



T.C.
NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BETONARME KİRİŞLERİN GENETİK PROGRAMLAMA İLE TASARIMI

HAVVA KUTANOĞLU

Temmuz 2018

T. C.
NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BETONARME KİRİŞLERİN GENETİK PROGRAMLAMA İLE TASARIMI

HAVVA KUTANOĞLU

Yüksek Lisans Tezi

Danışman

Prof. Dr. Hakan ERDEM

Temmuz 2018

Havva KUTANOĞLU tarafından Prof. Dr. Hakan ERDEM danışmanlığında hazırlanan “Betonarme Kirişlerin Genetik Programlama ile Tasarımı” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Hakan ERDEM, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

Üye : Prof. Dr. Mustafa SARIDEMİR, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

Üye : Prof. Dr. İlker Fatih KARA, Mersin Üniversitesi

ONAY:

Bu tez, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenmiş olan yukarıdaki jüri üyeleri tarafından/..../2018 tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu’nun/..../2018 tarih ve sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

...../..../2018

Doç. Dr. Murat BARUT

MÜDÜR V.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Havva KUTANOĞLU

ÖZET

BETONARME KİRİŞLERİN GENETİK PROGRAMLAMA İLE TASARIMI

KUTANOĞLU, Havva
Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Hakan ERDEM

Temmuz 2018, 81 sayfa

Bu çalışmada, tek ve çift donatılı betonarme kirişlerin donatı alanını tahmin edebilmek için gen ifadeli programlama (GEP) tekniğinde modeller geliştirilmiştir. Geliştirilen bu modellerde, tek donatılı kirişler için girdi parametresi olarak kiriş genişliği (b_w), kiriş hesap yüksekliği (d), donatının hesap akma dayanımı (f_{yd}), betonun hesap basınç dayanımı (f_{cd}) ve hesap momenti (M_d) kullanılırken, çift donatılı kirişlerde ise bunlara ek olarak dengeli donatı oranı (ρ_b) da ilave edilmiştir. Program çıktı parametresi olarak her iki kiriş türü için donatı alanı (A_s) kullanılmıştır. Bu girdi ve çıktı parametrelerine göre hem tek donatılı betonarme kirişler için hem de çift donatılı betonarme kirişler için üçer model önerilmiştir. Önerilen bu modellerde kullanılan toplam 160 veri literatürde verilen formüllerden türetilmiştir. Modellerde kullanılmak için bu verilerin 80 tanesi eğitim, 40 tanesi test ve 40 tanesi doğrulama kümelerine ayrılmıştır. Önerilen modellerde, kromozom ve baş sayıları sabit alınırken, gen sayıları üç, dört ve beş olarak belirlenmiştir. Modellerden elde edilen A_s değerler ile literatürdeki formüllerden elde edilen A_s değerleri, bazı istatistiksel parametre değerleri kullanılarak karşılaştırılmıştır. Modellerdeki eğitim test ve doğrulama kümelerinin sonuçları, tek ve çift donatılı betonarme kirişlerin donatı alanını tahmin etmede GEP tekniğinin kullanılabileceğini göstermiştir.

Anahtar Sözcükler: GEP, betonarme kiriş, boyuna donatı alanı, uygunluk fonksiyonu.

SUMMARY

DESIGN OF REINFORCED CONCRETE BEAMS WITH GENETIC PROGRAMMING

KUTANOĞLU, Havva

Niğde Ömer Halisdemir University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

Supervisor : Prof. Dr. Hakan ERDEM

July 2018, 81 pages

In this study, GEP technique has been developed to predict the area of the reinforcement in single and double concrete beams. In the sets of the model for single concrete beams, beam width, effective depth, design yield strength of steel, design concrete strength and design moment are entered as input variables. However, the balanced reinforcement ratio is added to above features for double concrete beams. The area of reinforcement is also used as output variables for single and double reinforcements. Three different models for both single and double concrete beam reinforcement have been suggested by using the above input and output parameters. The total of 160 data were obtained from the formulas available in the literature. Among these data, 80 sets were chosen as a training set for GEP modelling, 40 sets were used as testing and 40 sets were used as verification. In the suggested models, while chromosome and main numbers are determined as constant numbers, gen numbers are determined as 3, 4 and 5. Some statistics parameter were compared with the as values which was predicted from the models and formulas available in the literature. The results have shown that the reinforcement area in single and double concrete beams can be predicted by using GEP technique.

Keywords: GEP, reinforced concrete beam, longitudinal reinforcement, fitness function.

ÖN SÖZ

Araştırmacılar günlük hayatta karşılaştıkları problemler karşısında hızlı ve doğru sonuca ulaşmak için bir takım programlar geliştirmişlerdir. Bu programlar Yapay Zeka başlığı altında toplanıp, insan düşünme yapısına benzer bir sistemin bilgisayar işlemcileri sayesinde oluşmasını sağlamaktadır. Bu araştırmada, betonarme kirişlerin genetik programlama ile tasarımı konusu incelenmiştir.

Bu çalışmanın her aşamasında bana yardımcı olan, bilgisini ve deneyimlerini benle paylaşarak beni araştırmaya teşvik eden tez danışmanım Prof. Dr. Hakan ERDEM'e sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum. Yüksek lisans eğitimim boyunca beni destekleyen ve beni aydınlatan değerli hocalarım Doç. Dr. Ersin AYDIN, Prof. Dr. Metin Hakan SEVERCAN ve Prof. Dr. Mustafa SARIDEMİR'e teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemi sağlayan, anlayışını, sabrını, maddi ve manevi desteğini esirgemeyen annem Gülizar KUTANOĞLU'na, babam Halil KUTANOĞLU'na, kardeşlerim Sibel, Dere, Osman ve Sadık KUTANOĞLU'na teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
SUMMARY	v
ÖN SÖZ	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
SİMGE VE KISALTMALAR	xiv
BÖLÜM I GİRİŞ	1
BÖLÜM II GENETİK PROGAMLAMA VE YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR	4
2.1 Genetik Programlama Algoritmasının Akış Diyagramı	4
2.2 GEP Kromozomları	6
2.3 GEP Kromozomlarının Bölümleri	6
2.4 GEP Kromozomlarının Esnekliği	8
2.5 Çok Genli Kromozomlar	9
2.6 Uygunluk Fonksiyonu ve Seçim	9
2.6.1 Uygunluk fonksiyonu	10
2.6.2 Seçim	11
2.7 Yer Değiştirme ile Tekrar Üretim	11
2.7.1 Kopyalama	11
2.7.2 Mutasyon	11
2.7.3 Yer değiştirme ve gen ilave etme	12
2.7.3.1 Sıralı genlerin yer değiştirmesi (IS transferi)	12
2.7.3.2 Kök transferi (RIS transferi)	13
2.7.3.3 Gen transferi	14

2.7.4 Tekrar düzenleme (Çaprazlama)	14
2.7.4.1 Tek noktadan yer değiştirme	14
2.7.4.2 İki noktadan yer değiştirme	16
2.7.4.3 Rastgele yer değiştirme	16
2.8 Yapılmış Çalışmalar	17
BÖLÜM III	21
TEK VE ÇİFT DONATILI DİKDÖRTGEN KİRİŞLER	21
3.1 Tek Donatılı Kirişler	21
3.2 Tek Donatılı Kirişlerin Davranışı	21
3.3 Tek Donatılı Kirişlerde Kesit Tasarımı	22
3.4 Çift Donatılı Kirişler	24
3.5 Çift Donatılı Dikdörtgen Kirişlerde Kesit Tasarımı	27
BÖLÜM IV BETONARME KİRİŞLERDE DONATI ALANININ GEP İLE MODELLENMESİ	30
4.1 Tek Donatılı Kirişlerin Donatı Alanının GEP İle Modellenmesi	30
4.1.1 Tek donatılı kirişlerin donatı alanının GEP-I ile modellenmesi	35
4.1.2 Tek donatılı kirişlerin donatı alanının GEP-II ile modellenmesi	37
4.1.3 Tek donatılı kirişlerin donatı alanının GEP-III ile modellenmesi	41
4.2 Çift Donatılı Kirişlerin Donatı Alanının GEP İle Modellenmesi	44
4.2.1 Çift donatılı kirişlerin donatı alanının GEP-IV ile modellenmesi	50
4.2.2 Çift donatılı kirişlerin donatı alanının GEP-V ile modellenmesi	52
4.2.3 Çift donatılı kirişlerin donatı alanının GEP-VI ile modellenmesi	56
BÖLÜM V BETONARME KİRİŞLERİN MODEL SONUÇLARININ DEğERLENDİRİLMESİ VE İRDELENMESİ	59
5.1 Tek Donatılı Kirişlerin Model Sonuçları	60
5.1.1 GEP-I model sonuçlarının değerlendirilmesi ve irdelenmesi	60
5.1.2 GEP-II model sonuçlarının değerlendirilmesi ve irdelenmesi	61
5.1.3 GEP-III model sonuçlarının değerlendirilmesi ve irdelenmesi	62

5.1.4 Tek donatılı kirişlerin model sonuçlarının karşılaştırılması.....	64
5.1.5 Tek donatılı kiriş için GEP modellerinin sonuçlarının sayısal bir örnekle karşılaştırılması	66
5.2 Çift Donatılı Kirişlerin Model Sonuçları	66
5.2.1 GEP-IV model sonuçlarının değerlendirilmesi ve irdelenmesi.....	66
5.2.2 GEP-V model sonuçlarının değerlendirilmesi ve irdelenmesi	68
5.2.3 GEP-VI model sonuçlarının değerlendirilmesi ve irdelenmesi.....	69
5.2.4 Çift donatılı kirişlerin model sonuçlarının karşılaştırılması.....	70
5.2.5 Çift donatılı kiriş için GEP modellerinin sonuçlarının sayısal bir örnekle karşılaştırılması	73
BÖLÜM VI SONUÇLAR	74
KAYNAKLAR	75
ÖZGEÇMİŞ	81

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1. Tek donatılı kırıslara ait GEP modellerinde kullanılan girdi değişkenleri	30
Çizelge 4.2. Tek donatılı kırıslara ait modellerde kullanılan eğitim kümesi verileri	31
Çizelge 4.3. Tek donatılı kırıslara ait modellerde kullanılan test kümesi verileri.....	33
Çizelge 4.4. Tek donatılı kırıslara ait modellerde kullanılan doğrulama kümesi verileri	34
Çizelge 4.5. GEP-I modelinde kullanılan parametreler.....	35
Çizelge 4.6. GEP-I modelinin açıklama ağacına ait sabitler	37
Çizelge 4.7. GEP-II modelinde kullanılan parametreler.	38
Çizelge 4.8. GEP-II modelinin açıklama ağacına ait sabitler.....	40
Çizelge 4.9. GEP-III modelinde kullanılan parametreler	41
Çizelge 4.10. GEP-III modelinin açıklama ağacına ait sabitler	42
Çizelge 4.11. Çift donatılı kırıslara ait GEP modellerinde kullanılan girdi değişkenleri	45
Çizelge 4.12. Çift donatılı kırıslara ait modellerde kullanılan eğitim kümesi verileri	45
Çizelge 4.13. Çift donatılı kırıslara ait modellerde kullanılan test kümesi verileri.....	45
Çizelge 4.14. Çift donatılı kırıslara ait modellerde kullanılan doğrulama kümesi verileri	49
Çizelge 4.15. GEP-IV modelinde kullanılan parametreler.....	50
Çizelge 4.16. GEP-IV modelinin açıklama ağacına ait sabitler	52
Çizelge 4.17. GEP-V modelinde kullanılan parametreler.	53
Çizelge 4.18. GEP-V modelinin açıklama ağacına ait sabitler.....	53
Çizelge 4.19. GEP-VI modelinde kullanılan parametreler.	56
Çizelge 4.20. GEP-VI modelinin açıklama ağacına ait sabitler	58
Çizelge 5.1. GEP-I modelinin istatistiksel parametre değerleri	61
Çizelge 5.2. GEP-II modelinin istatistiksel parametre değerleri.....	62
Çizelge 5.3. GEP-III modelinin istatistiksel parametre değerleri	63

Çizelge 5.4. GEP-I, GEP-II ve GEP-III modellerine ait istatistiksel parametreler	64
Çizelge 5.5. GEP-I, GEP-II ve GEP-III modellerine ait formüller	65
Çizelge 5.6. Tek donatılı giriş için elde edilen donatı alanlarının karşılaştırılması	66
Çizelge 5.7. GEP-IV modelinin istatistiksel parametre değerleri	67
Çizelge 5.8. GEP-V modelinin istatistiksel parametre değerleri.....	69
Çizelge 5.9. GEP-VI modelinin istatistiksel parametre değerleri	70
Çizelge 5.10. GEP-IV, GEP-V ve GEP-VI modellerine ait istatistiksel parametreler.....	71
Çizelge 5.11. GEP-VI, GEP-V ve GEP-VI modellerine ait formüller.....	71
Çizelge 5.12. Çift donatılı giriş için elde edilen donatı alanlarının karşılaştırılması	73



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. GEP akış diyagramı	5
Şekil 2.2. Açıklama ağacına bir örnek	6
Şekil 2.3. GEP kromozomlarının bölümleri.....	7
Şekil 2.4. GEP kromozomlarının esnekliği.....	8
Şekil 2.5. Alt açıklama ağaçları	9
Şekil 2.6. Mutasyon	12
Şekil 2.7. IS Transferi ile yeni gen oluşturma.....	13
Şekil 2.8. RIS transferi ile yeni gen oluşturma	13
Şekil 2.9. Gen transferi ile yeni gen oluşturma.....	14
Şekil 2.10. Çaprazlama	14
Şekil 2.11. İki kromozom arasında tek noktadan gen transferi ile yeni gen oluşturma..	14
Şekil 2.12. İki kromozom arasında iki noktadan gen transferi ile yeni gen oluşturma ..	16
Şekil 2.13. İki kromozom arasında rastgele gen değiştirme ile yeni gen oluşturma	26
Şekil 3.1. Betonarme kirişte oluşan gerilme dağılımı	21
Şekil 3.2. Denge denklemleri yardımıyla eşdeğer derinlik hesabı.....	23
Şekil 3.3. Çift donatılı kirişlerde kuvvetler ve şekil değiştirmeler	24
Şekil 3.4. Çift donatılı kirişlere etki eden kuvvetlerin iki kısımda gösterimi	25
Şekil 4.1. GEP-I modelinden elde edilen açıklama ağacı	36
Şekil 4.2. GEP-II modelinden elde edilen açıklama ağacı.....	39
Şekil 4.3. GEP-III modelinden elde edilen açıklama ağacı	42
Şekil 4.4. GEP-IV modelinden elde edilen açıklama ağacı	51
Şekil 4.5. GEP-V modelinden elde edilen açıklama ağacı.....	54
Şekil 4.6. GEP-VI modelinden elde edilen açıklama ağacı	57
Şekil 5.1. GEP-I modeli ile literatürdeki formül sonuçlarının karşılaştırılması	60
Şekil 5.2. GEP-II modeli ile literatürdeki formül sonuçlarının karşılaştırılması	62
Şekil 5.3. GEP-III modeli ile literatürdeki formül sonuçlarının karşılaştırılması.....	63
Şekil 5.4. Tek donatılı kirişe ait kesit bilgisi.....	66
Şekil 5.5. GEP-IV modeli ile literatürdeki formül sonuçlarının karşılaştırılması	67
Şekil 5.6. GEP-V modeli ile literatürdeki formül sonuçlarının karşılaştırılması.....	68
Şekil 5.7. GEP-VI modeli ile literatürdeki formül sonuçlarının karşılaştırılması	70

Şekil 5.8. Çift donatılı kirişe ait kesit bilgisi..... 73



SİMGE VE KISALTMALAR

Simgeler

Açıklama

ρ	Boyuna donatı oranı
ρ_b	Boyuna dengeli donatı oranı
ρ_{min}	Minimum boyuna donatı oranı
ρ_{max}	Maksimum donatı oranı
ϵ_c	Betonun şekil değiştirmesi
ϵ_{cu}	Betonun ezilme şekil değiştirmesi
ϵ_s	Çekme donatısında meydana gelen şekil değiştirme
ϵ_{sy}	Donatı akma başlangıcında birim deformasyon
σ	Normal gerilme
τ	Kayma gerilmesi
N_d	Tasarım eksenel kuvveti
f_{ck}	Betonun karakteristik basınç dayanımı
A_c	Kirişlerde gövde kesit alanı
c	Beton tarafsız eksen derinliği
k_1	Eşdeğer basınç bloğu derinlik katsayısı
a	Eşdeğer dikdörtgen gerilme bloğu derinliği
z	Eğilme momenti kolu
F_c	Bileşke basınç kuvveti
F_s	Bileşke çekme kuvveti
f_{cd}	Betonarme hesap basınç dayanımı
f_{ctd}	Beton hesap çekme dayanımı
A_s	Çekme donatısı alanı
f_{yd}	Boyuna donatının tasarım akma dayanımı
b	Kiriş genişliği
b_w	Kiriş gövde genişliği
d	Faydalı hesap yüksekliği
h_k	Kiriş yüksekliği (döşeme kalınlığı dahil)
M_r	Taşıma gücü momenti

M_d	Tasarım momenti
k	Kuyruk sayısı
b	Baş sayısı
n	Kuyruktaki değişken sayısı
M	Her problem için değişen ve problemin hassaslığına bağlı olarak belirlenen sabit
C_{ij}	Her bir kromozomun (i) çözüm değerine karşılık gelen (j) gerçek değerdir (C_t)
T_j	Her bir kromozomun çözüm değeri için hedef değeri ifade eder
f_i	Mutlak ve rölatif hata
A'_s	Basınç donatısı alanı
ε'_s	Basınç donatısında meydana gelen şekil değiştirme
σ'_s	Basınç donatısındaki gerilme
F'_s	Basınç donatısındaki bileşke kuvvet
A_{s1}	Beton bileşkesine eşit bir çekme kuvvetini oluşturmak için gerekli çekme donatısı alanı
A_{s2}	Basınç bölgesindeki donatıdaki basınç kuvvetine eşit çekme kuvvetini oluşturmak için gerekli çekme donatısı alanı
A_s	Çekme donatısı toplam alanı ($A_{s1} + A_{s2}$)
E_s	Donatının elastisite modülü
ρ'	Basınç donatısı oranı
d'	Beton basınç yüzünden basınç donatısı ağırlık merkezine olan uzaklık

Kısaltmalar

Açıklama

GA	Genetik Algoritma
GP	Genetik Programlama
GEP	Gen İfadeli Programlama
AA	Açıklama Ağacı

ÇGGP	Çok Genli Genetik Programlama
YPB	Yüksek Performanslı Beton
KDK	Kayma Donatısız Kiriş
LTPD	Lif Takviyeli Polimer Donatılar
ACI	Amerikan Beton Enstitüsü
IS	Sıralı Gen
RIS	Sıralı Gen Kökü
OMYH	Ortalama Mutlak Yüzde Hatası
KOK	Karesel Ortalamalarının Karekökü
R ²	R-kare



BÖLÜM I

GİRİŞ

Günümüzde bilgisayar alanındaki teknolojik gelişmeler insanlara kısa zamanda hızlı bilgi edinme kolaylığı sağlamaktadır. Bu teknolojik gelişmeler yapay zeka sistemleri olarak bilinen, bilgisayarlara insan tabiatında bulunan mantık yürütme, olayları bir karara bağlama, karşılaştırma vb. özellikler sağlamıştır (Kaya, 2001). Yapay zekanın alt dalları yapay sinir ağları, bulanık mantık ve GEP' tir. Yapay sinir ağları modelleme ve tahmin türü problemlerde, bulanık mantık kontrol tipi problemlerde, GEP ise doğrusal olmayan problemlerde daha başarılı olmaktadır.

Yapay zeka sistemleri konusunda ilk çalışmalar McCulloch ve Piitts (1943) tarafından yapılmıştır. 1940'lı yıllarda yapay zekanın bir dalı olan ve biyolojik sinir hücrelerinden esinlenerek yapılan yapay sinir ağları modelleri geliştirilmiştir. Yapılan çalışmalar, mantık işlemlerinin sayısal olarak modellerinin oluşturulabileceğini göstermiştir. Yapay zeka matematik, mühendislik, ekonomi, askeri alan, tıp, psikoloji gibi farklı dallarda kullanılmıştır. Yapay sinir ağları, İnşaat Mühendisliğini ilgilendiren birçok alanda da yaygın olarak kullanılmıştır. Yücel (2008) uzun açıklıklı konsol kafes kirişli bir köprünün sonlu elmanlar modeli kalibrasyonunun, Ersayın (2006) toprak dolgu baraj gövdesindeki sızma incelenmesinin, Keleşoğlu vd. (2005) yalıtım malzemesi kalınlığı tespitinin, Özsoy vd. (2004) kirişsiz döşemeli betonarme bir binada çeşitli parametrelere bağlı olarak meydana gelen yatay ötelenmenin, Lee vd. (2003) beton basınç dayanımı belirlenmesinin, Şahin ve Shenoj (2003) kirişe benzer yapılarda oluşan hasarların miktarı ve yeri tespitinin, yapay sinir ağları yöntemiyle modellenmesini araştırmıştır.

Yapay zekanın diğer bir dalı olan bulanık mantık ise Azerbaycan asıllı Lütfü Asker Zadeh (1965) tarafından bulundu. Bu yöntem sayısal veri bulunmaksızın sözel verilerle konuşularak belirsizlik gösteren durumlarda tercih edilmektedir. Bulanık mantık İnşaat Mühendisliğini ilgilendiren birçok alanda yaygın olarak kullanılmıştır. Müftüoğlu (2016) iki boru arasındaki sediment taşınımının, Can (2013) soğukta işlenmiş çelik tabakaların gövde ezilme dayanımlarının, Yurtçu vd. (2006) yağış, akış ve buharlaşma etkisi ile yeraltı su seviyesindeki değişimin, Uygunoğlu vd. (2005) çimento ile belirli oranlarda ikame edilen uçucu külün betonun basınç dayanımı üzerindeki etkisinin,

Samali ve Aldawod (2003) deprem yüklerini algılamak için aktif ayarlı kütle amortisörü kullanarak beş katmanlı değerlendirme kontrolünün, Aldawod vd (2001) gökdelenlerin rüzgar etkisi karşısındaki davranışı kontrolünün, bulanık mantık yöntemiyle modellenmesini araştırmıştır.

Yapay zekanın farklı bir dalı olan GEP, Ferreira tarafından (2002a) bulunmuştur. GEP farklı boyut ve şekillerdeki doğrusal olmayan değişkenler arasındaki ilişkileri açıklama ağaçlarıyla çözümlenmeye çalışır. GEP İnşaat Mühendisliğini ilgilendiren birçok alanda yaygın olarak kullanılmıştır. Fairbairn vd. (2004) kütle beton yapılarının inşasında optimum inşaat maliyetinin GEP yöntemiyle modellenmesini araştırmıştır. Morcous vd. (2005) çok büyük boyutlu ve karmaşık bir yapıya sahip olan alt yapı şebeke sistemlerinin bakım optimizasyonunun, Perez vd. (2010) Eurocode2’de verilen kesme donatısız beton kirişlerin kesme dayanımı bağıntısının düzeltilmesi için bir model üretmek istemişlerdir. Modelin geliştirilmesinde GP kullanılmış ve literatürden seçilen deneysel verilerle fonksiyon elde edilmiştir. Çalışmada, boyut etkisi, boyuna donatı miktarı ile eğilme momenti-kesme kuvveti ilişkisinin etkilerini düzeltmek amaçlanmıştır. Sonuç olarak Eurocode2 ve ACI318 standartlarına göre oldukça basit düzeltilmiş üç bağıntı sunulmuştur. Tanyıldızı ve Çevik (2010) yüksek sıcaklık etkisinde kalan hafif betonların mekanik özelliklerini tahmin edebilmek için GEP kullanmışlardır. Hafif beton için, farklı sıcaklık, çimento tipi ve silis dumanı değerleri için deneysel olarak basınç ve yarmada çekme dayanımları elde edilmiş ve modellemede kullanılmıştır. Çalışmanın sonunda, GEP ile elde edilen fonksiyonlar kullanılarak, deneysel sonuçlara oldukça yakın değerler elde edilebildiği belirtilmiştir. Gholampour vd. (2017) geri dönüştürülmüş agrega ile yapılan betonun mekanik özelliklerini tahmin etmek için GEP tekniğini kullanmışlardır. Literatürden toplanan deneysel veriler ile modelleri oluşturulmuştur. Geri dönüştürülmüş agrega ile yapılan betonun 28 günlük basınç dayanımını, elastisite modülünü, eğilme dayanımını ve yarmada çekme dayanımını tahmin etmeye çalışmışlardır. Değerlendirme sonuçları, önerilen modellerin tahminlerinin test sonuçlarıyla yakın bir şekilde uyumlu olduğunu göstermiştir. Ayrıca, geri dönüşümlü agrega ile yapılan betonların mekanik özelliklerinin tahmininde, yeni modellerin mevcut modellere kıyasla daha iyi sonuçlar verdiği de belirtilmiştir.

Dünyada betonarme yapılar malzeme ve işçi temini açısından sağladığı kolaylıklar nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Bina türü betonarme yapıların ana taşıyıcı elemanlarından biri de kirişlerdir. Kirişlerde oluşan eğilme momentlerini karşılamak için çekme bölgelerine donatılar yerleştirilir. Kesite yerleştirilecek donatı alanının kesit alanına oranı dengeli donatı oranından küçük olması durumunda tek donatılı, büyük olması durumunda ise çift donatılı kiriş olarak tasarlanır. Tek donatılı kirişlerde denge denklemleri kullanılarak donatı alanını hesaplamada kullanılan formüller elde edilebilmektedir. Çift donatılı kirişlerde ise işlem biraz daha karmaşık olmaktadır. Bilinmeyen sayısı fazla olduğundan bir bilinmeyen seçilmesi ve etki eden kuvvetlerin iki kısım halinde gösterilmesi gerekmektedir. Daha sonra bu kısımlarda oluşan kuvvetlerin denge denklemleri kullanılarak donatı alanları hesaplanmaktadır. Çok sayıda ara işlem yapıp gerekli olan donatı alanını hesaplamak yerine tek bir formül ile gerekli olan boyuna donatı alanını tahmin etmek kolaylık sağlayacaktır. Bu tez çalışmasında, doğrusal olmayan problemlerdeki avantajlarından dolayı, tek ve çift donatılı dikdörtgen kirişlerin boyuna donatı alanını tahmin etmek için GEP kullanılmıştır. GEP'in, betonarme yapıyı oluşturan elemanlardan kirişlerin boyuna donatılarının hesabında kullanımının iyi sonuçlar vereceği kanaatine varılmıştır.

BÖLÜM II

GENETİK PROGRAMLAMA VE YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR

Ferreira tarafından bulunan gen ifadeli programlama (GEP), genetik algoritma (GA) ve genetik programlama (GP) tekniklerinin bileşkesi olan geniş kapsamlı bir yöntemdir. GEP bilgisayar programları yardımı ile yeniden oluşturulabilen sabit sayıda ve uzunlukta lineer kromozomlardan oluşur. Oluşturulan kromozomlar açıklama ağaçları (AA) şeklinde GEP' in operatör ve işlemcileri vasıtasıyla farklı şekil ve boyutlarda oluşturulabilir. GEP algoritması, GA ve GP algoritmaları gibi bir veya daha çok genetik operatör kullanarak rasgele elde edilen yeni kromozomlardan hedef fonksiyon ve değerlere ulaşır. Elde edilen yeni popülasyonlar hedef değerlere en uygun fonksiyonu veren algoritmadır (Ferreira, 2002a).

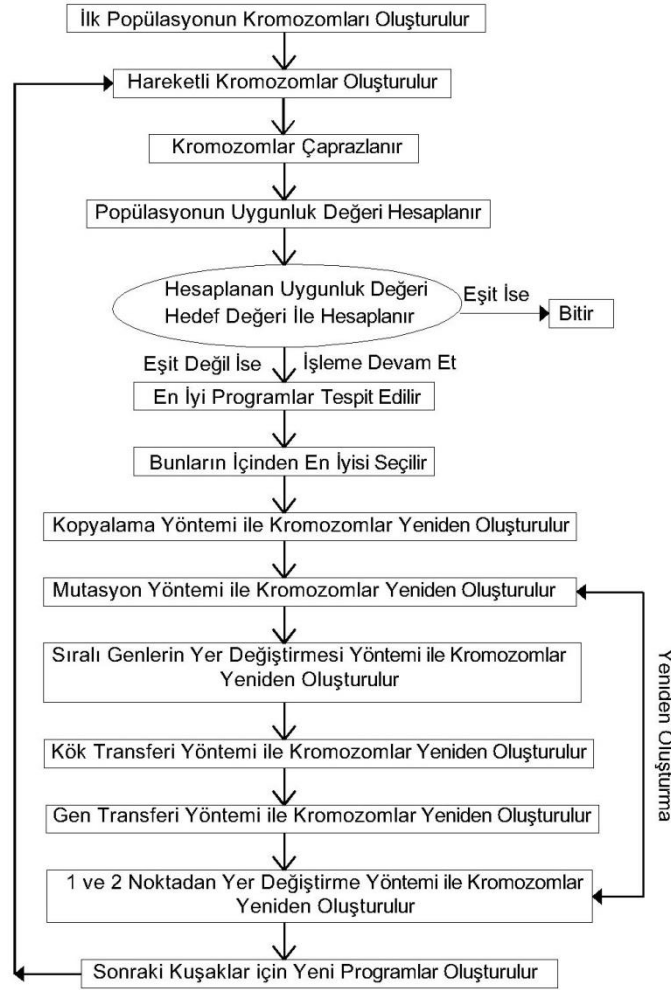
Bahsi geçen algoritmalar arasındaki değişiklikler ve benzerlikler şöyledir:

- GA, sabit uzunluktaki kromozomlardan oluşan doğrusal dizidir. Bu doğrusal diziler basit doğrusal problemler için genetik operatörlerle kolayca çözüm üretmesine rağmen karmaşık, doğrusal olmayan problemlerde kullanışlı değildirler. GA genellikle fonksiyonların genel optimizasyonunda, GP ve genetik tabanlı makine eğitiminde de kullanılabilir (Ferreira, 2002a ve 2002b).
- GP, farklı boyut ve şekillerdeki doğrusal olmayan değişkenler arasındaki ilişkileri ifade etmek için oluşturdukları açıklama ağaçları (AA) ile uygun çözümü elde etmeyi hedefler. GP karmaşık ve doğrusal olmayan problemlerde beklenen sonuçlara ulaşmada verimsiz kalmaktadır (Ferreira, 2002a ve 2002b).
- GEP ise GA ve GP Algoritmalarının üstünlüklerini bir araya getirmiştir. Sabit sayı ve uzunluktaki çok sayıda doğrusal olmayan fonksiyonlar genetik operatörler ve işlemciler kullanılarak farklı boyut ve şekilde doğrusal dizilere dönüştürülerek uygun fonksiyon elde edilir (Ferreira, 2002a ve 2002c).

2.1 Genetik Programlama Algoritmasının Akış Diyagramı

İlk olarak başlangıç popülasyonunun bireylerinin her birinin kromozom yapıları gelişigüzel seçilir. Sonra kromozomlar ifadelere çevrilerek her bireyin uygunluğu

incelenir. Bireyler uygunluk değeri göz önünde bulundurularak seçilir ve modifikasyonlar ile farklı yapılarda ve davranışlarda nesiller meydana getirirler. Bu süreç uygun çözüm bulunana kadar devam eder. Uygun çözümden kasıt R^2 değerinin yüksek değerler alması ve programa girilen verilerin hepsinin işleme katılmasıdır. Programın akış diyagramı Şekil 2. 1’de gösterilmiştir (Ferreira, 2002b).



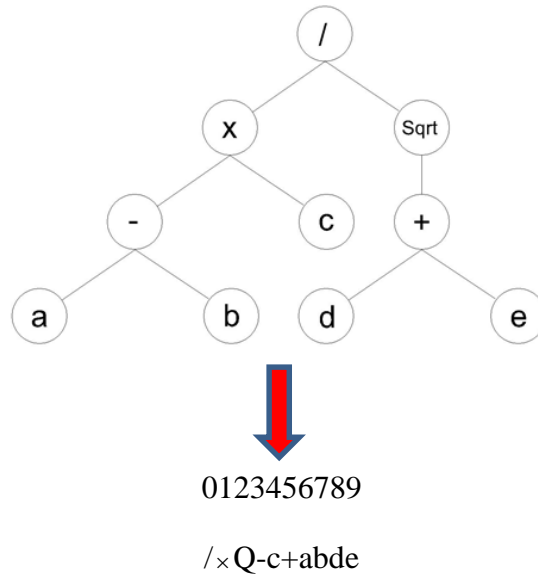
Şekil 2.1. GEP akış diyagramı (Dayık, 2005)

GEP bünyesinde genetik çeşitliliği sağlayan genetik operatörleri barındırır. Bu süreçte, seçilen birey tam anlamıyla kopyalanır ve kopyalanan genler yeni nesle iletilir. Operatörler popülasyonun genetik çeşitliliğini artırır. Bu operatörler değişime uğrayacak kromozomu uygunluk değerini baz alarak rasgele seçerler. Böylelikle GEP içinde, bir kromozom tek bir operatörle veya aynı anda birkaç operatörle birden değişime uğrayabilir veya hiçbir operatörle değişmeden yeni nesle aktarılır (Ferreira, 2002b).

2.2 GEP Kromozomları

GEP algoritmasında tüm problemler açıklama ağaçları ile ifade edilmektedir. Açıklama ağaçlarında operatörler, fonksiyonlar, sabitler ve değişkenler vardır. Mesela bir kromozomda {+, -, *, /, sqrt, 1, a, b, c, d, sin, cos} gibi ifadeler görülebilmektedir. Örneğin; sqrt.*-.*.a.*.sqrt. c. b. a./1.-.c.d şeklinde bir kromozom oluşturulduğunda; bu kromozomda; nokta “.” her bir geni ayırmaya ve kolay okumaya, “sqrt” karekök operatörünü göstermeye, “1” sabit bir sayıyı ifade etmeye, “+, -, *, /” cebirsel ifadeleri göstermeye, “a, b, c, d” ise değişkenlere verilen isimleri göstermeye yarar (Ferreira, 2002c).

Ferreira (2002c) tarafından geliştirilen GEP algoritmasında değişkenler arasındaki ilişki Karva notasyonları ile belirlenir. Karva notasyonları açıklama ağacı (AA) ile gösterilir. Aşağıda GEP genine ait Karva notasyonu ile oluşturulmuş açıklama ağacı Şekil 2. 2’de verilmiştir (Gandomi vd., 2014).



Şekil 2.2. Açıklama ağacına bir örnek (Gandomi vd., 2014)

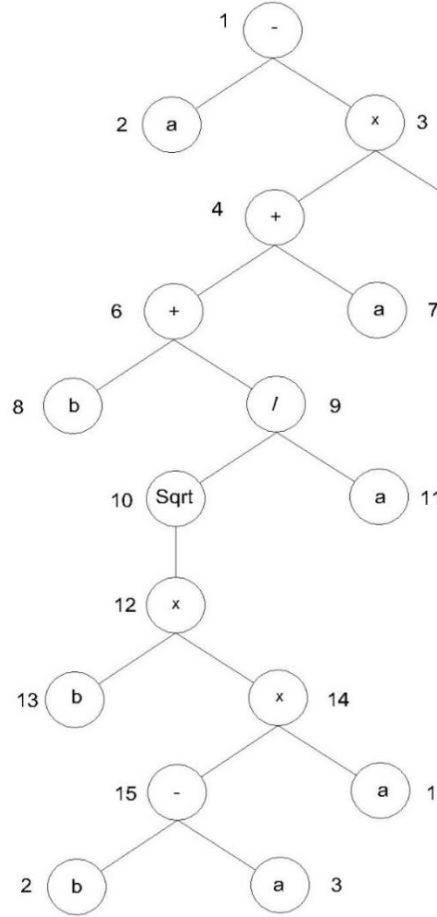
2.3 GEP Kromozomlarının Bölümleri

GEP kromozomları iki bölümden oluşur. Bunlar baş ve kuyruk bölümleridir. Kromozomun baş bölümünde operatörler ve fonksiyonlar kuyruk bölümünde sabitler ve değişkenler bulunur. Kuyrukta bulunan sabit ve değişkenler baş kısımda bulunan operatör ve fonksiyonlarla sırasıyla işleme girerek hedef fonksiyona ve değere ulaşır.

Kuyruk ve baş boyutları arasında belirli bir oran vardır ve bu oranı veren formül aşağıdaki gibidir (Banzhaf vd., 1998).

$$k=b(n-1)+1 \quad (2.1)$$

Burada, k kuyruk, b baş ve n kuyruktaki değişken sayısıdır. GEP' te baş ve kuyruk verilen AA'ya göre her satırın sırayla soldan sağa ve yukarıdan aşağıya doğru yazılması ile elde edilir. Baş bölümü tamamlandıktan sonra aynı şekilde kuyruk bölümü oluşturulur. Kuyruk oluşturma işlemi aşağıya doğru tamamlanamaz ise sırayla soldan sağa ve aşağıdan yukarıya doğru işleme devam edilerek kuyruk kısmı Şekil 2.3'de görüldüğü gibi oluşturulur (Banzhaf vd., 1998).



Şekil 2.3. GEP kromozomlarının bölümleri (Banzhaf vd., 1998)

$f=\{Q, *, /, -, +\}$ fonksiyonları ve $T=\{a, b\}$ değişkenlerinden oluşmuş bir gen düşünelim. Bu durumda $n= 2$, b ise 15 olarak seçildiği takdirde $k= 16$ değerini alır. Böylece genin

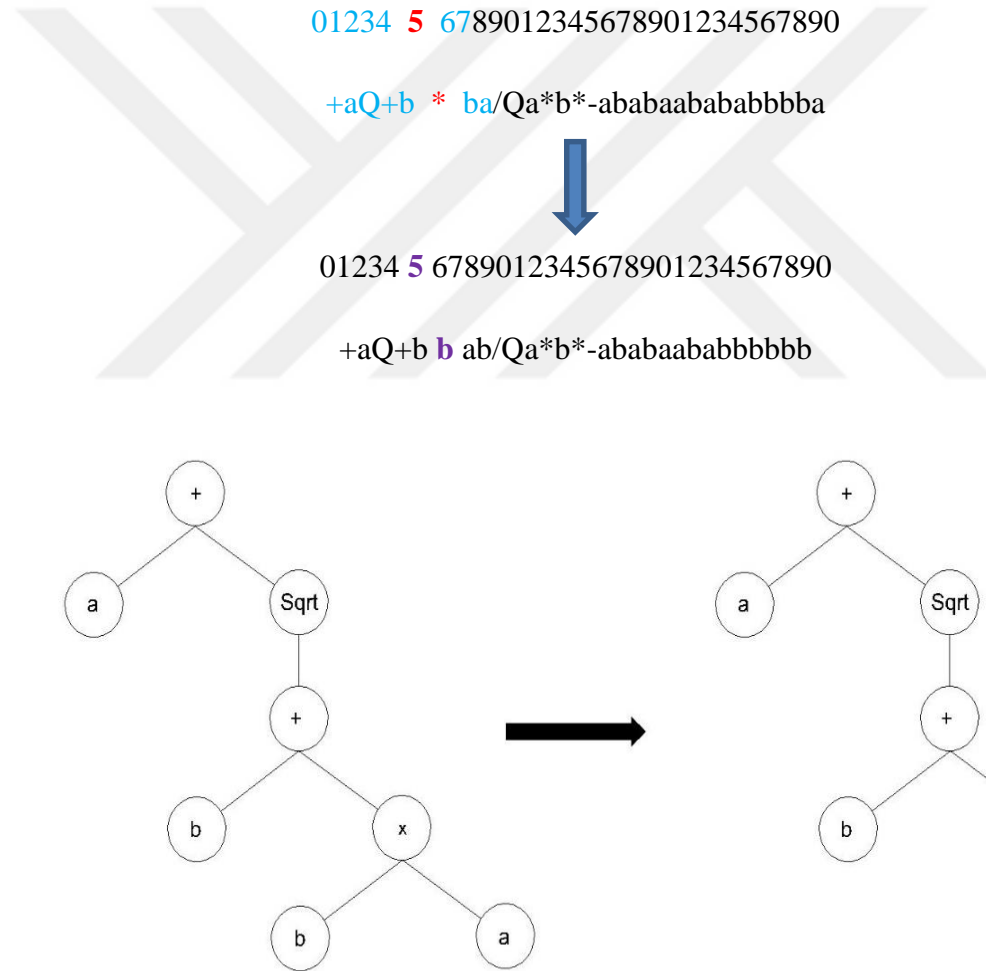
uzunluğu $15+16=31$ olur (Banzhaf vd., 1998). Bu uzunluktaki bir örnek aşağıdaki gibi gösterilir (kuyruk kısmı kalın harfler ile gösterilmiştir).

1234567890123456789012345678901

$-a^*+b+ab/Qa^*b^*$ -**ababaababbabbbba**

2.4 GEP Kromozomlarının Esnekliği

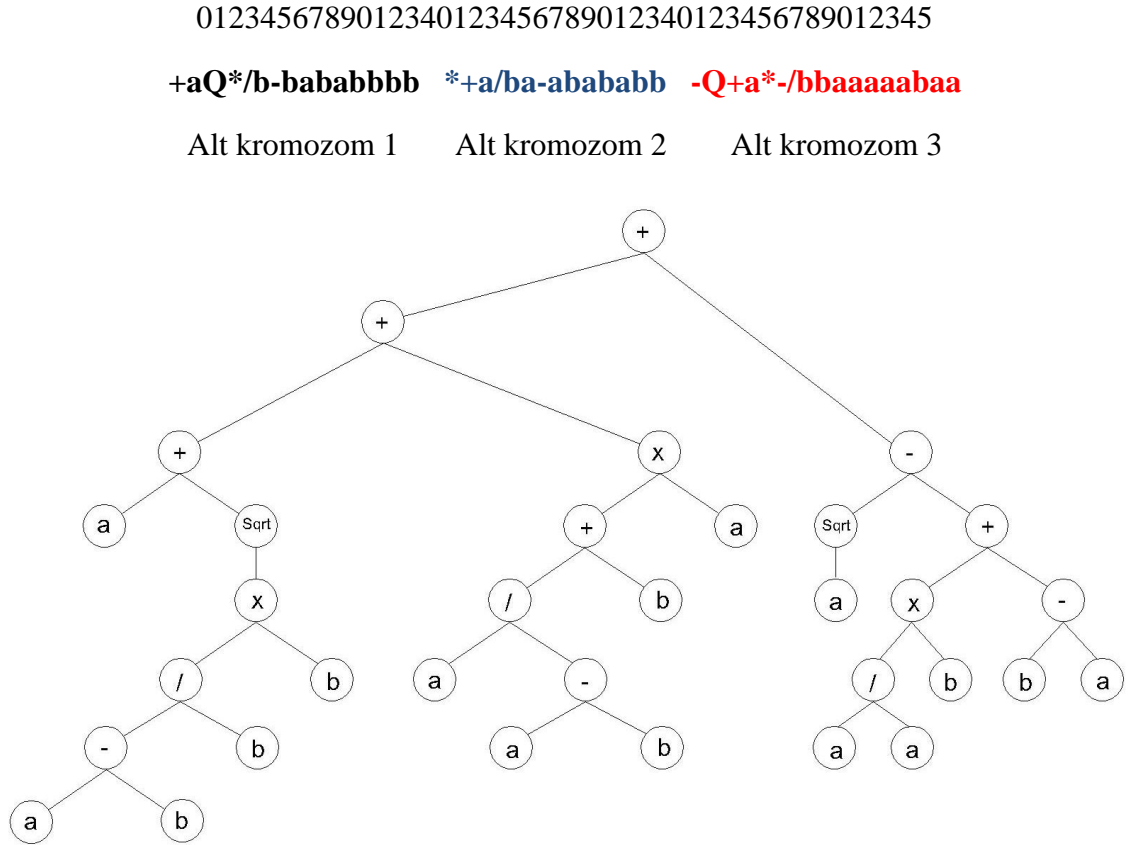
GEP kromozomlarının baş ve kuyruk sayıları değiştirilerek yeni kromozom ve açıklama ağaçları elde edilmektedir. Bu durum Şekil 2.4 ' te gösterilmektedir (Dayık, 2005).



Şekil 2.4. GEP kromozomlarının esnekliği (Dayık, 2005)

2.5 Çok Genli Kromozomlar

Karmaşık yapıdaki problemlerin açıklama ağaçları da uzun kromozom yapılarından oluşur. Şekil 2.5’ te uzun bir kromozomun alt kromozom ve açıklama ağaçları ile birbirlerine bağlanması verilmiştir (Dayık, 2005).



Şekil 2.5. Alt açıklama ağaçları (Dayık, 2005)

2.6 Uygunluk Fonksiyonu ve Seçim

Uygunluk fonksiyonu problemleri çözümlenmede hedefe en doğru şekilde ulaştıracak fonksiyondur. Başarılı bir çözüme ulaşmanın yolu uygunluk fonksiyonun iyi belirlenmesidir. Buradaki gaye, problemi anlatan en uygun fonksiyonun oluşturulmasıdır (Dayık, 2005).

2.6.1 Uygunluk fonksiyonu

GEP' te mühim olan problem fonksiyonunun elde edilmesidir. Bu yüzden uygunluk fonksiyonunun oluşturulması gerekmektedir. Uygunluk fonksiyonu, belirlenen çözümlerin uygunluk derecelerinin ölçülmesini sağlayan bir fonksiyondur. Amaç belirlenen hata sınırları içinde en doğru sonucu veren fonksiyonun elde edilmesidir. Bunun yanında fonksiyon belirlenen aralıkta en kısa zamanda veya iterasyonda en doğru sonuca ulaşmayı da gerçekleştirmelidir. Oluşan bu fonksiyon uygunluk fonksiyonu olarak adlandırılır (Dayık, 2005).

Problemin çözümü esnasında oluşan çözüm değerleri ile gerçek değer arasındaki farkın (hatanın) en kısa sürede belirlenen değer altına inmesi çözümün etkinliği bakımından önemlidir. Seçilen hataya göre iki çeşit uygunluk fonksiyonu kullanılmaktadır. Hatanın mutlak olması istenirse;

$$f_i = \sum_{j=1}^{t_i} (M - |C_{ij} - T_j|) \quad (2.2)$$

fonksiyonu kullanılır. Eğer relatif hata istendiği durumda;

$$f_i = \sum_{j=1}^{t_i} \left(M - \left| \frac{C_{ij} - T_j}{T_j} \times 100 \right| \right) \quad (2.3)$$

fonksiyonu kullanılır.

Bağıntılarda; M her problem için değişen ve problemin hassaslığına bağlı olarak belirlenen sabit, C_{ij} her bir kromozomun (i) çözüm değerine karşılık gelen (j) gerçek değerdir (C_j). T_j her bir kromozomun çözüm değeri için hedef değeri ifade etmektedir. f_{max} ise hedef fonksiyona en yakın fonksiyondur. Buradan f_{max} ;

$$C_{ij} = T_j \quad (2.4)$$

$$f_i = f_{max} = C_j \times M \quad (2.5)$$

elde edilir. GEP hedef fonksiyon yöntemi ile optimum çözümü kendiliğinden elde eder (Ferreira, 2002c).

2.6.2 Seçim

GEP' te uygunluk değerleri rulet çarkı olarak isimlendirilen basit seçkinlik yöntemi ile yapılır. Ancak diğer seçim yöntemleri de kullanılabilir (Dayık, 2005). Diğer yöntemler;

- Seçkinlik olmadan yapılan rulet çarkı seçim yöntemi,
- Seçkinlik olarak ve seçkinlik olmadan turnuva seçim yöntemi,
- Seçkinlik olarak ve seçkinlik olmadan deterministik seçim yöntemleri şeklinde sayabiliriz (Dayık, 2005).

2.7 Yer Değiştirme ile Tekrar Üretim

Genlerinin yer değiştirmesi ile her bir kromozom yeniden oluşturulabilir. Daha sonra yeni kromozomlar rulet çarkında tekrar seçime sokulur. Yer değiştirme işlemi yeni nesillerde çeşitliliği sağlarken istenilen çözüme varmayı da güçleştirmemelidir. Yer değiştirme ve mutasyon gibi çeşitliliği sağlayan operatör oranları gelişi güzel alınabilir (Dayık, 2005).

2.7.1 Kopyalama

Rulet çarkının seçimi sırasında kromozom üzerinde sonucu olumlu yönde değiştiren genlerin sonraki nesiller için kopyalanarak saklanması işlemidir (Dayık, 2005).

2.7.2 Mutasyon

GEP kromozomları üzerindeki genlerin rast gele olarak değiştirilmesi işlemine mutasyon denir. Mutasyona uğrayan kromozomlar önceki kromozomlardan tamamen farklı kromozomlara dönüşeceklerdir. Çaprazlamadaki kısıtlama burada yoktur. Mutasyon, genetik algoritmanın yerel bir noktasına takılmasını engeller. Mühim olan, mutasyon oranının iyi seçilmesidir. Bu oran programın yerel bir noktaya takılmasını engelleyecek ölçüde yüksek, ancak çaprazlama ve çoğullama işlemlerinin getirdiği en iyi noktaya ulaşmayı önlemeyecek derecede düşük alınmalıdır. GEP' te bu oranlar 0.01

012 345 67890123456012 345 67890123456

+ba a-Q -baabaabaabQ*+ */- /-aababbaaa



012 345 67890123456012 345 67890123456

+ba a-Q -baabaabaabQ*+ a-Q -/aababbaaa

Şekil 2.7. IS Transferi ile yeni gen oluşturma

2.7.3.2 Kök transferi (RIS transferi)

Kromozomun baş bölümünden gelişi güzel seçilen belli sayıdaki genin alınarak yine baş bölümünden farklı yerlere konulması işlemidir. Bütün baş bölümü kök değişim elemanına yer sağlamak için kaydırılır ve eklenen sembol sayısı kadar sondan sembol silinerek kromozomun yapısı sağlanmış olur. Bu işlem için en az iki alt kromozomdan oluşan kromozom yapısı gereklidir. Kök transferi kökten bir değişikliktir. GEP algoritmasında RIS transfer oranı genellikle 0.1 olarak alınabilir (Dayık, 2005). Şekil 2.8’de RIS transferi ile yeni gen oluşturma verilmiştir.

012345678901234560123456789012456

-a Q- +/babbababa//Q*baa+bbbabbbbb



012345678901234560123456789012456

Q-* *-a +/babbababa//Q*baa+bbbabbbbb

Şekil 2.8. RIS transferi ile yeni gen oluşturma (Dayık, 2005)

2.7.3.3 Gen transferi

Kromozomdaki bir grup genin kopyalanarak kromozom üzerinde yer değiştirmesi işlemidir (Lutton vd., 2002). Gen transferinde kopyalanan gen kromozomun en başına eklenir. Şekil 2.9’da gen transferi ile yeni gen oluşturma verilmiştir.

012345678901201234567890120123456789012

*+Qb/abaaabaa*a* /Qbbbababb *Q+babbaaabba



012345678901201234567890120123456789012

*Q+babbaaabba *+Qb/abaaabaa*a* /Qbbbababb

Şekil 2.9. Gen transferi ile yeni gen oluşturma (Dayık, 2005)

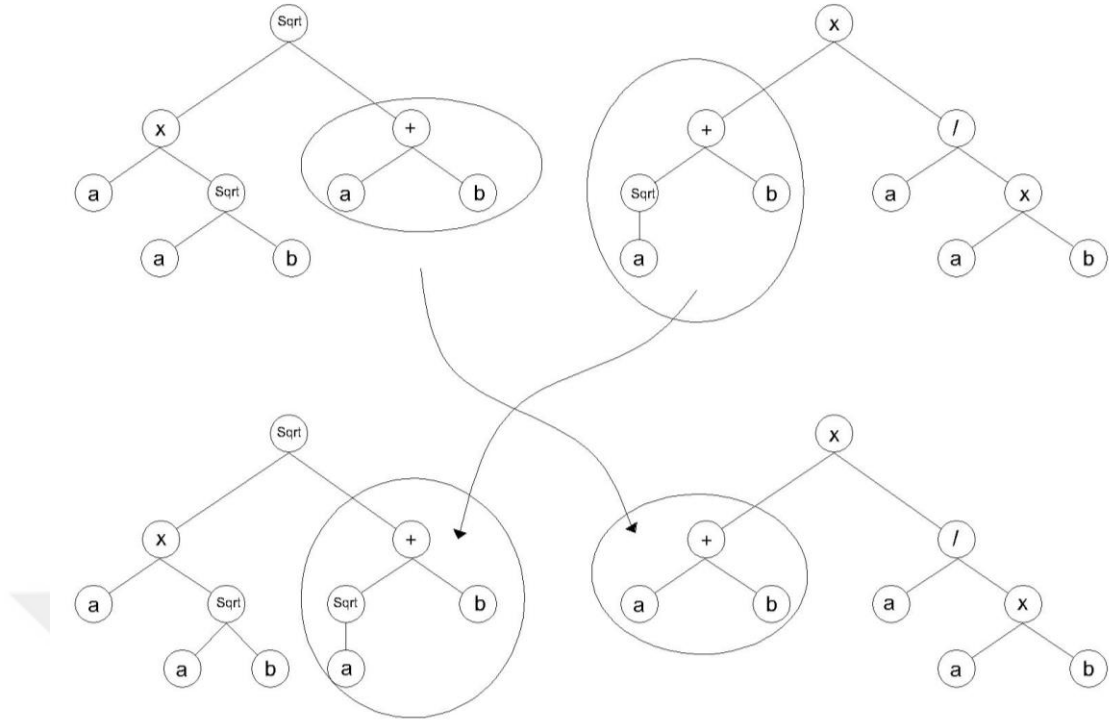
2.7.4 Tekrar dzenleme (Çaprazlama)

GEP’ te üç farklı yer değiştirme ile kromozomlar yeniden oluşturulabilir.

- Tek noktadan yer değiştirme
- İki noktadan yer değiştirme
- Rast gele yer değiştirme ile yeni GEP genleri elde edilir (Sarıdemir, 2010).

2.7.4.1 Tek noktadan yer değiştirme

Çaprazlama esnasında iki kromozom arasında gelişigüzel bir noktadan seçilen genlerin yer değiştirmesi ile yapılır. GEP’ te tek noktadan yer değiştirme oranı genellikle 0.1 olarak alınabilir (Roy vd., 2002). Şekil 2.10’da tek noktadan yer değiştirme ile oluşturulan yer değiştirmenin AA verilmiştir. Şekil 2.11’ de ise iki kromozom arasında tek noktadan gen transferi ile gen oluşturma verilmiştir.



Şekil 2.10. Çaprazlama (Sarıdemir, 2010)

0123456789012345601234567890123456

*/+a-Q a*ababbbaaa+Q-/*b/*aabbaabab

+/*b+ /-bbbbabbbb-/*ab//+bababbbbaa



0123456789012345601234567890123456

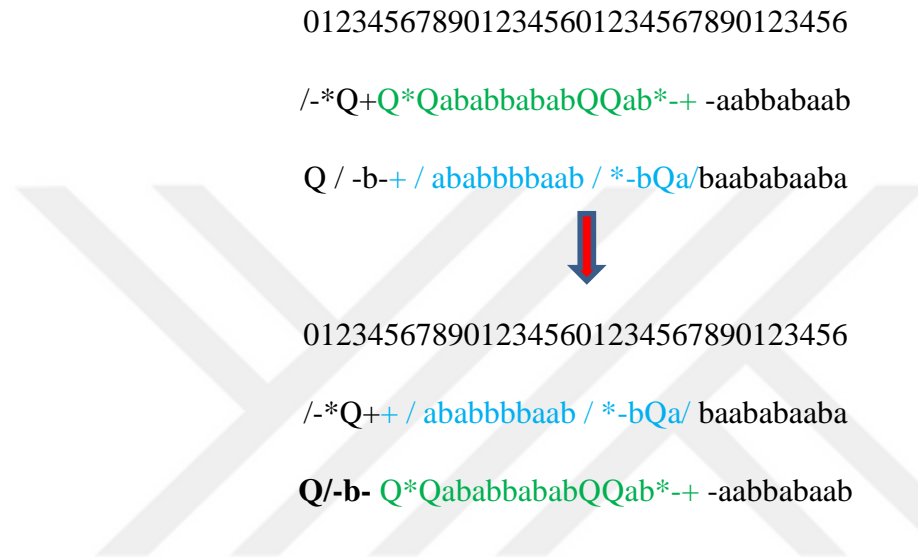
*/+a-Q /-bbbbabbbb-/*ab//+bababbbbaa

+/*b+ a*ababbbaaa+Q-/*b/*aabbaabab

Şekil 2.11. İki kromozom arasında tek noktadan gen transferi ile yeni gen oluşturma (Dayık, 2005)

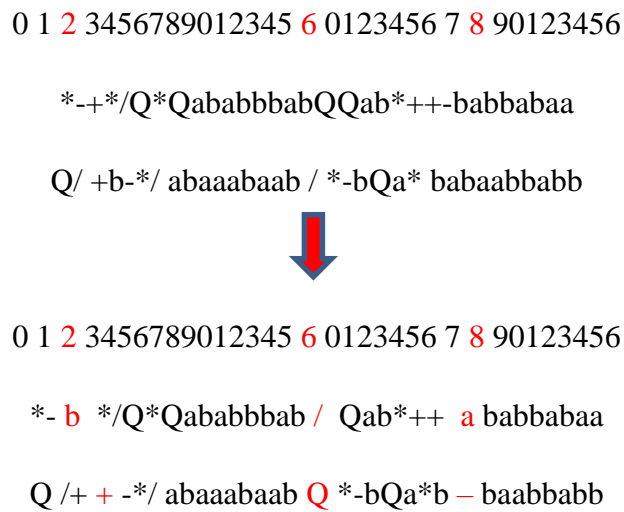
2.7.4.2 İki noktadan yer değiştirme

Çaprazlama esnasında iki kromozom arasında gelişigüzel seçilen iki noktadan genlerin yer değiştirmesi ile yeni kromozomlar elde edilir. Kromozomların çeşitliliği bakımından tek noktadan yer değiştirmeye oranla daha iyi sonuçlar verir (Santos ve Zapito, 2003). Şekil 2.12’de iki kromozom arasında iki noktadan gen transferi ile yeni gen oluşturma verilmiştir.



Şekil 2.12. İki kromozom arasında iki noktadan gen transferi ile yeni gen oluşturma (Dayık, 2005)

2.7.4.3 Rastgele yer değiştirme



Şekil 2.13. İki kromozom arasında rastgele gen değiştirme ile yeni gen oluşturma (Dayık, 2005)

Çaprazlama esnasında iki kromozom arasında gelişigüzel seçilen genlerin yer değiştirmesi ile yeni kromozomlar oluşturulur. Böylece oluşan yeni kromozomlar genetik çeşitliliği artırır (Dayık, 2005). Şekil 2.13'te iki kromozom arasında rastgele gen değiştirme ile yeni gen oluşturma verilmiştir.

2.8 Yapılmış Çalışmalar

Gandomi vd. (2017) genetik programlamanın yeni bir çeşidi olan GEP tekniğini kayma donatılı betonarme kirişlerin kayma dayanımını tahmin etmek için kullanmıştır. Yaptıkları çalışma sonucunda önerilen model ile elde edilen sonuçlar ve bina standartları kullanılarak elde edilen sonuçları karşılaştırmış ve GEP modelinin standartlara göre daha iyi sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir.

Sarıdemir (2017) metakaolin ve silis dumanı içeren betonların farklı günlerdeki basınç dayanımlarını tahmin etmek için GEP modelleri kullanmıştır. Bu modelleri oluşturmak amacıyla, 33 farklı karışımdan üretilen 195 numunenin deneysel sonuçları literatürden elde edilmiştir. Modellerde kullanılan girdi verileri, numunenin yaşı ve beton karışım miktarlarını içerecek bir formatta 8 parametrelilik olarak düzenlenmiştir. Bu girdi parametrelerine göre modellerde, metakaolin ve silis dumanı içeren betonların farklı günlerdeki basınç dayanımı değerleri tahmin edilmiştir. Modellerin eğitim ve test sonuçları, metakaolin ve silis dumanı içeren betonların farklı günlerdeki basınç dayanımı değerlerini tahmin etmede GEP tekniğinin etkili olduğunu göstermiştir.

Sarıdemir ve Kara (2016) çelik liflerle güçlendirilmiş silis dumanı içeren betonların farklı günlerdeki yarmada çekme dayanımı değerlerini tahmin etmede gen ifadeli programlama (GEP) tekniğini kullanmışlardır. Modellemede kullanmak üzere 126 farklı karışımdan üretilen 186 numuneye ait deneysel sonuçlar literatürden temin edilmiştir. Modelde girdi değişkenleri olarak numune yaşı, beton karışım miktarları ve çelik liflerin özellikleri; çıktı değişkeni olarak ise yarmada çekme dayanımı değerleri kullanılmıştır. Bu girdi değişkenleri ile çelik liflerle güçlendirilmiş silis dumanı içeren betonların farklı günlerdeki yarmada çekme dayanımı değerleri, deneysel sonuçlarına yakın olarak model ile tahmin edilmiştir. Modeldeki eğitim, test ve doğrulama sonuçlarının deneysel sonuçlarla karşılaştırılması, çelik liflerle güçlendirilmiş silis

dumanı içeren betonların farklı günlerdeki yarmada çekme dayanımı değerlerinin tahmini için GEP tekniğinin etkili olduğunu göstermiştir. Bu durumu, modelden elde edilen eğitim, test ve doğrulama sonuçları ile deneysel sonuçları karşılaştırmak için kullanılan *R-kare* (R^2), ortalama mutlak yüzde hatası (*OMYH*) ve kare ortalamalarının karekökü (*KOK*) ile ifade edilen istatistiksel parametre değerleri açıkça göstermektedir.

Babayiğit (2015) meteorolojik veriler ve geçmiş günlere ait yeraltı su seviyelerini kullanarak yeraltı su seviyelerini tahmin etmek amacıyla çeşitli matematiksel modeller geliştirmiştir. Matematiksel modellerin geliştirilmesinde yeni bir GP yaklaşımı olan çok-genli genetik programlamayı (ÇGGP) kullanmıştır. Beş veya altı giriş parametrelerine göre 1, 7, 15, 30 ve 45 gün sonraki yeraltı su seviyelerini tahmin etmek için toplam 10 model oluşturmuş ve bu modellerin doğruluğunu çoklu doğrusal regresyon modelleri ile karşılaştırmıştır. ÇGGP modelleri ile elde edilen sonuçların çoklu doğrusal regresyon modellerine göre dört farklı kritere göre daha iyi olduğunu gözlemlemiştir.

Gandomi vd. (2014) GEP kullanılarak kesme donatısız silindirik betonarme kirişlerin kesme dayanımını tahmin etmek için yeni bir tasarım bağıntısı elde etmişlerdir. Analizde girdi değişenleri olarak gövde genişliği, hesap yüksekliği, beton basınç dayanımı, boyuna donatı miktarı ve kesme açıklığının derinliğe oranını seçmişlerdir. Önerilen modelin kesme donatısız elemanların maksimum kesme kapasitesinin tahmin etmede etkili olduğunu göstermişlerdir. GEP ile elde edilen sonuçların çeşitli yapı standartları kullanılarak elde edilen sonuçlara göre daha doğru sonuçlar verdiğini ve GEP tabanlı formülün ön tasarım uygulamaları için oldukça basit ve kullanışlı olduğunu belirtmişlerdir.

Sarıdemir (2014) uçucu kül içeriğinin betonun basınç dayanımı üzerine etkisini genetik programlama ile modellemiştir. Modellerde çimento, su, kum, agrega, süper akışkanlaştırıcı, uçucu kül, CaO ve numune yaşı girdi parametresi olarak kullanırken, çıktı parametresi olarak uçucu kül içeren betonun basınç dayanımı değerlerini kullanmıştır. Genetik programlama modellerinden elde edilen açık formülasyonların eğitim, test ve doğrulama set sonuçlarını deneysel sonuçlar ile karşılaştırmıştır. Karşılaştırma sonuçlarında uçucu kül içeren betonun basınç dayanımının tahmini için genetik programlamanın uygulanabilir olduğunu gözlemlemiştir.

Mehdipour vd. (2013) GP ile aylık yeraltı su seviyelerinin tahmini ve simülasyonunu incelemiştir. İran'ın Karaj ovasındaki üç gözlem kuyusunda yer altı su seviyelerini tahmin etmek ve simüle etmek için iki yapay zeka aracı olarak uyarlamalı bir sinir bulanık çıkarım sistemi ve GP tekniğini kullanmışlardır. Araştırma sonucunda, GP'ye dayalı olarak önerilen tahmin ve simülasyon yaklaşımının yeraltı su seviyelerini belirlemede etkili bir araç olduğu kanaatine varmışlardır.

Ashour ve vd. (2003) derin betonarme kirişlerin girdi parametreleri ile maksimum kesme dayanımı arasındaki karmaşık ilişkiyi ampirik modellemek için genetik programlamayı kullanmışlardır. GEP ile modellemede literatürdeki deneysel sonuçlardan faydalanılmıştır. Geliştirilen model ile ayrıca, kesme dayanımı ve farklı parametreler arasındaki ilişki de incelenmiştir.

Mousavi vd. (2012) yüksek performanslı beton (YPB) özelliklerinden olan basınç dayanımını GEP kullanarak modellemişlerdir. Daha sonra GEP modellemesinde yer almayan deney sonuçlarının bir kısmını modelin doğrulaması için kullanmışlardır. YPB betonun basınç dayanımını tahmin etmek için GEP modelinin uygulanabileceğini göstermişlerdir. Sonuçta GEP modelinin, YPB karışımlarının basınç dayanımını değerlendirmek için etkili bir yöntem olduğunu belirtmişlerdir. Optimal GEP modelinin tahmin performansının regresyon modellerinden daha iyi olduğuna kanaat getirmişlerdir.

Severcan (2012) genetik programlamayı kullanarak betonun silindir yarmada çekme dayanımını tahmin eden bir model elde etmeye çalışmıştır. Eğitim, test ve doğrulamada kullanılan veriler literatürden elde edilmiştir. Girdi parametreleri olarak ise su-çimento oranı, numunenin yaşı ve 100 mm boyutlarında beton küp numunenin basınç dayanımı seçilmiştir. Eğitim ve test verileri ise deneysel veriler içerisinde rastgele seçilmiştir. GEP modelleri sonuçlarının doğruluğunun kontrolünde farklı deneysel sonuçlardan faydalanılmıştır. Bu çalışmanın sonunda, GEP modellerinin betonun yarmada çekme dayanımını tahmin etmede iyi bir performans sergilediği ortaya konulmuştur.

Kara (2011), genetik programlama ile enine donatısız lif takviyeli polimer donatılar (LTPD) içeren beton kirişlerin beton kesme dayanımını hesaplamak için basit bir model sunmuştur. Modelin GEP ile oluşturulmasında literatürde bulunan deneysel

sonuçlardan faydalanılmıştır. Elde edilen sonuçlardan, GEP in enine donatısız LTPD'li beton kirişlerin kesme dayanımını tahmin etmede başarılı olduğu gösterilmiştir.

Çevik ve vd. (2010) betonarme kirişin burulma dayanımının tahmininde GP kullanımını araştırmışlardır. GP modelini geliştirmek için, 76 adet dikdörtgen kirişe ait deneysel veriden faydalanılmıştır. Burulma dayanımını etkileyen kesit alanı, kapalı etriye çapı, kapalı etriye aralığı, kapalı etriyenin bir kolunun alanı, etriye ve boyuna donatı akma dayanımı, etriye donatı oranı, boyuna donatı oranı ve beton basınç dayanımı giriş parametreleri olarak seçilmiştir. Önerilen GP modeli ile standartların betonarme kirişin burulma dayanımını tahmin etmede doğruluğu da incelenmiştir. Çalışmanın sonunda, önerilen GP modelinin betonarme kirişlerin burulma dayanımını tahmininde standartlara göre daha doğru sonuçlar verdiği sonucuna varılmıştır.

Baykasoğlu ve vd. (2008) genetik programlama tekniklerinden faydalanarak, Gaziantep bölgesinden elde edilen kireç taşının tek eksenli basınç dayanımını ve çekme dayanımını tahmin etmeye çalışmışlardır. Yapılan incelemeler sonucunda genetik programlama tekniğinin kireçtaşının dayanımlarının belirlenmesinde oldukça etkili olduğunu gözlemlemişlerdir.

Pala (2008) soğukta işlem görmüş çelik elemanın, genetik programlama ile elastik burkulma gerilmesini tahmin etmek için formüller geliştirmiştir. Eğitim ve teste kullanılan veriler literatürden toplanmıştır. Önerilen genetik programlama formüllerinin doğruluğunu kontrol için de deneysel ve analitik sonuçlardan faydalanılmıştır. Elde edilen sonuçlardan GP'nin çelik elemanın genetik programlama ile elastik burkulma gerilmesini tahmin etmede kullanılabilir olduğu gözlemlenmiştir.

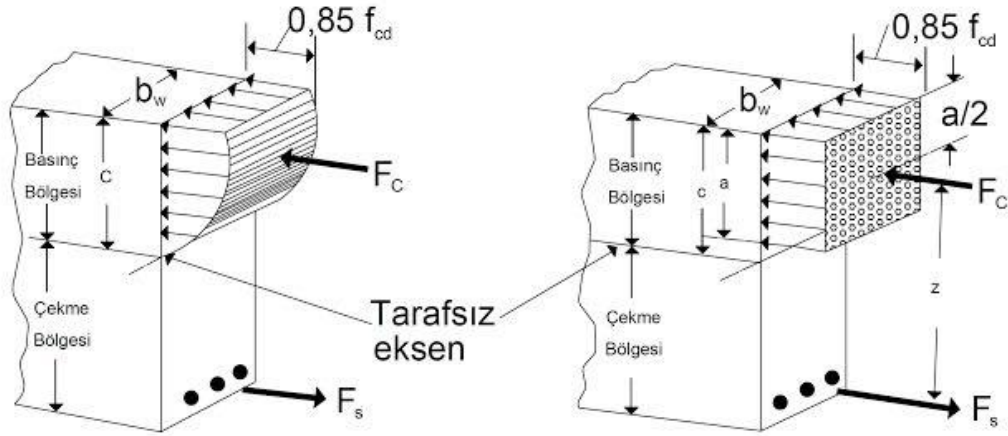
Özbay ve vd. (2008) yaş ve sertleşmiş kendiliğinden yerleşen betonların özelliklerinin tahmin edilmesinde genetik programlamayı kullanmışlardır. Eğitim ve testlerde kullanılmak üzere mineral katkılı ve katkısız 44 beton karışımı hazırlanmıştır. Bu karışımlardan, eğitim ve test setleri rastgele seçilmiş, sırasıyla 28 ve 16 adet karışımdan oluşmuştur. Bu çalışma ile GP formülasyonun sonuçlarının, deneysel verilerle iyi bir uyum gösterdiği ve özellikle sertleşmiş beton özelliklerinin tahmininde oldukça güvenilir olduğu gösterilmiştir.

BÖLÜM III

TEK VE ÇİFT DONATILI DİKDÖRTGEN KİRİŞLER

3.1 Tek Donatılı Kirişler

Kirişlerde bilindiği üzere aksenal kuvvet ya yoktur ya da çok küçük değerlerde olduğundan ihmal edilir. Yani kirişler basit eğilme etkisi altındadır. Basit eğilme etkisi altında olan kirişlerde basınç bölgesindeki gerilme dağılımı gerçekte parabolüdür. Hesaplarda kolaylık sağlaması nedeniyle eşdeğer dikdörtgen gerilme bloğu kabulü yapılır. Basınç bölgesindeki gerilmeler beton tarafından, çekme bölgesindeki gerilmeler donatı tarafından karşılanır. Çekme bölgesine konulacak donatının oranı dengeli donatı oranından küçük olması durumunda kirişler tek donatılı kirişler olarak adlandırılır (Ersoy, 1987). Şekil 3.1’ de betonarme kirişte olan gerilme dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Betonarme kirişte oluşan gerilme dağılımı (Doğangün, 2008)

3.2 Tek Donatılı Kirişlerin Davranışı

Kirişler içinde kullanılan donatının oranına göre farklı kırılma biçimleri gösterir;

- Basınç kırılması
- Çekme kırılması
- Dengeli kırılma

Betondaki ezilme ile ($\epsilon_c = \epsilon_{cu}$) çelikteki akma ($\epsilon_s = \epsilon_{sy}$) aynı anda gerçekleşiyor ise bu dengeli kırılma durumudur. Önce betonun ezilmesi ($\epsilon_c = \epsilon_{cu}$) ve sonra donatının akması ($\epsilon_s < \epsilon_{sy}$) durumu ise denge üstü olarak adlandırılan basınç kırılmasıdır. Kirişlerde istenen kırılma biçimi ise denge altı kırılmadır. Bu durumda donatı oranı $\rho < \rho_b$ ' dir. Bu tür kırılmada önce donatı akar ($\epsilon_s > \epsilon_{sy}$) ve sonra beton ezilir ($\epsilon_c = \epsilon_{cu}$) (Doğangün, 2008).

3.3 Tek Donatılı Kirişlerde Kesit Tasarımı

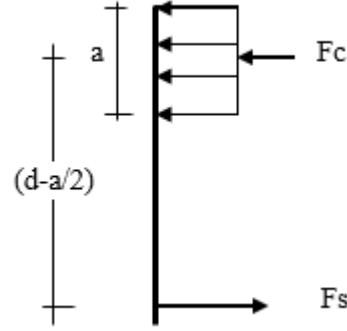
Taşıyıcı sistemin analizi sonucu elde edilen en elverişsiz duruma ait tasarım momenti (M_d) için kirişlerin boyuna donatısı hesaplanır (A_s). Hesaplanan donatının, donatı oranının minimum donatı oranından büyük ve maksimum donatı oranından küçük olması gerekir.

$$\rho_{\min} = 0.8 \frac{f_{ctd}}{f_{yd}} < \rho < \rho_{\max} = \begin{pmatrix} 0.02 \\ 0.85 \rho_b \\ 0.235 \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \end{pmatrix}$$

(3.1)

Denklem (3.1)'de ρ_{\min} minimum donatı oranı, f_{ctd} beton hesap çekme dayanımı, f_{yd} boyuna donatının hesap akma dayanımı, ρ donatı oranı, ρ_{\max} maksimum donatı oranı, ρ_b dengeli donatı oranı, f_{cd} ise beton hesap basınç dayanımıdır.

Yukarıda verilen şartların sağlanması durumunda tek donatılı, yani sadece çekme bölgesinde donatılı betonarme kiriş oluşturulur. Sağlanmaması durumunda ise ya kesit büyütülür ya da çift donatılı denilen basınç bölgesine de donatı konulan kirişler oluşturulur (Doğangün, 2008). Şekil 3.2'de denge denklemleri yardımı ile eşdeğer derinlik hesabı gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Denge denklemleri yardımıyla eşdeğer derinlik hesabı (Doğangün, 2008)

Gerekli donatı alanı denge denklemleri yardımıyla aşağıda verildiği gibi elde edilir (Şekil 3.2):

$$F_c = F_s \quad (3.2)$$

$$0.85 f_{cd} b_w a = A_s f_{yd} \quad (3.3)$$

$$M_d = F_c \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (3.4)$$

$$M_d = 0.85 f_{cd} b_w a \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (3.5)$$

Buradan ikinci derece denklem çözümü yapılırsa $a_{1,2} = d \pm \sqrt{d^2 - \frac{2M_d}{0.85 f_{cd} b_w}}$ ifadesi elde edilir.

$$M_d = F_s \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (3.6)$$

$$M_d = A_s f_{yd} \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (3.7)$$

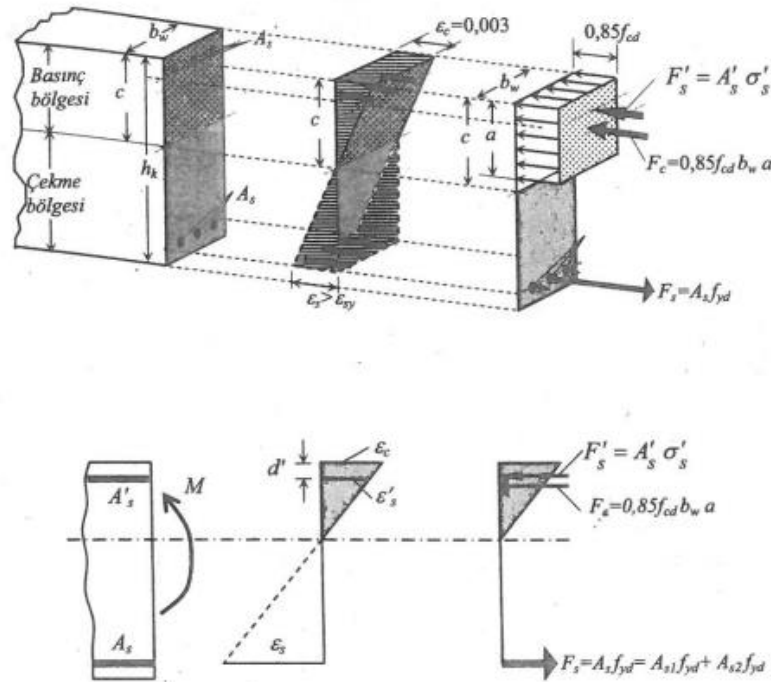
$$A_s = \frac{M_d}{f_{yd} \left(d - \frac{a}{2} \right)} \quad (3.8)$$

olarak bulunur. Yukarıda A_s hesaplanırken izlenmesi gereken adımlar gösterilmiştir. Burada F_c kesitte oluşan bileşke basınç kuvveti, F_s donatılarda oluşan bileşke çekme kuvveti, b_w kiriş genişliği, a eşdeğer basınç bloğu derinliği, A_s boyuna donatı alanı, M_d hesap momenti ve d ise kiriş hesap yüksekliğidir. GEP modellerinde kullanılan A_s verilerinin hesaplanması için aşağıdaki formül kullanılmıştır (Doğangün, 2008).

$$A_s = \frac{M_d}{f_{yd} \left[d - \frac{1}{2} \left(d - \sqrt{d^2 - \frac{2M_d}{0.85f_{cd}b_w}} \right) \right]} \quad (3.9)$$

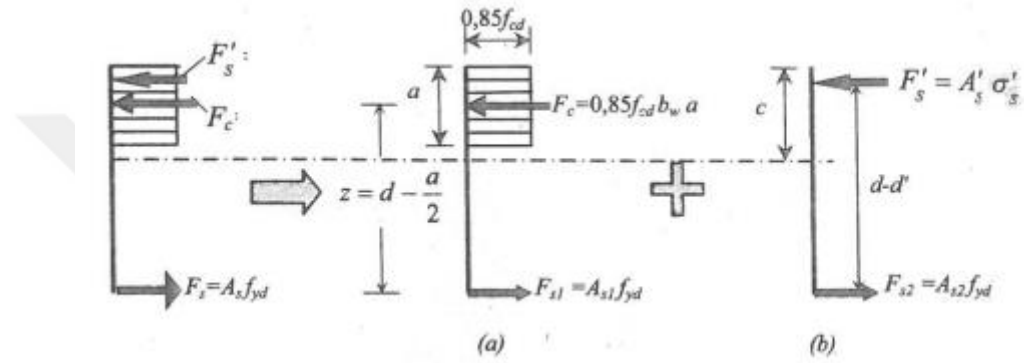
3.4 Çift Donatılı Kirişler

Betonarme kirişlerde kiriş sünekliğinin artırılması ve kiriş deformasyonunun azaltılması istendiğinde, denge altı donatı koşulunun sağlanamaması durumunda ve mimari zorunluluklar nedeniyle kirişlere basınç donatısı konulur. Kirişe etki eden kuvvetler iki kısım halinde gösterilir. Birinci kısımda basınç bölgesinde betonda oluşan kuvvete eşit çekme donatısında kuvvet oluşması durumu, ikinci kısımda ise basınç bölgesinde bulunan donatıda oluşan kuvvete eşit çekme donatısında kuvvetin oluşması durumudur. Bilinmeyenlerin sayısının fazla olmasından dolayı bir değişkenin seçilmesi gerekir. Şekil 3.3'te çift donatılı kirişlerdeki kuvvetler ve şekil değiştirmeler gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Çift donatılı kirişlerde kuvvetler ve şekil değiştirmeler (Doğangün, 2008)

Yukarıda Şekil 3.3'te verilen ve aşağıdaki denklemlerde, A'_s basınç donatısı alanını, ε'_s basınç donatısında meydana gelen şekil değiştirmeyi (birim kısalmayı), σ'_s basınç donatısındaki gerilmeyi, F'_s basınç donatısındaki bileşke kuvveti, A_{s1} beton bileşkesine eşit bir çekme kuvvetini oluşturmak için gerekli çekme donatısı alanını, A_{s2} basınç bölgesindeki donatıdaki basınç kuvvetine eşit çekme kuvvetini oluşturmak için gerekli çekme donatısı alanını, A_s çekme donatısı toplam alanını ($A_{s1} + A_{s2}$) göstermektedir (Doğangün, 2008). Şekil 3.4'te çift donatılı kirişlere etki eden kuvvetler gösterilmektedir.



Şekil 3.4. Çift donatılı kirişlere etki eden kuvvetlerin iki kısımda gösterimi (Doğangün,2008)

Şekil 3.4' de gösterilen kuvvetler ve denge denklemleri kullanılarak aşağıda verilen bağıntılar elde edilmektedir.

$$F_c + F'_s = F_s \quad (3.10)$$

$$0.85 f_{cd} b_w a + A'_s \sigma'_s = A_s f_{yd} \quad (3.11)$$

$$M_r = 0.85 f_{cd} b_w a \left(d - \frac{a}{2} \right) + A'_s \sigma'_s (d - d') \quad (3.12)$$

Basınç donatısındaki birim kısalma,

$$\varepsilon'_s = 0.003 \left(\frac{c - d'}{c} \right) \quad (3.13)$$

Basınç donatısındaki germe,

$$\sigma'_s = \varepsilon'_s E_s \quad (3.14)$$

olur. Tüm donatı sınıfları için $E_s = 2 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ alındığından yukardaki ifade şu hali alır:

$$\sigma'_s = 600 \left(\frac{c - d'}{c} \right) \quad (3.15)$$

Basınç donatısı oranı ise aşağıdaki gibidir.

$$\rho' = \frac{A'_s}{b_w d} \quad (3.16)$$

Çift donatılı kesitlerde öncelikle basınç donatısının akıp akmadığının belirlenmesi gerekir. Bunun için aşağıda verilen üç seçenektten biri kullanılabilir.

$$1) \rho - \rho' \geq 0.85 k_1 \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \left(\frac{600}{600 - f_{yd}} \right) \frac{d'}{d} \quad (3.17)$$

$$2) \sigma'_s \geq f_{yd} \quad (3.18)$$

$$3) \varepsilon'_s \geq \varepsilon_{sy} \quad (3.19)$$

Burada F'_s basınç donatısındaki bileşke kuvvet, A'_s basınç donatısı alanı, σ'_s basınç donatısındaki gerilme, M_r taşıma gücü momenti, d' beton basınç yüzünden basınç donatısı ağırlık merkezine olan uzaklık, ε'_s basınç donatısında meydana gelen şekil değiştirme, E_s donatının elastisite modülü, c beton tarafsız eksen derinliği, ρ' basınç donatısı oranı, k_1 eşdeğer basınç bloğu derinlik katsayısı ve ε_{sy} donatı akma başlangıcında birim deformasyondur.

Tek donatılı kiriş kesitlerinde kiriş taşıma gücüne ulaşmadan çekme donatısının akması gerekirken çift donatılı kiriş kesitlerinde basınç donatısının akması şartı yani denge altı donatı zorunluluğu yoktur (Doğangün, 2008).

3.5 Çift Donatılı Dikdörtgen Kirişlerde Kesit Tasarımı

Çift donatılı dikdörtgen kirişlerin kesit tasarımında bilinmeyen sayısı fazla olduğu için bir bilinmeyen seçilmesi gerekir. Burada genellikle (ρ_1) donatı oranı için bir değer seçilir. Bu değer $0.5\rho_b$ ile $0.85\rho_b$ arasında olması tercih edilir. Donatı oranı (ρ_1) ile elde edilen moment (M_1), tasarım momentinden (M_d) büyükse, kesit tek donatılı diğer durumda ise kesitin basınç bölgesine de donatı konulması durumu olan çift donatılı kiriş olarak tasarlanması gerekir. Çift donatılı kirişlerin tasarımında donatının akıp akmamasının kontrolü yapılır (Doğangün, 2008).

Çift donatılı dikdörtgen kesitlerin donatı hesabında izlenen işlem adımları aşağıda verilmiştir.

$$0.5\rho_b \leq \rho_1 \leq 0.85\rho_b \quad (3.20)$$

$$\rho_b = 0.85k_1 \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \left(\frac{600}{600 + f_{yd}} \right) \quad (3.21)$$

$$A_{s1} = \rho_1 b_w d \quad (3.22)$$

$$k_{m1} = \rho_1 f_{yd} \left(1 - 0.59\rho_1 \frac{f_{yd}}{f_{cd}} \right) \quad (3.23)$$

$$M_1 = k_{m1} b_w d^2 \quad (3.24)$$

$$M_2 = M_d - M_1 \quad (3.25)$$

$$A_{s2} = \frac{M_2}{(d - d') f_{yd}} \quad (3.26)$$

$$\rho_2 = \frac{A_{s2}}{b_w d} \quad (3.27)$$

$$c = \frac{a}{k_1} \quad (3.28)$$

$$\sigma_s' = 600 \left(\frac{c - d'}{c} \right) \quad (3.29)$$

$$\sigma_s' \geq f_{yd} \text{ ise } A_s' = A_{s2} \quad (3.30)$$

$$\sigma_s' < f_{yd} \text{ ise } A_s' = A_{s2} \frac{f_{yd}}{\sigma_s'} \quad (3.31)$$

$$\rho' = \frac{A_s'}{b_w d} \quad (3.32)$$

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} \quad (3.33)$$

GEP modellerinde kullanılan A_s verilerinin hesaplanması için aşağıdaki formül kullanılmıştır (Ersoy, 1987).

$$A_s = \rho_1 b_w d + \frac{M_d - \rho_1 f_{yd} \left(1 - 0.59 \rho_1 \frac{f_{yd}}{f_{cd}} \right) b_w d^2}{(d - d') f_{yd}} \quad (3.34)$$

$$(\rho_1 + \rho_2) - \rho' \leq 0.85 \rho_b \quad (3.35)$$

Burada A_{s1} beton bileşkesine eşit bir çekme kuvvetini oluşturmak için gerekli çekme donatısı alanı, A_{s2} basınç bölgesindeki donatıdaki basınç kuvvetine eşit çekme kuvvetini oluşturmak için gerekli çekme donatısı alanı, ρ_1 eşdeğer basınç bloğu bileşkesine eşit çekme kuvveti oluşturmak için gerekli donatı oranı, ρ_2 fark moment için gerekli çekme donatısı oranı, M_1 birinci kısma ait taşıma gücü momenti, M_2 ikinci kısma ait taşıma gücü momentidir. Yukarıda verilen son bağıntıdaki koşulun sağlanması durumunda

kesitin uygun olduğu, koşulun sağlanamaması durumunda ise kesitin etki eden M_d momentini taşıyamayacağı ve kesitin büyütülmesi gerektiği anlaşılır.



BÖLÜM IV

BETONARME KİRİŞLERDE DONATI ALANININ GEP İLE MODELLENMESİ

4.1 Tek Donatılı Kirişlerin Donatı Alanının GEP İle Modellenmesi

Bu bölümde GEP yardımıyla tek donatılı kirişlerin donatı alanını hesaplamak için modeller geliştirilmiştir. Geliştirilen bu modeller GEP-I, GEP-II ve GEP-III olarak isimlendirilmiştir. Bu modelleri geliştirmek için tek donatılı kirişlerin hesabında kullanılan Denklem (3.9) yardımıyla 160 farklı donatı alanına sahip tek donatılı kiriş verileri elde edilmiştir. İlk olarak programda kullanılacak problem verilerine, diğer bir ifadeyle model seti girdi parametrelerine bu formülde kullanılan değişkenlere göre karar verilmiştir. Bu girdi değişkenleri de kiriş genişliği (b_w), kiriş hesap yüksekliği (d), donatının hesap akma dayanımı (f_{yd}), betonun hesap basınç dayanımı (f_{cd}) ve hesap momenti (M_d) olarak seçilmiştir. Seçilen veri değerleri ve AA'daki tanımları Çizelge 4.1'de verilmiştir. Bu problem verileri farklı değerler için bir araya getirilerek excel programı yardımıyla önce eşdeğer dikdörtgen gerilme bloğu derinliği (a), sonra donatı oranı (ρ) değeri hesaplanarak tek donatılı kiriş kontrolünün sağlanması için hesaplanan donatı oranının ρ_{min} den büyük ρ_b den küçük olması kontrolü yapılmıştır. Gerekli kontroller yapıldıktan sonra donatı alanı (A_s), diğer bir ifadeyle model seti çıktı parametresine karşılık gelen teorik değer yani 160 farklı donatı alanına sahip tek donatılı kiriş verileri hesaplanmıştır. Daha sonra oluşturulan 160 veri sırasıyla 2 eğitim, 1 test ve 1 doğrulama şeklinde ayrılarak toplamda 80 veriden oluşan eğitim kümesi ve 40 veriden oluşan test kümesi Çizelge 4.2 ve 4.3'te, modellerin doğrulaması için eğitim ve test kümesinden bağımsız 40 veriden oluşan doğrulama kümesi ise Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.1. Tek donatılı kirişlere ait GEP modellerinde kullanılan girdi değişkenleri

Problem Verileri	AA'daki Tanımları	Seçilen Veri Değerleri
b_w	d0	250, 260, 300, 310 (mm)
d	d1	380,390 400, 450 (mm)
f_{cd}	d2	13, 17, 20 (MPa)
f_{yd}	d3	191, 365 (MPa)
M_d	d4	[30, 40, 45, 50, 55, 60, 90, 100, 120, 125, 130, 140, 145, 150]x10 ⁶ (Nmm)

Çizelge 4.2. Tek donatılı kirişlere ait modellerde kullanılan eğitim kümesi verileri

Veri No	b_w (mm)	d (mm)	f_{yd} (MPa)	f_{cd} (MPa)	M_d $\times 10^6$ (Nmm)	A_s (mm ²)
1	250	380	365	13	30	225.103
2	250	380	365	17	40	300.388
3	250	380	365	17	50	379.652
4	250	380	365	20	40	298.458
5	250	400	365	20	40	282.543
6	250	400	365	13	50	364.396
7	250	450	365	13	40	252.922
8	250	450	365	17	50	315.596
9	250	450	365	17	60	381.649
10	250	450	365	17	90	586.572
11	250	450	365	20	60	379.004
12	300	400	365	13	90	680.098
13	300	400	365	13	100	765.605
14	300	400	365	17	120	908.854
15	300	450	365	17	120	788.804
16	300	450	365	20	130	848.763
17	300	450	365	20	140	919.608
18	300	400	365	13	120	944.766
19	300	450	365	13	120	811.073
20	300	450	365	17	145	971.008
21	250	380	191	17	40	574.04
22	250	380	191	20	40	570.352
23	250	380	191	20	40	570.352
24	250	400	191	13	40	549.673
25	250	400	191	13	50	696.359
26	250	400	191	17	50	685.507
27	250	450	191	17	50	603.102
28	250	450	191	20	50	599.692
29	250	450	191	17	90	1120.935
30	250	450	191	17	120	1534.489
31	300	400	191	13	90	1299.663
32	300	400	191	17	100	1419.945
33	300	400	191	17	120	1736.816
34	300	400	191	20	130	1864.272
35	300	450	191	20	130	1621.982
36	300	450	191	13	140	1847.325
37	300	400	191	13	120	1805.442
38	300	400	191	17	130	1900.495
39	300	450	191	17	145	1855.592
40	300	450	191	20	150	1894.562

Çizelge 4.2. (Devam) Tek donatılı kirişlere ait modellerde kullanılan eğitim kümesi verileri

eri No	b_w (mm)	d (mm)	f_{yd} (MPa)	f_{cd} (MPa)	M_d $\times 10^6$ (Nmm)	A_s (mm ²)
41	260	390	365	20	45	327.476
42	260	380	365	13	40	303.823
43	260	380	365	17	50	378.836
44	260	380	365	20	40	298.044
45	260	400	365	17	40	283.75
46	260	400	365	20	45	318.704
47	260	400	365	20	50	355.512
48	260	400	365	20	55	392.625
49	260	450	365	20	55	345.829
50	260	450	365	13	55	352.384
51	260	450	365	17	120	799.613
52	260	450	365	17	130	873.919
53	310	400	365	17	100	740.832
54	310	400	365	20	120	890.584
55	310	400	365	20	130	972.247
56	310	450	365	13	100	660.474
57	310	450	365	13	140	961.903
58	310	450	365	17	130	858.149
59	310	400	365	17	130	990.297
60	310	400	365	20	140	1055.323
61	310	450	365	20	150	988.427
62	260	380	191	13	30	429.471
63	260	380	191	13	40	580.604
64	260	380	191	17	50	723.954
65	260	400	191	17	40	542.245
66	260	400	191	20	40	539.269
67	260	400	191	20	50	679.382
68	260	450	191	13	45	545.545
69	260	450	191	13	50	609.143
70	260	450	191	17	60	728.019
71	260	450	191	17	130	1670.055
72	260	450	191	20	60	723.192
73	310	400	191	20	120	1701.901
74	310	400	191	13	110	1623.496
75	310	450	191	13	100	1262.163
76	310	450	191	17	125	1571.306
77	310	450	191	17	130	1639.918
78	310	450	191	20	140	1752.539
79	310	400	191	20	140	2016.717
80	310	450	191	13	120	1543.82

Çizelge 4.3. Tek donatılı kirişlere ait modellerde kullanılan test kümesi verileri

Veri No	b_w (mm)	d (mm)	f_{yd} (MPa)	f_{cd} (MPa)	M_d $\times 10^6$ (Nmm)	A_s (mm ²)
1	250	380	365	20	40	298.458
2	250	400	365	13	40	287.637
3	250	400	365	17	50	358.718
4	250	450	365	20	50	313.811
5	250	450	365	17	120	802.979
6	300	400	365	17	100	743.04
7	300	400	365	20	130	975.551
8	300	450	365	13	140	966.682
9	300	400	365	17	130	994.506
10	300	450	365	20	150	991.401
11	250	380	191	13	40	581.923
12	250	400	191	17	40	543.05
13	250	400	191	20	50	680.462
14	250	450	191	13	50	610.352
15	250	450	191	17	130	1677.899
16	300	400	191	20	120	1707.106
17	300	450	191	13	100	1266.088
18	300	450	191	17	130	1644.979
19	300	400	191	20	140	2024.292
20	260	380	365	13	30	224.737
21	260	380	365	13	45	344.252
22	260	400	365	13	40	287.059
23	260	400	365	13	50	363.443
24	260	450	365	13	45	285.477
25	260	450	365	17	60	380.963
26	260	450	365	20	60	378.437
27	310	400	365	13	100	762.337
28	310	450	365	17	120	786.614
29	310	450	365	20	140	917.082
30	310	450	365	13	120	807.862
31	260	380	191	17	40	573.085
32	260	380	191	20	40	569.561
33	260	400	191	13	50	694.537
34	260	450	191	17	50	602.22
35	260	450	191	17	90	1117.685
36	310	400	191	13	90	1294.873
37	310	400	191	17	120	1730.242
38	310	450	191	20	130	1617.92
39	310	400	191	13	120	1795.332
40	310	450	191	17	145	1848.997

Çizelge 4.4. Tek donatılı kirişlere ait modellerde kullanılan doğrulama kümesi verileri

Veri No	bw (mm)	d (mm)	f _{yd} (MPa)	f _{cd} (MPa)	M _d x10 ⁶ (Nmm)	A _s (mm ²)
1	250	380	365	13	40	304.513
2	250	400	365	17	40	284.172
3	250	400	365	20	50	356.077
4	250	450	365	13	50	319.39
5	250	450	365	17	130	878.024
6	300	400	365	20	120	893.307
7	300	450	365	13	100	662.528
8	300	450	365	17	130	860.797
9	300	400	365	20	140	1059.287
10	250	380	191	13	30	430.172
11	250	380	191	17	50	725.514
12	250	400	191	20	40	539.937
13	250	450	191	13	40	483.333
14	250	450	191	17	60	729.329
15	250	450	191	20	60	724.275
16	300	400	191	13	100	1463.066
17	300	450	191	17	120	1507.4
18	300	450	191	20	140	1757.366
19	300	450	191	13	120	1549.957
20	260	390	365	17	45	329.658
21	260	380	365	17	55	418.979
22	260	400	365	17	45	320.71
23	260	400	365	17	50	358.033
24	260	450	365	17	50	315.134
25	260	450	365	17	90	584.871
26	310	400	365	13	90	677.591
27	310	400	365	17	120	905.414
28	310	450	365	20	130	846.638
29	310	400	365	13	120	939.475
30	310	450	365	17	145	967.557
31	260	380	191	20	40	569.561
32	260	400	191	13	40	548.568
33	260	400	191	17	50	684.199
34	260	450	191	20	55	660.878
35	260	450	191	17	120	1528.055
36	310	400	191	17	100	1415.725
37	310	400	191	20	130	1857.959
38	310	450	191	13	140	1838.192
39	310	400	191	17	130	1892.452
40	310	450	191	20	150	1888.878

Tüm modellemeler için aynı veriler ve matematiksel fonksiyonlar (+, -, ×, /, Sqrt, Inv, x2, x3, 3Rt, Sub3, , Add3, Mul3) kullanılarak farklı modellemeler oluşturulmuştur. GEP-I, GEP-II ve GEP-III modellerinde kromozom sayısı 40, baş sayısı 8 alınırken gen sayısı sırasıyla 3, 4 ve 5, bağlantı fonksiyonu olarak ise çarpma seçilmiştir. Daha sonra program çalıştırılmıştır. R^2 değerlerinin yüksek olması ve tüm girdi parametrelerinin fonksiyonda kullanıldığı gözlemlendiği an program durdurulmuştur ve açıklama ağaçları elde edilmiştir. Doğrulama kümesi verileri kullanılarak bu modellerden elde edilen formüllerin doğrulaması yapılmıştır. Eğer buradan da elde edilen R^2 değerleri de yüksek çıkarsa fonksiyonların uygun olduğu anlaşılmaktadır. Bu şekilde elde edilen formül ile GEP'te kullanılan girdi parametreleri kullanılarak tek donatılı kirişlere ait donatı alanı hesaplanabilir.

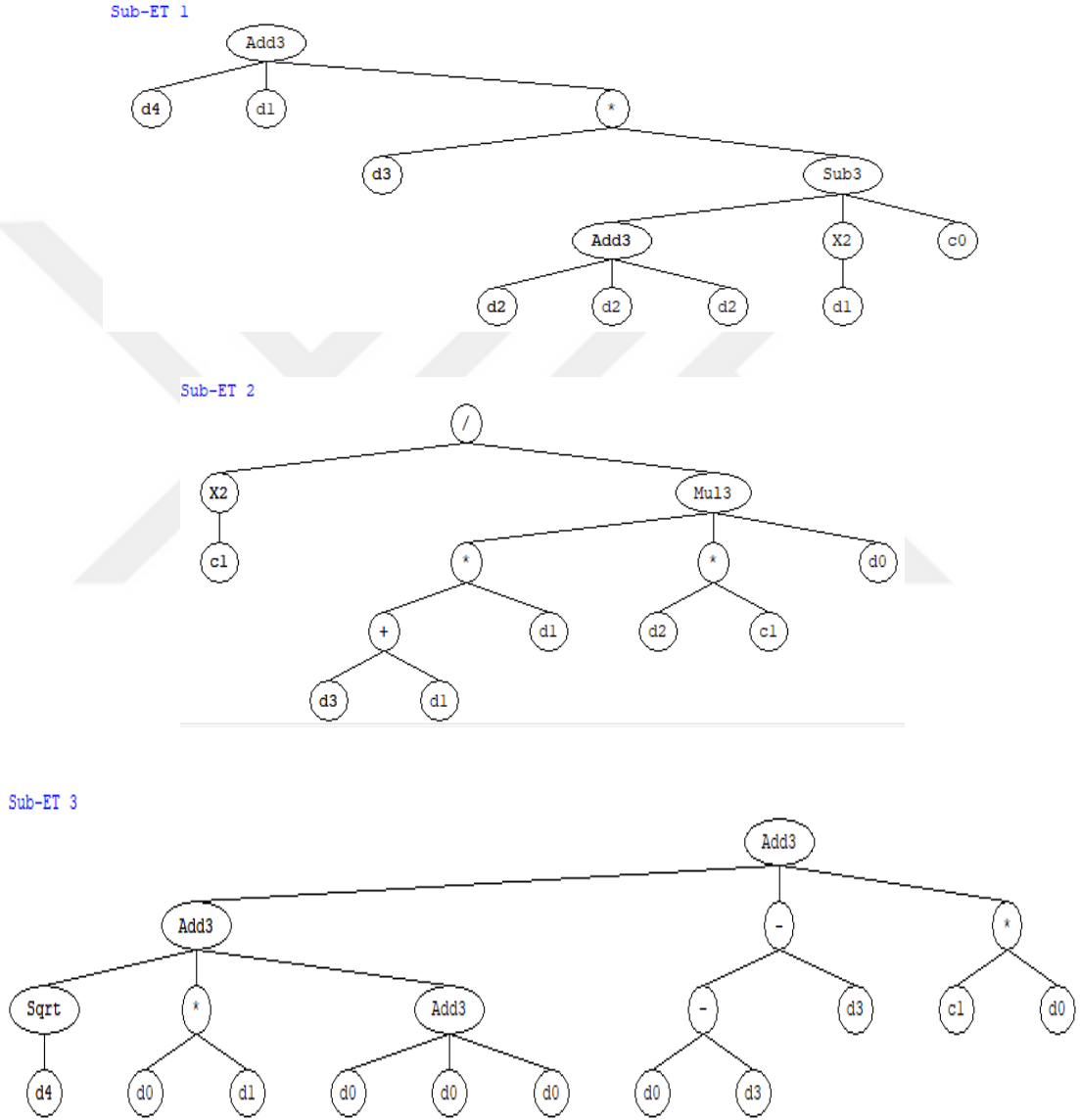
4.1.1 Tek donatılı kirişlerin donatı alanının GEP-I ile modellenmesi

GEP-I modelinin eğitim, test ve doğrulamasında tek donatılı kiriş donatı alanı hesabı için b_w , d , f_{cd} , f_{yd} ve M_d girdi parametresi olarak, çıktı parametresi olarak ise A_s kullanılmıştır. Tek donatılı kirişte donatı alanını tahmin etmek amacıyla GEP-I modelinde kullanılan parametreler Çizelge 4.5'te verilmiştir. Bu çizelgeden de görüldüğü gibi GEP-I modelinde kullanılan parametrelerin diğer modellerden farkı gen sayısı ve kullanılan fonksiyon setidir.

Çizelge 4.5. GEP-I modelinde kullanılan parametreler

	Parametre tanımlama	GEP-I
p_1	Üretim sayısı	137764
p_2	Fonksiyon seti	+, -, *, /, Sqrt, Sub3, Add3, Sqrt, x2, Mul3
p_3	Kromozom sayısı	40
p_4	Baş büyüklüğü	8
p_5	Gen sayısı	3
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

Tek donatılı kırımlerin donatı alanını tahmin etmek için GEP-I modelinden elde edilen AA Şekil 4.1’de verilmiştir. Çok karmaşık problemlerin AA çok uzun kromozom yapılarını gerektirir. GEP-I modellemesinde gen sayısı 3 seçildiğinden 3 tane alt-açıklama ağacı elde edilmiştir. Bu alt-açıklama ağaçlarında görülen d_0, d_1, d_2, d_3, d_4 sırasıyla b_w, d, f_{yd}, f_{cd} ve M_d girdi değişkenlerini göstermektedir. Ayrıca 3 tane alt-açıklama ağaçlarında kullanılan katsayılar Çizelge 4.6’da verilmiştir.



Şekil 4.1. GEP-I modelinden elde edilen açıklama ağacı

Çizelge 4.6. GEP-I modelinin açıklama ağaçlarına ait sabitler

G1C0 = -9.999	G2C0 = 8.108	G3C0 = -5.067
G1C1 = 9.224	G2C1 = 1.049	G3C1 = 9.006

GEP-I modelinde açıklama ağaçlarından elde edilen matematiksel ifade Denklem (4.1)'de verilmiştir. Modelden elde edilen katsayılar ve girdi değişkenleri Denklem (4.1)'de yerine konularak Denklem (4.2) elde edilmiştir. Bu denklem kullanılarak tek donatılı kirişlerde donatı alanı hesaplanabilmektedir.

$$A_{S1} = \left[d_4 + d_1 + d_3 \times (3d_2 - d_1^2 - c_0) \right] \\ \times \left[\frac{c_1^2}{(d_1 + d_3) \times d_1 \times d_2 \times c_1 \times d_0} \right] \\ \times \left[\sqrt{d_4} + d_0 \times d_1 + 4d_0 - 2d_3 + 9.006 \times d_0 \right] \quad (4.1)$$

$$A_{S1} = \left[M_d + d + f_{cd} \times (3f_{yd} - d^2 + 9.999) \right] \\ \times \left[\frac{1.049^2}{(d + f_{cd}) \times d \times f_{yd} \times 1.049 \times b_w} \right] \\ \times \left[\sqrt{M_d} + b_w \times d + 4b_w - 2f_{cd} + 9.006 \times b_w \right] \quad (4.2)$$

4.1.2 Tek donatılı kirişlerin donatı alanının GEP-II ile modellenmesi

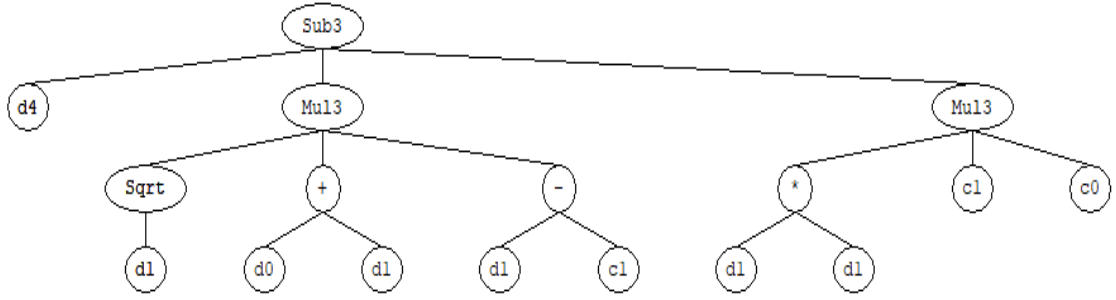
GEP-II modelinin eğitim, test ve doğrulamasında tek donatılı kiriş donatı alanı hesabı için b_w , d , f_{cd} , f_{yd} ve M_d girdi parametresi olarak, çıktı parametresi olarak ise A_s kullanılmıştır. Tek donatılı kirişin donatı alanını tahmin etmek amacıyla GEP-II modelinde kullanılan parametreler Çizelge 4.7'de verilmiştir. Bu çizelgelerden de görüldüğü gibi GEP II modelinde kullanılan parametrelerin diğer modellerden farkı gen sayısı ve fonksiyon setidir.

Çizelge 4.7. GEP-II modelinde kullanılan parametreler

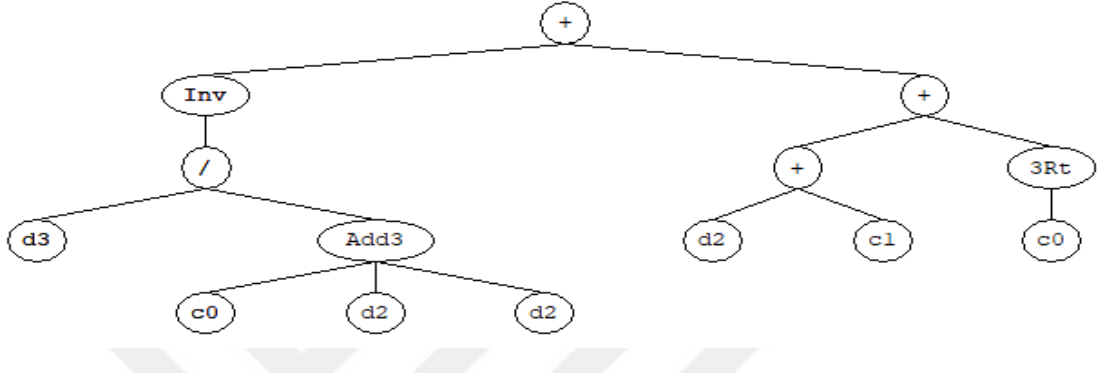
	Parametre tanımlama	GEP-II
p_1	Üretim sayısı	274855
p_2	Fonksiyon seti	+, -, *, /, X3, Sub3, Mul3, 3Rt, Sqrt, Inv, 3Rt, Add3
p_3	Kromozom sayısı	40
p_4	Baş büyüklüğü	8
p_5	Gen sayısı	4
p_6	Bağlantı fonksiyonu	Çarpma
p_7	Mutasyon oranı	0.044
p_8	Geri çevirme oranı	0.1
p_9	Bir noktada birleştirme oranı	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

Tek donatılı kirislerin donatı alanını tahmin etmek için GEP-II modelinden elde edilen AA Şekil 4.2’de verilmiştir. Çok karmaşık problemlerin açıklama ağacı çok uzun kromozom yapılarını gerektirir. GEP-II modellemesinde gen sayısı 4 seçildiğinden 4 tane alt-açıklama ağacı oluşmuştur. Bu alt-açıklama ağaçlarında görülen d_0, d_1, d_2, d_3, d_4 sırasıyla b_w, d, f_{yd}, f_{cd} ve M_d girdi değişkenlerini göstermektedir. Ayrıca 4 tane alt-açıklama ağaçlarında kullanılan katsayılar Çizelge 4.8’de verilmiştir.

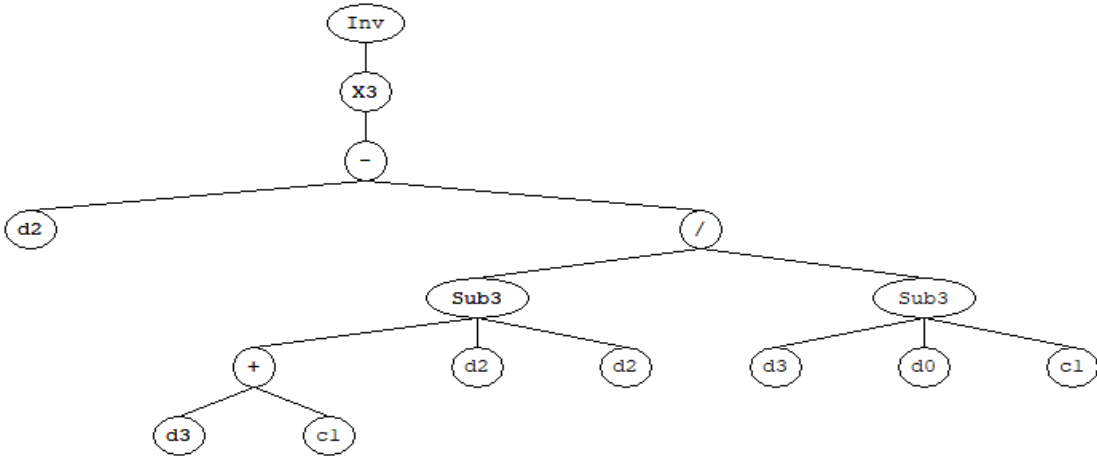
Sub-ET 1



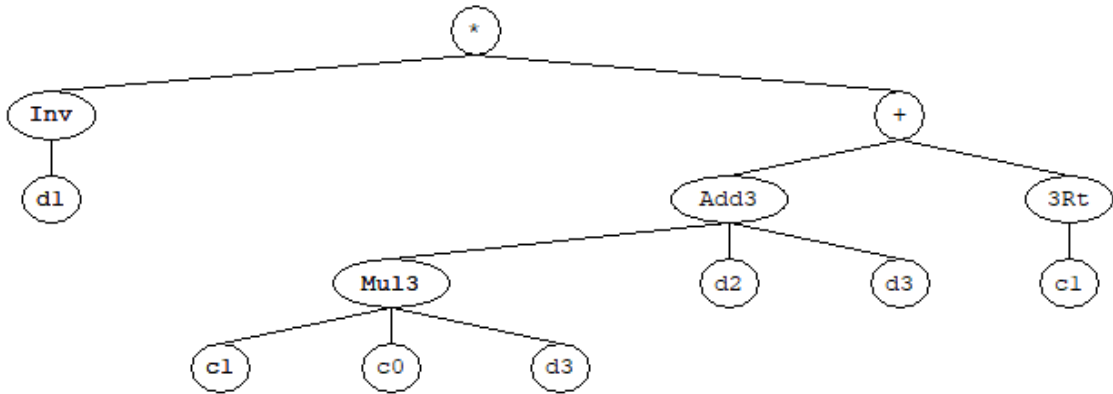
Sub-ET 2



Sub-ET 3



Sub-ET 4



Şekil 4.2. GEP-II modelinden elde edilen açıklama ağacı

Çizelge 4.8. GEP-II modelinin açıklama ağaçlarına ait sabitler

G1C0 = -1.178	G2C0 = 9.304	G3C0 = 9.463	G4C0 = -9.575
G1C1 = 4.241	G2C1 = -9.464	G3C1 = -9.685	G4C1 = 0.063

GEP-II modelinde açıklama ağaçlarından elde edilen matematiksel ifade Denklem (4.3)'de verilmiştir. Modelden elde edilen katsayılar ve girdi değişkenleri Denklem (4.3)'de yerine konularak Denklem (4.4) elde edilmiştir. Bu denklem kullanılarak tek donatılı kirişlerin donatı alanı hesaplanabilmektedir.

$$\begin{aligned}
 A_{S2} &= \left[d_5 - \left(\sqrt{d_2} \times (d_1 + d_2) \times (d_2 - c_1) \right) - \left(d^2 \times c_1 \times c_0 \right) \right] \\
 &\times \left[\frac{1}{\frac{d_4}{c_0 + 2d_3}} + d_3 + c_1 + \sqrt[3]{c_0} \right] \\
 &\times \left[\frac{1}{\left(d_2 - \left(\frac{d_3 + c_1 - 2d_2}{d_3 + c_1 + d_0} \right) \right)^3} \right] \\
 &\times \left[\frac{1}{d_1} \times c_1 \times c_0 \times d_3 + d_3 + d_2 + \sqrt[3]{c_1} \right] \tag{4.3}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{S2} &= \left[M_d - \left(\sqrt{d} \times (b_w + d) \times (d - 4.242) \right) - \left(d^2 \times 4.242 \times (-1.178) \right) \right] \\
 &\times \left[\frac{1}{\frac{f_{cd}}{9.304 + 2f_{yd}}} + f_{yd} - 7.360 \right] \\
 &\times \left[\frac{1}{\left(f_{yd} - \left(\frac{f_{cd} + (-9.685) - 2b_w}{f_{cd} + (-9.685) + b_w} \right) \right)^3} \right]
 \end{aligned}$$

$$\times \left[\frac{1}{d} \times (-0.604) \times f_{cd} + f_{yd} + f_{cd} + 0.398 \right] \quad (4.4)$$

4.1.3 Tek donatılı kirişlerin donatı alanının GEP-III ile modellenmesi

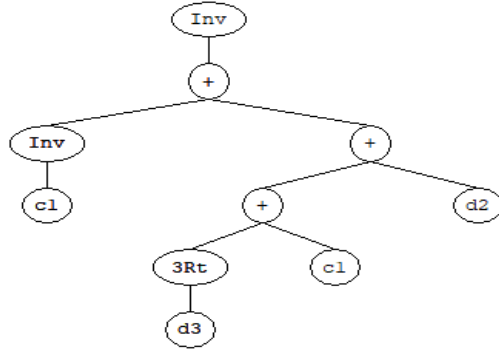
GEP-III modelinin eğitim, test ve doğrulamasında tek donatılı kiriş donatı alanı hesabında b_w , d , f_{cd} , f_{yd} ve M_d girdi parametresi olarak, çıktı parametresi olarak ise A_s kullanılmıştır. Tek donatılı kirişin donatı alanını tahmin etmek amacıyla GEP-III modelinde kullanılan parametreler Çizelge 4.9’da verilmiştir. Bu çizelgeden de görüldüğü gibi GEP-III modelinde kullanılan parametrelerin diğer modellerden tek farkı gen sayısı ve fonksiyon setidir.

Çizelge 4.9. GEP-III modelinde kullanılan parametreler

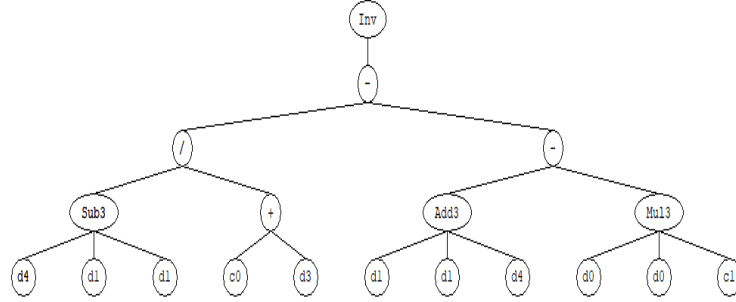
Parametre tanımlama	GEP-III
p_1 Üretim sayısı	318977
p_2 Fonksiyon seti	+, -, *, /, Inv, Mul3, X2, Add3, Sub3, 3Rt, Sqrt
p_3 Kromozom sayısı	40
p_4 Baş büyüklüğü	8
p_5 Gen sayısı	5
p_6 Bağlantı fonksiyonu	Çarpma
p_7 Mutasyon oranı	0.044
p_8 Geri çevirme oranı	0.1
p_9 Bir noktada birleştirme oranı	0.3
p_{10} İki noktada birleştirme oranı	0.3
p_{11} Gen yeniden birleştirme oranı	0.1
p_{12} Gen yer değiştirme oranı	0.1

Tek donatılı kirişlerin donatı alanını tahmin etmek için GEP-III modelinden elde edilen AA Şekil 4.3’te verilmiştir. Çok karmaşık problemlerin açıklama ağacı çok uzun kromozom yapılarını gerektirir. GEP-III modellemesinde gen sayısı 5 seçildiğinden 5 tane alt-açıklama ağacı elde edilmiştir. Bu alt-açıklama ağaçlarında görülen d_0 , d_1 , d_2 , d_3 , d_4 sırasıyla b_w , d , f_{yd} , f_{cd} ve M_d girdi değişkenlerini ifade etmektedir. Ayrıca 5 tane alt-açıklama ağaçlarında kullanılan katsayılar Çizelge 4.10’da verilmiştir.

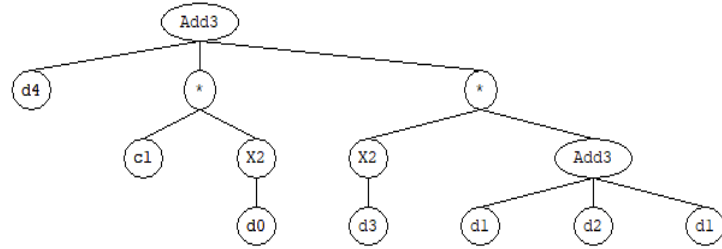
Sub-ET 1



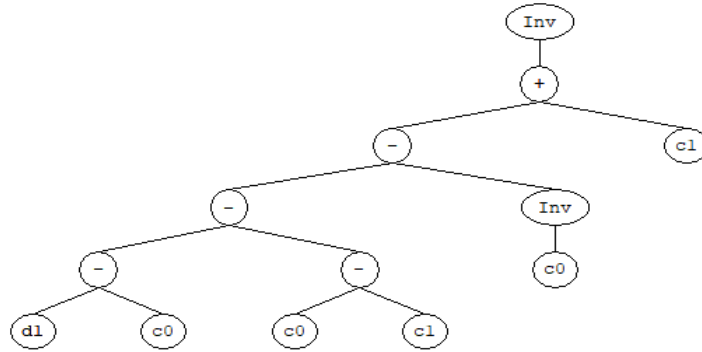
Sub-ET 2



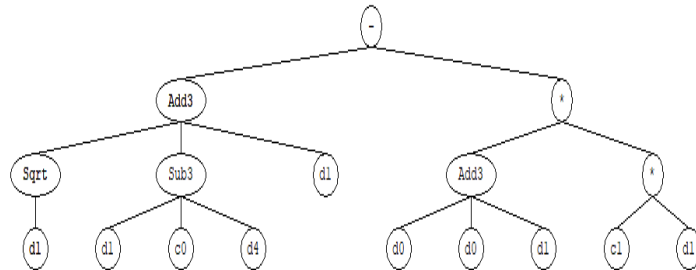
Sub-ET 3



Sub-ET 4



Sub-ET 5



Şekil 4.3. GEP-III modelinden elde edilen açıklama ağacı

Çizelge 4.10. GEP-III modelinin açıklama ağaçlarına ait sabitler

G1C0 = -3.047	G2C0 = -2.017	G3C0 = -5.318	G4C0 = 5.793	G5C0 = 8.956
G1C1 = -2.601	G2C1 = -9.762	G3C1 = -6.636	G4C1 = -7.812	G5C1 = -9.998

GEP-III modelinde açıklama ağaçlarından elde edilen matematiksel ifade Denklem (4.5)'te verilmiştir. Modelden elde edilen katsayılar ve girdi değişkenleri Denklem (4.5)'te yerine konularak Denklem (4.6) elde edilmiştir. Bu denklem kullanılarak tek donatılı kirişlerin donatı alanı hesaplanabilmektedir.

$$\begin{aligned}
 A_{S_3} &= \left[\frac{1}{\frac{1}{c_1} + \sqrt[3]{d_3} + c_1 + d_2} \right] \\
 &\times \left[\frac{1}{\frac{d_4 - 2d_1}{c_0 + d_3} - (2d_1 + d_4 - d_0^2 \times c_1)} \right] \\
 &\times [d_4 + c_1 \times d_0^2 + d_3^2 \times (2d_1 + d_2)] \\
 &\times \left[\frac{1}{d_1 - c_0 - (c_0 - c_1) - \frac{1}{c_0} + c_1} \right] \\
 &\times [\sqrt{d_1} + d_1 - c_0 - d_4 + d_1 - (2d_0 + d_1) \times c_1 \times d_1] \tag{4.5}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{S_3} &= \left[\frac{1}{\frac{1}{-2.601} + \sqrt[3]{f_{cd}} + (-2.601) + f_{yd}} \right] \\
 &\times \left[\frac{1}{\frac{M_d - 2d}{-2.018 + f_{cd}} - (2d + M_d - b_w^2 \times (-9.762))} \right] \\
 &\times [M_d + (-6.636) \times b_w^2 + f_{cd}^2 \times (2d + f_{yd})]
 \end{aligned}$$

$$\times \left[\frac{1}{d - 27.383} \right]$$

$$\times \left[\sqrt{d} + d - 8.956 - M_d + d - (2b_w + d) \times (-9.998) \times d \right] \quad (4.6)$$

4.2 Çift Donatılı Kirişlerin Donatı Alanının GEP İle Modellenmesi

Bu bölümde GEP yardımıyla çift donatılı kirişlerin donatı alanını hesaplamak için de 3 farklı model geliştirilmiştir. Geliştirilen bu modeller GEP-IV, GEP-V ve GEP-VI olarak isimlendirilmiştir. Bu modelleri geliştirmek için çift donatılı kirişlerin hesabında kullanılan Denklem (3.20 ve 3.34) yardımıyla 160 farklı donatı alanına sahip çift donatılı kiriş verileri elde edilmiştir. İlk olarak programda kullanılacak problem verilerine, diğer bir ifadeyle model seti girdi parametrelerine bu formülde kullanılan değişkenlere göre karar verilmiştir. Bu girdi değişkenleri de kiriş genişliği (b_w), kiriş hesap yüksekliği (d), donatının hesap akma dayanımı (f_{yd}), betonun hesap basınç dayanımı (f_{cd}), dengeli donatı oranı (ρ_b) ve hesap momenti (M_d) olarak seçilmiştir. Seçilen veri değerleri ve AA'daki tanımları Çizelge 4.11'de verilmiştir. Çift donatılı kirişlerde hem çekme hem de basınç bölgesinde donatı bulunmaktadır. Bu donatılarda oluşan kuvvetler ve kirişin basınç bölgesinde oluşan basınç kuvveti kullanılarak çift donatılı kirişlerin çekme ve basınç bölgesine konulacak donatıların alanları hesaplanmaktadır. Kirişe etki eden kuvvetler iki kısım halinde gösterilir. Birinci kısımda basınç bölgesinde betonda oluşan kuvvete eşit çekme donatısında kuvvet oluşması durumu, ikinci kısımda ise basınç bölgesinde bulunan donatıda oluşan kuvvete eşit çekme donatısında kuvvetin oluşması durumudur. Bilinmeyenlerin sayısının fazla olmasından dolayı bir değişkenin seçilmesi gerekir. Bunun için birinci kısımda çekme donatısı oranı ρ_1 , $0.5\rho_b$ ile $0.85\rho_b$ arasında olan bir değer seçilir. Bu çalışmada bu değer $\rho_1 = 0.7\rho_b$ seçilmiştir. Birinci kısma ait çekme donatısı A_{s1} bu değerden elde edilir. A_{s1} kullanılarak basınç bölgesi derinliği a elde edilir. a kullanılarak tarafsız eksen $c = a/k_1$ ile elde edilir. İkinci kısımdaki basınç donatısının akıp akmadığı da c ile belirlenir. Birinci kısmın taşıma gücü momenti M_1 hesaplandıktan sonra toplam momentten çıkarılarak ikinci kısma ait moment $M_2 = M_d - M_1$ ile belirlenir. Bu momentte ikinci kısma ait çekme donatısının hesabında A_{s2} kullanılır. Çift donatılı kirişin çekme donatısı alanı A_s , A_{s1} ve A_{s2} 'nin toplamıyla hesaplanır. Basınç donatısı ise ikinci

kısımda çekme ve basınç donatılarında oluşan kuvvetlerin dengesinden elde edilir. Bu problem verileri farklı değerler için bir araya getirilerek excel programı yardımıyla önce eşdeğer dikdörtgen gerilme bloğu derinliği (a), sonra donatı oranı (ρ) değeri hesaplandıktan sonra denge donatı oranı ile kontrol edilir. Kirişin çift donatılı olması durumu için 160 farklı donatı alanına sahip çift donatılı kiriş verileri hesaplanmıştır. Daha sonra oluşturulan 160 veri sırasıyla 2 eğitim, 1 test ve 1 doğrulama şeklinde ayrılarak toplamda 80 veriden oluşan eğitim kümesi ve 40 veriden oluşan test kümesi sırasıyla aşağıda Çizelge 4.12 ve 4.13'te, modellerin doğrulaması için eğitim ve test kümesinden bağımsız 40 veriden oluşan doğrulama kümesi ise Çizelge 4.14'te verilmiştir.

Çizelge 4.11. Çift donatılı kirişlere ait GEP modellerinde kullanılan girdi değişkenleri

Problem Verileri	AA'daki Tanımları	Seçilen Veri Değerleri
b_w	d0	250, 260, 300, 310 (mm)
d	d1	380,390 400, 450 (mm)
f_{cd}	d2	13, 17, 20 (MPa)
f_{yd}	d3	191, 365 (MPa)
ρb	d4	0.016, 0.02092, 0.02375, 0.03730, 0.04878, 0.05536
M_d	d5	[160,170,180, 190, 200, 210,215, 220, 230, 240,250, 260, 270, 280, 290, 300,310, 320,330, 340,350, 360, 370, 380, 390, 400, 410,420,430, 440, 450, 460 480, 470, 490, 500]x10 ⁶ (Nmm)

GEP tekniğinde bir çıktı parametresi incelenemediğinden çift donatılı kirişlerde sadece çekme donatısı modelden elde edilebilmektedir. Eğer basınç donatısı alanı da elde edilmek istenirse çekme donatısı alanına bağlı olarak o da hesaplanabilir. Bunun için hesaplanan çekme donatısı alanından birinci kısım için seçilen çekme donatısı alanı A_{s1} çıkarılarak ikinci kısımdaki A_{s2} hesaplanır. Basınç donatısının akması durumunda yatay dengeden basınç donatısı A'_s , A_{s2} 'ye eşit olacaktır.

Çizelge 4.12. Çift donatılı kirişlere ait modellerde kullanılan eğitim kümesi verileri

Veri No	b_w (mm)	d (mm)	f_{yd} (MPa)	f_{cd} (MPa)	ρ_b	M_d $\times 10^6$ (Nmm)	A_s (mm ²)
1	250	380	365	13	0.016000	190	1626.472
2	250	380	365	17	0.020923	210	1817.001
3	250	380	365	20	0.023746	300	2547.510
4	250	390	365	13	0.016000	210	1744.786
5	250	390	365	20	0.023746	250	2094.948
6	250	390	365	20	0.023746	320	2642.893
7	250	400	365	17	0.020923	280	2270.081
8	250	400	365	20	0.023746	260	2124.563
9	250	450	365	17	0.020923	290	2112.620
10	250	450	365	17	0.020923	360	2580.378
11	250	380	191	13	0.037301	190	3261.448
12	250	380	191	17	0.048778	230	3980.684
13	250	380	191	20	0.055361	300	5084.968
14	250	390	191	13	0.037301	210	3492.485
15	250	390	191	20	0.055361	280	4675.974
16	250	390	191	20	0.055361	320	5274.328
17	250	400	191	17	0.048778	280	4551.457
18	250	400	191	20	0.055361	300	4872.610
19	250	450	191	17	0.048778	320	4665.830
20	250	450	191	17	0.048778	360	5176.620
21	260	380	365	13	0.016000	170	1469.130
22	260	380	365	13	0.016000	200	1710.870
23	260	380	365	20	0.023746	310	2633.294
24	260	390	365	13	0.016000	180	1513.990
25	260	390	365	20	0.023746	260	2178.746
26	260	390	365	20	0.023746	330	2726.691
27	260	400	365	17	0.020923	290	2351.752
28	260	400	365	20	0.023746	270	2206.501
29	260	450	365	13	0.016000	280	2010.022
30	260	450	365	17	0.020923	370	2654.191
31	260	380	191	13	0.037301	190	3274.874
32	260	380	191	13	0.037301	200	3428.863
33	260	380	191	20	0.055361	310	5257.569
34	260	390	191	13	0.037301	200	3356.941
35	260	390	191	20	0.055361	290	4845.062
36	260	390	191	20	0.055361	330	5443.416
37	260	400	191	17	0.048778	290	4716.063
38	260	400	191	20	0.055361	310	5038.427
39	260	450	191	13	0.037301	280	4036.411
40	260	450	191	17	0.048778	370	5327.498

Çizelge 4.12. (Devam) Çift donatılı kirişlere ait modellerde kullanılan eğitim kümesi verileri

Veri No	b_w (mm)	d (mm)	f_{yd} (MPa)	f_{cd} (MPa)	ρ_b	M_d $\times 10^6$ (Nmm)	A_s (mm ²)
41	300	380	365	13	0.016000	190	1645.562
42	300	380	365	13	0.016000	230	1967.882
43	300	380	365	20	0.023746	340	2895.851
44	300	390	365	13	0.016000	200	1686.698
45	300	390	365	17	0.020923	300	2506.750
46	300	390	365	20	0.023746	350	2905.327
47	300	400	365	17	0.020923	270	2221.814
48	300	400	365	17	0.020923	310	2526.228
49	300	450	365	13	0.016000	310	2231.873
50	300	450	365	17	0.020923	350	2548.509
51	300	380	191	13	0.037301	220	3790.547
52	300	380	191	13	0.037301	230	3944.535
53	300	380	191	20	0.055361	340	5793.985
54	300	390	191	13	0.037301	230	3861.887
55	300	390	191	17	0.048778	320	5337.831
56	300	390	191	20	0.055361	370	6119.770
57	300	400	191	17	0.048778	310	5083.621
58	300	400	191	17	0.048778	340	5519.921
59	300	450	191	13	0.037301	330	4745.803
60	300	450	191	17	0.048778	390	5675.614
61	310	380	365	13	0.017032	200	1729.960
62	310	380	365	13	0.025065	240	2052.280
63	310	380	365	20	0.023861	290	2498.155
64	310	390	365	13	0.016944	210	1769.014
65	310	390	365	17	0.027711	310	2590.309
66	310	390	365	20	0.024408	310	2597.736
67	310	400	365	17	0.021077	280	2303.485
68	310	400	365	17	0.026637	320	2607.899
69	310	450	365	13	0.021854	320	2304.041
70	310	450	365	17	0.021609	360	2622.322
71	310	380	191	13	0.042543	230	3957.962
72	310	380	191	13	0.047900	240	4111.950
73	310	380	191	20	0.056582	330	5658.610
74	310	390	191	13	0.041621	240	4025.521
75	310	390	191	17	0.062268	330	5505.786
76	310	390	191	20	0.057323	350	5840.092
77	310	400	191	17	0.050902	320	5248.227
78	310	400	191	17	0.064099	350	5684.527
79	310	450	191	13	0.049734	340	4891.227
80	310	450	191	17	0.049659	400	5826.492

Çizelge 4.13. Çift donatılı kirişlere ait modellerde kullanılan test kümesi verileri

Veri No	b_w (mm)	d (mm)	f_{yd} (MPa)	f_{cd} (MPa)	ρ_b	M_d $\times 10^6$ (Nmm)	A_s (mm ²)
1	250	380	365	17	0.020923	260	2219.902
2	250	390	365	17	0.020923	220	1854.125
3	250	400	365	13	0.016000	220	1780.711
4	250	400	365	20	0.023746	340	2733.391
5	250	450	365	20	0.023746	330	2390.055
6	250	380	191	17	0.048778	260	4442.649
7	250	390	191	17	0.048778	250	4198.878
8	250	400	191	13	0.037301	220	3566.075
9	250	400	191	20	0.055361	340	5454.343
10	250	450	191	20	0.055361	370	5344.296
11	260	380	365	17	0.020923	270	2305.475
12	260	390	365	13	0.016000	215	1787.962
13	260	400	365	13	0.016000	190	1556.658
14	260	400	365	20	0.023746	350	2815.329
15	260	450	365	20	0.023746	350	2531.097
16	260	380	191	17	0.048778	270	4614.195
17	260	390	191	13	0.037301	210	3506.530
18	260	400	191	13	0.037301	210	3435.303
19	260	400	191	20	0.055361	350	5620.161
20	260	450	191	20	0.055361	390	5624.470
21	300	380	365	17	0.020923	250	2164.285
22	300	390	365	13	0.016000	230	1921.531
23	300	400	365	13	0.016000	210	1725.895
24	300	400	365	20	0.023746	360	2914.772
25	300	450	365	17	0.020923	390	2815.799
26	300	380	191	17	0.048778	280	4838.416
27	300	390	191	13	0.037301	250	4161.064
28	300	400	191	13	0.037301	240	3930.249
29	300	400	191	20	0.055361	390	6283.432
30	300	450	191	17	0.048778	410	5931.009
31	310	380	365	17	0.022058	260	2249.858
32	310	390	365	13	0.021780	240	2003.847
33	310	400	365	13	0.016830	220	1806.255
34	310	400	365	20	0.024866	330	2692.297
35	310	450	365	17	0.025986	400	2889.612
36	310	380	191	17	0.051335	290	5009.962
37	310	390	191	13	0.055295	260	4324.698
38	310	400	191	13	0.040718	250	4090.344
39	310	400	191	20	0.057867	370	6012.949
40	310	450	191	17	0.055078	420	6081.887

Çizelge 4.14. Çift donatılı kirişlere ait modellerde kullanılan doğrulama kümesi verileri

Veri No	b_w (mm)	d (mm)	f_{yd} (MPa)	f_{cd} (MPa)	ρ_b	M_d $\times 10^6$ (Nmm)	A_s (mm ²)
1	250	380	365	20	0.023746	240	2064.029
2	250	390	365	17	0.020923	270	2245.514
3	250	400	365	17	0.020923	230	1889.564
4	250	450	365	13	0.016000	270	1937.854
5	250	450	365	20	0.023746	430	3058.281
6	250	380	191	20	0.055361	270	4623.003
7	250	390	191	17	0.048778	270	4498.055
8	250	400	191	17	0.048778	260	4260.590
9	250	450	191	13	0.037301	270	3890.987
10	250	450	191	20	0.055361	430	6110.481
11	260	380	365	20	0.023746	250	2149.813
12	260	390	365	17	0.020923	280	2329.073
13	260	400	365	13	0.016000	220	1784.969
14	260	450	365	13	0.016000	230	1675.909
15	260	450	365	20	0.023746	440	3132.500
16	260	380	191	20	0.055361	280	4795.604
17	260	390	191	17	0.048778	280	4666.010
18	260	400	191	13	0.037301	220	3580.736
19	260	450	191	13	0.037301	260	3781.016
20	260	450	191	20	0.055361	440	6262.958
21	300	380	365	17	0.020923	310	2647.766
22	300	390	365	17	0.020923	260	2193.639
23	300	400	365	13	0.016000	250	2030.309
24	300	450	365	13	0.016000	270	1964.582
25	300	450	365	20	0.023746	470	3362.553
26	300	380	191	17	0.048778	310	5300.381
27	300	390	191	17	0.048778	290	4889.065
28	300	400	191	13	0.037301	260	4221.116
29	300	450	191	13	0.037301	300	4362.710
30	300	450	191	20	0.055361	490	7000.564
31	310	380	365	17	0.035518	320	2733.339
32	310	390	365	17	0.021558	270	2277.197
33	310	400	365	13	0.023422	260	2110.669
34	310	450	365	13	0.016985	280	2036.751
35	310	450	365	20	0.024160	410	2969.014
36	310	380	191	17	0.067875	320	5471.927
37	310	390	191	17	0.049516	300	5057.020
38	310	400	191	13	0.050829	270	4381.211
39	310	450	191	13	0.039000	310	4508.134
40	310	450	191	20	0.055952	460	6642.250

Tüm modellemeler için aynı veriler ve matematiksel fonksiyonlar (+, -, ×, /, Sqrt, Inv, x2, x3, 3Rt, Sub3, , Add3, Mul3) seçilerek 3 farklı model geliştirilmiştir. Bu modeller GEP-IV, GEP-V ve GEP-VI olarak isimlendirilmiştir. GEP-IV, GEP-V ve GEP-VI modellerinde kromozom sayısı 40, baş sayısı 8, gen sayısı sırasıyla 3, 4 ve 5 bağlantı fonksiyonu olarak ise çarpma kullanılmıştır. Daha sonra programın eğitimi başlatılmıştır. R^2 değerlerinin yüksek olması ve tüm girdi parametrelerinin fonksiyonda kullanıldığının gözlemlendiği an program durdurulmuştur. Modellerin eğitim kümelerinden elde edilen denklemlerle modellerin doğrulaması yapılmıştır. Eğer buradan da elde edilen R^2 değerleri de yüksek çıkarsa fonksiyonların uygun olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu denklemlerle modellemelerde kullanılan girdi parametreleri ile herhangi bir çift donatılı kirişe ait donatı alanı tahmin edilebilmektedir.

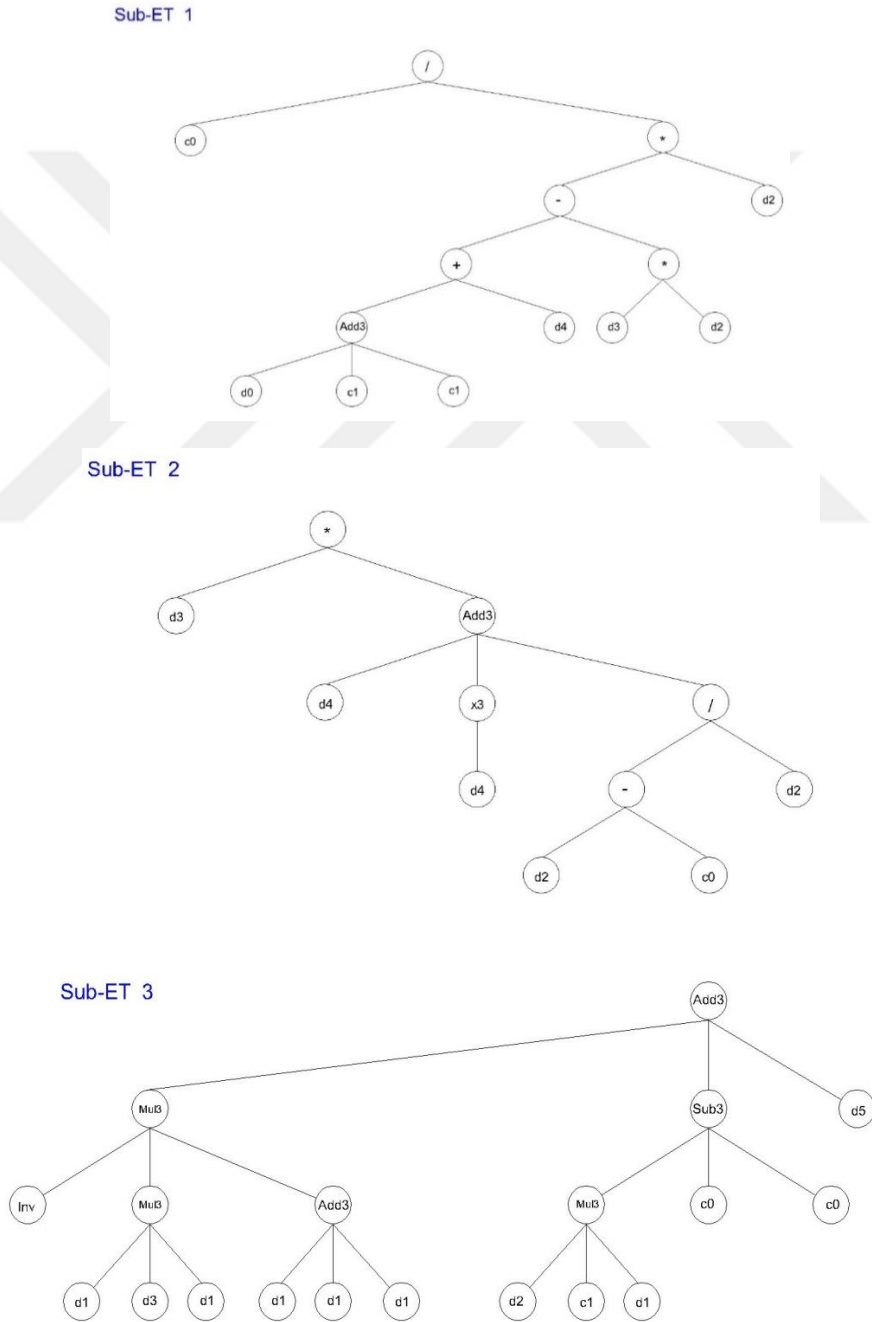
4.2.1 Çift donatılı kirişlerin donatı alanının GEP-IV ile modellenmesi

GEP-IV modelinin eğitim, test ve doğrulamasında çift donatılı kiriş donatı alanı hesabında b_w , d , f_{cd} , f_{yd} , ρ_b ve M_d girdi parametresi olarak, çıktı parametresi olarak ise A_s kullanılmıştır. Çift donatılı kirişin donatı alanını tahmin etmek amacıyla GEP-IV modelinde kullanılan parametreler Çizelge 4.15'te verilmiştir. Bu çizelgeden de görüldüğü gibi GEP-IV modelinde kullanılan parametrelerden fonksiyon seti ve gen sayısı diğer iki modelden farklıdır.

Çizelge 4.15. GEP-IV modelinde kullanılan parametreler

Parametre tanımlama	GEP-IV
p_1 Üretim sayısı	140219
p_2 Fonksiyon seti	+, -, *, /, Sub3, Mul3, Add3, Inv, x3
p_3 Kromozom sayısı	40
p_4 Baş büyüklüğü	8
p_5 Gen sayısı	3
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

Çift donatılı kırımların donatı alanını tahmin etmek için GEP-IV modelinden elde edilen AA Şekil 4.4'te verilmiştir. Girdi değişkenleri fazla olan modellemede karmaşık bir problem ortaya çıkmaktadır. Çok karmaşık problemlerin açıklama ağacı da çok uzun kromozom yapılarını gerektirir. GEP-IV modellemesinde gen sayısı 3 seçildiğinden 3 tane alt-açıklama ağacı elde edilmiştir. Bu alt-açıklama ağaçlarında görülen $d_0, d_1, d_2, d_3, d_4, d_5$ sırasıyla $b_w, d, f_{yd}, f_{cd}, \rho_b$ ve M_d girdi değişkenlerini göstermektedir. Ayrıca 3 tane alt-açıklama ağaçlarına ait katsayılar Çizelge 4.16'da verilmiştir.



Şekil 4.4. GEP-IV modelinden elde edilen açıklama ağacı

Çizelge 4.16. GEP-IV modelinin açıklama ağaçlarına ait sabitler

G1C0 = -1.097	G2C0 = 4.743	G3C0 = -9.996
G1C1 = 1.920	G2C1 = 3.194	G3C1 = -7.157

GEP-IV modelinin eğitiminden elde edilen açıklama ağacının matematiksel ifadesi Denklem (4.7)'de verilmiştir. Modelden elde edilen katsayılar ve girdi değişkenleri Denklem (4.7)'de yerine konularak Denklem (4.8) elde edilir. Bu denklem kullanılarak çift donatılı kırışlerde donatı alanı hesaplanabilmektedir.

$$A_{S4} = \left[\frac{c_0}{(d_0 + 2c_1 + d_4 - d_3 \times d_1) \times d_2} \right] \times \left[d_3 \times \left(d_4 + d_4^3 + \frac{d_2 - c_0}{d_2} \right) \right] \times \left[\frac{1}{d_2} \times d_1^2 \times d_3 \times 3d_1 + d_2^2 \times c_1 - 2c_0 + d_5 \right] \quad (4.7)$$

$$A_{S4} = \left[\frac{(-1.097)}{(b_w + 3.84 + \rho_b - f_{cd} \times d) \times f_{yd}} \right] \times \left[f_{cd} \times \left(\rho_b + \rho_b^3 + \frac{f_{yd} - 4.743}{f_{yd}} \right) \right] \times \left[\frac{1}{f_{yd}} \times d^2 \times f_{cd} \times 3d + f_{yd}^2 \times (-7.157) + 19.992 + M_d \right] \quad (4.8)$$

4.2.2 Çift donatılı kırışlerin donatı alanının GEP-V ile modellenmesi

GEP-IV modelinde olduğu gibi GEP-V modelinin eğitim, test ve doğrulamasında çift donatılı kırış donatı alanı hesabı için b_w , d , f_{cd} , f_{yd} , ρ_b ve M_d girdi parametresi olarak, çıktı parametresi olarak ise A_s kullanılmıştır. Çift donatılı kırışin donatı alanını tahmin etmek amacıyla GEP-V modelinde kullanılan parametreler Çizelge 4.17'de verilmiştir. Bu çizelgeden de görüldüğü gibi GEP-V modelinde kullanılan parametrelerde fonksiyon seti ve gen sayısı diğer iki modelden farklıdır.

Çizelge 4.17. GEP-V modelinde kullanılan parametreler

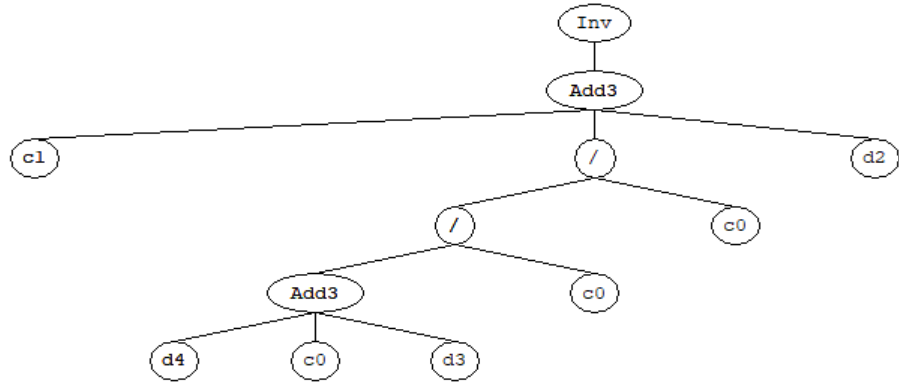
Parametre tanımlama		GEP-V
p_1	Üretim sayısı	269413
p_2	Fonksiyon seti	+, -, *, /, Inv, Add3, Sub3, Mul3
p_3	Kromozom sayısı	40
p_4	Baş büyüklüğü	8
p_5	Gen sayısı	4
p_6	Bağlantı fonksiyonu	Çarpma
p_7	Mutasyon oranı	0.044
p_8	Geri çevirme oranı	0.1
p_9	Bir noktada birleştirme oranı	0.3
p_{10}	İki noktada birleştirme oranı	0.3
p_{11}	Gen yeniden birleştirme oranı	0.1
p_{12}	Gen yer değiştirme oranı	0.1

Çift donatılı kırışlerin donatı alanını tahmin etmek için GEP-V modelinden elde edilen AA Şekil 4.5’de verilmiştir. GEP’in modellemesinde kullanılan girdi değişkenleri fazla ise çok karmaşık problemler ortaya çıkar. Bu karmaşık problemlerin açıklama ağacı da çok uzun kromozom yapılarını gerektirir. GEP-V modellemesinde gen sayısı 4 seçildiğinden 4 tane alt-açıklama ağacı elde edilmiştir. Bu alt-açıklama ağaçlarında görülen $d_0, d_1, d_2, d_3, d_4, d_5$ sırasıyla $b_w, d, f_{yd}, f_{cd}, \rho_b$ ve M_d girdi değişkenlerini ifade etmektedir. Ayrıca 4 tane alt-açıklama ağaçlarına ait katsayılar Çizelge 4.18’de verilmiştir.

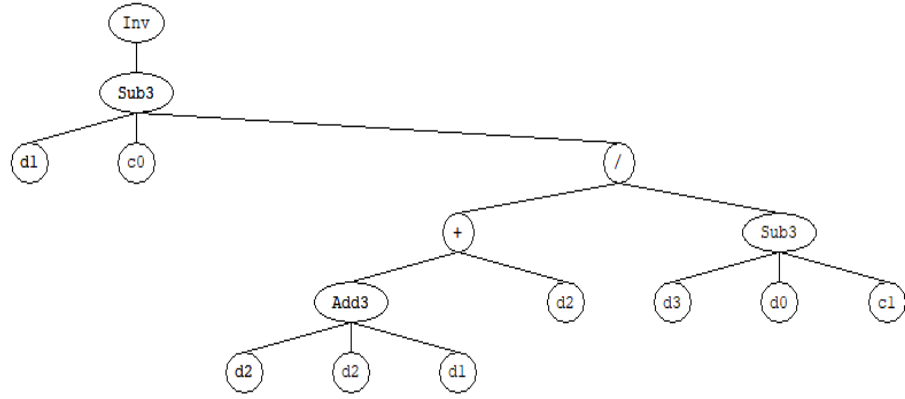
Çizelge 4.18. GEP-V modelinin açıklama ağaçlarına ait sabitler

G1C0 = -3.184	G2C0 = -6.200	G3C0 = -6.200	G4C0 = -1.314
G1C1 = -9.794	G2C1 = -9.774	G3C1 = 8.592	G4C1 = 5.192

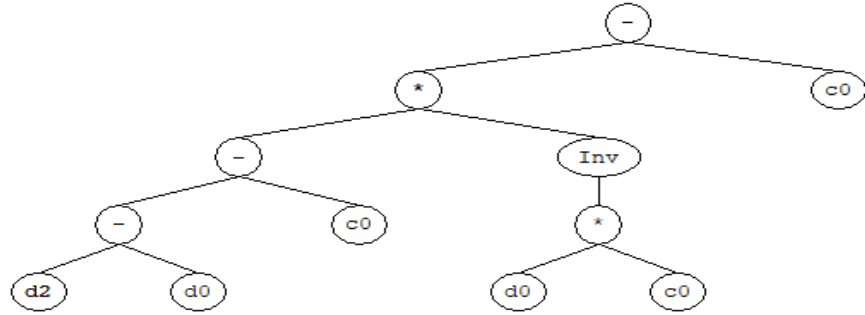
Sub-ET 1



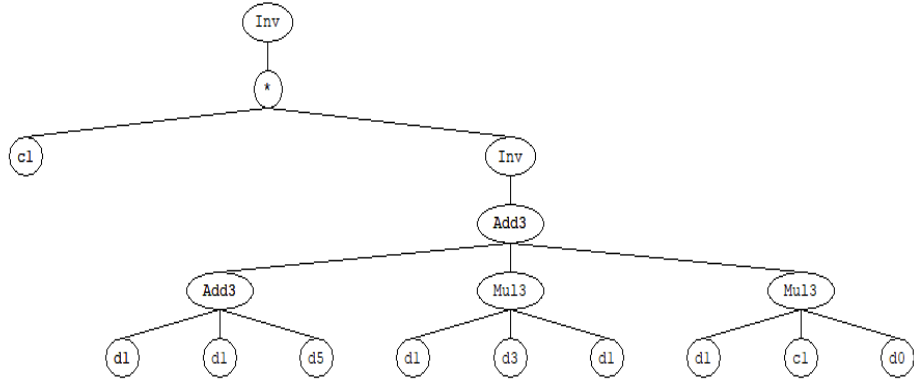
Sub-ET 2



Sub-ET 3



Sub-ET 4



Şekil 4.5. GEP-V modelinden elde edilen açıklama ağacı

GEP-V modelinin eğitiminden elde edilen açıklama ağacının açık matematiksel ifadesi Denklem (4.9)'da verilmiştir. Modelden elde edilen katsayılar ve girdi değişkenleri Denklem (4.9)'da yerine konularak Denklem (4.10) elde edilir. Bu denklem kullanılarak çift donatılı kırışlerde donatı alanı hesaplanabilmektedir.

$$\begin{aligned}
A_{S5} &= \left[\frac{1}{c_1 + \frac{d_4 + c_0 + d_3}{c_0^2} + d_2} \right] \\
&\times \left[\frac{1}{d - c_0 - \left(\frac{3f_{yd} + d}{f_{cd} - b_w - c_1} \right)} \right] \\
&\times \left[(d_2 - d_0 - c_0) \times \frac{1}{d_0 \times c_0} - c_0 \right] \\
&\times \left[\frac{1}{c_1 \times \left(\frac{1}{2d_1 + d_5 + d_1^2 \times d_3 + d_1 \times c_1 \times d_0} \right)} \right] \\
A_{S5} &= \left[\frac{1}{-9.794 + \frac{\rho_b + (-3.184) + f_{cd}}{(-3.184)^2} + f_{yd}} \right] \\
&\times \left[\frac{1}{d + 6.200 - \left(\frac{3f_{yd} + d}{f_{cd} - b_w + 9.774} \right)} \right] \\
&\times \left[(f_{yd} - b_w + 6.200) \times \frac{1}{b_w \times (-6.200287)} + 6.200 \right]
\end{aligned} \tag{4.9}$$

$$\times \left[\frac{1}{5.192 \times \left(\frac{1}{2d + M_d + d^2 \times f_{cd} + d \times 5.192 \times b_w} \right)} \right] \quad (4.10)$$

4.2.3 Çift donatılı kirişlerin donatı alanının GEP-VI ile modellenmesi

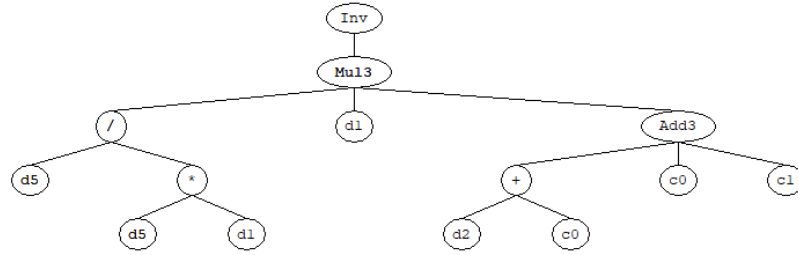
GEP-IV ve GEP-V modellerinde olduğu gibi GEP-VI modelinin eğitim, test ve doğrulamasında çift donatılı kiriş donatı alanı hesabı için b_w , d , f_{cd} , f_{yd} , ρ_b ve M_d girdi parametresi olarak, çıktı parametresi olarak ise A_s kullanılmıştır. Çift donatılı kirişte donatı alanını tahmin etmek amacıyla GEP-VI modelinde kullanılan parametreler Çizelge 4.19’da verilmiştir. Bu çizelgeden de görüldüğü gibi GEP-VI modelinde kullanılan parametrelerin diğer modellerden farkı fonksiyon seti ve gen sayısıdır.

Çizelge 4.19. GEP-VI modelinde kullanılan parametreler

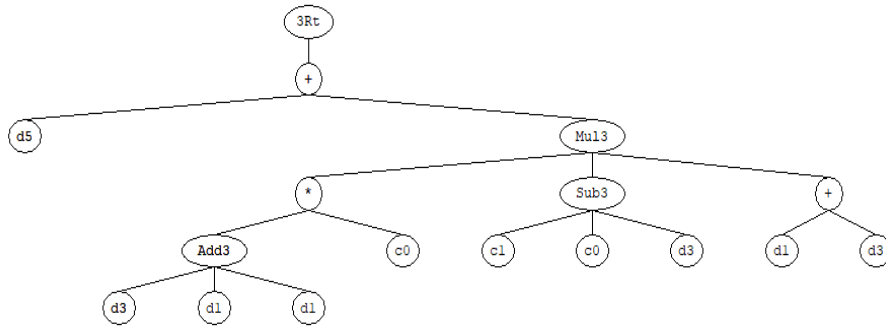
Parametre tanımlama	GEP-III
p_1 Üretim sayısı	276328
p_2 Fonksiyon seti	+, -, *, /, Inv, Mul3, Sub3, Add3, 3Rt, Sqrt
p_3 Kromozom sayısı	40
p_4 Baş büyüklüğü	8
p_5 Gen sayısı	5
p_6 Bağlantı fonksiyonu	Çarpma
p_7 Mutasyon oranı	0.044
p_8 Geri çevirme oranı	0.1
p_9 Bir noktada birleştirme oranı	0.3
p_{10} İki noktada birleştirme oranı	0.3
p_{11} Gen yeniden birleştirme oranı	0.1
p_{12} Gen yer değiştirme oranı	0.1

Çift donatılı kirişlerin donatı alanını tahmin etmek için GEP-VI modelinden elde edilen AA Şekil 4.6’da verilmiştir. GEP modellemesinde kullanılan girdi değişkenleri fazla ise çok karmaşık problemlere neden olur. Bu çok karmaşık problemlerin açıklama ağacı çok uzun olur. Bu durumda çok uzun kromozom yapılarını gerektirir. GEP-VI modellemesinde gen sayısı 5 seçildiğinden 5 tane alt-açıklama ağacı elde edilmiştir. Bu alt-açıklama ağaçlarında görülen d_0 , d_1 , d_2 , d_3 , d_4 , d_5 sırasıyla b_w , d , f_{yd} , f_{cd} , ρ_b ve M_d girdi değişkenlerini ifade etmektedir. Ayrıca 5 tane alt-açıklama ağaçlarına ait katsayılar Çizelge 4.20’de verilmiştir.

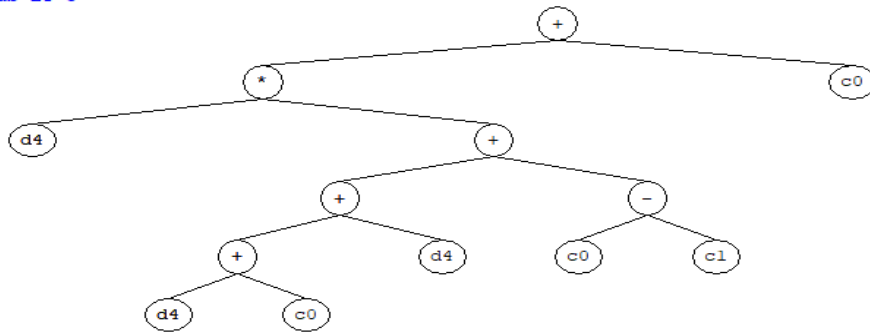
Sub-ET 1



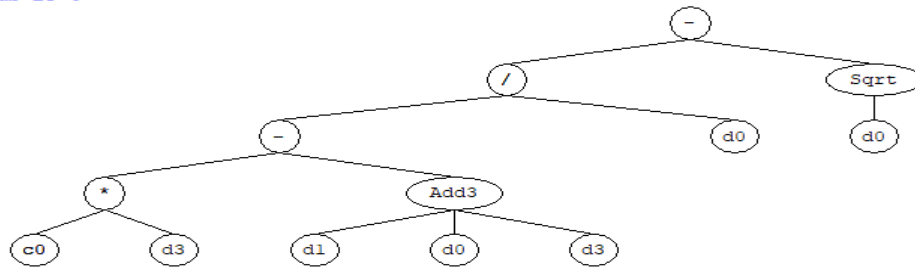
Sub-ET 2



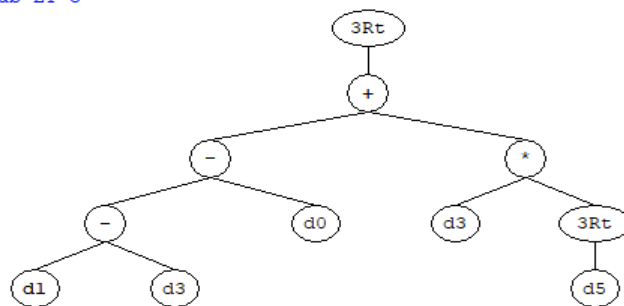
Sub-ET 3



Sub-ET 4



Sub-ET 5



Şekil 4.6. GEP-VI modelinden elde edilen açıklama ağacı

Çizelge 4.20. GEP-VI modelinin açıklama ağaçlarına ait sabitler

G1C0 = -8.013	G2C0 = 9.884	G3C0 = -3.318	G4C0 = -9.942	G5C0 = -5.303
G1C1 = 4.193	G2C1 = -9.821	G3C1 = -3.028	G4C1 = 7.636	G5C1 = 7.655

GEP-VI modelinden elde edilen açık matematiksel ifade Denklem 4.11’de verilmiştir. Modelden elde edilen katsayılar ve girdi değişkenleri Denklem 4.11’de yerine konularak elde edilen Denklem 4.12 yardımıyla çift donatılı kirişlerde donatı alanı hesaplanabilmektedir.

$$\begin{aligned}
 A_{s6} = & \left[\frac{1}{d_2 + 2c_0 + c_1} \right] \\
 & \times \left[\sqrt[3]{d_5 + (d_3 + 2d_1) \times c_0 \times (c_1 - c_0 - d_3) \times (d_1 + d_3)} \right] \\
 & \times \left[d_4 \times (2d_4 + 2c_0 - c_1) + c_0 \right] \\
 & \times \left[\frac{c_0 \times d_3 - (d_1 + d_0 + d_3)}{d_0} - \sqrt{d_0} \right] \\
 & \times \left[\sqrt[3]{d_1 - d_3 - d_0 + d_3 \times \sqrt[3]{d_5}} \right] \tag{4.11}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s6} = & \left[\frac{1}{f_{yd} - 11.834} \right] \\
 & \times \left[\sqrt[3]{M_d + (f_{cd} + 2d) \times 9.884 \times (-19.705 - f_{cd}) \times (d + f_{cd})} \right] \\
 & \times \left[\rho_b \times (2\rho_b - 3.608) - 3.318 \right] \\
 & \times \left[\frac{(-9.942) \times f_{cd} - (d + b_w + f_{cd})}{b_w} - \sqrt{b_w} \right] \\
 & \times \left[\sqrt[3]{d - f_{cd} - b_w + f_{cd} \times \sqrt[3]{M_d}} \right] \tag{4.12}
 \end{aligned}$$

BÖLÜM V

BETONARME KİRİŞLERİN MODEL SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ VE İRDELENMESİ

Betonarme kirişlerin donatı alanını belirlemede literatürdeki formüllerle elde edilen sonuçlar ile GEP yönteminde geliştirilen modellerden tahmin edilen sonuçların kıyaslanması için bazı istatistiksel parametreler kullanılmaktadır. Bu çalışmada, GEP yönteminde geliştirilen modellerin eğitim, test ve doğrulama kümelerinde hataları bulmak için kare ortalamalarının karekökü (*KOK*) olarak isimlendirilen Denklem (5.1) kullanılmıştır.

$$KOK = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (t_i - o_i)^2} \quad (5.1)$$

Ayrıca literatürdeki formüllerden elde edilen sonuçlar ile tahmin edilen sonuçlar arasındaki hataları belirlemek için *R*-kare (R^2) ve ortalama mutlak yüzde hatası (*OMYH*) aşağıdaki Denklem (5.2) ve (5.3)'ten hesaplanmıştır.

$$R^2 = \frac{(n \sum t_i o_i - \sum t_i \sum o_i)^2}{(n \sum t_i^2 - (\sum t_i)^2)(n \sum o_i^2 - (\sum o_i)^2)} \quad (5.2)$$

$$OMYH = \frac{1}{n} \left[\frac{\sum_{i=1}^n |t_i - o_i|}{\sum_{i=1}^n t_i} \times 100 \right] \quad (5.3)$$

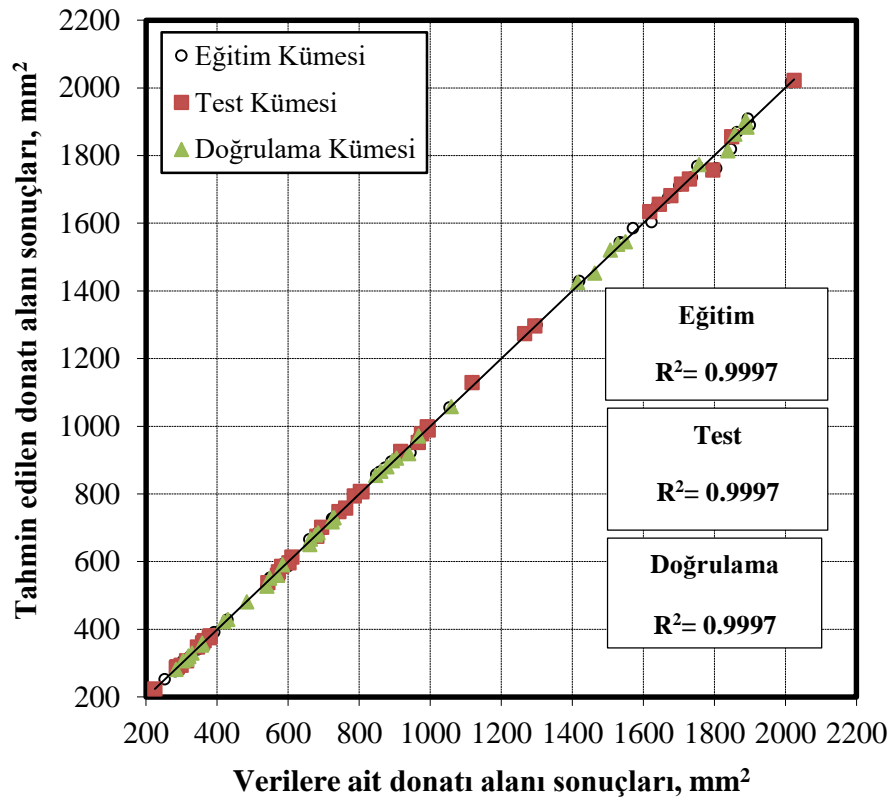
Yukarıda verilen denklemlere göre “*t*” literatürdeki formüllerden elde edilen (hedef) değer, “*o*” modelden elde edilen çıktı değeridir ve “*n*” ise modelde kullanılan toplam veri sayısıdır. *KOK* istatistiksel değerinin küçük olması modelden elde edilen sonuçların hedeflenen sonuçlara yakın olduğunu gösterirken, büyük olması ise modelden elde edilen sonuçların hedeflenen sonuçlardan uzak olduğu anlamına gelmektedir. R^2 değerleri 0.7'nin üzerinde ve 1'e yakın ise, modellerden elde edilen sonuçlar literatürdeki formüllerden elde edilen (hedef) sonuçlara çok yakın demektir. *OMYH* istatistiksel değeri ile de hedeflenen

sonuçlar ile modelden elde edilen sonuçlar arasındaki hem toplam hataların ne kadar olduğunu hem de hedeflenen her bir sonuç ile modellerden elde edilen her bir sonuç arasındaki mutlak hatalar belirlenir. *OMYH* istatistiksel değerinin sifıra yakın olması hedeflenen sonuçlar ile modelden elde edilen sonuçların birbirine yakın olduğunu gösterir.

5.1 Tek Donatılı Kirişlerin Model Sonuçları

5.1.1 GEP-I model sonuçlarının değerlendirilmesi ve irdelenmesi

Literatürdeki formüllerden ve GEP yönteminden geliştirilen GEP-I modelindeki eğitim, test ve doğrulama kümesinden elde edilen A_s sonuçları Şekil 5.1’de karşılaştırılmıştır. Buna ek olarak eğitim, test ve doğrulama kümesi için doğrusal en küçük kare çizgisi ve R^2 değerleri de şekil üzerinde gösterilmiştir. GEP-I modelindeki eğitim, test ve doğrulama kümelerinden elde edilen değerler Şekil 5.1’de görüldüğü üzere literatürdeki formül sonuçlarına çok yakındır. Bu durum literatürdeki formül sonuçları ile GEP-I model sonuçlarının uyum içinde olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.1. GEP-I modeli ile literatürdeki formül sonuçlarının karşılaştırılması

GEP-I modelindeki eğitim, test ve doğrulama kümelerinden bulunan A_s değerlerine ait *OMYH*, *KOK* ve R^2 istatistiksel değerleri Çizelge 5.1’de verilmiştir. GEP-I modelindeki eğitim, test ve doğrulama kümelerinde R^2 değerleri sırasıyla 0.9997, 0.9997 ve 0.9997 olarak elde edilmiştir. Literatürdeki formüller ile geliştirilen GEP-I modelinden elde edilen değerlerin istatistiksel olarak en iyi sonuçları, *OMYH*, *KOK* ve R^2 istatistiksel değerlerine göre doğrulama kümesi vermiştir.

Çizelge 5.1. GEP-I modelinin istatistiksel parametre değerleri

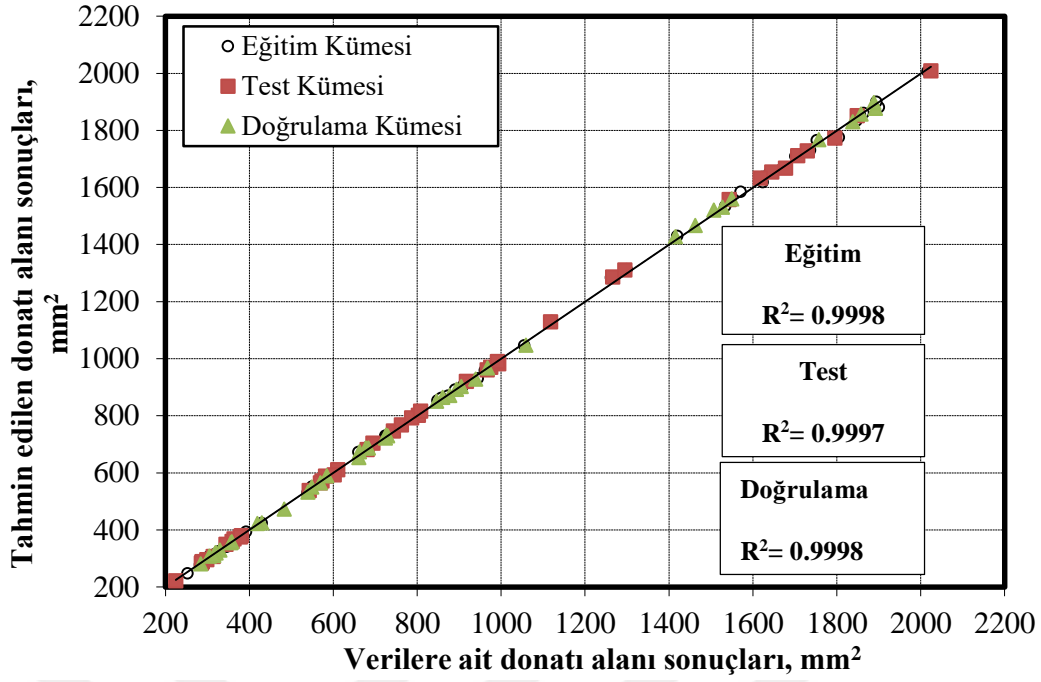
İstatistiksel parametreler	GEP-I		
	Eğitim kümesi	Test kümesi	Doğrulama kümesi
<i>OMYH</i>	0.7999	0.7357	0.6960
<i>KOK</i>	9.4453	8.8012	8.3290
R^2	0.9997	0.9997	0.9997

Bu istatistiksel değerler tek donatılı kırışlerin A_s değerlerinin GEP-I modelinden geliştirilen formülle tahmin edilebileceğini göstermiştir. Sonuç olarak tek donatılı kırışlerde A_s değerleri GEP-I yönteminden elde edilen matematiksel formülle çok küçük hata oranlarıyla kısa zamanda belirlenebilmektedir.

5.1.2 GEP-II model sonuçlarının değerlendirilmesi ve irdelenmesi

Literatürdeki formüllerden ve GEP yönteminden geliştirilen GEP-II modelindeki eğitim, test ve doğrulama kümesinden elde edilen A_s sonuçları Şekil 5.2’de karşılaştırılmıştır. Buna ek olarak eğitim, test ve doğrulama kümesi için doğrusal en küçük kare çizgisi ve R^2 değerleri de şekil üzerinde verilmiştir. GEP-II modelindeki eğitim, test ve doğrulama kümelerinden elde edilen değerler Şekil 5.2’de görüldüğü üzere literatürdeki formülden elde edilen sonuçlara çok yakındır. Bu durum literatürdeki formül sonuçları ile GEP-II model sonuçlarının uyum içinde olduğunu göstermektedir.

GEP-II modelindeki eğitim, test ve doğrulama kümelerinden bulunan A_s değerlerine ait *OMYH*, *KOK* ve R^2 istatistiksel değerleri Çizelge 5.2’de verilmiştir. GEP-II modelindeki eğitim, test ve doğrulama kümelerinde R^2 değerleri sırasıyla 0.9998, 0.9997 ve 0.9998 olarak elde edilmiştir. Literatürdeki formüller ile geliştirilen GEP-II modelinden elde edilen değerlerin istatistiksel olarak en iyi sonuçları, *OMYH*, *KOK* ve R^2 istatistiksel değerlerine göre doğrulama kümesi vermiştir.



Şekil 5.2. GEP-II modeli ile literatürdeki formül sonuçlarının karşılaştırılması

Çizelge 5.2. GEP-II modelinin istatistiksel parametre değerleri

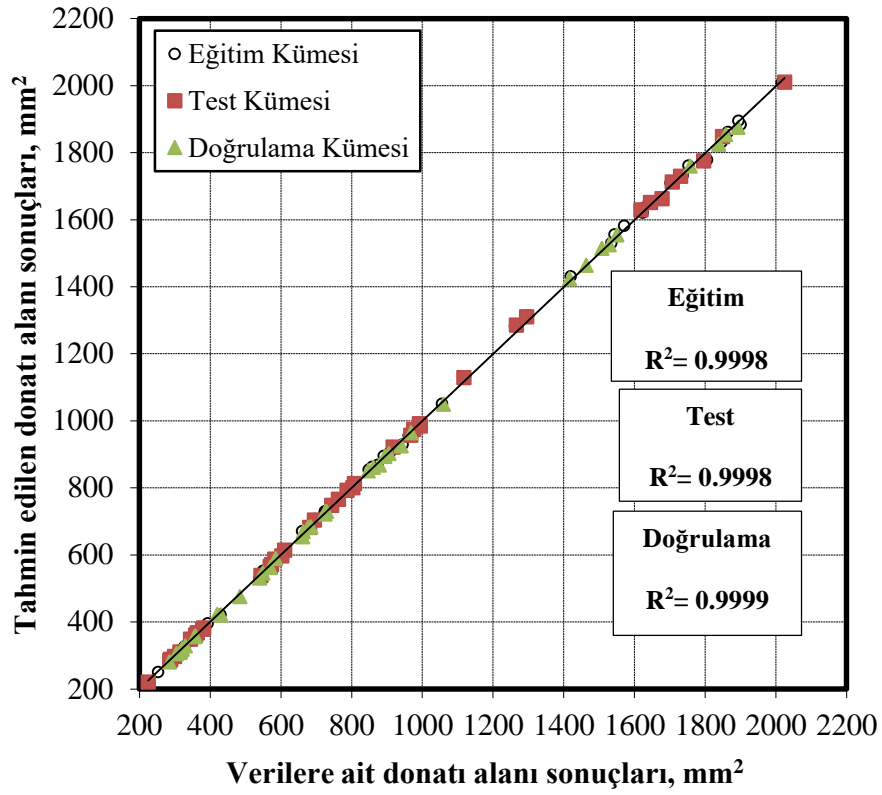
İstatistiksel parametreler	GEP-II		
	Eğitim kümesi	Test kümesi	Doğrulama kümesi
<i>OMYH</i>	0.7636	0.7837	0.6940
<i>KOK</i>	8.0245	8.3086	6.7933
<i>R²</i>	0.9998	0.9997	0.9998

Bu istatistiksel değerler tek donatılı kirişlerin A_s değerlerinin GEP-II modelinde geliştirilen formülle tahmin edilebileceğini göstermiştir. Sonuç olarak tek donatılı kirişlerde A_s değerleri GEP-II yönteminden elde edilen matematiksel formülle çok küçük hata oranlarıyla kısa zamanda belirlenebilmektedir.

5.1.3 GEP-III model sonuçlarının değerlendirilmesi ve irdelenmesi

Literatürdeki formüllerden ve GEP yönteminden geliştirilen GEP-III modelindeki eğitim, test ve doğrulama kümesinden elde edilen A_s sonuçları Şekil 5.3'te karşılaştırılmıştır. Buna ek olarak eğitim, test ve doğrulama kümesi için doğrusal en küçük kare çizgisi ve R^2 değerleri de şekil üzerinde verilmiştir. GEP-III modelindeki eğitim, test ve doğrulama kümelerinden elde edilen değerler Şekil 5.3'te görüldüğü

üzere literatürdeki formülden elde edilen sonuçlara çok yakındır. Bu durum literatürdeki formül sonuçları ile GEP-III model sonuçlarının uyum içinde olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.3. GEP-III modeli ile literatürdeki formül sonuçlarının karşılaştırılması

GEP-III modelindeki eğitim, test ve doğrulama kümelerinden bulunan A_s değerlerine ait $OMYH$, KOK ve R^2 istatistiksel değerler Çizelge 5.3'te verilmiştir. GEP-III modelindeki eğitim, test ve doğrulama kümelerinde R^2 değerleri sırasıyla 0.9998, 0.9998 ve 0.9999 olarak elde edilmiştir. Literatürdeki formüller ile geliştirilen GEP-III modelinden elde edilen değerlerin istatistiksel olarak en iyi sonuçları, $OMYH$, KOK ve R^2 istatistiksel değerlerine göre doğrulama kümesi vermiştir.

Çizelge 5.3. GEP-III modelinin istatistiksel parametre değerleri

İstatistiksel parametreler	GEP-III		
	Eğitim kümesi	Test kümesi	Doğrulama kümesi
$OMYH$	0.6493	0.6748	0.6213
KOK	7.2265	7.6588	6.1727
R^2	0.9998	0.9998	0.9999

Bu istatistiksel değerler tek donatılı kirislerin A_s değerlerinin GEP-III modelinde geliştirilen formülle tahmin edilebileceğini göstermiştir. Sonuç olarak tek donatılı kirislerde A_s değerleri GEP-III yönteminden elde edilen matematiksel formülle çok küçük hata oranlarıyla kısa zamanda belirlenebilmektedir.

5.1.4 Tek donatılı kirislerin model sonuçlarının karşılaştırılması

Çizelge 5.4'te GEP-I, GEP-II ve GEP III modellerine ait eğitim test ve doğrulama kümesi istatistiksel parametre değerleri verilmiştir. Bu modellerin hepsinde girdi parametresi olarak aynı veriler kullanılmıştır. Ayrıca tüm modellerde aynı matematiksel fonksiyonlar (+, -, *, /, Sqrt, Inv, x2, x3, 3Rt, Add3, Sub3, Mul3) seçilirken, gen sayıları sırasıyla GEP-I' de 3, GEP-II' de 4 ve GEP-III' te 5 olarak seçilmiştir. GEP modellerinde aynı matematiksel fonksiyonlar seçilmesine rağmen modelleme esnasında bu fonksiyonlardan bazıları program tarafından kullanılmayabilir. GEP modellerinin eğitim, test ve doğrulama kümesinden elde edilen istatistiksel parametre değerlerine Çizelge 5.4'ten bakıldığında GEP-I, GEP-II ve GEP-III modelleri için en iyi *OMYH*, *KOK* ve R^2 değerlerini doğrulama kümeleri vermiştir. GEP modelleri incelendiğinde tüm modellerde doğrulama kümesi R^2 değerlerinin eğitim ve test kümesi R^2 değerlerinden yüksek çıkmasının sebebi doğrulama kümesi veri değer aralığının eğitilen küme veri değer aralığından iyi seçilmesidir.

Çizelge 5.4. GEP-I, GEP-II ve GEP-III modellerine ait istatistiksel parametreler

GEP Modelleri	İstatistiksel Parametreler								
	Eğitim Kümesi			Test Kümesi			Doğrulama Kümesi		
	<i>OMYH</i>	<i>KOK</i>	R^2	<i>OMYH</i>	<i>KOK</i>	R^2	<i>OMYH</i>	<i>KOK</i>	R^2
GEP-I	0.7999	9.4453	0.9996	0.7356	8.8012	0.9997	0.6959	8.3290	0.9997
GEP-II	0.7636	8.0244	0.9997	0.7836	8.3086	0.9997	0.6940	6.7932	0.9998
GEP-III	0.6492	7.2264	0.9998	0.6748	7.6587	0.9998	0.6212	6.1727	0.9999

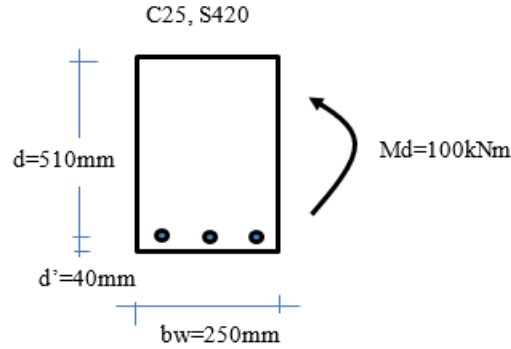
GEP-I, GEP-II ve GEP-III modelleri tüm istatistiksel parametre değerlerine göre kıyaslandığında en iyi sonuçları GEP-III modeli vermektedir. Ancak bu modelde gen sayısının fazla seçilmesinden dolayı modelden elde edilen açıklama ağacı ve bu açıklama ağacından elde edilen formül çok uzun ve karmaşıktır. Bu durum Çizelge 5.5'te de görülmektedir. Bu çizelgedeki formüller incelendiğinde en basit formülün GEP-1 olduğu ortaya çıkmaktadır. Gen sayısının artmasıyla birlikte açıklama ağacı

sayısı artmakta ve açıklama ağacından elde edilen formül de karmaşıklaşmaktadır. Bundan dolayı gen sayısı modellerde farklı kullanılmıştır.

Çizelge 5.5. GEP-I, GEP-II ve GEP-III modellerine ait formüller

GEP Modelleri	Model Formülleri
GEP-I	$A_{S1} = \left[M_d + d + f_{cd} \times (3f_{yd} - d^2 + 9.999) \right]$ $\times \left[\frac{1.049^2}{(d + f_{cd}) \times d \times f_{yd} \times 1.049 \times b_w} \right]$ $\times \left[\sqrt{M_d} + b_w \times d + 4b_w - 2f_{cd} + 9.006 \times b_w \right]$
GEP-II	$A_{S2} = \left[M_d - (\sqrt{d} \times (b_w + d) \times (d - 4.242)) - (d^2 \times 4.242 \times (-1.178)) \right]$ $\times \left[\frac{1}{\frac{f_{cd}}{9.304 + 2f_{yd}}} + f_{yd} - 7.360 \right]$ $\times \left[\frac{1}{\left(f_{yd} - \left(\frac{f_{cd} + (-9.685) - 2b_w}{f_{cd} + (-9.685) + b_w} \right) \right)^3} \right]$ $\times \left[\frac{1}{d} \times (-0.604) \times f_{cd} + f_{yd} + f_{cd} + 0.398 \right]$
GEP-III	$A_{S3} = \left[\frac{1}{\frac{1}{-2.601} + \sqrt[3]{f_{cd}} + (-2.601) + f_{yd}} \right]$ $\times \left[\frac{1}{\frac{M_d - 2d}{-2.018 + f_{cd}} - (2d + M_d - b_w^2 \times (-9.762))} \right]$ $\times \left[M_d + (-6.636) \times b_w^2 + f_{cd}^2 \times (2d + f_{yd}) \right]$ $\times \left[\frac{1}{d - 27.383} \right]$ $\times \left[\sqrt{d} + d - 8.956 - M_d + d - (2b_w + d) \times (-9.998) \times d \right]$

5.1.5 Tek donatılı kiriş için GEP modellerinin sonuçlarının sayısal bir örnekle karşılaştırılması



Şekil 5.4. Tek donatılı kirişe ait kesit bilgisi

Tek donatılı kirişin GEP modellerinin sonuçlarının sayısal bir örnekle karşılaştırılmasında kullanılan kirişe ait kesit bilgileri Şekil 5.4'te verilmiştir. Şekil 5.4'teki kirişin donatı alanı hem Doğangün (2008), hem de GEP-I, GEP-II, GEP-III modelleri kullanılarak hesaplanmış ve Çizelge 5.6'da elde edilen sonuçlar verilmiştir.

Çizelge 5.6. Tek donatılı kiriş için elde edilen donatı alanlarının karşılaştırılması

	A_s mm ²	% Değişim
Doğangün (2008)	569.30	0
GEP-I	575.32	1.06
GEP-II	572.57	0.57
GEP-III	572.64	0.59

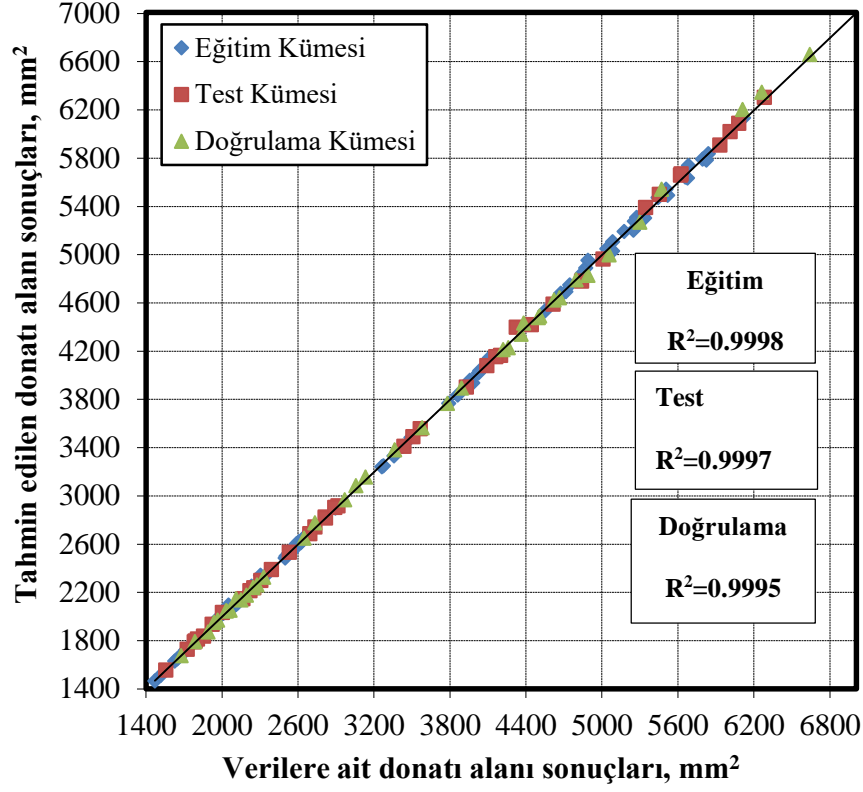
Bu sayısal örnek için sonuçların oldukça birbirine yakın olduğu ve Doğangün (2008)'den elde edilen sonuca en yakın değeri GEP-II modeli verdiği görülmektedir. Bu örnekte görülmektedir ki GEP yöntemi tek donatılı kirişin donatı alanının hesaplanmasında iyi sonuçlar vermektedir.

5.2 Çift Donatılı Kirişlerin Model Sonuçları

5.2.1 GEP-IV model sonuçlarının değerlendirilmesi ve irdelenmesi

Literatürdeki formüllerden ve GEP yönteminden geliştirilen GEP-IV modelindeki eğitim, test ve doğrulama kümesinden elde edilen A_s sonuçları Şekil 5.5'de karşılaştırılmıştır. Buna ek olarak eğitim, test ve doğrulama kümesi için doğrusal en

küçük kare çizgisi ve R^2 değerleri de şekil üzerinde verilmiştir. GEP-IV modelindeki eğitim, test ve doğrulama kümelerinden elde edilen değerler Şekil 5.5’de görüldüğü üzere literatürdeki formülden elde edilen sonuçlara çok yakındır. Bu durum literatürdeki formül sonuçları ile GEP-IV model sonuçlarının uyum içinde olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.5. GEP-IV modeli ile literatürdeki formül sonuçlarının karşılaştırılması

GEP-IV modelindeki eğitim, test ve doğrulama kümelerinden bulunan A_s değerlerine ait $OMYH$, KOK ve R^2 istatistiksel değerler Çizelge 5.7’de verilmiştir. GEP-IV Modelindeki eğitim, test ve doğrulama kümelerinde R^2 değerleri sırasıyla 0.9998, 0.9997 ve 0.9995 olarak elde edilmiştir. Literatürdeki formüller ile geliştirilen GEP-IV modelinden elde edilen değerlerin istatistiksel olarak karşılaştırılmasından elde edilen en iyi sonuçları, $OMYH$, KOK ve R^2 istatistiksel değerlerine göre eğitim kümesi vermiştir.

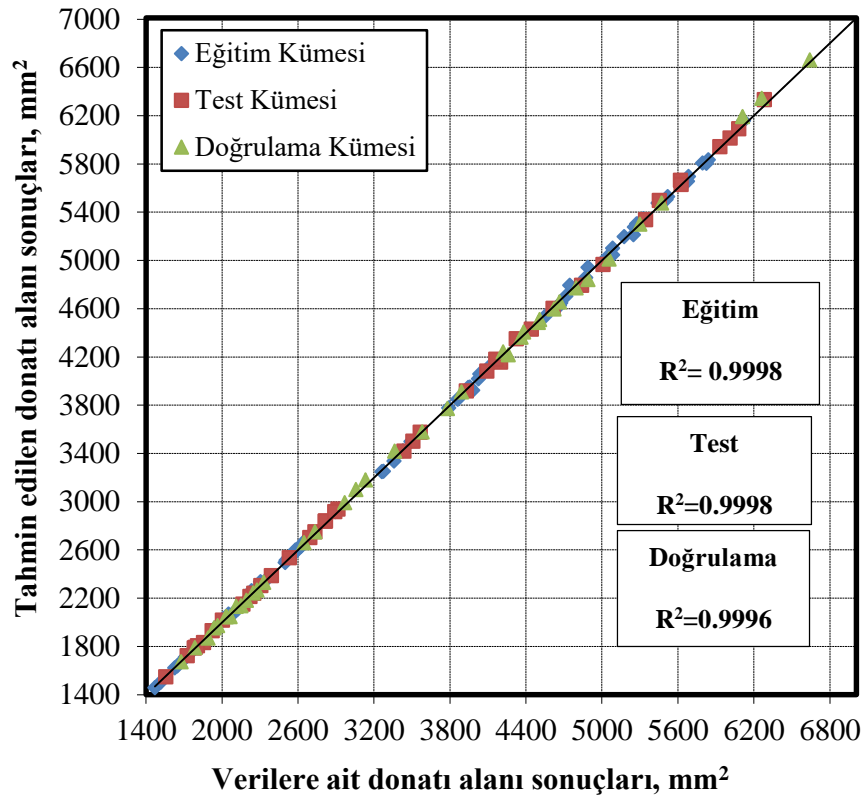
Çizelge 5.7. GEP-IV modelinin istatistiksel parametre değerleri

İstatistiksel parametreler	GEP-IV		
	Eğitim kümesi	Test kümesi	Doğrulama kümesi
$OMYH$	0.4695	0.5127	0.6466
KOK	21.5749	25.7103	33.6473
R^2	0.9998	0.9997	0.9995

Çift donatılı kirişlerin A_s değerlerinin GEP-IV modelinde geliştirilen formülle tahmin edilebileceğini bu istatistiksel değerler göstermiştir. Sonuç olarak çift donatılı kirişlerde A_s değerleri GEP-IV yönteminden elde edilen matematiksel formülle çok küçük hata oranlarıyla kısa zamanda hesaplanabilmektedir.

5.2.2 GEP-V model sonuçlarının değerlendirilmesi ve irdelenmesi

Literatürdeki formüllerden ve GEP yönteminden geliştirilen GEP-V modelindeki eğitim, test ve doğrulama kümesinden elde edilen A_s sonuçları Şekil 5.6'da karşılaştırılmıştır. Buna ek olarak eğitim, test ve doğrulama kümesi için doğrusal en küçük kare çizgisi ve R^2 değerleri de bu şekil üzerinde verilmiştir. GEP-V modelindeki eğitim, test ve doğrulama kümelerinden elde edilen değerler Şekil 5.6'da görüldüğü üzere literatürdeki formülden elde edilen sonuçlara çok yakındır. Bu durum literatürdeki formül sonuçları ile GEP-V model sonuçlarının uyum içinde olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.6. GEP-V modeli ile literatürdeki formül sonuçlarının karşılaştırılması

GEP-V modelindeki eğitim, test ve doğrulama kümelerinden bulunan A_s değerlerine ait $OMYH$, KOK ve R^2 istatistiksel değerler Çizelge 5.8'de verilmiştir. GEP-V Modelindeki

eğitim, test ve doğrulama kümelerinde R^2 değerleri sırasıyla 0.9998, 0.9998 ve 0.9996 olarak elde edilmiştir. Literatürdeki formüller ile geliştirilen GEP-V modelinden elde edilen değerlerin istatistiksel olarak karşılaştırılmasından elde edilen en iyi sonuçları, *OMYH* istatistiksel değerlerine göre test kümesi, *KOK* ve R^2 istatistiksel değerlerine göre eğitim kümesi vermiştir.

Çizelge 5.8. GEP-V modelinin istatistiksel parametre değerleri

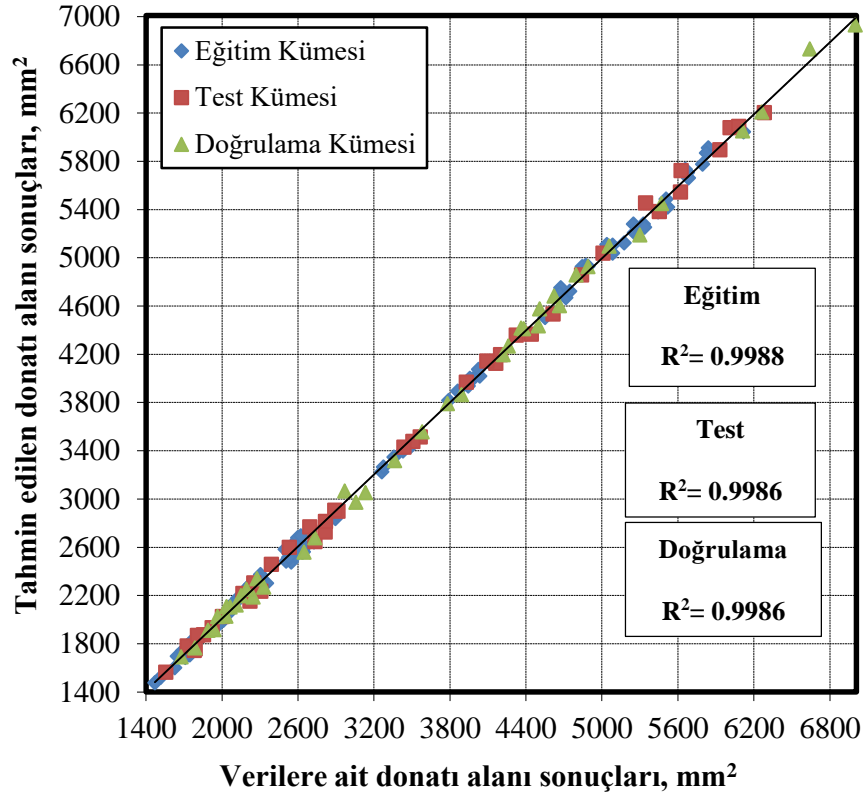
İstatistiksel parametreler	GEP-V		
	Eğitim kümesi	Test kümesi	Doğrulama kümesi
<i>OMYH</i>	0.4616	0.4564	0.6192
<i>KOK</i>	19.5204	21.0755	31.9299
R^2	0.9998	0.9998	0.9996

Bu istatistiksel değerler çift donatılı kirişlerin A_s değerlerinin GEP-V modelinde geliştirilen formülle tahmin edilebileceğini göstermiştir. Sonuç olarak çift donatılı kirişlerde A_s değerleri GEP-V yönteminden elde edilen matematiksel formülle çok küçük hata oranlarıyla kısa zamanda hesaplanabilmektedir.

5.2.3 GEP-VI model sonuçlarının değerlendirilmesi ve irdelenmesi

Literatürdeki formüllerden ve GEP yönteminden geliştirilen GEP-VI modelindeki eğitim, test ve doğrulama kümesinden elde edilen A_s sonuçları Şekil 5.7’de verilmiştir. Buna ek olarak eğitim, test ve doğrulama kümesi için doğrusal en küçük kare çizgisi ve R^2 değerleri de bu Şekil üzerinde verilmiştir. GEP-VI modelindeki eğitim, test ve doğrulama kümelerinden elde edilen değerler Şekil 5.7’de grldğg üzere literatürdeki formül sonuçlarına çok yakındır. Bu durum literatürdeki formül sonuçları ile GEP-VI model sonuçlarının uyum içinde olduğunu göstermektedir.

GEP-VI modelindeki eğitim, test ve doğrulama kümelerinden bulunan A_s değerlerine ait *OMYH*, *KOK* ve R^2 istatistiksel değerler izelge 5.9’da verilmiştir. GEP-VI Modelindeki eğitim, test ve doğrulama kümelerinde R^2 değerleri sırasıyla 0.9988, 0.9986 ve 0.9986 olarak elde edilmiştir. Literatürdeki formüller ile geliştirilen GEP-VI modelinden elde edilen değerlerin istatistiksel olarak karşılaştırılmasından elde edilen en iyi sonuçları, *OMYH*, *KOK* ve R^2 istatistiksel değerlerine göre eğitim kümesi vermiştir.



Şekil 5.7. GEP-VI modeli ile literatürdeki formül sonuçlarının karşılaştırılması

Çizelge 5.9. GEP-VI modelinin istatistiksel parametre değerleri

İstatistiksel parametreler	GEP-VI		
	Eğitim kümesi	Test kümesi	Doğrulama kümesi
<i>OMYH</i>	1.4214	1.5155	1.5282
<i>KOK</i>	49.9504	55.8113	56.1773
<i>R</i> ²	0.9988	0.9986	0.9986

Bu istatistiksel değerler çift donatılı kirişlerin A_s değerlerinin GEP-VI modelinde geliştirilen formülle tahmin edilebileceğini göstermiştir. Sonuç olarak çift donatılı kirişlerde A_s değerleri GEP-VI yönteminden elde edilen matematiksel formülle çok küçük hata oranlarıyla kısa zamanda hesaplanabilmektedir.

5.2.4 Çift donatılı kirişlerin model sonuçlarının karşılaştırılması

Çizelge 5.10’da GEP-IV, GEP-V ve GEP VI modellerine ait eğitim test ve doğrulama kümesi istatistiksel parametre değerleri verilmiştir. Üç modelde de aynı veriler model girdi parametresi olarak seçilmiştir. Ayrıca üç modelde de aynı matematiksel fonksiyonlar (+, -, *, /, Sqrt, Inv, x2, x3, 3Rt, Add3, Sub3, Mul3) seçilirken gen sayıları

sırasıyla GEP-IV’ de 3, GEP-V’ de 4 ve GEP-VI’ da 5 olarak seçilmiştir. Ancak modellerin eğitiminde matematiksel fonksiyonların hepsi modelde kullanılmayabilir. Bunun sonucunda da her formül farklı olmuştur. Gen ifadeli programlamanın çalıştırılması ile elde edilen eğitim, test ve doğrulama kümesi istatistiksel parametre değerlerine Çizelge 5.10’dan bakıldığında en iyi *OMYH*, *KOK* ve R^2 değerlerini GEP-V modeli vermiştir.

Çizelge 5.10. GEP-IV, GEP-V ve GEP-VI modellerine ait istatistiksel parametreler

GEP Modelleri	İstatistiksel Parametreler								
	Eğitim Kümesi			Test Kümesi			Doğrulama Kümesi		
	<i>OMYH</i>	<i>KOK</i>	R^2	<i>OMYH</i>	<i>KOK</i>	R^2	<i>OMYH</i>	<i>KOK</i>	R^2
GEP-IV	0.4694	21.5749	0.9997	0.5126	25.7102	0.9996	0.6466	33.6472	0.9995
GEP-V	0.4616	19.5204	0.9998	0.4563	21.0755	0.9998	0.6192	31.9298	0.9996
GEP-VI	1.4213	49.9503	0.9988	1.5154	55.8113	0.9985	1.5282	56.1772	0.9986

GEP-IV, GEP-V ve GEP-VI modellerinin açıklama ağaçlarından elde edilen formüller Çizelge 5.11’de vermiştir. Bu formüller incelendiğinde gen sayısı arttıkça modelden elde edilen formül uzamakta ve karmaşıklaşmaktadır. Bu durum da formülün kullanılabilirliğini zorlaştırmaktadır. Bu yüzden GEP tekniğinden elde edilen formüllerin basit ve kolay olması için gen sayısının düşük seçilmesi gereklidir. Bundan dolayı modellemeler yapılırken gen sayısı farklı farklı seçilmiştir.

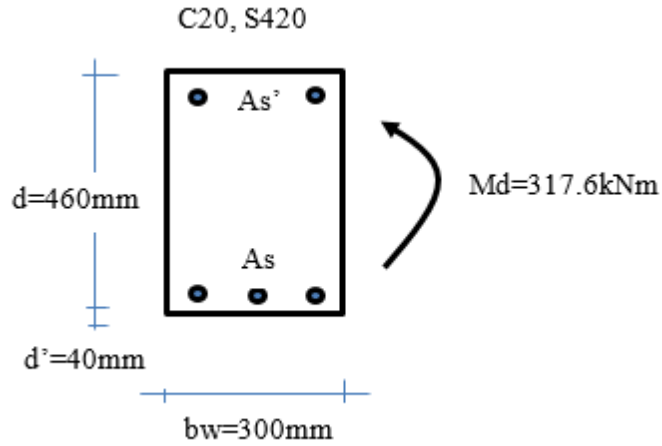
Çizelge 5.11. GEP-IV, GEP-V ve GEP-VI modellerine ait formüller

GEP Modelleri	Model Formülleri
GEP-IV	$A_{S_4} = \left[\frac{(-1.097)}{(b_w + 3.84 + \rho_b - f_{cd} \times d) \times f_{yd}} \right]$ $\times \left[f_{cd} \times \left(\rho_b + \rho_b^3 + \frac{f_{yd} - 4.743}{f_{yd}} \right) \right]$ $\times \left[\frac{1}{f_{yd}} \times d^2 \times f_{cd} \times 3d + f_{yd}^2 \times (-7.157) + 19.992 + M_d \right]$

Çizelge 5.12. (Devam) GEP-VI, GEP-V ve GEP-VI modellerine ait formüller

GEP Modelleri	Model Formülleri
GEP-V	$A_{s5} = \left[\frac{1}{-9.794 + \frac{\rho_b + (-3.184) + f_{cd}}{(-3.184)^2} + f_{yd}} \right]$ $\times \left[\frac{1}{d + 6.200 - \left(\frac{3f_{yd} + d}{f_{cd} - b_w + 9.774} \right)} \right]$ $\times \left[(f_{yd} - b_w + 6.200) \times \frac{1}{b_w \times (-6.200287)} + 6.200 \right]$ $\times \left[\frac{1}{5.192 \times \left(\frac{1}{2d + M_d + d^2 \times f_{cd} + d \times 5.192 \times b_w} \right)} \right]$
GEP-VI	$A_{s6} = \left[\frac{1}{f_{yd} - 11.834} \right]$ $\times \left[\sqrt[3]{M_d + (f_{cd} + 2d) \times 9.884 \times (-19.705 - f_{cd}) \times (d + f_{cd})} \right]$ $\times \left[\rho_b \times (2\rho_b - 3.608) - 3.318 \right]$ $\times \left[\frac{(-9.942) \times f_{cd} - (d + b_w + f_{cd})}{b_w} - \sqrt{b_w} \right]$ $\times \left[\sqrt[3]{d - f_{cd} - b_w + f_{cd}} \times \sqrt[3]{M_d} \right]$

5.2.5 Çift donatılı kiriş için GEP modellerinin sonuçlarının sayısal bir örnekle karşılaştırılması



Şekil 5.8. Çift donatılı kirişe ait kesit bilgisi

Çift donatılı kirişin GEP modellerinin sonuçlarının sayısal bir örnekle karşılaştırılmasında kullanılan kirişe ait kesit bilgileri Şekil 5.8'de verilmiştir. Şekil 5.8'deki kirişin donatı alanı hem Doğangün (2008), hem de GEP-IV, GEP-V, GEP-VI modelleri kullanılarak hesaplanmış ve Çizelge 5.12'de elde edilen sonuçlar verilmiştir. Bu sonuçlardan da görüldüğü gibi GEP modellerinin sonucu Doğangün (2008) tarafından hesaplanan sonuca çok yakındır.

Çizelge 5.13. Çift donatılı kiriş için elde edilen donatı alanlarının karşılaştırılması

	A_s mm ²	% Değişim
Doğangün (2008)	2188.80	0
GEP-IV	2257.75	3.15
GEP-V	2267.55	3.59
GEP-VI	2261.51	3.32

BÖLÜM VI

SONUÇLAR

Bu çalışmada, GEP tekniğinin tek ve çift donatılı betonarme dikdörtgen kirişlerin donatı alanlarının hesabında kullanımının uygun olup olmayacağı araştırılmıştır. GEP tekniğinden elde edilen formülün kullanılmasıyla donatı alanı hesabındaki ara işlemlerin yapılmasına gerek kalmamakta ve sadece bir fonksiyon oluşturulması ile aranan donatı alanının belirlenmesi mümkün olmaktadır. GEP tekniğinden elde edilen formüller özellikle basınç bölgesine donatı konulması durumunu ifade eden çift donatılı dikdörtgen kirişlerin hesabında işlem yükünü hafifletmektedir. Bu fonksiyonun oluşturulması aşamasında program verilerinin ve değişkenlerinin doğru seçimi önemli olmaktadır. Bu tez çalışmasında, öncelikle tek ve çift donatılı dikdörtgen kirişler için literatürde bulunan donatı alanı hesabına yönelik işlem adımlarını takip ederek veriler üretilmiş ve eğitim, test, doğrulama şeklinde kümelere ayrılmıştır. GEP'te kromozom, baş, gen sayısı ve bazı matematiksel fonksiyonlar seçilerek girdi parametreleri eğitilip programın kendi içinde testi yapılmıştır. Kromozom ile baş sayıları sabit seçilirken, gen sayılarının üç, dört ve beş seçilmesi durumları için, tek ve çift donatılı kirişlerin her birinde üçer adet, toplamda ise altı adet modelleme yapılmıştır. Her bir modellemeden elde edilen fonksiyonlar doğrulama kümeleri ile kontrol edilmiştir. GEP modelleri istatistiksel parametre değerleri olan *OMYH*, *KOK* ve R^2 ile kendi aralarında karşılaştırılıp hangi modelin daha uygun olacağı değerlendirilmiştir. Gen sayısının fazla seçilmesiyle daha karmaşık formüller elde edilmesine rağmen, gen sayısının az seçilmesiyle daha basit formüller elde edilmiş ve doğru sonuçların tahmin edilebileceği gözlenmiştir.

Yapay zekanın alt dallarından biri olan GEP'in, betonarme yapıyı oluşturan elemanlardan kirişlerin, boyuna donatı hesabında da kullanımının iyi sonuçlar vereceği kanaatine varılmıştır. İleriki çalışmalarda deneysel veriler kullanılarak GEP tekniği ile betonarme kirişlerin boyuna donatılarının hesabına ait modeller geliştirilmesi uygun olacaktır. İnşaat mühendisliğinin farklı alanlarında karşılaşılan problemlerde sonuçlara doğrudan ulaşılabilmesi açısından GEP kullanımının kolaylıklar sağlayacağı da düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Aldawod, M., Samali, B., Naghdy, F. and Kwok, K.C.S., “Active control of along wind response of tall building using a fuzzy controller”, *Engineering Structures* 23, 1512-1522, 2001.
- Ashour, A.F., Alvarez, L.F. and Toropov, V.V., “Empirical modelling of shear strength of RC deep beams by genetic programming”, *Computers and Structures* 81, 331–338, 2003.
- Banzhaf, W., Nordin, P., Keller, R.E. and Francone, F.D., Genetic Programming: An Introduction: On the Automatic Evolution of Computer Programs and its Applications, *Morgan Kaufmann*, San Francisco, 1998.
- Babayiğit, E., Meteorolojik veriler kullanarak yeraltı su seviyesinin genetik programlama ile tahmini, Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri, s. 22-56, 2015.
- Baykasoğlu, A., Gullu, H., Canakcı, H. and Ozbakır, L., “Prediction of compressive and tensile strength of limestone via genetic programming”, *Expert Systems with Applications* 35, 111–123, 2008.
- Can, S., Portland çimento basma dayanımının modellenmesinde yapay sinir ağları ve bulanık mantık uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, *İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü/ Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, s. 1-8,2004.
- Cevik, A., Arslan, M.H. and Koroglu, M.A., “Genetic-programming-based Modeling of RC Beam Torsional Strength” *KSCE Journal of Civil Engineering* 14(3), 371-384, 2010.
- Cramer, N.L., “A Representation for the Adaptive Generation of Simple Sequential Programs. In J. J. Grefenstette, ed.”, *Proceedings of the First International Conference on Genetic Algorithms and Their Applications*, Pittsburgh, s. 101-111, 1985.

Dayık, M., Dokumada çözümlü gerginliği değişiminin optimizasyonu, Doktora Tezi, *S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, s. 59-80, 2005.

Doğangün, A., Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı, *Birsan Yayınevi*, İstanbul, 2008.

Ersayın, D., Toprak dolgu baraj gövdesindeki sızmanın yapay sinir ağları ile incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü/ Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, s. 1-5, 2006.

Ersoy,U., Betonarme Temel İlkeler ve Taşıma Gücü Hesabı, Cilt 1, *Evrin Basım Yayın Dağıtım*, İstanbul, 1987.

Fairbairn, E.M.R., Silvano, M.M., Filho , R.D.T., Alves, J.L.D. and Ebecken, N.F.F., “Optimization of mass construction using genetic algorithms”, *Computers and Structures* 82, 281-299, 2004.

Ferreira, C., Analyzing The Founder Effect In Simulated Evolutionary Processes Using Gene Expression Programming. *Soft Computing Systems: Design, Management and Applications*, *IOS Press*, Netherlands, 2002a.

Ferreira, C., “Function Finding and the Creation of Numerical Constants in Gene Expression Programming”, *7th Online World Conference on Soft Computing in Industrial Applications*, On the Internet (World Wide Web), s. 1-9, September 23 - October 4, 2002b.

Ferreira, C., “Mutation, Transposition, and Recombination: An Analysis of the Evolutionary Dynamics”, *4th International Workshop on Frontiers in Evolutionary Algorithms*, Research Triangle Park, North Carolina, USA, s. 614-617, 2002c.

Gandomi, A.H., Alavi, A.H., Gandomi, M. and Kazemi, S., “Formulation of shear strength of slender RC beams using gene expression programming, part I: Without shear reinforcement”, *Automation in Construction* 42, 112-121, 2014.

Gandomi, A.H., Alavi, A.H., Gandomi, M. and Kazemi, S., “Formulation of shear strength of slender RC beams using gene expression programming, part II: With shear reinforcement”, *Measurement* 95, 367-376, 2017.

Gholampour, A., Gandomi, A.H. and Ozbakkaloglu, T. “New formulations for mechanical properties of recycled aggregate concrete using gene expression programming” *Construction and Building Materials* 130, 122–145, 2017.

Kara, İ.F., “Prediction of shear strength of FRP-reinforced concrete beams without stirrups based on genetic programming”, *Advances in Engineering Software* 42, 295–304, 2011.

Keleşoğlu, Ö., Ekinçi, C.E. ve Fırat, A., “The using of artificial neural networks in insulation computations”, *Journal of Engineering and Natural Sciences Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi* 3, 58-66, 2005.

Lee, S.C., “Prediction of concrete strength using artificial neural Networks”, *Engineering Structures* 25, 849-857, 2003.

Lutton, E., Foster, J.A., Miller, J., Ryan, C. and A.G.B. “Discovery of the Boolean Functions to the Best Density-Classification Rules Using Gene Expression Programming. Tettamanzi, eds.”, *Proceedings of the 4th European Conference on Genetic Programming*, EuroGP, Springer-Verlag, Berlin, Germany. volume 2278 of Lecture Notes in Computer Science, s. 51-60, 2002.

Mehdipour, E.F., Haddad, O.B. and Marino, M.A., “Prediction and simulation of monthly groundwater levels by genetic programming”, *Journal of Hydro- environment Research* 7(4), 253-260, 2013.

Mousavi, S.M., Aminian, P., Gandomi, A.H., Alavi, A.H. and Balandi, H., “A new predictive model for compressive strength of HPC using gene expression programming”, *Advances in Engineering Software* 45(1), 105-114, 2012.

McCulloch, W.S. and Pitts, W., “A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity”, *The Bulletin of Mathematical Biophysics* 5(4), 115-133, 1943.

Morcous, G. ve and Lounis, Z., “Maintenance optimization of infrastructure networks using genetic algorithms”, *Automation in Construction* 14, 129-142, 2005.

Müftüoğlu, T.D., İki boru arasındaki sediment taşınımının bulanık mantıkla modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İ.K.Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, s. 1-4, 20016.

Ozbay, E., Gesoğlu, M. and Guneyisi, E., “Empirical modeling of fresh and hardened properties of self-compacting concretes by genetic programming”, *Construction and Building Materials* 22, 1831–1840, 2008.

Özsoy, İ. ve Fırat, M., “Kirişsiz döşemeli betonarme bir binada oluşan yatay deplasmanın yapay sinir ağlarıyla tahmini”, *Dokuzeylül Üniversitesi , Mühendislik Fakültesi, Fen ve Mühendislik Dergisi* 6(1), 51-63, 2004.

Pala, M., “Genetic programming-based formulation for distortional buckling stress of cold-formed steel members”, *Journal of Constructional Steel Research* 64, 1495–1504, 2008.

Perez, J.L., Cladera, A., Rabunal, J.R. and Abella, F.M., “Optimal adjustment of EC-2 shear formulation for concrete elements without web reinforcement using Genetic Programming”, *Engineering Structures* 32, 3452–3466, 2010.

Roy, R., Köppen, M., Ovaska, S., Furuhashi, T. and Hoffmann, F., eds., *Soft Computing and Industry – Recent Applications*, Springer, Verlag, Berlin, 2002.

Samali, B. and Aldawod, M., “Performance of a five-storey benchmark model using an active tuned mass damper and fuzzy controller”, *Engineering Structures* 25, 1597-1610, 2003.

Sarıdemir, M., “Genetic programming approach for prediction of compressive strength of concretes containing rice husk ash”, *Construction and Building Materials* 24, 1911-1919, 2010.

Sarıdemir, M., “Effect of specimen size and shape on compressive strength of concrete containing fly ash: Application of genetic programming for design”, *Materials and Design* 56, 297-305, 2014.

Sarıdemir, M. ve Kara, İ.F., “Fiberle Güçlendirilmiş Silis Dumanı İçeren Betonların Yarmada Çekme Dayanımının GEP ile Tahmini”, *Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 5(2), 208-217, 2016.

Sardemir, M., “Metakaolin ve silis dumanı içeren betonların basınç dayanımının gen ifadeli programlama ile tahmin edilmesi”, *Pamukkale Univ Muh Bilim Derg.* 23(3), 238-244, 2017.

Santos, J. M. and Zapico, A., “Combinatorial Optimization by Gene Expression Programming” *Inversion Revisited Proceedings of the Argentine Symposium on Artificial Intelligence*, Santa Fe, Argentina, s. 160-174, 2003.

Sahin, M. and Sheno, R.A., “Quantification and localisation of damage in beam-like structures by using artificial neural networks with experimental validation”, *Engineering Structures* 25, 1597-1610, 2003.

Severcan, M.H., “Prediction of splitting tensile strength from the compressive strength of concrete using GEP”, *Neural Comput & Applic* 21(8), 1937–1945, 2012.

Tanyildizi, H. and Çevik, A., “Modeling mechanical performance of lightweight concrete containing silica fume exposed to high temperature using genetic programming”, *Construction and Building Materials* 24, 2612–2618, 2010.

Uygunoğlu, T. ve Ünal, O., “Seyitömer uçucu külünün betonun basınç dayanımına etkisi üzerine bulanık mantık yaklaşımı” *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi* 1(1), 13-20, 2005.

Yurtçu, Ş., Uygunoğlu, T. ve İçağa, Y., “Yeraltı suyu ile diğer meteorolojik değişkenler arasındaki ilişkinin bulanık mantıkla modellenmesi”, *Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Bilimler Dergisi* 12(2), 285-292, 2006.

Yücel, Ö.B., Uzun açıklıklı konsol kafes kirişli bir köprünün sonlu elemanlar modelinin yapay sinir ağları ile kalibrasyonu, Yüksek Lisans Tezi, *O.D.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, s. 1-8, 2008.



ÖZGEÇMİŞ

1988 yılında Rize'nin Ardeşen İlçesinde doğdu. İlkokulu Ardeşen Merkez Alparslan İlkokulu'nda, Ortaokulu Ardeşen Fatih İlköğretim Okulu'nda ve liseyi Ardeşen Lisesi'nde tamamladı. 2012 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği'ni bitiren araştırmacı 2013 yılında Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı, aynı zamanda özel bir şirkette İnşaat Mühendisi olarak çalışmaktadır.



