ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

İsmail ÜNSAL

HİBRİT DONATILI BETONARME KİRİŞLERİN YÜK - DEPLASMAN DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA-2016

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HİBRİT DONATILI BETONARME KİRİŞLERİN YÜK - DEPLASMAN DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

İsmail ÜNSAL

DOKTORA TEZİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu Tez 16/12/2016 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Oybirliği/Oyçokluğu ile Kabul Edilmiştir.

…….....	……	……..…...
Prof. Dr. Cengiz DÜNDAR	Prof. Dr. İ. Hakkı ÇAĞATAY	Prof. Dr. Hüseyin R. YERLİ
DANIŞMAN	ÜYE	ÜYE

...…….....	……...
Prof. Dr. Serkan TOKGÖZ	Doç. Dr. İ. Fatih KARA
ÜYE	ÜYE

Bu Tez Enstitümüz İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Hazırlanmıştır.
Kod No:

Prof. Dr. Mustafa GÖK
Enstitü Müdürü

Bu Çalışma Ç. Ü. Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Desteklenmiştir.
Proje No: FDK-2015-4924

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZ

DOKTORA TEZİ

HİBRİT DONATILI BETONARME KİRİŞLERİN YÜK - DEPLASMAN DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

İsmail ÜNSAL

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman : Prof. Dr. Cengiz DÜNDAR
Yıl: 2016, Sayfa: 185
Jüri : Prof. Dr. Cengiz DÜNDAR
: Prof. Dr. İ. Hakkı ÇAĞATAY
: Prof. Dr. Hüseyin R. YERLİ
: Prof. Dr. Serkan TOKGÖZ
: Doç. Dr. İ. Fatih KARA

Sunulan çalışmada, hibrit (FRP-çelik) donatılı betonarme sürekli kirişlerin analiz ve tasarımı için iteratif bir yöntem önerilmiş ve yönteme dayalı olarak bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Sayısal yöntemde, malzemelerin gerilme−birim deformasyon ilişkileri için literatürde mevcut olan modeller kullanılabilmektedir. Dış yükler altında elemanların çatlaması durumunda etkili atalet momentlerinin hesabı için moment – eğrilik ilişkileri esas alınmaktadır. Sayısal yöntemde kayma deformasyonlarının etkisi de göz önünde bulundurulmakta olup etkili kayma modüllerinin hesabında literatürde mevcut olan farklı yöntemler kullanılmaktadır. Çalışmada, 2 adet cam lifli polimer (GFRP) donatılı ve 6 adet hibrit (GFRP-çelik) donatılı betonarme iki açıklıklı sürekli kiriş numunesi hazırlanarak eğilme yükü altında teste tabi tutulmuş ve önerilen yöntemin geçerliliğini değerlendirmek üzere geliştirilen bilgisayar programı aracılığı ile analiz edilmiştir. Test sonuçları ile teorik sonuçların uyum içinde oldukları belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Cam lifli polimer donatı, hibrit donatı, sürekli kiriş, yük – deplasman davranışı, gerilme – birim deformasyon.

ABSTRACT

PhD THESIS

INVESTIGATION ON LOAD – DEFLECTION BEHAVIOR OF HYBRID REINFORCED CONCRETE BEAMS

İsmail ÜNSAL

ÇUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

Supervisor : Prof. Dr. Cengiz DUNDAR
Year: 2016, Pages: 185
Jury : Prof. Dr. Cengiz DÜNDAR
: Prof. Dr. İ. Hakkı ÇAĞATAY
: Prof. Dr. Hüseyin R. YERLİ
: Prof. Dr. Serkan TOKGÖZ
: Assoc. Prof. Dr. İ. Fatih KARA

In this study, a numerical method was proposed for the analysis of multi-span continuously concrete beams reinforced with hybrid (FRP-steel) bars and a computer program was developed based on this method. Available models for stress – strain relationship of materials are used in the method. Moment – curvature relationship is considered in order to determine the effective flexibility of members in cracked state. Shear deformation is also considered in the method and available models are used for effective shear modulus of concrete due to cracking. In addition, two beam specimens reinforced with pure glass fiber reinforced polymer (GFRP) bars and six specimens with hybrid GFRP-steel bars were manufactured and tested under static loading condition and analyzed through the developed computer program in order to evaluate the accuracy of proposed model. A good level of accuracy has been observed between the experimental and the analytical results of the tested beam specimens.

Key Words: Glass fiber polymer bars, hybrid reinforcement, continuous beam, load – deflection behavior, stress – strain.

GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Elyaf lifli polimer (FRP) donatılar yüksek dayanım ve paslanmaz özelliği nedeniyle betonarme elemanlar içerisinde, son yıllarda oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Lifli polimer malzeme uzama kapasitesinin sınırlı olmasından dolayı elemanda gevrek davranışa neden olmaktadır. FRP donatılı betonarme elemanın süneklik kapasitesinin geliştirilmesine yönelik olarak literatürde önerilen bir yöntem, kesitte FRP donatı ile birlikte çelik donatının da kullanılmasıdır. Bu şekilde üretilen hibrit donatılı betonarme kirişin içerisindeki çeliğin sünek yapısı sayesinde FRP donatının gevrekliği kompanse edilerek elemanda istenilen sünek davranış elde edilmeye çalışılmaktadır.

Sunulan çalışmada, hibrit (FRP ve çelik) donatılı betonarme kirişlerin yük - deplasman davranışını belirlemeye yönelik olarak sayısal bir yöntem önerilmiş ve bu yönteme dayalı bilgisayar programı geliştirilmiştir. Önerilen yöntemin geçerliliğini değerlendirmek üzere Çukurova Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Laboratuvarında, iki adet GFRP donatılı ve 6 adet hibrit (GFRP ve çelik) donatılı betonarme iki açıklıklı sürekli kiriş numunesi hazırlanmış ve eğilme yükü altında teste tabi tutularak yük – deplasman eğrileri deneysel olarak elde edilmiştir. Ayrıca literatürde mevcut olan bir çalışmada test verileri sunulan 6 adet hibrit donatılı (GFRP ve çelik) betonarme basit mesnetli kiriş numunesi, geliştirilen bilgisayar programında analiz edilerek deneysel sonuçlarla karşılaştırılmak üzere yük – deplasman ilişkileri elde edilmiştir.

Önerilen sayısal yöntemde, çatlamış durumda kiriş elemanların etkili eğilme rijitliklerinin hesabı için gerekli olan etkili atalet momentleri, çatlamış kesit analizinden elde edilen moment – eğrilik ilişkisi yardımı ile belirlenmektedir. Yöntemde etkili kayma deformasyonlarının da etkisi dikkate alınmakta ve çatlamadan sonra efektif kayma modülü için literatürde mevcut olan farklı modeller kullanılabilmektedir. Sistem deplasmanlarının hesabında rijitlik matrisi

yöntemi kullanılmaktadır. Beton basınç ve çekme bölgelerinde gerilme – birim deformasyon ilişkisi için literatürdeki herhangi bir matematiksel model kullanılabilmektedir.

Hazırlanan bilgisayar programında çelik ve FRP donatılar kesitin çekme ve basınç bölgesinde tek bir sırada veya iki farklı sırada tanımlanabilmekte, tanımlanan donatılara çekme ve basınç durumları için farklı elastisite modülü değerleri ve benzer şekilde farklı akma veya kopma dayanımı değerleri atanabilmektedir.

Test numuneleri içerisinde donatı olarak cam lifli polimer (GFRP) donatı ile birlikte çelik donatılar kullanılmış olup numuneler hazırlanırken kesitteki donatı düzeni ve çelik donatı alanının GFRP donatı alanına oranı değişken tutulmuştur. Kesitte kullanılan GFRP donatıların çapları 9,5 mm ve 11,5 mm olup elastisite modülü ve kopma gerilmesi üretici firma tarafından sırasıyla 50 GPa ve 1 GPa olarak belirtilmiştir. 4 adet hibrit donatılı kiriş numunesinde çelik donatı ile GFRP donatılar aynı sırada kesite yerleştirilirken, iki adet hibrit donatılı numunede çelik donatılar GFRP donatılardan farklı olarak kesitte tarafsız eksene daha yakın olan ikinci bir sıraya yerleştirilmiştir. Hazırlanan hibrit donatılı betonarme sürekli kiriş numunelerinin her iki açıklık ortasına kısa süreli ve belirli bir hızda düşey yönde yükleme uygulanmış ve her aşamadaki yük ve yüke karşılık gelen deplasmanlar zamana bağlı olarak bilgisayara kaydedilmiştir. Taşıma gücü kapasitesi, çatlak gelişimleri, göçme modu ve yük – deplasman ilişkisi gibi parametreler esas alınarak GFRP ve hibrit donatılı betonarme kiriş numunelerinin eğilme davranışları irdelenmiştir.

Deney numuneleri sayısal yönteme dayalı olarak geliştirilen bilgisayar programı yardımı ile analiz edilerek sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sunulan çalışmada test sonuçları ile sayısal yönteme dayalı olarak yapılan analizlerden elde edilen sonuçların uyumlu olduğu görülmüştür.

TEŞEKKÜR

Çalışmamın her aşamasında yardımlarını esirgemeyen ve bana “Hibrit Donatılı Betonarme Kirişlerin Yük - Deplasman Davranışının İncelenmesi” konulu doktora tezini veren yapıcı ve yönlendirici fikirleri ile bana daima yol gösteren danışman hocalarım Sayın Prof. Dr. Cengiz DÜNDAR’a ve Sayın Prof. Dr. A. Kamil TANRIKULU’na sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Doktora programına başladığım günden itibaren deneysel çalışmalarımda çok büyük yardımda bulunan ve doktora tez izleme komitesi üyeleri olan hocalarım Sayın Prof. Dr. Serkan TOKGÖZ’e ve Bölüm Başkanımız Sayın Prof. Dr. İsmail Hakkı ÇAĞATAY’a teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar çalışmalarım boyunca yardımlarını esirgemeyen tüm Araştırma Görevlisi arkadaşlarıma ve Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Atölye Teknisyenleri ‘ne teşekkür ederim.

Tez ve laboratuvar çalışmalarımı maddi olarak destekleyen Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi ’ne teşekkür ederim.

Laboratuvar çalışmalarıma destekte bulunan Aydoğanlar İnş. Tic. Ltd. Şti.’ne ve Satış Direktörü değerli meslektaşım Fahrettin ÇALI’ya teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, desteklerini hiç bir zaman esirgemeyen Eşim İlkay ÜNSAL’a, biricik Oğlum Alperen ÜNSAL’a ve hayatım boyunca her konuda en yakın destek ve yardımlarını gördüğüm, başarılı olmam adına her türlü fedakârlığı yapmakta olan annem Fatma ÜNSAL’a ve babam Süleyman ÜNSAL’a özel teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER **SAYFA**

ÖZ I
ABSTRACT II
GENİŞLETİLMİŞ ÖZET III
TEŞEKKÜR V
İÇİNDEKİLER…… VI
ÇİZELGELER DİZİNİ…… VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ X
RESİMLER DİZİNİ XII
SİMGELER VE KISALTMALAR XVI
1. GİRİŞ 1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 5
3. MATERYAL VE METOD 13
3.1. Giriş 13
3.2. Moment - Eğrilik İlişkisi 15
3.2.1. Malzeme İçin Matematiksel Modeller 20
3.2.1.1. Betonda Çekme Rijitleşmesi ve Matematiksel Modeli 20
3.2.1.2. Betonun Basınç Gerilme – Birim Deformasyon İlişkisi 21
3.2.1.2.(1). CEB Modeli 21
3.2.1.2.(2). Hognestad Modeli (HOG) 22
3.2.1.3. Çelik Donatı İçin Matematiksel Model 24
3.2.1.4. Lifli Polimer (FRP) Donatı İçin Matematiksel Model 25
3.3. Çatlamadan Sonra Eleman Rijitlik Matrisi 25
3.4. Yöntemin Algoritması 31
4. BETONARME KİRİŞ DENEY ÇALIŞMASI 35
4.1. Giriş 35
4.2. Deney Numuneleri 36

4.3. Deneyde Kullanılan Malzemeler ve Numune Hazırlanışı 37
4.3.1. Beton 38
4.3.2. Numune Kalıbı 44
4.3.3. Donatı 45
4.4. Deneysel Çalışmada Kullanılan Aletler ve Deney Düzeneği 47
4.5. Deneyin Uygulanışı 51
4.6. Deney Sonuçları 54
5. ARAŞTIRMA BULGULARI 79
5.1. Giriş 79
5.2. İki Açıklıklı Sürekli Kiriş Yük-Deplasman İlişkilerinin Teorik Olarak Elde Edilmesi ve Deney Sonuçlarıyla Karşılaştırılması 79
5.2.1. A1 Kirişi 79
5.2.2. A2 Kirişi 81
5.2.3. A3 Kirişi 82
5.2.4. A4 Kirişi 84
5.2.5. B1 Kirişi 85
5.2.6. B2 Kirişi 87
5.2.7. B3 Kirişi 89
5.2.8. B4 Kirişi 90
5.3. Basit Mesnetli Kiriş Yük-Deplasman İlişkilerinin Teorik Olarak Elde Edilmesi ve Deney Sonuçlarıyla Karşılaştırılması 92
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 101
KAYNAKLAR 105
ÖZGEÇMİŞ 109
EKLER 110

ÇİZELGELER DİZİNİ **SAYFA**

Çizelge 4.1 Deney numunelerinin 1m^3 beton karışım ağırlıkça değerleri. 39
Çizelge 4.2 A ve B grubu için beton silindir basınç dayanım testi sonuçları 42
Çizelge 4.3 A ve B grubu için beton yarmada çekme ve eğilmede çekme dayanım testi sonuçları 43
Çizelge 4.4 İki açıklıklı sürekli kiriş deney numunelerinin donatı detayları. 46
Çizelge 5.1 Basit mesnetli kirişlerin donatı detayları (El-Refai ve arkadaşları, 2015). 93

ŞEKİLLER DİZİNİ **SAYFA**

Şekil 3.1 Dikdörtgen kesitte birim deformasyon dağılımı, gerilme dağılımı ve kuvvetler 16
Şekil 3.2 İki bölgeli doğrusal çekme rijitleşmesi modeli 21
Şekil 3.3 Beton basınç bölgesinde gerilme-birim deformasyon dağılımı için CEB-FIB modeli 22
Şekil 3.4 Hognestad modeli 23
Şekil 3.5 Çeliğin gerilme- birim deformasyon ilişkisi 24
Şekil 3.6 FRP donatısının gerilme- birim deformasyon ilişkisi 25
Şekil 3.7 Düzgün yaylı yük ve tekil yüklerden dolayı bir elemanda oluşabilecek uç deplasmanlar ve bunlara karşılık gelen kuvvetler 26
Şekil 3.8 Düğüm deplasmanları hesabı için konsol kiriş modeli 26
Şekil 3.9 Genel olarak bir kiriş elemanda eğilme momenti nedeniyle oluşan çatlamış ve çatlamamış bölgeler 31
Şekil 3.10 Yönteme ait algoritmanın akış şeması 33
Şekil 4.1 Sürekli kiriş numune detayı ve kiriş A-A kesitleri 37
Şekil 4.2 A ve B grupları için beton silindir basınç testinden elde edilen gerilme-birim deformasyon ilişkileri 42
Şekil 4.3 Betonarme sürekli kiriş deney düzeneği 52
Şekil 4.4 A1, A3, B1 ve B3 numuneleri için deneysel olarak elde edilen yük – deplasman ilişkileri 56
Şekil 4.5 A2, A4, B2 ve B4 numuneleri için deneysel olarak elde edilen yük – deplasman ilişkileri 57
Şekil 4.6 A1, A2, A3, ve A4 numunelerine ait yük – deplasman ilişkilerinin karşılaştırılması 57

Şekil 4.7 B1, B2, B3, ve B4 numunelerine ait yük – deplasman ilişkilerinin karşılaştırılması 58
Şekil 4.8 A3 numunesi açıklık ortası en dış lif yük - birim kısalma eğrisi 59
Şekil 4.9 A4 numunesi açıklık ortası en dış lif yük - birim kısalma eğrisi 59
Şekil 4.10 B1 numunesi açıklık ortası en dış lif yük - birim kısalma eğrisi 60
Şekil 4.11 B3 numunesi açıklık ortası en dış lif yük - birim kısalma eğrisi 60
Şekil 5.1 A1 numunesi yük – deplasman ilişkisi 80
Şekil 5.2 A2 numunesi yük – deplasman ilişkisi 82
Şekil 5.3 A3 numunesi yük – deplasman ilişkisi 83
Şekil 5.4 A4 numunesi yük – deplasman ilişkisi 85
Şekil 5.5 B1 numunesi yük – deplasman ilişkisi 86
Şekil 5.6 B2 numunesi yük – deplasman ilişkisi 88
Şekil 5.7 B3 numunesi yük – deplasman ilişkisi 90
Şekil 5.8 B4 numunesi yük – deplasman ilişkisi 91
Şekil 5.9 Basit mesnetli kiriş numune kesit detayları (El-Refai ve arkadaşları, 2015) 94
Şekil 5.10 2G12-1S10 numunesi yük – deplasman ilişkisi 95
Şekil 5.11 2G12-2S10 numunesi yük – deplasman ilişkisi 96
Şekil 5.12 2G12-2S12 numunesi yük – deplasman ilişkisi 97
Şekil 5.13 2G16-2S10 numunesi yük – deplasman ilişkisi 98
Şekil 5.14 2G16-2S12 numunesi yük – deplasman ilişkisi 99
Şekil 5.15 2G16-2S16 numunesi yük – deplasman ilişkisi 100

RESİMLER DİZİNİ **SAYFA**

Resim 4.1 A ve B grubu için beton silindir basınç, yarmada çekme ve eğilmede çekme dayanım testleri 41
Resim 4.2 Kiriş donatıları 44
Resim 4.3 Betonarme kiriş numune kalıpları 45
Resim 4.4 Kiriş numunelerinde kullanılan GFRP ve çelik donatılar 47
Resim 4.5 Load Cell 48
Resim 4.6 Deney çalışmasında kullanılan transducer modelleri 49
Resim 4.7 Deney çalışmasında kullanılan komparatör modeli 50
Resim 4.8 Deney çalışmasında kullanılan data logger cihazları 51
Resim 4.9 Betonarme sürekli kiriş deney düzeneği 53
Resim 4.10 Yüklenen kirişlerde meydana gelen çatlaklar 53
Resim 4.11 Yükleme öncesi A1 numunesi 61
Resim 4.12 Maksimum yük altında A1 numunesi 61
Resim 4.13 Yük kaldırıldıktan sonra A1 numunesi 62
Resim 4.14 Yük kaldırıldıktan sonra A1 numunesi 62
Resim 4.15 A1 numunesi orta mesnetinde gelişen çatlaklar 62
Resim 4.16 A1 numunesi 1. açıklık ortasında gelişen çatlaklar 63
Resim 4.17 A1 numunesi 2. açıklık ortasında gelişen çatlaklar 63
Resim 4.18 Yükleme öncesi A2 numunesi 63
Resim 4.19 Maksimum Yük altında A2 numunesi 64
Resim 4.20 Yük kaldırıldıktan sonra A2 numunesi 64
Resim 4.21 A2 numunesi orta mesnetinde gelişen çatlaklar 64
Resim 4.22 A2 numunesi 1. açıklık ortasında gelişen çatlaklar 65
Resim 4.23 A2 numunesi 2. açıklık ortasında gelişen çatlaklar 65
Resim 4.24 Yükleme öncesi A3 numunesi 65
Resim 4.25 Yük altında A3 numunesi 66

Resim 4.26 Maksimum yük altında A3 numunesi 66
Resim 4.27 Yük kaldırıldıktan sonra A3 numunesi 66
Resim 4.28 A3 numunesi orta mesnetinde gelişen çatlaklar 67
Resim 4.29 A3 numunesi 1. açıklık ortasında gelişen çatlaklar 67
Resim 4.30 A3 numunesi 2. açıklık ortasında gelişen çatlaklar 67
Resim 4.31 Yükleme öncesi A4 numunesi 68
Resim 4.32 Yük altında A4 numunesi 68
Resim 4.33 Maksimum yük altında A4 numunesi 68
Resim 4.34 Yük kaldırıldıktan sonra A4 numunesi 69
Resim 4.35 A4 numunesi orta mesnetinde gelişen çatlaklar 69
Resim 4.36 A4 numunesi 1. açıklık ortasında gelişen çatlaklar 69
Resim 4.37 A4 numunesi 2. açıklık ortasında gelişen çatlaklar 70
Resim 4.38 Yükleme öncesi B1 numunesi 70
Resim 4.39 Yükleme sırasında B1 numunesi 70
Resim 4.40 Yük kaldırıldıktan sonra B1 numunesi 71
Resim 4.41 B1 numunesi orta mesnetinde gelişen çatlaklar 71
Resim 4.42 B1 numunesi 1. açıklık ortasında gelişen çatlaklar 71
Resim 4.43 B1 numunesi 2. açıklık ortasında gelişen çatlaklar 72
Resim 4.44 Yükleme öncesi B2 numunesi 72
Resim 4.45 Maksimum yük altında B2 numunesi 72
Resim 4.46 Yük kaldırıldıktan sonra B2 numunesi 73
Resim 4.47 Yük kaldırıldıktan sonra B2 numunesi 73
Resim 4.48 B2 numunesi orta mesnetinde gelişen çatlaklar 73
Resim 4.49 B2 numunesi 1. açıklık ortasında gelişen çatlaklar 74
Resim 4.50 B2 numunesi 2. açıklık ortasında gelişen çatlaklar 74
Resim 4.51 Yükleme öncesi B3 numunesi 74
Resim 4.52 Maksimum yük altında B3 numunesi 75
Resim 4.53 Yük kaldırıldıktan sonra B3 numunesi 75

Resim 4.54 B3 numunesi orta mesnetinde gelişen çatlaklar 75
Resim 4.55 B3 numunesi 1. açıklık ortasında gelişen çatlaklar 76
Resim 4.56 B3 numunesi 2. açıklık ortasında gelişen çatlaklar 76
Resim 4.57 Yükleme öncesi B4 numunesi 76
Resim 4.58 Maksimum yük altında B4 numunesi 77
Resim 4.59 Yük kaldırıldıktan sonra B4 numunesi 77
Resim 4.60 B4 numunesi orta mesnetinde gelişen çatlaklar 77
Resim 4.61 B4 numunesi 1. açıklık ortasında gelişen çatlaklar 78
Resim 4.62 B4 numunesi 2. açıklık ortasında gelişen çatlaklar 78

SİMGELER VE KISALTMALAR

A : Kesit Alanı

ACI : American Concrete Institute

A_j : j.'nci Sıradaki Donatı Alanı

A_k : k.'ncı Sıradaki Donatı Alanı

A_m : m.'nci Sıradaki Donatı Alanı

A_n : n.'nci Sıradaki Donatı Alanı

b_w : Kiriş Kesit Genişliği

CEB : Comité Euro-International Du Béton

C_j : j.'nci Sıradaki FRP veya Çelik Donatılardaki Basınç Kuvveti

C_k : k.'ncı Sıradaki FRP veya Çelik Donatılardaki Basınç Kuvveti

d_j : j.'nci Sıradaki Donatı Derinliği

d_k : k.'ncı Sıradaki Donatı Derinliği

d_m : m.'nci Sıradaki Donatı Derinliği

d_n : n.'nci Sıradaki Donatı Derinliği

E_c : Betonun Elastisite Modülü

E_f : FRP Donatının Elastisite Modülü

E_j : j.'nci Sıradaki Donatının Elastisite Modülü

E_k : k.'ncı Sıradaki Donatının Elastisite Modülü

E_m : m.'nci Sıradaki Donatının Elastisite Modülü

E_n : n.'nci Sıradaki Donatının Elastisite Modülü

E_s : Çeliğin Elastisite Modülü

F_c : Beton Basınç Kuvveti

f_{ci} : i.'nci Segmentteki Beton Basınç Veya Çekme Gerilmesi

f_{ck} : Beton Karakteristik Silindir Basınç Dayanımı

f_f : FRP Donatıdaki Gerilme

f_{fu} : FRP Donatının Kopma Gerilmesi

f_r : Betonda Çatlama Gerilmesi

f_t : Betonda Çekme Gerilmesi

f_y : Çeliğin Akma Gerilmesi

f'_c : CEB ve Hognestad Modellerinde Beton Basınç Dayanımı

G_c : Elastik Kayma Modülü

$\overline{G}_c$: Çatlamadan Sonra Efektif Kayma Modülü

h : Kiriş Kesit Yüksekliği

h_i : i.'nci Segment Yüksekliği

I_{cr} : Çatlamış Kesit Atalet Momenti

I_{eff} : Etkili Atalet Momenti

I_g : Brüt Beton Kesit Atalet Momenti

k_b : Aderans Katsayısı

M : Moment

P : Eleman Uç Kuvveti

s : Etriye Aralığı

T_m : m.'nci Sıradaki FRP veya Çelik Donatılardaki Çekme Kuvveti

T_n : n.'nci Sıradaki FRP veya Çelik Donatılardaki Çekme Kuvveti

V : Kesme Kuvveti

x : Tarafsız Eksen Derinliği

x_i : i.'nci Beton Segment Merkezinin Derinliği

σ_c : Betondaki Gerilme

ε_c : Beton Basınç Lifindeki Birim Kısalma

ε_{cmax} : Beton Basınç Bölgesinde En Dış Lifteki Maksimum Birim Kısalma

ε_{cr} : Betonda Çatlama Birim Deformasyon

ε_{co} : Betonda Maksimum Gerilmeye Karşılık Gelen Birim Kısalma

ε_{ctu} : Betonda (Çekmede) Kırılma Anında Birim Deformasyon

ε_{cu} : Beton (Basınç) Kırılma Anında Birim Kısalma

ε_f : FRP Donatıdaki Birim Deformasyon

ε_{fu} : FRP Donatının Kopma Birim Uzaması

ε_i : i.'nci Beton Segmentinin Merkezindeki Birim Kısalma

ε_j : j.'nci Sıradaki Donatının Birim Deformasyonu

ε_k : k.'ncı Sıradaki Donatının Birim Deformasyonu

ε_m : m.'nci Sıradaki Donatının Birim Deformasyonu

ε_n : n.'nci Sıradaki Donatının Birim Deformasyonu

ε_s : Çelik Donatıdaki Birim Deformasyon

ε_{su} : Çelik Donatının Kopma Birim Uzaması

ε_t : Beton Çekme Birim Deformasyonu

ε_y : Çeliğin Akma Anında Birim Deformasyonu

α_{ts} : Çekme Rijitleşmesi Parametresi

ρ_{eff} : Efektif Donatı Oranı

$\rho_{eff,b}$: Efektif Dengeli Donatı Oranı

ρ_{ratio} : Çelik Donatı Alanının FRP Donatı Alanına Oranı

ϵ : Yakınsama Kriteri

ϕ_M : Eğrilik

1. GİRİŞ

Lifli polimerler, donatı olarak cam, karbon, aramid, bazalt gibi liflerin, matris olarak epoksi, polyester, vinylester gibi polimerlerin kullanıldığı kompozit malzemelerdir. Günümüzde lifli polimer malzeme, yapısal anlamda birçok yönüyle alternatif inşaat malzemesi olarak kullanılmaktadır. Betonarmede kullanılan çeliğe kıyasla daha hafif olmasının yanında çok daha yüksek dayanıma sahiptirler. Bu yönüyle betonarme içerisinde geleneksel çelik malzeme yerine donatı olarak kullanılabilmektedir. Bununla birlikte betonarme kirişlerin, döşemelerin ve perde duvarların eğilme ve kesme kapasitelerini iyileştirmek amacıyla onarım ve güçlendirme malzemesi olarak da kullanılabilmektedir. Lifli polimer donatılar korozyona, hava koşullarına, kimyasal ve çevresel etkilere karşı çeliğe kıyasla daha dayanıklı olması nedeniyle günümüzde bazı ülkelerde, çelik donatının korozyona maruz kalacağı, buzlanmaya yönelik tuzlama işleminin söz konusu olduğu köprü döşemelerinde ve yollarda kullanılmaya başlanmıştır.

FRP malzemeler sınırlı uzama kapasiteleri nedeniyle gevrek yapıya sahiptirler. Bu durum lif takviyeli polimer donatılı betonarme elemanın sünekliğini önemli ölçüde düşürmekte ve gevrek davranışa neden olmaktadır. Yüksek dayanımlı betonarme eleman taşıma gücü kapasitesine ulaştığı anda aniden kırılmaktadır. FRP donatıların bu özelliği, inşaat sektöründe bazı uygulama alanlarındaki kullanımını kısıtlayabilmektedir. Bununla birlikte FRP donatının beton ile aderansının ve eksenel rijitliğinin (EA) çeliğe oranla düşük olması nedeniyle servis yükleri altında meydana gelen deformasyonlar ve çatlak genişlikleri yüksek değerler almaktadır. Bu nedenlerle FRP donatılı betonarme elemanların kullanılabilirlik sınır durumunda sünekliliğini iyileştirmek ve performansını geliştirmek üzere bazı yaklaşımlara dayalı çalışmalar yapılmaktadır.

Bu yaklaşımlardan biri, donatı içerisinde farklı tipteki lifli polimer malzemeler kullanarak hibrit donatı elde etmek suretiyle donatıların süneklik

davranışı iyileştirme çalışmalarıdır. Bu teknik ile FRP donatıların çekme davranışına belirli miktarda plastisite kazandırılmaya çalışılmaktadır. Harris ve arkadaşları (1998), çekirdekte karbon lifli polimer ve çevresinde çekirdeği saran aramid lifli polimerden elde edilmiş hibrit donatıları kullandığı kiriş numuneleri üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Test edilen kiriş numunelerinin sünekliğinin bu şekilde arttığını gözlemlemişlerdir. Üretimin karmaşık ve yüksek maliyetli olması nedeniyle bu yöntemin uygulama alanı sınırlı kalmaktadır.

FRP donatılı betonarme elemanlar, FRP donatının kopmadan önce betonun ezilmesi şeklinde gerçekleşen göçme modunu sağlamak amacıyla genellikle denge üstü donatı oranı ile tasarlanmaktadır. Bu durumda elemanın sünekliği betonun özelliğine bağlı olacağından, betonun dayanımını artırmak elemanda süneklik davranışını iyileştirebilecektir. Barros ve Sena-Cruz (2001) bu yaklaşımdan yola çıkarak lifli beton kullanmak suretiyle betonun dayanımını artırmış ve FRP donatılı elemanın sünekliğini iyileştirebildiklerini göstermişlerdir.

FRP donatılı betonarme elemanların sünekliğini ve performansını geliştirmek üzere önerilen diğer bir yaklaşım ise kesitte FRP donatı ile birlikte çelik donatının da kullanılmasıdır. Literatüre göre, hibrit donatılı bu tür kesitlere sahip betonarme elemanlar, deformasyon, çatlama davranışı ve taşıma gücü kapasitesi gibi kriterler dikkate alındığında sadece FRP donatılı kesitlere kıyasla çok daha iyi performans sergilemektedirler.

Hibrit donatılı betonarme kirişlerin eğilme davranışlarının incelenmesi konusunda literatürde oldukça sınırlı sayıda çalışma mevcuttur. Önerilen doktora tez çalışmasında, FRP ve çelik donatının bir arada kullanıldığı hibrit donatılı, iki açıklıklı betonarme sürekli kirişlerin yük – deplasman davranışları irdelenmiştir. Sunulan çalışmada hibrit donatılı kirişlerin yük – deplasman ilişkisini belirlemek üzere sayısal bir yöntem ve yönteme dayalı olarak bir bilgisayar programı geliştirilmiştir.

Dündar ve arkadaşları (2015) tarafından FRP donatılı betonarme sürekli kirişler için daha önce geliştirilmiş olan hesap yöntemi, yüksek dayanıma sahip lifli polimer donatı ile çelik donatının bir arada kullanıldığı hibrit kesitleri kapsayacak şekilde genişletilmiş ve hibrit donatılı betonarme sürekli kirişlerin yük - deplasman ilişkisini belirleyen bir bilgisayar programı hazırlanmıştır. Geliştirilen bilgisayar programı hibrit (FRP ve çelik) donatılı betonarme sürekli kirişlerin yük – deplasman ilişkisini herhangi bir yükleme ve mesnet koşulu altında belirleyebilmektedir. Geliştirilen sayısal yöntemde çelik donatının yanısıra karbon, cam, aramid, bazalt gibi farklı mekanik özelliklere sahip lifli polimer (FRP) donatılar, kesitin çekme veya basınç bölgesinde tek ya da iki sıra olarak tanımlanabilmektedir. Yöntemde, sisteme etkiyen dış yüklerden dolayı kirişlerin çatlaması halinde elemanların etkili atalet momentlerinin hesabında, malzemelerin gerçek gerilme-deformasyon ilişkileri kullanılarak elde edilen moment-eğrilik ilişkileri kullanılmaktadır. Gerekli formülasyonlar rijitlik matrisi yöntemine dayandırılarak oluşturulmuştur.

Çalışma kapsamında, Çukurova Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Laboratuvarında, iki adet GFRP donatılı ve 6 adet hibrit (GFRP ve çelik) donatılı betonarme iki açıklıklı sürekli kiriş, yük – deplasman ilişkisini irdelemek üzere eğilme yükü altında teste tabi tutulmuştur. Hibrit donatılı betonarme kiriş numuneleri dış yükler altında test edilirken numunelere deney boyunca uygulanan yük ve karşılık gelen deplasmanlar ölçülmüştür. Söz konusu veriler yük ölçer, deplasman ölçer ve strain gauge kullanılarak elde edilmiştir. Ölçülen deneysel verileri kaydetmek için elektronik data toplama sistemi kurulmuş, taşıma gücü kapasitesi, deplasmanlar ve çatlak gelişimi gibi parametreler gözlenmiştir. Beton basınç dayanımı, çelik akma dayanımı, FRP kopma dayanımı, donatı düzeni, kesitteki çelik donatının FRP donatıya oranı gibi parametreler esas alınarak hazırlanan deney numuneleri, teorik yönteme dayalı olarak geliştirilen bilgisayar programı ile analiz edilmiş ve elde edilen sonuçlar, geliştirilen sayısal yöntemin

doğrulunu değerlendirmek üzere karşılaştırılmıştır. Ayrıca literatürde El-Refai ve arkadaşları (2015) tarafından sunulmuş olan deneysel çalışmada testleri yapılmış 6 adet hibrit donatılı (GFRP ve çelik) basit mesnetli betonarme kiriş numunesi, geliştirilen bilgisayar programı aracılığı ile çözümlenmiş ve elde edilen sonuçlar deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Çalışmada, geliştirilen sayısal yönteme dayalı olarak yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar ile deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçların uyumlu olduğu görülmüştür.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Betonarme eleman içerisinde lifli polimer donatı kullanımına yönelik ilgi, FRP malzemelerin paslanmaz özelliği nedeniyle son yıllarda giderek artmaktadır. FRP donatıya sahip betonarme elemanlar, devamlılık açısından göz önünde bulundurulduğunda çelik donatılı elemanlara kıyasla daha iyi performans sergilemektedirler. Bu nedenle FRP donatılı betonarme elemanların performansını değerlendirmeye yönelik olarak günümüze kadar birçok araştırma yapılmış ve tasarıma yönelik birçok standart ve yönetmelikler hazırlanmıştır. ABD, Kanada, İsviçre ve Almanya gibi ülkelerde lifli polimer donatılar yaygın olarak kullanılmaktadır.

Lifli polimer malzemenin en büyük dezavantajı, sınırlı uzama kapasitesinin neden olduğu gevrek yapısıdır. Bu durum lifli polimer donatılı betonarme elemanda gevrek davranışa neden olmaktadır. Yüksek dayanımlı betonarme eleman taşıma gücü kapasitesine ulaştığı anda aniden kırılmaktadır. Bu şekildeki gevrek davranışın önüne geçmek üzere lifli polimer donatılı betonarme elemanın süneklik kapasitesinin geliştirilmesine yönelik çalışmalar giderek hız kazanmaktadır.

Bu bağlamda kesitte, lifli polimer donatının yansıra çelik donatı da kullanmak suretiyle elde edilen hibrit donatılı betonarme kirişler literatürdeki çalışmalara konu olmuştur. Kirişin içerisindeki çeliğin sünek yapısı sayesinde FRP donatının gevrekliği kompanse edilerek elemanda istenilen sünek davranış elde edilmeye çalışılmaktadır. Literatüre göre, hibrit donatılı bu tür kesitlere sahip betonarme elemanlar, eğilme performansı dikkate alındığında sadece FRP donatılı elemanlara kıyasla çok daha iyi performans sergilemektedirler.

Literatürde ve ACI440.1R-06 (2006) standardında FRP donatılı betonarme kirişler için dengeüstü tasarım önerilmekte, göçme anında FRP donatılar kopmadan önce basınç betonu maksimum birim kısalmasına ulaşarak ezilmiş olması

beklenmektedir. Bu durumda elemanın sünekliği betonun özelliğine bağlı olacağından, betonun dayanımını artırmak elemanda süneklik davranışını iyileştirebilecektir. Bu yaklaşımdan yola çıkarak FRP donatılı kiriş elemanların sünekliğini iyileştirmek amacıyla lifli beton kullanarak betonun dayanımı artırmak literatürde önerilen diğer bir yöntemdir.

Mazaheripour ve arkadaşları (2016), yukarıda bahsedilen yaklaşımları birleştirerek yaptıkları çalışmada yüksek dayanımlı (ortalama silindir basınç dayanımı 73 MPa) kendiliğinden sıkışan beton içerisinde 90 kg/m^3 çelik lif (1100 MPa dayanımlı) eklemişler ve bununla birlikte kesitte boyuna donatı olarak GFRP donatı ile birlikte çelik donatılar kullanmışlardır. Hazırladıkları 200 x 500 mm I kesitli 4000 mm boyundaki ve 3700 mm açıklıklı 10 adet basit kiriş numunesini 4 noktalı eğilme testine tabi tutmuşlardır. Bazı numunelerde GFRP ve çelik halatlara farklı seviyelerde öngerilme uygulamışlardır. Bu numunelerin eğilme altında deplasman ve çatlama davranışlarını belirlemek üzere önerdikleri teorik modelde, yeni bir dengeli donatı oranı ile birlikte, öngerilme etkisini, kesme çatlaklarının eleman eğriliğine etkisini ve beton içerisindeki çelik liflerin çatlama durumundaki etkisini dikkate alan bir etkili atalet momenti (I_{eff}) modeli tanımlamışlardır. Çalışmalarında, önerdikleri modele dayalı olarak elde ettikleri analiz sonuçlarının deneysel sonuçlar ile uyumlu olduğunu, hazırladıkları hibrit kesitli kiriş numunelerinin eğilme yükü altında yük-deplasman davranışını belirleyebildiklerini göstermişlerdir. Ayrıca deformasyonlar göz önüne alındığında, denge altı donatı oranına sahip öngerilmeli hibrit donatılı kirişlerin performansında eğilme dayanımında düşüş olmaksızın iyileşme sağlayabildiklerini de göstermişlerdir.

Aiello ve Ombres (2002) çalışmalarında, lifli polimer ile çeliğin bir arada kullanıldığı hibrit donatılı betonarme kirişlerin davranışlarını analiz etmişlerdir. Çekme bölgesinde FRP donatılar yüzeye yakın yerleştirilirken çelik donatılar korozyon etkilerinden korunmak amacıyla daha büyük paspayı değerleriyle tarafsız eksene daha yakın yerleştirilmiştir. Deneysel ve teorik çalışmalar yapılarak

sonuçlar karşılaştırılmıştır. Betonarme elemanın davranışı için önemli olan yer değiştirmeler, eğrilik, süneklik ve çatlak genişliği gibi özellikler irdelenmiştir. Taşıma gücü ve kullanılabilirlik sınır durumları, hibrit donatılı betonarme kirişlerin davranışlarını etkileyen mekanik ve geometrik parametrelere dikkat çekilerek irdelenmiştir. Sonuç olarak FRP donatı ile birlikte çelik donatıların kullanılmasının, deformasyon bakımından avantajlı olduğu, FRP ile eşit miktardaki donatı çeliğinin, servis yükleri altında deformasyonları kısıtladığı ifade edilmektedir. Sadece FRP donatılı kirişlerle karşılaştırıldığında hibrit donatılı kirişlerde çatlak genişliklerinin ve çatlak aralıklarının kısıtlandığı görülmüştür. Dayanımla ilgili olarak, hibrit donatılı model denge üstü FRP donatı miktarına sahip olduğundan donatı çeliğinin eğilme kapasitesine katkısı sınırlı kalmış ve taşıma gücündeki momentindeki artışın %15'ten daha az olduğu ifade edilmiştir.

Kara (2007), kiriş ve kolonlarda oluşan çatlamaları göz önünde bulundurularak betonarme çerçevelerin rijit diyafram modeli ile üç boyutlu analizi için iteratif yönteme dayalı bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Betonarme yapıya etkiyen yatay ve düşey yüklerden dolayı kiriş ve kolon elemanlarının çatlaması halinde etkili atalet momentlerinin hesabında ACI modeli, CEB modeli ve olasılığa dayalı etkili rijitlik modelleri kullanmıştır. Analizde kayma deformasyonlarının etkisini de göz önünde bulundurmuş olup etkili kayma modüllerinin hesabında literatürde mevcut olan değişik yöntemleri kullanmıştır. Çalışmada, deneysel çalışmaları daha önceden yapılan, yatay ve düşey yükler etkisi altındaki betonarme çerçeve örneklerini geliştirdiği bilgisayar programı aracılığı ile çözümlemiş ve elde edilen sonuçların deneysel sonuçlarla karşılaştırılmasından oldukça uyumlu sonuçlar elde ettiğini göstermiştir. Çalışmasında ayrıca kiriş ve kolon elemanlarda oluşan çatlamaların etkisiyle birlikte geometrik nonlineerlik etkilerini de göz önünde bulundurarak betonarme çerçevelerin üç boyutlu analizi için bir bilgisayar programı daha geliştirmiştir. Yatay ve düşey yükler etkisi altındaki üç boyutlu betonarme çerçeve örneklerinin geliştirilen bilgisayar

programı ile çözümlenmesinden çatlamalarla birlikte geometrik nonlineerlik etkilerin yapı davranışına olan etkisini ayrıntılı bir şekilde irdelemeye çalışmıştır.

Qu ve arkadaşları (2009), 180 x 250 mm dikdörtgen kesitli 1800 mm açıklıklı 2100 mm boyundaki 6 adet hibrit (GFRP ve çelik) donatılı betonarme kiriş ile birlikte kontrol numunesi olarak 1 adet sadece GFRP donatılı kirişi ve 1 adet sadece çelik donatılı kirişi 4 noktalı eğilme testine tabi tutmuşlardır. Kesitteki donatı miktarı ve GFRP/çelik oranının esas parametre olarak değişken tutulduğu çalışmada hibrit donatılı kirişlerin eğilme davranışları incelenmiştir. Önerdikleri analitik modelde uygunluk ve denge denklemleri kullanılarak moment – eğrilik ilişkisi yardımıyla deplasmanlar belirlenmekte olup, deney sonuçları ile yaptıkları kıyaslamalarda ortalama etkili donatı oranına sahip hibrit donatılı betonarme kirişlerin eğilme kapasitelerini belirleyebildiklerini gözlemlemişlerdir. Önerdikleri efektif donatı oranı ρ_{eff} ve efektif dengeli donatı oranı $\rho_{eff,b}$ parametrelerinin taşıma gücü momentini ve göçme modunu belirlemek için uygun olduğunu ifade etmişlerdir. Ayrıca kesitte GFRP ile birlikte çelik donatı kullanılmasının eğilme davranışını iyileştirdiğini gözlemlemişlerdir.

Denvid ve Pam (2010) çalışmalarında, 280 x 380 mm dikdörtgen kesitli 4200 mm açıklıklı 4600 mm boyundaki sadece çelik donatılı, sadece lifli polimer donatılı, lifli polimer ile çeliğin bir arada kullanıldığı hibrit donatılı ve donatısız betonarme kiriş numuneler hazırlayarak teste tabi tutmuşlardır. Açıklık ortasında eğilme kırılması öngörülerek tasarlanan modellerde ACI 440. 1R-06 (2006) ve Hong Kong Betonarme yönetmelikleri esas alınmıştır. Modeller basit mesnetli olup açıklık ortasından tekil yükle yüklenmiştir. Lifli polimer malzeme olarak sadece cam lifli polimerler (GFRP) kullanılmıştır. Gerekli kesme donatısı miktarının iki katı kadar donatı kullanmak suretiyle kesme kırılması önlenmiştir. Böylece eğilme dayanımı, eğilmede sünekliğin iyileştirilmesi ve minimum GFRP eğilme donatısı ihtiyacı bakımından modellerin performansı irdelenmiştir. Sonuç olarak eğilmede sünekliğin iki şekilde iyileştirilebildiğini ifade etmişlerdir. GFRP donatılı

modellerde denge üstü olan donatı oranının daha da artırılması bir yöntemdir. Diğer bir yöntem ise GFRP donatılı modellerin çelik boyuna donatılar ile birlikte tasarlanmasıdır. Bu şekildeki hibrit donatılı modellerde, denge altı ve dengeli donatı oranına sahip kirişlere kıyasla denge üstü tasarıma sahip kirişlerde süneklik artışının daha etkili olduğunu gözlemlemişlerdir.

Kara ve arkadaşları (2013) FRP donatılı betonarme elemanlardan oluşan yapı sistemlerinde deplasmanları belirlemek üzere analitik bir yöntem önermişlerdir. Literatürde mevcut olan etkili rijitlik modellerini kullanarak FRP donatılı elemanların çatlamış durumda eğilme rijitliklerindeki değişimleri incelemişlerdir. Literatürde mevcut olan deneysel çalışmalardaki FRP donatılı basit mesnetli ve sürekli betonarme kirişlere ait test verilerini önerdikleri modele dayalı olarak geliştirdikleri bilgisayar programı ile analiz etmişler ve analitik sonuçlarla test sonuçların iyi düzeyde uyumlu olduğunu gözlemlemişlerdir.

Yinghao ve Yong (2013), 150 x 250 mm dikdörtgen kesitli 1800 mm açıklıklı 2000 mm boyundaki 3 adet hibrit (GFRP ve çelik) donatılı ve 1 adet sadece GFRP donatılı basit mesnetli betonarme kirişi 4 noktalı eğilme testine tabi tutmuşlardır. Kesitteki donatı oranının aynı olup donatı düzeninin değişken tutulduğu çalışmada, çelik ve FRP donatılar tek sıra veya iki sıra halinde kesite yerleştirilmiştir. Taşıma gücünü ve göçme modunu belirlemeye yönelik teorik modellerin önerildiği çalışmada, kesitteki donatı yerleşim düzeninin hibrit donatılı kirişlerin taşıma gücü kapasitesi ve rijitliği üzerinde etkili olduğunu gözlemlemişlerdir. Çatlak genişliğini daha çok çelik donatının kontrol ettiğini ve kesitteki çelik donatının derinliği arttıkça çatlak genişliğinin azaldığını gözlemlemişlerdir.

Kara ve arkadaşları (2015) hibrit donatılı betonarme kirişlerde eğrilik, deplasman ve moment kapasitesini belirlemek üzere denge denklemleri ve uygunluk şartlarına dayalı olarak sayısal bir yöntem önermişlerdir. Önerdikleri deplasman hesabı sadece basit mesnetli kirişler için geçerli olmaktadır. Literatürde

mevcut çalışmalarda test edilmiş olan 46 adet basit mesnetli hibrit donatılı kiriş numunelerini geliştirdikleri yöntem ile analiz yapmışlardır. Hibrit donatılı kiriş numunelerde FRP donatı olarak aramid, cam ve karbon lifli polimer donatılar kullanılmıştır. Önerdikleri yöntemin doğruluğunu değerlendirmek üzere yaptıkları karşılaştırmalarda analizlerden elde ettikleri sonuçların test sonuçları ile uyumlu olduğunu gözlemlemişlerdir.

El-Refai ve arkadaşları (2015), 230 x 300 mm dikdörtgen kesitli 3700 mm açıklıklı 4000 mm boyundaki basit mesnetli 6 adet hibrit (GFRP ve çelik) donatılı betonarme kirişi ve 3 adet sadece GFRP donatılı kirişi 4 noktalı eğilme testine tabi tutmuşlardır. Kesitteki donatı oranı ve çeliğin GFRP donatıya oranı gibi parametrelerin değişken tutulduğu çalışmada hibrit donatılı kirişlerin eğilme davranışları incelenmiştir. Dengeüstü donatı oranına sahip olan hibrit donatılı kirişlerin dayanım ve süneklik açısından GFRP donatılı kirişlere kıyasla daha iyi performans sergilediğini gözlemlemişlerdir. Test sonuçlarına bağlı olarak, ACI-440.1R-06 (2006) standardında verilen formüller yardımıyla çatlak genişliklerini belirlemek üzere yeni bir aderans katsayısı (k_b) önermişlerdir. CSA-S806-12 (2012) standardında verilen formüllerin, yüksek donatı oranına sahip hibrit donatılı basit mesnetli kirişlerin deplasman değerlerini doğru olarak belirlediğini gözlemlemişlerdir. Çalışmalarında taşıma gücü kapasitesi, çatlak genişlikleri ve deplasman değerleri açısından deneysel sonuçlar ile teorik sonuçların uyumlu olduğunu göstermişlerdir.

Bencardino ve arkadaşları (2016), çalışmalarında çelik donatılı, aramid lifli polimer donatılı, cam lifli polimer donatılı ve hibrit donatılı betonarme elemanların davranışını belirlemeye yönelik olarak iki boyutlu sonlu eleman modeli önermişlerdir. Yöntemin geçerliliğini incelemek üzere literatürde mevcut olan deneysel çalışmalara ait numunelerden yararlanmışlardır. 17 adet kiriş numunesinin analizini yaptıkları çalışmada, hibrit donatılı kesite sahip betonarme numunelerin davranışlarını önerdikleri iki boyutlu sonlu eleman yöntemiyle

belirleyebilmişlerdir. Özellikle düşük ve normal seviyede donatı oranına sahip elemanlarda daha başarılı sonuçlar almışlardır. Sayısal yöntemle öngörülen göçme modlarının test sonuçlarıyla uyumlu olduğunu gözlemlemişlerdir.

Qin ve arkadaşları (2016) üç boyutlu sonlu elemanlar modeli kullanarak, hibrit donatılı kirişlerde hibrit donatı oranının eğilme davranışına etkisini incelemişlerdir. Taşıma gücü kapasitesini ve süneklik performansını optimize etmek üzere hibrit donatı oranı için uygun bir aralık belirlemeye çalışmışlardır. Hibrit donatı oranını, FRP donatı alanının çelik donatı alanına oranı şeklinde tanımlayarak, elastik ötesi bölgede yüksek dayanımı yeterli süneklik ve rijitlik ile optimize etmek üzere bu oran için 1 ile 2.5 değer aralığını önermişlerdir. Yaptıkları analizlerde literatürde mevcut çalışmalarda test edilmiş olan basit mesnetli hibrit donatılı kiriş numunelerinden yararlanmışlardır.

Hibrit donatılı betonarme kirişlerin eğime performansının irdelenmesi konusundaki çalışmalar literatürde oldukça sınırlı sayıda kalmıştır. Bu doktora çalışmasında, hibrit (FRP ve çelik) donatılı iki açıklıklı betonarme sürekli kirişlerin yük-deplasman davranışları irdelenmiştir.

3. MATERYAL VE METOD

3.1. Giriş

Betonarme yapılar, içerisinde bulunan çelik donatılarının korozyona uğraması nedeniyle yıpranmakta ve zamanla hasar görmektedir. Çelik yapılarda da taşıyıcı sistemi teşkil eden yapısal çelik elemanlar korozyona maruz kalmakta ve zamanla oluşan hasar nedeniyle bu yapılarda önemli derecede yapısal onarıma ihtiyaç duyulabilmektedir. Yeni ve mevcut yapıların kullanım ömürlerini arttırmak ve ekonomik ömürleri boyunca gerekli olacak bakım ve onarım maliyetlerini azaltmak amacı ile yaklaşık son 15 yıldır lifli polimer malzemeler inşaat uygulamalarında kullanılmaya başlanmıştır.

Lifli polimerler, donatı olarak cam, karbon, aramid ve bazalt gibi liflerin, matris olarak epoksi, polyester, vinylester gibi polimerlerin kullanıldığı kompozit malzemelerdir. Söz konusu malzemeler betonarmede kullanılan çeliğe kıyasla daha hafif olmasının yanında çok daha yüksek dayanıma sahiptirler. Karbon, bazalt, aramid ve cam lifli olarak üretilen lifli polimer donatılar korozyona, hava koşullarına, kimyasal ve çevresel etkilere karşı çeliğe kıyasla çok daha dayanıklıdırlar. Bu yönüyle günümüzde birçok ülkede betonarme içerisinde geleneksel çelik malzeme yerine donatı olarak kullanılmaktadır.

Lifli polimer malzemenin en büyük dezavantajı, doğrusal elastik gerilme-deformasyon ilişkisinin ve sınırlı uzama kapasitesinin neden olduğu gevrek yapısıdır. Lifli polimer donatı, bu özelliği nedeniyle betonarme elemanın sünekliğini önemli ölçüde düşürmekte ve gevrek davranışa neden olmaktadır. Yüksek dayanımlı betonarme eleman taşıma gücü kapasitesine ulaştığı anda aniden kırılmaktadır. Buna bağlı olarak yüksek dayanıma sahip FRP donatılı betonarme kirişlerin eğilme sünekliğinin iyileştirilmesi amacıyla, lifli polimer donatı ile çelik donatı bir arada kullanılarak elde edilen hibrit donatılı betonarme kirişler üzerindeki araştırmalar giderek hız kazanmaktadır. Kesit içerisindeki çeliğin sünek

yapısı sayesinde FRP donatının gevrekliği kompanse edilerek elemanda istenilen sünek davranışın elde edilmeye çalışılmaktadır.

Bu çalışma kapsamında, iki adet GFRP donatılı ve 6 adet hibrit (GFRP ve çelik) donatılı betonarme iki açıklıklı sürekli kiriş numuneleri hazırlanarak, yük – deplasman ilişkisini irdelemek üzere eğilme yükü altında teste tabi tutulmuştur. Çalışma kapsamında, hibrit (lifli polimer ve çelik) donatılı betonarme kirişlerin yük - deplasman davranışını belirlemeye yönelik olarak sayısal bir yöntem ve bu yönteme dayalı bilgisayar programı geliştirilmiştir. Bu çalışmada, Dündar ve arkadaşlarının (2015) daha önce FRP veya çelik donatılı sürekli betonarme kirişlerin yük – deplasman davranışlarını belirlemek üzere hazırlamış oldukları sayısal yöntem genişletilmiş, FRP ve/veya hibrit (FRP ve çelik) donatılı betonarme sürekli kirişlerin analizini yapabilen bir bilgisayar programı geliştirilmiştir.

Programın dayandığı sayısal yöntemde, çatlamış durumda eleman rijitliklerinin hesaplanması için etkili atalet momentleri, moment - eğrilik ilişkilerinden elde edilmektedir. Sistem deplasmanlarının hesabında rijitlik matrisi yöntemi kullanılmaktadır. Analizin ilk adımında sistemdeki farklı donatıya sahip tüm kesitler için moment - eğrilik ilişkileri kesitin taşıma gücü moment kapasitesi seviyesine kadar hesaplanmakta ve saklanmaktadır. Moment-eğrilik ilişkileri hesaplanırken ilk olarak tarafsız eksen derinliği ve beton basınç bölgesinde en dış lifteki birim kısalma (ε_c) için bir başlangıç değeri belirlenmekte, denge denklemleri ve uygunluk şartı sağlanıncaya kadar iterasyonlara devam edilmektedir. Her (ε_c) değeri için yeni bir moment-eğrilik değeri hesaplanmaktadır. Beton basınç bölgesinde en dış lifte maksimum birim kısalmaya ulaşılıncaya kadar moment-eğrilik ilişkileri hesaplanmaya devam edilmektedir. Daha sonra dış yükler altında sistemin lineer elastik analizi yapılmaktadır. Bu analiz sonucu elde edilen eleman uç kuvvetleri kullanılarak elemanlarda çatlamış ve çatlamamış bölgeler belirlenmekte ve her bölgenin eleman rijitliğine katkısı daha önce belirlenmiş olan moment-eğrilik ilişkileri de kullanılarak sayısal integrasyon tekniği ile

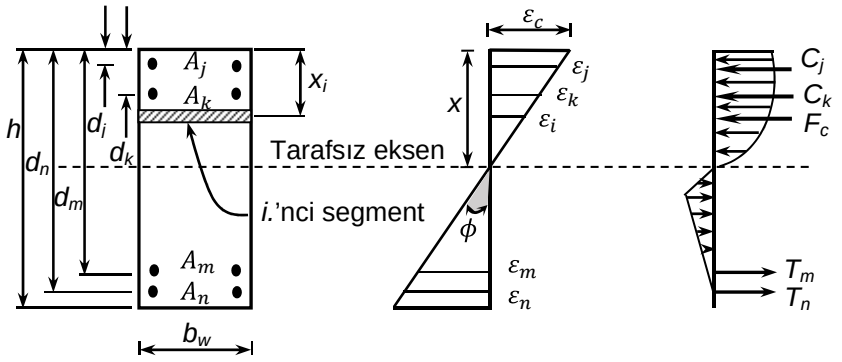
hesaplanmaktadır. Bu şekilde eleman rijitlikleri belirlendikten sonra sistem rijitlik matrisi oluşturularak çözüme gidilmekte, düğüm deplasmanları ve eleman uç kuvvetleri hesaplanmaktadır. Programa tanıtılan yakınsama kriteri sağlanıncaya kadar iterasyonlara devam edilmektedir.

Program dikdörtgen kesitli yatay taşıyıcı sistemleri üniform veya tekil yükler altında çözümleyebilmekte, kesitlerde bulunan çelik veya FRP donatısını bulundukları konuma göre çekme veya basınç donatısı olarak dikkate alabilmektedir. Çelik ve FRP donatılar kesitin çekme ve/veya basınç bölgesinde tek bir sırada veya iki farklı sırada tanımlanabilmektedir. Tanımlanan donatılara çekme ve basınç durumları için farklı elastisite modülü değerleri ve benzer şekilde farklı akma veya kopma dayanımı değerleri atanabilmektedir.

3.2. Moment - Eğrilik İlişkisi

Programda kullanılan sayısal yöntemde, analizin ilk adımında sistemdeki farklı donatıya sahip tüm kesitler için moment-eğrilik ilişkileri kesitin taşıma gücü moment kapasitesi seviyesine kadar hesaplanmakta ve saklanmaktadır. Hibrit (FRP ve çelik) donatılı betonarme kiriş kesitine ait birim deformasyon ve buna karşılık gelen gerilme dağılımı çekme ve basınç bölgesinde iki farklı donatı sırası esas alınarak Şekil 3.1'de gösterilmektedir.

Hibrit donatılı betonarme kiriş kesitlerine ait moment-eğrilik ilişkilerinin hesaplanabilmesi için öncelikle beton basınç bölgesinde en dış lifteki maksimum birim kısalmanın (ε_{cmax}) belirlenmesi ve moment - eğrilik grafiklerinin, kesitin taşıma gücü kapasitesi olan bu üst limite kadar çizdirilmesi gerekmektedir. ε_{cmax} değerini elde etmek üzere program tarafsız eksen derinliği için bir başlangıç değeri kabul ederek iterasyona başlamaktadır. Kuvvet denge denklemleri ve birim deformasyon uygunluk şartları sağlanıncaya kadar iterasyonlara devam ederek ε_{cmax} değeri elde edilmektedir. Çelik donatının kopma uzamasının (ε_{su}~%10), FRP donatının kopma uzamasından (ε_{fu}~%2) büyük olduğu göz önünde bulundurulursa,



(a) betonarme kiriş kesiti (b) birim deformasyon dağılımı (c) gerilme dağılımı ve kuvvetler

Şekil 3.1 Dikdörtgen kesitte birim deformasyon, gerilme dağılımı ve kuvvetler

hibrit donatılı kesitteki çelik donatıların FRP donatılardan önce kopmayacağı anlaşılmaktadır. Bu yaklaşımdan yola çıkarak, ε_{cmax} değeri hesaplanırken uygunluk şartlarını sağlamak üzere kesitteki çelik donatının birim deformasyonu (ε_s) yerine FRP donatının birim deformasyonu (ε_f) esas alınmaktadır. Daha sonra çelikteki birim deformasyon, (ε_f) değerine bağlı olarak uygunluk şartından elde edilmekte ve kuvvet denge denklemleri içerisinde hesaba katılmaktadır.

Bu şekilde ε_{cmax} değeri belirlendikten sonra moment-eğrilik ilişkilerini hesaplamak için tarafsız eksen üzerinde kalan beton basınç bölgesi (ε_{cmax}) n adet şerite bölünmektedir. Her bir şerite karşılık gelen moment - eğrilik değerini belirlemek üzere tarafsız eksen derinliği (x) için yine bir başlangıç değeri belirlenmekte, denge denklemleri ve uygunluk şartı sağlanıncaya kadar iterasyonlara devam edilerek ilgili segmentteki tarafsız eksen derinliğine karşılık gelen (ε_c) değeri hesaplanmaktadır. Böylece her (ε_c) değeri için yeni bir moment-eğrilik değeri hesaplanmaktadır. Beton basınç bölgesinde en dış lifte maksimum birim kısalmaya ulaşılıncaya kadar moment-eğrilik ilişkileri hesaplanmaya devam edilmektedir. Düzlem kesitlerin eğilmeden sonra da düzlem kalacağı kabulü ve donatı ile beton arasındaki aderansın mükemmel olduğu varsayımı yapılarak (i)

segment numarası olmak üzere betonda *i* segmentindeki birim deformasyon Denklem 3.1'deki gibi ifade edilmektedir.

$$\varepsilon_i = \frac{x - x_i}{x}\varepsilon_c \qquad (3.1.a)$$

basınç bölgesinde FRP ve/veya çelikteki birim deformasyon:

$$\varepsilon_j \text{ veya } \varepsilon_k = \frac{x - (d_j \text{ veya } d_k)}{x}\varepsilon_c \qquad (3.1.b)$$

çekme bölgesinde FRP ve/veya çelikteki birim deformasyon:

$$\varepsilon_m \text{ veya } \varepsilon_n = \frac{x - (d_m \text{ veya } d_n)}{x}\varepsilon_c \qquad (3.1.c)$$

ε_c beton basınç bölgesinde en dış lifteki birim kısalma; ε_i *i*'nci segmentin merkezinde beton basınç veya çekme birim deformasyonu; ε_j ve ε_k basınç bölgesinde j'nci ve k'ncı sıradaki donatıların birim deformasyonu; ε_m ve ε_n çekme bölgesinde m'nci ve n'nci sıradaki donatıların birim deformasyonu; d_j ve d_k basınç bölgesinde j'nci ve k'ncı sıradaki donatıların derinliğini; d_m ve d_n çekme bölgesinde m'nci ve n'nci sıradaki donatıların derinliğini göstermektedir.

Şekil 3.1 ve denge denklemleri dikkate alınarak Denklem 3.2 aşağıdaki şekilde yazılabilmektedir.

$$\sum F = F_c + \left(C_j \text{ ve } C_k\right) - (T_m \text{ ve } T_n) = 0 \qquad (3.2a)$$

F_c beton basınç kuvveti; C_j ve C_k sırasıyla j'nci ve k'ncı sıradaki FRP ve/veya çelik donatılardaki basınç kuvvetini; T_m ve T_n sırasıyla m'nci ve n'nci

sıradaki FRP veya çelik donatılardaki çekme kuvvetini göstermektedir. Bu kuvvetler Denklem 3.2'de gösterilmektedir.

$$F_c = \sum_{i=1}^{n} f_{ci} h_i \, b_w \tag{3.2b}$$

$$C_j = A_j E_j \varepsilon_j \qquad C_k = A_k E_k \varepsilon_k \tag{3.2c}$$

$$T_m = A_m E_m \varepsilon_m \qquad T_n = A_n E_n \varepsilon_n \tag{3.2d}$$

f_{ci} i'nci segmentteki beton basınç veya çekme gerilmesini; h_i i'nci segment yüksekliğini; b_w kiriş kesit genişliğini; A_j ve A_k basınç bölgesinde j'nci ve k'ncı sıradaki çelik ve/veya FRP donatı alanını; A_m ve A_n çekme bölgesinde m'nci ve n'nci sıradaki çelik ve/veya FRP donatı alanını; E_j ve E_k basınç bölgesinde j'nci ve k'ncı sıradaki çelik ve/veya FRP donatıların elastisite modülünü; E_m ve E_n çekme bölgesinde m'nci ve n'nci sıradaki çelik ve/veya FRP donatıların elastisite modülünü göstermektedir.

Tarafsız eksen derinliği Denklem 3.2'de verilen ifadeler dikkate alınmak suretiyle yeterli yakınsama kriteri sağlanacak şekilde iteratif olarak belirlenmektedir. Yakınsama kriteri ϵ için bu çalışmada $1x10^{-8}$ değeri esas alınmıştır (Denklem (3.3)).

$$\frac{|\sum F|}{|F_c|} \leq \epsilon \tag{3.3a}$$

$$\left| \frac{P_i^n - P_i^{n-1}}{P_i^n} \right| \leq \epsilon \tag{3.3b}$$

n iterasyon numarası ve P_i^n (i=1-6) n'nci iterasyon için sistemdeki her bir elemanın uç kuvvetidir.

Beton basınç lifindeki maksimum birim kısalma için moment - eğrilik ifadeleri Denklem (3.4)'te verilen şekilde hesaplanmaktadır.

$$\phi_M = \frac{\varepsilon_c}{x} \tag{3.4a}$$

$$M = \sum_{i=1}^{n} F_{ci}\,(x - x_i) + (T_m)(x - d_m) + (T_n)(x - d_n) + (C_j)(x - d_j) + (C_k)(x - d_k) \tag{3.4b}$$

F_{ci} *i*'nci segmentin merkezinde beton basınç veya çekme kuvvetidir.

Bu yaklaşımla her bir kiriş kesiti için moment-eğrilik ilişkisi elde edilmektedir. Kiriş elemanının herhangi bir kesitindeki rijitliği, verilen yükleme ve mesnetlenme koşulları altında yapılan analizinden hesaplanan moment değerlerine karşılık gelen eğrilik dikkate alınarak elde edilebilmektedir. Elemanın herhangi bir kesitindeki etkili eğilme rijitliği Dündar ve arkadaşları (2015) tarafından geliştirilen Denklem (3.5)'deki gibi ifade edilmektedir.

$$\frac{1}{E_c I_{eff}} = \frac{1}{E_c I_{cr}}\left[1 - (1 - \frac{\varphi_M}{M})E_c I_{cr}\right] \le \frac{1}{E_c I_g} \tag{3.5}$$

Bu çalışmada eleman rijitlik matrisini elde etmek ve herhangi bir kesitteki deplasmanı hesaplamak üzere literatürdeki mevcut yarı ampirik etkili rijitlik modelleri yerine Denklem (3.5) kullanılmaktadır. Moment-eğrilik ilişkisine ait eğri taşıma gücü moment kapasitesi değerine kadar hesaplandığından, yük - deplasman ilişkisini belirlemek üzere yapılan analizler sırasında uygulanacak momentin, bu değeri aşmaması gerekmektedir.

Analitik yöntemde malzemeler ile ilgili olarak aşağıdaki kabuller esas alınmıştır.

3.2.1. Malzeme İçin Matematiksel Modeller

Herhangi bir problemin çözümünde, gerilme veya kuvvet cinsinden ifade edilen denge denklemleri ile deformasyon türünden ifade edilen uygunluk denklemleri arasındaki ilişki, malzemelerin gerime−birim deformasyon ($\sigma-\varepsilon$) ilişkisi kullanılarak elde edilmektedir. Problemin çözümünde malzemelerin $\sigma-\varepsilon$ ilişkilerini hesaplara kolay yansıtabilmek amacı ile deneyden elde edilen $\sigma-\varepsilon$ eğrileri idealize edilerek matematiksel ifadelere dönüştürülmektedir. Böylece matematiksel olarak ifade edilip basitleştirilen $\sigma-\varepsilon$ eğrileri matematiksel model adını almaktadır.

3.2.1.1. Betonda Çekme Rijitleşmesi ve Matematiksel Modeli

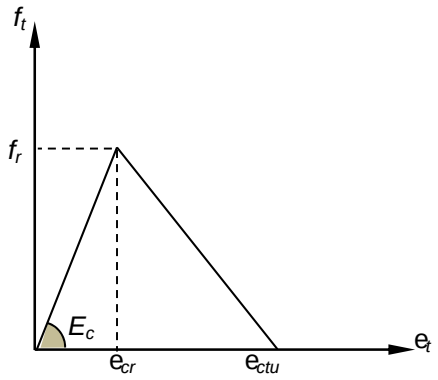
Kirişlerde çekme rijitleşmesi etkisi, eğilme davranışı altında betonarme elemanda ilk çatlamadan hemen sonra komşu iki çatlak arasında kalan betonun, donatı ile olan aderansı nedeniyle çekme bölgesindeki mevcut gerilmenin taşınmasına katkı sağlaması olarak tanımlanmaktadır (Ünsal ve arkadaşları, 2016). Aynı zamanda elemanın eğilme rijitliğine de sağladığı katkı nedeniyle bu etki, özellikle düşük donatı oranına sahip kiriş kesitlerinde çatlamanın ilk aşamalarında moment - eğrilik ilişkisine yön vermekte ve yük altında eğilme davranışını önemli ölçüde etkilemektedir. Bu çalışmada betonun çekmede gerilme – birim deformasyon ilişkisi olarak iki bölgeli doğrusal çekme rijitleşmesi modeli esas alınmıştır. Şekil 3.2 ve Denklem (3.6)'da görüldüğü üzere iki bölgeli doğrusal çekme rijitleşmesi modelinde çekme rijitleşmesini α_{ts} parametresi kontrol etmektedir. ε_{ctu} kırılma anındaki birim deformasyon olup (ε_{cr}) çatlama anındaki birim deformasyon değerinin α_{ts} parametresi ile çarpılması sonucu elde edilmektedir. Çalışmada çekme rijitleşmesi parametresi $\alpha_{ts}=5$ alınmıştır.

$$f_t = E_c \varepsilon_t \quad \varepsilon_t \leq \varepsilon_{cr} \tag{3.6a}$$

$$f_t = f_r - \frac{f_r}{\varepsilon_{ctu} - \varepsilon_{cr}} (\varepsilon_t - \varepsilon_{cr}), \quad \varepsilon_{ctu} \geq \varepsilon_t \geq \varepsilon_{cr} \tag{3.6b}$$

$$\varepsilon_{ctu} = \alpha_{ts} \varepsilon_{cr} \tag{3.6c}$$

Denklem (3.6)'da f_t betonun çekme gerilmesini, E_c betonun elastisite modülünü, f_r ise betonun çatlama dayanımını göstermektedir.



Şekil 3.2 İki bölgeli doğrusal çekme rijitleşmesi modeli

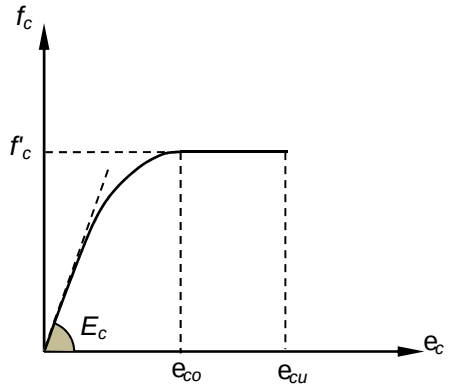
3.2.1.2. Betonun Basınç Gerilme – Birim Deformasyon İlişkisi

Beton homojen olmayan bir yapı malzemesi olduğundan $\sigma-\varepsilon$ ilişkisi çok sayıda değişkenden etkilenmektedir. Bu nedenle beton için $\sigma-\varepsilon$ ilişkisini tek bir model ile tanımlamak olanaksızdır. Literatürde beton için $\sigma-\varepsilon$ ilişkisini belirleyen çeşitli modeller bulunmaktadır. Ele alınan çalışmada önerilen yöntemde, elemanın beton basınç bölgesinde kullanılan modeller aşağıda tanımlanmaktadır.

3.2.1.2.(1). CEB Modeli

CEB Yönetmeliği tarafından verilen modelde gerilme−birim deformasyon ilişkisi, eğrinin tepe noktasına kadar olan kısım parabol, tepe noktasından sonra

maksimum birim deformasyon değerine kadar (ε_{cu}) olan kısmı sabit olarak tanımlanmaktadır. Modelde maksimum gerilme yaklaşık olarak beton silindir basınç dayanımının %85'i olarak kabul edilmekte ($f'_c=0.85f_{ck}$) ve buna karşılık gelen birim kısalma (ε_{co}) 0.002, maksimum birim deformasyon değeri (ε_{cu}) 0.0035 olarak alınmaktadır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 Beton basınç bölgesinde gerilme- birim deformasyon dağılımı için CEB-FIB modeli

CEB modelini ifade eden denklemler;

$$f_c = f'_c\left[\frac{2\varepsilon_c}{\varepsilon_{co}} - \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{co}}\right)^2\right] \qquad \varepsilon_c \le \varepsilon_{co} \tag{3.7a}$$

$$f_c = f'_c \qquad \varepsilon_{co} \le \varepsilon_c \le \varepsilon_{cu} \tag{3.7b}$$

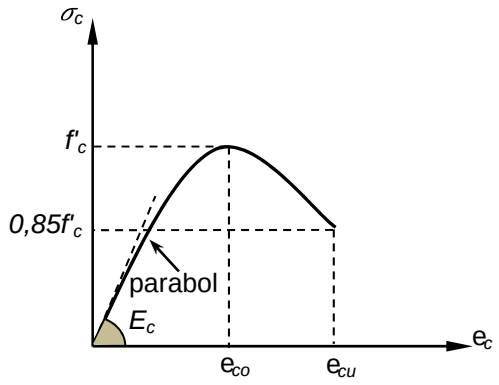
olarak tanımlanmaktadır. Çalışmada, Bölüm 4'te verilen yük – deplasman ilişkilerini teorik olarak elde etmek üzere yapılan analizlerde CEB (1990) modeli kullanılmıştır.

3.2.1.2.(2). Hognestad Modeli (HOG)

Hognestad tarafından önerilen ve beton basınç bölgesi için yaygın olarak kullanılan modelde, betonun $\sigma-\varepsilon$ ilişkisi eğrinin tepe noktasına kadar ikinci dereceden parabol, azalan parçası ise doğrusal varsayılmıştır. Modelde maksimum

gerilme genelde beton silindir basınç dayanımının %85'i olarak alınır ($f'c=0.85f_{ck}$). Maksimum gerilmeye karşılık gelen birim kısalma, $\varepsilon_{co}=2f'_c/E_c$ olarak verilmişse de basit olarak bu değer 0.002 alınabilmektedir. Modelde kırılmaya karşılık gelen maksimum birim deformasyon değeri, $\varepsilon_{cu}=0.0038$ varsayılmaktadır (Şekil 3.4). Hognestad modelinde betonun elastisite modülü için Denklem (3.8) önerilmektedir:

$$E_c = 12680 + 460f'_c \quad (\text{MPa}) \tag{3.8}$$



Şekil 3.4 Hognestad modeli

Parabolik Kısım:

$$\sigma_c = f_c\left[\frac{2\varepsilon_c}{\varepsilon_{co}} - \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{co}}\right)^2\right] \tag{3.9}$$

Doğrusal Kısım:

$$\sigma_c = f_c \left[1 - 0{,}15\left(\frac{\varepsilon_c - \varepsilon_{co}}{\varepsilon_{cu} - \varepsilon_{co}}\right)^2\right] \qquad (3.10)$$

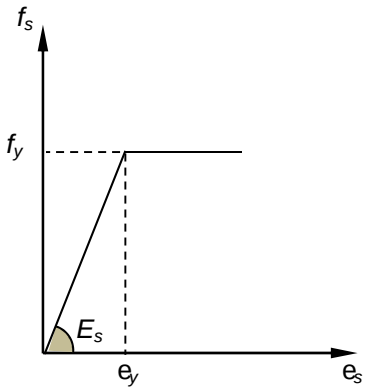
olarak tanımlanmaktadır. Burada f_c beton basınç dayanımı; ε_{co} maksimum gerilmeye karşılık gelen birim kısalma; ε_{cu} kırılma anındaki birim kısalma ve ε_c betondaki birim kısalmayı göstermektedir.

3.2.1.3. Çelik Donatı İçin Matematiksel Model

Çeliğin gerilme- birim deformasyon ilişkisi için, Şekil 3.5'te verilen ve Denklem (3.11) ile tanımlanan elasto-plastik malzeme modeli kullanılmıştır.

$$f_s = E_s \varepsilon_s \leq f_y \qquad (3.11)$$

Denklem (3.11)'de f_s ve ε_s sırasıyla çeliğin gerilme ve birim deformasyonunu, E_s ve f_y ise çeliğin elastisite modülü ve akma gerilmesini göstermektedir.



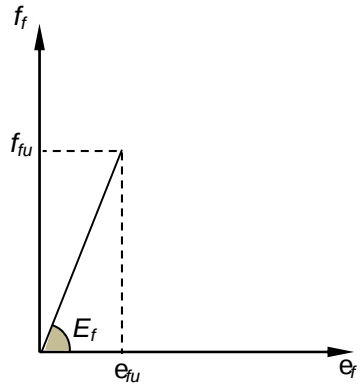
Şekil 3.5 Çeliğin gerilme- birim deformasyon ilişkisi

3.2.1.4. Lifli Polimer (FRP) Donatı İçin Matematiksel Model

FRP donatının gerilme- birim deformasyon ilişkisi Şekil 3.6'da görüldüğü gibi kopma anına kadar lineer elastik alınmış ve Denklem (3.12) ile tanımlanmıştır.

$$f_f = E_f \varepsilon_f \qquad \varepsilon_f \leq \varepsilon_{fu} \tag{3.12}$$

Denklem (3.12)'de f_f ve ε_f sırasıyla FRP donatısındaki gerilme ve birim deformasyonu; E_f FRP donatısının elastisite modülünü ve ε_{fu} kopma anındaki birim deformasyonunu göstermektedir. Çalışma kapsamında yapılan analizlerde GFRP donatının basınç bölgesindeki katkısı ihmal edilmiştir.

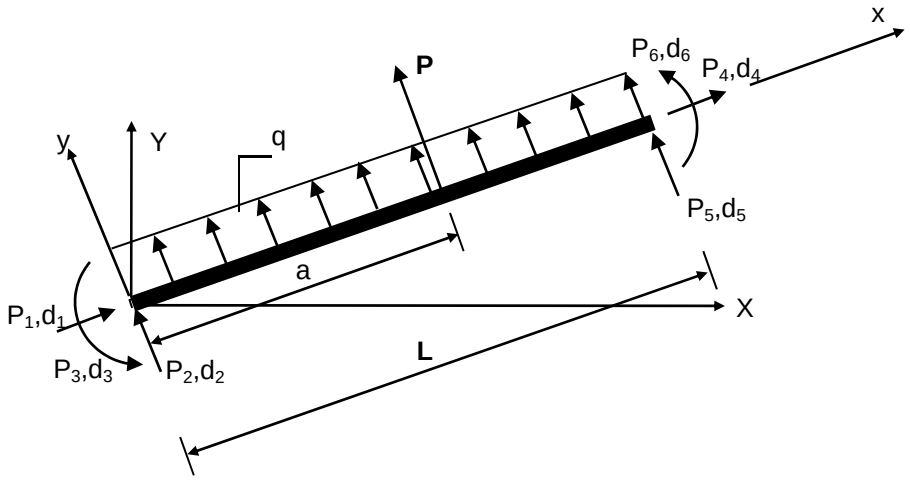


Şekil 3.6. FRP donatısının gerilme- birim deformasyon ilişkisi

3.3. Çatlamadan Sonra Eleman Rijitlik Matrisi

Tekil ve yayılı yük altındaki tipik bir elemanın pozitif uç kuvvetleri ve karşılık gelen deplasmanlar Şekil 3.7'de görülmektedir.

Genel olarak düzlem bir eleman için esneklik katsayıları konsol bir kiriş elemanına ilgili yönlerde birim kuvvetler uygulanılarak elde edilmektedir (Şekil 3.8). Uygunluk şartları ile Denklem (3.13)'deki matris eşitliği elde edilmektedir.



Şekil 3.7. Düzgün yaylı yük ve tekil yüklerden dolayı bir elemanda oluşabilecek uç deplasmanlar ve bunlara karşılık gelen kuvvetler



Şekil 3.8. Düğüm deplasmanları hesabı için konsol kiriş modeli

$$\begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_{11} & 0 & 0 \\ 0 & f_{22} & f_{23} \\ 0 & f_{32} & f_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \end{bmatrix} \qquad (3.13)$$

f_{ij}, j doğrultusunda bir birimlik kuvvet uygulanması sonucu i doğrultusunda oluşan deplasman olup, Denklem (3.14 ve 3.15)'te görüldüğü gibi virtüel iş prensibinden yararlanılarak elde edilmektedir.

$$f_{11}=\frac{L}{E_c A} \tag{3.14a}$$

$$f_{ij}=\int_0^L \frac{M_i M_j}{E_c I_{eff}}\,dx+\int_0^L \frac{V_i V_j}{\overline{G}_c A}\,s\,dx \quad (i,j=2,3) \tag{3.14b}$$

$$M_2(x)=x \;\; ; \qquad V_2(x)=1 \tag{3.15a}$$

$$M_3(x)=-1 \;\; ; \qquad V_3(x)=0 \tag{3.15b}$$

Esneklik katsayıları, Denklem (3.15)'te verilen ifadelerin Denklem (3.14)'te yerine konulmasıyla Denklem (3.16)'deki gibi elde edilmektedir.

$$f_{22}=\frac{1}{E_c}\int_0^L \frac{x^2}{I_{eff}}dx+\frac{s}{A}\int_0^L \frac{1}{\overline{G}_c}dx \tag{3.16a}$$

$$f_{23}=\frac{1}{E_c}\int_0^L \frac{x}{I_{eff}}dx=f_{32} \tag{3.16b}$$

$$f_{33}=\frac{1}{E_c}\int_0^L \frac{1}{I_{eff}}dx \tag{3.16c}$$

Denklem (3.14)'deki (Mi, Vi) ve (Mj, Vj) ifadeleri sırasıyla, i ve j doğrultusunda uygulanan birim kuvvetten dolayı oluşan eğilme momentini ve kesme kuvvetini; E_c betonun elastisite modülünü; A ve s kesit alanı ve şekil katsayısını; $\overline{G_c}$ çatlamadan sonra etkili kayma modülünü göstermektedir. Literatürde $\overline{G_c}$ için mevcut olan üç farklı model aşağıda verilmektedir.

Al-Mahaidi (1978):

$\varepsilon_1 \geq \varepsilon_{cr}$ durumu için $\qquad \overline{G}_c=\dfrac{0.4G_c}{\varepsilon_1/\varepsilon_{cr}}$ (3.17a)

$\varepsilon_l < \varepsilon_{cr}$ durumu için $\overline{G}_c = G_c$ (3.17b)

G_c çatlamamış kesitte elastik kayma modülünü; ε_l ilgili kesitteki çekme birim deformasyonu; ε_{cr} ise çatlama anındaki çekme birim deformasyonu ifade etmektedir.

***Cedolin ve Poli** (1977)*:

$$\overline{G}_c = 0.24\, G_c\, (1-250\, \varepsilon_l) \tag{3.18}$$

***Yuzugullu ve Schnobrich** (1973)*:

$\overline{G}_c = 0.25\, G_c$ derin kirişler için (3.19a)

$\overline{G}_c = 0.125\, G_c$ perdeli ve perdeli – çerçeveli sistemler için. (3.19b)

Denklem (3.13)'deki matris eşitliği ve denge denklemleri ile çatlamış durumda eleman rijitlik matrisi elde edilmektedir.

Açıklıktaki dış yüklerden dolayı farklı doğrultularda meydana gelecek deplasmanlar, virtüel iş prensibi yardımıyla integral formunda Denklem (3.20)'deki gibi elde edilmektedir.

$$f_{10} = 0 \tag{3.20a}$$

$$f_{i0} = \int_0^L \frac{M_i\, M_0}{E_c\, I_{eff}}\, dx + \int_0^L \frac{V_i\, V_0}{\overline{G}_c\, A}\, s\, dx \qquad (i=2,3) \tag{3.20b}$$

Açıklıktaki dış yüklerden dolayı i doğrultusunda meydana gelen deplasmanlar (M_0 ve V_0) ifadelerinin Denklem (3.20b)'de yerine konulmasıyla aşağıdaki gibi elde edilmektedir.

$$M_0(x) = \begin{cases} \dfrac{q x^2}{2}, & 0 \le x \le a \\ \dfrac{q x^2}{2} + P(x - a), & a < x \le L \end{cases} \tag{3.21a}$$

$$V_0(x) = \begin{cases} q x, & 0 \le x \le a \\ q x + P, & a < x \le L \end{cases} \tag{3.21b}$$

$$f_{20} = \frac{q}{2E_c}\int_0^L \frac{x^3}{I_{eff}}dx + \frac{q s}{A}\int_0^a \frac{x}{\overline{G}_c}dx + \frac{P}{E_c}\int_a^L \frac{x(x - a)}{I_{eff}}dx + \frac{s}{A}\int_a^L \frac{(q x + P)}{\overline{G}_c}dx$$

(3.22a)

$$f_{30} = -\frac{q}{2E_c}\int_0^L \frac{x^2}{I_{eff}}dx - \frac{P}{E_c}\int_a^L \frac{(x - a)}{I_{eff}}dx \tag{3.22b}$$

Tekil ve yayılı yük durumu için eleman uç kuvvetleri, uygunluk ve denge denklemleri yardımıyla aşağıdaki gibi elde edilmektedir.

$$P_{10} = P_{40} = 0 \tag{3.23a}$$

$$P_{20} = -(f_{33}\, f_{20} - f_{23}\, f_{30}) / (f_{22}\, f_{33} - f_{23}\, f_{32}) \tag{3.23b}$$

$$P_{30} = -(f_{22}\, f_{30} - f_{23}\, f_{20}) / (f_{22}\, f_{33} - f_{23}\, f_{32}) \tag{3.23c}$$

$$P_{50} = -(q\, L + P + P_{20}) \tag{3.23d}$$

$$P_{60} = -[-q\, L^2/2 - P\,(L-a) - P_{20}\, L + P_{30}] \tag{3.23e}$$

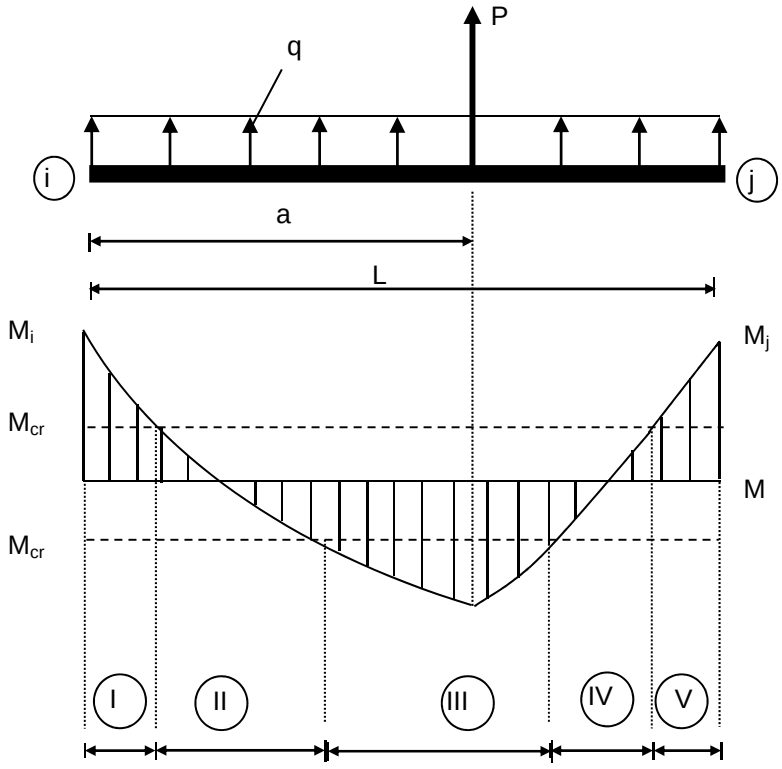
Sonuç olarak eleman rijitlik matris denklemi aşağıdaki gibi elde edilmektedir.

$$\underline{k}\ \ \underline{d} + \underline{P}_0 = \underline{P} \tag{3.24}$$

$\underline{k}$ (6x6) boyutlu eleman rijitlik matrisi; $\underline{d}$ (6x1) boyutlu deplasman vektörü, $\underline{P}_0$ (6x1) boyutlu dış kuvvetlerden oluşan uç kuvvet vektörü ve $\underline{P}$ (6x1) boyutlu sonuç uç kuvvet vektörü değerleridir. Bu değerler eleman eksen takımında (x,y) olup, transformasyon matrisi aracılığı ile global eksen takımına (X,Y) çevrilmektedirler.

Kiriş elemanlarda oluşabilecek çatlayan ve çatlamayan bölgeler elemanın mesnetlenme şekline ve yük durumuna bağlı olmakla birlikte, oluşabilecek bu bölgeler genel olarak Şekil 3.9'da gösterilmiştir.

$M > M_{cr}$ olan çatlamış bölgelerde I_{eff} ve bölge boyunca M ile birlikte değişmekte olduğundan, sayısal integrasyon tekniği ile her bölge için Denklem (3.14 ve 3.20)'deki integral işlemleri uygulanır (Tanrıkulu ve arkadaşları, 2000). Çatlamış bölgelerde efektif atalet momenti ve etkili kayma modülünün değişimi, yapıda yeniden moment dağılımını gerektirmektedir. Bu yüzden yapıdaki son iç kuvvetleri ve deplasmanları elde etmek için iterasyona dayalı bir prosedür gerekmektedir.



I – III – V çatlayan bölgeler
II – IV çatlamayan bölgeler

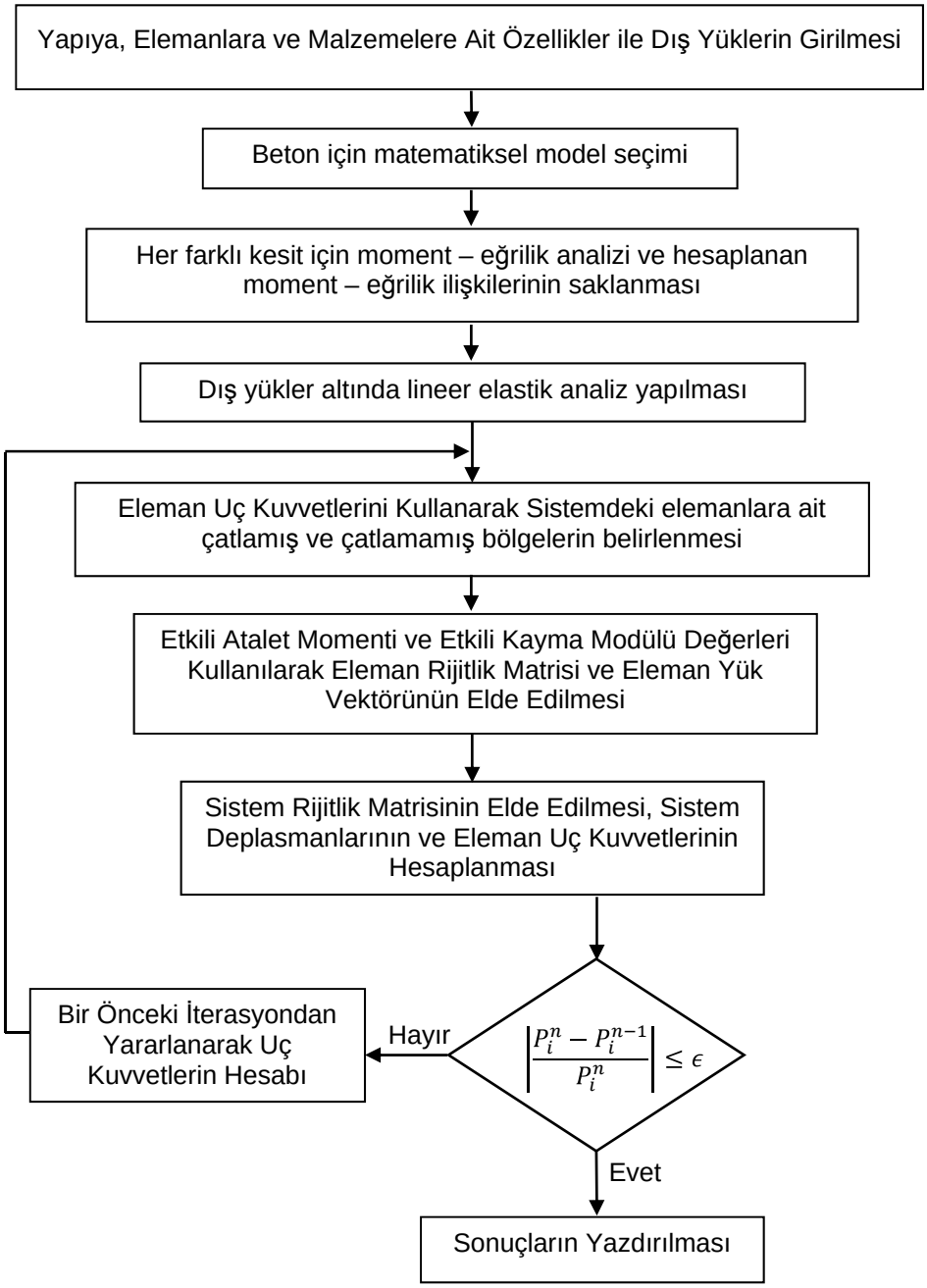
Şekil 3.9. Genel olarak bir kiriş elemanda eğilme momenti nedeniyle oluşan çatlamış ve çatlamamış bölgeler

3.4. Yöntemin Algoritması

Hibrit donatılı betonarme sürekli kirişlerin çatlama etkisi göz önünde bulundurularak yük – deplasman davranışlarını belirlemek üzere geliştirilen bilgisayar programına ait sayısal yöntem ve yapılan analizler için esas alınan kabuller aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

1. Eleman dikdörtgen kesitli olup FRP veya çelik donatılar kesitte çekme veya basınç bölgesinde, tek veya iki sıra halinde tanımlanabilmektedir.
2. Donatılara çekme veya basınç durumları için farklı elastisite modülleri, akma ve kopma gerilmeleri tanımlanabilmektedir.
3. Beton basınç ve çekme bölgelerinde gerilme – birim deformasyon ilişkisi için herhangi bir matematiksel model kullanılabilmektedir. Bu çalışmada CEB ve iki bölgeli doğrusal çekme rijitleşmesi modeli kullanılmıştır.
4. Hesaplarda çekme rijitleşmesi parametresi $\alpha_{ts} = 5$ olarak alınmıştır.
5. Donatı çeliği için elasto-plastik, FRP donatılar için lineer elastik gerilme – birim deformasyon modeli kullanılmıştır. Yapılan analizlerde GFRP donatının basınç bölgesindeki katkısı ihmal edilmiştir.
6. Çatlamış durumdaki eleman rijitliklerinin hesabında moment – eğrilik ilişkilerinden faydalanılmaktadır.
7. Analiz edilen sistem tek veya çok açıklıklı olabilmekte, kirişler tekil veya üniform olarak yüklenebilmektedir.
8. Tekil yükler yük artım döngüsü ile istenilen seviyeye kadar artırılarak analiz yapılabilmektedir.
9. Elemanlar üç adet çatlamış ve iki adet çatlamamış bölgeye ayrılmakta, her bölgenin eleman rijitliğine katkısı sayısal integrasyon tekniği ile hesaplanmaktadır.
10. Sistemdeki farklı her bir kesit için moment taşıma gücü kapasitesine kadar moment - eğrilik ilişkileri hesaplanmaktadır. Moment-eğrilik ilişkilerinin hesabı Bölüm 3.2'de; nokta deplasmanlarının ve eleman uç kuvvetlerinin nasıl hesaplandığı Şekil 3.7'de verilmektedir. Sayısal yöntemde Denklem (3.3)'te verilen yakınsama kriteri sağlanıncaya kadar iterasyonlara devam edilmektedir.

Sayısal yönteme ait algoritmanın akış şeması Şekil 3.10'da verilmektedir.



Şekil 3.10. Yönteme ait algoritmanın akış şeması

4. BETONARME KİRİŞ DENEY ÇALIŞMASI

4.1. Giriş

Bu bölümde, Çukurova Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Laboratuvarında hazırlanan GFRP ve hibrit (GFRP-çelik) donatılı betonarme sürekli kirişlerin, eğilme yükü altında teste tabi tutulduğu deneysel çalışma sunulmaktadır. Deneysel çalışmanın amacı, hibrit (GFRP-çelik) donatılı betonarme kirişlerin eğilme etkisi altında yük deplasman davranışının incelenmesidir. Çalışmada, test edilen kirişlere yükleme kısa süreli olarak uygulanmakta ve bu yükleme altında elemanın yük−deplasman ilişkisi elde edilmektedir.

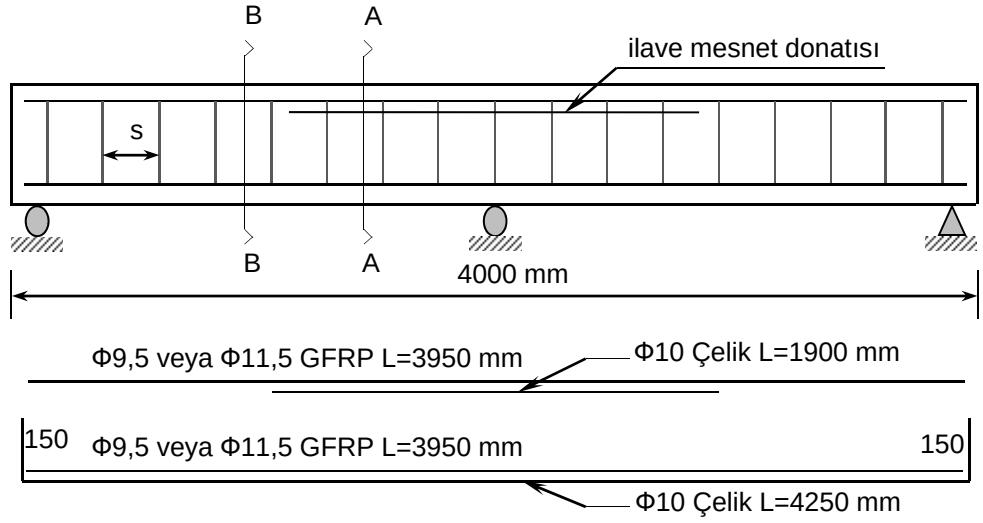
Kiriş numuneleri iki açıklıklı sürekli kiriş şeklinde mesnetlenerek ve her iki açıklık ortasından düşey yönde yüklenerek eğilme testine maruz tutulmaktadır. Hazırlanan deney numuneleri aynı boy ve kesit ölçülerine sahip olarak tasarlanmış olup, FRP ve çelik donatı oranları değişken tutulmuştur.

Deney sırasında test edilen numuneye yükleme belirli bir hızda uygulanmakta ve kısa süreli yükleme sonucunda numune taşıma gücü değerine ulaşmaktadır. Yükleme sırasında kiriş açıklık ortasında meydana gelen deplasmanlar ile yük değerleri okunarak kaydedilmektedir. Böylece numuneye ait yük−deplasman ilişkisi elde edilmektedir.

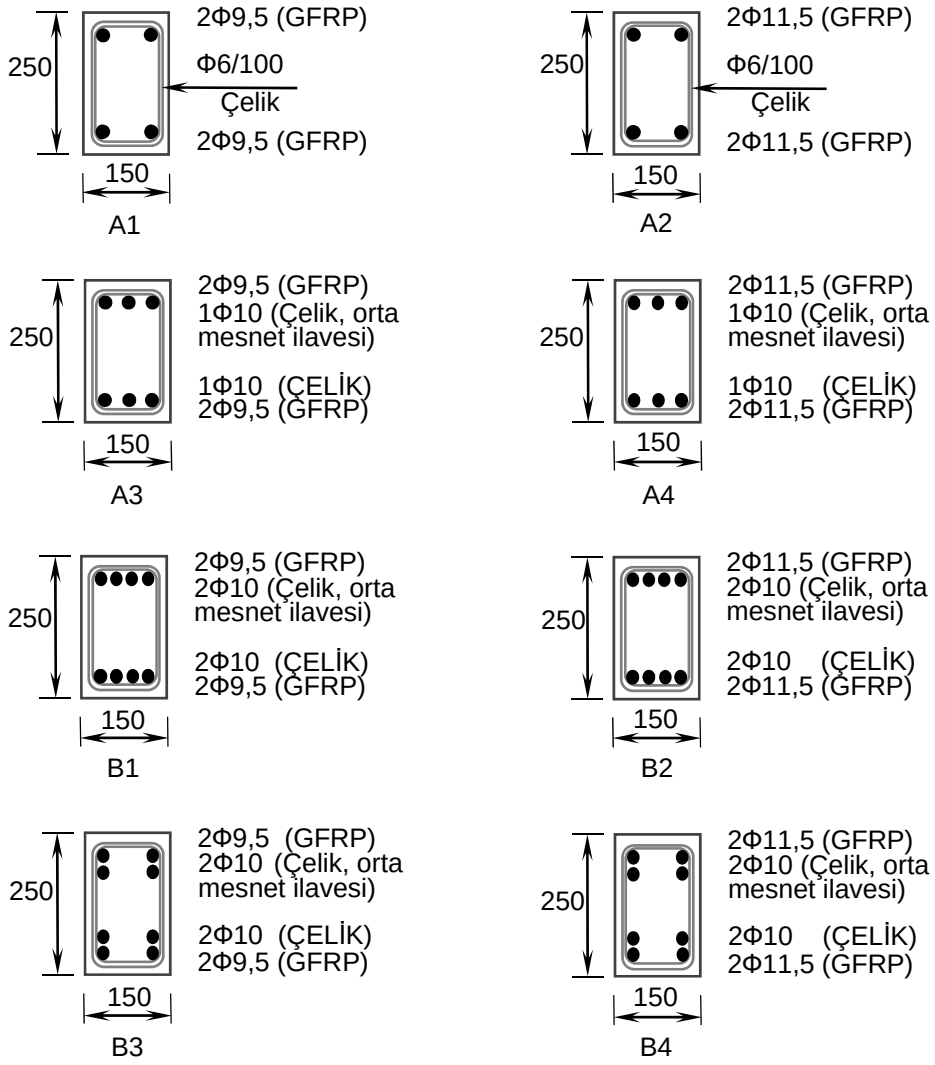
Eğilme yükü altında taşıma gücü kapasitesine ulaşan numune, mesnetteki ve açıklık ortasındaki çekme bölgesinde çatlama, açıklık ortasındaki beton basınç bölgesinde ezilme ile kırılmaktadır. Bu durum numunelerin öngörülen tasarıma uygun davrandığını göstermektedir.

4.2. Deney Numuneleri

Deneysel çalışmada, dikdörtgen kesitli toplam sekiz adet kiriş numunesi hazırlanmış olup numune kesit detayları Şekil 4.1'de verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 4.1. Sürekli kiriş numune detayı ve kiriş A-A kesitleri

4.3. Deneyde Kullanılan Malzemeler ve Numune Hazırlanışı

Deneysel çalışma için hazırlanan numunelerde aşağıda sıralanan temel betonarme malzemeleri kullanılmıştır:

a) Normal dayanımlı beton

b) Normal nervürlü inşaat demiri

c) Soğukta çekilmiş nervürlü inşaat demiri

d) Cam lifli polimer donatı (GFRP)

4.3.1. Beton

Betonarme elemanların tasıma gücü kapasitesi ve yükleme altında göstermiş olduğu davranış üzerinde etkili parametrelerden biri, betonun silindir basınç dayanımıdır (f_c). Silindir basınç dayanımı, Türk Standartları tarafından kabul edilen 150×300 mm standart silindir numunelerin eksenel basınç altında test edilmesiyle elde edilmektedir. Betonun silindir basınç dayanım değeri, teste tabi tutulan silindir numuneye etki eden yükün maksimum değerinin silindir kesit alanına bölünmesi ile elde edilmektedir (Tokgöz, 2006). Ayrıca betonun gerilme−birim deformasyon ilişkisi, silindir numunelerin eksenel basınç altında denenmesinden elde edilen gerilme−birim deformasyon ilişkisine benzediğinden, kiriş numunelerine ait beton gerilme−birim deformasyon ilişkisi deneysel olarak silindir numunelerden elde edilebilmektedir.

Deney çalışmasının en önemli malzemelerinden olan betonun hazırlığında tüm numuneler için Normal Portland çimentosu, maksimum çapı A grubu numuneler için 22,4 mm ve B grubu numuneler için 16 mm olan yerel agrega ve iyi derecelenmiş kum kullanılmıştır. Çizelge 4.1'de hazırlanan numunelerin 1 m^3 beton karışımı için malzeme ağırlıkça değerleri ve su/çimento oranı miktarları verilmiştir.

Çizelge 4.1. Deney numunelerinin $1m^3$ beton karışım ağırlıkça değerleri

Numuneler	**Kum (kg/m^3)**	**Çakıl (kg/m^3)**	**Su (kg/m^3)**	**Çimento (kg/m^3)**	**Su/Çimento Oranı**
A Grubu	933	919	166	273	0,60
B Grubu	1055	813	170	340	0,50

A ve B grupları için ayrı ayrı olmak üzere beton silindir basınç dayanımını belirlemek için 4 adet silindir numune; yarmada çekme dayanımını belirlemek için 3 adet silindir numune ve eğilmede çekme dayanımını belirlemek için 2 adet prizmatik numune beton karışımından alınarak kür edilmiştir. Silindir numuneler 150 mm çapında ve 300 mm yüksekliğinde, prizmatik numuneler ise 100 mm x 100 mm x 500mm boyutlarındadır. Kiriş numunelerin eğilme testine tabi tutulduğu gün, kiriş numunelere ait silindir ve prizmatik numuneler de, daha sonra analizde kullanılacak olan beton basınç ve çekme dayanım değerlerinin belirlenmesi ve numuneye ait beton gerilme−birim deformasyon ilişkilerinin deneysel olarak elde edilmesi amacıyla silindir basınç, silindir yarma ve eğilmede çekme testlerine tabi tutulmuşlardır (Resim 4.1). Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3'te A ve B grubu için silindir ve prizmatik numunelere ait test dayanım değerleri verilmektedir. A ve B grupları için beton silindir basınç testinden elde edilen gerilme-birim deformasyon ilişkileri grafik ortamda Şekil 4.2'de sunulmaktadır.



(a)



(b)



(c)

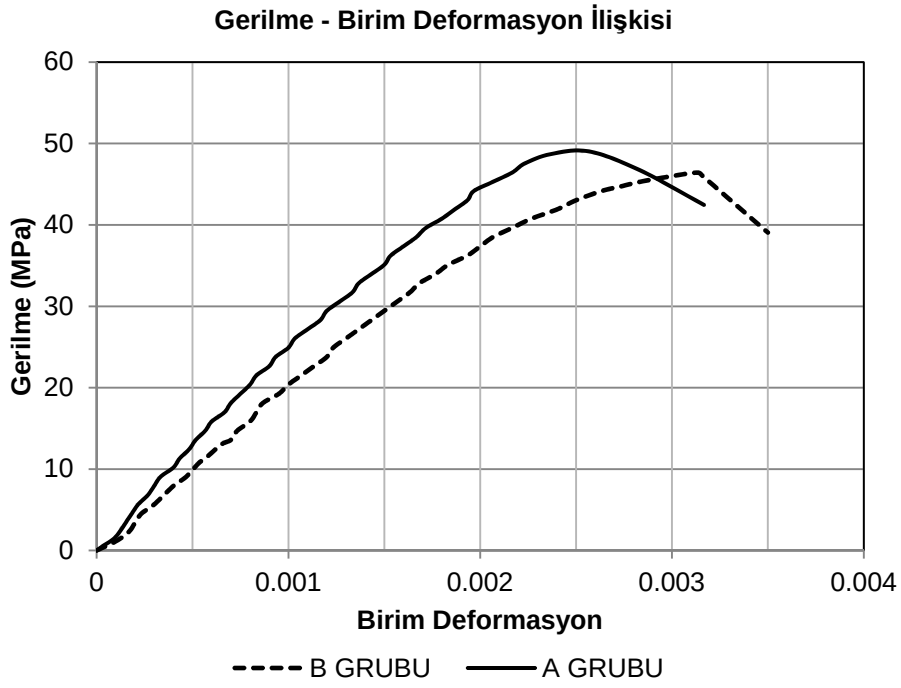


(d)



(e)

Resim 4.1. A ve B grubu için beton silindir basınç, yarmada çekme ve eğilmede çekme dayanım testleri



Şekil 4.2. A ve B grupları için beton silindir basınç testinden elde edilen gerilme-birim deformasyon ilişkileri

Çizelge 4.2. A ve B grubu için beton silindir basınç dayanım testi sonuçları

Numune ismi	**Döküm Tarihi**	**Deney Tarihi**	**Basınç Dayanımı (MPa)**
A-1.Silindir Numune	06/04/2016	07/06/2016	49,1
A-2.Silindir Numune	06/04/2016	07/06/2016	46,5
A-3.Silindir Numune	06/04/2016	07/06/2016	47,8
A-4.Silindir Numune	06/04/2016	07/06/2016	47,4
A Grubu Ortalama Silindir Basınç Dayanımı:			**47,7**
B-1.Silindir Numune	06/05/2016	18/07/2016	37,2
B-1.Silindir Numune	06/05/2016	18/07/2016	47,1
B-1.Silindir Numune	06/05/2016	18/07/2016	41,9
B-1.Silindir Numune	06/05/2016	18/07/2016	46,1
B Grubu Ortalama Silindir Basınç Dayanımı:			**43,1**

Çizelge 4.3. A ve B grubu için beton yarmada çekme ve eğilmede çekme dayanım testi sonuçları

Numune ismi	**Eğilmede Çekme Dayanımı (MPa)**	**Yarmada Çekme Dayanımı (MPa)**
A-1.Silindir Numune	-	3,90
A-2.Silindir Numune	-	4,11
A-3.Silindir Numune	-	3,90
A Grubu Ortalama Yarmada Çekme Dayanımı:		**3,97 MPa**
A-1.Prizma Numune	5,71	-
A-2.Prizma Numune	6,92	-
A Grubu Ortalama Eğilmede Çekme Dayanımı:		**6,31 MPa**
B-1.Silindir Numune	-	4,43
B-1.Silindir Numune	-	4,18
B-1.Silindir Numune	-	4,06
B Grubu Ortalama Yarmada Çekme Dayanımı:		**4,22 MPa**
B-1.Prizma Numune	6,47	-
B-2.Prizma Numune	6,33	-
B Grubu Ortalama Eğilmede Çekme Dayanımı:		**6,40 MPa**

Betonarme kiriş numuneleri (A1, A2, A3, A4, B1, B2, B3, B4) hazırlığı aşamasında, tasarımda öngörülen şekilde hazırlanan etriyeli donatılar özenli bir şekilde paspayı verilerek, sac malzemeden özel olarak hazırlatılan kiriş numune kalıbına yerleştirilmiştir (Resim 4.2 ve Resim 4.3). Her bir kiriş numune için hazırlanan beton karışımı kalıba konularak vibratör uygulamak suretiyle sıkıştırılmış ve ilk prizini almaya bırakılmıştır.



Resim 4.2 Kiriş donatıları

4.3.2. Numune Kalıbı

Kiriş numuneleri kalıpları 3 mm et kalınlıklı çelik sac ve profil malzemelerden modüler olarak hazırlanmıştır. Kiriş numune kalıp resmi Resim 4.3'de sunulmaktadır.



Resim 4.3 Betonarme kiriş numune kalıpları

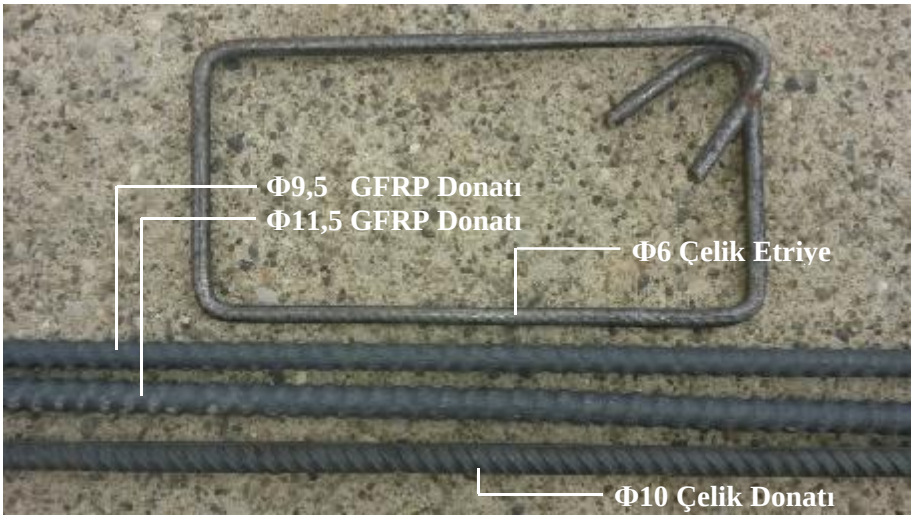
4.3.3. Donatı

Hazırlanan numunelerde Adana Sasaş Demir San. ve Tic. Ltd. Şti. firmasından temin edilen 10 mm çapında ve akma dayanımı 550 MPa olan normal nervürlü donatı ile 6 mm çapında ve akma dayanımı 630 MPa olan soğukta çekilmiş nervürlü donatı kullanılmıştır. 6 mm çapındaki donatılar kiriş numunelerde yeterli sargı etkisini sağlayacak biçimde 10 cm ara ile etriye olarak kullanılmıştır. 10 mm çapındaki donatılar ise kiriş çekme ve basınç bölgesinde boyuna donatılar olarak, mesnet bölgesinde ilave mesnet donatısı olarak kullanılmıştır. ICT İnşaat San. Ve Tic. A.Ş. firmasından temin edilmiş olan 9,5 mm ve 11,5 mm çapındaki nervürlü cam lifli polimer donatıların (GFRP) kopma dayanımı ve elastisite modülünün minimum değerleri üretici firma tarafından sırasıyla 1 GPa ve 50 GPa olarak belirtilmiştir. Şekil 4.1'de kesit ve donatı detayları verilmiş olan kiriş numunelerinde kullanılan boyuna ve ilave donatı

miktarları Çizelge 4.4'te sunulmaktadır. Kullanılan GFRP ve çelik donatılar Resim 4.4'de görülmektedir.

Çizelge 4.4. İki açıklıklı sürekli kiriş deney numunelerinin donatı detayları

Numune		A-A Kesiti		B-B Kesiti	
	Donatı Yeri	**Donatı Miktarı**	**Donatı Cinsi**	**Donatı Miktarı**	**Donatı Cinsi**
A1	Üst	2Φ9,5	GFRP	2Φ9,5	GFRP
	Alt	2Φ9,5	GFRP	2Φ9,5	GFRP
A2	Üst	2Φ11,5	GFRP	2Φ11,5	GFRP
	Alt	2Φ11,5	GFRP	2Φ11,5	GFRP
A3	Üst	2Φ9,5	GFRP	2Φ9,5	GFRP
	Üst İlave	1Φ10	Çelik	-	-
	Alt	2Φ9,5	GFRP	2Φ9,5	GFRP
	Alt	1Φ10	Çelik	1Φ10	Çelik
A4	Üst	2Φ11,5	GFRP	2Φ11,5	GFRP
	Üst İlave	1Φ10	Çelik	-	-
	Alt	2Φ11,5	GFRP	2Φ11,5	GFRP
	Alt	1Φ10	Çelik	1Φ10	Çelik
B1	Üst	2Φ9,5	GFRP	2Φ9,5	GFRP
	Üst İlave	2Φ10	Çelik	-	-
	Alt	2Φ9,5	GFRP	2Φ9,5	GFRP
	Alt	2Φ10	Çelik	2Φ10	Çelik
B2	Üst	2Φ11,5	GFRP	2Φ11,5	GFRP
	Üst İlave	2Φ10	Çelik	-	-
	Alt	2Φ11,5	GFRP	2Φ11,5	GFRP
	Alt	2Φ10	Çelik	2Φ10	Çelik
B3	Üst (1.Sıra)	2Φ9,5	GFRP	2Φ9,5	GFRP
	Üst İlave (2. Sıra)	2Φ10	Çelik	-	-
	Alt (1.Sıra)	2Φ9,5	GFRP	2Φ9,5	GFRP
	Alt (2.Sıra)	2Φ10	Çelik	2Φ10	Çelik
B4	Üst (1.Sıra)	2Φ11,5	GFRP	2Φ11,5	GFRP
	Üst İlave (2. Sıra)	2Φ10	Çelik	-	-
	Alt (1.Sıra)	2Φ11,5	GFRP	2Φ11,5	GFRP
	Alt (2.Sıra)	2Φ10	Çelik	2Φ10	Çelik



Resim 4.4 Kiriş numunelerinde kullanılan GFRP ve çelik donatılar

4.4. Deneysel Çalışmada Kullanılan Aletler

Eğilme testinde kullanılan başlıca aletler aşağıda sıralanmaktadır;

1) Load Cell (Yük ölçer)
2) Transducer (deplasman ölçer) ve çelik sehpa
3) Komparatör (deplasman okuma saati)
4) Strain Gauge
5) ADU aleti, ADU yazılımı ve bilgisayar
6) Data Logger ve Bilgisayar
7) Kamera

Deneysel çalışmada, numune testi sırasında elemana etkiyen yükü tespit etmek için Resim 4.5'de gösterilen Load Cell (yük ölçer) kullanılmıştır. Load Cell 50 ton-f kapasiteli CLE−50−A tipinde, LU2028 seri numaralı olarak Tokyo Sokki Kenkyujo Co. Ltd. firması tarafından üretilmiş olup deney öncesi kalibre edilmiştir.



Resim 4.5 Load Cell

Eğilme yükü altında test edilen sürekli kiriş numunelerinin her iki açıklık ortasında meydana gelen deplasmanları ölçmek için Resim 468'da gösterilen mekanik transducer (deplasman ölçer) aleti kullanılmıştır. Deneysel çalışmada kullanılan iki adet 10 mm stroklu ve bir adet 50 mm stroklu transducerlar, ELE firması tarafından üretilmiştir.



Resim 4.6 Deney çalışmasında kullanılan transducer modelleri

Deney sırasında, yük etkisiyle açıklık ortasında düşey yönde oluşan deplasmanları ölçmek için kullanılan transducerlar, laboratuvarda mevcut olan çelik sehpaların uçlarına monte edilerek numunenin açıklık ortasında ölçüm yapılmak istenen noktaya tatbik edilmişlerdir.

Betonarme sürekli kiriş numunelerin eğilme etkisinde düşey deplasmanlarını ölçmek için kullanılan transducer aletine ek olarak komparatörlerden (deplasman saati) faydalanılmıştır (Resim 4.7). Deney sırasında mekanik deplasman ölçerlerin (transducer) doğru ölçüm aldığını test etmek amacıyla numuneye bir yönde 10^{-2} mm hassasiyetli komparatör tatbik edilmiş ve deney sonucunda transducer tarafından alınan ölçümlerle, komparatör okumalarının bire bir örtüştüğü gözlenmiştir.

Deney çalışmasında yüke karşılık gelen deplasmanları okumak ve yük ve deplasman datalarını elde etmek için Resim 4.8'de gösterilen, ELE firması tarafından MM700 seri numaralı olarak üretilen Data Logger aleti ve bilgisayardan faydalanılmıştır. Data Logger aleti, sekiz kanallı olarak tasarlanmış ve bir bilgisayara bağlanarak geliştirilen yazılımı sayesinde deney sırasında Load Cell ve

Transducer tarafından okunan yük ve deplasmanlar zamana bağlı olarak kaydedilmiştir. Böylece



Resim 4.7 Deney çalışmasında kullanılan komparatör modeli

kiriş testi sırasında yüklemenin başlangıcından numune göçme anına kadar tüm yük ve deplasman değerleri elde edilmiş olmaktadır.



Resim 4.8 Deney çalışmasında kullanılan data logger cihazları

Load Cell, Tokyo Sokki Kenkyujo Co. Ltd firması tarafından üretilen Portable Data Logger (Resim 4.8) aletine bağlanarak, yük değerleri kamera ile kaydedilmektedir. Böylece teste tabi tutulan numuneye ait taşıma gücü değeri kontrollü ve doğru bir şekilde elde edilmiş olmaktadır.

4.5. Deneyin Uygulanışı

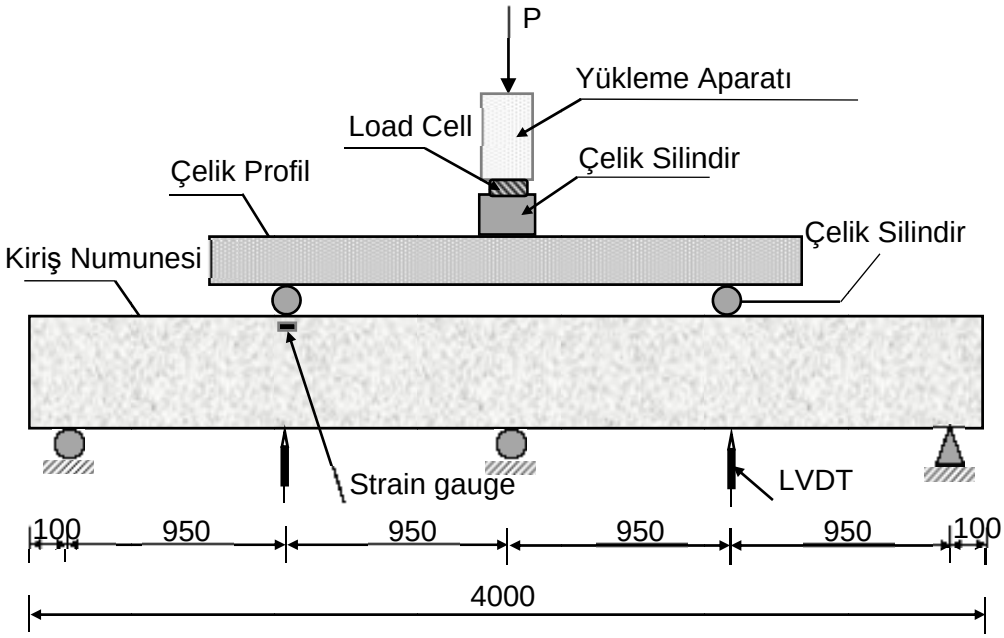
Çukurova Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Laboratuvarında, hibrit (cam lifli polimer ve çelik) donatılı betonarme sürekli kiriş numuneleri (A1, A2, A3, A4, B1, B2, B3, B4) hazırlanarak eğilme testine tabi tutulmuştur. Hibrit donatılı betonarme sürekli kiriş numuneleri test aletine yerleştirilmiş ve her iki açıklık ortasına yükleme kısa süreli ve belirli bir hızda düşey yönde uygulanmıştır.

Betonarme kiriş numuneler yükleme aleti üzerine vinç yardımıyla yerleştirilmektedir. Tek noktadan yapılan yüklemeyi sürekli kirişin her iki açıklık ortasına uygulayabilmek amacıyla yeterli rijitliğe sahip olan IPN 260 çelik profil kullanılmıştır. Load Cell, yükleme aletinin pres başlığı ile IPN 260 profili arasına yerleştirilmiştir (Resim 4.3). Yük değerleri, hidrolik yükleme aletinin ekranından

ve aynı zamanda Load Cell'in bağlanmış olduğu Portable Data Logger'dan okunmakta böylece deney sırasında uygulanan yük değeri kontrollü bir şekilde elde edilmektedir.

Bu aşamadan sonra deney sırasında uygulanan yüke karşılık gelen düşey deplasmanları okumak için sürekli kiriş orta noktaları özenle ölçülüp işaretlenmektedir. Dört adet transducer çelik sehpaların ucuna bağlanarak işaretlenen noktalara yerleştirilmektedir.

Test hazırlığının son aşamasında, betonarme kiriş numunelerin en çok zorlanan noktasındaki kısalma ölçümleri için kiriş açıklık ortasındaki beton basınç bölgesinin üst yan yüzeyine bir adet Strain Gauge yapıştırılmak suretiyle bağlanmaktadır (Şekil 4.3, Resim 4.9 ve Resim 4.10).



Şekil 4.3. Betonarme sürekli kiriş deney düzeneği



Resim 4.9. Betonarme sürekli kiriş deney düzeneği



Resim 4.10. Yüklenen kirişlerde meydana gelen çatlaklar

Hazırlanan tüm numunelerin testinde elemana yükleme belirli bir hızda tatbik edilmiş ve her aşamadaki yük ve yüke karşılık gelen deplasmanlar zamana bağlı olarak data logger aleti ve yazılımı sayesinde bilgisayara ve aynı zamanda Load Cell aracılığı ile kameraya kaydedilmiştir. Tüm deney elemanlarının testinde,

aşamalı olarak uygulanan yükleme sonunda numune taşıma gücü değerine yaklaştıkça sürekli kirişin her iki açıklık ortasında betonda basınç lifinde ezilme, çekme lifinde ise çatlaklar gözlenmektedir. Ayrıca mesnet çekme bölgesinde açıklık ortasına oranla daha kritik çatlaklar meydana gelmektedir (Resim 4.10). Deney sırasında numune yüklemeye başlama aşamasından deney sonuna kadar geçen süre içerisinde tüm yük ve deplasman değerleri bilgisayara ve kameraya kaydedilmiştir.

4.6. Deney Sonuçları

Hibrit donatılı sürekli kirişler hazırlanırken kesitteki çelik donatı alanının GFRP donatı alanına oranı (ρ_{ratio}) ve donatı düzeni değişken tutulmuştur. A3, A4, B1, B2, B3, B4 kiriş numunelerinde ρ_{ratio} sırasıyla 0,55-0,38-1,11-0,76-1,11 ve 0,76 olarak düzenlenmiştir. B3 ve B4 kirişlerinin çekme ve basınç donatıları iki sıra şeklinde düzenlenmiştir (Şekil 4.1). Analizde kullanılan parametrelerden beton basınç dayanımı, çelik donatı akma dayanımı, cam lifli polimer (GFRP) donatı kopma dayanımı ile elastisite modülü ve donatı düzeni deneysel çalışma bölümünde irdelenmiştir.

Test edilen sekiz adet GFRP ve hibrit (GFRP-çelik) donatılı betonarme sürekli kirişlerin deneysel olarak elde edilen yük - deplasman eğrileri, ρ_{ratio} oranı göz önünde bulundurularak karşılaştırma yapmak üzere Şekil 4.4 - Şekil 4.5'de verilmektedir.

Yüklemeler sırasında gözlenen çatlak gelişimi genel olarak beklenen niteliktedir. Hibrit donatılı kiriş numunelerine ait eğrilerin herbirinde farklı eğimlere sahip üç segment gözlenmektedir. Yaklaşık 15 kN yük seviyesinde betonda çatlamanın gerçekleşmesi ve yaklaşık 65 kN yük seviyesinde çelik donatının akması ile kirişlerin eğilme rijitliklerinde düşüş olmakta ve bu durum segmentlerdeki eğimlerde de azalma olarak gözlenmektedir. Çatlamanın gerçekleştiği ana kadar yük – deplasman ilişkisi tüm numunelerde doğrusaldır.

Çatlamadan sonraki bölümde elemanlardaki rijitlik kaybı, donatı düzenine ve miktarına bağlı olarak numuneden numuneye değişmekte ve yük-deplasman eğrilerinin eğiminde farklı oranlardaki düşüşler şeklinde gözlenmektedir. Benzer şekilde, çelik donatının akmasına karşılık gelen ve numuneden numuneye değişmek üzere taşıma gücü yükünün yaklaşık %60-70 seviyelerinden itibaren eğimlerde yine bir azalma gözlenmektedir. Çelik donatının akmasından sonra gözlenen bu davranış, hibrit kesitteki GFRP donatıların elastisite modülünün düşük olması ile açıklanabilir. Buna bağlı olarak A3, B1 ve B3 hibrit donatılı kirişlere ait eğrilerde, son segmentteki eğimlerin hemen hemen eşit olduğu gözlenmektedir. A4, B2 ve B4 numunelerinde de benzer durum gözlenmektedir. Taşıma gücüne yakın yükler altında GFRP donatı ile beton arasında test sırasında gelişen aderans kayıpları ve donatı ile beton arasında mükemmel olduğu kabul edilen aderansın gerçekte mükemmel seviyede gerçekleşmemesi deplasmanlarda artışa neden olabilmektedir.

A1 kirişi sadece GFRP donatılı olup bu kesite açıklıkta ve orta mesnette çekme donatısı olarak 1Φ10 çelik donatı eklemek suretiyle A3 hibrit donatılı kirişi elde edilmiştir. Şekil 4.4'de A1 ile kıyaslama yapıldığında, çelik donatının A3 kirişine dayanım ve rijitlik artışı kazandırdığı gözlenmektedir. Benzer durum Şekil 4.5'de A2 ve A4 kirişleri için de geçerlidir.

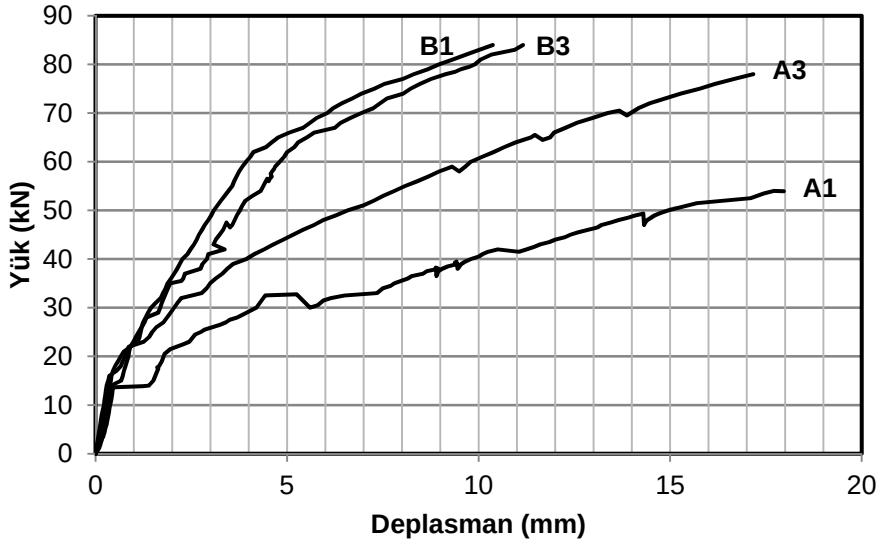
A3 kiriş kesitine açıklıkta ve orta mesnette çekme donatısı olarak 1Φ10 çelik donatı eklemek suretiyle B1 hibrit donatılı kirişi elde edilmiştir. Şekil 4.4'de görüldüğü gibi, kesitte çelik donatı oranındaki artışın, elemana önemli derecede dayanım ve rijitlik artışı sağladığı gözlenmektedir. Benzer durum Şekil 4.5'de A4 ve B2 kirişleri için de geçerlidir.

B1 ve B3 kirişleri aynı çelik ve GFRP donatı alanına sahip olup, B3 kirişinde çelik donatılar gerek açıklıkta gerekse orta mesnette GFRP donatılardan farklı olarak tarafsız eksene daha yakın olan ikinci bir sıraya yerleştrilmişlerdir. Bu düzenlemenin elemanın eğilme performansında bir miktar düşüşe neden olduğu

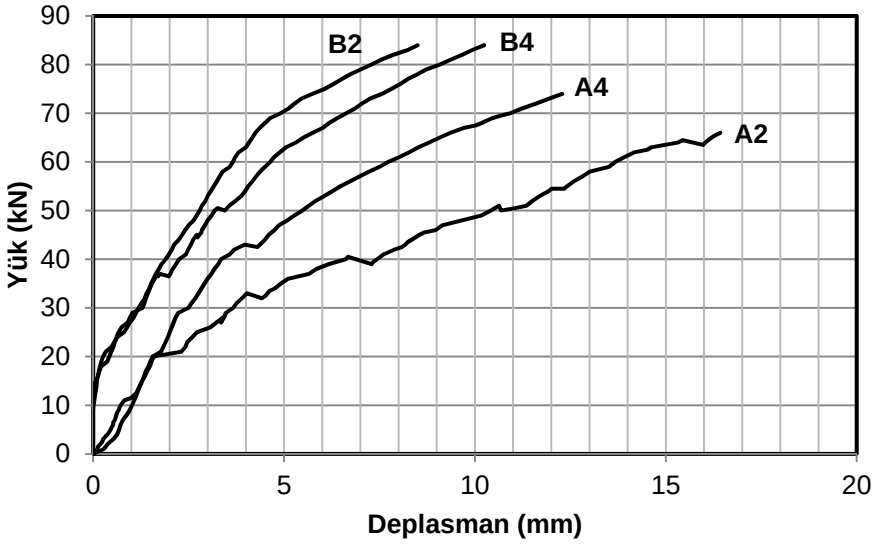
gözlenmektedir (Şekil 4.4). Kesitteki çelik donatının tarafsız eksene daha yakın ikinci bir sıraya yerleştirilmesi durumunda, gerek açıklıkta gerekse mesnette oluşan çatlakların sayısının ve derinliklerinin arttığı gözlenmektedir. Benzer durum Şekil 4.5'de B2 ve B4 kirişleri için de geçerlidir.

GFRP donatılar kopmadan ve beton ezilmeden önce çelik donatıların akmış olması, özellikle çelik/GFRP oranı yüksek olan B1, B2, B3 ve B4 kirişlerinin eğilme davranışına süneklik kazandırmıştır.

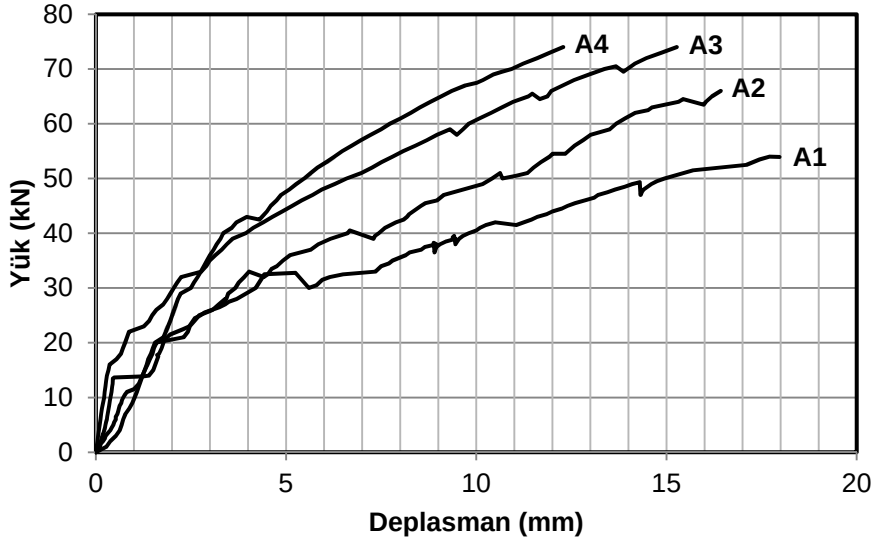
Kiriş numunelerinde kullanılmış olan GFRP donatılardaki çap değişiminin (Φ9,5 veya Φ11,5) eğilme davranışına etkisini gözlemlemek üzere A1 ile A2, A3 ile A4, B1 ile B2, ve B3 ile B4 numunelerine ait yük – deplasman eğrileri Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de ayrıca karşılaştırılmıştır. Çap değişiminin tek değişken parametre olduğu bu karşılaştırmalarda, yük – deplasman ilişkilerinin beklenen nitelikte olduğu gözlenmektedir.



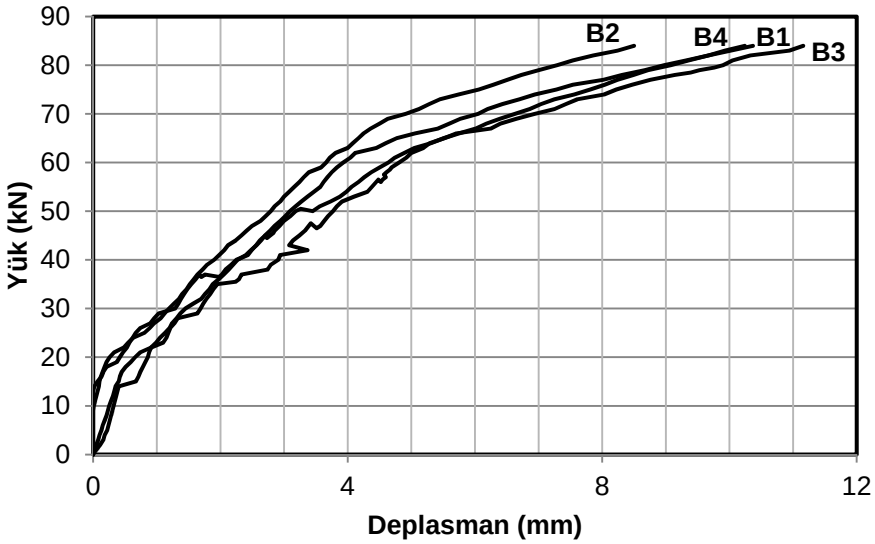
Şekil 4.4. A1, A3, B1 ve B3 numuneleri için deneysel olarak elde edilen yük – deplasman ilişkileri



Şekil 4.5. A2, A4, B2 ve B4 numuneleri için deneysel olarak elde edilen yük – deplasman ilişkileri

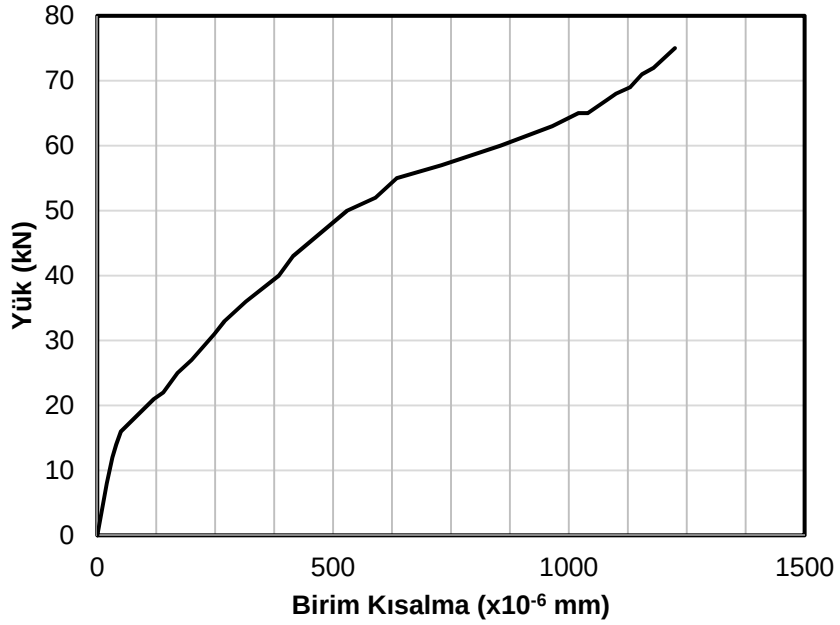


Şekil 4.6. A1, A2, A3, ve A4 numunelerine ait yük – deplasman ilişkilerinin karşılaştırılması

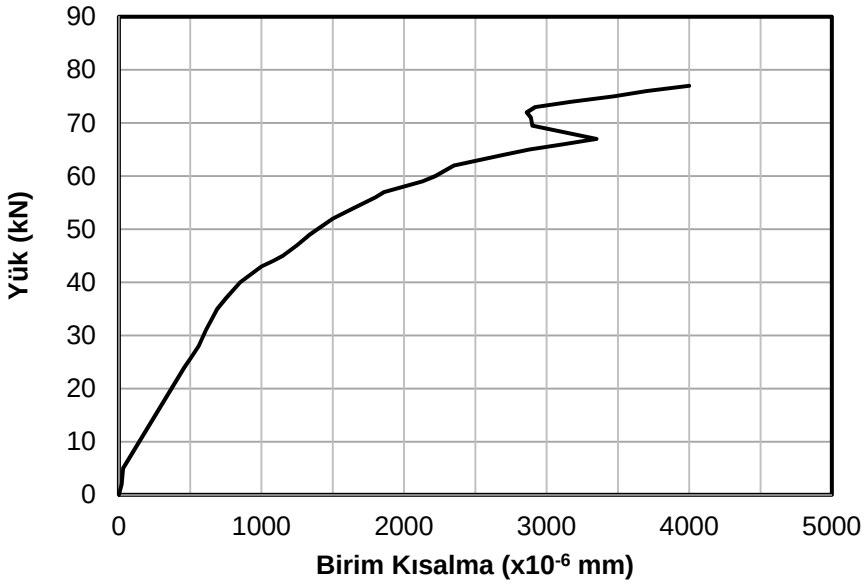


Şekil 4.7. B1, B2, B3 ve B4 numunelerine ait yük – deplasman ilişkilerinin karşılaştırılması

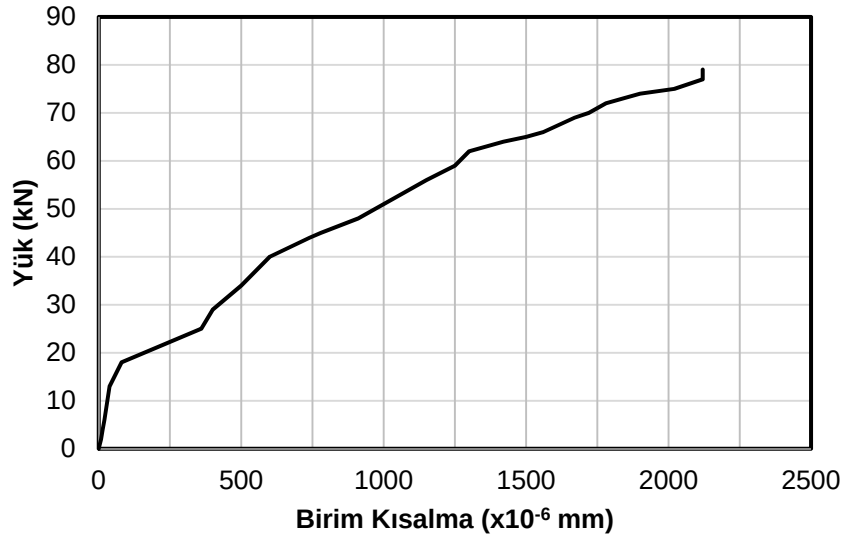
Hibrit (GFRP-çelik) donatılı betonarme sürekli kiriş numunelerinin açıklık ortasında beton basınç bölgesine yerleştirilen strain-gauge vasıtası ile eğilme deneyi sırasında elde edilen yük - birim kısalma eğrileri Şekil 4.8-11'de verilmektedir. Deney sırasında strain gauge üzerinde oluşan bir çatlak nedeniyle B2 ve B4 kiriş numunelerine ait yük - birim kısalma grafiği elde edilememiştir.



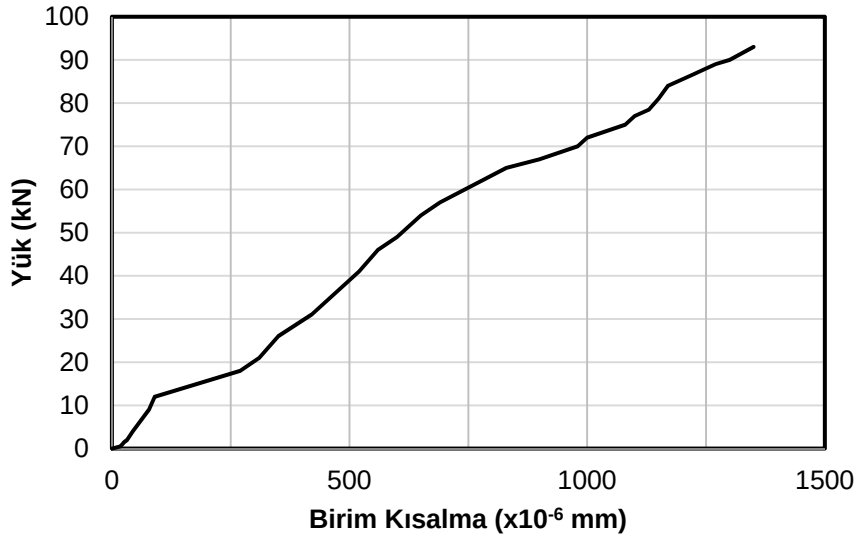
Şekil 4.8 A3 numunesi açıklık ortası en dış lif yük - birim kısalma eğrisi



Şekil 4.9 A4 numunesi açıklık ortası en dış lif yük - birim kısalma eğrisi



Şekil 4.10 B1 numunesi açıklık ortası en dış lif yük - birim kısalma eğrisi



Şekil 4.11. B3 numunesi açıklık ortası en dış lif yük - birim kısalma eğrisi

Test edilen sekiz adet GFRP ve hibrit (GFRP-çelik) donatılı betonarme sürekli kiriş numunelerine ait test verileri deney öncesinde, deney sırasında ve deneyden sonra fotoğraflanarak ve video kaydı alınarak arşivlenmiştir. Resim 4.11-62'deki fotoğraflarda her bir numunenin yükleme öncesindeki, maksimum yük altındaki ve yük kaldırıldıktan sonraki durumları ile her iki açıklık ortasında ve orta mesnette gelişen çatlaklar görülmektedir.



Resim 4.11. Yükleme öncesi A1 numunesi



Resim 4.12. Maksimum yük altında A1 numunesi



Resim 4.13. Yük kaldırıldıktan sonra A1 numunesi



Resim 4.14 Yük kaldırıldıktan sonra A1 numunesi



Resim 4.15 A1 numunesi orta mesnetinde gelişen çatlaklar



Resim 4.16 A1 numunesi 1. açıklık ortasında gelişen çatlaklar



Resim 4.17 A1 numunesi 2. açıklık ortasında gelişen çatlaklar



Resim 4.18 Yükleme öncesi A2 numunesi



Resim 4.19 Maksimum Yük altında A2 numunesi



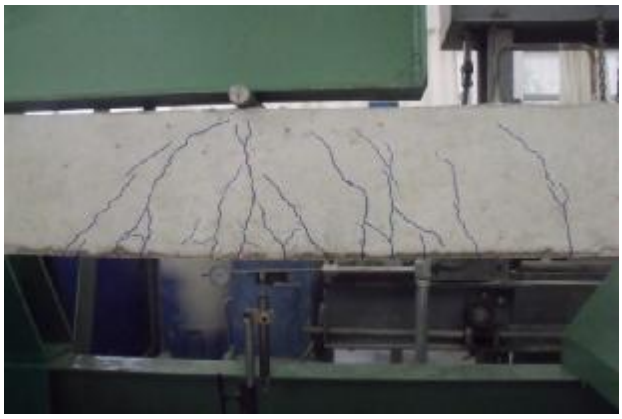
Resim 4.20 Yük kaldırıldıktan sonra A2 numunesi



Resim 4.21 A2 numunesi orta mesnetinde gelişen çatlaklar



Resim 4.22 A2 numunesi 1. açıklık ortasında gelişen çatlaklar



Resim 4.23 A2 numunesi 2. açıklık ortasında gelişen çatlaklar



Resim 4.24 Yükleme öncesi A3 numunesi



Resim 4.25 Yük altında A3 numunesi



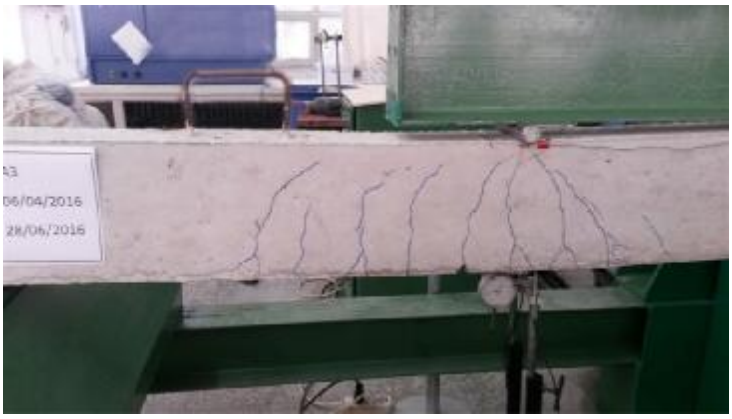
Resim 4.26 Maksimum yük altında A3 numunesi



Resim 4.27 Yük kaldırıldıktan sonra A3 numunesi



Resim 4.28 A3 numunesi orta mesnetinde gelişen çatlaklar



Resim 4.29 A3 numunesi 1. açıklık ortasında gelişen çatlaklar



Resim 4.30 A3 numunesi 2. açıklık ortasında gelişen çatlaklar



Resim 4.31 Yükleme öncesi A4 numunesi



Resim 4.32 Yük altında A4 numunesi



Resim 4.33 Maksimum yük altında A4 numunesi



Resim 4.34 Yük kaldırıldıktan sonra A4 numunesi



Resim 4.35 A4 numunesi orta mesnetinde gelişen çatlaklar



Resim 4.36 A4 numunesi 1. açıklık ortasında gelişen çatlaklar



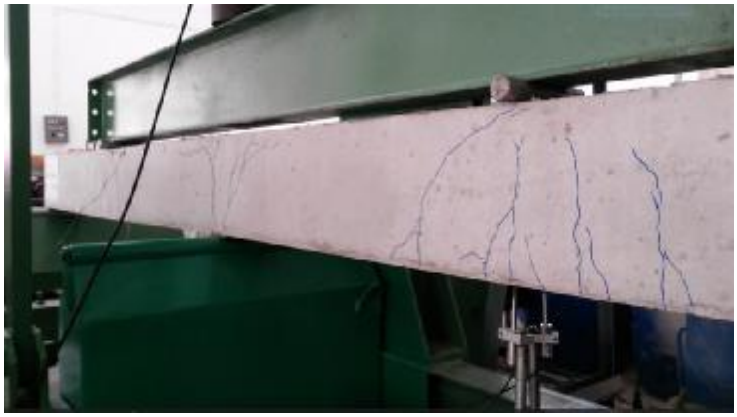
Resim 4.37 A4 numunesi 2. açıklık ortasında gelişen çatlaklar



Resim 4.38 Yükleme öncesi B1 numunesi



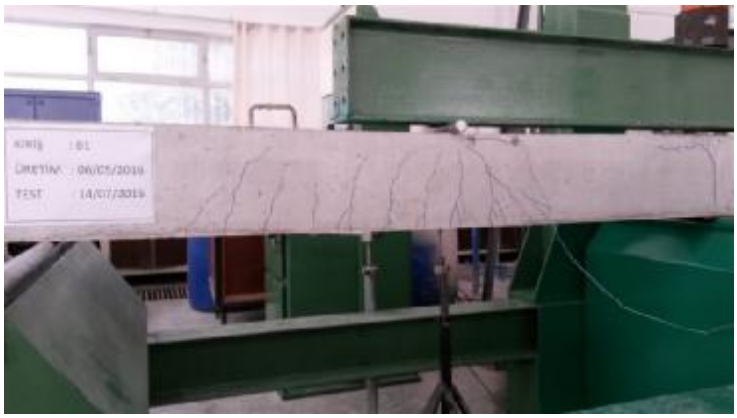
Resim 4.39 Yükleme sırasında B1 numunesi



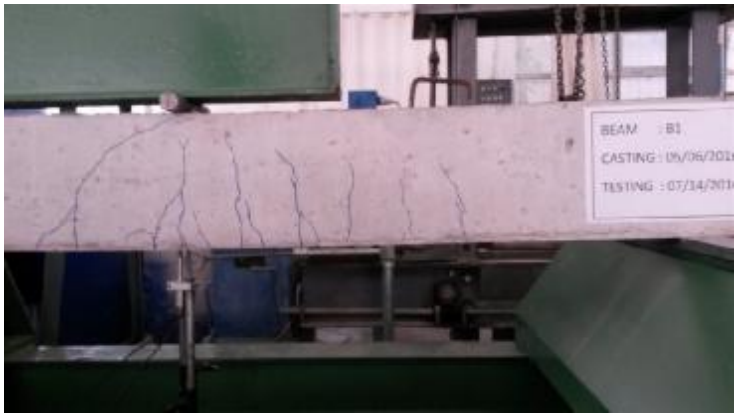
Resim 4.40 Yük kaldırıldıktan sonra B1 numunesi



Resim 4.41 B1 numunesi orta mesnetinde gelişen çatlaklar



Resim 4.42 B1 numunesi 1. açıklık ortasında gelişen çatlaklar



Resim 4.43 B1 numunesi 2. açıklık ortasında gelişen çatlaklar



Resim 4.44 Yükleme öncesi B2 numunesi



Resim 4.45 Maksimum yük altında B2 numunesi



Resim 4.46. Yük kaldırıldıktan sonra B2 numunesi



Resim 4.47. Yük kaldırıldıktan sonra B2 numunesi



Resim 4.48 B2 numunesi orta mesnetinde gelişen çatlaklar



Resim 4.49 B2 numunesi 1. açıklıkta gelişen çatlaklar



Resim 4.50 B2 numunesi 2. açıklıkta gelişen çatlaklar



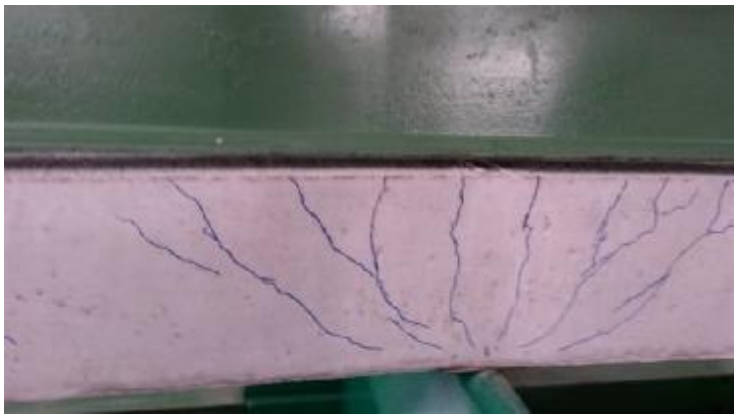
Resim 4.51 Yükleme öncesi B3 numunesi



Resim 4.52 Maksimum yük altında B3 numunesi



Resim 4.53 Yük kaldırıldıktan sonra B3 numunesi



Resim 4.54 B3 numunesi orta mesnetinde gelişen çatlaklar



Resim 4.55 B3 numunesi 1. açıklıkta gelişen çatlaklar



Resim 4.56 B3 numunesi 2. açıklıkta gelişen çatlaklar



Resim 4.57 Yükleme öncesi B4 numunesi



Resim 4.58 Maksimum yük altında B4 numunesi



Resim 4.59 Yük kaldırıldıktan sonra B4 numunesi



Resim 4.60 B4 numunesi orta mesnetinde gelişen çatlaklar



Resim 4.61 B4 numunesi 1. açıklıkta gelişen çatlaklar



Resim 4.62 B4 numunesi 2. açıklıkta gelişen çatlaklar

5. ARAŞTIRMA BULGULARI

5.1. Giriş

Araştırma bulguları bölümünde, Çukurova Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Laboratuvarında, hibrit (GFRP – çelik) donatılı betonarme iki açıklıklı sürekli kirişlerin eğilme davranışını irdelemek üzere gerçekleştirilen deneysel çalışmayla elde edilen sonuçlar, geliştirilen bilgisayar programında analiz yapılmak suretiyle elde edilen teorik sonuçlarla karşılaştırılmalı olarak sunulmaktadır.

Bu bölümde ayrıca, geliştirilen sayısal yöntemin ve bilgisayar programının doğruluğunu ve uygulanabilirliğini değerlendirmek amacıyla literatürde mevcut olup El-Refai ve arkadaşları (2015) tarafından sunulmuş olan 6 adet hibrit donatılı (FRP - çelik) basit mesnetli betonarme kiriş deney numuneleri, geliştirilen bilgisayar programı aracılığı ile çözümlenmiş ve elde edilen sonuçlar deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

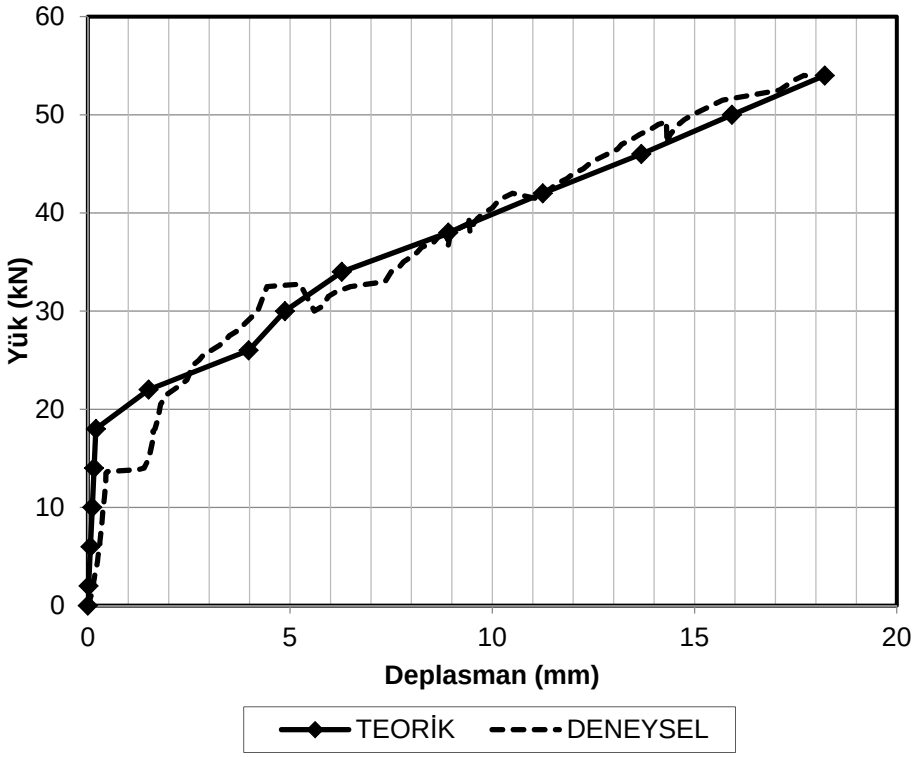
5.2. İki Açıklıklı Sürekli Kiriş Yük-Deplasman İlişkilerinin Teorik Olarak Elde Edilmesi ve Deney Sonuçlarıyla Karşılaştırılması

5.2.1. A1 Kirişi

A1 numunesi Şekil 4.1’de gösterildiği gibi GFRP donatılı olarak tasarlanmış ve etriyeler dışında çelik donatı kullanılmamıştır. A1 kirişinin deney sırasında yükleme öncesi, yükleme anı ve yükleme sonrası kaydedilen görüntüleri ile açıklık ortasında ve orta mesnette gelişen çatlakların kaydedilen görüntüleri Resim 4.11-17’de verilmektedir.

Geliştirilen analitik yönteme dayalı program ile yapılan analiz sonucunda A1 kirişi için elde edilen yük – deplasman ilişkisi ve deneysel sonuçların karşılaştırıldığı grafik Şekil 5.1’de sunulmaktadır. Grafikte, deneysel ve analitik sonuçların birbiri ile iyi derecede uyumlu olduğu görülmektedir. Test grafiğindeki

ani sıçramalar, GFRP donatı ile beton arasında lokal olarak gelişen aderans kayıpları nedeniyle ortaya çıkmaktadır.



Şekil 5.1 A1 numunesi yük – deplasman ilişkisi

Yükleme sırasında gözlenen çatlak gelişimi genel olarak beklenen niteliktedir. GFRP donatıların düşük elastisite modülüne sahip olması nedeniyle kiriş elemanın çekme bölgelerinde geniş ve derin çatlaklar gözlenmektedir (Resim 4.15-17). Bu tip çatlakların oluşumunda GFRP donatı ile beton arasındaki aderansın yüksek seviyede olmaması da etkilidir. Orta mesnette çekme donatısı hizasında görülen yatay çatlaklar oldukça belirgin olup (Resim 4.15 ve Resim 4.21) GFRP donatılı numunelerde (A1 ve A2) mesnette gelişen bu tipteki çatlaklar, hibrit kesitli numunelerde (A3, A4, B1, B2, B3, B4) görülmemektedir.

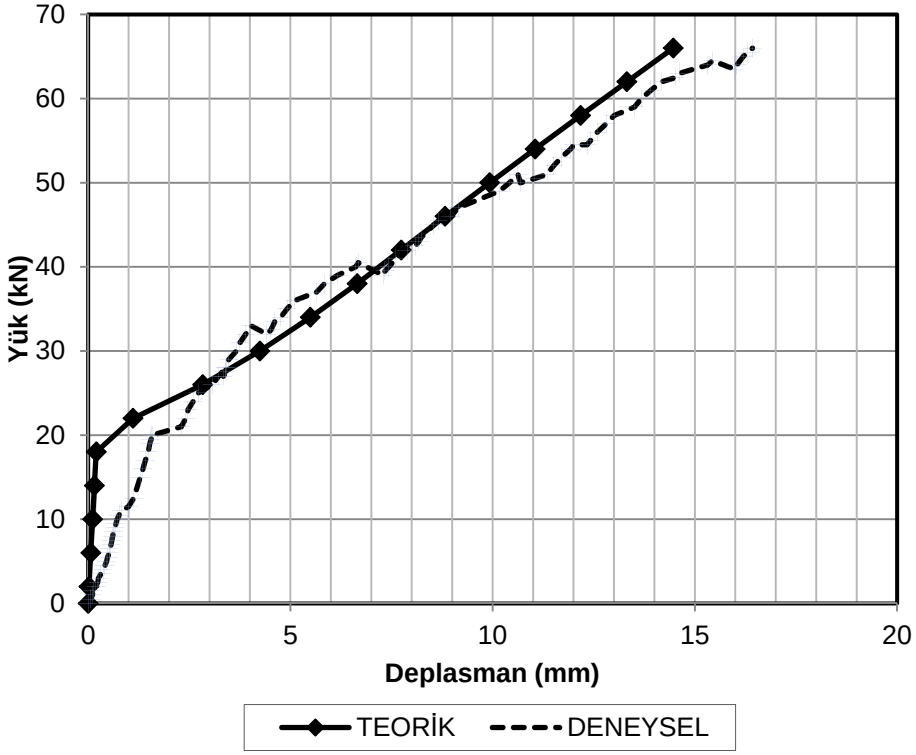
Ayrıca sürekli kirişin her iki açıklık ortasındaki eğilme çatlaklarının tamamen simetrik olduğu gözlenmektedir (Resim 4.16 ve Resim 4.17). Yük kaldırıldıktan sonra çatlakların büyük oranda kapandığı ve yükleme sırasında oluşan sehimin azaldığı Resim 4.13 ve Resim 4.14'de görülmektedir. Kesitte kullanılan cam lifli polimer (GFRP) donatıların gerilme – birim deformasyon ilişkisinin tamamen lineer elastik olması, elemanda gelişen plastik deformasyonları düşük seviyede tutmaktadır.

5.2.2. A2 Kirişi

A2 numunesi Şekil 4.1'de gösterildiği gibi sadece GFRP donatılı olup etriyeler dışında çelik donatı kullanılmamıştır. A2 kirişinin deney sırasında yükleme öncesi, yükleme anı ve yükleme sonrası kaydedilen görüntüleri ile açıklık ortasında ve orta mesnette gelişen çatlakların kaydedilen görüntüleri Resim 4.18-23'de verilmektedir.

Geliştirilen analitik yönteme dayalı program ile yapılan analiz sonucunda A2 kirişi için elde edilen yük – deplasman ilişkisi ve deneysel sonuçların karşılaştırıldığı grafik Şekil 5.2'de sunulmaktadır. Grafikte, A1 numunesine benzer olarak deneysel ve analitik sonuçların birbiri ile iyi derecede uyumlu olduğu görülmektedir. Lokal aderans kayıplarının etkisi olarak ortaya çıkan sıçramalar bu grafikte de gözlenmektedir.

Yükleme sırasındaki çatlak gelişimi genel olarak beklenen niteliktedir. GFRP donatıların düşük elastisite modülüne sahip olması nedeniyle elemanda geniş ve derin çatlaklar gözlenmektedir (Resim 4.21-23). Bu tip çatlakların oluşumunda GFRP donatı ile beton arasındaki aderansın yüksek seviyede olmaması da etkilidir. A1 numunesinde olduğu gibi, orta mesnette çekme donatısı hizasındaki yatay çatlaklar dikkat çekmektedir (Resim 4.21). Sürekli kirişin mesnet açıklık ortasındaki eğilme çatlaklarının simetrik olduğu gözlenmektedir (Resim 4.22-23).



Şekil 5.2 A2 numunesi yük – deplasman ilişkisi

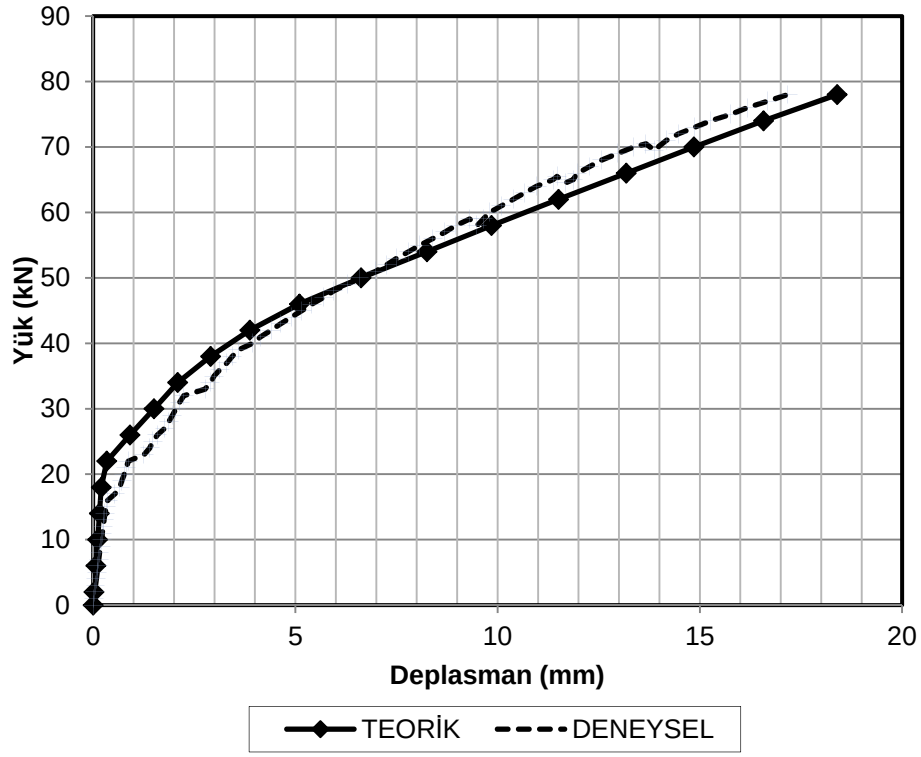
Yük kaldırıldıktan sonra çatlakların büyük oranda kapandığı ve yükleme sırasında oluşan sehimin azaldığı Resim 4.20'de görülmektedir. Kesitte kullanılan cam lifli polimer (GFRP) donatıların gerilme – birim deformasyon ilişkisinin tamamen lineer elastik olması, plastik deformasyonları düşük seviyede tutmaktadır.

5.2.3. A3 Kirişi

Hibrit (GFRP – çelik) donatılı betonarme sürekli kiriş olan A3 numunesinin tasarım detayları Şekil 4.1'de gösterilmektedir. A3 kirişinin deney sırasında yükleme öncesi, yükleme anı ve yükleme sonrası kaydedilen görüntüleri ile açıklık

ortasında ve orta mesnette gelişen çatlakların kaydedilen görüntüleri Resim 4.24-30'da verilmektedir.

Geliştirilen analitik yönteme dayalı program ile yapılan analiz sonucunda A3 kirişi için elde edilen yük – deplasman ilişkisi ve deneysel sonuçların karşılaştırıldığı grafik Şekil 5.3'de sunulmaktadır. Şekilden, deneysel ve analitik sonuçların birbiri ile çok iyi derecede uyumlu olduğu gözlenmektedir. GFRP donatı ile beton lifleri arasında lokal olarak gelişen aderans kayıplarının etkisiyle ortaya çıkan sıçramalar, hibrit kesite sahip olan A3 numunesinin test sonuçlarına ait yük – deplasman grafiğinde A1 ve A2 numunelerine kıyasla daha az görülmektedir. Kesitte GFRP donatı ile birlikte çelik donatı kullanılmasının bu noktada etkili olduğu gözlenmektedir.



Şekil 5.3 A3 numunesi yük – deplasman ilişkisi

A3 kirişi, A1'deki kesite açıklık ve mesnette 1Φ10 çelik çekme donatısı ilave etmek suretiyle hibrit olarak tasarlanmıştır (Şekil 4.1). Gerek açıklıkta gerekse mesnetteki çatlak genişlikleri, A1'e kıyasla daha sınırlı kalırken çatlak sayısının arttığı gözlenmektedir. (Resim 4.28-33). A1 orta mesnetinde çekme donatısı hizasında görülen yatay çatlaklar A3 numunesinde oluşmamıştır. Hibrit kesitteki çelik donatının burada etkili olduğu görülmektedir.

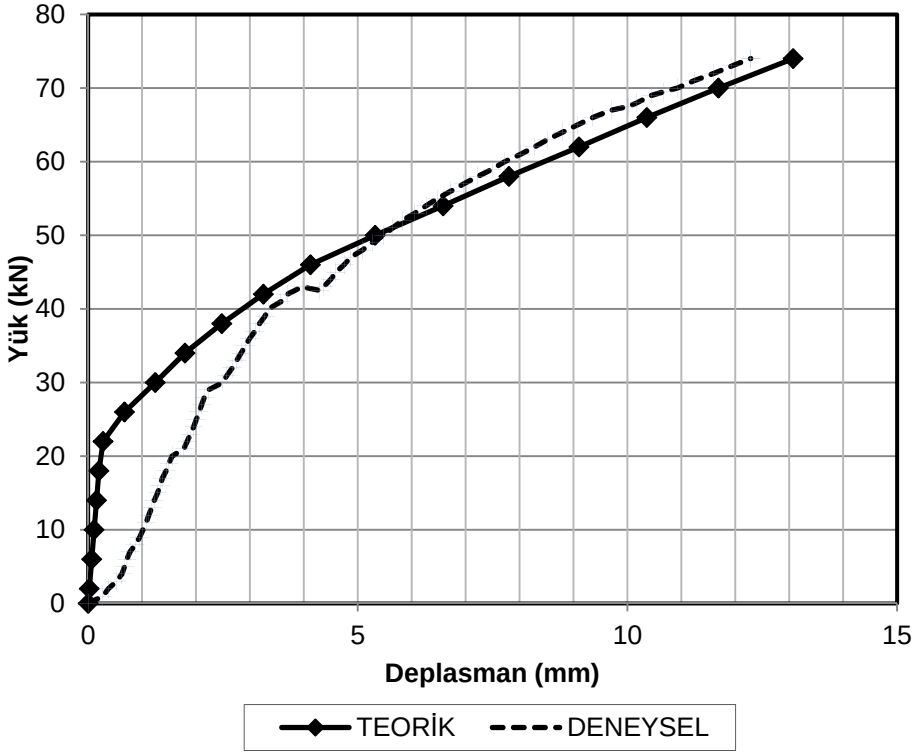
Hibrit kesitte kullanılan GFRP donatıların etkisiyle, elemanda yük kaldırıldıktan sonra çatlakların kısmen kapandığı ve yükleme sırasında oluşan sehimin azaldığı Resim 4.27'de görülmektedir.

5.2.4. A4 Kirişi

Hibrit (GFRP – çelik) donatılı betonarme sürekli kiriş olan A4 numunesinin tasarım detayları Şekil 4.1'de gösterilmektedir. A4 kirişinin deney sırasında yükleme öncesi, yükleme anı ve yükleme sonrası kaydedilen görüntüleri ile açıklık ortasında ve orta mesnette gelişen çatlakların kaydedilen görüntüleri Resim 4.31-37'de verilmektedir.

Geliştirilen analitik yönteme dayalı program ile yapılan analiz sonucunda A4 kirişi için elde edilen yük – deplasman ilişkisi ve deneysel sonuçların karşılaştırıldığı grafik Şekil 5.4'de sunulmaktadır.

A4 kirişi, A2'deki kesite açıklık ve mesnette 1Φ10 çelik çekme donatısı ilave etmek suretiyle hibrit olarak tasarlanmıştır (Şekil 4.1). A2 ve A4 numunelerinde mesnet ve açıklıklarda ortaya çıkan eğilme çatlakları oldukça benzerlik göstermektedir. A2 orta mesnetinde çekme donatısı hizasında görülen yatay çatlaklar A4 numunesinde oluşmamıştır. Hibrit kesitteki çelik donatının burada etkili olduğu görülmektedir. Hibrit donatılı kesitte bulunan GFRP donatıların etkisiyle, yük kaldırıldıktan sonra çatlakların büyük oranda kapandığı ve yükleme sırasında oluşan sehimin azaldığı Resim 4.34'de görülmektedir.



Şekil 5.4 A4 numunesi yük – deplasman ilişkisi

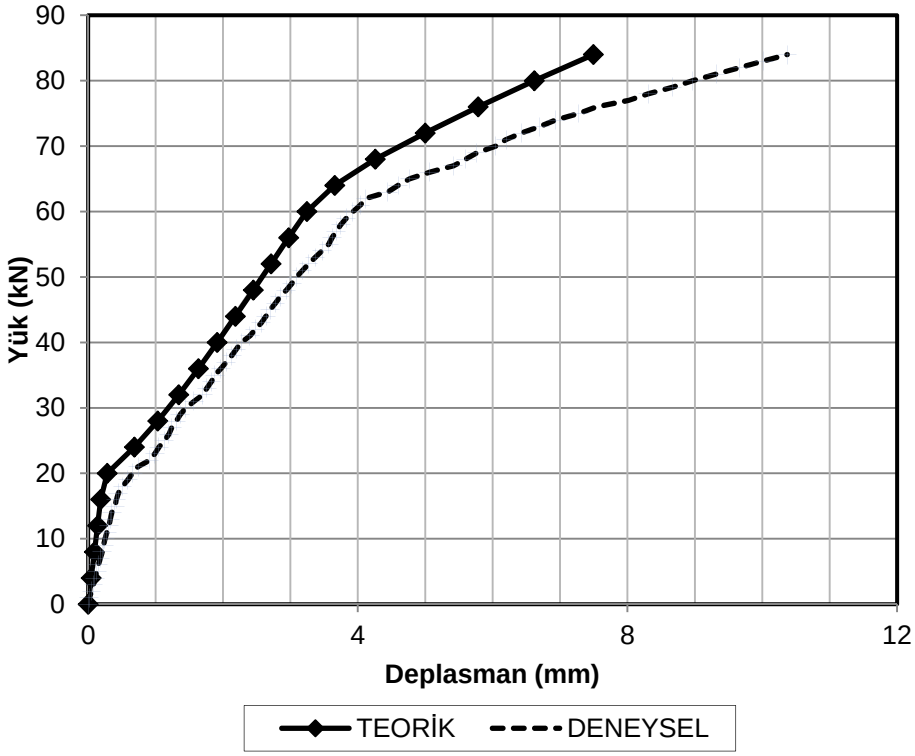
5.2.5. B1 Kirişi

Hibrit (GFRP – çelik) donatılı betonarme sürekli kiriş olan B1 numunesinin tasarım detayları Şekil 4.1'de gösterilmektedir. B1 kirişinin deney sırasında yükleme öncesi, yükleme anı ve yükleme sonrası kaydedilen görüntüleri ile açıklık ortasında ve orta mesnette gelişen çatlakların kaydedilen görüntüleri Resim 4.38-43'de verilmektedir.

Geliştirilen analitik yönteme dayalı olarak hazırlanan bilgisayar programı ile yapılan analiz sonucunda B1 kirişi için elde edilen yük – deplasman ilişkisi ve deneysel sonuçların karşılaştırıldığı grafik Şekil 5.5'de görülmektedir. Şekilden, deneysel ve analitik sonuçların birbiri ile uyumlu olduğu görülmektedir. Deneysel

olarak elde edilen eğrinin teorik olarak elde edilen eğriye kıyasla daha az rijit olması, deney sırasında lokal olarak gelişen çatlaklar ile açıklanabilmektedir.

Yüklemenin yaklaşık %70'e kadar olan bölümünde analitik ve test sonuçlarını gösteren eğrilerde gözlenen uyum bu noktadan sonraki yüklemelerde azalmakta ve test sonuçlarındaki deplasmanlarda artış görülmektedir. Bu farklılaşmanın nedeni, donatı ile beton arasında mükemmel olduğu kabul edilen aderansın, gerçekte deney sırasında daha büyük yükler altında mükemmel seviyede gerçekleşmemesi ile ifade edilebilir.



Şekil 5.5 B1 numunesi yük – deplasman ilişkisi

Ayrıca GFRP donatı ile beton lifleri arasında lokal olarak gelişen aderans kayıplarının etkisiyle ortaya çıkan sıçramalar, hibrit kesite sahip olan B1

numunesine ait test sonuçlarını gösteren yük – deplasman grafiğinde görülememektedir. Kesitte GFRP donatı ile birlikte çelik donatı kullanılmasının bu etkiyi minimize ettiği gözlenmektedir. B1ve B2 kiriş kesitlerindeki çelik donatı oranının A3 ve A4 numunelerine kıyasla daha fazla olması aderans kayıplarını minimize etmektedir.

B1 kirişi, A1'deki kesite açıklık ve mesnette 2Φ10 çelik çekme donatısı ilave etmek suretiyle tasarlanmıştır (Şekil 4.1). Gerek açıklıkta gerekse mesnetteki çatlak genişlikleri, A1'e kıyasla daha sınırlı kalırken çatlak aralıklarının ve sayısının önemli oranda artarak daha geniş yüzeye yayıldığı, çatlak derinliğinin azaldığı gözlenmektedir (Resim 4.41-43). Çelik donatı alanının GFRP donatı alanına oranı 1,11 olan hibrit kesitteki çelik donatının burada etkili olduğu görülmektedir.

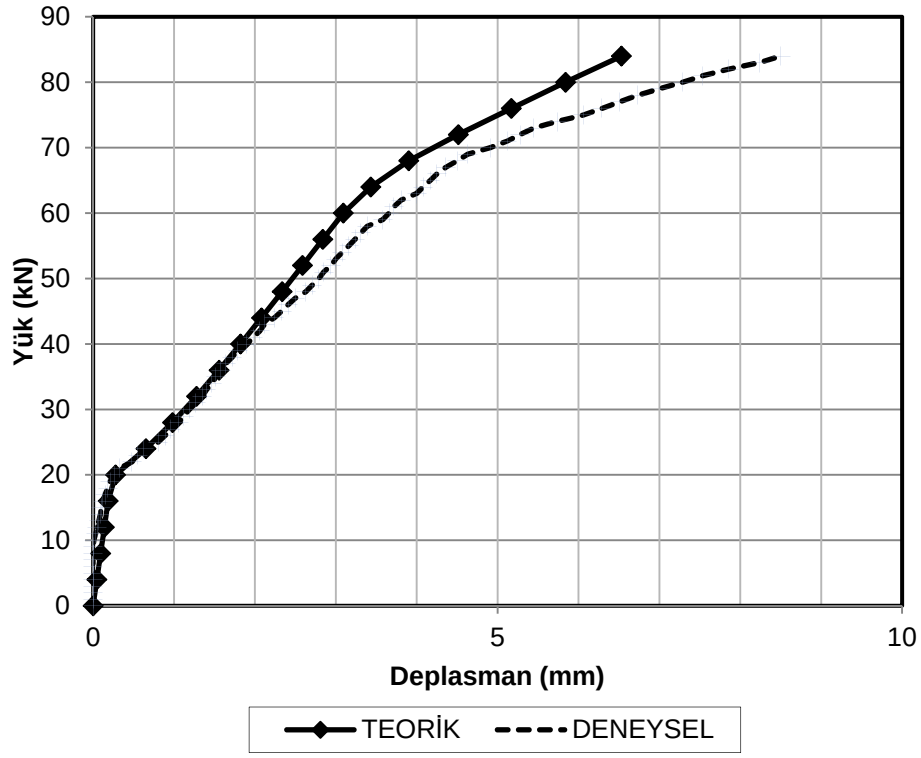
Yük kaldırıldıktan sonra çatlakların büyük oranda kapandığı ve yükleme sırasında oluşan sehimin azaldığı Resim 4.39'da görülmektedir. Gerilme – birim deformasyon ilişkisi tamamen doğrusal olan GFRP donatının hibrit kesitteki etkisi plastik deformasyonları düşük seviyede tutmaktadır.

5.2.6. B2 Kirişi

Hibrit (GFRP – çelik) donatılı betonarme sürekli kiriş olan B2 numunesinin tasarım detayları Şekil 4.1'de gösterilmektedir. B2 kirişinin deney sırasında yükleme öncesi, yükleme anı ve yükleme sonrası kaydedilen görüntüleri ile açıklık ortasında ve orta mesnette gelişen çatlakların kaydedilen görüntüleri Resim 4.44-50'de verilmektedir.

Geliştirilen analitik yönteme dayalı program ile yapılan analiz sonucunda B2 kirişi için elde edilen yük – deplasman ilişkisi ve deneysel sonuçların karşılaştırıldığı grafik Şekil 5.6'de sunulmaktadır. Şekilde, deneysel ve analitik sonuçların birbiri ile çok iyi derecede uyumlu olduğu gözlenmektedir. B1 numunesine benzer şekilde yüklemenin yaklaşık %55'e kadar olan bölümünde

analitik ve test sonuçlarını gösteren eğrilerde görülen uyum bu noktadan sonraki yüklemelerde azalmakta ve test sonuçlarındaki deplasmanlarda artış görülmektedir. Bu davranış, test sırasında taşıma gücüne yakın yükler altında gelişen aderans kayıpları ile ifade edilebilmektedir.



Şekil 5.6 B2 numunesi yük – deplasman ilişkisi

B2 kirişi, A2'deki kesite açıklık ve mesnette 2Φ10 çelik çekme donatısı ilave etmek suretiyle hibrit olarak tasarlanmıştır (Şekil 4.1). A2 ve B2 numunelerinde mesnet ve açıklıklarda ortaya çıkan eğilme çatlakları oldukça benzerlik göstermektedir. B2 numunesinde çelik donatı alanının GFRP donatı alanına oranı 0,75'dir.

Elemanda yük kaldırıldıktan sonra çatlakların büyük oranda kapandığı ve yükleme sırasında oluşan sehimin azaldığı Resim 4.46 ve Resim 4.47'de görülmektedir.

5.2.7. B3 Kirişi

Hibrit (GFRP – çelik) donatılı betonarme sürekli kiriş olan B3 numunesinin tasarım detayları Şekil 4.1'de gösterilmektedir. B3 kirişinin deney sırasında yükleme öncesi, yükleme anı ve yükleme sonrası kaydedilen görüntüleri ile açıklık ortasında ve orta mesnette gelişen çatlakların kaydedilen görüntüleri Resim 4.51-56'da verilmektedir.

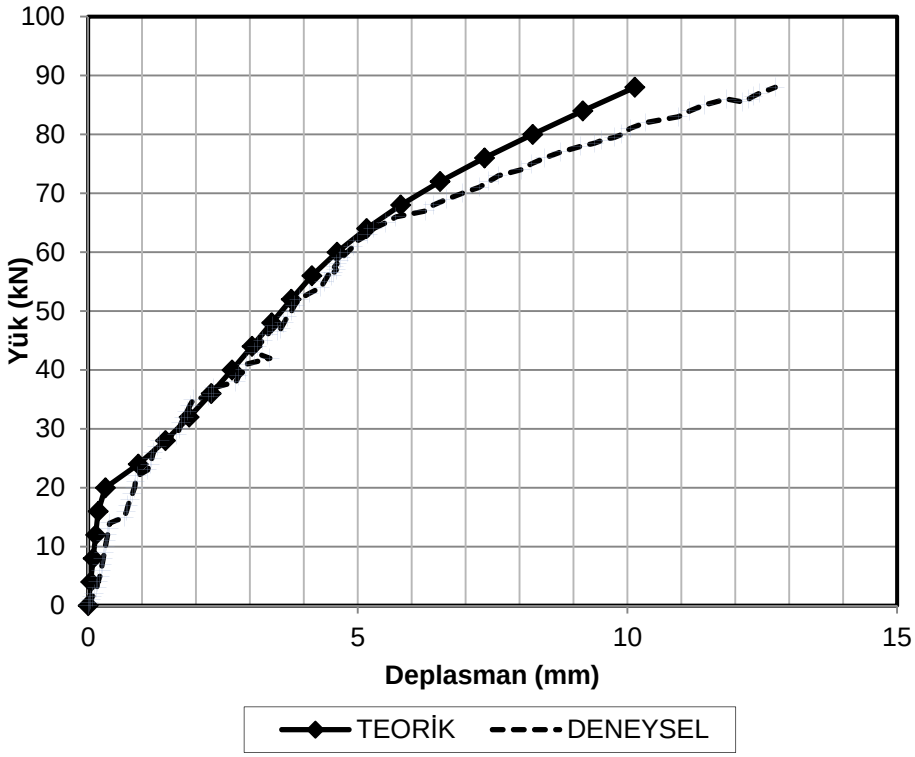
A2, A3, B1 ve B2 numunelerinde çelik donatılar GFRP donatı ile aynı hizada kesite yerleştirilirken B3 ve B4 kirişlerinde kullanılan çelik donatılar gerek açıklıkta gerekse mesnette GFRP donatılar ile arasında net 30 mm aralık olacak şekilde ikinci sıraya yerleştirilmiştir. Sayısal analiz sonucunda B3 kirişi için elde edilen yük – deplasman ilişkisi ve deneysel sonuçların karşılaştırıldığı grafik Şekil 5.7'de sunulmaktadır.

Taşıma gücü yük seviyesinin yaklaşık %75 seviyelerine kadar deneysel ve teorik sonuçların birbiri ile çok iyi derecede uyumlu olduğu görülmektedir.

Ayrıca grafikte, GFRP donatı ile beton lifleri arasında lokal olarak gelişen aderans kayıplarının etkisiyle ortaya çıkan sıçramalar, hibrit kesite sahip olan B1 ve B2 numunelerinde minimize olmuşken, B3 ve B4 kirişlerine ait test sonuçlarını gösteren yük – deplasman eğrilerinde yeniden belirgin hale gelmiştir. Bu noktada, çatlak kontrolünde etkili olan çelik donatının, GFRP donatılardan ayrı olarak beton dış lifinden uzakta, tarafsız eksene daha yakın bir sıraya yerleştirmesinin etkisi gözlenmektedir.

B3 kirişinin eğilme davranışının B1 kirişi ile oldukça benzerlik gösterdiği gözlenmiştir. A1'e kıyasla gerek açıklıkta gerekse mesnetteki çatlak genişlikleri

daha sınırlı kalırken çatlak sayısının önemli oranda artarak daha geniş yüzeye yayıldığı, çatlak derinliğinin azaldığı gözlenmektedir. (Resim 4.54-56).



Şekil 5.7 B3 numunesi yük – deplasman ilişkisi

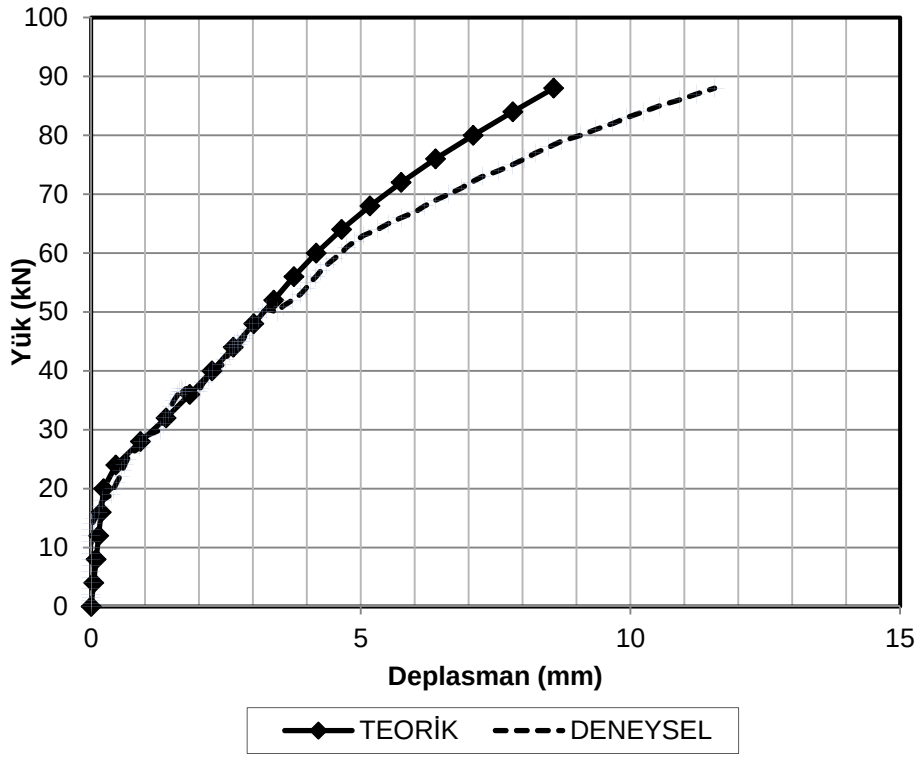
5.2.8. B4 Kirişi

Hibrit (GFRP – çelik) donatılı betonarme sürekli kiriş olan B4 numunesinin tasarım detayları Şekil 4.1'de gösterilmektedir. B4 kirişinin deney sırasında yükleme öncesi, yükleme anı ve yükleme sonrası kaydedilen görüntüleri ile açıklık ortasında ve orta mesnette gelişen çatlakların kaydedilen görüntüleri Resim 4.57-62'de verilmektedir.

Geliştirilen analitik yönteme dayalı olarak hazırlanan bilgisayar programı ile yapılan analiz sonucunda B4 kirişi için elde edilen yük – deplasman ilişkisinin

deneysel sonuçlarla karşılaştırıldığı grafik Şekil 5.8'de sunulmaktadır. Taşıma gücü yük seviyesinin yaklaşık %60'ına karşılık gelen yük seviyelerine kadar deneysel ve teorik sonuçların birbiri ile çok iyi derecede uyumlu olduğu görülmektedir. Taşıma gücü sınırına yakın yüklerde beton ve donatı malzemelerin linner olmayan davranışlarının daha etkili olması, grafikteki bu farklılaşmaya neden olabilmektedir.

B4 kirişinin eğilme davranışının B2 kirişi ile oldukça benzerlik gösterdiği gözlenmiştir. A2'e kıyasla gerek açıklıkta gerekse mesnetteki çatlak genişlikleri daha sınırlı kalırken çatlak sayısının önemli oranda artarak daha geniş yüzeye yayıldığı, çatlak derinliğinin azaldığı gözlenmektedir. (Resim 4.60-62).



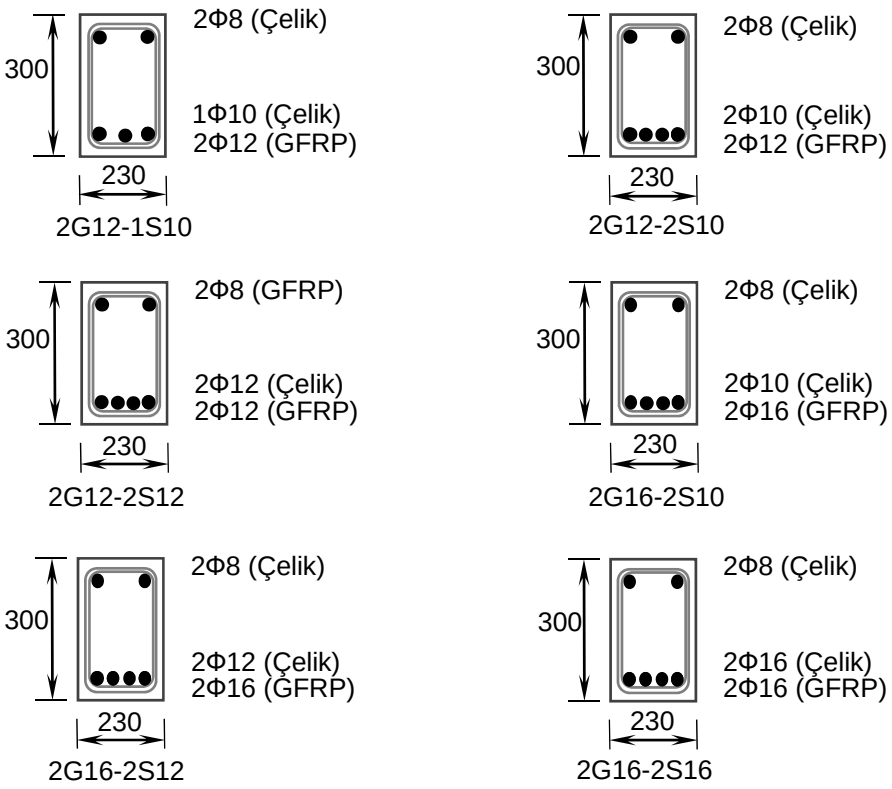
Şekil 5.8 B4 numunesi yük – deplasman ilişkisi

5.3. Basit Mesnetli Kiriş Yük-Deplasman İlişkilerinin Teorik Olarak Elde Edilmesi ve Deney Sonuçlarıyla Karşılaştırılması

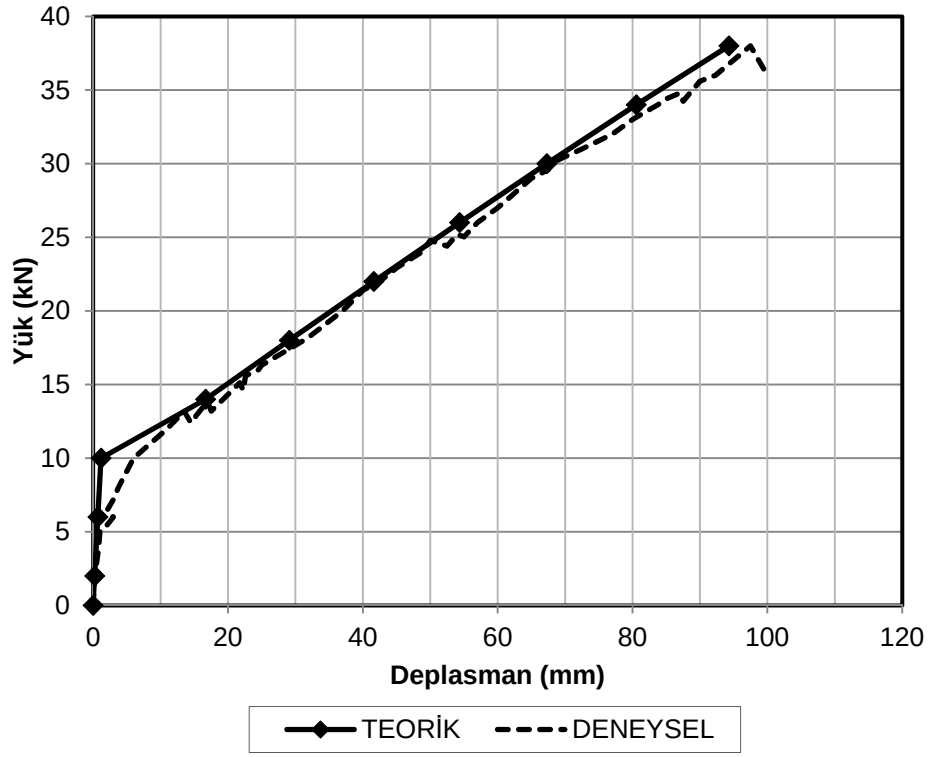
Bu bölümde, literatürde El-Refai ve arkadaşları (2015) tarafından sunulmuş olan deneysel çalışmada test verileri mevcut 6 adet hibrit donatılı (GFRP ve çelik) basit mesnetli betonarme kiriş örnekleri, geliştirilen bilgisayar programı aracılığı ile çözümlenmiş ve elde edilen sonuçlar deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Kiriş örneklerinde kullanılan çelik donatıların akma dayanımı 520 MPa olup lifli polimer donatı olarak elastisite modülü 50 GPa ve kopma dayanımı 1 GPa olan GFRP donatılar kullanılmıştır. Donatılar kesitte tek sıra halinde düzenlenmiştir. Kiriş örnekleri için kullanılan betonun ortalama silindir basınç dayanımı 40 MPa olarak belirtilmiştir. Kirişler 230 x 300 mm dikdörtgen kesitli ve 4000 mm uzunluğunda olup kesit ve donatı detayları Çizelge 5.1 ve Şekil 5.9'da verilmiştir. Numuneler 3700 mm açıklıklı test düzeneğinde dört noktalı eğilme testine tabi tutulmuş ve simetrik olarak yüklenen iki adet tekil yükün arasındaki mesafe 1200 mm olarak tasarlanmıştır. Kiriş örneklerine ait donatı detayları Çizelge 5.1'de verilmektedir. Basit mesnetli kiriş numunelerine ait teorik ve deneysel olarak elde edilen yük−deplasman ilişkilerinin karşılaştırıldığı grafikler Şekil 5.9−14'de sunulmaktadır. Grafiklerde, önerilen sayısal yönteme dayalı olarak geliştirilen bilgisayar programı ile yapılan analiz sonucu elde edilen yük – deplasman eğrileri ile literatürde mevcut deneysel çalışmada verilen test sonuçları arasında iyi derecede uyum sağlandığı gözlenmektedir.

Çizelge 5.1. Basit mesnetli kirişlerin donatı detayları (El-Refai ve arkadaşları, 2015).

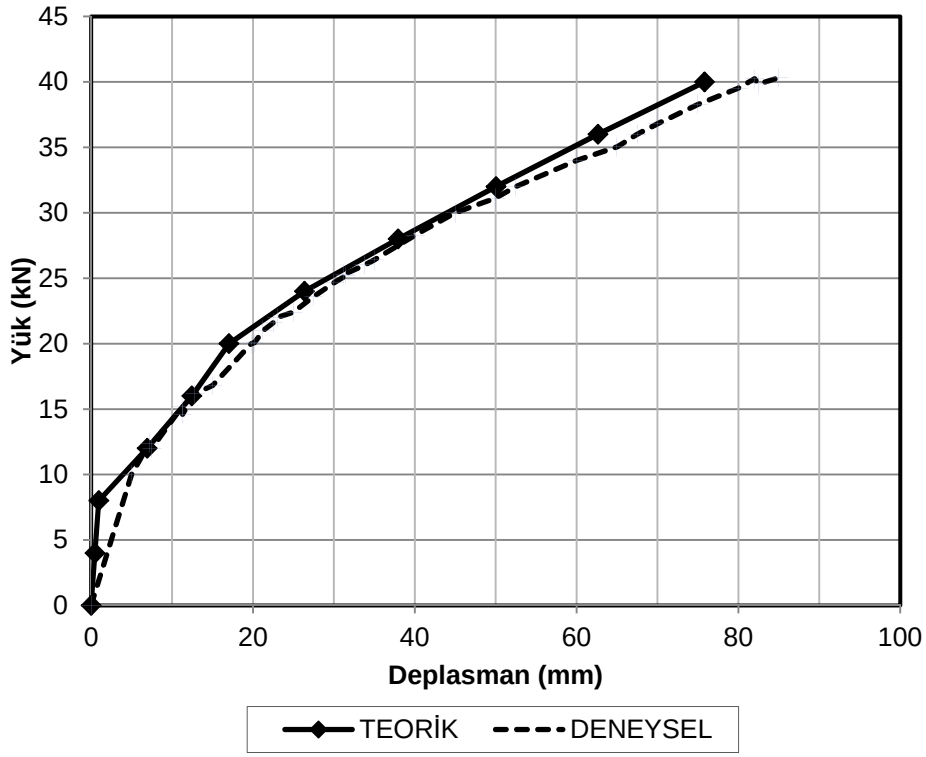
Numune	Donatı Yeri	Donatı Miktarı	Donatı Cinsi
2G12-1S10	Üst	2Φ8	Çelik
	Alt	1Φ10	Çelik
	Alt	2Φ12	GFRP
2G12-2S10	Üst	2Φ8	Çelik
	Alt	2Φ10	Çelik
	Alt	2Φ12	GFRP
2G12-2S12	Üst	2Φ8	Çelik
	Alt	2Φ12	Çelik
	Alt	2Φ12	GFRP
2G16-2S10	Üst	2Φ8	Çelik
	Alt	2Φ10	Çelik
	Alt	2Φ16	GFRP
2G16-2S12	Üst	2Φ8	Çelik
	Alt	2Φ12	Çelik
	Alt	2Φ16	GFRP
2G16-2S16	Üst	2Φ8	Çelik
	Alt	2Φ16	Çelik
	Alt	2Φ16	GFRP



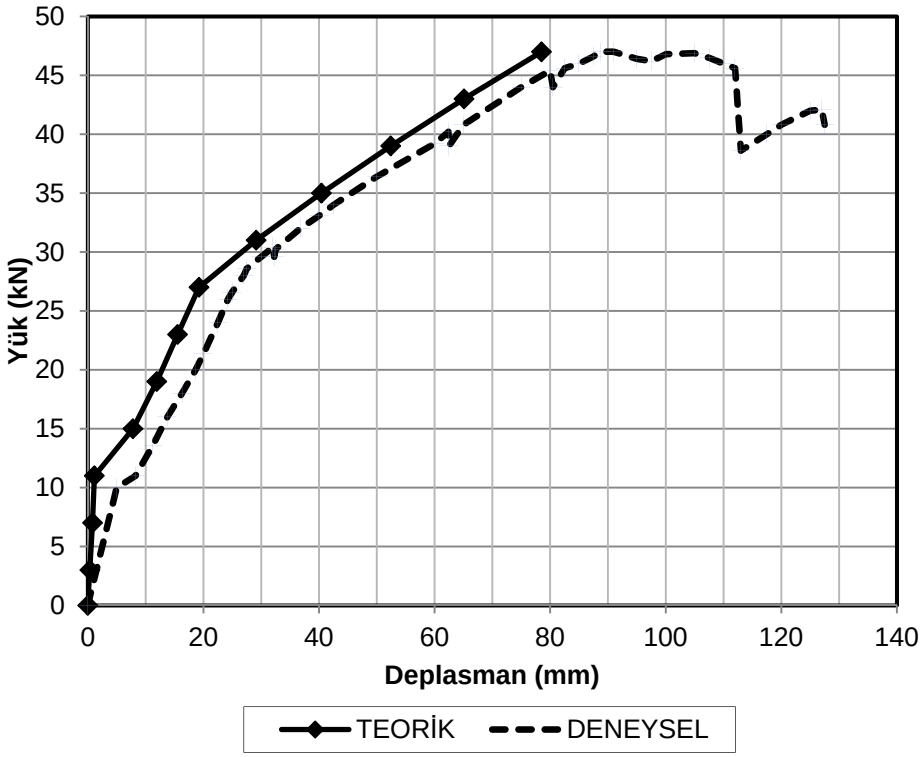
Şekil 5.9 Basit mesnetli kiriş numune kesit detayları (El-Refai ve arkadaşları, 2015)



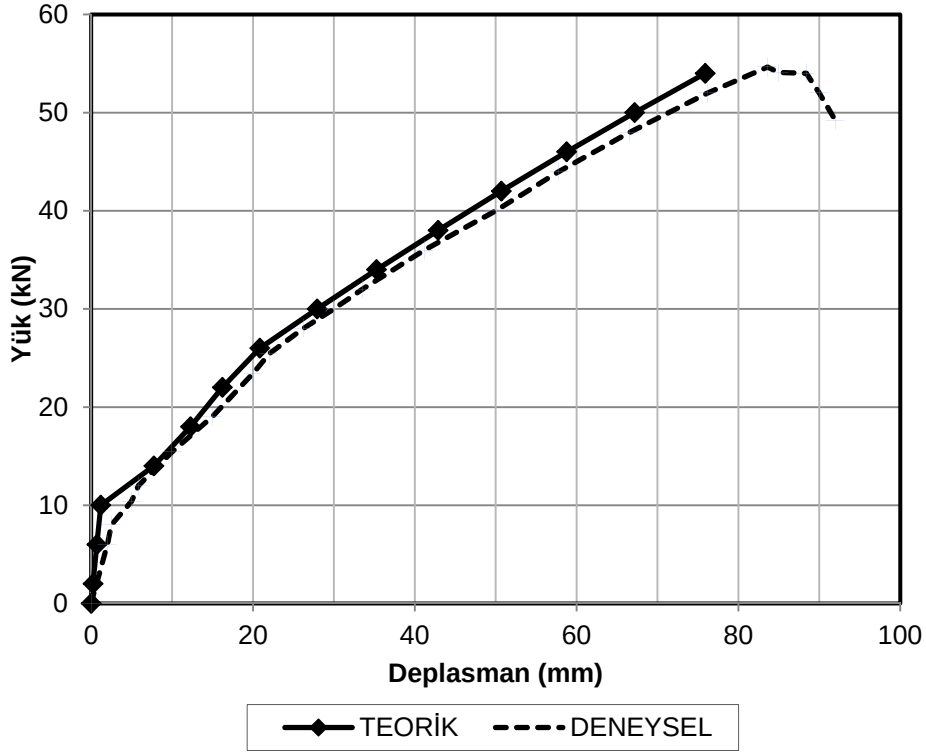
Şekil 5.10 2G12-1S10 numunesi yük – deplasman ilişkisi



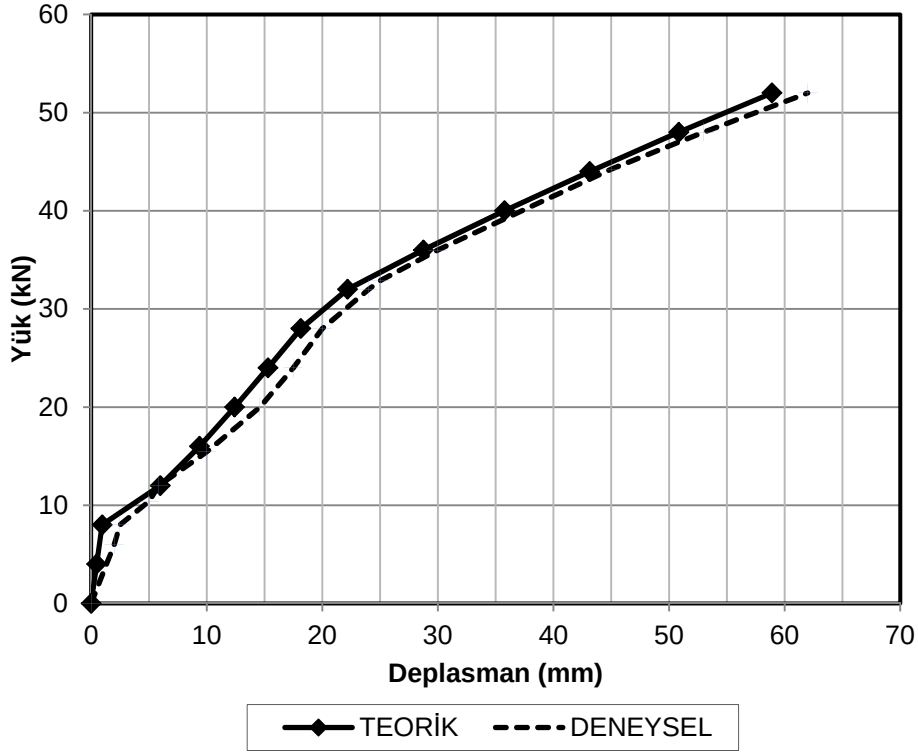
Şekil 5.11 2G12-2S10 numunesi yük – deplasman ilişkisi



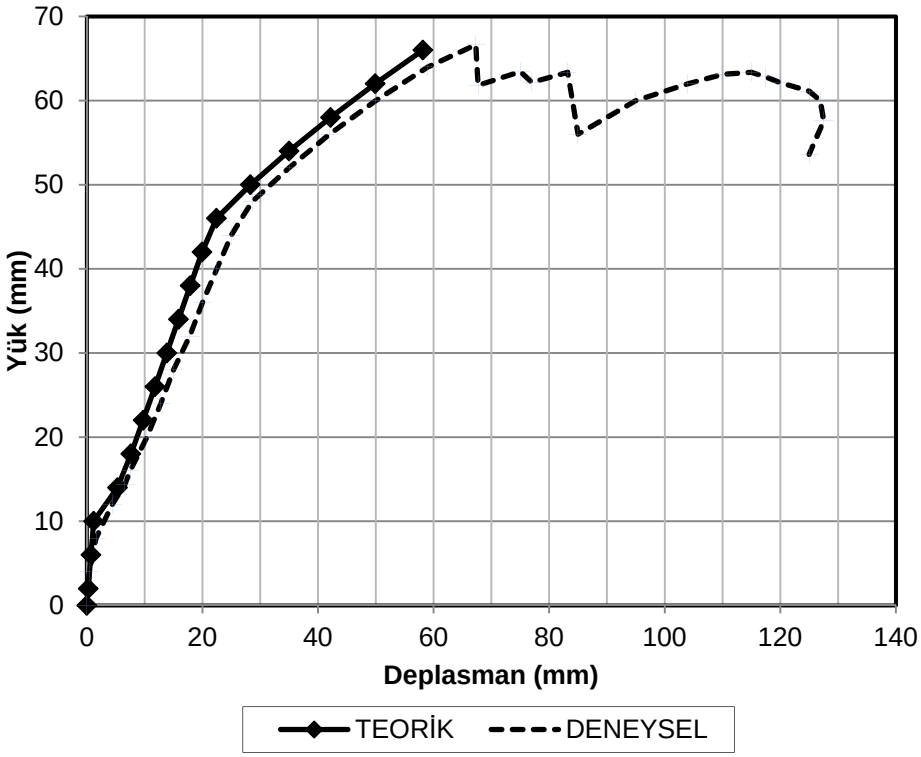
Şekil 5.12 2G12-2S12 numunesi yük – deplasman ilişkisi



Şekil 5.13 2G16-2S10 numunesi yük – deplasman ilişkisi



Şekil 5.14 2G16-2S12 numunesi yük – deplasman ilişkisi



Şekil 5.15 2G16-2S16 numunesi yük – deplasman ilişkisi

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Lifli polimer donatıların sınırlı uzama kapasiteleri, FRP donatılı betonarme elemanların davranışını kullanılabilirlik sınır durumu ve süneklik açısından olumsuz yönde etkilemektedir. Literatürde bu tür elemanların eğilme performansını artırmak amacıyla kesitte FRP donatıyla birlikte çeliğin de kullanılması önerilmektedir. Oldukça yeni ve güncel olan bu konu üzerinde yapılan sayılı araştırmalar, çeliğin sünek yapısı sayesinde elemanın eğilme performansında belirgin bir iyileşme sağlanabildiğini göstermektedir.

Sunulan çalışmada hibrit (FRP-çelik) donatılı betonarme sürekli kirişlerin analiz ve tasarımına yönelik sayısal bir yöntem önerilmiş ve bu yönteme dayalı olarak hibrit (FRP-çelik) donatılı betonarme sürekli kirişlerin eğilme yükü altında yük – deplasman ilişkisini belirleyebilen bir bilgisayar programı hazırlanmıştır. Önerilen metod ve bilgisayar programı, Dündar ve arkadaşları (2015) tarafından daha önce FRP veya çelik donatılı sürekli betonarme kirişlerin yük – deplasman davranışlarını belirlemek üzere geliştirilmiş olan bir sayısal yöntem ve bilgisayar programının genişletilmesi suretiyle elde edilmiştir. Sayısal yöntemde sürekli kiriş sistemine etkiyen dış yükler nedeniyle elemanların çatlaması durumunda etkili atalet momentleri, çatlamış kesit analizinden elde edilen moment - eğrilik ilişkileri esas alınarak hesaplanmaktadır. Yöntemde, çatlama durumunda eleman davranışını önemli ölçüde etkileyebilecek olan kayma deformasyonları da göz önünde bulundurulmakta ve etkili kayma modülleri literatürde mevcut olan modeller kullanılarak hesaplanmaktadır. Hazırlanan bilgisayar programında çelik ve FRP donatılar kesitin çekme ve basınç bölgesinde tek bir sırada veya iki farklı sırada tanımlanabilmekte, tanımlanan donatılara çekme ve basınç durumları için farklı elastisite modülü değerleri ve benzer şekilde farklı akma veya kopma dayanımı değerleri atanabilmektedir.

Önerilen sayısal yöntemin geçerliliğini belirlemek amacıyla çalışma kapsamında, Çukurova Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Laboratuvarında, iki adet GFRP donatılı ve 6 adet hibrit (GFRP-çelik) donatılı betonarme iki açıklıklı sürekli kiriş, yük – deplasman ilişkisini belirlemek üzere eğilme yükü altında teste tabi tutulmuştur. Deney numuneleri sayısal yönteme dayalı olarak geliştirilen bilgisayar programı ile analiz edilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Çalışma kapsamında ayrıca, literatürde mevcut deneysel bir çalışmada testleri yapılmış olan 6 adet hibrit donatılı (GFRP-çelik) basit mesnetli betonarme kiriş numunesi, geliştirilen bilgisayar programı aracılığı ile çözümlenerek yük - deplasman eğrileri elde edilmiş ve sonuçlar literatürde verilen test sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

Çalışma kapsamında ele alınmış olan basit mesnetli hibrit donatılı (GFRP-çelik) betonarme kirişlerin deplasmanları, geliştirilen sayısal yöntemle taşıma gücü yükü değerine kadar %100'e yakın bir doğruluk derecesiyle belirlenebilmiştir.

Çalışmada ele alınmış olan iki açıklıklı, hibrit donatılı (GFRP-çelik) betonarme sürekli kirişlerin tamamı için taşıma gücü yük değerinin ortalama %65'ine karşılık gelen yük seviyelerine kadar deplasmanlar %100'e yakın bir doğruluk derecesiyle belirlenebilmiştir. Bu yük seviyesinden sonra taşıma gücü yük seviyesine kadar deplasmanlar, ortalama %80'lik bir doğruluk derecesiyle belirlenebilmiştir. Bu farklılaşmanın nedeni, test sırasında taşıma gücüne yakın yük seviyelerinde oluşan aderans kayıpları ve FRP donatı ile beton arasında mükemmel olduğu kabul edilen aderansın gerçekte mükemmel seviyede gerçekleşmemesi olarak ifade edilebilir. Ayrıca, iki açıklıklı sürekli kiriş deney düzeneğinde, orta mesnetteki negatif momentin açıklık ortasındaki pozitif momentten mutlak değerce daha büyük olması göz önünde bulundurulduğunda, sürekli kirişin özellikle orta mesnetinde gelişebilecek lineer olmayan etkilerin, deney sırasında açıklık ortasında ölçülecek deplasman değerlerini önemli oranda etkilemesi beklenmektedir. Bu

nedenle söz konusu farklılaşma, taşıma gücüne yakın yük düzeylerinde beton ve donatı malzemelerinin lineer olmayan davranışlarının daha etkili olması ile de açıklanabilir (Kara, 2007).

Çalışma kapsamında hibrit donatılı deney numuneleri hazırlanırken kesitteki çelik donatı alanının GFRP donatı alanına oranı (çelik/GFRP) değişken tutulmuştur. Yapıan deneyler sonucunda kesitte çelik donatı oranındaki artışın, elemana önemli derecede dayanım ve rijitlik artışı sağladığı belirlenmiştir.

Çalışmada hibrit donatılı betonarme sürekli kiriş kesitindeki donatı düzeninin, elemanın yük - deplasman davranışına etkisi de irdelenmiştir. Bu amaçla deney numuneleri hazırlanırken, çelik/GFRP oranı aynı olan bazı numunelerde çelik ve GFRP donatılar aynı sırada kesite yerleştirilirken, bazı numunelerde çelik donatılar tarafsız eksene daha yakın olan ikinci bir sıraya yerleştirilmişlerdir. Bu şekildeki düzenlemeyle yapılan deneyler sonucunda kesitteki çelik donatıların, elemandaki çatlak gelişimi ve deplasman kontrolünde önemli rol aldığı belirlenmiştir.

Bu çalışmada sunulan sayısal yöntemin önemli avantajları, analizler için tanımlanan donatılara çekme ve basınç durumları için farklı mekanik özellikler atanabilmesi, donatıların çekme ve/veya basınç bölgesinde tek sıra veya iki farklı sıra halinde kesitte tanımlanabilmesi, hibrit donatılı kiriş elemanların eğilme rijitliğindeki değişimlerin sisteme etkiyen dış yüklere bağlı olarak moment - eğrilik ilişkileri yardımıyla elde edilebilmesidir. Böylece bu yöntemle, kesitinde çok farklı tipteki donatılar bulunabilen hibrit donatılı (FRP-çelik) betonarme sürekli kirişlerin deplasmanları, kullanılabilirlik sınırının da ötesinde eğilme kırılması anına kadar hesaplanabilmektedir.

Tezde sunulan çalışmaya ilave olarak yapılabilecek çalışmalar aşağıda sıralanmaktadır;

1) Sunulan çalışmada kullanılmış olan cam lifli polimer donatıdan başka, karbon, bazalt, aramid gibi mekanik özellikleri farklı olan lifli polimer ve çelik donatı içeren hibrit donatılı betonarme kirişlere yönelik deneysel çalışma yapılabilir.
2) Hibrit donatılı betonarme kirişlerin davranışını irdelemek üzere lifli polimer donatının cinsi, donatı oranı, donatı yerleşim detayı, beton basınç dayanımı gibi parametrelerin değişken tutulduğu deneysel çalışmalar yapılabilir.
3) Çelik lifli beton kullanmak suretiyle beton dayanımı arttırılmış olan hibrit donatılı (FRP-çelik) betonarme kirişlere yönelik deneysel çalışmalar yapılabilir.

KAYNAKLAR

ACI Committee 440. 2006. Guide For The Design And Construction Of Structural Concrete Reinforced With FRP Bars. ACI440.1R-06. American Concrete Institute, Farmington Hills., MI, 44p.

Aiello, M. A., Ombres, L., 2002. Structural Performances of Concrete Beams with Hybrid (Fiber-Reinforced Polymer-Steel) Reinforcements. Journal Of Composites For Construction, 6(2), 133-140.

Al-Mahaidi, R. S. H., 1978. Nonlinear Finite Element Analysis Of Reinforced Concrete Deep Members. Department of Structural Engineering. Report No. 79-1, Cornell University, 357p.

Barros J., Sena-Cruz J., 2001. Fracture Energy Of Steel Fiber-Reinforced Concrete. Mech Compos Mater Struct, 8(1), 29–45.

Bencardino, F., Condello, A., Ombres, L., 2016. Numerical And Analytical Modeling Of Concrete Beams With Steel, FRP And Hybrid FRP-Steel Reinforcements. Composites Structures, 140, 53-65.

CAN/CSA-S806-12. Design and construction of building structures with fiber reinforced polymers. CSA 2012; 206p.

Cedolin, L., Poli, S. D., 1977. Finite Element Studies Of Shear-Critical R/C Beams. Journal Of The Engineering Mechanics Division. 103(3), 395-410.

Comité Euro-International Du Béton (CEB). 1990. CEB-FIB model for concrete structures. Bulletin 213/214.

Denvid, L., Pam, H. J., 2010. Experimental Study Of Hybrid FRP Reinforced Concrete Beams. Engineering Structures, 32, 3857-3865.

Dundar, C., Tanrıkulu, A. K., Frosch, R. J., 2015. Prediction Of Load–Deflection Behavior Of Multi-Span FRP And Steel Reinforced Concrete Beams. Composite Structures, 132, 680-693.

El-Refai, A., Abed, F., Al-Rahmani, A., 2015. Structural Performance And Serviceability Of Concrete Beams Reinforced With Hybrid (GFRP And Steel) Bars. Construction And Building Materials. 96, 518-529.

Harris, H. G., Somboonsong W., Ko F. K., 1998. New Ductile Hybrid FRP Reinforcing Bar For Concrete Structures. J Compos Constr, 2(1), 28–37.

Kara, İ. F., 2007. Betonarme Yapıların Çatlama Etkisi Göz Önüne Alınarak Lineer Olmayan Analizi. Ç. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü – Doktora Tezi 259 sayfa.

Kara İ. F., Ashour A. F., Dundar C., 2013. Deflection Of Concrete Structures Reinforced With FRP Bars. Compos Part: B. 44; 375-384.

Kara İ. F., Ashour A. F., Koroglu M. A., 2015. Flexural Behavior Of Hybrid FRP/Steel Reinforced Concrete Beams. Compos Struct, 129; 111-121.

Mazaheripour, H., Barros, J. A. O., Soltanzadeh, F., Sena-Cruz, J., 2016. Deflection And Cracking Behavior Of SFRSCC Beams Reinforced With Hybrid Prestressed GFRP And Steel Reinforcements. Engineering Structures, 125, 546-565.

Qin R., Zhou A., Lau D., 2016. Effect Of Reinforcement Ratio On The Flexural Performance Of Hybrid FRP Reinforced Concrete Beams. Compos: Part B 108, 200-209.

Qu, W., Zhang, X., Huang, H., 2009. Flexural Behavior Of Concrete Beams Reinforced With Hybrid (GFRP And Steel) Bars. Journal Of Composites For Construction, September 13(5), 350-359.

Tanrıkulu A. K., Dundar C., Cagatay I. H., 2000. A Computer Program For The Analysis Of Reinforced Concrete Frames With Cracked Beam Elements. Struct Eng Mech, 10(5):463–78.

Tokgöz, S., 2006. Öngerilmeli ve Betonarme Elemanların İki Eksenli Eğilme ve Eksenel Yük Etkisi Altında Davranışı. Ç. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü – Doktora Tezi 204 sayfa.

Ünsal, İ., Dündar, C., Tanrıkulu, A. K., 2016. Çekme Rijitleşmesinin FRP ve Çelik Donatılı Betonarme Kirişlerin Yük-Deplasman Davranışı Üzerindeki Etkisi. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi. 31(1), 429-439.

Yinghao, L., Yong, Y., 2013. Arrangement of hybrid rebars on flexural behavior of HSC beams. Composites: Part B. 45, 22-31.

Yuzugullu, O., Schnobrich, W. C., 1973. A Numerical Procedure For The Determination Of The Behavior Of A Shear Wall Frame System. ACI Structural Journal. 70(7), 474-479.

ÖZGEÇMİŞ

1976 yılında Adana'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimimi Adana'da tamamladı. 1994 yılında başladığı Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden 1999 yılında mezun oldu. Yurtiçi ve yurtdışında çeşitli inşaat projelerinde çalışmasının ardından 2010 yılında Seyhan İlçe Belediyesinde kamu personeli olarak göreve başladı. 2013 yılında, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisansını tamamladı ve aynı yıl aynı bölümde doktora eğitimine başladı. Evli ve bir çocuk babasıdır.

EKLER

ÇATLAMALARIN ETKİSİ GÖZ ÖNÜNDE BULUNDURULARAK HİBRİT (FRP VE ÇELİK) DONATILI BETONARME SÜREKLİ KİRİŞLERİN ANALİZİ İÇİN GELİŞTİRİLEN BİLGİSAYAR PROGRAMI:

```
Sub crack()
'
' crack Makro
'
'C*************************************************************************
'C*****                  NP1 : MAXIMUM NUMBER OF ELEMENT **********************
'C*****                  NP2 : MAXIMUM DEGREES OF FREEDOM **********************
'C*****                NP3 : MAXIMUM NUMBER OF SECTION TYPE ******************
'C*****       NP4 : NUMBER OF LINES IN MOMENT-CURVATURE TABLE *********
'C*************************************************************************
'
   Dim TYPERT(50, 2) As String, TYPERC(50, 2) As String, TYPERTT(10, 2) As String, TYPERCT(10, 2) As String, PADI As String
   Dim TESTREF As String, BEAMNOT As String, BILGI As String, MODEL2 As String, CMODEL As String
   Dim EXPFMODE As String
'
   Dim KODE(50, 6) As Long, KOD(50) As Long, ID(50) As Long, JD(50) As Long, KODD(50, 3) As Long
   Dim IDN(10) As Long, IDDOG(10) As Long, NTIP(50) As Long, KODB(50, 5) As Long
'
   Dim UYUK(50) As Double, EMT(50, 2) As Double, EMC(50, 2) As Double, SRM(50, 50) As Double, SYV(50) As Double
   Dim AT1(50) As Double, AT2(50, 2) As Double, ALAN(50) As Double, XK(50, 2) As Double, TM(3, 3) As Double
   Dim D(50) As Double, YK(50, 2) As Double, DYUK(50) As Double, ERM(6, 6) As Double, TMOM(50, 6) As Double
   Dim SF(50) As Double, XMCR(50) As Double, XKSI(50, 6) As Double, EL1(50, 6) As Double, EL2(50, 6) As Double
```

```
   Dim PKOOR(50, 2) As Double, ELYV(6) As Double, TEK(50) As Double,
AI(50) As Double, XH(50) As Double
   Dim BW(50) As Double, H(50) As Double, ASS(50, 2) As Double, ASP(50, 2)
As Double, EPST0(50) As Double
   Dim DEFF(50, 2) As Double, SIGMAT(50, 2) As Double, CC(50, 2) As
Double, SIGMAC(50, 2) As Double, YSDEG(10) As Double
   Dim YART(10) As Double, KODEO(50, 6) As Double, AT2O(50) As Double,
BWT(10) As Double, HT(10) As Double
   Dim CURMOM(10, 50, 2) As Double, AST(10, 2) As Double, DEFFT(10, 2) As
Double, SIGMATT(10, 2) As Double
   Dim EMTT(10, 2) As Double, ASPT(10, 2) As Double, CCT(10, 2) As Double,
SIGMACT(10, 2) As Double, EMCT(10, 2) As Double
   Dim BETAF(50, 2) As Double, BETAFF(10) As Double, SIGMATT1000(10, 2)
As Double, SIGMACT1000(10, 2) As Double
   Dim EMTT1000(10, 2) As Double, EMCT1000(10, 2) As Double, SERM(50, 6,
6) As Double, SELYV(50, 6) As Double
   Dim LOADDEF(100, 4) As Double, AT2T(50), CONFAC As Double
'
   Dim NP1 As Long, NP2 As Long, NP3 As Long, NP4 As Long, I As Long, IKK
As Long, ICK As Long, NP As Long
   Dim NM As Long, NSPROP As Long, J As Long, K As Long, NSTYPE As
Long, IBS As Long, JJ As Long
   Dim IBAND As Long, IART As Long, NYART As Long, IYDN As Long,
IYDOG As Long, IDUGNO As Long, IDEPNO As Long
   Dim IADIM As Long, ITR As Long, KOD1 As Long, KOD2 As Long, KON1
As Long
'
   Dim BETA1 As Double, BETA2 As Double, EMCONC As Double, GM As
Double, ENU As Double, BMOMEXP As Double
   Dim FCC1000 As Double, FCTF1000 As Double, EMCONC1000 As Double,
FCC As Double, FCTF As Double
   Dim XNT1 As Double, XNC1 As Double, XB As Double, R As Double, XKD
As Double, YUK1 As Double, YUK2 As Double
   Dim XNT2 As Double, XNC2 As Double

'
   NP1 = 50
   NP2 = 50
   NP3 = 10
   NP4 = 50
'
```

```
'*************************************************************************
****
'*********                    READING   DATA   FROM   MAIN   PAGE
************************
'*************************************************************************
****
'
'
   Range("E3").Select
   PADI = ActiveCell
   TESTREF = PADI
   Range("E4").Select
   BEAMNOT = ActiveCell
   Range("H13").Select
   BILGI = ActiveCell
   If BILGI = "UNCONSIDERED" Then
     ICK = 0
   Else
     ICK = 1
     MODEL1 = BILGI
   End If
'
   Range("H14").Select
   BILGI = ActiveCell
   If BILGI = "UNCONSIDERED" Then
     IKK = 0
   Else
     IKK = 1
     MODEL2 = BILGI
   End If
'
   Range("H5").Select
   NP = ActiveCell
   Range("H6").Select
   NM = ActiveCell
   Range("H7").Select
   NSPROP = ActiveCell
   Range("H8").Select
   FCC = ActiveCell
   FCC1000 = FCC * 1000
   Range("H9").Select
   FCTF = ActiveCell
```

```
    FCTF1000 = FCTF * 1000
    Range("H10").Select
    EMCONC = ActiveCell
    EMCONC1000 = EMCONC * 1000
    Range("H11").Select
    CMODEL = ActiveCell
    Range("H12").Select
    ENU = ActiveCell
    Range("I11").Select
    TSP = ActiveCell
    If TSP <= 1 Then TSP = 1.1
    Range("N12").Select
    CONFAC = ActiveCell
'
    Range("G16").Select
    For I = 1 To NSPROP
      ActiveCell.Offset(1, 0).Select
      BWT(I) = ActiveCell
'
      ActiveCell.Offset(1, 0).Select
      HT(I) = ActiveCell
      ActiveCell.Offset(1, 0).Select
      TYPERTT(I, 1) = ActiveCell
      ActiveCell.Offset(1, 0).Select
      AST(I, 1) = ActiveCell
      If AST(I, 1) = 0 Then AST(I, 1) = 12.5
      ActiveCell.Offset(1, 0).Select
      DEFFT(I, 1) = ActiveCell
      ActiveCell.Offset(1, 0).Select
      SIGMATT(I, 1) = ActiveCell
      SIGMATT1000(I, 1) = SIGMATT(I, 1) * 1000
      ActiveCell.Offset(1, 0).Select
      EMTT(I, 1) = ActiveCell
      EMTT1000(I, 1) = EMTT(I, 1) * 1000
'*****************************************************************
'       bottom1 sonu
'*****************************************************************
'
      ActiveCell.Offset(1, 0).Select
      TYPERTT(I, 2) = ActiveCell
      ActiveCell.Offset(1, 0).Select
      AST(I, 2) = ActiveCell
```

```
    If AST(I, 2) = 0 Then AST(I, 2) = 12.5
    ActiveCell.Offset(1, 0).Select
    DEFFT(I, 2) = ActiveCell
    ActiveCell.Offset(1, 0).Select
    SIGMATT(I, 2) = ActiveCell
    SIGMATT1000(I, 2) = SIGMATT(I, 2) * 1000
    ActiveCell.Offset(1, 0).Select
    EMTT(I, 2) = ActiveCell
    EMTT1000(I, 2) = EMTT(I, 2) * 1000
'*****************************************************************
'       bottom2 sonu
'*****************************************************************
    ActiveCell.Offset(1, 0).Select
    TYPERCT(I, 1) = ActiveCell
    ActiveCell.Offset(1, 0).Select
    ASPT(I, 1) = ActiveCell
    If ASPT(I, 1) = 0 Then ASPT(I, 1) = 12.5
    ActiveCell.Offset(1, 0).Select
    CCT(I, 1) = ActiveCell
    ActiveCell.Offset(1, 0).Select
    SIGMACT(I, 1) = ActiveCell
    SIGMACT1000(I, 1) = SIGMACT(I, 1) * 1000
    ActiveCell.Offset(1, 0).Select
    EMCT(I, 1) = ActiveCell
    EMCT1000(I, 1) = EMCT(I, 1) * 1000
'*****************************************************************
'       top1 sonu
'*****************************************************************
    ActiveCell.Offset(1, 0).Select
    TYPERCT(I, 2) = ActiveCell
    ActiveCell.Offset(1, 0).Select
    ASPT(I, 2) = ActiveCell
    If ASPT(I, 2) = 0 Then ASPT(I, 2) = 12.5
    ActiveCell.Offset(1, 0).Select
    CCT(I, 2) = ActiveCell
    ActiveCell.Offset(1, 0).Select
    SIGMACT(I, 2) = ActiveCell
    SIGMACT1000(I, 2) = SIGMACT(I, 2) * 1000
    ActiveCell.Offset(1, 0).Select
    EMCT(I, 2) = ActiveCell
    EMCT1000(I, 2) = EMCT(I, 2) * 1000
'*****************************************************************
```

```
'       top2 sonu
'*****************************************************************
     ActiveCell.Offset(-22, 1).Select
     BETAFF(I) = 1
   Next I
'
   For I = 1 To NSPROP
     BWT(I + NSPROP) = BWT(I)
     HT(I + NSPROP) = HT(I)
     TYPERTT(I + NSPROP, 1) = TYPERCT(I, 1)
     AST(I + NSPROP, 1) = ASPT(I, 1)
     DEFFT(I + NSPROP, 1) = HT(I) - CCT(I, 1)
     SIGMATT(I + NSPROP, 1) = SIGMACT(I, 1)
     SIGMATT1000(I + NSPROP, 1) = SIGMATT(I + NSPROP, 1) * 1000
     EMTT(I + NSPROP, 1) = EMCT(I, 1)
     EMTT1000(I + NSPROP, 1) = EMTT(I + NSPROP, 1) * 1000
     TYPERCT(I + NSPROP, 1) = TYPERTT(I, 1)
     ASPT(I + NSPROP, 1) = AST(I, 1)
     CCT(I + NSPROP, 1) = HT(I) - DEFFT(I, 1)
     SIGMACT(I + NSPROP, 1) = SIGMATT(I, 1)
     SIGMACT1000(I + NSPROP, 1) = SIGMACT(I + NSPROP, 1) * 1000
     EMCT(I + NSPROP, 1) = EMTT(I, 1)
     EMCT1000(I + NSPROP, 1) = EMCT(I + NSPROP, 1) * 1000
     BETAFF(I + NSPROP) = BETAFF(I)
'
     TYPERTT(I + NSPROP, 2) = TYPERCT(I, 2)
     AST(I + NSPROP, 2) = ASPT(I, 2)
     DEFFT(I + NSPROP, 2) = HT(I + NSPROP) - CCT(I, 2)
     SIGMATT(I + NSPROP, 2) = SIGMACT(I, 2)
     SIGMATT1000(I + NSPROP, 2) = SIGMATT(I + NSPROP, 2) * 1000
     EMTT(I + NSPROP, 2) = EMCT(I, 2)
     EMTT1000(I + NSPROP, 2) = EMTT(I + NSPROP, 2) * 1000
     TYPERCT(I + NSPROP, 2) = TYPERTT(I, 2)
     ASPT(I + NSPROP, 2) = AST(I, 2)
     CCT(I + NSPROP, 2) = HT(I + NSPROP) - DEFFT(I, 2)
     SIGMACT(I + NSPROP, 2) = SIGMATT(I, 2)
     SIGMACT1000(I + NSPROP, 2) = SIGMACT(I + NSPROP, 2) * 1000
     EMCT(I + NSPROP, 2) = EMTT(I, 2)
     EMCT1000(I + NSPROP, 2) = EMCT(I + NSPROP, 2) * 1000
   Next I
'
    For K = 1 To (2 * NSPROP)
```

```
      XNT1 = EMTT(K, 1) / EMCONC
      XNT2 = EMTT(K, 2) / EMCONC
      XNC1 = EMCT(K, 1) / EMCONC
      XNC2 = EMCT(K, 2) / EMCONC
'
      AAA = BWT(K) / 2
      BBB = (XNC1 - 1) * ASPT(K, 1) + (XNC2 - 1) * ASPT(K, 2) + XNT1 *
AST(K, 1) + XNT2 * AST(K, 2)
      CCC = -((XNC1 - 1) * ASPT(K, 1) * CCT(K, 1) + (XNC2 - 1) * ASPT(K, 2)
* CCT(K, 2) + XNT1 * AST(K, 1) * DEFFT(K, 1) + XNT2 * AST(K, 2) *
DEFFT(K, 2))
'
      DLTA = (BBB * BBB) - (4 * AAA * CCC)
      XKD = (-BBB + Sqr(DLTA)) / (2 * AAA)
'
      AT2T(K) = BWT(K) * XKD * XKD * XKD / 3 + (XNT1 * AST(K, 1) *
(DEFFT(K, 1) - XKD) * (DEFFT(K, 1) - XKD) + XNT2 * AST(K, 2) *
(DEFFT(K, 2) - XKD) * (DEFFT(K, 2) - XKD) + (XNC1 - 1) * ASPT(K, 1) *
(XKD - CCT(K, 1)) * (XKD - CCT(K, 1)) + (XNC2 - 1) * ASPT(K, 2) * (XKD -
CCT(K, 2)) * (XKD - CCT(K, 2)))
'
    Next K
'
'
'


   If ICK = 1 Then
'
      If MODEL1 = "CEB" Then
        Range("J13").Select
        BETA1 = ActiveCell
        Range("K13").Select
        BETA2 = ActiveCell
      End If
'
      If MODEL1 = "ACI440.1R-06" Then
'
        For I = 1 To (2 * NSPROP)
        If TYPERTT(I, 1) = "STEEL" And TYPERTT(I, 2) = "STEEL" Then
           GoTo 265
        ElseIf TYPERTT(I, 1) = "STEEL" And TYPERTT(I, 2) <> "STEEL" Then
```

```
            ROF = (AST(I, 2) / (BWT(I) * DEFFT(I, 2))) + ((SIGMATT1000(I, 1) /
SIGMATT1000(I, 2)) * (AST(I, 1) / (BWT(I) * DEFFT(I, 1))))
            If FCC1000 <= 27.58 Then
              BET1 = 0.85
            Else
              BET1 = 0.85 - 0.05 * (FCC1000 - 27.58) / 6.895
              If BET1 <= 0.65 Then BET1 = 0.65
            End If
            ROFB = 0.85 * BET1 * FCC1000 / SIGMATT1000(I, 2)
            ROFB = ROFB * (EMTT1000(I, 2) * 0.0035) / (EMTT1000(I, 2) *
0.0035 + SIGMATT1000(I, 2))
        Else
            ROF = (AST(I, 1) / (BWT(I) * DEFFT(I, 1))) + ((SIGMATT1000(I, 2) /
SIGMATT1000(I, 1)) * (AST(I, 2) / (BWT(I) * DEFFT(I, 2))))
            If FCC1000 <= 27.58 Then
              BET1 = 0.85
            Else
              BET1 = 0.85 - 0.05 * (FCC1000 - 27.58) / 6.895
              If BET1 <= 0.65 Then BET1 = 0.65
            End If
            ROFB = 0.85 * BET1 * FCC1000 / SIGMATT1000(I, 1)
            ROFB = ROFB * (EMTT1000(I, 1) * 0.0035) / (EMTT1000(I, 1) *
0.0035 + SIGMATT1000(I, 1))
        End If


          BETAFF(I) = 0.2 * ROF / ROFB * 1
          If BETAFF(I) > 1 Then BETAFF(I) = 1
265         Next I
'
        BETA1 = 3
        BETA2 = 1
      End If
'
      If MODEL1 = "BISCHOFF" Then
        BETA1 = 1
        BETA2 = 1
      End If
'
      If MODEL1 = "ISIS" Then
        BETA1 = 1
        BETA2 = 0.5
```

```
      End If
'
      If MODEL1 = "ACI440-H" Then
        BETA1 = 2
        BETA2 = 1
      End If
    End If
'
    Range("O71").Select
    BMOMEXP = ActiveCell
    Range("O72").Select
    EXPFMODE = ActiveCell
'
    Call SFIRM4(KODD, NP, 3)
'
    Range("C43").Select
'
    For J = 1 To NP
      ActiveCell.Offset(1, 0).Select
      K = ActiveCell
      ActiveCell.Offset(0, 1).Select
      PKOOR(K, 1) = ActiveCell
      ActiveCell.Offset(0, 1).Select
      PKOOR(K, 2) = ActiveCell
      ActiveCell.Offset(0, 1).Select
      KODD(K, 1) = ActiveCell
      ActiveCell.Offset(0, 1).Select
      KODD(K, 2) = ActiveCell
      ActiveCell.Offset(0, 1).Select
      KODD(K, 3) = ActiveCell
      ActiveCell.Offset(0, -5).Select
    Next J
'
    Range("C67").Select
'
    For J = 1 To NM
      ActiveCell.Offset(1, 0).Select
      K = ActiveCell
      ActiveCell.Offset(0, 1).Select
      ID(K) = ActiveCell
      ActiveCell.Offset(0, 1).Select
      JD(K) = ActiveCell
```

```
    ActiveCell.Offset(0, 1).Select
    NSTYPE = ActiveCell
    ActiveCell.Offset(0, -3).Select
'
    NTIP(K) = NSTYPE
    BW(K) = BWT(NSTYPE)
    H(K) = HT(NSTYPE)
    TYPERT(K, 1) = TYPERTT(NSTYPE, 1)
    TYPERT(K, 2) = TYPERTT(NSTYPE, 2)
    ASS(K, 1) = AST(NSTYPE, 1)
    ASS(K, 2) = AST(NSTYPE, 2)
    DEFF(K, 1) = DEFFT(NSTYPE, 1)
    DEFF(K, 2) = DEFFT(NSTYPE, 2)
    SIGMAT(K, 1) = SIGMATT(NSTYPE, 1)
    SIGMAT(K, 2) = SIGMATT(NSTYPE, 2)
    EMT(K, 1) = EMTT(NSTYPE, 1)
    EMT(K, 2) = EMTT(NSTYPE, 2)
    TYPERC(K, 1) = TYPERCT(NSTYPE, 1)
    TYPERC(K, 2) = TYPERCT(NSTYPE, 2)
    ASP(K, 1) = ASPT(NSTYPE, 1)
    ASP(K, 2) = ASPT(NSTYPE, 2)
    CC(K, 1) = CCT(NSTYPE, 1)
    CC(K, 2) = CCT(NSTYPE, 2)
    SIGMAC(K, 1) = SIGMACT(NSTYPE, 1)
    SIGMAC(K, 2) = SIGMACT(NSTYPE, 2)
    EMC(K, 1) = EMCT(NSTYPE, 1)
    EMC(K, 2) = EMCT(NSTYPE, 2)
'
    AT1(K) = BW(K) * H(K) * H(K) * H(K) / 12
    ALAN(K) = BW(K) * H(K)
    AT2(K, 1) = AT2T(NSTYPE)
    AT2(K, 2) = AT2T(NSTYPE + NSPROP)
    BETAF(K, 1) = BETAFF(NSTYPE)
    BETAF(K, 2) = BETAFF(NSTYPE + NSPROP)
'
    XH(K) = H(K) / 2
    SF(K) = 1.2
    XMCR(K) = FCTF * AT1(K) / XH(K)
    EPST0(K) = FCTF / EMCONC
20  Next J
'
    IBS = 1
```

```
    For J = 1 To NP
    For JJ = 1 To 3
      Select Case KODD(J, JJ)
      Case Is = 1
        KODD(J, JJ) = 0
        GoTo 60
      Case Else
        KODD(J, JJ) = IBS
        IBS = IBS + 1
      End Select
60    Next JJ
    Next J
'
    IBS = IBS - 1
'
    For J = 1 To NM
      KODE(J, 1) = KODD(ID(J), 1)
      KODE(J, 2) = KODD(ID(J), 2)
      KODE(J, 3) = KODD(ID(J), 3)
      KODE(J, 4) = KODD(JD(J), 1)
      KODE(J, 5) = KODD(JD(J), 2)
      KODE(J, 6) = KODD(JD(J), 3)
      XK(J, 1) = PKOOR(ID(J), 1)
      XK(J, 2) = PKOOR(JD(J), 1)
      YK(J, 1) = PKOOR(ID(J), 2)
      YK(J, 2) = PKOOR(JD(J), 2)
    Next J

    Call BAND(NP1, NM, KODE, IBAND)
'
    Call SFIRV8(UYUK, NM)
    Call SFIRV8(TEK, NM)
    Call SFIRV8(AI, NM)
    Call SFIRV8(DYUK, IBS)
'
    Range("G68").Select
    For K = 1 To NM
      If ActiveCell <> 0 Then
        UYUK(K) = ActiveCell
      End If
      ActiveCell.Offset(0, 1).Select
      If ActiveCell = "" Then
```

```
    TEK(K) = 0
   Else
    TEK(K) = ActiveCell
   End If
   ActiveCell.Offset(0, 1).Select
   If ActiveCell = "" Then
    AI(K) = 0
   Else
    AI(K) = ActiveCell
   End If
   ActiveCell.Offset(1, -2).Select
  Next K
'
  Range("I44").Select
  J = 1
  For K = 1 To NP
   If ActiveCell <> "" Then
    If KODD(K, 1) <> 0 Then
     DYUK(KODD(K, 1)) = ActiveCell
    End If
   End If
   ActiveCell.Offset(0, 1).Select
   If ActiveCell <> "" Then
    IDN(J) = K
    IDDOG(J) = 1
    YSDEG(J) = ActiveCell
    ActiveCell.Offset(0, 1).Select
    YART(J) = ActiveCell
    J = J + 1
    IART = 1
   Else
    ActiveCell.Offset(0, 1).Select
   End If
   ActiveCell.Offset(0, 1).Select
   If ActiveCell <> "" Then
    If KODD(K, 2) <> 0 Then
     DYUK(KODD(K, 2)) = ActiveCell
    End If
   End If
   ActiveCell.Offset(0, 1).Select
   If ActiveCell <> "" Then
    IDN(J) = K
```

```
        IDDOG(J) = 2
        YSDEG(J) = ActiveCell
        ActiveCell.Offset(0, 1).Select
        YART(J) = ActiveCell
        J = J + 1
        IART = 1
      Else
        ActiveCell.Offset(0, 1).Select
      End If
      ActiveCell.Offset(0, 1).Select
      If ActiveCell <> "" Then
        If KODD(K, 3) <> 0 Then
          DYUK(KODD(K, 3)) = ActiveCell
        End If
      End If
      ActiveCell.Offset(0, 1).Select
      If ActiveCell <> "" Then
        IDN(J) = K
        IDDOG(J) = 2
        YSDEG(J) = ActiveCell
        ActiveCell.Offset(0, 1).Select
        YART(J) = ActiveCell
        J = J + 1
        IART = 1
      Else
        ActiveCell.Offset(0, 1).Select
      End If
      ActiveCell.Offset(1, -8).Select
    Next K
'
    NYART = J - 1
'
    If IART = 1 Then
      Range("K68").Select
      IYDN = ActiveCell
      ActiveCell.Offset(0, 1).Select
      If ActiveCell = "x" Then IYDOG = 1
      If ActiveCell = "y" Then IYDOG = 2
      If ActiveCell = "moment" Then IYDOG = 3
      ActiveCell.Offset(0, 1).Select
      IDUGNO = ActiveCell
      ActiveCell.Offset(0, 1).Select
```

```
        If ActiveCell = "x" Then IDEPNO = 1
        If ActiveCell = "y" Then IDEPNO = 2
        If ActiveCell = "dönme" Then IDEPNO = 3
      End If
'*********************************************************************
****
'*********      END OF READING DATA FROM MAIN PAGE
************************
'*********************************************************************
****
'
         Range("A10").Select
         starttime = Time
         Sheets("LOAD-DEFLECTION").Select
         Range("A1").Select
'
'Get current state of various Excel settings; put this at the beginning of your code
        screenUpdateState = Application.ScreenUpdating
        statusBarState = Application.DisplayStatusBar
        calcState = Application.Calculation
        eventsState = Application.EnableEvents
        displayPageBreakState = ActiveSheet.DisplayPageBreaks 'note this is a
sheet-level setting
'turn off some Excel functionality so your code runs faster
        Application.ScreenUpdating = False
        Application.DisplayStatusBar = False
        Application.Calculation = xlCalculationManual
        Application.EnableEvents = False
        ActiveSheet.DisplayPageBreaks = False 'note this is a sheet-level setting
'
        Sheets("MOMENT-CURVATURE").Select
        Range("A1:Z10000").Select
        Selection.Clear
        Range("A1").Select
'
   For I = 1 To NM
   For J = 1 To 6
     KODEO(I, J) = KODE(I, J)
   Next J
   Next I
'
   For I = 1 To (2 * NSPROP)
```

```
    ActiveCell.Offset(1, 0).Select
    ActiveCell.Formula = "SECTION TYPE:"
    ActiveCell.Offset(0, 1).Select
    If I <= NSPROP Then
      ActiveCell.Formula = I
    With Selection
       .HorizontalAlignment = xlCenter
       .VerticalAlignment = xlBottom
       .WrapText = False
       .Orientation = 0
       .AddIndent = False
       .IndentLevel = 0
       .ShrinkToFit = False
       .ReadingOrder = xlContext
       .MergeCells = False
    End With
      ActiveCell.Offset(0, 1).Select
      ActiveCell.Formula = "(BOTTOM REINFORCEMENT IN TENSION)"
      ActiveCell.Offset(0, -1).Select
    Else
      ActiveCell.Formula = I - NSPROP
    With Selection
       .HorizontalAlignment = xlCenter
       .VerticalAlignment = xlBottom
       .WrapText = False
       .Orientation = 0
       .AddIndent = False
       .IndentLevel = 0
       .ShrinkToFit = False
       .ReadingOrder = xlContext
       .MergeCells = False
    End With
      ActiveCell.Offset(0, 1).Select
      ActiveCell.Formula = "(TOP REINFORCEMENT IN TENSION)"
      ActiveCell.Offset(0, -1).Select
    End If
'       Call CRSECTION(TESTREF, BEAMNOT, BWT(I), HT(I), FCC1000,
FCTF1000, TYPERTT(I), AST(I), DEFFT(I), SIGMATT1000(I), EMTT1000(I),
TYPERCT(I), ASPT(I), CCT(I), SIGMACT1000(I), EMCT1000(I), FAILMODE,
EXPFMODE, EMCONC1000, BMOMEXP, CMODEL, I, CURMOM, TSP)
' YUKARIDAKİ SATIR ŞÖYLE OLMALI:
```

```
   Call CRSECTION(TESTREF, BEAMNOT, BWT(I), HT(I), FCC1000,
FCTF1000, TYPERTT(I, 1), TYPERTT(I, 2), AST(I, 1), AST(I, 2), DEFFT(I, 1),
DEFFT(I, 2), SIGMATT1000(I, 1), SIGMATT1000(I, 2), EMTT1000(I, 1),
EMTT1000(I, 2), TYPERCT(I, 1), TYPERCT(I, 2), ASPT(I, 1), ASPT(I, 2),
CCT(I, 1), CCT(I, 2), SIGMACT1000(I, 1), SIGMACT1000(I, 2), EMCT1000(I,
1), EMCT1000(I, 2), FAILMODE, EXPFMODE, EMCONC1000, BMOMEXP,
CMODEL, I, CURMOM, TSP)
  Next I
 Call curfresh
'
'
'
**********************************************************************
***
'                  *******                              YUK                  ARTIM
DONGUSU*******************************************
'
**********************************************************************
***
'
'
   GM = EMCONC / (2 * (1 + ENU))
   IADIM = 0
'
5000  IADIM = IADIM + 1
'     MsgBox "IADIM=" & IADIM
'
    Call SFIRM8(SELYV, NM, 6)
    Call SFIR3M8(SERM, NM, 6, 6)
    Call SFIRM8(XKSI, NM, 6)
    Call SFIRM8(EL1, NM, 6)
    Call SFIRM8(EL2, NM, 6)
    Call SFIRM8(KODB, NM, 5)
    Call SFIRV8(ELYV, 6)
    Call SFIRM8(ERM, 6, 6)
    Call SFIRM8(SRM, IBS, IBAND)
    Call SFIRV8(SYV, IBS)
'
    For I = 1 To NM
    For J = 1 To 6
       KODE(I, J) = KODEO(I, J)
    Next J
```

```
    Next I
'
'                                                                    '
**********************************************************************
***
' *********       LINEAR ANALYSIS            **********************
'
**********************************************************************
***
'
     For I = 1 To NM
       Call TMAT(NP1, I, XK, YK, TM, D)
       KOD(I) = 0
       Call CERM(NP1, I, XMCR(I), EL1, UYUK(I), XKSI, KODB, D(I),
MODEL1, BETA1, BETA2, BETAF, AT1(I), AT2, ALAN(I), EMCONC, GM,
ERM, ELYV, TM, SF(I), KOD(I), TEK(I), AI(I), IKK, XH(I), EPST0(I),
MODEL2, CURMOM, NTIP(I), NP4, NSPROP)
       Call ERMSAKLA(ERM, ELYV, I, SERM, SELYV)
       Call SISTEM(NP1, NP2, I, IBS, IBAND, KODE, ERM, ELYV, SRM, SYV)
     Next I
     Call EKLE(NP2, IBS, SYV, DYUK)
'
     Call COZUM(SRM, SYV, IBS, IBAND, NP2)
'
     For I = 1 To NM
       Call TMAT(NP1, I, XK, YK, TM, D)
       Call ELUC(NP1, NP2, I, SYV, KODE, TM, EL1, SERM, SELYV)
       For J = 1 To 6
        TMOM(I, J) = EL1(I, J)
1015    Next J
1010  Next I
'
     If ICK = 0 Then GoTo 900
'
'


'
**********************************************************************
***
'                  *********                START                ITERATION
************************************
```

```
'
'*************************************************************************
***
'
     ITR = 1
'
1    Call SFIRM8(SRM, IBS, IBAND)
     Call SFIRV8(SYV, IBS)
     For I = 1 To NM
       Call TMAT(NP1, I, XK, YK, TM, D)
       Call KONTROL1(NP1, I, XMCR, EL1, UYUK, XKSI, KODB, KOD(I), D,
TEK, AI)
256          Call CERM(NP1, I, XMCR(I), EL1, UYUK(I), XKSI, KODB, D(I),
MODEL1, BETA1, BETA2, BETAF, AT1(I), AT2, ALAN(I), EMCONC, GM,
ERM, ELYV, TM, SF(I), KOD(I), TEK(I), AI(I), IKK, XH(I), EPST0(I),
MODEL2, CURMOM, NTIP(I), NP4, NSPROP)
       Call ERMSAKLA(ERM, ELYV, I, SERM, SELYV)
       Call SISTEM(NP1, NP2, I, IBS, IBAND, KODE, ERM, ELYV, SRM, SYV)
1030   Next I
'
     Call EKLE(NP2, IBS, SYV, DYUK)
     Call COZUM(SRM, SYV, IBS, IBAND, NP2)
     For I = 1 To NM
      Call TMAT(NP1, I, XK, YK, TM, D)
      Call ELUC(NP1, NP2, I, SYV, KODE, TM, EL2, SERM, SELYV)
1040  Next I
'
'C*************************************************************************
*****
'C*********  APPLY CONVERGENCE CRITERION FOR THE MEMBER
****************
'C*********      END FORCES OF TWO SUBSEQUENT ITERATION
*****************
'C*********  IF KOD=1 CONTINUE                    ***************
'C*************************************************************************
*****
'
     KOD2 = 0
     For I = 1 To NM
      Call KONTROL2(NP1, I, EL1, EL2, KOD1, CONFAC)
'
       TMOM(I, 3) = TMOM(I, 3) + EL2(I, 3)
```

```
       TMOM(I, 6) = TMOM(I, 6) + EL2(I, 6)
       EL1(I, 3) = TMOM(I, 3) / (ITR + 1)
       EL1(I, 6) = TMOM(I, 6) / (ITR + 1)
       TMOM(I, 2) = TMOM(I, 2) + EL2(I, 2)
       TMOM(I, 5) = TMOM(I, 5) + EL2(I, 5)
       EL1(I, 2) = TMOM(I, 2) / (ITR + 1)
       EL1(I, 5) = TMOM(I, 5) / (ITR + 1)
       TMOM(I, 1) = TMOM(I, 1) + EL2(I, 1)
       TMOM(I, 4) = TMOM(I, 4) + EL2(I, 4)
       EL1(I, 1) = TMOM(I, 1) / (ITR + 1)
       EL1(I, 4) = TMOM(I, 4) / (ITR + 1)
       If KOD1 = 1 Then KOD2 = 1
1050  Next I
'
     If KOD2 = 1 Then
      ITR = ITR + 1
      GoTo 1
      Else
      GoTo 33
     End If
'
33    If IART = 1 Then
     LOADDEF(IADIM, 1) = DYUK(KODD(IYDN, IYDOG))
     LOADDEF(IADIM, 2) = SYV(KODD(IDUGNO, IDEPNO))
     LOADDEF(IADIM, 3) = ITR
     LOADDEF(IADIM, 4) = Time - starttime
'
     KON1 = 0
     For I = 1 To NYART
       YUK1 = Abs(DYUK(KODD(IDN(I), IDDOG(I))))
       YUK2 = Abs(YSDEG(I))
       If YUK1 > YUK2 Then GoTo 333
       DYUK(KODD(IDN(I), IDDOG(I))) = DYUK(KODD(IDN(I), IDDOG(I))) +
YART(I)
       KON1 = KON1 + 1
333   Next I
       If KON1 > 0 Then GoTo 5000
     End If
900
'
'after your code runs, restore state; put this at the end of your code
     Application.ScreenUpdating = screenUpdateState
```

```
    Application.DisplayStatusBar = statusBarState
    Application.Calculation = calcState
    Application.EnableEvents = eventsState
    ActiveSheet.DisplayPageBreaks = displayPageBreaksState 'note this is a sheet-
level setting
'
    finishingtime = Time
    SURE = finishingtime - starttime

    Call LOADDEFLECTION(IADIM, IART, PADI, MODEL1, IYDN, IYDOG,
IDUGNO, IDEPNO, LOADDEF, SURE)
9000  End Sub

Sub SFIRM4(KA, N, M)
'
Dim I As Long, J As Long
For I = 1 To N
For J = 1 To M
  KA(I, J) = 0
Next J
Next I
End Sub
Sub SFIRV8(A, N)
'
Dim I As Long
For I = 1 To N
  A(I) = 0
Next I
End Sub
Sub SFIRM8(A, N, M)
'
Dim I As Long, J As Long
For I = 1 To N
  For J = 1 To M
    A(I, J) = 0
  Next J
Next I
End Sub
Sub SFIR3M8(A, K, N, M)
'
Dim I1 As Long, I2 As Long, I3  As Long
For I1 = 1 To K
```

```
 For I2 = 1 To M
  For I3 = 1 To N
    A(I1, I2, I3) = 0
  Next I3
 Next I2
Next I1
End Sub
     Sub BAND(NP1, NM, KODE, IBAND)
'
     Dim I As Long, J As Long, JJ As Long, K As Long, M As Long
     IBAND = 0
     For I = 1 To NM
       For J = 1 To 5
         JJ = J + 1
         For K = JJ To 6
           Select Case KODE(I, J)
           Case Is = 0
             GoTo 30
           End Select
           Select Case KODE(I, K)
           Case Is = 0
             GoTo 30
           End Select
           M = Abs(Abs(KODE(I, J)) - Abs(KODE(I, K)))
           If M > IBAND Then IBAND = M
30         Next K
20       Next J
10     Next I
     IBAND = IBAND + 1
'
     End Sub

'         Call CRSECTION(TESTREF, BEAMNOT, BWT(I), HT(I), FCC1000,
FCTF1000, TYPERTT(I, 1), TYPERTT(I, 2), AST(I, 1), AST(I, 2), DEFFT(I, 1),
DEFFT(I, 2), SIGMATT1000(I, 1), SIGMATT1000(I, 2), EMTT1000(I, 1),
EMTT1000(I, 2), TYPERCT(I, 1), TYPERCT(I, 2), ASPT(I, 1), ASPT(I, 2),
CCT(I, 1), CCT(I, 2), SIGMACT1000(I, 1), SIGMACT1000(I, 2), EMCT1000(I,
1), EMCT1000(I, 2), FAILMODE, EXPFMODE, EMCONC1000, BMOMEXP,
CMODEL, I, CURMOM, TSP)

     Sub CRSECTION(TESTREF, BEAMNOT, WDTH, DPTH, FCP, FR,
TYPERT1, TYPERT2, AF1, AF2, DEFF1, DEFF2, SIGMAFT1, SIGMAFT2,
```

```
EMFT1, EMFT2, TYPERC1, TYPERC2, AFP1, AFP2, DCOMPFP1,
DCOMPFP2, SIGMAFP1, SIGMAFP2, EMFP1, EMFP2, FAILMODE,
EXPFMODE, EMCONC, BMOMEXP, CMODEL, II, CURMOM, TSP)
'
'
 Dim NUSECSEG As Long, I As Long, ICOUNT As Long
'
 Dim ASP As Double, DCOMSP As Double, SIGMACOM As Double, EMC As
Double, DCOMFP As Double, SIGMAFC As Double
 Dim EMFC As Double, FEPSTU As Double, CFIBREF As Double, COMPRF As
Double, COMPMOM As Double
 Dim INTEREPS As Double, EPSCU As Double, EPSCR As Double, EPSTU As
Double, TDECRATE As Double
 Dim EPSYIELD As Double, FEPSCU As Double, TSEGMENT As Double,
BMMAX As Double
 Dim NADEPTH As Double, NADEPBAL As Double, EPSCTF As Double,
DEPTHNA As Double, TCONFRC As Double
 Dim TCONMOM As Double, DSEG As Double, EPSCONC As Double,
CSEGFRC As Double, CSEGMOM As Double
 Dim CONFORCE As Double, CONMOM As Double, TFIBREF As Double,
TBFORCE As Double, EPSSCOMP As Double
 Dim TCOMFRC As Double, TCOMMOM As Double, EPSFCOMP As Double,
EPSCINC As Double, NADEPMIN As Double
 Dim TSTRESS As Double, TTENFRC As Double, TTENMOM As Double,
TENMOM As Double, FCONC As Double
 Dim TLRNC As Double, DNADEPTH As Double, BMEQ As Double, CURVEQ
As Double, CONFEQ As Double
 Dim AFTF As Double, TNOP As Double, NADEPMX As Double, EPSFRP As
Double, STRESS As Double
 Dim FEPCU As Double, NAEQ As Double
'
 If TYPERC1 = "STEEL" Then
       ASP1 = AFP1
       DCOMSP1 = DCOMPFP1
       SIGMACOM1 = SIGMAFP1
       EMC1 = EMFP1
 ElseIf TYPERC1 = "CFRP" Or TYPERC1 = "GFRP" Or TYPERC1 = "AFRP" Or
TYPERC1 = "BFRP" Then
       AFP1 = AFP1
       DCOMFP1 = DCOMPFP1
       SIGMAFC1 = SIGMAFP1
       EMFC1 = EMFP1
```

```
 End If
'C
'
 If TYPERC2 = "STEEL" Then
       ASP2 = AFP2
       DCOMSP2 = DCOMPFP2
       SIGMACOM2 = SIGMAFP2
       EMC2 = EMFP2
 ElseIf TYPERC2 = "CFRP" Or TYPERC2 = "GFRP" Or TYPERC2 = "AFRP" Or
TYPERC2 = "BFRP" Then
       AFP2 = AFP2
       DCOMFP2 = DCOMPFP2
       SIGMAFC2 = SIGMAFP2
       EMFC2 = EMFP2
 End If
'
'C Tensile reinforcement material properties
   FEPSTU1 = SIGMAFT1 / EMFT1
   FEPSTU2 = SIGMAFT2 / EMFT2
'
   CFIBREF = 0
   COMPRF = 0
   COMPMOM = 0
'C Concrete material properties
   INTEREPS = 0.002
   EPSCU = 0.0035
   EPSCR = FR / EMCONC
   EPSTU = TSP * EPSCR
   TDECRATE = FR / (EPSTU - EPSCR)
'
'C Compressive reinforcement material properties
     If AFP1 > 0 Then
       If TYPERC1 = "STEEL" Then
         EPSYIELD1 = SIGMACOM1 / EMC1
       ElseIf TYPERC1 = "CFRP" Or TYPERC1 = "GFRP" Or TYPERC1 =
"AFRP" Or TYPERC1 = "BFRP" Then
         FEPSCU1 = SIGMAFC1 / EMFC1
       End If
     End If
'
     If AFP2 > 0 Then
       If TYPERC2 = "STEEL" Then
```

```
          EPSYIELD2 = SIGMACOM2 / EMC2
        ElseIf TYPERC2 = "CFRP" Or TYPERC2 = "GFRP" Or TYPERC2 =
"AFRP" Or TYPERC2 = "BFRP" Then
          FEPSCU2 = SIGMAFC2 / EMFC2
        End If
      End If
'
'C Section geometry
'
    NUSECSEG = 100
    TSEGMENT = DPTH / NUSECSEG
'
    BMMAX = 0
ActiveCell.Offset(1, -1).Select
ActiveCell.Formula = TESTREF
ActiveCell.Offset(1, 0).Select
ActiveCell.Formula = BEAMNOT
ActiveCell.Offset(1, 0).Select
ActiveCell.Formula = "Curvature*1.0e5"
ActiveCell.Offset(0, 1).Select
ActiveCell.Formula = "Moment (kNm)"
ActiveCell.Offset(0, 1).Select
ActiveCell.Formula = "NA depth/Depth"
ActiveCell.Offset(0, 1).Select
ActiveCell.Formula = "Conc. Force (kN)"
ActiveCell.Offset(0, 1).Select
ActiveCell.Formula = "Comp. Force (kN)"
ActiveCell.Offset(0, 1).Select
ActiveCell.Formula = "Tens. Force (kN)"
ActiveCell.Offset(0, 1).Select
ActiveCell.Formula = "Tens. stress1 (Mpa)"
ActiveCell.Offset(0, 1).Select
ActiveCell.Formula = "Tens. stress2 (Mpa)"
ActiveCell.Offset(0, 1).Select
ActiveCell.Formula = "Tolerance(N)"
ActiveCell.Offset(1, -8).Select
'C Identifying mode of failure: either concrete crushing or FRP rupture
'C Assume balanced case; i.e. both concrete crushing and FRP rupture occur at the
same time
'C COMPUTING NEUTRAL AXIS DEPTH FOR BALANCED
SECTION(TENSION RENIF. ONLY)
'
```

```
'*************************************************************
'********FAILURE MODE BELİRLEME            ***************
'*************************************************************
'
      DEFF = DEFF1
      If DEFF2 > DEFF Then
        DEFF = DEFF2
      End If
'
      If DEFF1 = DEFF2 Then
         If TYPERT1 = "STEEL" And TYPERT2 = "STEEL" Then
           FEPSTU = FEPSTU1
         ElseIf TYPERT1 = "STEEL" And TYPERT2 <> "STEEL" Then
           FEPSTU = FEPSTU2
         ElseIf TYPERT1 <> "STEEL" And TYPERT2 = "STEEL" Then
           FEPSTU = FEPSTU1
         ElseIf TYPERT1 <> "STEEL" And TYPERT2 <> "STEEL" Then
           FEPSTU = FEPSTU1
           If FEPSTU > FEPSTU2 Then FEPSTU = FEPSTU2
         End If
      ElseIf DEFF = DEFF1 Then
         If TYPERT1 = "STEEL" And TYPERT2 = "STEEL" Then
           FEPSTU = FEPSTU1
         ElseIf TYPERT1 = "STEEL" And TYPERT2 <> "STEEL" Then
           FEPSTU = FEPSTU2 * (DEFF1 - DEPTHNA) / (DEFF2 - DEPTHNA)
         ElseIf TYPERT1 <> "STEEL" And TYPERT2 = "STEEL" Then
           FEPSTU = FEPSTU1
         ElseIf TYPERT1 <> "STEEL" And TYPERT2 <> "STEEL" Then
           FEPSTU = FEPSTU1
         End If
      ElseIf DEFF = DEFF2 Then
         If TYPERT1 = "STEEL" And TYPERT2 = "STEEL" Then
           FEPSTU = FEPSTU2
         ElseIf TYPERT1 = "STEEL" And TYPERT2 <> "STEEL" Then
           FEPSTU = FEPSTU2
         ElseIf TYPERT1 <> "STEEL" And TYPERT2 = "STEEL" Then
           FEPSTU = FEPSTU1 * (DEFF2 - DEPTHNA) / (DEFF1 - DEPTHNA)
         ElseIf TYPERT1 <> "STEEL" And TYPERT2 <> "STEEL" Then
           FEPSTU = FEPSTU2
         End If
      End If
'
```

```
    NADEPTH = DEFF * (EPSCU / (EPSCU + FEPSTU))
    NADEPBAL = NADEPTH
'
    EPSCTF = -EPSCU
    DEPTHNA = NADEPTH
'
'C  Use Section_Geometry
'C  Use Concrete_Properties
'C  input to this subroutine includes the value of strain at the top fibre of concrete;
'C  it should have the - sign when calling. It also needs the depth of neutral axis.
'
    TCONFRC = 0
    TCONMOM = 0
'
    DSEG = 0.5 * TSEGMENT
'
    For I = 1 To NUSECSEG
       EPSCONC = EPSCTF * (DEPTHNA - DSEG) / DEPTHNA
       Call SIGEPSC(EPSCONC, FCONC, INTEREPS, FCP, EPSCU, FR,
EMCONC, EPSTU, TDECRATE, EPSCR, CMODEL)
       CSEGFRC = TSEGMENT * WDTH * FCONC
       TCONFRC = TCONFRC + CSEGFRC
       CSEGMOM = CSEGFRC * (DSEG - DEPTHNA)
       TCONMOM = TCONMOM + CSEGMOM
       DSEG = DSEG + TSEGMENT
    Next I
'
    CONFORCE = TCONFRC
    CONMOM = TCONMOM
    TFIBREF1 = SIGMAFT1 * AF1
    TFIBREF2 = SIGMAFT2 * AF2
'
    TBFORCE = CONFORCE + TFIBREF1 + TFIBREF2
'
    If AFP1 > 0 Or AFP2 > 0 Then
'
       If TYPERC1 = "STEEL" Then
          EPSSCOMP1 = EPSCTF * (DEPTHNA - DCOMSP1) / DEPTHNA
          Call SIGMASTEELCOMP(EPSSCOMP1, STRESS, EPSYIELD1, EMC1,
SIGMACOM1)
          TCOMFRC1 = STRESS * ASP1
          TCOMMOM1 = TCOMFRC1 * (DCOMSP1 - DEPTHNA)
```

```
      ElseIf TYPERC1 = "CFRP" Or TYPERC1 = "GFRP" Or TYPERC1 =
"AFRP" Or TYPERC1 = "BFRP" Then
         EPSFCOMP1 = EPSCTF * (DEPTHNA - DCOMFP1) / DEPTHNA
         Call SIGMAFRPCOMP(EPSFCOMP1, STRESS, FEPSCU1, EMFC1)
         TCOMFRC1 = STRESS * AFP1
         TCOMMOM1 = TCOMFRC1 * (DCOMFP1 - DEPTHNA)
      End If
'
      If TYPERC2 = "STEEL" Then
         EPSSCOMP2 = EPSCTF * (DEPTHNA - DCOMSP2) / DEPTHNA
         Call SIGMASTEELCOMP(EPSSCOMP2, STRESS, EPSYIELD2, EMC2,
SIGMACOM2)
         TCOMFRC2 = STRESS * ASP2
         TCOMMOM2 = TCOMFRC2 * (DCOMSP2 - DEPTHNA)
      ElseIf TYPERC2 = "CFRP" Or TYPERC2 = "GFRP" Or TYPERC2 =
"AFRP" Or TYPERC2 = "BFRP" Then
         EPSFCOMP2 = EPSCTF * (DEPTHNA - DCOMFP2) / DEPTHNA
         Call SIGMAFRPCOMP(EPSFCOMP2, STRESS, FEPSCU2, EMFC2)
         TCOMFRC2 = STRESS * AFP2
         TCOMMOM2 = TCOMFRC2 * (DCOMFP2 - DEPTHNA)
      End If
'
      CFIBREF = TCOMFRC1 + TCOMFRC2
      COMPMOM = TCOMMOM1 + TCOMMOM2
      TBFORCE = TBFORCE + CFIBREF
   End If
'
   If TBFORCE > 0 Then
      FAILMODE = "Concrete Crushing Failure"
      EPSCMAX = EPSCU
   Else
     If TYPERT1 = "STEEL" And TYPERT2 = "STEEL" Then
        FAILMODE = "Steel Yielding"
        EPSCMAX = EPSCU
     Else
        FAILMODE = "FRP Rupture Failure"
'
'*****************************************************************
*
         NADEPMIN = 1E-50
         DEFF = DEFF1
         If DEFF2 > DEFF Then
```

```
          DEFF = DEFF2
        End If
'
        NADEPMX = DEFF / 10
'
120
        NADEPTH = (NADEPMIN + NADEPMX) / 2
        DEPTHNA = NADEPTH
'
        If DEFF1 = DEFF2 Then
          If TYPERT1 = "STEEL" And TYPERT2 = "STEEL" Then
            FEPSTU = FEPSTU1
          ElseIf TYPERT1 = "STEEL" And TYPERT2 <> "STEEL" Then
            FEPSTU = FEPSTU2
          ElseIf TYPERT1 <> "STEEL" And TYPERT2 = "STEEL" Then
            FEPSTU = FEPSTU1
          ElseIf TYPERT1 <> "STEEL" And TYPERT2 <> "STEEL" Then
            FEPSTU = FEPSTU1
            If FEPSTU > FEPSTU2 Then FEPSTU = FEPSTU2
          End If
        ElseIf DEFF = DEFF1 Then
          If TYPERT1 = "STEEL" And TYPERT2 = "STEEL" Then
            FEPSTU = FEPSTU1
          ElseIf TYPERT1 = "STEEL" And TYPERT2 <> "STEEL" Then
            FEPSTU = FEPSTU2 * (DEFF1 - DEPTHNA) / (DEFF2 - DEPTHNA)
          ElseIf TYPERT1 <> "STEEL" And TYPERT2 = "STEEL" Then
            FEPSTU = FEPSTU1
          ElseIf TYPERT1 <> "STEEL" And TYPERT2 <> "STEEL" Then
            FEPSTU = FEPSTU1
          End If
        ElseIf DEFF = DEFF2 Then
          If TYPERT1 = "STEEL" And TYPERT2 = "STEEL" Then
            FEPSTU = FEPSTU2
          ElseIf TYPERT1 = "STEEL" And TYPERT2 <> "STEEL" Then
            FEPSTU = FEPSTU2
          ElseIf TYPERT1 <> "STEEL" And TYPERT2 = "STEEL" Then
            FEPSTU = FEPSTU1 * (DEFF2 - DEPTHNA) / (DEFF1 - DEPTHNA)
          ElseIf TYPERT1 <> "STEEL" And TYPERT2 <> "STEEL" Then
            FEPSTU = FEPSTU2
          End If
        End If
'
```

```
        EPSCTF = -NADEPTH * FEPSTU / (DEFF - NADEPTH)
'
        TCONFRC = 0
        DSEG = 0.5 * TSEGMENT
'
        For I = 1 To NUSECSEG
          EPSCONC = EPSCTF * (DEPTHNA - DSEG) / DEPTHNA
          Call SIGEPSC(EPSCONC, FCONC, INTEREPS, FCP, EPSCU, FR,
EMCONC, EPSTU, TDECRATE, EPSCR, CMODEL)
          CSEGFRC = TSEGMENT * WDTH * FCONC
          TCONFRC = TCONFRC + CSEGFRC
          DSEG = DSEG + TSEGMENT
        Next I
'   CALCULATE TENSILE REINFORCEMENT FORCE
        TTENFRC1 = FEPSTU * (DEFF1 - NADEPT) / (DEFF - NADEPT) *
EMFT1 * AF1
        TTENFRC2 = FEPSTU * (DEFF2 - NADEPT) / (DEFF - NADEPT) *
EMFT2 * AF2
'
        TLRNC = TCONFRC + TTENFRC1 + TTENFRC2
'
'   CALCULATE COMP. REINFORCEMENT FORCE
'
        If AFP1 > 0 Or AFP2 > 0 Then
         If TYPERC1 = "STEEL" Then
           EPSSCOMP1 = EPSCTF * (DEPTHNA - DCOMSP1) / DEPTHNA
           Call SIGMASTEELCOMP(EPSSCOMP1, STRESS, EPSYIELD1,
EMC1, SIGMACOM1)
           TCOMFRC1 = STRESS * ASP1
         ElseIf TYPERC1 = "CFRP" Or TYPERC1 = "GFRP" Or TYPERC1 =
"AFRP" Or TYPERC1 = "BFRP" Then
           EPSFCOMP1 = EPSCTF * (DEPTHNA - DCOMFP1) / DEPTHNA
           Call SIGMAFRPCOMP(EPSFCOMP1, STRESS, FEPSCU1, EMFC1)
           TCOMFRC1 = STRESS * AFP1
         End If
'
         If TYPERC2 = "STEEL" Then
           EPSSCOMP2 = EPSCTF * (DEPTHNA - DCOMSP2) / DEPTHNA
           Call SIGMASTEELCOMP(EPSSCOMP2, STRESS, EPSYIELD2,
EMC2, SIGMACOM2)
           TCOMFRC2 = STRESS * ASP2
```

```
          ElseIf TYPERC2 = "CFRP" Or TYPERC2 = "GFRP" Or TYPERC2 =
"AFRP" Or TYPERC2 = "BFRP" Then
            EPSFCOMP2 = EPSCTF * (DEPTHNA - DCOMFP2) / DEPTHNA
            Call SIGMAFRPCOMP(EPSFCOMP2, STRESS, FEPSCU2, EMFC2)
            TCOMFRC2 = STRESS * AFP2
          End If
'
          TLRNC = TLRNC + TCOMFRC1 + TCOMFRC2
        End If
'
'
        DNADEPTH = NADEPMX - NADEPMIN
'
        If Abs(TLRNC / TCONFRC) < 0.00000001 Or Abs(DNADEPTH) <
0.00000001 Then
            EPSCMAX = -EPSCTF
'
        ElseIf TLRNC < 0 Then
            NADEPMX = NADEPTH
            If NADEPMX > DEFF Then NADEPMX = DEFF
            GoTo 120
'
        ElseIf TLRNC > 0 Then
            NADEPMIN = NADEPTH
            If NADEPMIN < 0 Then NADEPMIN = 0
            GoTo 120
        End If
'
      End If
    End If
'*****************************************************************
*
'
   TNOP = 50
'
   EPSCINC = EPSCMAX / TNOP
   EPSCTF = -EPSCINC / 100 + EPSCINC
'
   For ICOUNT = 1 To TNOP
     EPSCTF = EPSCTF - EPSCINC
     NADEPMIN = 1E-50
     NADEPMX = DEFF
```

```
'
20
    NADEPTH = (NADEPMIN + NADEPMX) / 2
    DEPTHNA = NADEPTH
'
    TCONFRC = 0
    TCONMOM = 0
'
    DSEG = 0.5 * TSEGMENT
'
    For I = 1 To NUSECSEG
      EPSCONC = EPSCTF * (DEPTHNA - DSEG) / DEPTHNA
      Call SIGEPSC(EPSCONC, FCONC, INTEREPS, FCP, EPSCMAX, FR,
EMCONC, EPSTU, TDECRATE, EPSCR, CMODEL)
      CSEGFRC = TSEGMENT * WDTH * FCONC
      TCONFRC = TCONFRC + CSEGFRC
      CSEGMOM = CSEGFRC * (DSEG - DEPTHNA)
      TCONMOM = TCONMOM + CSEGMOM
      DSEG = DSEG + TSEGMENT
    Next I
'
'
    CONFORCE = TCONFRC
    CONMOM = TCONMOM
'
'   CALCULATE TENSILE REINFORCEMENT FORCE
'
    EPSFRP1 = EPSCTF * (DEPTHNA - DEFF1) / DEPTHNA
    If EPSFRP1 > FEPSTU1 And FAILMODE = "Concrete Crushing Failure"
Then
     EPSFRP1 = FEPSTU1
    End If

'
    If TYPERT1 = "STEEL" Then
      Call SIGMASTEELTENSION(EPSFRP1, STRESS, FEPSTU1, EMFT1,
SIGMAFT1)
    Else
      Call SIGMAFRPTENSION(EPSFRP1, STRESS, FEPSTU1, EMFT1)
    End If
'
    TSTRESS1 = STRESS
```

```
    TTENFRC1 = STRESS * AF1
    TTENMOM1 = TTENFRC1 * (DEFF1 - DEPTHNA)
'
    TFIBREF1 = TTENFRC1
    TENMOM1 = TTENMOM1
'
    EPSFRP2 = EPSCTF * (DEPTHNA - DEFF2) / DEPTHNA
    If EPSFRP2 > FEPSTU2 And FAILMODE = "Concrete Crushing Failure"
Then
     EPSFRP2 = FEPSTU2
    End If
'
    If TYPERT2 = "STEEL" Then
      Call SIGMASTEELTENSION(EPSFRP2, STRESS, FEPSTU2, EMFT2,
SIGMAFT2)
    Else
      Call SIGMAFRPTENSION(EPSFRP2, STRESS, FEPSTU2, EMFT2)
    End If
'
    TSTRESS2 = STRESS
    TTENFRC2 = STRESS * AF2
    TTENMOM2 = TTENFRC2 * (DEFF2 - DEPTHNA)
'
    TFIBREF2 = TTENFRC2
    TENMOM2 = TTENMOM2
'
    TFIBREF = TFIBREF1 + TFIBREF2
    TLRNC = CONFORCE + TFIBREF1 + TFIBREF2

'
    If AFP1 > 0 Or AFP2 > 0 Then
      DEPTHNA = NADEPTH
'
      If TYPERC1 = "STEEL" Then
        EPSSCOMP1 = EPSCTF * (DEPTHNA - DCOMSP1) / DEPTHNA
        Call SIGMASTEELCOMP(EPSSCOMP1, STRESS, EPSYIELD1, EMC1,
SIGMACOM1)
        TCOMFRC1 = STRESS * ASP1
        TCOMMOM1 = TCOMFRC1 * (DCOMSP1 - DEPTHNA)
      Else
        EPSFCOMP1 = EPSCTF * (DEPTHNA - DCOMFP1) / DEPTHNA
        Call SIGMAFRPCOMP(EPSFCOMP1, STRESS, FEPSCU1, EMFC1)
```

```
          TCOMFRC1 = STRESS * AFP1
          TCOMMOM1 = TCOMFRC1 * (DCOMFP1 - DEPTHNA)
        End If
'
          CFIBREF1 = TCOMFRC1
          COMPMOM1 = TCOMMOM1
'
        If TYPERC2 = "STEEL" Then
          EPSSCOMP2 = EPSCTF * (DEPTHNA - DCOMSP2) / DEPTHNA
          Call SIGMASTEELCOMP(EPSSCOMP2, STRESS, EPSYIELD2, EMC2,
SIGMACOM2)
          TCOMFRC2 = STRESS * ASP2
          TCOMMOM2 = TCOMFRC2 * (DCOMSP2 - DEPTHNA)
        Else
          EPSFCOMP2 = EPSCTF * (DEPTHNA - DCOMFP2) / DEPTHNA
          Call SIGMAFRPCOMP(EPSFCOMP2, STRESS, FEPSCU2, EMFC2)
          TCOMFRC2 = STRESS * AFP2
          TCOMMOM2 = TCOMFRC2 * (DCOMFP2 - DEPTHNA)
        End If
'
          CFIBREF2 = TCOMFRC2
          COMPMOM2 = TCOMMOM2
'
          TLRNC = CONFORCE + TFIBREF1 + TFIBREF2 + CFIBREF1 +
CFIBREF2
      End If
'
'
       DNADEPTH = NADEPMX - NADEPMIN
'
       If Abs(TLRNC / CONFORCE) < 0.00000001 Or Abs(DNADEPTH) <
0.00000001 Then
          BMEQ = CONMOM + TENMOM1 + TENMOM2
          If AFP1 > 0 Or AFP2 > 0 Then
            BMEQ = BMEQ + COMPMOM1 + COMPMOM2
            COMPRF = CFIBREF1 + CFIBREF2
          End If
          CURVEQ = Abs(EPSCTF) / NADEPTH
          NAEQ = NADEPTH
          CONFEQ = CONFORCE
          AFTF1 = TFIBREF1
          AFTF2 = TFIBREF2
```

```
        AFTF = AFTF1 + AFTF2

'C*************************************************************************
******
'C********** MOMENT-CURVATURE VALUES FOR SECTIONS ARE
STORED************
'C*************************************************************************
******
'C
        CURMOM(II, ICOUNT, 1) = BMEQ / 1000
        CURMOM(II, ICOUNT, 2) = CURVEQ
'
'
        ActiveCell.Formula = CURVEQ * 100000
        ActiveCell.Offset(0, 1).Select
        ActiveCell.Formula = BMEQ / 1000000
        ActiveCell.Offset(0, 1).Select
        ActiveCell.Formula = NAEQ / DPTH
        ActiveCell.Offset(0, 1).Select
        ActiveCell.Formula = CONFEQ * 0.001
        ActiveCell.Offset(0, 1).Select
        ActiveCell.Formula = COMPRF * 0.001
        ActiveCell.Offset(0, 1).Select
        ActiveCell.Formula = AFTF * 0.001
        ActiveCell.Offset(0, 1).Select
        ActiveCell.Formula = AFTF1 / AF1
        ActiveCell.Offset(0, 1).Select
        ActiveCell.Formula = AFTF2 / AF2
        ActiveCell.Offset(0, 1).Select
        ActiveCell.Formula = TLRNC
        ActiveCell.Offset(1, -8).Select
'
'
    ElseIf TLRNC < 0 And Abs(TFIBREF) = 0 Then
        If DEFF = DEFF1 Then
          NADEPMIN = DEFF * (Abs(EPSCTF) / (Abs(EPSCTF) + FEPSTU1))
        Else
          NADEPMIN = DEFF * (Abs(EPSCTF) / (Abs(EPSCTF) + FEPSTU2))
        End If
        NADEPMX = DEFF
        GoTo 20
'
```

```
      ElseIf TLRNC < 0 Then
          NADEPMX = NADEPTH
          If NADEPMX > DEFF Then NADEPMX = DEFF
          GoTo 20
'
      ElseIf TLRNC > 0 Then
          NADEPMIN = NADEPTH
          If NADEPMIN < 0 Then NADEPMIN = 0
          GoTo 20
      End If
'
        If BMMAX < BMEQ Then BMMAX = BMEQ
'
   Next ICOUNT
1000
End Sub
Sub SIGEPSC(EPSCONC, FCONC, INTEREPS, FCP, EPSCU, FR, EMCONC,
EPSTU, TDECRATE, EPSCR, CMODEL)
Dim STRRATIO As Double
'C
'C      Use Concrete_properties
'C
STRRATIO = Abs(EPSCONC / INTEREPS)
'C
If EPSCONC < 0 And EPSCONC >= (-EPSCU) Then
  If CMODEL = "HOGNESTAD" Then
'C parabolic stress strain relationship in compression
    FCONC = -FCP * (2 * STRRATIO - STRRATIO * STRRATIO)
  ElseIf CMODEL = "CEB-FIB" Then
    If EPSCONC >= (-INTEREPS) Then
'C parabolic stress strain relationship in compression
      FCONC = -FCP * (2 * STRRATIO - STRRATIO * STRRATIO)
    ElseIf EPSCONC < (-INTEREPS) Then
'C constant stress between intermadiate strain and crushing strain in compression
      FCONC = -FCP
    End If
  End If
ElseIf EPSCONC >= 0 And EPSCONC <= EPSCR Then
'C Linear stress strain relationship before cracking
  FCONC = EMCONC * EPSCONC
ElseIf EPSCONC > EPSCR And EPSCONC < EPSTU Then
'C linear softening of concrete tensile stresses
```

```
  FCONC = FR - TDECRATE * (EPSCONC - EPSCR)
ElseIf EPSCONC < (-EPSCU) Or EPSCONC >= EPSTU Then
'C beyond epscu and esptu concrete stress=0
  FCONC = 0
End If
'C
End Sub
Sub SIGMASTEELCOMP(EPSSCOMP, STRESS, EPSYIELD, EMC,
SIGMACOM)
'C
'C    Use Compressive_Steel_Properties
'C
If EPSSCOMP > (-EPSYIELD) Then
  STRESS = EMC * EPSSCOMP
Else
  STRESS = -SIGMACOM
End If
'C
End Sub
Sub SIGMASTEELTENSION(EPSTENSION, STRESS, FEPSTU, EMFT,
SIGMAFT)
'
  If EPSTENSION >= FEPSTU Then
    STRESS = SIGMAFT
  Else
    STRESS = EMFT * EPSTENSION
  End If
'
End Sub
Sub SIGMAFRPCOMP(EPSFCOMP, STRESS, FEPSCU, EMFC)
'
'    Use Compressive_FRP_Properties
'
If EPSFCOMP >= (-FEPSCU) Then
  STRESS = EMFC * EPSFCOMP
Else
  STRESS = 0
End If
'C
End Sub
Sub SIGMAFRPTENSION(EPSFTENS, STRESS, FEPSTU, EMFT)
'
```

```
'    Use TENSION_FRP_Properties
'
If EPSFTENS <= FEPSTU Then
  STRESS = EMFT * EPSFTENS
Else
  STRESS = 0
End If
'
End Sub
    Sub TMAT(NP1, I, XK, YK, TM, D)
'
    Dim DX As Double, DY As Double, C As Double, S As Double
    Call SFIRM8(TM, 3, 3)
'
    DX = XK(I, 2) - XK(I, 1)
    DY = YK(I, 2) - YK(I, 1)
    D(I) = Sqr((DX * DX + DY * DY))
    C = DX / D(I)
    S = DY / D(I)
    TM(1, 1) = C
    TM(2, 2) = C
    TM(1, 2) = S
    TM(2, 1) = -S
    TM(3, 3) = 1
'
    End Sub
    Sub CERM(NP1, I, XMCR, EL1, UYUK, XKSI, KODB, D, MODEL1,
BETA1, BETA2, BETAF, AT1, AT2, ALAN, EMCONC, GM, ERM, ELYV, TM,
SF, KOD, TEK, AI, IKK, XH, EPST0, MODEL2, CURMOM, NTYPE, NP4,
NSPROP)
'
    Dim ATK(2) As Double, ATK1(2) As Double, AT(4) As Double, X(3, 3) As
Double, Y(6) As Double
    Dim ATI1(4) As Double, ATI2(4) As Double
'
    Dim J As Long, JJ As Long, I1 As Long, IP As Long, JP As Long, NTIP As
Long
    Dim ALFA As Double, C As Double, CURNUM1 As Double, CURNUM2 As
Double, S As Double
    Dim S11 As Double, S22 As Double, S23 As Double, S33 As Double, S52 As
Double, S62 As Double
```

```
    Dim S53 As Double, S63 As Double, S55 As Double, S65 As Double, S66 As
Double, TT12 As Double
    Dim A As Double, B As Double, FSSI As Double, FTSI As Double, FTSJ As
Double, TT11 As Double
    Dim XMOM1 As Double, XMOM2 As Double, XMOM3 As Double,
XMOM4 As Double, FSSJ As Double
    Dim EPS11 As Double, EPS12 As Double, EPS13 As Double, EPS14 As
Double, EPS2 As Double
    Dim TT2 As Double, TK2 As Double, EPS1 As Double, TT3 As Double, TK3
As Double, SK As Double
    Dim FTSI1 As Double, FSSI1 As Double, F22 As Double, F23 As Double, F33
As Double
    Dim ABL As Double, F20 As Double, F30 As Double, A33 As Double, A22
As Double, A32 As Double
    Dim A23 As Double, A20 As Double, A30 As Double, XMOM11 As Double,
XMOM12 As Double, XMOM13 As Double
    Dim XMOM14 As Double, AT22 As Double
'
'C*****************************************************************
*****
'C*********      COMPUTE MEMBER STIFFNESS MATRIX AND
*****************
'C*********      LOAD VECTOR USING BY SPECIFIED MODELS
*****************
'C*****************************************************************
*****
'
    Call SFIRM8(ERM, 6, 6)
    Call SFIRM8(X, 3, 3)
'
    Select Case KOD
    Case Is = 0
       Select Case IKK
       Case Is = 1
         ALFA = 12 * EMCONC * AT1 * SF / (D * D * GM * ALAN)
       Case Else
         ALFA = 0
       End Select
'
       S11 = ALAN * EMCONC / D
       S22 = 12 * EMCONC * AT1 / ((1 + ALFA) * D * D * D)
       S23 = 6 * EMCONC * AT1 / ((1 + ALFA) * D * D)
```

```
        S33 = (4 + ALFA) * EMCONC * AT1 / (D * (1 + ALFA))
        S52 = -S22
        S62 = S23
        S53 = -S23
        S63 = (2 - ALFA) * EMCONC * AT1 / ((1 + ALFA) * D)
        S55 = S22
        S65 = S53
        S66 = S33
        GoTo 300
    End Select
'
    Call SFIRV8(AT, 4)
    Call SFIRV8(ATI1, 4)
    Call SFIRV8(ATK, 2)
    Call SFIRV8(ATK1, 2)
'
    For J = 1 To 5
      A = XKSI(I, J)
      B = XKSI(I, J + 1)
      If A = 0 And B = 0 Then GoTo 1
'
      Select Case KODB(I, J)
      Case Is = 0
        FSSI = 1
        FTSI = 1 - AT2(I, 1) / AT1
        TT11 = AT1 / AT2(I, 1) - 1
        AT(1) = AT(1) + TT11 * (B - A) - (AT1 / AT2(I, 1)) * FTSI * (B - A)
        AT(2) = AT(2) + TT11 * (B * B - A * A) / 2 - (AT1 / AT2(I, 1)) * FTSI *
(B * B - A * A) / 2
        AT(3) = AT(3) + TT11 * (B * B * B - A * A * A) / 3 - (AT1 / AT2(I, 1)) *
FTSI * (B * B * B - A * A * A) / 3
        AT(4) = AT(4) + TT11 * (B * B * B * B - A * A * A * A) / 4 - (AT1 /
AT2(I, 1)) * FTSI * (B * B * B * B - A * A * A * A) / 4
        Select Case IKK
        Case Is = 1
          ATK(1) = ATK(1) + (B - A) * FSSI
          ATK(2) = ATK(1) + (B * B - A * A) / 2 * FSSI
        End Select
'
        Select Case TEK
        Case Is <> 0
          Select Case B
```

```
            Case Is > (AI / D)
              Select Case A
              Case Is > (AI / D)
                ATI1(1) = ATI1(1) + TT11 * (B - A) - (AT1 / AT2(I, 1)) * FTSI *
(B - A)
                ATI1(2) = ATI1(2) + TT11 * (B * B - A * A) / 2 - (AT1 / AT2(I, 1))
* FTSI * (B * B - A * A) / 2
                ATI1(3) = ATI1(3) + TT11 * (B * B * B - A * A * A) / 3 - (AT1 /
AT2(I, 1)) * FTSI * (B * B * B - A * A * A) / 3
                Select Case IKK
                Case Is = 1
                  ATK1(1) = ATK1(1) + (B - A) * FSSI
                End Select
              Case Is < (AI / D)
                C = AI / D
                ATI1(1) = ATI1(1) + TT11 * (B - C) - (AT1 / AT2(I, 1)) * FTSI *
(B - C)
                ATI1(2) = ATI1(2) + TT11 * (B * B - C * C) / 2 - (AT1 / AT2(I, 1))
* FTSI * (B * B - C * C) / 2
                ATI1(3) = ATI1(3) + TT11 * (B * B * B - C * C * C) / 3 - (AT1 /
AT2(I, 1)) * FTSI * (B * B * B - C * C * C) / 3
                Select Case IKK
                Case Is = 1
                  ATK1(1) = ATK1(1) + (B - C) * FSSI
                End Select
              End Select
            End Select
          End Select
        Case Else
'
          XMOM11 = (-EL1(I, 3) + UYUK * (A * D) * (A * D) / 2 + EL1(I, 2) * A
* D)
          XMOM12 = (-EL1(I, 3) + UYUK * (A * D) * (A * D) / 2 + (EL1(I, 2) +
TEK) * A * D - TEK * AI)
          XMOM13 = (-EL1(I, 3) + UYUK * (B * D) * (B * D) / 2 + EL1(I, 2) * B
* D)
          XMOM14 = (-EL1(I, 3) + UYUK * (B * D) * (B * D) / 2 + (EL1(I, 2) +
TEK) * B * D - TEK * AI)
'
          XMOM1 = Abs(EL1(I, 3) - UYUK * (A * D) * (A * D) / 2 - EL1(I, 2) * A
* D)
```

```
        XMOM2 = Abs(EL1(I, 3) - UYUK * (A * D) * (A * D) / 2 - (EL1(I, 2) +
TEK) * A * D + TEK * AI)
        XMOM3 = Abs(EL1(I, 3) - UYUK * (B * D) * (B * D) / 2 - EL1(I, 2) * B
* D)
        XMOM4 = Abs(EL1(I, 3) - UYUK * (B * D) * (B * D) / 2 - (EL1(I, 2) +
TEK) * B * D + TEK * AI)
        EPS11 = XMOM1 / AT1 * XH / EMCONC
        EPS12 = XMOM2 / AT1 * XH / EMCONC
        EPS13 = XMOM3 / AT1 * XH / EMCONC
        EPS14 = XMOM4 / AT1 * XH / EMCONC
'
        Select Case A
        Case Is < (AI / D)
          If XMOM11 < 0 Then
            NTIP = NTYPE + NSPROP
            TT11 = BETAF(I, 2) * AT1 / AT2(I, 2) - 1
            TT12 = 1 - AT2(I, 2) / AT1
            AT22 = AT2(I, 2)
          Else
            NTIP = NTYPE
            TT11 = BETAF(I, 1) * AT1 / AT2(I, 1) - 1
            TT12 = 1 - AT2(I, 1) / AT1
            AT22 = AT2(I, 1)
          End If
          Call CRV(NTIP, XMOM1, CURMOM, CURNUM1, NP4, XMCR)
          TT2 = XMCR / XMOM1
          Select Case IKK
          Case Is = 1
             TK2 = EPS11 / EPST0
             EPS1 = EPS11
          End Select
        Case Else
          If XMOM12 < 0 Then
            NTIP = NTYPE + NSPROP
            TT11 = BETAF(I, 2) * AT1 / AT2(I, 2) - 1
            TT12 = 1 - AT2(I, 2) / AT1
            AT22 = AT2(I, 2)
          Else
            NTIP = NTYPE
            TT11 = BETAF(I, 1) * AT1 / AT2(I, 1) - 1
            TT12 = 1 - AT2(I, 1) / AT1
            AT22 = AT2(I, 1)
```

```
    End If
    Call CRV(NTIP, XMOM2, CURMOM, CURNUM1, NP4, XMCR)
    TT2 = XMCR / XMOM2
    Select Case IKK
    Case Is = 1
      TK2 = EPS12 / EPST0
      EPS1 = EPS12
    End Select
  End Select
'
  Select Case B
  Case Is < (AI / D)
    If XMOM13 < 0 Then
      NTIP = NTYPE + NSPROP
      TT11 = BETAF(I, 2) * AT1 / AT2(I, 2) - 1
      TT12 = 1 - AT2(I, 2) / AT1
      AT22 = AT2(I, 2)
    Else
      NTIP = NTYPE
      TT11 = BETAF(I, 1) * AT1 / AT2(I, 1) - 1
      TT12 = 1 - AT2(I, 1) / AT1
      AT22 = AT2(I, 1)
    End If
    Call CRV(NTIP, XMOM3, CURMOM, CURNUM2, NP4, XMCR)
    TT3 = XMCR / XMOM3
    Select Case IKK
    Case Is = 1
      TK3 = EPS13 / EPST0
      EPS2 = EPS13
    End Select
  Case Else
    If XMOM14 < 0 Then
      NTIP = NTYPE + NSPROP
      TT11 = BETAF(I, 2) * AT1 / AT2(I, 2) - 1
      TT12 = 1 - AT2(I, 2) / AT1
      AT22 = AT2(I, 2)
    Else
      NTIP = NTYPE
      TT11 = BETAF(I, 1) * AT1 / AT2(I, 1) - 1
      TT12 = 1 - AT2(I, 1) / AT1
      AT22 = AT2(I, 1)
    End If
```

```
    Call CRV(NTIP, XMOM4, CURMOM, CURNUM2, NP4, XMCR)
    TT3 = XMCR / XMOM4
    Select Case IKK
    Case Is = 1
      TK3 = EPS14 / EPST0
      EPS2 = EPS14
    End Select
  End Select
'
  Select Case MODEL1
  Case Is = "CURVATURE"
    FTSI = 1 - EMCONC * AT22 * CURNUM1
    FTSJ = 1 - EMCONC * AT22 * CURNUM2
  Case Is = "ACI440.1R-06"
    FTSI = TT2 ^ BETA1 * TT11 / (1 + TT2 ^ BETA1 * TT11)
    FTSJ = TT3 ^ BETA1 * TT11 / (1 + TT3 ^ BETA1 * TT11)
  Case Is = "ACI440-H"
    FTSI = TT2 ^ BETA1 * TT12 * (1.72 - 0.72 * TT2)
    FTSJ = TT3 ^ BETA1 * TT12 * (1.72 - 0.72 * TT3)
  Case Is = "CEB"
    FTSI = BETA1 * BETA2 * TT2 * TT2 * TT12
    FTSJ = BETA1 * BETA2 * TT3 * TT3 * TT12
  Case Is = "BISCHOFF"
    FTSI = BETA1 * BETA2 * TT2 * TT2 * TT12
    FTSJ = BETA1 * BETA2 * TT3 * TT3 * TT12
  Case Is = "ISIS"
    FTSI = BETA1 * BETA2 * TT2 * TT2 * TT12
    FTSJ = BETA1 * BETA2 * TT3 * TT3 * TT12
  End Select
'
  Select Case IKK
  Case Is = 1
    Select Case MODEL2
    Case Is = "ALM"
      FSSI = TK2 / 0.4
      FSSJ = TK3 / 0.4
    Case Is = "CDP"
      FSSI = 1 / (0.24 * (1 - 250 * EPS1))
      FSSJ = 1 / (0.24 * (1 - 250 * EPS2))
    Case Is = "YS"
      FSSI = 4
      FSSJ = 4
```

```
            End Select
          Case Else
            FSSI = 0
            FSSJ = 0
          End Select
'
          For JJ = 1 To 4
            Call INTEG(I, JJ, A, B, FTSI, FTSJ, AI, D, NP1, XMCR, EL1, UYUK,
TEK, MODEL1, BETA1, BETA2, TT11, TT12, S, EMCONC, AT22, NTYPE,
CURMOM, NP4, NSPROP)
            Select Case JJ
            Case Is = 1
               AT(JJ) = AT(JJ) + (AT1 / AT22 - 1) * (B - A) / JJ - (AT1 / AT22) *
S
            Case Is = 2
               AT(JJ) = AT(JJ) + (AT1 / AT22 - 1) * (B * B - A * A) / JJ - (AT1 /
AT22) * S
            Case Is = 3
               AT(JJ) = AT(JJ) + (AT1 / AT22 - 1) * (B * B * B - A * A * A) / JJ -
(AT1 / AT22) * S
            Case Is = 4
               AT(JJ) = AT(JJ) + (AT1 / AT22 - 1) * (B * B * B * B - A * A * A *
A) / JJ - (AT1 / AT22) * S
            End Select
'
            Select Case IKK
            Case Is = 1
              If JJ = 1 Or JJ = 2 Then
                Call INTEGK(I, JJ, A, B, FSSI, FSSJ, AI, D, NP1, EPST0, EL1,
MODEL2, UYUK, TEK, XH, AT1, EMCONC, SK)
                ATK(JJ) = ATK(JJ) + SK
              End If
            Case Else
              SK = 0
            End Select
'
            Select Case TEK
            Case Is <> 0
             If A > (AI / D) And B > (AI / D) Then
               Select Case JJ
               Case Is = 1
```

```
                ATI1(JJ) = ATI1(JJ) + (AT1 / AT22 - 1) * (B - A) / JJ - (AT1 /
AT22) * S
              Case Is = 2
                ATI1(JJ) = ATI1(JJ) + (AT1 / AT22 - 1) * (B * B - A * A) / JJ -
(AT1 / AT22) * S
              Case Is = 3
                ATI1(JJ) = ATI1(JJ) + (AT1 / AT22 - 1) * (B * B * B - A * A * A) /
JJ - (AT1 / AT22) * S
              Case Is = 4
                ATI1(JJ) = ATI1(JJ) + (AT1 / AT22 - 1) * (B * B * B * B - A * A *
A * A) / JJ - (AT1 / AT22) * S
              End Select
'
                Select Case IKK
                Case Is = 1
                 If JJ = 1 Then ATK1(JJ) = ATK1(JJ) + SK
                End Select
            ElseIf A < (AI / D) And B > (AI / D) Then
              C = AI / D
              XMOM = Abs(EL1(I, 3) - UYUK * (C * D) * (C * D) / 2 - EL1(I, 2)
* C * D)
              TT3 = XMCR / XMOM
              Select Case IKK
              Case Is = 1
                EPS1 = XMOM / AT1 * XH / EMCONC
                TK3 = EPS1 / EPST0
              End Select
'
              Select Case MODEL1
              Case Is = "CURVATURE"
                FTSI1 = 1 - EMCONC * AT22 * CURNUM2
              Case Is = "ACI440.1R-06"
                FTSI1 = TT3 ^ BETA1 * TT11 / (1 + TT3 ^ BETA1 * TT11)
              Case Is = "ACI440-H"
                FTSI1 = TT3 ^ BETA1 * TT12 * (1.72 - 0.72 * TT3)
              Case Is = "CEB"
                FTSI1 = BETA1 * BETA2 * TT3 * TT3 * TT12
              Case Is = "BISCHOFF"
                FTSI1 = BETA1 * BETA2 * TT3 * TT3 * TT12
              Case Is = "ISIS"
                FTSI1 = BETA1 * BETA2 * TT3 * TT3 * TT12
              End Select
```

```
'
                Select Case IKK
                Case Is = 1
                  Select Case MODEL2
                  Case Is = "ALM"
                    FSSI1 = TK3 / 0.4
                  Case Is = "CDP"
                    FSSI1 = 1 / (0.24 * (1 - 250 * EPS1))
                  Case Is = "YS"
                    FSSI1 = 4
                  End Select
                End Select
'
                Call INTEG(I, JJ, C, B, FTSI1, FTSJ, AI, D, NP1, XMCR, EL1,
UYUK, TEK, MODEL1, BETA1, BETA2, TT11, TT12, S, EMCONC, AT22,
NTYPE, CURMOM, NP4, NSPROP)
                Select Case JJ
                Case Is = 1
                  ATI1(JJ) = ATI1(JJ) + (AT1 / AT22 - 1) * (B - C) / JJ - (AT1 /
AT22) * S
                Case Is = 2
                  ATI1(JJ) = ATI1(JJ) + (AT1 / AT22 - 1) * (B * B - C * C) / JJ -
(AT1 / AT22) * S
                Case Is = 3
                  ATI1(JJ) = ATI1(JJ) + (AT1 / AT22 - 1) * (B * B * B - C * C * C)
/ JJ - (AT1 / AT22) * S
                Case Is = 4
                  ATI1(JJ) = ATI1(JJ) + (AT1 / AT22 - 1) * (B * B * B * B - C * C
* C * C) / JJ - (AT1 / AT22) * S
                End Select
'
                Select Case IKK
                Case Is = 1
                  Select Case JJ
                  Case Is = 1
                    Call INTEGK(I, JJ, C, B, FSSI1, FSSJ, AI, D, NP1, EPST0,
EL1, MODEL2, UYUK, TEK, XH, AT1, EMCONC, SK)
                    ATK1(JJ) = ATK1(JJ) + SK
                  End Select
                End Select
              End If
            End Select
```

```
          Next JJ
        End Select
'
1     Next J
'
'C*****************************************************************
*****
'C*********  COMPUTE FLEXIBILITY INFLUENCE COEFFICIENTS **************
'C*****************************************************************
*****
'
    F22 = D * D * D / (3 * EMCONC * AT1) * (1 + 3 * AT(3)) + SF * D / GM /
ALAN * ATK(1)
    F23 = -(D * D) / (2 * EMCONC * AT1) * (1 + 2 * AT(2))
    F33 = D / (EMCONC * AT1) * (1 + AT(1))
'
    ABL = AI / D
    F20 = UYUK * D * D * D * D / (8 * EMCONC * AT1) * (1 + 4 * AT(4)) +
TEK * D * D * D / (6 * EMCONC * AT1) * ((2 - 2 * ABL * ABL * ABL + 6 *
ATI1(3)) - ABL * (3 - 3 * ABL * ABL + 6 * ATI1(2))) + UYUK * D * D * SF /
GM / ALAN * ATK(2) + TEK * D * SF / GM / ALAN * ATK1(1)
    F30 = -UYUK * D * D * D / (6 * EMCONC * AT1) * (1 + 3 * AT(3)) + TEK
* D * D / (EMCONC * AT1) * (ABL * (1 - ABL + ATI1(1)) - 0.5 * (1 - ABL *
ABL + 2 * ATI1(2)))
'
'C*****************************************************************
*****
'C*********  COMPUTE STIFFNESS INFLUENCE COEFFICIENTS *****************
'C*****************************************************************
*****
'C
    S11 = ALAN * EMCONC / D
    S22 = F33 / (F22 * F33 - F23 * F23)
    S23 = -F23 / (F22 * F33 - F23 * F23)
    S33 = F22 / (F22 * F33 - F23 * F23)
    S52 = -S22
    S62 = S22 * D - S23
    S53 = -S23
    S63 = S23 * D - S33
    S55 = S22
```

```
    S65 = -S22 * D + S23
    S66 = S33 + S22 * D * D - 2 * S23 * D
'
300   X(1, 1) = S11
    X(2, 2) = S22
    X(3, 2) = S23
    X(2, 3) = S23
    X(3, 3) = S33
'
    Call TRANS(X, TM)
    For I1 = 1 To 3
    For J = 1 To 3
      ERM(I1, J) = X(I1, J)
      X(I1, J) = 0
    Next J
    Next I1
'
    X(1, 1) = -S11
    X(2, 2) = S52
    X(3, 2) = S62
    X(2, 3) = S53
    X(3, 3) = S63
'
    Call TRANS(X, TM)
    For I1 = 1 To 3
    For J = 1 To 3
      IP = I1 + 3
      ERM(IP, J) = X(I1, J)
      X(I1, J) = 0
    Next J
    Next I1
'
    X(1, 1) = S11
    X(2, 2) = S55
    X(3, 2) = S65
    X(2, 3) = S65
    X(3, 3) = S66
'
    Call TRANS(X, TM)
    For I1 = 1 To 3
    For J = 1 To 3
      IP = I1 + 3
```

```
      JP = J + 3
      ERM(IP, JP) = X(I1, J)
    Next J
    Next I1
'
    For I1 = 1 To 6
    For J = 1 To 6
      ERM(I1, J) = ERM(J, I1)
    Next J
    Next I1
'
'C*****************************************************************
*****
'C*********          COMPUTE MEMBER LOAD VECTOR
**********************
'C*****************************************************************
*****
'
    Select Case KOD
    Case Is = 0
'
'C*****************************************************************
*****
'C*********  COMPUTE LOAD VECTOR FOR UNCRACKED MEMBER
******************
'C*****************************************************************
*****
'
      Call SFIRV8(Y, 6)
      If UYUK = 0 And TEK = 0 Then GoTo 500
      A33 = D / EMCONC / AT1
      A22 = D * D * D / (3 * EMCONC * AT1) + SF * D / (GM * ALAN)
      A23 = -(D * D) / (2 * EMCONC * AT1)
      A32 = A23
      A20 = UYUK * D * D * D * D / (8 * EMCONC * AT1) + UYUK * D * D *
SF / (2 * GM * ALAN) + TEK / (3 * EMCONC * AT1) * (D * D * D - AI * AI *
AI) - TEK * AI / (2 * EMCONC * AT1) * (D * D - AI * AI) + TEK * SF / (GM *
ALAN) * (D - AI)
      A30 = -UYUK * D * D * D / (6 * EMCONC * AT1) - TEK / (2 * EMCONC
* AT1) * (D * D - AI * AI) + TEK * AI / (EMCONC * AT1) * (D - AI)
'
      Y(2) = -(A33 * A20 - A23 * A30) / (A22 * A33 - A23 * A23)
```

```
        Y(3) = -(A22 * A30 - A23 * A20) / (A22 * A33 - A23 * A23)
'
        Y(5) = -(UYUK * D + TEK + Y(2))
        Y(6) = -(-UYUK * D * D / 2 + TEK * (AI - D) - Y(2) * D + Y(3))
        Y(1) = 0
        Y(4) = 0
        Y(2) = -Y(2)
        Y(3) = -Y(3)
        Y(5) = -Y(5)
        Y(6) = -Y(6)
'
        GoTo 500
    End Select
'
'C*************************************************************************
*****
'C*********  COMPUTE LOAD VECTOR FOR CRACKED MEMBER **********************
'C*************************************************************************
*****
'
    Y(2) = -(F33 * F20 - F23 * F30) / (F22 * F33 - F23 * F23)
    Y(3) = -(F22 * F30 - F23 * F20) / (F22 * F33 - F23 * F23)
'
    Y(5) = -(UYUK * D + TEK + Y(2))
    Y(6) = -(-UYUK * D * D / 2 + TEK * (AI - D) - Y(2) * D + Y(3))
    Y(1) = 0
    Y(4) = 0
    Y(2) = -Y(2)
    Y(3) = -Y(3)
    Y(5) = -Y(5)
    Y(6) = -Y(6)
'
500   Call TRANY(Y, TM)
    For J = 1 To 6
      ELYV(J) = Y(J)
    Next J
End Sub
Sub CRV(NTYPE, XMOM, CURMOM, CURNUM, NP4, XMCR)
'
Dim I As Long
Dim ABSMOM As Double, ABSMOM2 As Double, RATIO As Double
```

```
'
   ABSMOM = Abs(XMOM)
   ABSMOM2 = ABSMOM
   For I = NP4 To 2 Step -1
  Select Case ABSMOM
     Case Is >= CURMOM(NTYPE, I - 1, 1)
           Select Case ABSMOM2
           Case Is <= CURMOM(NTYPE, I, 1)
              RATIO = (ABSMOM - CURMOM(NTYPE, I - 1, 1)) /
(CURMOM(NTYPE, I, 1) - CURMOM(NTYPE, I - 1, 1))
              CURNUM = CURMOM(NTYPE, I - 1, 2) + RATIO *
(CURMOM(NTYPE, I, 2) - CURMOM(NTYPE, I - 1, 2))
              GoTo 20
           End Select
     End Select
   Next I
'
'    For I = 1 To (NP4 - 1)
'     Select Case ABSMOM
'      Case Is >= CURMOM(NTYPE, I, 1)
'           Select Case ABSMOM2
'            Case Is <= CURMOM(NTYPE, I + 1, 1)
'                              RATIO = (ABSMOM - CURMOM(NTYPE, I, 1)) /
(CURMOM(NTYPE, I + 1, 1) - CURMOM(NTYPE, I, 1))
'                               CURNUM = CURMOM(NTYPE, I, 2) + RATIO *
(CURMOM(NTYPE, I + 1, 2) - CURMOM(NTYPE, I, 2))
'                GoTo 20
'            End Select
'      End Select
'    Next I
'************************************EXTRAPOLATION************
*****************************************
   ABSMCR = Abs(XMCR)
   ABSMCR2 = ABSMCR
    For I = 1 To (NP4 - 1)
     Select Case ABSMCR
      Case Is >= CURMOM(NTYPE, I, 1)
```

```
            Select Case ABSMCR2
             Case Is <= CURMOM(NTYPE, I + 1, 1)
                RATIO = (ABSMCR - CURMOM(NTYPE, I, 1)) /
(CURMOM(NTYPE, I + 1, 1) - CURMOM(NTYPE, I, 1))
                CURMCR = CURMOM(NTYPE, I, 2) + RATIO *
(CURMOM(NTYPE, I + 1, 2) - CURMOM(NTYPE, I, 2))
                GoTo 10
            End Select
       End Select
    Next I
10   SLOP = (CURMOM(NTYPE, NP4, 1) - XMCR) / (CURMOM(NTYPE, NP4,
2) - CURMCR)
    CURNUM = CURMCR + (Abs(XMOM) - XMCR) / SLOP
'   CURNUM = CURMOM(NTYPE, NP4, 2)
'
20  CURNUM = CURNUM / Abs(XMOM)
'
   End Sub
'
    Sub INTEG(I, JJ, A, B, FTSI, FTSJ, AI, D, NP1, XMCR, EL1, UYUK, TEK,
MODEL1, BETA1, BETA2, TT11, TT12, S, EMCONC, AT22, NTYPE,
CURMOM, NP4, NSPROP)
'
    Dim J1 As Long, KK As Long, K As Long, NTIP As Long
    Dim H As Double, T As Double, XM As Double, C As Double, XMOM As
Double, TK3 As Double, EPS1 As Double
    Dim FSS As Double, FSSJ As Double, FSSI As Double, FTS As Double
    Dim AT1 As Double, XH As Double, EM As Double, EPST0 As Double
    Dim TT2 As Double, ORAN As Double
'
    KK = 100
    If A = 0 Then A = 0.0001
    J1 = JJ - 1
    H = (B - A) / KK
'
    Select Case J1
    Case Is = 0
       T = (FTSI + FTSJ)
    Case Is = 1
       T = (A * FTSI + B * FTSJ)
    Case Is = 2
```

```
        T = (A * A * FTSI + B * B * FTSJ)
    Case Is = 3
        T = (A * A * A * FTSI + B * B * B * FTSJ)
    End Select
'
    C = A
    For K = 1 To KK
     C = C + H
     Select Case C
     Case Is < (AI / D)
       TT2 = XMCR / Abs(EL1(I, 3) - UYUK * (C * D) * (C * D) / 2 - EL1(I, 2) *
C * D)
       XMOM = (-EL1(I, 3) + UYUK * (C * D) * (C * D) / 2 + EL1(I, 2) * C * D)
     Case Else
       TT2 = XMCR / Abs(EL1(I, 3) - UYUK * (C * D) * (C * D) / 2 - (EL1(I, 2)
+ TEK) * C * D + TEK * AI)
       XMOM = (-EL1(I, 3) + UYUK * (C * D) * (C * D) / 2 + (EL1(I, 2) + TEK)
* C * D - TEK * AI)
     End Select
'
     NTIP = NTYPE
     If XMOM < 0 Then
       NTIP = NTYPE + NSPROP
       XMOM = -XMOM
     End If
'
     Call CRV(NTIP, XMOM, CURMOM, CURNUM, NP4, XMCR)
'
     Select Case MODEL1
     Case Is = "CURVATURE"
        FTS = 1 - EMCONC * AT22 * CURNUM
     Case Is = "ACI440.1R-06"
        FTS = TT2 ^ BETA1 * TT11 / (1 + TT2 ^ BETA1 * TT11)
     Case Is = "ACI440-H"
        FTS = TT2 ^ BETA1 * TT12 * (1.72 - 0.72 * TT2)
     Case Is = "CEB"
        FTS = BETA1 * BETA2 * TT2 * TT2 * TT12
     Case Is = "BISCHOFF"
        FTS = BETA1 * BETA2 * TT2 * TT2 * TT12
     Case Is = "ISIS"
        FTS = BETA1 * BETA2 * TT2 * TT2 * TT12
     End Select
```

```
'
      Select Case J1
      Case Is = 0
        T = T + FTS * 2
      Case Is = 1
        T = T + C * FTS * 2
      Case Is = 2
        T = T + C * C * FTS * 2
      Case Is = 3
        T = T + C * C * C * FTS * 2
      End Select
    Next K
      S = T * H / 2
'
    End Sub
    Sub INTEGK(I, JJ, A, B, FSSI, FSSJ, AI, D, NP1, EPST0, EL1, MODEL2,
UYUK, TEK, XH, AT1, EM, S)
'
    Dim J1 As Long, KK As Long, K As Long
    Dim H As Double, T As Double, XM As Double, C As Double, XMOM As
Double, TK3 As Double, EPS1 As Double
    Dim FSS As Double, ORAN As Double
'
    KK = 100
    If A = 0 Then A = 0.0001
    J1 = JJ - 1
    H = (B - A) / KK
    Select Case J1
    Case Is = 0
      T = (FSSI + FSSJ)
    Case Is = 1
      T = (A * FSSI + B * FSSJ)
    Case Is = 2
      T = (A * A * FSSI + B * B * FSSJ)
    Case Is = 3
      T = (A * A * A * FSSI + B * B * B * FSSJ)
    End Select
'
    C = A
    For K = 1 To KK
      C = C + H
      Select Case C
```

```
      Case Is < (AI / D)
        XMOM = Abs(EL1(I, 3) - UYUK * (C * D) * (C * D) / 2 - EL1(I, 2) * C *
D)
      Case Else
        XMOM = Abs(EL1(I, 3) - UYUK * (C * D) * (C * D) / 2 - (EL1(I, 2) +
TEK) * C * D + TEK * AI)
      End Select
'
      EPS1 = XMOM / AT1 * XH / EM
      TK3 = EPS1 / EPST0
'
      Select Case MODEL2
      Case Is = "ALM"
        FSS = TK3 / 0.4
      Case Is = "CDP"
        FSS = 1 / (0.24 * (1 - 250 * EPS1))
      Case Is = "YS"
        FSS = 4
      End Select
'
      Select Case J1
      Case Is = 0
        T = T + FSS * 2
      Case Is = 1
        T = T + C * FSS * 2
      Case Is = 2
        T = T + C * C * FSS * 2
      Case Is = 3
        T = T + C * C * C * FSS * 2
      End Select
'
    Next K
'
      S = T * H / 2
'
    End Sub
    Sub TRANS(X, TM)
'
    Dim I As Long, J As Long, K As Long
'
    Dim U(3, 3) As Double
'
```

```
    For I = 1 To 3
    For J = 1 To 3
      U(I, J) = 0
    For K = 1 To 3
      U(I, J) = U(I, J) + TM(K, I) * X(K, J)
    Next K
    Next J
    Next I
'
    For I = 1 To 3
    For J = 1 To 3
      X(I, J) = 0
    For K = 1 To 3
      X(I, J) = X(I, J) + U(I, K) * TM(K, J)
    Next K
    Next J
    Next I
'
    End Sub
    Sub TRANY(Y, TM)
'
    Dim J As Long, K As Long, IC As Long
'
    Dim V(3) As Double, P(3) As Double
'
    Dim VV As Double, PP As Double
'
    For J = 1 To 3
      V(J) = 0
      P(J) = 0
    For K = 1 To 3
      VV = TM(K, J) * Y(K)
      V(J) = V(J) + VV
      IC = K + 3
      PP = TM(K, J) * Y(IC)
      P(J) = P(J) + PP
    Next K
    Next J
'
    For J = 1 To 3
      Y(J) = V(J)
      IC = J + 3
```

```
      Y(IC) = P(J)
    Next J
'
    End Sub
    Sub ERMSAKLA(ERM, ELYV, I, SERM, SELYV)
'
    Dim II As Long, J As Long
    For II = 1 To 6
    For J = 1 To 6
      SERM(I, II, J) = ERM(II, J)
    Next J
    Next II
'
    For J = 1 To 6
      SELYV(I, J) = ELYV(J)
    Next J
'
    End Sub
    Sub SISTEM(NP1, NP2, I, IBS, IBAND, KODE, ERM, ELYV, SRM, SYV)
'C
'C**********************************************************************
*****
'C*********        APPLY    CODING    TECHNIQUE    TO    ASSEMBLE
**********
'C*********        THE    STRUCTURE    STIFFNESS    MATRIX    AND
**********
'C*********  LOAD VECTOR                          **********
'C**********************************************************************
*****
'C
    Dim J As Long, ISYN1 As Long, K As Long, JJ As Long, ISYN2 As Long, L
As Long, K1 As Long


    For J = 1 To 6
     ISYN1 = 1
     K = KODE(I, J)
     If K = 0 Then GoTo 10
     If K > 0 Then GoTo 20
     ISYN1 = -1
     K = -K
20    For JJ = 1 To 6
```

```
        ISYN2 = 1
        L = KODE(I, JJ)
        Select Case L
        Case Is = 0
          GoTo 30
        Case Is > 0
          GoTo 40
        Case Else
          ISYN2 = -1
          L = -L
        End Select
'
40        If L < K Then GoTo 30
        SRM(K, L - K + 1) = SRM(K, L - K + 1) + ERM(J, JJ) * ISYN1 * ISYN2
30      Next JJ
10    Next J
'
      For K = 1 To 6
        K1 = KODE(I, K)
        If K1 = 0 Then GoTo 60
        ISYN1 = 1
        If K1 < 0 Then ISYN1 = -1
        SYV(K1) = SYV(K1) + ELYV(K) * ISYN1
60      Next K
'
      End Sub
     Sub EKLE(NP2, IBS, SYV, DYUK)
'
     Dim I As Long
'
     For I = 1 To IBS
       SYV(I) = SYV(I) + DYUK(I)
10    Next I
'
     End Sub
     Sub COZUM(A, B, NEQ, NBW, IMAX)
'
'C**************************************************************************
*****
'C*********  BAND SOLVE                        ******************
'C**************************************************************************
*****
```

```
'
    Dim NT As Long, N1 As Long, K As Long, NK As Long, I1 As Long, J1 As
Long, J As Long
    Dim I As Long, N As Long


    Dim C1 As Double
'
    NT = NEQ + 1
    N1 = NEQ - 1
    For K = 1 To N1
      If NBW < (NT - K) Then
         NK = NBW
      Else
         NK = NT - K
      End If
'
      For I = 2 To NK
        C1 = A(K, I) / A(K, 1)
        I1 = K + I - 1
        For J = I To NK
          J1 = J - I + 1
          A(I1, J1) = A(I1, J1) - C1 * A(K, J)
        Next J
        A(K, I) = C1
      Next I
    Next K
'
    For K = 1 To N1
      If NBW < (NT - K) Then
         NK = NBW
      Else
         NK = NT - K
      End If
'
      For I = 2 To NK
        I1 = K + I - 1
        B(I1) = B(I1) - A(K, I) * B(K)
2005    Next I
2010    B(K) = B(K) / A(K, 1)
    Next K
    B(NEQ) = B(NEQ) / A(NEQ, 1)
```

```
'
    For N = N1 To 1 Step -1
      If NBW < (NT - N) Then
         NK = NBW
      Else
         NK = NT - N
      End If
'
       For K = 2 To NK
         B(N) = B(N) - A(N, K) * B(N + K - 1)
       Next K
    Next N
'
    End Sub
'
    Sub ELUC(NP1, NP2, I, SYV, KODE, TM, EL, SERM, SELYV)
'
    Dim J As Long, K As Long, JJ As Long, ISYN1 As Long
'
    Dim ERM(6, 6) As Double, ELYV(6) As Double, Y(6) As Double
'
    For J = 1 To 6
    For K = 1 To 6
      ERM(J, K) = SERM(I, J, K)
    Next K
    Next J
    For J = 1 To 6
      ELYV(J) = SELYV(I, J)
    Next J
'
    For JJ = 1 To 6
      EL(I, JJ) = 0
      For J = 1 To 6
        K = KODE(I, J)
        ISYN1 = 1
        Select Case K
        Case Is = 0
          GoTo 20
        Case Is > 0
          GoTo 25
        Case Else
          ISYN1 = -1
```

```
            K = -K
          End Select
25          EL(I, JJ) = EL(I, JJ) + ERM(JJ, J) * SYV(K) * ISYN1
20        Next J
30      Next JJ
'
      For J = 1 To 6
        EL(I, J) = EL(I, J) - ELYV(J)
40      Next J
'
      TM(1, 2) = -TM(1, 2)
      TM(2, 1) = -TM(2, 1)
'
      For J = 1 To 6
        Y(J) = EL(I, J)
      Next J
'
      Call TRANY(Y, TM)
'
      For J = 1 To 6
100     EL(I, J) = Y(J)
      Next J
'
      End Sub
      Sub KONTROL1(NP1, I, XMCR, EL1, UYUK, XKSI, KODB, KOD, D, TEK,
AI)
'
      Dim J As Long, IBS As Long, K As Long, KOD1 As Long
'
      Dim X1 As Double, X2 As Double, X3 As Double, X4 As Double, TELTA As
Double, DELTAT As Double
      Dim TEMP As Double, TERIM As Double
'
      KOD = 0
'
      For J = 1 To 6
        XKSI(I, J) = 0
      Next J
'
      For J = 1 To 5
        KODB(I, J) = 0
      Next J
```

```
'
'C*****************************************************************
*****
'C********  X1-X4  :  COORDINATES SPECIFYING CRACKCED
****************
'C********                AND UNCRACKED REGION OF THE MEMBER
****************
'C*****************************************************************
*****
'C
'C********  CHECK MEMBER WHETHER CRACKED OR NOT
****************
'C********  (UNIFORMLY DISTRIBUTED LOAD IS ZERO,
****************
'C********  POINT LOAD MAY BE ZERO OR NOT)
*****************
'C*****************************************************************
*****
'
    Select Case UYUK(I)
    Case Is = 0
      Select Case TEK(I)
      Case Is = 0
        Select Case EL1(I, 2)
        Case Is = 0
          Select Case Abs(EL1(I, 3))
          Case Is >= XMCR(I)
            KOD = 1
            XKSI(I, 6) = 1
            KODB(I, 5) = 1
            GoTo 1234
          Case Else
            KOD = 0
            GoTo 1234
          End Select
        Case Else
          X3 = (EL1(I, 3) - XMCR(I)) / EL1(I, 2)
          X4 = (EL1(I, 3) + XMCR(I)) / EL1(I, 2)
          If X3 < 0 Or X3 > D(I) Then X3 = 0
```

```
            If X4 < 0 Or X4 > D(I) Then X4 = 0
            X1 = 0
            X2 = 0
          End Select
        Case Is <> 0
          X1 = (EL1(I, 3) - XMCR(I)) / EL1(I, 2)
          X2 = (EL1(I, 3) + XMCR(I)) / EL1(I, 2)
          If X1 < 0 Or X1 > AI(I) Then X1 = 0
          If X2 < 0 Or X2 > AI(I) Then X2 = 0
          X3 = (EL1(I, 3) - XMCR(I) + TEK(I) * AI(I)) / (EL1(I, 2) + TEK(I))
          X4 = (EL1(I, 3) + XMCR(I) + TEK(I) * AI(I)) / (EL1(I, 2) + TEK(I))
          If X3 < AI(I) Or X3 > D(I) Then X3 = 0
          If X4 < AI(I) Or X4 > D(I) Then X4 = 0
        End Select
      Case Else
'
'C*****************************************************************
*****
'C******** CHECK MEMBER WHETHER CRACKED OR NOT ****************
'C******** (UNIFORMLY DISTRIBUTED LOAD IS NOT ZERO, ****************
'C******** POINT LOAD MAY BE ZERO OR NOT) ****************
'C*****************************************************************
*****
'
        TELTA = EL1(I, 2) * EL1(I, 2) + 2 * UYUK(I) * (EL1(I, 3) - XMCR(I))
        DELTAT = (EL1(I, 2) + TEK(I)) * (EL1(I, 2) + TEK(I)) + 2 * UYUK(I) *
(EL1(I, 3) - XMCR(I) + TEK(I) * AI(I))
        Select Case TELTA
        Case Is < 0
          Select Case TEK(I)
          Case Is = 0
            X1 = 0
            X2 = 0
          Case Else
```

```
      Select Case DELTAT
      Case Is < 0
         X1 = 0
         X2 = 0
      Case Else
         X1 = -((EL1(I, 2) + TEK(I)) + Sqr(DELTAT)) / UYUK(I)
         X2 = -((EL1(I, 2) + TEK(I)) - Sqr(DELTAT)) / UYUK(I)
         If X1 < AI(I) Then X1 = 0
         If X2 < AI(I) Then X2 = 0
      End Select
   End Select
Case Else
   Select Case TEK(I)
   Case Is = 0
      X1 = -(EL1(I, 2) + Sqr(TELTA)) / UYUK(I)
      X2 = -(EL1(I, 2) - Sqr(TELTA)) / UYUK(I)
   Case Else
      X1 = -(EL1(I, 2) + Sqr(TELTA)) / UYUK(I)
      X2 = -(EL1(I, 2) - Sqr(TELTA)) / UYUK(I)
      Select Case X1
      Case Is > AI(I)
        Select Case DELTAT
        Case Is < 0
          X1 = 0
        Case Else
          X1 = -((EL1(I, 2) + TEK(I)) + Sqr(DELTAT)) / UYUK(I)
          If X1 < AI(I) Then X1 = 0
        End Select
      End Select
      Select Case X2
      Case Is > AI(I)
        Select Case DELTAT
        Case Is < 0
          X2 = 0
        Case Else
          X2 = -((EL1(I, 2) + TEK(I)) - Sqr(DELTAT)) / UYUK(I)
          If X2 < AI(I) Then X2 = 0
```

```
            End Select
          End Select
        End Select
      End Select
'
'
        If X1 < 0 Or X1 > D(I) Then X1 = 0
        If X2 < 0 Or X2 > D(I) Then X2 = 0
'
'
      TELTA = EL1(I, 2) * EL1(I, 2) + 2 * UYUK(I) * (EL1(I, 3) + XMCR(I))
      DELTAT = (EL1(I, 2) + TEK(I)) * (EL1(I, 2) + TEK(I)) + 2 * UYUK(I) *
(EL1(I, 3) + XMCR(I) + TEK(I) * AI(I))
'
'
      Select Case TELTA
      Case Is < 0
          Select Case TEK(I)
          Case Is = 0
            X3 = 0
            X4 = 0
          Case Else
            Select Case DELTAT
            Case Is < 0
              X3 = 0
              X4 = 0
            Case Else
              X3 = -((EL1(I, 2) + TEK(I)) + Sqr(DELTAT)) / UYUK(I)
              X4 = -((EL1(I, 2) + TEK(I)) - Sqr(DELTAT)) / UYUK(I)
              If X3 < AI(I) Then X3 = 0
              If X4 < AI(I) Then X4 = 0
            End Select
          End Select
      Case Else
          Select Case TEK(I)
          Case Is = 0
            X3 = -(EL1(I, 2) + Sqr(TELTA)) / UYUK(I)
```

```
            X4 = -(EL1(I, 2) - Sqr(TELTA)) / UYUK(I)
          Case Else
            X3 = -(EL1(I, 2) + Sqr(TELTA)) / UYUK(I)
            X4 = -(EL1(I, 2) - Sqr(TELTA)) / UYUK(I)
            Select Case X3
            Case Is > AI(I)
              Select Case DELTAT
              Case Is < 0
                X3 = 0
              Case Else
                X3 = -((EL1(I, 2) + TEK(I)) + Sqr(DELTAT)) / UYUK(I)
                If X3 < AI(I) Then X3 = 0
              End Select
            End Select
            Select Case X4
            Case Is > AI(I)
              Select Case DELTAT
              Case Is < 0
                X4 = 0
              Case Else
                X4 = -((EL1(I, 2) + TEK(I)) - Sqr(DELTAT)) / UYUK(I)
                If X4 < AI(I) Then X4 = 0
              End Select
            End Select
          End Select
      End Select
'
'
        If X3 < 0 Or X3 > D(I) Then X3 = 0
        If X4 < 0 Or X4 > D(I) Then X4 = 0
'
    End Select
'
    XKSI(I, 1) = 0
    XKSI(I, 2) = X1 / D(I)
    XKSI(I, 3) = X2 / D(I)
    XKSI(I, 4) = X3 / D(I)
```

```
      XKSI(I, 5) = X4 / D(I)
      XKSI(I, 6) = 1
'
      IBS = 1
      For J = 1 To 5
        Select Case XKSI(I, J)
        Case Is <> 0
          IBS = IBS + 1
        End Select
3     Next J
'
      For J = 1 To 5
      For K = 1 To 5
        Select Case XKSI(I, K)
        Case Is > XKSI(I, K + 1)
          TEMP = XKSI(I, K + 1)
          XKSI(I, K + 1) = XKSI(I, K)
          XKSI(I, K) = TEMP
        End Select
5     Next K
4     Next J
'
      Select Case IBS
      Case Is = 1
        Select Case Abs(EL1(I, 3))
        Case Is > XMCR(I)
          KOD = 1
          KODB(I, 5) = 1
          GoTo 1234
        Case Else
          KOD = 0
          GoTo 1234
        End Select
      Case Is = 2
        KOD = 1
        Select Case Abs(EL1(I, 3))
        Case Is > XMCR(I)
```

```
      KODB(I, 4) = 1
      KODB(I, 5) = 0
      GoTo 1234
    Case Else
      KODB(I, 4) = 0
      KODB(I, 5) = 1
      GoTo 1234
    End Select
  Case Is = 3
    KOD = 1
    Select Case Abs(EL1(I, 3))
    Case Is > XMCR(I)
      KODB(I, 3) = 1
      KODB(I, 4) = 0
      KODB(I, 5) = 1
      GoTo 1234
    Case Else
      KODB(I, 3) = 0
      KODB(I, 4) = 1
      KODB(I, 5) = 0
      GoTo 1234
    End Select
  Case Is = 4
    KOD = 1
    Select Case Abs(EL1(I, 3))
    Case Is > XMCR(I)
      KODB(I, 2) = 1
      KODB(I, 3) = 0
      KODB(I, 4) = 1
      KODB(I, 5) = 0
      GoTo 1234
    Case Else
      KODB(I, 2) = 0
      KODB(I, 3) = 1
      KODB(I, 4) = 0
      KODB(I, 5) = 1
      GoTo 1234
```

```
        End Select
      Case Else
        KOD = 1
        KODB(I, 1) = 1
        KODB(I, 2) = 0
        KODB(I, 3) = 1
        KODB(I, 4) = 0
        KODB(I, 5) = 1
        GoTo 1234
      End Select
1234  End Sub
'
      Sub KONTROL2(NP1, I, EL1, EL2, KOD1, CONFAC)
'
      Dim J As Long
      KOD1 = 0
      For J = 1 To 6
        Select Case Abs(EL1(I, J))
        Case Is < 0.00001
          TERIM = (Abs(EL1(I, J)) - Abs(EL2(I, J)))
        Case Else
          TERIM = (Abs(EL1(I, J)) - Abs(EL2(I, J))) / Abs(EL1(I, J))
        End Select
        Select Case Abs(TERIM)
        Case Is > CONFAC
          KOD1 = 1
          GoTo 20
        End Select
10    Next J
'
20    End Sub
Sub  LOADDEFLECTION(IADIM,  IART,  PADI,  MODEL1,  IYDN,  IYDOG,
IDUGNO, IDEPNO, LOADDEF, SURE)
'
    Dim JJ As Long
      If IART = 1 Then
       Sheets("LOAD-DEFLECTION").Select
```

```
      Range("a1").Select
      ActiveCell = PADI
'     Range("a3").Select
'     ActiveCell = "EFFECTIVE STIFFNESS MODEL  :"
'     Range("e3").Select
'     ActiveCell = MODEL1
'     Range("a5").Select
'     ActiveCell = "LOAD INCREMENT AT JOINT    :"
'     Range("e5").Select
'     ActiveCell = IYDN
'     Range("a6").Select
'     ActiveCell = "LOAD DIRECTION            :"
'     Range("e6").Select
'     ActiveCell = IYDOG
'     Range("a7").Select
'     ActiveCell = "DISPLACEMENT AT JOINT      :"
'     Range("e7").Select
'     ActiveCell = IDUGNO
'     Range("a8").Select
'     ActiveCell = "DISPLACEMENT DIRECTION     :"
'     Range("e8").Select
'     ActiveCell = IDEPNO
'
'     Range("a10").Select
'     ActiveCell = "LOAD"
'     Range("C10").Select
'     ActiveCell = "DISPLACEMENT"
'     Range("E10").Select
'     ActiveCell = "ITERASYON"
'     Range("G10").Select
'     ActiveCell = "SURE"
'     ActiveCell.Offset(1, -6).Select
      If MODEL1 = "CURVATURE" Then
          Range("B4").Select
          ActiveCell = SURE
          Range("a7").Select
      ElseIf MODEL1 = "ACI440.1R-06" Then
```

```
    Range("D4").Select
    ActiveCell = SURE
    Range("C7").Select
ElseIf MODEL1 = "ACI440-H" Then
    Range("F4").Select
    ActiveCell = SURE
    Range("E7").Select
ElseIf MODEL1 = "BISCHOFF" Then
    Range("H4").Select
    ActiveCell = SURE
    Range("G7").Select
ElseIf MODEL1 = "ISIS" Then
    Range("J4").Select
    ActiveCell = SURE
    Range("I7").Select
ElseIf MODEL1 = "CEB" Then
    Range("L4").Select
    ActiveCell = SURE
    Range("K7").Select
End If
'
For JJ = 1 To IADIM
  ActiveCell = -LOADDEF(JJ, 1)
  ActiveCell.Offset(0, 1).Select
  If LOADDEF(JJ, 2) < 0 Then
     ActiveCell = -LOADDEF(JJ, 2)
  Else
     ActiveCell = LOADDEF(JJ, 2)
  End If
```

```
        ActiveCell.Offset(1, -1).Select
      Next JJ
   End If
   Call GRAFIK
   End Sub
'
   Sub GRAFIK()
   ActiveSheet.ChartObjects("Grafik 1").Activate

   ActiveChart.SeriesCollection(1).Delete
   ActiveChart.SeriesCollection(1).Delete
   ActiveChart.SeriesCollection(1).Delete
   ActiveChart.SeriesCollection(1).Delete
   ActiveChart.SeriesCollection(1).Delete
   ActiveChart.SeriesCollection(1).Delete
   ActiveChart.SeriesCollection(1).Delete
'
   ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
   ActiveChart.SeriesCollection(1).Name = "='LOAD-
DEFLECTION'!$A$5:$B$5"
   ActiveChart.SeriesCollection(1).XValues = "='LOAD-
DEFLECTION'!$B$7:$B$5900"
   ActiveChart.SeriesCollection(1).Values = "='LOAD-
DEFLECTION'!$A$7:$A$5900"
'
   ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
   ActiveChart.SeriesCollection(2).Name = "='LOAD-
DEFLECTION'!$C$5:$C$5"
```

```
    ActiveChart.SeriesCollection(2).XValues = "='LOAD-
DEFLECTION'!$D$7:$D$5900"
    ActiveChart.SeriesCollection(2).Values = "='LOAD-
DEFLECTION'!$C$7:$C$5900"
'
    ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
    ActiveChart.SeriesCollection(3).Name = "='LOAD-DEFLECTION'!$E$5:$E$5"
    ActiveChart.SeriesCollection(3).XValues = "='LOAD-
DEFLECTION'!$F$7:$F$5900"
    ActiveChart.SeriesCollection(3).Values = "='LOAD-
DEFLECTION'!$E$7:$E$5900"
'
    ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
    ActiveChart.SeriesCollection(4).Name = "='LOAD-
DEFLECTION'!$G$5:$G$5"
    ActiveChart.SeriesCollection(4).XValues = "='LOAD-
DEFLECTION'!$H$7:$H$5900"
    ActiveChart.SeriesCollection(4).Values = "='LOAD-
DEFLECTION'!$G$7:$G$5900"
'
    ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
    ActiveChart.SeriesCollection(5).Name = "='LOAD-DEFLECTION'!$I$5:$I$5"
    ActiveChart.SeriesCollection(5).XValues = "='LOAD-
DEFLECTION'!$J$7:$J$5900"
    ActiveChart.SeriesCollection(5).Values = "='LOAD-
DEFLECTION'!$I$7:$I$5900"
'
    ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
```

```
    ActiveChart.SeriesCollection(6).Name        =        "='LOAD-
DEFLECTION'!$K$5:$K$5"
    ActiveChart.SeriesCollection(6).XValues      =        "='LOAD-
DEFLECTION'!$L$7:$L$5900"
    ActiveChart.SeriesCollection(6).Values       =        "='LOAD-
DEFLECTION'!$K$7:$K$5900"
'
    ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
    ActiveChart.SeriesCollection(7).Name        =        "='LOAD-
DEFLECTION'!$M$5:$M$5"
    ActiveChart.SeriesCollection(7).XValues      =        "='LOAD-
DEFLECTION'!$N$7:$N$5900"
    ActiveChart.SeriesCollection(7).Values       =        "='LOAD-
DEFLECTION'!$M$7:$M$5900"
End Sub
```