



**FRP DONATILI BETONARME KİRİŞLERİN KESME DAYANIMININ
GEN İFADELİ PROGRAMLAMA İLE TAHMİN EDİLMESİ**

Şefika ACIR

**DOKTORA TEZİ
YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

NİSAN 2017

Şefika ACIR tarafından hazırlanan “FRP DONATILI BETONARME KİRİŞLERİN KESME DAYANIMININ GEN İFADELİ PROGRAMLAMA İLE TAHMİN EDİLMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Yapı Eğitimi Anabilim Dalında DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Yrd. Doç Dr. Hanifi TOKGÖZ

İnşaat Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Başkan : Prof. Dr. Salih YAZICIOĞLU

İnşaat Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye : Doç. Dr. Alper BÜYÜKKARAGÖZ

İnşaat Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye : Doç. Dr. Baki ÖZTÜRK

İnşaat Mühendisliği, Hacettepe Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye : Doç. Dr. Metin Hakan SEVERCAN

İnşaat Mühendisliği, Ömer Halisdemir Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: 17/04/2017

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Doktora Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Şefika ACIR

17/04/2017

FRP DONATILI BETONARME KİRİŞLERİN KESME DAYANIMININ GEN İFADELİ PROGRAMLAMA İLE TAHMİN EDİLMESİ

(Doktora Tezi)

Şefika ACIR

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Nisan 2017

ÖZET

Bu tez çalışmasında, literatürden elde edilen FRP donatılı betonarme kiriş ve döşemelere ait kesme dayanımı değerleri kullanılarak, FRP donatılı betonarme kirişlerin kesme dayanımı için Gen ifadeli programlama (Gen expression programming) yöntemi ile farklı modeller geliştirilmiştir. Çalışma kapsamında gerek betonun gerekse kayma donatılarının kesme dayanımına olan katkısı için farklı modeller geliştirilmiştir. ACI 440.1R-15, (2015), CSA S806- 12, (2012), ISIS M03-07, (2007), JSCE 97, (1997) ve BISE 99, (1999) tarafından önerilen denklemler ve GİP yöntemi ile geliştirilen denklemler aracılığı ile hesaplanan kesme dayanımı sonuçları literatürdeki deneysel sonuçlarla karşılaştırılarak, hem bu yönetmeliklerin hem de GİP tarafından önerilen modellerin ayrıntılı olarak bir değerlendirmesi yapılmıştır. Ayrıca önerilen denklemler aracılığı ile kesme dayanımını etkileyen boyuna donatı oranı, beton basınç dayanımı, kesme açıklığının etkili derinliğine olan oranı ve etriye yüzdesi gibi farklı değişkenlerin kesme dayanımı üzerine olan etkisi ayrıntılı bir şekilde irdelemek amacıyla parametrik çalışmalar yapılmıştır. Önerilen modellerin bu parametrik değişkenlerin değişimine bağlı olarak uygulanabilirliği test edilmiştir. Bu çalışmada, GİP ile geliştirilen modellerin diğer bilinen dayanım denklemlerinin elde edildiği modellere göre en iyi sonuçları verdiği görülmüştür.

Bilim Kodu : 91102
Anahtar Kelimeler : FRP Donatılar, Kesme Dayanımı, Genetik Modelleme
Sayfa Adedi : 108
Danışman : Yrd. Doç. Dr. Hanifi TOKGÖZ

PREDICTION OF SHEAR STRENGTH OF FRP – REINFORCED CONCRETE BEAMS
BASED ON GENE EXPRESSING PROGRAMMING

(Ph. D. Thesis)

Şefika ACIR

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

April 2017

ABSTRACT

In the present study, the models for estimating the shear strength of FRP reinforced concrete beams have been developed on the basis of GEP approach by using the experimental data on FRP-reinforced beams and slabs retrieved from published literature. The different models for contribution of concrete and shear reinforcement to shear strength were developed. The results obtained by using existing equations belonging to ACI 440.1R-15, (2015), CSA S806-12, (2012), ISIS M03-07, (2007), JSCE 97, (1997), BISE 99, (1999) methods were compared with the results obtained from proposed GEP model, and evaluated them in detail. The parametric studies were also carried out to evaluate the ability of the proposed GEP models and current shear design guidelines to quantitatively account for the effects of basic shear design parameters such as concrete strength, percent of longitudinal and vertical reinforcement and a/d on the shear strength of FRP-reinforced concrete beams. The proposed models' applicability depending on changing of parametric variables were tested. In this study, the models produced by GEP gives the most accurate results according to the existing shear equations provided by current provisions.

Science Code	: 91102
Key Words	: FRP Reinforcement, Shear Strength, Genetic Modelling
Page Number	: 108
Supervisor	: Assist. Prof. Dr. Hanifi TOKGÖZ

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın planlanması, yürütülmesi ve sonuçlanmasındaki yardım ve katkılarından dolayı, her konuda bana destek olan, kendisiyle çalışmaktan onur duyduğum değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Hanifi TOKGÖZ’e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Akademiye adım attığım ilk günden doktora tezine son noktayı koyduğum ana kadar bilgilerini ve yardımlarını esirgemeyen, öğrenciliğimi yanlarında geçirme onuruna eriştiğim değerli hocam Doç. Dr. Metin Hakan Severcan ve Doç. Dr. Mustafa Sarıdemir’e teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmamda bilgi ve birikimleriyle beni yönlendiren ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, çalışmalarım boyunca kendisinden çok şey öğrendiğim ve kendisiyle çalışmaktan onur duyduğum değerli hocam Doç. Dr. İlker Fatih KARA’ya teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmam süresince yorumları, tenkitleri ve katkılarından dolayı tez izleme komitesi üyesi Doç. Dr. Alper BÜYÜKKARAGÖZ’e teşekkürlerimi sunarım.

Her zaman yanımda olarak bana güç veren biricik annem Cennet TOKA, babam Cemil TOKA ve kardeşlerime teşekkür ederim.

Teşekkür borçlu olduğum bir hayli isim listesine sahibim, ancak listeden üç ismi ayırmamın anlayışla karşılanacağını umuyorum. Evliliğimin ilk gününden itibaren gösterdiği tüm fedakârlıklardan dolayı, varlığıyla huzur bulduğum, hayat arkadaşım Prof. Dr. Nurettin ACIR’a içtenlikle teşekkür ederim. Her zaman yanımda hissettiğim desteği, sabrı ve anlayışı için de kendisine minnettar olduğumu belirtmek isterim.

Tez çalışmam süresince zaman zaman kendilerini ihmal ettiğimi düşündüğüm, benim için çok kıymetli olan kızlarım İlbilge ACIR ve Ayyüce ACIR’a, özellikle son yıllarda sevgi ve sabrın ne demek olduğunu bana bir kez daha öğrettikleri için, teşekkür ediyorum. Onların sabır ve anlayışına minnettarım. Tezimdeki ve eğitim hayatımdaki son cümleyi, kızlarıma ithaf etmek istiyorum: “Kızlarım artık mezun oldum. Tez bitti...”

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	5
3. FRP MALZEMESİ VE DONATISININ ÖZELLİKLERİ	9
3.1. FRP Malzemesinin Bileşenleri.....	9
3.1.1. Polimer lifler.....	10
3.1.2. Cam lifler	10
3.1.3. Karbon lifler	11
3.1.4. Matris.....	11
3.2. FRP Donatısının Mekanik Özellikleri.....	11
4. ÇELİK VE FRP DONATILI BETONARME KİRİŞLERİN KESME ETKİSİ ALTINDAKİ DAYANIMI	17
4.1. Çelik Donatılı Betonarme Kirişlerin Kesme Davranışı.....	17
4.1.1. Kesme donatısız elemanların davranışı	19
4.1.2. Kesme donatılı kirişlerin davranışı.....	21
4.2. FRP Donatılı Betonarme Kirişlerin Kesme Dayanımı	23
4.2.1. FRP donatılı betonarme kirişlerin kesme dayanımı için farklı yönetmelikler tarafından önerilen denklemler	24
5. MATERYAL VE METOD.....	31

	Sayfa
5.1 Materyal	31
5.2. Metod	33
5.2.1. Gen ifadeli programlama	33
6. ÇALIŞMA KAPSAMINDA GİP İLE GELİŞTİRİLEN MODELLER ..	49
6.1. Kayma Donatısız Kirişlerde Betonun Kesme Dayanımına Olan Katkısı İçin Geliştirilen GİP Modelleri	49
6.2. Kayma Donatılı Kirişlerde Kayma Donatısının Kesme Dayanımına Olan Katkısı İçin Geliştirilen GİP Modelleri	54
7. BULGULAR VE TARTIŞMA	59
7.1. Kayma Donatısız Kirişler İçin Elde Edilen Sonuçların Değerlendirilmesi.....	59
7.1.1 Kesme ile ilgili parametreleri gözönünde bulunduran parametrik çalışma.....	78
7.2. Kayma Donatılı Kirişler İçin Elde Edilen Sonuçların Değerlendirilmesi.....	80
7.2.1. Etriye oranının kesme dayanımı üzerine olan etkisi.....	86
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	91
8.1. Sonuçlar.....	91
8.2. Öneriler.....	93
KAYNAKLAR	95
EKLER.....	101
EK-1. Kayma Donatısız FRP donatılı betonarme elemanlara ait deneysel datalar	102
EK-2. FRP kayma donatılı betonarme elemanlara ait deneysel datalar.....	106
ÖZGEÇMİŞ	108

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. FRP donatılarının avantaj ve dezavantajları	13
Çizelge 3.2. FRP donatı çubuklarının tipik çekme özellikleri	15
Çizelge 3.3. FRP donatı çubuklarının ısı genleşme katsayıları	15
Çizelge 5.1. Kayma donatısız betonarme elemanlara ait kesme ile ilgili parametrelerin dağılımı	32
Çizelge 5.2. Kayma donatılı betonarme elemanlara ait kesme ile ilgili parametrelerin dağılımı	32
Çizelge 6.1. V_c için önerilen modelde kullanılan GİP 1 parametreleri.....	50
Çizelge 6.2. V_c için önerilen modelde kullanılan GİP 2 parametreleri.....	51
Çizelge 6.3. v_{wf} için önerilen modelde kullanılan GİP 3 parametreleri	54
Çizelge 6.4. v_{wf} için önerilen modelde kullanılan GİP 4 parametreleri	55
Çizelge 7.1. Kayma donatısız FRP donatılı elemanlar için deneysel ve teorik model sonuçlarının karşılaştırılması	63
Çizelge 7.2. Kayma donatısız FRP donatılı elemanlar için deneysel ve teorik model sonuçlarının farklı parametrik değişken aralıklarına göre karşılaştırılması	64
Çizelge 7.3. Modellerden elde edilen kesme dayanımlarına ait istatistiksel veriler.....	66
Çizelge 7.4. FRP enine ve boyuna donatılı betonarme elemanlar için deneysel ve teorik model sonuçlarının karşılaştırılması	85
Çizelge 7.5. FRP Kayma donatılı elemanlar için deneysel ve teorik model sonuçlarının farklı parametrik değişken aralıklarına göre karşılaştırılması	85

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Farklı tipteki FRP donatılar	12
Şekil 3.2. FRP ve çelik donatıların gerilme şekil değiştirme ilişkisi	14
Şekil 4.1. Basit kesme etkisi nedeniyle asal gerilmeler	17
Şekil 4.2. Tekil yük etkisi altındaki basit mesnetli kirişte oluşan asal gerilmelerin yönü	18
Şekil 4.3. İki noktasal yük altındaki betonarme kirişte eğik çatlakların oluşumu	20
Şekil 4.4. Kesme donatısız bir kirişte kesme etkisinin karşılanması	21
Şekil 4.5. Kesme donatılı bir kirişte kesme kuvvetlerinin karşılanması	22
Şekil 5.1. GİP algoritması akış diyagramı	34
Şekil 5.2. İki genli kromozom ve GİP’de kodlanması	35
Şekil 5.3. Matematiksel açıklama ağacına (AA) bir örnek	37
Şekil 5.4. GİP kromozomları ve açıklama ağacı	38
Şekil 5.5. Mutasyon sonucu uzayan GİP kromozomları ve açıklama ağacı	38
Şekil 5.6. Mutasyon sonucu kısalan GİP kromozomları ve açıklama ağacı	39
Şekil 5.7. Uzun bir kromozomdan elde edilen alt kromozomlar	40
Şekil 5.8. Alt açıklama ağaçlarından elde edilen uzun kromozom	41
Şekil 5.9. Mutasyon operatörü ile yeni gen üretilmesi	44
Şekil 5.10. Ters çevirme operatörü ile yeni gen üretilmesi	44
Şekil 5.11. Sıralı gen transferi ile yeni gen üretilmesi	45
Şekil 5.12. Kök transfer işlemi ile yeni gen üretilmesi	46
Şekil 5.13. Gen transferi ile yeni gen üretilmesi	46
Şekil 5.14. Tek noktadan gen transferi ile iki kromozomdan yeni gen üretilmesi	47
Şekil 5.15. İki noktadan gen transferi ile iki kromozomdan yeni gen üretilmesi	47
Şekil 5.16. Geni yeniden birleştirme ile iki kromozomdan rastgele yeni gen üretilmesi	47

Şekil	Sayfa
Şekil 6.1. V_c için önerilen GİP 1 modelinin açıklama ağacı.....	51
Şekil 6.2. V_c için önerilen GİP 2 modelinin açıklama ağacı.....	52
Şekil 6.3. v_{wf} için önerilen GİP 3 modelinin açıklama ağacı	55
Şekil 6.4. v_{wf} için önerilen GİP 4 modelinin açıklama ağacı	56
Şekil 7.1. Kayma donatısız FRP donatılı elemanlara ait deneysel sonuçlarla model sonuçlarının karşılaştırılması a) ACI 440.1R-15 b) BISE 99 c) ISIS M03-07 d) CSA S806-12 e) JSCE 97 f) GİP 1 g) GİP 2.....	60
Şekil 7.2. V_{den} / V_{teorik} 'in etkili kesit yüksekliğine bağlı olarak değişimi a) ACI 440.1R-15 b) BISE 99 c) ISIS M03-07 d) CSA S806-12 e) JSCE 97 f) GİP 1 g) GİP 2.....	67
Şekil 7.3. V_{den} / V_{teorik} 'in boyuna donatı oranına bağlı olarak değişimi a) ACI 440.1R-15 b) BISE 99 c) ISIS M03-07 d) CSA S806-12 e) JSCE 97 f) GİP 1 g) GİP 2.....	70
Şekil 7.4. V_{den} / V_{teorik} 'in a/d oranına bağlı olarak değişimi a) ACI 440.1R-15 b) BISE 99 c) ISIS M03-07 d) CSA S806-12 e) JSCE 97 f) GİP 1 g) GİP 2.....	74
Şekil 7.5. Modellerden elde edilen kesme dayanımı değerlerinin boyuna donatı oranına göre değişimi.....	78
Şekil 7.6. Modellerden elde edilen kesme dayanımı değerlerinin beton dayanımına göre değişimi	79
Şekil 7.7. Modellerden elde edilen kesme dayanımı değerlerinin a/d'ye göre değişimi.....	80
Şekil 7.8. FRP enine ve boyuna donatılı elemanlara ait deneysel sonuçlarla model sonuçlarının karşılaştırılması a) ACI 440.1R-15 b) BISE 99 c) ISIS M03-07 d) CSA S806-12 e) JSCE 97 f) GİP 3 g) GİP 4.....	81
Şekil 7.9. FRP kayma ve boyuna donatılı elemanlarda kayma donatısının kesme dayanımına etkisi a) ACI 440.1R-15 b) BISE 99 c) ISIS M03-07 d) JSCE 97 e) GİP3.....	87

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
a	Kesme açıklığı
A_{fv}	Etriyelerin kesit alanı
A_g	Toplam kesit alanı
A_{sw}	Kesitteki toplam etriye kesit alanı
b	Baş uzunluğu
b_w	Kesit genişliği
c	Çatlamış kesitin tarafsız eksen derinliği
C_{ij}	Her bir kromozomun i. çözümüne karşılık gelen j. gerçek değer
d	Etkili kesit yüksekliği
d_v	Kesit etkili kayma yüksekliği
E_{fv}	Etriye elastisite modülü
E_{fl}	Boyuna donatı elastisite modülü
E_s	Çelik boyuna donatısı için elastisite modülü
F_{sw}	Eğik çatlağın kestiği etriyedeki çekme kuvveti
f'_c	Betonun basınç dayanımı
f_{fb}	Eğilme kapasitesi değeri
f_{uv}	Etriyenin kırılma anındaki gerilme değeri
f_{cu}	Küp numune beton basınç dayanımı
f_{mcd}	Tasarım beton basınç dayanımı
h	Kiriş yüksekliği
k	Kuyruk uzunluğu
M	Her problem için değişen ve problemin hassaslığına bağlı olarak seçilen sabit
M_2	Kolon uç momenti
M_d	Tasarım eğilme momenti

Simgeler**Açıklamalar**

M_f	İlgili kesitteki eğilme momenti
n	FRP donatısı elastisite modülünün çeliğin elastisite modülüne olan oranı
N_d	Tasarım eksenel yükü
P_{ed}	Etkili öngerme kuvveti
s	Etriye aralığı
T_{ij}	Her bir kromozomun çözüm değeri için hedeflenen değer
V_c	Betonun kesme dayanımına katkısı
V_{cc}	Çatlamamış basınç bölgesindeki beton tarafından taşınan kesme kuvveti
V_{cd}	Çekme donatısınınca taşınan kesme kuvveti
V_{ci}	Çatlak yüzeyindeki sürtünme nedeniyle taşınan kesme kuvveti
V_f	İlgili kesitteki kesme kuvveti
V_r	Kesme dayanımı
V_s	FRP etriyelerinin kesme dayanımına katkısı
V_{wf}	Kayma donatısının kesme dayanımına olan katkısı
v_{wf}	Kayma donatısında oluşan gerilme
z	Kesitteki basınç ve çekme kuvvetleri arasındaki mesafe
q_{ci}	Çatlak içi kesme gerilmesi
ρ_f	Boyuna donatı oranı
λ	Beton yoğunluğunu hesaba katan katsayı
Φ	Beton dayanımını hesaba katan katsayı
Φ_f	FRP etriye donatısının dayanımı ile ilgili bir katsayı
ρ_{fv}	Kesitteki etriye oranı
γ_b	Dayanım azaltma katsayısı
ε_{fv}	Kırılma anında etriyelerde oluşan şekil değiştirme değeri
α_t	FRP çubukların enine ısı genleşme katsayısı

Simgeler**Açıklamalar**

α_1	FRP çubukların boyuna ısı genleşme katsayısı
σ_{sw}	Etriye veya fret donatıdaki gerilme
σ_N	Eksenel kuvvetten dolayı betonda oluşan gerilme değeri

Kısaltmalar**Açıklamalar**

AAE	Standart hata
ACI	Amerika Beton Enstitüsü (American Concrete Institute)
AFRP	Aramit lifli polimer donatı (Aramid fibre reinforced polymers)
AOÇ/ORF	Açık okuma çerçeveleri
AA/ET	Açıklama ağaçları
alt-AA/alt-ET	Alt Açıklama ağaçları
BISE	Yapı Mühendisleri İngiliz Enstitüsü (British Institution of Structural Engineers)
CAN/CSA	Kanada yönetmeliği (Canadian Standards Association)
CFRP	Karbon polimer lifli donatı (Carbon fibre reinforced polymers)
COV	Değişkenlik katsayısı
FRP	Polimer lifli donatı (Fibre reinforced polymers)
GA	Genetik algoritmalar (Genetic algorithms)
GFRP	Cam lifli polimer donatı (Glass fibre reinforced polymers)
GİP	Gen ifadeli programlama (Gen expression programming)
GP	Genetik programlama (Genetic programming)
IS	Sıralı genlerin yer değiştirmesi transferi

Kısaltmalar**Açıklamalar****ISIS**

Uluslararası disiplinler arası çalışmalar okulu
(International School of Interdisciplinary
Studies/Canada)

JSCE

Japonya İnşaat Mühendisleri Derneği (Japan Society
of Civil Engineers)

RIS

Kök transferi (Root Insertion Sequence)

SD

Standart sapma



1. GİRİŞ

Betonun donma çözülme olayları veya deniz suyu gibi ağır çevresel koşullar etkisi altında bulunması halinde çelik donatılarda korozyon oluşabilmektedir. Bu tip çevresel koşullara maruz betonarme yapılarda çelik donatıların zamanla korozyona uğraması bu tür yapılarda ortaya çıkan en önemli problemlerden birini teşkil etmekte olup bu problemler betonarme yapılarda yüksek maliyetli bakım onarım ve güçlendirme işlemlerinin uygulanmasını gerektirmekte ve bu tip yapıların kullanılabilirlik sürelerinin kısalmasına neden olmaktadır. Betonarme yapılarda korozyona karşı dirençli bir malzeme olan lif takviyeli polimer (Fibre Reinforced Polymers (FRP)) donatıların kullanılmaya başlanması bu tip problemlere karşı alternatif bir çözüm yöntemi olarak ortaya çıkmıştır.

FRP donatısının korozyona karşı dirençli olmasının yanında yüksek çekme dayanımlı hafif bir malzeme olması bir betonarme donatısı olarak kullanılmasını sağlayan en önemli özelliğidir. FRP donatısının çelik donatıya göre farklı mekanik özelliklere sahip olmasından dolayı FRP donatılı betonarme elemanlar normal çelik donatılı elemanlara göre farklı bir davranış göstermektedirler. FRP donatısının kırılma konumuna kadar lineer bir gerilme şekli değiştirme davranışı göstermesinden dolayı, FRP donatılı betonarme yapılarda çelik donatılı betonarme yapılardan farklı olarak uygulanan yükler etkisi altında gevrek bir kırılma şekli ortaya çıkmaktadır. Ayrıca FRP donatısının çelik donatıya göre daha düşük bir elastisite modülüne sahip olması nedeniyle uygulanan yükler etkisi altında FRP donatılı betonarme elemanlarda çelik donatılı elemanlara göre daha derin ve geniş çatlaklar oluşmaktadır. FRP donatısının düşük elastisite modülüne sahip olmasından kaynaklanan bu tür problemler nedeniyle, FRP donatısı içeren betonarme elemanların kesme dayanımı çelik donatılı elemanlara göre daha düşük olmaktadır.

FRP donatılı betonarme kirişlerin kesme tasarımı birçok uluslararası yönetmeliklerde FRP ve çelik donatıların mekanik özelliklerindeki farklılıklar göz önünde bulundurularak çelik donatılı kirişlerin tasarımı için önerilen modele dayandırılmıştır. Bu model betonarme kirişlerin kesme dayanımını, betonun kesme dayanımına olan katkısı ile kayma donatılarının kesme dayanımına olan katkısının toplamı olacak şekilde hesaplanmasını öngörmektedir. Betonun kesme dayanımına olan katkısı, çatlamamış betonun kesme dayanımı, boyuna donatının kaldıraç etkisi nedeniyle oluşan kesme dayanımı, kemerleme etkisi ve betonun

çekme dayanımının kesme dayanımına olan katkısını içeren farklı kesme dayanım mekanizmalarının toplamı olacak şekilde hesaba katılmakta olup, genellikle yarı amprik denklemler göz önüne alınarak hesaplanmaktadır. Betonarme elemanlarda kayma donatısı olarak kullanılan etriyelerin kesme dayanımına olan katkısı kafes kiriş anolojisine dayandırılarak hesaplanmaktadır. FRP donatılarının etriye olarak kullanılması durumunda kırılmalarının özellikle etriyelerin eğildiği bölgelerde olduğu ve dayanımlarının önemli derecede azaldığı gözlemlenmiştir.

FRP donatılı betonarme elemanlarının kesme dayanımlarının hesaplanması için farklı ülke yönetmelikleri tarafından birçok model önerilmiştir. Bu modeller genellikle FRP ve çelik donatılarının mekanik özellikleri arasındaki farklılıklar göz önünde bulundurularak çelik donatıların kesme dayanımı için önerilen modellere dayandırılmıştır. Bununla birlikte bu modellerde özellikle betonun kesme dayanımına olan katkısını içeren denklemlerde farklı parametrik değişkenlerin göz önünde bulundurulup bulundurulmamasıyla veya bu değişkenlerin farklı değişkenlerle hesaba katılmasıyla ilgili olarak bir takım farklılıklar bulunmaktadır. Bu nedenle bu tür modellerde elde edilen sonuçlar arasında farklılıkların olduğu görülmüştür.

Bugüne kadar FRP donatılı betonarme kirişlerin kesme dayanımı için birçok çalışma yapılmış olmasına rağmen, gerek farklı araştırmacılar gerekse uluslararası birtakım yönetmelikler tarafından önerilen modellerden elde edilen sonuçlar arasında farklılıkların oluşması, bu konuda halâ detaylı çalışmaların yapılması ihtiyacını ortaya koymaktadır. Literatürden elde edilen daha fazla deneysel çalışma sonucu ve kesme dayanımını etkileyen tüm parametreler göz önüne alınacak şekilde yeni modeller geliştirilmesi, gerçeğe daha yakın sonuçlar elde edilmesi açısından oldukça önemli olacaktır.

Bu tez çalışmasında, literatürden elde edilen 228 adet FRP donatılı betonarme kirişlere ait kesme dayanımı değerleri kullanılarak, FRP donatılı betonarme kirişlerin kesme dayanımı için Gen ifadeli programlama (GİP (Gene Expression Programming)) yöntemi ile farklı modeller geliştirilmiştir. ACI 440.1R-15, (2015), CSA S806-12, (2012), ISIS M03-07, (2007), JSCE 97, (1997) ve BISE 99, (1999) tarafından önerilen denklemler ve GİP yöntemi ile geliştirilen denklemler aracılığı ile hesaplanan kesme dayanımı sonuçları deneysel sonuçlarla karşılaştırılarak, gerek bu yönetmeliklerin gerekse GİP tarafından önerilen modellerin ayrıntılı olarak bir değerlendirmesi yapılmıştır. Ayrıca önerilen denklemler

aracılığı ile kesme dayanımını etkileyen boyuna donatı oranı, beton basınç dayanımı, kesme açıklığının etkili derinliğine olan oranı ve etriye yüzdesi gibi farklı parametrik değişkenlerin kesme dayanımı üzerine olan etkisi ayrıntılı bir şekilde irdelenmiştir.





2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Literatürde özellikle son 10 yılda FRP donatılı betonarme elemanların kesme davranışını ve dayanımını inceleyen birtakım çalışmalar yapılmıştır. Ancak yapılan bu çalışmalar neticesinde kesme dayanımı için geliştirilen modeller arasında farklılıkların bulunması ve bu çalışmaların çelik donatılı kirişlerin dayanımını inceleyen çalışmalarla karşılaştırıldığında halâ yeterli düzeyde bulunmamaktadır. Bu bölümde FRP boyuna ve/veya enine donatı içeren betonarme kirişlerin kesme davranışını ve dayanımını inceleyen çalışmalara yer verilmiştir.

Joseph ve diğerleri (2000), cam lifli polimer (Glass Fibre Reinforced Polymers (GFRP)) boyuna donatılı kayma donatısız betonarme kirişleri yüklemeye tabi tutarak kesme dayanımını ve davranışını araştırmışlardır. Deneysel çalışmada tüm kirişlerin diyagonal çekme çatlakları sonucunda kesme-çekme çatlakları nedeniyle kırılma konumuna ulaştığını gözlemlemişlerdir. Çelik donatılı kirişlerin kesme dayanımı için ACI-318-99 tarafından önerilen denklemin FRP donatılı kirişlerin kesme dayanımı için güvensiz yönde sonuçlar verdiği sonucuna ulaşmışlardır. Bu durumun GFRP donatılı kirişlerde daha geniş ve derin çatlakların oluşmasından kaynaklandığını ifade etmişlerdir.

Yost ve diğerleri (2001), GFRP donatılı betonarme kirişleri dört noktasal yük etkisi altında yüklemeye tabi tutmuşlardır. Çalışmada boyuna donatı etkisinin kesme dayanımı üzerine olan etkisini araştırmışlardır. Yüklemeye tabi tutulan kirişlerin kesme nedeniyle kırılma konumuna ulaştığını gözlemlemişlerdir. GFRP boyuna donatı oranının kesme dayanımı üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığını ifade etmişlerdir.

Alkhrdaji ve diğerleri (2001), farklı oranlarda GFRP enine ve boyuna donatı içeren betonarme kirişleri deneysel olarak yüklemeye tabi tutarak bu kirişlerin kesme etkisi altındaki davranışlarını araştırmışlardır. Yüklemeye tabi tutulan tüm kirişlerin kesme nedeniyle kırılma konumuna ulaştığını gözlemlemişlerdir. GFRP boyuna donatı oranının betonun kesme dayanımına olan katkısı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Betonun kesme dayanımına olan katkısı için ACI 440 tarafından önerilen denklemin aşırı yönde güvenli sonuçlar verdiğini ifade etmişlerdir.

Razaqpur ve diğerkleri (2004), farklı boyuna donatı oranına ve a/d oranına sahip GFRP donatılı betonarme kirişleri yüklemeye tabi tutarak kesme davranışını gözlemlemişlerdir. Elde edilen kesme dayanımı değerlerini ACI 440.1R-01 (2001), CSA S806-02 (2002) ve JSCE 97 (1997) tarafından önerilen modellerden elde edilen sonuçlarla karşılaştırmışlardır. ACI 440.1R-01 modelinin aşırı yönde güvenilir sonuçlar verirken CSA S806-02 ve JSCE 97 tarafından önerilen denklemlerin deneysel sonuçlarla karşılaştırıldığında kabul edilebilir olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

El-Sayed ve diğerkleri (2006), farklı tip FRP donatısı (karbon lifli polimer (Carbon Fibre Reinforced Polymers (CFRP)) veya GFRP) içeren betonarme kirişleri yüklemeye tabi tutarak kesme davranışını araştırmışlardır. Karşılaştırma yapmak amacıyla çelik donatılı kirişleri de yüklemeye tabi tutmuşlardır. Çalışmalarında boyuna donatı oranının ve FRP donatı tipinin kesme dayanımı üzerine olan etkisini araştırmışlardır. FRP donatılarının düşük elastisite modülüne sahip olmasından dolayı bu donatıların kullanıldığı kirişlerin kesme dayanımı değerlerinin çelik donatılı kirişlere göre daha düşük değerlere sahip olduğu sonucuna ulaşmışlardır. FRP donatılı kirişlerde çelik donatılı kirişlere göre daha derin ve geniş çatlakların oluştuğunu gözlemlemişlerdir. ACI 440.1R-01 (2001) tarafından önerilen denklemlerin gerek CFRP gerekse GFRP donatılı kirişler için gereğinden fazla güvenli yönde sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir.

Ashour (2006), GFRP donatılı kirişleri yüklemeye tabi tutarak eğilme ve kesme davranışını araştırmıştır. Kesmede kırılan kirişlerin, eğilmede taşıma gücüne erişen kirişlere göre oldukça düşük düzeyde deplasman yaptıktan sonra kesme nedeniyle tahmin edilenden önce kırılma konumuna ulaştıkları sonucuna varmıştır. Deneyden elde edilen kesme dayanımı değerleri ile ACI 440.1R-01 (2001) ve farklı araştırmacılar tarafından FRP donatılı kirişlerin kesme dayanımı için önerilen model sonuçlarıyla karşılaştırılmasından model sonuçlarının güvenilir sonuçlar verdiğini ifade etmiştir.

El-Sayed ve diğerkleri (2006), yüksek dayanımlı beton ve CFRP veya GFRP donatısı içeren betonarme kirişlerin kesme dayanımını araştırmak üzere birtakım deneyler yapmışlardır. Yüksek dayanımlı betondan oluşan betonarme kirişlerdeki kesme kırılmasının normal dayanımlı betondan oluşan kirişlerle benzer özellik gösterdiği sonucuna ulaşmışlardır. Ayrıca beton basınç dayanımı arttıkça kesme dayanımının da arttığı sonucuna ulaşmışlardır.

Nehdi ve diğerkleri (2006), çalışmalarında FRP donatılı betonarme kirişlerin kesme dayanımı için yapay sınır ağı ile bir model geliştirmişlerdir. Önerilen modelin yönetmelikler tarafından önerilen modellere göre daha iyi sonuçlar verdiği görölmüşür.

Al-Sayed ve diğerkleri (2010), GFRP boyuna ve kayma donatılı kirişlerin kesme davranışını ve GFRP donatısının kayma donatısı olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır. GFRP etriye aralığının azaldıkça kesme kapasitesinin arttığını ve kırılma anındaki kesme çatlaklarının yaptığı açının 45° lik kafes modeli ile uyum içerisinde olduğu sonucuna ulaşmışlardır. ACI 440.1R-06 (2006) ve CSA S806-02 (2002) tarafından önerilen FRP kayma donatısındaki şekil değiştirme değerlerinin sınırlandırılmasının makul sonuçlar verdiği fakat hala gereğinden fazla güvenilir yönde olduğunu ifade etmişlerdir. Bununla birlikte modifiye edilmiş basınç alanları teorisinin FRP kayma donatılı kirişlerin kesme dayanımlarının belirlenmesinde uygun sonuçlar verdiğini görmüşlerdir.

Kara (2011) alışmasında, literatürden elde edilen deneysel sonuçları kullanarak, FRP donatılı betonarme kirişlerin kesme dayanımı için GİP ile bir model geliştirmiştir. Geliştirdiği modelin farklı parametrik değişkenler için literatürde mevcut olan diğer yönetmeliklere göre iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Siad ve diğerkleri (2016) FRP enine ve boyuna donatılı betonarme kirişlerin kesme davranışını araştırmışlardır. Beton basınç dayanımını ve etriye oranını değiştirerek bu parametrelerin dayanım üzerine olan etkisini araştırmışlardır. Beton basınç dayanımının 25 MPa dan 45 ve 70 MPa ya çıkmasıyla kesme dayanımının %49 ve %104 oranında arttığını sonucuna ulaşmışlardır. Etriyelerde taşıma gücü anında oluşan şekil değiştirme değerlerinin 0,0043 ve 0,0095 değerleri arasında olduğunu bu değerlerin de etriyelerin eğilme noktasında tahmin edilen taşıma gücü şekil değiştirme değerlerinin %21'i ile %48'i arasında olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Kesme dayanımı değerlerini kafes kiriş anolojisi ve lineer olmayan sonlu elemanlar yöntemini kullanarak deneysel sonuçlarla makul sonuçlar elde etmişlerdir.



3. FRP MALZEMESİ VE DONATISININ ÖZELLİKLERİ

Betonun pH derecesinin yüksek olması, içinde bulunan çelik yüzeylerinde kısa süre içinde Fe_2O_3 filminin oluşmasına ve metalin pasifleşmesine neden olur. Normal bir betonda bu oksit filmi bozulmadan uzun süre çeliğin korozyonunu önler. Endüstride çeşitli ortamlarda bulunan birçok beton yapı, çevresel etkilerle (deniz suyu ile temas, buzlanmayı önlemek amacıyla kullanılmış olan tuzlar, gübre artıkları, vb.) zamanla kirlenebilir. Beton bünyesine girmiş olan klorür iyonları, çelik yüzeylerinde oluşmuş bulunan pasif oksit filminin bozulmasına neden olur. Bu durumda betonarme yapılarda kullanılan çelik donatılar şiddetli korozyona uğrarlar.

İnşa edilecek yeni yapılarda, korozyon hasarlarını engellemek için mümkün olan alternatif bir çözüm yöntemi çelik donatıların yerine korozyona karşı daha dayanıklı olan malzemenin kullanılmasıdır. FRP donatılar son yıllarda çelik donatıların yerine kullanılan ideal bir malzeme olarak ortaya çıkmıştır. Bu bölüm kapsamında FRP'nin içyapısı ve FRP'yi oluşturan malzemelerle birlikte FRP donatısının mekanik özelliklerine yer verilecektir.

3.1. FRP Malzemesinin Bileşenleri

FRP ürünleri reçine matrisi içerisine gömülmüş, yüksek dayanımlı liflerden oluşan kompozit malzemeler olup bu liflerden oluşturulan kompozit malzemeye dayanım ve rijitlik sağlamak ve genellikle yükün büyük bir kısmını almaktadırlar. Cam, karbon ve aramid en yaygın olarak kullanılan lifler, epoksi, polyester, vinylester ise en yaygın kullanılan matrislerdir (Yavuz, 2011).

İnşaat Mühendisliği uygulamaları için en yaygın olarak kullanılan lif tipleri cam ve karbondur. Üretim alanı içerisindeki en geniş kullanım cam life aittir. Günümüzde uygulamada en yaygın şekilde kullanılan lif takviyeli kompozitler laminat olarak isimlendirilen ve yapı elemanlarına dıştan yapıştırılarak uygulanan güçlendirme malzemeleridir. Laminatlar, birkaç ince katman ve matrisler topluluğunun istenilen kalınlıkta birleştirilmesiyle elde edilmektedir. Her tabakadaki fiber doğrultusu, çeşitli katmanların yığın şeklinde sıralanmasıyla, yük etkisine göre fiziksel ve mekanik özelliklerin iyileştirilebileceği yönde yerleştirilmektedir. Termoset veya termoplastik reçineler, lif

üretimi veya daha sonraki aşamada yüzey şeklinin verilmesini sağlamaktadır. Liflere uygulanan diğer malzemeler, bu elemanları bir arada yığın şeklinde tutan reçine tutkalları ve işlem sırasındaki aşınma nedeniyle meydana gelen azalmadan fiberleri koruyan lubrikant adı verilen maddelerdir.

3.1.1. Polimer lifler

Polimer lifler, genel olarak istenilen yeterli dayanıma sahip değildirler. Yalnızca aramid lifler ve ultra yüksek molekül ağırlıklı polietilen lifler üstün mekanik özellikleri nedeniyle diğerlerinden ayrılırlar. "Aramid", aromatik liflerin genel adıdır. Ticari adı ise Kevlar'dır. Kevlar kompozitleri yüksek dayanım ve sertlikleri, hasar ve yorulma dirençleri nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Aramid lifler, düşük yoğunluk, sertlik ve darbe direncinde üstün mekanik özellik sağlamaktadır. Aramid liflerinin dayanımı, cam liflere göre daha yüksek ve elastisite modülü camdan %50 daha fazladır. Bu lifler, kompozitlerin darbe direncini artırmakta ve daha yüksek gerilme dayanımı sağlamaktadır. Aramid lifler, hem elektrik geçirgenliğini hem de ısıyı yalıtılabilmektedirler. Yukarıda sözü geçen lif tipleri karşılaştırıldığında karbon'un en iyi olduğu, onu Kevlar'ın ve ardından camın izlediği söylenebilir.

3.1.2. Cam lifler

Cam lifler, kompozit malzemeleri takviye için kullanılan en yaygın malzemedir. Bunun nedeni, uygun fiyatı ve istenilen özelliklere büyük oranda sahip olmasıdır. "Cam" terimi, inorganik camların geniş bir grubunu ifade etmek için kullanılır. Bunlar, silika (SiO_2) temelli olup az miktarda diğer inorganik oksitleri de içermektedirler. Cam lifler dayanıklı ve esnektirler, fakat bazı inşaat uygulamaları için yeterli dayanıma sahip değildirler. Daha yüksek dayanım gerektiğinde daha pahalı ve yüksek kaliteli olan karbon ya da polimer lifler kullanılabilir. Cam lif, ekonomik imalatından ve kendine has dayanım özelliklerinden dolayı pek çok inşaat mühendisliği uygulamasında kullanılan bir fiber tipi olmuştur. Bunlar, ticari olarak E-glass (E-cam) formülasyonunda olup kompozit donatının genel amaçlı ve en yaygın kullanılan tipidir. Yüksek dayanımlı diğer formülasyonlar arasında, asite karşı dayanıklılığı ve alkali dayanımı geliştirilmiş olan ürünler de bulunmaktadır (Yavuz, 2011).

3.1.3. Karbon lifler

Karbon lifler genellikle poliakrilonitril'in (PAN), 1000-1500°C'da karbonlaştırılması (havasız ortamda ısıtılması) ile üretilmektedir. Karbon liflerin uygulamadaki avantajları; boyutsal açıdan kararlı oluşları, kimyasal içerikleri nedeniyle neme ve pek çok kimyasala direnç göstermeleri ve elektriksel/ısısal iletkenliklerinin yüksek oluşudur. Karbon fiberlerin kullanıcı açısından en önemli dezavantajı ise siyah renginden dolayı kompozit renginin istenilen şekilde korunamamasıdır. Diğer bir dezavantaj olarak yüksek maliyet söylenebilir. Karbon lifler, güçlü fakat hafif bir yapıya sahiptirler. Bunun sebebi, karbon atomlarının bileşiği oluştururken meydana getirdiği geometridir.

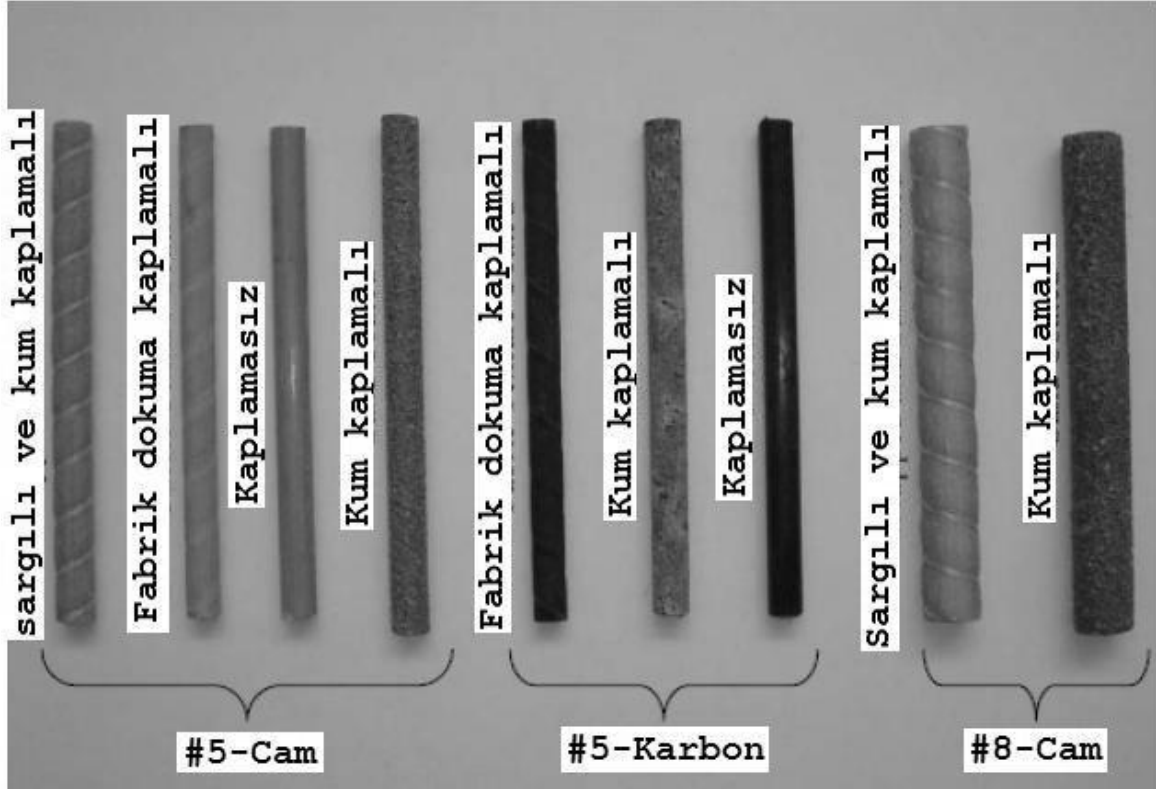
3.1.4. Matris

Matris, kompozitin temelini oluşturur ve lifleri bir arada tutarak kompozitin dayanımını artırır. Kullanım yerine bağlı olarak farklı matrisler seçilir. Vinilester reçineleri, poliester-stiren sistemiyle karşılaştırıldığında bazı avantajlara sahiptir. Çok fazla su emmezler ve kimyasal dirençleri daha yüksektir. Cam lifler kullanıldığında bu durum avantaj sağlar. Fakat ne vinilester, ne de doymamış poliester-stiren sistemi yüksek sıcaklık uygulamaları için uygun değildir. Yüksek sıcaklıklarda, epoksi reçineleri gibi matrislerin kullanılması gerekmektedir. Bunlar 160°C'a kadar olan sıcaklıklarda kullanılabilirler. Ancak 160°C gerçek anlamda çok yüksek bir sıcaklık değildir. Kompozit malzemeyi oluşturan elemanlardan her biri, işlem ve sonuç performansta önemli rol oynamaktadır. Reçine veya polimer, kompozit yapıyı bir arada tutmakta ve elde edilen ürünün fiziksel özelliklerine etki etmektedir. Takviye elemanı lifler, mekanik dayanımı sağlamaktadır. Dolgu maddeleri ve katkıları ise ürüne istenen özellikleri katmak amacıyla kullanılmaktadır (Yavuz, 2011).

3.2. FRP Donatısının Mekanik Özellikleri

Özellikle dış ortamlara açık olan yapılarda kullanılabilen farklı tiplerde yüzey deformasyonlu donatı çubukları, öngerme tendonları, çift yönde hasır şeklindeki FRP donatıları mevcuttur. Betonarme ve öngerilmeli beton uygulamaları için kullanılan FRP donatıları tek doğrultulu, düz veya nervürlü çubuklar ve burulmuş tendonlar şeklindedir. FRP çubuklarının betonla arasında daha iyi bir aderans olması için yüzeyleri kumla kaplanmakta veya aderansı sağlamak üzere yüzey deformasyonlarının elde edilebilmesi için

helezonik tel sarma yöntemi gibi ikinci bir işleme maruz bırakılmaktadır. Şekil 3.1’de farklı yüzeylere sahip FRP çubukları görülmektedir.



Şekil 3.1. Farklı tipteki FRP donatılar (Fico, 2006; Yavuz, 2011)

FRP donatısı plak, halat ve çubuk şeklinde oluşturulabilmekte ve çelik donatıdan farklı olarak, kesin bir şekilleri, yüzey konfigürasyonları, lif doğrultusu, birleşim malzemeleri ve oranları yoktur.

FRP donatıları, geleneksel çelik donatılara göre yüksek çekme dayanımlı hafif bir malzemedir. Bu malzemelerin ağırlığının az olması, taşıma, işçilik ve ekipman maliyetlerini azaltmakta ve inşaat sahasında çubukların yerleştirilmesini kolaylaştırmaktadır. Ayrıca elektromanyetik izolasyonun kritik olduğu hastaneler ve nükleer güç santralleri gibi yapı uygulamalarında bu donatının manyetik olmama özelliği bir avantaj olarak ortaya çıkmaktadır.

FRP çubuklarının özellikleri matris ve lif tipine bağlı olup mekanik özellikleri çelik çubuklardan oldukça farklıdır. FRP çubukları, genelde çeliğe göre daha düşük elastisite

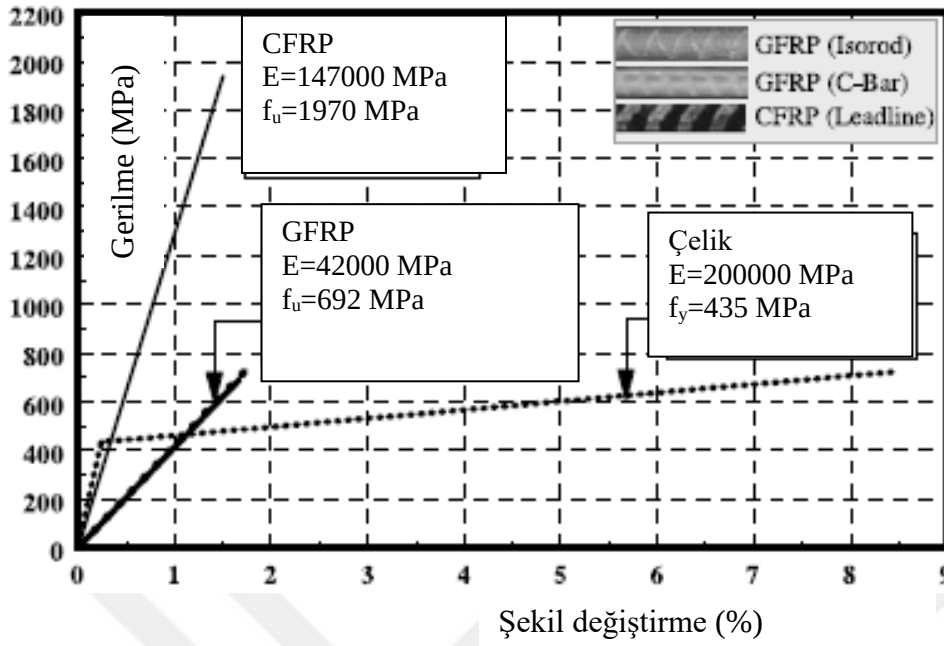
modülüne ve daha yüksek çekme dayanımına sahiptir. Çizelge 3.1’de Betonarme yapılarda kullanılan FRP donatılarının çelik donatıya göre avantaj ve dezavantajları verilmiştir.

Çizelge 3.1. FRP donatılarının avantaj ve dezavantajları (ACI 440.1R-06, 2006; Fico, 2006)

Avantajları	Dezavantajları
Yüksek boyuna çekme dayanımı (liflerin yükleme yönü ve işaretiyle değişmektedir)	Gevrek kopmadan önce akma olmaması
Korozyon dayanıklılığı (kaplamaya bağlı değildir)	Düşük enine dayanım (liflerin yükleme yönü ve işaretiyle değişmektedir)
Manyetik olmaması	Düşük elastisite modülü (takviye lifi tipine göre değişmektedir)
Yüksek yorulma dayanımı (takviye lifi tipine göre değişmektedir)	Ultraviyole radyasyon etkisi altında polimer reçineler ve lifler için hasar hassasiyeti

Çizelge 3.1’den görüldüğü gibi FRP donatılarının çelik donatıya göre avantajları, yüksek çekme dayanımı, hafiflik, korozyona dayanıklılık, yorulma mukavemetinin yüksek olması, manyetik geçirgenliğinin olmaması ve düşük ısı iletkenliği dezavantajları ise dayanımın lif doğrultusuna bağlı olarak değişmesi nedeniyle düşük enine dayanım, kopmadan önce akma olmaması dolayısıyla gevrek davranış göstermesi, düşük elastisite modülü, ve yangına karşı hassasiyet şeklinde ifade edilebilir.

FRP donatısının bir betonarme donatısı olarak kullanılmasını sağlayan ve çelik donatıya bir alternatif olmasının en önemli nedeni çelik çubuklara göre yüksek çekme dayanımlı hafif bir malzeme olmasıdır Ancak FRP donatıları çekme etkisi altında kopmadan önce herhangi bir plastik davranış sergilememektedir. Şekil 3.2’de GFRP ve CFRP donatılarıyla birlikte çelik çubukların gerilme şekil değiştirme ilişkisi görülmektedir.



Şekil 3.2. FRP ve çelik donatıların gerilme şekil değiştirme ilişkisi (Abdalla, 2002)

Şekil 3.2’den görüldüğü üzere CFRP ve GFRP donatıları çelik çubuklardan farklı olarak kırılma anına kadar lineer bir gerilme şekil değiştirme ilişkisine sahiptir.. FRP donatılarının bu özelliği nedeni ile FRP donatılı betonarme yapılarda gevrek bir kırılma şekli ortaya çıkmaktadır. Bununla birlikte normal çelik donatılar FRP donatılara göre daha yüksek elastisite modülüne sahiptirler. Ayrıca CFRP donatıları genellikle GFRP donatılarına göre daha yüksek elastisite modülüne ve çekme dayanımına sahiptirler. Çizelge 3.2’de ACI 440.1R-06’da verilen en yaygın donatı çubuklarının çekme etkisi altındaki özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.2. FRP donatı çubuklarının tipik çekme özellikleri (ACI 440.1R-06,2006; Fico, 2006)

	Çelik	GFRP	CFRP	AFRP
Nominal akma gerilmesi, MPa	276-517	-	-	-
Çekme dayanımı, MPa	483-690	483-1600	600-3690	1720-2540
Elastisite Modülü, MPa	200	35-51	120-580	41-125
Akma şekil değiştirmesi, %	0,14-0,25	-	-	-
Kopma şekil değiştirmesi, %	6,0-12,0	1,2-3,1	0,5-1,7	1,9-4,4

FRP ve onu çevreleyen beton arasındaki aderans dayanımı, FRP çubuklarının imalat yöntemine, mekanik özelliklerine ve yüzey karakteristiklerine bağlı olarak değişmektedir. Donatı çubuklarının, kenetlenmesini arttırmak için genellikle kullanılan bir teknik FRP yüzeyinin “kumla kaplanmasıdır”. Bu durumda, kum kaplama yüzeyi çelik çubuklardaki nervürler gibi davranış göstermektedir (ACI 440.1R-15, 2015).

FRP çubuklarının enine ısı genleşme katsayısını ise reçine, boyuna ısı genleşme katsayısını ise lif tipleri belirlemektedir. Çizelge 3.3’de lif hacim oranı %50-70 arasında değişen kompozit çubukların α_t enine ve α_l boyuna yönlerdeki ısı genleşme katsayılarının tipik değerleri görülmektedir.

Çizelge 3.3. FRP donatı çubuklarının ısı genleşme katsayıları (Fico, 2006)

Çubuk Tipi	$\alpha_l(10^{-60}C^{-1})$	$\alpha_t(10^{-60}C^{-1})$
AFRP	-6,0~2,0	60,0~80,0
CFRP	-2,0~0,0	23,0~32,0
GFRP	6,0~10,0	21,0~23,0



4. ÇELİK VE FRP DONATILI BETONARME KİRİŞLERİN KESME ETKİSİ ALTINDAKİ DAYANIMI

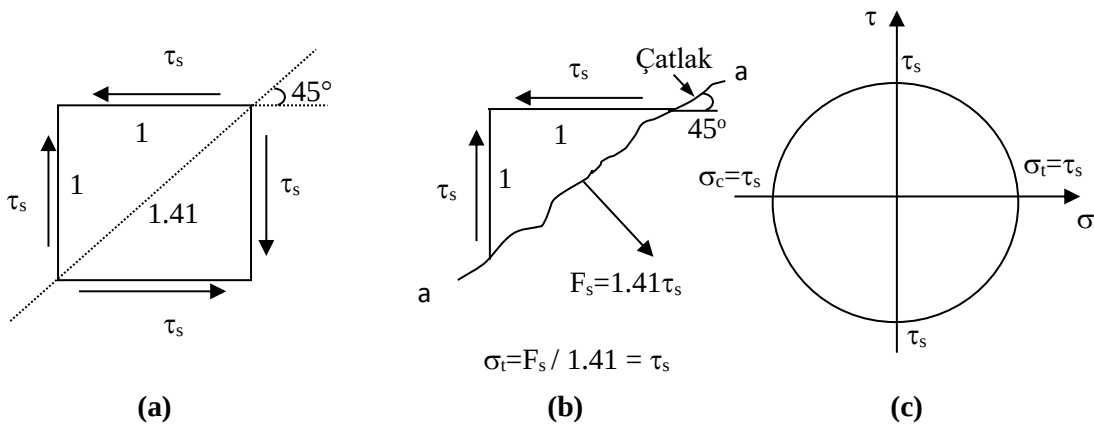
Bu bölüm kapsamında ilk etapta çelik donatılı betonarme kirişlerin kesme davranışı daha sonra da FRP donatılı betonarme kirişlerin kesme davranışına yer verilecektir.

4.1. Çelik Donatılı Betonarme Kirişlerin Kesme Davranışı

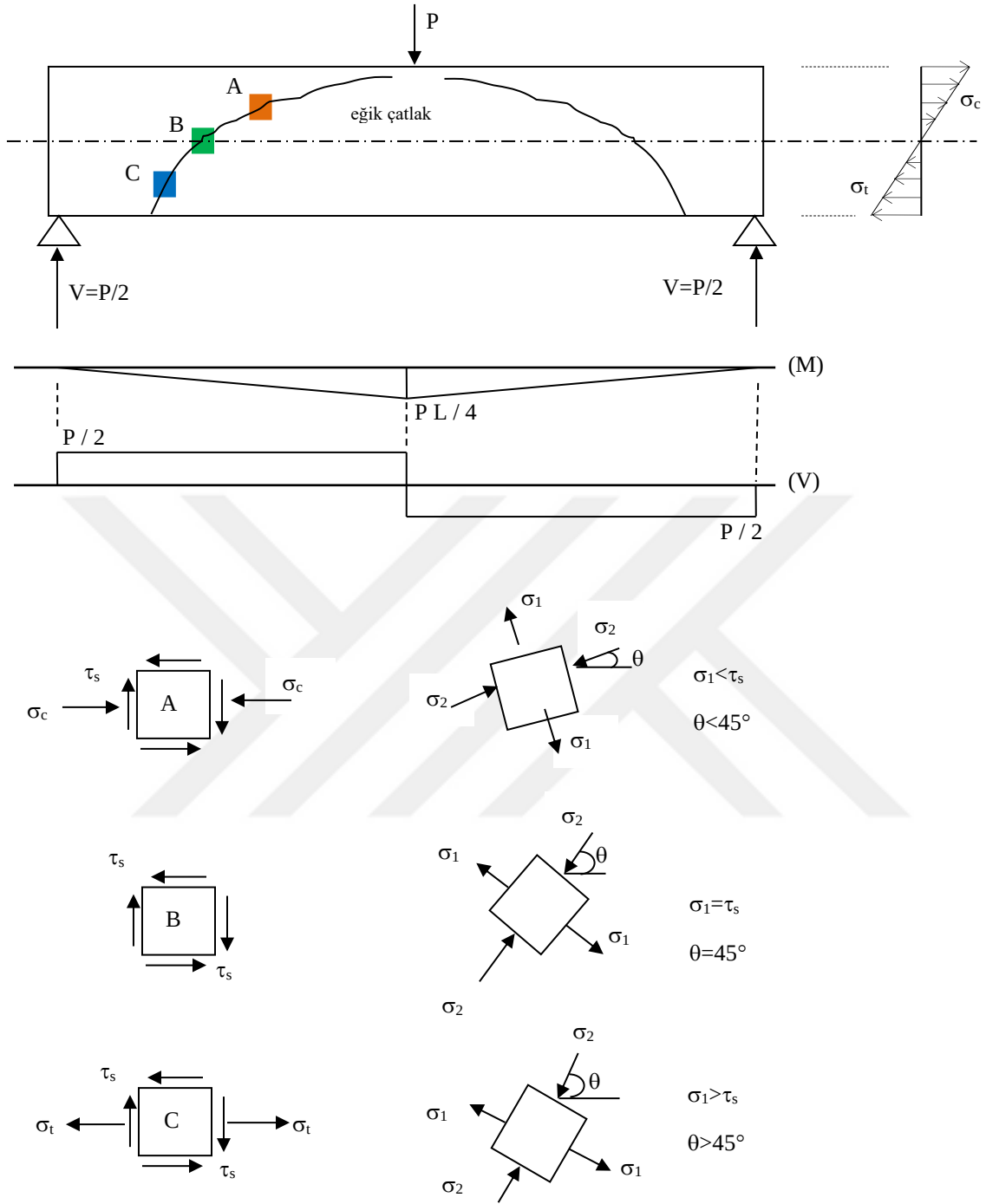
Betonun yüksek kesme dayanımına sahip olması nedeniyle betonarme elemanlarda kesme kırılmasına pek rastlanmaz. Ancak, kesme ve normal gerilmeler nedeniyle oluşan asal çekme gerilmeleri betonun çekme dayanımının düşük olmasından dolayı önemli sorunlar doğurur (Ersoy ve Özcebe, 2012).

Betonun çekme dayanımı kesme ve basınç dayanımından daha düşük olduğundan basit kesme durumunda dahi kırılma asal çekme gerilmeleri nedeni ile oluşmaktadır.

Şekil 4.1’de görüldüğü gibi basit kesme durumunda asal basınç ve çekme gerilmeleri kesme gerilmesine eşit olacağından kırılma daha düşük dayanım olan çekme gerilmesi nedeni ile oluşacaktır. Kırılma kesme gerilmelerinin etkidiği yüzeyle 45° ’lik açı yapan bir düzlem üzerinde etkiyen asal çekme gerilmelerine dik yönde oluşan ve eğik çatlak olarak adlandırılan bir çatlakta meydana gelecektir. Literatürde bu çatlak eğik çatlak, bu çatlaka neden olan asal gerilme de eğik çekme olarak adlandırılmaktadır. Asal çekme gerilmeleri nedeniyle oluşan bu tür eğik çatlaklar son derece tehlikelidir ve gevrek kırılmaya neden olabilmektedir (Ersoy ve Özcebe, 2012).



Şekil 4.1. Basit kesme etkisi nedeniyle asal gerilmeler (Ersoy ve Özcebe, 2012)



Şekil 4.2. Tekil yük etkisi altındaki basit mesnetli kirişte oluşan asal gerilmelerin yönü (Ersoy ve Özcebe, 2012)

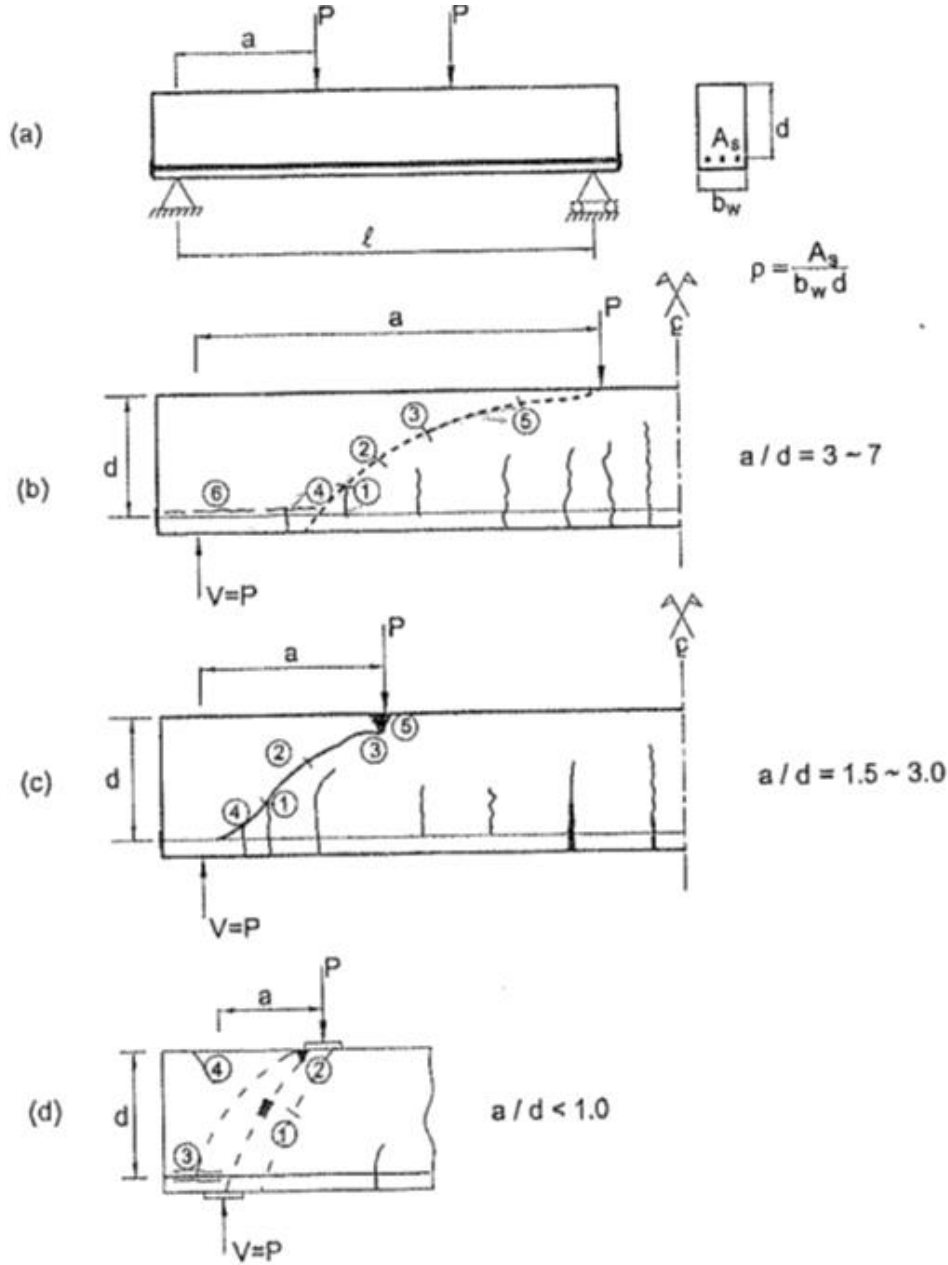
Kesme ile birlikte normal gerilmelerin etkiği durumlarda eğik çatlakın eğimi asal çekme gerilmelerinin yönüne bağlı olarak değişmektedir. Şekil 4.2’de simetrik olarak yüklenmiş bir betonarme kiriş gösterilmiş olup bu kirişte tarafsız eksen, tarafsız eksenin üstü ve tarafsız eksenin altında kalan ve A, B, C olarak işaretlenen üç elemana etkiyen gerilmeler ile bu gerilmelerin oluşturduğu asal çekme gerilmeleri gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi

tarafsız eksen yüzeyinde normal gerilmeler sıfır olduğundan çatlama kiriş eksenine 45° 'lik bir açıda oluşmaktadır. Bu kesitte normal gerilmelerin bulunması hem asal çekme gerilmelerinin büyüklüğünü hem de eğimini etkilemektedir. Çatlamanın asal çekme gerilmelerine dik yönde olmasından dolayı, Şekil 4.2'den de görüldüğü gibi kiriş alt yüzünden üst yüzüne doğru uzayan çatlağın eğimi azalmaktadır. Bu bilgilerden betonarmede büyük sorunlara yol açan ve gevrek bir kırılmaya neden olan eğik çatlakların kesme gerilmelerinden değil de asal çekme gerilmelerinden kaynaklandığı görülmektedir.

4.1.1. Kesme donatısız elemanların davranışı

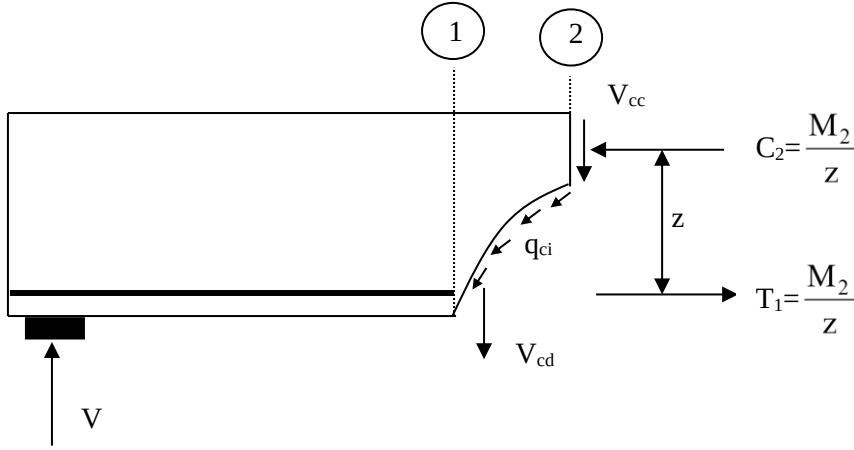
Günümüzde yönetmeliklerin büyük bir çoğunluğunda kesme gerilmeleri ne kadar küçük olursa olsun kesme donatısının bulundurulması zorunluluğu vardır. Kesme donatılı bir kirişin davranışının anlaşılabilmesi için kesme donatısız bir kirişin davranışının belirtilmesinde fayda vardır. Kesme donatısı bulunmayan bir kirişin davranışı genellikle mesnet ortasına göre simetrik olarak etkiyen ve büyüklüğü eşit iki tekil yük altında incelenmektedir (Şekil 4.3). Kirişte yalnızca alt yüzde mesnetten mesnete uzanan ve orada kenetlenmesi sağlanan bir çekme donatısı olduğu var sayılmaktadır. Bu kirişlerde kesme açıklığı mesnetle yük arasındaki uzaklıktır ve genelde a olarak gösterilmektedir. Bu kirişlerde kesme açıklığının faydalı yüksekliğe olan oranı (a/d) nin davranışı etkileyen en önemli parametrelerden biri olduğu yapılan çalışmalar sonucunda elde edilmiştir.

a/d 'nin çok büyük olduğu durumlarda ($a/d > 7$) kiriş eğilmedeki taşıma gücüne erişmektedir. Bu kirişte kesme açıklığının büyük olması nedeniyle, kirişi eğilme kapasitesine ulaştıran kesme kuvveti düşük düzeyde kalacağından kırılmada kesme kuvvetinin etkisi olmayacaktır.



Şekil 4.3. İki noktasal yük altındaki betonarme kirişte eğik çatlakların oluşumu (Ersoy ve Özcebe, 2012)

Şekil 4.3'den de görüldüğü üzere a/d oranı 3 ile 7 arasında ise eğik çekme kırılması ya da kesme aderans kırılması, a/d oranının 1 ile 3 arasında olması durumunda kesme-ezilme kırılması, a/d 1'den küçükse gergili kemer kırılması oluşmaktadır. Bu tür kırılma durumlarında çatlakların gelişim ve oluşum sırası Şekil 4.4'de ayrıntılı olarak gösterilmiştir. Çekme donatısı bulunmayan ve eğik çatlakın oluştuğu bir kirişteki kesme kuvveti Şekil 4.4'de gösterildiği gibi V , üç ayrı kuvvetle dengelenmektedir. Bu üç kuvvet;



Şekil 4.4. Kesme donatısız bir kirişte kesme etkisinin karşılanması (Ersoy ve Özcebe, 2012)

- i) V_{cc} : Çatlamamış basınç bölgesindeki beton tarafından taşınan kesme kuvveti. Betonun bu kısmı kesme kuvvetini karşılamaya %20-40 civarında katkıda bulunmaktadır.
- ii) V_{ci} : Çatlak yüzeyindeki sürtünme nedeniyle taşınan kesme kuvveti. Çatlak yüzeyleri agrega nedeni ile pürüzlü olduğundan iki çatlak yüzünün göreceli yer değiştirmesi, çatlak içi kesme gerilmelerince (q_{ci}) frenlenecektir. Çatlak içi kesme gerilmelerinin toplamının düşey bileşkesi V_{ci} kesme kuvvetinin taşınmasına katkıda bulunacaktır.
- iii) V_{cd} : Çekme donatısınca taşınan kesme kuvveti. Bu kesme kuvvetini karşılamaya %15-25 civarında bir katkıda bulunmaktadır. Eğik çatlak oluşuktan sonra çatlak sağında kalan kiriş parçası aşağı doğru yer değiştirmeye donatı ise bunu engellemeye çalışmaktadır. Bu etki kaldırma etkisi olarak adlandırılmaktadır.

4.1.2. Kesme donatılı kirişlerin davranışı

Kesme donatısı bulunmayan elemanların kesme etkisinde kırılmaları ani ve gevrek olmaktadır. Bu tür bir kırılmada eleman eğilme kapasitesine ulaşamamaktadır. Eleman içerisine yerleştirilen kesme donatılarının işlevi, elemanın kesmeden kırılmasını önleyerek eğilme kapasitesine ulaşmasını sağlamaktır. Kesme donatıları etriyeler ve hasır donatıları olarak sınıflandırılmaktadır. Etriyeler genel olarak düşey yerleştirilmekle birlikte bazen eğik olarak da yerleştirilmektedir.

Eleman içerisine yerleştirilen kesme donatıları eğik çatlakların oluşmasını engelleyemez. Ancak tekniğine uygun olarak yerleştirilen kesme donatıları çatlakların kılcal düzeyde kalmalarını sağlamaktadır. Etriyeli bir kirişte eğik çatlaklar oluşmadan önce kesme dayanımı betonla karşılanmaktadır. Eğik çatlak oluşuktan sonra V_{cc} , V_{cd} ve V_{ci} 'nin yanısıra kesme

$$V = \sum F_{sw} + V_c \quad (4.5)$$

4.2. FRP Donatılı Betonarme Kirişlerin Kesme Dayanımı

Çelik ve FRP donatısına ait elastisite modülü değerleri arasındaki farklılık nedeniyle FRP donatılı betonarme elemanların kesme dayanımı çelik donatılı elemanlara göre farklılık göstermektedir. FRP donatılı betonarme elemanların kesme tasarımı birçok uluslararası ülke yönetmeliklerinde çelik ve FRP donatılarının mekanik özelliklerindeki farklılıklar göz önüne alınarak çelik donatılı betonarme elemanların kesme tasarımı için önerilen modellere dayandırılmıştır. Geliştirilen yöntemlerde betonarme bir elemanın kesme dayanımı betonun kesme dayanımına olan katkısı ile kayma donatısının kesme dayanımına olan katkısının toplamı olacak şekilde hesaplanarak elde edilmektedir. Betonun kesme dayanımına olan katkısı farklı kesme dayanım mekanizmalarından oluşmakta ve ACI 440.1R-15 tarafından da ifade edilen bu kesme dayanım mekanizmaları

- i) Basınç bölgesindeki çatlamamış betonun kesme dayanımı,
 - ii) Kesme çatlakları boyunca agregaların birbirine kenetlenmesi sonucu oluşan kesme dayanımı
 - iii) Boyuna donatıların kaldıraç etkisi nedeniyle oluşan kesme dayanımı
 - iv) Kemer etkisi
 - v) Betonun çekme dayanımının kesme dayanımına olan katkısı,
- şeklinde ifade edilmektedirler.

Kesme çatlakları boyunca agregaların birbirlerine kenetlenmesi sonucu oluşan dayanım iki çatlak yüzeyinin birbirlerine göre rölatif olarak hareket etmesinden oluşmaktadır. Bu dayanım çatlak genişliğinin çok fazla olmadığı sürece oldukça önemli olabilmektedir. Kemer etkisi kesit derin kirişlerde oluşmakta ve bu elemanlara uygulanan düşey yükler kemer etkisiyle mesnede aktarılmaktadır. Kaldıraç etkisiyle oluşan dayanım, çatlak boyunca boyuna donatıların kesme nedeniyle oluşan deplasmanlara karşı direnç göstermesidir. Betonarme bir elemanda ilk çatlak oluştuğu anda çatlak genişliği çok fazla değildir. Bu durumda küçük beton parçaları çatlak boyunca bir köprü oluşturarak çekme kuvvetlerinin bu köprü boyunca iletilmesini sağlamaktadır. Çekme bölgesindeki dayanıma olan katkısı genelde çatlak genişliğinin 0,05 ile 0,15 mm arasında olduğu durumlarda olmaktadır.

Uygulanan yükler etkisi altındaki FRP donatılı betonarme elemanlarda çelik donatılı elemanlara göre daha geniş ve derin çatlaklar oluşmaktadır. Bu durum FRP donatısının mekanik özelliklerinin çelik donatıdan farklı olması, özellikle elastisite modülünün çelik donatıya göre düşük olmasından kaynaklanmaktadır. FRP donatılı betonarme elemanlarda çelik donatılı elemanlara göre daha geniş çatlakların oluşması çatlak yüzeyindeki agregaların birbirlerine kenetlenmesinden dolayı oluşan ve çekme bölgesindeki betonun çekme dayanımı nedeniyle oluşan kesme dayanımı katkılarını azaltmaktadır. Bununla birlikte bu elemanlarda daha derin çatlakların oluşması nedeniyle basınç bölgesindeki çatlamamış betonun kesme dayanımına olan katkısı çelik donatılı elemanlara göre oldukça azalmaktadır. FRP donatısının eksenine dik yöndeki dayanımının oldukça düşük olması ve FRP donatılı elemanlarda daha geniş çatlaklar oluşması nedeniyle bu elemanlarda kaldıraç etkisi nedeniyle oluşan kesme dayanımı katkısı çelik donatılı elemanlara göre daha düşük olmaktadır. Tüm bu etkenler sonucunda FRP donatılı elemanlarda betonun kesme dayanımına olan katkısı çelik donatılı elemanlara göre daha düşük olmaktadır.

Kayma donatısı olarak adlandırılan etriyelerin kesme dayanımına olan katkısı kafes kiriş analogisine dayandırılarak hesaplanmaktadır. Sheta (1997) çalışmasında FRP donatısının etriye olarak kullanılması halinde bu donatıların kırılmasının daha çok eğilme bölgelerinde meydana geldiğini ve dayanımında önemli derecede azalma olduğunu belirlemiştir. Bu nedenle FRP donatısının kesme donatısı olarak kullanılması durumunda daha büyük bir azaltma katsayısı kullanılması gerektiğini ifade etmiştir.

4.2.1. FRP donatılı betonarme kirişlerin kesme dayanımı için farklı yönetmelikler tarafından önerilen denklemler

FRP donatılı betonarme kirişlerin kesme dayanımı betonun kesme dayanımına olan katkısı ile FRP donatısının kesme dayanımına olan katkısının toplamı olacak şekilde hesaplanmaktadır. Kesme dayanımının hesaplanması için farklı ülke yönetmelikleri tarafından birçok model önerilmiştir. Bu modellerde genellikle, FRP donatılı betonarme kirişlerin kesme tasarımı, çelik ve FRP donatılarının mekanik özelliklerindeki farklılıklar hesaba katılarak çelik donatılı kirişlerin kesme tasarımı için önerilen modellere dayandırılmıştır. Bu bölüm kapsamında aşağıda maddeler halinde verilen bu modellere yer verilecektir.

- i) ACI 440.1R-15
- ii) CAN/CSA S806-12
- iii) ISIS M03-07
- iv) BISE 99
- v) JSCE 97

ACI 440.1R-15

ACI 440.1R-15, eğilme donatısı olarak FRP donatısı içeren elemanlarda betonun kesme dayanımına olan katkısı için aşağıdaki denklemi önermişlerdir.

$$V_c = \frac{2}{5} \sqrt{f'_c} b_w c \quad (4.6)$$

Bu denklemdeki f'_c , betonun basınç dayanımını, b_w kesit genişliğini, c çatlamış kesitin tarafsız eksen derinliğini ifade etmekte olup bu değer $c = kd$ şeklinde hesaplanmakta ve k değeri,

$$k = \sqrt{2\rho_f n + (\rho_f n)^2} - \rho_f n \quad (4.7)$$

şeklinde elde edilmektedir. Bu denklemde ρ_f kesitteki FRP donatısı oranını, n ise FRP donatısı elastisite modülünün çeliğin elastisite modülüne olan oranını ifade etmektedir.

ACI 440.1R-15'de FRP etriyelerinin kesme dayanımına olan katkısı ise aşağıdaki denklemdeki gibi hesaplanmaktadır.

$$V_s = \frac{A_{fv} f_{fv} d}{s} \quad (4.8)$$

Bu denklemdeki d etkili kesit genişliğini, A_{fv} etriyelerin kesit alanını, s etriye aralığını, f_{fv} ise etriyelerin kırılma anındaki gerilme değerini ifade etmekte olup bu değerler

$$f_{fv} = 0,004E_{fv} \leq f_{fb} \quad (4.9)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Bu denklemdeki f_{fb} eğilme kapasitesi değeri (4.10) denkleminde yararlanılarak hesaplanmaktadır.

$$f_{fb} = \left(0,05 \frac{r_b}{d_b} + 0,1 \right) f_{fuv} \text{ ve } 0,25 \leq \frac{f_{fb}}{f_{fuv}} \leq 1,0 \quad (4.10)$$

CAN/CSA S806-12

Kanada standartlar birliği tarafından kabul edilen ve Kanada’da uygulanan resmi bir standart olan CAN/CSA S806-12, betonun kesme dayanımına olan katkısını aşağıdaki denklemlerdeki gibi hesaplanmaktadır.

$$V_c = 0,035 \lambda \Phi_c \left(f_c' \rho_f E_f \frac{V_f}{M_f} d \right)^{1/3} b_w d \quad (4.11a)$$

$$0,1 \lambda \phi_c \sqrt{f_c'} b_w d \leq V_c \leq 0,2 \lambda \phi_c \sqrt{f_c'} b_w d \quad (4.11b)$$

$$\frac{V_f}{M_f} d \leq 1,0 \quad (4.11c)$$

Bu denklemlerdeki λ ve Φ beton yoğunluğunu ve dayanımını hesaba katan katsayıları, V_f ve M_f ise ilgili kesitteki kesme kuvveti ve eğilme momentini ifade eden değerlerdir. Yukarıdaki denklemler kesit yüksekliğinin 300 mm’den az olması için geçerli olup, kesit yüksekliğinin 300 mm’den fazla olması durumunda ise betonun kesme dayanımına olan katkısı,

$$V_c = \left(\frac{130}{1000 + d} \right) \lambda \phi_c \sqrt{f_c'} b_w d \geq 0,08 \lambda \phi_c \sqrt{f_c'} b_w d \quad (4.12)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. FRP donatıların kesme dayanımına olan katkısı ise aşağıdaki denklemlerdeki gibi hesaba katılmaktadır.

$$V_s = \frac{0,4\phi_f A_{fv} f_{fuv} d}{s} \leq 0,6\lambda\phi_c \sqrt{f'_c} b_w d \quad (4.13)$$

Bu denklemdeki 0,4 değeri FRP etriyelerinin bükülmesi neticesinde dayanımında olan azalmayı hesaba katan bir azaltma katsayısını, f_{fuv} etriyelerin kırılma anındaki gerilme değerini ifade etmektedir.

ISIS M03-07

Yenilikçi yapılar için akıllı yaklaşım olarak da ifade edilen Kanada'ya ait resmi olmayan ayrı bir standart olan ISIS-M03-07 kesit yüksekliğinin 300 mm'nin altında olması halinde betonun kesme dayanımına olan katkısı

$$V_c = 0,2\lambda\phi_c \sqrt{f'_c} b_w d \sqrt{\frac{E_{fi}}{E_s}} \quad (4.14)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Kesit yüksekliğinin 300 mm'den fazla olması hali için ise V_c aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$V_c = \left(\frac{260}{1000 + d} \right) \lambda\phi_c \sqrt{f'_c} b_w d \sqrt{\frac{E_{fi}}{E_s}} \geq 0,1\lambda\phi_c \sqrt{f'_c} b_w d \sqrt{\frac{E_{fi}}{E_s}} \quad (4.15)$$

FRP etriyelerinin kesme dayanımına olan katkısı ise

$$V_s = \frac{\phi_f A_{fv} f_{fv} d_v \cot \theta}{s} \quad (4.16)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Bu denklemdeki d_v kesit etkili kayma yüksekliği olarak ifade edilmekte ve $0,9d$ olarak hesaplarda göz önünde bulundurulmaktadır. Bu denklemdeki f_{fv} gerilme değeri ise aşağıdaki denklemlerdeki gibi hesaplanmaktadır.

$$f_{fv} = \frac{\left(0,05 \frac{r_b}{d_b} + 0,3 \right) f_{fuv}}{1,5} \quad (4.17)$$

$$f_{fv} = E_{fv} \varepsilon_{fv} \quad (4.18a)$$

$$\varepsilon_{fv} = 0,0001 \sqrt{f_c' \frac{\rho_{fi} E_{fi}}{\rho_{fv} E_{fv}}} \left[1 + 2 \left(\frac{\sigma_N}{f_c'} \right) \right] \leq 0,0025 \quad (4.18b)$$

Bu denklemlerdeki ρ_{fv} kesitteki etriye oranını, E_{fv} etriyelerin elastisite modülünü, σ_N ise eksenel kuvvetten dolayı betonda oluşan gerilme değerini ifade etmektedir.

BISE 99

Bu yönetmelikte beton ve etriyelerin kesme dayanımlarına olan katkısını aşağıdaki denklemlerdeki gibi hesaplanmaktadır.

$$V_c = 0,79 \left(100 \rho_{fi} \frac{E_{fi}}{E_s} \right)^{1/3} \left(\frac{400}{d} \right)^{1/4} \left(\frac{f_{cu}}{25} \right)^{1/3} b_w d \quad (4.19)$$

$$V_s = \frac{0,0025 E_{fv} A_{fv} d}{s} \quad (4.20)$$

JSCE 97

JSCE 97 betonun kesme dayanımına olan katkısını aşağıdaki denklemlerdeki gibi hesaplamaktadır.

$$V_c = \frac{\beta_d \beta_p \beta_n f_{vcd} b_w d}{\gamma_b} \quad (4.21a)$$

$$f_{vcd} = 0,2 (f_c')^{1/3} \leq 0,72 N / mm^2 \quad (4.21b)$$

$$\beta_d = \left(\frac{1000}{d} \right)^{1/4} \leq 1,5 \quad (4.21c)$$

$$\beta_p = \left(\frac{100 \rho_{fi} E_{fi}}{E_s} \right)^{1/3} \leq 1,5 \quad (4.21d)$$

$$\beta_n = 1 + \frac{M_0}{M_d} \leq 2 \quad Nd \geq 0 \text{ için} \quad (4.21e)$$

$$\beta_n = 1 + \frac{2M_0}{M_d} \geq 0 \quad Nd \leq 0 \text{ için} \quad (4.21f)$$

Bu denklemdeki γ dayanım azaltma katsayısı, N_d ve M_d tasarım eksenel yükü ve eğilme momentini ifade etmektedirler. FRP etriyelerinin kesme dayanımına olan katkısı ise

$$V_s = \frac{A_{fv} E_{fv} \varepsilon_{fv} z}{s \gamma_b} \quad (4.22a)$$

$$\varepsilon_{fv} = 0,0001 \sqrt{f'_{mcd} \frac{\rho_{fi} E_{fi}}{\rho_{fv} E_{fv}}} \left[1 + 2 \left(\frac{\sigma_N}{f'_{mcd}} \right) \right] \leq f_{fb} / E_{fv} \quad (4.22b)$$

$$f_{fb} = \left(0,05 \frac{r_b}{d_b} + 0,3 \right) f_{fu} / \gamma_b \quad (4.22c)$$

$$f'_{mcd} = \left(\frac{h}{300} \right)^{-1/10} f'_c \quad (4.22d)$$

$$\sigma_N = (N'_d + P_{ed}) / A_g \leq 0,4 f'_{mcd} \quad (4.22e)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Bu denklemlerdeki ε_{fv} kırılma anında etriyelerde oluşan şekil değiştirme değerini, z kesitteki basınç ve çekme kuvvetleri arasındaki mesafeyi, f_{mcd} tasarım beton basınç dayanımını; P_{ed} etkili öngerme kuvvetini, A_g ise toplam kesit alanını ifade etmektedir.



5. MATERİYAL VE METOD

Bu bölüm kapsamında FRP donatılı betonarme elemanların kesme dayanımı modellerini elde etmek için literatürden elde edilen deneysel veriler materyal kısmında ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır. Bu deneysel veriler kullanılarak, kesme dayanımı modellerini geliştirmek için kullanılan GİP yöntemi ise metod kısmında irdelenmiştir.

5.1 Materyal

Çalışma kapsamında toplam 228 adet FRP donatılı betonarme elemanların kesme dayanımları literatürden elde edilmiştir. Bu bölümde ACI 440.1R-15 (2015), CSA S806-12 (2012), ISIS M03-07 (2007), JSCE 97 (1997) ve BISE 99 (1999) yönetmeliklerinde önerilen denklemler aracılığı ile elde edilen kesme dayanımı sonuçları deneysel sonuçlarla karşılaştırılarak önerilen modellerin ayrıntılı olarak değerlendirilmesi yapılmıştır. Literatürden elde edilen betonarme elemanlara ait kesit ve malzeme özelliklerinin dağılımı Çizelge 5.1 ve 5.2’de verilmiştir. Deneysel olarak yüklemeye tabi tutulmuş FRP donatılı betonarme elemanlar dikdörtgen kesitli, a/d oranı 2,5’den büyük, basit mesnetli, simetrik olarak iki noktasal yük etkisi altındaki kiriş ve döşemelerden oluşan elemanlardır. Betonarme elemanların 160 adedi kayma donatısız olup diğer 68 eleman ise FRP donatılı kayma donatısına sahip elemanlardan oluşmaktadır.

Kayma donatısız betonarme kirişlerin 90 adedi GFRP boyuna donatısına, 64 adedi CFRP boyuna donatısına ve 6 adedi de AFRP boyuna donatısına sahip elemanlardır (Tottori ve Wakui 1993; Yost ve diğerleri 2001; El-Sayed ve diğerleri 2006a; Ashour 2006; El-Sayed ve diğerleri 2006b; Gross ve diğerleri 2004; Gross ve diğerleri 2003; Tariq ve Newhook 2003; Tureyen ve Frosch 2002; Alkhrdaji ve diğerleri 2001; Deitz ve diğerleri 1999; Mizukawa ve diğerleri 1997; Duranovic ve diğerleri 1997; Swamy ve Aburawi 1997; Zhao ve diğerleri 1995; Razaqpur ve diğerleri 2004; El-Sayed ve diğerleri 2005; Lubell ve diğerleri 2004; Nagasaka ve diğerleri 1993; Nakamura ve Higai 1995; Matta ve diğerleri 2008).

Kayma donatılı betonarme kirişlerin ise 13 adedi GFRP boyuna donatısına, 24 adedi CFRP boyuna donatısına ve 31 adedi de AFRP boyuna donatısına sahip elemanlardır (Alsayed ve

diğerleri 1996; Alsayed ve diğerleri 1997; Zhao ve diğerleri 1995; Duranovic ve diğerleri 1997; Nagasaka ve diğerleri 1993; Nakamura ve Higai 1995; Tottori ve Wakui 1993; Shehata 1999). FRP donatılı betonarme elemanların kesme dayanımlarının elde edilmesinde, yönetmeliklerdeki denklemlerde önerilen dayanım azaltma katsayıları, gerekli karşılaştırmaların yapılabilmesi amacı ile 1 olarak alınmıştır. Deneysel olarak yüklemeye tabii tutulmuş numunelere ait kesit ve malzeme özelliklerinin dağılımı Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Kayma donatısız betonarme elemanlara ait kesme ile ilgili parametrelerin dağılımı

Kiriş genişliği b_w		Kiriş etkili derinliği d		Beton basınç dayanımı f_c		a/d		Elastisite Modülü E_{β}		Donatı oranı ρ_{β} (%)	
Aralık (mm)	Adet	Aralık (mm)	Adet	Aralık (mm)	Adet	Aralık	Adet	Aralık (GPa)	Adet	Aralık	Adet
80-100	3	100-200	34	20-30	21	2,5-3,0	43	20-50	94	0,10-0,75	57
101-200	70	201-300	61	31-40	63	3,1-3,5	48	51-80	5	0,76-1,25	44
201-300	64	301-400	47	41-50	38	3,6-4,0	11	81-110	3	1,26-1,75	31
301-400	5	401-500	8	51-60	5	4,1-4,5	32	111-140	30	1,76-2,25	17
401-500	10	501-600	4	61-70	9	4,6-5,0	0	141-170	25	2,26-2,75	10
501-1000	8	601-1000	6	71-90	24	5,1-6,5	26	171-200	3	2,76-3,25	1

Çizelge 5.2. Kayma donatılı betonarme elemanlara ait kesme ile ilgili parametrelerin dağılımı

Kiriş genişliği b_w		Kiriş etkili derinliği d		Beton basınç dayanımı f_c		a/d		Elastisite Modülü E_{β}		Donatı oranı ρ_{β} (%)	
Aralık (mm)	Adet	Aralık (mm)	Adet	Aralık (mm)	Adet	Aralık	Adet	Aralık (GPa)	Adet	Aralık	Adet
80-100	0	100-200	6	20-30	9	2,5-3,0	34	20-50	20	0,10-0,75	18
101-200	55	201-300	31	31-40	39	3,1-3,5	24	51-80	10	0,76-1,25	20
201-300	8	301-400	18	41-50	16	3,6-4,0	3	81-110	23	1,26-1,75	12
301-400	0	401-500	9	51-60	0	4,1-4,5	7	111-140	15	1,76-2,25	6
401-500	5	501-600	0	61-70	0	4,6-5,0	0	141-170	0	2,26-2,75	3
501-1000	0	601-1000	4	71-90	4	5,1-6,5	0	171-200	0	2,76-3,25	9

5.2. Metod

Bu kısımda FRP donatılı betonarme elemanlarda gerek betonun kesme dayanımına olan katkısı gerekse etriyelerin kesme dayanımına olan katkısı için geliştirilen formüllerin elde edilmesinde kullanılan GİP yöntemi ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır. Daha sonra ise FRP donatılı betonarme elemanların kesme dayanımı için GİP modeli ile geliştirilen denklemlere yer verilmiştir.

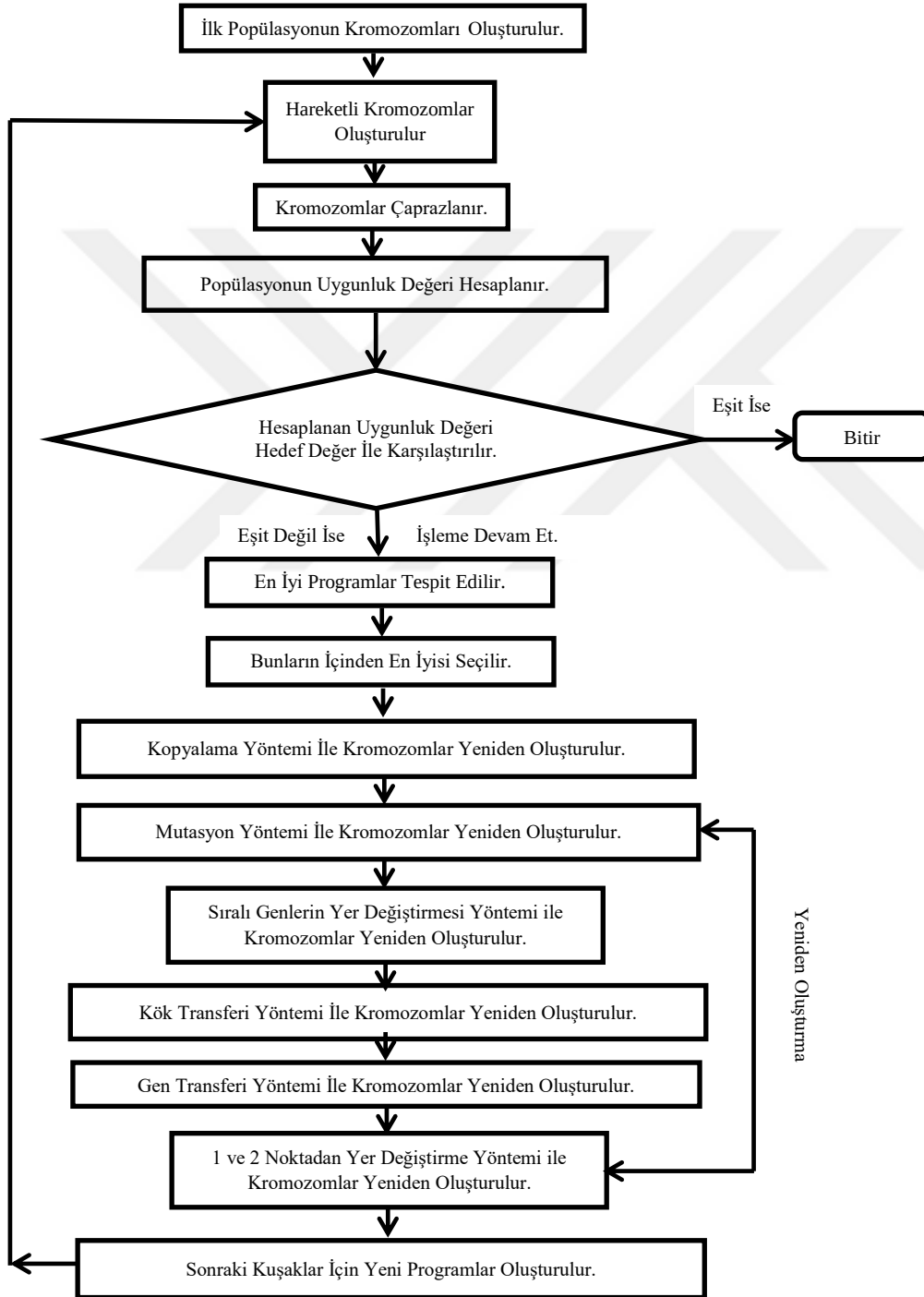
5.2.1. Gen ifadeli programlama

GİP, Ferreira (2001) tarafından, genetik algoritmalar (Genetic Algorithms (GA)) ve genetik programlama (Genetic Programming (GP)) yöntemlerinden yararlanılarak 1999 yılında geliştirilmiştir. GİP algoritmalarında, açıklama ağaçları (expression trees (AAs/ETs)) şeklinde sunulan kromozomlar, GİP sistemindeki operatör ve işlemcileri sayesinde farklı şekillerde ve boyutlarda kullanılmaktadır. Kromozomları, alt programlarla kodlanmış birden fazla küçük genler oluşturmaktadır. Bununla birlikte, doğrusal kromozomların yapısal ve işlevsel organizasyonu mutasyon, yer değiştirme ve yeniden birleştirme gibi genetik operatörleri çalıştırır (Ferreira, 2001a; Ferreira, 2002).

GİP tarafından, GA ve GP gibi genetik operatörler kullanılarak rastgele elde edilen yeni kromozomlardan, hedef fonksiyon ve değerlere (Fitness) ulaşılır. GİP, GA ve mevcut GP algoritmalarının bileşkesi olarak geniş bir fonksiyon taraması gerçekleştirir. GİP iki algoritmanın avantajlarını da bünyesinde taşır. Üç algoritmanın arasındaki farklılıklar ve benzerlikler şu şekildedir:

GA operatörünün tipik özelliği, sabit uzunluktaki kromozomların doğrusal olarak dizilmesidir. Bu doğrusal diziler basit lineer problemler için genetik operatörlerle kolayca çözüm üretirken, karmaşık lineer olmayan problemlerin çözümünde yetersiz kalırlar. GİP, GA yönteminden farklı olarak değişik boyut ve şekillerdeki doğrusal olmayan değişkenler arasındaki bağlantıları ifade etmek için oluşturdukları “ayırıştırma ağaçları” (parse tree) ile uygun çözüme ulaşırlar. GP yöntemi, karmaşık ve doğrusal olmayan problemlerde istenen sonuçların elde edilmesinde yeterli değildir. GİP algoritmasında ise GA ve GP algoritmalarının avantajları bir aradadır. Sabit sayı ve uzunluktaki çok sayıda doğrusal olmayan değişken, genetik operatörler ve işlemcilerle, farklı boyut ve şekilde doğrusal

dizinelere dönüştürülerek uygun fonksiyon elde edilir. Makine öğrenme gibi karmaşık yapıda doğrusal olmayan ifadelerdeki bağlantıların kurulması ve ifade edilmesinde de GİP algoritması kullanılır (Sarıdemir, 2012; Çolak, 2006). GİP algoritmasının akış diyagramı Şekil 5.1’de görülmektedir. GİP algoritmasının akış diyagramının büyük bir kısmını genetik operatörler oluşturmaktadır.

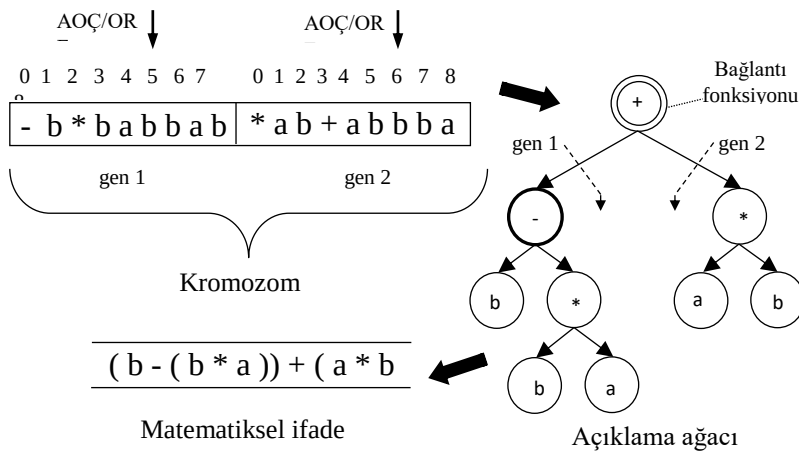


Şekil 5.1. GİP algoritması akış diyagramı (Dayık, 2005)

GİP de, bireylerin kodlanması Şekil 5.2'deki gibi farklı boyut ve şekillerdeki doğrusal olmayan varlıklar olarak ifade edilen sabit uzunluktaki kromozomlarla yapılmaktadır. Bu kromozomlar açıklama ağaçlarıdır. Bireyler genellikle, kuyruk ve baş kısmından oluşan bir ya da daha fazla gene sahip sadece bir kromozomdan meydana gelmektedir. Açıklama ağaçları bir kromozomu ifade etmektedirler ve yeni bireylerin oluşması için uygun değerleri sağlayan seçilme işlemine maruz kalmaktadırlar. Yeniden üretim yapılırken, genetik operatörler kromozomları değiştirir (Lopes ve Weinert, 2004a; Lopes ve Weinert, 2004b).

GİP yönteminde kopyalama, mutasyon, genlerin yer değiştirmesi, kök transferi, gen transferi, tek ve iki noktadan yer değiştirme ve gen değiştirme olarak bilinen birçok genetik operatör mevcuttur (Ferreira, 2001b; Sarıdemir, 2010).

GİP algoritmasında en basitten en karmaşığa kadar bütün problemler açıklama ağaçları olarak oluşturulmaktadır. Açıklama ağaçları operatörler, fonksiyonlar, sabitler ve değişkenlerden meydana gelir. Örneğin bir kromozom listesinde $\{+, -, *, /, \text{karekök (sqrt)}, 1, a, b, c, d, \sin, \cos\}$ gibi GİP değişkenleri olabilir. Burada; karekök (sqrt), $.*.*.*.*.$ karekök (sqrt), $.a.b.c./1.-.c.d.$ şeklinde bir kromozom oluşturulduğunda; bu kromozomda; "sqrt" karekök operasyonunu, nokta "." her bir geni ayırmak ve kolay okumak için, "1" sabit bir sayıyı, "+,-,*" cebirsel ifadeleri, "a, b, c, d" değişkenlere verilen isimleri gösterir. Değişkenler arasındaki bağlantılar GİP algoritmasını geliştiren Ferreira (Ferreira, 2001b; Ferreira, 2002) tarafından Karva notasyonları şeklinde oluşturulmuştur. Karva notasyonları "açıklama ağacı" (AA) ile gösterilir (Ferreira, 2001a; Ferreira, 2002).



Şekil 5.2. İki genli kromozom ve GİP’de kodlanması (Lopes ve Weinert, 2004; Sarıdemir, 2010)

GİP bireylerinin yapısı

GİP yönteminin ana unsurları kromozomlar, AA lar ve daha önce kodlanmış genetik bilginin sonradan ifade edilmiş hali tarafından oluşturulur. GİP deki genom ya da kromozomlar, bir ya da daha fazla sayıda genden oluşan, sabit uzunluktaki doğrusal sembolik dizeden oluşur. GİP kromozomları, bu genlerin sabit uzunluğundan dolayı, farklı büyüklük ve şekiller ile ifade ağaçlarını kodlamaktadır (Ferreira, 2001a; Ferreira, 2001b).

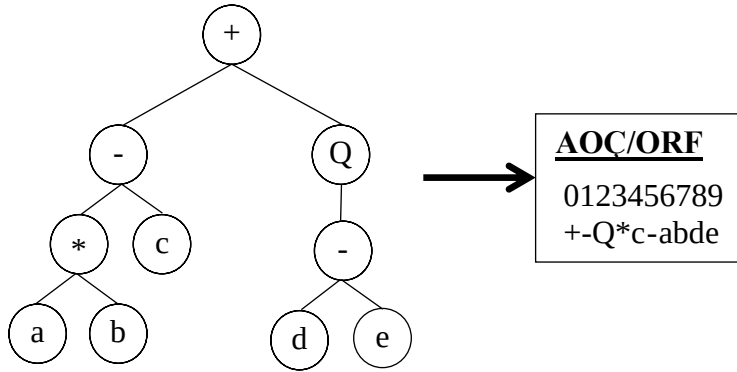
Benzer hücrel gen ifadelerinin aksine, GİP, çok basittir. GİP yönteminde, kromozomlar ve açıklama ağaçları olmak üzere iki ana aktör vardır. Kromozomlarda genetik bilginin kodlanmasının ifadesi daha sonra olur. Bilginin çözümlenmesi işlemi transfer olarak adlandırılır. Bu transfer bir kodun türünü ve kuralların kümesini açıkça gösterir. Genetik kod, kromozom ile fonksiyonlar veya terminallerin sembolleri arasındaki bağlantıyı yansıtır. Ayrıca kurallar da çok basittir. Kurallar, açıklama ağaçlarındaki terminal ve fonksiyonların mekânsal düzenlemesini ve çoklu genetik sistemlerdeki alt açıklama ağaçları(sub-expression trees (alt-AAs/alt-ETs)) arasındaki etkileşimin tipini tayin eder (Ferreira, 2002; Ferreira, 2001b).

Açık okuma çerçeveleri ve genler

GİP genlerinin yapısal düzeni, Şekil 5.2'deki gibi açık okuma çerçeveleri (open reading frames (AOÇs/ORFs)) sayesinde daha iyi anlaşılır. Biyolojide, AOÇ veya bir genin kodlanma dizisi başlangıç kodonu ile başlar, amino asit kodonu ile devam eder ve sonlandırma kodonu ile biter. GİP yönteminde ise, başlangıç yeri her zaman bir genin ilk pozisyonu olmakla birlikte, sonlandırma noktası her zaman bir genin son pozisyonu ile çakışmaz. Sonuçta, GİP genlerinde sonlandırma noktasından aşağı doğru kodlandırılmamış bölgeler vardır (Ferreira, 2001b; Ferreira, 2002).

GİP yöntemindeki matematiksel ifadesi $a*b-c+\sqrt{d-e}$ olan denklemin, Karva notasyonu ile oluşturulan GİP genine ait açıklama ağacı Şekil 5.3'te ifade edilmiştir. Burada Q (sqrt) karekökü göstermektedir. Bu tür diyagram gösterimi, GİP kromozomlarının aslında fenotipidir. Genotip ise, Şekil 5.3'teki gibi fenotipten kolayca elde edilir. Açıklama ağacının en basit okuması soldan sağa ve yukarıdan aşağıya doğru olur. Şekil 5.3'ten elde edilen açık

okuma çerçevesinde başlangıç kodunu “+” (pozisyon 0) ve bitiş kodunu “e” (pozisyon 9) olmuştur.



Şekil 5.3. Matematiksel açıklama ağacına (AA) bir örnek

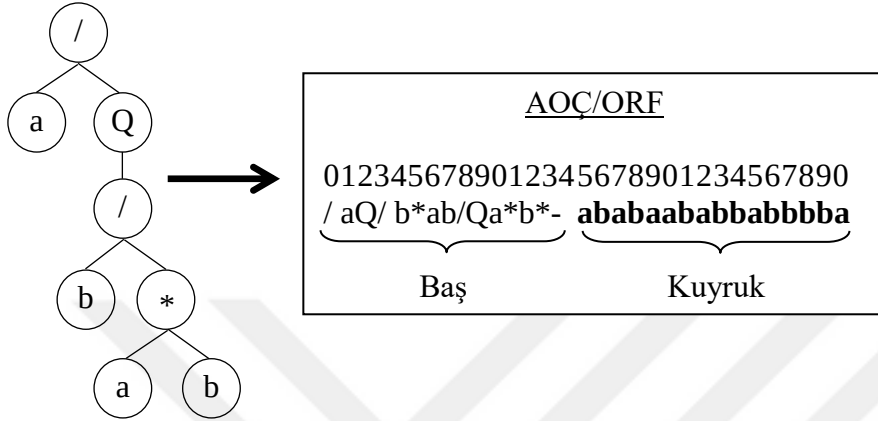
Genlerin veya kromozomların organizasyon yapısı

GİP genleri veya kromozomları “baş” ve “kuyruk” olmak üzere iki bölümden meydana gelmektedir. Genlerin veya kromozomların baş kısmında, Karva notasyonu için fonksiyonlar (F fonksiyon kümesinden elde edilen elemanlar) ve terminaller (T terminal kümesinden elde edilen elemanlar) bulunurken, kuyruk kısmında ise Karva notasyonu işlemlerinde kullanılan terminaller ve sabitler bulunmaktadır. Kuyruktaki terminaller ve sabitler sırayla baş kısmında bulunan fonksiyonlar ve terminallerle işleme girerek hedef fonksiyon ve değerler elde edilir. Kuyruk ve baş boyutları arasında belirli bir oran vardır. Bu oranı veren formül Denklem 5.1’de görülmektedir.

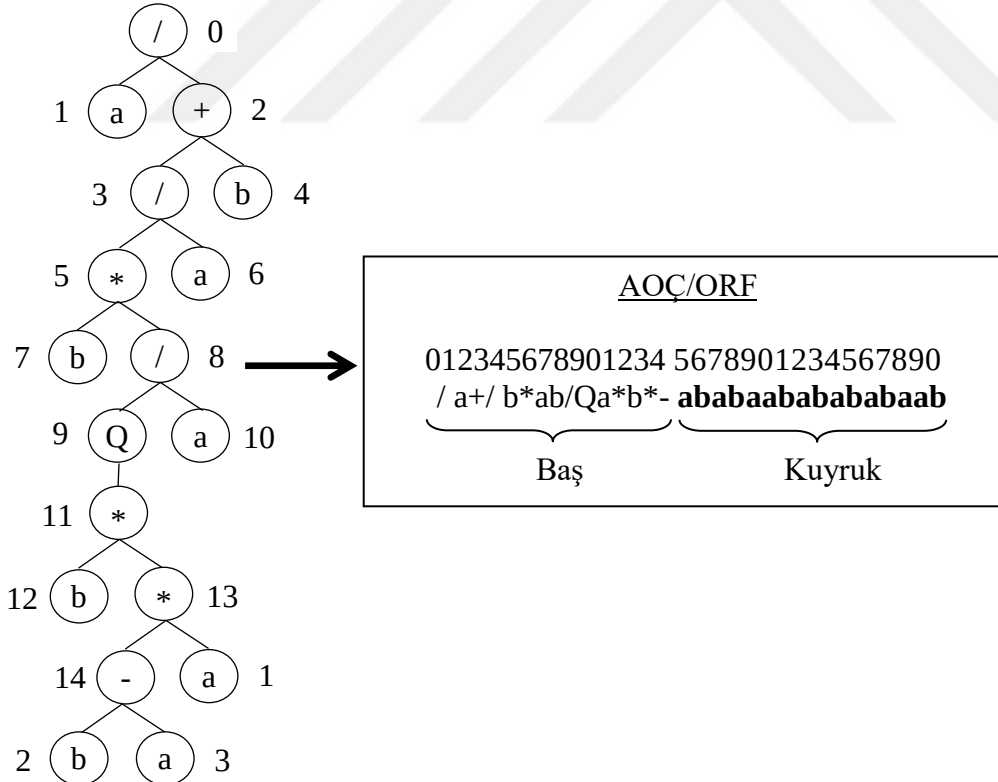
$$k=b(n-1)+1 \quad (5.1)$$

Denklem 5.1’de, k seçilen kuyruk uzunluğunu, b seçilen baş uzunluğunu, n terminal kümesindeki değişkenlerin sayısını gösterir. Örneğin, fonksiyon kümesinden elde edilen elemanlar $F=\{Q,*,/,-,+\}$ ve terminal kümesinden elde edilen elemanlar $T=\{a,b\}$ olsun ve $b=15$ olarak seçilirse, bu durumda, $n=2$ ve yukarıdaki denkleme göre $k=16$ şeklinde bulunur. Böylece gen uzunluğu $15+16=31$ olur. Bu şekilde elde edilen bir genin baş ve kuyruk (Kuyruk kısmı koyu harflerle gösterilmiştir.) kısmını oluşturan açık okuma çerçevesi ile açıklama ağacı Şekil 5.4’te gösterilmiştir (Ferreira, 2001b; Ferreira, 2002).

Yukarıdaki örnekte gen 30 da bitmiş olup, Şekil 5.3'teki açık okuma çerçevesinde pozisyon 7 de bitmiştir. Şekil 5.4'teki "Q" yerine "+" geçerek, pozisyon 2'de bir mutasyon meydana gelirse, elde edilen bir genin baş ve kuyruk (kuyruk koyu) kısmını oluşturan açık okuma çerçevesi ve açıklama ağacı Şekil 5.5'teki gibi olur (Ferreira, 2001b; Ferreira, 2002).



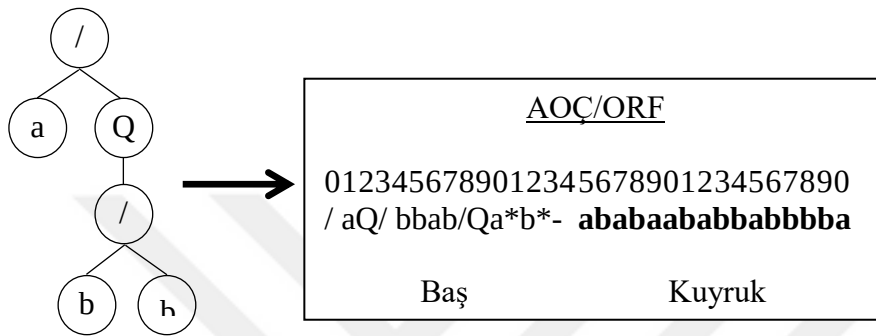
Şekil 5.4. GİP kromozomları ve açıklama ağacı (Ferreira, 2001b)



Şekil 5.5. Mutasyon sonucu uzayan GİP kromozomları ve açıklama ağacı (Ferreira, 2001b)

Mutasyon sonucunda açıklama ağacı Şekil 5.5'teki gibi uzamıştır. Bunun tam tersi de mümkündür. Şekil 5.4'teki "*" yerine "b" geçerek, pozisyon 5'te bir mutasyon meydana

gelirse, elde edilen bir genin baş ve kuyruk (kuyruk koyu kısım) kısmını oluşturan açık okuma çerçevesi ile açıklama ağacı Şekil 5.6’teki gibi kısılır (Ferreira, 2001b). Yukarıdaki örneklerde görülüyor ki, açıklama ağacı uzasın ya da kısalsın, gen uzunluğu seçilen baş ve hesaplanan kuyruk uzunluğunun toplamına eşittir. Yani genlerden elde edilen açık okuma çerçevesi, açıklama ağacının uzunluğuna bağlı olmadan, seçilen baş ve hesaplanan kuyruk uzunluğunun toplamıdır.



Şekil 5.6. Mutasyon sonucu kısalan GİP kromozomları ve açıklama ağacı (Ferreira, 2001b)

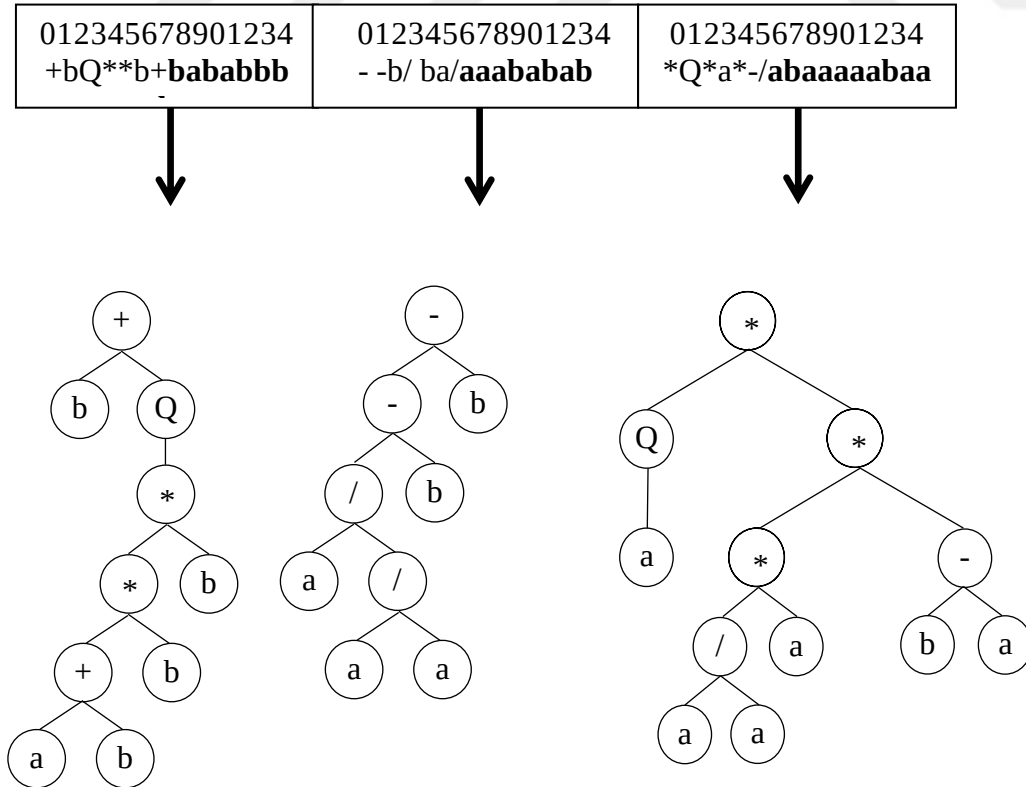
GİP’ de baş ve kuyruklar verilen AA’na göre her satırın sırayla soldan sağa ve yukarıdan aşağıya doğru yazılması ile oluşur. Baş kısmı tamamlandıktan sonra kuyruk bölümü de aynen baş kısmının oluşturulmasındaki gibi soldan sağa ve yukarıdan aşağıya doğru devam eder. Kuyruk oluşturma işlemi aşağıya doğru tamamlanamazsa, soldan sağa ve aşağıdan yukarıya doğru işleme devam edilerek kuyruk oluşturma işlemi Şekil 5.6’daki gibi tamamlanır (Dayık, 2005; Çolak, 2006).

Çok genli kromozomlar ve bağlantı fonksiyonları

GİP yönteminde kromozomlar genellikle eşit uzunlukta olan birden fazla genden meydana gelir. Her problem ve çalıştırma için, kromozomların baş uzunluğu ve gen sayısı önceden seçilmektedir. Her bir gen bir alt-açıklama ağacı için kodlanır ve alt-açıklama ağaçları daha karmaşık birçok alt-birimli açıklama ağaçlarını oluşturacak şekilde birbiri ile etkileşim içerisinde olur (Ferreira, 2001b; Ferreira, 2002).

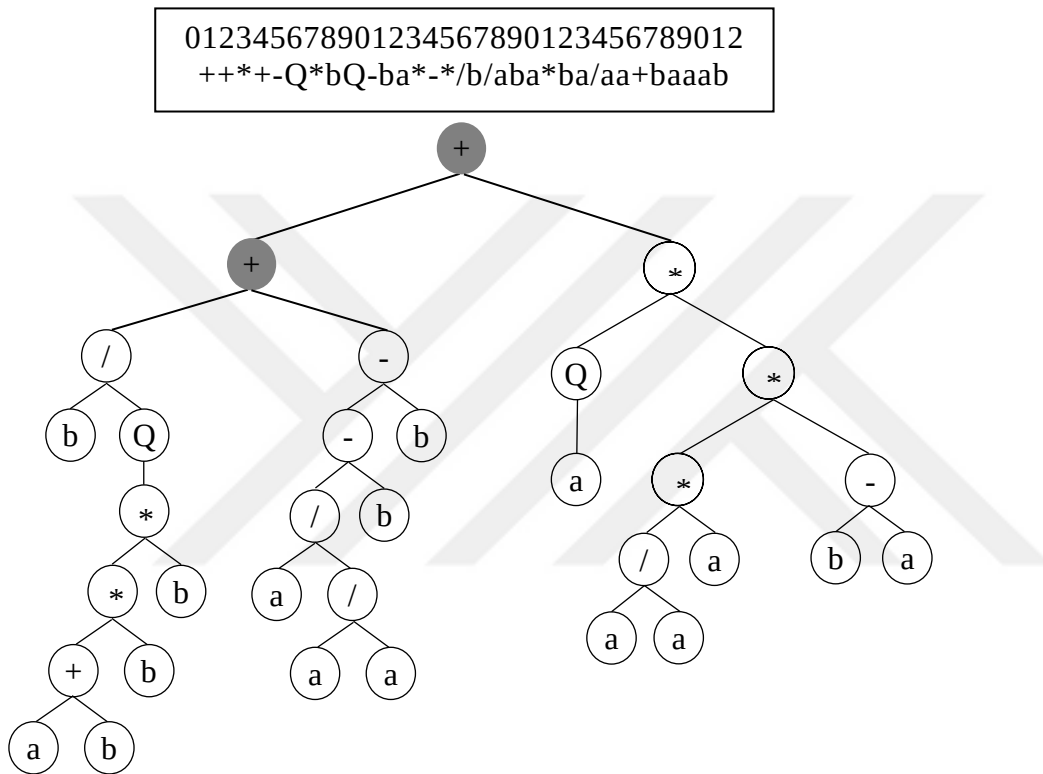
Çok karmaşık problemlerin çözümü için kullanılan açıklama ağaçları da uzun kromozom yapılarını gerektirmektedir. Örneğin, her bir gen uzunluğu 15 olan 3 tane genden oluşan kromozomun uzunluğu 45’dir. (koyu kısımlar kuyruk kısmını oluşturmaktadır.) Bu şekilde

elde edilen kromozomun baş ve kuyruk (kuyruk koyu kısım) kısmını oluşturan açık okuma çerçevesi ile alt-açıklama ağaçları Şekil 5.7'deki gibidir. Şekil 5.7'de görüldüğü gibi alt açıklama ağaçları üç tane açık okuma çerçevesinden oluştuğu gibi, her bir alt-açıklama ağacı için düzenlenmiş olan açık okuma çerçevesi bulunmaktadır. Pozisyonu 0 her bir genin başlangıç işaretidir. Her açık okuma çerçevesinin sonu, sıralı alt-açıklama ağacının yapısı üzerinde apaçık bellidir. Şekil 5.7'de görüldüğü gibi, ilk açık okuma çerçevesi pozisyon 9'da (Sub-ET₁), ikinci açık okuma çerçevesi pozisyon 8'de ve üçüncü açık okuma çerçevesi pozisyon 11'de bitmektedir. Böylece, GİP kromozomları yapısal ve fonksiyonel olarak eşsiz bir alt-açıklama ağacı ile kodlanmış birçok açık okuma çerçevesi içermiş olur. Mevcuttaki probleme bağlı olarak, bu alt-açıklama ağaçları, kendi uygunluğuna göre (örneğin, birden fazla çıkış ile ilgili problemlerde) bireysel olarak seçilmiştir ya da daha karmaşık şekildedir. Böylece birçok alt-birimli açıklama ağacı tümüyle seçilmiş olur. Birçok alt-birimli yapılar, bireysel alt-açıklama ağaçlarının etkileşim ya da bağlanmasının özel türü tarafından birbiri ile etkileşim içerisinde. Örneğin, cebirsel alt açıklama ağaçları toplama, çıkarma, bölme ya da çarpma (addition, subtraction, division or multiplication) ile bağlanabilir (Ferreira, 2001b; Ferreira, 2002).



Şekil 5.7. Uzun bir kromozomdan elde edilen alt kromozomlar (Ferreira, 2001b)

Çok genli kromozomlardan oluşan üç alt açıklama ağacının, toplama bağlantı fonksiyonu ile bağlanması Şekil 5.8’de ifade edildiği gibidir. Burada görüldüğü gibi açıklama ağacı doğrusal olarak kodlanmıştır fakat, karmaşık problemlerin çözümlerini gerçekleştirmek için, çok genli kromozomların kullanımı daha çok uygundur. Çünkü her bir genin daha küçük ve daha basit bir yapı taşı için kodlanmasıyla, hiyerarşik yapıların karmaşık modüler yapı olmasına izin verilmiş olur (Ferreira, 2004; Ferreira, 2006).



Şekil 5.8. Alt açıklama ağaçlarından elde edilen uzun kromozom (Ferreira, 2001b)

Uygunluk fonksiyonu

Her hangi bir problemin çözümünde, hedefe en doğru şekilde ulaştıracak fonksiyon uygunluk fonksiyonudur. Çözümün en doğru şekilde yapılabilmesi uygunluk fonksiyonun doğru seçilmesiyle olur. Sistemde değerlendirmenin uygun şekilde yapılabilmesi için, hedef açık ve doğru bir şekilde tanımlanmalıdır.

Sembolik regresyon veya problem fonksiyonunun bulunması, GİP uygulamalarının en önemli özelliklerindendir. Buradaki amaç doğru değerlerin kesin hatası içindeki tüm uygun durumlar için en iyi performansı gösteren ifadeyi bulmaktır. Bazı matematiksel

uygulamalarda çok iyi bir çözüm bulmak için küçük görelî veya mutlak hataları kullanmak faydalı olur. Ancak seçim aralığı aşırı daralmışsa, popülasyonlar çok yavaş gelişir ve doğru bir çözümü bulmak imkânsız bir hale alır. Diğer taraftan, tam tersi yapılır ve seçim aralığı genişletilirse, iyi çözümlerden uzak maksimum uyumluluğa sahip çok sayıda çözüm ortaya çıkar. Bu sorunu çözmek için, gelişimi durdurmadan, çok iyi çözümlerin bulunmasına izin veren evrimsel bir strateji düşünülmelidir. Böylece, sistem kendisi için minimum hatayla en iyi olası çözümü bulmak için harekete geçecektir (Ferreira, 2001a).

GİP yönteminde uygunluk fonksiyonu, belirlenmiş olan çözümlerin uygunluk derecelerinin ölçülmesini sağlayan bir fonksiyondur. Buradaki amaç, her zaman belirlenen hata sınırları içinde en doğru sonucu veren en iyi fonksiyonun tespitidir ve bununla birlikte fonksiyon belirlenen aralıkta en kısa zamanda veya iterasyonda en doğru sonuca ulaşmayı da temin etmelidir. Bu şekilde elde edilen fonksiyon “uygunluk fonksiyonu” olarak isimlendirilir. Çözümün etkinliği açısından problemin çözümü yapılırken elde edilen çözüm değerleri ile gerçek değer arasındaki farkın (hatanın) en kısa sürede belirlenen değerin altına inmesi çok önemlidir. GİP yönteminde seçilen hatanın tipine göre iki türlü uygunluk fonksiyonu kullanılmaktadır (Dayık, 2005; Çolak, 2006). Hatanın mutlak olması istendiğinde Denklem 5.2 fonksiyonu, hatanın relatif olması istenirse Denklem 5.3 fonksiyonu kullanılmaktadır.

$$f_i = \sum_{j=1}^{C_t} (M - |C_{ij} - T_j|) \quad (5.2)$$

$$f_i = \sum_{j=1}^{C_t} (M - \left| \frac{C_{ij} - T_j}{T_j} * 100 \right|) \quad (5.3)$$

Yukarıdaki denklemlerde M her problem için değişen ve problemin hassaslığına bağlı olarak seçilen bir sabittir. C_{ij} her bir kromozomun i . çözüm değerine karşılık gelen j . gerçek değerdir (C_t uygunluk durumunun çıktısını ifade eder). T_j ise her bir kromozomun çözüm değeri için hedeflenen değeri göstermektedir. Buradan mükemmel bir uyum için $C_{ij} = T_j$ ve $f_i = f_{mak.} = C_t * M$ şeklinde elde edilir. Böylece GİP hedef fonksiyon yöntemi ile optimum çözüme kendi kendine ulaşır (Ferreira, 2001b; Güven ve Aytek, 2009; Sarıdemir, 2011).

Genetik operatörler

Genetik operatörler bütün evrimsel algoritmaların çekirdeğini oluşturur. Bütün evrimsel sistemlerde, bu operatörlerden seçim ve kopyalama yaygın olarak kullanılır. Merkezde

olmalarına rağmen, bu operatörler tarafından evrim açısından hiçbir şey yapılmamaktadır. Aslında, onlar sadece, tüm bireyler tamamen aynı oluncaya kadar, zamanla daha az çeşitlilik ve daha az popülasyon üreterek, genetik sürüklenmeye sebep olurlar. Dolayısıyla, bütün evrimsel sistemler özel olarak değişime sebep olan genetik operatörlere sahiptir. Farklı algoritmalar farklı olarak bu değişikliği oluşturmaktadır. Örneğin, GA normal mutasyon ve yeniden birleşme, GP yalnızca yeniden birleşme ve GİP mutasyon, yeniden birleşme ve yer değiştirme operatörlerini kullanır (Ferreira, 2001b).

Seçim

Bütün yapay sistemler bireyleri seçerken, az ya da çok uygunluğuna göre, bir şema kullanmaktadır. Bazı şemalar tam olarak belirleyici olmasına rağmen, bazı şemalar da belirleyici olmayabilir. Tüm genetik tabanlı algoritmalarındaki gibi, GİP uygunluk değerleri de, rulet-çarkı şeması olarak adlandırılan yöntem ile yapılmaktadır. Çünkü rulet-çarkı şeması çok iyi sonuçlar vermektedir (Ferreira, 2001b; Ferreira, 2004).

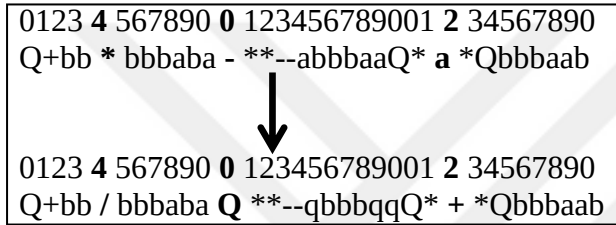
Kopyalama

Kopyalama önemli olmakla birlikte, en ilgi çekmeyen operatördür. Genetik çeşitlendirme için tek başına hiçbir katkıda bulunmaz. Gerçekte, kopyalama, seçim operatörü ile birlikte, sadece genetik sürüklenmeye sebep olan yeteneğe sahiptir. Uygunluk ve rulet şansına göre, kromozomlar samimi olarak yeni nesiller için kopyalanır. En uygun bireylerin daha fazla yavru bırakması daha çok beklenir. Böylece, kopyalama sırasında seçilen bireyler rulet çıktısı olarak birçok kez kopyalanır. Rulet aynı büyüklükteki popülasyon sayısını her zaman devam ettirmek için, popülasyondaki bireylerde olduğu gibi bir çok kez döner (Ferreira, 2001a). Kopyalama operatörünün görevi, rulet çarkı seçimi sırasında kromozom üzerinde sonucu etkileyen iyi genleri daha sonraki kuşaklar için saklamaktır. Başlangıçta sonucu etkileyecek genler, bu operatörle belirlenmektedir. Bu oran çok yüksek değildir.

Mutasyon

GİP’de, kromozomun herhangi bir yerinde mutasyon meydana gelebilir. Ancak kromozomların yapısal düzeni bozulmamış olmalıdır. Burada gen başlarındaki herhangi bir sembol bir başkası ile (fonksiyon ya da terminal) değişebilir, fakat kuyruk terminallerindeki

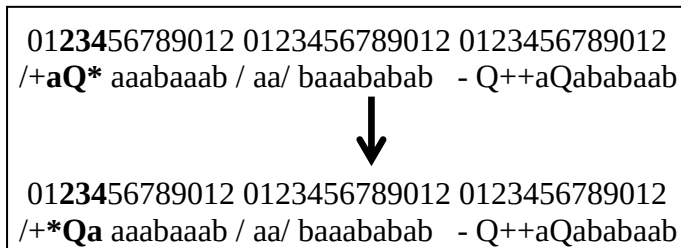
değişim sadece terminallerle sınırlıdır. Bu yolla, kromozomların yapısal organizasyonu korunmuş olur ve mutasyonla üretilen tüm yeni bireyler yapısal olarak doğru programları oluşturur (Ferreira, 2001a; Ferreira, 2001b; Ferreira, 2004). Kısacası, mutasyon, GİP algoritmasında rastgele işlemlerin başında gelir. Mutasyon, bir bireyin sahip olduğu genin rastgele olarak değiştirilmesidir. Karakteristik olarak, mutasyon oranı iki noktadan mutasyona karşılık gelecek her bir kromozom için kullanılır. Örneğin, Şekil 5.9'daki gibi, gen birdeki (pozisyon 4) "*" ile "/", gen ikideki (pozisyon 0) "-" ile "Q" ve gen üçteki (pozisyon 2) "a" ile "+" yer değiştirildiğinde elde edilen yeni kromozomlar mutasyona uğramış bir şekilde işleme devam ederler.



Şekil 5.9. Mutasyon operatörü ile yeni gen üretilmesi

Ters çevirme

GİP'de, tersine çevirme operatörü kromozomu rastgele seçer, gen değiştirilir ve sıranın başlangıç ve bitiş noktaları tersine çevrilir. Örneğin, Şekil 5.10'da üç genetik kromozom (gen 1'deki pozisyon 2,3 ve 4) tersine çevrilmiştir. Tersine çevirme operatörü genlerin başında sınırlandırıldığı için, kuyrukta biten bir fonksiyonun tehlikesi yoktur. Sonuç olarak tersine çevirme yoluyla elde edilen bütün yeni bireyler dizimsel açıdan doğru programları oluşturmaktadır (Ferreira, 2004).

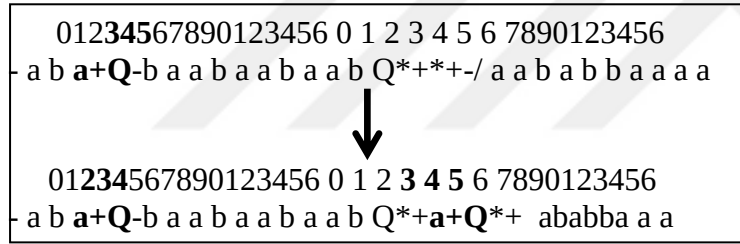


Şekil 5.10. Ters çevirme operatörü ile yeni gen üretilmesi

Yer değiştirme ve gen ilave etme

Genlerin yer değiştirmesi ile her bir kromozom tekrar oluşur. Rulet çarkında, oluşan yeni kromozomlar yeniden seçime tabi tutulur. Yer değiştirmeyle yeni nesillerde çeşitlilik sağlanmalı ancak çözüme ulaşma da çok fazla zor olmamalıdır. GİP algoritmasındaki kromozomlarda bulunan genler ile belli sayıda genin yer değiştirmesi veya başka genlerin yerine kopyalanması sonucu yeni genler elde edilebilir. Yer değiştirme ve gen ilave etme üç farklı şekilde yapılır.

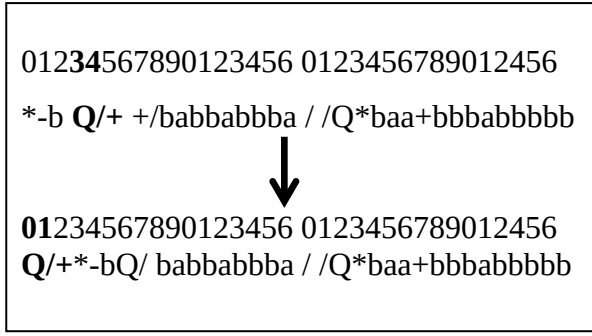
i) Sıralı genlerin yer değiştirmesi (IS transferi), kromozomun baş kısmında rastgele seçilen belli sayıdaki genin aynen kromozomun başka bir yerindeki aynı sayıda gen ile yer değiştirmesidir. IS transfer işlemi en az iki alt kromozomdan oluşan kromozomlarda uygulanabilir. Bu işlem kromozom üzerinde mutasyona benzer şekil 5.11'deki gibi köklü değişiklik oluşturmaktadır. IS transfer oranı GİP algoritmasında 0,1 olarak belirlenmiştir (Ferreira, 2001b; Dayık, 2005; olak, 2006).



şekil 5.11. Sıralı gen transferi ile yeni gen üretilmesi

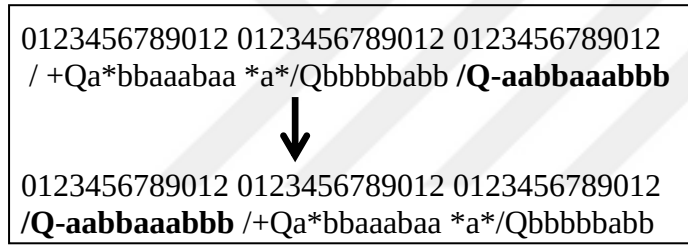
Sıralı genlerin yer değiştirmesi şekil 5.11'deki gibi gen 1'deki “a+Q” fonksiyon ve terminallerinin, gen 2'deki “*+” yerine kopyalanarak geçmesi ve burada bazı farklılıklar (“/ a” yerine “*+ ”) meydana getirmesidir.

ii) Kök transferi (RIS (Root Insertion Sequence) transferi), kök transferi, kromozomun baş kısmında rastgele seçilen belli sayıdaki genin yine baş kısımda farklı yerlere yerleştirilmesi ile meydana gelir. En az iki alt kromozomdan oluşan kromozomlarda, RIS transfer işlemi uygulanır. RIS işlemi, mutasyon ve transfer işlemi gibi baş kısımda yapılan kromozom üzerinde şekil 5.12'deki gibi çok köklü değişikliklere yol açabilen bir değişikliktir. RIS transfer oranı, GİP algoritmasında 0,1 olarak belirlenmiştir (Dayık, 2005; olak, 2006).



Şekil 5.12. Kök transfer işlemi ile yeni gen üretilmesi

iii) Gen transferi, kromozom üzerinde bir grup genin kopyalanarak Şekil 5.13'deki gibi kromozom üzerinde yer değiştirmesi ile meydana gelir. Gen transferi ile kromozom üzerinde yapılan değişiklikler yeni nesiller üzerinde evrim mahiyetinde değişimlere neden olarak problemlerin çözümüne olumlu yönde etki yapacaktır (Dayık, 2005)

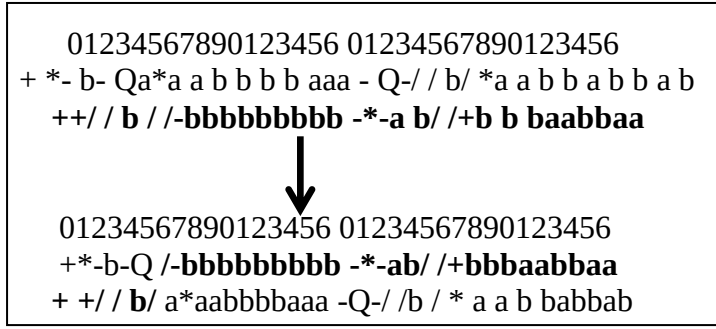


Şekil 5.13. Gen transferi ile yeni gen üretilmesi

Yeniden birleştirme

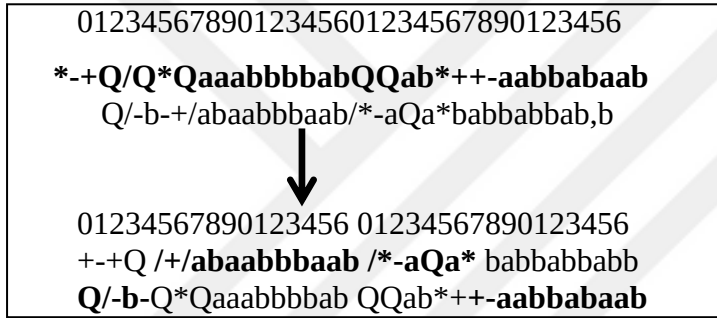
GİP algoritmasında kromozomlar, üç çeşit yer değiştirme ile yeniden düzenlenmektedir. Bunlar tek noktadan, iki noktadan ve belli sayıda genin tekrar düzenlenmesi ile yeni GİP genlerin elde edilmesi şeklindedir.

i) Tek noktadan yeniden birleştirme, çaprazlama sırasında iki kromozom arasında rastgele seçilen bir noktadan Şekil 5.14'deki gibi genlerin yer değiştirmesi ile meydana gelir.



Şekil 5.14. Tek noktadan gen transferi ile iki kromozomdan yeni gen üretilmesi

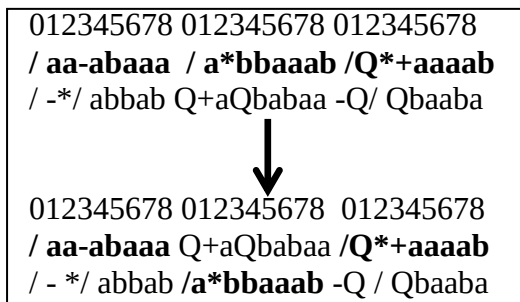
- ii) İki noktadan yeniden birleştirme, çaprazlama sırasında iki kromozom arasında rastgele seçilen iki noktadan Şekil 5.15’deki gibi genlerin yer değiştirmesi ile yeni nesiller oluşur.



Şekil 5.15. İki noktadan gen transferi ile iki kromozomdan yeni gen üretilmesi

Bu operatör, birçok genin oluşmasında çoklu kromozomlar kullanıldığında, çok karmaşık problemlerin çözümleri için çok faydalıdır (Ferreira, 2001a, Ferreira, 2002).

- iii) Geni yeniden birleştirme operatöründe, genin tümü çaprazlama sırasında değiştirilir. Değiştirilen genler rastgele olarak seçilir ve ana kromozomlar aynı pozisyonda kalır (Ferreira, 2001a). Rastgele seçilen genler Şekil 5.16’daki gibi geni yeniden birleştirme ile yeni nesiller oluşturur.



Şekil 5.16. Geni yeniden birleştirme ile iki kromozomdan rastgele yeni gen üretilmesi



6. ÇALIŞMA KAPSAMINDA GİP İLE GELİŞTİRİLEN MODELLER

FRP enine ve boyuna donatılı betonarme kirişlerde gerek betonun gerekse enine donatıların kesme dayanımına olan katkısını GİP yönteminde tahmin etmek için bir önceki alt bölümde verilen farklı kaynaklardan elde edilen deneysel çalışmalardan yararlanılmıştır. GİP modellerinin oluşturulmasında beton basınç dayanımı, boyuna donatının oranı, boyuna donatıya ait elastisite modülü ile etriye oranı, elastisite modülü ve çekme dayanımı değerleri ve kesme açıklığının etkili yüksekliğe olan oranı, kesit genişliği, kesit yüksekliği gibi kesme dayanımını etkileyen tüm parametreler hesaba katılmışlardır.

Deneysel çalışmalardan yararlanarak GİP yönteminde geliştirilen modellerle FRP donatılı betonarme kirişlerin kesme dayanımlarının elde edilmesi hem tasarımcılara büyük kolaylık sağlayacak hem de bu konu ile ilgili olarak yönetmeliklerin oluşturulması ve güncellenmesi aşamasında yapılacak olan çalışmalara katkı sağlayacaktır.

Bu çalışma kapsamında GİP modeli aracılığı ile FRP donatılı betonarme kirişlerde betonun kesme dayanımına olan katkısı için 2 farklı, FRP kayma donatısının kesme dayanımına olan katkısı için de 2 model geliştirilmiştir. GİP yönteminde modeller geliştirilmeden önce tüm deneysel veriler eğitim ve test kümelerine ayrılmıştır. İlk olarak modelleri oluşturmak için eğitim ve test kümesi girdi ve çıktı değişkenleri olarak programa girilmiştir. İkinci olarak uygunluk fonksiyonu seçilmiştir. Daha sonra fonksiyon kümesi, kromozom sayısı, baş büyüklüğü, genlerin sayısı ve bağlantı fonksiyonu belirlenmiştir. Program çalıştırılarak iterasyonlarla en iyi sonuç veren modeller elde edilmiştir. Geliştirilen modellerle ilgili detaylı açıklamalar aşağıdaki bölümlerde yapılmıştır.

6.1. Kayma Donatısız Kirişlerde Betonun Kesme Dayanımına Olan Katkısı İçin Geliştirilen GİP Modelleri

Kayma donatısız FRP boyuna donatılı betonarme kirişlerde betonun kesme dayanımına olan katkısını tahmin etmek amacıyla, GİP modelinin eğitim ve test kümelerinde 160 adet deney sonuçları bilimsel literatürden elde edilmiştir. Bu deneysel verilere ait değerlerin dağılımı Çizelge 5.1’de verilmiştir. Kayma donatısız kirişler için betonun kesme dayanımına olan katkısı için 2 farklı model geliştirilmiştir. Modeller geliştirilmeden önce deneysel veriler eğitim ve test kümesi olarak iki gruba ayrılmıştır. GİP modelinin eğitim ve test kümelerinde,

beton basınç dayanımı (f'_c), boyuna donatı oranı (ρ_f) ile FRP donatısının elastisite modülünün çelik donatının elastisite modülüne olan oranı (E_f/E_s), kesme açıklığının etkili kesit yüksekliğine olan oranı (a/d) ve kesit genişliği ile etkili kesit yüksekliğinin çarpımı ($b_w d$) girdi değişkenleri olarak kullanılmıştır. Çıktı değişkeni olarak ise kesme dayanımı kullanılmıştır. Modellerin eğitim ve testinde literatürden oluşturulan deneysel veriler kullanılmıştır. Bu kaynaklardan elde edilen deneysel verilerin 120 tanesi ile model eğitilmiş, 40 tanesi ile de model test edilmiştir. Eğitim ve test sonucunda modelden bir denklem (açıklama ağacı şeklinde) elde edilmiştir. Betonun kesme dayanımına katkısı olan V_c değerlerini tahmin etmek amacıyla her bir modelde kullanılan GİP parametreleri Çizelge 6.1 ve 6.2’de verilmiştir.

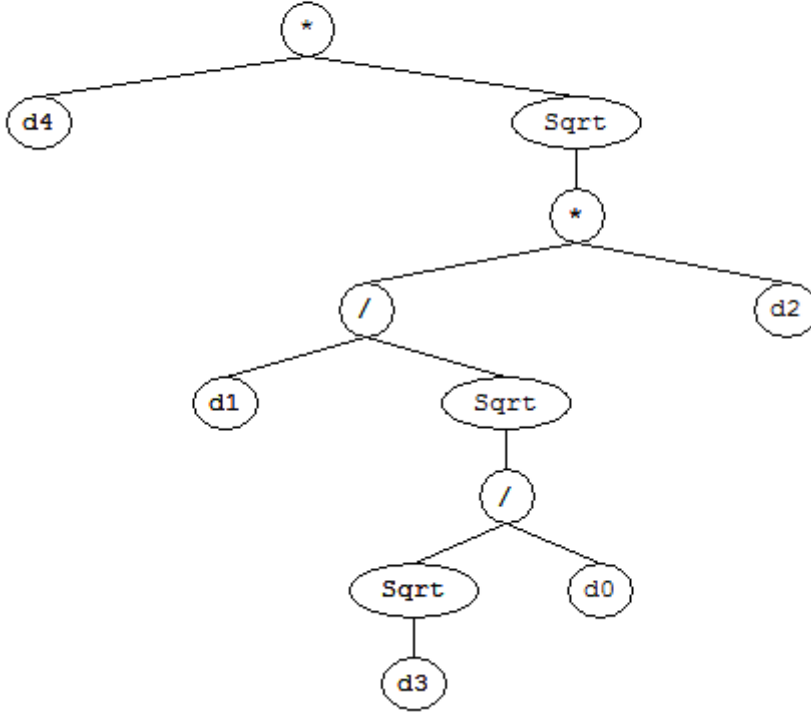
Çizelge 6.1. V_c için önerilen modelde kullanılan GİP 1 parametreleri

Parametre tanımlama		GİP 1
p_1	Üretim sayısı	720
p_2	Fonksiyon seti	*, /, Sqrt, $\sqrt[3]{}$, x.y.z
p_3	Kromozom sayısı	30
p_4	Baş büyüklüğü	10
p_5	Gen sayısı	2
p_6	Bağlantı fonksiyonu	Çarpma
p_7	Mutasyon oranı	0,044
p_8	Geri çevirme oranı	0,1
p_9	Bir noktada birleştirme oranı	0,3
p_{10}	İki noktada birleştirme oranı	0,3
p_{11}	Gen yeniden birleştirme oranı	0,1
p_{12}	Gen yer değiştirme oranı	0,1

Sub-ET 1

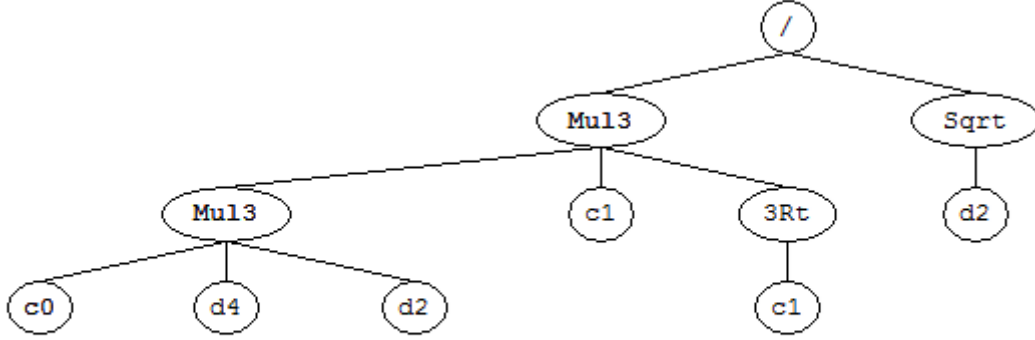


Sub-ET 2

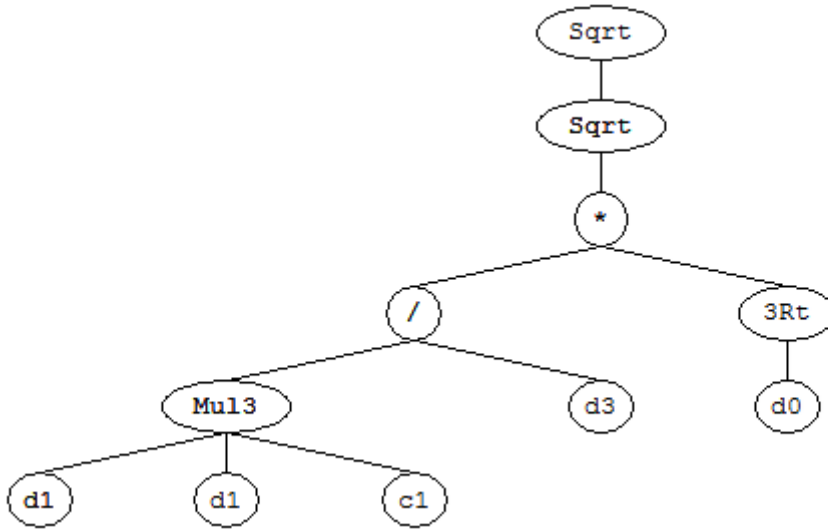
Şekil 6.1. V_c için önerilen GİP 1 modelinin açıklama ağacıÇizelge 6.2. V_c için önerilen modelde kullanılan GİP 2 parametreleri

Parametre tanımlama		GİP 2
p_1	Üretim sayısı	717
p_2	Fonksiyon seti	*, /, Sqrt, $\sqrt[3]{}$, x.y.z
p_3	Kromozom sayısı	16
p_4	Baş büyüklüğü	6
p_5	Gen sayısı	2
p_6	Bağlantı fonksiyonu	Çarpma
p_7	Mutasyon oranı	0,044
p_8	Geri çevirme oranı	0,1
p_9	Bir noktada birleştirme oranı	0,3
p_{10}	İki noktada birleştirme oranı	0,3
p_{11}	Gen yeniden birleştirme oranı	0,1
p_{12}	Gen yer değiştirme oranı	0,1

Sub-ET 1



Sub-ET 2

Şekil 6.2. V_c için önerilen GİP 2 modelinin açıklama ağacı

V_c değerlerini tahmin etmek için GİP modellerinden elde edilen açıklama ağaçları Şekil 6.1 ve 6.2’de verilmiştir. GİP modellerinde 2 tane alt-açıklama ağacı kullanılmıştır. Bu alt-açıklama ağaçlarında görülen $d_0=f'_c$, $d_1=\rho_f$, $d_2=(E_f/E_s)$, $d_3=a/d$ ve $d_4=(b_w d)$ girdi değişkenlerini göstermektedir. Ayrıca alt-açıklama ağaçlarında katsayılar bulunmaktadır. GİP 1 modelindeki birinci alt-açıklama ağacındaki $c_1=4,7469$ katsayısını ifade etmektedir. GİP 2 modelindeki birinci alt-açıklama ağacındaki $c_0=7,3970$ ve $c_1=1,0245$, ikinci alt-açıklama ağacındaki $c_1=0,9775$ katsayılarını belirtmektedir. Alt-açıklama ağaçlarının çarpılmasıyla elde edilen açıklama ağacına göre, GİP 1 ve GİP 2 modelinden elde edilen açık matematiksel ifadeler Denklem 6.1 ve 6.2’de verilmiştir. Gerekli katsayılar ve girdi değişkenleri Denklem 6.1 ve 6.2’de yerine konularak elde edilen Denklem 6.3 ve 6.4 yardımıyla V_c değerleri hesaplanabilmektedir. Bu denklemlerin sadeleştirilmiş durumları denklem 6.5 ve 6.6’da verilmiştir.

$$V_c = c_1 \times d_4 \left[\sqrt{d_2 \times \frac{d_1}{\sqrt{\sqrt{d_3}}}} \right] \quad (\text{GİP 1}) \quad (6.1)$$

$$V_c = \left[\frac{c_0 \times d_4 \times d_2 \times c_1 \times \sqrt[3]{c_1}}{\sqrt{d_2}} \right] \left[\sqrt[4]{\frac{d_1^2 \times c_1}{d_3} \times \sqrt[3]{d_0}} \right] \quad (\text{GİP 2}) \quad (6.2)$$

$$V_c = 4,7469 \times b_w \times d \left[\sqrt{\frac{E_{fl}}{E_s} \times \frac{\rho_{fl}}{\sqrt{\sqrt{\frac{d}{a}}}}} \right] \quad (\text{GİP 1}) \quad (6.3)$$

$$V_c = \left[\frac{7,3970 \times b_w \times d \times \frac{E_{fl}}{E_s} \times 1,0245 \times \sqrt[3]{1,0245}}{\sqrt{\frac{E_{fl}}{E_s}}} \right] \left[\sqrt[4]{\rho_{fl}^2 \times 0,9775 \frac{a}{d} \times \sqrt[3]{f'_c}} \right] \quad (\text{GİP 2}) \quad (6.4)$$

$$V_c = 4,75 \times b_w \times d \times \left(\rho_{fl} \times \frac{E_{fl}}{E_s} \right)^{1/2} \times (f'_c)^{1/4} \times \left(\frac{d}{a} \right)^{-1/8} \quad (\text{GİP 1}) \quad (6.5)$$

$$V_c = 7,60 \times b_w \times d \times \left(\rho_{fl} \times \frac{E_{fl}}{E_s} \right)^{1/2} \times (f'_c)^{1/12} \times \left(\frac{d}{a} \right)^{-1/4} \quad (\text{GİP 2}) \quad (6.6)$$

Yukarıdaki denklemlerde (f'_c) beton basınç dayanımını, (ρ_{fl}) boyuna donatı oranı, (E_{fl}) FRP donatısının elastisite modülünü, (E_s) çelik donatının elastisite modülünü, (a) kesme açıklığını, (d) etkili kesit yüksekliğini ve (b_w) kesit genişliğini ifade etmektedir.

6.2. Kayma Donatılı Kirişlerde Kayma Donatısının Kesme Dayanımına Olan Katkısı İçin Geliştirilen GİP Modelleri

FRP enine ve boyuna donatılı betonarme kirişlerde kayma donatısının kesme dayanımına olan katkısını tahmin etmek amacıyla, GİP modelinin eğitim ve doğrulama kümelerinde 68 adet deney sonuçları bilimsel literatürden elde edilmiştir. Bu kaynaklardan elde edilen deneysel verilerin 32 tanesi ile model eğitilmiş, 36 tanesi ile de modelin doğrulaması yapılmıştır. Bu deneysel verilere ait değerlerin dağılımı Çizelge 5.2’de verilmiştir. Kayma donatısının kesme dayanımına olan katkısını içeren V_{wf} değerlerine ait deneysel değerler direkt olarak elde edilemediği için bu değerlere ait deneysel değerler, kayma donatılı kirişlerin toplam kesme dayanımına ait deneysel değerlerden GİP 1 modeli aracılığı ile elde edilen V_c değerlerinin çıkartılmasıyla elde edilmiş ve bu değerler GİP modellerinin elde edilmesi aşamasında kullanılmıştır. Çalışma kapsamında kayma donatılarının katkısını içeren 2 farklı GİP (GİP 3 ve GİP 4) modeli elde edilmiştir. GİP 3 modelinin eğitilmesi ve doğrulanmasında etriye oranı ve bu donatılara ait çekme dayanımı değerleri, GİP 4 modelinde ise etriye oranı ve bu donatılara ait elastisite modülü girdi değişkenleri olarak, $v_{wf}=V_{wf}/(b_w*d)$ değerleri de her iki modelde çıktı değerleri olarak elde edilmiştir. GİP modelleri ile bu şekilde ilk etapta kayma gerilmesi değeri elde edilmiş daha sonra da bu değerler (b_w*d) değeri ile çarpılarak kesme kuvveti V_{wf} değerleri bulunmuştur. Kayma donatılarının kesme dayanımına katkısı olan V_{wf} değerlerini tahmin etmek amacıyla her bir modelde kullanılan GİP parametreleri Çizelge 6.3 ve 6.4’de verilmiştir.

Çizelge 6.3. v_{wf} için önerilen modelde kullanılan GİP 3 parametreleri

Parametre tanımlama		GİP 3
p_1	Üretim sayısı	691
p_2	Fonksiyon seti	*, /, Sqrt, $\sqrt[3]{}$, $\sqrt[4]{}$, $\sqrt[5]{}$, x^2 , x^3 , x^4 , $1/x$, (x.y.z)
p_3	Kromozom sayısı	30
p_4	Baş büyüklüğü	2
p_5	Gen sayısı	2
p_6	Bağlantı fonksiyonu	Çarpma
p_7	Mutasyon oranı	0,044
p_8	Geri çevirme oranı	0,1
p_9	Bir noktada birleştirme oranı	0,3
p_{10}	İki noktada birleştirme oranı	0,3
p_{11}	Gen yeniden birleştirme oranı	0,1
p_{12}	Gen yer değiştirme oranı	0,1

Sub-ET 1

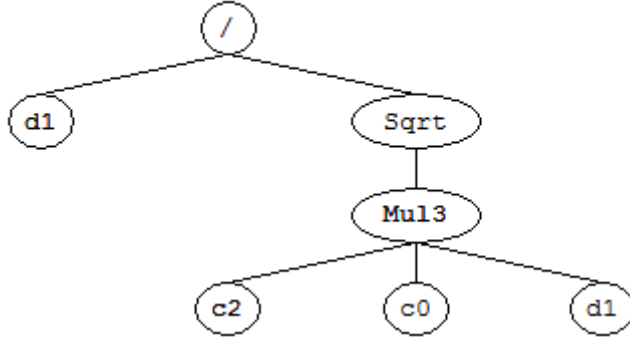


Sub-ET 2

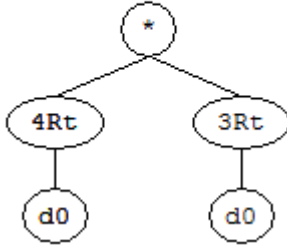
Şekil 6.3. v_{wf} için önerilen GİP 3 modelinin açıklama ağacıÇizelge 6.4. v_{wf} için önerilen modelde kullanılan GİP 4 parametreleri

Parametre tanımlama		GİP 4
p_1	Üretim sayısı	678
p_2	Fonksiyon seti	*, /, Sqrt, $\sqrt[3]{}$, $\sqrt[4]{}$, $\sqrt[5]{}$, x^2 , x^3 , x^4 , $1/x$, $(x.y.z)$
p_3	Kromozom sayısı	30
p_4	Baş büyüklüğü	4
p_5	Gen sayısı	2
p_6	Bağlantı fonksiyonu	Çarpma
p_7	Mutasyon oranı	0,044
p_8	Geri çevirme oranı	0,1
p_9	Bir noktada birleştirme oranı	0,3
p_{10}	İki noktada birleştirme oranı	0,3
p_{11}	Gen yeniden birleştirme oranı	0,1
p_{12}	Gen yer değiştirme oranı	0,1

Sub-ET 1



Sub-ET 2

Şekil 6.4. v_{wf} için önerilen GİP 4 modelinin açıklama ağacı

v_{wf} değerlerini tahmin etmek için GİP modellerinden elde edilen açıklama ağaçları Şekil 6.3 ve 6.4'de verilmiştir. GİP modellerini elde etmek için 2 tane alt-açıklama ağacı kullanılmıştır. Bu alt-açıklama ağaçlarındaki GİP 3 modelinde görülen $d_0=\rho_{fv}$ ve $d_1=f_{uv}$, ile GİP 4 modelinde görülen $d_0=\rho_{fv}$ ve $d_1=E_{fv}$ girdi değişkenlerini göstermektedir. Ayrıca alt-açıklama ağaçlarında farklı katsayılar da bulunmaktadır. GİP 3 modelindeki birinci alt-açıklama ağacındaki $c_2=0,531281$, ikinci alt-açıklama ağacındaki $c_0=0,183488$ katsayılarını ifade etmektedir. GİP 4 modelindeki birinci alt-açıklama ağacındaki $c_2=9,7075$, ikinci alt-açıklama ağacındaki $c_0=8,790192$ katsayılarını ifade etmektedir. Alt-açıklama ağaçlarının çarpılmasıyla elde edilen açıklama ağacına göre, GİP 3 ve GİP 4 modelinden elde edilen açık matematiksel ifadeler Denklem 6.7 ve 6.8'de verilmiştir. Gerekli katsayılar ve girdi değişkenleri Denklem 6.7 ve 6.8'de yerine konularak elde edilen Denklemler (6.9 ve 6.10), (b_w*d) katsayısıyla da çarpılarak kayma donatısının kesme dayanımına olan katkısını içeren V_{wf} değerleri hesaplanabilmektedir.

Bu denklemlerin sadeleştirilmiş durumları denklem 6.13 ve 6.14'de verilmiştir.

$$v_{wf} = \left[\sqrt[5]{d_1 \times d_0 \times c_2} \right] \left[\sqrt[3]{d_1 \times d_0 \times c_0} \right] \quad (\text{GİP 3}) \quad (6.7)$$

$$\nu_{wf} = \left[\frac{\sqrt{d_1} \times (\sqrt[12]{d_0^7})}{\sqrt{(c_2 \times c_0)}} \right] \quad (\text{GİP 4}) \quad (6.8)$$

$$\nu_{wf} = \left[\sqrt[5]{f_{uv} \times \rho_{fv} \times 0,531281} \right] \left[\sqrt[3]{f_{uv} \times \rho_{fv} \times 0,183488} \right] \quad (\text{GİP 3}) \quad (6.9)$$

$$\nu_{wf} = \left[\frac{\sqrt{E_{fv}} \times (\sqrt[12]{\rho_{fv}^7})}{\sqrt{(9,75055 \times 8,790192)}} \right] \quad (\text{GİP 4}) \quad (6.10)$$

$$V_{wf} = \left[\sqrt[5]{f_{uv} \times \rho_{fv} \times 0,531281} \right] \left[\sqrt[3]{f_{uv} \times \rho_{fv} \times 0,183488} \right] [b_w \times d] \quad (\text{GİP 3}) \quad (6.11)$$

$$V_{wf} = \left[\frac{\sqrt{E_{fv}} \times (\sqrt[12]{\rho_{fv}^7})}{\sqrt{(9,75055 \times 8,790192)}} \right] [b_w \times d] \quad (\text{GİP 4}) \quad (6.12)$$

$$V_c = 0,50 \times b_w \times d \times (f_{uv} \times \rho_{fv})^{1/15} \quad (\text{GİP 3}) \quad (6.13)$$

$$V_c = 0,11 \times b_w \times d \times (E_{fv})^{1/2} \times (\rho_{fv})^{7/12} \quad (\text{GİP 4}) \quad (6.14)$$

Yukarıdaki denklemlerde (d) etkili kesit yüksekliğini, (b_w) kesit genişliğini, ρ_{fv} kesitteki etriye oranını, E_{fv} etriyenin elastisite modülünü, (f_{uv}) etriyenin kırılma anındaki gerilme değerini ifade etmektedir.

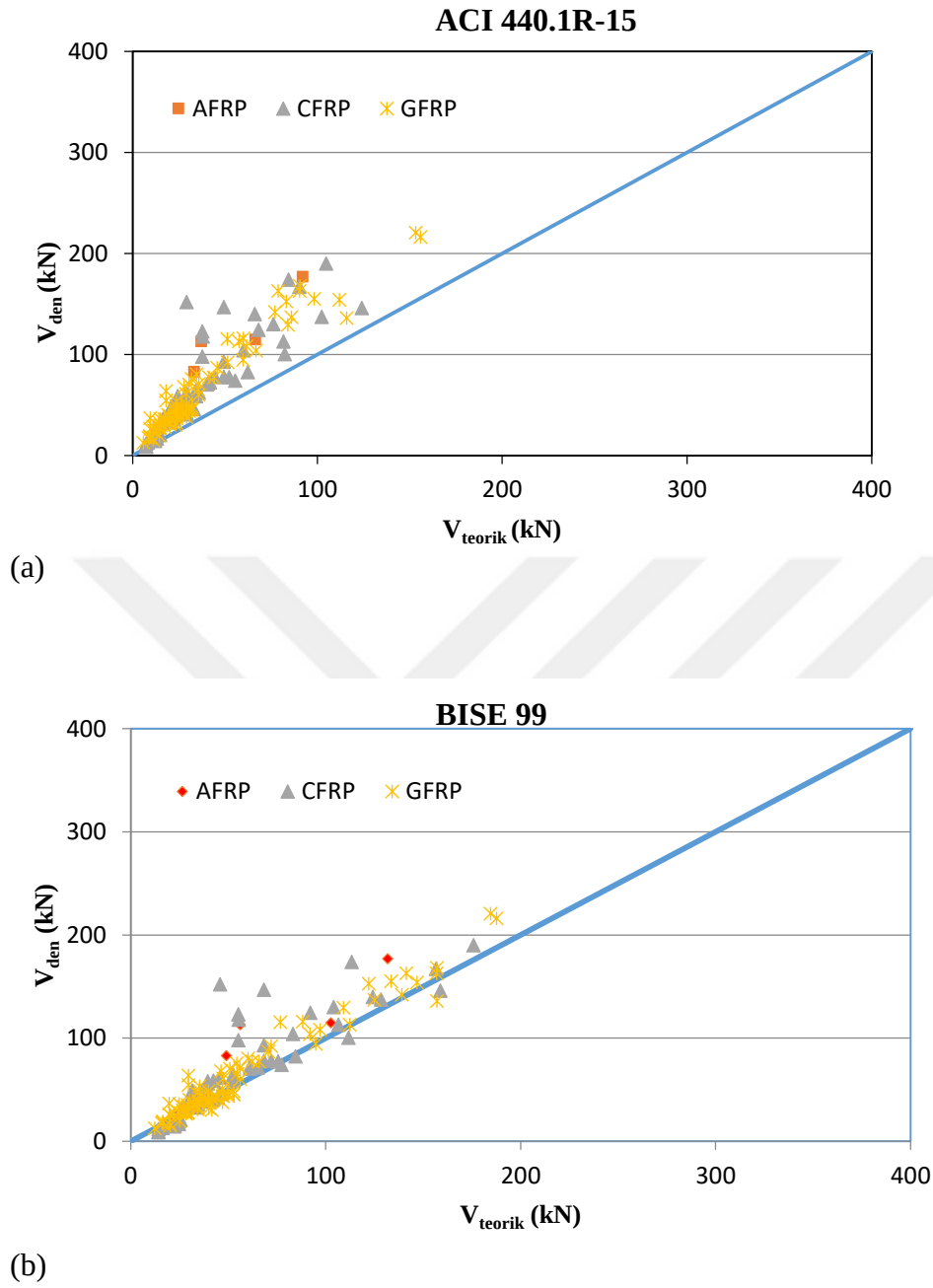


7. BULGULAR VE TARTIŞMA

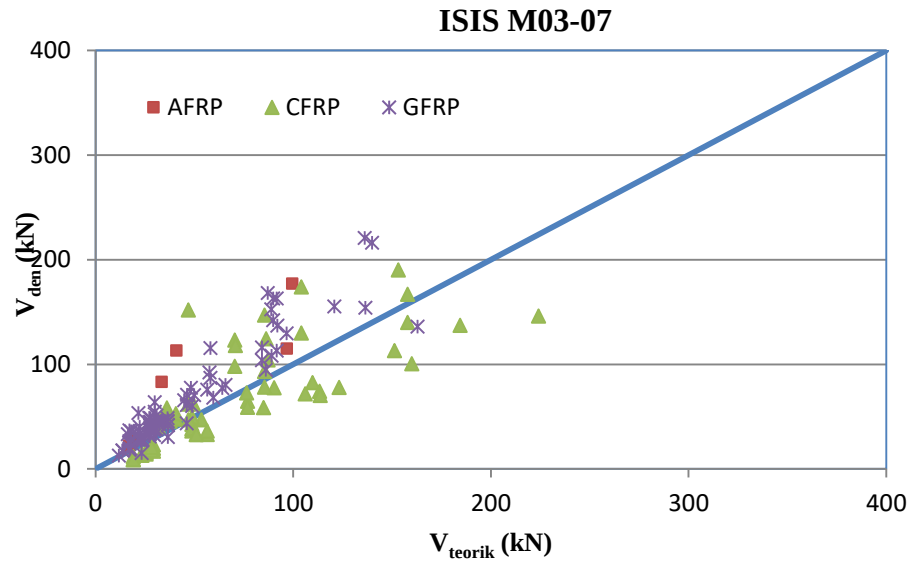
Bu bölümde FRP donatılı betonarme kirişlerin kesme dayanımı için GİP modeli ile elde edilen sonuçların deneysel sonuçlarla karşılaştırılmasına yer verilmiştir. Ayrıca, farklı uluslar arası yönetmelikler tarafından önerilen modellerden elde edilen sonuçların gerek deneysel sonuçlarla gerekse GİP modeli sonuçlarıyla karşılaştırılmasına da yer verilmiştir.

7.1. Kayma Donatısız Kirişler İçin Elde Edilen Sonuçların Değerlendirilmesi

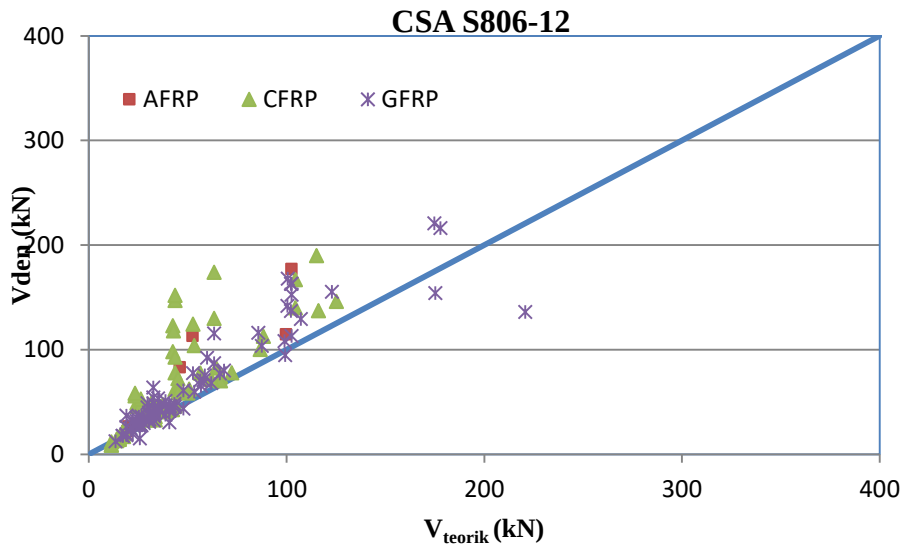
Bu bölümde, gerek bu çalışma kapsamında gerekse diğer yönetmelikler tarafından kayma donatısız FRP boyuna donatılı betonarme kirişlerin kesme dayanımı için önerilen modellerden elde edilen sonuçların deneysel sonuçlarla karşılaştırılması yapılmıştır (Şekil 7.1.). Deneysel sonuçların hem bu çalışmada hem de yönetmelikler tarafından elde edilen değerlere olan oranının ortalaması, standart sapması, değişkenlik katsayısı ve standart hata değerleri Çizelge 7.1’de sunulmuştur. Çizelge 7.1’den görüldüğü üzere yönetmelikler tarafından önerilen modeller aracılığı ile elde edilen kesme dayanımı değerlerinin deneysel sonuçlara göre güvenli yönde olduğu görülmüştür. Ancak en yüksek ve en düşük güvenli yönde sonuçlar arasındaki farkın yaklaşık %70 olduğu, bu durumun da çelik donatılı betonarme elemanların kesme dayanımı için önerilen denklemin değişik modeller tarafından farklı şekillerde modifiye edilmesinden kaynaklanmaktadır. JSCE 97, BISE 99 ve ISIS M03-07 modelleri çelik ve FRP donatısının elastisite modülleri arasındaki farkı E_{fl}/E_s gibi bir düzeltme faktörü ile hesaba katmışlardır. Diğer yandan ACI 440.1R-15 ve CSA S806-12 modelleri de FRP donatısının eksenel rijitliğini ($E_{fl}*A_{fl}$) olarak denklemlerinde gözönünde bulundurmuşlardır.



Şekil 7.1. Kayma donatısız FRP donatılı elemanlara ait deneysel sonuçlarla model sonuçlarının karşılaştırılması a) ACI 440.1R-15 b) BISE 99 c) ISIS M03-07 d) CSA S806-12 e) JSCE 97 f) GİP 1 g) GİP 2

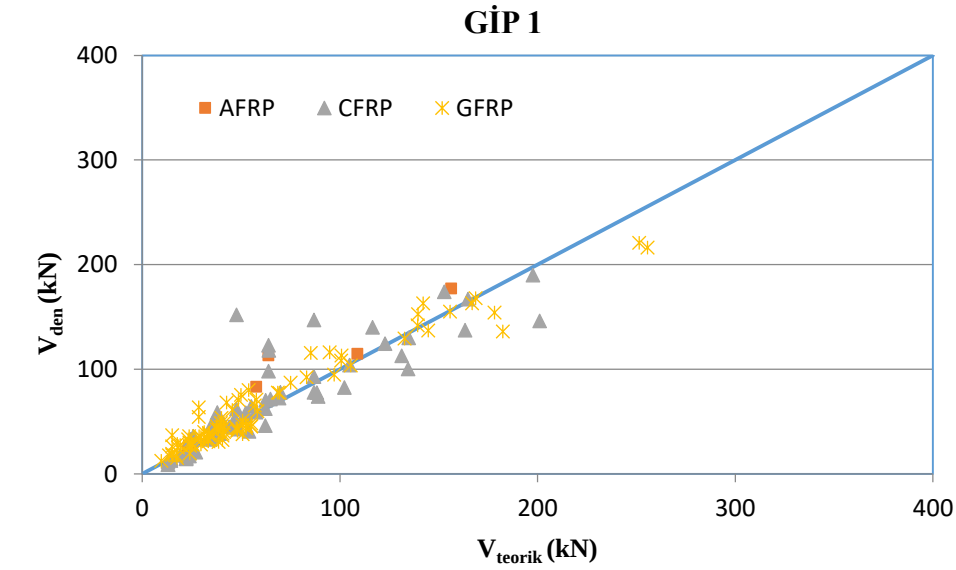
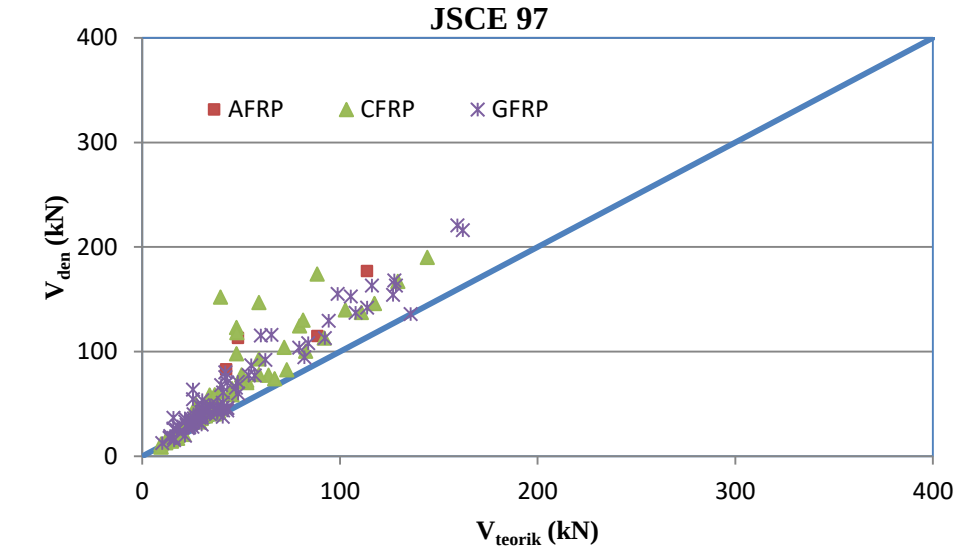


(c)

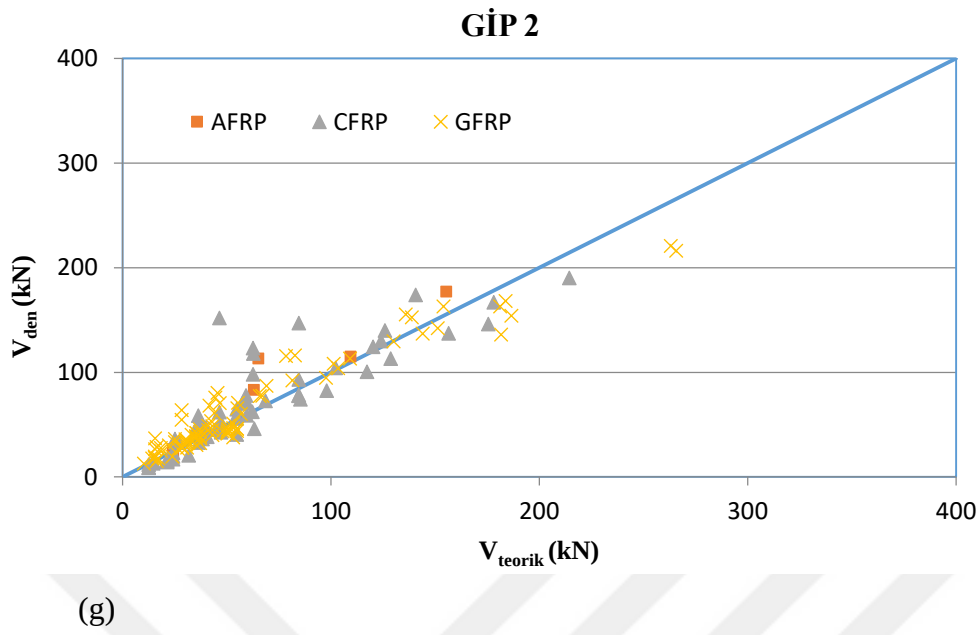


(d)

Şekil 7.1. (devam) Kayma donatısız FRP donatılı elemanlara ait deneysel sonuçlarla model sonuçlarının karşılaştırılması a) ACI 440.1R-15 b) BISE 99 c) ISIS M03-07 d) CSA S806-12 e) JSCE 97 f) GİP 1 g) GİP 2



Şekil 7.1. (devam) Kayma donatısız FRP donatılı elemanlara ait deneysel sonuçlarla model sonuçlarının karşılaştırılması a) ACI 440.1R-15 b) BISE 99 c) ISIS M03-07 d) CSA S806-12 e) JSCE 97 f) GİP 1 g) GİP 2



Şekil 7.1. (devam) Kayma donatısız FRP donatılı elemanlara ait deneysel sonuçlarla model sonuçlarının karşılaştırılması a) ACI 440.1R-15 b) BISE 99 c) ISIS M03-07 d) CSA S806-12 e) JSCE 97 f) GİP 1 g) GİP 2

Çizelge 7.1. Kayma donatısız FRP donatılı elemanlar için deneysel ve teorik model sonuçlarının karşılaştırılması

Model	V_{den}/V_{model}			AAE(%)
	Ortalama	SD	COV (%)	
ACI 440.1R-15	1,86	0,52	27,7	43,26
CSA S806-12	1,34	0,46	34,3	22,7
ISIS M03-07	1,25	0,45	35,9	32,83
JSCE 97	1,40	0,37	26,5	25,31
BISE 99	1,15	0,33	28,9	18,05
GİP 1	1,11	0,28	25,1	17,74
GİP 2	1,11	0,28	25,1	17,83

Çizelge 7.2. Kayma donatısız FRP donatılı elemanlar için deneysel ve teorik model sonuçlarının farklı parametrik değişken aralıklarına göre karşılaştırılması

Değişken		ACI 440.1R-15		CSA S806-12		ISIS M03-07		JSCE 97		BISE 99		GİP 1	
		$V_{den.}/V_{model}$		$V_{den.}/V_{model}$		$V_{den.}/V_{model}$		$V_{den.}/V_{model}$		$V_{den.}/V_{model}$		$V_{den.}/V_{model}$	
		Ort.	SD	Ort.	SD	Ort.	SD	Ort.	SD	Ort.	SD	Ort.	SD
f_c (MPa)													
Aralık	Adet												
20-30	21	1,95	0,34	1,20	0,23	1,32	0,60	1,36	0,24	1,15	0,22	1,18	0,22
31-40	63	1,87	0,48	1,35	0,36	1,4	0,35	1,36	0,32	1,16	0,27	1,11	0,32
41-50	38	2,04	0,69	1,60	0,64	1,25	0,48	1,55	0,52	1,33	0,45	1,22	0,42
51-90	38	1,63	0,34	1,15	0,37	0,98	0,38	1,32	0,29	0,96	0,24	0,97	0,24
d (mm)													
Aralık	Adet												
100-200	34	1,84	0,51	1,20	0,28	1,10	0,51	1,24	0,26	0,97	0,24	1,06	0,35
201-300	61	1,8	0,35	1,19	0,23	1,33	0,39	1,31	0,26	1,09	0,29	1,08	0,23
301-400	47	2,1	0,66	1,71	0,63	1,34	0,48	1,64	0,49	1,39	0,42	1,26	0,4
401-500	8	1,69	0,4	1,22	0,16	1,00	0,38	1,39	0,25	1,15	0,20	1,07	0,28
501-1000	10	1,39	0,14	1,13	0,21	1,11	0,35	1,29	0,15	1,08	0,11	0,87	0,09
ρ_f													
Aralık (%)	Adet												
0.1-0.75	57	1,93	0,59	1,26	0,45	0,95	0,40	1,39	0,39	1,15	0,36	1,17	0,38
0.76-1.75	75	1,87	0,33	1,39	0,48	1,36	0,36	1,42	0,37	1,18	0,33	1,11	0,3
1.76-2.25	28	1,73	0,4	1,36	0,41	1,61	0,42	1,34	0,34	1,10	0,30	1,00	0,24

ACI 440.1R-15 tarafından önerilen denklemin dayanım azaltma katsayıları uygulanmadan önce bile deneysel sonuçlara göre oldukça güvenli yönde sonuçlar verdiği ve $V_{den.}/V_{ACI}$ değerlerinin ortalamasının 1,86 olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Böyle bir sonucun ortaya çıkmasındaki en önemli nedenlerden biri ACI 440.1R-15 modelinin, betonun kesme dayanımına olan katkısını sadece tarafsız eksen üzerindeki çatlamamış beton alanını gözönünde bulunduracak şekilde hesaba katmasından kaynaklanmaktadır.

ISIS M03-07 tarafından önerilen model, kesme dayanımını etkileyen a/d oranı ve kesitteki boyuna donatı oranı gibi bazı parametreleri gözönünde bulundurmamasına karşın CSA S806-12, JSCE 97 yönetmeliklerinden elde edilen değerlere göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Bu çalışma kapsamında gözönünde bulundurulan yönetmelikler arasında BISE 99 tarafından önerilen modelin deneysel sonuçlara en yakın sonuçlar verdiği ve $V_{den.}/V_{BISE}$ 'nin ortalamasının, standart sapmasının ve değişkenlik katsayısı değerlerinin 1,15; 0,33 ve 28,9

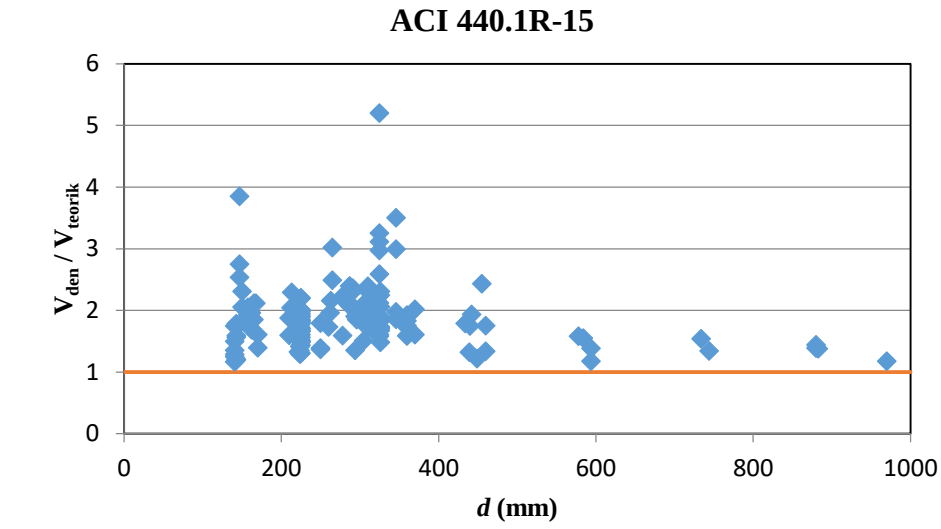
olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Diğer yandan GİP tarafından geliştirilen modellerin tüm yönetmelikler tarafından önerilen modellere göre daha iyi sonuçlar verdiği ve $V_{den}/V_{GİP1}$ 'in ortalamasının, standart sapmasının ve değişkenlik katsayısı değerlerinin 1,11; 0,28 ve 25,1 olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Elde edilen V_{den}/V_{model} sonuçlarının beton dayanımına bağlı olarak değerlendirilmesinde; beton dayanımının 51-90 MPa arasında olması durumunda GİP tarafından önerilen modellerin deneysel sonuçlara en yakın sonuçlar verdiği ve aynı aralıkta GİP tarafından önerilen modellerin BISE 99 ve ISIS M03-07 tarafından önerilen modellerle benzer sonuçlar verdiği, ACI 440.1R-15 tarafından önerilen modelin en fazla güvenli yönde sonuçlar verdiği, JSCE 97 ve CSA S806-12 tarafından önerilen modellerin ise ACI 440.1R-15 tarafından önerilen modele göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Elde edilen V_{den}/V_{model} sonuçlarının kesit yüksekliğine bağlı olarak değerlendirilmesinde ise, kesit yüksekliğinin 100-200 mm arasında olması durumunda GİP tarafından önerilen modellerin deneysel sonuçlara en yakın sonuçlar verdiği ve aynı aralıkta ACI 440.1R-15 tarafından önerilen modelin en fazla güvenli yönde sonuçlar verdiği, BISE 99, ISIS M03-07 ve CSA S806-12 tarafından önerilen modellerin JSCE 97 tarafından önerilen modelden daha iyi yönde benzer sonuçlar verdiği görülmüştür. Elde edilen V_{den}/V_{model} sonuçlarının boyuna donatı oranına bağlı olarak değerlendirilmesinde; boyuna donatı oranının 1,76-2,25 arasında olması durumunda GİP ve BISE 99 tarafından önerilen modellerin deneysel sonuçlara en yakın sonuçlar verdiği ve aynı aralıkta ACI 440.1R-15 tarafından önerilen modelin en fazla güvenli yönde sonuçlar verdiği, JSCE 97 ve CSA S806-12 tarafından önerilen modellerin ise ISIS M03-07 tarafından önerilen modele göre daha iyi yönde benzer sonuçlar verdiği görülmüştür.

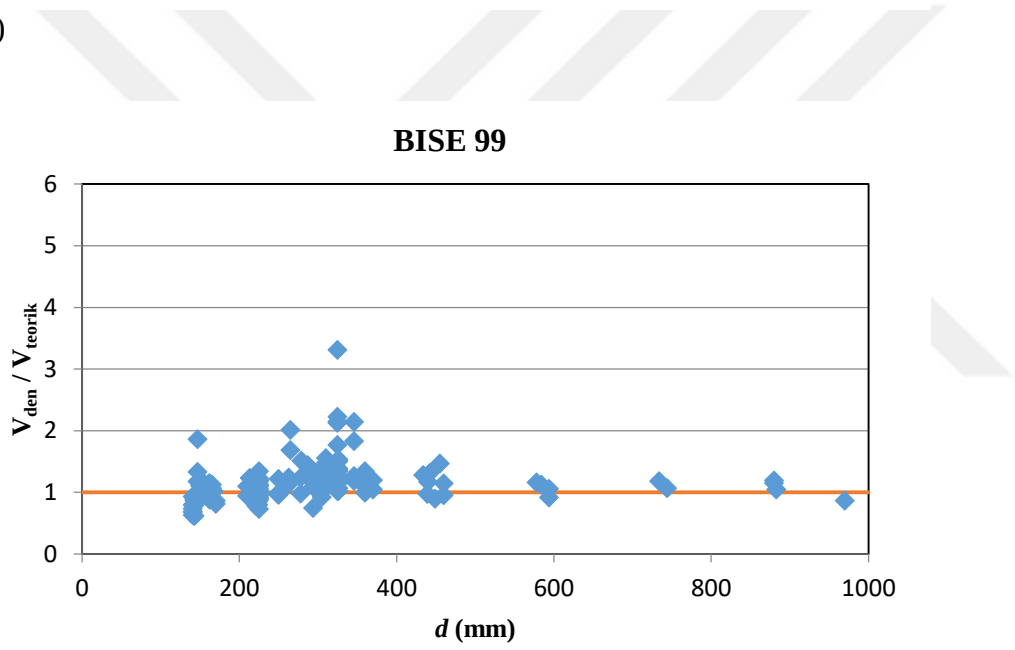
Her bir model aracılığı elde edilen değerler FRP donatı tipi de göz önüne alınacak şekilde gruplandırılarak Çizelge 7.3'de sunulmuştur. Deneysel kesme dayanımı değerlerinin, GİP tarafından geliştirilen ve farklı yönetmelikler tarafından önerilen modeller aracılığı ile elde edilen kesme dayanımı değerlerine olan oranının, boyuna donatı oranı, etkili derinlik ve a/d oranı gibi farklı parametrik değişkenlere bağlı olarak değişimi Şekil 7.2.'de sunulmuştur.

Çizelge 7.3. Modellerden elde edilen kesme dayanımlarına ait istatistiksel veriler

Model	İstatistiksel Parametreler	V_{den}/V_{model}	
		GFRP ve AFRP	CFRP
ACI 440.1R-15	Ortalama	1,884	1,833
	Standart Sapma	0,442	0,612
	Değişkenlik Katsayısı	23,461	33,388
CSA S806-12	Ortalama	1,238	1,92
	Standart Sapma	0,268	0,621
	Değişkenlik Katsayısı	21,648	41,622
ISIS M03-07	Ortalama	1,435	0,981
	Standart Sapma	0,344	0,456
	Değişkenlik Katsayısı	23,972	46,483
JSCE 97	Ortalama	1,375	1,424
	Standart Sapma	0,293	0,462
	Değişkenlik Katsayısı	21,309	32,444
BISE 99	Ortalama	1,139	1,176
	Standart Sapma	0,251	0,429
	Değişkenlik Katsayısı	22,037	36,480
GİP 1	Ortalama	1,139	1,077
	Standart Sapma	0,290	0,381
	Değişkenlik Katsayısı	25,461	35,376
GİP 2	Ortalama	1,136	1,087
	Standart Sapma	0,299	0,394
	Değişkenlik Katsayısı	26,320	36,247



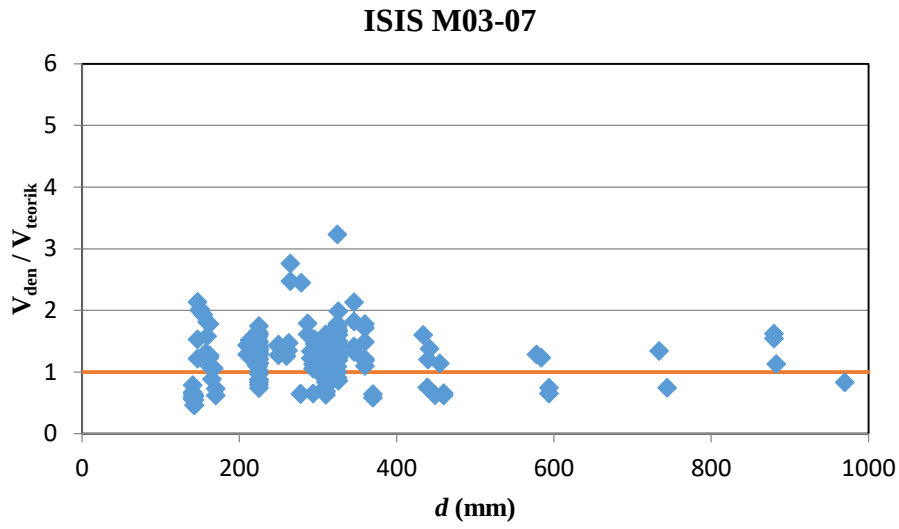
(a)



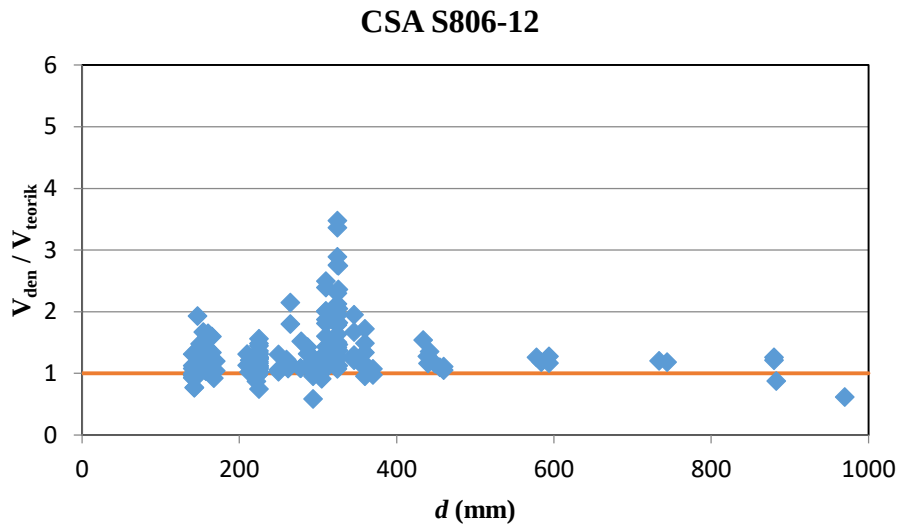
(b)

Şekil 7.2. V_{den} / V_{teorik} 'in etkili kesit yüksekliğine bağlı olarak değişimi

- a) ACI 440.1R-15 b) BISE 99 c) ISIS M03-07 d) CSA S806-12
e) JSCE 97 f) GİP 1 g) GİP 2



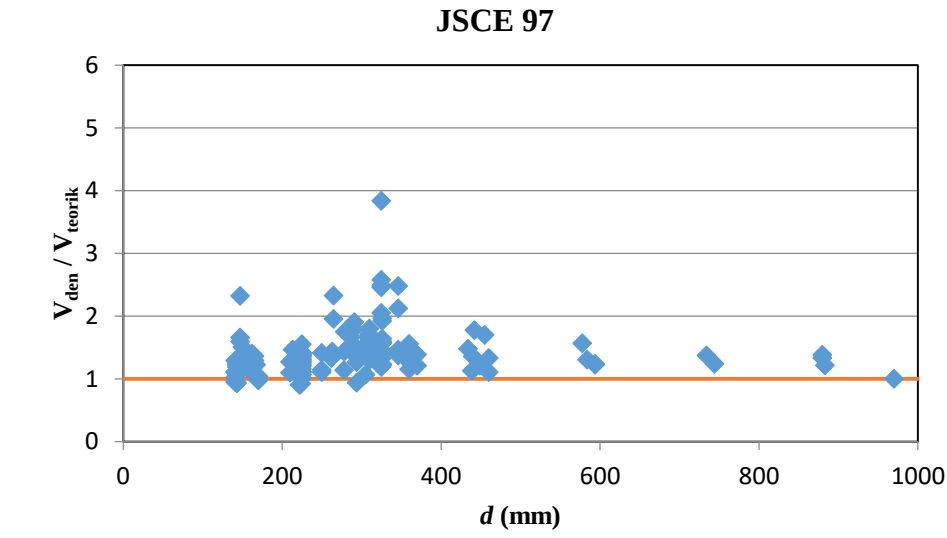
(c)



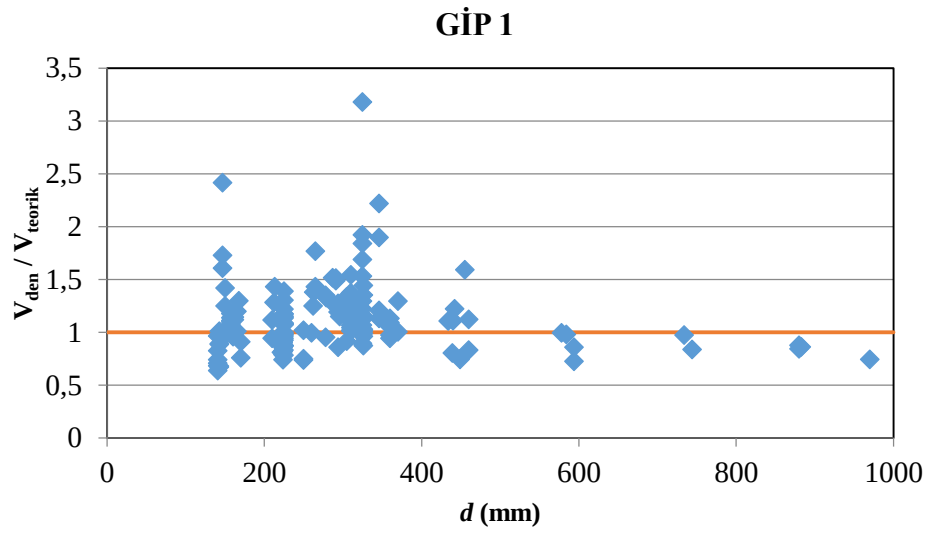
(d)

Şekil 7.2. (devam) V_{den} / V_{teorik} 'in etkili kesit yüksekliğine bağlı olarak değişimi

- a) ACI 440.1R-15 b) BISE 99 c) ISIS M03-07 d) CSA S806-12
e) JSCE 97 f) GİP 1 g) GİP 2

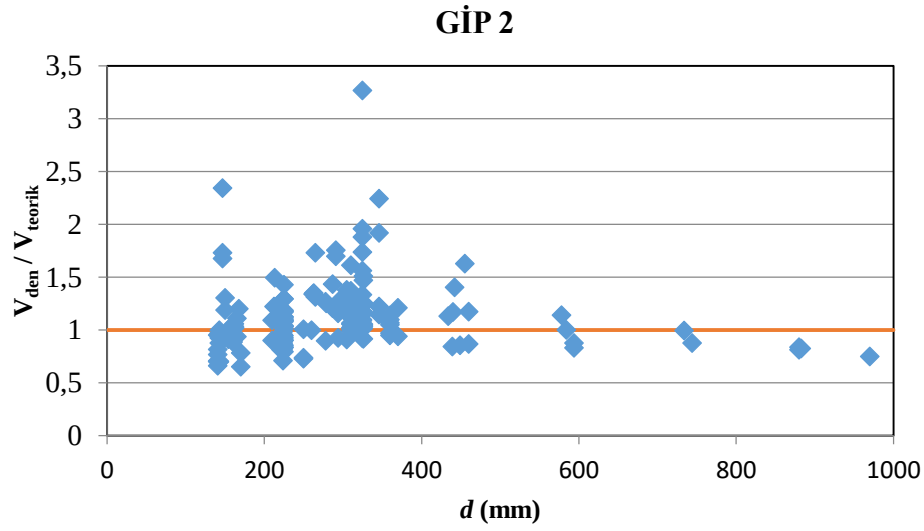


(e)



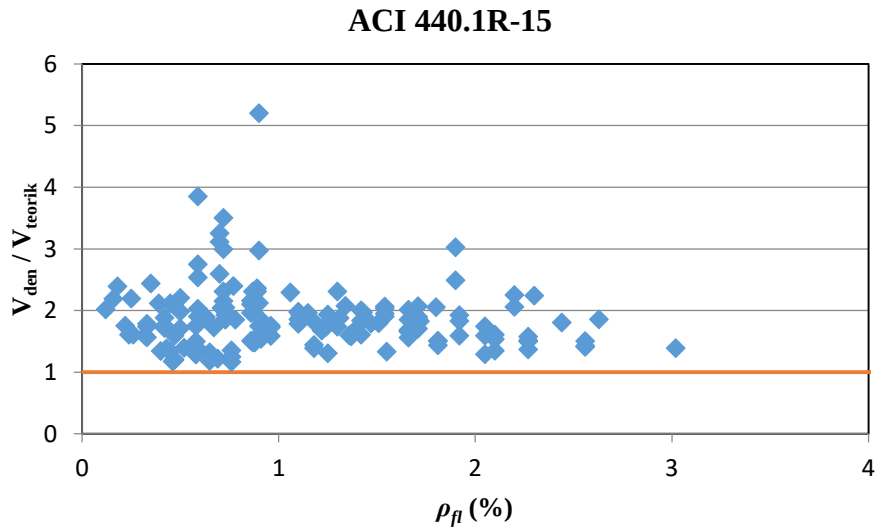
(f)

Şekil 7.2. (devam) V_{den} / V_{teorik} 'in etkili kesit yüksekliğine bağlı olarak değişimi
a) ACI 440.1R-15 b) BISE 99 c) ISIS M03-07 d) CSA S806-12
e) JSCE 97 f) GİP 1 g) GİP 2



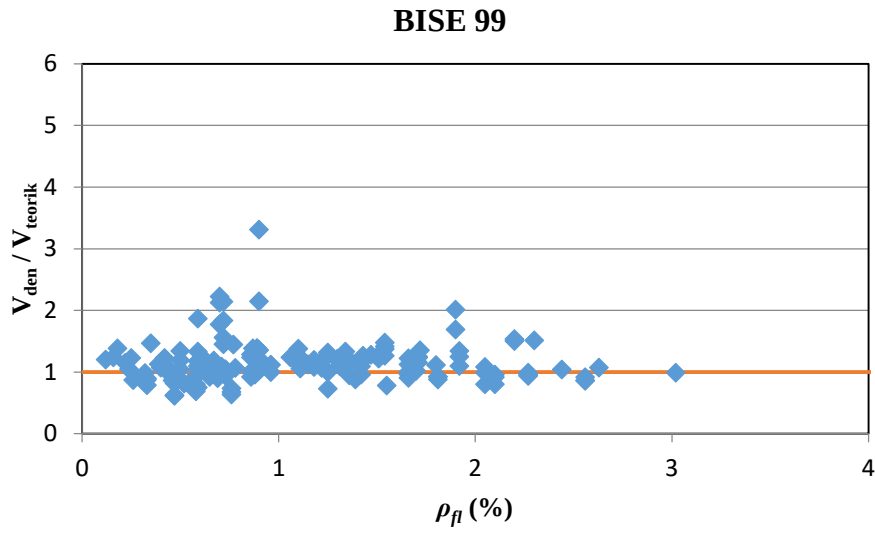
(g)

Şekil 7.2. (devam) V_{den} / V_{teorik} 'in etkili kesit yüksekliğine bağlı olarak değişimi
 a) ACI 440.1R-15 b) BISE 99 c) ISIS M03-07 d) CSA S806-12
 e) JSCE 97 f) GİP 1 g) GİP 2

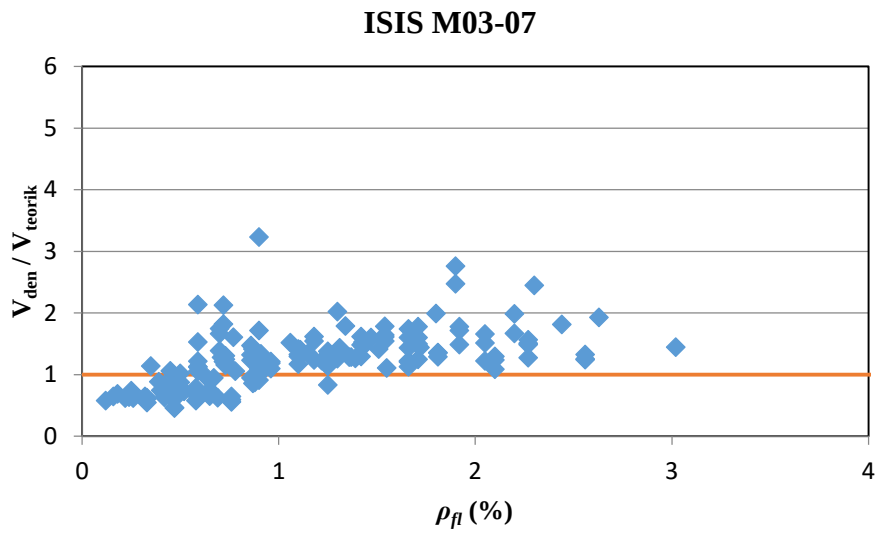


(a)

Şekil 7.3. V_{den} / V_{teorik} 'in boyuna donatı oranına bağlı olarak değişimi a) ACI 440.1R-15
 b) BISE 99 c) ISIS M03-07 d) CSA S806-12 e) JSCE 97 f) GİP 1 g) GİP 2

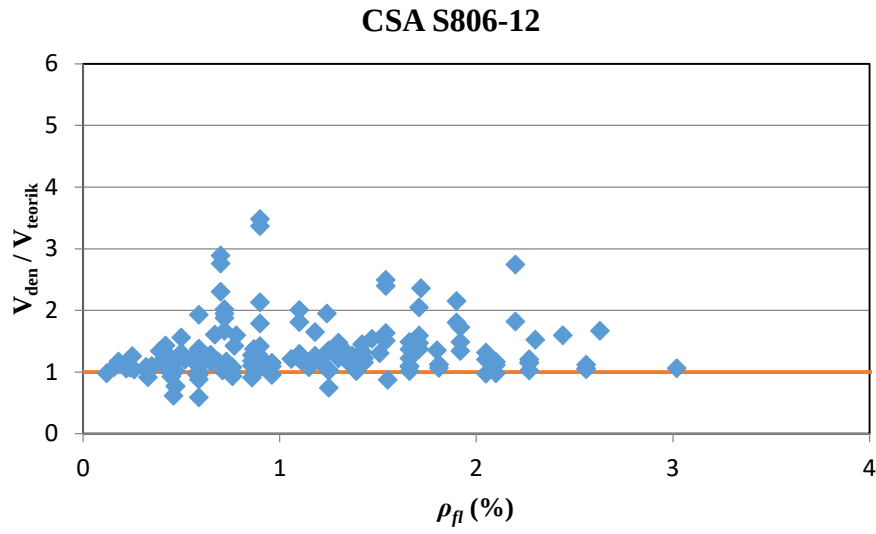


(b)

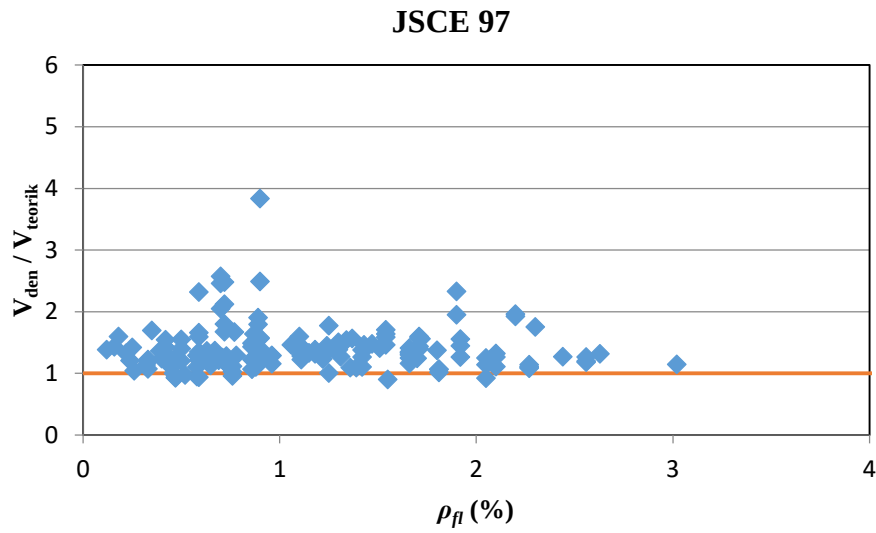


(c)

Şekil 7.3. (devam) V_{den} / V_{teorik} 'in boyuna donatı oranına bağlı olarak değişimi
a) ACI 440.1R-15 b) BISE 99 c) ISIS M03-07 d) CSA S806-12 e) JSCE 97
f) GİP 1 g) GİP 2

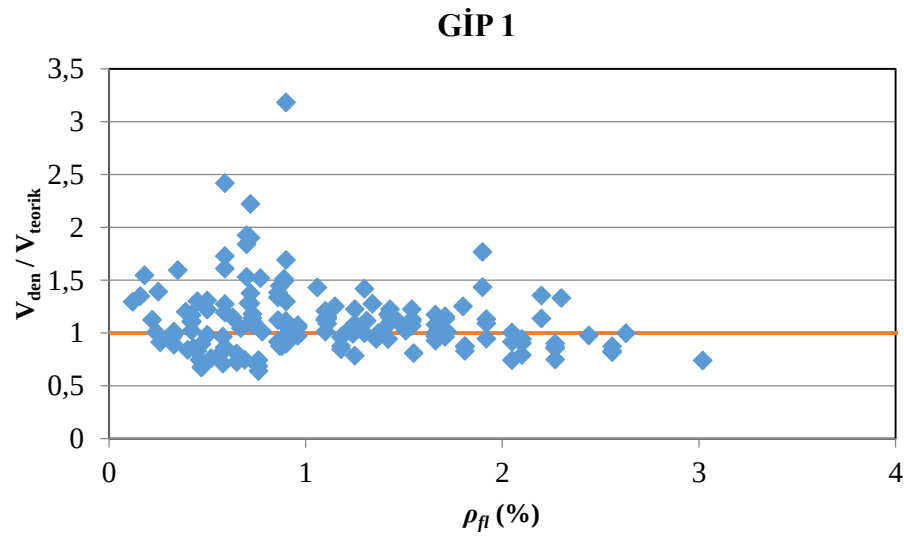


(d)

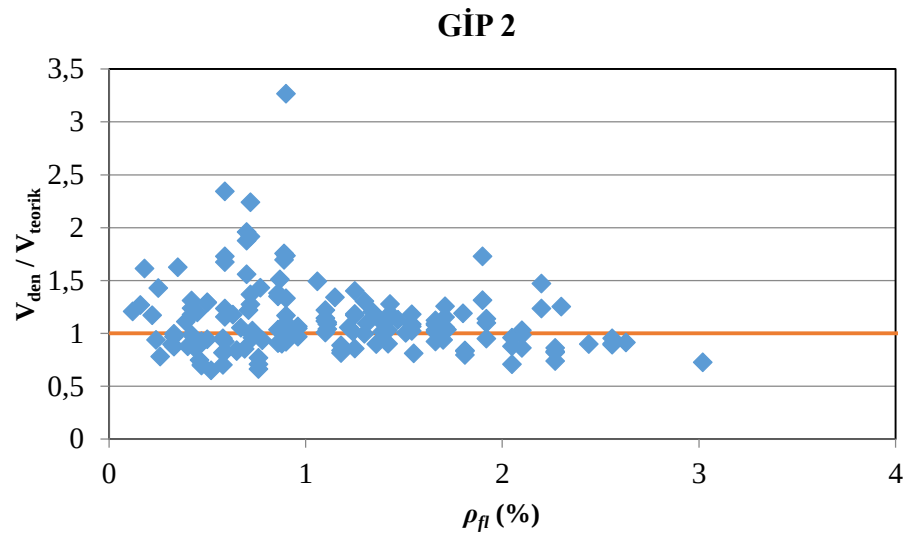


(e)

Şekil 7.3. (devam) V_{den} / V_{teorik} 'in boyuna donatı oranına bağlı olarak değişimi
a) ACI 440.1R-15 b) BISE 99 c) ISIS M03-07 d) CSA S806-12 e) JSCE 97
f) GİP 1 g) GİP 2

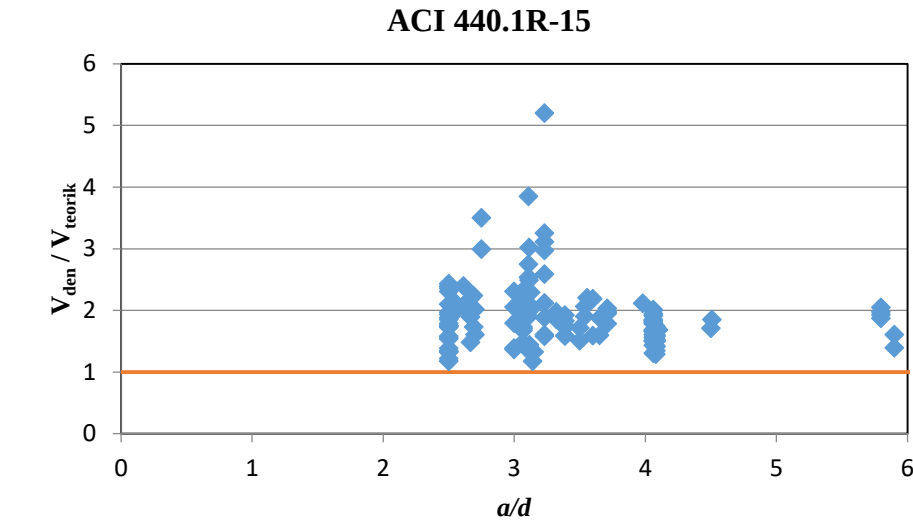


(f)

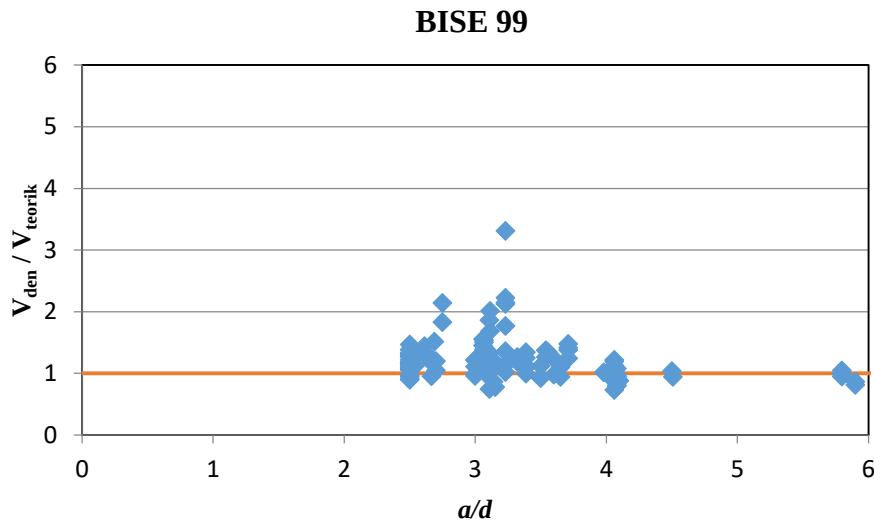


(g)

Şekil 7.3. (devam) V_{den} / V_{teorik} 'in boyuna donatı oranına bağlı olarak değişimi
 a) ACI 440.1R-15 b) BISE 99 c) ISIS M03-07 d) CSA S806-12 e) JSCE 97
 f) GİP 1 g) GİP 2

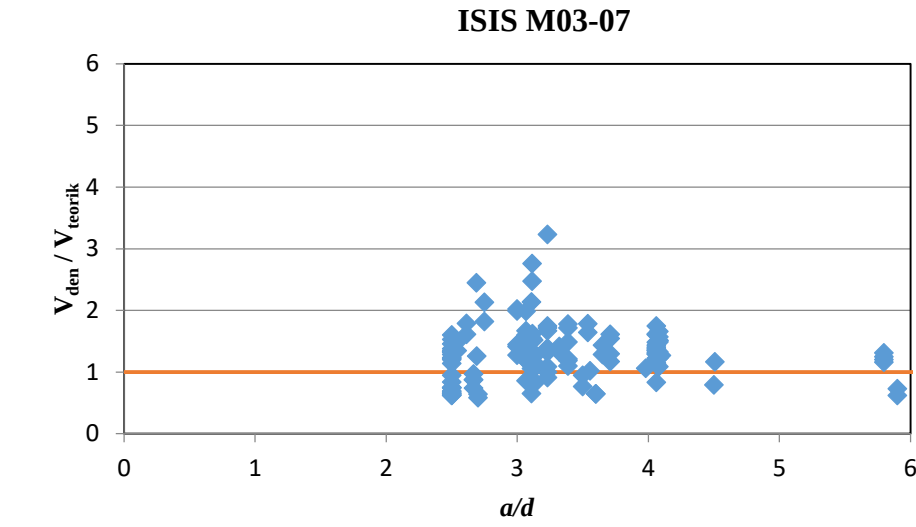


(a)

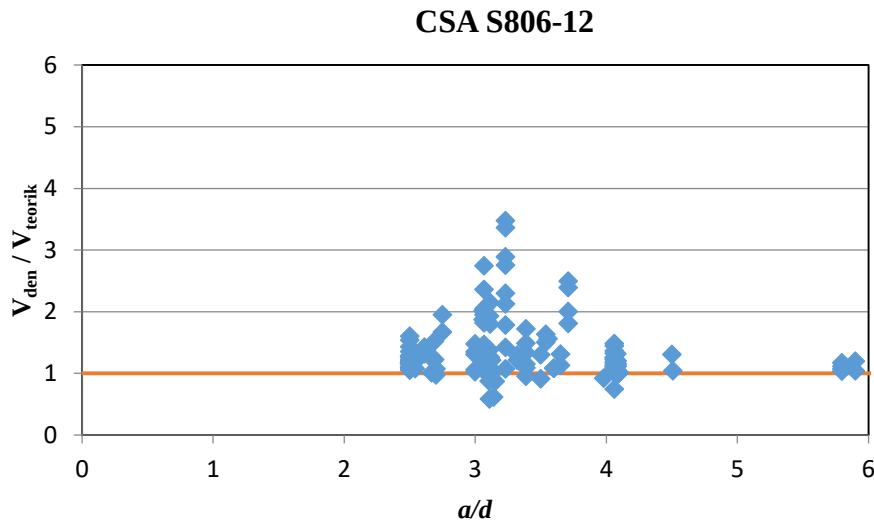


(b)

Şekil 7.4. V_{den} / V_{teorik} 'in a/d oranına bağlı olarak değişimi a) ACI 440.1R-15 b) BISE 99
c) ISIS M03-07 d) CSA S806-12 e) JSCE 97 f) GİP 1 g) GİP 2

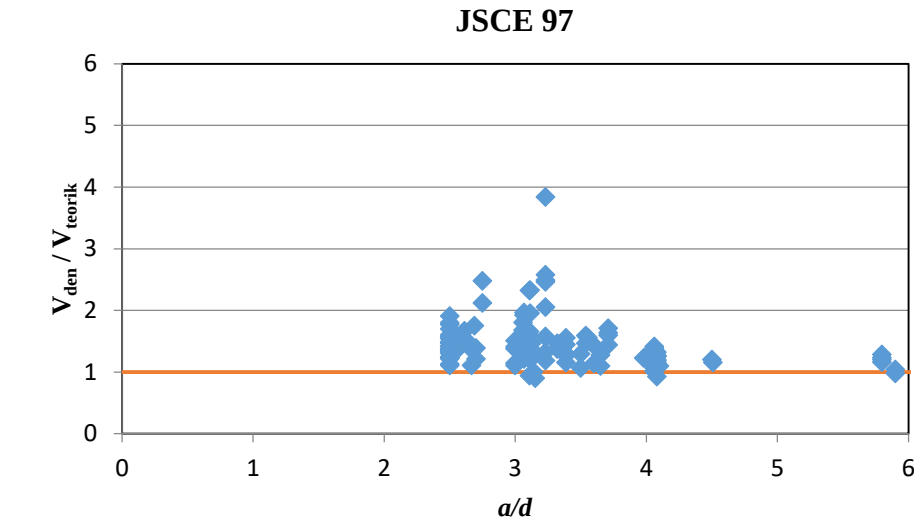


(c)

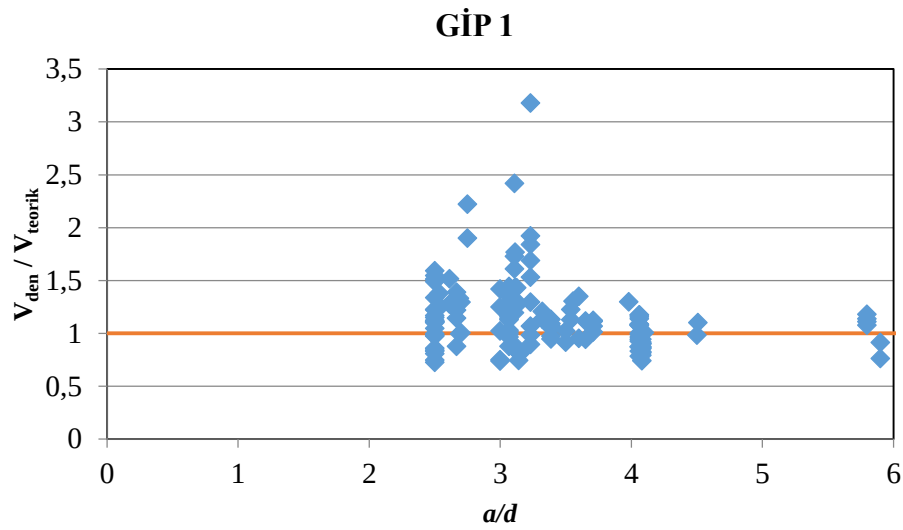


(d)

Şekil 7.4. (devam) V_{den} / V_{teorik} 'in a/d oranına bağlı olarak değişimi a) ACI 440.1R-15
b) BISE 99 c) ISIS M03-07 d) CSA S806-12 e) JSCE 97 f) GİP 1 g) GİP 2

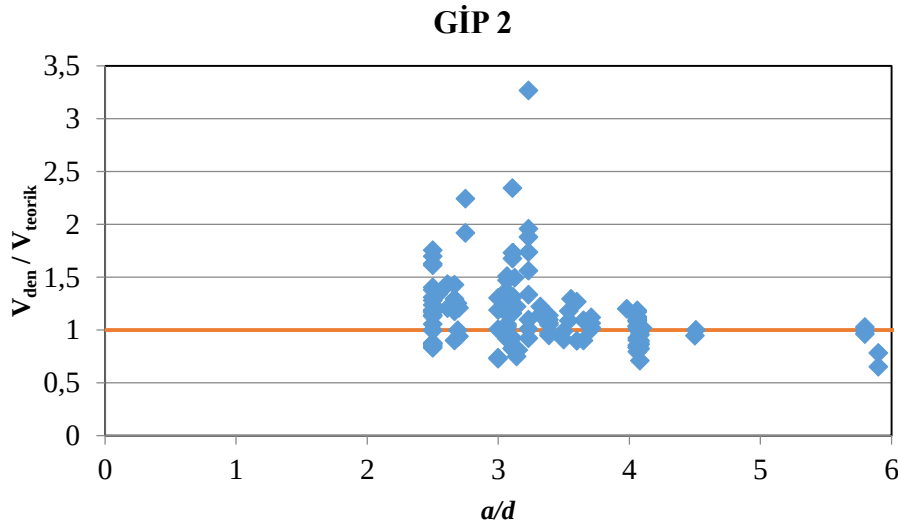


(e)



(f)

Şekil 7.4. (devam) V_{den} / V_{teorik} 'in a/d oranına bağlı olarak değişimi a) ACI 440.1R-15
b) BISE 99 c) ISIS M03-07 d) CSA S806-12 e) JSCE 97 f) GİP 1 g) GİP 2



(g)

Şekil 7.4. (devam) V_{den} / V_{teorik} 'in a/d oranına bağlı olarak değişimi a) ACI 440.1R-15 b) BISE 99 c) ISIS M03-07 d) CSA S806-12 e) JSCE 97 f) GİP 1 g) GİP 2

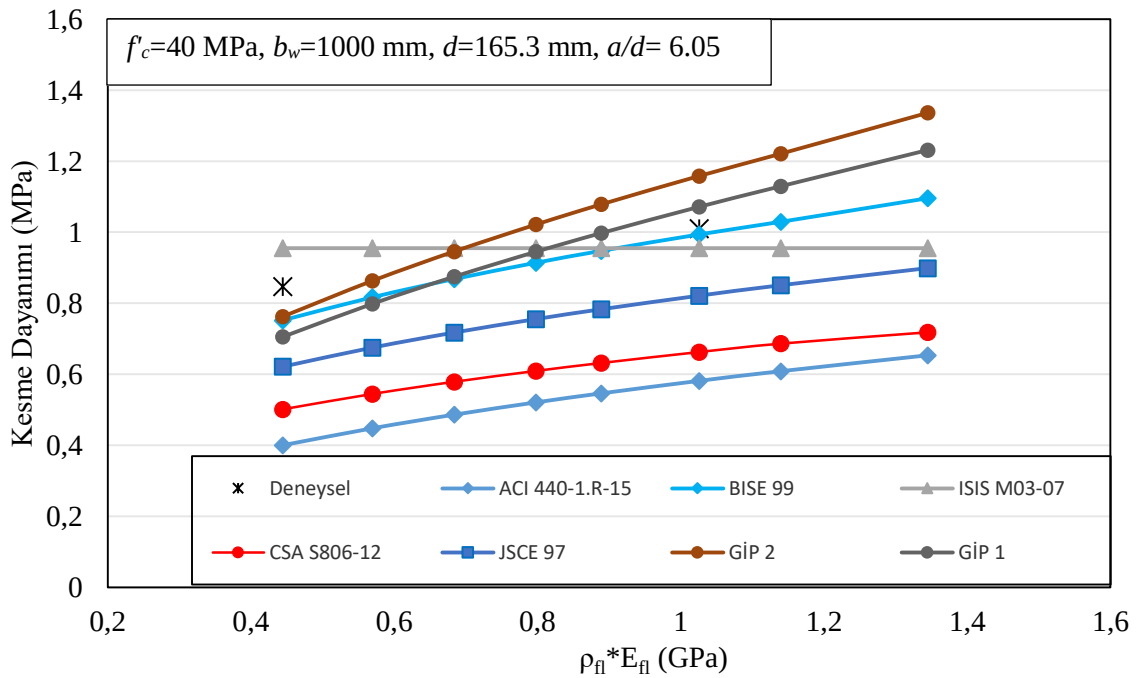
ISIS-M03-07 tarafından önerilen denklem aracılığı ile elde edilen sonuçların özellikle $d < 300$ mm'ye sahip CFRP donatılı betonarme kirişler için güvensiz yönde sonuçlar verdiği belirlenmiştir. ISIS modelinin güvensiz yönde sonuçlar verdiği bu kirişlerin çoğunda a/d oranının 3'den büyük olduğu görülmüştür. Bu durum ISIS M03-07 modelinin betonun kesme dayanımına olan katkısında boyuna donatı oranı ve a/d oranı gibi bazı kesme dayanımı ile ilgili parametrik değişkenleri göz önünde bulundurmamasından kaynaklanabilmektedir. Bununla birlikte CSA S806-12 modeli de $d > 300$ mm ye sahip CFRP donatılı kirişler için kesme dayanımı değerlerini gereğinden fazla güvenli yönde vermektedir. Bu durum bu modelin $d > 300$ mm için $E_f = 50$ GPa kabul etmesinden kaynaklanmaktadır. Bu elastisite modülü değeri GFRP ve AFRP donatılarının elastisite modülü değerlerine yakın olmakta fakat CFRP donatısının elastisite modülü değerinden oldukça düşük bir değerdir. Bu durumda özellikle $d > 300$ mm'ye sahip CFRP boyuna donatılı betonarme kesitlerin kesme dayanımı hesaplanırken oldukça güvenli yönde sonuçlar ortaya çıkmasına neden olmaktadır. BISE 99 ve GİP tarafından geliştirilen modellerin genelde farklı parametrik değişkenlerin değişimi için deneysel sonuçlarla uyum içerisinde olduğu görülmüştür.

7.1.1. Kesme ile ilgili parametreleri gözönünde bulunduran parametrik çalışma

Bu çalışma kapsamında kesme dayanımını etkileyen boyuna donatı oranı, beton dayanımı ve a/d oranı gibi değişkenlerin FRP boyuna donatılı kayma donatısız betonarme kirişlerin kesme dayanımı üzerine olan etkisini irdeleyen parametrik bir çalışma yapılmıştır.

Boyuna donatı oranının kesme dayanımı üzerine olan etkisi

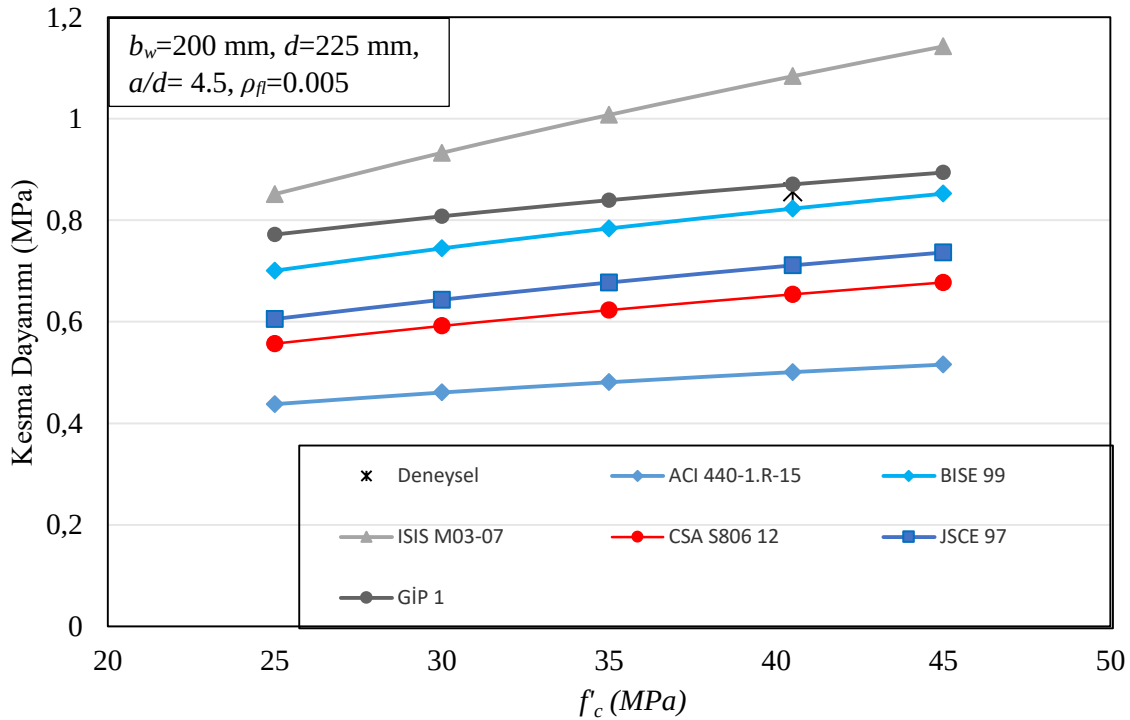
Kesit geometrisi ve malzeme dayanımları daha önceden yüklemeye tabi tutulan kirişlerle benzer özellikte olan FRP donatılı kirişler gözönünde bulundurularak boyuna donatı oranının kesme dayanımı üzerine olan etkisi irdelenmiştir. Bu kirişlerde tüm özellikler aynı olup sadece kesit içerisindeki boyuna donatı oranı değiştirilerek kesme dayanımının değişimi elde edilmiştir (Şekil 7.5.). Şekilden GİP 1 ve diğer yönetmelikler tarafından elde edilen kesme dayanımı değerlerinin ($\rho_{fl} * E_{fl}$)'ye göre değişimi görülmektedir. Elde edilen sonuçlara bağlı olarak kesme dayanımının boyuna donatı oranı arttıkça arttığı görülmüştür. ISIS M03-07 modeli hariç, göz önüne alınan diğer tüm modellerde boyuna donatı oranının kesme dayanımı üzerine lineer olmayacak şekilde benzer bir etkiye sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. GİP 1 modelinde elde edilen sonuçlardan da görüldüğü üzere boyuna donatı oranı arttıkça kesme dayanımındaki artım azalmaktadır.



Şekil 7.5. Modellerden elde edilen kesme dayanımı değerlerinin boyuna donatı oranına göre değişimi

Beton dayanımının kesme dayanımı üzerine olan etkisi

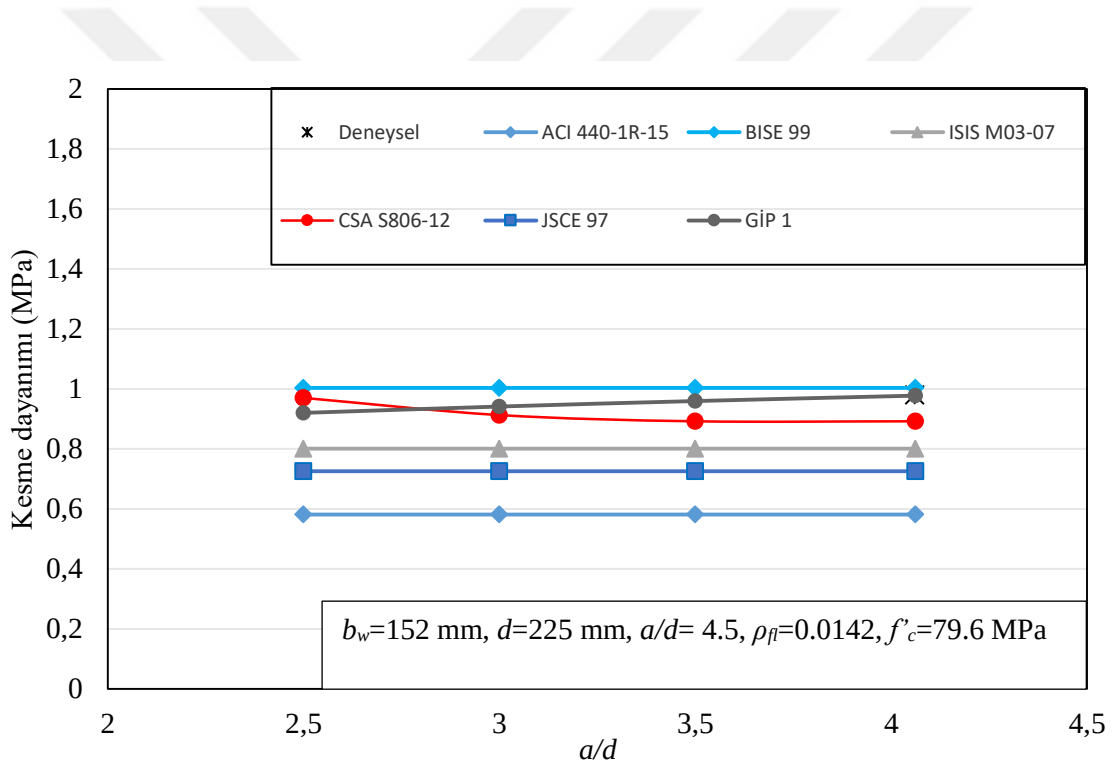
Beton dayanımının kesme dayanımı üzerine olan etkisini irdelemek amacıyla kesit geometrisi ve FRP donatı oranları daha önceden yüklemeye tabi tutulan kirişlerle benzer özellikte olan kirişler gözönünde bulundurulmuştur. Kirişlerde tüm özellikler aynı olup sadece beton dayanımı değiştirilerek kesme dayanımının değişimi elde edilmiştir (Şekil 7.6). Elde edilen sonuçlara bağlı olarak kesme dayanımının beton dayanımı arttıkça arttığı görülmüştür. Tüm modeller beton basınç dayanımını, FRP donatılı betonarme kirişlerin kesme dayanımı denklemlerinde gözönünde bulundurmaktadır. Ancak bu modellerde beton basınç dayanımı kesme dayanımı üzerinde farklı büyüklüklerde olacak şekilde hesaba katılmaktadır. Şekil 7.6'dan gerek GİP tarafından geliştirilen gerekse diğer yönetmelikler tarafından önerilen modellerde (ISIS hariç olmak üzere) beton dayanımının kesme dayanımı üzerinde benzer bir etkiye sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 7.6. Modellerden elde edilen kesme dayanımı değerlerinin beton dayanımına göre değişimi

Kesme açıklığının etkili kesit yüksekliğine olan oranının (a/d) kesme dayanımı üzerine olan etkisi

Kesme açıklığının etkili kesit yüksekliğine olan oranının (a/d) FRP donatılı betonarme kirişlerin kesme dayanımı üzerine olan etkisi Şekil 7.7’de gösterilmiştir. Şekilde gösterilen kirişlerde tüm özellikler aynı olup sadece (a/d) oranı değiştirilerek kesme dayanımının değişimi elde edilmiştir. ACI 440.1R-15, JSCE 97, BISE 99 ve ISIS M03-07 modelleri (a/d) oranını kesme dayanımı denklemlerinde gözönünde bulundurmazken, CSA S806-12 ve GİP 1 tarafından geliştirilen modeller bu değeri kesme dayanımı denklemlerinde ihmal edilebilecek düzeylerde hesaba katmaktadırlar. Şekilden (a/d) oranının kesme dayanımı üzerinde ihmal edilebilecek düzeyde olan bir etkiye sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

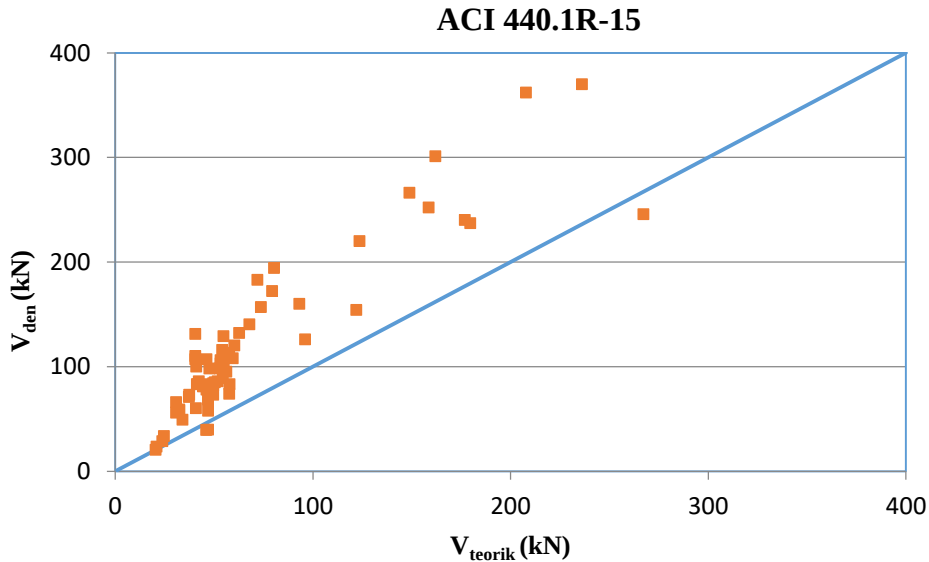


Şekil 7.7. Modellerden elde edilen kesme dayanımı değerlerinin a/d 'ye göre değişimi

7.2. Kayma Donatılı Kirişler İçin Elde Edilen Sonuçların Değerlendirilmesi

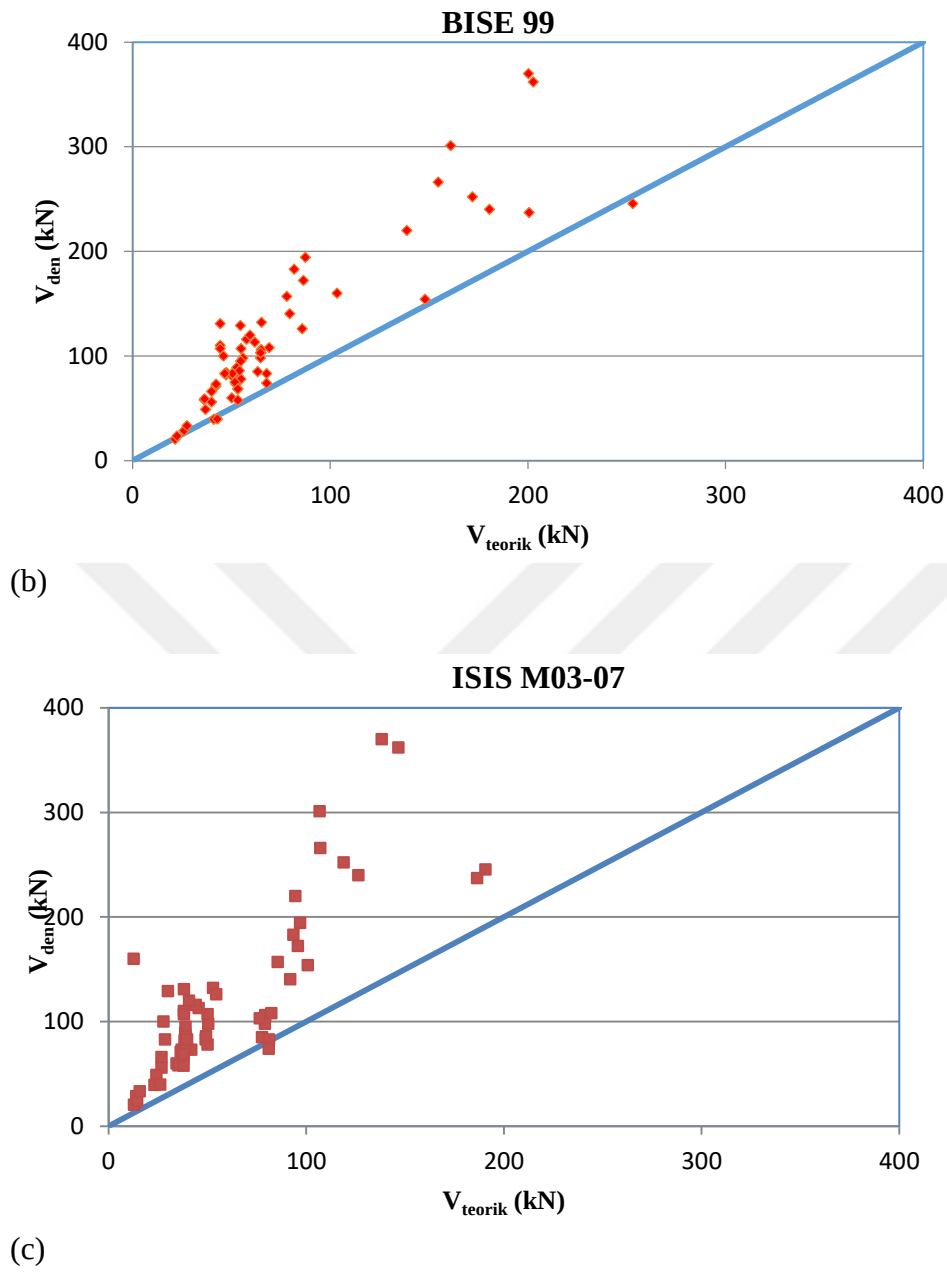
FRP boyuna ve kayma donatısına sahip betonarme kirişlerin kesme dayanımı için, farklı yönetmelikler ve GİP modelleri aracılığı ile elde edilen değerlerin deneysel sonuçlarla karşılaştırılması Şekil 7.8’de gösterilmiştir. Deneysel olarak elde edilen kesme dayanımı değerlerinin teorik değerlere olan oranının ortalaması, standart sapması (SD) ve standart hata (AAE) değerlerinin karşılaştırılması da Çizelge 7.4’de sunulmuştur.

CSA S806-12 tarafından önerilen denklem aracılığı ile elde edilen toplam kesme kuvveti değerlerinin göz önüne alınan ülke yönetmelikleri içerisinde deneysel sonuçlara en yakın değerleri verdiği görülmüştür. Bununla birlikte JSCE 97 ve ISIS M03-07 tarafından önerilen modellerin de diğer yöntemlere göre oldukça güvenli yönde sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu yöntemler betonun kesme dayanımına olan katkısı için kabul edilebilir şekilde güvenli yönde sonuçlar verirken, toplam kesme dayanımı için oldukça güvenli yönde sonuçlar vermektedir. Bu modellerin bu şekilde güvenli yönde sonuçlar vermesinin nedeni, bu modeller hesaplanırken ε_{fv} değerinin elde edilmesinde kullanılan yöntemden kaynaklanmaktadır. (4.18b) ve (4.22b) denklemleri kullanılarak deneysel datalara ait, etriyelerde taşıma gücü anındaki şekil değiştirme değerleri elde edilmiş ve bu değerlerin 0,00067 ile 0,0038 arasında değişen düşük değerler olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu nedenle, gerek ISIS M03-07 gerekse JSCE 97 tarafından etriyelerin kesme dayanımı için önerilen denklemlerle elde edilen değerlerin kesme dayanımına olan katkısı oldukça düşük düzeyde kalmaktadır. Gerek ACI 440.1R-15 gerekse BISE 99 tarafından etriyelerin kesme dayanımına olan katkısı için önerilen denklemlerin daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Bununla birlikte CSA S806-12 tarafından önerilen ve GİP tarafından denklemlerden elde edilen sonuçların deneysel sonuçlara en yakın değerler verdiği görülmüştür.

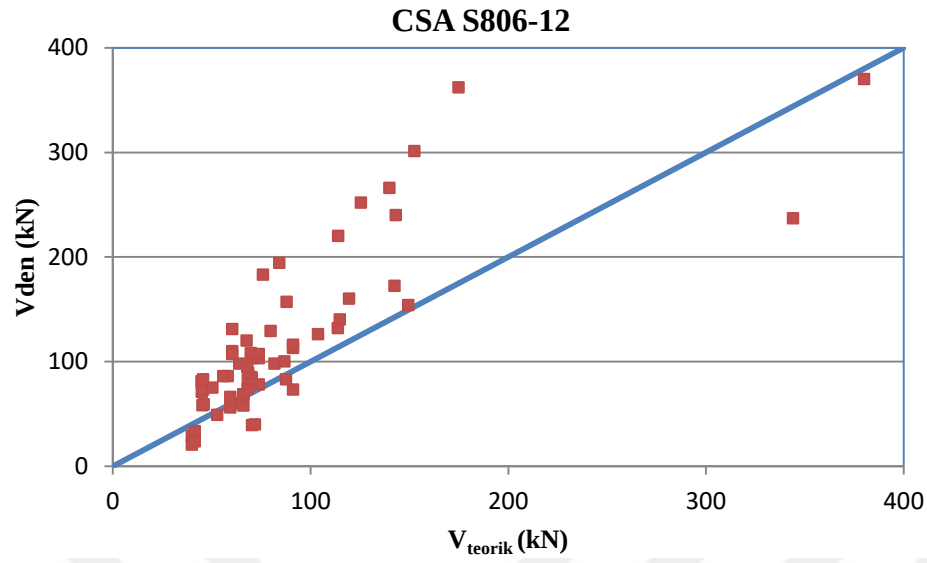


(a)

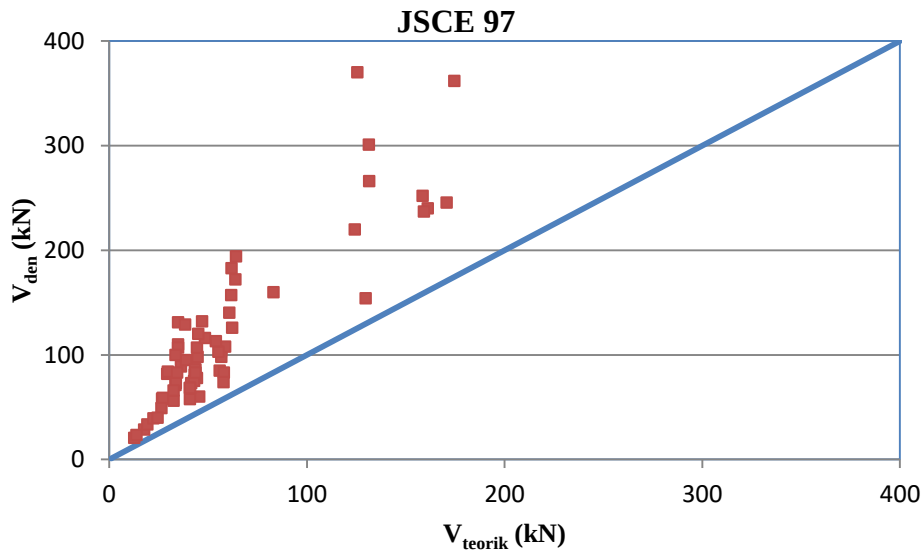
Şekil 7.8. FRP enine ve boyuna donatılı elemanlara ait deneysel sonuçlarla model sonuçlarının karşılaştırılması a) ACI 440.1R-15 b) BISE 99 c) ISIS M03-07 d) CSA S806-12 e) JSCE 97 f) GİP 3 g) GİP 4



Şekil 7.8. (devam) FRP enine ve boyuna donatılı elemanlara ait deneysel sonuçlarla model sonuçlarının karşılaştırılması a) ACI 440.1R-15 b) BISE 99 c) ISIS M03-07 d) CSA S806-12 e) JSCE 97 f) GİP 3 g) GİP 4

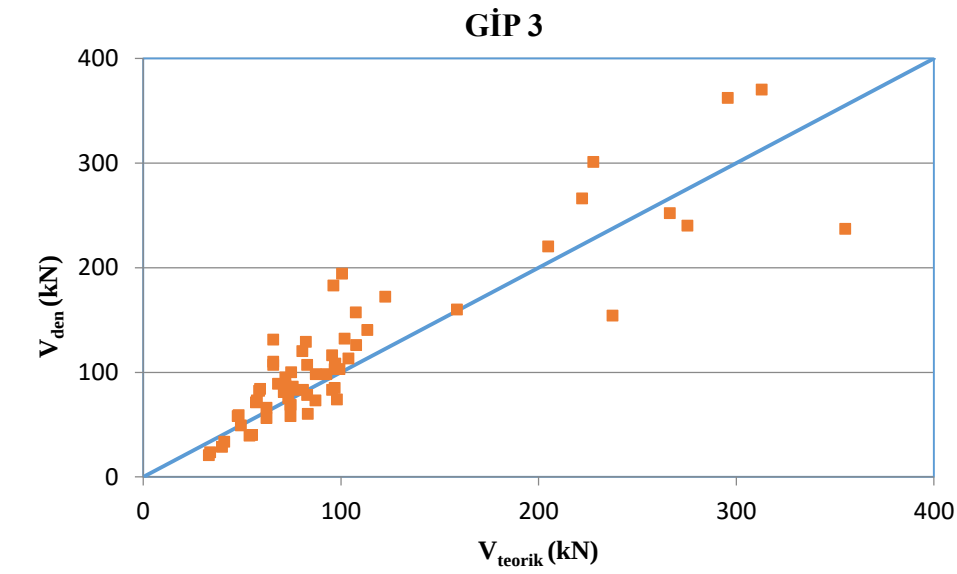


(d)

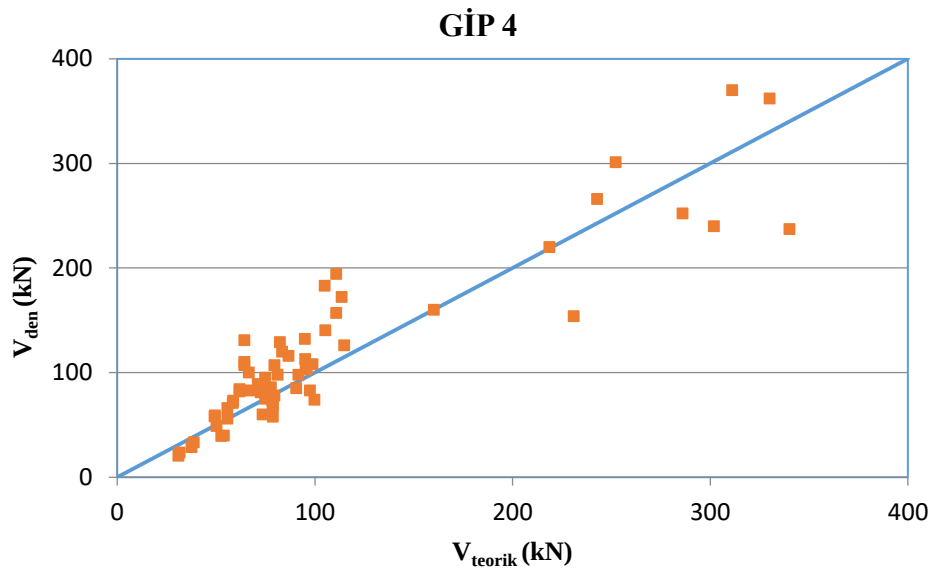


(e)

Şekil 7.8. (devam) FRP enine ve boyuna donatılı elemanlara ait deneysel sonuçlarla model sonuçlarının karşılaştırılması a) ACI 440.1R-15 b) BISE 99 c) ISIS M03-07 d) CSA S806-12 e) JSCE 97 f) GİP 3 g) GİP 4



(f)



(g)

Şekil 7.8. (devam) FRP enine ve boyuna donatılı elemanlara ait deneysel sonuçlarla model sonuçlarının karşılaştırılması a) ACI 440.1R-15 b) BISE 99 c) ISIS M03-07 d) CSA S806-12 e) JSCE 97 f) GİP 3 g) GİP 4

Çizelge 7.4. FRP enine ve boyuna donatılı betonarme elemanlar için deneysel ve teorik model sonuçlarının karşılaştırılması

Model	$V_{den.}/V_{model}$			AAE (%)
	Ortalama	SD	COV (%)	
ACI 440.1R-15	1,75	0,46	26,08	40,52
CSA S806-12	1,22	0,40	33,27	29,71
ISIS M03-07	1,82	0,547	30,13	41,02
JSCE 97	2,09	0,55	26,11	49,09
BISE 99	1,61	0,40	25,14	34,54
GİP 3	1,10	0,31	28,1	22,56
GİP 4	1,11	0,29	26,8	21,85

Çizelge 7.5. FRP Kayma donatılı elemanlar için deneysel ve teorik model sonuçlarının farklı parametrik değişken aralıklarına göre karşılaştırılması

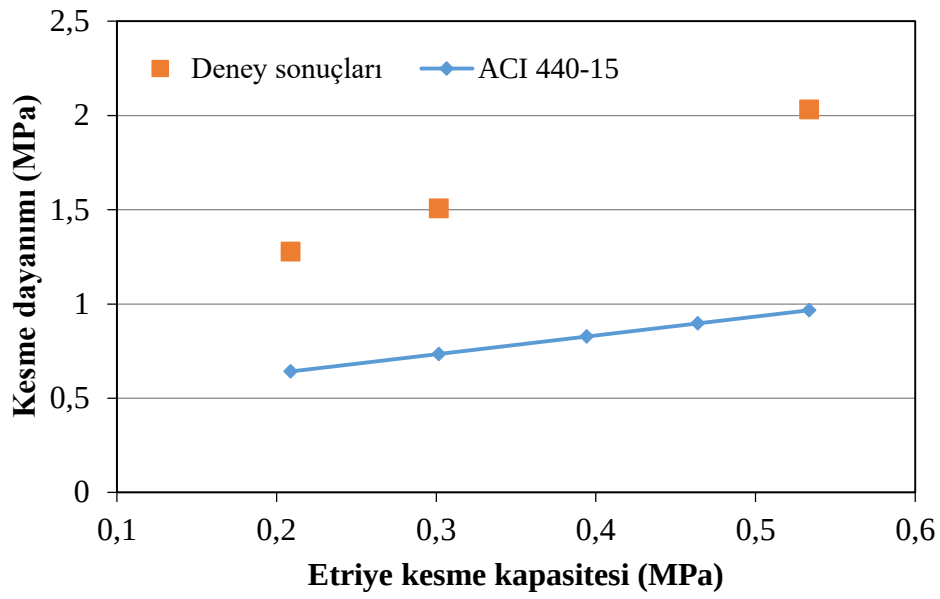
Değişken		ACI 440.1R-15		CSA S806-12		ISIS M03-07		JSCE 97		BISE 99		GİP 1	
		$V_{den.}/V_{model}$		$V_{den.}/V_{model}$		$V_{den.}/V_{model}$		$V_{den.}/V_{model}$		$V_{den.}/V_{model}$		$V_{den.}/V_{model}$	
		Ort.	SD	Ort.	SD	Ort.	SD	Ort.	SD	Ort.	SD	Ort.	SD
f_c (MPa)													
Aralık	Adet												
20-30	9	1,24	0,49	0,72	0,31	1,56	0,72	2,04	0,65	1,28	0,5	0,89	0,29
31-40	39	1,85	0,43	1,18	0,25	1,93	0,49	2,17	0,53	1,69	0,39	1,15	0,28
41-50	16	1,69	0,25	1,52	0,43	1,67	0,58	1,75	0,35	1,51	0,27	1,00	0,21
71-90	4	2,29	0,22	1,58	0,54	1,80	0,20	2,74	0,32	2,05	0,22	1,63	0,28
d (mm)													
Aralık	Adet												
100-200	6	1,06	0,20	0,60	0,10	1,27	0,27	1,67	0,06	1,03	0,11	0,73	0,06
201-300	31	1,98	0,43	1,23	0,32	2,08	0,48	2,39	0,56	1,82	0,39	1,30	0,30
301-400	18	1,79	0,31	1,29	0,24	1,47	0,33	1,87	0,40	1,53	0,29	1,03	0,18
401-500	9	1,63	0,20	1,65	0,43	2,08	0,44	1,92	0,50	1,58	0,27	1,04	0,20
601-1000	4	1,26	0,51	0,86	0,57	1,59	0,89	1,80	0,39	1,29	0,42	0,74	0,17
ρ_{fv} (%)													
Aralık	Adet												
0,04-0,1	12	1,71	0,31	1,32	0,31	1,46	0,53	1,75	0,39	1,47	0,31	0,95	0,22
0,11-0,2	20	1,92	0,27	1,34	0,34	1,80	0,31	2,04	0,40	1,66	0,25	1,16	0,28
0,21-0,3	20	1,47	0,40	1,06	0,47	1,68	0,5	2,02	0,5	1,43	0,39	1,03	0,31
0,31-0,4	6	1,96	0,46	1,20	0,30	2,31	0,67	2,46	0,70	1,83	0,43	1,22	0,26
0,41-1,3	10	1,96	0,73	1,22	0,50	2,25	0,57	2,53	0,65	1,93	0,56	1,30	0,36
E_{fv} (GPa)													
Aralık	Adet												
30-60	42	1,78	0,50	1,19	0,44	1,93	0,59	2,08	0,59	1,62	0,45	1,06	0,31
90-145	26	1,74	0,38	1,29	0,35	1,64	0,4	2,11	0,46	1,60	0,32	1,19	0,29

Elde edilen $V_{den.}/V_{model}$ sonuçlarının beton dayanımına bağlı olarak değerlendirilmesinde; beton dayanımının 41-50 MPa arasında olması durumunda GİP tarafından önerilen modellerin deneysel sonuçlara en yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. Elde edilen $V_{den.}/V_{model}$ sonuçlarının kesit yüksekliğine bağlı olarak değerlendirilmesinde ise, kesit yüksekliğinin 301-400 mm arasında olması durumunda GİP tarafından önerilen modellerin

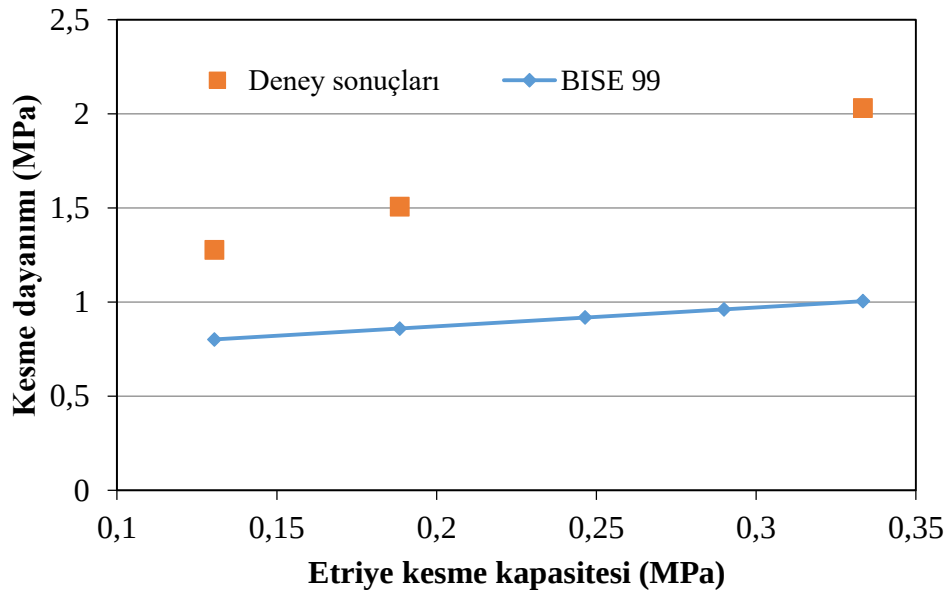
deneysel sonuçlara en yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. Elde edilen V_{den}/V_{model} sonuçlarının kayma donatısına bağlı olarak değerlendirilmesinde; kayma donatısı yüzdesinin 0.21-0.30 arasında olması durumunda CSA S806-12 ve GİP tarafından önerilen modellerden elde edilen sonuçların deneysel sonuçlara en yakın sonuçlar verdiği, JSCE 97 tarafından önerilen modelden elde edilen sonucun da deneysel sonuçlara göre uzak ve gereğinden fazla güvenli yönde sonuçlar verdiği görülmüştür. Elde edilen V_{den}/V_{model} sonuçlarının etriyenin elastisite modülüne bağlı olarak değerlendirilmesinde; etriyenin elastisite modülünün 30-60 GPa arasında olması durumunda GİP tarafından önerilen modellerin deneysel sonuçlara en yakın sonuçlar verdiği ve aynı aralıkta GİP ve CSA S806-12 tarafından önerilen modellerin benzer sonuçlar verdiği görülmüştür.

7.2.1. Etriye oranının kesme dayanımı üzerine olan etkisi

Etriyenin kesme dayanımı üzerine olan etkisini irdelemek amacıyla kesit geometrisi ve malzeme dayanımları daha önceden yüklemeye tabi tutulan kirişlerle benzer özellikte olan FRP donatılı kirişler gözönünde bulundurulmuştur. Bu kirişlerde tüm özellikler aynı olup sadece kesit içerisindeki etriye oranı değiştirilerek ($\rho_{fv}=0,009; 0,013; 0,017; 0,020; 0,023$) kesme dayanımının ($v=V/(b_w*d)$) etriye kesme kapasitesine göre değişimi elde edilmiştir. Şekil 7.9.(a-g)'den GİP ve diğer yönetmelikler tarafından elde edilen kesme dayanımı değerlerinin etriye kesme kapasitesi ($\rho_{fv}*E_{fv}*(0,0025 \text{ veya } 0,004)$ veya $\rho_{fv}*f_{bend}$) değerlerine göre değişimi görülmektedir. Elde edilen sonuçlara bağlı olarak kesme dayanımının etriye oranı arttıkça arttığı görülmüştür. ACI 440.1R-15 ve JSCE 97 modeli hariç diğer modellerde etriye oranının kesme dayanımı üzerine olan etkisinin benzer olduğu görülmüştür. Etriye oranının %156 arttırılmasıyla kesme dayanımının ACI 440.1R-15 modelinde %50 artmasına karşın, BISE 99, ISIS M03-07 ve GİP modelinde sırasıyla %24.7, %23 ve %26 arttığı görülmüştür. Bununla birlikte JSCE 97 modelinde ise bu artımın yaklaşık olarak %7 civarında oldukça düşük düzeyde olduğu görülmüştür. Elde edilen sonuçlara bağlı olarak GİP modelinden elde edilen sonuçların modeller içerisinde en uygun sonucu verdiği ve deney sonuçlarıyla uyum içerisinde olduğu gözlenmiştir.

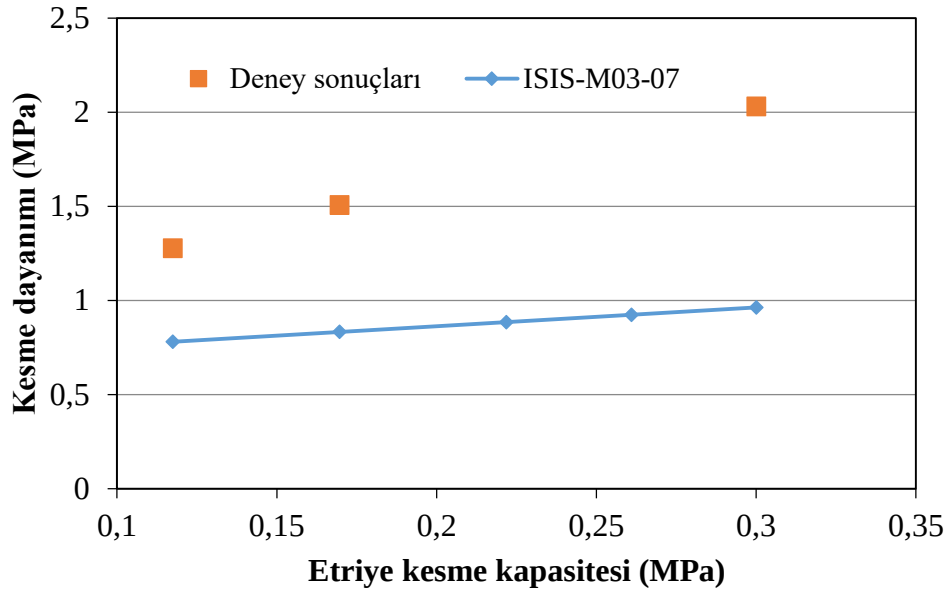


(a)

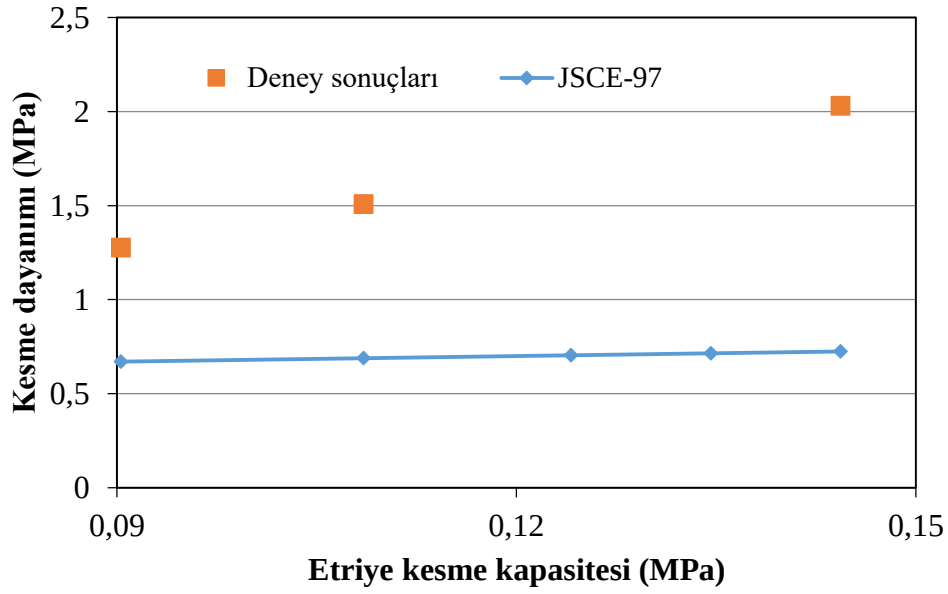


(b)

Şekil 7.9. FRP kayma ve boyuna donatılı elemanlarda kayma donatısının kesme dayanımına etkisi a) ACI 440.1R-15 b) BISE 99 c) ISIS M03-07 d) JSCE 97 e) GİP3

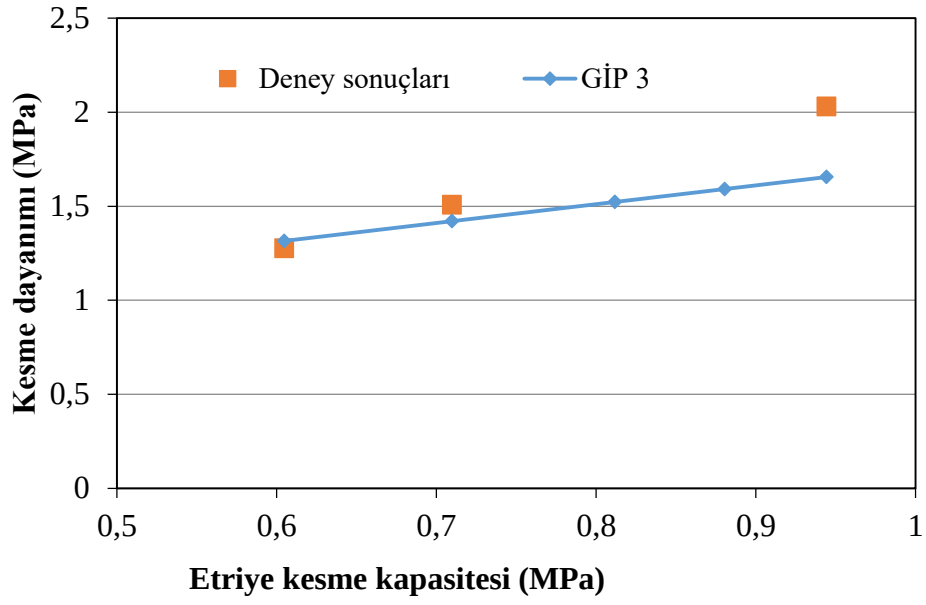


(c)



(d)

Şekil 7.9. (devam) FRP kayma ve boyuna donatılı elemanlarda kayma donatısının kesme dayanımına etkisi a) ACI 440.1R-15 b) BISE 99 c) ISIS M03-07 d) JSCE 97 e) GİP3



(e)

Şekil 7.9. (devam) FRP kayma ve boyuna donatılı elemanlarda kayma donatısının kesme dayanımına etkisi a) ACI 440.1R-15 b) BISE 99 c) ISIS M03-07 d) JSCE 97 e) GİP3



8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

8.1. Sonuçlar

Bu tez çalışmasında, literatürden elde edilen 228 adet FRP donatılı betonarme kirişe ait kesme dayanımı değerleri kullanılarak, FRP donatılı betonarme kirişlerin kesme dayanımı için, GİP yöntemi ile farklı modeller geliştirilmiştir. GİP algoritmaları *GeneXproTools* 4.0.954 paket programı üzerinde çalıştırılmıştır. ACI 440.1R-15, (2015), CSA S806-12, (2012), ISIS M03-07, (2007), JSCE 97, (1997) ve BISE 99, (1999) yönetmeliklerinde önerilen denklemler ve GİP yöntemi ile elde edilen denklemler aracılığı ile hesaplanan kesme dayanımı sonuçları, betonun kesme dayanımına olan katkısı ve kayma donatılarının kesme dayanımına olan katkısı ayrı ayrı gözönüne alınarak, deneysel sonuçlarla karşılaştırılmış ve bu yönetmeliklerde önerilen modellerin ayrıntılı olarak bir değerlendirmesi yapılmıştır.

ACI 440.1R-15 tarafından betonun kesme dayanımına olan katkısı için önerilen denklemin dayanım azaltma katsayıları uygulanmaksızın bile deneysel sonuçlara göre oldukça güvenli yönde sonuçlar verdiği görülmüştür. ISIS M03-07 tarafından V_c için önerilen model ise, kesme dayanımını etkileyen bazı parametreleri gözönünde bulundurmamasına karşın CSA S806-12, JSCE 97 yönetmeliklerinden elde edilen değerlere göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu çalışma kapsamında gözönünde bulundurulan yönetmelikler arasında BISE 99 tarafından önerilen modelin deneysel sonuçlara en yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. Diğer yandan GİP tarafından betonun kesme dayanımına olan katkısı için geliştirilen geliştirilen modellerin tüm yönetmelikler tarafından önerilen modellere göre daha iyi sonuçlar verdiği sonucuna ulaşılmıştır.

Elde edilen sonuçlara bağlı olarak betonun kesme dayanımına olan katkısı için yönetmelikler tarafından önerilen tüm modellerin güvenli yönde sonuçlar verdiği ve en yüksek ve en düşük güvenli yönde sonuçlar arasındaki farkın %10 ile %96 arasında değiştiği görülmüştür. Bu durum, çelik donatılı betonarme elemanların kesme dayanımı için önerilen denklemin değişik modeller tarafından farklı şekillerde modifiye edilmesinden kaynaklanmaktadır.

GİP tarafından geliştirilen ve farklı yönetmelikler tarafından önerilen denklemler aracılığı ile elde edilen kesme dayanımı değerlerinin boyuna donatı oranı, etkili derinlik a/d oranı ve etriye yüzdesi gibi farklı parametrik değişkenlere bağlı olarak değişimi incelenmiştir. Yönetmeliklerdeki tüm modeller beton basınç dayanımını, FRP donatılı betonarme kirişlerin kesme dayanımı denklemlerinde gözönünde bulundurmakta fakat bu modellerde beton basınç dayanımı kesme dayanımı üzerinde farklı büyüklüklerde hesaba katılmaktadır. Beton basınç dayanımı arttıkça kesme dayanımı arttığı sonucuna ulaşılmıştır. Bununla birlikte a/d oranının kesme dayanımı üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığı görülmüştür. Ayrıca ISIS M03-07 modeli hariç, göz önüne alınan diğer tüm modeller ve geliştirilen GİP modelinde boyuna donatı oranının kesme dayanımı üzerine lineer olmayacak şekilde benzer bir etkiye sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Kayma donatısız FRP donatılı elemanlar için, elde edilen V_{den}/V_{model} sonuçlarının beton dayanımına bağlı olarak değerlendirilmesinde; beton dayanımının 51-90 MPa arasında olması durumunda GİP tarafından önerilen modellerin deneysel sonuçlara en yakın sonuçlar verdiği ve aynı aralıkta GİP tarafından önerilen modellerin BISE 99 ve ISIS M03-07 tarafından önerilen modellerle benzer sonuçlar verdiği görülmüştür. Elde edilen V_{den}/V_{model} sonuçlarının kesit yüksekliğine bağlı olarak değerlendirilmesinde, kesit yüksekliğinin 100-200 mm arasında olması durumunda GİP tarafından önerilen modellerin deneysel sonuçlara en yakın sonuçlar verdiği ve aynı aralıkta GİP tarafından önerilen modellerin ISIS-M03-07 tarafından önerilen modelle benzer sonuçlar verdiği görülmüştür. Elde edilen V_{den}/V_{model} sonuçlarının boyuna donatı oranına bağlı olarak değerlendirilmesinde ise; boyuna donatı oranının 1,76-2,25 arasında olması durumunda GİP ve BISE 99 tarafından önerilen modellerin deneysel sonuçlara en yakın sonuçlar verdiği görülmüştür.

ISIS M03-07 ve JSCE 97 tarafından etriyelerin kesme dayanımı için önerilen denklemlerle elde edilen değerlerin kesme dayanımına olan katkısının oldukça düşük düzeyde kaldığı görülmüştür. BISE 99 betonun kesme dayanımına olan katkısı için yönetmelikler arasında en iyi sonucu verirken, toplam kesme dayanımı için en iyi sonucu ISIS M03-07 tarafından önerilen modelin verdiği görülmüştür. Bu çalışma kapsamında geliştirilen GİP modellerinin betonun kesme dayanımına olan katkısı gibi, toplam kesme dayanımı için de en uygun sonucu verdiği görülmüştür. Bu durum GİP modeli ile kesme donatılarının katkısının iyi bir şekilde tahmin edildiği sonucunu ortaya çıkarmaktadır.

ACI 440.1R-15 ve JSCE 97 modeli hariç diğer modellerde etriye oranının kesme dayanımı üzerine olan etkisinin benzer olduğu görülmüştür. Etriye oranının artmasıyla kesme dayanımındaki en büyük artış ACI 440.1R-15 modelinde, en küçük artış ise JSCE 97 modelinde elde edilmektedir. Diğer yönetmelik modelleri ve GİP modellerinde ise etriye oranının artmasıyla kesme dayanımındaki artış benzer oranlarda olmaktadır.

FRP kayma donatılı elemanlar için, elde edilen V_{den}/V_{model} sonuçlarının beton dayanımına bağlı olarak değerlendirilmesinde; beton dayanımının 41-50 MPa arasında olması durumunda GİP tarafından önerilen modellerin deneysel sonuçlara en yakın sonuçlar verdiği diğer ülke yönetmelikleri tarafından önerilen modellerin GİP tarafından önerilen modellere göre daha uzak sonuçlar verdiği görülmüştür. Elde edilen V_{den}/V_{model} sonuçlarının kesit yüksekliğine bağlı olarak değerlendirilmesinde ise, kesit yüksekliğinin 301-400 mm arasında olması durumunda GİP tarafından önerilen modellerin deneysel sonuçlara en yakın sonuçlar verdiği ve aynı aralıkta GİP tarafından önerilen modellerin CSA S806-12 tarafından önerilen modelle benzer sonuçlar verdiği görülmüştür. Elde edilen V_{den}/V_{model} sonuçlarının kayma donatısına bağlı olarak değerlendirilmesinde; kayma donatısı yüzdesinin 0.21-0.30 arasında olması durumunda CSA S806-12 ve GİP tarafından önerilen modellerden elde edilen sonuçların deneysel sonuçlara en yakın sonuçlar verdiği görülmüştür.

8.2. Öneriler

FRP donatılı betonarme kirişlerin kesme dayanımı için uluslararası standartlar tarafından önerilen modellerin deneysel sonuçlara göre oldukça farklı sonuçlar verebildiği görülmüştür. Bu çalışmada karşılaştırmada kullandığımız standart denklemlerin, önerdiğimiz modelle birlikte literatürde yer alan diğer yeni modeller de göz önüne alınarak yeniden düzenlenmesinin uygun olacağı düşünülmektedir.

Bu çalışma kapsamında kesme açıklığının etkili derinliğe olan oranı (a/d) 2.5'a eşit veya bu değerden büyük olan FRP donatılı kirişlerin kesme dayanımı için GİP aracılığı ile modeller geliştirilmiştir. (a/d) oranı 2.5'den küçük olan ve derin kiriş olarak adlandırılan kirişlerin kesme dayanımı ise bu konuda yapılacak olan deneysel çalışmaların da artmasıyla birlikte farklı modeller geliştirilmesiyle mevcut yönetmeliklere ışık tutulabilir.

Farklı yönetmelikler tarafından önerilen modellerin yeniden güncellenmesi halinde ve yeni deneysel sonuçların da literatüre eklenmesiyle birlikte, bu modeller gelecekte yapılacak olan çalışmalarla yeniden değerlendirilebilir.

Öngermeli FRP donatısı içeren betonarme kirişlerin kesme dayanımı bu tez kapsamına alınmamıştır. Gelecekte ngermeli FRP donatısı içeren kiriş eleman uygulamalarının artacağı düşünülerek bu elemanların kesme dayanımı için gerçekçi modellerin geliştirilmesi oldukça önemli olacaktır.



KAYNAKLAR

- Alam, M. S. (2010). *Influence of different parameters on shear strength of FRP reinforced concrete beams without web reinforcement*. PhD Thesis. University of Newfoundland, Canada.
- Alkhrdaji, T., Wideman, M., Belarbi, A. and A. Nanni. (2001). *Shear strength of GFRP RC beams and slabs*. Proceedings of International Workshop on Composites in Construction, Porto, Portugal, 409-414.
- Alsayed, S.H., Al-Salloum, Y.A., Almusallam, T.H. (1997). *Shear design for beams reinforced by GFRP bars*. Proceedings of Third International Symposium on Non-metallic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures, 285-292.
- Alsayed, S.H. (1998). Flexural behaviour of concrete beams Reinforced with GFRP bars. *Chemical Concrete Composites*, 20(1), 1-11.
- American Concrete Institute (ACI). (2001). *Guide for the design and construction of concrete reinforced with FRP bars*. Technical Committee Document No. 440.1R-01. Michigan: Farmington Hills.
- American Concrete Institute (ACI). (2006). *Guide for the design and construction of concrete reinforced with FRP bars*. Technical Committee Document No. 440.1R-06. Michigan: Farmington Hills.
- American Concrete Institute (ACI). (2015). *Guide for the design and construction of concrete reinforced with FRP bars*. Technical Committee Document No. 440.1R-15. Michigan: Farmington Hills.
- Ascione, L., Mancusi, G., and Spadea, S. (2010). Flexural behaviour of concrete beams Reinforced with GFRP bars. *Strain*, 46(5), 460-469.
- Ashour, A.F. (2006). Flexural and shear capacities of concrete beams reinforced with GFRP bars. *Construction and Building Materials*, 20, 1005-1015.
- Bentz, E.C., Massam, L., Collins, M.P. (2010). Shear strength of large concrete members with FRP reinforcement. *Journal of Composites for Construction*, 14(6), 637-646.
- British Institution of Structural Engineers (BISE). (1999). *Interim guidance on the design of reinforced concrete structures using fiber composite reinforcement*. SETO Company Standards, England: London.
- Canadian Standards Associations (CSA). (2002). *Design and construction of building components with fibre-reinforced polymers*. Canadian Standards S806-02. Ontario, Canada: Rexdale.
- Canadian Standards Associations (CSA). (2012). *Design and construction of building components with fibre-reinforced polymers*. Canadian Standards S806-12. Ontario, Canada: Rexdale.

- Çolak, O. (2006). *CNC freze tezgahı için kesme parametrelerinin akıllı yöntemlerle elektronik ortamda optimizasyonu*, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Dayık, M. (2005). *Dokumada çözgü gerginliği değişiminin optimizasyonu*, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Deitz, D.H., Harik, I.E. and Gesund, H. (1999). *One-way slabs reinforced with glass fiber reinforced polymer reinforcing bars*. Proceedings of Fourth International Symposium on Fiber Reinforced Polymer Reinforcement for Reinforced Concrete Structures, Japan Concrete Institute, Tokyo, Japan, 279-286.
- Duranovic, N., Pilakoutas, K., Waldron, P. (1997). *Estes on concrete beams reinforced with glass fiber reinforced plastic bars*. Proceedings of Third International Symposium on Non-metallic (FRP) Reinforcement for Concrete Structure, Japan Concrete Institute, Tokyo, Japan, 479-486.
- El-Sayed, A., El-Salakawy, E., Benmokrane, B. (2005). Shear strength of one-way concrete slabs reinforced with fiber-reinforced polymer composite bars. *Journal of Composites for Construction*, 9(2), 147-157.
- El-Sayed, A.K., El-Salakawy, E.S., and Benmokrane B. (2006a). Shear capacity of high-strength concrete beams reinforced with FRP bars. *ACI Structural Journal*, 383-389.
- El-Sayed, A.K., El-Salakawy, E.F. and Benmokrane, B. (2006b). Shear strength of FRP-reinforced concrete beams without transfers reinforcement. *ACI Structural Journal*, 235-243.
- El-Sayed, A.K., El-Salakawy, E.S., and Benmokrane, B. (2010). Performance evaluation of glass fiber –reinforced polymer shear reinforcement for concrete beams. *ACI Structural Journal*, 53-62, 2010.
- Ersoy, U. ve Özcebe G. (2012). *Betonarme*. İstanbul: Evrim Yayınevi.
- Ferreira, C. (2001a). Gene expression programming: a new adaptive algorithm for solving problems. *Complex Systems*, 13(2), 87-129.
- Ferreira, C. (2001b). *Gene expression programming in problem solving*, WSC6 tutorial, 1-22.
- Ferreira, C. (2002). Genetic representation and genetic neutrality in gene expression programming. *Advances in Complex Systems*, 5(4), 389-408.
- Ferreira, C. (2004). *Gene expression programming and the evolution of computer programs*, Biologically Inspired Computing, New York: Idea Group Publishing, 82-103.
- Ferreira, C. (2006). *Automatically defined functions in gene expression programming*, Studies in Computational Intelligence, New York: Springer-Verlag, 13, 21-56.

- Fico, R., (2006). Limit States Design of Concrete Structures Reinforced with FRP Bars, PhD Thesis, University of Naples Federico II, Italy.
- Lopes, H.S. and Weinert, W.R. (2004). A gene expression programming system for time series modeling. *Computational Methods in Engineering*, 1-13.
- Gross, S.P., Dinehart D.W., Yost J.R. and Theisz, P.M. (2004). *Experimental tests of high-strength concrete beams reinforced with CFRP bars*. Proceedings of Fourth International Conference on Advanced Composite Materials in Bridges and Structures, Calgary, Alberta, Canada, 8-17.
- Gross, S.P., Yost, J.R., Dinehart, D.W., Svensen E. and Liu N. (2003). *Shear strength of normal and high strength concrete beams reinforced with GFRP bars*. Proceedings of International Conference on High Performance Materials in Bridges, Kona, Hawaii, 426-437.
- Grace, N.F., Soliman, A.K., Abdel-Sayed, G. and Saleh, K.R. (1998). Behavior and ductility of simple and continuous FRP reinforced beams. *Journal of Composites for Construction*, 4(2), 186-194.
- Güven, A. and Aytek, A. (2009). New approach for stage-discharge relationship: Gene-expression programming. *Journal of Hydrologic Engineering*, 14(8), 812-820.
- Habeeb, M.N. and Ashour A.F. (2006). Flexural Behavior of Continuous Reinforced Concrete Beams. *Journal of Composites for Construction*, 12(1), 115-124.
- Haykin, S. (1999). *Neural Networks: A comprehensive foundation*. Canada: Prentice Hall.
- ISIS Canada. (2001). *Reinforcing concrete structures with fibre reinforced polymers*. ISIS M03-01, ISIS Canada Corporation, Canada.
- ISIS Canada. (2007). *Reinforcing concrete structures with fibre reinforced polymers*. ISIS M03-07, ISIS Canada Corporation, Canada.
- Japan Society of Civil Engineers (JSCE). (1997). *Recommendations for design and construction of concrete structures using continuous fibre reinforced materials*. Concrete Engineering series A, Tokyo, Japan.
- Kara, İ. F. (2011). Prediction of shear strength of FRP-reinforced concrete beams without stirrups based on genetic programming. *Advances in Engineering Software*, 42, 295-304.
- Lopes, H.S. and Weinert, W.R. (2004). Egipsys: An enhanced gene expression programming approach for symbolic regression problems, *International Journal of Applied Mathematics and Computer Science*, 14(3), 375-384.
- Lubell, A., Sherwood, T., Bents, E. and Collins M.P. (2004). Safe shear design of large, wide beams. *Concrete International*, 26(1), 67-78.

- Maruyama K, Zhao W.J. (1994). *Flexural and shear behaviour of concrete beams reinforced with FRP rods*. Corrosion and Corrosion Protection of Steel in Concrete, Swamy, R.N. (Editor), University of Sheffield, 1330-1339.
- Maruyama K, Zhao W. (1996). *Size effect in shear behavior of FRP reinforced concrete beams*. Advanced Composite Materials in Bridges and Structures. Montreal, Quebec, 227-234.
- Matta, F., Nanni, A., Hernandez, T.M., and Benmokrane B. (2008). *Scaling of strength of FRP reinforced concrete beams without shear reinforcement*. Proceedings of Fourth International Conference on FRP Composites in Civil Engineering, Zurich, Switzerland; 1-6.
- Michaluk, C.R., Rizkallana, S.H., Tadros, G., and Benmokrane, G. (1998). Flexural behavior of one-way concrete slabs reinforced by fiber reinforced plastic reinforcements. *ACI Structural Journal*, 95(3), 353-365.
- Mizukawa, Y, Sato, Y, Ueda, T, Kakuta, Y. (1997). *A study on shear fatigue behavior of concrete beams with FRP beams with FRP rods*. Proceedings of Third International Symposium on Non-metallic (FRP) Reinforcement for Concrete Structure, Japan Concrete Institute, 2, 309–316.
- Nakamura H, Higai T. (1995). Evaluation of shear strength of concrete beams reinforced with FRP, concrete library international. *Proceeding Japan Society Civil Engineering*, 26, 111–123.
- Niewels J. (2008). *Zum tragverhalten von betonbauteilen mit faserverbundkunststoffbewehrung*. PhD Thesis, RWTH Aachen University, Germany.
- Nehdi, M., El-Chabib, H. And Said, A. (2006). Evaluation of shear capacity of FRP reinforced concrete beams using artificial neural networks. *Smart Structures and Systems*, 2 (1), 81-100.
- Nehdi M., Chabib H, Aly Said A. (2007). Proposed shear design equations for FRP-reinforced concrete beams based on genetic algorithm approach. *Journal of Material of Civil Engineering, ASCE*, 19 (12), 1033-1042.
- Perera, R., Arteaga, A. and Diego, A.D. (2010). Artificial intelligence techniques for prediction of the capacity of RC beams strengtened in shear with external FRP reinforcement. *Composite Structures*, 92, 1169-1175.
- Razaqpur, G., Isgor, B.O., ASCE, A.M., Greenaway, S. and Selley, A. (2004). Concrete contrbution to the shear resistance of fiber reinforced polymer reinforced concrete members. *Journal of Composites for Construction*, 8(5), 452-460.
- Sarıdemir, M. (2012). Uçucu kül içeren beton özelliklerinin gen ifadeli programlama ile modellenmesi, *Niğde Üniversitesi BAP Projesi Raporu*, Niğde.

- Saridemir, M. (2010). Genetic programming approach for prediction of compressive strength of concretes containing rice husk ash. *Construction and Building Materials*, 24(10), 1911-1919.
- Saridemir, M. (2011). Empirical modeling of splitting tensile strength from cylinder compressive strength of concrete by genetic programming. *Expert Systems with Applications*, 38(11), 14257-14268.
- Shehata, E. (1999). *Fibre-reinforced polymer (FRP) for shear reinforcement in concrete structures*. PhD Thesis, University of Manitoba, Canada.
- Swamy R.N. and Aburawi M. (1997). *Structural implications of using GFRP bars as concrete reinforcement*. Proceedings of Third International Symposium on Non-metallic (FRP) Reinforcement for Concrete Structure, Japan Concrete Institute, 2, 503–510.
- Tariq, M. and Newhook, J.P. (2003). *Shear testing of FRP reinforced concrete without transverse reinforcement*. Proceedings of Canadian Society of Civil Engineering Annual Conference, Moncton, NB, Canada (CD-ROM).
- Tottori, S. and Wakui, H. (1993). *Shear capacity of RC and PC beams using FRP reinforcement*. Proceedings of international symposium on FRP reinforcement for concrete structures, ACI SP-138, Nanni A, Dolan C, (Editors). American Concrete Institute, 615–631.
- Toutanji, H. and Deng, Y. (2003). Deflection and crack-width prediction of concrete beams reinforced with glass FRP rods. *Construction and Building Materials*, 17(1), 69–74.
- Tureyen, A.K. and Frosch, R.J. (2002). Shear tests of FRP-reinforced concrete beams without stirrups. *ACI Structural Journal*, 99(4), 427–434.
- Viyaj, P.V. and GangaRao, H.V.V. (2001). Bending behavior and deformability of glass fibre-reinforced concrete member. *ACI Structural Journal*, 98(6), 834-842.
- Wegian, F.M. and Abdalla, H.A. (2005). Shear capacity of concrete beams reinforced with fiber reinforced polymers. *Composite Structures*, 71, 130-138.
- Yavuz, G. (2011). *Lif Takviyeli Polimerlerin Betonarme Kirişlerde Donatı Olarak Kullanımı*. International Participated Construction Congress, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye.
- Yost, J.R., Gross, S.P. and Dinehart, D.W. (2001). Shear strength of normal strength concrete beams reinforced with deformed GFRP bars. *Journal of Composites for Construction*, 268-275.
- Zhao, W. and Maruyama, K. (1995). *Shear behavior of concrete beams reinforced by FRP rods as longitudinal and shear reinforcement*. Proceedings of Fibre Reinforced Polymers for RC Structures, L. Taerwede., Ghent, 2, 352–359.



EKLER

EK-1. Kayma Donatısız FRP donatılı betonarme elemanlara ait deneysel datalar

Kaynak	b_w (mm)	d (mm)	f'_c (Mpa)	ρ_f (%)	E_f (GPa)	a/d	V_{deney} (kN)
El-Sayed ve diğerleri, 2006b	250	326	50	0,87	128	3,07	77,5
El-Sayed ve diğerleri, 2006b	250	326	50	0,87	39	3,07	70,5
El-Sayed ve diğerleri, 2006b	250	326	44,6	1,24	134	3,07	104
El-Sayed ve diğerleri, 2006b	250	326	44,6	1,22	42	3,07	60
El-Sayed ve diğerleri, 2006b	250	326	43,6	1,72	134	3,07	124,5
El-Sayed ve diğerleri, 2006b	250	326	43,6	1,71	42	3,07	77,5
El-Sayed ve diğerleri, 2006a	250	326	63	1,71	135	3,07	130
El-Sayed ve diğerleri, 2006a	250	326	63	1,71	42	3,07	87
El-Sayed ve diğerleri, 2006a	250	326	63	2,2	135	3,07	174
El-Sayed ve diğerleri, 2006a	250	326	63	2,2	42	3,07	115,5
Razaqpur ve diğerleri, 2004	200	225	40,5	0,25	145	2,67	36,1
Razaqpur ve diğerleri, 2004	200	225	49	0,5	145	2,67	47
Razaqpur ve diğerleri, 2004	200	225	40,5	0,63	145	2,67	47,2
Razaqpur ve diğerleri, 2004	200	225	40,5	0,88	145	2,67	42,7
Razaqpur ve diğerleri, 2004	200	225	40,5	0,5	145	3,56	49,7
Razaqpur ve diğerleri, 2004	200	225	40,5	0,5	145	4,22	38,5
Gross ve diğerleri, 2004	127	143	60,3	0,33	139	6,36	14,3
Gross ve diğerleri, 2004	127	143	60,3	0,33	139	6,36	12,9
Gross ve diğerleri, 2004	127	143	60,3	0,33	139	6,36	14,7
Gross ve diğerleri, 2004	159	141	61,8	0,58	139	6,45	19,8
Gross ve diğerleri, 2004	159	141	61,8	0,58	139	6,45	23,1
Gross ve diğerleri, 2004	159	141	61,8	0,58	139	6,45	17
Gross ve diğerleri, 2004	89	143	81,4	0,47	139	6,36	8,8
Gross ve diğerleri, 2004	89	143	81,4	0,47	139	6,36	11,7
Gross ve diğerleri, 2004	89	143	81,4	0,47	139	6,36	8,9
Gross ve diğerleri, 2004	121	141	81,4	0,76	139	6,45	14,3
Gross ve diğerleri, 2004	121	141	81,4	0,76	139	6,45	15,3
Gross ve diğerleri, 2004	121	141	81,4	0,76	139	6,45	16,6
Tariq ve Newhook, 2003	160	346	37,3	0,72	42	2,75	54,5
Tariq ve Newhook, 2003	160	346	37,3	0,72	42	2,75	63,7
Tariq ve Newhook, 2003	160	346	43,2	1,1	42	3,32	42,7
Tariq ve Newhook, 2003	160	346	43,2	1,1	42	3,32	42,5
Tariq ve Newhook, 2003	160	325	34,1	1,54	42	3,54	48,7
Tariq ve Newhook, 2003	160	325	34,1	1,54	42	3,54	44,9
Tariq ve Newhook, 2003	130	310	37,3	0,72	120	3,06	49,2
Tariq ve Newhook, 2003	130	310	37,3	0,72	120	3,06	45,8
Tariq ve Newhook, 2003	130	310	43,2	1,1	120	3,71	47,6
Tariq ve Newhook, 2003	130	310	43,2	1,1	120	3,71	52700
Tariq ve Newhook, 2003	130	310	34,1	1,54	120	3,71	55,9
Tariq ve Newhook, 2003	130	310	34,1	1,54	120	3,71	58,3
Gross ve diğerleri, 2003	203	225	79,6	1,25	40,3	4,06	41,6
Gross ve diğerleri, 2003	203	225	79,6	1,25	40,3	4,06	30,4
Gross ve diğerleri, 2003	203	225	79,6	1,25	40,3	4,06	42,1
Gross ve diğerleri, 2003	152	225	79,6	1,66	40,3	4,06	31
Gross ve diğerleri, 2003	152	225	79,6	1,66	40,3	4,06	33,1
Gross ve diğerleri, 2003	152	225	79,6	1,66	40,3	4,06	33,5
Gross ve diğerleri, 2003	165	224	79,6	2,1	40,3	4,08	38,4
Gross ve diğerleri, 2003	165	224	79,6	2,1	40,3	4,08	32,2

EK-1. (devam) Kayma Donatısız FRP donatılı betonarme elemanlara ait deneysel datalar

Gross ve diğerleri, 2003	165	224	79,6	2,1	40,3	4,08	36,7
Gross ve diğerleri, 2003	203	224	79,6	2,56	40,3	4,08	48,3
Gross ve diğerleri, 2003	203	224	79,6	2,56	40,3	4,08	45,7
Gross ve diğerleri, 2003	203	224	79,6	2,56	40,3	4,08	45,2
El-Sayed ve diğerleri, 2005	1000	165,3	40	0,39	114	6,05	140
El-Sayed ve diğerleri, 2005	1000	165,3	40	0,78	114	6,05	167
El-Sayed ve diğerleri, 2005	1000	160,5	40	1,18	114	6,23	190
El-Sayed ve diğerleri, 2005	1000	162,1	40	0,86	40	6,17	113
El-Sayed ve diğerleri, 2005	1000	159	40	1,7	40	6,29	142
El-Sayed ve diğerleri, 2005	1000	162,1	40	1,71	40	6,17	163
El-Sayed ve diğerleri, 2005	1000	159	40	2,44	40	6,29	163
El-Sayed ve diğerleri, 2005	1000	154,1	40	2,63	40	6,49	168
Tureyen ve Frosch, 2002	457	360	39,7	0,96	40,5	3,39	108,1
Tureyen ve Frosch, 2002	457	360	39,9	0,96	37,6	3,39	94,7
Tureyen ve Frosch, 2002	457	360	40,3	0,96	47,1	3,39	114,8
Tureyen ve Frosch, 2002	457	360	42,3	1,92	40,5	3,39	137
Tureyen ve Frosch, 2002	457	360	42,5	1,92	37,6	3,39	152,6
Tureyen ve Frosch, 2002	457	360	42,6	1,92	47,1	3,39	177
Yost ve diğerleri, 2001	229	225	36,3	1,11	40,3	4,06	39,1
Yost ve diğerleri, 2001	229	225	36,3	1,11	40,3	4,06	38,5
Yost ve diğerleri, 2001	229	225	36,3	1,11	40,3	4,06	36,8
Yost ve diğerleri, 2001	178	225	36,3	1,42	40,3	4,06	28,1
Yost ve diğerleri, 2001	178	225	36,3	1,42	40,3	4,06	35
Yost ve diğerleri, 2001	178	225	36,3	1,42	40,3	4,06	32,1
Yost ve diğerleri, 2001	229	225	36,3	1,66	40,3	4,06	40
Yost ve diğerleri, 2001	229	225	36,3	1,66	40,3	4,06	48,6
Yost ve diğerleri, 2001	229	225	36,3	1,66	40,3	4,06	44,7
Yost ve diğerleri, 2001	279	225	36,3	1,81	40,3	4,06	43,8
Yost ve diğerleri, 2001	279	225	36,3	1,81	40,3	4,06	45,9
Yost ve diğerleri, 2001	279	225	36,3	1,81	40,3	4,06	46,1
Yost ve diğerleri, 2001	254	224	36,3	2,05	40,3	4,08	37,7
Yost ve diğerleri, 2001	254	224	36,3	2,05	40,3	4,08	51
Yost ve diğerleri, 2001	254	224	36,3	2,05	40,3	4,08	46,6
Yost ve diğerleri, 2001	229	224	36,3	2,27	40,3	4,08	43,5
Yost ve diğerleri, 2001	229	224	36,3	2,27	40,3	4,08	41,8
Yost ve diğerleri, 2001	229	224	36,3	2,27	40,3	4,08	41,3
Alkhrdaji ve diğerleri, 2001	178	279	24,1	2,3	40	2,69	53,4
Alkhrdaji ve diğerleri, 2001	178	287	24,1	0,77	40	2,61	36,1
Alkhrdaji ve diğerleri, 2001	178	287	24,1	1,34	40	2,61	40,1
Deitz ve diğerleri, 1999	305	157,5	28,6	0,73	40	4,51	26,8
Deitz ve diğerleri, 1999	305	157,5	30,1	0,73	40	5,80	28,3
Deitz ve diğerleri, 1999	305	157,5	27	0,73	40	5,80	29,2
Deitz ve diğerleri, 1999	305	157,5	28,2	0,73	40	5,80	28,5
Deitz ve diğerleri, 1999	305	157,5	30,8	0,73	40	5,80	27,6
Mizukawa ve diğerleri, 1997	200	260	34,7	1,3	130	2,69	62,2
Duranovic ve diğerleri, 1997	150	210	32,9	1,36	45	3,65	22
Swamy ve Aburawi, 1997	154	222	39	1,55	34	3,15	19,5
Zhao ve Maruyama, 1995	150	250	34,3	1,51	105	3,00	45
Zhao ve Maruyama, 1995	150	250	34,3	3,02	105	3,00	46
Zhao ve Maruyama, 1995	150	250	34,3	2,27	105	3,00	40,5

EK-1. (devam) Kayma Donatısız FRP donatılı betonarme elemanlara ait deneysel datalar

Ashour, 2006	150	167,5	28,9	0,45	38	3,98	12,5
Ashour, 2006	150	212,3	28,9	0,71	32	3,14	17,5
Ashour, 2006	150	263	28,9	0,86	32	2,53	25
Ashour, 2006	150	162,6	50,2	1,39	32	4,10	17,5
Ashour, 2006	150	213,3	50,2	1,06	32	3,13	27,5
Ashour, 2006	150	262,12	50,2	1,15	32	2,54	30
Duranovic ve diğerleri, 1997	150	210	38,1	1,31	45	3,65	26,5
Lubell ve diğerleri, 2004	450	970	40	0,46	40	3,14	136
Tottori ve Wakui, 1993	200	325	44,6	0,7	137	3,23	98
Tottori ve Wakui, 1993	200	325	44,5	0,7	137	3,23	123
Tottori ve Wakui, 1993	200	325	45	0,7	137	3,23	118
Tottori ve Wakui, 1993	200	325	46,9	0,9	192	3,23	147
Tottori ve Wakui, 1993	200	325	46,9	0,9	192	3,23	93
Tottori ve Wakui, 1993	200	325	46,9	0,9	192	3,23	78
Tottori ve Wakui, 1993	200	325	46,9	0,9	58	3,23	152
Tottori ve Wakui, 1993	200	325	46,9	0,9	58	3,23	62
Tottori ve Wakui, 1993	200	325	46,9	0,9	58	3,23	47
Tottori ve Wakui, 1993	250	265	34,1	1,9	56	3,11	113
Tottori ve Wakui, 1993	250	265	22,9	1,9	56	3,11	83
Nakamura ve Higai, 1995	300	150	22,7	1,3	29	3,00	33
Nakamura ve Higai, 1995	300	150	27,8	1,8	29	3,00	36
Matta ve diğerleri, 2008	457	883	29,5	0,59	40,7	3,11	154,1
Matta ve diğerleri, 2008	457	880	29,5	1,18	40,7	3,12	220,7
Matta ve diğerleri, 2008	456	880	30,7	1,18	41,4	3,12	216,2
Matta ve diğerleri, 2008	114	294	59,7	0,59	40,8	3,11	15,2
Matta ve diğerleri, 2008	114	294	32,1	0,59	40,8	3,11	19,3
Matta ve diğerleri, 2008	114	294	32,1	0,59	40,8	3,11	18,1
Matta ve diğerleri, 2008	229	147	59,7	0,59	40,8	3,11	28,6
Matta ve diğerleri, 2008	229	147	32,1	0,59	40,8	3,11	36,8
Matta ve diğerleri, 2008	229	147	32,1	0,59	40,8	3,11	26,3
Ascione ve diğerleri, 2010	200	370	23,0	0,12	141,44	2,70	32,88
Ascione ve diğerleri, 2010	200	370	23,0	0,24	141,44	2,70	36,115
Ascione ve diğerleri, 2010	200	278	29,8	0,16	141,44	3,60	32,88
Ascione ve diğerleri, 2010	200	278	29,8	0,32	141,44	3,60	32,88
Ascione ve diğerleri, 2010	200	170	24,7	0,26	141,44	5,90	17,585
Ascione ve diğerleri, 2010	200	170	24,7	0,52	141,44	5,90	20,75
Alam, 2010	250	305	39,8	0,86	46,5	2,50	61
Alam, 2010	250	305	39,8	0,86	46,5	3,50	43,7
Alam, 2010	250	310	34,5	0,42	145,2	2,50	64,6
Alam, 2010	250	310	34,5	0,42	145,2	3,50	58,9
Alam, 2010	250	440	44,7	0,9	46,7	2,50	77,2
Alam, 2010	300	584	37,1	0,91	46,2	2,50	103,7
Alam, 2010	300	734	37,1	0,91	46,2	2,50	129,4
Alam, 2010	250	442	74,2	1,25	48,2	2,50	116,1
Alam, 2010	300	578	74,2	1,37	48,2	2,50	155,2
Alam, 2010	250	460	42,4	0,45	144,4	2,50	74,1
Alam, 2010	300	594	37	0,43	146,5	2,50	112,9
Alam, 2010	300	744	42,4	0,4	145	2,50	137,3
Alam, 2010	250	449	74,2	0,69	170,3	2,50	100,4
Alam, 2010	300	594	74,2	0,65	160,4	2,50	146,1

EK-1. (devam) Kayma Donatısız FRP donatılı betonarme elemanlara ait deneysel datalar

Alam, 2010	250	296	39,8	1,43	46,3	2,50	65,5
Alam, 2010	250	296	42,4	1,43	46,3	2,50	70,9
Alam, 2010	250	455	37,1	0,35	46,5	2,50	68
Alam, 2010	250	434	37,1	1,47	46,3	2,50	92,2
Alam, 2010	250	310	42,4	0,18	144,4	2,50	58,7
Alam, 2010	250	310	34,5	0,67	143,3	2,50	72,5
Alam, 2010	250	460	42,4	0,22	145,5	2,50	70,3
Alam, 2010	250	439	42,4	0,65	144,6	2,50	82,5
Alam, 2010	250	291	65,3	0,89	46,2	2,50	75,6
Alam, 2010	250	291	88,3	0,89	46,2	2,50	80,2
Alam, 2010	250	310	65,3	0,42	145,6	2,50	71,6
Alam, 2010	250	310	88,3	0,42	145,6	2,50	77,8

EK-2. FRP kayma donatılı betonarme elemanlara ait deneysel datalar

Kaynak	b_w (mm)	d (mm)	f'_c (Mpa)	ρ_{fl} (%)	E_{fl} (GPa)	ρ_{fv} (%)	E_{fv} (GPa)	f_{uv} (Mpa)	a/d	V_{deney} (kN)
Tottori ve Wakui, 1993	200	325	44,4	0,7	137	0,15	40,0	716	3,2	103
Tottori ve Wakui, 1993	200	325	44,7	0,7	137	0,15	40,0	716	3,2	106
Tottori ve Wakui, 1993	200	325	44,9	0,7	137	0,07	69,0	1511	3,2	85
Tottori ve Wakui, 1993	200	325	44,8	0,7	137	0,07	110,0	1413	3,2	83
Tottori ve Wakui, 1993	200	325	44,6	0,7	137	0,07	110,0	1413	4,3	74
Tottori ve Wakui, 1993	200	325	45	0,7	137	0,04	144,0	2040	3,2	98
Tottori ve Wakui, 1993	200	325	44,7	0,7	140	0,06	137,0	1746	3,2	108
Tottori ve Wakui, 1993	200	325	44,7	0,7	140	0,10	137,0	1746	3,2	157
Tottori ve Wakui, 1993	200	325	39,4	0,7	140	0,12	58,0	1089	3,2	103
Tottori ve Wakui, 1993	200	325	39,4	0,92	58	0,09	58,0	1296	3,2	83
Tottori ve Wakui, 1993	200	325	39,4	0,92	58	0,13	58,0	1236	3,2	98
Tottori ve Wakui, 1993	200	325	39,4	0,92	58	0,23	58,0	1236	3,2	132
Tottori ve Wakui, 1993	200	325	39,4	0,92	58	0,12	58,0	1089	3,2	107
Tottori ve Wakui, 1993	200	325	39,4	0,92	58	0,12	58,0	1089	3,2	78
Tottori ve Wakui, 1993	200	325	39,4	0,92	58	0,04	137,0	1746	3,2	86
Tottori ve Wakui, 1993	150	250	35,5	0,55	94	0,12	94,0	1283	2,5	58
Tottori ve Wakui, 1993	150	250	37,6	0,55	94	0,24	94,0	1283	2,5	82
Tottori ve Wakui, 1993	150	250	34,3	1,05	94	0,12	94,0	1283	2,5	71
Tottori ve Wakui, 1993	150	250	34,2	2,11	94	0,12	94,0	1283	2,5	81
Tottori ve Wakui, 1993	300	500	31,9	0,53	94	0,06	94,0	1283	2,5	160
Tottori ve Wakui, 1993	150	260	42,2	3,08	63	0,13	53,0	1766	3,1	60
Tottori ve Wakui, 1993	200	250	82,5	0,93	137	0,38	53,0	1278	3,0	172,2
Tottori ve Wakui, 1993	200	250	84,2	0,93	137	0,15	137,0	1278	3,0	194,2
Tottori ve Wakui, 1993	200	250	84,2	0,93	137	0,27	53,0	1278	3,0	140,3
Tottori ve Wakui, 1993	200	250	82,5	0,93	137	0,12	137,0	1278	3,0	182,9
Zhao ve diğerleri, 1995	150	250	34,3	3,02	105	0,42	39,0	1100	3,0	113
Zhao ve diğerleri, 1995	150	250	34,3	3,02	105	0,42	100,0	1300	3,0	126000
Zhao ve diğerleri, 1995	150	250	34,3	2,27	105	0,42	39,0	1100	3,0	116
Zhao ve diğerleri, 1995	150	250	34,3	1,51	105	0,42	39,0	1100	4,0	73
Niewels, 2008	300	441	48,3	3,65	66	0,25	32,0	322	3,0	252
Niewels, 2008	300	441	48,3	3,65	66	0,54	32,0	322	3,0	362
Niewels, 2008	300	441	43,3	3,65	66	0,38	32,0	322	3,0	240
Niewels, 2008	300	412	43,3	3,25	46	0,30	51,0	524	3,2	301
Niewels, 2008	300	412	46,8	3,25	46	0,14	51,0	524	3,2	220
Niewels, 2008	300	412	46,8	3,25	46	0,24	51,0	524	3,2	266
Maruyama ve Zhao, 1996	150	250	34	1,07	100	0,43	30,0	600	2,5	110
Maruyama ve Zhao, 1996	150	250	34	1,07	100	0,43	30,0	600	2,5	107
Maruyama ve Zhao, 1996	150	250	34	1,07	100	0,43	30,0	600	2,5	131
Maruyama ve Zhao, 1996	300	500	29,5	1,07	100	0,86	30,0	600	2,5	370
Maruyama ve Zhao, 1996	450	750	29,5	1,07	100	1,28	30,0	600	2,5	590
Maruyama ve Zhao, 1994	150	250	36,2	0,55	94	0,12	94,0	1308	2,5	59
Maruyama ve Zhao, 1994	150	250	38,3	0,55	94	0,24	94,0	1308	2,5	84
Maruyama ve Zhao, 1994	150	250	35	1,05	94	0,12	94,0	1308	2,5	73
Maruyama ve Zhao, 1994	150	250	33,1	1,1	94	0,24	94,0	1308	2,5	89
Maruyama ve Zhao, 1994	150	250	31,3	1,39	94	0,24	94,0	1308	2,5	95
Maruyama ve Zhao, 1994	150	250	30,5	2,11	94	0,24	94,0	1308	2,5	120

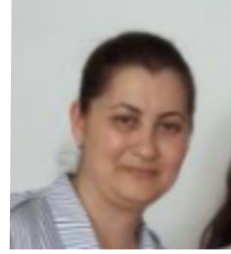
EK-2. (devam) FRP kayma donatılı betonarme elemanlara ait deneysel datalar

Maruyama ve Zhao, 1994	150	250	30,5	2,11	94	0,18	94,0	1308	2,5	86
Maruyama ve Zhao, 1994	150	250	31,3	2,11	94	0,15	94,0	1308	2,5	75
Maruyama ve Zhao, 1994	150	250	34,9	2,11	94	0,12	94,0	1308	2,5	83
Nakamura ve Higai, 1995	200	250	35,4	1,61	29	0,35	31,0	828	3,0	83
Nakamura ve Higai, 1995	200	250	33,4	1,61	29	0,35	31,0	828	3,0	100
Nakamura ve Higai, 1995	200	250	35,2	1,61	29	0,18	31,0	828	3,0	56
Nakamura ve Higai, 1995	200	250	35,2	1,61	29	0,18	31,0	828	3,0	66
Alsayed ve diğerleri, 1997	200	310	35,5	1,37	36	0,21	42,0	565	3,2	68,5
Alsayed ve diğerleri, 1997	200	310	35,5	1,37	36	0,21	42,0	565	3,2	57,8
Duranovic ve diğerleri, 1997	150	210	39,8	1,31	45	0,35	45,0	750	3,3	49
Alkhrdaji ve diğerleri, 2001	178	279	24,1	2,3	40	0,39	40,0	717	2,7	129
Alsayed, 1998	200	310	35,5	1,37	36	0,21	42,0	565	3,2	68,5
Matta ve diğerleri, 2008	457	883	38,8	0,6	41	0,22	41,0	690	3,1	245,5
Ascione ve diğerleri, 2010	150	170	20	0,62	46	0,29	46,0	970	4,1	20,5
Ascione ve diğerleri, 2010	150	170	20	1,54	46	0,29	46,0	970	4,1	28,6
Ascione ve diğerleri, 2010	150	170	25,4	0,62	46	0,29	46,0	970	4,1	23,5
Ascione ve diğerleri, 2010	150	170	25,4	1,54	46	0,29	46,0	970	4,1	33,4
Ascione ve diğerleri, 2010	150	170	20	0,89	115	0,29	115,0	2000	4,1	39,3
Ascione ve diğerleri, 2010	150	170	25,4	0,89	115	0,29	115,0	2000	4,1	39,8
Bentz ve diğerleri, 2010	450	937	46	0,51	37	0,09	41,0	760,0	3,3	237
Bentz ve diğerleri, 2010	450	857	36	2,23	37	0,09	41,0	760,0	3,6	500
Bentz ve diğerleri, 2010	450	405	35	2,36	37	0,09	41,0	760,0	3,8	154

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : ACIR, Şefika
Uyruğu : Türkiye Cumhuriyeti
Doğum tarihi ve yeri : 15.07.1978, Çubuk
Medeni hali : Evli
E-mail : sacir51@hotmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Niğde Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği	2000
Yüksek lisans	Niğde Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği	2007

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2006-Halen	Çevre ve Şehircilik Bakanlığı	İnşaat Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Kitap Okuma, Yürüyüş, Müzik



GAZİ GELECEKTİR..