

**T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DİFERANSİYEL GELİŞİM ALGORİTMASI TABANLI ÖNGERİLMELİ BETON
KÖPRÜ KİRİŞLERİNİN OPTİMUM TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Emre ORTAÇ

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği

Programı: Mekanik

Danışman: Prof. Dr. Mehmet ÜLKER

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 06/07/2017

ELAZIĞ, 2017

**T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DİFERANSİYEL GELİŞİM ALGORİTMASI TABANLI ÖNGERİLMELİ BETON
KÖPRÜ KİRİŞLERİNİN OPTİMUM TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Emre ORTAÇ

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 06/07/2017

Tezin Savunulduğu Tarih : 11/09/2017

Tez Danışman : Prof. Dr. Mehmet ÜLKER

Diğer Jüri Üyeleri : Yrd.Doç.Dr.Sedat SAVAŞ

: Yrd.Doç.Dr.Burak YÖN

ELAZIĞ, 2017

TEŞEKKÜR

“Diferansiyel Gelişim Algoritması Tabanlı Öngerilmeli Beton Köprü Kirişlerinin Optimum Tasarımı” konulu çalışmada her türlü destek ve yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Mehmet ÜLKER’e, Yıldız Teknik Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Bölümü Arş.Gör. Alırıza YILMAZ’a ve Çevre ve Şehircilik Bakanlığında görevli Makine Yük. Mühendisi abim Yunus ORTAÇ’a ve son olarak desteklerini sürekli üzerimde hissettiğim kıymetli aileme teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Emre ORTAÇ
Elazığ / Eylül 2017



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No:</u>
ÖZET	III
ABSTRACT	V
ŞEKİLLER DİZİNİ	VII
TABLolar DİZİNİ	VIII
SEMBOLLER DİZİNİ	IX
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1 Giriş	1
1.1.1.Sonradan Germe(Ardçekim)	1
1.1.2.Önceden Germe (Önçekim)	2
1.2.Optimum Tasarım	2
1.3. Sezgisel Algoritmalar	3
1.3.1. Diferansiyel Gelişim Algoritması (DGA)	3
1.3.2. Diferansiyel Gelişim Algoritmasının Avantajları	3
1.3.3. Diferansiyel Gelişim Algoritmasının Temel Adımları	4
1.3.3.1. Başlangıç Popülasyonu	5
1.3.3.2. Mutasyon	6
1.3.3.3. Çaprazlama	7
1.3.3.4. Karşılaştırma	8
1.4.Çalışmanın Amaç ve Kapsamı	10
2.YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEME	12
2.1. Önçekim Öngerilmeli Beton I Köprü Kirişlerinin Tasarımı	12
2.1.1. Yapının Tanımlanması	12
2.1.2. Kirişe Etkiyen Yükler	12
2.1.3. Malzeme	15
2.1.4. Kirişte Oluşan İç Kuvvetlerin Hesaplanması	16
2.1.5. Öngerilme Kayıplarının Hesaplanması	16
2.1.5.1. Büzülme Kaybı	16
2.1.5.2. Elastik Kısalma Kaybı	17
2.1.5.3.Sünme Kaybı	17
2.1.5.4.Gevşeme Kaybı	17
2.1.6.Emniyet Gerilmelerinin Hesaplanması ve Denetimleri	18

2.1.7. Taşıma Gücü Kontrolü	19
2.1.7.1 Tablalı Kesitler İçin Taşıma Gücü	19
2.1.7.2 Prefabrike Kesitler İçin Taşıma Gücü	20
2.1.7.3 Minimum Öngerme Donatısı	21
2.1.7.4 Maksimum Öngerme Donatısı	21
2.1.8. Kayma Emniyet Gerilmeleri Hesabı	22
2.1.8.1 Kayma Emniyet Gerilmeleri Denetimi	22
2.1.9. Kesme Taşıma Gücü Hesabı	22
2.1.10. Sehim Hesapları	25
2.2. Optimum Tasarım	27
2.2.1.Amaç Fonksiyonu	27
2.2.2. Tasarım Değişkenleri	29
2.2.3. Tasarım Parametreleri	30
2.2.4.Denetimler, Sınırlayıcılar, Koşullar	30
2.2.4.1 Eğilme Durumu Beton Gerilmeleri ve Emniyet Gerilmelerinin Denetimi	30
2.2.4.2.Eğilme Taşıma Gücü Çelik Gerilmesi	31
2.2.4.3.Maksimum Donatı Oranı Denetimi	32
2.2.4.4.Minimum Donatı Oranı Denetimi	33
2.2.4.5.Kayma Emniyet Gerilmeleri Denetimi;	33
2.2.4.6.Kesme Taşıma Gücü Denetimleri;	33
2.2.4.7.Sehim Denetimleri	33
2.2.4.8.Geometri Denetimleri	34
2.2.4.9.Öngerilmeli Donatı Kontrolü	35
2.3.Diferansiyel Gelişim Algoritması İle Optimum Tasarım	35
2.3.1.DGA'ın MATLAB Ortamında Gerçeklenmesi	37
3.SAYISAL UYGULAMALAR	39
3.1. Edirne Kapı Kavşak Köprüleri-Köprü - 4	39
3.2.Turgut Özal Tıp Merkezi Kavşak Köprüsü	68
3.3.O-1 Otoyolu Km: 17+088 Üstgeçit Köprüsü	73
4.SONUÇLAR	78
5.KAYNAKLAR	79

ÖZET

DİFERANSİYEL GELİŞİM ALGORİTMASI TABANLI ÖNGERİLMELİ BETON KÖPRÜ KİRİŞLERİNİN OPTİMUM TASARIMI

Köprüler insanların ve araçların vadiler üzerinde ulaşımını sağlayan, karayolları ve demiryolları üzerinde inşa edilen yapılardır. Bu yapılar tasarlanırken kullanılış amacına ve kullanılacak malzemeye (ahşap, betonarme, çelik konstrüksiyon, öngerilmeli beton v.b.) göre sınıflara ayrılırlar. Günümüzde en sık kullanılan öngerilmeli prefabrike kirişler büyük açıklıkların geçilmesinde avantajları itibarı ile oldukça önem kazanmıştır.

Öngerilmeli beton, betonarme yapılarda geniş mesnet açıklıklarını ekonomik şekilde geçmek için kesit boyutlarını arttırmak yerine, betona öngerme kuvveti verilerek, betonda servis yükleri altında oluşan çekme gerilmelerini yok etme ya da belli bir seviyeye kadar indirgeme amaçlı ortaya çıkmış bir tekniktir. Bu nedenle köprüler, öngerilmenin uygulandığı bütün yapılar içerisinde bu usulün kullanıldığı en yaygın imalatlardır.

Öngerilmeli betonun kullanılmasındaki amaç, kesitte oluşan çekme gerilmelerini büyük ölçüde azaltmak sureti ile büyük açıklıkları daha emniyetli ve daha düşük maliyet ile geçebilmektir. Bu durum ise mühendislik uygulamalarında yaygın olarak karşılaşılan bir optimizasyon problemi olarak değerlendirilebilir.

Bu çalışmada; Prefabrike öngerilmeli beton köprü kirişlerinden oluşan (I Profil) köprü üst yapılarının öngerilmeli beton ve donatısı baz alınarak “*diferansiyel gelişim algoritması*” ile optimum maliyet tespiti yapılmıştır. Yapılan bu optimizasyon işlemi topoloji ve şekil optimizasyonu içermektedir. Optimizasyon tasarımında emniyet ve maliyet olmak üzere iki önemli kriter göz önünde bulundurularak tasarım probleminin tanımlanması amaçlanmıştır. Optimum tasarım; amaç fonksiyonu, tasarım değişkenleri ve sınırlayıcılarından oluşur. Sınırlayıcılar Standard Specifications for Highway Bridges (AASHTO) uyarınca hesaplanmıştır. Bu çalışmada tasarım değişkenleri olarak öngerilmeli kiriş adedi, en kesit boyutları olan kiriş yüksekliği, üst başlık kalınlığı, alt başlık kalınlığı, gövde genişliği, alt başlık genişliği, üst guse yüksekliği, alt guse yüksekliği değerlerine bağlı olarak tasarım sırasında hesaplanacaktır. Tasarımı etkileyen bir diğer değişken olan ve çapı önceden tercih edilmiş donatı sayısı optimum tasarım sonucunda tespit edilecektir. Bunun dışındaki sabit değerler köprünün özelliklerine bağlı olarak belirlenmişlerdir. Böylece optimum tasarım probleminde çözüme ulaşmak için dikkate alınması düşünülen 9

adet tasarım değişkeni bulunmaktadır. Ayrıca Eğilme, Taşıma, Kayma emniyet gerilmeleri ve sehım sınırlayıcıları da AASHTO şartnamesi uyarınca hesaplanmaktadır.

Bu çalışmada tasarım değişkenlerinin optimum değerleri hesaplanırken, son zamanlarda bir çok alanda kullanılan *diferansiyel gelişim algoritması* kullanılmıştır. Alınan sonuçlar ile burada önerilen yöntemin uygulamadaki başarısını kanıtlamıştır.

Anahtar Kelimeler: Diferansiyel Gelişim Algoritması, Optimizasyon, Optimum Tasarım, Optimum Maliyet, şekil ve Topoloji Optimizasyonu.



ABSTRACT

OPTIMUM DESIGN OF PRESTRESSED CONCRETE BRIDGE BEAMS BASED ON DIFFERENTIAL DEVELOPMENT ALGORITHM

Bridges are constructions built on highways and railways that provide transportation of people and vehicles over the valleys. When these structures are designed, they are divided into classes according to the intended use and the material to be used (wood, reinforced concrete, steel construction, prestressed concrete etc.). Nowadays, prefabricated beams which are used frequently have gained considerable importance due to their advantages to cross large spans.

Prestressed concrete is a technique which is aimed to reduce or eliminate the tensile stresses generated by the service loads to a certain level by giving the prestressing force to concrete in order to economically reach the effective span in reinforced concrete structure instead of increasing the sectional dimensions. For this reason, bridges are the most widespread manufacture where this method is used among all prestressed structures.

The purpose of using prestressed concrete is to cross large spans more safely and with lower cost by reducing the tensile stresses generated in the concrete section. This can be considered as an optimization problem which is commonly encountered in engineering applications.

In this study; optimum cost determination was made with "differential development algorithm" by considering prestressed concrete and reinforcement of bridge structures which consist of prefabricated prestressed concrete bridge beams (I Profile). This optimization process consists of topology and shape optimization. In the design of optimization, it is aimed to define the design problem considering two important criteria as safety and cost. Optimum design is consist of purpose of function, design variables and constraints. Constraints are calculated in accordance with Standard Specifications for Highway Bridges (AASHTO). In this study, the number of prestressed beams, beams with of cross-section dimensions, depth of beam upper flange, depth of beam bottom flange, width of stem, width of bottom flange, the height of upper gusset plate, the height of bottom gusset plate will be calculated as design variables during the design stage. Another variable affecting the design and the number of reinforcements sellected formerly will be determined as aresult of optimum design. The other fixed values are determined depending on the properties of the bridge. Thus, there are 9 design variables to be

considered in order to achieve solution in optimum design problem. Additionally, bending, handling, shear safety stresses and deflection constraints are also calculated in accordance with AASHTO specifications.

In this study, while the optimal values of the design variables are calculated, the differential development algorithm which has recently been used in many fields has been used. The success of the proposed method has proved with the obtained results.

Key words: Differential Development Algorithm, Optimization, Optimum Design, Optimum Cost, Optimization of Shape and Topology



ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No:</u>
Şekil 1.1 Öngerilmeli Kiriş Görüntüsü	2
Şekil 1.2 Mutasyon Sonucu Üretilen Yeni Fark Kromozomu	6
Şekil 1.3 Yeni Popülasyona Aday Deneme Kromozomu Üretimi	7
Şekil 1.4 Dga ‘ Nın Adımları, Kullanılan Fonksiyon : $FX = X1 + X2 + X3 + X4 + X5$ [13]	9
Şekil 2.1 Sabit Yüklerin Basit Kiriş Üzerine Etkiyen Yerleşimi (A,B)	13
Şekil 2.2 H30-S24 Kamyon Yüklemeinin Basit Kiriş Üzerine Eğilme Momenti	14
Şekil 2.3 Öngerilme Halatını Oluşturan Elemanlar	16
Şekil 2.4 H ₃₀ – S ₂₄ Kamyon Yükleme Maksimum Sehim Yerleşimi	27
Şekil 2.5 Diferansiye Gelişim Algoritması Şematik Gösterimi	38
Şekil 3.1 Köprü Üst Yapı En Kesiti	39
Şekil 3.1 Öngerilmeli Kiriş En Kesiti	39
Şekil 3.2 Öngerilmeli Kiriş Sayısının İterasyon Sayısına Bağlı Olarak Değişimi	61
Şekil 3.3 Öngerilmeli Kiriş Yüksekliğinin İterasyon Sayısına Bağlı Olarak Değişimi	62
Şekil 3.4 Öngerilmeli Kiriş Alt Başlık Genişliğinin İterasyon Sayısına Bağlı Olarak Değişimi	62
Şekil 3.5 Öngerilmeli Kiriş Gövde Kalınlığının İterasyon Sayısına Bağlı Olarak Değişimi	63
Şekil 3.6 Öngerilmeli Kiriş Üst Başlık Kalınlığının İterasyon Sayısına Bağlı Olarak Değişimi	63
Şekil 3.7 Öngerilmeli Kiriş Alt Başlık Kalınlığının İterasyon Sayısına Bağlı Olarak Değişimi	64
Şekil 3.8 Öngerilmeli Kiriş Üst Guse Yüksekliğinin İterasyon Sayısına Bağlı Olarak Değişimi	64
Şekil 3.9 Öngerilmeli Kiriş Alt Guse Yüksekliğinin İterasyon Sayısına Bağlı Olarak Değişimi	65
Şekil 3.10 Öngerilmeli Kiriş Öngerilme Donatı Sayısının İterasyon Sayısına Bağlı Olarak Değişimi	65
Şekil 3.11 Hata Değerinin İterasyon Sayısına Bağlı Olarak Değişimi	66
Şekil 3.12 Uygulama - 1'in Tasarımına Ait Köprü Üst Yapı Ve Öngerilmeli Kiriş Enkesti	67
Şekil 3.13 Köprü Üst Yapı En Kesiti	68
Şekil 3.13 Öngerilmeli Kiriş En Kesiti	68
Şekil 3.14 Hata Değerinin İterasyon Sayısına Bağlı Olarak Değişimi	71
Şekil 3.15 Uygulama - 2'nin Tasarımına Köprü Üst Yapı Ve Öngerilmeli Kiriş Enkesti	72
Şekil 3.16 Köprü Üst Yapı Enkesiti	73
Şekil 3.17 Öngerilmeli Kiriş Enkesiti	73
Şekil 3.18 Hata Değerinin İterasyon Sayısına Bağlı Olarak Değişimi	76
Şekil 3.19 Uygulama - 3'ün Tasarımına Köprü Üst Yapı Ve Öngerilmeli Kiriş Enkesti	77

TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No:</u>
Tablo 1.1 Diferansiyel Gelişim Algoritması Parametreleri	10
Tablo 2.1 Standart Kamyon Ve Eşdeğer Şerit Yükleri	14
Tablo 2.2 Trafik Şeridine Göre Hareketli Yük Azaltma Katsayıları	15
Tablo 2.3 Öngerilmeli Betonun 1(Bir) M ³ Maliyeti Tablosu	28
Tablo 2.4 Öngerilmeli Donatının 1 (Bir) Ton Maliyeti Tablosu	28
Tablo 2.5 Tasarım Değişkenleri Tablosu	29
Tablo 2.6 Tasarım Parametreleri Tablosu	30
Tablo 3.1 Uygulama İçin Tasarım Parametreleri Tablosu	40
Tablo 3.2 Diferansiyel Gelişim Algoritmasına Ait Tasarım Parametreleri	40
Tablo 3.3 Tasarım Sınırlayıcıları Değer Aralığı	41
Tablo 3.4 Mutasyon Uygulanmış Son İterasyona Ait 70 Adet Çözüm Kümesi Havuzu	43
Tablo 3.5 Çaprazlama Uygulanmış Son İterasyona Ait 70 Adet Çözüm Kümesi Havuzu	49
Tablo 3.6 Eleme Uygulanmış Son İterasyona Ait 70 Adet Çözüm Kümesi Havuzu	55
Tablo 3.7 Tasarım Sunucu İle Uygulama Projesinin Karşılaştırılması	61
Tablo 3.8 Uygulama İçin Tasarım Parametreleri Tablosu	69
Tablo 3.9 Diferansiyel Gelişim Algoritmasına Ait Tasarım Parametreleri	69
Tablo 3.10 Tasarım Sınırlayıcıları Değer Aralığı	70
Tablo 3.11 Tasarım Sunucu İle Uygulama Projesinin Karşılaştırılması	70
Tablo 3.12 Uygulama İçin Tasarım Parametreleri Tablosu	74
Tablo 3.13 Diferansiyel Gelişim Algoritmasına Ait Tasarım Parametreleri	74
Tablo 3.14 Tasarım Sınırlayıcıları Değer Aralığı	75
Tablo 3.15 Tasarım Sunucu İle Uygulama Projesinin Karşılaştırılması	75

SEMBOLLER DİZİNİ

A_i :	İdeal prefabrike kesit alanı
A_{ps} :	Toplam öngerilme donatısı alanı
A_{sfk} :	Tablalı kesit başlığının gövde bölümü dışında kalan kısımlarının basınç dayanımına karşılık gelen öngerilme donatısı miktarının alanı
A_{srk} :	Tablalı kesitin gövde bölümünün basınç dayanımına karşılık gelen öngerilme donatısı miktarının alanı
A_{sfp} :	Prefabrik kesit başlığının gövde bölümü dışında kalan kısımlarının basınç dayanımına karşılık gelen öngerilme donatısı miktarının alanı
A_{srp} :	Prefabrik kesitin gövde bölümünün basınç dayanımına karşılık gelen öngerilme donatısı miktarının alanı
A_v :	Kesme donatısı alanı
b :	Tablalı kesitlerde tabla genişliği
b_b :	Kiriş alt baslık genişliği
b_t :	Kiriş üst baslık genişliği
b_w :	Kesit gövde genişliği
C :	Hareketli yüklerin kirişlere dağılımında kullanılan rijitlik parametresi,
C_c :	Köprü üst yapısı optimum tasarım probleminin maliyet fonksiyonu
C_{pc} :	Prefabrike betonun maliyeti
C_{ps} :	Öngerilme donatısının maliyeti
CR_c :	Betonun sünmesinden dolayı oluşan öngerilme kaybı
CR_s :	Öngerilme çeliğinin gevşemesinden kaynaklanan öngerilme kaybı
CR :	Çaprazlama oranı
d :	Faydalı yükseklik
d_{ko} :	Kompozit kesit faydalı yüksekliği
d_{pr} :	Prefabrike kesit faydalı yüksekliği
D :	Hareketli yüklerin kirişlere dağılımının belirlenmesinde kullanılan arametre, Sabit yükler, Değişken sayısı (gen sayısı)
d_{ps} :	Öngerilme donatısı anma çapı
e :	Hata fonksiyonu
e_{ci} :	İdeal kompozit kesit öngerilme çeliği dış merkezliği
E_{cs} :	Tabliye betonu elastisite modülü

e_1 :	İdeal prefabrike kesit öngerilme çeliği dış merkezliği
ES:	Elastik kısalma kaybı
E_s :	Öngerilme çeliği elastisite modülü
E_c :	Betonun elastisite modülü
F_1 :	İlk öngerme kuvveti (öngerilme kaybı hesabı), çözümlerin uyum derecesi
F :	Ölçekleme faktörü
f_{suk} :	Dikdörtgen veya kompozit kesit taşıma gücü
f_{sup} :	Prefabrik kesit taşıma gücü
f_c :	Beton karakteristik basınç dayanımı
f_{cds} :	Öngerilme kuvvetinin uygulandığı andaki sabit yüklerin dışındaki tüm sabit yüklerden dolayı öngerilme donatılarının ağırlık merkezinde oluşan beton gerilmesi
f'_{ci} :	Aktarma anında beton karakteristik basınç dayanımı
f_{cir} :	Aktarmadan hemen sonra sabit yük ve öngerilme kuvveti nedeniyle öngerilme donatılarının ağırlık merkezinde meydana gelen beton gerilmesidir.
f_{cs} :	Tabliye betonu karakteristik basınç dayanımı
f_d :	Dış yüklerin etkisiyle çekme gerilmesi oluşan kiriş kenarındaki zati yükten kaynaklı gerilme
f_e :	Dış yüklerin etkisiyle kiriş kenarında efektif öngerilme kuvvetinden kaynaklı basınç gerilmesi
f_{pc} :	Kompozit kesit ağırlık merkezinde oluşan minimum basınç gerilmesi
f_{pe} :	Tüm Öngerilme kayıpları düşüldükten sonra kesit alt ucunda oluşan sadece öngerilme kuvveti nedeniyle oluşan gerilme değeri
f_{pi} :	Öngerilme donatısında çekme anındaki gerilme
f_r :	Kesitin çatlama modülü
f_s :	Öngerilme donatısı karakteristik kopma dayanımı
f_{sy} :	Enine donatı karakteristik dayanımı
f_y :	Öngerilme donatısı akma dayanımı
G_1 :	Kiriş zati ağırlığından kaynaklanan yük
G_2 :	Tabliye zati ağırlığından kaynaklanan yük
G_3 :	Diğer sabitlerden kaynaklanan yük
G :	jenerasyon (kuşak)
h :	Kompozit kesit yüksekliği
h_b :	Öngerilmeli Kiriş yüksekliği

I_{ci} :	kompozit kesit atalet momenti
I_i :	prefabrike kesit atalet momenti
L :	Hareketli yük, Öngerilmeli kiriş hesap açıklığı
M_{crk} :	Tablalı kesitlerde çatlama moment
M_{crp} :	Prefabrik kesitlerde çatlama moment
M_{g1} :	Kiriş öz ağırlığından dolayı oluşan moment
M_{g2} :	Kiriş ve tabliye ağırlığından dolayı oluşan moment
M_{g3} :	Kiriş ve tabliye ağırlığı dışındaki tüm sabit yüklerden dolayı oluşan moment
$\emptyset M_{nk}$:	Tablalı kesit eğilme taşıma gücü
$\emptyset M_{np}$:	Prefabrik kesit eğilme taşıma gücü
M_{uk} :	Sabit ve hareketli yüklerin kombinasyonundan oluşan kompozit kesit faktörlü moment
M_{up} :	Sabit ve hareketli yüklerin kombinasyonundan oluşan Prefabrik kesit faktörlü moment
M_{um} :	Faktörlü eğilme moment
M_d :	Toplam zati yüklerden kaynaklanan moment
M_{hm} :	Taşıt yükünden kaynaklı moment
M_{ym} :	Yaya yükünden kaynaklı moment
M_{max} :	Zati yükler harici yüklerden kaynaklı en gayri müsait moment
n_b :	Öngerilmeli kiriş sayısı
N_L :	Trafik şeridi sayısı
N_N :	Kılıfsız kablo sayısı
n_{ps} :	Kiriş kesitinde kullanılan öngerilme donatısı adedi
NP :	Popülasyon büyüklüğü (kromozom sayısı)
$n_{j,i,G+1}$:	Mutasyon ve çaprazlamaya tabi tutulmuş ara kromozom
P :	Kesitteki toplam öngerilme kuvveti
P_{ee} :	Kayıplardan sonraki öngerilme kuvveti
P_{11} :	Bir kablodaki öngerilme kuvveti
P_{111} :	Kirişte oluşan kayıplardan sonraki toplam öngerilme kuvveti
p_b :	Kiriş alt guse yüksekliği
p_t :	Kiriş üst guse yüksekliği
$r_{1,2,3}$:	Yeni kromozomun üretilmesinde kullanılacak rasgele seçilmiş kromozomlar
ρ_p :	Prefabrik kiriş öngerilme donatı oranı

q :	Yayılı yük
q_k :	kompozit kiriş öngerilme donatı oranı
RH :	Yıllık ortalama bağıl nem oranı
SH :	Büzülmeden dolayı oluşan öngerilme kaybı
S :	Kirişler arasındaki aks aralığı
S_{etr} :	Etriye aralığı
t_{kk} :	Tablalı kesit tabla yüksekliği
t_{kp} :	Prefabrik kesit tabla yüksekliği
t_t :	Kiriş üst baslık kalınlığı
$t_{b,min}$:	Alt baslık minimum kalınlığı
t_b :	Kiriş alt baslık kalınlığı
UC_{ps} :	Öngerilme donatısının birim fiyatı
UC_{pc} :	Prefabrike Kiriş betonu birim fiyatı
USS :	Uygunluğu sağlanan sınırlayıcı sayısı
$u_{j,i,G+1}$:	$x_{j,i,G}$ den bir sonraki jenerasyon için üretilen kromozom (child-trial)
V_u :	Kesme hesabı kirişte oluşabilecek en gayri müsait yükleme durumu için sabit ve hareketli yüklerden hesaplanacaktır. Kesme hesap kuvveti
V_d :	Toplam zati ağırlıktan kaynaklanan kesme kuvveti
V_{g2} :	Kiriş ve tabliye ağırlığından kaynaklı kesme kuvveti
V_{g3} :	Kiriş ve tabliye harici tüm sabit yüklerden kaynaklı kesme kuvveti
V_q :	Elverişsiz hareketli yükten kaynaklı kesme kuvveti
V_k :	Kamyon yükünden kaynaklı kesme kuvveti
V_s :	Eşdeğer şerit yüklemesinden kaynaklı kesme kuvveti
V_y :	Yaya yükünden kaynaklı kesme kuvveti
V_{ci} :	Diyagonal çatlakların moment ve kesme kuvveti etkisi sonucunda beton kesme kuvveti taşıma gücü
V_{cw} :	Diyagonal çatlakların gövdedeki asal çekme gerilmelerinin sonucunda oluşan beton kesme kuvveti taşıma gücü.
V_{ss} :	Kayma donatısının taşıması gereken minimum kesme kuvveti
W_{bci} :	ideal kompozit kesit kiriş alt kenarı için mukavemet momenti
W_{bi} :	İdeal prefabrike kesit kiriş alt kenarı için mukavemet momenti
W_{tci} :	İdeal kompozit kesit kiriş üst kenarı için mukavemet momenti

W_{ti} :	İdeal prefabrike kesit kiriş üst kenarı için mukavemet momenti
W_{tscl} :	İdeal kompozit kesit tabliye üst kenarı için mukavemet momenti
w :	Köprü genişliği
$x_{j,i,G}$:	G jenerasyonun 'da, i kromozomunun j parametresi (gen)
$x_j^{(1)}, x_j^{(u)}$:	Değişkenlere ait alt ve üst sınır değerleri
Y_t :	Kompozit brüt kesit ağırlık merkezinin kesit alt ucuna olan mesafesi
Y_{tp} :	Prefabrik kesit ağırlık merkezinin kesit alt ucuna olan mesafesi
y :	Uygunluğu sağlamayan sınırlayıcı sayısı
β_1 :	Beton kalitesine bağlı katsayı
γ :	Düşük gevşemeli öngerilme çeliği katsayısı
Δf_s :	Toplam öngerilme kaybı
δ_1 :	Sadece kirişin zati ağırlığının mevcut olduğu sehim denetimi
δ_2 :	Sadece kirişin zati ağırlığı ve tabliye ağırlığının mevcut sehim denetimi
δ_3 :	Öngerilme kayıplarının maksimum olduğu ve tüm sabit yüklerin mevcut olduğu sehim denetimi
$\delta_{4,1}$:	Şerit yüklemesi için sehim denetimi
$\delta_{4,2}$:	Kamyon yüklemesi için sehim denetimi
σ_{b1} :	1. denetim için prefabrike kesit alt ucunda eğilme nedeniyle oluşan gerilme
σ_{b2} :	2. denetim için prefabrike kesit alt ucunda eğilme nedeniyle oluşan gerilme
σ_{b3} :	3. denetim için prefabrike kesit alt ucunda eğilme nedeniyle oluşan gerilme
σ_{b4} :	4. denetim için prefabrike kesit alt ucunda eğilme nedeniyle oluşan gerilme
σ_{cf} :	Prefabrike kiriş betonuna ait kullanım yükleri için basınç emniyet gerilmesi
σ_{ci} :	Prefabrike kiriş betonu için aktarma sırasında basınç emniyet gerilmesi
σ_{t1} :	1. denetim için prefabrike kesit üst ucunda eğilme nedeniyle oluşan gerilme
σ_{t2} :	2. denetim için prefabrike kesit üst ucunda eğilme nedeniyle oluşan gerilme
σ_{t3} :	3. denetim için prefabrike kesit üst ucunda eğilme nedeniyle oluşan gerilme
σ_{t4} :	4. denetim için prefabrike kesit üst ucunda eğilme nedeniyle oluşan gerilme
σ_{tf} :	Prefabrike kiriş betonuna ait kullanım yükleri için çekme emniyet gerilmesi
σ_{ti} :	Prefabrike kiriş betonu için aktarma sırasında çekme emniyet gerilmesi
σ_{cs} :	Tabliye betonu basınç emniyet gerilmesi
σ_{ts3} :	3. denetim için kompozit kesit üst ucunda eğilme nedeniyle oluşan gerilme
σ_{ts4} :	4. denetim için kompozit kesit üst ucunda eğilme nedeniyle oluşan gerilme

τ_f :	Kullanım yükleri altında kesitteki maksimum kayma gerilmesi
τ_i :	Aktarma anında kesitteki maksimum kayma gerilmesi
τ_{ip} :	Aktarma anı için kayma emniyet gerilmesi
τ_{fc} :	Kullanım yükleri için Kayma emniyet gerilmesi
η_1 :	Minimum düzeydeki öngerilme kaybı oranı
η_2 :	Maksimum düzeydeki öngerilme kaybı oranı
φ :	Dinamik etki katsayısı
ψ_k :	kompozit kesit için öngerilme donatısı oranı
ψ_p :	Prefabrik kesit için öngerilme donatısı oranı
ϕ :	Taşıma kapasitesi azaltma katsayısı



1. GENEL BİLGİLER

1.1 Giriş

Köprüler, İnsanların ve araçların vadiler üzerinde ulaşımını sağlayan karayolları ve demiryolları üzerinde inşa edilen yapılardır.

Bu yapılar tasarlanırken kullanılış amacına ve kullanılacak malzemeye (Ahşap, Betonarme, Çelik konstrüksiyon, Öngerilmeli Beton v.b.) göre sınıflara ayrılırlar. Günümüzde en sık kullanılan öngerilmeli prefabrike kirişler büyük açıklıkların geçilmesinde avantajları itibari ile oldukça önem kazanmıştır.

Bu kirişlerin en önemli avantajlarından biri kirişe verilen öngerme kuvveti ile oluşabilecek çekme gerilmelerinin minimuma indirilmesi veya tamamen ortadan kaldırılması amaçlanmaktadır. Bu çalışmada öngerilmeli prefabrike I kesitli köprü kirişlerinin elastomer mesnetler üzerine oturduğu ve basit kiriş olarak çalıştığı kabul edilmiştir.

Bu kirişlerin;

1. Öngerilme kuvveti uygulanmak suretiyle ile çekme gerilmelerinin sınırlandırılması ve oluşabilecek çatlamların önüne geçilmesi
2. Daha küçük en kesitli kirişler ile daha büyük açıklıkların geçilmesi dolayısı ile ekonomik olması
3. Servis yükleri altındaki deformasyonların çok aza indirgenmesi
4. Fabrikasyon üretimi olduğu için İnşaat süresinin kısılması

gibi avantajları bulunmaktadır. Bu tekniği uygulamada iki başlık altında sınıflandırılmak mümkündür.

1.1.1. Sonradan Germe(Ardçekim)

Öngerilme donatılarının yerleştirilmesi amaçlı kılıf denilen ince cidarlı borular kiriş içerisine yerleştirilir. Öngerme halatları beton dökülmeden önce veya sonra kılıf içerisine yerleştirilir. Beton dökülür. Beton mukavemetini kazanınca Önceden beton içerisine yerleştirilen kılıflar içerisinden geçirilen donatıları gerilerek beton elemanın uç noktalarına ankrajı yapılır. Daha sonra kılıf ile donatı arasında bulunan boşluklar, sonradan sertleşen özel bir harç ile doldurulur. Buradaki amaç donatıda oluşacak korozyonu önlemek ve çatlama karşı elemanın direncini arttırmaktır.

1.1.2. Önceden Germe (Önçekim)

Öngerme donatısı önceden belirlenen bir gerilme miktarınca gerilerek kalıba yerleştirilir. Beton bu donatıların içerisine yerleştirilen kalıba dökülüp, mukavemetini aldıktan sonra, donatılar gevşetilir. Beton ile donatılar arasında oluşan aderans donatının kışalmasına direnç göstereceğinden beton basınç gerilmesi ile yüklenmiş olur. İmalatı tamamlanmış olup montaja hazır olan bu kirişlerin görünüşü Şekil 1.1’de görülmektedir.



Şekil 1.1 Öngerilmeli kiriş görüntüsü

1.2. Optimum Tasarım

Mühendislik uygulamalarında, karşılaşılan problemlerin çözümünde gün geçtikçe en iyi ve uygun sistemleri oluşturmak zorunluluk haline gelmiştir. Bu durum da günümüzde optimizasyon diye adlandırılan süreci ortaya çıkarmıştır [1]. Optimizasyon teknikleri problemlerin teoriden uygulamaya geçişinde oldukça kolaylık sağlamaktadır [2].

Mühendislik optimizasyonlarındaki amaç, yapıların servis yükleri altındaki statik ve dinamik davranışlarına göre, emniyetten hiçbir şekilde taviz verilmeden, en ekonomik şekilde boyutlandırılması işidir. Bu tasarım yapılırken çözüme üç aşamalı şekilde yaklaşılır; amaç fonksiyonu, tasarım değişkenleri ve sınırlayıcılarıdır[3]. Bunların seçimi optimum çözüm için son derece önemlidir. Optimizasyon tekniklerinden biri olan sezgisel algoritmanın kullanımı, geleneksel yöntemlerle çözümü zor veya imkansız olan problemlerin çözümünde kolaylık sağlamaktadır. [4-5].

1.3. Sezgisel Algoritmalar

Sezgisel algoritmalar mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılan bir problem çözme tekniğidir[5-8-10]. Özellikle karmaşık problemlerin çözümünde çok iyi sonuçlar verdiği bilinmektedir. Bazı mühendislik problemlerin çözümünde, çok geniş bir çözüm uzayının tanımlanması gerekmektedir. Bu çözüm uzayının geleneksel yöntemlerle incelenmesi çok uzun sürmektedir. Sezgisel algoritmalar ise makul bir sürede çözüm elde edeceklerini garanti eder[6-7]. Genellikle bu çözüm yöntemi ile hızlı ve kolay bir şekilde en ideal sonuca ulaşılır. Bu algoritmalarla örnek olarak, yapay arı kolonisi optimizasyonu, genetik algoritma (GA), parçacık sürü optimizasyonu (PSO) ve diferansiyel gelişim algoritmaları verilebilir.

1.3.1. Diferansiyel Gelişim Algoritması (DGA)

Popülasyon temelli sezgisel bir optimizasyon tekniği olan diferansiyel gelişim algoritması, Rainer Storn ve Kenneth Price tarafından ortaya atılan Chebyshev polinomsal uyum problemini çözme amacı ile geliştirilmiş bir optimizasyon tekniğidir[9-10]. Genetik algoritmalarda kullanılan çaprazlama, karşılaştırma ve mutasyon işlemleri ayrı ayrı gerçekleştirilir. Bu nedenle genetik algoritmalarda optimizasyon için uzun zamana ihtiyaç duyulmaktadır.

Ancak DGA'da ise her bir operatör tüm popülasyona sırayla uygulanır, böylece DGA'da gelişime dayalı bir strateji önerilerek (gerçek değerlerle kodlama yapılmak sureti ile) problemin çözümüne daha kısa sürede ulaşılır. Algoritmada öncelikle başlangıç popülasyonundaki en iyi kromozomlar seçilerek çaprazlama ve mutasyon operatörleri kullanılarak yeni bir birey elde edilir. Mevcut kromozomlar arasındaki en iyi olan birey seçim operatörü de kullanılarak bir sonraki popülasyona aktarılmaktadır. Bu şekilde tüm popülasyon, istenilen iterasyon sayısı veya hata değeri sağlanıncaya kadar mutasyon, çaprazlama ve karşılaştırma işlemlerine tabi tutulur. Bu işlemin amacı problemin tüm koşullarını sağlayan en iyi çözüme ulaşmaktır.

1.3.2. Diferansiyel Gelişim Algoritmasının Avantajları

Diferansiyel gelişim algoritması, durdurma kriterlerini dikkate alırken, problem objektiflerini modelleyerek objektif fonksiyonunu minimuma götüren bir sezgisel optimizasyon metodudur. Algoritma temel olarak üç avantaja sahiptir. Bunlar; Başlangıç parametrelerine bağlı olmaksızın gerçek global minimumun bulunması, Bölgesel

minimuma hızlı yakınsaması, Az sayıda kontrol parametresi kullanmasıdır. DGA'nın diğer sezgisel algoritmalarla göre önemli bir üstünlüğü de kolayca kodlanabilmesidir. Diğer algoritmalar için satırlarca yazılan kodlar söz konusu iken DGA için bu durum çok daha azdır.

1.3.3. Diferansiyel Gelişim Algoritmasının Temel Adımları

NP : Popülasyon büyüklüğü (kromozom sayısı) $NP \geq 4$ (1, 2, 3, ..., i)

D : Değişken sayısı (gen sayısı) (1, 2, 3, ..., j)

CR : çaprazlama oranı [0.1,1.0]

G : Jenerasyon (1, 2, 3, ..., G_{max})

F : Ölçekleme faktörü

$x_{j,i,G}$: G jenerasyonunda, i kromozomunun j parametresi (gen)

$n_{j,i,G+1}$: Mutasyon ve çaprazlamaya tabi tutulmuş ara kromozom

$u_{j,i,G+1}$: $x_{j,i,G}$ den bir sonraki jenerasyon için üretilen kromozom (child-trial)

$r_{1,2,3}$: Yeni kromozomun üretilmesinde kullanılacak rasgele seçilmiş kromozomlar

$r_{1,2,3} \in \{1,2,3, \dots, NP\}$ $r_1 \neq r_2 \neq r_3 \neq i$

$x_j^{(1)}, x_j^{(u)}$: Değişkenlere ait alt ve üst sınır değerleri

Optimizasyon problemleri genel olarak aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Shiakolas vd, 2005).

$$\text{minimize } f(X) \quad (1.1)$$

$$\text{Kısıtlar } g_k(X) \leq 0 \quad (1.2)$$

$$x_j^{(1)} \leq x_j \leq x_j^{(u)} \quad J = 1, \dots, n \quad (1.3)$$

$f(X)$ amaç fonksiyonu, $g_k(X)$ kısıtlar seti ve $X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$ gerçekte değerli değişkenler setidir. $x_j^{(1)}$ ve $x_j^{(u)}$ sırasıyla değişkenlere ait alt ve üst sınır değerleridir.

DGA'da amaç fonksiyonu, maliyet fonksiyonu (cost-function) olarak da adlandırılabilir. DGA'da genellikle sürekli değişkenlerle çalışılmakla birlikte,

kesikli değişkenler ya da ikisinin kombinasyonuyla çalışanları da geliştirilmiştir [11]. Problemin amaç fonksiyonu DGA’ da uygunluk fonksiyonu olarak belirlenmekte ve her biri bir alternatif çözüm olan kromozomların değerini temsil etmektedir. DGA da genetik algoritma gibi kısıtlarla çalışmamaktadır. Kısıtların bir şekilde amaç fonksiyonu içerisinde yer almaları gerekmektedir. Bunu gerçekleştirmek için kısıtlardan uzaklaşmalar, ceza katsayılarıyla uygunluk fonksiyonunun değerinin düşürmekte ve böylece uygun çözüm alanından uzaklaşmalar cezalandırılmaktadır. Genlerle temsil edilen problem değişkenlerinin DGA operatörleri ile sınır dışında belirlenmeleri durumu sürekli kontrol edilmelidir. Aksi takdirde çözüm uygun olmayan alanlara kayacak ve belki sonsuza gidecektir. Bunun engellenmesi için ise yapılabilecek iki düzeltme söz konusudur: Sınır dışındaki değerlerin sınıra çekilmesi, değişkenin alt ya da üst sınır değeri alması düzeltme alternatiflerinden birincisidir. İkincisi ise sınırların dışında değer almış değişkenlerin yeni değerlerinin alt ve üst sınır arasında rasgele belirlenmesidir. Problemin amaç fonksiyonu, değişkenler ve kısıtlar belirlendikten sonra aşağıdaki adımlar izlenerek DGA uygulanır[17].

Diferansiyel gelişim algoritması 4 temel adımdan oluşur. Bunlar, başlangıç popülasyonunu oluşturma, mutasyon, çaprazlama ve karşılaştırma işlemleridir. Bu adımlarda kullanılan parametreler ve açıklamaları Tablo 1.1’de, algoritmanın akış diyagramı ise Şekil 1.4’de görülmektedir.

1.3.3.1. Başlangıç Popülasyonu

Başlangıç popülasyonu diferansiyel gelişim algoritmasında probleme bağlı olarak bir sonraki adımlarla gelişimi sağlanacak olan popülasyon oluşturulur. Başlangıçta değişken sayısı probleme bağlı olarak belirlenir, değişken sayısı her bir kromozoma ait gen (boyut) sayısını belirlemektedir (D). NP ise probleme bağlı olarak kullanıcı tarafından belirlenen popülasyon büyüklüğüdür (Kromozom sayısı). Her zaman üçten büyük olmalıdır. Çünkü DGA da yeni kromozomların üretilmesi için mevcut kromozom dışında üç adet kromozom gerekmektedir ($r_{1,2,3}$). Başlangıçta NP adet D boyutlu kromozomdan meydana gelen başlangıç popülasyonu (P_0) aşağıdaki gibi üretilir [12-17].

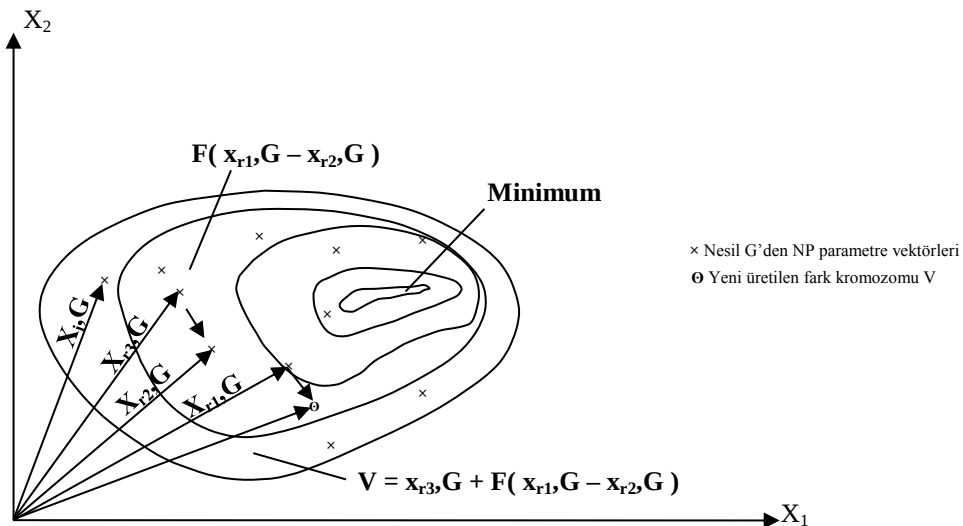
$$\forall i \leq NP \wedge \forall j \leq D: x_{j,i,G=0} = x_j^1 + rand_j[0,1] \cdot (x_j^{(u)} - x_j^1) \quad (1.4)$$

Başlangıç popülasyonu üretildikten sonra, aşağıda açıklanan operatörler kullanıcı tarafından belirlenen durdurma kriteri sağlanıncaya kadar veya G_{max} sayısına uygulanması ile algoritma tamamlanır.

1.3.3.2. Mutasyon

Mutasyon, mevcut kromozomun bir kısım genleri üzerinde, rasgele belirlenmiş miktarlarda değişiklikler yapmaktır. Bu değişiklikler sayesinde kromozomunun temsil ettiği çözüm noktası, çözüm uzayında hareket etmektedir. Mutasyonun hedefine ulaşabilmesi için, doğru yönde doğru miktarda hareketi sağlayacak değişikliklerin belirlenmesi gerekmektedir. Diferansiyel gelişim algoritmasında, mutasyon işlemine tabi tutulacak olan kromozom dışında ve birbirlerinden de farklı olan üç kromozom seçilir. $(r_{1,2,3})$ Bu uygulamada r_3 kromozomu her iterasyon da x_{best} olarak belirlenmiştir. Seçilen kromozomlardan ilk ikisinin farkı alınır. Daha sonra bu fark kromozomu F parametresiyle çarpılır. F parametresi genellikle 0-2 arasında değerler almaktadır. Elde edilen ağırlıklandırılmış fark kromozomu, seçilen üçüncü (r_3) kromozomu ile toplanır. Böylece mutasyon sonucu çaprazlamada kullanılacak olan kromozom elde edilmiş olur $(n_{j,i,G+1})$ [12-17]. Mutasyon ait işlem adımları Şekil 1.2’de görülmektedir.

$$\forall i \leq D: n_{j,i,G+1} = x_{best} + F(x_{j,r_1,G} - x_{j,r_2,G}) \quad (1.5)$$



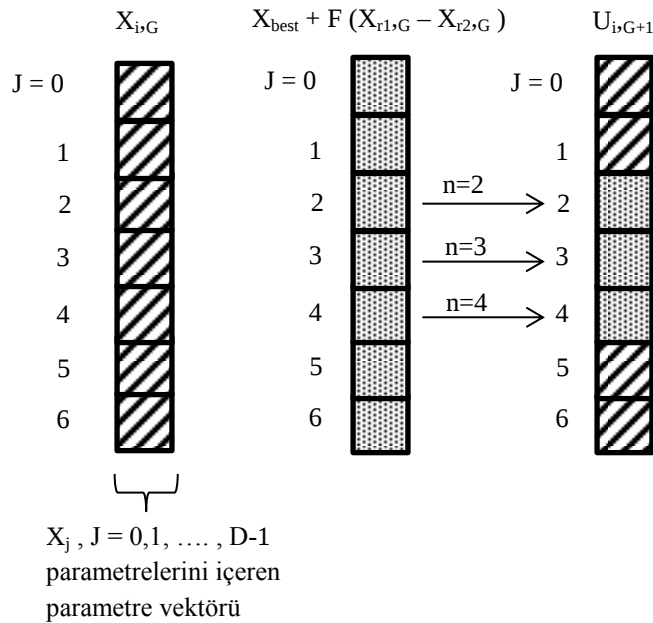
Şekil 1.2 Mutasyon sonucu üretilen yeni fark kromozomu

1.3.3.3. Çaprazlama

Çaprazlamanın amacı; var olan vektör parametrelerinden faydalanarak yeni vektörleri oluşturmak suretiyle araştırmanın başarılı olması için yardımcı olmaktır. Sezgisel algoritmalar temelde, oluşturdukları çözüm kümeleri içerisinde en iyi olanı seçerek bir sonuç üretirler. Çaprazlama işlemi, çözüm oluşturacak seçenek sayısının arttırmak ve seçeneklerin çözüm havuzunda farklı yerlerden seçilebilmesini sağlamaktadır. Bu işlem yapılırken mutasyon sonucu elde edilen fark kromozomu ve $x_{i,G}$ Kromozomu kullanılarak yeni jenerasyona aday, deneme kromozomu ($u_{i,G+1}$) üretilir. Deneme kromozomuna ait her bir gen CR olasılıkla fark kromozomundan $1 - CR$ olasılıkla mevcut kromozomdan seçilir. Diferansiyel gelişim algoritmasında eşit olasılık yerine CR olasılığı söz konusudur. 0 ile 1 arasında üretilen rastgele sayı CR ' den küçükse gen, ($n_{j,i,G+1}$)'den aksi takdirde mevcut kromozomdan seçilir.

Amaç belirlenen oranda genin yeni fark kromozomundan alınmasıdır. En az bir tane genin üretilen yeni kromozomdan alınmasını garanti etmek amacıyla, ilk olarak rasgele seçilen $jrand$ (başlangıç çözüm kümesi) noktasındaki gen CR ' ye bakılmaksızın ($n_{j,i,G+1}$) 'den seçilir [12-17].Çaprazlama operatörünün uygulandığı Şekil 1.3'de sunulmuştur.

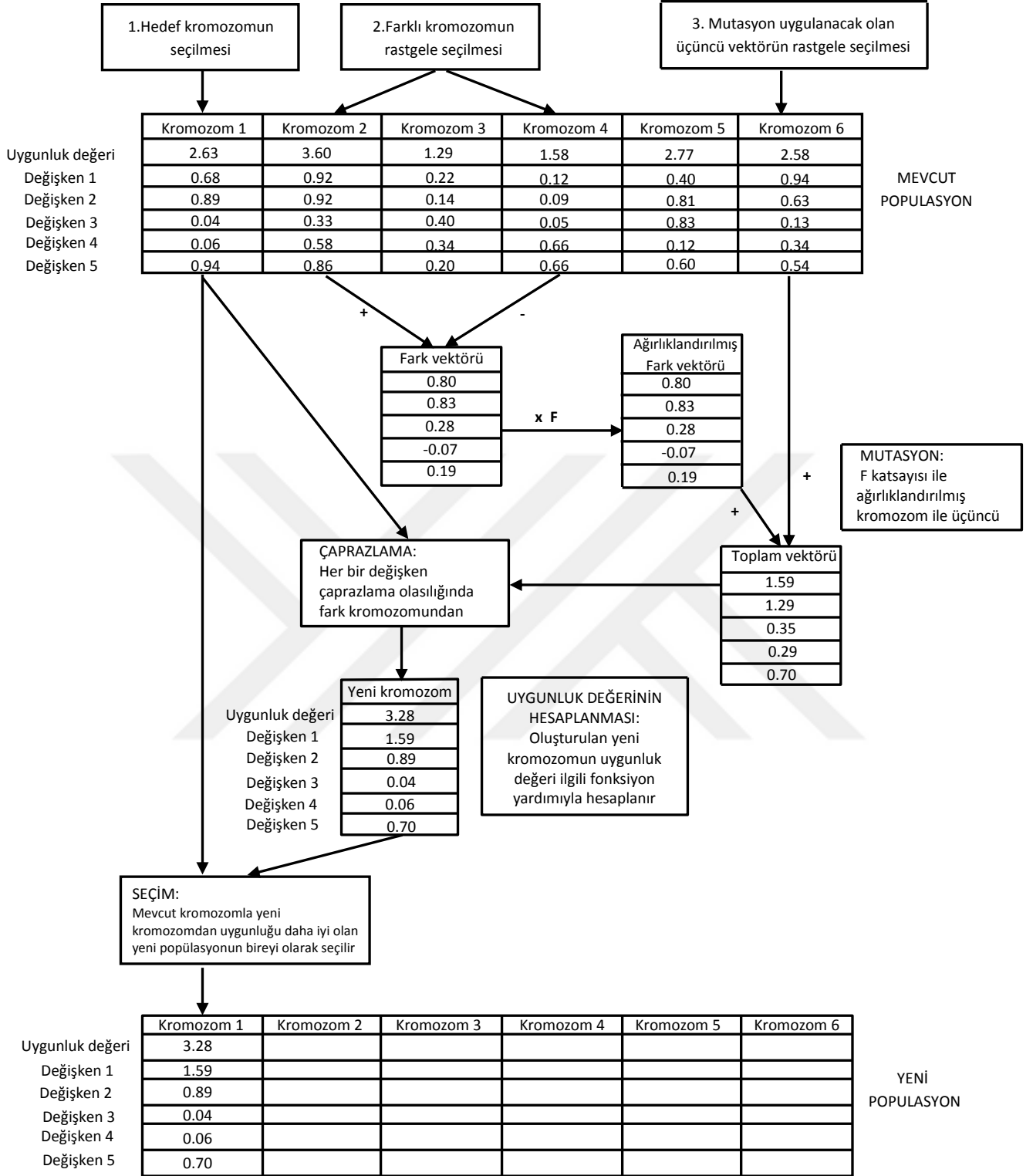
$$\text{Eğer } rand[0,1] \leq CR \vee J = jrand \text{ ise } \forall v_{j,i} = u_{j,i,G} \quad (1.6)$$



Şekil 1.3 Yeni popülasyona aday deneme kromozomu üretimi

1.3.3.4. Karşılaştırma

Karşılaştırma işlemi yeni üretilen vektörlerin hangi şartlar altında popülasyona gireceğini tanımlayan bir kriterdir. Örneğin, bir turnuva karşılaştırma işlemi rastgele seçilmiş vektör çiftleri arasında bir dizi araştırma gerçekleştirmek suretiyle yeni jenerasyonun üyesini belirlemektir. Vektörlerin yeni jenerasyonda yer alma olasılıkları uygunluklarına bağlıdır. Tipik olarak yarışan vektörler ebeveyn-çocuk popülasyonundan seçilir ve en fazla kazanan vektörlerin gelişmesine izin verilir. DGA'nın karşılaştırma işleminde, karşılaştırılan vektörlerden uygunluğu yüksek olan vektör yeni jenerasyonun bireyi olarak atanmaktadır. Yeni üretilen vektör ebeveynine göre daha gelişmiş veya en azından aynı gelişme seviyesinde değilse ebeveyn vektör, en az bir jenerasyon daha popülasyonda kalmaya devam etmekte ve başka vektörle yer değiştirmemektedir [12-17].



Şekil 1.4 DGA 'nın Adımları, Kullanılan Fonksiyon : $F(X) = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5$ [13]

Tablo 1.1 Diferansiyel gelişim algoritması parametreleri

Sembol	Açıklama
NP	Popülasyon büyüklüğü (kromozom sayısı) $NP \geq 4$ (1, 2, 3, ..., i)
D	Değişken sayısı (gen sayısı) (1, 2, 3, ..., j)
CR	Çaprazlama oranı [0.1,1.0]
G	Nesil (1, 2, 3, ..., G_{max})
F	Ölçekleme faktörü [0.1,2]
$x_{j,i,G}$	G nesli için, i kromozomunun j parametresi (gen)
$n_{j,i,G+1}$	Mutasyon ve çaprazlamaya tabi tutulmuş ara kromozom
$u_{j,i,G+1}$	$x_{j,i,G}$ 'den bir sonraki jenerasyon için üretilen kromozom (child-trial)
$r_{1,2}$	Yeni kromozomun üretilmesinde kullanılacak rasgele seçilmiş kromozomlar $r_{1,2,3} \in \{1,2,3, \dots, NP\} r_1 \neq r_2 \neq r_3 \neq i$
$x_j^{(u)} x_j^{(1)}$	Değişkenlerin üst ve alt limitleri

1.4. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı

Tasarımcılar; önerilmeli köprü kirişlerini belli başlı ölçülere sahip standart profil şeklindeki kesitlerden tercih etmişlerdir. Kiriş tipinin seçiminde ise genellikle ayak aks aralığına, kiriş sarkma yüksekliğine ilişkin sınırlamalara ve deneyimlere bağlı olarak karar vermişlerdir[2]. Oysaki köprü kirişlerinin tasarımını etkileyen diğer parametrelerden olan köprü açıklık sayısı, kiriş yükseklikleri, yükleme durumu, şerit sayısı vb. kriterler de dikkate alınmalıdır. Bütün bu kriterler göz önüne alındığında her bir köprü modeli için en ideal tasarım ve en ideal maliyetin belirlenmesi bir optimizasyon problemi olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bu çalışma; Prefabrike önceden germe (öncekim) beton I kirişlerinden oluşan köprü üst yapılarının maliyet bazlı optimizasyonunu içermektedir. Optimizasyonda sezgisel algoritmalarından son zamanlarda birçok alanda kullanılan diferansiyel gelişim algoritması kullanılmıştır. Standart kesitler yerine kiriş geometrik sınırlayıcıları kullanılarak belirli bir çözüm havuzu içerisinde “sonsuz sayıda” kiriş kullanılması sağlanmıştır. Optimum çözüme ulaşmak için köprü kiriş sayısı, kirişe ait geometrik özellikler ve kirişe ait önerilme donatısı tasarım değişkenleri olarak alınmıştır.

Bu çalışmada emniyet gerilmeleri, taşıma gücü gibi sınırlayıcılar Standard Specifications For Highway Bridges (AASHTO 2012) uyarınca dikkate alınmıştır.

Köprü üst yapı maliyeti (beton ve donatı bazlı) çalışmanın amaç fonksiyonu olarak alınmıştır. Bu maliyetlerin hesaplanmasında Karayolları Genel Müdürlüğü'nün ilgili yıllarına ait birim fiyatları kullanılmıştır. Öngerilmeli kiriş sayısı, kiriş en kesit boyutları ve donatı miktarının bir arada optimize edilmesi problemi daha karmaşık hale getirmiştir. Bu nedenle burada yapılan çalışma topoloji ve şekil optimizasyonu içermektedir. Topoloji optimizasyonu, köprü karakteristiklerine bağlı olarak maliyeti en aza indirmek için köprü en kesitinde kullanılması gereken kiriş sayısının belirlenmesi olarak tanımlanabilir. Şekil optimizasyonu ise köprü karakteristiklerine bağlı olarak maliyeti en aza indirmek için kullanılması gereken kiriş en kesit ebatlarının belirlenmesi işlemi olarak tanımlanabilir[2]. Klasik optimizasyon yöntemleriyle böyle kompleks bir problemin çözümü oldukça zordur. Bu nedenle çalışmada popülasyon tabanlı sezgisel bir algoritma olan DGA kullanılmıştır. Bu algoritma özellikle tamamen düzenlenmiş uzayda tanımlı ve gerçek değerli tasarım parametrelerini içeren fonksiyonları optimize etmek amacıyla kullanılmaktadır. DGA'sında kullanılan Çaprazlama, mutasyon ve karşılaştırma operatörleri popülasyona sırayla uygulanmaktadır. Ayrıca yine bu amaç için farklı başlangıç popülasyon boyutları ve tasarımcının belirlediği çözüm kümesi genişlikleri kullanılarak sonsuz bir alan içerisinde tasarımlar yapılmıştır.

Bu çalışmanın amaçlarından bir diğeri, diferansiyel gelişim algoritması ile yapılan optimizasyonun inşaat mühendisliği çalışmalarında uygulamaya yönelik bir araştırma konusu olmasıdır.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEME

2.1. Öncekim Öngerilmeli Beton I Köprü Kirişlerinin Tasarımı

Ülkemizde öngerilmeli kirişlerin hesap ve tasarım esasları, TS 3233 (1979) ve AASHTO (2012) standartlarına göre yapılmaktadır. Köprü kirişlerinin boyutlandırılmasında kullanılacak yükler ve bu yüklerin taşıyıcı sisteme aktarımı, öngerilme kayıpları, eğilme-kayma gerilmeleri, taşıma gücü denetimleri ile sehim denetimleri yukarıda belirtilen standartlar doğrultusunda hesaplanmaktadır.

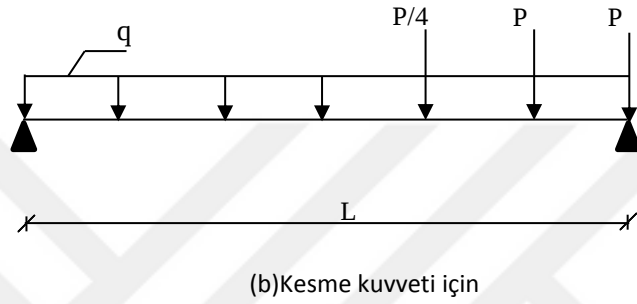
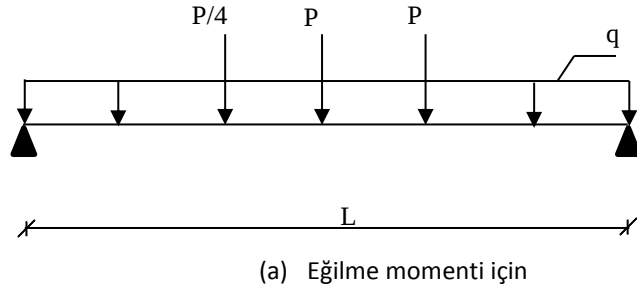
Tasarımda, elemanın yüksekliği boyunca şekil değiştirmenin lineer olduğu, kesit çatlamadan önce gerilmenin şekil değiştirmeye lineer orantılı olduğu, kesit çatladıktan sonra betondaki çekme gerilmelerinin ihmal edildiği kabulleri yapılacaktır [14].

2.1.1. Yapının Tanımlanması

Bu çalışmada tek açıklıklı köprü üst yapısını oluşturan dolu gövdeli kirişler ile yerinde dökme tekniği kullanılarak inşa edilmiş tabliye elemanı dikkate alınmak sureti ile optimum tasarım gerçekleştirilecektir. Yükleme aşamalarına göre bu yükleri öngerilmeli kiriş, bazen tek başına bazen de tabliye ile birlikte taşımaktadır. Öngerilmeli kirişin tek başına çalıştığı kesite bundan sonra prefabrike kesit, tabliye betonu ile birlikte çalıştığı kesite ise kompozit kesit olarak adlandırılacaktır. Dolayısıyla kirişlerin boyutlandırılması yapılırken prefabrike kesit ve kompozit kesit olarak ayrı ayrı hesaplanması gerekmektedir. Kullanılacak kiriş tipi I kesit olup hesaplama yöntemi olarak öncekim tekniği tercih edilmiştir.

2.1.2. Kirişe Etkiyen Yükler

Köprüler tasarlanırken sabit ve hareketli yükleme durumları dikkate alınır. Sabit yükler; kiriş zati ağırlığı, tabliye, kaplama, bordür, korkuluk diğer yükler olarak sınıflandırmak mümkündür. Bu yüklerin prefabrik kirişe eşit olarak yayıldığı kabulü yapılmıştır. Yani toplam yük kiriş sayısına bölünmek sureti ile bir kirişe gelen sabit yük belirlenmiştir. Belirlenen bu yük altında, kirişte oluşan kesit tesir değerleri (kesme kuvveti ve maksimum moment) basit kiriş kabulü ile hesaplanmıştır. Şekil 2.1’de sabit yüklerin, Şekil 2.2’de ise standart kamyon yüklerinin kiriş üzerindeki en elverişsiz yerleşimi görülmektedir.



Şekil 2.1 Sabit yüklerin basit kiriş üzerine etkiyen yerleşimi (a,b)

Hareketli Yükler; Kamyon ve kamyon katarına eşdeğer yüklerin tespiti AASHTO (2012) standartları uyarınca hesaplanmıştır. Bu tip büyük yapılarda yaya yükleri ihmal edilebilecek seviyede olduğundan hareketli yük olarak alınmayıp sabit yük olarak kabul edilmiştir. Tablo 2.1’de çeşitli yükleme sınıflarına göre standart kamyon ve eşdeğer şerit yüklemesine ait yük değerleri verilmiştir.

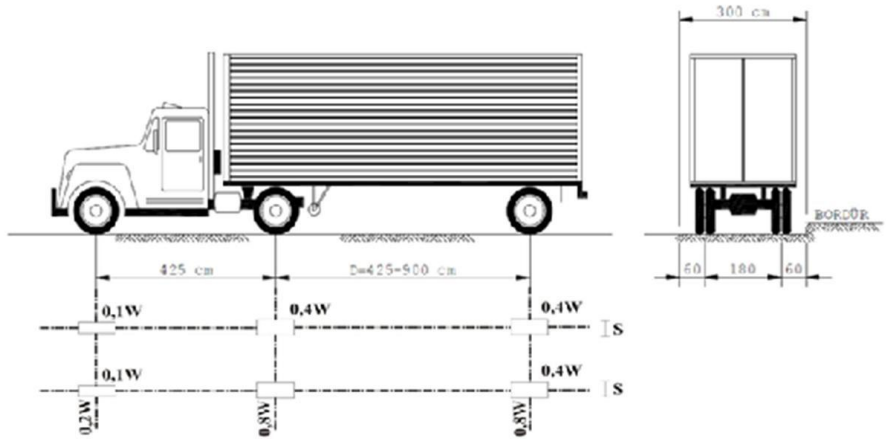
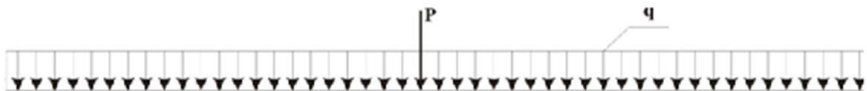
Bu tabloda;

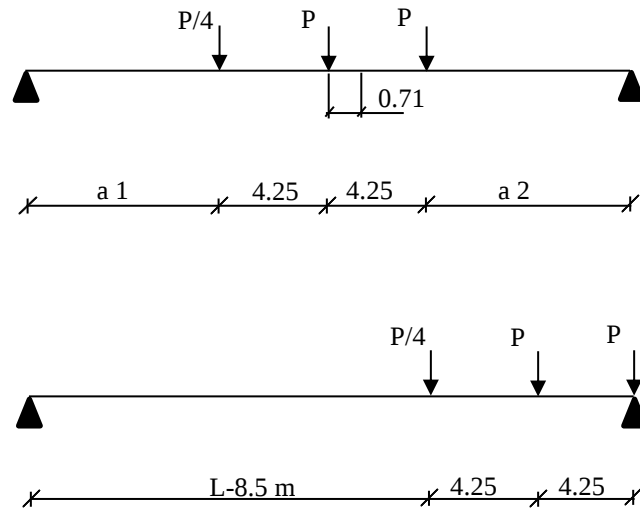
H: İki dingili kamyonu,

S: yarım treyler anlamına gelir.

W: ise dingillerden gelen ağırlığa tekabül etmektedir.

Tablo 2.1. Standart kamyon ve eşdeğer şerit yükleri

STANDART KAMYON				
Şerit Yüğü				
Yük Sınıfı	H30-S24	H20-S16	AASHTO LRFD KAMYONU	
W Ağırlığı (kN)	300	200	Ön Aks (kN)	35
P (kN)	Eğilme	90	Orta Aks (kN)	145
	Kesme	135	Arka Aks (kN)	145
q (kN/m)	15	10	9,3	
s (cm)	75	50	60	



Şekil 2.2 H30-S24 kamyon yüklemesinin basit kiriş üzerine eğilme momenti ve kesme kuvveti için en elverişsiz yerleşimi

Standart kamyon yüklemesinden oluşan maksimum kesme kuvveti ve eğilme momenti değerleri ayrı ayrı hesap edilir. Bu değerlerden büyük olan, hesap yükü olarak kabul edilecektir.

Ayrıca köprüden geçen taşıtların dinamik etkisi, aşağıdaki bağıntı sonucu bulunan dinamik etki katsayısı ile çarpılmak sureti ile hesaplanır. Bu değer 1.30 değerinden küçük olmalıdır (AASHTO 3.8.2.1).

$$\phi = 1 + \frac{15}{L+37} \quad (2.1)$$

Hareketli yüklerin bu çalışmada köprüünün kısa kenarı doğrultusunda dağıldığı kabulü yapılarak her bir kirişe düşen hareketli yük miktarı I tipi kirişlerde AASHTO 3.23.4.3 bağıntısı ile verilmiştir.

$$D = (1750 - 152 \cdot N_L) + 213 \cdot N_L(1 - 0,2C)^2 \quad (2.2)$$

$$C = K \left(\frac{W}{L} \right), \quad \frac{W}{L} < 1 \quad C = K, \quad W/L \geq 1 \quad (2.3)$$

$$\text{Yük Katsayısı} = \frac{S}{D} \quad (2.4)$$

Bu bağıntılarda kirişler arasındaki aks aralığı (S), Dağılım parametresi (D), Trafik şeridi sayısı (NL), Rijitlik parametresi (C), Köprü genişliği (W), Kiriş boyu (L), Köprü tipine bağlı katsayı bu çalışmada 2.2 olarak alınmıştır.

Hareketli yüklerde şerit sayısı arttıkça tüm yük kombinasyonlarının en gayri müsait yükleme durumu oluşturma ihtimalinin zayıf olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle şerit sayısı arttıkça belirli azaltma katsayıları ile hareketli yük azaltılabilir. Hesaplamalarda şerit sayısına bağlı olarak azaltma katsayıları Tablo 2.2’de gösterilmiştir.

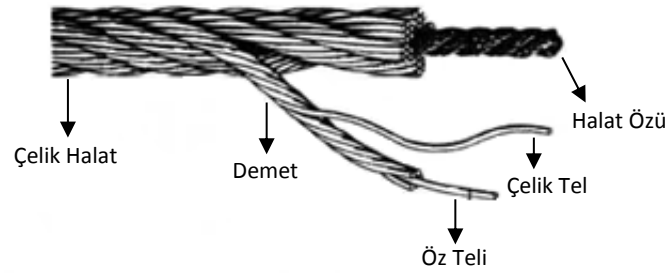
Tablo 2.2 Trafik şeridine göre hareketli yük azaltma katsayıları

Trafik Şeridi Sayısı	Azaltma Katsayıları
Bir veya iki şerit için	%100
Üç şerit için	%90
Dört veya daha fazla şerit için	%75

2.1.3. Malzeme

Öngerilmeli elemanlar yüksek dayanımlı beton ve öngerilme donatısından imal edilirler. Beton sınıfı TS-3233’e uygun olarak kullanılmakta olup kullanılacak katkı maddelerinin öngerme çeliğine zarar verecek korozyon etkili türlerinden kaçınılmalıdır. Ayrıca beton üretiminde kullanılan çimento TS-19 ve TS-3646, agrega TS-706’ya uygun kırılmış ve uygun gradasyonda olmalıdır. Betonarme çeliği TS-500 ve TS-708’e uygun

olmalıdır. Öngerilmeli elemanlarda TS-5680'e veya uluslararası standartlara uygun tel veya öngerilmeli özel halatı (toron) kullanılacaktır. Öngerilmeli kirişlerde kullanılan bu toronları oluşturan elemanlar Şekil 2.3'de gösterilmiştir.



Şekil 2.3 Öngerilme halatını oluşturan elemanlar

Yüksek dayanımlı malzeme kullanılmasındaki esas amaç, öngerilme kayıplarından dolayı çeliğin elastik sınırdan kalarak gevşemesinin önlenmesidir. Aksi takdirde betonun alt lifinde oluşacak çekme gerilmelerinin artması sonucunda elemanın taşıma gücünde azalmalar hatta göçme meydana gelmesi muhtemeldir.

2.1.4. Kirişte Oluşan İç Kuvvetlerin Hesaplanması

Köprü kirişleri; basit kiriş kabulü ile hesaplanan yapı elemanlarıdır. Kesit tesirleri bu kabule uygun şekilde hesaplanır. Kirişe etkiyen sabit yükler kiriş üzerinde eşdeğer bir yayılı yük etkisi olduğu kabul edilip basit kiriş olarak iç kuvvetleri hesaplanır. Hareketli yükler olan taşıt yükünde ise Şekil 2.1 ve Şekil 2.2 'de açıklandığı gibi basit kiriş kabulü ile iç kuvvetleri hesaplanır.

2.1.5. Öngerilme Kayıplarının Hesaplanması

Öngerilmeli kirişlerde büzülme, elastik kısalma, sünme, gevşeme ve kimyasal olmak üzere öngerilme kayıpları meydana gelmektedir. Bu kayıpların tamamı AASHTO 9.16.2.1 de belirtilen yöntem ile hesaplanabilir.

2.1.5.1. Büzülme Kaybı

Zamana bağlı olarak kuruma ve kimyasal değişiklikler sonucu betonda meydana gelen şekil değiştirmelere büzülme kaybı denir. Bu kayıplar AASHTO 9.16.2.1.1'de verilen aşağıdaki ifade ile hesaplanabilir.

$$SH = 117 - 1,03RH \quad (2.5)$$

RH: yıllık ortalama bağıl nem oranını gösterir.

2.1.5.2. Elastik Kısılma Kaybı

Öngerilme kuvveti sonucu betonda meydana gelen boyuna kısalmalara elastik kısılma kaybı denir. Bu kayıp AASHTO 9.16.2.1.2' de aşağıdaki bağıntı ile verilmiştir.

$$ES = \frac{E_s}{E_c} f_{cir} \quad (2.6)$$

f_{cir} = Aktarmadan hemen sonra sabit yük ve öngerilme kuvveti nedeniyle öngerilme donatılarının ağırlık merkezinde meydana gelen beton gerilmesidir.

E_s = öngerilme çeliği elastisite modülü

E_c = Betonun elastisite modülü

$$f_{cir} = \frac{F_i}{A_i} + \frac{F_i e_i}{I_i} - \frac{M_{g1} e_i}{I_i} \quad (2.7)$$

$$F_i = A_{ps} \cdot f_{pi} \quad (2.8)$$

A_{ps} = Öngerilme donatı alanı

2.1.5.3. Sünme Kaybı

Kalıcı yüklerden meydana gelen zamana bağlı şekil değiştirmelere sünme denir. Bu kayıp AASHTO 9.16.2.1.2' de verilen ifade ile hesaplanabilir.

$$CR_c = 12 \cdot f_{cir} - 7 \cdot f_{cds} \quad (2.9)$$

2.1.5.4. Gevşeme Kaybı

Gevşeme kaybı; zamana bağlı öngerilme donatılarında meydana gelen gevşeme kayıplarına denir. Bu değer genel olarak donatının üretimine bağlı olarak belirlenmektedir. Bilinmediği durumlarda düşük gevşemeli öngerilme donatıları için AASHTO 9.16.2.1.4 de aşağıdaki şekilde verilmiştir.

$$CR_s = 138 - 0,4ES - 0,2(SH + CR_c) \quad (2.10)$$

$$CR_s = 34 - 0,1ES - 0,05(SH + CR_c) \quad (2.11)$$

Yukarıda bahsedilen bütün kayıpların gerçekleşmesi sonucunda toplam öngerilme kaybı AASHTO 9.16.2.1 de verilen ifade ile hesaplanabilir.

$$\Delta f_s = SH + ES + CR_c + CR_s \quad (2.12)$$

2.1.6.Emniyet Gerilmelerinin Hesaplanması ve Denetimleri

Bu çalışmada emniyet gerilmeleri, beton üst ve alt lifinde meydana gelen gerilmeler dikkate alınmak sureti ile 4 aşamalı olarak incelenmiştir.

1. Durum: Öngerilme kuvvetinin ilk uygulandığı aşamadır. Kiriş, sadece zati ağırlığını taşımaktadır. Bu kontrolde öngerilme kayıpları maksimum düzeyde olup prefabrike kesit alt ve üst ucunda oluşan gerilmeler sırasıyla aşağıda verilmiştir.

$$\sigma_{b1} = \frac{n_1.P}{A_i} + \frac{n_1.P.e_i}{W_{bi}} - \frac{Mg_1}{W_{bi}} \quad (2.13)$$

$$\sigma_{t1} = \frac{n_1.P}{A_i} - \frac{n_1.P.e_i}{W_{ti}} - \frac{Mg_1}{W_{ti}} \quad (2.14)$$

2. Durum: Kirişin zati ağırlığının yanında tabliye ağırlığı da mevcuttur. Bu kontrolde öngerilme kayıpları maksimum düzeyde olup prefabrike kesit alt ve üst ucunda oluşan gerilmeler sırasıyla aşağıda verilmiştir.

$$\sigma_{b2} = \frac{n_2.P}{A_i} + \frac{n_2.P.e_i}{W_{bi}} - \frac{Mg_2}{W_{bi}} \quad (2.15)$$

$$\sigma_{t2} = \frac{n_2.P}{A_i} - \frac{n_2.P.e_i}{W_{ti}} - \frac{Mg_2}{W_{ti}} \quad (2.16)$$

3. Durum: Tüm sabit yüklerin mevcut olduğu durumdur. Bu kontrolde öngerilme kayıpları maksimum düzeyde olup prefabrike kesit alt ve üst ucunda oluşan gerilmeler sırasıyla aşağıda verilmiştir.

$$\sigma_{b3} = \frac{n_2.P}{A_i} + \frac{n_2.P.e_i}{W_{bi}} - \frac{Mg_2}{W_{bi}} - \frac{Mg_3}{W_{bci}} \quad (2.17)$$

$$\sigma_{t3} = \frac{n_2.P}{A_i} - \frac{n_2.P.e_i}{W_{ti}} + \frac{Mg_2}{W_{ti}} - \frac{Mg_3}{W_{tci}} \quad (2.18)$$

4. Durum: Sabit ve hareketli yüklerin mevcut olduğu nihai durumdur. Bu kontrolde öngerilme kayıpları maksimum düzeyde olup prefabrike kesit alt ve üst ucunda oluşan gerilmeler sırasıyla aşağıda verilmiştir.

$$\sigma_{b4} = \frac{n_2.P}{A_i} - \frac{n_2.P.e_i}{W_{bi}} - \frac{Mg_2}{W_{bi}} - \frac{Mg_3+M_h}{W_{bci}} \quad (2.19)$$

$$\sigma_{t4} = \frac{n_2.P}{A_i} - \frac{n_2.P.e_i}{W_{bi}} - \frac{Mg_2}{W_{bi}} - \frac{Mg_3+M_h}{W_{bci}} \quad (2.20)$$

AASHTO ya göre beton emniyet gerilmeleri basınç ve çekme olarak aşağıdaki bağıntılar ile hesaplanmaktadır.

$$\bar{\sigma}_{ci} = 0,60.f'_{ci} \quad (2.21)$$

$$\bar{\sigma}_{ti} = 0,25.\sqrt{f'_{ci}} \quad (2.22)$$

Zamana bağılı tüm öngerilme kayıplarının olduğu durum için AASHTO'ya göre beton basınç emniyet gerilmesi:

$$\bar{\sigma}_{cf} = 0,40 \cdot f'_c \quad (2.23)$$

bağıntısı ile hesaplanır.

Zamana bağılı tüm öngerilme kayıplarının olduğu durum için AASHTO'ya göre betonun çekme emniyet gerilmesi:

$$\bar{\sigma}_{tf} = 0,25 \cdot \sqrt{f'_c} \quad (2.24)$$

bağıntısı ile hesaplanır.

Tabliye betonu için basınç emniyet gerilmesi:

$$\bar{\sigma}_{cs} = 0,40 \cdot f_{cs} \quad (2.25)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Bu gerilme kontrolleri kayma gerilmeleri içinde hesaplanmıştır.

2.1.7. Taşıma Gücü Kontrolü

Taşıma gücü hesaplamaları prefabrik ve kompozit kirişler için en gayri müsait yükleme durumuna göre hesaplanmıştır. Taşıma gücü hesaplamalarında eşdeğer basınç bloğu dikdörtgen ve tablalı kesit olarak dikkate alınacaktır.

2.1.7.1 Tablalı Kesitler İçin Taşıma Gücü

ϕ = Taşıma kapasitesi azaltma katsayısı

$\gamma = 0.28$ Düşük gevşemeli öngerilme çeliği katsayısı (AASHTO 9.1.2)

β_1 Beton kalitesine bağlı katsayı olup AASHTO 8.16.2.7'de verilmiştir.

$\beta_1 = 0.85$, $f'_c \leq 28 MP$

$\beta_1 = 0.85 - \left(0.05 \frac{(f'_c - 28)}{7}\right)$, $f'_c > 28 MP$

$$d_u = (n_{ps} * 0.06 * 0.66 + n_{ps} * 0.12 * 0.34) / n_{ps} \quad (2.26)$$

Kompozit kesit faydalı yüksekliği;

$$d_{k0} = (h_b + t_k) - d_u \quad (2.27)$$

Öngerilme donatı oranı;

$$\rho_k = \frac{A_{ps}}{(b * d_{k0})} \quad (2.28)$$

Dikdörtgen kesit taşıma gücü;

$$f_{suk} = f_s * [1 - (\gamma - \beta_1) * (\rho_k * f_s / f_c)] \quad (2.29)$$

Tablalı kesit tabla yüksekliği;

$$t_{kk} = (t_t + \left(\frac{p_t}{2}\right) + t_k) \quad (2.30)$$

$$A_{sfk} = 0,85 * (b - b_w) * \frac{t_{kk}}{f_{suk}} \quad (2.31)$$

$$A_{srk} = A_{ps} - A_{sfk} \quad (2.32)$$

Tablalı kesitlerde eşdeğer basınç bloğu yüksekliğinin tabla yüksekliğinden küçük olması şartı gerekmektedir;

$$\left(\frac{A_{srk} * f_{suk}}{0,85 * f_c * b_w}\right) < t_{kk} \quad (2.33)$$

Tablalı kesitler için taşıma gücü formülü AASHTO 9.17.3'de verilen bağıntı ile hesaplanmaktadır;

$$\phi M_{nk} = A_{srk} * f_{suk} * d_k * \left[1 - 0,6 * \frac{A_{srk} * f_{suk}}{b_w * d_k * f_c}\right] + 0,85 * f_c * (b - b_w) * t_{kk} * \left(d_{ko} - \frac{t_{kk}}{2}\right) * \phi \quad (2.34)$$

Sabit ve hareketli yüklerin kombinasyonundan oluşan faktörlü moment;

$$M_{uk} = 1,3 * (M_{g1} + M_{g2} + M_{g3} + 1,67 * M_q) \quad (2.35)$$

Tablalı kesitlerde taşıma gücü kapasitesi, faktörlü momentten büyük olması şartını sağlaması gerekmektedir;

$$M_{uk} < \phi M_{nk} \quad (2.36)$$

2.1.7.2 Prefabriye Kesitler İçin Taşıma Gücü

Prefabriye kesit faydalı yüksekliği;

$$d_{pr} = h_b - d_u \quad (2.37)$$

Öngerilme donatı oranı;

$$\rho_p = \frac{A_{ps}}{(b_t * d_{pr})} \quad (2.38)$$

Prefabriye kesit taşıma gücü

$$f_{sup} = f_s * \left[1 - (\gamma - \beta_1) * \left(\rho_p * \frac{f_s}{f_c}\right)\right] \quad (2.39)$$

Prefabriye kesit tabla yüksekliği;

$$t_{kp} = \left[t_t + \left(\frac{p_t}{2}\right)\right] \quad (2.40)$$

$$A_{sfp} = 0,85 * (b_t - b_w) * \frac{t_{kp}}{f_{sup}} \quad (2.41)$$

$$A_{srp} = A_{ps} - A_{sfp} \quad (2.42)$$

Prefabrike kesitlerde eşdeğer basınç bloğu yüksekliğinin tabla yüksekliğinden küçük olması şartı gerekmektedir;

$$\frac{A_{srp} * f_{sup}}{0.85 * f_c * b_w} < t_{kp} \quad (2.43)$$

Prefabrike kesit taşıma gücü;

$$\phi M_{np} = \left[A_{srp} * f_{sup} * d_{pr} * \left[1 - \frac{(0.60 * \rho_p * f_{sup})}{f_c} \right] * \phi \right] \quad (2.44)$$

Prefabrike kirişin tablalı kesit olarak çalışmaya başlamadan önce zati ve döşeme ağırlığından oluşan yük kombinasyonu faktörlü momenti;

$$M_{up} = 1,3 * M_{g2} \quad (2.45)$$

Prefabrike kesitlerde taşıma gücü kapasitesi, faktörlü momentten büyük olması şartını sağlaması gerekmektedir;

$$M_{up} < \phi M_{np} \quad (2.46)$$

2.1.7.3 Minimum Öngerme Donatısı

Öngerme donatısı kesitin çatlama momentinin %20 fazlası oranında taşıma kapasitesine sahip olmalıdır. Tüm öngerilme kayıpları düşüldükten sonra kesit alt ucunda oluşan sadece öngerilme kuvveti nedeniyle oluşan gerilme değeri;

$$f_{pe} = \frac{\eta_2 * P}{A_i} + \frac{\eta_2 * P * e_i}{W_{bi}} \quad (2.47)$$

Kesitin çatlama modülü;

$$f_r = 0.623 * \sqrt{f_c} \quad (2.48)$$

Tablalı kesitlerde çatlama momenti;

$$M_{crk} = W_{bci} * (f_r * f_{pe}) - \frac{M_{g2} * W_{bci}}{W_{bi}} - 1 \quad (2.49)$$

Prefabrike kesitlerde çatlama momenti;

$$M_{crp} = W_{bi} * (f_r + f_{pe}) \quad (2.50)$$

Tablalı ve Prefabrike kesitler için Minimum donatı oranı denetimi aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmıştır;

$$\phi M_{nk} > 1.2 * M_{crk} \quad (2.51)$$

$$\phi M_{np} > 1.2 * M_{crp} \quad (2.52)$$

2.1.7.4 Maksimum Öngerme Donatısı

Maksimum donatı oranı denetimi;

Tablalı kesit için;

$$\frac{\rho_k * f_{suk}}{f_c} < 0.36 * \beta_1 \quad (2.53)$$

Prefabrike kesit için;

$$\frac{\rho_p * f_{sup}}{f_c} < 0.36 * \beta_1 \quad (2.54)$$

Bağıntıları ile kontrol edilmektedir.

2.1.8. Kayma Emniyet Gerilmeleri Hesabı

Kayma emniyet gerilmeleri hesaplamalarında aktarma anı ve kullanım yükleri için iki farklı aşamada yapılmaktadır. Aktarma anı için kayma gerilmesi;

$$\tau_i = \frac{S_i \cdot V_{g2}}{b_w \cdot I_i} \quad (2.55)$$

Aktarma anı için kayma emniyet gerilmesi;

$$\tau_{ip} = 0.5 * \sqrt{(f_c * 0.75)} \quad (2.56)$$

Kullanım yükleri için kayma gerilmesi;

$$\tau_f = \frac{S_{ci} \cdot (V_{g2} + V_{g3} + V_h)}{b_w \cdot I_{ci}} \quad (2.57)$$

Kullanım yükleri için kayma emniyet gerilmesi;

$$\tau_{fc} = 0.50 * \sqrt{f_c} \quad (2.58)$$

bağıntıları ile hesaplanır.

2.1.8.1 Kayma Emniyet Gerilmeleri Denetimi

Kayma emniyet gerilmeleri denetimi aktarma anı ve kullanım yükleri için iki farklı aşamada yapılmaktadır.

$$\tau_i < \tau_{ip} \quad (2.59)$$

$$\tau_f < \tau_{fc} \quad (2.60)$$

2.1.9. Kesme Taşıma Gücü Hesabı

Kesme hesabı kirişte oluşabilecek en gayri müsait yükleme durumu için sabit ve hareketli yüklerden hesaplanmıştır. Kesme hesap kuvveti; aşağıdaki bağıntılar ile hesaplanır:

$$V_u = 1,3 * (V_d + 1,67 * V_q) \quad (2.61)$$

$$V_d = V_{g2} + V_{g3} \quad (2.62)$$

Burada; V_{g2} kiriş ve tabliye ağırlığından kaynaklı kesme kuvveti , V_{g3} kiriş ve tabliye haricindeki tüm sabit yüklerden kaynaklı kesme kuvveti, V_q Elverişsiz hareketli yükten kaynaklı kesme kuvvetini göstermektedir.

$$V_q = \max(V_k, V_s) + V_y \quad (2.64)$$

(2.64) nolu bağıntıda; V_k Kamyon yükünden kaynaklı kesme kuvveti , V_s Eşdeğer şerit yüklemesinden kaynaklı kesme kuvveti, V_y Yaya yükünden kaynaklı kesme kuvvetini göstermektedir.

$$V_u < \phi * V_c \quad (2.65)$$

$$V_c = \max(V_{cw}, V_{ci}) \quad (2.66)$$

(2.65) ve (2.66) nolu bağıntılarda; V_{ci} Diyagonal çatlakların moment ve kesme kuvveti etkisi sonucunda beton kesme kuvveti taşıma gücü, V_{cw} Diyagonal çatlakların gövdedeki asal çekme gerilmelerinin sonucunda oluşan beton kesme kuvveti taşıma gücünü göstermektedir.

$$V_{ci} = 0.0498 * \sqrt{f_c} * b_w * (d_{pr} + t_k) + V_d + \frac{(V_i + M_{cr})}{M_{max}} \quad (2.67)$$

V_{ci} 'nin aşağıda ifade edilen bağıntıdan büyük olması şartını sağlaması gerekmektedir.

$$V_{ci} > 0.1412 * \sqrt{f_c} * b_w * (d_{pr} + t_k) \quad (2.68)$$

Kesit çatlama momenti değeri kompozit kesit için;

$$M_{crk}^* = W_{bci} \cdot (f_r + f_{pe}) - M_{g1} \cdot \left(\frac{W_{bci}}{W_{bi}} - 1 \right) \quad (2.69)$$

bağıntısı ile, prefabrike kesit için ise

$$M_{crp}^* = W_{bi} \cdot (f_r + f_{pe}) \quad (2.70)$$

bağıntısı ile hesaplanacaktır.

(2.68) ve (2.69) nolu bağıntılarda; b_w Öngerilmeli kiriş gövde kalınlığını, d_{pr} Prefabrike kesit faydalı yüksekliğini, t_k tabla yüksekliğini, f_e Dış yüklerin etkisi ile kiriş kenarında efektif öngerilme kuvvetinden kaynaklı basınç gerilmesini, f_d Dış yüklerin etkisi ile çekme gerilmesi oluşan kiriş kenarındaki zati yüklerden kaynaklı gerilmeyi göstermektedir.

Dış yüklerin etkisiyle kiriş kenarında efektif öngerilme kuvvetinden kaynaklı basınç gerilmesi;

$$f_e = \frac{\eta_2 * P}{A_i} + \frac{\eta_2 * P * e_i}{W_{bi}} \quad (2.71)$$

bağıntısı ile hesaplanır.

Dış yüklerin etkisiyle çekme gerilmesi oluşan kiriş kenarındaki zati yükten kaynaklı gerilme, aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

$$f_d = (-1) * \left[\frac{M_{g2}}{W_{bi}} + \frac{M_{g3}}{W_{bci}} + \frac{M_q}{W_{bci}} \right] + 0.498 * \sqrt{f_c} \quad (2.72)$$

Zati yükler harici yüklerden kaynaklı en gayri müsait moment;

$$M_{max} = M_{um} + M_d \quad (2.73)$$

$$M_{um} = 1.3 * (M_d + 1.67 * M_{qm}) \quad (2.74)$$

$$M_{qm} = (M_{hm} + M_{ym}) \quad (2.75)$$

bağıntıları ile hesaplanır.

Burada; M_{um} Faktörlü eğilme momenti, M_d Toplam zati yüklerden kaynaklanan moment, M_{hm} Taşıt yükünden kaynaklı moment, M_{ym} Yaya yükünden kaynaklı moment göstermektedir.

Zati yükler harici yüklerden kaynaklanan kesme kuvveti ise aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

$$V_i = V_u - V_d \quad (2.76)$$

$$V_{cw} = (0.290 * \sqrt{f_c} + 0.3 * f_{pc}) * b_w * (d_{pr} + t_k) + V_p \quad (2.77)$$

$V_p = 0$ Öngerilme kabloları kiriş boyunca paralele olduğundan düşey bileşen 0 “sıfır” kabul edilir.

(2.76) bağıntısındaki f_{pc} ;

$$f_{pc} = \frac{\eta_2 * P}{A_i} - \frac{\eta_2 * P * e_i * (Y_t - Y_{tp})}{I_i} + \frac{M_{g2} * (Y_t - Y_{tp})}{I_i} \quad (2.78)$$

bağıntısı ile hesaplanır.

Kayıplardan sonraki öngerilme kuvveti;

$$P_{ee} = \frac{A_i * W_{bi} * f_d}{W_{bi} + e_i * A_i} \quad (2.79)$$

bağıntısı ile hesaplanır.

Bir kablodaki öngerilme kuvveti;

$$P_{11} = A_{ps} * \frac{f_s}{n_{ps}} \quad (2.80)$$

Bir kabloya öngerilme kuvveti verilmesi aşamasında en fazla P_{11} kuvveti kadar öngerilme kuvveti verilir. Öngerilmeli elemanda servis yükleri aşamasındayken kayıpların hepsinin olduğu kabulü yapılır.

Yapılan bu araştırmada, öngerilme kayıplarının %87 olduğu kabulü ile gerekli hesaplamalar yapılmıştır.

$$P_{111} = P_{11} * (1 - 0,17) \quad (2.81)$$

(2.81) bağıntısı ile kirişte oluşan kayıplardan sonraki toplam öngerilme kuvveti hesap edilir.

Kılıfsız kablo sayısı;

$$N_N = \frac{P_{ee}}{P_{11}} \quad (2.82)$$

bağıntısı ile hesaplanır.

Kayma donatısının taşınması gereken minimum kesme kuvveti;

$$V_{ss} = \frac{V_u}{\phi_k} - \max(V_{ci}, V_{cw}) \quad (2.83)$$

bağıntısı ile hesaplanır.

$A_v = 0.000088$ Kesme donatısı alanı 1 adet donatı için m^2

Öngerilmeli kirişte kullanılacak etriye aralığı aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır;

$$S_{etr} = \left[\frac{A_v * f_s * d_{pr}}{V_{ss}} \right] \quad (2.84)$$

(2.84) nolu bağıntıda;

A_v kesme donatısı alanı,

V_{ss} kayma donatısının taşınması gereken minimum kesme kuvvetini ifade etmektedir.

2.1.10. Sehim Hesapları

Öngerilmeli köprü kirişlerinde sehim hesaplamaları maksimum sehimin oluşacağı açıklık ortası için yapılır. Sehim, yapıdaki zati yükler, hareketli yükler, öngerilme kuvveti ve öngerilme kayıpları dikkate alınarak hesaplanmalıdır. Bu hesapların denetimi ise TS500 (2000) de verilen sınırları aşmamalıdır.

AASHTO (2012)'da hareketli yükler ve bu yüklerin etkisi altında, öngerilmeli köprü kirişlerinde oluşan açıklık ortası semihinin açıklığa oranının 1/800 den küçük olması, ayrıca şehir merkezinde bulunan köprü kirişleri için ise tercihen 1/1000 değerinin altında kalması tavsiye edilmektedir. Bunlara ilaveten montaj ve aktarma anında ise sehimin açıklığa oranının 1/500 den küçük olması ve nihai sehimin de yine 1/500 değerinin altında kalması yeterli kabul edilecektir.

Bu çalışmada yapılacak olan denetimler gerilme denetiminde olduğu gibi yükleme aşamalarına göre incelenecektir.

1. Durum: Sadece kirişin zati ağırlığının mevcut olduğu durum için aşağıdaki bağıntı ile kontrol edilecektir.

$$\delta_1 = \frac{\eta_1 * P * L^2}{8 * E_c * I_i} + \frac{5 * G_1 * L^4}{384 * E_c * I_i} \quad (2.85)$$

Burada, E_c Betonun elastisite modülü, I_i Prefabrike kesit atalet momenti, G_1 kirişin zati ağırlığı, L Kiriş boyu, η_1 minimum düzeydeki öngerilme kaybı, e_i Prefabrike kesit öngerilme donatı dış merkezliğini göstermektedir.

2. Durum: Sadece kirişin zati ağırlığı ve tabliye ağırlığının mevcut olduğu durum için aşağıdaki bağıntı ile kontrol edilecektir.

$$\delta_2 = \delta_1 + \frac{5 * G_2 * L^4}{384 * E_c * I_i} \quad (2.86)$$

Burada, E_c Betonun elastisite modülü, I_i Prefabrike kesit atalet momenti, G_2 kirişin zati ağırlığı ve tabliye ağırlığından kaynaklı yük, L Kiriş boyunu göstermektedir.

3. Durum: öngerilme kayıplarının maksimum olduğu ve tüm sabit yüklerin mevcut olduğu durum için aşağıdaki bağıntı ile kontrol edilecektir.

$$\delta_2 = \delta_2 + \frac{5 * G_3 * L^4}{384 * E_{ce} * I_{ci}} \quad (2.87)$$

$$E_{ce} = \frac{E_c}{1 + k_c * E_c} \quad (2.88)$$

Burada, E_{ce} Betonun sünme etkisi ile azalan elastisite modülü, I_i Prefabrike kesit atalet momenti, G_3 kirişin zati ve tabliye ağırlığı dışındaki diğer sabit ağırlıklardan kaynaklı yük, L Kiriş boyu, k_c 0.1 MPa gerilmede betonun sünme miktarını göstermektedir. (ön çekmeli elemanlar için $k_c = 48 \times 10^{-7}$)

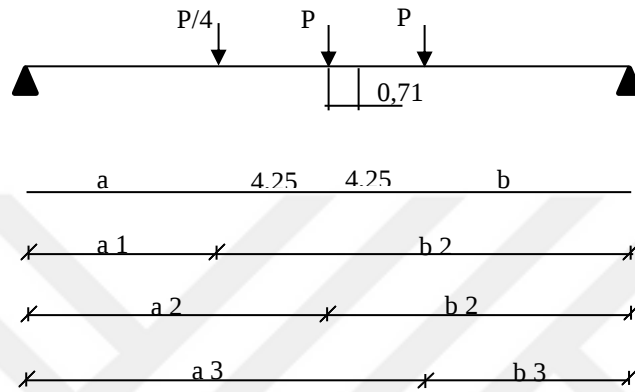
4. Durum: öngerilme kayıplarının maksimum olduğu ve kirişin hareketli yüklerin tesiri altında olduğu durum için yapılacaktır. Bu durumda şerit ve kamyon yüklemesi için ayrı ayrı hesap yapılacak olup büyük olan değer dikkate alınacaktır. Burada ilgili şerit yüklemesine ait sehim miktarı, eğilme etkisi için verilmiş yükleme durumu Şekil 2.2 dikkate alınarak;

$$\delta_{4,1} = \frac{P * L^3}{48 * E_c * I_{ci}} + \frac{5 * q * L^4}{384 * E_c * I_{ci}} \quad (2.89)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Benzer şekilde kamyon yüklemesi için sehim miktarı, eğilme etkisi için verilmiş olan yükleme durumu Şekil 2.4 dikkate alınarak;

$$\delta_{4,2} = \frac{P.L^2}{12.E_c.I_{ci}} \left[\frac{b_1}{4} \left(\frac{a_1}{L} \left(1 + \frac{b_1}{L} \right) - 0,25 \right) + b_2 \left(\frac{a_2}{L} \left(1 + \frac{b_2}{L} \right) - 0,25 \right) + a_3 \left(\frac{b_3}{L} \left(1 + \frac{a_3}{L} \right) - 0,25 \right) \right] \quad (2.90)$$

bağıntısı ile hesaplanır.



Şekil 2.4 H₃₀ – S₂₄ kamyon yüklemesi maksimum sehim yerleşimi

Yukarıda (2.89) ve (2.90) bağıntılarındaki, P ve q değerleri dinamik etki katsayısı ve yük dağıtma katsayısı ile çarpılmış değerler olarak dikkate alınacaktır.

2.2. Optimum Tasarım

2.2.1.Amaç Fonksiyonu

Optimum tasarım problemleri amaç fonksiyonu, tasarım değişkenleri ve sınırlayıcılardan oluşur. Amaç fonksiyonu tasarımda hedeflenen sonuca göre belirlenir. Tasarım değişkenleri amaç fonksiyonuna ulaşmak için problemin tipine bağlı olarak belirlenen parametrelerdir. Sınırlayıcılar problemin sonucunun kabul edilebilir sınırlar içerisinde kalmasını sağlamak için kullanılırlar.

Bu çalışmanın amacı önerilmeli beton köprü kirişlerinin malzeme yönünden en ekonomik ve emniyetli bir şekilde tasarımının yapılmasıdır. Ekonomiklik tasarımında kirişte kullanılan beton ve donatı ön planda tutulmuştur. Optimizasyonun amaç fonksiyonu sadece beton ve donatı metrajı olarak değil bu metrajların birim fiyatlar ile çarpılması sonucu bulunan maliyetin bir fonksiyonudur.

Tablo 2.3 Öngerilmeli betonun 1(bir) m³ maliyeti tablosu

Sıra No	Poz No	Tanımı	Birimi	Miktarı	Birim Fiyatı (TL)	Tutarı (TL)
1	07.006/K..	Kum, Çakıl Nakli (10 Km)	Ton	1	15.06	15.06
2	Kgm/16.136/K-1	Prefabrik Kirişlerin Yerlerine Konulması	Ton	2.4	35.00	84.00
3	Kgm/16.137/K-H	Köprülerin Öngerilmeli (Öncekim-Artçekim) Boyuna Ve Enine Kirişlerinde Her Dozda Demirli Beton (C 40/50 Hazır Beton Harcı)	M3	1	549.63	549.63
Toplam						648.69

Tablo 2.4 Öngerilmeli donatının 1 (bir) ton maliyeti tablosu

Sıra No	Poz No	Tanımı	Birimi	Miktarı	Birim Fiyatı (TL)	Tutarı (TL)
1	09.012/K..	Demirin Nakli,Boşatılması Ve İstifi (200km)	Ton	1.15	252.65	290.55
2	Kgm/23.002/K-6	Boyuna Ve Enine Öncekim, Öngerme Çeliğinin (Tel, Demet, Çubuk) Yerlerine Konulması, Gerilmesi, Gevşetilmesi Ve Kesilmesi İşçiliği	Ton	1	3,961.13	3,961.13
3	Kgm/3792/2	Yüksek Dayanımlı Öngerme Çeliği Temini (0,6 İnç Halat)	Ton	1	3,000.00	3,000.00
4	Kgm/3793	Kılıf Borusu Temini	Mt	110	2.64	290.40
Toplam						7,542.08

Bu çalışmada maliyet fonksiyonun hesaplanmasına esas olan beton ve donatı maliyetlerinin yanı sıra hazırlık ve montaja kadar süre gelen maliyetlerde ayrıca dikkate alınmıştır. Bu maliyetler, Karayolları Genel Müdürlüğü birim fiyatları dikkate alınarak hesaplanmıştır.

Öngerilmeli kirişin dökümü için gerekli olan kalıp ve tezgâhın hazırlanması, beton imalatının yapılması, üretimi tamamlanmış kirişlerin montajının yapılmasına kadar geçen sürede her tülü malzeme, işçilik, nakliye genel gider dâhil 1m³ maliyeti Tablo 2.3’de sunulmuştur. Öngerilme çeliğinin dōşeneceđi, kılıf borularının montajı ve çeliği dōşenmesi için gerekli her türlü malzeme işçilik nakliye birim fiyatının hesaplanması Tablo 2.4’de sunulmuştur.

Prefabrike betonun maliyeti kiriş sayısı, kiriş en kesit alanı ve kiriş boyuna bağlı olarak aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmıştır.

$$C_{pc} = n_b \cdot A_g \cdot L \cdot UC_{pc} \quad (2.91)$$

Öngerilme donatısının maliyeti kiriş sayısı, kirişte kullanılan donatının toplam en kesit alanı ve kiriş boyuna bağlı olarak aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmıştır.

$$C_{ps} = n_b \cdot A_{ps} \cdot L \cdot UC_{ps} \quad (2.92)$$

Toplam maliyet aşağıda belirtilen bağıntı ile hesaplanmaktadır. Optimizasyon probleminde maliyet fonksiyonun hesaplanmasında beton ve donatıdan en düşük olan maliyet değerleri alınıp, toplanmak sureti ile en ekonomik değerin bulunduğu anlamına gelmemektedir. Bu nedenle işçilik, nakliye, malzeme temini ve montaja kadar geçen sürenin birim maliyeti dikkate alınması halinde gerçek maliyetin bulunduğu düşünülmektedir. Toplam maliyet fonksiyonu aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmaktadır.

$$C_c = C_{pc} + C_{ps} \quad (2.93)$$

Burada; C_{pc} Prefabrike beton maliyeti, C_{ps} Öngerilmeli donatı maliyeti, UC_{pc} Öngerilmeli beton birim fiyatı, UC_{ps} Öngerilmeli donatı birim fiyatını, n_b Öngerilmeli kiriş adedini, A_g öngerilmeli kiriş brüt en kesiti alanı, L Öngerilmeli kiriş boyunu göstermektedir.

2.2.2. Tasarım Değişkenleri

Optimum tasarım probleminde çözüme ulaşmak için dikkate alınması düşünülen 9 adet tasarım değişkeni Tablo 2.5’de verilmektedir.

Tablo 2.5 Tasarım değişkenleri tablosu

S.No	Simge	Tanım
1.	n_b	Öngerilmeli kiriş sayısı
2.	h_b	Kiriş yüksekliği
3.	b_b	Kiriş alt başlık genişliği
4.	b_w	Kiriş gövde genişliği
5.	t_t	Kiriş üst başlık kalınlığı
6.	t_b	Kiriş alt başlık kalınlığı
7.	p_t	Kiriş üst guse yüksekliği
8.	p_b	Kiriş alt guse yüksekliği
9.	n_{ps}	Kiriş de kullanılan öngerilmeli donatı adedi

2.2.3. Tasarım Parametreleri

Optimizasyon problemlerinde tasarıma başlamadan önce tasarım değişkenleri ile birlikte tasarım parametreleri de belirlenir. Tasarım parametreleri optimizasyon süresince sabit kalan ve o yapıya ait özellikleridir. Bu çalışmada kullanılacak olan tasarım parametreleri Tablo 2.6’da sunulmuştur.

Tablo 2.6. Tasarım parametreleri tablosu

Köprü ayak aks aralığı (mt)	L
Köprü tabliye genişliği (mt)	W
Taşıt yolu genişliği (mt)	TY_g
Trafik şerit sayısı (Ad)	N_L
Tabliye kalınlığı (mt)	t_k
Tabliye betonu karakteristik basınç dayanımı (Mpa)	f_{cs}
Öngerilmeli beton karakteristik basınç dayanımı (Mpa)	f_c
Öngerilme çeliği kopma dayanımı (mpa)	f_s
Betonarme çeliği akma dayanımı (mpa)	f_{sy}
Öngerme çeliği elastisite modülü (mpa)	E_s
Öngerilme betonu birim maliyeti(TL/m3)	UC_{pc}
Öngerilme çeliği birim maliyeti (TL/ton)	UC_{ps}
Öngerme donatı (toron) anma çapı (mm)	d_{ps}
Öngerilme kirişleri üst başlıkları arası mesafe (cm)	F
Kamyon yükü sınıfı	$H_{30} - S_{24}$
Kirişe etkileyen diğer zati yükler (kaplama, korkuluk, kaldırım, yaya yükü, cephe elemanı (Kn/mt)	
Yıllık ortalama nem (%)	
Öngerilme donatısı minimum ara mesafesi (yatay-düşey) (mm)	
Kesme donatısı çapı ve aralığı (mm)	
Yaya yükü (kn/mt2)	

2.2.4.Denetimler, Sınırlayıcılar, Koşullar

2.2.4.1 Eğilme Durumu Beton Gerilmeleri ve Emniyet Gerilmelerinin Denetimi

Eğilme durumu için dört farklı yükleme aşamasına göre yapıda oluşacak gerilmelerin sınırlayıcı fonksiyonları verilmektedir [14].

Kirişlerin sadece kendi zati ağırlıklarından kaynaklanan emniyet gerilmeleri sınırlayıcıları,

$\sigma_{ci} \geq \sigma_{b1}$ 1. Denetim kiriş alt ucunda oluşan gerilmenin aktarma sırasındaki basınç emniyet gerilmesinden küçük olması gerekmektedir.

$\sigma_{ti} \geq \sigma_{t1}$ 1. Denetim kiriş üst ucunda oluşan gerilmenin aktarma sırasındaki çekme emniyet gerilmesinden küçük olması gerekmektedir.

Kirisin zati ağırlığına ilave olarak tabliye betonu ağırlığını da taşıdığı aşamada emniyet gerilmeleri sınırlayıcıları,

$\sigma_{tf} \geq \sigma_{b2}$ 2. Denetim kiriş alt ucunda oluşan gerilmenin kullanım yükleri altındaki maksimum kayma gerilmesinden küçük olması gerekmektedir.

$\sigma_{cf} \geq \sigma_{t2}$ 2. Denetim kiriş üst ucunda oluşan gerilmenin kullanım yükleri altındaki basınç emniyet gerilmesinden küçük olması gerekmektedir.

Hareketli yük hariç diğer tüm yüklerin mevcut olduğu kiriş ve tabliye ağırlıklarının prefabrike kesit, diğer tüm yüklerin ise kompozit kesit tarafından taşındığı kabul edilen aşamada emniyet gerilmeleri sınırlayıcıları,

$\sigma_{tf} \geq \sigma_{b3}$ 3. Denetim kiriş alt ucunda oluşan gerilmenin kullanım yükleri altındaki çekme emniyet gerilmesinden küçük olması gerekmektedir.

$\sigma_{cf} \geq \sigma_{t3}$ 3. Denetim kiriş üst ucunda oluşan gerilmenin kullanım yükleri altındaki basınç emniyet gerilmesinden küçük olması gerekmektedir.

$\sigma_{cs} \geq \sigma_{ts3}$ 3. Denetim kompozit kesit kiriş üst ucunda oluşan gerilmenin tabliye betonu basınç emniyet gerilmesinden küçük olması gerekmektedir.

Tüm yüklerin mevcut olduğu, kiriş ve tabliye ağırlıklarının prefabrike kesit, diğer tüm yükler ile birlikte hareketli yüklerin kompozit kesit tarafından taşındığı kabul edilen aşamada emniyet gerilmeleri sınırlayıcıları,

$\sigma_{tf} \geq \sigma_{b4}$ 4. Denetim kiriş alt ucunda oluşan gerilmenin kullanım yükleri altındaki çekme emniyet gerilmesinden küçük olması gerekmektedir.

$\sigma_{cf} \geq \sigma_{t4}$ 4. Denetim kiriş üst ucunda oluşan gerilmenin kullanım yükleri altındaki basınç emniyet gerilmesinden küçük olması gerekmektedir.

$\sigma_{cs} \geq \sigma_{ts4}$ 4. Denetim kompozit kesit kiriş üst ucunda oluşan gerilmenin tabliye betonu basınç emniyet gerilmesinden küçük olması gerekmektedir.

2.2.4.2.Eğilme Taşıma Gücü Çelik Gerilmesi

Eğilme durumu taşıma gücü denetimi, kompozit kesit ve prefabrike kesit için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Dolayısıyla burada da eğilme taşıma gücü sınırlarının ve kesit çatlama momenti değerlerinin aşılp aşılmadığı dikdörtgen, tablalı kompozit kesit için ve prefabrike

kesit için incelenecektir. Bu hesaplamalarda betonun kalitesine bağlı bir katsayı olarak kullanılan β_1 değerinin;

$$\beta_1 = 0.85 \quad , \quad f_c \leq 28 \text{ MP} \quad (2.94)$$

$$\beta_1 = 0.85 - \left(0.05 * \frac{f_c - 28}{7}\right) , f_c' > 28 \text{ MP} \quad (2.95)$$

$$\beta_1 > 0.85 \quad (2.96)$$

koşulunu sağlaması gerekmektedir.

Dikdörtgen ve Tablalı kesitlerde eşdeğer basınç bloğu yüksekliği, tabla yüksekliğinden daha küçüktür;

$$(A_{ps} * f_{suk}) / (0.85 * f_c * b_t) < t_{kk} \quad (2.97)$$

$$(A_{srk} * f_{suk}) / (0.85 * f_c * b_w) < t_{kk} \quad (2.98)$$

Tablalı kesitlerde taşıma gücü kapasitesi, faktörlü momentten büyük olması şartını sağlaması gerekmektedir;

$$M_{uk} < \phi M_{nk} \quad (2.99)$$

Prefabrike kesitlerde eşdeğer basınç bloğu yüksekliği, tabla yüksekliğinden daha küçüktür;

$$(A_{ps} * f_{sup}) / (0.85 * f_c * b_t) < t_{kp} \quad (2.100)$$

$$(A_{srp} * f_{sup}) / (0.85 * f_c * b_w) < t_{kp} \quad (2.101)$$

Prefabrike kesitlerde taşıma gücü kapasitesi, faktörlü momentten büyük olması şartını sağlaması gerekmektedir;

$$M_{up} < \phi M_{np} \quad (2.102)$$

2.2.4.3. Maksimum Donatı Oranı Denetimi

Betonda gevrek kırılmayı önlemek amacıyla maksimum donatı oranı için de bir sınırlandırma getirilmiştir [14]. Maksimum donatı oranı sınırlayıcıları kesit türüne bağlı olarak aşağıdaki bağıntılar ile ifade edilmiştir;

$$\psi_k < 0.36 * \beta_1 \quad (2.103)$$

$$\psi_p < 0.36 * \beta_1 \quad (2.104)$$

2.2.4.4. Minimum Donatı Oranı Denetimi

Kirişte meydana gelen direnme momenti ile çatlama momenti arasındaki farka bağlı olarak minimum donatı oranına sınırlandırma getirilmiştir[14];

$$\phi M_{nk} > 1.2 * M_{crk} \quad (2.105)$$

$$\phi M_{np} > 1.2 * M_{crp} \quad (2.106)$$

2.2.4.5. Kayma Emniyet Gerilmeleri Denetimi;

Kayma gerilmesi sınırlayıcıları aktarma anı ve kullanım yükleri için aşağıdaki bağıntılar ile ifade edilmiştir;

$$\tau_i < \tau_{ip} \quad (2.107)$$

$$\tau_f < \tau_{fk} \quad (2.108)$$

2.2.4.6. Kesme Taşıma Gücü Denetimleri;

Kesme taşıma gücü sınırlayıcısı, beton ve kesme donatısının dayanımına bağlı olarak:

$$V_{ci} > 0.1412 * \sqrt{f_c} * b_w * (d_{pr} + t_k) \quad (2.109)$$

$$V_u > \phi_k * V_c \quad (2.110)$$

formülleri ile kontrol edilir.

Kayma donatısının taşıması gereken minimum kesme kuvveti ise,

$$V_{ss} < 0.664 * b_w * d_{pr} * \sqrt{f_c} \quad (2.111)$$

bağıntısı ile kontrol edilir.

2.2.4.7. Sehim Denetimleri

Tasarımın sehim denetimleri, dört farklı aşamada incelenmiştir. Sehim miktarları için gerekli hesaplamalar ve sınır değerleri Bölüm 2.1.10'da verilmiştir. Buna bağlı olarak yapılan bu çalışmada sehim sınırlayıcıları aşağıdaki bağıntılar ile ifade edildiği gibidir.

$$L/500 \geq \delta_1 \quad (2.112)$$

$$L/500 \geq \delta_2 \quad (2.113)$$

$$L/500 \geq \delta_3 \quad (2.114)$$

$$L/1000 \geq \delta_4 \quad (2.115)$$

2.2.4.8.Geometri Denetimleri

Köprü uygulamalarında kullanılan enkesitin uygulanabilir olması için geometrik olarak bazı sınırlamalar içinde kalması gerekmektedir [15]. Burada DGA’da tasarım için kullanılacak tasarım değişkenleri, belirli sınırlayıcılar içerisinde kalan değer kümeleri baştan seçildiği için tasarımdan önce kontrol edilmesi mümkün olmamaktadır. Dolayısı ile geometri sınırlayıcıları ise sınırlayıcı fonksiyonu olan amaç fonksiyonuna eklenmiştir.

Tasarım sonucunda ulaşılan kiriş alt başlık genişliği, kiriş üst başlık genişliğini aşmamalıdır. Bu durum aşağıdaki bağıntı ile ifade edilmiştir.

$$b_b < b_t \quad (2.116)$$

Kiriş gövde kalınlığı da kiriş alt başlık genişliğinden fazla olmamalıdır. Bu durum için gerekli sınırlayıcı da, aşağıdaki bağıntı ile ifade edilmiştir.

$$b_w < b_b \quad (2.117)$$

Öngerilmeli kirişlerde öngerilme donatıları arasındaki mesafe ve donatıların beton kenarına olan mesafesi ilgili şartnamelere göre 6 cm ~ 12 cm arasında olması gerekmektedir. Tasarım sonucunda bulunan öngerilme donatıları çoğu kez bir sıraya sığmayabilmektedir. Bu durumda öngerilme donatıları iki veya daha fazla sıraya yerleştirilirler. Bu şekilde üst üste sıralanan öngerilme donatılarının alt başlık yüksekliğini aşmaması gerekmektedir. Bunu denetlemek için gerekli sınırlayıcı aşağıdaki bağıntı ile ifade edilmiştir.

$$t_{b,min} < t_b \quad (2.118)$$

Kiriş üst başlık genişliği sınırlandırılmadığı takdirde, tasarım neticesinde büyük değerler alabilmektedir. Burada, üst başlığın gövdeye birleştiği kısımdaki kalınlığının, maruz kaldığı eğilme etkilerini minimum donatı ile karşılayabilmesi kabulü ile bir denetim yapılmaktadır. Böylece üst başlık için hesaplanan minimum kalınlığın optimum tasarım

sonucunda belirlenen kalınlıktan büyük olması için gerekli sınırlayıcı aşağıdaki bağıntı ile verilmektedir [2].

$$(t_t + p_t)_{min} < (t_t + p_t) \quad (2.119)$$

Tasarım sonucunda kirişe ait hiçbir geometrik değerin sıfırın altında olmamasıda denetlenmektedir. Bu durum aşağıdaki bağıntı ile ifade edilmiştir;

$$0 < t_t, p_t, t_b, p_b, b_w, h_b, n_{ps}, n_b \quad (2.120)$$

2.2.4.9.Öngerilmeli Donatı Kontrolü

Yapılan tasarım sonucunda bulunan kılıfsız kablo sayısı kiriş kesitinde kullanılan öngerilme donatısı adedinden küçük olması gerekir. Bu durum aşağıdaki bağıntı ile ifade edilmiştir;

$$N_N < n_{ps} \quad (2.121)$$

2.3.Diferansiyel Gelişim Algoritması İle Optimum Tasarım

Diferansiyel gelişim algoritması, doğadan esinlenerek ortaya çıkan, genetik evrimi model alarak geliştirilen, en iyiye arama yöntemidir. DGA'sı sonucun doğruluğunun kanıtlanabilir olmasının önemsemeden en iyiye yakın çözüm yollarını elde eder. DGA belirli sınırlayıcılar içerisinde muhtemel çözümlerin olduğu bir nesilde çalışır. Bu nesle yeni çözümlerin oluşmasını sağlamak için mutasyon, çaprazlama, karşılaştırma işlemleri uygulanarak daha iyi çözümlerin olduğu bir nesle ulaşmaya çalışılır [2-16]

Aşağıda öngerilmeli önçekim I kesitli beton köprü kirişlerinin DGA' sı ile optimum tasarım problemi açıklanmaktadır.

Yapılan tasarımında emniyet ve maliyet olmak üzere iki önemli kriter göz önünde bulundurularak probleminin tanımlaması yapılacaktır. Optimizasyon yapılırken, amaç fonksiyonu tasarım değişkeni ve sınırlayıcılar göz önünde bulundurulmuştur. Bu değerler kullanılarak bir hata fonksiyonu (e) oluşturulmuştur. Bu işlemde normalizasyonu yapılan maliyet değeri ve uygunluğu sağlanmayan sınırlayıcılar (y) hata fonksiyonu kabul edilmiş ve bu değer minimuma götürülmesi amaçlanmıştır. Hata fonksiyonu sayısı hesaplanırken maliyetinde hata fonksiyonuna dâhil edilmesi optimizasyonun amaçlarından biridir. Bu amacın gerçekleştirilebilmesi için maliyetin koşullar ile eşdeğer kabul edilmesi emniyet ve maliyet bazlı bir optimizasyon gerçekleştirilmemesi için maliyet değeri bir azaltma

katsayısı olan 12000 ‘lik bir oran ile düzenlenmiştir. Bu oran, birden fazla yapılan hesaplama sonucu en uygun olan değer olarak tespit edilmiştir.

$$y = [\text{sınırlayıcı sayısı} - \text{USS}] \quad (128)$$

Burada, USS: Uygunluğu sağlanan sınırlayıcıları gösterir.

$$e = [(maliyet/120000) + y] \quad (2.122)$$

Popülasyon temelli sezgisel bir optimizasyon tekniği olan diferansiyel gelişim algoritması, Rainer Storn ve Kenneth Price tarafından ortaya atılan Chebyshev polinomsal uyum problemini çözme amacı ile geliştirilmiş bir optimizasyon tekniğidir. Genetik algoritmalarda kullanılan mutasyon, çaprazlama ve karşılaştırma işlemleri ayrı ayrı gerçekleştirilir.

Yapılan tasarımda toplamda 9 adet değişkenin optimizasyonu yapılmıştır. İlk aşamada 70 adet çözüm kümesi belirli sınırlayıcılar ile rastgele olarak oluşturulmuştur. Oluşturulan bu çözüm kümeleri amaç fonksiyonuna sokularak, çözüm kümeleri içerisinde en düşük hata fonksiyonu sonucu veren küme belirlenmiştir. Bu başlangıç işlemlerinden sonra DGA’nın ilk aşaması olan mutasyon işlemi yapılmıştır. Bu işlemde en iyi çözüm kümesi ile diğer çözüm kümeleri kullanılarak yeni bir çözüm kümesi elde edilmiştir. Yeni çözüm kümesi,

$$\forall i \leq D: u_{j,i,G+1} = x_{best} + F(x_{j,r_1,G} - x_{j,r_2,G}) \quad (2.123)$$

olarak ifade edilmiştir.

Bu işlem tüm çözüm kümelerine uygulanarak yeni bir nesil yani 70 adet çözüm kümesi üretilmiştir. Sonraki işlemde bu iki nesil kullanılarak çaprazlama evresi gerçekleştirilmektedir. Çaprazlama işleminde farklı çaprazlama oranları kullanılarak en iyi değer bulunması amaçlanmıştır. Bu işlemde çaprazlanacak çözüm kümelerinde bulunan değerler her iterasyonda değiştirilerek çeşitlilik artırılmıştır. Bu şekilde optimum çözümün bulunma ihtimali yükselmiştir. Çaprazlama işlemi, çözüm oluşturacak seçenek sayısının arttırmak ve seçeneklerin çözüm havuzunda farklı yerlerden seçilebilmesi sağlamaktadır. Mutasyon sonucunda oluşan her bir çözüm kümesine ait değişken, CR olasılıkla farklı kromozomundan, $(1 - CR)$ olasılıkla mevcut çözüm kümesinden seçilir. Diferansiyel Gelişim Algoritmasında eşit olasılık yerine CR olasılığı söz konusudur. 0 ile 1 arasında rastgele üretilen sayı CR ’ den küçükse değişken $(n_{j,i,G+1})$ ’den, aksi takdirde mevcut çözüm kümesinden seçilir. Bu işlem formülize edilirse,

$$\text{Eğer } rand [0,1] \leq CR \vee J = jrand \text{ ise } \forall v_{j,i} = u_{j,i,G} \quad (2.124)$$

olarak yazılır.

Çaprazlama işleminden sonra elde edilen çözüm kümeleri (70 adet) başlangıç çözüm kümeleri ile karşılaştırılarak, hata fonksiyonunda en düşük değeri veren çözüm kümeleri bir sonraki iterasyona aktarılmıştır. Karşılaştırma işleminden sonra elde edilen 70 adet çözüm kümesi sonraki iterasyonun başlangıç değerlerini oluşturmaktadır. Bu işlem istenilen iterasyon sayısı kadar kendini tekrar etmektedir. Böylece optimum çözüm kümesinin bulunması amaçlanmıştır.

2.3.1. DGA'nın MATLAB Ortamında Gerçeklenmesi

Algoritmada öncelikle başlangıç popülasyonundaki en iyi kromozom belirli sınırlayıcılar arasında bulunan sonsuz sayıdaki bir çözüm kümesinden seçilir ve ardından tüm popülasyon, istenilen durdurma kriterleri sağlanıncaya kadar mutasyon, çaprazlama ve karşılaştırma işlemlerine tabi tutulur. Durdurma kriteri, iterasyon sayısı olabileceği gibi belirli bir hata değeri de olabilir.

Geliştirilen algoritmanın temel adımları aşağıda adım adım verilmiştir. Ayrıca algoritmanın işleyişi Şekil 2.5'de görülmektedir.

1. Adım: Algoritma kontrol parametrelerinin belirlenmesi;

D, G_{max}, NP, F, CR

2. Adım: Başlangıç popülasyonun oluşturulması.

- NP büyüklüğündeki popülasyonun i. bireyi için D parametre sayısı büyüklüğünde vektörel gösterim oluştur.

3. Adım: Popülasyondaki en iyi bireyin belirlenmesi;

X_{best}

4. Adım: Durdurma kriteri sağlanana kadar mutasyon, çaprazlama ve karşılaştırma işlemleri uygulanır;

5. Adım: Mutasyon.

- r_1, r_2, r_3 değerlerini rastgele (1...NP) tamsayı sınırında birbirlerine ve i değerine eşit olmayacak biçimde seç. –
- Rastgele (1...D) aralığında tamsayı seç.
- Her $j < D$ için aday bireyleri belirle.

- $V_{j,i,G+1} = X_{best} + F * (X_{j,r1,G} - X_{j,r2,G})$

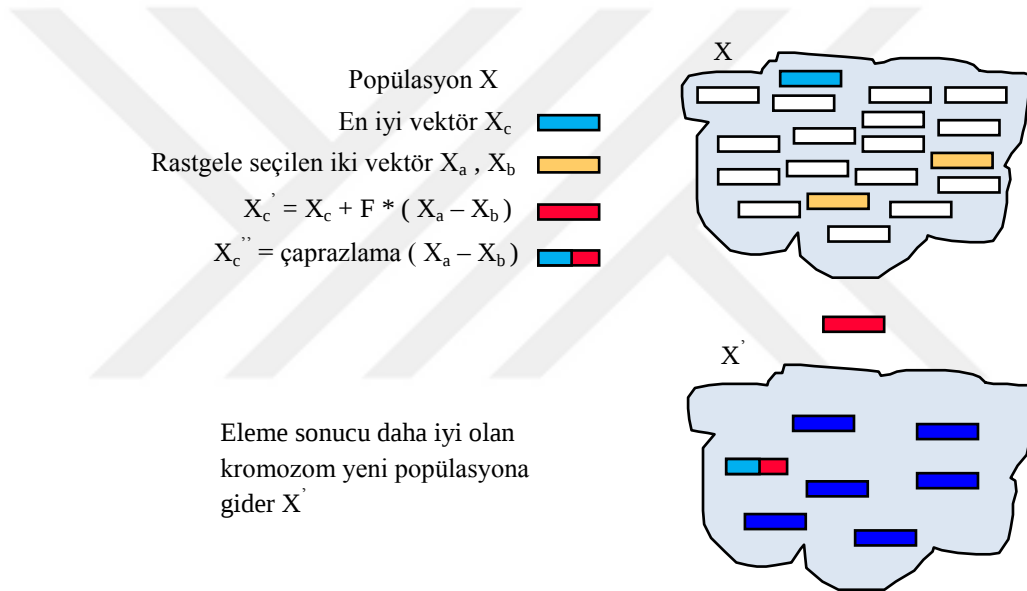
6. Adım: Çaprazlama.

- Her bir değişkeni çaprazlama oranında $X_{j,i}$ veya $V_{j,i}$ bireyinden seçerek $U_{j,G+1}$ (yeni nesil) oluştur.

7. Adım: Karşılaştırma.

- Eğer $f(U_{i,G+1}) \leq f(X_{i,G})$ ise $X_{i,G+1} = U_{i,G+1}$
- Diğer durumlarda $X_{i,G+1} = X_{i,G}$

8. Adım: Kriter sağlanırsa Bitir.

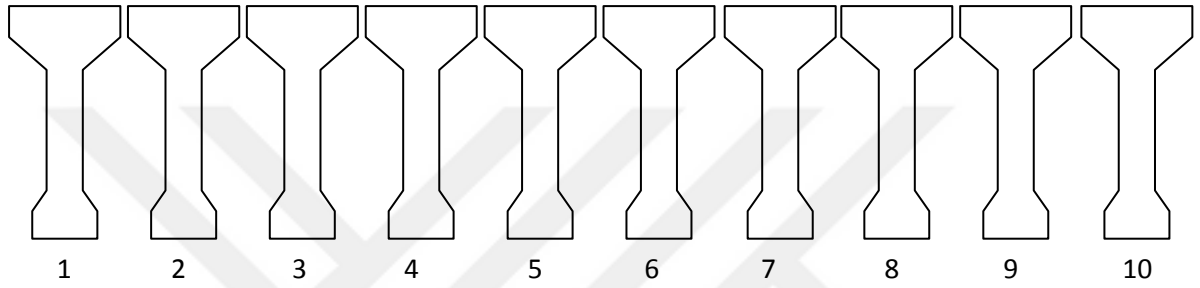


Şekil 2.5 Diferansiye gelişim algoritması şematik gösterimi

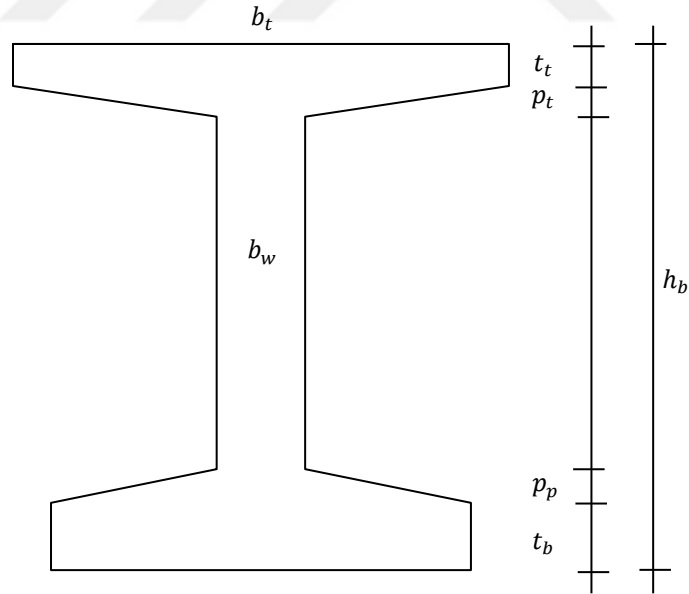
3. SAYISAL UYGULAMALAR

3.1. Edirne Kapı Kavşak Köprüleri-Köprü - 4

Çalışmanın ilk uygulaması olarak Karayolları 17. Bölge Müdürlüğü kontrollüğünde inşaa ettirilen İstanbul 1. Çevreyolu Edirne kavşak köprüleri, köprü -4 uygulama projesi olarak seçilmiştir. Bu köprüye ait uygulamada kullanılan parametreler ve özellikler Şekil 3.1 ve Tablo 3.1’ de verilmiştir.



Şekil 3.1 Köprü üst yapı en kesiti



Şekil 3.1 Öngerilmeli kiriş en kesiti

Uygulama köprüsüne ait parametreler tasarım parametreleri olarak alınmıştır.

Tablo 3.1 Uygulama için tasarım parametreleri tablosu

Tasarım Parametreleri	T. Değerleri
Köprü ayak aks aralığı (mt)	32
Köprü tabliye genişliği (mt)	10
Taşıt yolu genişliği (mt)	8
Trafik şerit sayısı (Ad)	2
Tabliye kalınlığı (mt)	0,20
Tabliye betonu elastisite modülü (mpa)	30250
Öngerilmeli beton karakteristik basınç dayanımı (mpa)	40
Öngerilme çeliği kopma dayanımı (mpa)	1898
Betonarme çeliği akma dayanımı (mpa)	420
Öngerme çeliği elastisite modülü (mpa)	207300
Öngerilme betonu birim maliyeti(TL/m3)	650
Öngerilme çeliği birim maliyeti (TL/ton)	7000
Öngerme donatı (toron) anma çapı (mm)	15.24
Öngerilme kirişleri üst başlıkları arası mesafe (cm)	7.77
Kamyon yükü sınıfı	$H_{30} - S_{24}$
Kirişe etkiyen diğer zati yükler (kaplama, korkuluk, kaldırım, yaya yükü, cephe elemanı (Kn/mt)	5.13
Yıllık ortalama nem (%)	40
Yaya yükü(kn/mt2)	3
Öngerilme donatısı minimum ara mesafesi (yatay-düşey) (mm)	6
Kesme donatısı çapı ve aralığı (mm)	Ø10/10

9 adet tasarım değişkeni için seçilen değer kümesi ve optimum tasarım parametreleri Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2 Diferansiyel gelişim algoritmasına ait tasarım parametreleri

Tasarım Parametreleri	T.Değerleri
Popülasyon büyüklüğü	70
Değişken Sayısı	9
Mutasyon oranı	0.1
Çaprazlama oranı	0.4
Maksimum iterasyon sayısı	100
Hata fonksiyonunda kullanılan sınırlayıcı (sayısı adet)	33

Optimum tasarım probleminde tasarıma ait sınırlayıcılar köprünün yapılacağı yol, vadi özelliklerinin göz önünde bulundurulduğu sınırlayıcı faktörlere ve mesleki deneyimlere göre seçilmiştir. Bu sınırlayıcılar Tablo 3.3’de kullanıcının deneyimlerine bağlı olarak belirlenerek sunulmuştur.

Tablo 3.3 Tasarım sınırlayıcıları değer aralığı

Tasarım Değişkenleri	Değer aralığı
Kiriş sayısı (ad)	$10 < n_b < 17$
Kiriş yüksekliği (cm)	$80 < h_b < 140$
Alt başlık genişliği (cm)	$65 < b_b < 85$
Alt guse yüksekliği (cm)	$15 < b_w < 30$
Alt başlık kalınlığı (cm)	$8 < t_t < 15$
Gövde genişliği (cm)	$10 < t_b < 25$
Üst başlık kalınlığı (cm)	$7 < p_t < 12$
Üst guse yüksekliği (cm)	$7 < p_b < 13$
Öngerilmeli donatı adedi (ad)	$17 < n_{ps} < 37$

3.3.1. Başlangıç Çözüm Kümesinin Oluşturulması

Bu uygulamada başlangıç çözüm kümesi için belirli sınırlayıcılar içerisinde kalan ve içinde sonsuz sayıda değer bulunduran bir çözüm havuzu oluşturulmuştur. Çözüm kümeleri çözüm havuzundan rastgele alınmış ve istenilen durdurma kriteri sağlanıncaya kadar yeni çözüm kümeleri geliştirme işlemlerine tabi tutulmuştur. Bu uygulamada başlangıçta 70 adet çözüm kümesi oluşturulmuştur. Bu çözüm kümeleri içerisinde tasarım değişkeni olarak 9 adet gen bulunmaktadır [Tablo 3.4].

3.3.2. En İyiyi Bulma

Başlangıç çözüm kümesi içerisinde, en iyi kromozomun bulunması için en iyiyi bulma kısmına iletilir. Bu uygulamada 70 adet çözüm kümesi kullanılmıştı, her çözüm kümesinde 9 adet değer (gen) bulunmaktadır. Çözüm kümeleri en iyiyi bulma bileşenine giriş olarak atanırlar. Atanan bu değerler hedef fonksiyonuna uygulanarak en iyi çözüm kümesinin bulunması amaçlanmıştır. Hedef fonksiyonu bu çalışmada Öngerilmeli I kesit beton köprü kirişlerinin hesap ve tasarım esaslarından oluşmaktadır. Çözüm kümeleri hedef fonksiyonuna uygulandıktan sonra sırası ile mutasyon, çaprazlama, karşılaştırma işlemi

uygulanır. Daha sonra karşılaştırma işleminin sonucu değer fonksiyon çıkışları ile eşlenerek hangi çözüm kümesinin en iyi olduğu bulunur[2].

3.3.3. Mutasyon

Mutasyon işleminin uygulanabilmesi için en az 3 farklı çözüm kümesine ihtiyaç vardır. Normal DGA’da bu işlem 3 farklı çözüm kümesinin birden rasgele seçilmesi ile yapılır. Bu uygulamada çözüm kümelerinden birine en iyi çözüm kümesi seçilerek atanmış olup bundan sonraki işlem adımlarında bu şekilde bu çözüm kümesi kullanılmıştır. Diğer 2 çözüm kümesi rasgele olarak seçilmiştir. Mutasyon işlemi aşağıdaki bağıntı ile ifade edilmiştir.

$$n_{j,i,G+1} = x_{best} + F(x_{j,r_1,G} - x_{j,r_2,G}) \quad (3.1)$$

Mutasyonda 2 çözüm kümesinin ($X_{j,r_1,G} - X_{j,r_2,G}$) rasgele bir şekilde seçilmesi için bir rasgele numara üretici kullanılmıştır. Çözüm kümeleri öncelikle bu bileşene sokulmuş ve çıkışta rasgele olarak çıkan 2 çözüm kümesi sırasıyla mutasyon işlemine sokulmuştur[2].

Uygulamada 3.1’e ait yapılan çalışma sonucunda durdurma kriteri olan iterasyon sayısı tamamlandıktan sonraki 70 adet çözüm kümesinin bulunduğu popülasyonun mutasyon sonucu Tablo 3.4’de sunulmuştur.

Tablo 3.4. Mutasyon uygulanmış son iterasyona ait 70 adet çözüm kümesi havuzu

S.No	n_b	h_b	b_b	b_w	t_t	t_b	p_t	p_t	n_{ps}
1	9.019674778	1.254384698	0.506701863	0.283109589	0.040101601	0.195939413	0.067857642	0.090234895	17.90117305
2	9.015500952	1.254399416	0.50604629	0.283125022	0.040034673	0.195952083	0.067853852	0.090246918	17.90124438
3	9.018852991	1.25439944	0.506579499	0.283119433	0.040109737	0.195954995	0.067855971	0.090248339	17.90121095
4	9.011994345	1.254399601	0.505965613	0.283132796	0.039999192	0.195948465	0.067856402	0.090257752	17.90121441
5	9.014779966	1.254412846	0.506035242	0.28313501	0.040037592	0.195953499	0.067856209	0.090247997	17.90124222
6	8.985589095	1.254399737	0.502718178	0.283138951	0.039557648	0.195954755	0.067855573	0.090245096	17.90085461
7	9.017083407	1.254388741	0.506290672	0.283130427	0.040119171	0.195952221	0.067853738	0.090247086	17.90124264
8	9.013613404	1.254400173	0.505985941	0.283139819	0.03998339	0.195953464	0.067857028	0.090247359	17.90123279
9	9.04099862	1.254401264	0.508042774	0.283256818	0.041007879	0.195942027	0.067859227	0.090243556	17.90150428
10	9.015688442	1.254386965	0.506123969	0.28312716	0.040057011	0.195952587	0.067858077	0.090246925	17.90120372
11	9.012623178	1.254410778	0.505922473	0.283142775	0.039972111	0.195953712	0.067859102	0.090252725	17.90115882
12	9.019196419	1.254398522	0.506683109	0.283121105	0.040129285	0.195953368	0.067856981	0.090247719	17.90122555
13	9.011123904	1.254400459	0.505694652	0.283142349	0.039889655	0.19595462	0.067857101	0.090241543	17.9011619
14	9.019693796	1.254398597	0.506727369	0.283106195	0.040119962	0.195941372	0.067857581	0.090234461	17.9012105

15	8.975283257	1.254400929	0.502662156	0.283135008	0.039400397	0.1959564	0.067855366	0.090246002	17.90133094
16	8.998835249	1.254400268	0.505232871	0.283004946	0.03962326	0.19595643	0.067858489	0.090248432	17.90116479
17	9.014699133	1.254386739	0.506210635	0.283132405	0.040020853	0.19594815	0.067858127	0.090247584	17.90116974
18	9.041877685	1.254387755	0.50899354	0.283061686	0.040852648	0.19595181	0.067861157	0.090234627	17.90122441
19	9.014572859	1.254399649	0.506475837	0.283128015	0.040059838	0.195941347	0.06785678	0.090247156	17.90120932
20	9.012525551	1.254399266	0.505999546	0.283135741	0.039954911	0.195951158	0.067857449	0.090249133	17.90121209
21	9.005500154	1.254400491	0.505132426	0.283163984	0.039827575	0.195964617	0.06785647	0.090255028	17.901226
22	9.013620744	1.254410036	0.506045367	0.28313501	0.040001222	0.195950506	0.067858768	0.090234181	17.90110023
23	9.014960807	1.254388009	0.506157774	0.283133048	0.040029252	0.195952133	0.067855258	0.090246395	17.90121097
24	9.013696372	1.254399576	0.506003705	0.283135316	0.040015774	0.195952856	0.067855011	0.090246215	17.90120131
25	9.017311854	1.254399064	0.506429078	0.283115675	0.040101897	0.195952087	0.067855904	0.09024844	17.90117627
26	9.014779628	1.254401294	0.506047811	0.283132507	0.040038497	0.19595288	0.067856039	0.090247197	17.90124823
27	9.014820536	1.2543889	0.506091802	0.283131381	0.040032793	0.195952253	0.067853404	0.090247246	17.90124366
28	9.009612147	1.254400551	0.505468204	0.283154695	0.039946685	0.195965567	0.067856691	0.090259224	17.9011902
29	9.012949189	1.254411257	0.505882208	0.283156207	0.040001616	0.195953096	0.067857283	0.090248066	17.90119743

30	9.014322491	1.254399526	0.506085987	0.283133815	0.040019133	0.195952795	0.067856155	0.09024689	17.90123461
31	9.012157372	1.254400122	0.505690102	0.28314324	0.040006979	0.195952218	0.067855008	0.090247731	17.90118333
32	9.011948933	1.25440032	0.505850845	0.283137487	0.039904855	0.195966039	0.067855664	0.090246662	17.90123262
33	9.008097264	1.254398281	0.506041176	0.282988632	0.040026027	0.195949305	0.067855872	0.090251281	17.90120576
34	8.991447676	1.254413411	0.504646467	0.283019061	0.039814077	0.195954529	0.067858496	0.090229676	17.9013405
35	9.016173919	1.254399276	0.506430698	0.283113145	0.04007392	0.195952702	0.067853311	0.090245863	17.90117067
36	9.014658193	1.254397224	0.506032382	0.28312309	0.040012669	0.195954573	0.067855864	0.090281778	17.90113481
37	9.010817695	1.254411257	0.505751576	0.283138485	0.039966662	0.195953111	0.067857398	0.090257662	17.90120326
38	9.015015296	1.254400048	0.506237122	0.283130978	0.040048646	0.195948094	0.067855349	0.090247627	17.90118508
39	9.014098879	1.254401441	0.505937105	0.283137394	0.040000078	0.195953051	0.067856134	0.090242404	17.90131088
40	8.974187802	1.254401091	0.502676698	0.283144211	0.039385547	0.195957113	0.067857708	0.090246257	17.90129035
41	9.03705412	1.254399484	0.50771842	0.283256988	0.040477785	0.195951274	0.067857924	0.090241971	17.90119866
42	8.993044623	1.254398837	0.50466334	0.283000664	0.039607576	0.195950309	0.067854962	0.090251232	17.90120279
43	9.01285074	1.254412097	0.505836712	0.283151705	0.03999103	0.195956278	0.067857202	0.090243032	17.90120289
44	9.015146006	1.254387954	0.506038544	0.28313465	0.040036671	0.19595226	0.067854187	0.0902466	17.90123971

45	9.014416896	1.25439812	0.506233321	0.283132807	0.040031594	0.195949195	0.067856944	0.090250463	17.90119266
46	9.013062931	1.254399249	0.505832616	0.283119928	0.040006645	0.195950544	0.067850934	0.090248763	17.90116767
47	9.014594579	1.254398426	0.506121335	0.283131423	0.040026161	0.195952792	0.067856059	0.090247205	17.90113416
48	9.015885264	1.254398818	0.505824967	0.283140415	0.040024766	0.195966239	0.067850397	0.090246795	17.90122548
49	9.014402103	1.254400323	0.506048972	0.283132863	0.040015714	0.195952617	0.067856293	0.090248347	17.9012141
50	9.014249183	1.254399454	0.505953826	0.283131026	0.039999676	0.195953267	0.067853493	0.090252061	17.90124013
51	9.013380285	1.254411051	0.505901135	0.283138584	0.039999508	0.195953234	0.06785617	0.090246841	17.90126574
52	9.01425322	1.254387738	0.506150744	0.283132389	0.040006289	0.195955347	0.067858524	0.090245967	17.90124676
53	9.015891755	1.254389065	0.506209711	0.283112909	0.040037449	0.195955363	0.067855473	0.090260145	17.90128285
54	9.013704034	1.254399153	0.505910661	0.283136711	0.039996159	0.195957449	0.067856861	0.090245318	17.90120121
55	9.014693669	1.254388587	0.50621224	0.283134848	0.040043473	0.195952512	0.067858237	0.090241925	17.90116807
56	9.012237671	1.254399306	0.505871847	0.283139885	0.039932211	0.195952703	0.067856005	0.090246097	17.90120442
57	9.015279812	1.254388162	0.50613241	0.283131199	0.040029296	0.195952566	0.067858013	0.090246991	17.90120407
58	9.006035056	1.254400107	0.505712138	0.283012437	0.039965105	0.195953205	0.067854574	0.090244215	17.90116701
59	9.015405407	1.254399259	0.50607998	0.283132969	0.040059196	0.195950013	0.067851133	0.090246688	17.9011381

60	9.03663208	1.254399341	0.507421744	0.283258546	0.040210445	0.195951483	0.067855269	0.090231877	17.90108393
61	9.009464484	1.254399051	0.50558599	0.283137919	0.039925161	0.195960082	0.067857097	0.090251164	17.90120395
62	9.00630011	1.254399598	0.505311337	0.283147955	0.039837186	0.195961712	0.067858404	0.090260041	17.90119603
63	9.014388811	1.254398654	0.506043922	0.283134596	0.040016971	0.195952802	0.067856208	0.090246252	17.90121007
64	9.014928896	1.254399702	0.505831219	0.283123431	0.039995462	0.195962722	0.067857469	0.090251219	17.90119141
65	9.013176267	1.254399095	0.505969454	0.283123757	0.039943621	0.195949894	0.06785782	0.090251654	17.90120468
66	9.014738472	1.254399593	0.506067413	0.283134033	0.040023954	0.195953799	0.067853664	0.090246671	17.90124395
67	9.009908052	1.254399934	0.505471295	0.283147693	0.03991834	0.195951572	0.067857643	0.090242349	17.90118868
68	9.021225393	1.254399832	0.506111051	0.283289677	0.040224076	0.19596105	0.067856861	0.090255144	17.90119863
69	9.014385947	1.254411488	0.505861943	0.283137786	0.040017917	0.195952158	0.067852231	0.090245238	17.90115622
70	9.014235313	1.254398759	0.506183183	0.283134442	0.040028566	0.195951172	0.067857913	0.090245983	17.90118625

3.3.4. Çaprazlama

DGA’da Mutasyon uygulandıktan sonra yeni çözüm kümeleri oluşturulur. Oluşturulan bu çözüm kümelerinin sonuca ulaşabilmesi için topluluğu oluşturan çözüm kümelerinin yenilenmesi. başka bir ifadeyle yeni nesillerin oluşturulması gerekmektedir. Bu yenilenmenin en etkili yöntemi çaprazlama operatörüdür. Mutasyon sonucu oluşturulan fark kromozomu ile bir önceki çözüm kromozomu içerisinde bulunan genler yer değiştirilerek daha iyi çözüm kümelerinin oluşturulması amaçlanmıştır. Bu özüm kümeleri sırasıyla ilk nesilden ve yeni oluşturulan nesilden alınmıştır. Böylece devam eden evrim sürecinde yeni bir nesil meydana gelmektedir. Değiştirilen gen sayısı ile toplam gen sayısı arasındaki oran çaprazlama oranı olarak isimlendirilmektedir. Çaprazlama işlemi normal DGA’da dışarıdan girilen bir oranla yapılmaktadır. Bu çalışmada kullanılan çaprazlama oranı 0.60 , 0.50 gibi oranlar ile birçok kez denenmiş olup en iyi sonuçların verildiği 0.40 oranı. Çaprazlama oranı olarak alınmıştır. Bunun anlamı her bir çözüm kümesinin %40’ı alınıp birbirine eklenerek yeni bir çözüm kümesi oluşturulmuştur. Bu %40’lık kısmı her iterasyonda değişmektedir. Yani ilk iterasyon %40 alındıysa ikinci iterasyonda tekrar %40’ı alınmaktadır. Böylece özüm kümelerindeki çeşitlilik arttırılmaya çalışılmıştır[2].

Uygulamada 3.1’e ait yapılan çalışma sonucunda durdurma kriteri olan iterasyon sayısı tamamlandıktan sonraki 70 adet çözüm kümesinin bulunduğu popölasyonun çaprazlama operatörü sonucu Tablo 3.5’de sunulmuştur.

Tablo 3.5 Çaprazlama uygulanmış son iterasyona ait 70 adet çözüm kümesi havuzu

S.No	n_b	h_b	b_b	b_w	t_t	t_b	p_t	p_t	n_{ps}
1	9.019674778	1.254384698	0.506665982	0.283115422	0.040195347	0.195941269	0.067857642	0.090234895	17.90117305
2	9.015500952	1.254399416	0.50604629	0.283125022	0.040034673	0.195952083	0.067853852	0.090246918	17.90124438
3	9.112161137	1.25439944	0.515435221	0.282828912	0.042146085	0.195954995	0.067826828	0.090248339	17.90121095
4	9.011994345	1.254276755	0.523540091	0.28435513	0.039999192	0.195931572	0.067848073	0.090257752	17.90121441
5	9.016620456	1.254412846	0.506555652	0.283108879	0.040088259	0.195953499	0.067856209	0.090242952	17.90055124
6	8.985589095	1.254274342	0.5102364	0.283138951	0.040563327	0.195954755	0.067855573	0.090246423	17.90107236
7	9.425707194	1.254270407	0.506290672	0.283025872	0.046739308	0.195952221	0.067836547	0.0901987	17.90124264
8	9.013613404	1.254276884	0.505985941	0.283061126	0.03998339	0.195822127	0.067829971	0.090243534	17.90123279
9	9.04099862	1.254273969	0.508042774	0.284371877	0.041007879	0.195942027	0.06783752	0.090243556	17.90150428
10	9.015688442	1.254386965	0.506123969	0.283127497	0.040205615	0.195952587	0.067858077	0.090231312	17.90094591
11	9.012623178	1.254410778	0.505922473	0.283121663	0.039972111	0.195924968	0.067805575	0.090252725	17.90054685
12	9.019196419	1.254273561	0.506825438	0.283121105	0.040433189	0.195953368	0.067849143	0.090247719	17.90094817
13	9.011123904	1.254400459	0.505694652	0.283142349	0.039889655	0.19595462	0.067849103	0.090256523	17.90095022
14	9.024279133	1.254398597	0.507426972	0.283107001	0.040119962	0.195941372	0.067857581	0.090234461	17.89947653
15	8.975283257	1.254400929	0.507374677	0.283135008	0.040311038	0.195931511	0.067846773	0.090246002	17.90133094
16	8.998835249	1.254400268	0.505232871	0.283004946	0.040163181	0.195933932	0.067830313	0.090246594	17.90116479

17	9.014699133	1.254412615	0.506341402	0.283102318	0.040020853	0.19595353	0.067829705	0.090242253	17.90116974
18	9.054827644	1.254274552	0.50899354	0.282823162	0.041686767	0.19595468	0.067861157	0.090283757	17.90122441
19	9.014572859	1.254399649	0.507151432	0.283128015	0.04027821	0.195950478	0.06785678	0.090247156	17.90120932
20	9.065880809	1.254399266	0.512561346	0.283135741	0.039954911	0.195951158	0.067857449	0.090236498	17.90121209
21	9.005500154	1.254400491	0.505132426	0.283163984	0.040024879	0.195953516	0.06785647	0.090242638	17.901226
22	9.013620744	1.254292498	0.506189705	0.283138689	0.040166115	0.195950506	0.067858768	0.090234181	17.90110023
23	9.034484797	1.254283927	0.507840281	0.283133048	0.040029252	0.195942712	0.067855258	0.090246395	17.90099589
24	9.07866842	1.254261871	0.50858844	0.283135316	0.040554889	0.195952856	0.067843784	0.090246215	17.90103759
25	9.034598791	1.254269355	0.506429078	0.283019518	0.040662763	0.195906698	0.067855904	0.090219881	17.90117627
26	9.014779628	1.254401294	0.506338575	0.283132507	0.040038497	0.195947789	0.067836666	0.090247197	17.90092675
27	9.014820536	1.2543889	0.506456691	0.283119206	0.040032793	0.195952253	0.067853404	0.090242502	17.90054608
28	9.009612147	1.25428562	0.50712001	0.283154695	0.040224239	0.195965567	0.067856691	0.090259224	17.9011902
29	9.012949189	1.254411257	0.535579389	0.282396266	0.040001616	0.19591511	0.067857283	0.090248066	17.90075296
30	9.014322491	1.254399526	0.506840147	0.283220234	0.0401598	0.195935704	0.067860535	0.089896901	17.90124113
31	9.012157372	1.254279519	0.505690102	0.283116585	0.040068857	0.195952218	0.067857481	0.090241823	17.90123814

32	9.011948933	1.254275587	0.507940271	0.283137487	0.039904855	0.195918706	0.067855664	0.09028688	17.90094852
33	9.051437713	1.254283992	0.508791625	0.282988632	0.040026027	0.195950373	0.067846953	0.090140578	17.90120576
34	8.991447676	1.254284147	0.506849823	0.283095661	0.039814077	0.195954529	0.067849967	0.090243436	17.90055174
35	9.016173919	1.254280406	0.508854053	0.283113145	0.041081736	0.195947724	0.067832666	0.090245863	17.90117067
36	9.014658193	1.254274079	0.511521851	0.282859864	0.040012669	0.195953439	0.067855864	0.090155588	17.90113481
37	9.040670942	1.254266748	0.507877749	0.283136041	0.040612759	0.195953111	0.067778197	0.090257662	17.90128915
38	9.015015296	1.254400048	0.506337728	0.283108969	0.040120445	0.195948094	0.067855569	0.090247627	17.90118508
39	9.024600095	1.25427729	0.508241194	0.283137394	0.04043261	0.195931348	0.067845206	0.090242404	17.90131088
40	9.041835035	1.254274234	0.502676698	0.282900632	0.040775342	0.195957113	0.067857708	0.090246257	17.90093481
41	9.104917366	1.254287201	0.509676639	0.284356567	0.0407133	0.195951274	0.067847327	0.090241971	17.90091519
42	9.030122768	1.254283989	0.50466334	0.283000664	0.039607576	0.195950309	0.067848105	0.090236539	17.90100309
43	9.01285074	1.254412097	0.505836712	0.283151705	0.03999103	0.195923121	0.067834471	0.090207757	17.90120289
44	9.037830253	1.25439968	0.506038544	0.28313465	0.040036671	0.19595226	0.067858182	0.090226424	17.90090815
45	9.032413854	1.25439812	0.509649282	0.283132807	0.040565852	0.195949195	0.06782975	0.090229533	17.90119266
46	9.013062931	1.254400752	0.505832616	0.283122253	0.040006645	0.195953115	0.067849663	0.090242475	17.90088912

47	9.318102509	1.254398426	0.506121335	0.284166925	0.050924897	0.195952792	0.067856059	0.090213242	17.90397778
48	9.015885264	1.254285107	0.506668487	0.283129237	0.040126073	0.195946895	0.067850397	0.090246795	17.90122548
49	9.180360099	1.254277934	0.506048972	0.283132863	0.040015714	0.195952617	0.067833496	0.090237911	17.9012141
50	9.025062845	1.254285527	0.505953826	0.283101046	0.039999676	0.195953267	0.067848505	0.090252061	17.90124013
51	9.013380285	1.254270118	0.505901135	0.283138584	0.041199465	0.195902412	0.067835856	0.090198104	17.90102771
52	9.01425322	1.254273574	0.512024229	0.283132389	0.040006289	0.195955347	0.067801107	0.090209096	17.90095833
53	9.05217128	1.254279388	0.50983362	0.283112909	0.040037449	0.19594067	0.06782668	0.090260145	17.90097299
54	9.013704034	1.254284523	0.505910661	0.283136711	0.040223605	0.195957449	0.067829587	0.090245318	17.90120121
55	9.034936448	1.254395405	0.50965269	0.283134848	0.040453642	0.195952512	0.067858237	0.090245503	17.90116807
56	9.012237671	1.254284841	0.505871847	0.283090635	0.039932211	0.195948419	0.067856005	0.090246097	17.90120442
57	9.015279812	1.254139463	0.537736761	0.283131199	0.055412375	0.1959553	0.067858013	0.090248761	17.90078345
58	9.006035056	1.254401906	0.509294993	0.283012437	0.040843569	0.19593767	0.067858527	0.090233672	17.90121915
59	9.015559694	1.254399259	0.50607998	0.283141004	0.040059196	0.195950013	0.067858988	0.090245467	17.9011381
60	9.03663208	1.254399341	0.507421744	0.283258546	0.040210445	0.195951483	0.067855269	0.090247173	17.90108393
61	9.016319691	1.25439968	0.506194062	0.283137919	0.040061312	0.195960082	0.067857097	0.090251164	17.90120395

62	9.00630011	1.254285541	0.507985701	0.283147955	0.039837186	0.195961712	0.067858404	0.090189537	17.90119603
63	9.022847891	1.254285461	0.507032835	0.283134596	0.040016971	0.195952802	0.067856208	0.090246252	17.90121007
64	9.07708264	1.254399702	0.512751713	0.282855955	0.039995462	0.195819695	0.067857469	0.090119467	17.90119141
65	9.013176267	1.254284306	0.506915639	0.283093742	0.039943621	0.195954555	0.067824666	0.090251654	17.90120468
66	9.020811997	1.254289158	0.506067413	0.283090769	0.040197624	0.195953799	0.067853664	0.09024323	17.90094468
67	9.020648522	1.254399934	0.506471615	0.283119504	0.040160052	0.195952687	0.067831256	0.090242349	17.90118868
68	9.015260183	1.254389113	0.506111051	0.283134353	0.040224076	0.195924853	0.067855322	0.090106822	17.90119863
69	9.054028887	1.254283682	0.509851505	0.283137786	0.041467798	0.195952158	0.067822056	0.090245238	17.90096629
70	9.02064514	1.254398759	0.506183183	0.283134442	0.040169102	0.195946504	0.067857913	0.090245983	17.90100741

3.3.5. Karşılaştırma

Çaprazlama sonucunda DGA’da yeni nesil oluşturma işlemi sonlanmış ve yeni çözüm kümeleri oluşturulmuştur. Bu kısımda algoritmanın son aşamasını oluşturulan yeni nesil bireyleri ile başlangıçtaki neslin bireyleri karşılaştırılmış ve iyi olan birey yani daha iyi sonuç veren çözüm kümesi bir sonraki nesle aktarılmıştır. Bu işlem gerçekleşirken başlangıçtaki çözüm kümeleri ile işlemler sonucunda oluşturulan çözüm kümeleri sırayla karşılaştırma bileşenine giriş olarak atanmış ve bu çözüm kümeleri içeride hedef fonksiyona uygulanarak sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlara bakılarak iyi olan çözüm kümesi çıkış olarak verilmiştir[2].

Uygulamada 3.1’e ait yapılan çalışma sonucunda durdurma kriteri olan iterasyon sayısı tamamlandıktan sonraki 70 adet çözüm kümesinin bulunduğu popülasyonun eleme sonucu Tablo 3.6’de sunulmuştur.

Tablo 3.6 Eleme uygulanmış son iterasyona ait 70 adet çözüm kümesi havuzu

S.No	n_b	h_b	b_b	b_w	t_t	t_b	p_t	p_t	n_{ps}
1	9.019674778	1.254384698	0.506665982	0.283115422	0.040195347	0.195941269	0.067857642	0.090234895	17.90117305
2	9.015500952	1.254399416	0.50604629	0.283125022	0.040034673	0.195952083	0.067853852	0.090246918	17.90124438
3	9.112161137	1.254275384	0.515435221	0.282828912	0.042146085	0.195829547	0.067826828	0.090158199	17.90102614
4	9.248207531	1.254276755	0.523540091	0.28435513	0.044785239	0.195931572	0.067848073	0.090179294	17.90089456
5	9.016620456	1.254388767	0.506555652	0.283108879	0.040088259	0.195953477	0.067857234	0.090242952	17.90055124
6	9.025873268	1.254274342	0.5102364	0.283074147	0.040563327	0.195819445	0.06783617	0.090246423	17.90107236
7	9.425707194	1.254270407	0.541827035	0.283025872	0.046739308	0.195906673	0.067836547	0.0901987	17.89972446
8	9.046532734	1.254276884	0.509015504	0.283061126	0.04134476	0.195822127	0.067829971	0.090243534	17.90066513
9	9.243671701	1.254273969	0.520983799	0.284371877	0.042217262	0.195918378	0.06783752	0.090071877	17.89987408
10	9.021721299	1.254277691	0.506964209	0.283127497	0.040205615	0.195946797	0.067830775	0.090231312	17.90094591
11	9.024404596	1.254396395	0.506252309	0.283121663	0.040413549	0.195924968	0.067805575	0.090242321	17.90054685
12	9.029149137	1.254273561	0.506825438	0.283060649	0.040433189	0.195947404	0.067849143	0.09023997	17.90094817
13	9.027590063	1.254278389	0.507182847	0.283109459	0.040238586	0.195907115	0.067849103	0.090256523	17.90095022

14	9.024279133	1.254273865	0.507426972	0.283107001	0.040363562	0.19595243	0.06783173	0.09023338	17.89947653
15	9.02140587	1.254276336	0.507374677	0.283128668	0.040311038	0.195931511	0.067846773	0.090224839	17.90107278
16	9.024199647	1.254273631	0.506086346	0.283136254	0.040163181	0.195933932	0.067830313	0.090246594	17.9010171
17	9.024389833	1.254412615	0.506341402	0.283102318	0.040346789	0.19595353	0.067829705	0.090242253	17.9013916
18	9.054827644	1.254274552	0.515662281	0.282823162	0.041686767	0.19595468	0.067821722	0.090283757	17.90134092
19	9.022881831	1.254278002	0.507151432	0.283103305	0.04027821	0.195950478	0.067828864	0.090230254	17.90097645
20	9.065880809	1.254274958	0.512561346	0.282980747	0.041210176	0.195953506	0.067844534	0.090236498	17.9011443
21	9.014729633	1.254400276	0.505950617	0.283136899	0.040024879	0.195953516	0.067858588	0.090242638	17.90124762
22	9.021212955	1.254292498	0.506189705	0.283138689	0.040166115	0.195954985	0.06783112	0.090185688	17.90054733
23	9.034484797	1.254283927	0.507840281	0.283033704	0.040545051	0.195942712	0.067828258	0.090186986	17.90099589
24	9.07866842	1.254261871	0.50858844	0.284188731	0.040554889	0.195906187	0.067843784	0.09020651	17.90103759
25	9.034598791	1.254269355	0.509565174	0.283019518	0.040662763	0.195906698	0.067835751	0.090219881	17.90088448
26	9.014779628	1.254401294	0.506338575	0.283132507	0.040038497	0.195947789	0.067836666	0.090247197	17.90092675
27	9.016661604	1.254395931	0.506456691	0.283119206	0.040067927	0.195951876	0.067857328	0.090242502	17.90054608
28	9.025329418	1.25428562	0.50712001	0.283103574	0.040224239	0.195924637	0.067848601	0.09024403	17.90104811

29	9.299126476	1.254278173	0.535579389	0.282396266	0.048741794	0.19591511	0.067855199	0.090116854	17.90075296
30	9.014093495	1.254412305	0.506840147	0.283220234	0.0401598	0.195935704	0.067860535	0.089896901	17.90124113
31	9.021228204	1.254279519	0.506076532	0.283116585	0.040068857	0.195954084	0.067857481	0.090241823	17.90123814
32	9.031107263	1.254275587	0.507940271	0.28296621	0.040319714	0.195918706	0.067848918	0.09028688	17.90094852
33	9.051437713	1.254283992	0.508791625	0.283098403	0.040563392	0.195950373	0.067846953	0.090140578	17.90094486
34	9.018637347	1.254284147	0.506849823	0.283095661	0.040153764	0.195944524	0.067849967	0.090243436	17.90055174
35	9.043399558	1.254280406	0.508854053	0.283070896	0.041081736	0.195947724	0.067832666	0.090242075	17.90093965
36	9.048219242	1.254274079	0.511521851	0.282859864	0.040903326	0.195953439	0.067832311	0.090155588	17.90094682
37	9.040670942	1.254266748	0.507877749	0.283136041	0.040612759	0.195953872	0.067778197	0.090242643	17.90128915
38	9.020311565	1.254279986	0.506337728	0.283108969	0.040120445	0.195953599	0.06785569	0.090227814	17.90102518
39	9.024600095	1.25427729	0.508241194	0.28308605	0.04043261	0.195931348	0.067845206	0.09026167	17.90102259
40	9.041835035	1.254274234	0.509480084	0.282900632	0.040775342	0.195915978	0.067844102	0.090256352	17.90093481
41	9.104917366	1.254287201	0.509676639	0.284356567	0.0407133	0.195950891	0.067847327	0.090215272	17.90091519
42	9.030122768	1.254283989	0.507485306	0.282921191	0.040213853	0.195950527	0.067848105	0.090236539	17.90100309
43	9.32264882	1.25428233	0.541266816	0.282986443	0.0451668	0.195923121	0.067834471	0.090207757	17.9044878

44	9.037830253	1.25439968	0.508534465	0.283264639	0.040545332	0.195947489	0.067858182	0.090226424	17.90090815
45	9.032413854	1.254397259	0.509649282	0.282926098	0.040565852	0.195952574	0.06782975	0.090229533	17.9009164
46	9.015702621	1.254400752	0.506374043	0.283122253	0.040055125	0.195953115	0.067849663	0.090242475	17.90088912
47	9.318102509	1.254296258	0.529653042	0.284166925	0.050924897	0.195832985	0.067857006	0.090213242	17.90397778
48	9.021112797	1.254285107	0.506668487	0.283129237	0.040126073	0.195946895	0.067849621	0.09023768	17.90101119
49	9.180360099	1.254277934	0.515937413	0.284383427	0.044188611	0.195912082	0.067833496	0.090237911	17.90097446
50	9.025062845	1.254285527	0.506909848	0.283101046	0.040156045	0.195947187	0.067848505	0.090240625	17.90095162
51	9.06275101	1.254270118	0.510686798	0.282865846	0.041199465	0.195902412	0.067835856	0.090198104	17.90102771
52	9.057243845	1.254273574	0.512024229	0.2829218	0.04089509	0.195941639	0.067801107	0.090209096	17.90095833
53	9.05217128	1.254279388	0.50983362	0.282940997	0.041044341	0.19594067	0.06782668	0.090249414	17.90097299
54	9.023107709	1.254284523	0.506151162	0.283126504	0.040223605	0.195947756	0.067829587	0.090236745	17.90124821
55	9.034936448	1.254395405	0.50965269	0.28295827	0.040453642	0.19593934	0.067851895	0.090245503	17.90123291
56	9.024657619	1.254284841	0.507657802	0.283090635	0.040222976	0.195948419	0.067856441	0.090250498	17.90058441
57	9.294356205	1.254139463	0.537736761	0.284336041	0.055412375	0.1959553	0.067319415	0.090248761	17.90078345
58	9.049612003	1.254401906	0.509294993	0.283220936	0.040843569	0.19593767	0.067858527	0.090233672	17.90121915

59	9.015559694	1.254400786	0.505699069	0.283141004	0.040031784	0.195953522	0.067858988	0.090245467	17.90093945
60	9.014405497	1.254399577	0.506060832	0.283134225	0.040019823	0.195952796	0.067856195	0.090247173	17.9012038
61	9.016319691	1.25439968	0.506194062	0.283131305	0.040061312	0.195949492	0.067830324	0.090242453	17.90094893
62	9.023530243	1.254285541	0.507985701	0.283125732	0.040396551	0.195949847	0.067851681	0.090189537	17.90059002
63	9.022847891	1.254285461	0.507032835	0.283089683	0.040237122	0.195948691	0.067829846	0.090241989	17.9010795
64	9.07708264	1.254263826	0.512751713	0.282855955	0.041164572	0.195819695	0.067844179	0.090119467	17.9010841
65	9.021967099	1.254284306	0.506915639	0.283093742	0.040195078	0.195954555	0.067824666	0.090238418	17.90095332
66	9.020811997	1.254289158	0.506067413	0.283090769	0.040197624	0.195953799	0.067853664	0.09024323	17.90094468
67	9.020648522	1.254395445	0.506471615	0.283119504	0.040160052	0.195952687	0.067831256	0.09024202	17.90094728
68	9.015260183	1.254389113	0.505996512	0.283134353	0.040037594	0.195924853	0.067855322	0.090106822	17.90021252
69	9.054028887	1.254283682	0.509851505	0.283057455	0.041467798	0.195936745	0.067822056	0.090241988	17.90096629
70	9.02064514	1.254398759	0.506183183	0.283134442	0.040169102	0.195946504	0.067857913	0.090245983	17.90100741

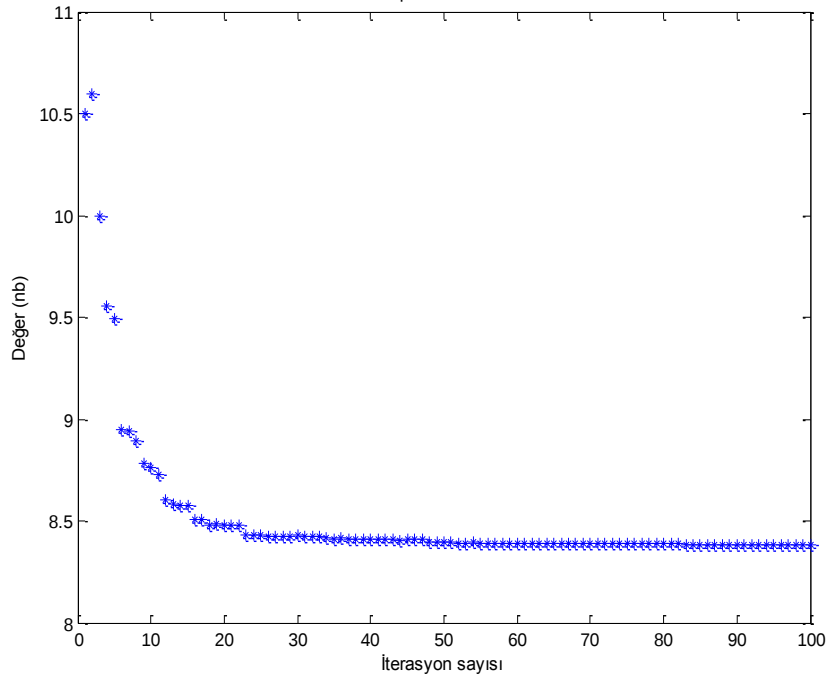
İstenilen parametreler girildikten sonra, algoritma ilk olarak rastgele ürettiği çözüm kümelerinden en iyi çözüm kümesini bulmakta ve sırayla mutasyon, çaprazlama ve karşılaştırma işlemlerine tabi tutulmaktadır. Bu işlemler sonucunda elde edilen çözüm kümeleri bir sonraki iterasyonun başlangıç çözüm kümelerini oluşturmaktadır. Bu aşamalar, kullanıcı tarafından belirlenen durdurma kriterleri sağlanıncaya kadar devam etmektedir.

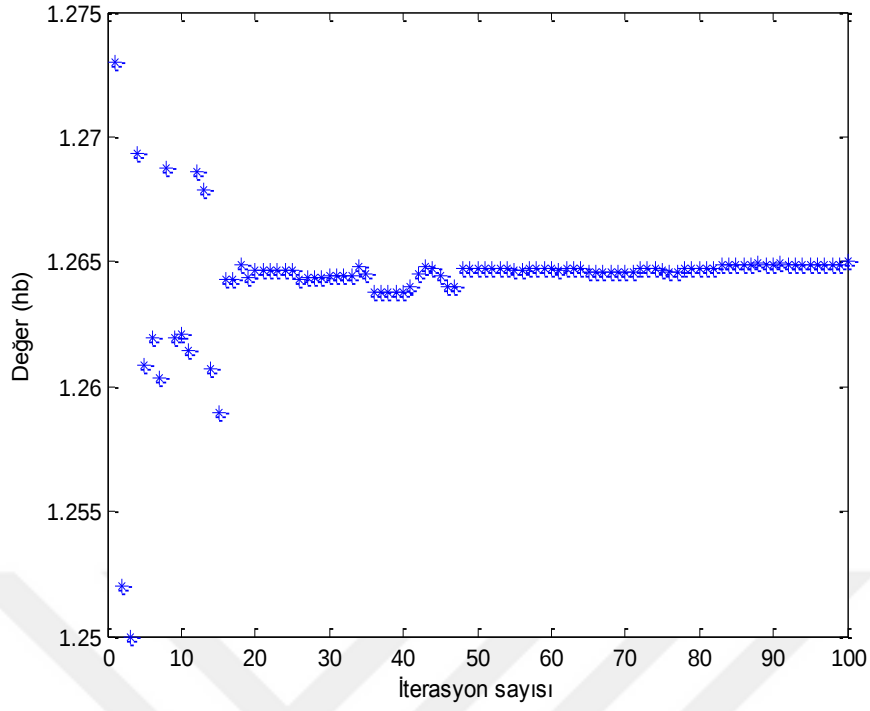


Tablo 3.7 Tasarım sonucu ile uygulama projesinin karşılaştırılması

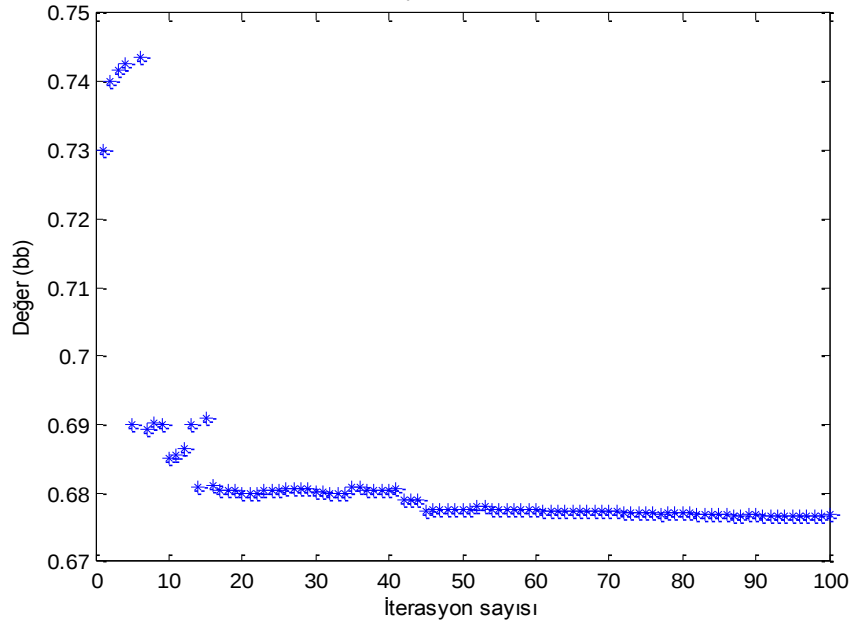
	n_b (ad.)	h_b (cm)	b_b (cm)	b_w (cm)	t_t (cm)	t_b (cm)	p_t (cm)	p_b (cm)	n_{ps} (ad)	Maliyet (TL)
Bulunan Sonuçlar	8.38	126.50	67.38	29.54	7.71	18.59	5.72	6.05	18.05	131.970.00
Uygulama Projesi 1.Çevre Edirnekapı Kavşak Köprüleri	10	125	75	20	10.7	16	7.3	8	25	158.215.00

Tablo 3.7.'den de anlaşılacağı üzere, uygulama projesinde kullanılan kesit ölçüleri ile optimizasyon işlemi sonucunda elde edilen kesit ölçüleri arasındaki farklılıklar gözlenmiştir. Yapılan tasarım neticesinde bulunan optimum çözüme ait maliyetin 131.970.00 TL olduğu uygulama projesi maliyetinin 158.215.00 TL olduğu görülmektedir. Tasarımda kullanılan birim fiyatlar, uygulama projesinde kullanılan birim fiyatları ile aynı alınmıştır. Optimum tasarım sonucunda hesaplanan maliyetin uygulama projesi maliyetine göre %16.58 oranında azaldığı görülmektedir. Bu tasarım sonucunda iterasyon sayısına bağlı olarak tasarım parametrelerinin (n_b , h_b , b_b , b_w , t_t , t_b , p_t , p_b , n_{ps}) değişimini gösteren değerler ve bu değerlerin nötralizasyonu Şekil 3.2-3.11' de görülmektedir.

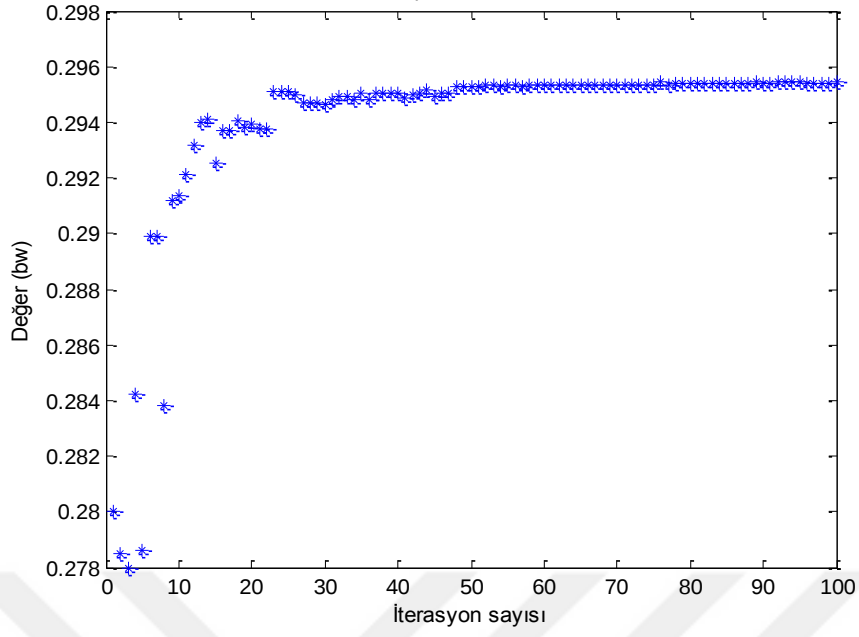
**Şekil 3.2** Öngerilmeli giriş sayısının iterasyon sayısına bağlı olarak değişimi



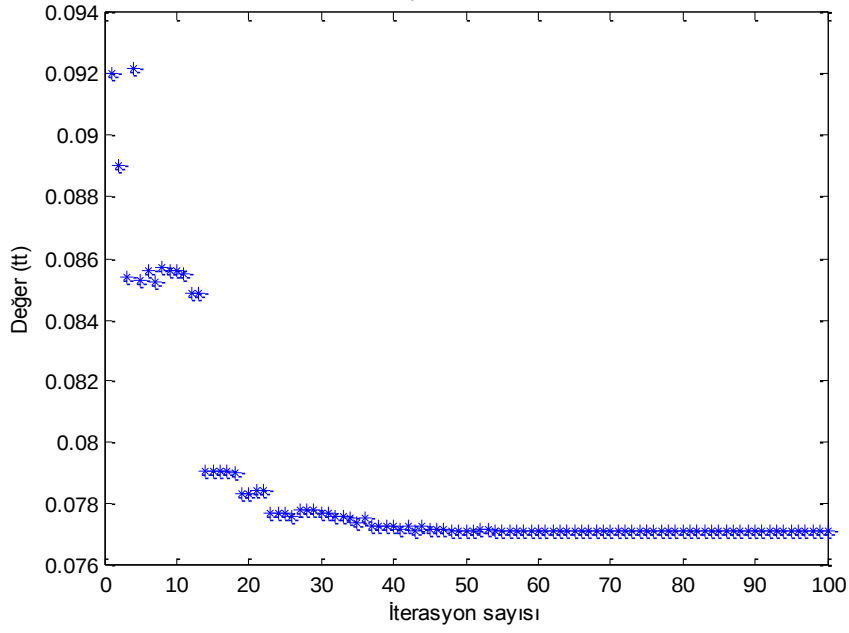
Şekil 3.3 Öngerilmeli kiriş yüksekliğinin itarasyon sayısına bağlı olarak değişimi



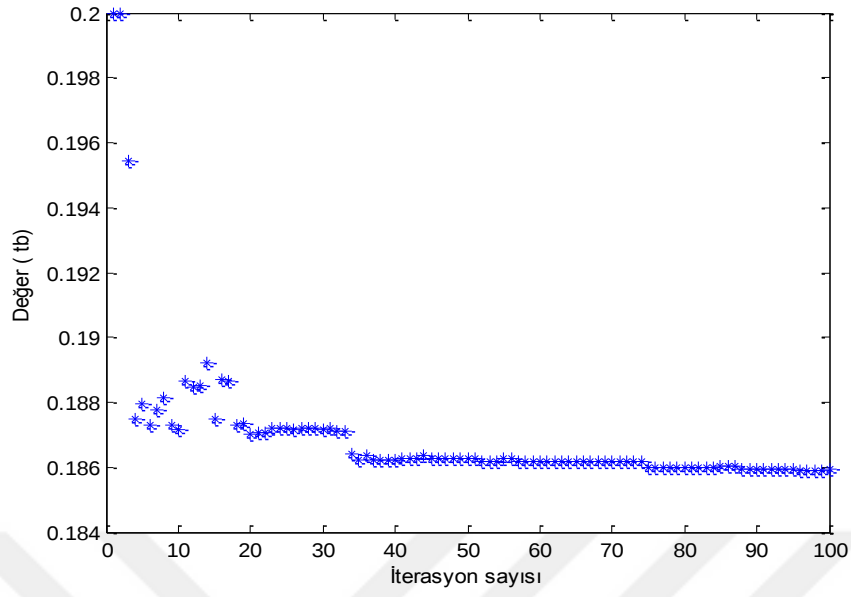
Şekil 3.4 Öngerilmeli kiriş alt başlık genişliğinin itarasyon sayısına bağlı olarak değişimi



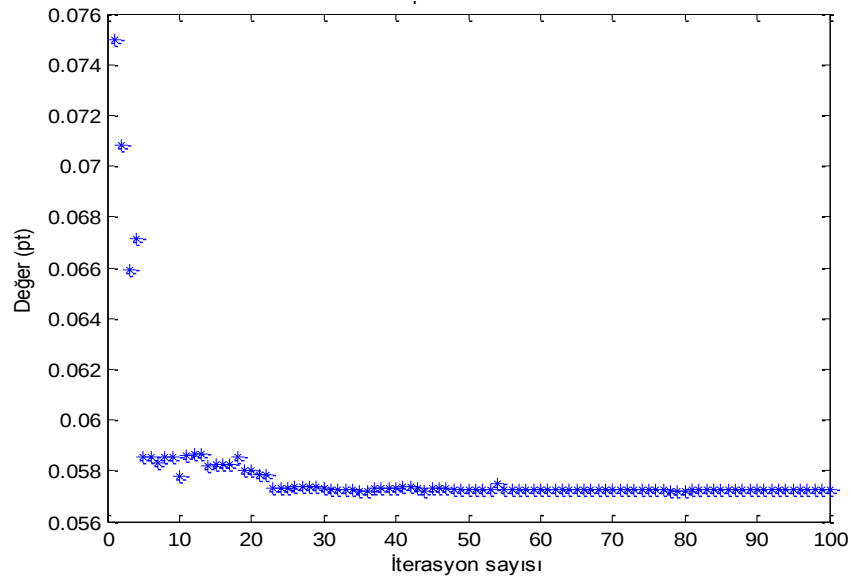
Şekil 3.5 Öngerilmeli kiriş gövde kalınlığının itarasyon sayısına bağlı olarak değişimi



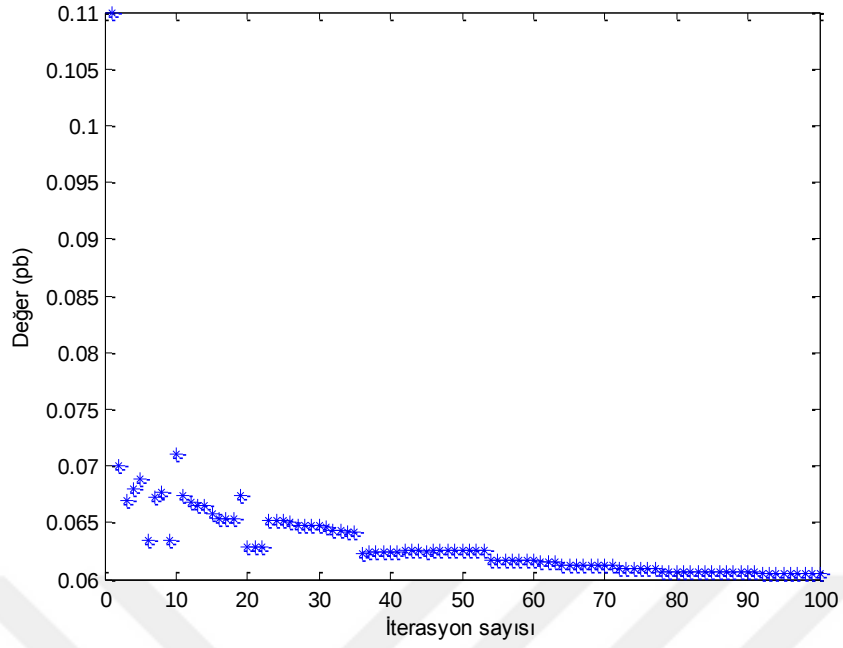
Şekil 3.6 Öngerilmeli kiriş üst başlık kalınlığının itarasyon sayısına bağlı olarak değişimi



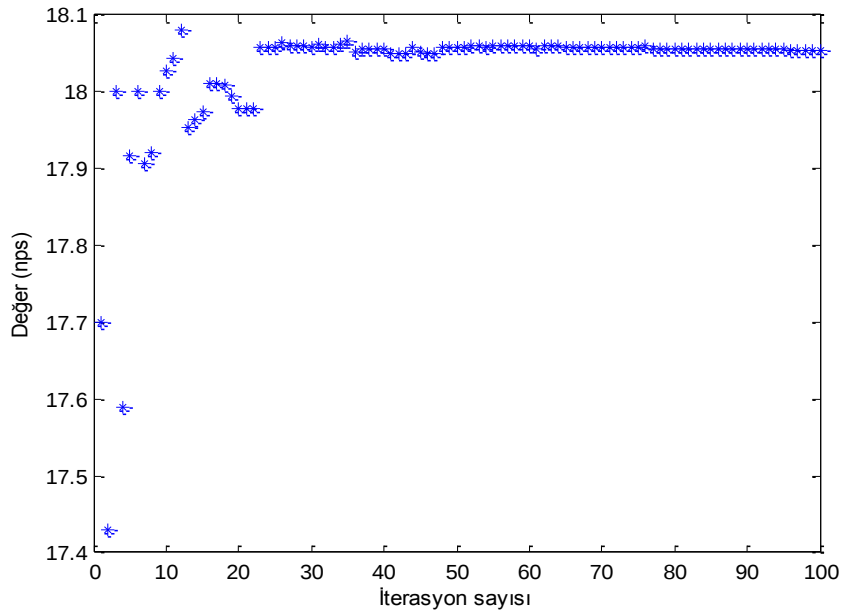
Şekil 3.7 Önerilmeli kiriş alt başlık kalınlığının itarasyon sayısına bağlı olarak değişimi



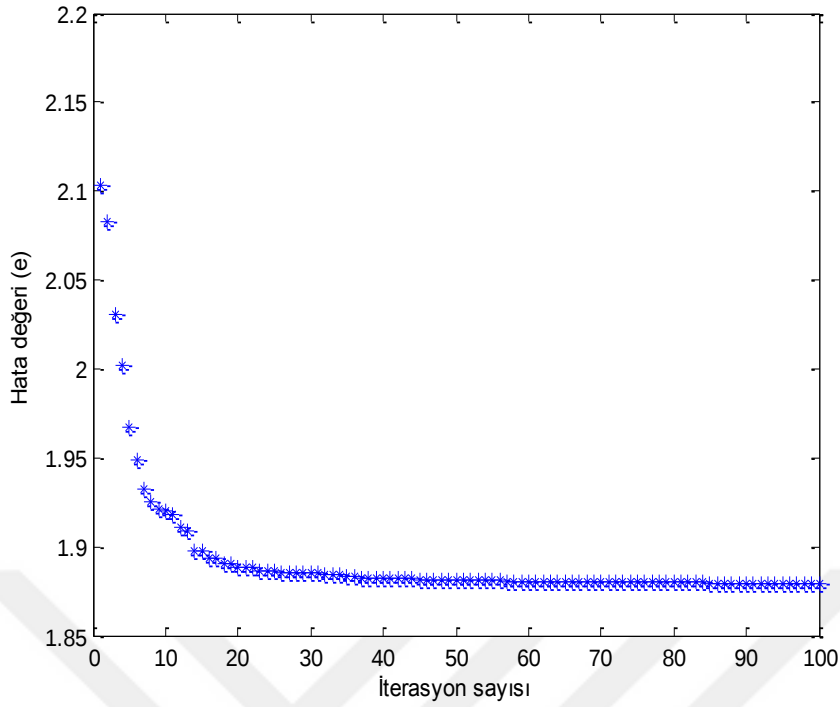
Şekil 3.8 Önerilmeli kiriş üst guse yüksekliğinin itarasyon sayısına bağlı olarak değişimi



Şekil 3.9 Öngerilmeli giriş alt guse yüksekliğinin itarasyon sayısına bağlı olarak değişimi



Şekil 3.10 Öngerilmeli giriş öngerilme donatı sayısının itarasyon sayısına bağlı olarak değişimi

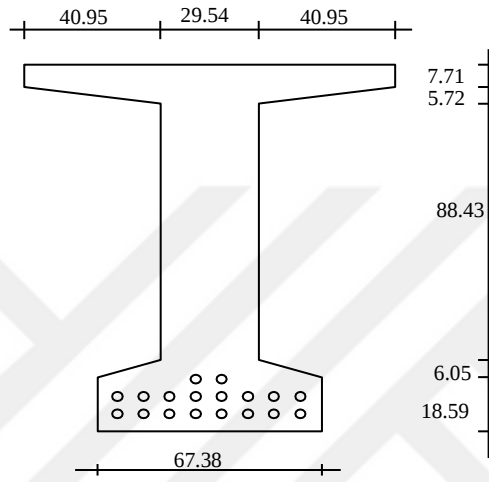
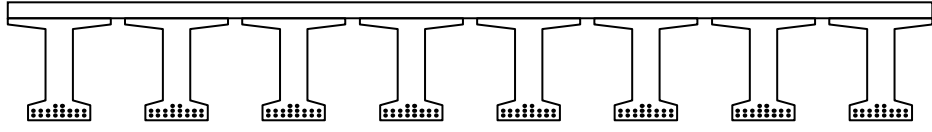


Şekil 3.11 Hata değerinin iterasyon sayısına bağlı olarak değişimi

Diferansiyel gelişim algoritmasının optimum çözüme yakınsama performansının daha iyi anlaşılması amacıyla hata değerinin (e) iterasyon sayısına bağlı değişimini gösteren grafik Şekil 3.11’ de verilmektedir.

Bu grafik incelendiğinde hata değerinin başlangıç nesli çözüm kümesinde 2’ye yakın olduğu 10. İterasyonda 0.8’e kadar azaldığı ve 20. iterasyonda sonra sabit kaldığı görülmektedir. Dolayısıyla ilerleyen iterasyon sayısınca hata değerinin azalan bir eğri içerisine girmesi, diferansiyel gelişim algoritmasının daha iyi çözümleri oluşturma yeteneğinin yüksek olduğunu göstermektedir.

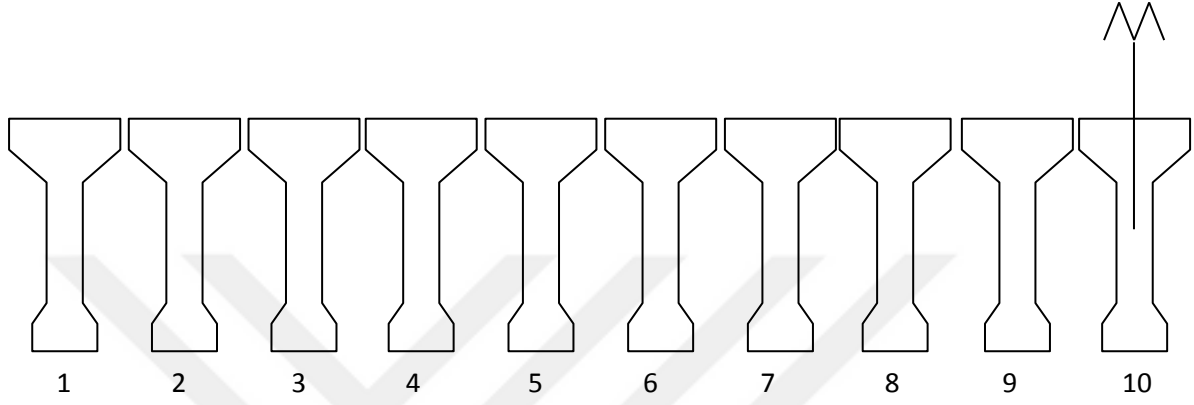
Bu tasarım neticesinde yapılan optimum çözüme ait köprü üst yapı en kesiti ve önerilmeli giriş en kesiti Şekil 3.12’de verilmiştir.



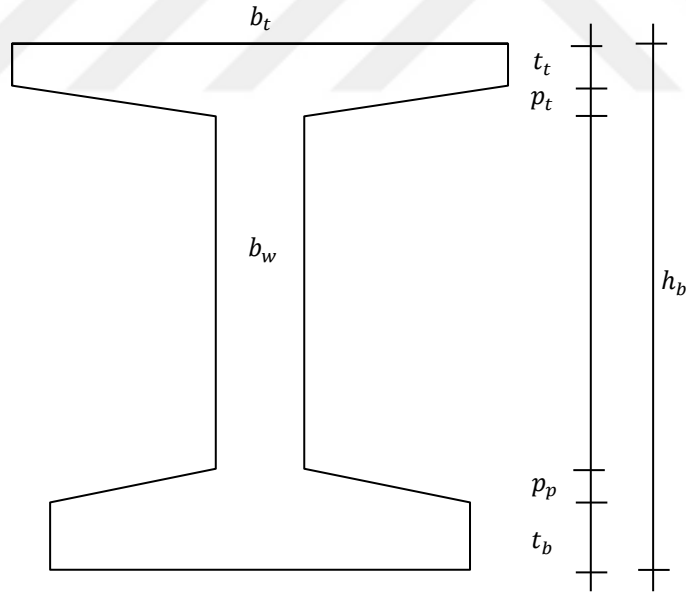
Şekil 3.12 Uygulama - 1'in tasarımına ait köprü üst yapı ve önerilmeli kiriş enkesti

3.2.Turgut Özal Tıp Merkezi Kavşak Köprüsü

Çalışmanın ikinci uygulaması olarak karayolları 8. Bölge müdürlüğü kontrollüğünde inşaa ettirilen Elazığ-Malatya karayolundaki Turgut Özal Tıp Merkezi Kavşak Köprüsü uygulama projesi olarak seçilmiştir. Bu köprüye ait uygulamada kullanılan parametreler ve özellikler Şekil 3.13 ve Tablo 3.8’ de verilmiştir.



Şekil 3.13 Köprü üst yapı en kesiti



Şekil 3.13 Öngerilmeli Kiriş En Kesiti

Uygulama köprüsüne ait parametreler tasarım parametreleri olarak alınmıştır.

Tablo 3.8 Uygulama için tasarım parametreleri tablosu

Tasarım Parametreleri	T.Değerleri
Köprü ayak aks aralığı (mt)	23.5
Köprü tabliye genişliği (mt)	16.5
Taşıt yolu genişliği (mt)	6.25
Trafik şerit sayısı (Ad)	2
Tabliye kalınlığı (mt)	0.25
Tabliye betonu elastisite modülü (mpa)	26970
Öngerilmeli beton karakteristik basınç dayanımı (mpa)	45
Öngerilme çeliği kopma dayanımı (mpa)	1898
Betonarme çeliği akma dayanımı (mpa)	420
Öngerilme çeliği elastisite modülü (mpa)	196860
Öngerilme betonu birim maliyeti(TL/m3)	650
Öngerilme çeliği birim maliyeti (TL/ton)	11.141.31
Öngerilme donatı (toron) anma çapı (mm)	15.24
Öngerilme kirişleri üst başlıkları arası mesafe (cm)	7.77
Kamyon yükü sınıfı	H ₃₀ -S ₂₄
Kirişe etkileyen diğer zati yükler (kaplama, korkuluk, kaldırım, yaya yükü, cephe elemanı (Kn/mt)	2.875
Yıllık ortalama nem (%)	60
Yaya yükü(kn/mt2)	2.85
Öngerilme donatısı minimum ara mesafesi (yatay-düşey) (mm)	6
Kesme donatısı çapı ve aralığı (mm)	Ø10/10

9 adet tasarım değişkeni için seçilen değer kümesi ve optimum tasarım parametreleri Tablo 3.9’da belirtildiği gibidir.

Tablo 3.9 Diferansiyel gelişim algoritmasına ait tasarım parametreleri

Tasarım Parametreleri	T.Değerleri
Popülasyon büyüklüğü	70
Değişken Sayısı	9
Mutasyon oranı	0.1
Çaprazlama oranı	0.4
Maksimum iterasyon sayısı	100
Hata fonksiyonunda kullanılan sınırlayıcı (sayısı adet)	33

Optimum tasarım probleminde tasarıma ait sınırlayıcılar köprünün yapılacağı yol vadi özelliklerinin göz önünde bulundurulduğu sınırlayıcı faktörlere ve mesleki deneyimlere göre seçilmiştir. Bu sınırlayıcılar Tablo 3.10’da sunulmuştur.

Tablo 3.10 Tasarım sınırlayıcıları değer aralığı

Tasarım Değişkenleri	Değer aralığı
Kiriş sayısı (ad)	$15 < n_b < 22$
Kiriş yüksekliği (cm)	$50 < h_b < 100$
Alt başlık genişliği (cm)	$30 < b_b < 105$
Alt guse yüksekliği (cm)	$10 < b_w < 35$
Alt başlık kalınlığı (cm)	$8 < t_t < 25$
Gövde genişliği (cm)	$15 < t_b < 35$
Üst başlık kalınlığı (cm)	$5 < p_t < 25$
Üst guse yüksekliği (cm)	$5 < p_b < 25$
Öngerilmeli donatı adedi (ad)	$15 < n_{ps} < 25$

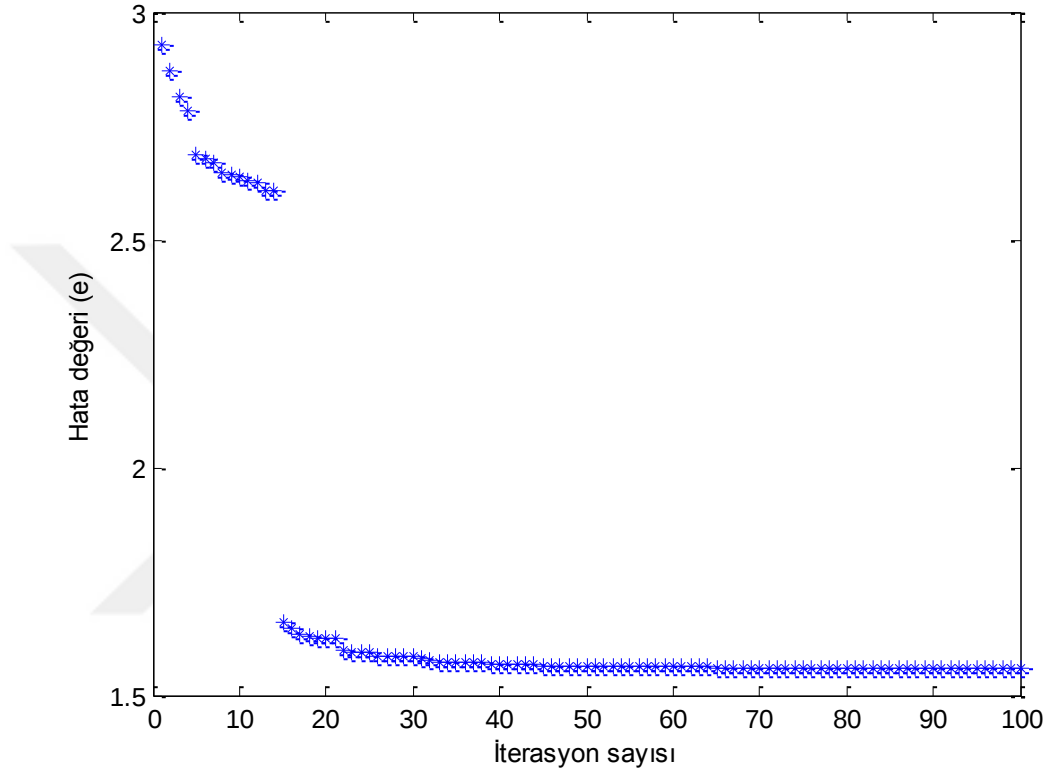
Tablo 3.11 Tasarım sonucu ile uygulama projesinin karşılaştırılması

	n_b (ad.)	h_b (cm)	b_b (cm)	b_w (cm)	t_t (cm)	t_b (cm)	p_t (cm)	p_b (cm)	n_{ps} (ad)	Maliyet (TL)
Bulunan Sonuçlar	15.69	80.64	48.17	31.82	5.00	21.98	3.40	14.25	14.28	139.040,00
Uygulama Projesi Turgut Özel Tıp Merkezi Kavşak Köprüsü	19	90	50	15	10	15	7.5	7.5	15	157.403,07

Tablo 3.11.’den de anlaşılacağı üzere uygulama projesinde kullanılan kesit ölçüleri ile optimizasyon işlemi sonucunda elde edilen kesit ölçüleri arasındaki farklılıklar gözlenmiştir. Çözüm kümesinde bulunan değerlerin belirli sınırlayıcılar içerisinde sonsuz sayıda değer içerisinden seçilmesi sonucun kalitesini o oranda arttırdığı gibi elde edilen sonuçların uygulama projesine göre daha hassas seçildiği görülmektedir. Elde edilen bu

farklılık değerleri sonucunda hesaplanan maliyetin. uygulama projesi maliyetine göre %11.66 oranında düşürdüğü görülmektedir

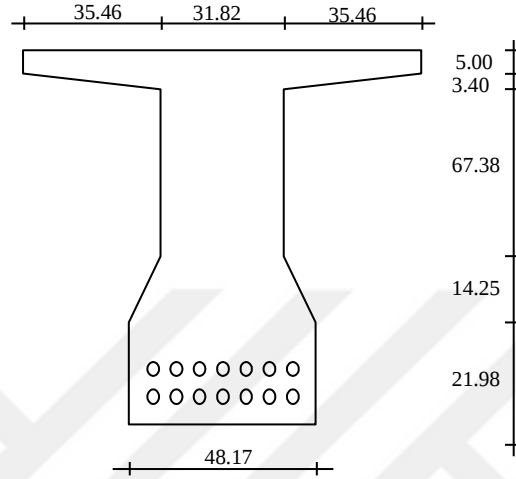
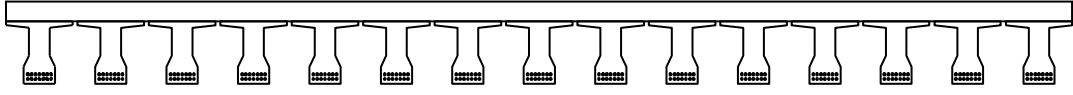
Diferansiyel gelişim algoritmasının optimum çözüme yakınsama performansının gösteren grafik Şekil 3.14 de sunulmuştur.



Şekil 3.14 Hata değerinin iterasyon sayısına bağlı olarak değişimi

Bu grafik incelendiğinde hata değerinin başlangıç nesli çözüm kümesinde 2.6'ya yakın olduğu 10. İterasyonda 2.3'e kadar azaldığı ve 20. iterasyonda sonra 1.4'de sabit kaldığı görülmektedir. Dolayısıyla ilerleyen iterasyon sayısınca hata değerinin azalan bir eğri içerisine girmesi. Diferansiyel gelişim algoritmasının daha iyi çözümleri oluşturma yeteneğinin yüksek olduğunu göstermektedir.

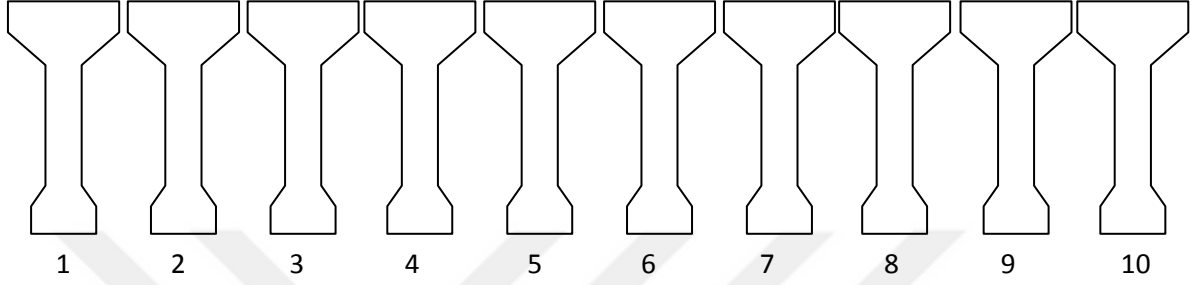
Bu tasarım neticesinde yapılan optimum çözüme ait köprü üst yapı en kesiti ve öngerilmeli giriş en kesiti şekil 3.15'de verilmiştir.



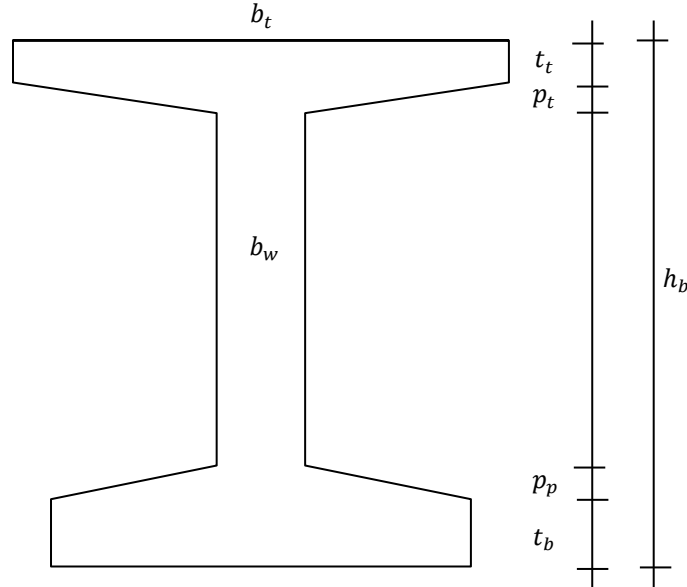
Şekil 3.15 Uygulama - 2'nin tasarımına köprü üst yapı ve önerilmeli giriş enkesti

3.3. O-1 Otoyolu Km: 17+088 Üstgeçit Köprüsü

Çalışmanın üçüncü uygulaması olarak İstanbul Büyükşehir Belediyesi kontrollüğünde inşaa ettirilen O-1 otoyolu km 17+088 üst geçit köprüsü uygulama projesi olarak seçilmiştir. Bu köprüye ait uygulamada kullanılan parametreler ve özellikler Şekil 3.16 ve Tablo 3.12’ de verilmiştir.



Şekil 3.16 Köprü üst yapı enkesiti



Şekil 3.17 Öngerilmeli kiriş enkesiti

Uygulama köprüsüne ait parametreler tasarım parametreleri olarak alınmıştır.

Tablo 3.12 Uygulama için tasarım parametreleri tablosu

Tasarım Parametreleri	T.Değişkenleri
Köprü ayak aks aralığı (mt)	14.725
Köprü tabliye genişliği (mt)	9.00
Taşıt yolu genişliği (mt)	7.00
Trafik şerit sayısı (Ad)	2
Tabliye kalınlığı (mt)	0.25
Tabliye betonu elastisite modülü (mpa)	30250
Öngerilmeli beton karakteristik basınç dayanımı (mpa)	40
Öngerilme çeliği kopma dayanımı (mpa)	1898
Betonarme çeliği akma dayanımı (mpa)	420
Öngerme çeliği elastisite modülü (mpa)	207300
Öngerilme betonu birim maliyeti(TL/m3)	650
Öngerilme çeliği birim maliyeti (TL/ton)	6865.31
Öngerme donatı (toron) anma çapı (mm)	15.24
Öngerilme kirişleri üst başlıkları arası mesafe (cm)	7.50
Kamyon yükü sınıfı	H ₃₀ -S ₂₄
Kirişe etkileyen diğer zati yükler (kaplama. korkuluk. kaldırım. yaya yükü. cephe elemanı (Kn/mt)	2.875
Yıllık ortalama nem (%)	40
Yaya yükü(kn/mt2)	3
Öngerilme donatısı minimum ara mesafesi (yatay-düşey) (mm)	6
Kesme donatısı çapı ve aralığı (mm)	Ø10/10

9 adet tasarım değişkeni için seçilen değer kümesi ve optimum tasarım parametreleri aşağıda belirtilmiştir.

Tablo 3.13 Diferansiyel gelişim algoritmasına ait tasarım parametreleri

Tasarım Parametreleri	T.Değişkenleri
Popülasyon büyüklüğü	70
Değişken Sayısı	9
Mutasyon oranı	0.1
Çaprazlama oranı	0.4
Maksimum iterasyon sayısı	100
Hata fonksiyonunda kullanılan sınırlayıcı (sayısı adet)	33

Optimum tasarım probleminde tasarıma ait sınırlayıcılar köprünün yapılacağı yol. vadi özelliklerinin göz önünde bulundurulduğu sınırlayıcı faktörlere ve mesleki deneyimlere göre seçilmiştir. Bu sınırlayıcılar Tablo 3.14’de sunulmuştur.

Tablo 3.14 Tasarım sınırlayıcıları değer aralığı

Tasarım Değişkenleri	Değer aralığı
Kiriş sayısı (ad)	$15 < n_b < 22$
Kiriş yüksekliği (cm)	$50 < h_b < 100$
Alt başlık genişliği (cm)	$30 < b_b < 105$
Alt guse yüksekliği (cm)	$10 < b_w < 35$
Alt başlık kalınlığı (cm)	$8 < t_t < 25$
Gövde genişliği (cm)	$15 < t_b < 35$
Üst başlık kalınlığı (cm)	$5 < p_t < 25$
Üst guse yüksekliği (cm)	$5 < p_b < 25$
Öngerilmeli donatı adedi (ad)	$15 < n_{ps} < 25$

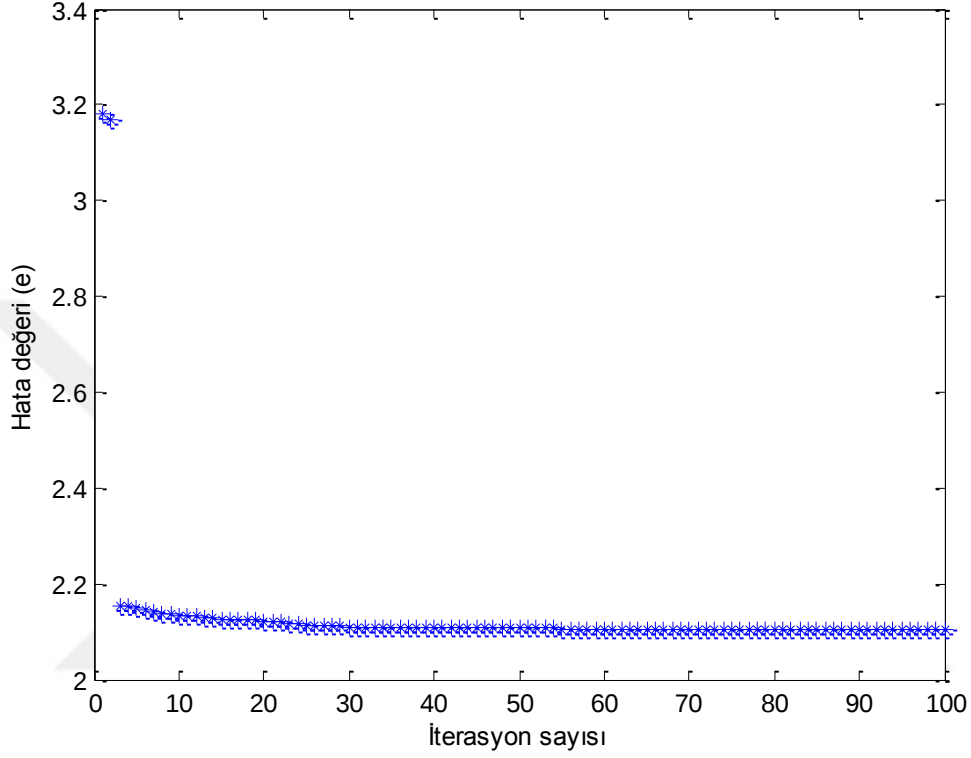
Tablo 3.15 Tasarım sonucu ile uygulama projesinin karşılaştırılması

	n_b (ad.)	h_b (cm)	b_b (cm)	b_w (cm)	t_t (cm)	t_b (cm)	p_t (cm)	p_b (cm)	n_{ps} (ad)	Maliyet (TL)
Bulunan Sonuçlar	5.23	83.34	77.89	21.83	2.86	20.85	10.75	8.40	7.33	26.455.00
Uygulama Projesi O-1 Otoyolu km:17+088 üst geçit köprüsü	11	75	75	20	10	15	12.5	7.5	8	46.028.00

Tablo 3.15’den de anlaşılacağı üzere uygulama projesinde kullanılan kesit ölçüleri ile optimizasyon işlemi sonucunda elde edilen kesit ölçüleri arasındaki farklılıklar

gözlenmiştir. Elde edilen bu farklılık değerleri sonucunda hesaplanan maliyetin, uygulama projesi maliyetine göre %42.52 oranında düşürdüğü görülmektedir

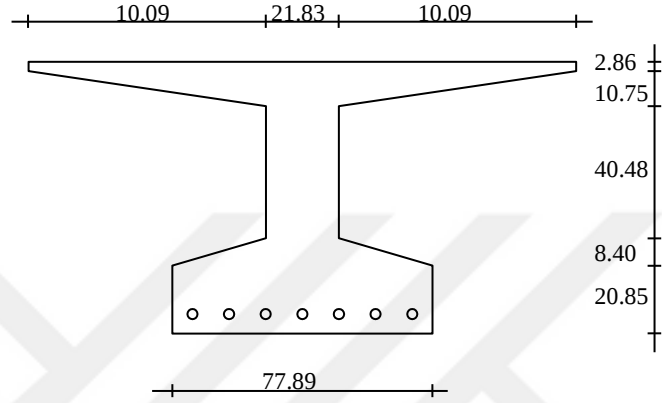
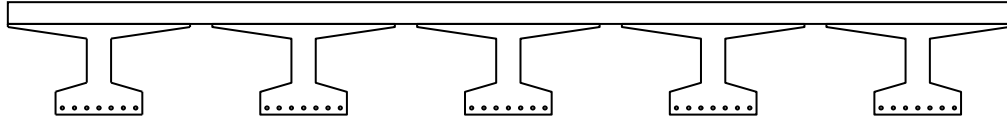
Diferansiyel gelişim algoritmasının optimum çözüme yakınsama performansının gösteren grafik Şekil 3.18 de sunulmuştur.



Şekil 3.18 Hata değerinin iterasyon sayısına bağlı olarak değişimi

Bu grafik incelendiğinde hata değerinin başlangıç nesli çözüm kümesinde 3.20'ye yakın olduğu 10. İterasyonda 2.2'ye kadar azaldığı ve 40. iterasyonda sonra 2.1'de sabit kaldığı görülmektedir. Dolayısıyla ilerleyen iterasyon sayısınca hata değerinin azalan bir eğri içerisine girmesi, diferansiyel gelişim algoritmasının daha iyi çözümleri oluşturma yeteneğinin yüksek olduğunu göstermektedir.

Bu tasarım neticesinde yapılan optimum çözüme ait köprü üst yapı en kesiti ve önerilmeli kiriş en kesiti şekil 3.19'da verilmiştir.



Şekil 3.19 Uygulama - 3'ün tasarımına köprü üst yapı ve öngerilmeli kiriş enkesti

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada kirişlerin optimum tasarımını gerçekleştirebilmek amacıyla bir algoritma geliştirilmiştir. Algoritma, MATLAB programlama dili ile kodlanmıştır.

Diferansiyel Gelişim algoritmasını kullanarak hazırlanan bilgisayar programında, kirişlerin maliyet yönünden optimum tasarımı başarıyla gerçekleştirilmiştir. Optimum tasarım yapmadan önce bir ön tasarım yapılarak tasarım değişkeni değer kümesinin, değer aralığı belirlenmiştir. Çözüm havuzu bu sınırlayıcılar içerisinde bulunan sonsuz sayıda değer aralığından seçilerek çözüm kalitesi artırılmıştır. Yapılan tasarımların uygulama projesine göre %10 - %25 oranında daha ekonomik çözümler verdiği görülmüştür. Hata değerinin iterasyon sayısına bağlı olarak sürekli azalan bir eğri içerisinde olması optimum çözüme yakınsamanın en iyi sonucunu vermektedir. Optimum çözüme 100 iterasyonlu bir problemde yaklaşık 120 sn'lik kısa bir sürede ulaşılması çözüm süresi açısından en iyi sonuçları vermektedir. Tasarım değişkenleri, tasarım parametreleri ve diferansiyel parametrelerin önceden belirlenmesi ve programa adapte edilmesi kolaylığı bu tip köprü kirişlerinin çözümünde programın etkin bir şekilde kullanılabilirliğini göstermiştir.

Bu tez çalışmasında elde edilen sonuçlar, Diferansiyel gelişim algoritmasının pratikte uygulanabilir bir yöntem olduğunu kanıtlamış olmaktadır.

Bu çalışmada köprü kirişi tek açıklıklı ve basit kiriş olarak tasarlanmıştır. İleride yapılacak çalışmalarda Diferansiyel Gelişim Algoritmasını, çok açıklıklı sürekli köprü kirişlerini (ayak, temel ve aks aralığı gibi özellikleri) kapsayacak şekilde genişletmek ve böylece minimum ağırlıklı köprüler tasarlamak mümkün olacaktır.

5. KAYNAKLAR

1. Xie Y.M. and Steven G.P.. Evolutionary Structural Optimization. Springer (1997)
2. Aydın. Z.. 2006 Öngerilmeli Beton Köprü Üst Yapılarının Genetik Algoritma İle Optimum Tasarımı. Doktora Tezi.K.T.Ü.. Trabzon
3. Arora Jasbir S.. 1989. Introduction to Optimum Design. McGraw-Hill Book Company
4. Xie Y.M. and Steven G.P.. Evolutionary Structural Optimization. Springer (1997)
5. RAO. S. S.. 1996. Engineering Optimization. A Wiley-Interscience Publication. New York. USA. p. 903.
6. Shi H.. ve Wanqing L..(2009). “Artificial neural networks with ant colony optimization for assessing performance of residential buildings”. Int. Conf. On Future Biomedical Inf.. 13-14 Dec. 2009. Handan. 379-382.
7. Yilmaz. A.R. Yavuz. O. ve Erkmen. B.. (2013). "Training multilayer perceptron using differential evolution algorithm for signature recognition application." Signal Processing and Communications Applications Conference(SIU). 24-26 April 2013. Haspolat
8. CROCE. F. D.. TADEI. R. and VOLTA. G.. 1995. A Genetic Algorithm for the Job Shop Problem. Computers and Operations. Vol 22. Great Britain. No 1.
9. Storn. R.. (1997).“Differential Evolution-A Simple and Efficient Heuristic Strategy for Global Optimization Over Continuous Spaces.” Journal of Global Optimization. 11: 341-359
10. Yılmaz. A.R.. 2014 Fpga Üzerinde Diferansiyel Gelişim Algoritması İle Yapay Sinir Ağı Eğitimi. Yüksek Lisan Tezi.Y.T.Ü.. İstanbul
11. Shiakolas. P.S..Koladiye. D.. Kebrle. J.. 2005. On The Optimum Synthesis of Six-Bar Linkages Using Differential Evolution and The Geometric Centroid of Precision Positions Technique. Mechanism and Machine Theory. 40. 319-335
12. Keskintürk T.. (2006) “Diferansiyel Gelişim Algoritması”. İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi.9: 85-99
13. Schmidt. H. ve Thierauf. G.. (2005). “A Combined Heuristic Optimization Technique”. Advances in Engineering Software. 36:11-19
14. AASHTO. 2002. Standart Specifications for Highway Bridges. American Association of State Highway and Transportation Officials.Washington D.C.

15. Lin. K. Y. ve Frangopol D. M.. 1996. Reliability-Based Optimum Design Of Reinforced Concrete Girders. Structural Safety. 18. 2-3. 239-258.
16. Zalzal. A. M. S. ve Fleming. P. J.. 1997. Genetic Algorithms in Engineering Systems. The Institution of Electrical Engineers. London. United Kingdom.
17. Keskinürk.T.Diferansiyel gelişim algoritması. İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Bahar 2006/1 89
18. TS 3233, 1979. Öngerilmeli Beton Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
19. TS 500, 2000. Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
20. Sunar, M., Gurain, A. M. A. ve Mohandes, M., 2000. Substructural Neural Network Controller, Computers and Structures, 78, 575-581.
21. Tan, G. H., Thevendran, V., Das Gupta, N. C. ve Thambiratnam, D. P., 1993. Design of Reinforced Concrete Cylindrical Water Tanks for Minimum Material Cost, computers and Structures, 48, 5, 803-810.
22. Totres, G. G. B., Brotchie, j. F. ve Cornell, C. A., 1966. A Program for the Optimum Design of Prestressed Concrete Highway Bridges, PCI Journal, 11, 3, 63-71.
23. Saka, M. P., 1980. Çelik Kafes Sistemlerin Sekil Optimizasyonu, Doçentlik Tezi, K.T.Ü., Trabzon.
24. Pezeshk, S., Camp, C. V. ve Chen, D., 2000. Design of Nonlinear Framed Structures using Genetic Optimization, Journal of Structural Engineering, 126, 3, 382-388.
25. Preston, H. K., 1964. Prestressed Concrete for Architects and Engineers, McGraw-Hill, New York.
26. Rajaev, S. ve Krishnamoorthy, C. S., 1992. Discrete Optimization of Structures Using Genetic Algorithms, Journal of Structural Engineering, 118, 5, 1233-1250.
27. Rajaev, S. ve Krishnamoorthy, C. S., 1998. Genetic Algorithm-Based Methodology for Design of Reinforced Concrete Frames, Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 13, 63-74.
28. Rajan, S. D., 1995. Sizing, Shape, and Topology Design Optimization of Trusses Using Genetic Algorithms, Journal of Structural Engineering, 121, 10, 1480-1487.

29. Raju, N. K., 1986. Prestressed Concrete, Tata McGraw-Hill, New Delhi. Ramasamy J. V. ve Rajasekaran S., 1996. Artificial Neural Network and Genetic Algorithm for the Design Optimization of Industrial Roofs – a Comparison, Computers and Structures, 58, 4, 747-755.
30. Mohammad, K. S. ve Al-Dmour, A. S., 2002. Vibration Control of Unknown Flexible Beam Structures, Journal of Vibration & Control, 8, 1, 69-86.
31. Moharrami, H. ve Grierson, D. E., 1993. Computer-Automated Design of Reinforced Concrete Frameworks. Journal of Structural Engineering, 119, 7, 2036-2058.
32. Naaman, A. E., 1982, Prestressed Concrete Analysis and Design Fundamentals, McGraw-Hill Publishing Company, USA.
33. Holland, J. H., 1975. Adaptation in Natural and Artificial Systems, University of Michigan Press, Ann Arbor, Mich.
34. Jenkins, W. M., 1992. Plane Frame Optimum Design Environment Based on Genetic Algorithm, Journal of Structural Engineering, 118, 11, 3103-3112.
35. Joghataie, A. ve Ghasemi, M., 2001. Fuzzy Multistage Optimization of Large-Scale Trusses, Journal of Structural Engineering, 127, 11, 1338-1347.
36. Goldberg, D. E., 1989. Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning, Addison-Wesley Publishing Company, Inc., New York, N. Y.
37. Goldberg, D. E. ve Samtani, M. P., 1986. Engineering Optimization via Genetic Algorithm, Proc. 9th Conf. Electronic Computation, ASCE, 471-482.
38. Emay Uluslararası Müh. Müs. ve Tic. Ltd. Sti., 1998. Uzunçayır Barajı Varyantı Yolu Dinar Köprüsü Uygulama Projesi Hesapları, İstanbul.
39. Emay Uluslararası Müh. Müs. ve Tic. Ltd. Sti., 2004. Edirnekapı Kavsak Köprüleri Köprü-4 Uygulama Projesi Hesapları, İstanbul.
40. Erbatur, F. ve Hasançebi, O., 1997. Uygulamaya Dönük Yapı Optimizasyonu, inşaat Mühendisliğinde Gelismeler, III. Teknik Kongre, ODTÜ, Ankara.
41. Daloglu, A. ve Armutçu, M., 1997. Kafes Sistemlerin Genetik Algoritma ile TS 648'e Uygun Olarak Optimum Tasarımı, inşaat Mühendisliğinde Gelismeler, III. Teknik Kongre, ODTÜ, Ankara.
42. Daloglu, A. ve Aydın, Z., 1999. Kafes Sistemlerin Uygulamaya Yönelik Optimum Tasarımı, Mühendislik Bilimleri Dergisi, 5, 1, 951-957.
43. Aydın, Z., 2000. Uzay Kafes Sistemlerin Genetik Algoritma ile Optimum Tasarımı,

Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

44. Ayvaz, Y. ve Aydın, Z., 2000. Optimum Design of Trusses Using A Genetic Algorithm, Proceedings of the Second International Conference on Engineering Using Metaphors from Nature, Leuven, Belgium, 159-168.
45. Balakrishnan, P. V., Gupta, R. ve Jacob, V. S., 2004. Development of Hybrid Genetic Algorithms for Product Line Designs, IEEE Transactions on Systems, Man. And Cybernetics – Part B: Cybernetics, 34, 1, 468-483.
46. Camp, C., Pezeshk, S. ve Cao, G., 1998. Optimized Design of Two-Dimensional Structures Using a Genetic Algorithm, Journal of Structural Engineering, 124, 5, 551-559.
47. Friswell, M. I., Penny, J. E. T. ve Garvey, S. D., 1998. A Combined Genetic and Eigensensitivity Algorithm for the Location of Damage in Structures, Computers and Structures, 69, 547-556.

ÖZGEÇMİŞİM

1986 yılında Palu ilçesinde doğdum. İlk ve orta öğrenimimi yarımca Ferrokrom ilköğretim okulunda tamamladım. Lise öğrenimimi Elâzığ lisesinde tamamladım. Üniversite eğitimimi Fırat üni. İnşaat mühendisliği bölümünden 2007 yılında mezun oldum. Akabinde Bartın üniversitesi yapı işlerini teknik daire başkanlığında inşaat mühendisi olarak göreve başladım. 2013 yılında itibaren Elâzığ il özel idaresi yol ve ulaşım hizmetleri müdürlüğünde inşaat mühendisi olarak görev yapmaktayım.

Emre ORTAÇ
İnş. Müh.