinde deneysel bir çalışma gerçekleştirmiştir. Yazar sargı bölgelerinde arttırılan boyuna donatı oranının elemanın sünekliğini azalttığını bildirmektedir. Uç bölgelerde kullanılan sargı donatısının eğilme etkileri ile göçen numunelerde dayanımı arttırdığını belirten yazar, bu sargılama etkilerinin kesme etkileri ile kırılan numunelerde ihmal edilebilir düzeylerde kaldığını bildirmektedir. Wood (1991) akma sınırı geçildikten sonra tekrarlanan yükleme çevrimleri sayısının elemanın deformasyon yapabilme kapasitesi üzerinde azaltıcı etkileri olduğunu belirtmekle beraber, davranış eğiliminin monoton artan yükleme durumuna benzer olduğunu bildirmektedir.

Gerçek ölçülerde yedi katlı bir betonarme bina modeli 1980 yılında Japonya Bina Araştırma enstitüsünde denenmiştir. Bu deney bu ölçekte yapılan ilk büyük deneysel çalışmadır. Deney sonuçları artan eksenel kuvvet seviyesinin perde duvarın eğilme dayanımını arttırdığını göstermektedir (Abrams,1991).

Akbay ve Aktan (1991), betonarme perde duvarların kesme etkileri ile göçmesini incelemek amacıyla bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Yazarlar hazırlamış oldukları yedi adet perde duvar numunesi üzerinde yaptıkları çalışmada, deneysel ve kuramsal olarak elde edilen kesme dayanımlarını karşılaştırmışlardır. Yazarlar tasarımda

kullanılacak kesme mukavemetinin duvarın moment taşıma kapasitesinin fonksiyonu olması gerektiğini bildirmişler, eğilme sebebiyle basınca maruz kalan duvar alanının kesme dayanımı üzerindeki etkisine işaret etmişlerdir.

Farrar ve Baker (1993), kısa perde duvar numuneleri üzerinde yaptıkları tersinir yükleme ve sarsma tablası deneyleri ile perde duvarların farklı yükleme seviyelerindeki sönümleme özelliklerini incelemişlerdir. Yazarlar yaptıkları bu çalışmanın sonunda kısa perde duvarlarda sönüm ifadesi için taban kesme kuvvetinin en büyük değerini içeren bir fonksiyon tanımlamışlardır.

Wallace (1994), dörtgen, T-kesitli ve I kesitli perde duvarlar üzerinde yapmış olduğu analitik çalışmada, kesitlerin taşıyabileceği en büyük şekil değiştirme değerlerini hesaplayarak, söz konusu elemanlarda izin verilebilecek yer değiştirme miktarını araştırmıştır.

Wallace (1995), farklı geometrilere sahip perde duvarların taşıyabileceği en büyük şekil değiştirme değerlerinin belirlenmesine dayanan bir tasarım yöntemi önermiştir. Yazar kesit üzerinde oluşan şekil değiştirme dağılımını kullanarak uç bölgelerinde kullanılacak enine donatının belirlenmesi için bir yöntem önermiştir.

Pilakoutas ve Elnashai (1995), zemine ankastre mesnetlenmiş altı perde duvar numunesine eksenel basınç ve yön değiştiren tekrarlı yükler uygulayarak deneysel bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Yazarlar farklı miktarlarda enine ve boyuna donatı kullanarak hazırladıkları deney numunelerini itme ve çekme yönünde ikişer milimetrelik artışlarla ilerleyen yükleme çevrimleri ile denemişlerdir. Yapılan bu deneysel çalışmanın sonucunda hem kesme, hem de eğilme kırılması ile karşılaşan yazarlar, göçme şeklinin esas itibari ile sargı donatısının miktarı ve dağılımı tarafından kontrol edildiğini, dayanım ve deformasyon özellikleri üzerinde ise sargı donatısının çok büyük bir etki oluşturmadığını bildirmişlerdir.

Perde duvarların düşey yükler altında burkulmalarının önlenmesi için Amerikan Beton Yönetmeliğinde (ACI 318-83) perde duvarlarda oluşan basınç gerilmeleri, perde duvarın yükseklik/kalınlık oranına (h_d/t) ve kullanılan beton basınç dayanımına bağlı olarak Çizelge 2.1'de verilen değerlerden fazla olmamak zorundadır (Bayülke,1989).

Çizelge 2.1: Perde duvarların maksimum basınç gerilmeleri (ACI 318-83) (MPa)

	h_d / t						
	10	**12**	**14**	**16**	**18**	**20**	**22**
B160	6.3	6.2	6.1	6	5.8	5.6	5.3
B225	8.7	8.6	8.5	8.3	8.1	7.8	7.4
B300	10.9	10.6	10.5	10.2	9.9	9.8	9.1

Applied Technology Council Yönetmeliği (AT-3,1978) ise perdelerde oluşan gerileme değerinin $0.2\, f'_{co}$ değerinden fazla olması durumunda, perdelerin uç bölgelerinde kolon bulunması şartını getirmektedir. Bu durum başka bir ifadeyle perde duvarların I-kesitli olarak yapılmasını teşvik etmektedir. Aynı yönetmelikte, gerilemelerin $0.15\, f'_{co}$ değerini aşmadığı durumlarda uçlarda kolon bulundurmanın gerekmediği belirtilmekte ise de, elemanda ani rijitlik azalmasına sebep olacağı için sakıncalı görülmektedir (Bayülke, 1989).

Perde duvarlarda kullanılacak minimum donatı yüzdesi "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik" te hem boyuna hem de enine donatılar için 0.0025 olarak bildirilmektedir. Deney sonuçları alçak duvarlarda boyuna donatının kesme gerilmesi taşımada etkili olduğunu göstermiştir. Çeşitli yabancı yönetmeliklerde de (UBC 1982, ACI 318-83) enine ve boyuna donatı için getirilen minimum donatı yüzdesi 0.0025 olarak belirtilmiştir (Bayülke,1989).

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

BETON VE ÇELİK İÇİN DAVRANIŞ MODELLERİ

3.1 Giriş

Betonarme yapı elemanlarının davranışlarını doğru bir şekilde hesaplayabilmek için, betonarmeyi oluşturan beton ve çeliğin ayrı ayrı davranışlarının gerçeğe en yakın şekli ile tasarlanabilmesi gerekmektedir. Günümüze kadar yapılan pek çok kuramsal ve deneysel çalışmalar neticesinde, farklı araştırmacılar tarafından öne sürülmüş çok sayıda davranış modeli bulunmaktadır. Monoton artan yükleme durumu için geliştirilen ve başarılı sonuçlar veren pek çok modelin tekrarlı ve/veya dinamik yükleme durumlarını yeterince yansıtamaması, yükleme şeklinin ve hızının da davranış üzerindeki etkilerini göstermektedir. Genellikle çekme dayanımı ihmal edilen betonun tersinir yükler altında çevrimsel olarak hem basınç hem de çekme ile yüklenmesi, betonarmede oluşacak çekme gerilmelerini taşıması öngörülen donatının da çekme ve basınç altında zorlanması her iki malzemenin de davranışını etkilemektedir.

3.2 Sargılı Beton İçin Gerileme-Şekil Değiştirme İlişkisi

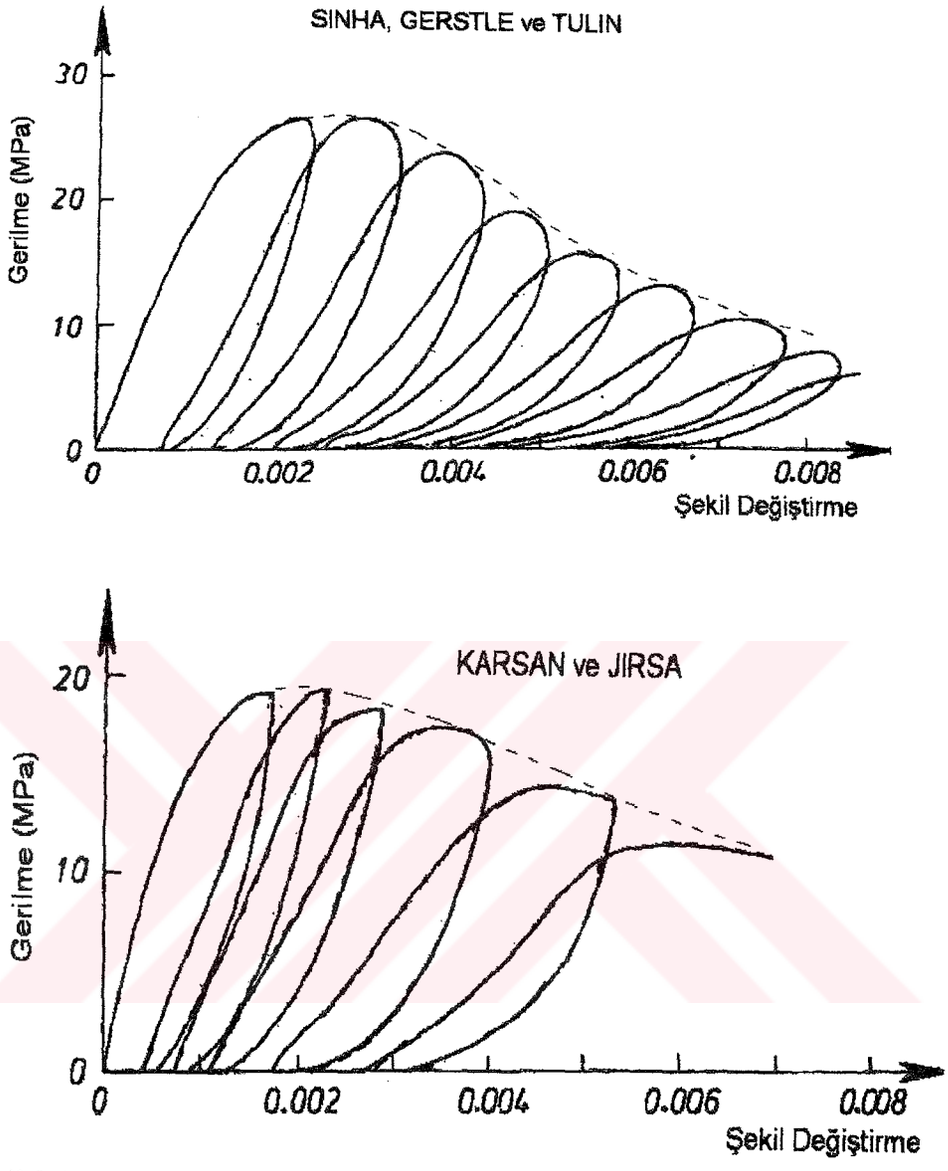
Sargılı beton davranışı ile ilgili geliştirilen gerilme-şekil değiştirme modelleri, kesme etkilerinin tamamen ihmal edildiği, betonun eksenel olarak yüklendiği deney düzenekleri kullanılarak elde edilmiştir. Bu işlemler yapılırken elemanın eksenel yükleme altındaki davranışı ile eksenel yükleme ve eğilme etkileri altındaki

davranışının özdeş olduğu kabul edilmiştir. Yapılan bu kabule rağmen eksenel yük ve eğilme altındaki elemanın davranışı, artan şekil değiştirmeler altında bazı farklılıklar göstermektedir. Bu farklılıklar:

1. Eğilme altındaki betonun en dış lifinin göreceli olarak daha büyük şekil değiştirme hızlarına maruz kalması bu bölgelerin daha dayanıklı fakat daha kırılgan olmasına sebep olmaktadır.
2. Tek eksenli yükleme deneylerinin aksine kesme kuvvetlerinin ve dolayısıyla kayma gerilmelerinin varlığı, asal gerilmelerin yönlerinin değişmesine ve sargılama etkisinde iyileşmeye sebep olmaktadır.

Görülmektedir ki eksenel kuvvet ve/veya eğilme etkileriyle artan şekil değiştirmeler altında betonarme elemanın davranışı son kerece karmaşık bir hale gelmektedir. Söz konusu modeller kullanılmadan önce davranış ile ilgili bu tür ayrıntıların bilinmesinde fayda vardır. Bu farklılıklara rağmen elde edilen deneysel ve kuramsal sonuçların uyumu, söz konusu etkilerin çok fazla belirgin olmadığını göstermektedir.

Dinamik yükler altında betonun mukavemet ve rijitlik özelliklerinde önemli bir artış görülmektedir. Scott ve diğ. (1982) tarafından yapılan çalışmada yüksek ve düşük şekil değiştirme hızları altında numunelerin mukavemet değerlerindeki değişim araştırılmış, yüksek hızlarla yükleme durumunda %25'e varan oranlarda dayanım artışları elde edilmiştir. Tersinir yükler altında beton davranışını inceleyen Sinha ve diğ. (1964) ve Karsan ve Jirsa (1969), monoton artan yükleme durumu için elde edilen gerilme-şekil değiştirme eğrisinin, tekrarlı yükleme altındaki gerilme-şekil değiştirme eğrisinin zarfını oluşturduğunu göstermişlerdir. Yazarların elde ettikleri gerilme-şekil değiştirme eğrileri Şekil 3.1'de verilmiştir.



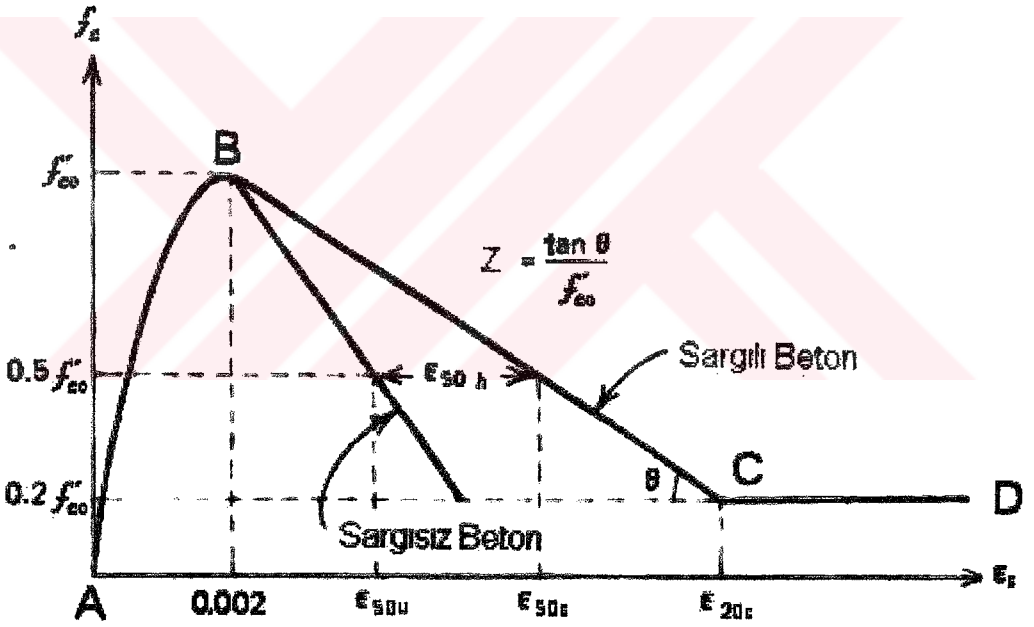
Şekil 3.1: Tekrarlı yükler altında betonun gerilme-şekil değiştirme ilişkisi

1971 yılında Kent ve Park tarafından geliştirilen ve çok uzun bir süre oldukça kabul gören sargılı beton davranış modeli, sargı donatısının mukavemet üzerinde değil süneklik üzerinde etkili olduğunu kabul etmekteydi. Günümüze dek yapılan daha gerçekçi pek çok deneysel ve kuramsal çalışma sargı donatısının hem süneklik hem de mukavemet üzerindeki etkilerini ispatlamıştır. Çalışmanın bu bölümünde ayrıntılara girilmeden dikdörtgen kesitlere ait Kent ve Park (1971), Saatçioğlu ve

Razvi (1992) ve Mander (1988) tarafından geliştirilen sargılı beton davranışı modelleri hakkında bilgi verilmiştir.

3.2.1 Kent Ve Park Modeli

Kent ve Park sargılı beton davranışı için kullandıkları modeli Roy ve Sozen (1964) tarafından yapılan deneysel sonuçlara dayandırmışlardır. Roy ve Sozen yaptıkları deneysel çalışmaların sonucunda sargı donatısının mukavemet üzerinde değil süneklik üzerinde etkili olduğu sonucunu elde etmişlerdir. Bu sonuçlara göre Kent ve Park tarafından elde edilen dikdörtgen kesitlere ait sargılı beton gerilme-şekil değiştirme eğrisi Şekil 3.2'deki gibidir.



Şekil 3.2: Monoton yükleme altında sargılı beton davranışı için Kent-Park modeli

ε_{50u} ifadesi sargısız betonda gerilmenin maksimum değerin %50'sine indiği andaki şekil değiştirmeyi, ε_{50c} ise sargılı durum için dayanımın %50'sine karşılık gelen şekil değiştirmeyi temsil etmektedir. Yazarlar gerilmenin, dayanım değerinin %20'sine indikten sonraki bütün şekil değiştirme değerleri için sabit kalacağını öngörmüşlerdir. Eğrinin 2. derece parabol şeklinde yükselen ve Şekil 3.2'de A ve B

noktaları arasında kalan kısmı hem sargılı hem de sargısız beton için aynı kabul edilmiş ve (3.1) bağıntısı ile temsil edilmiştir. B ve C noktaları arasındaki düşen kolun tarifi için ise (3.2), (3.3), (3.4) ve (3.5) bağıntıları kullanılmaktadır. Yatay olarak devam eden C ve D noktaları arasındaki değerler için ise (3.6) ifadesi verilmektedir.

AB: $\varepsilon_c \leq 0.002$

$$f_c = f'_{c0}\left[\frac{2\varepsilon_c}{0.002} - \left(\frac{\varepsilon_c}{0.002}\right)^2\right] \text{ (MPa)} \tag{3.1}$$

BC: $0.002 \leq \varepsilon_c < \varepsilon_{20c}$

$$f_c = f'_{c0}\left[1 - Z(\varepsilon_c - 0.002)\right] \text{ (MPa)} \tag{3.2}$$

$$Z = \frac{0.5}{\varepsilon_{50u} + \varepsilon_{50h} - 0.002} \tag{3.3}$$

$$\varepsilon_{50u} = \frac{0.02 + 0.002 f'_{c0}}{f'_{c0} - 6.89} \tag{3.4}$$

$$\varepsilon_{50h} = \frac{3}{4}\rho_{sh}\sqrt{\frac{b''}{s}} \tag{3.5}$$

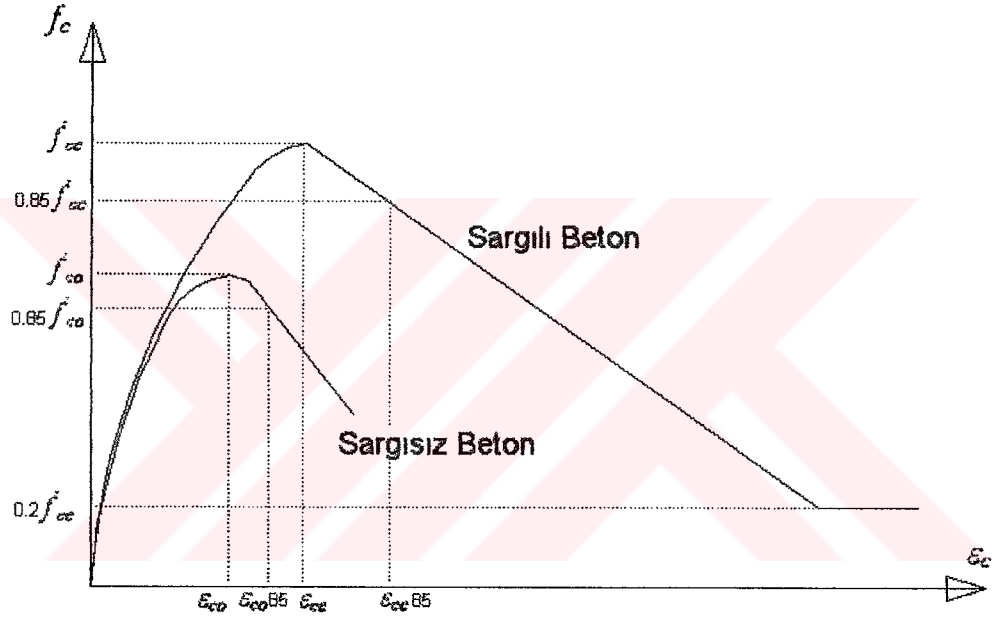
CD: $\varepsilon_c > \varepsilon_{20c}$

$$f_c = 0.2 f'_{co} \text{ (MPa)} \tag{3.6}$$

Bu bağıntılarda, Z katsayısı düşen kolun eğimini, b'' ise sargı donatısının dışından dışına olmak üzere sargılanan alanın genişliğini, ρ_{sh} ifadesi sargı donatısı alanının sargılı beton alanına oranını, s ise sargı donatıları arasındaki mesafeyi temsil etmektedir.

3.2.2 Saatcioğlu Ve Razvi Modeli

Saatcioğlu ve Razvi (1992) iyi ve zayıf bir şekilde sargılanmış çok sayıda numune üzerinde yaptıkları çalışmada, dörtgen ve dairesel etriyeler kullanılarak sarılmış betonarme elemanlarda kullanılabilecek bir gerilme-şekil değiştirme modeli geliştirmişlerdir. Geliştirilen model parabolik olarak yükselen bir kol, dayanımın %20 sine kadar doğrusal düşen kol ve bu noktadan sonra da dayanımın sabit devam ettiği bir doğrudan oluşmaktadır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3: Saatcioglu ve Razvi tarafından geliştirilen monoton artan yükleme için gerilme-şekil değiştirme bağıntısı

Yazarların yukarıdaki şekilde gösterilen dayanım ve şekil değiştirmeye karşılık gelen bağıntıları aşağıda verilmiştir.

$$f'_{cc} = f'_{c0} + k_1 f'_1 \quad \text{(MPa)} \tag{3.7}$$

$$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{c0}(1+5K) \tag{3.8}$$

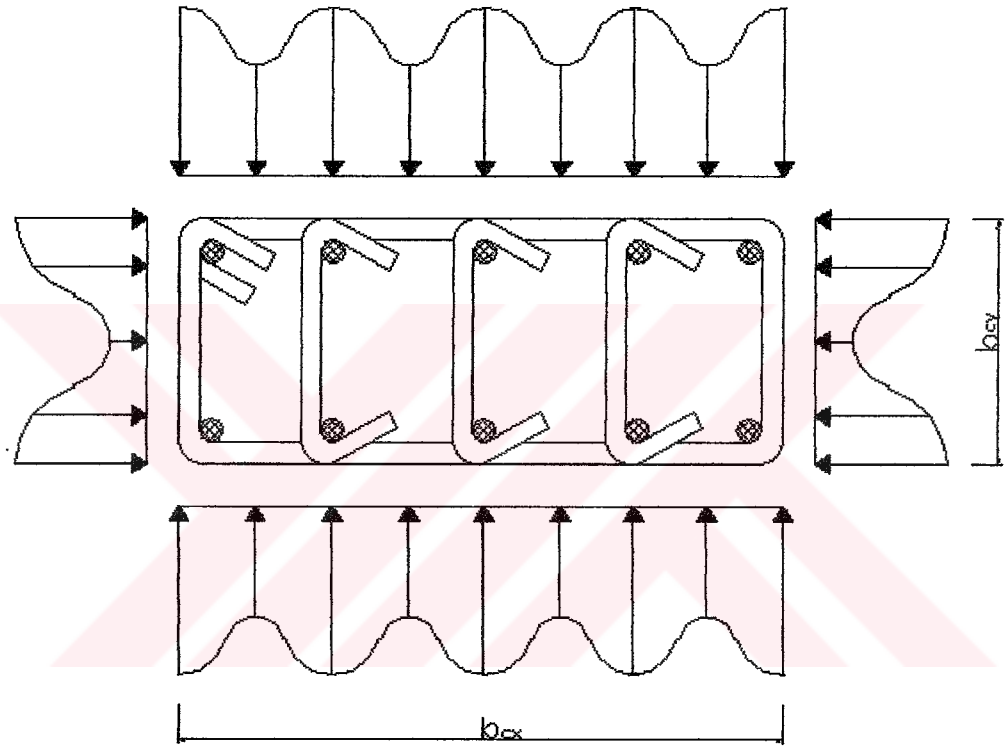
$$K = \frac{k_1 f'_1}{f'_{c0}} \tag{3.9}$$

$$k_1 = 6.7\left(f_1^{'}\right)^{-0.17} \tag{3.10}$$

$$f_1^{'} = k_2 f_1 \quad \text{(MPa)} \tag{3.11}$$

$$f_1 = \frac{2A_{sh}f_{yh}}{d_c s} \quad \text{(MPa)} \quad \text{(dairesel)} \tag{3.12}$$

$$f_1 = \frac{\sum A_{sh}f_{yh}Sin\theta}{b_c s} \quad \text{(MPa)} \quad \text{(kare)} \tag{3.13}$$



Şekil 3.4: Dikdörtgen kesitlerde yanal sargı basıncının dağılımı

$$f_1^{'} = \frac{f_{1x}^{'}b_{cx} + f_{1y}^{'}b_{cy}}{b_{cx} + b_{cy}} \quad \text{(dikdörtgen)} \tag{3.14}$$

$$k_2 = 0.26\sqrt{\left(\frac{b_c}{s}\right)\left(\frac{b_c}{S_l}\right)\left(\frac{1}{f_1}\right)} \leq 1.0 \tag{3.15}$$

$$f_c = f'_{cc}\left[2\left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cc}}\right)-\left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cc}}\right)^2\right]^{\frac{1}{(1+2K)}} \leq f'_{cc} \quad \text{(MPa)} \tag{3.16}$$

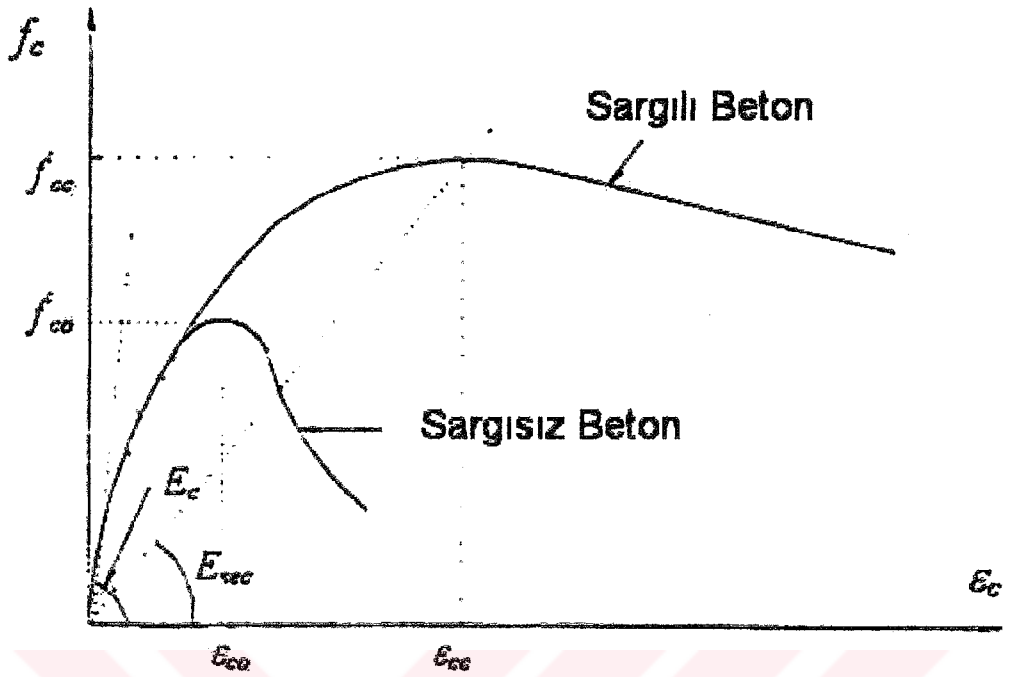
$$\varepsilon_{cc85} = 260\rho_{sh}\varepsilon_{cc} + \varepsilon_{co85} \tag{3.17}$$

$$\rho_{sh} = \frac{\sum A_{sh}}{s(b_{cx}+b_{cy})} \tag{3.18}$$

Yukarıda verilen bağıntılarda f'_{co} sargılı beton basınç dayanımını, f'_l etkili yanal basıncı, d_c dairesel kesitin çapını, θ etriye kolunun b_c kenarı ile yaptığı açıyı, f'_{lx} b_{cx} kenarına , f'_{ly} de b_{cy} kenarına dik olarak etki eden yanal basınçları, s enine donatılar arasındaki, S_l de boyuna donatılar arasındaki mesafeyi temsil etmektedir. Yazarlar f'_{cc}, ε_{cc} ve dayanımın %85'ine karşılık gelen şekil değiştirme (ε_{cc85}) değeri üzerinden doğrusal düşen kolu belirlemektedirler. Bu modelde sargısız beton için elde edilebilecek deney sonucu olmaması durumunda, ε_{co85} değeri için 0.0038 değeri önerilmektedir.

3.2.3 Mander Modeli

Sargılı beton davranışı ile ilgili geliştirilen bu model, Mander (1983), Mander ve diğ. (1988a) ve Mander ve diğ. (1988b) tarafından yapılan çalışmalara dayanmaktadır. Önerilen davranış modeli spiral veya dairesel etriye ile sarılmış kesitlerde, kare veya dikdörtgen kesitlerde, her iki yönde de farklı sayıda ve miktarda etriye ve/veya çiroz bulunan kesitlerde kullanılabilmektedir. Model tekrarlı yükleme ve yükleme hızı gibi faktörlerin davranış üzerindeki etkilerini de göz önüne alabilmektedir. Çalışmanın bu bölümünde yazarların öngördüğü model hakkında bilgi verilirken, sadece dikdörtgen kesitler üzerinde durulacaktır.

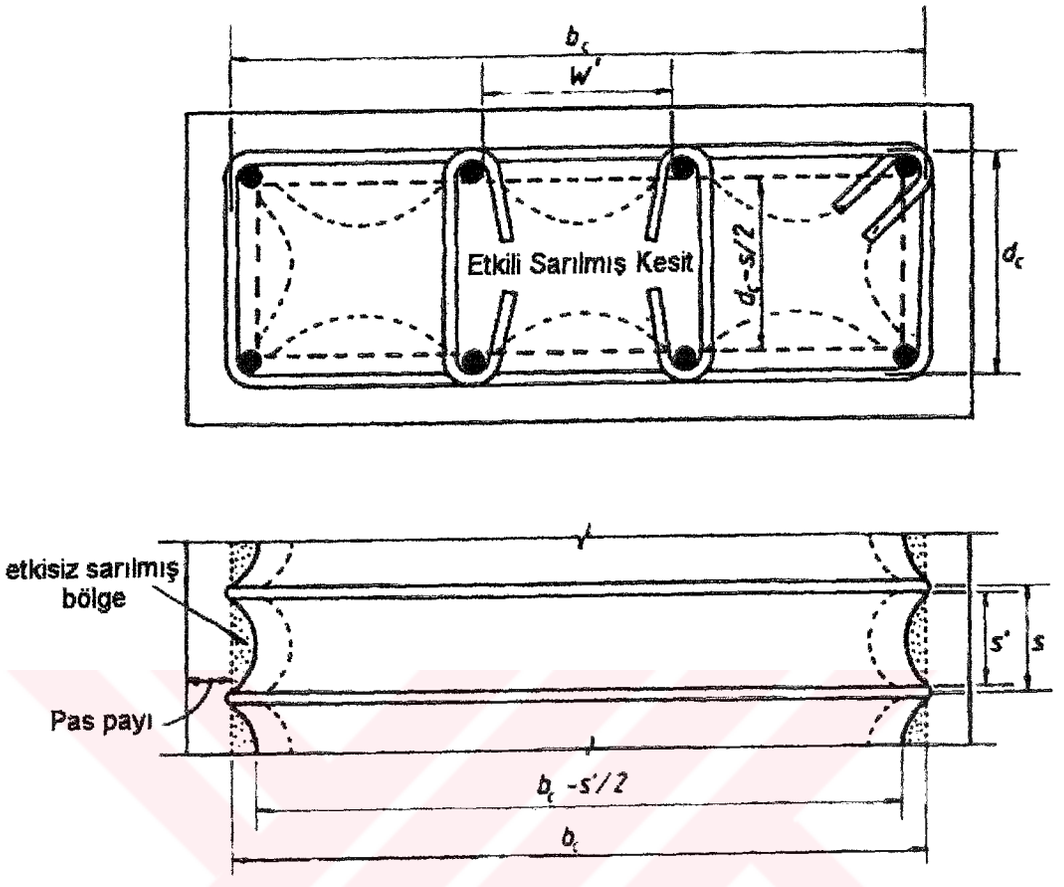


Şekil 3.5: Monoton artan yükleme durumu için gerilme-şekil değiştirme bağıntısı

Dikdörtgen kesitlerde sargılama etkisinin dairesel kesitlere göre daha az olacağı bilinmektedir. Etriyenin büküm noktalarından başlayan ve 45° başlangıç eğimine sahip 2. dereceden bir parabol şeklindeki kemerlenme etkisi nedeniyle sarılmış bölge içindeki etkili sargılama alanı azalacaktır. Kemerlenme etkisinin sebep olduğu ve etkili olarak sarılamayan alan Şekil 3.6'da görülmektedir. Şekil 3.6'dan anlaşılacağı gibi w' mesafesi iki boyuna donatı arasındaki net açıklığın ifadesidir. Kesitin geometrisi ve kullanılan kancaların sayısı w' mesafesinin azalmasına, dolayısıyla da etkili olarak sarılmış alanın artmasına sebep olur.

Büküm noktalarına gelmek veya kancalar ile tutturulmak kaydı ile n adet boyuna donatı arasında oluşan ve kemerlenme sebebiyle etkili olarak sarılamayan toplam alan 3.19 bağıntısı ile verilmiştir.

$$\frac{\sum_{1}^{n}(w_i')^2}{6} \tag{3.19}$$



Şekil 3.6: Etkili olarak sarılan kesitin görünümü

b_c ve d_c mesafeleri sargı donatısının merkezinden merkezine olmak kaydı ile, sargılı beton enkesit alanı 3.20 bağıntısı ile verilmiştir. ρ_{cc} ise boyuna donatı alanının, enine donatıların merkezinden merkezine ölçülen beton kesit alanına oranıdır (3.21).

$$A_{cc} = b_c d_c (1 - \rho_{cc}) \tag{3.20}$$

$$\rho_{cc} = \frac{\sum A_s}{b_c d_c} \tag{3.21}$$

Hem yatay hem de düşey doğrultudaki kemerlenme etkileri de göz önüne alındığı taktirde, etkili olarak sarılan kesitin en küçük değerine ulaştığı iki enine donatı

seviyesinin ortasında, etkili olarak sarılan kesit alanı 3.22 bağıntısı ile ifade edilmektedir.

$$A_e = \left(b_c d_c - \sum_i^n \frac{(w_i')^2}{6} \right) \left(1 - \frac{s'}{2b_c} \right) \left(1 - \frac{s'}{2d_c} \right) \tag{3.22}$$

$$k_e = \frac{A_e}{A_{cc}} = \frac{\left(1 - \sum_i^n \frac{(w_i')^2}{6 b_c d_c} \right) \left(1 - \frac{s'}{2b_c} \right) \left(1 - \frac{s'}{2d_c} \right)}{(1 - \rho_{cc})} \tag{3.23}$$

3.23 bağıntısı ile etkili olarak sarılmış olan alanın, sargılı beton enkesit alanına oranı verilmektedir. Bu oran yazarlar tarafından sargı etki katsayısı olarak tanımlanmıştır (k_e). A_{shx} ve A_{shy} kesit üzerinde x ve y yönlerinde kullanılan sargı donatılarının enkesit alanı olmak üzere, her iki yönde de betona uygulanan etkili yanal basınç ifadeleri 3.24 ve 3.25 bağıntılarındaki gibidir.

$$f_{1x}' = k_e \frac{A_{shx}}{s d_c} f_{yh} \text{ (MPa)} \tag{3.24}$$

$$f_{1y}' = k_e \frac{A_{shy}}{s b_c} f_{yh} \text{ (MPa)} \tag{3.25}$$

Her iki yönde de farklı sargı basıncı değerleri elde edilmesi durumunda yazarlar belirlenen değerlerin ortalamasının alınmasını önermektedir. Etkili sargı basıncı, sargısız beton basınç dayanımı ifadelerinin de bilinmesi ile birlikte, sargılı beton basınç dayanımı için yazarlar tarafından önerilen bağıntı 3.26 ile verilmiştir.

$$f_{cc}' = f_{co}' \left(-1.254 + 2.254 \sqrt{\frac{1 + 7.94 f_1'}{f_{co}'}} - 2 \frac{f_1'}{f_{co}'} \right) \text{ (MPa)} \tag{3.26}$$

3.2.4 Sargılı Beton İçin İskelet Gerilme-Şekil Değiştirme Eğrisi

Gerileme-şekil değiştirmenin iskelet eğrisi Popovics (1973) tarafından önerilen 3.27 bağıntısı kullanılarak hesaplanmıştır. Aşağıdaki bağıntılarda f_c ve ε_c sırasıyla herhangi bir andaki beton dayanımını ve karşılık gelen şekil değiştirmeyi temsil etmektedir.

$$f_c = \frac{f_{cc}^{'} xr}{r - 1 + x^r} \tag{3.27}$$

$$x = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cc}} \tag{3.28}$$

$$r = \frac{E_c}{E_c - E_{sec}} \tag{3.29}$$

$$E_c = 5000\sqrt{f_{co}^{'}} \tag{3.30}$$

$$E_{sec} = \frac{f_{cc}^{'}}{\varepsilon_{cc}} \tag{3.31}$$

$$k_1 = 4.1 \tag{3.32}$$

$$k_2 = 5k_1 \tag{3.33}$$

$$f_{cc}^{'} = f_{co}^{'} + k_1 f_1^{'} \tag{3.34}$$

$$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co}\left(1 + k_2 \frac{f_1^{'}}{f_{co}^{'}}\right) \tag{3.35}$$

3.34 ve 3.35 bağıntıları Richart ve diğ. (1928,1929) tarafından hidrostatik yanal basınç ile sarılma gerilmesi uygulanan numuneler üzerinde yapılan deneysel çalışmalar sonucunda önerilmiştir. Yazarlar yaptıkları bu çalışmaların sonucunda k_1 ve k_2 değerleri için 3.32 ve 3.33 ifadelerini elde etmişlerdir. 3.32, 3.33 ve 3.34 bağıntıları yeniden düzenlenir ve 3.35 bağıntısında yerine konulursa ε_{cc} için 3.36 ifadesi elde edilir.

$$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co}\left[1 + 5\left(\frac{f_{cc}^{'}}{f_{co}^{'}} - 1\right)\right] \tag{3.36}$$

3.3 Donatı Çeliğinin Gerilme-Şekil Değiştirme Davranışı

Donatı çeliğinin tekrarlı yükler altındaki davranışı hakkında yapılan çalışmalar, malzemenin gerilme-şekil değiştirme davranışı dikkate alınarak yumuşak ve sert çelikler olarak iki gruba ayrılabilir.

1. Uzun akma platosuna sahip yumuşak çelikler ile ilgili çalışmalar Kent ve Park (1973), Thompson ve Park (1978) tarafından yapılmıştır. Yazarlar, ilk akmadan sonra dönen yükleme kolu için Ramberg-Osgood denklemlerini kullanmışlardır. Elde edilen sonuçlar yeterli görünse de bu modeller pekleşme şekil değiştirmelerinden daha küçük olan ve akma platosuna kadar tekrarlanan şekil değiştirmeler için uygundur (Mander,1983).
2. Küçük akma platosuna sahip sert çelikler ile ilgili çalışmalar Kato, Peterson ve Popov(1977), Stanton ve McNiven (1979) ve Aktan ve diğ. (1973) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmalar çeliğin pekleşme bölgesindeki gerilme-şekil değiştirme davranışı hakkındaki deneysel verilere dayanan matematik modelleri içermektedir (Mander,1983).

3.3.1 Monoton Artan Yükleme Durumu

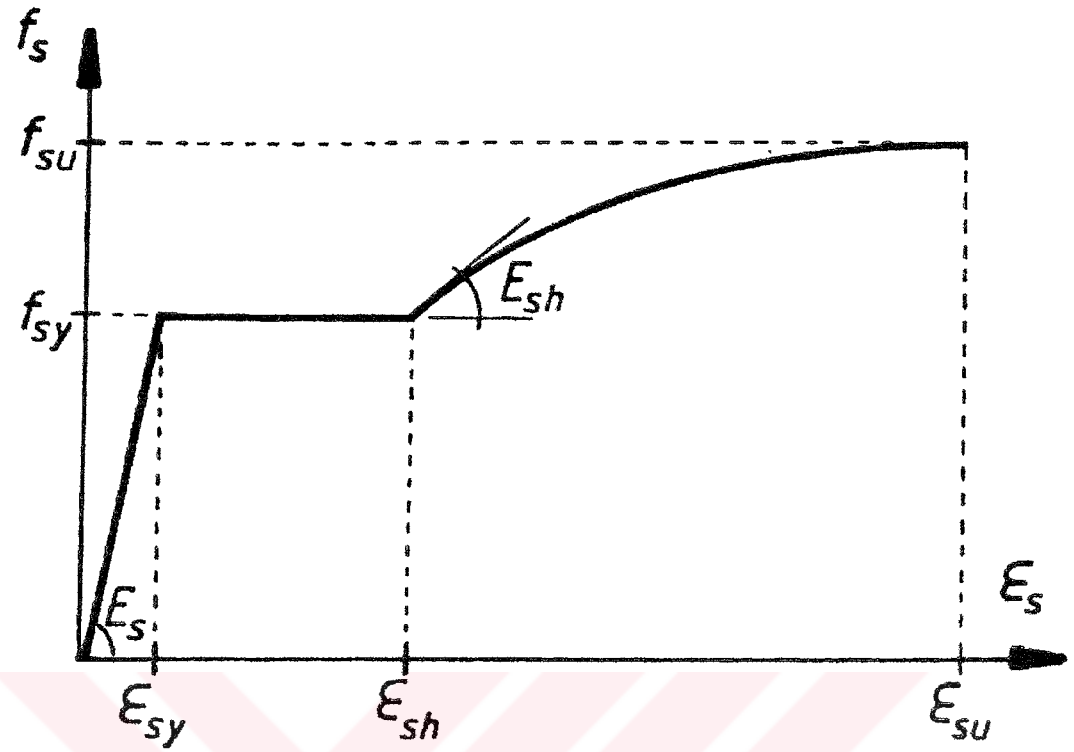
Monoton artan yükleme altında donatı çeliğinin davranışı üç farklı durum göstermektedir.

a- Elastik bölge: $0 \le \varepsilon_s \le \varepsilon_{sy}$

$$E_{st}=E_s \tag{3.37}$$

$$f_s=E_s\varepsilon_s \tag{3.38}$$

$$\varepsilon_{sy}=\frac{f_{sy}}{E_s} \tag{3.39}$$



Şekil 3.7: Monoton artan yükleme altında çeliğin gerilme-şekil değiştirme davranışı

b- Akma platosu: $\varepsilon_{sy} \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{sh}$

$$f_s = f_{sy} \tag{3.40}$$

$$E_{st}=0 \tag{3.41}$$

c- Pekleşme bölgesi $\varepsilon_{sh} \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{su}$

Donatı çeliğinin pekleşme bölgesindeki davranışı kullanılan çeliğin cinsine göre farklılık göstermektedir. Mander (1983) donatı çelikleri üzerinde gerçekleştirilen çok sayıda çekme ve basınç deneyi sonuçlarına dayanarak, pekleşme bölgesi için aşağıdaki bağıntıları önermiştir.

$$E_{sh} = P\left(\frac{f_{su} - f_{sy}}{\varepsilon_{su} - \varepsilon_{sh}}\right) \tag{3.42}$$

$$E_{st} = E_{sh}\left|\frac{f_{su} - f_s}{f_{su} - f_{sy}}\right|^{\left(1-\frac{1}{P}\right)} \tag{3.43}$$

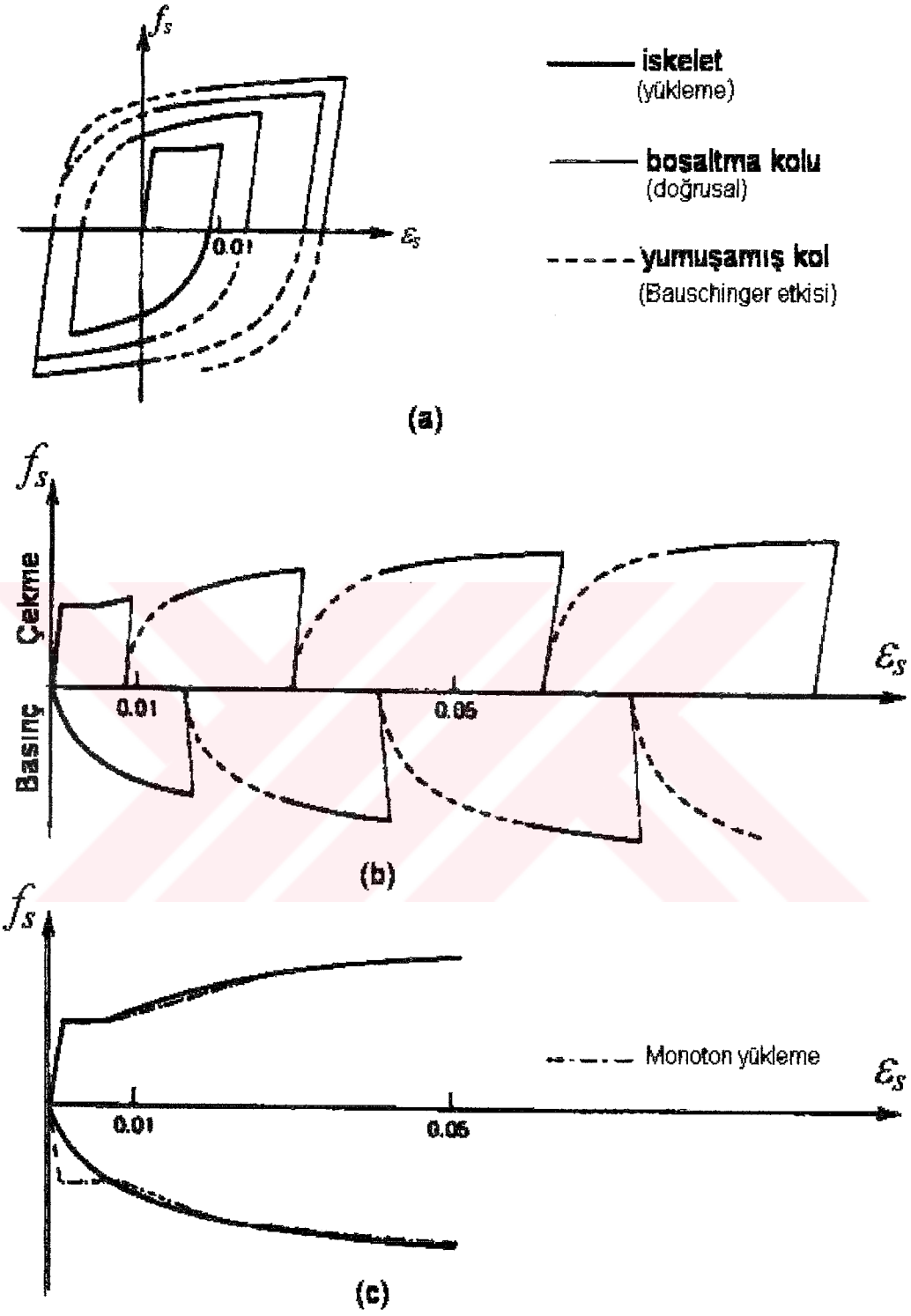
$$f_s = f_{su} + \left(f_{sy} - f_{su}\right)\left|\frac{\varepsilon_{su} - \varepsilon_s}{\varepsilon_{su} - \varepsilon_{sh}}\right|^{P} \tag{3.44}$$

Bu bağıntılarda pekleşmenin başladığı koordinatlar olan (ε_{sh} , f_{sy}) noktaları başlangıç kabul edilerek çeliğin maksimum gerilme ve şekil değiştirme değerlerine ulaşırken izlediği yol üstel fonksiyon şeklinde tanımlanmaktadır. Bağıntılarda kullanılan P katsayısı, pekleşmenin başlangıç ve bitişi arasında pekleşme modülünün(E_{sh}) bu bölgedeki sekant modüle oranıdır.

Deneysel çalışma sırasında kullanılan donatı çubuklarının davranışı için genelleştirilmiş bu türden bağıntıları kullanmak yerine, teorinin ana fikrine sadık kalınarak çekme testleri sonucunda elde edilen veriler değerlendirilmiş, pekleşme bölgesinin başlangıç koordinatları sıfır kabul edilerek, davranışı temsil eden parabol şeklindeki polinom fonksiyonlar türetilerek iskelet eğrinin tanımlanması sağlanmıştır.

3.3.2 Tekrarlı Yükler Altında Donatı Çeliğinin Davranışı

Tekrarlı yükler altında donatı çeliği Bauschinger etkileri sebebi ile yumuşamaktadır. Akma noktasını geçen donatı tekrarlı ve tersinir yüklere maruz kaldıkça meydana gelen yumuşamadan etkilenmektedir. Akma noktasının geçilmesinin ardından devam eden yükleme çevrimleri boyunca söz konusu yumuşamanın etkileri sebebiyle davranış farklılaşmakta, akma noktası bu ileri seviyeler boyunca gözlenememektedir.



Şekil 3.8: Tekrarlı yükler altında donatı çeliğinin gerilme-şekil değiştirme davranışı (Kato,1973)

Mander (1983) tarafından yapılan deneyler sırasında donatı çelikleri çekme ve basınç altında yüklenmiş, gerilme-şekil değiştirme ilişkileri gözlenmiştir. Yazar elde ettiği deney sonuçlarına dayanarak gerilme-şekil değiştirme eğrisinde boşaltma ve ters yönde tekrar yükleme durumunu iki ayrı gruba ayırmaktadır. Bunlardan ilkinde boşaltma işleminin çeliğin pekleşme bölgesine gelmeden, ikincisinde ise boşaltmanın pekleşme bölgesi içinde oluşması durumları göz önüne alınmaktadır. Yazar, donatının Bauschinger etkileri sebebi ile yumuşamasının gerilme-şekil değiştirme eğrisinde farklılaşmaya sebep olduğunu bildirmektedir.

Donatı çeliklerinin tersinir yükler altında yüklenmesi ile ilgili deneysel çalışmalar sonucunda Kato ve diğ. (1973)'de davranışta meydana gelen bu farklılaşmaya işaret etmektedir. Yazarlar tarafından elde edilen en önemli sonuçlardan bir tanesi, tekrarlı ve yön değiştiren yükleme altında denenen donatı çeliklerinin, monoton artan yükler altında denenen çelikler ile çakışan zarf eğrileri vermesidir. Eğri üç farklı bölüm ile temsil edilmiştir. Bunlar iskelet eğri, boşaltma kolu ve Bauschinger etkileri ile yumuşamış olan ters yönde yükleme koludur (Şekil 3.8). Yazarlar iskelet eğriyi monoton artan eksenel çekme deneylerinden elde edilen eğri ile, boşaltma kolunu ise gerilmenin sıfır olduğu ana dek doğrusal inen kol ile tanımlamışlardır. Bauschinger etkisi ile yumuşamış olan kolun tarifi için ise gerilmenin sıfır olduğu andan başlayıp, bir önceki adımda gerilmenin sıfıra indiği ana dek geçerli olan bir bağıntı önermişlerdir.

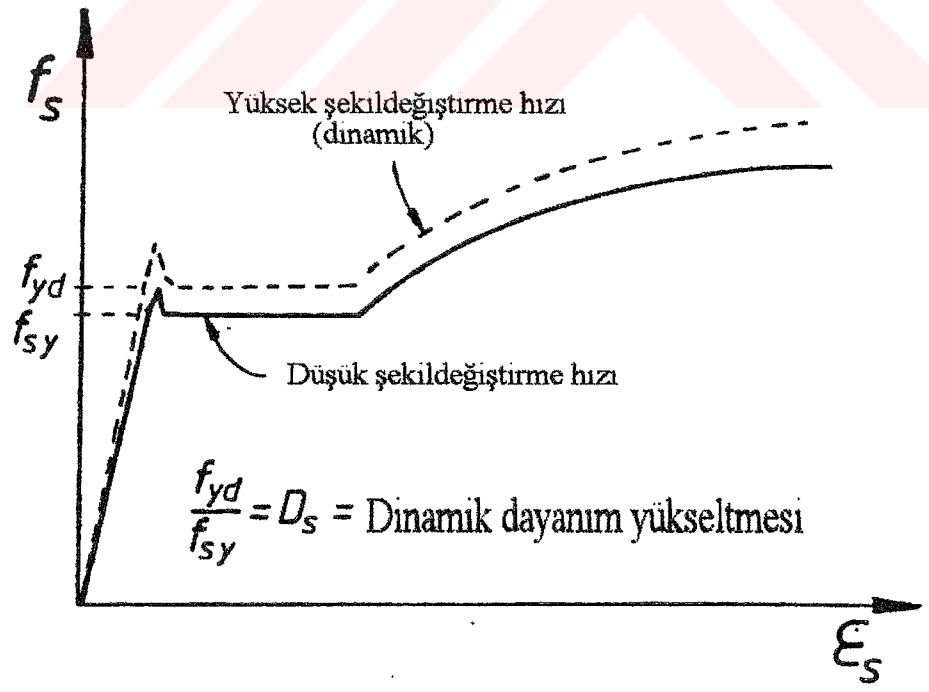
3.3.3 Dinamik Yükleme Durumu

Deprem yükleri dinamik yüklerdir. Dolayısıyla yükleme hızının ve betonarmenin bu yüklemeye karşı göstermiş olduğu gerilme-şekil değiştirme mukabelesinin bilinmesi gerekmektedir. Yüksek hızlarda yapılan yüklemeler, donatı çeliği üzerinde belirgin bir dayanım artışına sebep olmaktadır. Çelik çekme testleri genellikle 0.00001/sn. şekil değiştirme hızı altında gerçekleştirilmektedir. ACI komitesi 439 tarafından hazırlanan ve şekil değiştirme hızının donatının akma dayanımı üzerindeki etkilerini gösteren değerler Çizelge 3.1 de verilmiştir. Farklı dayanım değerlerine

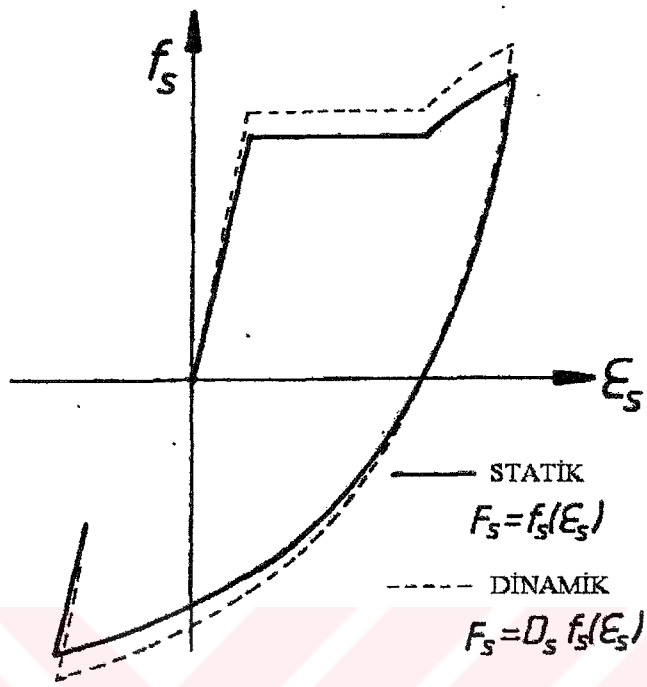
sahip donatı çeliklerinin artan şekil değiştirme hızları altında denenmesi ile elde edilen akma dayanımındaki artış oranları bu çizelgede görülmektedir. Anlaşılacağı gibi akma dayanımı yüksek olan donatı çelikleri artan şekil değiştirme hızlarından daha az oranda artan etkilenmektedir (Mander,1983).

Çizelge 3.1 Şekil değiştirme hızının çelik dayanımı üzerindeki etkileri

Şekil değ. Hızı $\varepsilon/sn.$	1 f_{sy}=310 Mpa	2 f_{sy}=352 MPa	3 f_{sy}=393 MPa	4 f_{sy}=558 Mpa
0.001	1.05	1.07	1.02	1.03
0.01	1.11	1.14	1.07	1.05
0.1	1.19	1.21	1.16	1.05
1.0	1.28	1.28	1.25	1.10



Şekil 3.9: Dinamik yükleme altında donatı çeliğinin zarf eğrisindeki değişim



Şekil 3.10: Yön değiştiren dinamik yükleme altında donatı çeliğinin davranışı

Dinamik yükleme durumu ve monoton yükleme durumu altında elde edilen akma dayanımlarının oranı dinamik dayanım yükseltmesi olarak tanımlanmıştır. Şekil 3.9 ve 3.10'da monoton yükleme ve dinamik yükleme altında donatı çeliğinde meydana gelen gerilme-şekil değiştirme davranışı görülmektedir. Dinamik yükler altında donatı çeliğinin gerilme-şekil değiştirme davranışını temsil edebilmenin en kolay ve gerçekçi yolu, dinamik dayanım yükseltmesi ile monoton artan yükleme durumu için elde edilen eğriyi büyütmektir.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

AMAÇ VE YÖNTEM

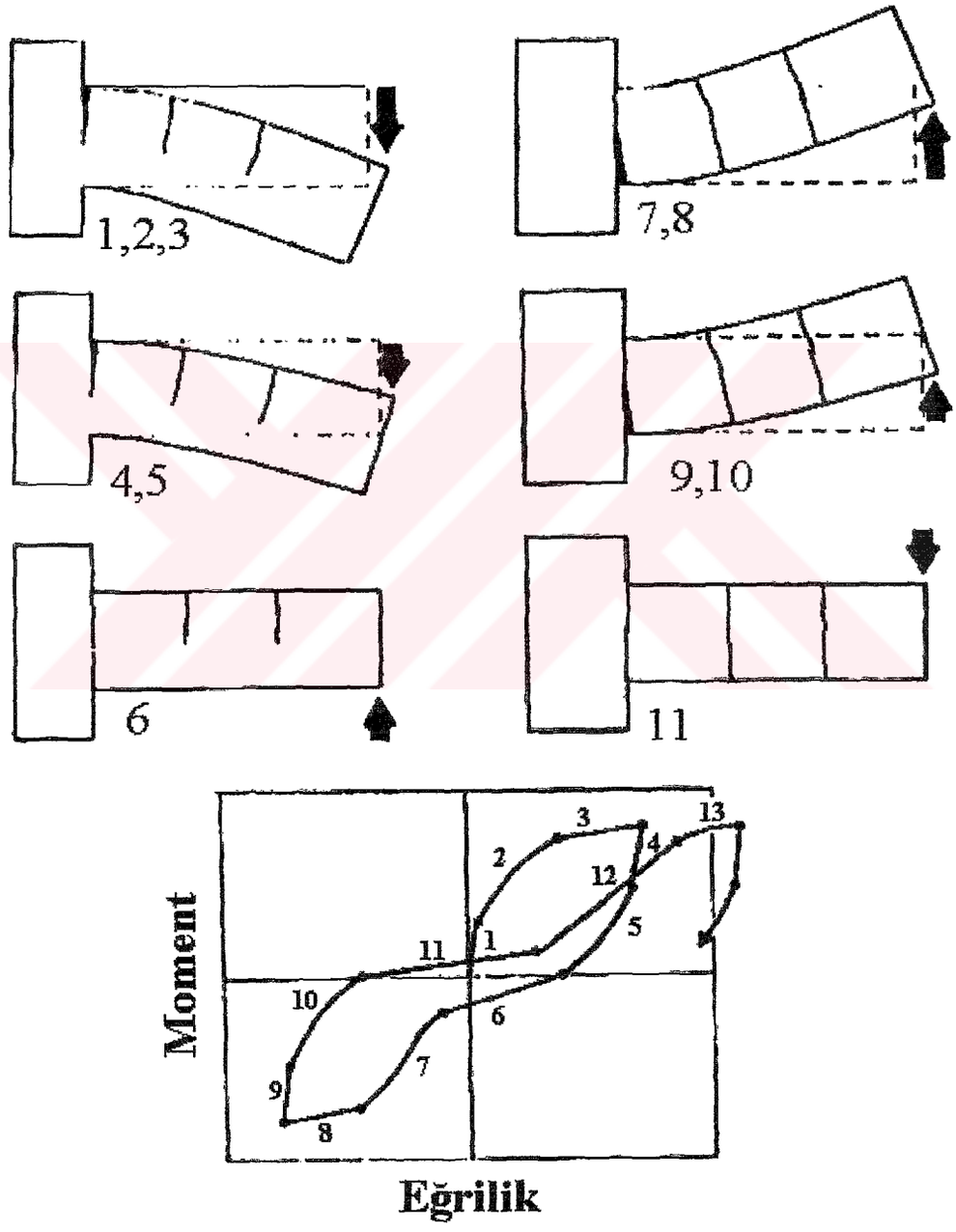
4.1 Deneysel Çalışmanın Amacı

Betonarme yapıların deprem kuvvetleri karşısında elastik ötesi davranışlarının doğru olarak belirlenebilmesi için farklı yükleme durumlarında göstereceği tepkilerin araştırılması ve gerçeğe en yakın kuramsal modellerin kullanılması gerekmektedir. Büyük deprem hareketleri karşısında betonarme elemanların tasarımını elastik hesap kabullerine göre yapmak günümüz şartlarında ekonomik bir yaklaşım değildir. Kaldı ki elastik sınırların ötesinde de yük taşımaya devam eden betonarmenin söz konusu plastik deformasyonlar altında olası bir göçmeye imkan vermeyecek şekilde tasarlanması, ortaya çıkacak enerjiyi yutabilecek şekilde tasarım aşamasında detaylandırılması gerekmektedir.

Yön değiştiren tekrarlı yükler ve dinamik yükler altında yapılan deneyler göstermektedir ki betonarme, söz konusu dinamik yüklere karşı elastik ötesi mukabelesi sırasında ilerleyen şekil değiştirmeler ile birlikte mukavemet ve rijitlik kayıplarına uğramaktadır. Betonarmenin deprem kuvvetleri karşısında enerji yutma özellikleri pek çok değişkene bağlıdır. Beton basınç dayanımı, kullanılan donatı türü ve akma dayanımı, donatının pekleşme özellikleri, enine donatının durumu ve sargılama etkisi, kesit geometrisi, yüklemenin yapılış şekli ve hızı bu değişkenlerden bazılarıdır.

Betonarme elemanların davranışlarını doğru şekilde belirleyebilmek için gerek malzeme gerekse elaman bazında bugüne kadar pek çok deneysel ve kuramsal çalışma yapılmış olmasına rağmen, üzerinde kesin olarak fikir birliğine varılmış bir model henüz yoktur. Bunun en önemli sebebi ise belirtilen değişkenlerin hem sayıca

çok oluşu, hem de çok geniş bir aralıkta değişim göstermesidir. Tersinir yükler altındaki davranış bir yana, monoton artan yükler altındaki davranış üzerine bile pek çok çalışma devam etmektedir. Mevcut teoriler deneysel sonuçlara yaklaşmış olmasına rağmen, çatlak kapanması, donatının sıyrılması ve Bauschinger etkileri gibi faktörler söz konusu modellerin çoğu tarafından göz önüne alınmamaktadır (İlki,2000).



Şekil 4.1: Tersinir yükler altında ankastre kiriş davranışı

Yürütülen bu çalışmada amaç betonarme perde duvarların yön değiştiren tekrarlı yükler altında eğilme davranışını incelemek, sözü edilen pek çok değişkenden bazılarının davranış üzerindeki etkilerini araştırmaktır. Bu değişkenler sargı ve gövde bölgelerinde kullanılan donatının yerleşimi ve miktarı olarak belirlenmiştir. Tasarlanan bütün numunelerde kullanılan beton özdeştir ve tek seferde dökülmüştür. Bütün numunelerde kullanılan donatı çapı aynıdır ve aynı kangaldan alınmıştır. Numunelerin hepsi sünek davranış elde edilecek şekilde tasarlanmıştır. Tersinir yükler altında betonarme elemanların davranışı genel hatları ile benzerlikler içermektedir. Simetrik olarak donatılandırılmış betonarme kesitlerin tersinir yükler altındaki yük-deplasman davranışları Abrams (1991) tarafından genel hatları ile özetlenmiştir. Şekil 4.1'de verilen ankastre mesnetlenmiş bir kiriş örneğinin yön değiştiren tekrarlı yükler altında geçeceği evreler, şekil üzerinde verilen sıra ile aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

1. Betonarme eleman üst beton lifinde çatlaklar oluşana dek yüklenir,
2. Daha ileri seviyelerde yüklemeye devam edilmesi ile birlikte elemanda kademeli olarak meydana gelen yumuşama sonucu çatlaklar eleman derinliği boyunca ilerler, küçük miktarda elastik ötesi şekil değiştirmeler meydana gelir, tarafsız eksen yukarıya doğru hareket ederken boyuna donatı beton içinden sıyrılmaya çalışır.
3. Bu evrede üstte bulunan çekme donatısının akması neticesinde yükte meydana gelen küçük artımlara rağmen deformasyonda bariz artışlar meydana gelir. İlerleyen deplasman seviyesi ile birlikte eleman göçmez. Akma noktasından sonra elemanın göçmeye uğramadan yapmış olduğu deplasman, elemanın elastik ötesi deformasyon yapabilirliğinin ölçütüdür.
4. Eylemsizlik ve sönüm kuvvetleri hareketin hızını sıfırlamaya çalışırken, yapı boşaltma evresine geçer. Bu anda elemanın yapmış olduğu deplasmanda az bir değişim olmasına rağmen yükte önemli miktarlarda düşüş meydana gelir.
5. Yükteki azalma ile birlikte deplasman da azalırken beton ve donatıdaki gerilmeler küçülen şekil değiştirmeler nedeniyle azalır. Donatı betonarmeye göre göreceli olarak başlangıç pozisyonuna doğru geri çekilir. 2. evrede açılan eğilme

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU DOKÜMANTASYON MERKEZİ

çatlakları kısmen de olsa kapanmaya başlar. Eleman yükleme esnasında elastik sınırları geçmiş olduğu için, yükün tamamen kaldırılmasından sonra da bir miktar deformasyonu üzerinde taşımaya devam eder.

6. Yükün ters yöne dönüşü ile birlikte, yükte meydana gelen küçük artımlara karşılık elemanda büyük deplasmanlar meydana gelir. Daha önce açılan eğilme çatlakları elemanın ters yöndeki bu hareketi ile birlikte kapanmaya başlar. Deneyin başlangıcındaki sıfır pozisyonundan geçilirken artık eleman belli bir miktarda yük taşımaktadır. Bu aşamada bir önceki adımda çekme ile zorlanan üst donatılar bu defa basınç ile zorlanırken, alt kısımdaki donatılar da bir önceki adımın tersine çekme ile zorlanmaya başlarlar.
7. Çatlaklar kapanırken eleman sezilebilir miktarda rijitlik kazanmaya başlar. Alt kısımda çatlakların oluşmaya başlaması ile birlikte 2. evrede meydana gelen aşamalar bu defa elemanın alt liflerinde oluşmaya başlar.
8. Altta bulunan çekme donatısı önemli miktardaki deformasyon neticesinde akar. Bu aşamada çekme altında zorlanan donatı bir önceki adımda basınç altında zaten akmıştır. Bunun sonucunda yumuşayan donatının gerilme karşısındaki direnci azalır. Daha önceki adımda, çekme altında akan donatının basınç altında göstermiş olduğu bu davranış Bauschinger etkisi olarak adlandırılır. Çeliğin pekleşme özelliklerini çekme testleri ile ortaya çıkartmak mümkünse de , donatı çeliğine basınç uygulamak kolay olmadığı için Bauschinger etkisinin belirlenmesi oldukça zordur.
9. Maksimum noktaya ulaşıldıktan sonra hareketin geriye dönüşü deplasmandaki küçük düşüşe rağmen yükte büyük miktarda azalmalara sebep olur. Bu kısmın uzunluğu yükleme kısmında elemana verilen zararın miktarına bağlıdır.
10. Boşaltma işlemine devam edildikçe azalan yük ile birlikte beton ve çelikte meydana gelen şekil değiştirmeler de azalır. Boyuna donatıda meydana gelebilecek olan sıyrılmanın geri dönüşü de deplasmanda meydana gelen bu azalmanın sonucu olarak ortaya çıkar. Yükleme aşamasında meydan gelen eğilme çatlakları da yükün tamamen kalkmasına rağmen tümüyle kapanmaz.
11. Yük tamamen kalktığı zaman eleman üzerinde meydana gelen kalıcı deformasyon bir önceki ters yönde yapılan yükleme anında oluşan deplasmanın

tersi yönde oluşur. Ters yönde yeniden başlayan hareket sonucunda, deplasmanda meydana gelen önemli artışlar ile birlikte yükte meydana gelen küçük artışlar gözlenir. 6. evrenin tersine bu kısımda harekete devam edilmesine rağmen bir önceki adımda açılan eğilme çatlakları eleman sıfır deplasmanına ulaşana dek yüklenmesine rağmen kapanmaz. Önceki adımda açılmış olan eğilme çatlakları kapanmadan, yeni çatlaklar açılmaya başlar. Sıfır noktasına gelindiğinde hem altta hem de üstte kapanmamış halde bulunan çatlaklar meydana gelir. Bu noktanın geçilmesi ile birlikte kapanmaya başlayan basınç bölgesi çatlakları elemanın yeniden rijitlik kazanmasına sebep olur. Bu kısımda meydana gelen bu çatlak oluşumları sebebiyle basınç gerilmesinin büyük kısmı donatı tarafından taşınır.

12. Eleman etki eden yüklemeye karşı 2. kısımda gösterdiği tepkiye göre daha yumuşak bir biçimde karşılık verir. Bu durum basınç ve çekme dönüşümleri altında çelikte meydana gelen yumuşamanın, betondaki başlangıç elastisite modülündeki azalmanın ve beton ve çelik arasındaki bağ kuvvetlerindeki zayıflamanın bir neticesidir.
13. Daha ileri seviyelerde yüklemeye devam edilmesi ile birlikte elemanda meydana gelen yumuşama neticesinde ortaya çıkan davranış elastik sınırlar içindeki davranıştan oldukça farklıdır. Üst bölgede bulunan çekme donatısının bir önceki adımda basınç altında akma dayanımına ulaşması sonucunda Bauschinger etkisi yeniden görülür. Takip eden tersinir yüklemeler sonucunda eleman sürekli olarak bu yumuşama davranışını tekrarlar. Çelikteki akma dayanımının geçildiği ilk andan itibaren devam eden çevrimler boyunca artık belirli bir akma dayanımının görülebilmesi mümkün değildir.

Takip eden yükleme çevrimlerine devam edildikçe elde edilecek davranış şekli, yukarıda maddeler halinde verilen tek çevrimlik işlem şemasının tekrarı şeklinde olacaktır. Deneyler boyunca da numunelerde gözlenen ve yukarıda sıralanan davranış arasında büyük benzerlikler olduğu tespit edilmiştir.

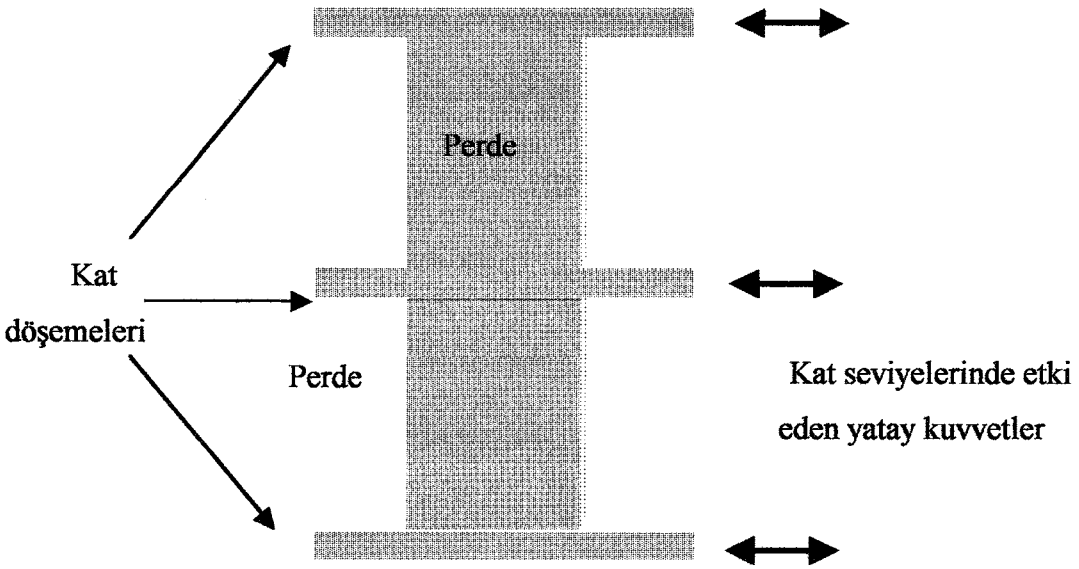
4.2 Numunelerin Tasarımı Ve Üretilmesi

4.2.1 Numunelerin Tasarımı

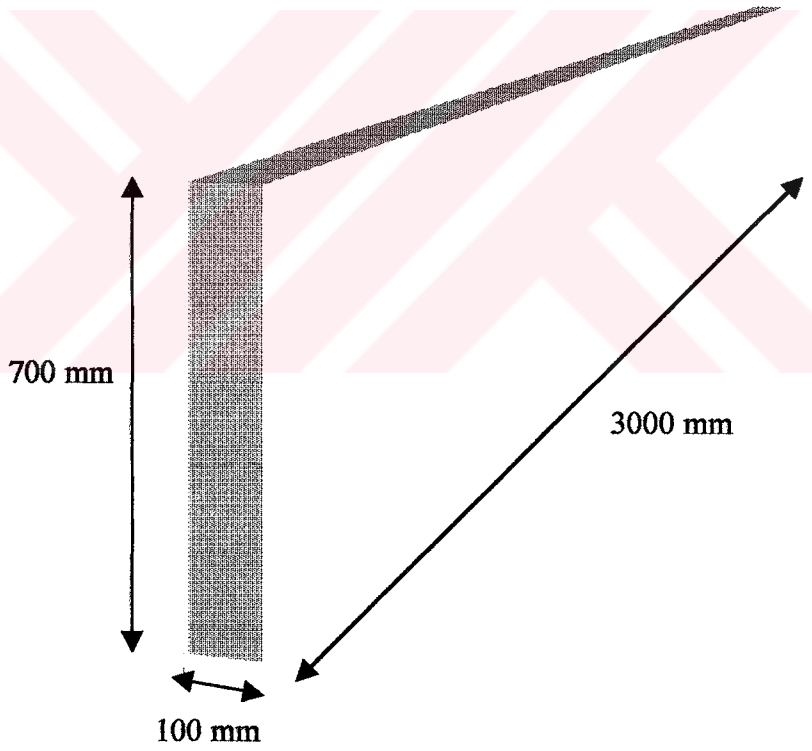
Bu çalışmada farklı gövde ve sargı donatılarına sahip 12 adet perde duvar numunesi hazırlanmış ve bu numunelerin yön değiştiren tekrarlı yükler altındaki davranışları incelenmiştir.

Bilindiği gibi "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik"'te belirtildiği şekli ile perdeler planda uzun kenarının kalınlığa oranı en az yedi olan düşey taşıyıcı sistem elemanlarıdır. Ayrıca perde kalınlığının kat yüksekliğinin 1/15'inden ve 200 mm'den az olmaması gerekmektedir. Yukarıdaki koşulların da öngördüğü perde boyutları ve geleneksel bina yapımında da sıkça uygulanan boyutlar düşünülerek 200mm x 1400 mm x 3000 mm boyutlarında bir betonarme perde eleman düşünülmüş, seçilen bu boyutlar ½ oranında küçültülerek deney numuneleri elde edilmiştir. Deney tekniği olarak perde duvarların bir kiriş gibi yüklenmesi öngörülmüştür. Bu çalışmanın esas amacı farklı gövde ve sargı donatıları kullanılarak hazırlanan numunelerin salt eğilme altındaki davranışını incelemektir. Hazırlanan numunelerin deney düzeneğine bir kiriş gibi oturtularak yüklenmesi sayesinde kesit ortasında kesme kuvvetinin sıfır, momentin ise sabit kaldığı ve ölçümlerin yapıldığı bir bölge elde edilmiştir. Bu şartlar altında hazırlanan numunelerin boyutları 100 mm x 700 mm x 3000 mm'dir. Dolayısı ile hazırlanan numunenin yarısı bir perde duvar modelini temsil etmektedir.

Numuneler hazırlanırken beton sınıfı için BS20, donatı için ise St37 çeliği öngörülmüştür. Piyasa şartlarında kullanılan hasır donatıların hepsi yüksek mukavemetli çelikten imal edilmektedir. Bu çelikler ile hazırlanacak numunelerin taşıma gücünü büyük oranda arttıracağı, numunelerin daha gevrek davranış sergileyeceği düşünülerek hazır hasır kullanımından vazgeçilmiştir.

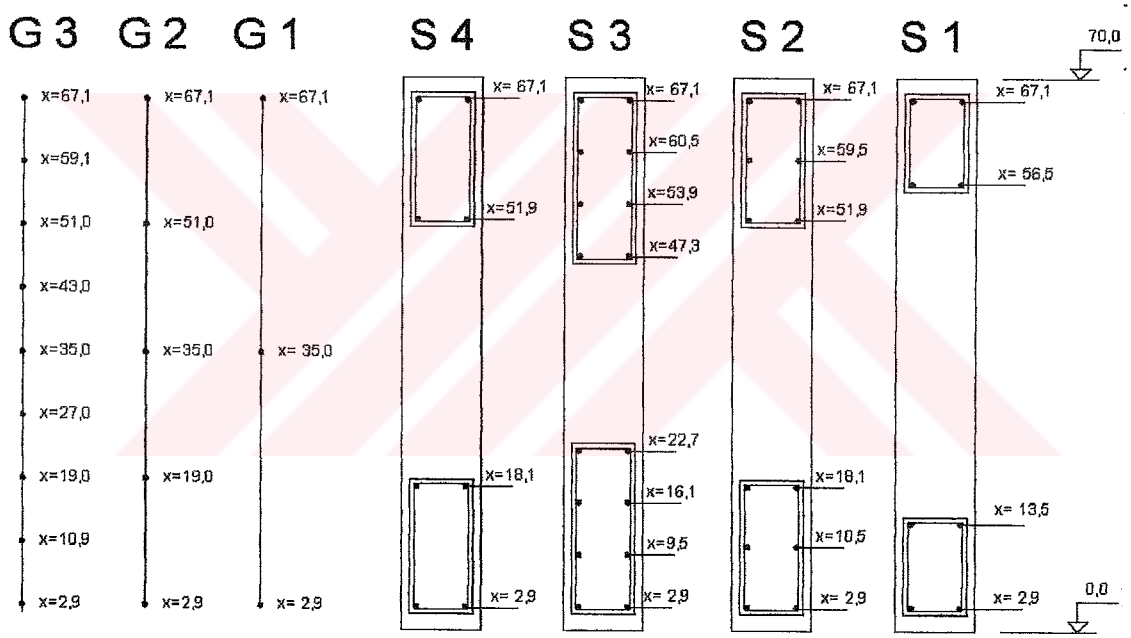


Şekil 4.2: Perde duvar modeli



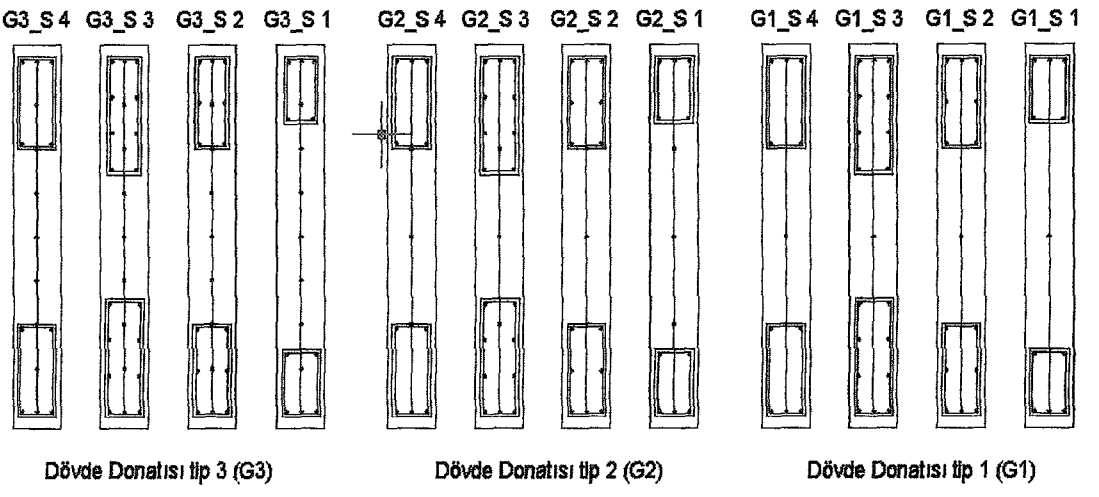
Şekil 4.3: Perde duvar deney numunesinin boyutları

Bu şartlar altında gövde donatıları St37 çeliği kullanılarak, farklı geometrilerdeki kare hasırların laboratuarda hazırlanması ile elde edilmiştir. Bütün numunelerde kullanılan donatı çapı 6 mm'dir ve donatılar düz yüzeylidir. Yapılan inceleme sonucunda 6 mm çapındaki donatının en kaliteli şekilde İskenderun Demir Çelik Fabrikaları'nda üretildiği belirlenmiş ve donatı çelikleri bu firmadan sağlanmıştır. Numunelerin hazırlanmasında ise hazır beton kullanılmıştır. Kullanılan malzemelerden donatı çeliği ile ilgili çekme deneyleri ve kimyasal analizler Kosgeb'de bulunan DARTEC çekme cihazları ile yapılırken silindir ve küp numune deneyleri Pamukkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Malzemesi Laboratuarında bulunan hidrolik pres cihazı ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.4: Farklı gövde ve sargı donatısı yerleşimleri

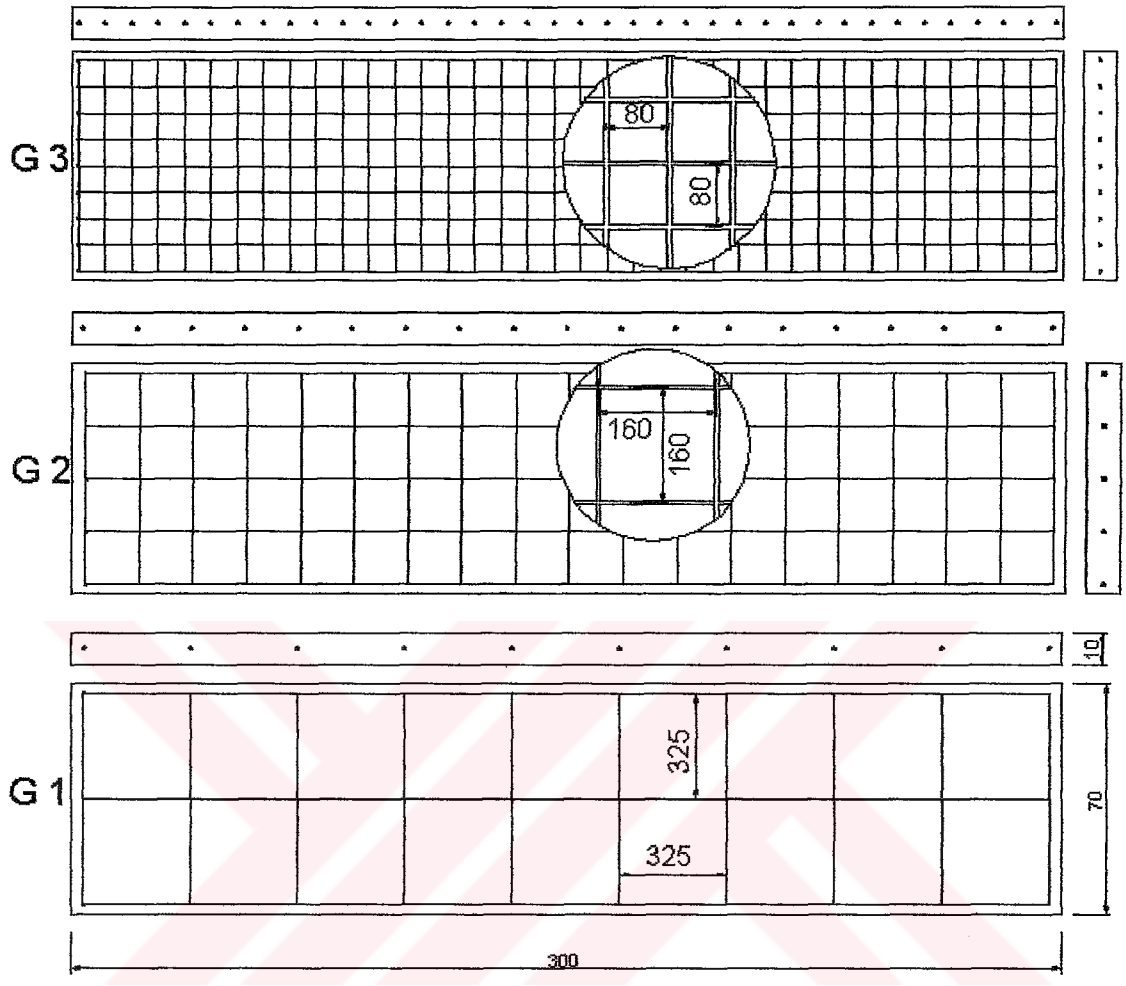
Numuneler türetilirken 3 farklı gövde ve 4 farklı sargı şekli sırası ile birleştirilerek, bütün gövde donatısı şekillerinin bütün sargı şekilleri ile bir araya getirilmesi sağlanmıştır. Şekil 4.4'te gövde ve sargı donatısı yerleşimlerinin kesitten görünümleri ve donatıların merkez kotları verilmektedir Söz konusu gövde ve sargıların bir araya getirilmesi ile elde edilen 12 numune ise Şekil 4.5'deki gibidir. Deney numunelerine ait donatı çizimleri çalışmanın sonunda Ek A bölümünde verilmiştir.



Şekil 4.5: Deney numunelerindeki donatı yerleşimleri

Laboratuar ortamında hazırlanan kare hasırların görünümü ise Şekil 4.6'da verilmiştir. G1, G2 ve G3 gövde donatılarında iki donatı arası, donatıların merkezinden merkezine sırası ile 325 mm, 160 mm ve 80 mm olacak şekilde ayarlanmıştır. Şekil 4.6'da numune boyu 3000 mm olarak görünmekte ise de hazırlanan numunelerin boyu 3500 mm'dir. Bunun sebebi numuneler mesnetlere oturduktan sonra her iki tarafta 250 mm kadar binme mesafesinin bırakılabilmesidir. Bu işlem yapılırken mesnetlerin dışında kalacak kısma ait gövde hasırının bağlanması işlemine aynı şekilde devam edilmiş ve numuneler 3500 mm boyunda hazırlanmıştır. Numunelerde kullanılan boyuna donatı miktarları, boyuna donatı geometrik oranları ile en az donatı içeren kesite göre yapılan karşılaştırma değerleri Çizelge 4.1'de verilmiştir.

S1, S2, S3 ve S4 şeklinde isimlendirilen sargı bölgelerindeki etriyeler, Şekil 4.5'te gösterilen gövde donatısına ardışık iki donatı arasında merkezden merkeze 100 mm mesafe olacak şekilde bağlanmıştır. Alt ve üst bölgede oluşturulan sargılar 135 derece bükülen kancalar ile ana donatıya bağlanmıştır. Numuneler tasarlanırken göçmenin kesme etkileri ile değil, eğilme etkileri ile meydana gelmesi amaçlandığı için etriyeler mümkün olduğunca sık bir şekilde bağlanmıştır. Şekil 4.5'te şematik olarak gösterilen donatıların, bağlandıktan sonraki görünümleri Şekil 4.7- 4.18'de verilmiştir



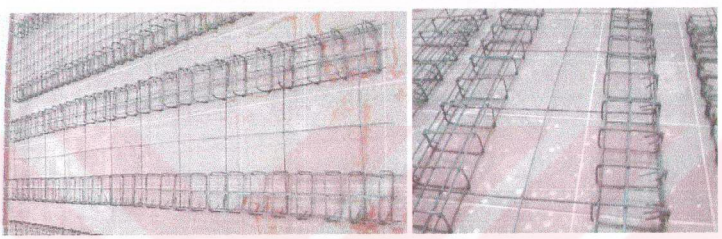
Şekil 4.6: Kare hasır şeklinde bağlanmış gövde donatıları

Çizelge 4.1: Boyuna donatı miktarları ,geometrik oranları ve karşılaştırma değerleri

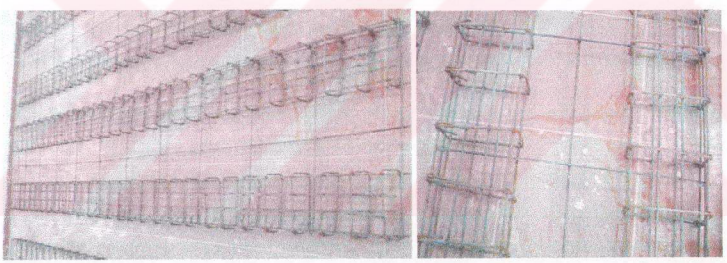
	G1			G2			G3		
	A_s (cm^2)	ρ_s	$A_s/A_{s\,min.}$	A_s (cm^2)	ρ_s	$A_s/A_{s\,min.}$	A_s (cm^2)	ρ_s	$A_s/A_{s\,min.}$
S1	3,11	0,44	1,00	3,68	0,53	1,18	4,81	0,69	1,55
S2	4,25	0,61	1,36	4,81	0,69	1,55	5,94	0,85	1,91
S3	5,38	0,77	1,73	5,94	0,85	1,91	7,08	1,01	2,27
S4	3,11	0,44	1,00	3,68	0,53	1,18	4,81	0,69	1,55



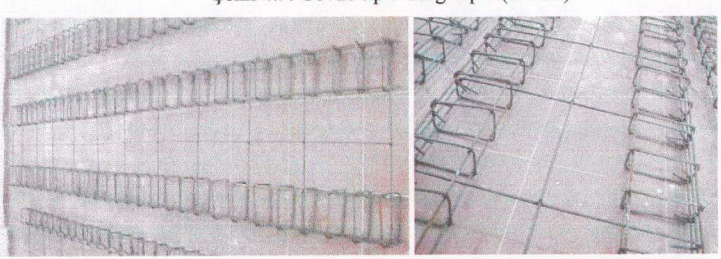
Şekil 4.7: Gövde tip 1-Sargı tip 1 (G1-S1)



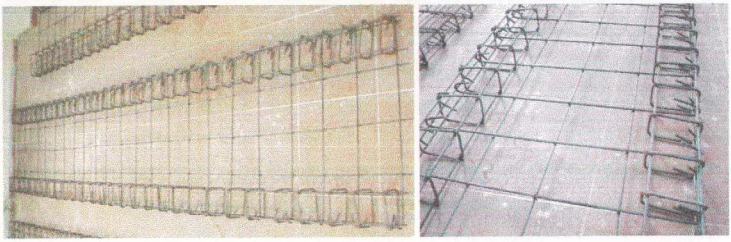
Şekil 4.8: Gövde tip 1-Sargı tip 2 (G1-S2)



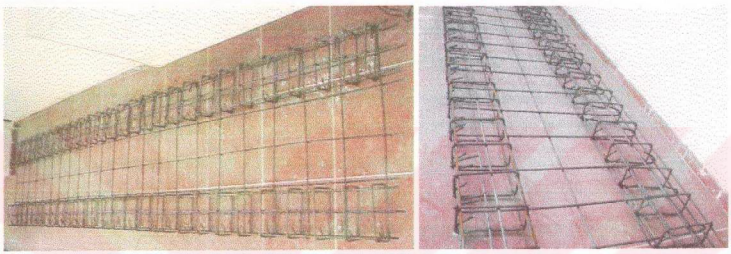
Şekil 4.9: Gövde tip 1-Sargı tip 3 (G1-S3)



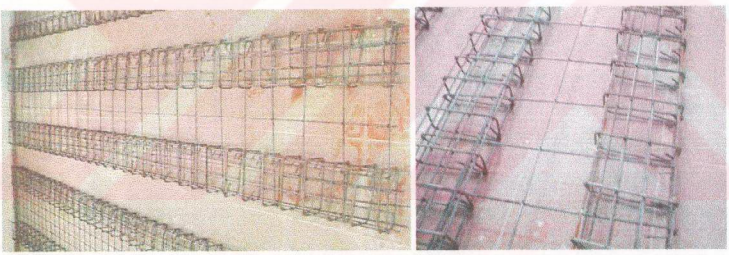
Şekil 4.10: Gövde tip 1-Sargı tip 4 (G1-S4)



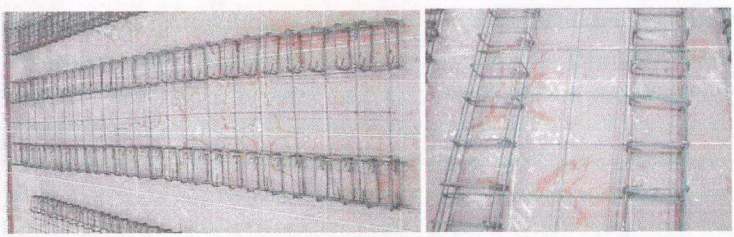
Şekil 4.11: Gövde tip 2-Sargı tip 1 (G2-S1)



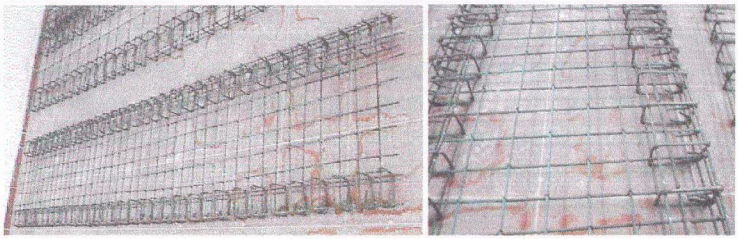
Şekil 4.12: Gövde tip 2-Sargı tip 2 (G2-S2)



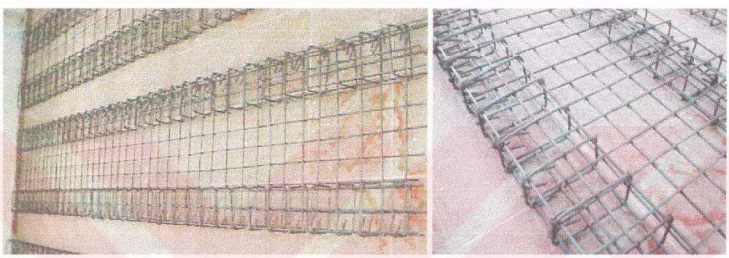
Şekil 4.13: Gövde tip 2-Sargı tip 3 (G2-S3)



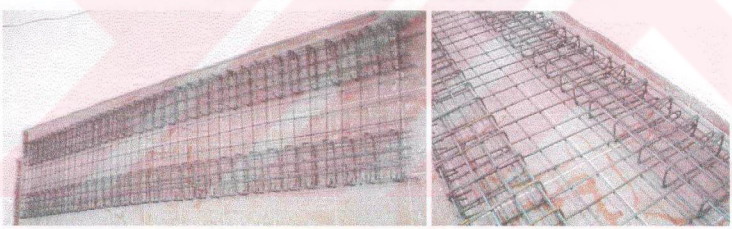
Şekil 4.14: Gövde tip 2-Sargı tip 4 (G2-S4)



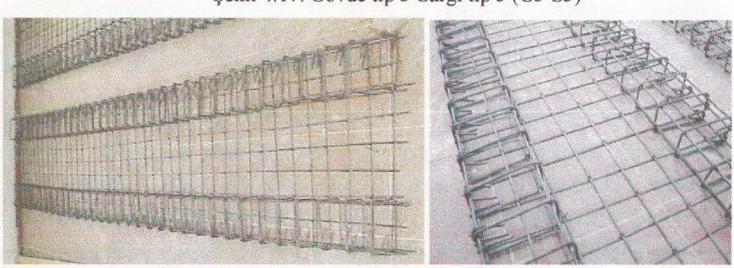
Şekil 4.15: Gövde tip 3-Sargı tip 1 (G3-S1)



Şekil 4.16: Gövde tip 3-Sargı tip 2 (G3-S2)



Şekil 4.17: Gövde tip 3-Sargı tip 3 (G3-S3)



Şekil 4.18: Gövde tip 3-Sargı tip 4 (G3-S4)

4.2.2 Numunelerin Üretilmesi

Numunelerin üretilmesi için öncelikle donatı iskeletlerinin hazırlanması ile işe başlanmıştır. Donatıların bağlanması işleminden sonra beton dökümü için kalıplar hazırlanmıştır (Şekil 4.19). Betonun dökümü, döküm sırasında işlenebilmesi ve daha sonra da betonun sulanması işlemlerinde kolaylık sağlaması açısından kalıplar dikey olarak değil, düşey olarak çakılmıştır. Bir tepsi şeklinde hazırlanan kalıpların, döküm işlemi sırasında esneme yapmaması için 50 mm x 150 mm kesitinde ahşap kullanılmıştır. 150 mm'lik yüksekliğin 100 mm'lik kısmı numune betonu ile dolduktan sonra geri de kalan 50 mm'lik kısım betonun sulanması safhasında bir havuz gibi kullanılmıştır. Hazırlanan kalıpların alt kısımları da ayrıca ahşap ile kapatılmış ve naylon ile de kaplanmıştır. Donatılar kalıplara yerleştirilirken istenen beton örtüsünün sağlanabilmesi için hazır plastikten pas payları kullanılmıştır. Beton döküm işlemi 12 numune için aynı anda gerçekleştirilmiştir.

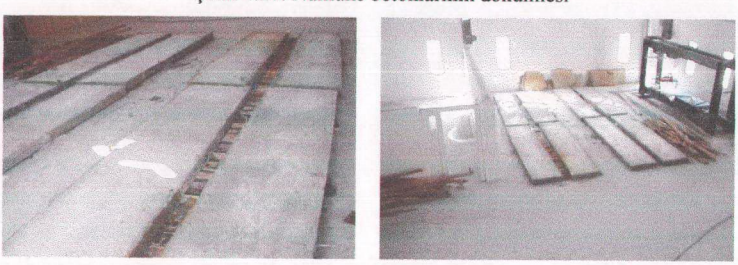


Şekil 4.19: Numune donatılarının bağlanması ve kalıpların hazırlanması

Beton dökme işlemi Şekil 4.20'de gösterilmektedir. Hazırlanan numunelerin dayanım kazanmasından sonra, kalıplar sökülmüş ve numuneler deneylerin yapılacağı laboratuara taşınmaya hazır hale getirilmiştir (Şekil 4.21).



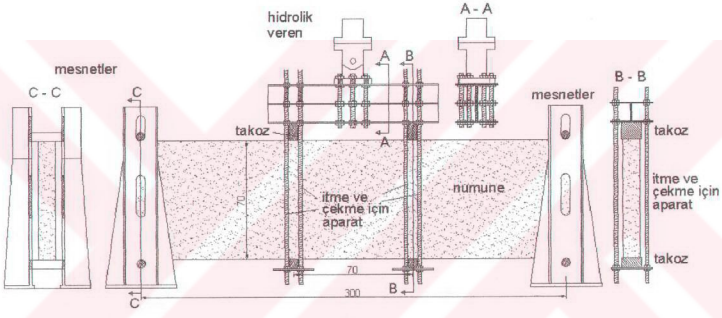
Şekil 4.20: Numune betonlarının dökülmesi



Şekil 4.21 Numune kalıplarının sökülmesi

4.3 Yükleme Düzeneği

İtme ve çekme şeklinde yüklemenin yapılacağı deney düzeneği kapalı bir çerçeveden oluşmaktadır. Deney serisine başlamadan önce laboratuarda bulunan test çerçevesinin boyu 50 cm kadar yükseltilmiş, birleşim bölgeleri çelik levhalar kullanılarak takviye edilmiştir. Hidrolik verenin bağlı olduğu çerçevenin üst orta noktası da bu çalışmadan önce yapılan ilaveler ile takviye edilmiştir. Kullanılan deney düzeneği şematik olarak Şekil 4.22'de verilmiştir.



Şekil 4.22: Deneyler sırasında kullanılan yükleme düzeneği

Daha önce de belirtildiği gibi yürütülen çalışmada esas amaç tersinir yükler etkisindeki numunelerin salt eğilme altındaki davranışını incelemektir. Bu amaçla ölçümlerin yapılacağı, sabit moment etkisindeki bölümün elde edilmesi için Şekil 4.22'de görüldüğü gibi 70 cm'lik bir yükleme açıklığı bırakılmıştır. Hazırlanan numuneye göre oldukça rijit olan ve hidrolik verenin uyguladığı itme ve çekmeyi 70 cm açıklık ile tekil yük olarak numuneye aktaran bir yükleme kirişi hazırlanmıştır. Deney düzeneğinde iki tekil yük noktası arasında elde edilen bu sabit moment bölgesine yerleştirilen ölçüm cihazları yardımıyla yük-deplasman ve moment-eğrilik ilişkileri elde edilmiştir. Betonarme perde duvarlarda eğilme momentinin yanı sıra kesme kuvveti ve eksenel yükün de aynı zamanda bulunacağı bir gerçektir. Fakat söz konusu ölçümleri gerçekleştirebilmek ve göçmenin tümüyle eğilme etkileri altında

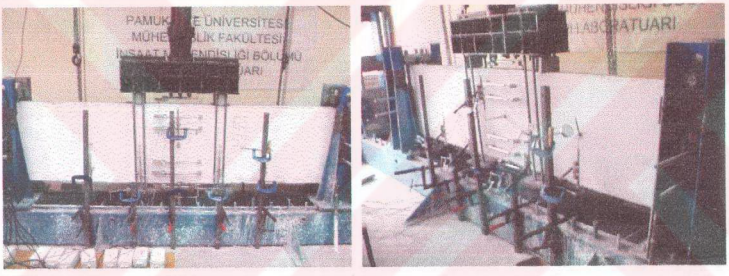
oluşmasını temin edebilmek için bu deney tekniğinden daha uygun bir yöntem bulunamamıştır. Deneyler sırasında kullanılan yükleme ve ölçüm cihazları bu çalışma ile ilk defa kullanılır hale getirilmiştir. Geliştirilecek imkanlar yardımıyla ilerde eksenel yük uygulama imkanlarına da kavuşulması ile birlikte teknik açısından daha zor fakat daha kapsamlı deneysel çalışmalar yapılabilecektir.

Deney esnasında numunelerin itme işlemi hazırlanan yükleme kirişi ile yapılırken çekme işlemi de Şekil 4.22'de görülen, St70 çeliğinden imal edilen 22 mm çapındaki çelik bulonlar yardımıyla yapılmıştır. Çelik bulonların yükleme kirişine ve alt bölgedeki silindirik takozun konulduğu 25 mm kalınlığındaki çelik levhaya bağlantıları da ikişer adet somun kullanılarak sağlanmıştır. St70 çeliğinden hazırlanan bulonların bir tanesinin ortalama 15 tonun üzerinde yük taşıyabileceği öngörülmüştür. Şekil 4.22'de görüldüğü gibi itme ve çekme işlemi için bu bulonlardan 8 adet kullanılmıştır. Alt bölgede kullanılan çelik takoz 5 cm çapındadır. Yükleme kirişinin hemen altında gösterilen çelik takoz ise 11 cm çapındaki silindirden, tasarlanan ölçülerde kesilerek elde edilmiştir. Numunelerin kalınlığının 10 cm olması nedeniyle deney sırasında yükleme noktalarında meydana gelebilecek olası bir ezilmeyi en aza indirebilmek için çelik levhalar kullanılmıştır. Ayrıca deney sırasında da tamamlanan her yükleme çevriminden sonra (itme+çekme) ezilme sebebiyle oluşabilecek olan boşluklar alt kısımdaki somunların sıkılması ile alınmıştır.

Şekil 4.23 G3_S2 numunesinin deneye başlamadan önce, bağlantıları tamamlanmış halini göstermektedir. Numunelerin mesnet noktalarının hazırlanması için özel bir tasarım yapılmıştır. Mesnet noktalarında numuneyi alttan ve üstten tutabilmek amacıyla 5 cm çapındaki bulonların geçebileceği delikler açılmıştır. Numune bu bulonlar arasına alındıktan sonra, alttaki bulonu alttan, üstteki bulonu da üstten kavrayan ve birbirlerine 25 mm çapında, uçlarına ağız açılmış başka bulonlar yardımı ile bağlanan çelik aparatların sıkılması ile sabitlenmiştir. Söz konusu aparatlar Şekil 4.24'de görülmektedir. Numunenin mesnet bölgelerinde yükleme esnasında düzlem dışına doğru yapacağı muhtemel bir hareketi engellemek için,

mesnetlerin orta bölgelerinde açılan deliklerden faydalanılmıştır. Her mesnette dört tane olmak üzere boydan boya ağız açılmış bulanlar yardımı ile numuneler yanlardan da sıkılmıştır. Söz konusu bulonların karşılıklı olarak sıkılması ve gevşetilmesi ile birlikte deneyden önce numuneleri düzgün bir biçimde terazilemek mümkün olmuştur. Bahsi geçen bu bulonlar da Şekil 4.25'te gösterilmektedir.

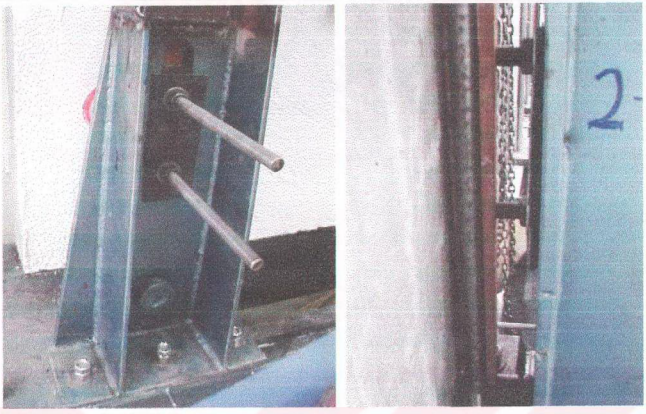
Numunelerde eğilme momentini oluşturan yükleme ise İngiliz Kredisi Projesi kapsamında üniversitemize alınan bilgisayar kontrollü DARTEC hidrolik güç ünitesi yardımı ile yapılmıştır. Hidrolik veren statik olarak 250 kN dinamik olarak ta 200 kN yükleme ve 200 mm yer değiştirme kapasitesine sahiptir. Bilgisayar ile kontrol edilen yükleme cihazını gerek yük, gerekse de deplasman kontrollü olarak çalıştırmak mümkündür.



Şekil 4.23: Deneye başlamadan önceki son durum



Şekil 4.24: Mesnetlerde itme ve çekmeye karşı hareketin önlenmesi



Şekil 4.25 : Düzlem dışına hareket önleyiciler

4.4 Veri Toplama Sistemi

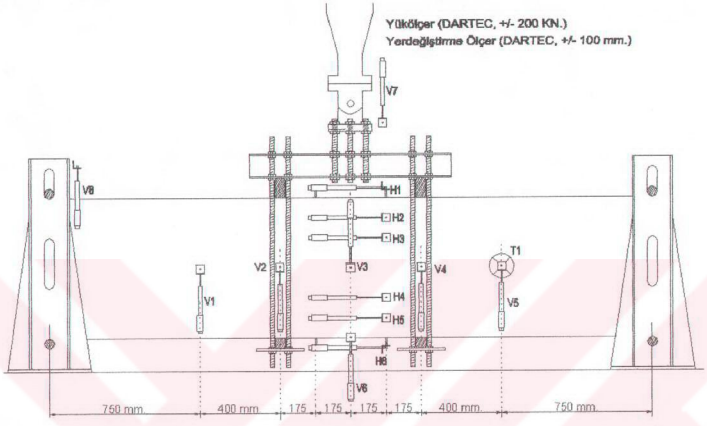
Deneyler sırasında gerçekleştirilen ölçümlerin tümü yer değiştirme ölçerler ile yapılmıştır. Veri toplama işlemi iki ayrı ünite üzerinden yapılmıştır. Bunlardan ilki deney sırasında yapılan yükleme ve yer değiştirmeleri toplayan DARTEC cihazına bağlı veri toplama ünitesi, ikincisi de numune üzerinde meydana gelen anlık deplasman değişimlerini kaydeden ADU ünitesidir. Laboratuarımızdaki mevcut teknoloji ile DARTEC ve ADU veri toplama ünitelerini birbirine bağlayabilmek mümkün olmamıştır. Yani bütün ölçümler aynı anda tek bir bilgisayar aracılığı ile değil iki ayrı bilgisayar yardımı ile toplanmıştır. Alınan verileri eş zamanlı hale getirebilmek, deneyden sonra numune üzerindeki hangi deplasmanın hangi yük değerine karşılık geldiğini belirleyebilmek için, ADU cihazına bağlanan yer değiştirme ölçerlerden bir tanesi hidrolik veren başlığına monte edilmiştir. Yapılan bu işlem sayesinde ADU ya bağlanan yer değiştirme ölçer ile DARTEC'e bağlanan yer değiştirme ölçerin aynı anda aynı deplasman okumalarını yapması sağlanmış ve bu okumaların yapıldığı zaman diliminde numune üzerindeki yer değiştirme ölçerlerde oluşan deplasmanlar toplanabilmiştir.

Deney okumaları düşeyde, yatayda ve numune düzlemine dik doğrultuda olmak üzere toplam üç değişik biçimde gerçekleştirilmiştir. Deneyler sırasında kullanılan ölçüm cihazlarının numune üzerine yerleşimleri Şekil 4.26'da gösterilmiştir. V1, V2, V3, V4, V5 ve V6 yer değiştirme ölçerleri ile gerçekleştirilen okumalar, numunenin düşeyde yaptığı deplasmanı kontrol etmek amacı ile yapılmıştır. V1,V2,V4,V5 ölçümleri deneylerin sonunda kullanılmamıştır. Bu yer değiştirme ölçerlerin kullanım amacı yüklemenin simetrik olup olmadığını kontrol etmektir.

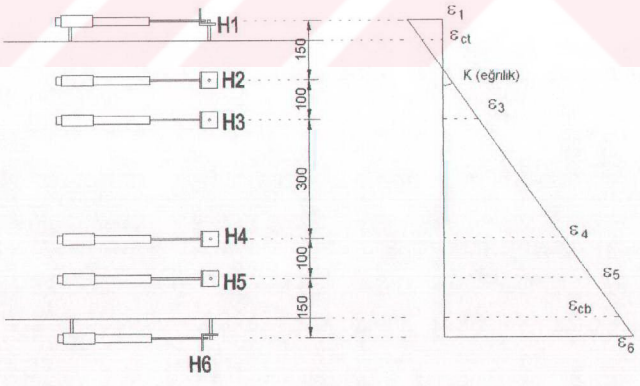
Yük-deplasman eğrileri hazırlanırken V3 ve V6 okumalarından yararlanılmıştır. Orta noktadan hem V3, hem de V6 okumalarının alınmasının sebebi, muhtemel bir çatlama sonucunda ölçüm cihazının devreden çıkması ihtimaline karşılık yedek ölçüm alma ihtiyacıdır. V7 yer değiştirme ölçeri ise belirtildiği gibi DARTEC ve ADU okumalarını eş zamanlı hale getirebilmek için veren kafasında kullanılmıştır. H1, H2, H3, H4, H5 ve H6 yer değiştirme ölçerleri ise şekil değiştirme ölçümlerini yapabilmek için kullanılmıştır. Deneyler başlamadan önce numune üzerinde oluşacak şekil değiştirme dağılımının doğrusal mı, yoksa eğrisel mi oluşacağı konusunda kuşkular bulunduğu için, yatayda gerçekleştirilen bu okumalar mümkün olduğunca çok sayıda yer değiştirme ölçer kullanılarak yapılmıştır. Davranışın doğrusal olduğu deneyler sonucunda görülmüş ve yatayda yapılan bu ölçümlerin ortalaması üzerinden eğrilik hesaplamaları gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.27). V8 yer değiştirme ölçeri ise deney sırasında mesnetlerde meydana gelebilecek olası bir deplasmanı izleyebilmek amacı ile kullanılmıştır. Son olarak numune düzlemine dik olarak yerleştirilen T1 yer değiştirme ölçeri ile de düzlem dışına doğru meydana gelebilecek deplasmanlar kontrol edilmiştir. Yatayda kullanılan yer değiştirme ölçerler ve T1 yer değiştirme ölçerinin deney numunesine bağlanmış hali Şekil 4.28'deki gibidir.

Ölçüm cihazları numune içine 3.5 cm kadar gömülen 6 mm çapındaki bulonlar ve 4 mm kalınlığındaki aliminyum köşebentler yardımı ile numune üzerine tutturulmuştur. Yükleme cihazında itme ve çekme yönünde belli artımlarla uygulanan yükleme çevrimlerinin her biri DARTEC cihazını kumanda eden bilgisayara bir yükleme dosyası olarak girilmiş, her yükleme çevriminden sonra

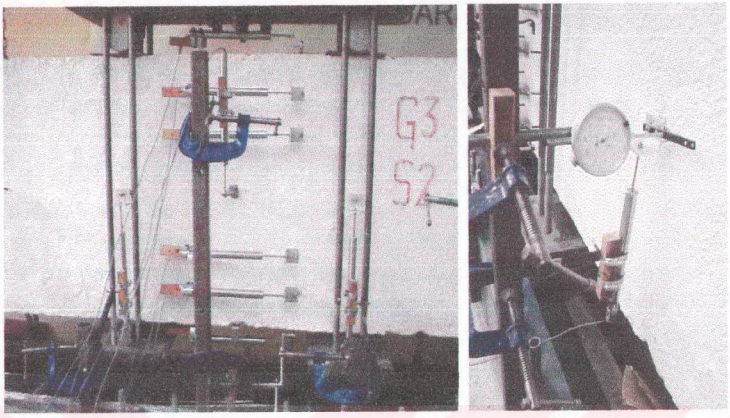
deney durdurulmuş, gerekli kontroller yapıldıktan ve numunede meydana gelen ezilmeden dolayı oluşan boşluklar alındıktan sonra bir sonraki çevrime devam edilmiştir. Deneyin kontrol deplasmanı olarak ise hidrolik veren deplasmanı göz önüne alınmıştır.



Şekil 4.26 : Yer değiştirme ölçerlerin kullanımı



Şekil 4.27: Yatayda kullanılan yer değiştirme okumaları ile eğrilik hesabı



Şekil 4.28: Yatayda ve düzlem dışına doğru oluşan deplasmanların kontrolü

4.5 Yüklemenin Yapılış Şekli

Laboratuar ortamında gerçekleştirilen denesel çalışmaları yükleme şekli ve hızı açısından statik, dinamik ve yalancı dinamik deneyler şeklinde üç grupta toplanabilir. Pamukkale üniversitesi Yapı Laboratuarının günümüz imkanları ile yapabileceği deneyler statik ve yalancı dinamik deneylerdir. Yürütülen deneysel çalışma da yalancı dinamik olarak, numunelerin belli adım ve hızlar ile itme ve çekme yönünde yüklenmesi ile yapılmıştır. Uygulanan deney tekniğinin gerçek dinamik yükleri yansıtmak konusunda bazı dezavantajları bulunmasına rağmen, yüklemenin adım adım gerçekleştirilmesi ve her çevrimden sonra deneyin durdurularak gerekli kontrollerin yapılmasına imkan vermesi gibi avantajları da mevcuttur.

Tekrarlı ve yön değiştiren yüklemelerin yapıldığı deneysel çalışmalarda uygulanacak yüklemenin hızı ve şekli konusunda çok sayıda yaklaşım bulunmaktadır. Gerçek depremler sırasında betonarme perde duvarlar üzerinde

oluşacak etkilerin rastgele ve son derece düzensiz bir biçimde oluşacağı açıktır. Hatta farklı depremlerin farklı etkiler meydana getireceği de bir gerçektir. Bu yüzden yükleme şekli belirlenirken numunelerin her çevrimde itme ve çekme yönünde artan deplasmanlar ile yüklenmesi hedeflenmiştir. Yükleme ünitesi genlikleri artarak ilerleyen en fazla 10 adet itme ve çekmeden oluşan yükleme çevrimlerini bir seferde tanımlamaya imkan vermektedir. Başka bir deyişle yükleme ünitesi hiçbir müdahale olmaksızın ardışık olarak ilerleyen 10 adet yükleme çevrimini daha önceden bilgisayara tanımlanan yükleme kumanda dosyası ile bir seferde yapabilmektedir.

Şekil değiştirme dağılımının doğrusal değiştiğinin görüldüğü ilk üç deneyde Çizelge 4.2'de gösterilen ve "yükleme 1" olarak ifade edilen yer değiştirmeler uygulanmıştır. Görüldüğü gibi bu yükleme yönteminde uygulanan yer değiştirme seviyeleri , "yükleme 2" olarak gösterilen durumdaki yer değiştirme seviyelerinden daha yüksektir.

Deneyler sırasında numuneler üzerinde oluşan şekil değiştirme dağılımının doğrusal olması, basınç lifinde göreceli olarak küçük şekil değiştirmeler oluşurken, çekme bölgesinde oldukça büyük açılmaların oluşmasına sebep olmuştur. Ayrıca deney boyunca gözlenen T1 yer değiştirme ölçer okumaları da ilerleyen çevrimler ile birlikte artma eğilimi göstermiştir. Sözü edilen bu faktörler değerlendirilmiş, daha yüksek donatı yüzdesi içeren diğer numunelerin denenmesi için Çizelge 4.2'de verilen ve "yükleme 2" olarak tanımlanan yer değiştirme seviyelerinin uygulanmasına karar verilmiştir. Aslında sözü edilen her iki yer değiştirme seviyesi arasında büyük farklar yoktur. Kullanılan ikinci yer değiştirme modelinde yapılan artımlar ve yükleme hızı ilkine göre daha küçük tutularak, aynı sayıda çevrim ile daha küçük yer değiştirme seviyelerine ulaşılması hedeflenmiştir. Çizelge 4.2'den de görüleceği gibi bu yeni model için hedeflenen en büyük veren yer değiştirme seviyesi ± 24 mm'dir. Pek çok numunede bu seviyeye ulaşılmışsa da, düzlem dışına hareketin arttığı numunelerde ± 20 mm'lik yer değiştirme seviyelerinde deneye son verilmiştir. Deneyleri yapılan bütün numunelerde yük-yer değiştirme ilişkisinin yataylaşması ve bu seviyede en az üç veya dört çevrim yapılmasına dikkat edilmiştir.

Çizelge 4.2'de sözü edilen bu yükleme patronlarının tarifi ile birlikte, her yükleme dosyasında tanımlanan çevrim süreleri de görülmektedir. Yük ve yer değiştirme okumalarının yapıldığı hidrolik güç ünitesi ve ADU veri toplama ünitesinin görünümü Şekil 4.29'da verilmektedir.

Çizelge 4.2: Deneyler sırasında uygulanan yer değiştirme değerleri

Yükleme 1			**Yükleme 2**		
Hız	+/- Veren deplasmanı (mm)	Çevrim Süresi (s)	Hız	+/- Veren deplasmanı (mm)	Çevrim Süresi (s.)
0,4 mm/s	(-3~+3),(-6~+6)	94	**0,25 mm/s**	(-2~+2),(-4~+4)	100
	(-9~+9),(-12~+12)	214		(-6~+6),(-8~+8)	228
0,6 mm/s	(-15~+15)	102		(-10~+10)	162
	(-18~+18)	122		(-12~+12)	194
	(-21~+21)	142	**0,4 mm/s**	(-14~+14)	142
	(-24~+24)	162		(-16~+16)	162
	(-27~+27)	182		(-18~+18)	182
	(-30~+30)	202		(-20~+20)	202
	(-35~+35)	235		(-24~+24)	242

BEŞİNCİ BÖLÜM

TERSİNİR YÜKLER ALTINDA PERDE DUVARLARIN EĞİLME DENEYLERİ VE KESİT HESAPLARI

5.1 Giriş

Bu bölümde deneysel sonuçlara girilmeden önce kesit hesaplamalarının yapılabilmesi için gereksinim duyulan malzeme deneyleri hakkında bilgi verilmektedir. Malzeme deneylerinden elde edilen sonuçların yardımıyla kesit hesaplarında kullanılmak üzere beton ve çelik için seçilen davranış modelleri ve bu modellerin hazırlanan numunelere uygulanışı da bu bölümde ele alınmaktadır. Kesit hesapları geliştirilen bir veri tabanı uygulaması ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlar hazırlanan bu veri tabanı yazılımı yardımı ile kontrol edilmiştir.

5.2 Malzeme Deneyleri

Elde edilen deneysel verilerin doğru bir şekilde yorumlanabilmesi ve kuramsal hesap sonuçları ile karşılaştırılabilmesi için beton ve donatıya ait davranış özelliklerinin mümkün olduğunca gerçeğe yakın olarak belirlenebilmesi gerekmektedir. Aşağıda numunelerin üretimi esnasında kullanılan beton ve donatı çeliği üzerinde yapılan deneyler hakkında bilgi verilmektedir.

5.2.1 Beton Basınç Deneyleri

Deney numunelerinin betonlarının dökülmesi işlemi hazır beton kullanılarak yapılmıştır. Bütün numunelerin betonları bir seferde dökülmüştür ve aynı mikserden alınmıştır. Dolayısı ile beton basınç deneyleri sırasında elde edilen değerler bütün numuneler için geçerlidir. Numunelerin dökülmesi sırasında hazır beton kullanıldığından ve kalıpların hepsi dikey değil yatay olarak (tepsi şeklinde) hazırlandığından, bütün numunelerdeki dağılımın özdeş olduğu düşünülmektedir. Perde duvar numunelerinin kalınlığı 10 cm. olarak belirlendiği için maksimum agrega boyutu 16 mm. elekten geçecek şekilde ayarlanmıştır. Beton dökme işlemi sırasında 8 adet küp 8 adet de silindir numune alınmış, alınan bu numuneler 3, 7, 28 ve 120 günlük sürelerin ardından denenmiştir. 3 ve 7 günlük numuneler hariç, diğer numunelerin 28 gün boyunca kür havuzunda bekletildikten sonra deneyleri yapılmıştır. Küp numuneler 3 ve 7 günlük sürelerin sonunda kırılırken, silindir numuneler 28 ve 120 günlük sürelerin sonunda denenmiştir. Beton basınç deneyleri yapı malzemesi laboratuarında bulunan, 150 ton yükleme kapasitesine sahip hidrolik pres cihazı ile yapılmıştır. Standart silindir numunelerin kırıldıktan sonraki görünümleri Şekil 5.1'de verilmektedir.



Şekil 5.1: Standart silindir numunelerin kırıldıktan sonraki görünümü

Beton basınç deneyleri sırasında elde edilen dayanım değerleri Çizelge 5.1'de verilmiştir. Şekil değiştirme ölçümleri ise 120 günlük standart silindirlerin denenmesi sırasında el ile yapılmıştır. Dayanıma karşılık gelen şekil değiştirme için ortalama 0.00198 değeri elde edilmiştir.

Çizelge 5.1: Beton basınç deneyi sonuçları

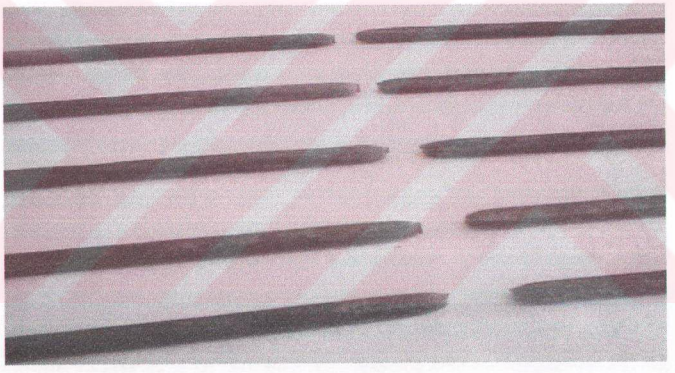
Numune	Tür	Gün	Dayanım (MPa)	Ortalama (MPa)
1	Küp (15x15x15)	3	13.6	13.3
2	Küp (15x15x15)	3	12.9	
3	Küp (15x15x15)	3	13.7	
4	Küp (15x15x15)	3	13.1	
5	Küp (15x15x15)	7	18.1	17.5
6	Küp (15x15x15)	7	17.9	
7	Küp (15x15x15)	7	16.6	
8	Küp (15x15x15)	7	17.3	
9	Standart Silindir	28	25.4	24.2
10	Standart Silindir	28	24.1	
11	Standart Silindir	28	22.9	
12	Standart Silindir	28	24.3	
13	Standart Silindir	120	29.4	29.8
14	Standart Silindir	120	28.2	
15	Standart Silindir	120	29.9	
16	Standart Silindir	120	31.6	

5.2.2 Donatı Çeliği Çekme Deneyleri

Perde duvar numunelerinin hazırlanması sırasında kullanılan bütün numuneler 6 mm. çapında ve düz yüzeylidir. Kullanılan donatı İskenderun Demir Çelik fabrikalarından getirtilmiştir. Donatı çeliği için 5 adet çekme testi ve 3 adet de kimyasal analiz yapılmıştır. Söz konusu çekme testleri Kosgeb-Denizli

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU DOKÜMANTASYON MERKEZİ

laboratuarlarında bulunan Dartec çekme cihazları ile yapılmıştır. Çekme testleri sırasında kullanılan ölçüm boyu 260 mm. dir. Kesitlerin teorik çözümlemeleri yapılırken donatı çeliğinin elastisite modülü 210000 MPa olarak alınmıştır. Donatı çeliği çekme testi sonuçları incelenirken malzemenin akma ve pekleşme bölgelerinin doğru bir biçimde belirlenebilmesine çalışılmıştır. Elde edilen akma, pekleşme ve kopma şekil değiştirmeleri, Kent ve Park (Mander,1983) tarafından, benzer dayanımlardaki donatı çelikleri üzerine yapılan çekme testi sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Çekme testlerinde elde edilen sonuçların, yazarlar tarafından yumuşak çelikler üzerine yapılan deneylerde elde edilen sonuçlarla uyumlu olduğu görülmüştür. 5 adet numune için elde edilen sonuçların ortalaması Çizelge 5.2'de verilmiştir. Çekme testi için kullanılan numunelerin deneyden sonraki durumu Şekil 5.2'de görülmektedir. Kosgeb'ten alınan test raporları da Ek B'de verilmiştir.



Şekil 5.2: Çekme deneyi uygulanmış donatı çubuklarının görünümü

Çizelge 5.2: Donatı çeliği çekme testi sonuçları (ortalama)

Donatı	f_y **(MPa)**	f_{su} **(MPa)**	ε_{su}
ϕ 6	373.4	485.4	0.1733

5.3 Kesit Hesaplarında Kullanılan Davranış Modelleri

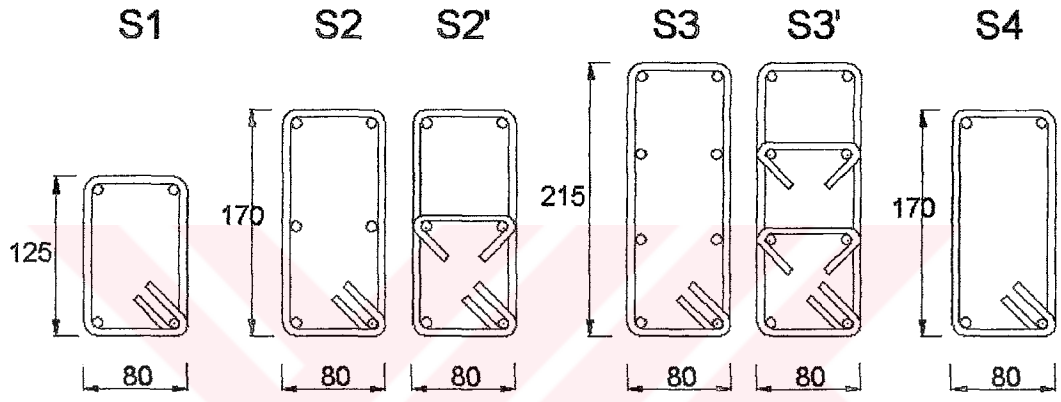
Kesitlerin teorik hesaplamaları yapılırken sargılı beton davranışı için Mander yaklaşımı kullanılmıştır. Numunelerin tasarımında kullanılan dört farklı sargı donatısı şekli için sargı etki katsayıları belirlenmiştir. Donatı çeliğinin davranış modeli ise elastik bölge, akma platosu ve pekleşme bölgesi olmak üzere üç bölüme ayrılmıştır. Bu üç bölgeyi birbirinden ayıran şekil değiştirme değerleri bütün donatılarda aynı kabul edilmiş, parabol şeklinde ilerleyen pekleşme bölgesi ise şekil değiştirmenin fonksiyonu olarak tanımlanmıştır.

5.3.1 Sargılı Beton Davranış Modeli

Sargılı beton kesitlerin davranışı silindir numune deneylerinden elde edilen davranıştan belirli oranlarda farklılık göstermektedir. Etriye donatısı ile sarılan betonun sargı donatısının varlığı sebebiyle maruz kaldığı yanal sargı basıncı, dayanım ve dayanıma karşılık gelen şekil değiştirme değerlerinde artışa sebep olmaktadır. Dikdörtgen kesitli numunelere göre dairesel kesitli numunelerde sargılama etkisinin çok daha yüksek olduğu farklı araştırmacılar tarafından ispatlanmıştır. Bu çalışma sırasında sargılı beton için gerilme-şekil değiştirme davranışı için Mander tarafından önerilen model kullanılmıştır. Söz konusu modelin hazırlanan numunelere uygulanışına geçmeden önce, bazı noktaların bilinmesi gerekmektedir. Önerilen davranış modeli, sargılanmış betonarme numunelerin salt eksenel basınç altında denenmesi sonucu elde edilmiştir. Bu tür deneylerde bütün kesit aynı oranlarda basınç ve şekil değiştirmeye maruz kalmaktadır. Halbuki eğilme ve eksenel basınç altında zorlanan numunelerde kesite etkiyen eksenel basınç kesit derinliği boyunca değişmektedir. Artan yükleme ile birlikte en dış lifte oluşan göreceli olarak yüksek şekil değiştirme hızları, bu bölgelerdeki betonun dayanımının artmasına fakat sünekliğinin azalmasına sebep olmaktadır. Farklı araştırmacılar tarafından söz konusu etkilerin sebep olabileceği bu türden farklılıkları göz önüne almadan yapılan pek çok deneysel çalışma, kuramsal hesaplamalar ile oldukça

uyumlu sonuçlar vermiştir. Dolayısı ile söz konusu etkilerin betonun davranışı üzerinde büyük bir farklılaşmaya sebep olmayacağı düşünülmektedir.

Eğilme deneyleri yapılan perde duvar kesitlerinin görünümü Şekil 4.4 ve 4.5'te verilmiştir. Eğilme etkileri altında oluşacak tarafsız eksen derinliğinin sargılanmış kısım içinde kalacağı düşünülerek, sadece uçlarda oluşturulan sargı bölgeleri için Mander yaklaşımı uygulanmıştır. Hazırlanan 4 farklı sargı donatısı detayı Şekil 5.3'te verilmiştir.



Şekil 5.3: Sargı donatısı şekilleri ve ölçüleri (mm.)

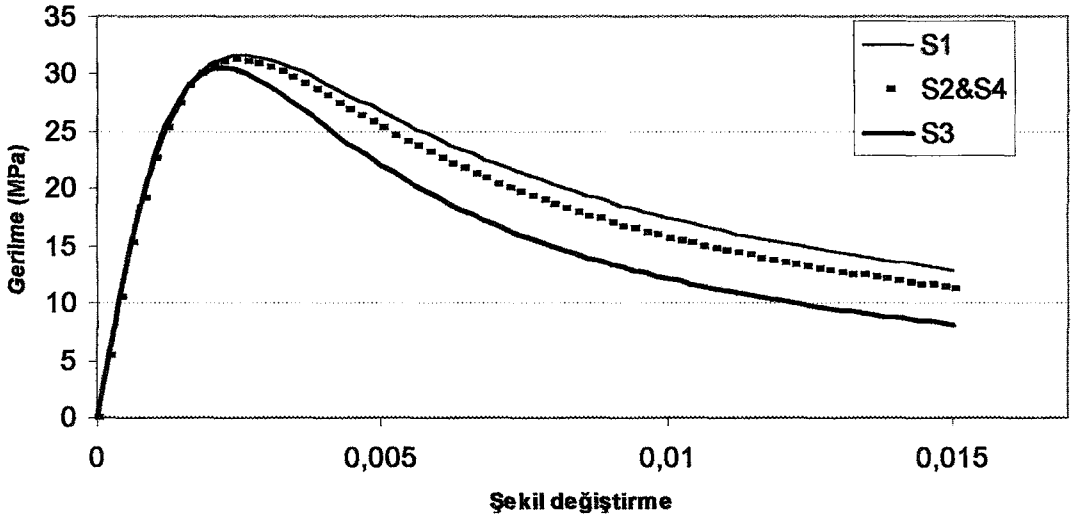
Mander yaklaşımı hakkında daha detaylı bilgi 3. bölümde verilmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucu sargılı kesit için elde edilen f'_{cc} ve f'_{co} değerleri Çizelge 5.3'te gösterilmiştir. Burada bir noktaya dikkat edilmelidir. Söz konusu kesitlerde S2 ve S3 sargıları, hazırlanırken farklı seviyelerdeki ara donatılar kanca ile bağlanmamıştır. Bu da sargılama etkisinde azalmaya sebep olmaktadır. Mander yaklaşımının uygulanışı sırasında bu donatıların hesaba katılabilmesi için kanca ile bağlı olması gerekmektedir. Söz konusu kesitlerin kanca ile bağlanmış gösterimi Şekil 5.3'te verilirken, bu tür sargılamanın sebep olacağı etkiler de Çizelge 5.3'te S2' ve S3' ifadeleri ile verilmiştir. Görüldüğü gibi Mander yaklaşımı esas alınarak yapılan hesaplamaya göre, kancalı sargılama durumu betonun basınç dayanımında çok büyük farklar oluşturmazken, maksimum dayanıma karşılık gelen şekil değiştirme değerlerinde büyük artışlara sebep olmaktadır. Bu da elemanın sünek davranışı üzerinde etkilidir.

Hazırlanan deney numunelerinde S2' ve S3' sargıları kullanılmamıştır. Dolayısıyla söz konusu sargılamanın etkileri bu deneysel çalışmanın kapsamının dışındadır. Çalışmanın amacı gövde ve sargı bölgelerinin davranış üzerindeki etkilerinin araştırılması olduğu için, daha etkili sargılamanın kuramsal olarak da olsa eleman davranışını nasıl etkileyeceği incelenmiştir. Kancaların ilavesi ile elde edilen bu yeni durum için geliştirilen yazılım yardımı ile kuramsal hesaplar yapılmış, çalışmanın sonunda Ek D'de verilmiştir.

Çizelge 5.3: Sarılmış ve sarılmamış beton için dayanım ve şekil değiştirme değerleri

	S1	**S2**	**S3**	**S4**	**S2'**	**S3'**
f'_{co} (MPa)	29.8	29.8	29.8	29.8	29.8	29.8
f'_{cc} (MPa)	31.55	31.26	30.54	31.26	32.64	33.3
f'_{cc}/f'_{co}	1.059	1.049	1.025	1.049	1.095	1.12
ε'_{co}	0.00198	0.00198	0.00198	0.00198	0.00198	0.00198
ε'_{cc}	0.00255	0.00242	0.00218	0.00242	0.00288	0.0031
$\varepsilon'_{cc}/\varepsilon'_{co}$	1.288	1.222	1.101	1.222	1.455	1.566

Çizelgede verilen sarılmış ve sarılmamış betona ait bilgiler Popovics (1973) tarafından önerilen ve Bölüm 3.1.4'te değinilen bağıntılar kullanılarak işlenmiş, sargılı betona ait kuramsal gerilme-şekil değiştirme eğrileri Şekil 5.4'deki gibi elde edilmiştir.



Şekil 5.4: S1, S2, S3 ve S4 sargıları için elde edilen gerilme-şekil değiştirme eğrileri

5.3.2 Donatı Çeliği Davranış Modeli

Betonarme yapı elemanlarında sünek davranışın elde edilebilmesi, öncelikle donatı çeliğinin davranışı ile ilgilidir. Betonarme yapı elemanının özellikle depremler sırasında ortaya çıkan enerjiyi yutabilecek şekilde tasarlanmalıdır. Yapı elemanlarının enerji yutma kapasitelerinin arttırılabilmesi ise ancak sünek bir davranış ile mümkündür. Yönetmelikler de yapı elemanlarının sünek davranış sergileyecek şekilde boyutlandırılmasını şart koşmaktadır.

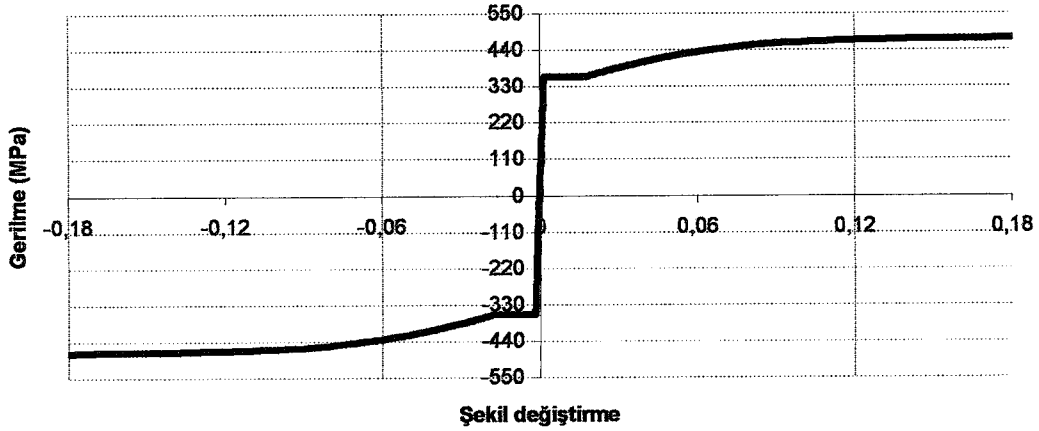
Sadece alt ve üst kısımlarda donatının bulunduğu betonarme kirişlerden ayrı olarak, ara seviyelerde de donatıların kullanıldığı betonarme perde duvarlarda davranış daha da karmaşık hale gelmektedir. Yapılan deneyler sırasında kesit derinliği boyunca şekil değiştirmenin doğrusal olarak değiştiği tespit edilmiştir. Bu durum kesit derinliği boyunca alt ve üst liflere yakın bulunan donatıların oldukça farklı oranlarda şekil değiştirmelere maruz kalmasına sebep olmaktadır. Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuarımızın deneysel çalışmanın yapıldığı dönemdeki imkanları ile şekil değiştirme ölçerler yardımı ile ölçüm yapmak mümkün olmamıştır. Dolayısı ile çekme bölgesindeki donatının akma şekil değiştirmesine

ulaşması anı deneysel olarak tespit edilememiştir. Ancak kuramsal olarak geliştirilen hesaplama yönteminin deneysel sonuçlar ile uyumu göz önüne alınarak, çekme bölgesindeki donatının aktığı andaki eğrilik ve moment değerleri kuramsal olarak hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar çok küçük eğrilik değerlerine ulaşılmış olmasına rağmen çekme bölgesindeki donatıların akma şekil değiştirmesine ulaştığını göstermiştir. Deneysel olarak elde edilen eğrilik değerleri üzerinden yapılan hesaplamalar, tekrarlanan yükleme çevrimleri boyunca donatının pekleşme bölgesi içinde çekme ve basınç ile ardışık olarak zorlandığını göstermiştir. Bu durum, donatının davranışının doğru olarak modellenebilmesi için elastik bölge, akma platosu ve pekleşme bölgelerinin ayrı ayrı ve gerçeğe en yakın şekilde bilinmesini gerektirmektedir. Bu çalışma kapsamında yapılan çekme testlerinde ve Kent ve Park (Mander,1983) tarafından gerçekleştirilen deneylerde elde edilen ε_{sh} ve ε_{su} değerleri Çizelge 5.4'te verilmektedir. Kent ve Park (Mander,1983) gerçekleştirdikleri bu çalışmada donatı çeliklerinin hem çekme hem de basınç altındaki davranışını incelemişlerdir.

Çizelge 5.4: Donatı çeliklerinin pekleşme ve kopma şekil değiştirmeleri

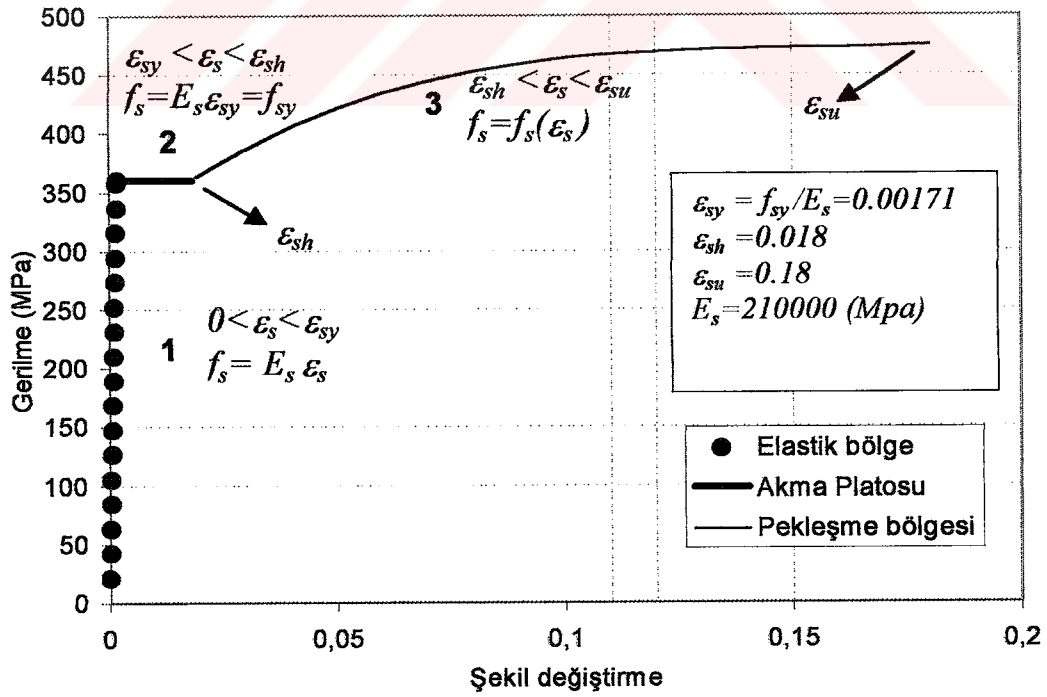
	ε_{sh}	ε_{su}
Çekme Testleri	≅0.02	0.1733
Kent ve Park	0.018	0.18

Donatı çeliği davranış modeli geliştirilirken, Çizelge 5.4'te verilen sonuçların uyumu da göz önüne alınarak, pekleşme şekil değiştirmesi için 0.018, kopma şekil değiştirmesi için ise 0.18 değerleri esas alınmıştır. Donatı çeliğinin artan şekil değiştirmeler boyunca elastik bölgenin yanı sıra akma platosu boyunca davranışı da doğrusal kabul edilmiş, pekleşme bölgesi ise şekil değiştirmenin fonksiyonu olarak tanımlanmıştır. Genel itibari ile donatı çeliğinin çekme ve basınç altındaki gerilme-şekil değiştirme davranışı Şekil 5.5'te şematik olarak sunulmuştur. Hem çekme hem de basınç bölgelerindeki davranış iki doğru ve bir parabolden oluşmaktadır.



Şekil 5.5: Çekme ve basınç altında çelik gerilme- şekil değiştirme ilişkisi

Kuramsal hesaplar gerçekleştirilirken itme ve çekme çevrimleri sırasında donatının akma şekil değiştirmesini geçtikten sonra yumuşaması sebebiyle maruz kaldığı Bauschinger etkileri göz önüne alınmamıştır. Kuramsal hesaplar sırasında donatı çeliğinin geçtiği her evrenin ve bu evrelerde yapılan hesap kabullerinin gösterimi Şekil 5.6'da verilmektedir. Elastik bölge, akma platosu ve pekleşme bölgeleri sırası ile 1, 2 ve 3 numaralı bölgeler olarak ifade edilmiştir.

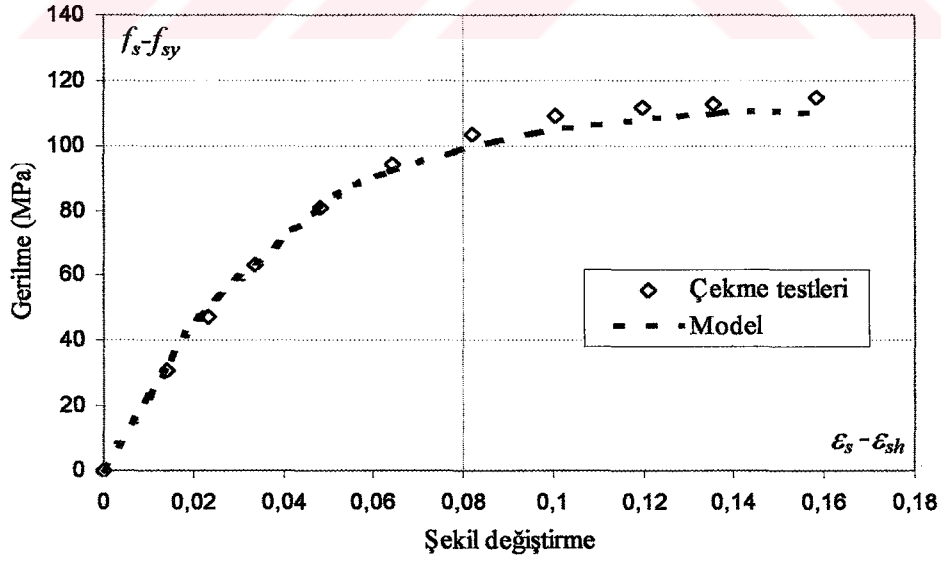


Şekil 5.6 Kuramsal hesaplar sırasında kullanılan gerilme- şekil değiştirme kabulleri

Pekleşme bölgesi boyunca parabol şeklinde ilerleyen ilişkinin türetilebilmesi için veri tabanı programlarından yararlanılmıştır. Pekleşmenin başladığı nokta sıfır kabul edilerek, deneysel olarak elde edilen noktalardan geçen 3.dereceden bir fonksiyon tanımlanmıştır. Tanımlanan fonksiyonun kabul edilebilir hata sınırları içerisinde kaldığının kontrolü için pekleşme bölgesindeki gerilme-şekil değiştirme dağılımı, deneysel olarak elde edilen veriler ve türetilen fonksiyonun verileri kullanılarak Şekil 5.7'de çizdirilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi türetilen polinom ve elde edilen deneysel veriler son derece uyumlu sonuçlar vermektedir.

Donatı çeliğinin gerilme-şekil değiştirme iskelet eğrisinin belirlenmesi için (özellikle pekleşme bölgesinde) mevcut bulunan kuramsal modelleri ve bağıntıları değerlendirmek yerine, numunelerin üretilmesinde kullanılan donatılara ait çekme testi sonuçlarından türetilen bu fonksiyonu kullanmak daha doğru bulunmuştur. Unutmamak gerekir ki, baz alınan bağıntı sadece bu çalışmada kullanılan donatılar ile ilgilidir ve genelleştirme ifade etmemektedir. Pekleşme bölgesinde donatının gerilme-şekil değiştirme dağılımının ifadesi için türetilen fonksiyon 5.1 denklemi ile tanımlanmıştır.

$$f_s = f_{sy} + \left|44729(\varepsilon_s - \varepsilon_{sh})^3 - 17840(\varepsilon_s - \varepsilon_{sh})^2 + 2426.3(\varepsilon_s - \varepsilon_{sh})\right| \text{ (Mpa)} \qquad (5.1)$$



Şekil 5.7: Pekleşme bölgesinde çekme testi ve türetilen fonksiyona ait verilerin dağılımı

5.4 Kuramsal Hesap Yöntemi

5.4.1 Yapılan Kabuller

Betonarme perde duvarların kesit hesapları yapılırken eğilmeden önce düzlem olan kesitlerin eğilmeden sonra da düzlem kaldığı kabul edilmiştir (Bernoulli hipotezi). Her ne kadar deneysel çalışma yapılmadan önce göreceli olarak yüksek olan yükseklik/kalınlık oranı sebebiyle bu kabulden tam olarak emin olunamadıysa da, farklı seviyelerde kullanılan yer değiştirme ölçer okumaları, şekil değiştirme dağılımının kesit derinliği boyunca doğrusal olarak değiştiğini göstermiştir.

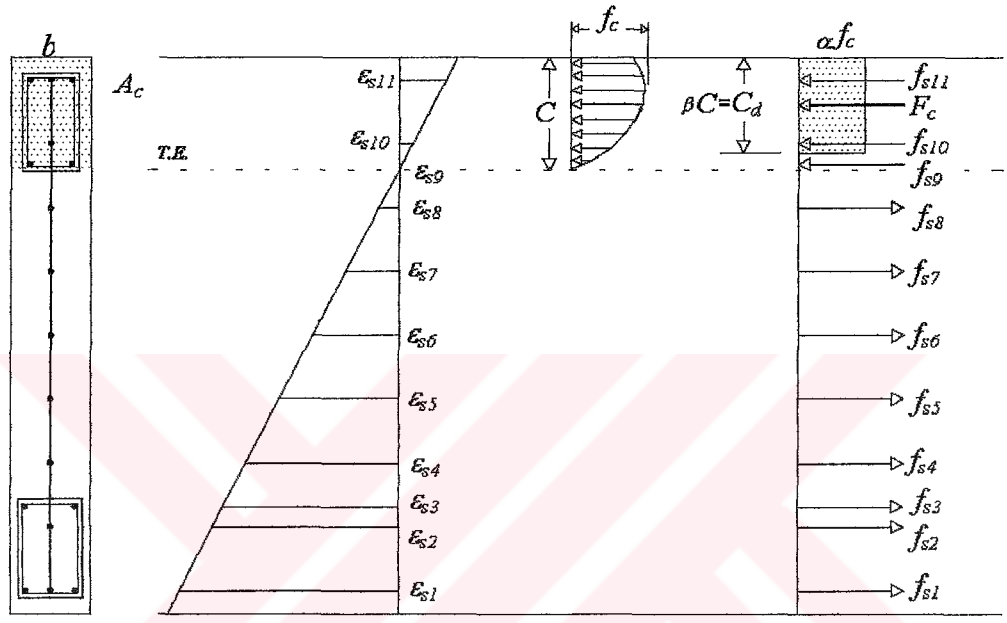
Kuramsal hesaplamalar yapılırken kesme kuvvetinin moment-eğrilik üzerindeki etkileri göz önüne alınmamıştır. Numunelerin yüklenmesi için kullanılan yükleme kirişi sayesinde, momentin sabit ve kesme kuvvetinin sıfır olduğu bir ölçüm bölgesi oluşturulmuştur. Ayrıca numuneler tasarlanırken göçmenin eğilme etkileri ile oluşmasına dikkat edilmiştir. Deneyler sonucunda elde edilen yük deplasman ve moment-eğrilik ilişkileri de artan yer değiştirme ve eğrilik altında numunelerin yük taşımaya devam ettiğini ve sünek davranış sergilediğini göstermektedir.

Kuramsal olarak kesitlerin çözümü yapılırken betonarmenin çekme dayanımı gözönüne alınmamıştır. Tersinir yükler altında itme ve çekme ile zorlanan numuneler daha ilk çevrimler sırasında bile çatlamaktadır.

Beton ve donatı arasında tam aderans vardır. Buna göre aynı seviyedeki donatı ve betonun, farklı eğrilik ve yer değiştirme seviyelerinde özdeş şekil değiştirmeler ile zorlanacağı kabul edilmektedir.

5.4.2 Hesap Yöntemi

Beton ve donatı için öngörülen gerilme-şekil değiştirme ilişkileri daha önce bu bölüm içinde verilmiştir. Şekil 5.8'de G1_S3 numunesi örnek alınarak, beton ve donatı üzerinde herhangi bir şekil değiştirme seviyesinde oluşan kuvvetler şematik olarak gösterilmiştir.

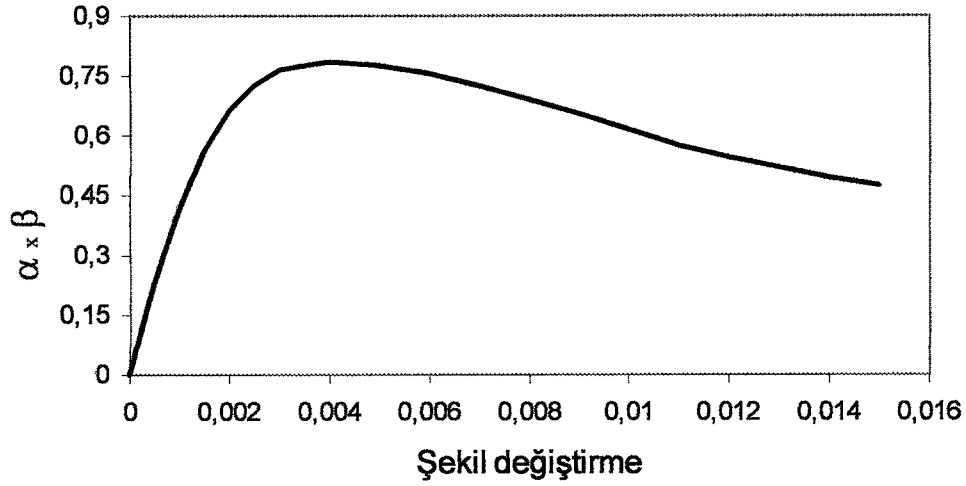


Şekil 5.8: Perde duvar kesitinde oluşan şekil değiştirme ve kuvvetlerin gösterimi

Kesitlerin hesabı yapılırken basınç bölgesindeki beton kuvvetinin hesabında eşdeğer dikdörtgen dağılımı kullanılmıştır. En dış beton lifindeki şekil değiştirme değerleri değiştikçe α ve β katsayıları da değişmektedir. Şekil 5.8'den de görüleceği gibi eşdeğer dikdörtgen dağılımına göre basınç bölgesinde oluşan beton kuvveti 5.2 bağıntısı ile ifade edilmiştir.

$$F_c = \alpha f_c \beta (C)(b) \qquad (5.2)$$

Betonda artan şekil değiştirmeler ile birlikte F_c ifadesini doğrudan etkileyen $(\alpha^*\beta)$ katsayılarının şekil değiştirmeye göre değişimleri Şekil 5.9'da verilmektedir (Paulay,1975), (Ersoy,1985).



Şekil 5.9: α x β katsayılarının değişimi

Bu aşamadan sonra yapılan işlem kesit derinliği boyunca beton ve farklı seviyedeki donatılar üzerinde oluşan kuvvetlerin dengelenmesidir. 5.3 ifadesinde C mesafesi kesit üzerinde kuvvetler dengesi sağlanana dek değiştirilerek denge konumları hesaplanmış, kesitte toplam kuvvetin sıfır olduğu bu anda beton ve donatılar üzerinde oluşan kuvvetler yardımıyla moment değerleri elde edilmiştir.

$$\Sigma F = 0 = \alpha f_c \beta(C)(b) + \sum_{i=1}^{11} f_{si} A_{si} \tag{5.3}$$

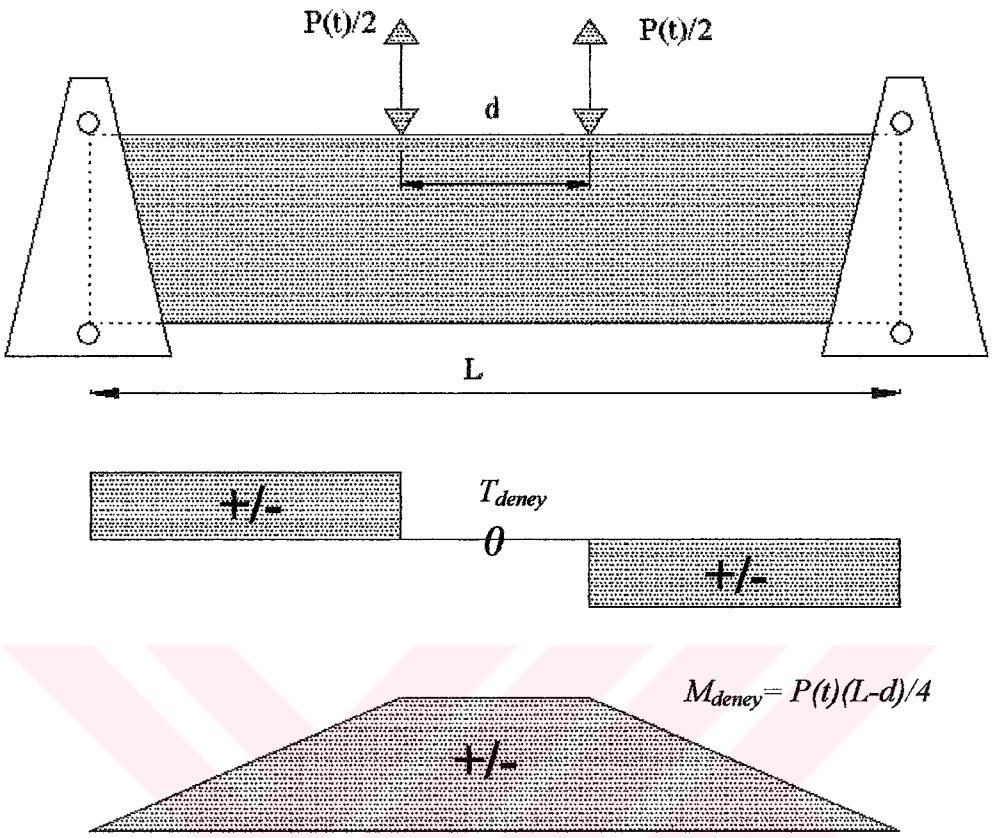
Yüklemeye devam edilmesi ile birlikte kesit derinliği boyunca şekil değiştirme değerleri artmakta, tarafsız eksen basınç bölgesine doğru ilerlemekte, farklı seviyelerde bulunan donatılardan bazıları elastik bölge içinde, bazıları akma platosunda, bazıları da pekleşme bölgesi içinde kalmakta ve buna bağlı olarak gerilme değerleri daha önce tanımlanan gerilme-şekil değiştirme ilişkisi içinde hareket etmektedir. Donatı bu şekilde yüklenirken, tarafsız eksen üzerinde basınca maruz kalan sarılmış beton, daha önce tanımlanmış olan gerilme-şekil değiştirme eğrileri boyunca yük taşımaya devam etmektedir. Dolayısı ile oldukça basit görünen 5.3 ifadesinin hesabı oldukça karmaşık bir hale gelmektedir. Artan hesap yükünden kurtulmak, işlemlerde oluşabilecek herhangi bir hataya imkan vermemek ve aynı anda pek çok değişkenin aldığı değerleri kontrol edebilmek amacı ile bir bilgisayar

uygulaması geliştirilmiştir. Geliştirilen bu yazılım, betonda oluşan şekil değiştirmeyi veya kesitte oluşan eğrilik değerini esas alan iki ayrı sorgulama seçeneği ile de çalıştırılabilmektedir. Artan şekil değiştirme ve eğrilik değerlerine bağlı olarak, program sarılmış betona ait gerilme-şekil değiştirme eğrisini, eşdeğer dikdörtgen dağılımı için kullanılacak α ve β katsayılarını ve donatı için gerilme-şekil değiştirme dağılımını hesaplamakta, her seviyede ulaşılan şekil değiştirmeleri göz önüne alarak doğru gerilme ve kuvvet değerleri üzerinden hesap yapabilmektedir.

5.5 Deney Sonuçları Ve Kuramsal Hesaplar

Betonarme perde duvarların tersinir tekrarlı yükler altında sergiledikleri davranışlar, yük-deplasman ve moment-eğrilik ilişkileri kullanılarak incelenmiştir. Deneyler sırasında deplasman ve şekil değiştirme ölçümleri düşeyde ve yatayda yerleştirilen yer değiştirme ölçerler yardımı ile yapılmıştır. Hidrolik veren üzerinde bulunan yük ölçer ve yer değiştirme ölçer tarafından yapılan okumalar da deney sonuçlarının incelenmesinde kullanılmıştır. Deneyin itme ve çekme adımları hidrolik veren üzerinde bulunan yer değiştirme ölçer tarafından kumanda edilmiş, yük-deplasman ilişkileri ise numune üzerine yerleştirilen V3 yer değiştirme ölçeri tarafından yapılan okumalara göre çizdirilmiştir. Kesit derinliği boyunca yatay olarak kullanılan 6 adet yer değiştirme ölçer yardımı ile kesit üzerinde oluşan şekil değiştirme dağılışı hesaplanmış, farklı çevrimler sırasında değişen şekil değiştirme dağılımlarının eğimleri hesaplanarak kesitte oluşan anlık eğrilik değerleri belirlenmiştir (Şekil 4.27). Eğrilik hesaplamaları yapılırken çatlak oluşumları sebebi ile sağlıklı okumalar vermeyen yer değiştirme ölçerlerin verileri hesaba dahil edilmemiştir.

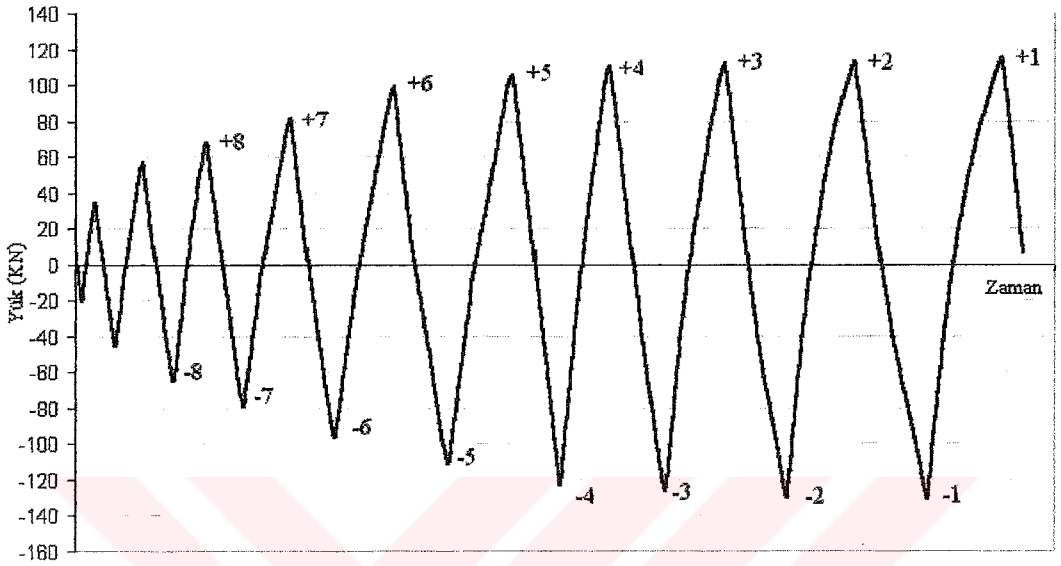
Deneysel olarak elde edilen yükler kullanılarak Şekil 5.10'da şematik olarak gösterilen biçimde deneysel moment değerleri hesaplanmıştır.



Şekil 5.10 Ölçüm bölgesinde oluşan kesit tesirleri

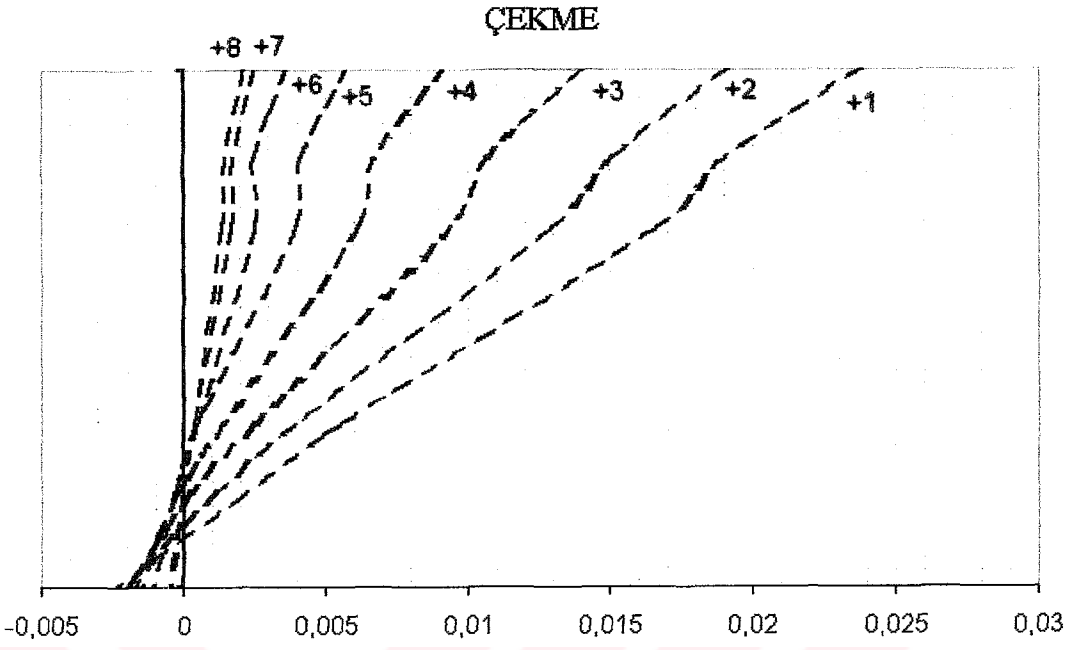
Deney sırasında kesit üzerinde yapılan eğrilik ölçümleri hazırlanan bilgisayar programına girilmiş ve söz konusu eğrilik değerleri için kesit üzerinde oluşan moment ve yük değerleri kuramsal olarak hesaplanmıştır. Şekil 5.10'da gösterildiği şekilde hesaplanan moment ve yük değerleri ile kuramsal olarak hesaplanan moment ve yük değerleri karşılaştırılmıştır. Deneylerin yapılışı sırasında meydana gelen çatlak oluşumları nedeniyle G1_S4 ve G2_S2 numunelerinde yatayda ölçüm yapan yer değiştirme ölçerlerden elde edilen okumalar sağlıklı bulunmamış, bu numunelerde eğrilik ölçümü yapılmamıştır. Söz konusu numuneler için yük-deplasman okumaları gerçekleştirilmiştir. Deneysel ve teorik olarak elde edilen sonuçların değerlendirilmesi yapılırken itme ve çekme yönünde ulaşılan en büyük yükleme anındaki değerler ayıklanmış ve karşılaştırmalar bu noktalarda gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.11'de G2_S3 numunesi için elde edilen veren yükü

okumaları verilmiştir. Deneysel ve teorik olarak yapılan okumalar şekil üzerinde gösterilen sekiz tepe noktasında gerçekleştirilmiştir. Artı değerler çekme anındaki, eksi değerler de itme anındaki maksimum okumaları ifade etmektedir.

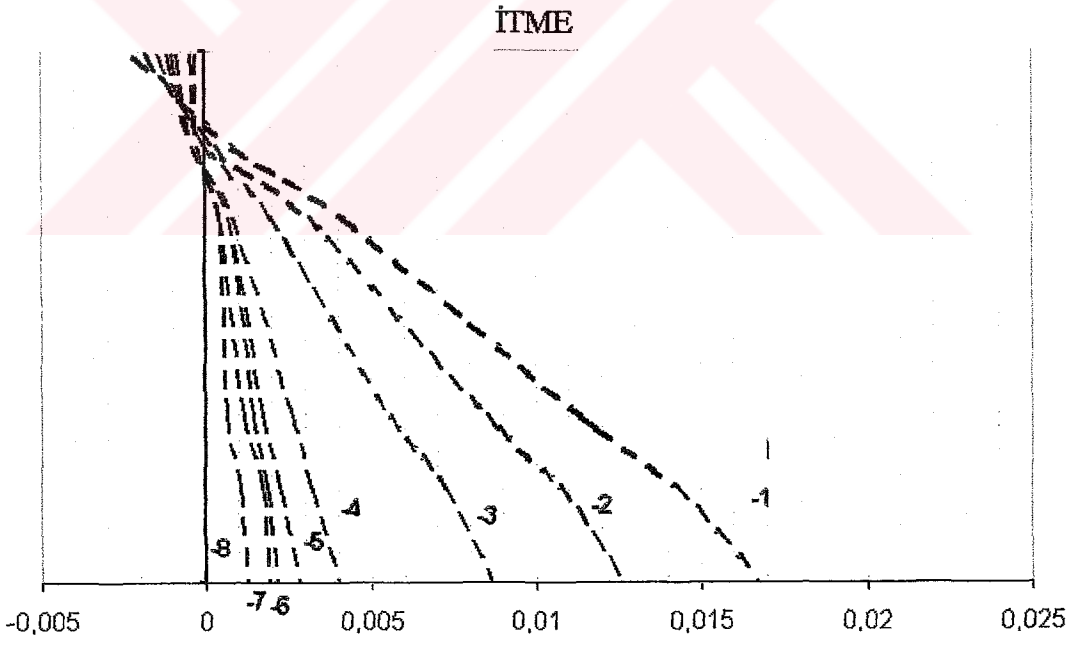


Şekil 5.11: G2_S3 numunesi için elde edilen yük okumaları

Yukarıda verilen tepe noktalarında kesit derinliği boyunca yapılan şekil değiştirme ölçümleri de Şekil 5.12 ve 5.13'te verilmiştir. Şekil 5.12 çekme anında en son ulaşılan sekiz tepe noktasında hesaplanan şekil değiştirme dağılımını göstermektedir. Şekil 5.13'te ise aynı biçimde itme anında en son ulaşılan sekiz tepe noktası için hesaplanan şekil değiştirme dağılımları görülmektedir. Deneyler sırasında kontrol deplasmanı veren deplasmanı olduğu için numunelere itme ve çekme adımları boyunca simetrik deplasmanlar uygulanmamışsa da, bütün numuneler hem itme, hem de çekme yönünde yük deplasman ilişkisi yataylaşana dek yüklenmişlerdir. Deneysel çalışmaların başlangıcında denenen G1_S4 ve G1_S2 numuneleri 4. bölümde verilen bir numaralı yükleme şekli ile yüklenmiştir. Bu iki deney numunesi haricindeki bütün numuneler ise daha küçük adımlar ile artan iki numaralı yükleme şekline göre denenmiştir. Yük deplasman eğrisi yatay seyir aldıktan sonra 3 veya 4 çevrim daha yapılarak deneylere son verilmiştir.



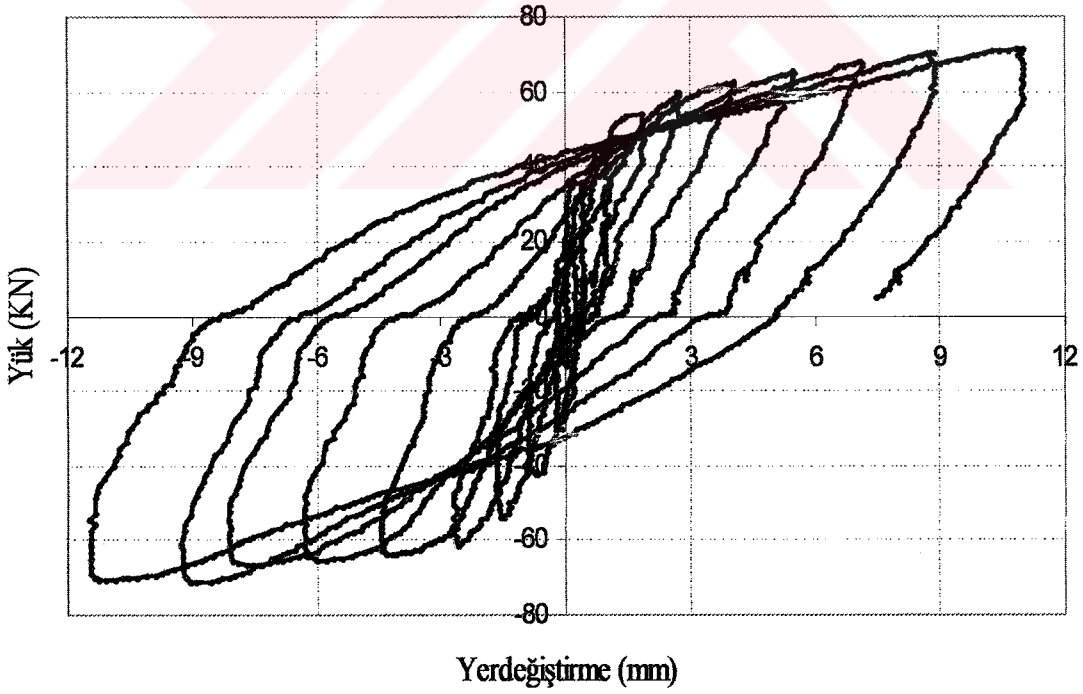
Şekil 5.12: Çekme anında ulaşılan tepe noktalarındaki şekil değiştirme dağılımı



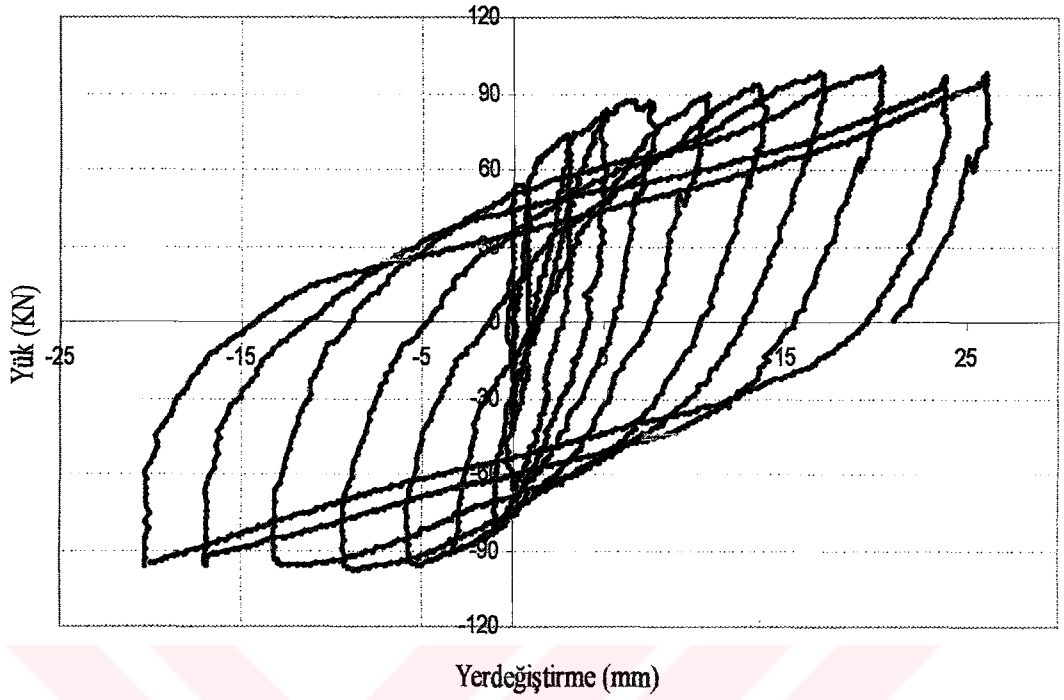
Şekil 5.13: İtme anında ulaşılan tepe noktalarındaki şekil değiştirme dağılımı

5.5.1 Deneysel Yük-Deplasman İlişkileri

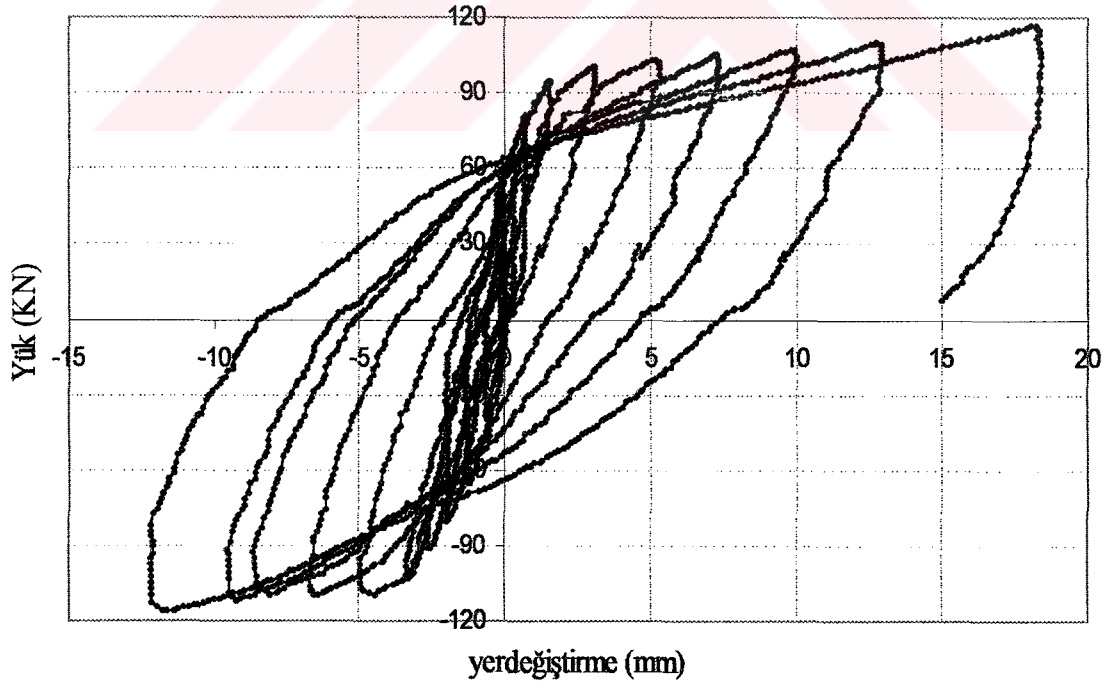
Perde duvar modellerinin yön değiştiren tekrarlı yükler altında denenmesi sırasında, bütün numunelerin sünek davranış sergiledikleri görülmüştür. Tasarım aşamasında bütün numuneler denge altı donatı içerecek şekilde detaylandırılmıştır. Laboratuar ortamında uygulanabilecek yüklemenin sınırları genellikle yükleme ünitesinin kapasitesi ile ilgili olduğundan, numunelerin tasarımı sırasında cihazın dinamik yükleme kapasitesi olan 200 kN değerinin aşılmamasına dikkat edilmiştir. Hazırlanan numunelerden elde edilen yük-deplasman ilişkileri, deneyler sırasında ulaşılan en büyük yük değeri ile cihazın yükleme kapasitesinin %70'ine çıkıldığını göstermektedir. Bütün numunelerde hem itme hem de çekme yönünde artan deplasmanlar ile birlikte yük değerlerinde yataylaşma elde edilmiştir. Deplasman genliklerinin artmasıyla beraber düzlem dışına doğru hareketin ilerlemesi nedeniyle, oluşabilecek ani bir burkulmaya meydan vermeden deneyler bitirilmiştir. Deneyler sırasında elde edilen yük deplasman eğrileri Şekil 5.14-5.25'te verilmiştir.



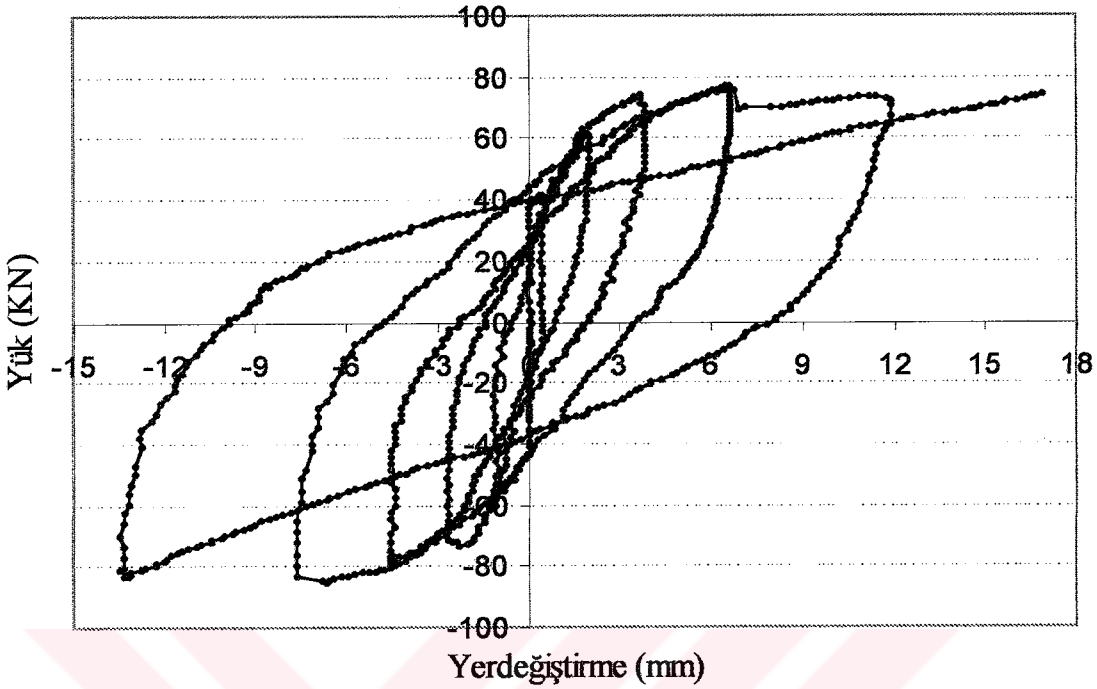
Şekil 5.14: G1_S1 Numunesi yük-deplasman ilişkisi



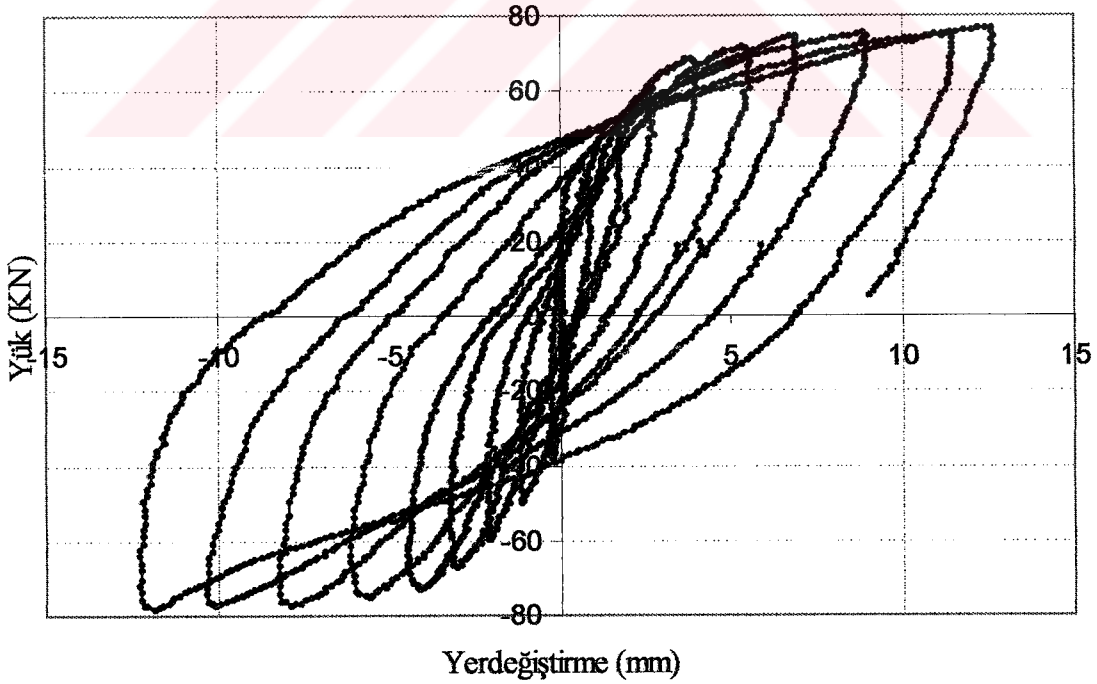
Şekil 5.15: G1_S2 Numunesi yük-deplasman ilişkisi



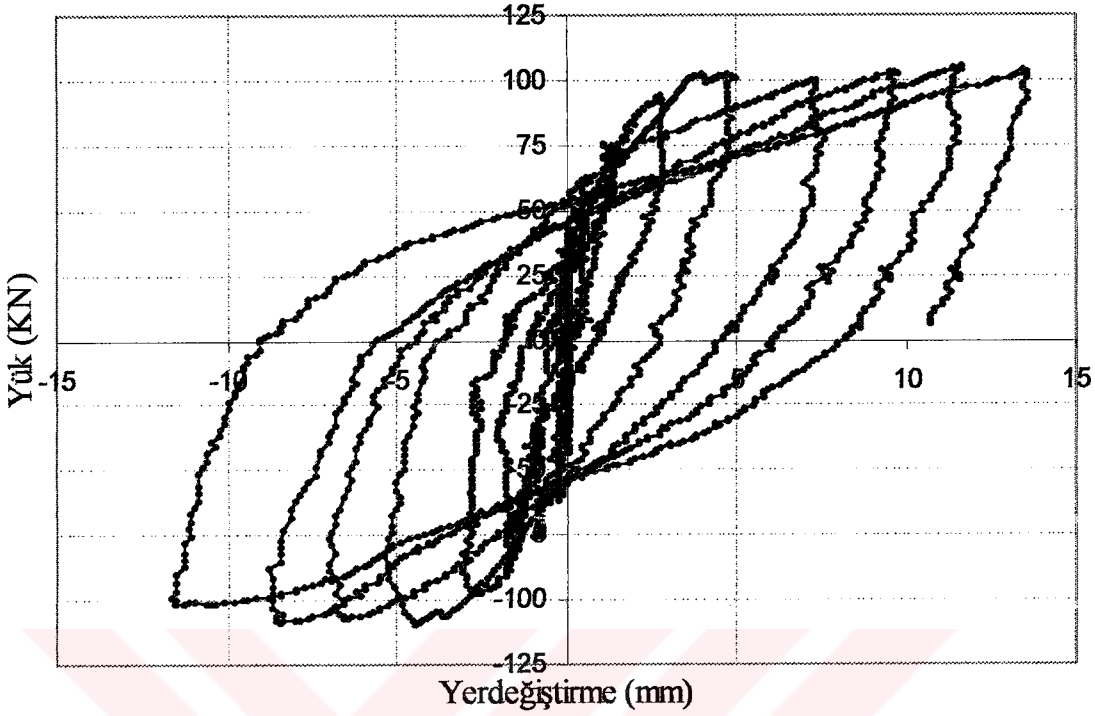
Şekil 5.16: G1_S3 Numunesi yük-deplasman ilişkisi



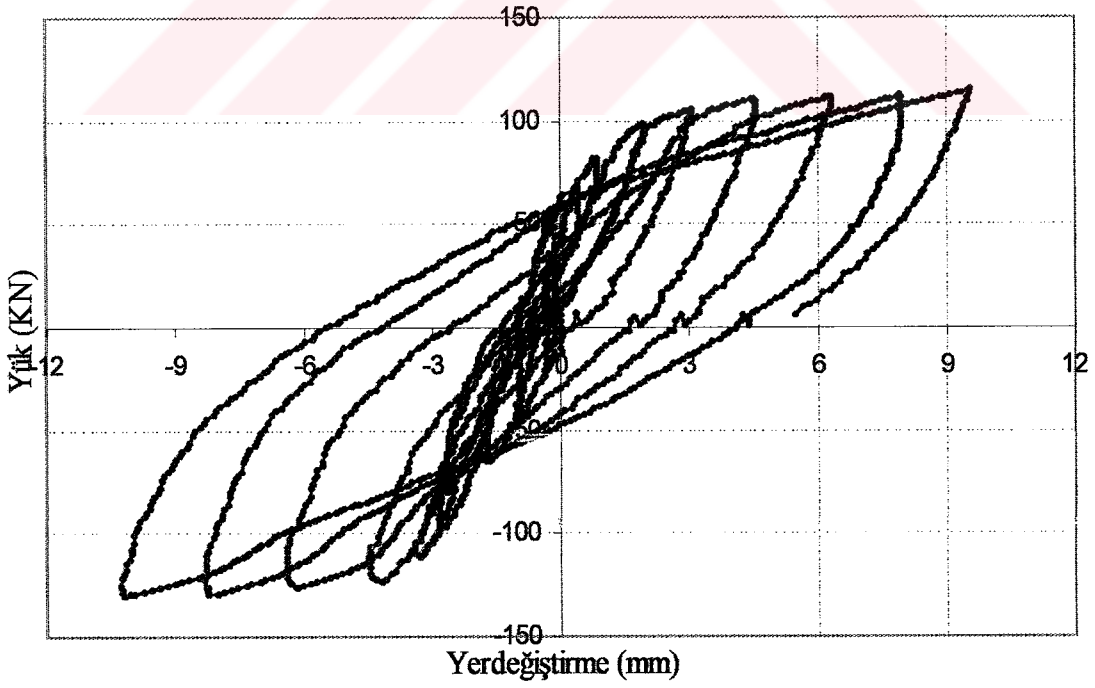
Şekil 5.17: G1_S4 Numunesi yük-deplasman ilişkisi



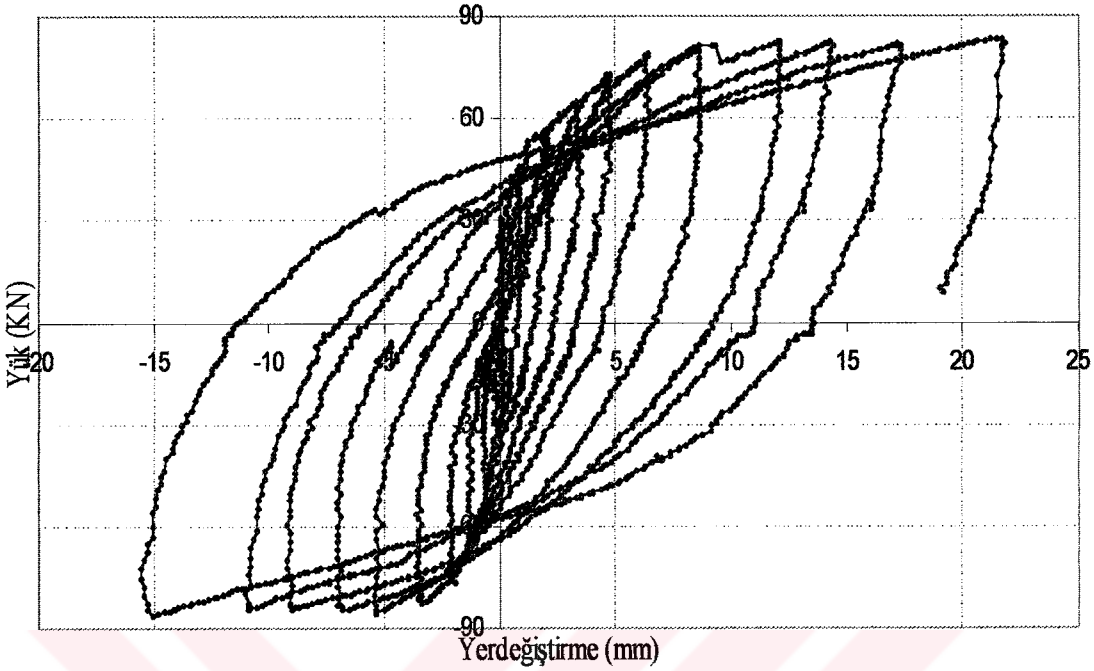
Şekil 5.18 G2_S1 Numunesi yük-deplasman ilişkisi



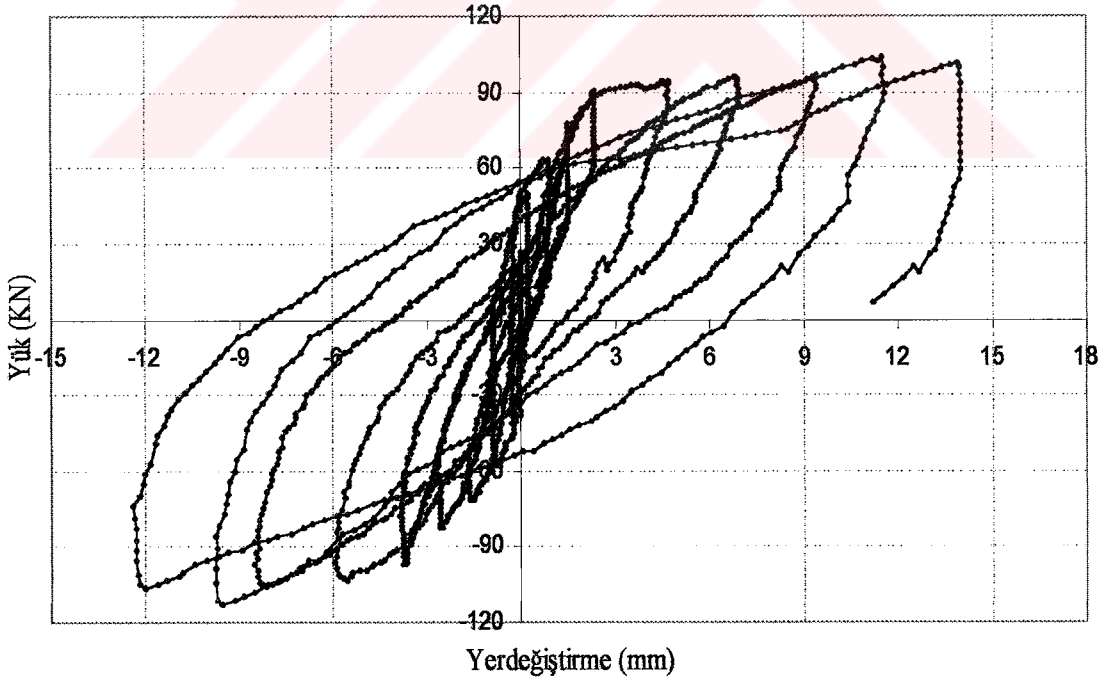
Şekil 5.19 G2_S2 Numunesi yük-deplasman ilişkisi



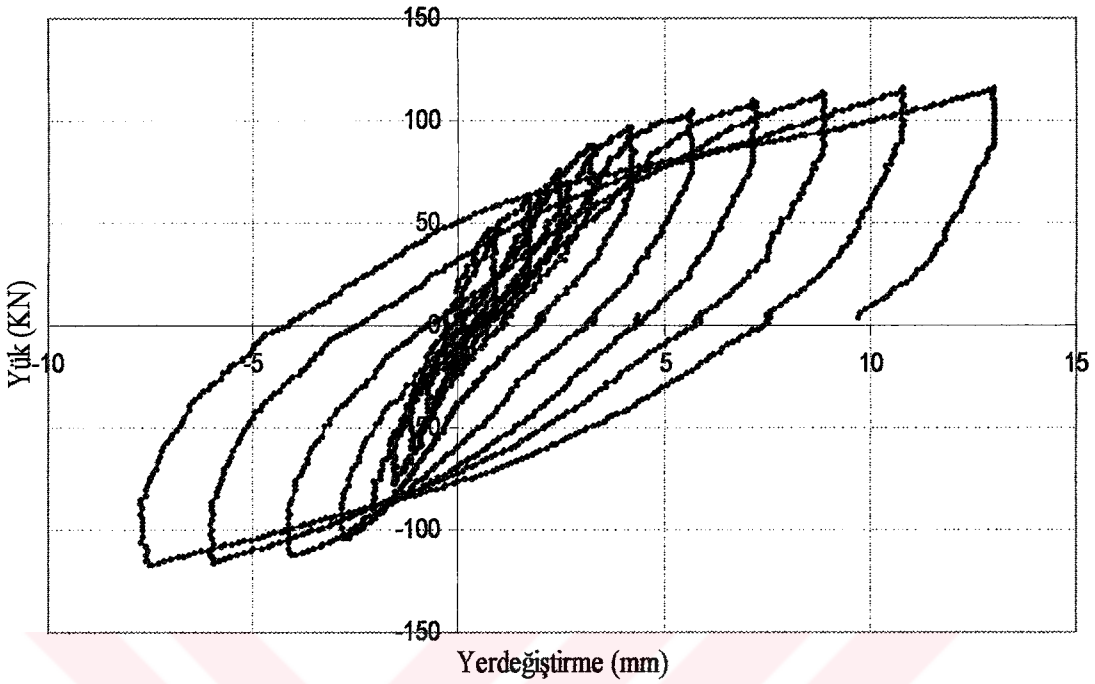
Şekil 5.20 G2_S3 Numunesi yük-deplasman ilişkisi



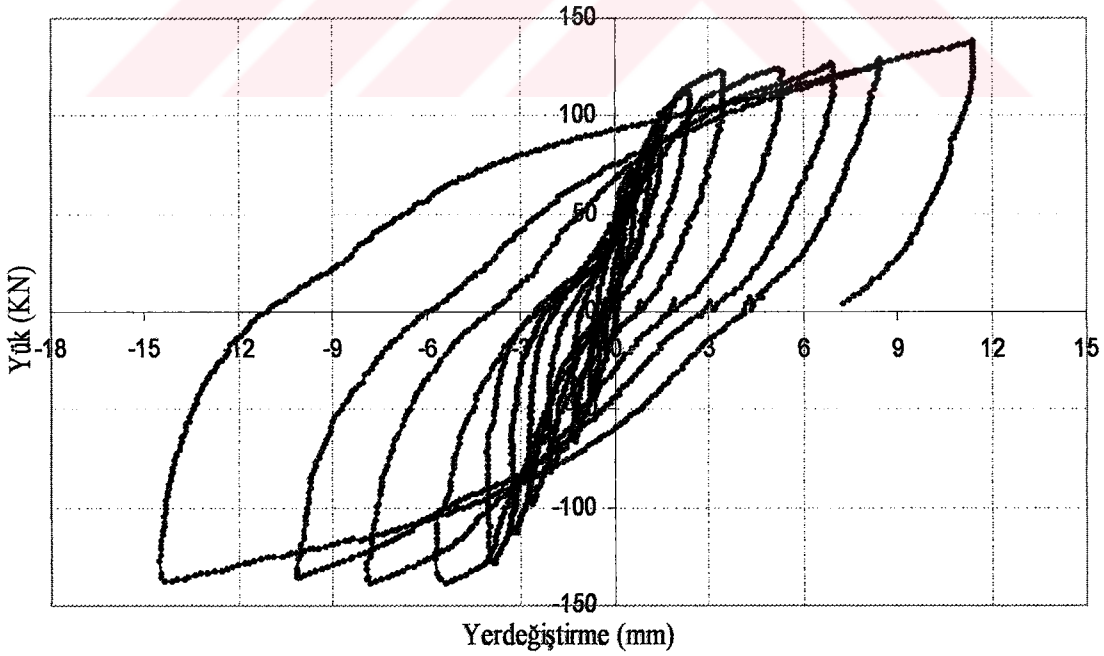
Şekil 5.21 G2_S4 Numunesi yük-deplasman ilişkisi



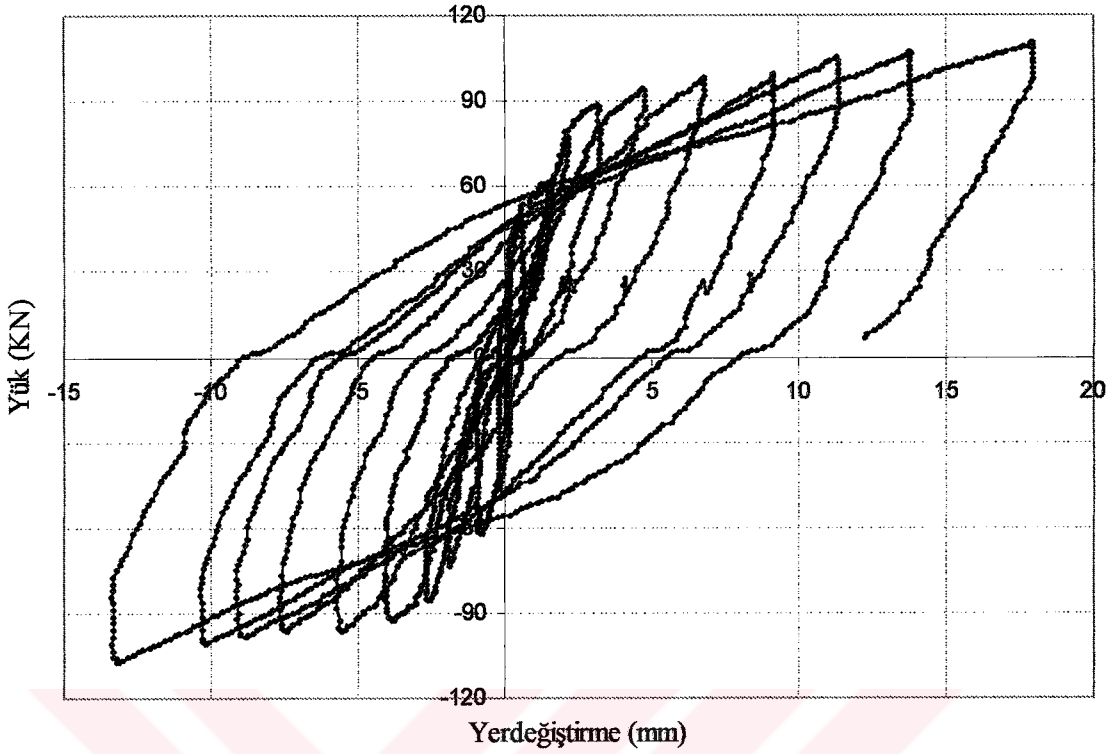
Şekil 5.22 G3_S1 Numunesi yük-deplasman ilişkisi



Şekil 5.23 G3_S2 Numunesi yük-deplasman ilişkisi



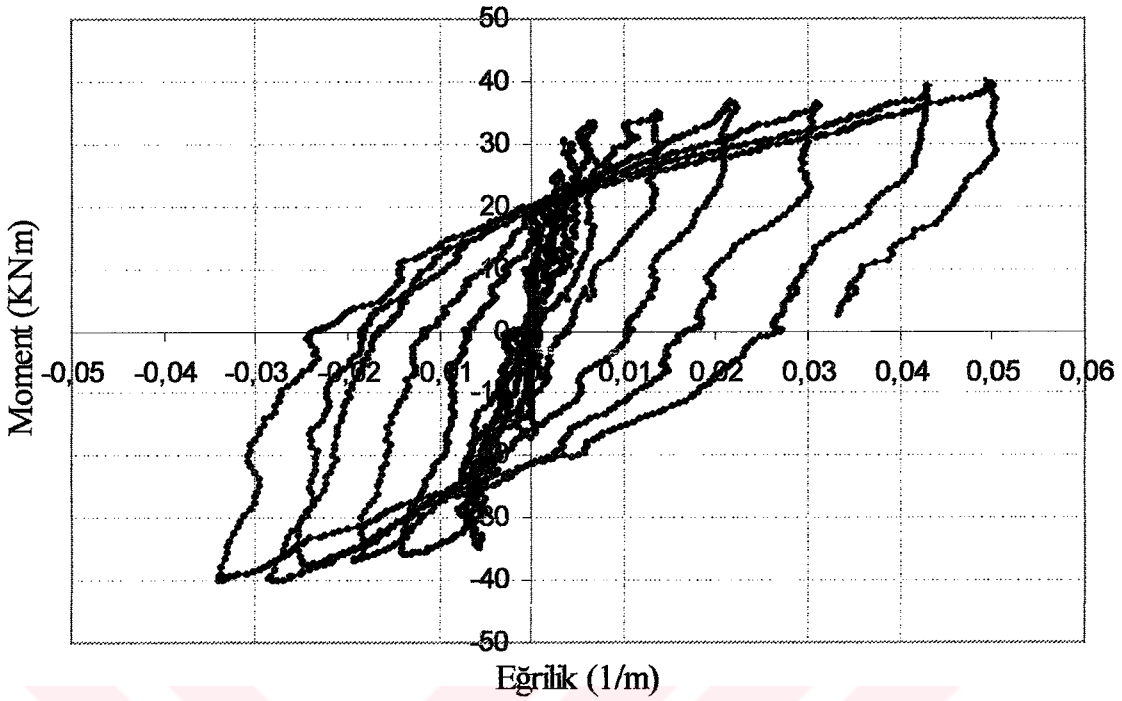
Şekil 5.24 G3_S3 Numunesi yük-deplasman ilişkisi



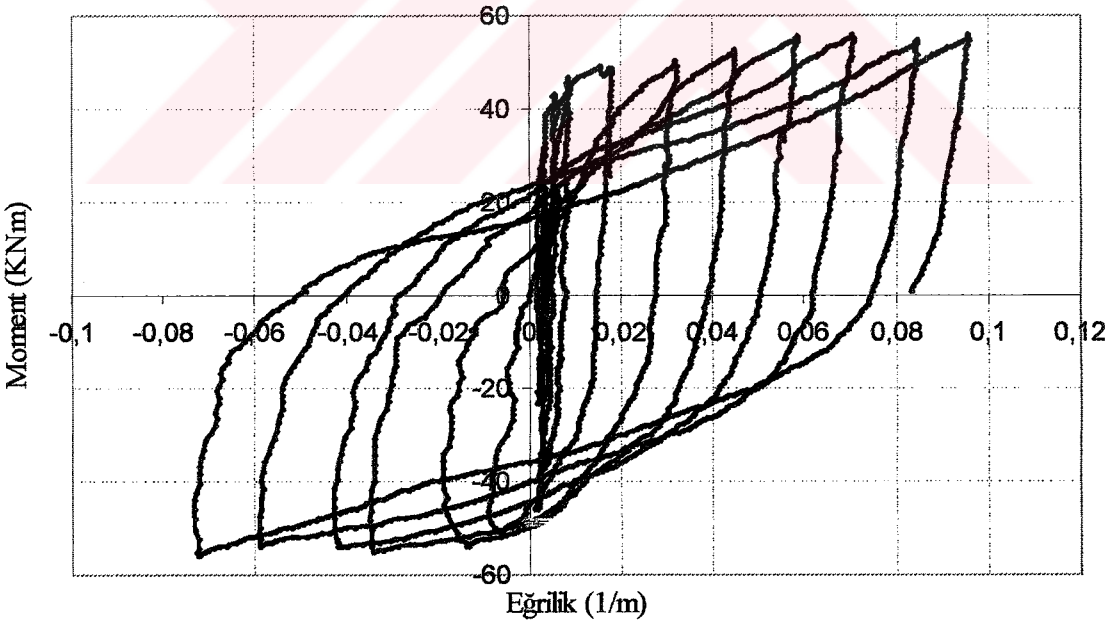
Şekil 5.25: G3_S4 Numunesi yük-deplasman ilişkisi

5.5.2 Deneysel Moment-Eğrilik İlişkileri

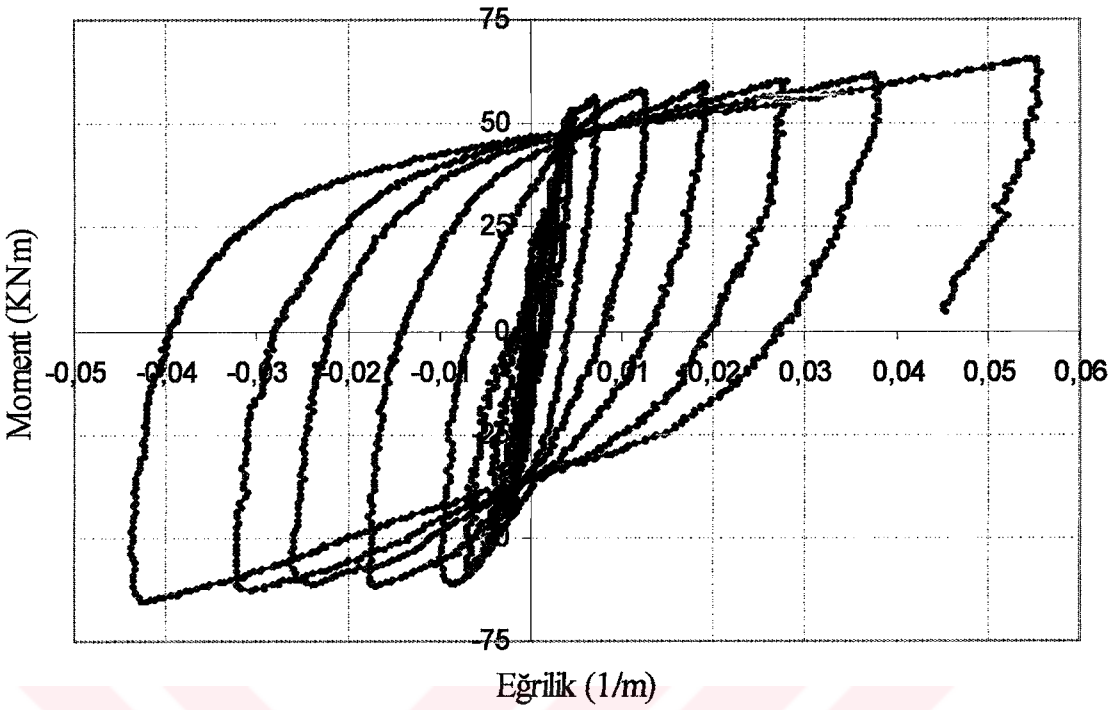
Betonarmenin doğrusal olmayan çözümlemesinde kullanılan en doğru yaklaşımlarda birisi moment-eğrilik hesaplarından yararlanmaktır. Bilindiği gibi moment kesitin taşıma kapasitesini, süneklik de taşıma kapasitesinde düşme olmadan deformasyon yapabilme özelliğini temsil etmektedir. Moment-eğrilik ilişkilerini kullanarak betonarme kesitlerin taşıma kapasitelerini ve deformasyon yapabilme özelliklerini gözlemek mümkündür. Deneyler sırasında numunelerin sabit moment bölgelerine yerleştirilen ölçüm cihazlarından alınan deplasman okumalarının eğimleri ve bu anda kesite etkiyen kuvvetler yardımıyla hesaplanan deneysel moment ifadeleri kullanılarak moment-eğrilik ilişkileri türetilmiştir. Yükün yataylaşmasından sonra 3 veya 4 çevrim daha yapılmış olmasına rağmen taşıma kapasitesinde ani düşüşlere rastlanmaması sünek davranışın işaretidir. Elde edilen moment-eğrilik ilişkileri Şekil 5.26-5.35'de verilmiştir.



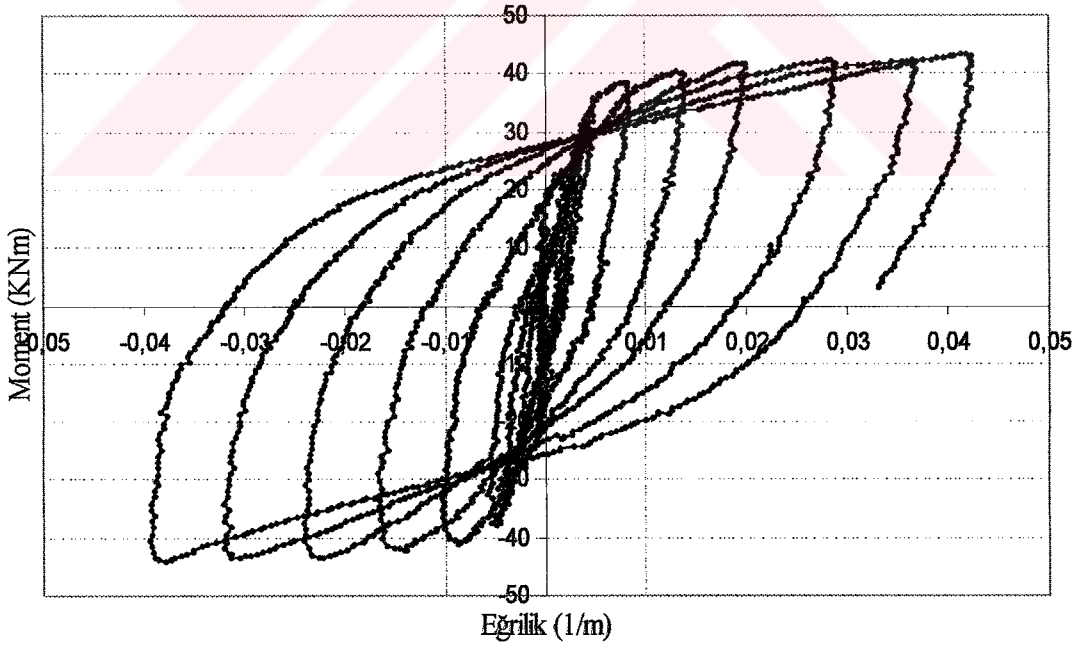
Şekil 5.26: G1_S1 Numunesi Moment-eğrilik ilişkisi



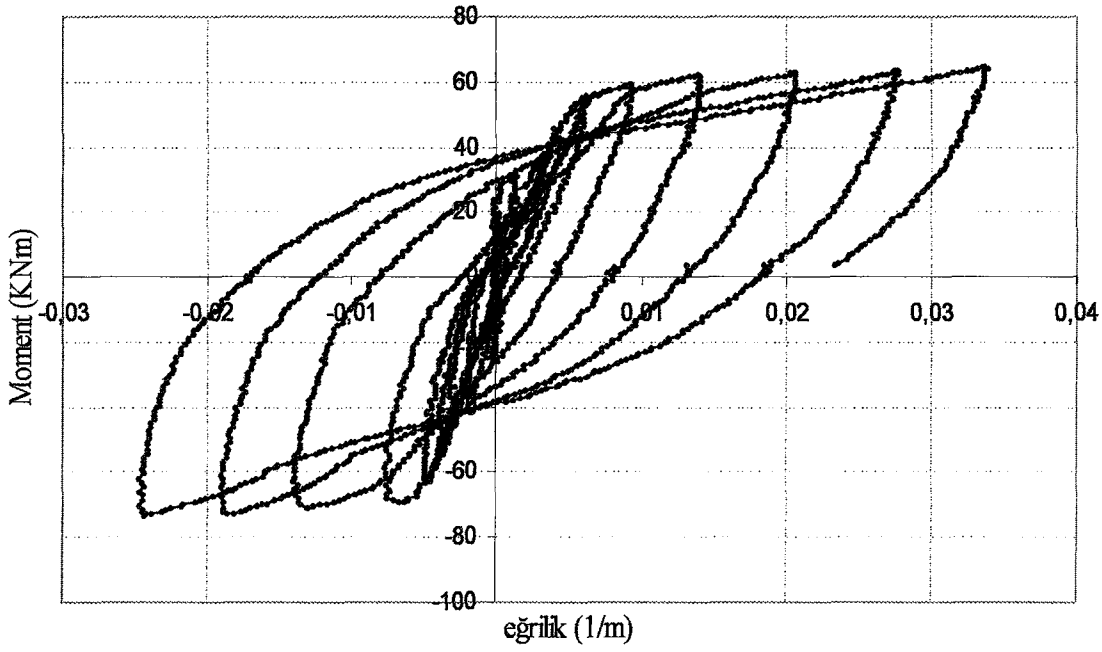
Şekil 5.27: G1_S2 Numunesi Moment-eğrilik ilişkisi



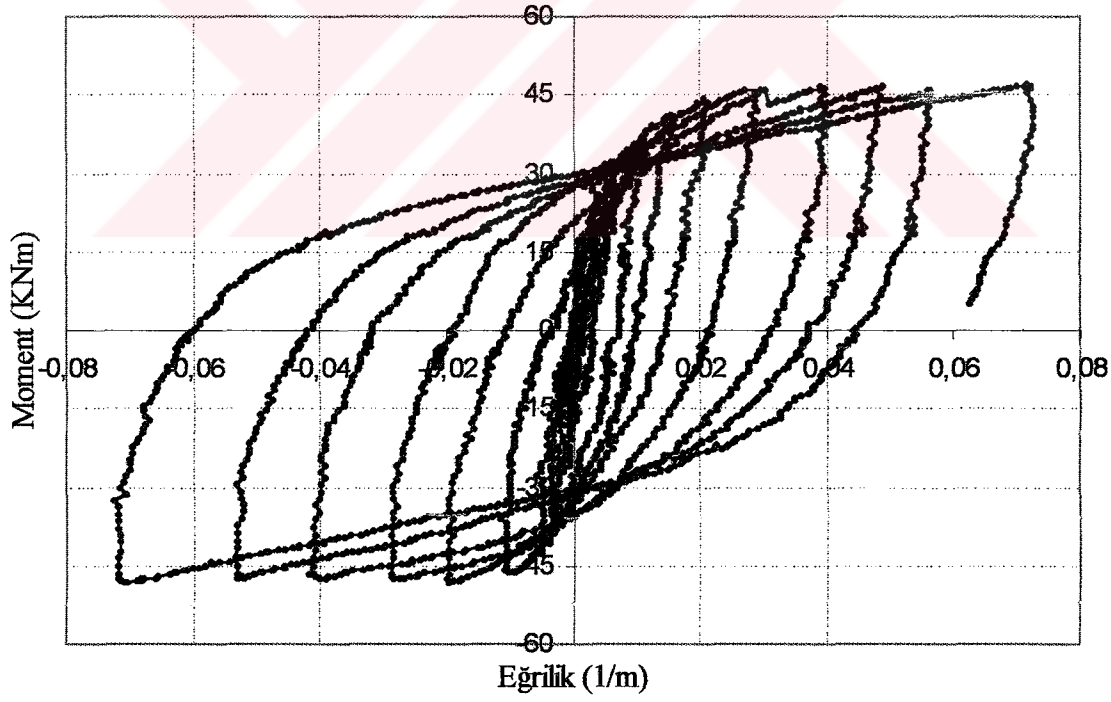
Şekil 5.28: G1_S3 Numunesi Moment-eğrilik ilişkisi



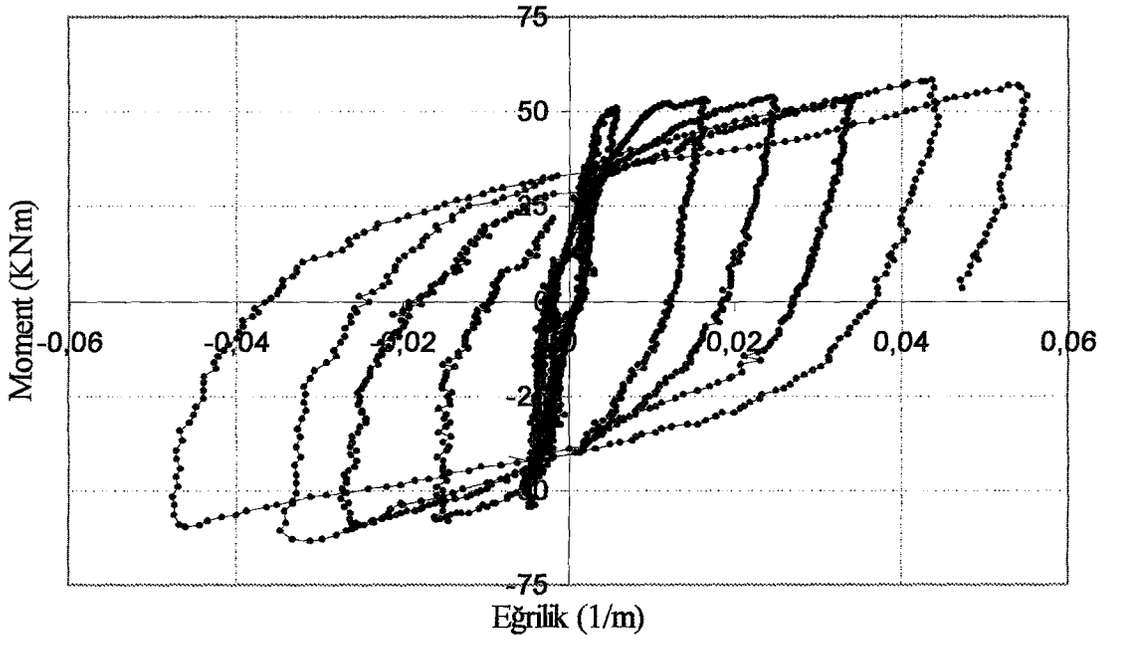
Şekil 5.29: G2_S1 Numunesi Moment-eğrilik ilişkisi



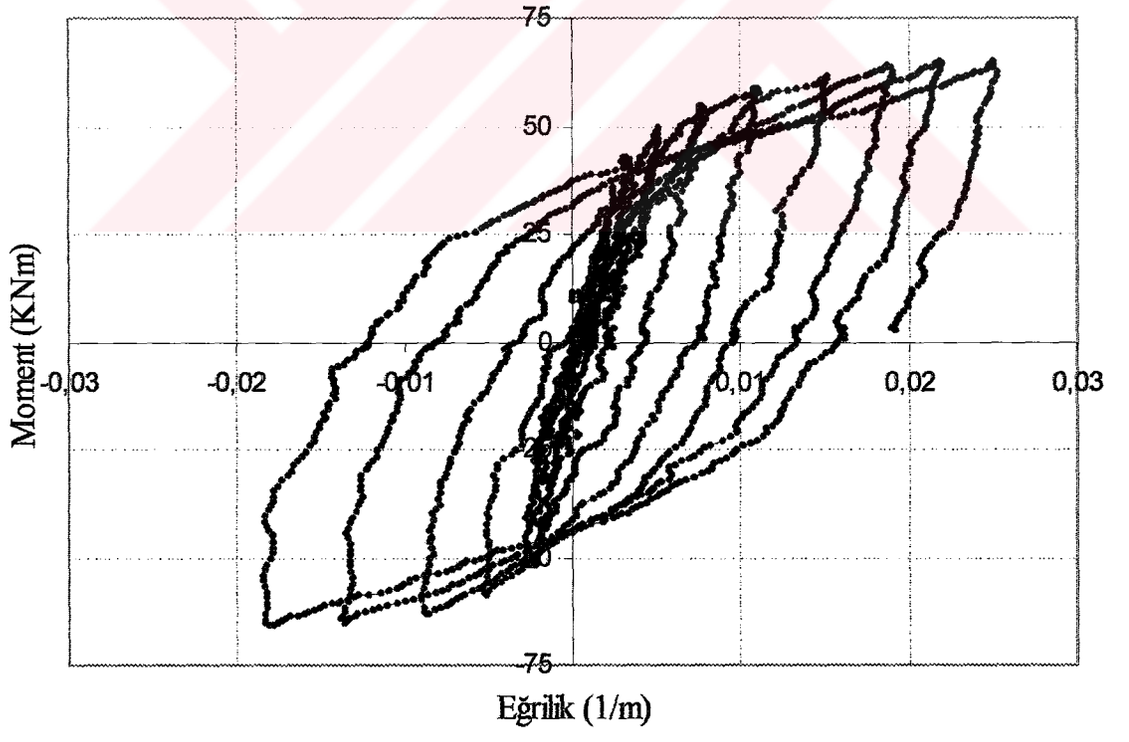
Şekil 5.30: G2_S3 Numunesi Moment-eğrilik ilişkisi



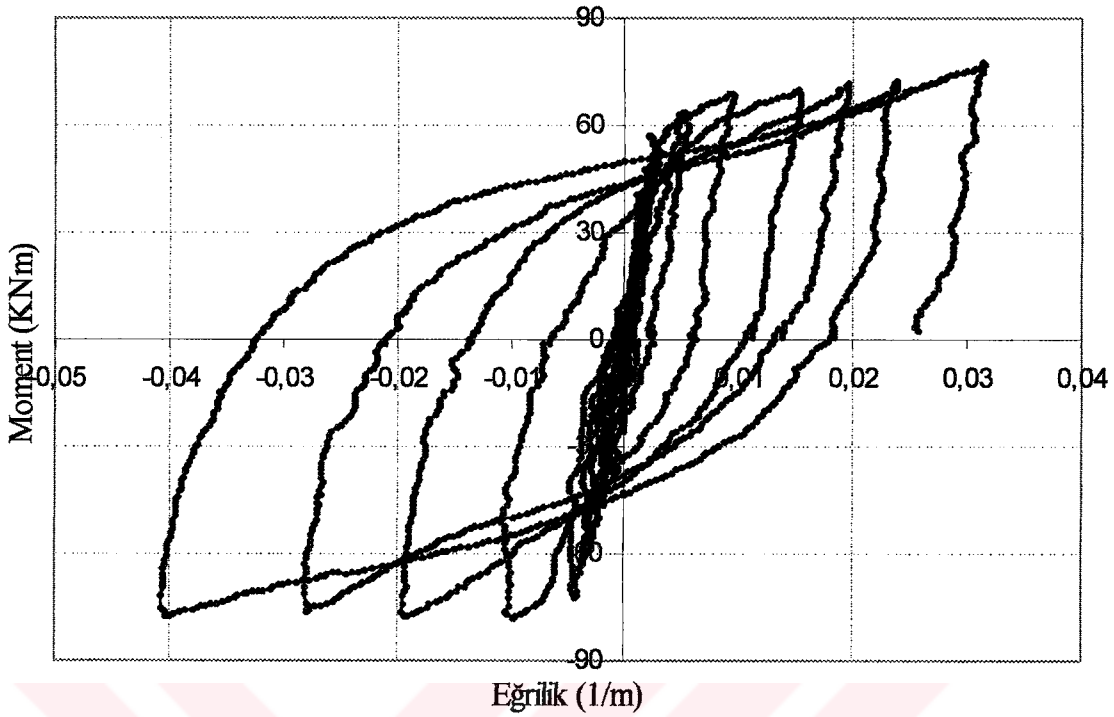
Şekil 5.31: G2_S4 Numunesi Moment-eğrilik ilişkisi



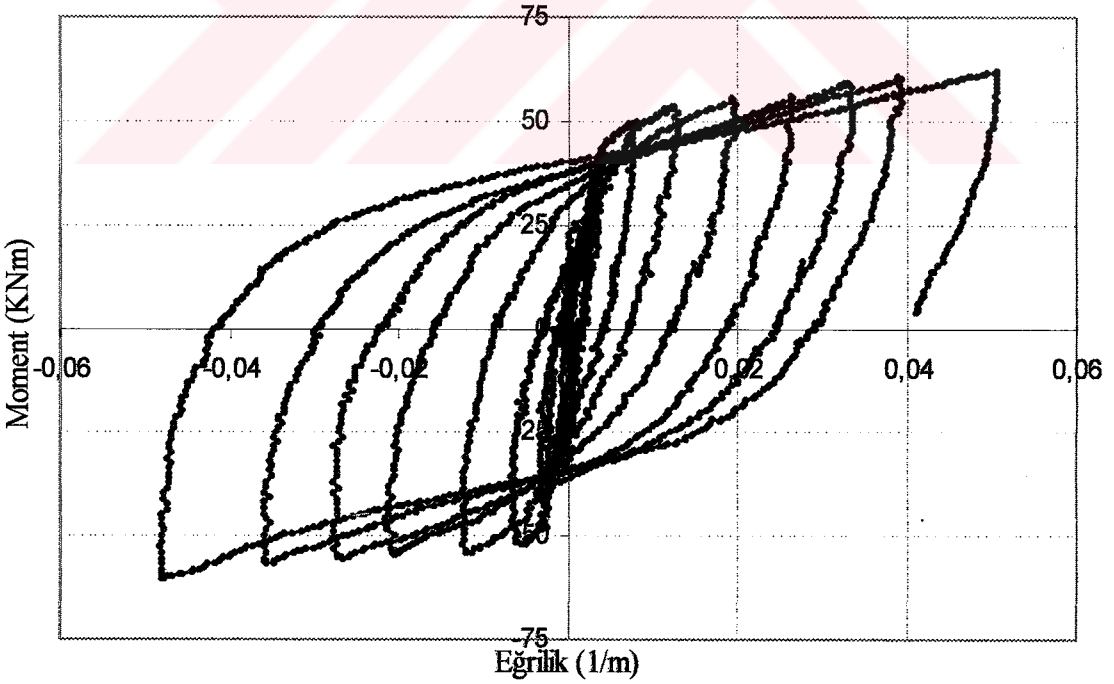
Şekil 5.32: G3_S1 Numunesi Moment-eğrilik ilişkisi



Şekil 5.33: G3_S2 Numunesi Moment-eğrilik ilişkisi



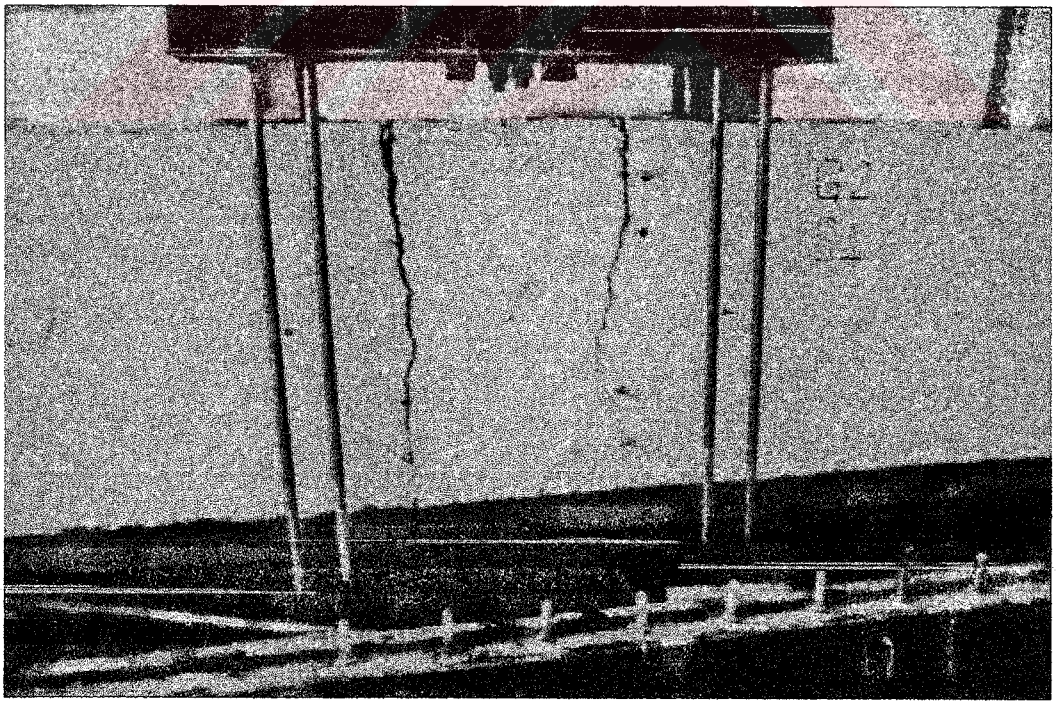
Şekil 5.34: G3_S3 Numunesi Moment-eğrilik ilişkisi



Şekil 5.35: G3_S4 Numunesi Moment-eğrilik ilişkisi

5.5.3 Numunelerde Çatlak Oluşumları

Deneyleri yapılan bütün numuneler taşıma güçlerine eğilme etkileri ile ulaştığı için numunelerde görülen çatlaklar eğilme çatlaklarıdır. Numunelerdeki kesit yüksekliğinin genişliğe oranının oldukça yüksek olması ve şekil değiştirmenin kesit derinliği boyunca doğrusal dağılması nedeniyle, çekme bölgelerinde meydana gelen ayrılmalar ile çatlaklar oluşmaya başlamıştır. İtme ve çekme çevrimleri boyunca yükleme açıklığı bölgesinde oluşan az sayıdaki çatlaklar (2 veya 3 adet) deney boyunca açılmış, yeni çatlakların oluşması gerçekleşmemiştir. Kesitin altında ve üstünde meydana gelen bu çatlamalar itme ve çekme çevrimleri sırasında birleşerek kesit derinliği boyunca ilerlemiştir. Çatlak oluşumu ve ilerlemesinde karşılaşılan bu durumun, kesit geometrisi ve kullanılan düz yüzeyli donatı şekli ve yerleşimi ile ilgili olduğu düşünülmektedir. Nervürlü yerine düz yüzeyli donatı kullanılması sebebiyle azalan aderans etkileri çatlak oluşumlarını bu seviyelerde bırakmıştır. Deneyler sırasında numuneler üzerinde oluşan çatlak şekillerinin görünümü, Ek C'de verilen deney fotoğraflarında mevcuttur. Şekil 5.36'da G2_S4 numunesinin deneyden sonraki durumu görülmektedir.



Şekil 5.36: G2_S4 numunesinin deneyden sonraki görünümü

5.5.4 Deneysel Sonuçlar İle Kuramsal Hesapların Karşılaştırılması

Çalışmanın bu bölümünde daha önce tarifi verilen tepe noktaları için deneysel ve kuramsal olarak elde edilen sonuçların karşılaştırılması yapılacaktır. Deneysel ve kuramsal olarak elde edilen sonuçlar Çizelge 5.5-5.14'te verilmiştir. Bu çizelgelerde ilk sütunda itme veya çekme anında deneyin hangi noktasında bulunulduğuna işaret eden numaralara yer verilmiştir. İkinci sütunda ise söz konusu noktalara ait deneysel eğrilik okumaları bulunmaktadır. Sonraki sütunlarda ise sırası ile bu eğrilik değerlerine karşılık gelen deneysel ve kuramsal yük değerleri, en dış beton lifinde oluşan basınç şekil değiştirmesi, deneysel ve kuramsal moment değerleri ve son olarak da deneysel yük değerlerinin kuramsal yük değerlerine oranı verilmektedir.

Çizelge 5.5: G1_S1 numunesi için deneysel ve kuramsal sonuçların karşılaştırılması

G1_S1 (ρ_s =%0.44)							
#	Eğrilik (1/m)	P_{deney} (kN)	P_{teori} (kN)	ε_c	M_{deney} (kNm)	M_{teori} (kNm)	Pd/Pt
-1	-0,035	-71	-66,9	-0,0016	-39,94	-37,63	1,06
-2	-0,0297	-71,3	-66	-0,0014	-40,11	-37,13	1,08
-3	-0,0255	-66,8	-65,9	-0,0013	-37,58	-37,07	1,01
-4	-0,0205	-65,6	-65,5	-0,0012	-36,90	-36,84	1,00
-5	-0,0143	-63,9	-63,9	-0,001	-35,94	-35,94	1,00
-6	-0,0075	-61,7	-62	-0,00072	-34,71	-34,88	1,00
-7	-0,0048	-54,2	-59,2	-0,0006	-30,49	-33,30	0,92
8	0,0028	45,3	45,1	0,00043	25,48	25,37	1,00
7	0,0043	54,2	58,5	0,0006	30,49	32,91	0,93
6	0,0072	59,6	61,9	0,00071	33,53	34,82	0,96
5	0,0135	62,1	63,6	0,00095	34,93	35,78	0,98
4	0,0225	65,1	65,8	0,00125	36,62	37,01	0,99
3	0,032	68,1	66,4	0,0015	38,31	37,35	1,03
2	0,045	70,3	69,1	0,0018	39,54	38,87	1,02
1	0,0511	71,3	70,3	0,002	40,11	39,54	1,01

Çizelge 5.6: G1_S2 numunesi için deneysel ve kuramsal sonuçların karşılaştırılması

G1_S2 (ρ_s =%0.61)							
#	Eğrilik (1/m)	P_{deney} (kN)	P_{teori} (kN)	ε_c	M_{deney} (kNm)	M_{teori} (kNm)	Pd/Pt
-1	-0,075	-99,9	-99,3	-0,0035	-56,19	-55,86	1,01
-2	-0,058	-95,6	-95,8	-0,0027	-53,78	-53,89	1,00
-3	-0,045	-96,1	-92,8	-0,0023	-54,06	-52,20	1,04
-4	-0,0365	-99	-90,6	-0,002	-55,69	-50,96	1,09
-5	-0,0217	-96	-87,8	-0,0014	-54,00	-49,39	1,09
-6	-0,009	-90,5	-82,7	-0,0009	-50,91	-46,52	1,09
1	0,032	89,6	88,9	0,0017	50,40	50,01	1,01
2	0,044	93,6	92,5	0,0022	52,65	52,03	1,01
3	0,058	98,2	95,8	0,0027	55,24	53,89	1,03
4	0,071	99,7	98,6	0,0033	56,08	55,46	1,01
5	0,084	96,7	100,9	0,0039	54,39	56,76	0,96
6	0,096	98,9	102,1	0,0054	55,63	57,43	0,97

Çizelge 5.7: G1_S3 numunesi için deneysel ve kuramsal sonuçların karşılaştırılması

G1_S3 (ρ_s =%0.77)							
#	Eğrilik (1/m)	P_{deney} (kN)	P_{teori} (kN)	ε_c	M_{deney} (kNm)	M_{teori} (kNm)	Pd/Pt
-1	-0,046	-116,3	-115,2	0,0028	-65,42	-64,80	1,01
-2	-0,034	-111,6	-111,8	0,0022	-62,78	-62,89	1,00
-3	-0,027	-109,2	-110,6	0,00185	-61,43	-62,21	0,99
-4	-0,018	-109,3	-109	0,0015	-61,48	-61,31	1,00
-5	-0,01	-108,6	-103,7	0,0011	-61,09	-58,33	1,05
-6	-0,0063	-102,9	-98,4	0,00083	-57,88	-55,35	1,05
-7	-0,004	-91,1	-87,5	0,00065	-51,24	-49,22	1,04
8	0,0033	81	76,2	0,0006	45,56	42,86	1,06
7	0,005	95	95	0,00074	53,44	53,44	1,00
6	0,0072	100	100,2	0,0009	56,25	56,36	1,00
5	0,0125	102,5	106,5	0,0012	57,66	59,91	0,96
4	0,019	105,8	109,4	0,0015	59,51	61,54	0,97
3	0,028	107,4	110,7	0,0019	60,41	62,27	0,97
2	0,038	110	112,9	0,0024	61,88	63,51	0,97
1	0,056	116,8	117,6	0,0036	65,70	66,15	0,99

Çizelge 5.8: G2_S1 numunesi için deneysel ve kuramsal sonuçların karşılaştırılması

G2_S1 (ρ_s =%0.53)							
#	Eğrilik (1/m)	P_{deney} (kN)	P_{teori} (kN)	ε_c	M_{deney} (kNm)	M_{teori} (kNm)	Pd/Pt
-1	-0,04	-77,6	-79,7	-0,0019	-43,65	-44,83	0,97
-2	-0,032	-76	-78,1	-0,00165	-42,75	-43,93	0,97
-3	-0,024	-76,4	-77,6	-0,0014	-42,98	-43,65	0,98
-4	-0,017	-75,1	-76	-0,0012	-42,24	-42,75	0,99
-5	-0,0103	-72,9	-73,2	-0,0009	-41,01	-41,18	1,00
-6	-0,0055	-66,8	-69,1	-0,0007	-37,58	-38,87	0,97
-7	-0,004	-59,7	-65,4	-0,0006	-33,58	-36,79	0,91
-8	-0,0027	-49,8	-47,5	-0,00044	-28,01	-26,72	1,05
8	0,0035	51	61	0,0005	28,69	34,31	0,84
7	0,0047	61,1	68	0,0006	34,37	38,25	0,90
6	0,0082	68,1	72,1	0,0008	38,31	40,56	0,94
5	0,0142	71,2	75,1	0,0011	40,05	42,24	0,95
4	0,02	74,4	76,8	0,0013	41,85	43,20	0,97
3	0,029	75,5	77,6	0,0016	42,47	43,65	0,97
2	0,037	74,3	79	0,0018	41,79	44,44	0,94
1	0,043	76,4	80,4	0,002	42,98	45,23	0,95

Çizelge 5.9: G2_S3 numunesi için deneysel ve kuramsal sonuçların karşılaştırılması

G2_S3 (ρ_s =%0.85)							
#	Eğrilik (1/m)	P_{deney} (kN)	P_{teori} (kN)	ε_c	M_{deney} (kNm)	M_{teori} (kNm)	Pd/Pt
-1	-0,025	-130,5	-121,5	-0,0019	-73,41	-68,34	1,07
-2	-0,0191	-128	-120,3	-0,0016	-72,00	-67,67	1,06
-3	-0,0141	-126,1	-117,7	-0,00135	-70,93	-66,21	1,07
-4	-0,008	-121,6	-110,5	-0,001	-68,40	-62,16	1,10
-5	-0,005	-107,8	-103,2	-0,0008	-60,64	-58,05	1,04
-6	-0,004	-94,9	-93,8	-0,00067	-53,38	-52,76	1,01
-7	-0,0032	-79,7	-78,1	-0,00057	-44,83	-43,93	1,02
-8	-0,0024	-62,5	-57	-0,00045	-35,16	-32,06	1,10
8	0,003	67,6	72,8	0,00054	38,03	40,95	0,93
7	0,004	80,6	93,8	0,0007	45,34	52,76	0,86
6	0,006	99,1	106,4	0,00084	55,74	59,85	0,93
5	0,0093	105,4	112,1	0,0011	59,29	63,06	0,94
4	0,014	109,7	117,6	0,00135	61,71	66,15	0,93
3	0,0207	111,9	120,9	0,0017	62,94	68,01	0,93
2	0,027	112,6	121,7	0,002	63,34	68,46	0,93
1	0,033	115,4	122,4	0,0023	64,91	68,85	0,94

Çizelge 5.10: G2_S4 numunesi için deneysel ve kuramsal sonuçların karşılaştırılması

G2_S4 (ρ_s =%0.53)							
#	Eğrilik (1/m)	P_{deney} (kN)	P_{teori} (kN)	ε_c	M_{deney} (kNm)	M_{teori} (kNm)	Pd/Pt
-1	-0,073	-86	-86	-0,003	-48,38	-48,38	1,00
-2	-0,053	-84,2	-82,3	-0,0023	-47,36	-46,29	1,02
-3	-0,0416	-84,1	-79,8	-0,00191	-47,31	-44,89	1,05
-4	-0,0283	-84,6	-77,6	-0,00154	-47,59	-43,65	1,09
-5	-0,0195	-85,6	-77,4	-0,0013	-48,15	-43,54	1,11
-6	-0,0105	-82,4	-73,5	-0,00094	-46,35	-41,34	1,12
-7	-0,005	-76,3	-67,4	-0,00065	-42,92	-37,91	1,13
-8	-0,00346	-62,9	-58	-0,00053	-35,38	-32,63	1,08
8	0,0108	64,9	73,7	0,00095	36,51	41,46	0,88
7	0,0158	72,9	77,2	0,0012	41,01	43,43	0,94
6	0,0211	79,1	77,5	0,00134	44,49	43,59	1,02
5	0,0291	80,9	77,6	0,0016	45,51	43,65	1,04
4	0,0397	82,8	79,4	0,0019	46,58	44,66	1,04
3	0,0485	82,5	81,3	0,0021	46,41	45,73	1,01
2	0,056	81,9	82,8	0,0023	46,07	46,58	0,99
1	0,073	83,4	86	0,003	46,91	48,38	0,97

Çizelge 5.11: G3_S1 numunesi için deneysel ve kuramsal sonuçların karşılaştırılması

G3_S1 (ρ_s =%0.69)							
#	Eğrilik (1/m)	P_{deney} (kN)	P_{teori} (kN)	ε_c	M_{deney} (kNm)	M_{teori} (kNm)	Pd/Pt
-1	-0,034	-104,9	-100,9	-0,002	-59,01	-56,76	1,04
-2	-0,023	-111,4	-99,4	-0,0016	-62,66	-55,91	1,12
-3	-0,018	-105,0	-98	-0,0014	-59,06	-55,13	1,07
-4	-0,0103	-102,5	-94,3	-0,001	-57,66	-53,04	1,09
-5	-0,00536	-96,60	-86,7	-0,00074	-54,34	-48,77	1,11
-6	-0,00362	-82,00	-74,9	-0,0006	-46,13	-42,13	1,09
-7	-0,0028	-71,50	-58,4	-0,0005	-40,22	-32,85	1,22
8	0,0027	63,00	56,2	0,00047	35,44	31,61	1,12
7	0,00347	77,70	73	0,00057	43,71	41,06	1,06
6	0,0053	89,80	86,5	0,00073	50,51	48,66	1,04
5	0,016	94,70	97,4	0,0013	53,27	54,79	0,97
4	0,024	95,30	99,7	0,00164	53,61	56,08	0,96
3	0,034	95,70	101,3	0,002	53,83	56,98	0,94
2	0,043	104,10	103,6	0,0024	58,56	58,28	1,00
1	0,0541	101,30	106,4	0,0028	56,98	59,85	0,95

Çizelge 5.12: G3_S2 numunesi için deneysel ve kuramsal sonuçların karşılaştırılması

G3_S2 (ρ_s =%0.85)							
#	Eğrilik (1/m)	P_{deney} (kN)	P_{teori} (kN)	ε_c	M_{deney} (kNm)	M_{teori} (kNm)	Pd/Pt
-1	-0,0182	-116,9	-119,8	-0,0016	-65,76	-67,39	0,98
-2	-0,014	-115,5	-116,9	-0,0013	-64,97	-65,76	0,99
-3	-0,0088	-112,5	-111,9	-0,001	-63,28	-62,94	1,01
-4	-0,0053	-104,2	-104,4	-0,0008	-58,61	-58,73	1,00
-5	-0,00353	-92,2	-86,9	-0,0006	-51,86	-48,88	1,06
-6	-0,0029	-76,4	-70,8	-0,00053	-42,98	-39,83	1,08
-7	-0,0024	-59,6	-57,5	-0,00045	-33,53	-32,34	1,04
-8	-0,0018	-42,3	-41,8	-0,00036	-23,79	-23,51	1,01
8	0,0033	75,2	81,5	0,0006	42,30	45,84	0,92
7	0,0048	88,4	102,6	0,00075	49,73	57,71	0,86
6	0,0074	97,4	109,9	0,00094	54,79	61,82	0,89
5	0,0107	104	114,3	0,00114	58,50	64,29	0,91
4	0,0149	109,7	117,7	0,0014	61,71	66,21	0,93
3	0,0193	113,5	120	0,0016	63,84	67,50	0,95
2	0,022	116,1	120,5	0,0017	65,31	67,78	0,96
1	0,0266	115,1	121,2	0,002	64,74	68,18	0,95

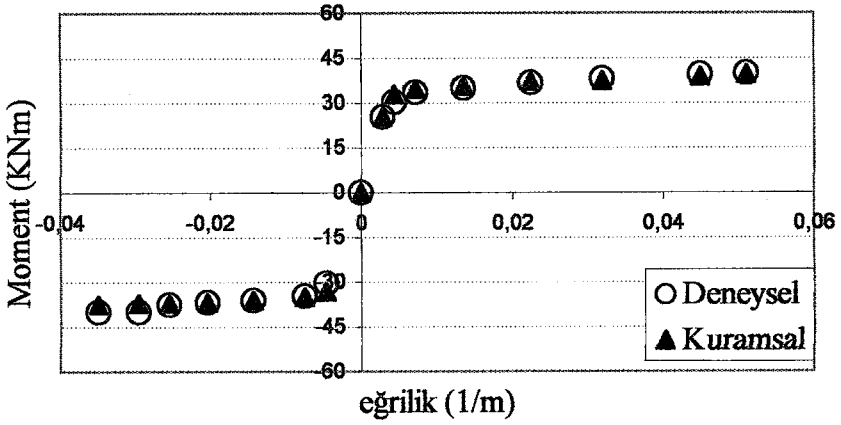
Çizelge 5.13: G3_S3 numunesi için deneysel ve kuramsal sonuçların karşılaştırılması

G3_S3 (ρ_s =%1.0)							
#	Eğrilik (1/m)	P_{deney} (kN)	P_{teori} (kN)	ε_c	M_{deney} (kNm)	M_{teori} (kNm)	Pd/Pt
-1	-0,0404	-137,9	-144,3	-0,0032	-77,57	-81,17	0,96
-2	-0,028	-135,2	-142,6	-0,0023	-76,05	-80,21	0,95
-3	-0,0197	-138,2	-141	-0,0018	-77,74	-79,31	0,98
-4	-0,0107	-138,8	-133,8	-0,00124	-78,08	-75,26	1,04
-5	-0,0053	-127,3	-120,7	-0,00084	-71,61	-67,89	1,05
-6	-0,0041	-111,1	-108,4	-0,00072	-62,49	-60,98	1,02
-7	-0,0035	-95,8	-96,4	-0,00064	-53,89	-54,23	0,99
-8	-0,0024	-78,9	-63,9	-0,00047	-44,38	-35,94	1,23
8	0,0027	84,3	72,6	0,0005	47,42	40,84	1,16
7	0,0032	100,1	87,5	0,0006	56,31	49,22	1,14
6	0,0047	112	116	0,0008	63,00	65,25	0,97
5	0,0089	121,8	130,7	0,0011	68,51	73,52	0,93
4	0,015	123,1	138,6	0,0015	69,24	77,96	0,89
3	0,019	126,5	140,8	0,00175	71,16	79,20	0,90
2	0,023	125,6	142,1	0,002	70,65	79,93	0,88
1	0,0315	136,8	142,9	0,0025	76,95	80,38	0,96

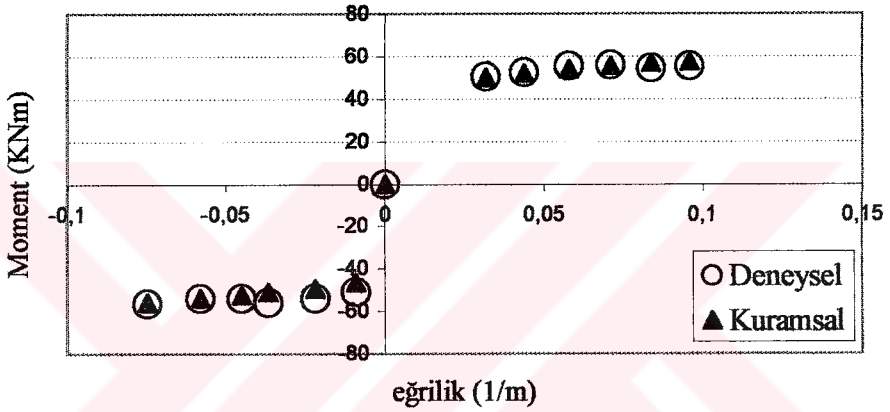
Çizelge 5.14: G3_S4 numunesi için deneysel ve kuramsal sonuçların karşılaştırılması

G3_S4 (ρ_s =%0.69)							
#	Eğrilik (1/m)	P_{deney} (kN)	P_{teori} (kN)	ε_c	M_{deney} (kNm)	M_{teori} (kNm)	Pd/Pt
-1	-0,048	-107	-104,5	-0,0026	-60,19	-58,78	1,02
-2	-0,035	-100,9	-101,5	-0,0021	-56,76	-57,09	0,99
-3	-0,027	-96,2	-100,2	-0,0018	-54,11	-56,36	0,96
-4	-0,021	-96,7	-99,6	-0,00154	-54,39	-56,03	0,97
-5	-0,0124	-95,5	-95,9	-0,0012	-53,72	-53,94	1,00
-6	-0,00672	-92,6	-89,2	-0,00084	-52,09	-50,18	1,04
-7	-0,0034	-84,7	-69,5	-0,0006	-47,64	-39,09	1,22
-8	-0,0028	-73,3	-56,4	-0,0005	-41,23	-31,73	1,30
8	0,0041	76,4	77,7	0,00064	42,98	43,71	0,98
7	0,0076	88,2	90,9	0,0009	49,61	51,13	0,97
6	0,0126	95,1	96,1	0,0012	53,49	54,06	0,99
5	0,0197	97,8	99,5	0,0015	55,01	55,97	0,98
4	0,0265	99,9	100,1	0,00175	56,19	56,31	1,00
3	0,0336	105,1	101,2	0,002	59,12	56,93	1,04
2	0,0395	107,1	102,4	0,0022	60,24	57,60	1,05
1	0,0506	109,9	105,2	0,0027	61,82	59,18	1,04

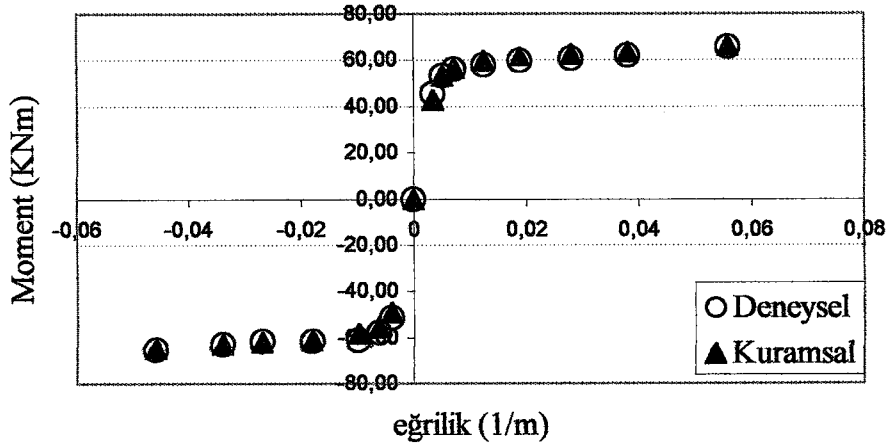
Yukarıda çizelgeler halinde verilen kuramsal sonuçların deneysel olarak elde edilen sonuçlarla uyumlu olduğu görülmektedir. Genellikle bütün numunelerde, sargılı beton için daha önceki bölümlerde hesaplanmış olan ve maksimum dayanıma karşılık gelen ε_{cc} şekil değiştirmesine ulaşana dek yükleme yapılabilmiştir. Deneysel olarak elde edilen yük-deplasman ve moment eğrilik ilişkilerinin tamamında sünek davranış gözlenmekte, kesme etkileri ile oluşan ani dayanım düşüşlerine rastlanmamaktadır (Şekil 1.5, Şekil 1.6). Çizelgelerde verilen kuramsal ve deneysel sonuçların değişimi, Şekil 5.37-5.46'da grafikler halinde gösterilmiştir. Söz konusu şekiller bir başka deyişle elde edilen moment eğrilik ilişkisi için zarf eğrisi niteliğindedir.



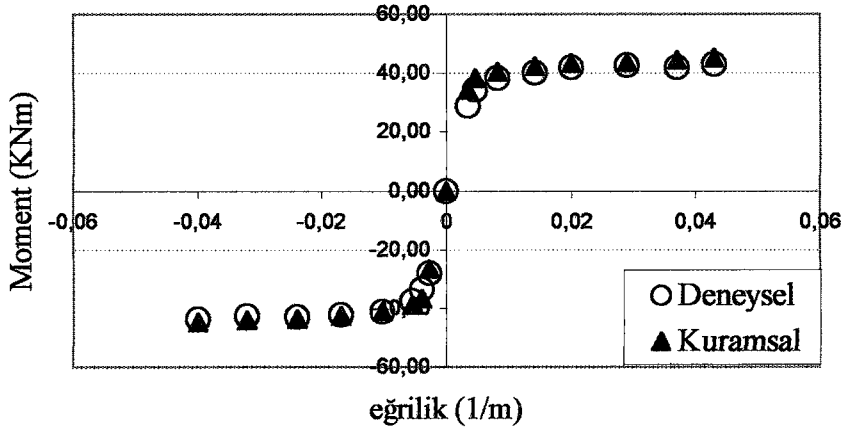
Şekil 5.37: G1_S1 numunesi için kuramsal ve deneysel sonuçların değişimi



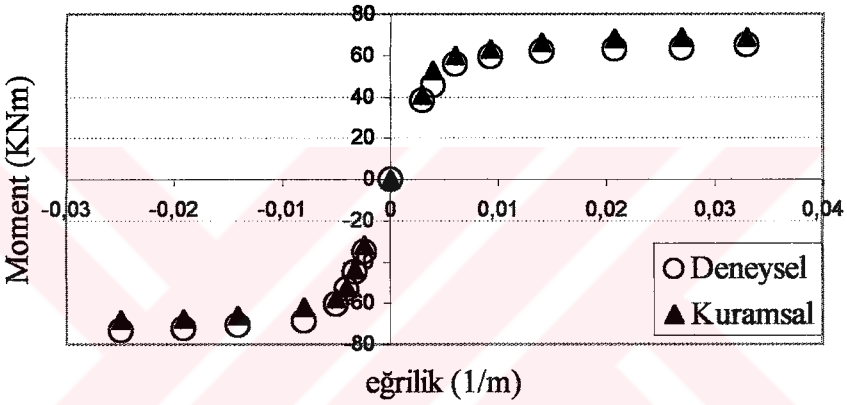
Şekil 5.38: G1_S2 numunesi için kuramsal ve deneysel sonuçların değişimi



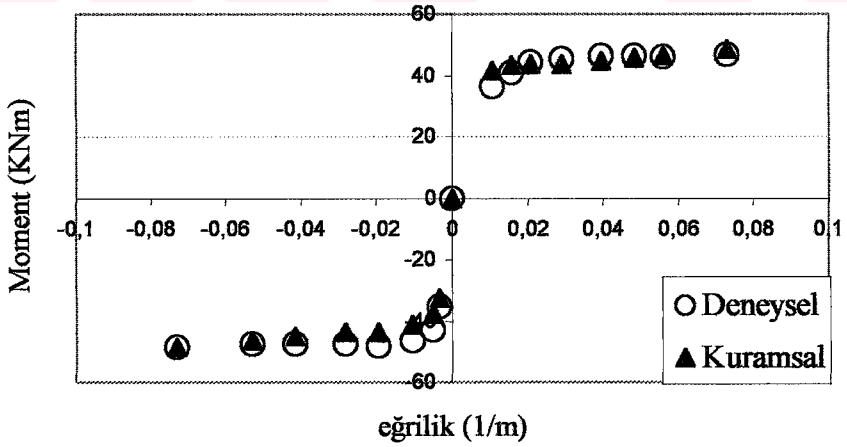
Şekil 5.39: G1_S3 numunesi için kuramsal ve deneysel sonuçların değişimi



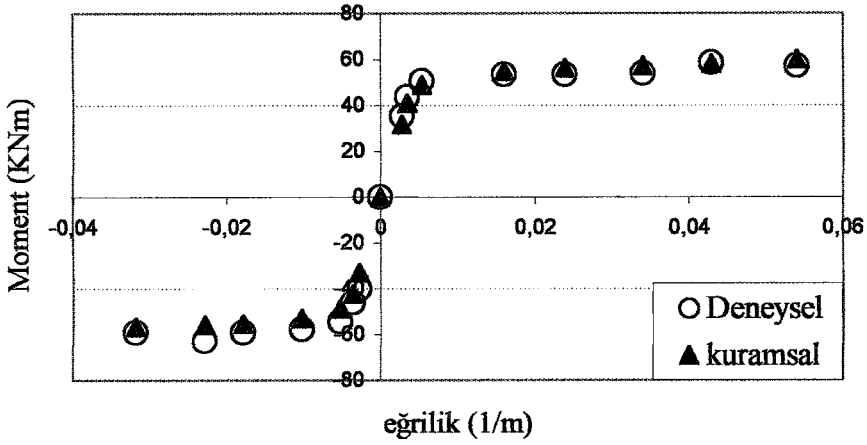
Şekil 5.40: G2_S1 numunesi için kuramsal ve deneysel sonuçların değişimi



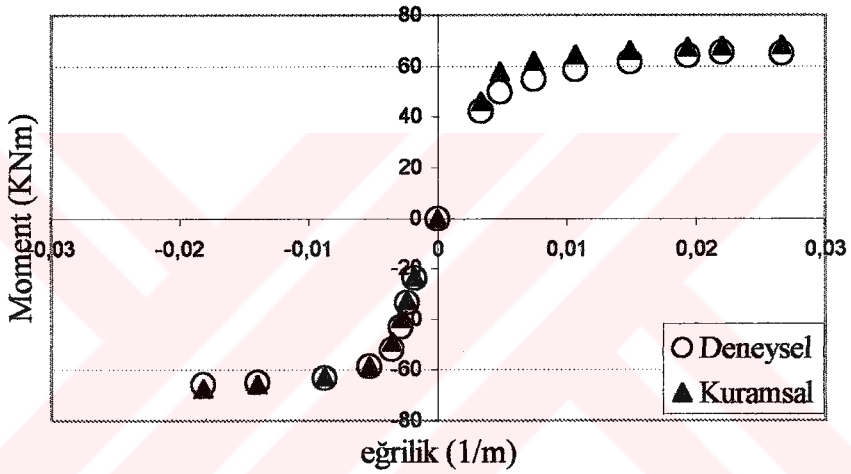
Şekil 5.41: G2_S3 numunesi için kuramsal ve deneysel sonuçların değişimi



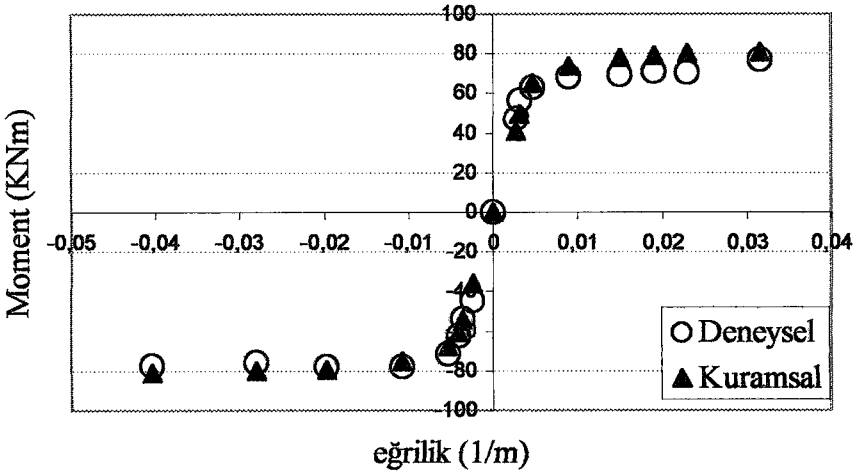
Şekil 5.42: G2_S4 numunesi için kuramsal ve deneysel sonuçların değişimi



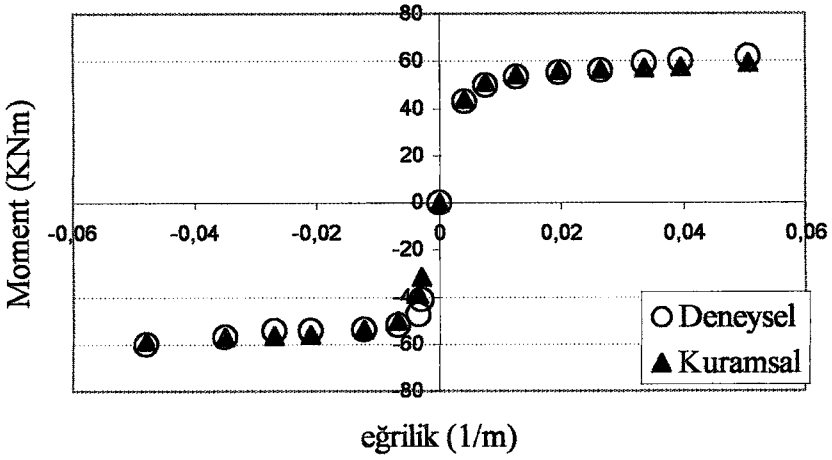
Şekil 5.43: G3_S1 numunesi için kuramsal ve deneysel sonuçların değişimi



Şekil 5.44: G3_S2 numunesi için kuramsal ve deneysel sonuçların değişimi



Şekil 5.45: G3_S3 numunesi için kuramsal ve deneysel sonuçların değişimi



Şekil 5.46: G3_S4 numunesi için kuramsal ve deneysel sonuçların değişimi

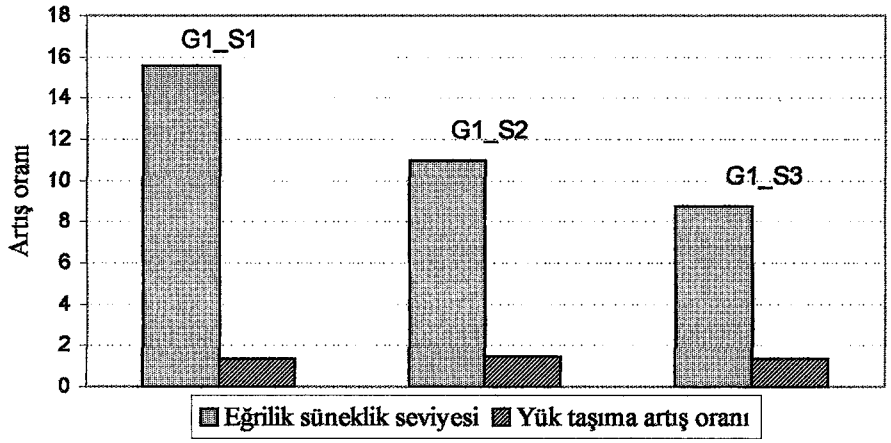
5.5.5 Boyuna Donatı Miktarının Süneklik Üzerindeki Etkisi

Deneyler sırasında gerçekleştirilen şekil değiştirme ölçümlerinin tamamı yatayda okuma yapan yer değiştirme ölçerler ile yapılmıştır. Perde duvar numunelerinde geleneksel boyutlardaki bir betonarme kiriş elemana göre oldukça büyük olan yükseklik/kalınlık oranı, henüz çok küçük eğrilik değerlerine ulaşılmış olmasına rağmen, çekme bölgesinde büyük şekil değiştirmelere sebep olmuştur. Bu durum çekme bölgesindeki donatının daha deneyin ilk safhalarında akma şekil değiştirmesine ulaşmasına sebep olmaktadır. Donatının akma şekil değiştirmesine ulaştığı anın deneysel olarak sağlıklı bir biçimde tespit edilebilmesi için şekil değiştirme ölçerlerin kullanılması gerektiği düşünülmektedir. En dış lifte bulunan çekme donatısının aktığı anın kuramsal olarak tespit edilebilmesi için geliştirilen bilgisayar uygulamasından faydalanılmıştır. Deneyler sırasında yapılan eğrilik ölçümleri kullanılarak betonun en dış basınç lifinde 0.002 şekil değiştirmesine ulaşıldığı andaki veren yükleri tespit edilmiştir. Çekme donatısının aktığı andaki değerler ile basınç bölgesindeki betonda 0.002 şekil değiştirmesine ulaşıldığı andaki değerler Çizelge 5.15'te verilmektedir. Kesitlerde elde edilen sargılama etkileri arasında büyük farklar olmadığı için, karşılaştırma işleminin betonun şekil değiştirme seviyesi üzerinden yapılması uygun bulunmuştur.

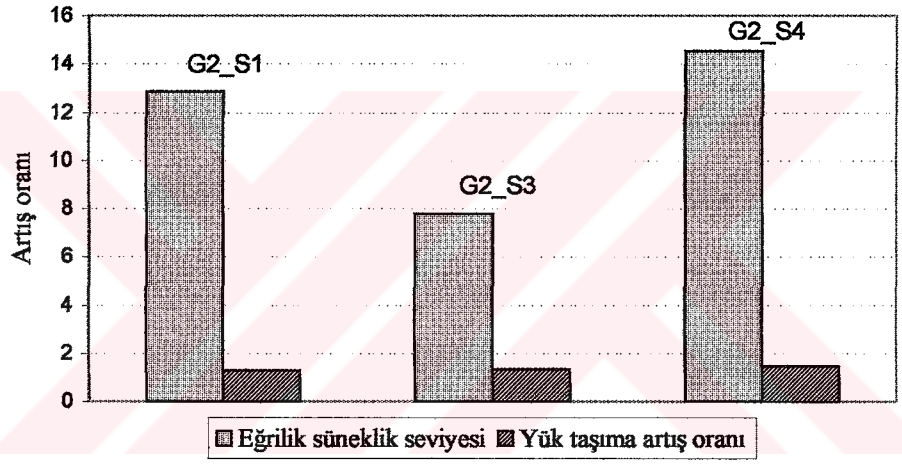
Çizelge 5.15: İlk akma anı ile ε_c=0,002 anındaki değerlerin karşılaştırılması

			ϕ (1/m)	ε_c	P (kN)	ϕ_2/ϕ_1	P_2/P_1
G1_S1	1	$\varepsilon_s=\varepsilon_{sy}$(0,0017)	*0,00328*	*0,000486*	*5,34*	15,58	1,34
	2	ε_c=0,002	0,0511	0,002	7,13		
G1_S2	1	$\varepsilon_s=\varepsilon_{sy}$(0,0017)	*0,00337*	*0,00054*	*6,78*	10,98	1,46
	2	ε_c=0,002	0,037	0,002	9,9		
G1_S3	1	$\varepsilon_s=\varepsilon_{sy}$(0,0017)	*0,00343*	*0,000586*	*7,94*	8,75	1,35
	2	ε_c=0,002	0,03	0,002	10,74		
G2_S1	1	$\varepsilon_s=\varepsilon_{sy}$(0,0017)	*0,00334*	*0,000516*	*5,96*	12,87	1,28
	2	ε_c=0,002	0,043	0,002	7,64		
G2_S3	1	$\varepsilon_s=\varepsilon_{sy}$(0,0017)	*0,00347*	*0,00061*	*8,51*	7,78	1,32
	2	ε_c=0,002	0,027	0,002	11,26		
G2_S4	1	$\varepsilon_s=\varepsilon_{sy}$(0,0017)	*0,00334*	*0,000516*	*5,71*	14,52	1,44
	2	ε_c=0,002	0,0485	0,002	8,25		
G3_S1	1	$\varepsilon_s=\varepsilon_{sy}$(0,0017)	*0,0034*	*0,000564*	*7,21*	9,41	1,45
	2	ε_c=0,002	0,032	0,002	10,49		
G3_S2	1	$\varepsilon_s=\varepsilon_{sy}$(0,0017)	*0,00347*	*0,00061*	*8,59*	7,67	1,41
	2	ε_c=0,002	0,0266	0,002	12,12		
G3_S3	1	$\varepsilon_s=\varepsilon_{sy}$(0,0017)	*0,00352*	*0,000644*	*9,69*	6,53	1,30
	2	ε_c=0,002	0,023	0,002	12,56		
G3_S4	1	$\varepsilon_s=\varepsilon_{sy}$(0,0017)	*0,0034*	*0,000564*	*6,95*	9,88	1,51
	2	ε_c=0,002	0,0336	0,002	10,51		

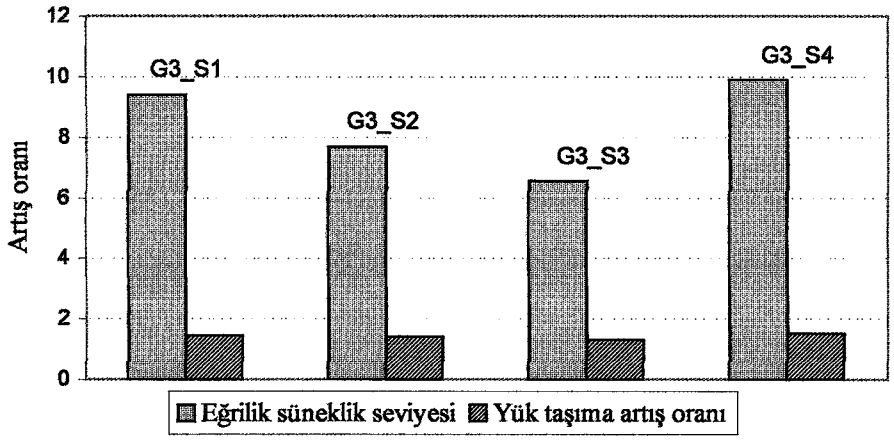
Çizelge 5.15'ten de anlaşılacağı gibi çekme donatısının aktığı ilk andan, basınç bölgesindeki betonda 0.002 şekil değiştirmesinin oluştuğu ana dek geçilen çevrimler boyunca, göreceli olarak daha az donatı içeren numuneler daha sünek davranış sergilemektedirler. Elemanın sünekliğinde meydana gelen azalma, yük taşıma kapasitesinde meydana gelen artışın oldukça üzerinde kalmaktadır. Ortalama olarak bütün numuneler çekme donatısının aktığı andan sonra yük taşıma kapasitelerini en fazla 1.5 kat kadar arttırmalarına rağmen, artan donatı oranına sahip numuneler gittikçe daha küçük eğrilik değerlerine ulaşabilmektedir. Çizelge 5.15'te rakamsal olarak ifade edilemeye çalışılan bu durum, Şekil 5.47-5.53'te şematik olarak gösterilmiştir.



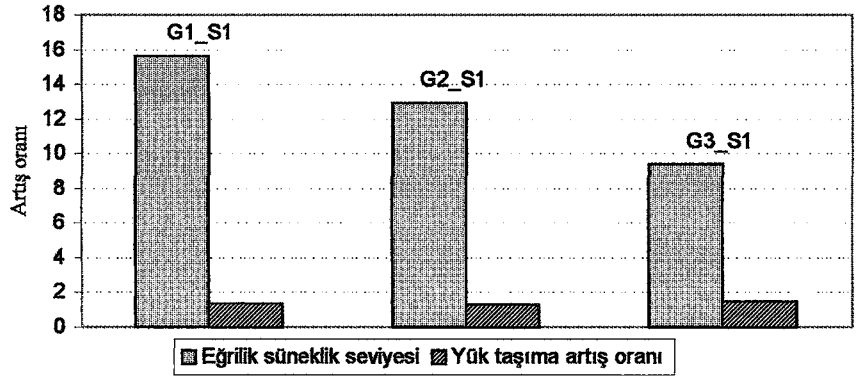
Şekil 5.47: Süneklik seviyesi ve yük taşıma kapasitesindeki artış oranları (G1)



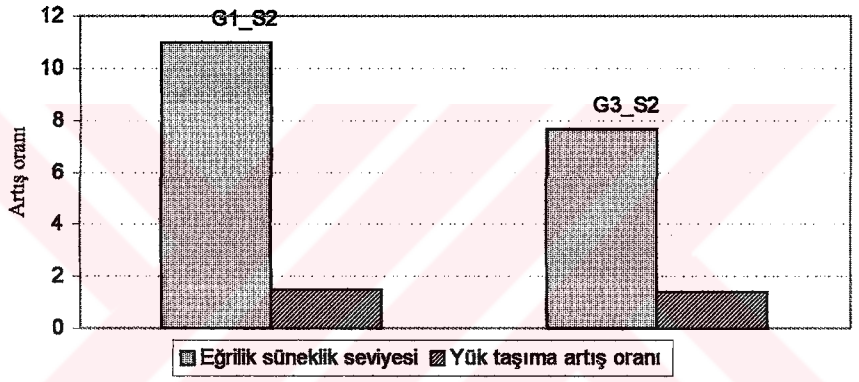
Şekil 5.48: Süneklik seviyesi ve yük taşıma kapasitesindeki artış oranları (G2)



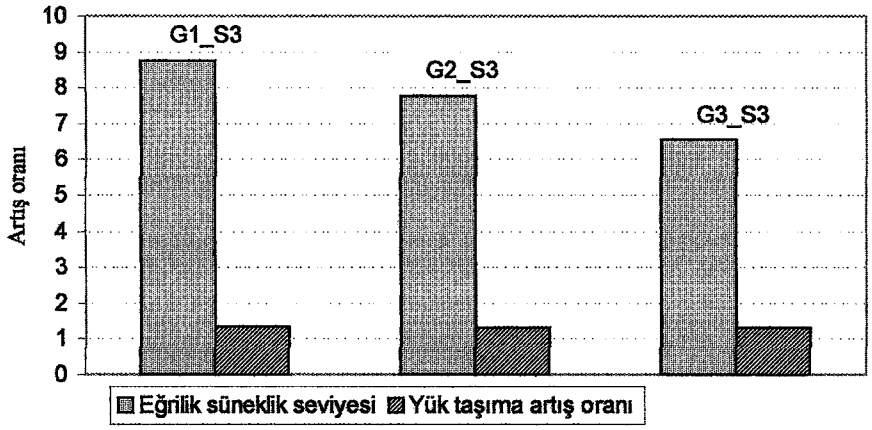
Şekil 5.49: Süneklik seviyesi ve yük taşıma kapasitesindeki artış oranları (G3)



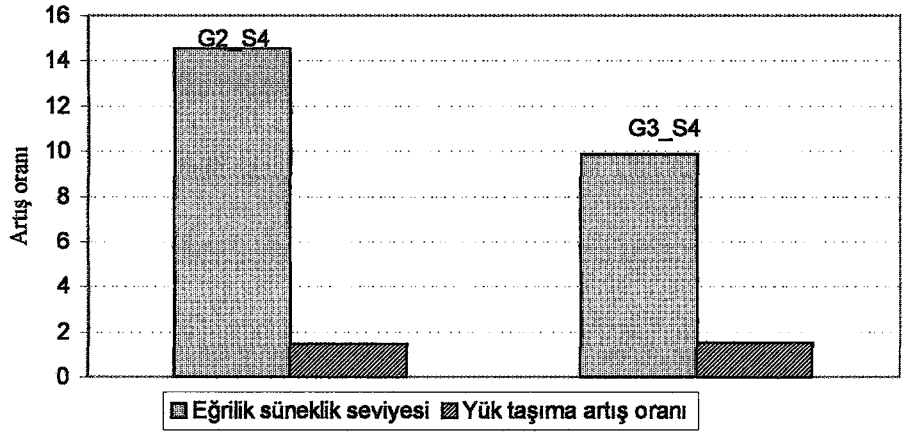
Şekil 5.50: Süneklik seviyesi ve yük taşıma kapasitesindeki artış oranları (S1)



Şekil 5.51: Süneklik seviyesi ve yük taşıma kapasitesindeki artış oranları (S2)



Şekil 5.52: Süneklik seviyesi ve yük taşıma kapasitesindeki artış oranları (S3)

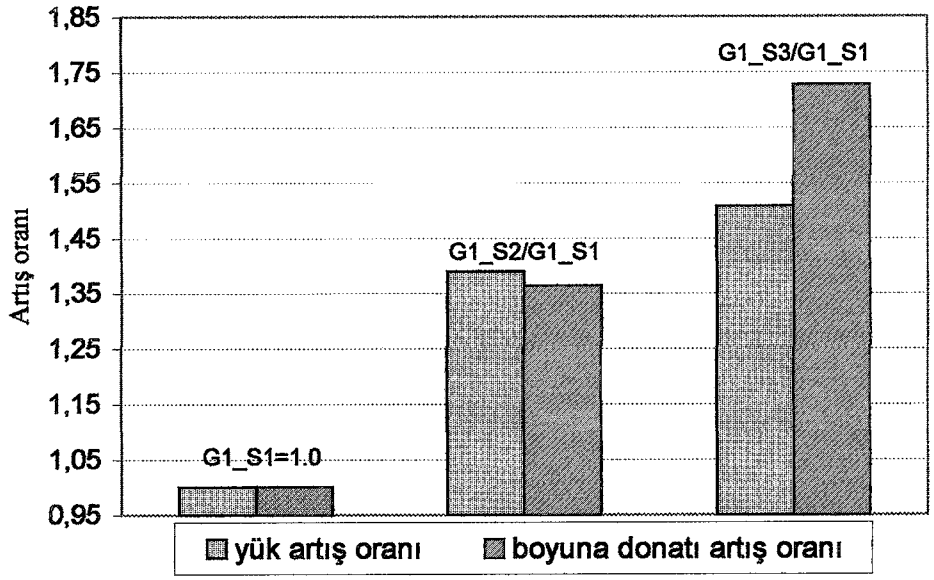


Şekil 5.53: Süneklik seviyesi ve yük taşıma kapasitesindeki artış oranları (S4)

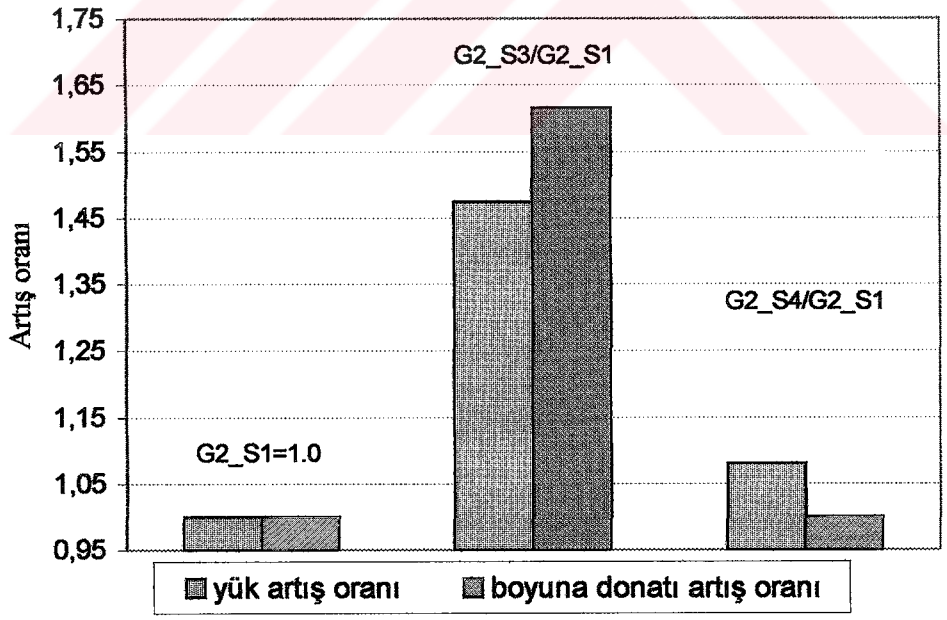
Eğrilik değerlerinde meydana gelen büyük azalma ile karşılaştırıldığında yük taşıma oranlarındaki küçük artışlar, boyuna donatı miktarında sağlanan artışın, dayanım artışında ne kadar etkili olduğunu sorusunu akla getirmiştir.

5.5.6 Boyuna Donatı Miktarının Dayanım Artışı Üzerindeki Etkisi

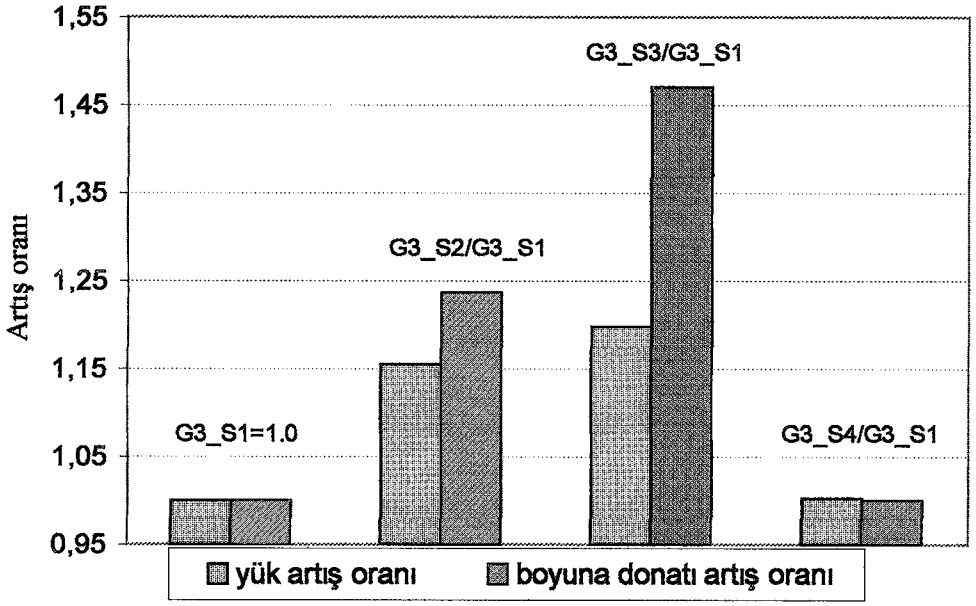
Eğrilik değerlerinde meydana gelen büyük azalma ile karşılaştırıldığında ortaya çıkan yük taşıma oranlarındaki küçük artışlar, arttırılan boyuna donatı miktarının dayanım artışında ne kadar etkili olduğunu sorusunu akla getirmiştir. Bu amaçla deneyler sırasında elde edilen ve Çizelge 5.15'te verilen yük değerleri ile numunelerde kullanılan donatı miktarlarının gösterildiği Çizelge 4.1'den yararlanılarak, donatı miktarındaki artış ile elde edilen yük değerlerinde meydana gelen artış karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma işlemi yapılırken şekillerde verilen numunelerden en az donatı içeren ve dolayısıyla en düşük yük değerini veren numune birim kabul edilerek 1.0 ile gösterilmiş, diğer numuneler için hesaplanan değerler ise kullanılan donatı alanı ve elde edilen yük değerinin birim kabul edilen numunenin verdiği baz değerlere bölünmesi ile elde edilmiştir. Karşılaştırma işlemi hem özdeş gövde hem de özdeş sargı donatıları için yapılmış, Şekil 5.54-5.60'ta verilmiştir.



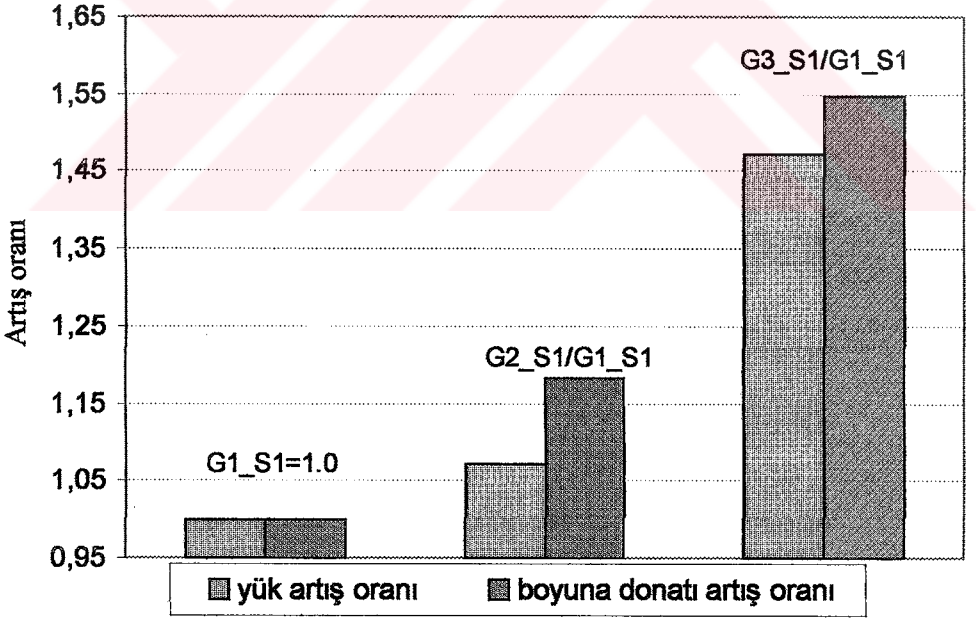
Şekil 5.54: Boyuna donatı oranındaki artış ile yük taşımadaki artış oranlarının karşılaştırılması (G1)



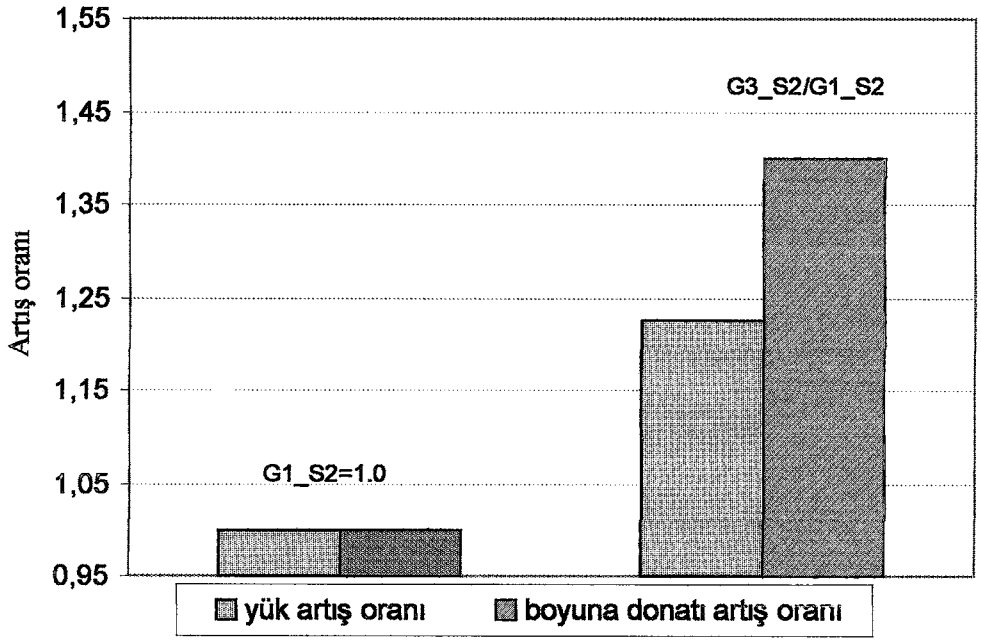
Şekil 5.55: Boyuna donatı oranındaki artış ile yük taşımadaki artış oranlarının karşılaştırılması (G2)



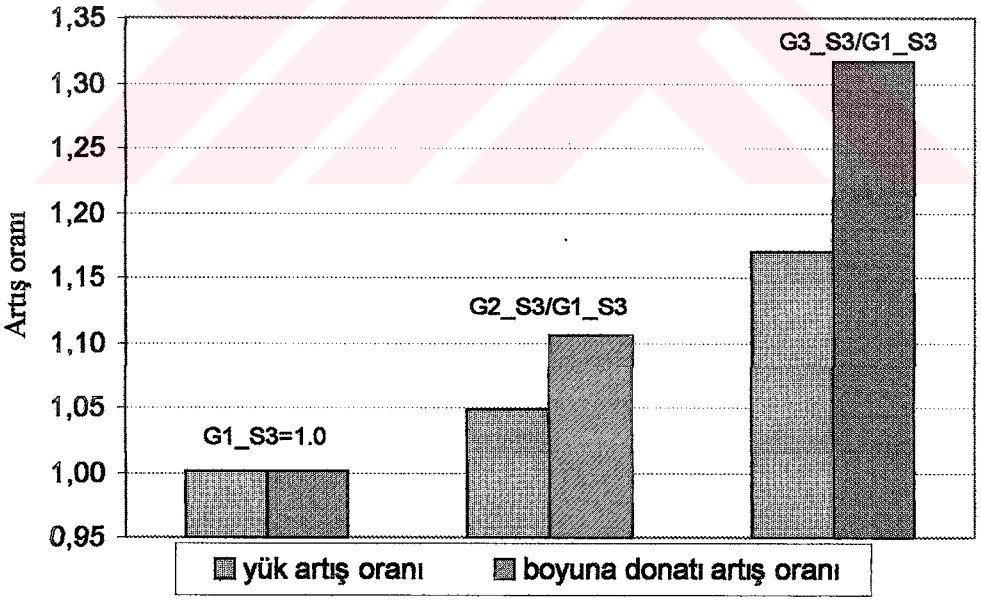
Şekil 5.56: Boyuna donatı oranındaki artış ile yük taşımadaki artış oranlarının karşılaştırılması (G3)



Şekil 5.57: Boyuna donatı oranındaki artış ile yük taşımadaki artış oranlarının karşılaştırılması (S1)

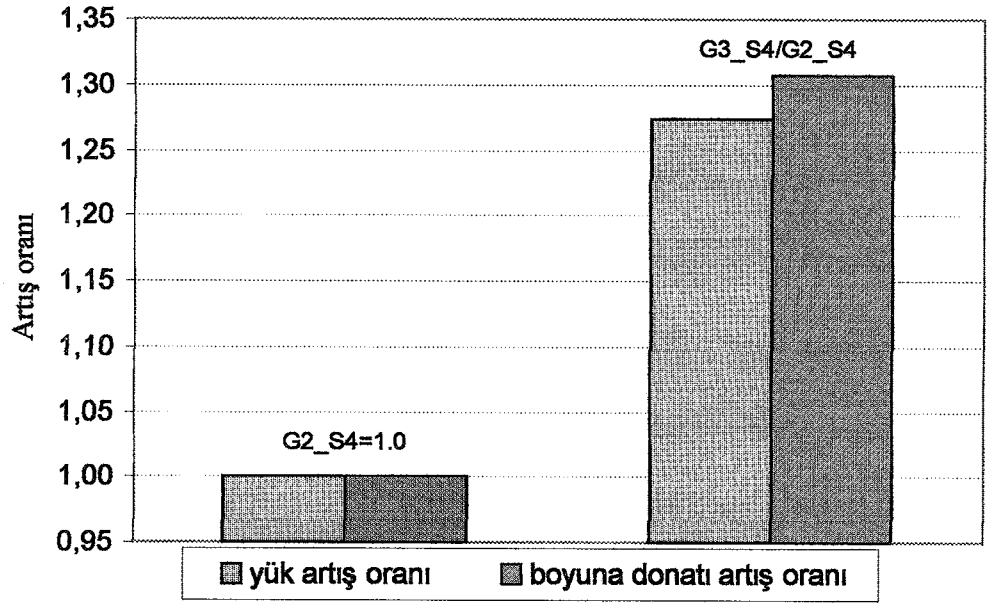


Şekil 5.58: Boyuna donatı oranındaki artış ile yük taşımadaki artış oranlarının karşılaştırılması (S2)



Şekil 5.59: Boyuna donatı oranındaki artış ile yük taşımadaki artış oranlarının karşılaştırılması (S3)

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ



Şekil 5.60: Boyuna donatı oranındaki artış ile yük taşımadaki artış oranlarının karşılaştırılması (S4)

Belirtildiği gibi karşılaştırma işlemi Çizelge 5.15 esas alınarak yapılmıştır. Deneysel verinin elde edilemediği G1_S4 ve G2_S2 numuneleri için karşılaştırma yapma imkanı olmamışsa da, artan boyuna donatı oranı ile yük taşımada sağlanan artış miktarları, numunelerdeki donatı artış oranlarının gerisinde kalmaktadır. Söz konusu bu durum genel olarak hem sargı donatısındaki artış hem de gövde donatılarındaki artış durumları için geçerlidir.

Perde elemanların yük taşıma kapasitelerini arttırmak için kullanılan boyuna donatı miktarlarını arttırmak, verimli bir yaklaşım gibi görünmemektedir. Söz konusu bu yöntem göreceli olarak daha az oranlarda yük artışı sağladığı halde, elemanın süneklik değerlerinde önemli azalmalara sebep olmaktadır. Davranışta meydana gelen bu değişim, yapılan çeşitli deneysel ve kuramsal çalışmaların sonucunda farklı araştırmacılar tarafından da belirtilmektedir. Bertero (1980) ve Wood (1991) yürüttükleri çalışmaların sonucunda boyuna donatıdaki artışın, yük taşıma kapasitesinde göreceli olarak küçük artışlara sebep olduğunu bildirmişlerdir.

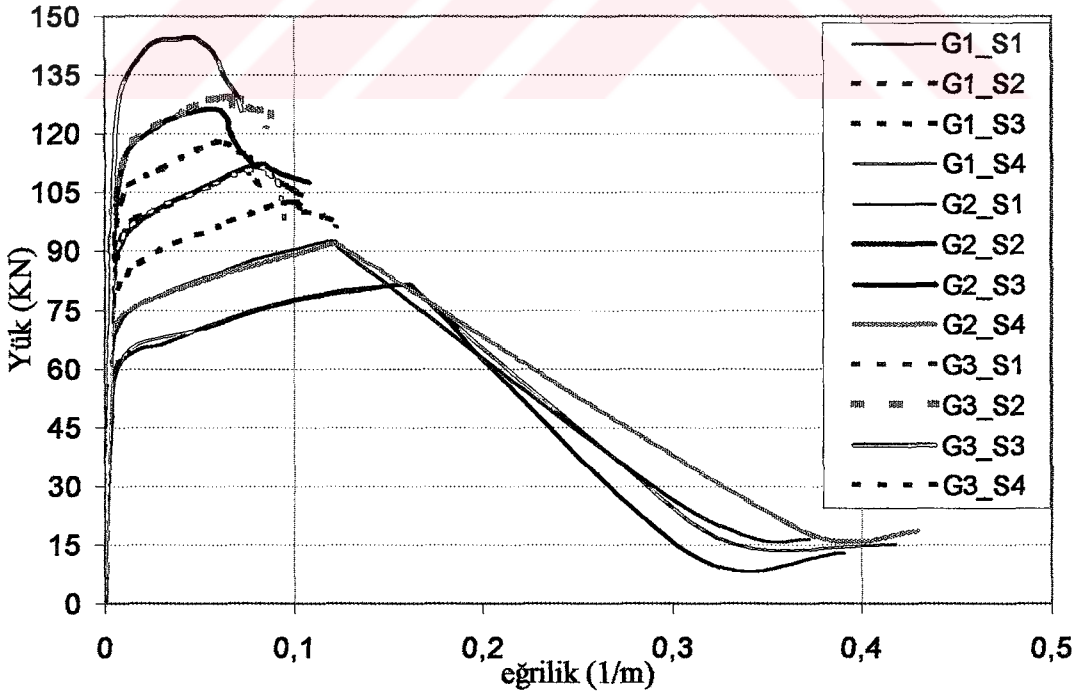
Perde duvar deneyleri sırasında görülmüştür ki, yük-deplasman ilişkisinde kiriş deneylerinde olduğu gibi düşen kol elde etmek pek kolay değildir. Yapılan kuramsal hesaplamalar da akma sınırını aşan donatının pekleşme özelliklerinin davranış üzerinde etkili olduğunu göstermektedir. Eğilme altında zorlanan kirişlerden farklı olarak perde duvarlar, kesit derinliği boyunca farklı seviyelerde yerleştirilmiş çok sayıda donatının pekleşme bölgesinde de yük taşımaya devam etmesi sebebiyle, dayanım kazanmaya devam etmektedirler. Yük-deplasman ilişkisinde meydana gelene yataylaşma ve çatlakların ilerlemesi ile birlikte etkisini arttıran düzlem dışına doğru hareket eğilimi nedeniyle, deneyler düşen kol oluşmadan durdurulmuştur. Deneylere devam edilmesi durumunda ulaşılan yük değerlerinde önemli bir artış oluşmayacağı düşünülmüştür. Deneysel olarak elde edilemeyen düşen kolun ne şekilde oluşacağının araştırılması için geliştirilen yazılımdan faydalanılmıştır.

5.5.7 Bilgisayar Uygulaması İle Perde Kesitlerinin İncelenmesi

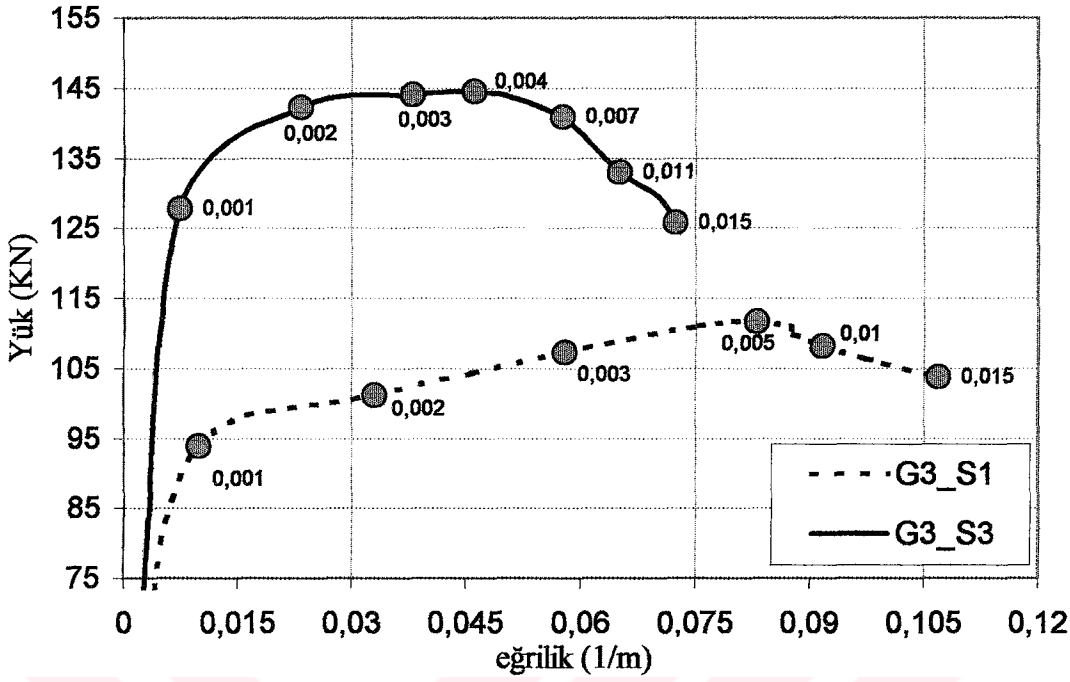
Perde duvar numunelerinde düşen kol elde edebilmek için elemanın betonarme olma özelliklerini büyük oranda yitirmesi, başka bir deyişle beton yada donatıdan birinin veya ikisinin büyük oranda devreden çıkması gerektiği düşünülmektedir. Bu da betonun tamamen ezilmesi ya da donatının kopması ile mümkündür. Bu amaçla hazırlanan bilgisayar uygulaması ile deneysel olarak ulaşılamayan seviyelere dek numunelerinin yüklenmesi yapılmıştır. Bu işlem yapılırken bütün numuneler, en dış beton basınç lifinde 0.015 şekil değiştirmesine ulaşana dek yüklenmiştir. Donatı çeliği için kopma şekil değiştirmesi ise 0.15 olarak tanımlanmıştır. Elde edilen kuramsal sonuçlar Şekil 5.61'de verilmektedir. Bu durum için hesaplanan değerlerin çizelgeler halinde verilmesine gerek duyulmamıştır. Şekil 5.61'den de anlaşılacağı gibi G1_S1, G1_S4, G2_S1 ve G2_S4 numunelerinde yükselen kolun ardından ani düşen kol oluşmaktadır. Sözü edilen bu dört numunede de beton basınç şekil değiştirmesi ortalama olarak 0.01 seviyesine ulaştığı anda, en dış çekme lifine yakın olan donatı kopma şekil değiştirmesine ulaşmaktadır. Dolayısı ile düşen kolun sebebi çekme donatısında meydana gelen kopmadır. Diğer numunelerde ise düşen kol, kopma meydana gelmeden, başka bir ifadeyle donatılar kopma şekil değiştirmesine

ulaşmadan önce oluşmaktadır. Bu numunelerde ise düşen kolun sebebi oldukça yüksek şekil değiştirme değerleri altında yük taşıma kapasitesini yitiren betondur. Artan eğrilik altında pekleşme bölgesinin sonuna yaklaşan donatı, çok küçük oranlarda artan şekilde yük almaya devam etse de, betonun göreceli olarak daha yüksek dayanım kaybı sebebiyle düşen kol oluşmaktadır.

Şekil 5.62'de G3_S3 ve G3_S1 numunelerinde ilerleyen eğrilik seviyeleri altında değişen yük değerleri, her iki eğrinin de yataylaşmaya başladığı kısımdan itibaren verilmiştir. Yük-eğrilik ilişkisi içinde, seçili noktaların yanında gösterilen değerler ise, söz konusu numunelerde bu eğrilik ve yük değerleri anında oluşan betonun şekil değiştirme değerlerini temsil etmektedir. Görüldüğü gibi sargı bölgesinde arttırılan boyuna donatı miktarı ile birlikte betonda oluşan zorlanmanın değeri artmaktadır. Eğrilik 0.06 değerine ulaştığı anda G3_S1 numunesindeki betonda oluşan şekil değiştirme yaklaşık 0.003 iken, G3_S3 numunesinde 0.007 değerini aşmaktadır. Aynı eğrilik değerlerine ulaşabilmek için betonda meydana gelecek bozulmayı önlemek, G3_S3 numunesinde sargılama etkisini arttırmak gerekmektedir.



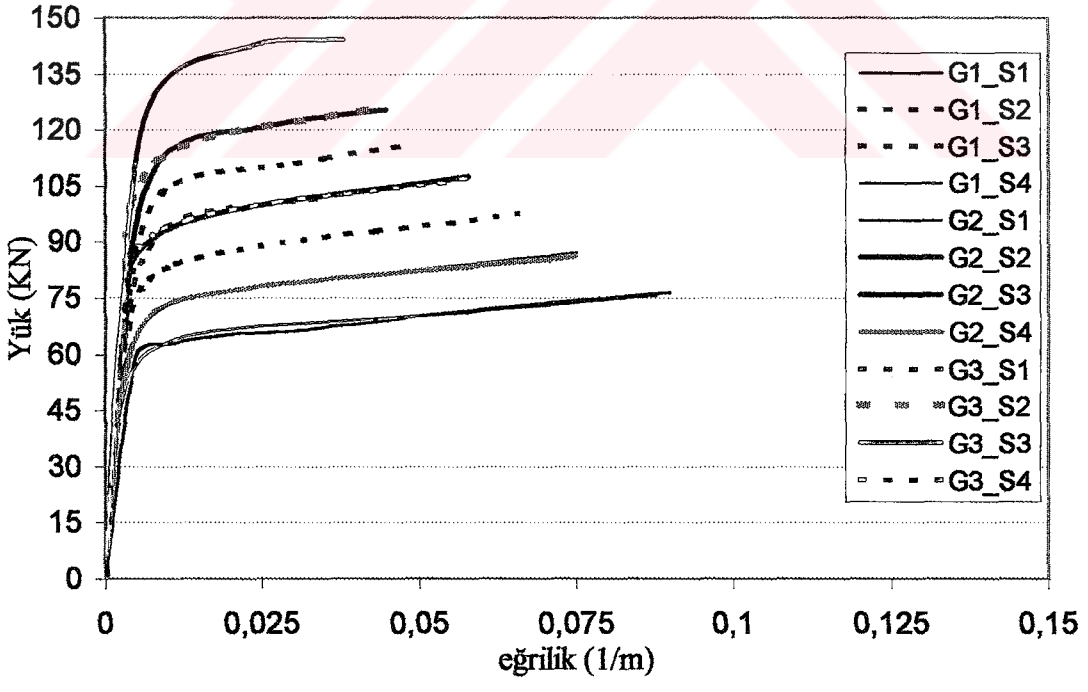
Şekil 5.61: Yük -eğrilik ilişkisi (Kuramsal yükleme, ε_c=0.015)



Şekil 5.62: Yük -eğrilik ilişkisi içinde betonda oluşan şekil değiştirmeler (G3)

Belirtildiği gibi yapılan bu çözümleme tamamen sanal bilgisayar ortamında geçekleştirilmiştir. Hazırlanan yazılım daha önceden tanımlanmış beton ve donatıya ait gerilme–şekil değiştirme eğrileri boyunca verilen değerler üzerinden işlem yapmaktadır. Halbuki gerçekte bir perde duvar numunesini bu seviyelere dek yüklemenin pek de mümkün olamayacağı düşünülmektedir. Bunun sebebi programa kıstas olarak girilen beton için en büyük şekil değiştirme değerinin oldukça abartılı oluşu ve elemanda meydana gelecek muhtemel bir göçmenin bu şekil değiştirmelere ulaşmadan çok önce, stabilitenin kaybedilmesi sebebiyle oluşacağıdır. Yapılan deneyler sırasında artan yer değiştirme ve eğrilik değerleri ile birlikte numunelerde meydana gelen ve her çevrim sırasında bir miktar daha artan düzlem dışına doğru hareket, ileri safhalarda oluşacak ani bir burkulmanın işareti olarak görülmektedir. Donatının pekleşme özellikleri sebebiyle numune dayanım kazanmaya devam etse de, yön değiştiren yükler altında çekme gerilmeleri ile çatlayan, basınç gerilmeleri ile ezilen, ilerleyen çevrimler boyunca sürtünme etkileri ile aşınan ve dayanım özelliklerini yitiren betonun, elemanın stabilite kaybını hızlandıracağına inanılmaktadır.

Normal bir binada meydana gelecek olası bir depremin perde duvar elemanlarını her iki eksen etrafında eğilme ile zorlayacağı düşünülürse, hesaplama işlemleri için esas alınması gereken şekil değiştirmenin beton dayanımına karşılık gelen şekil değiştirme olduğu düşünülmektedir. Bu amaçla bütün numunelerde en dış basınç lifinde oluşan en büyük şekil değiştirme değerinin ortalama 0.003 olduğu varsayılmış, bu durumda oluşan yük taşıma kapasitesi ve eğrilik dağılımı Şekil 5.63'te verilmiştir. Şekil 5.63'te verilen eğri aslında Şekil 5.61'de verilen eğrinin bir parçası durumundadır. Betonda meydana gelen ve 0.003 değerini aşan şekil değiştirmeler için elde edilen verilerin çıkartılması ile hazırlanmıştır. Gerek 0.003 şekil değiştirmesi, gerekse de 0.015 şekil değiştirmesi esas alınarak yapılan bu hesaplamalar, boyuna donatı geometrik oranında meydana gelen artışın bütün numunelerde süneklik kaybına sebep olduğunu göstermektedir. Bu durum deneysel olarak elde edilen ve Çizelge 5.15'te verilen değerler ile paralellik göstermektedir. Perde uçlarında sıklaştırılan boyuna donatılar yük taşıma kapasitesini arttırsa da, sünekliği daha büyük oranlarda düşürmektedir.



Şekil 5.63: Yük -eğrilik ilişkisi (Kuramsal yükleme, ε_c=0.003)

Burada bir noktaya dikkat edilmelidir. Hazırlanan bilgisayar uygulaması pekleşmeli elasto-plastik kabule göre hesap yapmaktadır. Donatıda Bauschinger etkileri sebebiyle oluşan yumuşama etkisi gözönüne alınmamaktadır. Artan çevrim sayısı ile birlikte çatlayan elemanda rijitlik ve dayanım kayıplarının oluştuğu farklı araştırmacılar tarafından belirtilmektedir. Geliştirilen uygulamaya betonarme elemanın monoton yüklenmesi durumuna göre hesap yapmaktadır ve dolaysıyla yön değiştiren yükler altında daha belirgin olacağı tahmin edilen dayanım ve rijitlik kayıplarını dikkate almamaktadır. Çeşitli araştırmacılar tarafından, tekrarlanan yükleme çevrimlerinin bu türden kayıplara sebep olduğu bildirilmekte ise de, davranış eğiliminin monoton artan yükleme durumuna benzer olduğu da bazı araştırmacılar tarafından belirtilmiştir (Wood,1991). Bu şartlar altında kuramsal olarak elde edilen sonuçların yön değiştiren yükler altında elde edilecek sonuçlar hakkında fikir vereceği düşünülerek bu çözümlemeler yapılmıştır. Bu hatırlatmanın ışığında Şekil 5.61, 5.62 ve 5.63 değerlendirilecek olursa, elde edilen bu eğriler muhtemelen maksimum değerleri temsil edecek, tekrarlanan yükleme çevrimleri sebebiyle elemanda oluşacak dayanım ve rijitlik kayıpları, şekillerde verilen zarf niteliğindeki eğrilerin farklılaşmasına sebep olacaktır. Söz konusu bu durum ise özellikle etkisiz sarılış kesitlerde davranışı daha da kritik hale getirmektedir.

Bu çalışmada denenen numunelerin dışında, uygulanabilecek muhtemel sargılama şekillerinin olası etkilerini araştırmak amacıyla bilgisayar ortamında yapılan kuramsal çözümlemeler ve sonuçları Ek D'de verilmiştir.

ALTINCI BÖLÜM

SONUÇLAR

Yapılan bu çalışma ile tersinir yükler altında yüksek perde duvar modellerinin salt eğilme etkileri altındaki davranışları incelenmiştir. Hazırlanan numunelerin laboratuar ortamında kırılması ile elde edilen sonuçlar, donatı çeliği ve beton üzerine geliştirilmiş davranış modellerinin kullanılması ile bulunan kuramsal sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Gerçekleştirilen bu çalışma ile varılan sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

Betonarme yapı elemanlarının tersinir yükler altında davranışının belirlenebilmesi için, öncelikle betonarmeyi oluşturan donatı çeliği ve betonun yükleme altındaki davranışlarının ayrı ayrı bilinmesi gerekmektedir. Daha önce yapılmış olan pek çok deneysel ve kuramsal çalışmadan da yararlanılarak, öncelikle gerçekçi bir davranış modelinin seçilmesi amaçlanmıştır. Betonda sargılama etkisinin belirlenmesi için mevcut modeller içinde yeni olan ve oldukça kabul gören Mander yaklaşımı kullanılmış, numunelerde kullanılan sargılamanın gerilme-şekil değiştirme dağılımı üzerindeki etkileri hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar sargı donatısının dayanım ve süneklik üzerinde olumlu etkileri olduğunu göstermektedir. Hazırlanan deney numunelerinde, sargılama etkisi dayanım üzerinde ortalama %5 civarında artış sağlamasına karşılık, dayanım değerine karşılık gelen şekil değiştirme değerlerinde %30'lara yaklaşan artışlara sebep olmuştur. Bu durum standart silindir basınç deneylerinde elde edilen gerilme şekil değiştirme eğrisinin özellikle düşen kolunda yataylaşmaya sebep olarak, elemanın daha büyük şekil değiştirme değerlerinde yük taşıma kapasitesinin göreceli olarak korunmasını sağlamaktadır. Dolayısı ile sargılama etkisi betonun sünekliğini arttırmakta ve enerji yutma kapasitesini yükseltmektedir.

Perde duvar elemanlarında kirişlerden farklı olarak kesit derinliği boyunca farklı seviyelerde ve miktarlarda donatı kullanıldığı için, donatı çeliğinin davranışının eleman davranışı üzerinde oldukça etkili olacağı düşünülmüş, gerçeğe en yakın davranış modelinin belirlenmesine çalışılmıştır.

Pek çok araştırmacı tarafından gerçekleştirilen ve farklı dayanımlardaki donatı çelikleri için elde edilen sonuçlar bulunmaktadır. Donatı çelikleri üzerine yapılan çekme testleri ile aynı sınıftaki donatılara ait önceden yapılmış test sonuçları üzerine yapılan incelemeler, pekleşme ve kopma noktaları için hesaplanan değerlerin benzer olduğunu göstermiştir. Deneyler sırasında kesit derinliği boyunca şekil değiştirme dağılımının doğrusal olarak elde edilmesi nedeniyle, küçük eğrilik değerleri altında dahi çekme bölgelerindeki donatılar akma noktasını geçmektedir. Bu durum donatı çeliklerinin pekleşme özelliklerinin gerçeğe oldukça yakın olarak belirlenmesi gereğini ortaya çıkarmıştır. Bu şartlar altında çekme testlerinde elde edilen sonuçlar bilgisayara girilerek, donatının pekleşme bölgesindeki davranışı parabol şeklindeki bir fonksiyon ile tanımlanmıştır. Deneysel sonuçlar ile bu çalışmada kullanılan donatılar için geliştirilen kuramsal sonuçlar oldukça uyumludur.

Deneysel çalışma safhası ise, perde duvar numunelerinde salt eğilme etkilerinin oluşmasına izin verilen ölçüm bölgelerinden yapılan okumalar ile gerçekleştirilmiştir. Artan genliklerdeki itme ve çekme yer değiştirmeleri ile yüklenen numunelerden elde edilen yük deplasman ve moment-eğrilik ilişkileri, sünek olarak modellenen perde duvar numunelerinin donatı aktıktan sonra da yük taşımaya devam ettiğini göstermektedir.

Deneysel çalışmanın değişkenleri olarak düşünülen farklı gövde ve sargı donatısının etkileri üzerinde yapılan inceleme, sargı bölgelerinde kullanılan boyuna donatı miktarının dayanım üzerinde etkili olduğunu, fakat dayanım artışının çok üzerindeki oranlarda süneklik kayıplarına sebep olduğunu göstermiştir. Deney numunelerinde yer almayan farklı sargılama şekillerinin de etkisini araştırmak amacıyla betonarme kesitlerin doğrusal olmayan analizi gerçekleştirilmiş, etriye

sıklaştırması ve kanca kullanımı durumları için kuramsal hesaplar yapılmıştır. Yapılan bu araştırma sırasında deneyleri yapılan numunelerin genel itibari ile sargılama etkilerinin birbirine yakın olduğu anlaşılmıştır. Sargı bölgelerinde kullanılan boyuna donatı oranı ise daha geniş aralıklarda değişim göstermektedir. Perde duvarların uç bölgelerinde kullanılan boyuna donatı miktarlarındaki artışın, dayanım artışından daha yüksek olduğu, başka bir deyişle ulaşılan yük seviyelerindeki artışın donatı miktarındaki artış kadar olmadığı anlaşılmıştır. Bu durum ortaya çıkan büyük süneklik kayıpları da hesaba katıldığında, duvarın dayanımını arttırmak için boyuna donatı miktarının arttırılmasının doğru bir yaklaşım olmadığını göstermektedir.

Deneysel olarak elde edilen sonuçların daha iyi bir şekilde yorumlanabilmesi için sargılı beton ve pekleşmeli donatı davranışı için geliştirilen modelleri kullanarak hesap yapan bir bilgisayar uygulaması hazırlanmıştır. Geliştirilen bilgisayar uygulaması donatı çeliğinin yumuşaması ile oluşan Bauschinger etkilerini ve artan çevrim sayısı ile numunelerde oluşabilecek muhtemel dayanım ve rijitlik azalmasını yansıtmamakla beraber, sargılı beton davranışını ve pekleşmeli donatı çeliği davranışını oldukça gerçekçi bir biçimde temsil etmektedir. Geliştirilen bu uygulama ile deneysel olarak yapılan eğrilik ölçümleri kullanılarak kuramsal ve deneysel sonuçların karşılaştırılması yapılmış ve deneysel sonuçların kuramsal sonuçlarla oldukça uyumlu olduğu gözlenmiştir. Deneylerde kırılan numunelerin kapsamı dışındaki farklı muhtemel sargılama şekilleri için yapılan hesaplamalar da bu yazılım yardımıyla gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın Ek D bölümünde verilen ve ara seviyelerde donatı bulunan sargı şekillerinde kanca kullanımı ve etriye sıklaştırması durumları ile ilgili kuramsal sonuçlar, yapılan bu işlemin elemanın sünekliğini arttırdığını göstermektedir. Ara seviyelerdeki donatıların çirozlar ile bağlanmasının elemanın sünekliğini arttırdığı, etriye sıklaştırmasının ise süneklik üzerinde çok daha etkili olduğu görülmüştür. Kanca kullanımı ve/veya etriye sıklaştırması sargılanmamış betona ait dayanım değerini yükseltmekte, dayanıma karşılık gelen şekil değiştirme değerini ise çok daha

büyük oranda arttırmaktadır. Sargılama işlemi esas olarak sargılı beton için hesaplanan gerilme-şekil değiştirme eğrisinin düşen kolunun eğimini azaltmakta ve daha büyük şekil değiştirme değerlerinde betonda oluşan dayanım kaybını yavaşlatmaktadır. Elde edilen kuramsal sonuçların karşılaştırılması yapılırken betonda meydana gelecek muhtemel şekil değiştirme seviyeleri için 0.003 ve 0.015 (mm/mm) değerleri esas alınmıştır. Bütün numunelerin 0.003 şekil değiştirmesine dek yüklenmesi durumunda farklı sargılama şekillerinin etkileri yeterince hissedilmemektedir. 0.015 şekil değiştirmesi esas alınarak yapılan hesaplamalarda ise sargılama şekillerinin davranış üzerindeki etkisi daha bariz bir biçimde görülmektedir. Etkin olarak sarılan kesitlerde dayanım özelliklerini kaybetmeyen beton ve pekleşme etkileri sebebiyle taşıdığı yükü arttırmaya devam eden donatı sebebiyle, elemanlar az da olsa artan oranlarda yük taşımaya devam etmektedirler. Hem kanca hem de etriye sıklaştırmasının kullanıldığı etkili olarak sarılmış elemanlarda, donatı çeliğinin pekleşmesi sebebiyle kazanılan gerilme artışları, betonda oluşan düşen kolun etkilerini gizlemektedir. Etkin olarak sarılmayan kesitlerde ise büyük şekil değiştirme seviyelerinde betonda meydana gelen dayanım kaybı, donatının pekleşme etkilerinden daha baskın olmakta ve moment-eğrilik ilişkilerinde düşen kol oluşmaktadır. Daha öncede belirtildiği gibi hazırlanan yazılım dayanım ve rijitlik kayıplarını yansıtmamaktadır. Bununla beraber etkili olarak sarılmayan kesitlerdeki betonun, iyi biçimde sarılmış betona göre özdeş eğrilik seviyelerinde daha büyük şekil değiştirmelere maruz kalmasının, elemanın rijitlik ve dayanım kaybını hızlandıracağı düşünülmektedir. Bu durumda rijitlik ve dayanım kaybı etkilerinin zayıf sarılmış numunelerde daha belirgin olacağı açıktır.

Deneyler sırasında numuneler üzerinde genel itibari ile meydana gelen çatlaklar benzer biçimde oluşmuştur. Gerçekleştirilen sünek eleman tasarımı sebebiyle bütün numunelerde eğilme çatlakları oluşmuştur. Yükleme çevrimleri boyunca yükleme açıklığı bölgesinde oluşan az sayıdaki çatlaklar deney boyunca açılmış, yeni çatlakların oluşması gerçekleşmemiş ve başlangıçta oluşan bu az sayıdaki çatlakların büyümesi ile deneyler sona ermiştir. Çatlak oluşumu ve ilerlemesinde karşılaşılan bu durumun, kesit geometrisi ve kullanılan düz yüzeyli donatı şekli ve yerleşimi ile ilgili

olduğu düşünülmektedir. Göreceli olarak büyük yükseklik/genişlik oranı ve kesit yüksekliğine göre dar yükleme açıklığı sebebi ile sabit moment bölgesi üzerinde yoğunlaşan etkilerin, çatlak oluşumlarını bu seviyelerde bıraktığına inanılmaktadır. Ayrıca nervürlü yerine düz yüzeyli donatı kullanılması sebebiyle azalan aderans etkilerinin de oluşan çatlak şekilleri üzerinde etkili olduğu düşünülmektedir. Deneyler sırasında numuneler üzerinde oluşan çatlak şekillerinin görünümü, Ek C'de verilen deney fotoğraflarında mevcuttur.

Deneysel çalışmalar sırasında numunelerin yüklenmesi işlemi, yük-deplasman ilişkisi yatay bir seyir aldıktan sonra üç veya dört çevrim daha yapılarak bitirilmiştir. İlerleyen deformasyonlar altında deney numunelerinin az da olsa artan oranlarda yük taşımaya devam ettiği gözlenmiştir. Daha öncede belirtildiği gibi bu durum donatının pekleşme özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Beton ise maksimum dayanıma karşılık gelen şekil değiştirme değeri aşıldıktan sonra dayanım kaybetmektedir. İlerleyen eğrilik seviyesi boyunca dayanım özelliklerini kaybeden betonun, elemanın stabilitesi üzerinde olumsuz etki yaratacağı açıktır. Bu şartlar altında normal bir binada olası bir depremin sebep olacağı her iki eksende eğilme etkilerinin, ileri seviyelerdeki şekil değiştirmeler için hesaplanan dayanım değerlerine ulaşmadan perde elemanın göçmesine sebep olacaktır. Deneyler sırasında artan çevrimler boyunca perde duvar modellerinin düzlem dışına doğru hareket ettikleri gözlenmiştir. Bu durum daha ileri yükleme çevrimleri sırasında oluşabilecek muhtemel bir burkulma davranışının işareti olarak algılanmıştır. Muhtemel bir burkulmanın oluşmasına imkan vermeden deneyler tamamlanmıştır. Deneyler sırasında gözlenen bu davranış sebebiyle, kuramsal hesaplarda esas alınan 0.015 şekil değiştirme değerinin oldukça abartılı olduğu düşünülmektedir. Beton muhtemelen bu şekil değiştirme değerlerine ulaşmadan önce stabilitenin kaybolması nedeniyle göçecektir. Yapılan bu çalışmada numuneler tasarlanırken göçmenin eğilme etkileri sonucunda oluşmasına dikkat edilmiştir ve elemanlar tek eksenli eğilme altında denenmiştir. Deneyler sırasında eksenel yük uygulanmamıştır. Halbuki eksenel yükün beton da meydana gelen bozulmayı arttıracağı ve bu yolla oluşabilecek stabilite kaybını hızlandıracağı düşünülmektedir. Betonun bozulması ile ivmelenen bu davranışı

yavaşlatmak için uygulanabilecek en iyi yöntemin sargılamanın etkisini arttırmak olduğuna inanılmaktadır.

Sonuç olarak sargı bölgelerinde kullanılan boyuna donatı miktarını arttırmak, bu bölgelerde enine donatılar yardımıyla yapılacak sargılamayı daha da önemli hale getirmektedir. Perde uç bölgelerinde daha fazla boyuna donatı içeren kesitlerin, kullanılan enine donatılar, kancalar ve etriyeler ile mümkün olduğunca daha iyi bir biçimde sarılması gerekmektedir. Süneklikte meydana gelen kayıpların, dayanımda sağlanan artışın çok üzerinde kalması nedeniyle, boyuna donatı miktarını arttırmak doğru bir yaklaşım olmamaktadır. Aynı süneklik seviyesinin korunabilmesi için uç bölgelerde yapılacak boyuna donatı artışının sargı donatısı artışı ile dengelenmesi gerekmektedir. Yapılan bu işlem sargılı beton dayanımına karşılık gelen şekil değiştirme değerini arttıracak ve düşen kol boyunca betonda oluşan dayanım kaybını yavaşlatacağı için hem sünekliği arttıracak, hem de betonun göçmesi ile hızlanacak muhtemel bir stabilite kaybını yavaşlatacaktır.

KAYNAKLAR

Abrams, D.P., Laboratory Definitions Of Behavior For Structural Components and Building Systems, in Earthquake -Resistant Concrete Structures Inelastic Response and Design, pp. 91-152, American Concrete Institute,1991

Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, İmar ve Iskan Bakanlığı Deprem Araştırma Enstitüsü Başkanlığı, Ankara,1998.

Akbay, Z., and Aktan, H.M., Seismic Safety Assesment of Reinforced Concrete Frame Wall Buildings, ACI Journal, Title No. 87-S71, 693-699,1991.

Aktan, A.E., and Pecknold, D.A., Response Of A Reinforced Concrete Section to Two Dimensional Curvature Histories, ACI Journal, Title No. 71-16, 246-250,1974.

Aktan, A.E., Karlson, B.I. and Sozen, M.A., Stress-Strain Relationships of Reinforced Concrete Bars Subjected to Large Strain Reversals, Civil Engineering Studies, Structural Researh Series, No.397, University of Illinois, 1973

Attard, M.M. and Setunge, S., Stress-Strain Relationship of Confined and Unconfined Concrete, ACI Materials Journal, V .93, No.5, 432-442 ,1996.

Banon, H., Biggs, J.M. and Irvine, H.M., Seismic Damage in Reinforced Concrete Frames, ASCE Jounal of the Structural Division, V 01. 1 07 , No. ST9, 1713-1729,1981.

Barda, F., Hanson, J.M., Corley, W.G., An Investigation of the Design and Repair of Low-rise Shear Walls, Preprints of the 5th WCEE paper no:104, Rome, 1973.

Bayülke, N., Depremler ve Depreme Dayanıklı Betonarme Yapılar, Teknik Yayınevi, Mühendislik Mimarlık Bilgisayar Yayınları, 314 s., 1989

Bayülke, N., Depreme Dayanıklı Betonarme ve Yığma Yapı Tasarımı, İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Yayın No:27,Genişletilmiş 3.Baskı,245s.,İzmir,1998

Bazant, Z.P. and Bhat, P.D., Prediction of Hysteresis of Reinforced Concrete Members, ASCE Journal of the Structural Division, V. 103, No. ST1, 153-167,1977.

Bertero, V., Seismic Behavior of Reinforced Concrete Wall Structural Systems, Proceedings of the 7th WCEE, Istanbul, Vol. 6, pp 323-330, 1980

Blume, J.A., Newmark, N.M. and Corning, L.H., Design of Multi-story Reinforced Concrete Buildings for Earthquake Motions, Portland Cement Association, Chapter 5, Chicago,1961.

Bresler , B. and Bertero, V., Behavior of Reinforced Concrete Under Repeated Load, ASCE Journal of the Structural Division, V. 94, No. ST6, 1567- 1590, 1968.

Burns, N.H. and Siess, C.P., Repeated and Reversed Loading in Reinforced Concrete, ASCE Journal of the Strıctural Division, V. 92, No. ST5, 65-78, 1966.

Chang, G.A. and Mander, J.B., Seismic Energy Fatigue Damage Analysis of Bridge Columns: Part I -Evaluation of seismic capacity , Technical Report, NCEER-94-0006, State University of New York at Buffalo, 1994.

Considere, A., Experimental Researches on Reinforced Concrete, Translated and Arranged by Leon S. Moisseiff, McGraw Pub. Co.,New York, 1903.

Dilger,W.H., Koch, R.and Kowalczyk,R.,Ductility of Plain and Confined Concrete Under Different Strain Rates, Journal of the American Concrete Institute,V.8l,73-81,1984

Endo, T., Adachi, H., Nakanishi, M., Force-Deformation Hysteresis Curves of Reinforced Concrete Shear Walls, Proceedings of the 7th WCEE, Istanbul, Vol. 6, pp 315-322, 1980

Ersoy, U., Betonarme, Evrim Basım- Yayım-Dağıtım, İstanbul, 1987.

Ersoy, U., Özcebe,G., Tankut, T., Önüretimli Yapı Hasarları, Marmara ve Düzce Depremleri Mühendislik Raporu, Ankara, 105-115 s.,2000.

Farrar, C., Baker, W., Damping in Low Apect Ratio, Reinforced Concrete Shear Walls, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol.24, 439-455, pp 439-454, 1993

Goodsir, W.J., The Design of Coupled Frame Wall Structures for Seismic Actions, Researh Report 85-8, Department of Civil Engineering, University of Canterbury, Christhchurch, New Zealand,383 p., 1985.

Gülkan, P., Yapılardaki Hasar Sebepleri ve Sonuçları, Marmara ve Düzce Depremleri Mühendislik Raporu, Ankara, 83-105 s.,2000.

Hognestad, E., A Study of Combined Bending and Axial Load in Reinforced Concrete Members, University of Illinois Engineering Experimental Station, Bulletin Series No. 399, Urbana,1951.

Hognestad, E., Hanson, N.W. and McHenry, D., Concrete Stress Distribution in Ultimate Strength Design, Joumal of the American Concrete Institute, V. 52, No. 4, 455-480, 1955.

İlki, A., Betonarme Elemanların Yön Değiştiren Tekrarlı Yükler Altında Doğrusal Olmayan Davranışı, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2000.

Johnston, C.D., Strength and Deformation of Concrete in Uniaxial Tension and Compression, Magazine of Concrete Research, V. 22, No. 70, 5-16, 1970.

Karsan, D. and Jirsa, J.O., Behavior of Concrete Under Compressive Loadings, ASCE Journal of the Structural Division, V. 95, No. ST12, 2543.:. 2563, 1969.

Kato, B., Akiyama, .H.and Yamanouchi, Y., Predictable Properties of Material Under Incremental Cyclic Loading, IABSE Reports, V.13, 119-124, 1973.

Kent, D.C. and Park, R., Flexural Members With Confined Concrete, ASCE Journal of the Structural Division, V. 91, No. ST7, 1969-1990, 1971.

Kent, D.C. and Park, R., Cyclic Load Behavior of Reinforcing Steel, Strain, Vol. 9, No.3, pp 98-103, 1973

Leslie, P.D. and Park R., Ductility of Reinforced Concrete Bridge Piers, ME. Report, University of Canterbury, New Zealand, 1974.

Mander, J.B., Seismic Design of Bridge Piers, A Thesis Submitted In Partial Fulfilment Of The Requirements For The Degree Of PhD, University of Canterbury , Christchurch, New Zealand, 1983.

Mander, J.B., Priestley, M.J.N. and Park, R., Theoretical stress-strain model of confined concrete, ASCE Journal of the Structural Division, V. 114, No. 8, 1804-1826, 1988a.

Mander, J.B., Priestley, M.J.N. and Park, R., Observed Stress-Strain Behavior Of Confined Concrete, ASCE Journal of the Structural Division, V. 114, No. 8, 1827-1849, 1988b.

Menegotto, M. and Pinto, P.E., Method Of Analysis For Cyclically Loaded R.C. Plane Frames Including Changes In Geometry And Non-Elastic Behavior Of Elements Under Combined Normal Force And Bending, IABSE Reports, V. 13, 15-22, 1973.

Mugurama, H., Watanabe, F., Iwasbimizu, T. and Mitsueda, R., Ductility Improvement Of High Strength Concrete By Lateral Confinement, - Transactions Of Japan Concrete Institute, V .5, 403-410, 1983.

Murayama, Y., Furuichi, K., Sivasubramaniyam, S. and Mahin, S.A., Effect Of Steel Models On M-ϕ Analysis Of Reinforced Concrete Columns. Transactions Of Japan Concrete Institute, V. 16, 225-232, 1994.

Park, R., Kent, D.C. and Sampson, R.A., Reinforced Concrete Members With Cyclic Loading, ASCE Journal of the Structural Division, V. 98, No. ST7, 1341-1359, 1972.

Park, R., and Paulay,T., Reinforced Concrete Structures, A Wiley Interscience Publication, Newyork, 1975.

Paulay, T. , The Design Of Ductile Reinforced Concrete Structural Walls for Earthquake Resistance, Earthquake Spectra, Vol.2, No.4, pp 738-824, 1986

Paulay, T. and Priestley, M.J.N, Sismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings, John Wiley and Sons Inc., USA, 1992.

Peterson, H. and Popov, E.P., Constitutive Relations For Generalized Loadings, ASCE Journal of Engineering Mechanics, 1977

Pilakoutas,K.,and Elnashai, A., Cyclic Behavior of Reinforced Concrete Cantilever Walls, Part 1: Experimental Results, ACI Structural Journal, Title No. 92-S25, pp 271-281, 1995.

Popovics, S., A Numerical Approach To The Complete Stress-Strain Curve Of Concrete, Cement and Concrete Research, 3(5), 583-599, 1973.

Razvi, S. R. and Saatcioglu, M., Strength and Deformability Of Confined High Strength Concrete Columns, ACI Structural Journal, V: 91, No. 6, 678- 687, 1994.

Richart, F.E., Brandtzaeg, A. and Brown, R.L., A Study Of Failure Of Concrete Under Combined Compressive Stresses, Engineering Experiment Station Bulletin, No. 185, University of Illinois, Urbana, 1928.

Richart, F.E., Brandtzaeg, A. and Brown, R.L., The Failure Of Plain and Spirally Reinforced Concrete in Compression, Engineering Experiment Station Bulletin, No. 190, University of Illinois, Urbana, 1929.

Roufaiel, S.L. and Meyer, C., Analytical Modeling Of Hysteretic Behavior of R/C Frames, ASCE Journal of Structural Engineering, V 01. 113, N 0. 3, 429-444, 1987.

Roy, H.E.H. and Sozen M.A., Ductility of Concrete, Flexural Mechanics of Reinforced Concrete, SP12, ACI/ASCE, pp 213-224, 1964.

Saatcioglu, M., Takayanagi, T. And Derecho, A.T., Dynamic Response of Reinforced Concrete Wall Systems, Proceedings of the 7th WCEE, Istanbul,Vol.5,pp 49-56, 1980

Saatcioglu, M., Modelling Hysteretic Force-Deformation Relationships For Reinforced Concrete Elements. SP 127-5, 153-198, American Concrete Institute, Detroit, 1991.

Saatcioglu, M. and Razvi, S.R., Strength and Ductility of Confined Concrete, ASCE Journal of the Structural Division, V .118, No. 6, 1590-1607, 1992 .

Saatcioglu, M., Salamat, A.H. and Razvi, S.R., Confined Columns Under Eccentric Loading, ASCE Journal of Structııral Engineering, V .121, No.ll, 1547-l556, 1995.

Sargin, M., Ghosh, K. and Handa, V.K., Effects Of Lateral Reinforcement , Upon The Strength and Deformation Properties Of Concrete, Magazine of Concrete Research, Vol. 23, No. 75-76, 99-110, 1971.

Sato, H., Fukumoto, Y., Assa, B.B. and Nishiyama, M., Stress-Strain Characteristics of Confined Concrete Under Flexural Compression, Transactions of Japan Concrete Institute, V. 16, 303-310, 1994.

Scott, B.D., Park, R. and Priestley, M.J.N., Stress-Strain Behavior Of Concrete Confined By Overlapping Hoops at Low and High Strain Rates, Journal of the American Concrete Institute, V. 79, 13-27, 1982.

Sinha, B.P., Gerstle, K.H. and Tulin, L.G., Stress-Strain Relation for Concrete Under Cyclic Loading, ACI Structural Journal, Vol.61, No.2, pp 195-211, 1964

Sheikh, S.A. and Uzumeri, S.M., Strength and Ductility Of Tied Concrete Columns, ASCE Joumal ofthe Structural Division, V .1 06, N 0. STS, 1079-1102, 1980.

Sheikh, S.A., A Comparative Study Of Confinement Models, Journal of the American Concrete Institute, V. 79, No. 3, 296-305, 1982.

Stanton, J.F. and McNiven, H.D., The Development of a Mathematical Model to Predict the Flexural Response of Reinforced Concrete Beams to Cyclic Loadings, EERC, Report No.79/02, 1979.

Takeda, T., Sozen, M.A. and Nielsen N.N., Reinforced Concrete Response To Simulated Earthquakes, ASCE Journal of the Structural Division, V .96, No. ST12, 2557-2573, 1970.

Taucer , F.F., Spacone, E. and Filippou, F.C., A Fiber Beam-Column Element For Seismic Response Analysis Of Reinforced Concrete Structures, Report No. UCBIEERC-91/17, Earthquake Engineering Research Center, California, Berkeley,1991.

Thompson, K.J., Park,R., Stress-Strain Model for Grade 275 Reinforcing Steel with Cyclic Loading, Bulletin of the New Zealand National Society for Earthquake Engineering, vol.11, No.2, 1978.

TS-500, Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1981.

Tulin, L.G. and Gerstle, K.H., Equation For The Stress-Strain Curve Of Concrete (Discussion), Journal of the American Concrete Institute, V . 61, No. 9, 1236-1238, 1964.

Vallenas, J., Bertero, V.V.and Popov, E.P., Concrete Confined By Rectangular Hoops Subjected to Axial Loads, Report No:UBCIEERC-77113, University of California, Berkeley, 1977.

Wallace, J.W., New Methodology For Seismic Design of RC Shear Walls, ASCE Journal of Structural Engineering, Vol.120, No.3, pp 863-884, 1994

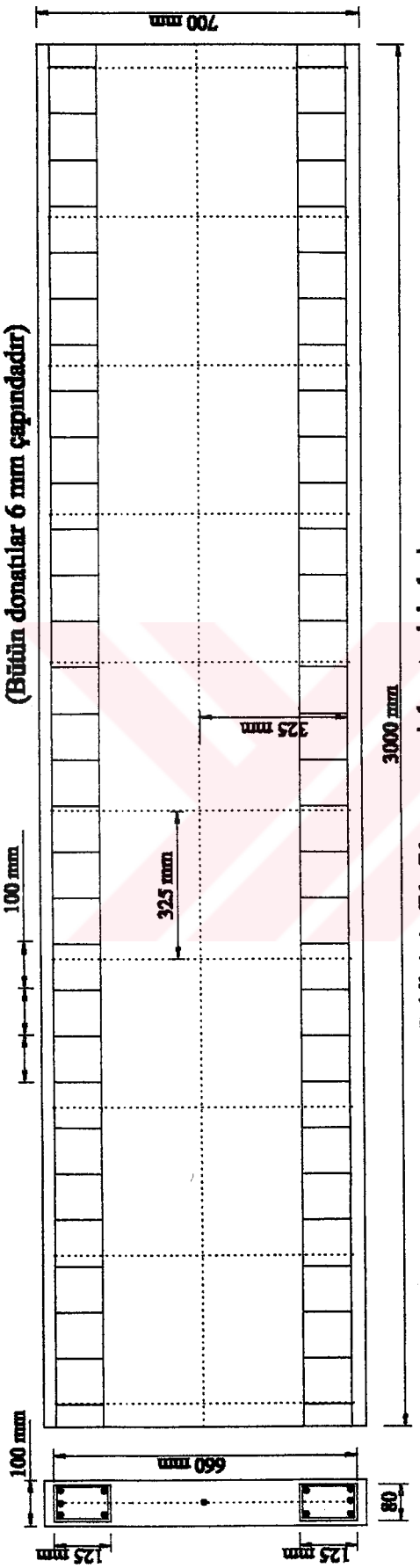
Wallace, J.W., Seismic Design of RC Shear Walls, Part I: New Code Format, ASCE Journal of Structural Engineering, Vol.121, No.1, pp 75-87, 1995

Wood, S.L., Observed Behavior of Slender Reinforced Concrete Walls Subjected to Cyclic Loading, in Earthquake -Resistant Concrete Structures Inelastic Response and Design, pp. 453-478, American Concrete lnstitute,1991

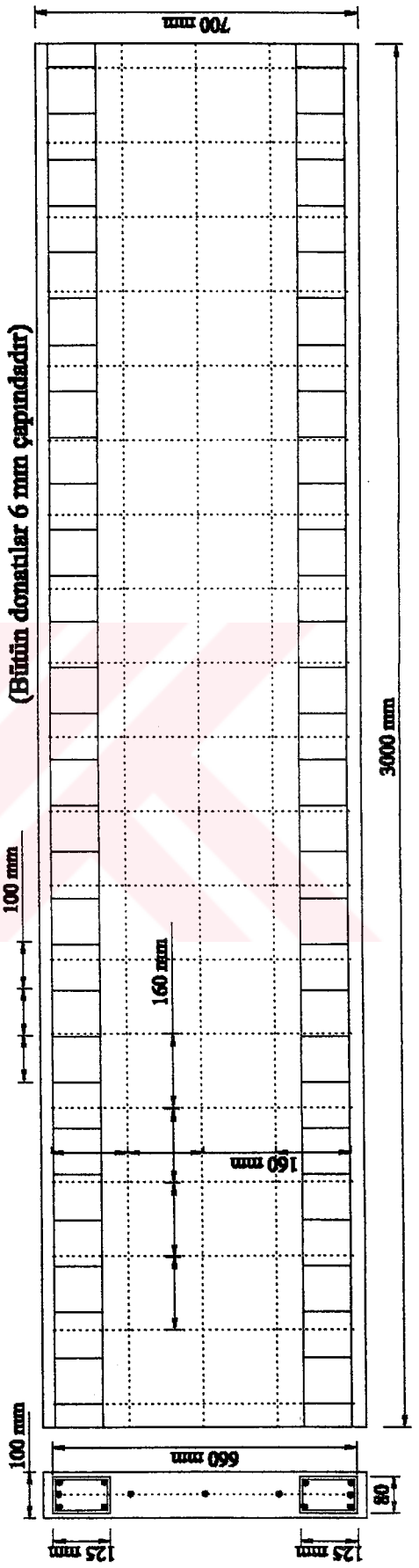
Yamada, M., Kawamura, H. and Kondoh, K., Elasto-Plastic Cyclic Horizontal Sway Behaviours of Reinforced Concrete Unit Rigid Frames Subjected To Constant Vertical Loads, IABSE Reports, V .13, 199-204,1973.

EK - A

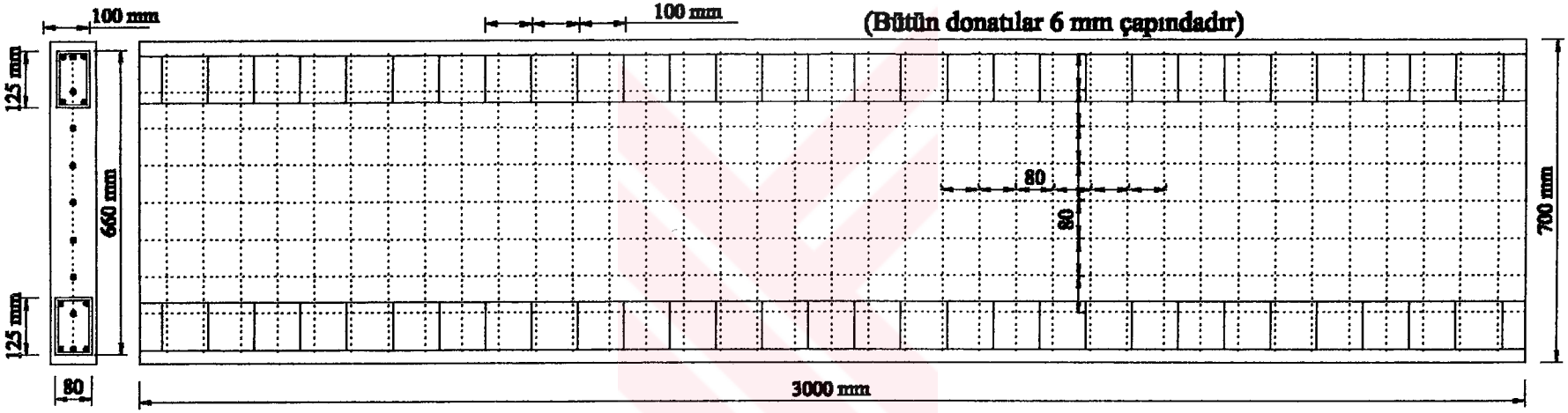
DONATI ÇİZİMLERİ



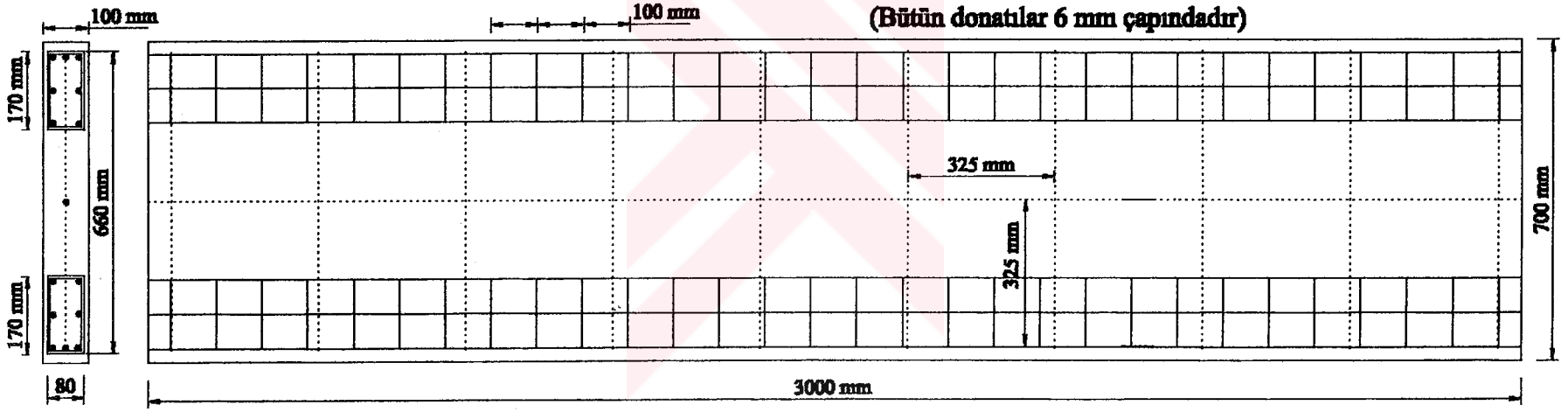
Şekil A.1: G1_S1 numunesi donatı çizimleri



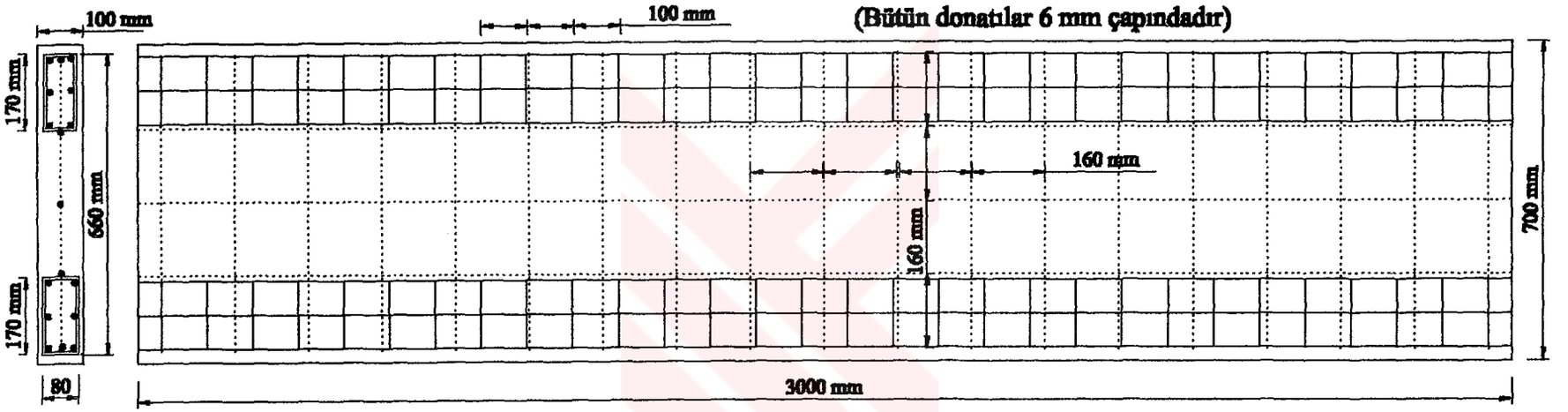
Şekil A.2: G2_S1 numunesi donatı çizimleri



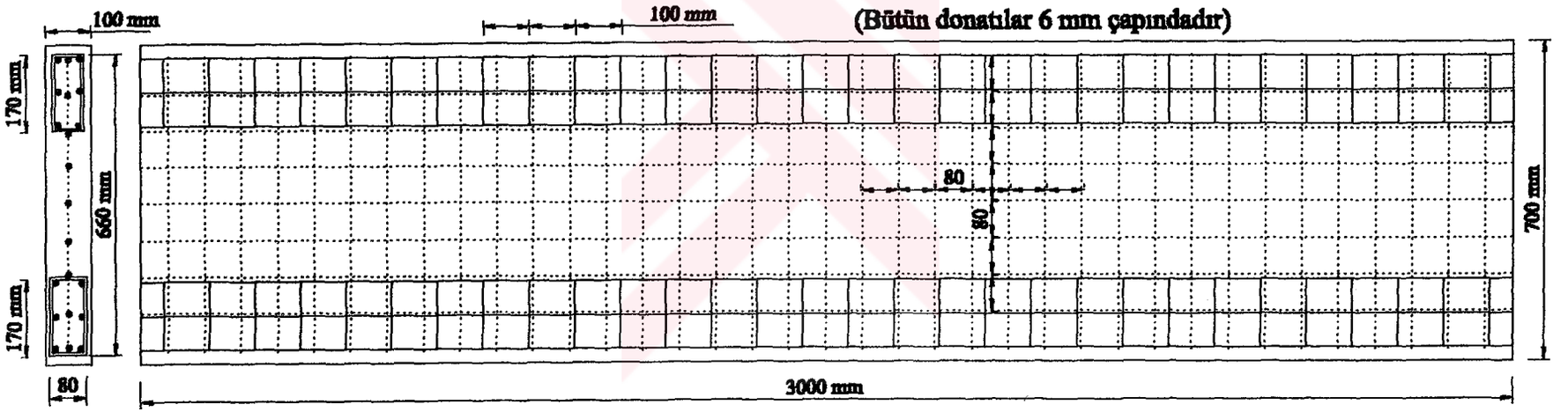
Şekil A.3: G3_S1 numunesi donatı çizimleri



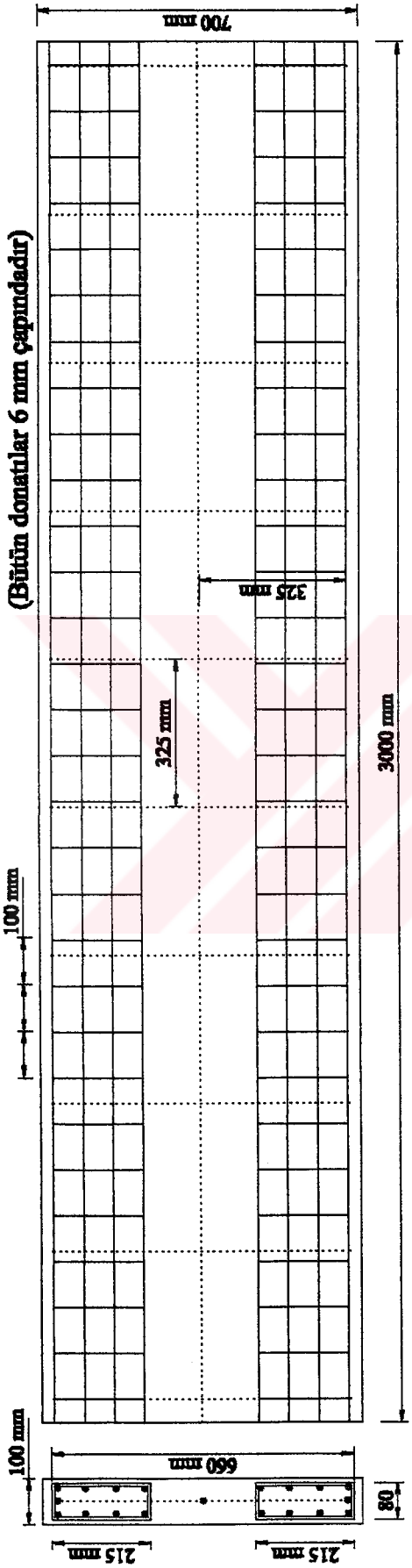
Şekil A.4: G1_S2 numunesi donatı çizimleri



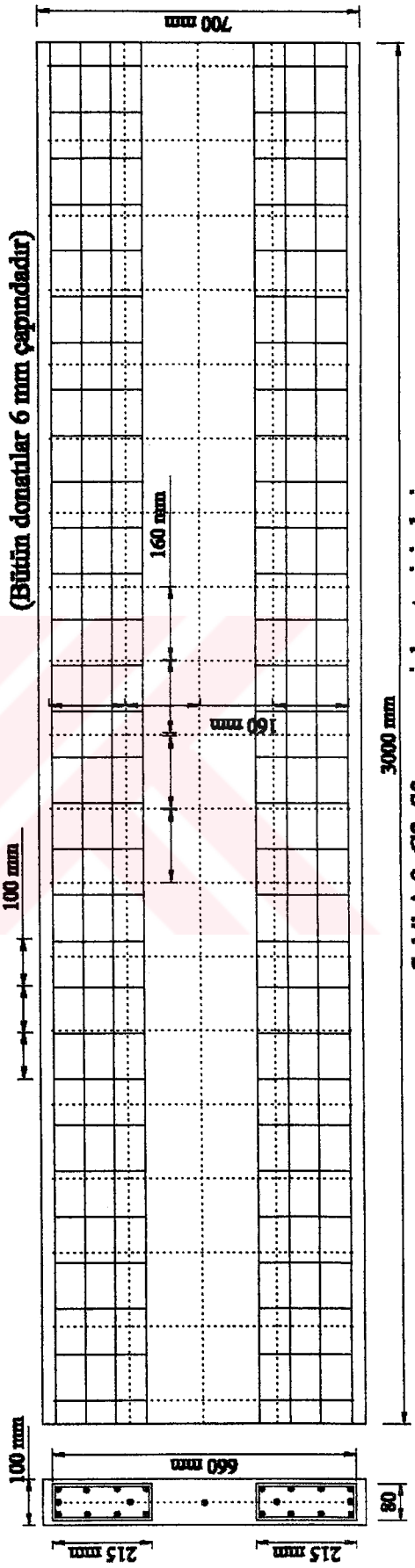
Şekil A.5: G2_S2 numunesi donatı çizimleri



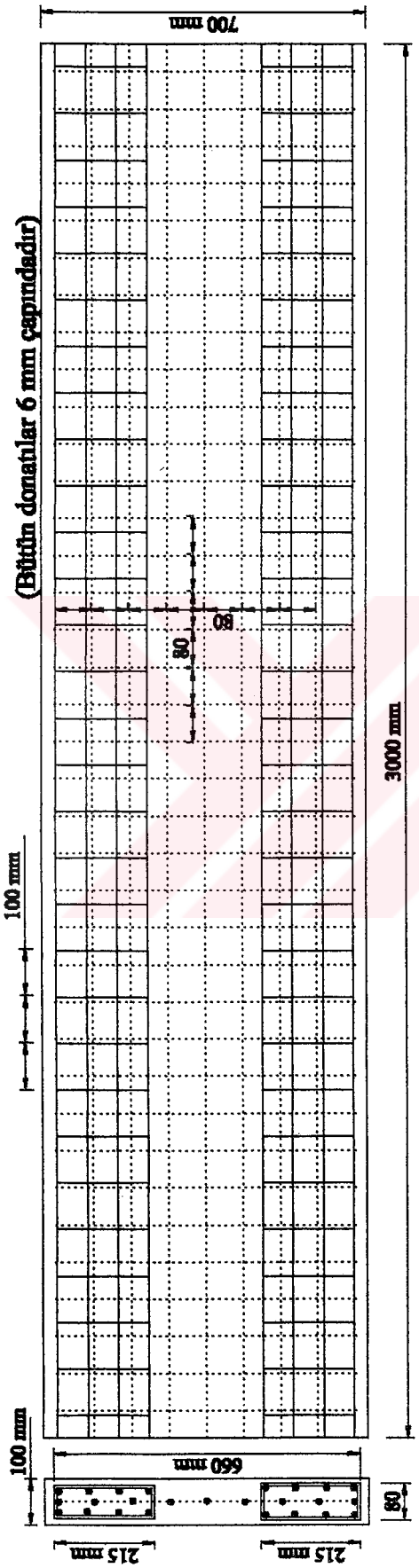
Şekil A.6: G3_S2 numunesi donatı çizimleri



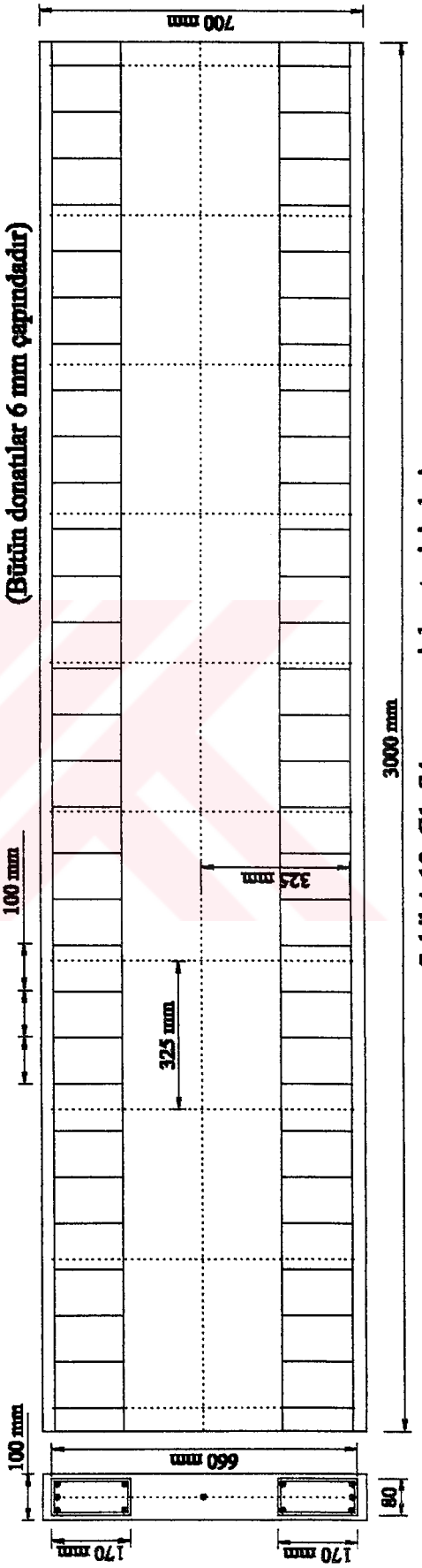
Şekil A.7: G1_S3 numunesi donatı çizimleri



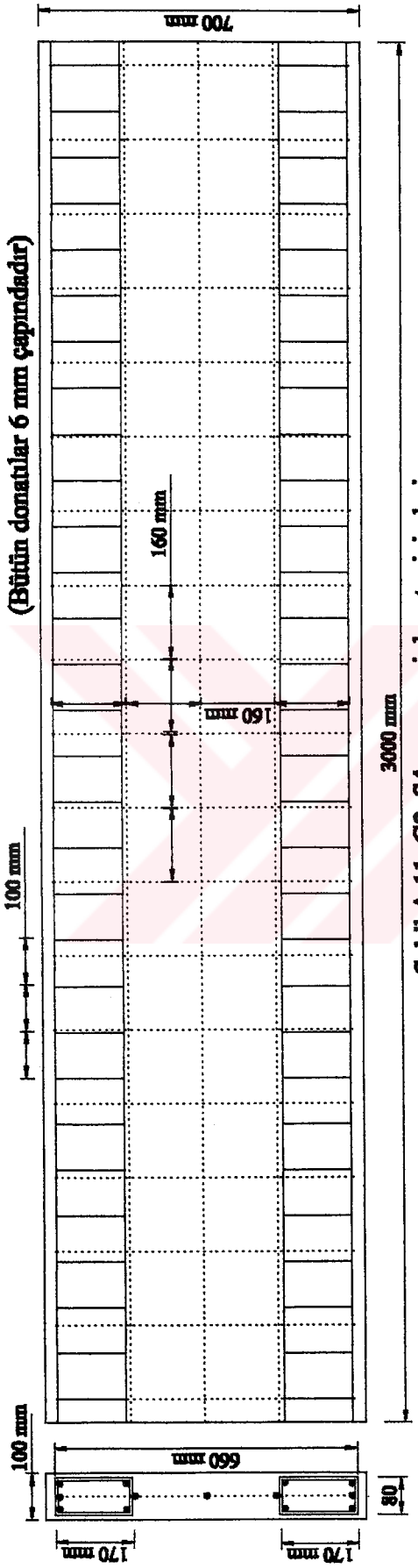
Şekil A.8: G2_S3 numunesi donatı çizimleri



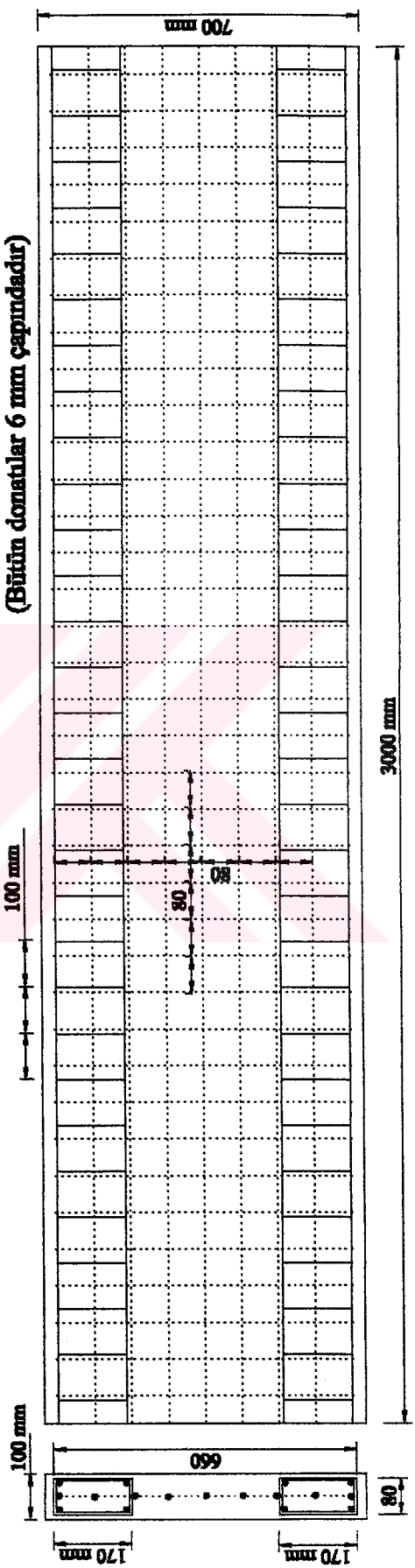
Şekil A.9: G3_S3 numunesi donatı çizimleri



Şekil A.10: G1_S4 numunesi donatı çizimleri



Şekil A.11: G2_S4 numunesi donatı çizimleri



Şekil A.12: G3_S4 numunesi donatı çizimleri

EK - B

DONATI ÇELİĞİ DENEY SONUÇLARI

- **SPEKTRAL ANALİZ (3 adet)**
- **ÇEKME DENEYLERİ (5 adet)**

1419

T.C.
SANAYİ VE TİCARET BAKANLIĞI
KOSGEB
KÜÇÜK VE ORTA ÖLÇEKLİ SANAYİ GELİŞTİRME MERKEZİ
DENİZLİ KÜGEM
KÜÇÜK İŞLETMELER GELİŞTİRME MERKEZİ
SÜMERMAH. TÜRKİYE İŞ BULMA KURUMU GİRİŞ KATI NO:38. DENİZLİ
TEL: (0 258) 268 37 51 – 251 42 88 - 268 72 99 FAX: (258) 268 61 24
E- mail: denizli@kosgeb.gov.tr

FİRMA ADI : ŞEVKET MURAT ŞENEL

FİRMA ADRESİ : PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ DENİZLİ

TALEP TARİHİ : 11.05.2001	RAPOR TARİHİ: 14.05.2001
NUMUNE NO :86 S	RAPOR NO: 790
NUMUNE ADI: Celik	STANDART:

SPEKTRAL ANALİZ DEĞERLERİ (ÇELİK)

ELEMENT	%	ELEMENT	%	ELEMENT	%
KARBON (C)	0.096	SİLİSYUM(Si)	0.182	MANGAN(Mn)	0.470
FOSFOR (P)	0.036	KÜKÜRT (S)	0.032	BAKIR (Cu)	0.048
NİKEL (Ni)	0.055	KROM (Cr)	0.012	MOLİBDEN (Mo)	0.0038
MAGNEZYUM (Mg)	-	DEMİR (Fe)	KALAN		

ACCREDITED LABORATORY BELGELİ LABORATUVAR

K - Q TSE-ISO-EN

ANALİZİ YAPAN	ONAY
Engin TÜMER	Nermin İLHAN

AÇIKLAMALAR
1- Analiz adı geçen kuruluşun getirmiş olduğu numuneden "SPEKTROLOP" marka spektrometre cihazında yapılmıştır.
2- KOSGEB' ce " ASLININ AYNISIDIR" Onayını taşımayan kopyalar geçersizdir.
3- Bu rapor (Bir) sayfa olarak düzenlenmiştir.
4- Bu Analiz değeri sadece ölçüm yapılan numune için geçerlidir.

F-042-00

1/3

Şekil B.1: Spektral analiz 1

1420

T.C.
SANAYİ VE TİCARET BAKANLIĞI
KOSGEB
KÜÇÜK VE ORTA ÖLÇEKLİ SANAYİ GELİŞTİRME MERKEZİ
DENİZLİ KÜGEM
KÜÇÜK İŞLETMELER GELİŞTİRME MERKEZİ
SÜMER MAH. TÜRKİYE İŞ BULMA KURUMU GİRİŞ KATI NO:38, DENİZLİ
TEL: (0 258) 268 37 51 – 251 42 88 - 268 72 99 FAX: (258) 268 61 24
E-mail: denizli@kosgeb.gov.tr

FİRMA ADI : ŞEVKET MURAT ŞENEL

FİRMA ADRESİ : PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ DENİZLİ

TALEP TARİHİ : 11.05.2001	RAPOR TARİHİ: 14.05.2001
NUMUNE NO :87 S	RAPOR NO: 791
NUMUNE ADI: Celik	STANDART:

SPEKTRAL ANALİZ DEĞERLERİ (ÇELİK)

ELEMENT	%	ELEMENT	%	ELEMENT	%
KARBON (C)	0.093	SİLİSYUM(Si)	0.184	MANGAN(Mn)	0.458
FOSFOR (P)	0.039	KÜKÜRT (S)	0.032	BAKIR (Cu)	0.056
NİKEL (Ni)	0.057	KROM (Cr)	0.012	MOLİBDEN (Mo)	0.0075
MAGNEZYUM (Mg)	-	DEMİR (Fe)	KALAN		

ACCREDITED LABORATORY BELGELİ LABORATUVAR
K-Q TSE-ISO-EN

ANALİZİ YAPAN	ONAY
Engin TÜMER	Nermin İLHAN

AÇIKLAMALAR
1- Analiz adı geçen kuruluşun getirmiş olduğu numuneden "SPEKTROLOP" marka spektrometre cihazında yapılmıştır.
2- KOSGEB' ce " ASLININ AYNISIDIR" Onayını taşımayan kopyalar geçersizdir.
3- Bu rapor (Bir) sayfa olarak düzenlenmiştir.
4- Bu Analiz değeri sadece ölçüm yapılan numune için geçerlidir.

F-042-00

2/3

Şekil B.2: Spektral analiz 2

1421

T.C.
SANAYİ VE TİCARET BAKANLIĞI
KOS GEB
KÜÇÜK VE ORTA ÖLÇEKLİ SANAYİ GELİŞTİRME MERKEZİ
DENİZLİ KÜGEM
KÜÇÜK İŞLETMELER GELİŞTİRME MERKEZİ
SÜMER MAH. TÜRKİYE İŞ BULMA KURUMU GİRİŞ KATI NO:38, DENİZLİ
TEL: (0 258) 268 37 51 – 251 42 88 - 268 72 99 FAX: (258) 268 61 24
E-mail: denizli@kosgeb.gov.tr

FİRMA ADI : ŞEVKET MURAT ŞENEL

FİRMA ADRESİ : PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ DENİZLİ

TALEP TARİHİ : 11.05.2001	RAPOR TARİHİ: 14.05.2001
NUMUNE NO :88 S	RAPOR NO: 792
NUMUNE ADI: Celik	STANDART:

SPEKTRAL ANALİZ DEĞERLERİ (ÇELİK)

ELEMENT	%	ELEMENT	%	ELEMENT	%
KARBON (C)	0.094	SİLİSYUM(Si)	0.161	MANGAN(Mn)	0.433
FOSFOR (P)	0.038	KÜKÜRT (S)	0.032	BAKIR (Cu)	0.043
NİKEL (Ni)	0.043	KROM (Cr)	0.011	MOLİBDEN (Mo)	0.0046
MAGNEZYUM (Mg)	-	DEMİR (Fe)	KALAN		

K-Q TSE-ISO-EN

ANALİZİ YAPAN	ONAY
Engin TÜMER	Nermin İLHAN

AÇIKLAMALAR
1- Analiz adı geçen kuruluşun getirmiş olduğu numuneden "SPEKTROLOP" marka spektrometre cihazında yapılmıştır.
2- KOSGEB' ce " ASLININ AYNISIDIR" Onayını taşımayan kopyalar geçersizdir.
3- Bu rapor (Bir) sayfa olarak düzenlenmiştir.
4- Bu Analiz değeri sadece ölçüm yapılan numune için geçerlidir.

F-042-00

3/3

Şekil B.3: Spektral analiz 3

1441

SANAYİ VE TİCARET BAKANLIĞI
KOSGEB
KÜÇUK VE ORTA ÖLÇEKLİ SANAYİ GELİŞTİRME MERKEZİ
DENİZLİ KÜGEM
KÜÇÜK İŞLETMELER GELİŞTİRME MERKEZİ
SÜMER MAH. İŞ VE İŞÇİ BULMA KURUMU GİRİŞ KATI NO:38, DENİZLİ
TEL: (0 258) 268 37 51 – 251 42 88 - 268 72 99 FAX: (258) 268 61 24
E- mail: denizli.kosgeb@service.raksnet.com.tr

FİRMA ADI : Ş.MURAT ŞENEL

FİRMA ADRESİ : Pamukkale Üniversitesi İnşaat Fakultesi
DENİZLİ

TALEP TARİHİ : 11/05/2001	RAPOR TARİHİ: 11/05/20001
NUMUNE NO : 609 Ç	RAPOR NO: 785
NUMUNE ADI : Celik Cubuk	STANDART: EN- 10 002

ÇEKME TEST SONUÇLARI

ALAN		: 28.30	mm^2
ÇAP		: 6.0	mm
MAKSİMUM YÜK	(Fm)	: 13.7	kN
ÇEKME DAYANIMI	(Rm)	: 484	N/mm^2
ÜST AKMA STRES DEĞERİ	(ReH)	: 375	N/mm^2
ALT AKMA STRES DEĞERİ	(ReL)	: 354	N/mm^2
TOP. UZ. DEN. GERİLME D.	(Rt % .5)	: 355	N/mm^2
AKMA NOKTASI UZAMA DEĞERİ	(Ae)	: 1.0	%
5 d0 UZAMA DEĞERİ	(A 5.65)	:	%
TOPLAM BOY UZAMASI	(At)	: 14.0	%
KESİT DARALMASI	(Z	:	%

ACCREDITED LABORATORY BELGELİ LABORATUVAR
K - Q TSE-ISO-EN 9000

ANALİZİ YAPAN	ONAY
ENGİN TÜMER	NERMİN İLHAN

AÇIKLAMALAR
1- Bu Analiz 60 Tonluk "DARTEC" marka test cihazında yapılmıştır.
2- KOSGEB'ce " ASLININ AYNISIDIR" Onayını taşımayan kopyalar geçersizdir.
3- Analiz firma tarafından getirilen numuneden yapılmıştır.
4- Bu rapor (BEŞ) sayfa olarak düzenlenmiştir.
F-039-00

1/5

Şekil B.4: Çekme testi 1

1442

T.C.
SANAYİ VE TİCARET BAKANLIĞI
K O S G E B
KÜÇÜK VE ORTA ÖLÇEKLİ SANAYİ GELİŞTİRME MERKEZİ
DENİZLİ KÜGEM
KÜÇÜK İŞLETMELER GELİŞTİRME MERKEZİ
SÜMER MAH. İŞ VE İŞÇİ BULMA KURUMU GİRİŞ KATI NO:38, DENİZLİ
TEL: (0 258) 268 37 51 – 251 42 88 - 268 72 99 FAX: (258) 268 61 24
E - mail: denizli.kosgeb@service.raksnet.com.tr

FİRMA ADI : Ş.MURAT ŞENEL

FİRMA ADRESİ : Pamukkale Üniversitesi İnsaat Fakultesi
DENİZLİ

TALEP TARİHİ : 11/05/2001	RAPOR TARİHİ: 11/05/20001
NUMUNE NO : 610 Ç	RAPOR NO: 786
NUMUNE ADI : Celik Cubuk	STANDART: EN- 10 002

ÇEKME TEST SONUÇLARI

ALAN		: 28.30	mm^2
ÇAP		: 6.0	mm
MAKSİMUM YÜK	(Fm)	: 13.8	kN
ÇEKME DAYANIMI	(Rm)	: 489	N/mm^2
ÜST AKMA STRES DEĞERİ	(ReH)	: 380	N/mm^2
ALT AKMA STRES DEĞERİ	(ReL)	: 365	N/mm^2
TOP. UZ. DEN. GERİLME D.	(Rt % .5)	: 376	N/mm^2
AKMA NOKTASI UZAMA DEĞERİ	(Ae)	: 0.5	%
5 d0 UZAMA DEĞERİ	(A 5.65)	:	%
TOPLAM BOY UZAMASI	(At)	: 20.0	%
KESİT DARALMASI	(Z	:	%

ACCREDITED LABORATORY BELGELİ LABORATUVAR K - Q TSE-ISO-EN 9000

ANALİZİ YAPAN	ONAY
ENGİN TÜMER	NERMİN İLHAN

AÇIKLAMALAR
1- Bu Analiz 60 Tonluk "DARTEC" marka test cihazında yapılmıştır.
2- KOSGEB' ce " ASLININ AYNISIDIR" Onaylı taşımayan kopyalar geçersizdir.
3- Analiz firma tarafından getirilen numuneden yapılmıştır.
4- Bu rapor (BEŞ) sayfa olarak düzenlenmiştir.
F-039-00

2/5

Şekil B.5: Çekme testi 2

1443

T.C.
SANAYİ VE TİCARET BAKANLIĞI
KOSGEB
KÜÇÜK VE ORTA ÖLÇEKLİ SANAYİ GELİŞTİRME MERKEZİ
DENİZLİ KÜGEM
KÜÇÜK İŞLETMELER GELİŞTİRME MERKEZİ
SÜMER MAH. İŞ VE İŞÇİ BULMA KURUMU GİRİŞ KATI NO:38, DENİZLİ
TEL: (0 258) 268 37 51 – 251 42 88 - 268 72 99 FAX: (258) 268 61 24
E- mail: denizli.kosgeb@service.raksnet.com.tr

FİRMA ADI : Ş.MURAT ŞENEL

FİRMA ADRESİ : Pamukkale Üniversitesi İnsaat Fakultesi
DENİZLİ

TALEP TARİHİ : 11/05/2001	RAPOR TARİHİ: 11/05/20001
NUMUNE NO : 611 Ç	RAPOR NO: 787
NUMUNE ADI : Celik Cubuk	STANDART: EN- 10 002

ÇEKME TEST SONUÇLARI

ALAN		: 28.30	mm^2
ÇAP		: 6.0	mm
MAKSİMUM YÜK	(Fm)	: 14.0	kN
ÇEKME DAYANIMI	(Rm)	: 493	N/mm^2
ÜST AKMA STRES DEĞERİ	(ReH)	: 383	N/mm^2
ALT AKMA STRES DEĞERİ	(ReL)	: 367	N/mm^2
TOP. UZ. DEN. GERİLME D.	(Rt % .5)	: 367	N/mm^2
AKMA NOKTASI UZAMA DEĞERİ	(Ae)	: 0.5	%
5 d0 UZAMA DEĞERİ	(A 5.65)	:	%
TOPLAM BOY UZAMASI	(At)	: 13.5	%
KESİT DARALMASI	(Z	: 3.3	%

ACCREDITED LABORATORY BELGELİ LABORATUVAR
K - Q TSE-ISO-EN 9000

ANALİZİ YAPAN	ONAY
ENGİN TÜMER	NERMİN İLHAN

AÇIKLAMALAR
1- Bu Analiz 60 Tonluk "DARTEC" marka test cihazında yapılmıştır.
2- KOSGEB' ce " ASLININ AYNISIDIR" Onayını taşımayan kopyalar geçersizdir.
3- Analiz firma tarafından getirilen numuneden yapılmıştır.
4- Bu rapor (BEŞ) sayfa olarak düzenlenmiştir.
F-039-00

3/5

Şekil B.6: Çekme testi 3

1444

T.C.
SANAYİ VE TİCARET BAKANLIĞI
KOSGEB
KÜÇÜK VE ORTA ÖLÇEKLİ SANAYİ GELİŞTİRME MERKEZİ
DENİZLİ KÜGEM
KÜÇÜK İŞLETMELER GELİŞTİRME MERKEZİ
SÜMER MAH. İŞ VE İŞÇİ BULMA KURUMU GİRİŞ KATI NO:38, DENİZLİ
TEL: (0 258) 268 37 51 – 251 42 88 - 268 72 99 FAX: (258) 268 61 24
E-mail: denizli.kosgeb@service.ttnet.com.tr

FİRMA ADI : Ş.MURAT ŞENEL

FİRMA ADRESİ : Pamukkale Üniversitesi İnsaat Fakultesi
DENİZLİ

TALEP TARİHİ : 11/05/2001	RAPOR TARİHİ: 11/05/20001
NUMUNE NO : 612 Ç	RAPOR NO: 788
NUMUNE ADI : Celık Cubuk	STANDART: EN- 10 002

ÇEKME TEST SONUÇLARI

ALAN		: 28.30	mm^2
ÇAP		: 6.0	mm
MAKSİMUM YÜK	(Fm)	: 13.8	kN
ÇEKME DAYANIMI	(Rm)	: 486	N/mm^2
ÜST AKMA STRES DEĞERİ	(ReH)	: 360	N/mm^2
ALT AKMA STRES DEĞERİ	(ReL)	: 353	N/mm^2
TOP. UZ. DEN. GERİLME D.	(Rt % .5)	: 358	N/mm^2
AKMA NOKTASI UZAMA DEĞERİ	(Ae)	:	%
5 d0 UZAMA DEĞERİ	(A 5.65)	:	%
TOPLAM BOY UZAMASI	(At)	: 19.5	%
KESİT DARALMASI	(Z	: 3.0	%

ACCREDITED LABORATORY

K - Q
TSE-ISO-EN
9000

ANALİZİ YAPAN	ONAY
ENGİN TÜMER	NERMİN İLHAN

AÇIKLAMALAR
1- Bu Analiz 60 Tonluk "DARTEC" marka test cihazında yapılmıştır.
2- KOSGEB' ce " ASLININ AYNISIDIR" Onayını taşımayan kopyalar geçersizdir.
3- Analiz firma tarafından getirilen numuneden yapılmıştır.
4- Bu rapor (BEŞ) sayfa olarak düzenlenmiştir.
F-039-00

4/5

Şekil B.7: Çekme testi 4

1445

T.C.
SANAYİ VE TİCARET BAKANLIĞI
KOSGEB
KÜÇÜK VE ORTA ÖLÇEKLİ SANAYİ GELİŞTİRME MERKEZİ
DENİZLİ KÜGEM
KÜÇÜK İŞLETMELER GELİŞTİRME MERKEZİ
SÜMER MAH. İŞ VE İŞÇİ BULMA KURUMU GİRİŞ KATI NO:38, DENİZLİ
TEL: (0 258) 268 37 51 – 251 42 88 - 268 72 99 FAX: (258) 268 61 24
E - mail: denizli.kosgeb@service.ttknet.com.tr

FİRMA ADI : Ş.MURAT ŞENEL	
FİRMA ADRESİ : Pamukkale Üniversitesi İnsaat Fakultesi DENİZLİ	
TALEP TARİHİ : 11/05/2001	RAPOR TARİHİ: 11/05/20001
NUMUNE NO : 613 Ç	RAPOR NO: 789
NUMUNE ADI : Celik Cubuk	STANDART: EN- 10 002

ÇEKME TEST SONUÇLARI

ALAN		: 28.30	mm^2
ÇAP		: 6.0	mm
MAKSİMUM YÜK	(Fm)	: 13.4	kN
ÇEKME DAYANIMI	(Rm)	: 475	N/mm^2
ÜST AKMA STRES DEĞERİ	(ReH)	: 369	N/mm^2
ALT AKMA STRES DEĞERİ	(ReL)	: 357	N/mm^2
TOP. UZ. DEN. GERİLME D.	(Rt %.5)	: 352	N/mm^2
AKMA NOKTASI UZAMA DEĞERİ	(Ae)	:	%
5 d0 UZAMA DEĞERİ	(A 5.65)	:	%
TOPLAM BOY UZAMASI	(At)	: 20.5	%
KESİT DARALMASI	(Z	: 3.4	%

ACCREDITED LABORATORY BELGELİ LABORATUVAR

E - Q TSE-ISO-EN 9000

ANALİZİ YAPAN	ONAY
ENGİN TÜMER	NERMİN İLHAN

3/5

AÇIKLAMALAR
1- Bu Analiz 60 Tonluk "DARTEC" marka test cihazında yapılmıştır.
2- KOSGEB' ce " ASLININ AYNISIDIR" Onayını taşımayan kopyalar geçersizdir.
3- Analiz firma tarafından getirilen numuneden yapılmıştır.
4- Bu rapor (BEŞ) sayfa olarak düzenlenmiştir.
F-039-00

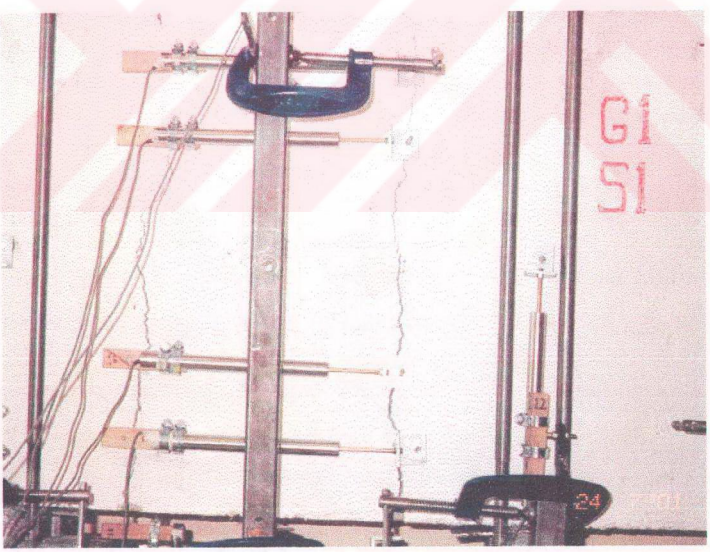
Şekil B.8: Çekme testi 5

EK – C

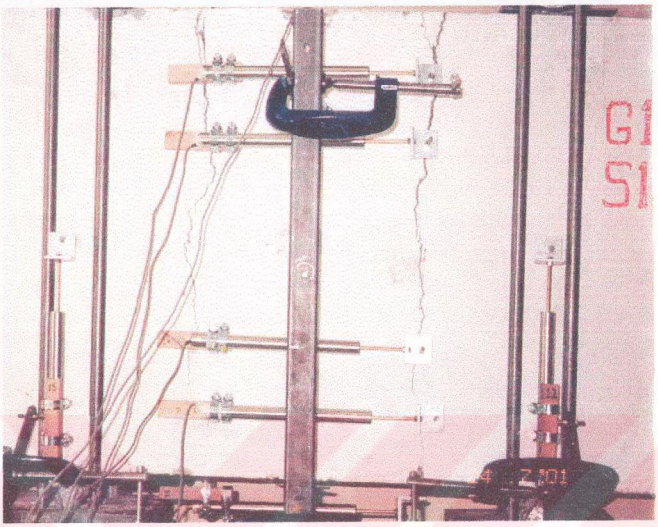
FOTOĞRAFLAR



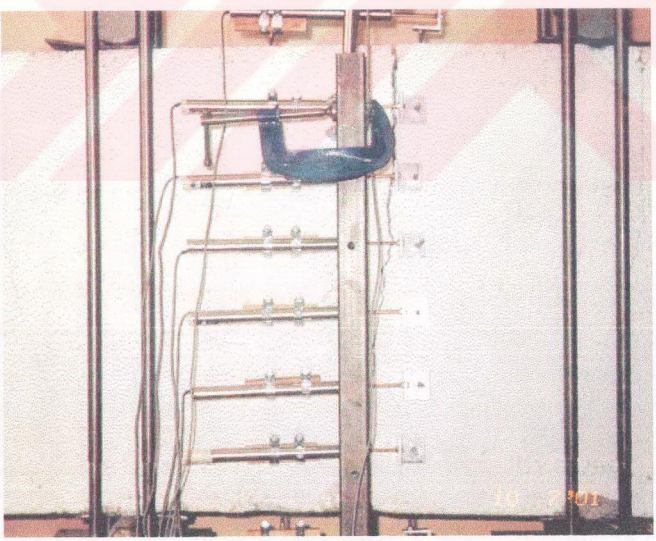
Şekil C.1: Donatıların bir başka açıdan görünümü (G3_S1)



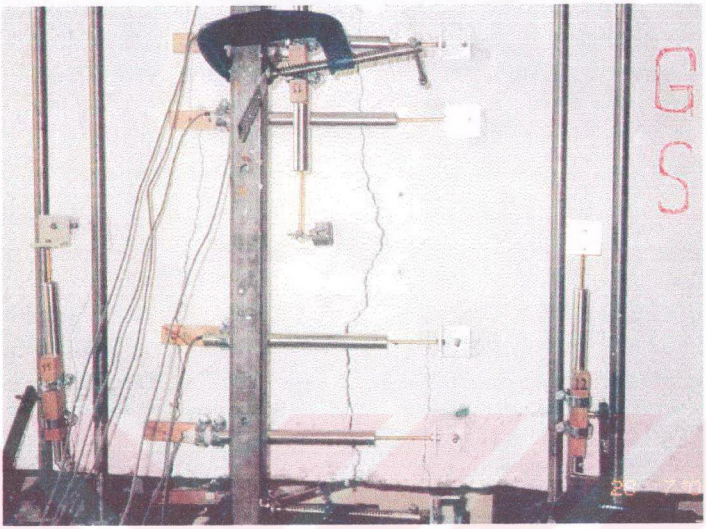
Şekil C.2: Numune G1_S1 (itme)



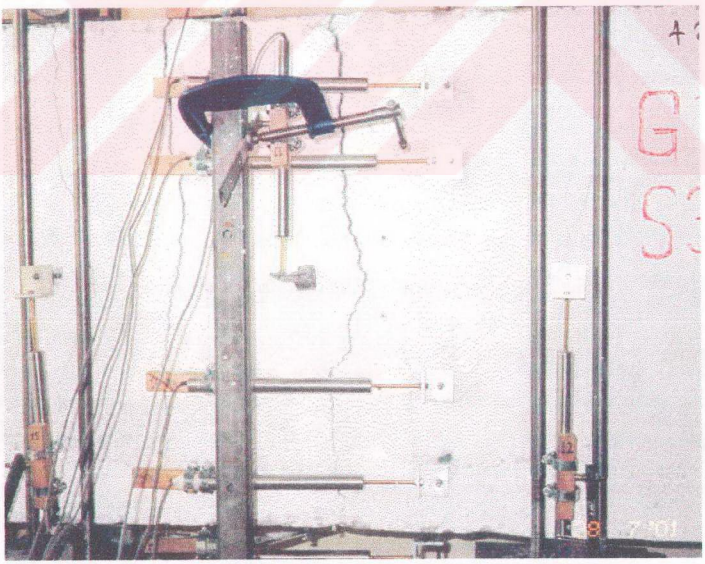
Şekil C.3: Numune G1_S1 (çekme)



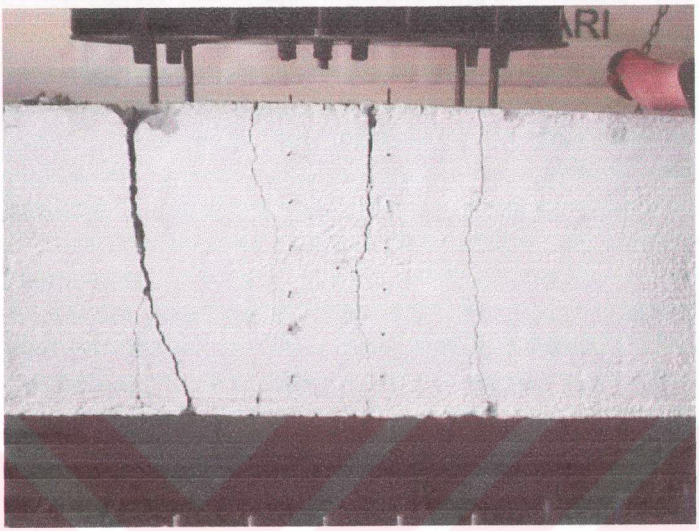
Şekil C.4: Numune G1_S2 (çekme)



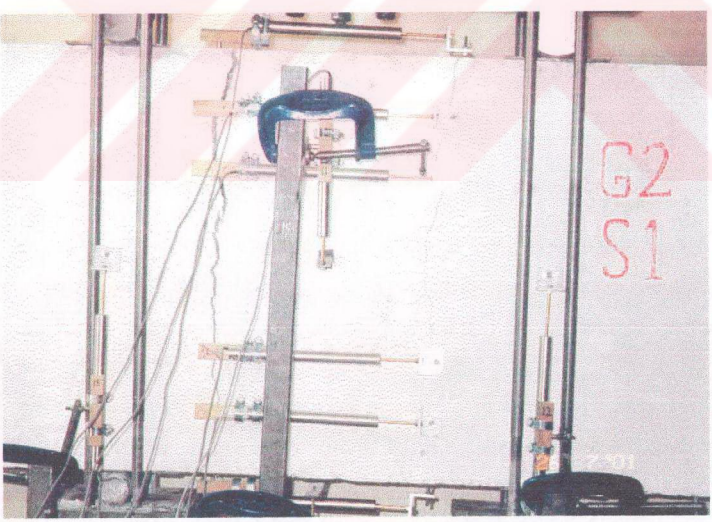
Şekil C.5: Numune G1_S3 (itme)



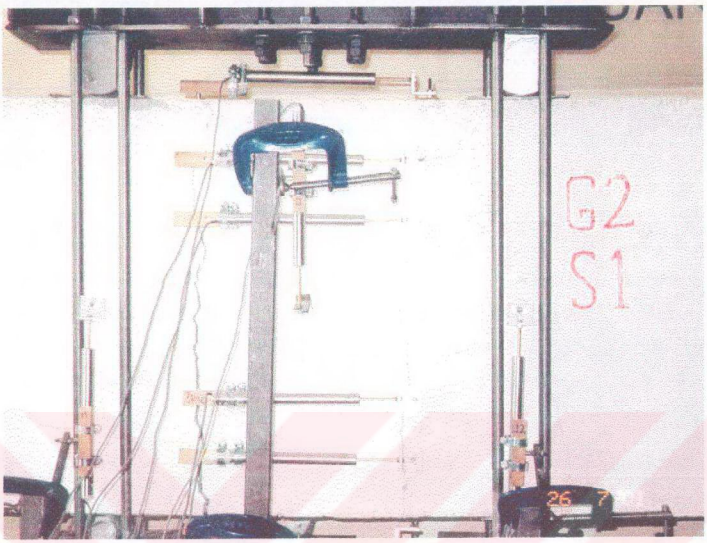
Şekil C.6: Numune G1_S3 (çekme)



Şekil C.7: Numune G1_S4 (deney sonu)



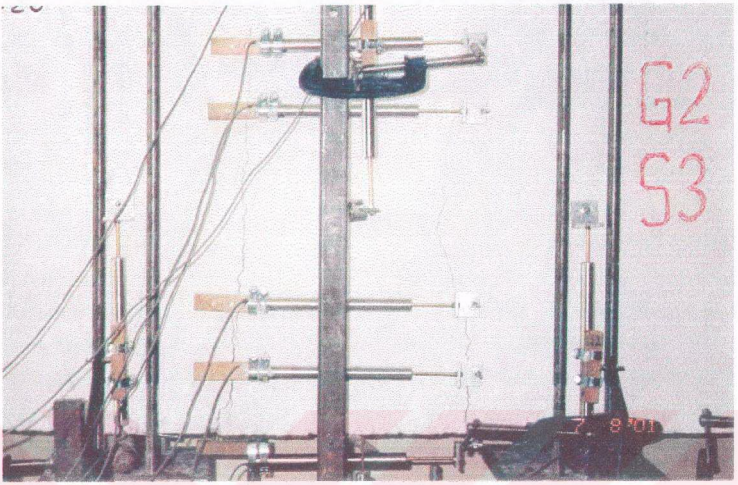
Şekil C.8: Numune G2_S1 (çekme)



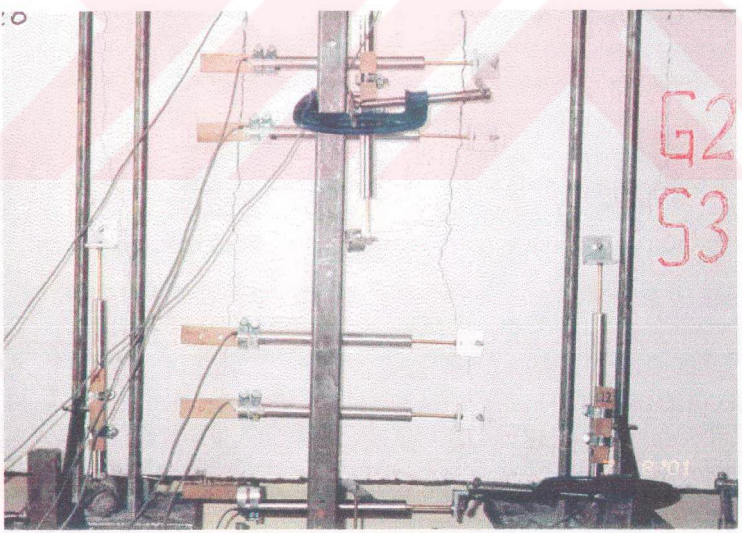
Şekil C.9: Numune G2_S1 (itme)



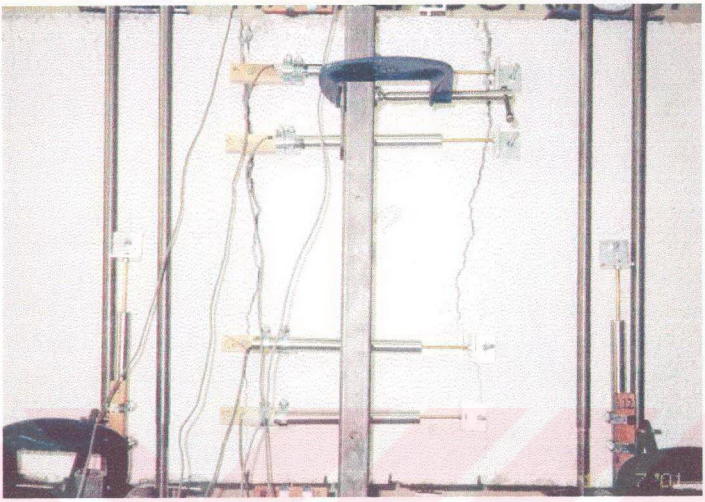
Şekil C.10: Numune G2_S2



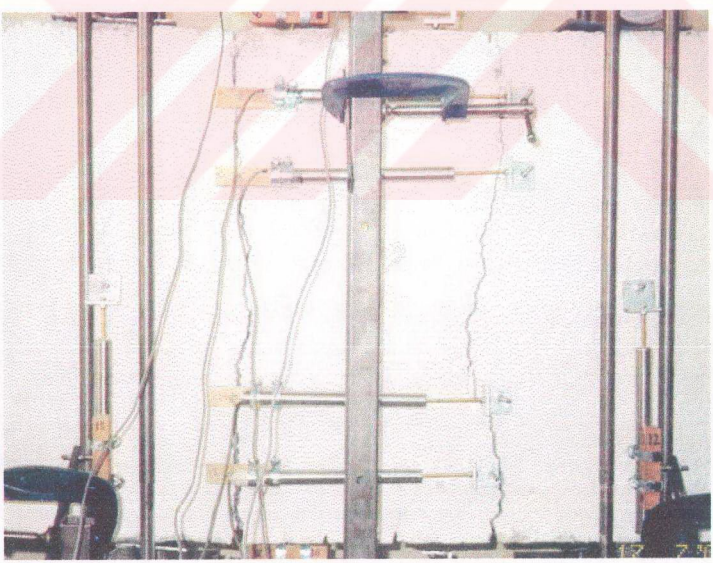
Şekil C.11: Numune G2_S3 (itme)



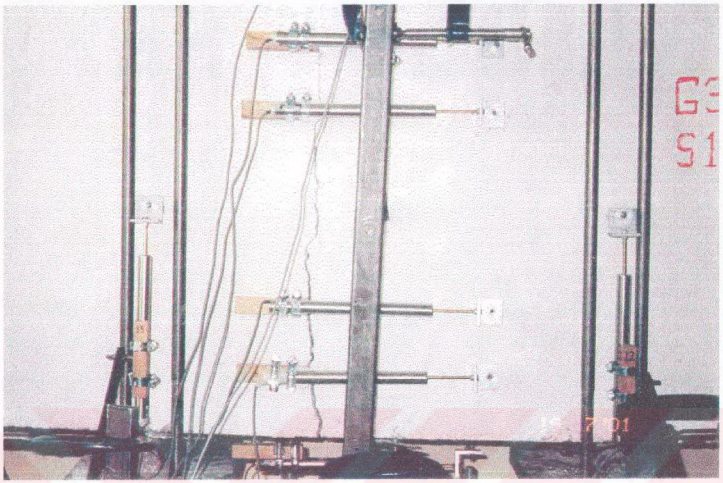
Şekil C.12: Numune G2_S3 (çekme)



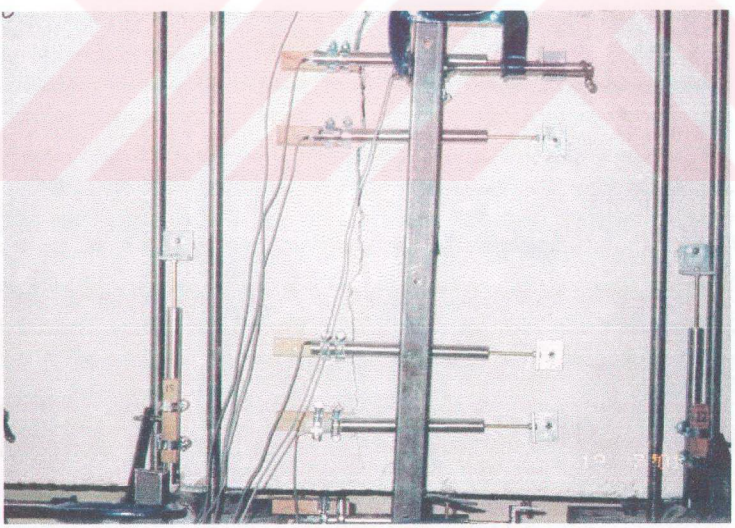
Şekil C.13: Numune G2_S4 (çekme)



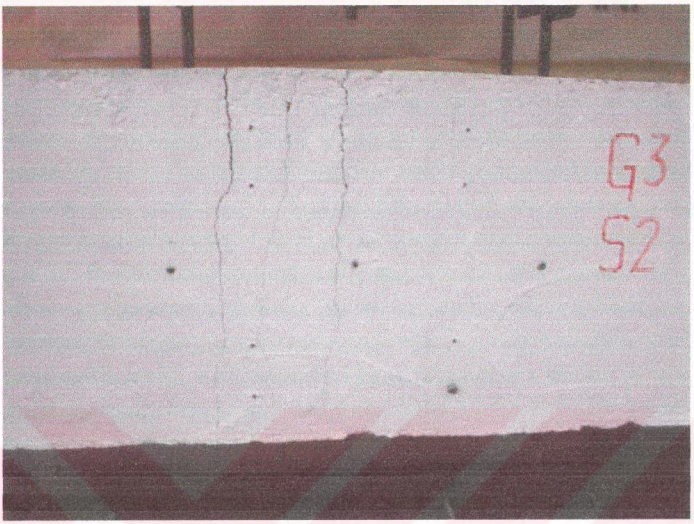
Şekil C.14: Numune G2_S4 (itme)



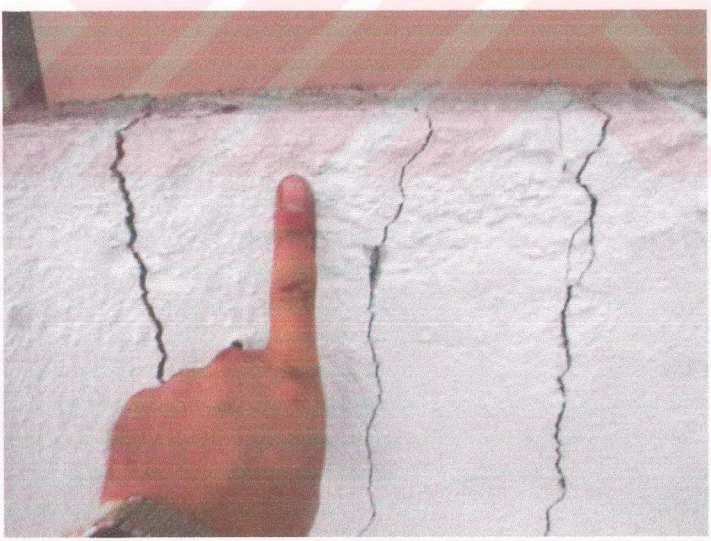
Şekil C.15: Numune G3_S1 (itme)



Şekil C.16: Numune G3_S1 (çekme)



Şekil C.17: Numune G3_S2 (Deney Sonu)



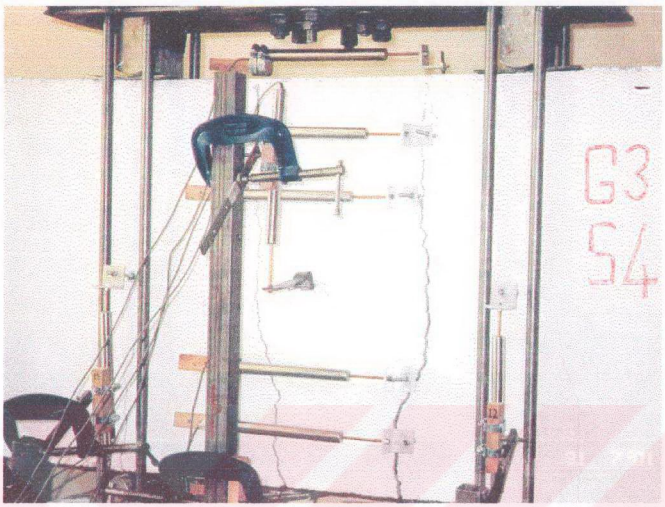
Şekil C.18: Numune G3_S2



Şekil C.19: Numune G3_S3 (itme)



Şekil C.20: Numune G3_S3 (çekme)



Şekil C.21: Numune G3_S4 (itme)



Şekil C.22: Numune G3_S4 (çekme)

EK - D

FARKLI SARGILAMA YÖNTEMLERİNİN ELEMAN DAVRANIŞINA ETKİSİ

FARKLI SARGILAMA YÖNTEMLERİNİN ELEMAN DAVRANIŞINA ETKİSİ

Sargılı beton davranışı için Mander yaklaşımı kullanılırken, sargı bölgelerinde bulunan ara seviyelerdeki donatıların etkileri, çirozlar ile bağlanmadığı için hesaba dahil edilmemiştir. Zaten kullanılan yöntem de bunu gerektirmektedir. Kuramsal hesaplar ile elde edilen sonuçlar değerlendirilirken, artan boyuna donatı geometrik oranı ile süneklik seviyesindeki düşüş, kanca donatıları ile artacak sargılama etkisinin eleman davranışına nasıl yansıyabileceği sorusunu akla getirmiştir.

Ara seviyede boyuna donatı içeren S2 ve S3 sargıları ve kanca ile bağlanma sonucu elde edilen S2' ve S3' sargıları şekil 5.3'te verilmiştir. Ara seviyelerde kanca kullanımının yanında etriye sıklaştırmasının sebep olacağı etkilerin araştırılması için de S2a, S3a, S2'a ve S3'a numuneleri için kuramsal çözümlemeler yapılmıştır. Hesaplama işlemi sırasında donatı çeliğinde pekleşmenin, betonda da sargılamanın sebep olduğu etkilerin gözönüne alınmaması durumlarında sonuçların ne şekilde değişeceğinin araştırılması için S2o ve S3o çözümlemeleri yapılmıştır. S2o ve S3o çözümleri yapılırken donatı çeliğinin akma şekil değiştirmesinden kopma şekil değiştirmesine dek aldığı gerilmeler akma gerilmesine sabitlenmiş (ideal elasto-plastik davranış), betonda ise silindir numune deneylerinden elde edilen sonuçlar gözönüne alınarak Mander yaklaşımı kullanılmadan elde edilen gerilme-şekil değiştirme dağılımları kullanılmıştır. Hazırlanan çözümlemelerde kullanılan isimlendirme yöntemi Çizelge D.1'de verilmiştir. Gösterilen bütün sargılama şekilleri için betonun gerilme-şekil değiştirme davranışında meydana gelen iyileşme Şekil D.1'de gösterilmiştir. S2o ve S3o durumu hariç, bütün numunelerde Mander yaklaşımı ile elde edilen f'_{cc} ve ε_{cc} değerleri Popovics (1973) tarafından önerilen yöntem kullanılarak işlenmiş ve söz konusu eğriler hazırlanmıştır. Sargılama etkisinin dayanım ve şekil değiştirme değerleri üzerindeki etkisinin daha ayrıntılı bir biçimde anlaşılabilmesi için Çizelge D.2 hazırlanmıştır. Söz konusu çizelgede kullanılan her sargılama şekli için Mander yaklaşımı ile elde edilen sonuçlar görülmektedir.

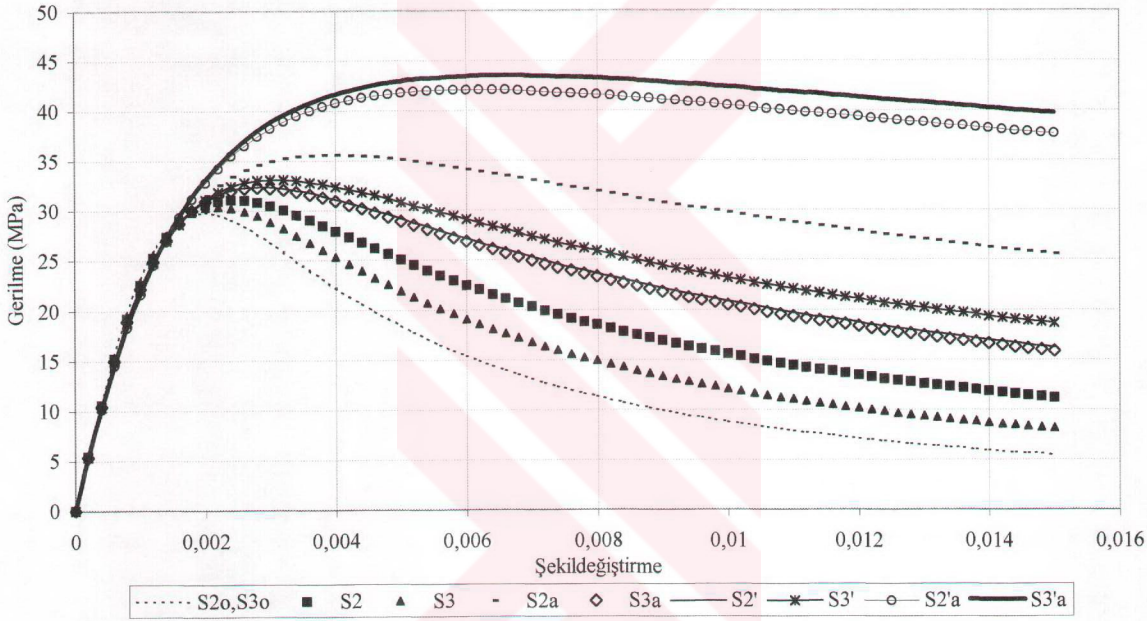
Çizelge D.1: Kuramsal hesaplarda kullanılan numunelerin özellikleri

G1,G2,G3	S2o	Pekleşme yok
	S3o	Sargılama etkisi yok
G1,G2,G3	S2	Kancalama yok
	S3	Etriye sıklaştırması yok
G1,G2,G3	S2a	Kancalama yok
	S3a	Etriye sıklaştırması var
G1,G2,G3	S2'	Kancalama var
	S3'	Etriye sıklaştırması yok
G1,G2,G3	S2'a	Kancalama var
	S3'a	Etriye sıklaştırması var

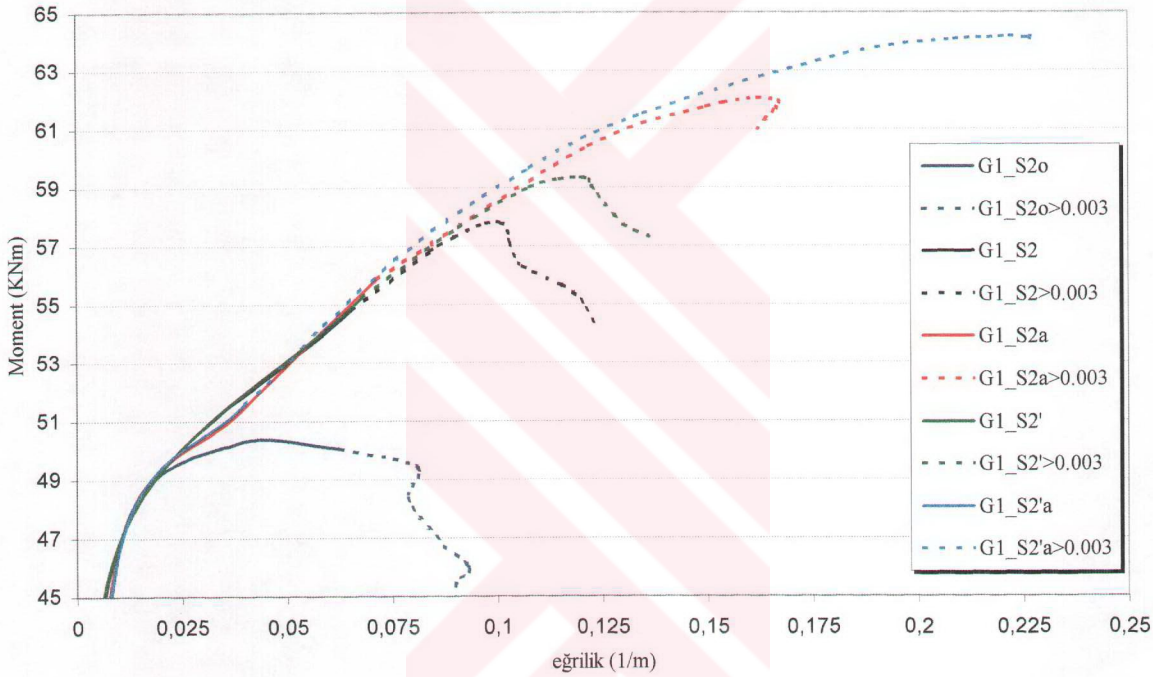
Çizelge D.2: Sargılamanın dayanım ve şekil değiştirme üzerindeki etkisi

	f'_{co} (MPa)	ε_{co}	f'_{cc} (MPa)	ε_{cc}
S2o	29.8	0.00198	29.8	0.00198
S3o	29.8	0.00198	29.8	0.00198
S2	29.8	0.00198	31.1	0.0024
S3	29.8	0.00198	30.4	0.0022
S2a	29.8	0.00198	35.6	0.0039
S3a	29.8	0.00198	32.3	0.0028
S2'	29.8	0.00198	32.4	0.00285
S3'	29.8	0.00198	33.1	0.0031
S2'a	29.8	0.00198	42.1	0.0061
S3'a	29.8	0.00198	43.5	0.0065

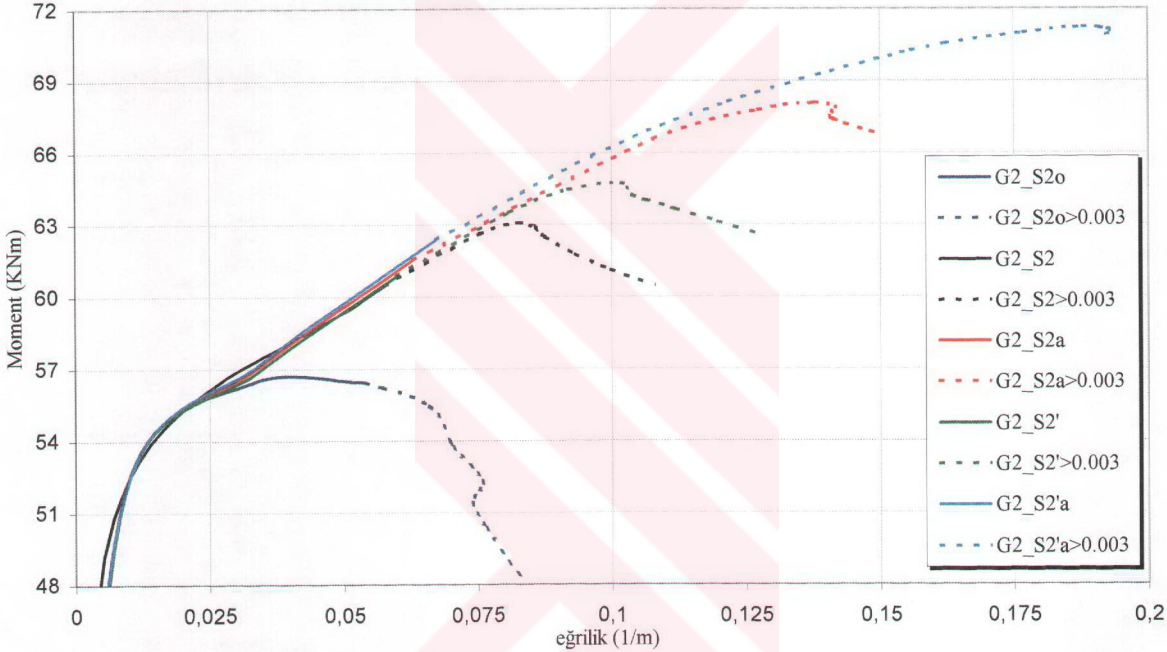
Çizelge D.2 ve Şekil D.1'de verilen gerilme-şekil değiştirme ilişkileri esas alınarak yapılan eleman çözümlemelerinden elde edilen moment-eğrilik ilişkileri Şekil D.2-D.7'de verilmiştir. Eğrilerin daha anlaşılır olması için moment değerlerinin yataylaşmaya başladığı bölgeden itibaren sunulmuştur. Düz çizgi ile gösterilen kısımlar betonda 0.003 şekil değiştirmesine kadar hesaplanan değerleri, kesik çizgi ile gösterilen kısımlar ise 0.003'ten 0.015 şekil değiştirmesine ulaşana dek hesaplanan değerleri temsil etmektedir.



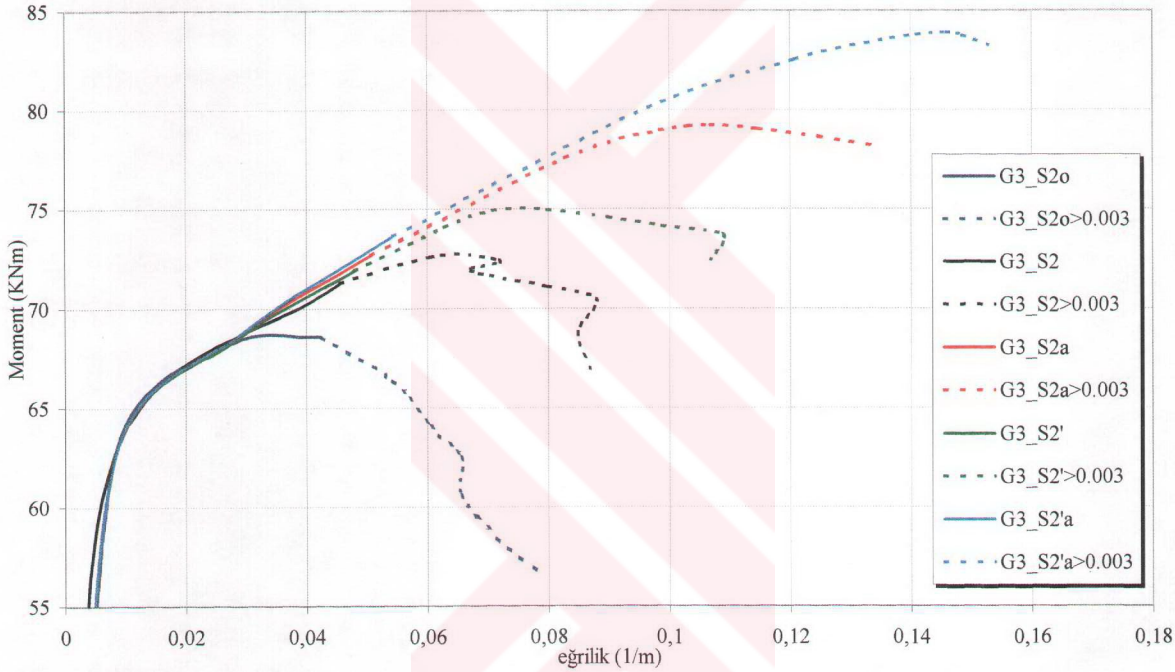
Şekil D.1: Sargılama şeklinin betonun gerilme-şekil değiştirme davranışı üzerindeki etkileri



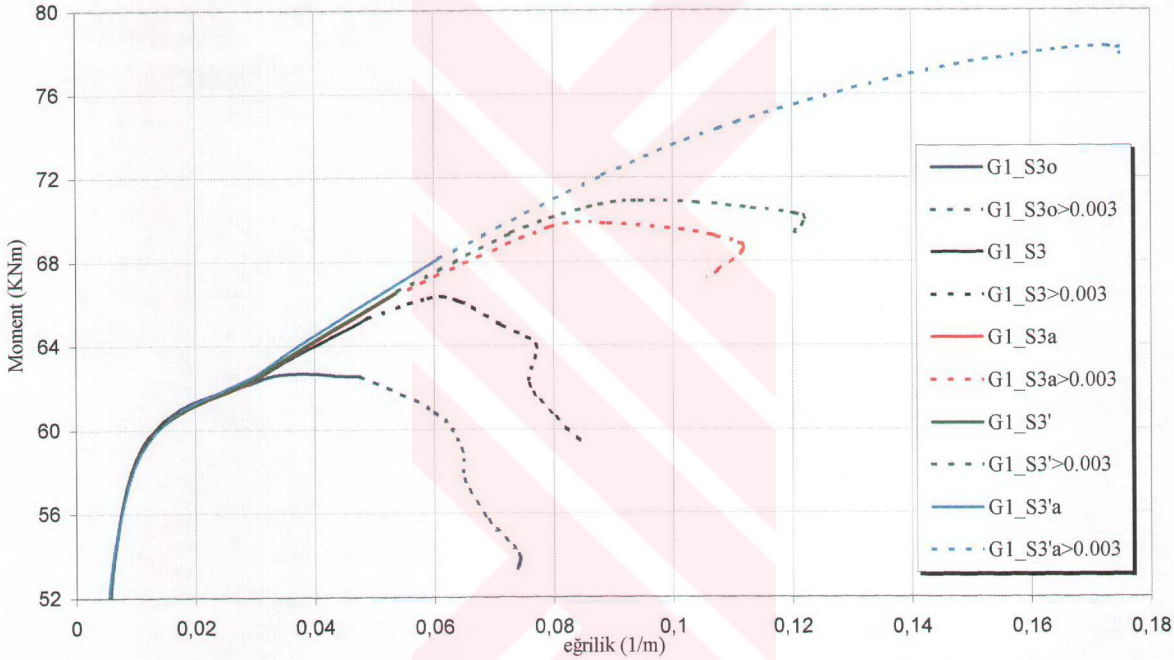
Şekil D.2: Sargılama şeklinin betonun moment-eğrilik ilişkisi üzerindeki etkileri (G1&S2)



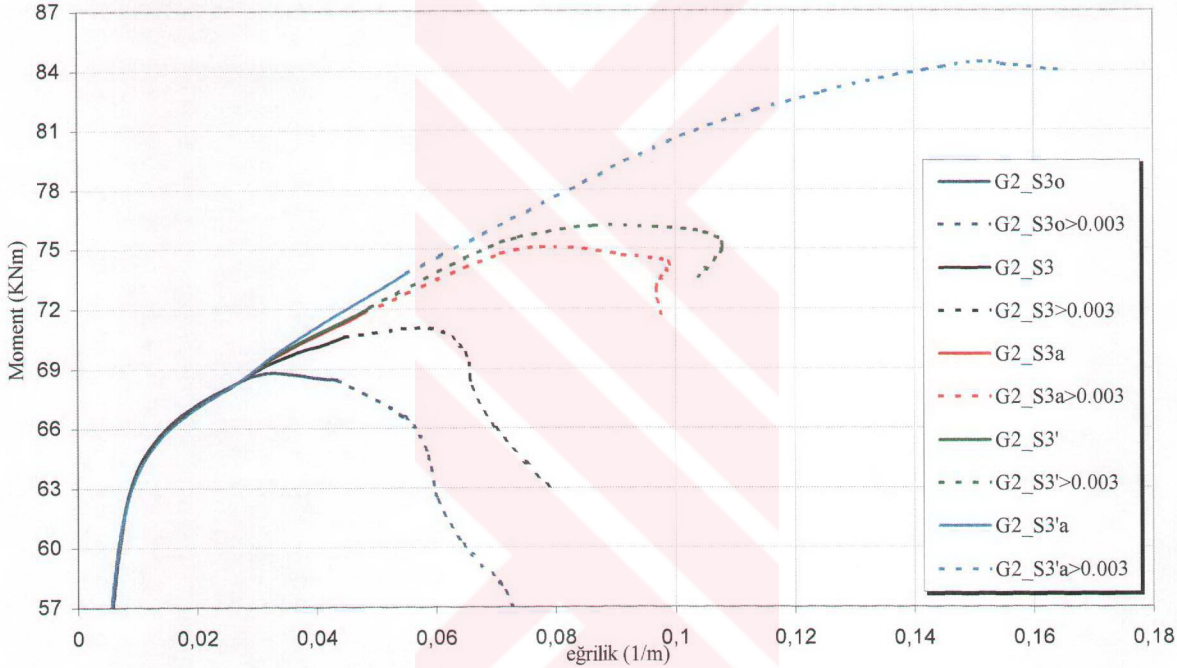
Şekil D.3: Sargılama şeklinin betonun moment-eğrilik ilişkisi üzerindeki etkileri (G2&S2)



Şekil D.4: Sargılama şeklinin betonun moment-eğrilik ilişkisi üzerindeki etkileri (G3&S2)

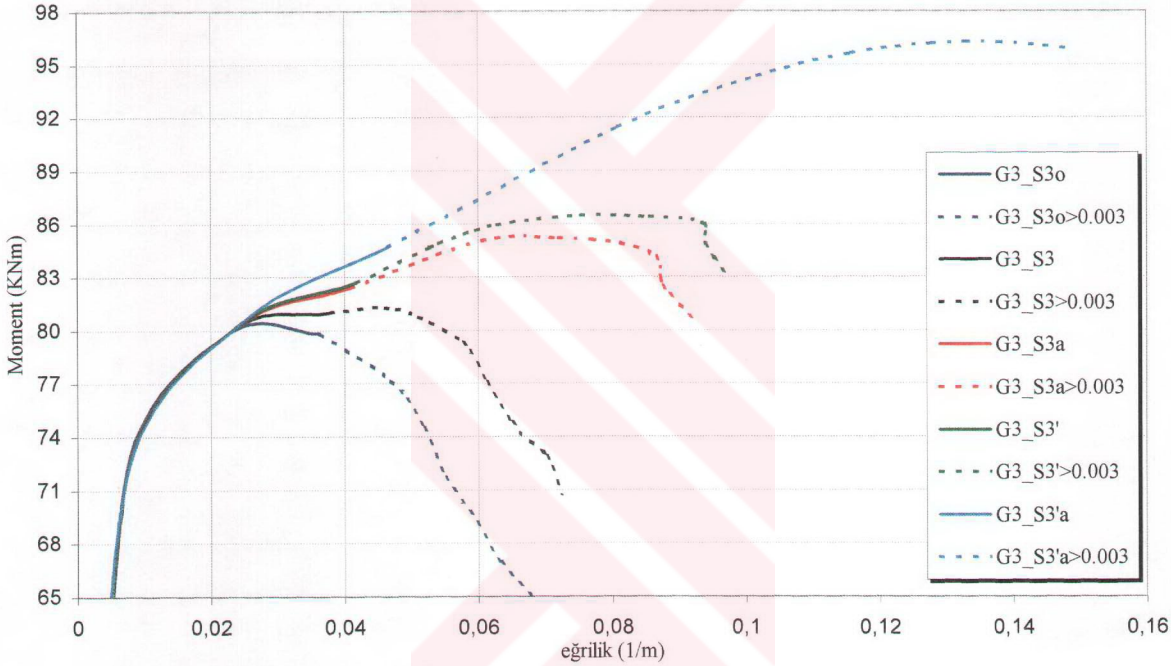


Şekil D.5: Sargılama şeklinin betonun moment-eğrilik ilişkisi üzerindeki etkileri (G1&S3)



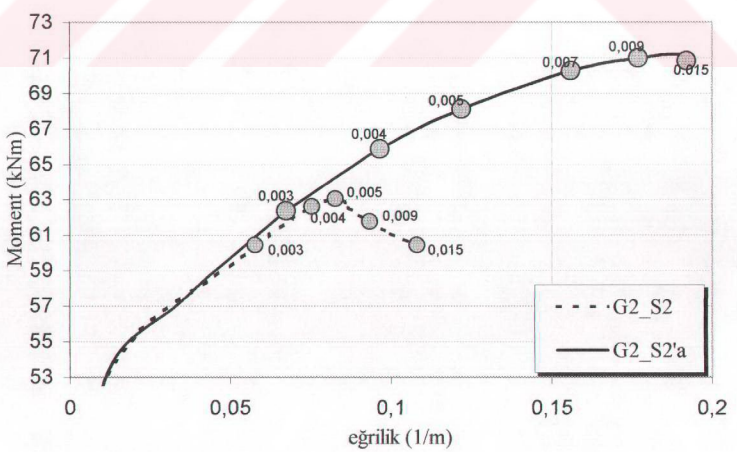
Şekil D.6: Sargılama şeklinin betonun moment-eğrilik ilişkisi üzerindeki etkileri (G2&S3)

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ



Şekil D.7: Sargılama şeklinin betonun moment-eğrilik ilişkisi üzerindeki etkileri (G3&S3)

Şekillerden de anlaşılacağı gibi S2 ve S3 sargılarında yapılan kanca kullanımı ve etriye sıklaştırması gibi uygulamalar, elemanların hem dayanımı hem de sünekliği üzerinde iyileşme sağlamaktadır. Üstelik bu iyileşme ilave boyuna donatı kullanmaksızın gerçekleşmektedir. Davranışta meydana gelen bu farklılaşmanın sebebi esas itibari ile sargılı beton davranışından kaynaklanmaktadır. Sargılama etkisi sayesinde betonda meydana gelen bozulmanın büyük oranda önüne geçilmekte, elemanlar daha büyük eğrilik seviyelerine ulaşırken beton daha az zarar görmektedir. Söz konusu bu durum Şekil D.8'de gösterilmiştir. G2_S2 ve G2_S2'a numuneleri aynı oranda boyuna donatı içermektedir. Moment-eğrilik ilişkisi içinde seçili noktaların yanında verilen değerler, betonda meydana gelen şekil değiştirmeleri göstermektedir. Şekil D.1'den de anlaşılacağı gibi etriye sıklaştırması ve kanca kullanımı betonun dayanımını ve dayanıma karşılık gelen şekil değiştirme değerini büyük oranda arttırmaktadır. G2_S2 numunesinde beton 0.009 şekil değiştirmesine ulaştığı anda elemanın eğriliği 0.1 değerine varmamış olmasına rağmen, G2_S2'a numunesinde bu anda ulaşılan eğrilik değeri 0.18'i bulmaktadır. Söz konusu kuramsal hesaplar pekleşmeli elasto-plastik yaklaşım kullanılarak yapılmıştır ve dayanım ve rijitlik kayıplarının etkilerini içermemektedir. Aynı eğrilik altında daha büyük şekil değiştirme değerleri altında zorlanan zayıf sargılı betonda, dayanım ve rijitlikte meydana gelen azalmanın daha etkili olacağı düşünülmektedir.



Şekil D.8: Moment-eğrilik ilişkisi içinde betonda oluşan şekil değiştirmeler

ÖZGEÇMİŞ

Adı, Soyadı : Şevket Murat ŞENEL

Ana Adı : Ü. Dilek

Baba Adı : Fevzi

Doğum yeri ve tarihi : ACIPAYAM / 1970

Lisans : ODTÜ. Müh. Fak. İnşaat Müh. Bölümü

Yüksek Lisans: PAÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Müh. ABD.

Kurumu : PAÜ. Müh. Fak. İnşaat Müh. Bölümü.

Yabancı Dil : İngilizce