

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**KISMEN ÖNGERİLMELİ BETON KİRİŞLERİN YAPAY ARI KOLONİ
ALGORİTMASI VE GENETİK ALGORİTMAYLA
OPTİMUM TASARIMI**

DOKTORA TEZİ

İnş. Yük. Müh. Erdem TÜRKELİ

**NİSAN 2016
TRABZON**



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**KISMEN ÖNGERİLMELİ BETON KİRİŞLERİN YAPAY ARI KOLONİ
ALGORİTMASI VE GENETİK ALGORİTMAYLA
OPTİMUM TASARIMI**

İnş. Yük. Müh. Erdem TÜRKELİ

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce
"DOKTOR (İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ)"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 16 / 03 / 2016

Tezin Savunma Tarihi : 15 / 04 / 2016

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Hasan Tahsin ÖZTÜRK

İkinci Danışman : Prof. Dr. Ing. Ahmet DURMUŞ

Trabzon 2016

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında
Erdem TÜRKELİ Tarafından Hazırlanan**

**KISMEN ÖNGERİLMELİ BETON KİRİŞLERİN YAPAY ARI KOLONİ
ALGORİTMASI VE GENETİK ALGORİTMAYLA
OPTİMUM TASARIMI**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 22 /03/2016 gün ve 1645 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
DOKTORA TEZİ
olarak kabul edilmiştir.**

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Yusuf AYVAZ

Üye : Prof. Dr. Adem DOĞANGÜN

Üye : Prof. Dr. Metin HÜSEM

Üye : Prof. Dr. Burhan ÇUHADAROĞLU

Üye : Yrd. Doç. Dr. Hasan Tahsin ÖZTÜRK

**Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ
Enstitü Müdürü**

ÖNSÖZ

Bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Doktora Tezi olarak gerçekleştirilmiştir.

Kısmen önerilmeli beton kirişlerin Yapay Arı Koloni Algoritması ve Genetik Algoritmayla optimum tasarımı konusundaki bu çalışmayı bana önererek, yoğun çalışma programına rağmen çalışmamı başlangıcından yazımına kadar sürekli takip edip, bu süre içinde bana bilimsel düşünce disiplini kazandıran, tezimin her aşamasında bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım ilk danışman hocam Prof. Dr. Ing. Sayın Ahmet DURMUŞ'a, konuyu bana öneren Ahmet DURMUŞ hocamın emekliye ayrılmasından sonra danışmanlığımı kabul eden, tezimin her aşamasında moral desteklerini ve bilgilerini benden esirgemeyen hocam Yrd. Doç. Dr. Sayın Hasan Tahsin ÖZTÜRK'e minnet ve şükranlarımı sunmayı önemli bir görev sayarım.

Çalışmamı inceleyerek bilgi ve tavsiyelerini esirgemeyen tez izleme komitesindeki değerli hocalarım Prof. Dr. Sayın Metin HÜSEM'e ve Prof. Dr. Sayın Burhan ÇUHADAROĞLU'na ayrı ayrı teşekkürlerimi sunarım.

Jüri üyeliği gibi önemli bir görevi üstlenen ve tezimi titizlikle inceleyen değerli hocalarım Prof. Dr. Sayın Yusuf AYVAZ'a ve Prof. Dr. Sayın Adem DOĞANGÜN'e minnettar olduğumu belirtmek isterim.

Kısmen önerilmeli beton konusunda, kendi yaptığı çalışmalarını göndererek tezimin ilerlemesine katkıda bulunan Michigan Üniversitesi Emekli Öğretim Üyesi Prof. Dr. Sayın Antoine E. Naaman'a, çalışmalarım için kaynak temin eden değerli arkadaşım Dr. İnş. Yük. Müh. Sayın Ahmet KUŞYILMAZ'a teşekkür etmek isterim.

Çalışmalarım sırasında, her türlü desteğini esirgemeyerek yardımcı olan Ordu Çevre ve Şehircilik İl Müdürü Sayın Hüseyin ÖZTÜRK ve kurumun diğer çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Burada, öğrenim hayatım boyunca bana emeği geçen tüm hocalarımı saygı ile anarken, çalışmam süresince bana her türlü imkan ve desteği sağlayan eşim Gülşah TÜRKELİ'ye teşekkür eder, ömrünü benim yetişmeme adayan, fedakârlıklarını asla unutamayacağım ablam Eda YEŞİLYURT, annem Hülya TÜRKELİ ve babam Sait TÜRKELİ'ye müteşekkir olduğumu belirtir, çalışmamın kısmen önerilmeli beton kirişlerin optimum tasarımı konusunda bilimsel gelişmeler için yararlı olmasını gönülden dilerim.

Erdem TÜRKELİ
Trabzon, 2016

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Doktora Tezi olarak sunduğum “Kısmen Öngerilmeli Beton Kirişlerin Yapay Arı Koloni Algoritması ve Genetik Algoritmayla Optimum Tasarımı” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışman hocalarım Prof. Dr. Ing. Ahmet DURMUŞ ve Yrd. Doç. Dr. Hasan Tahsin ÖZTÜRK’ün sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarında yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 15/04/2016

Erdem TÜRKELİ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	IX
SUMMARY	X
ŞEKİLLER DİZİNİ	XI
TABLolar DİZİNİ.....	XIII
SEMBOLLER DİZİNİ	XIV
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Kısmen Öngerilmeli Beton Yapı Tekniği	4
1.2.1. Kısmen Öngerilmeli Betonun Tanımı.....	4
1.2.2. Kısmen Öngerilmeli Betonun Tarihçesi.....	5
1.2.3. Kısmen Öngerilmeli Beton Yapı Tekniğinin Betonarme ve Öngerilmeli Beton Yapı Tekniğine göre Üstünlükleri	7
1.2.4. Kısmen Öngerilmeli Beton Yapı Tekniği ile İlgili Bazı Çalışmalar.....	8
1.2.5. Kısmen Öngerilmeli Beton Yapı Tekniğinin Türkiye'deki Köprü Üstyapılarında Kullanımı	27
1.3. Optimizasyon Probleminin Tanımı ve Tarihsel Gelişimi	29
1.4. Yapısal Optimizasyon Yöntemleri.....	32
1.4.1. Geleneksel Yöntemler	32
1.4.1.1. Matematiksel Programlama	32
1.4.1.2. Optimumluk Ölçütü Yöntemi	33
1.4.2. Sezgisel Yöntemler	34
1.4.2.1. Tabu Arama Algoritması.....	34
1.4.2.2. Benzetilmiş Tavlama Algoritması	35
1.4.2.3. Yapay Sinir Ağları Algoritması	36
1.4.2.4. Karınca Kolonisi Algoritması	38
1.4.2.5. Bulanık Mantık	39

1.4.2.6.	Yapay Bağışıklık Sistemi Algoritması.....	40
1.4.2.7.	Parçacık Sürü Algoritması	40
1.4.2.8.	Genetik Algoritmalar	41
1.4.2.8.1.	Genetik Algoritmanın (GA) Tarihçesi	42
1.4.2.8.2.	Genetik Algoritmanın Üstünlük ve Sakıncaları	42
1.4.2.8.3.	Genetik Algoritmanın İşleyişi	43
1.4.2.8.4.	Basit Genetik Algoritma	44
1.4.2.8.5.	Geliştirilmiş Genetik Algoritmalar	45
1.4.2.8.6.	Genetik Algoritma ile İlgili Bazı Çalışmalar	45
1.4.2.9.	Yapay Arı Koloni Algoritması.....	48
1.4.2.9.1.	Arılar Arasındaki Bilgi Paylaşımının Sağlanması	49
1.4.2.9.2.	Yapay Arı Koloni Algoritmasının İşleyişi	50
1.4.2.9.3.	Yapay Arı Koloni Algoritması ile İlgili Bazı Çalışmalar	51
1.5.	Kısmen Öngerilmeli Beton Kirişli Köprü Üstyapılarının Optimizasyonu.....	52
1.6.	Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	55
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEMELER	56
2.1.	Genetik Algoritma ile Yapısal Optimizasyon	56
2.1.1.	Genetik Algoritma Tekniğinde Yapılan Bazı Temel Kabuller	57
2.1.2.	Başlangıç Nesli ve Tasarım Değişkeni Değer kümelerinin Oluşturulması.....	58
2.1.3.	Genetik Algoritmada Muhtemel Çözümlerin Kodlanması	58
2.1.3.1.	İkili Kodlama	59
2.1.3.2.	Değer Kodlama	59
2.1.3.3.	Permütasyon Kodlama	59
2.1.3.4.	Ağaç Kodlama.....	60
2.1.4.	Ceza Fonksiyonu ve Cezalandırılmış Amaç Fonksiyonunun Belirlenmesi.....	60
2.1.5.	Muhtemel Çözümlerin Uygunluk Derecelerinin Belirlenmesi	62
2.1.6.	Genetik İşlemlerin Olası Çözümlere Uygulanması.....	62
2.1.6.1.	Seçim İşlemi.....	63
2.1.6.2.	Kopyalama İşlemi	63
2.1.6.3.	Çaprazlama İşlemi.....	64
2.1.6.3.1.	Tek Noktalı Çaprazlama	65
2.1.6.3.2.	Çift Noktalı Çaprazlama	66

2.1.6.3.3.	Düzgün Çaprazlama.....	66
2.1.6.4.	Mutasyon İşlemi.....	67
2.1.7.	Çaprazlama ve Mutasyon İşlemlerinin Uygulanma Olasılıkları.....	68
2.2.	Yapay Arı Koloni Algoritmasıyla Yapısal Optimizasyon	68
2.2.1.	Başlangıç Yiyecek Kaynağının (Nektar) Üretilmesi Aşaması.....	68
2.2.2.	İşçi Arıların Yiyecek (Nektar) Kaynağı Bölgelerine Gönderilmesi	69
2.2.3.	Gözcü Arıların Seçilimde Kullanacakları Olasılık Değerlerinin Saptanması... 72	
2.2.4.	Kaynağı Bırakma Ölçütü: Limit ve Kaşif Arı Üretim Aşaması.....	73
2.3.	Algoritma Durdurma Ölçütleri.....	74
2.4.	Kısmen Öngerilmeli Beton Kirişler İçin Genel Bağlılıkların Belirlenmesi.....	75
2.4.1.	En Üst ve En Alt Beton Liflerinde Oluşan Gerilmelerin Hesaplanması.....	75
2.4.2.	Kısmen Öngerilmeli Beton Kirişlerde Sehim Hesaplamaları	78
2.4.3.	Kısmen Öngerilmeli Beton Kirişlerin Taşıma Gücünün Belirlenmesi	83
2.4.4.	Kısmen Öngerilmeli Beton Kirişlerde Kesme Dayanımının Belirlenmesi	87
2.4.4.1.	Kesmeli Eğilmede Kesme Dayanımı	87
2.4.4.2.	Gövde Kesme Dayanımı	88
2.4.5.	Minimum ve Maksimum Donatı Oranlarının Belirlenmesi	89
2.4.5.1.	Minimum Donatı Oranının Belirlenmesi	89
2.4.5.2.	Maksimum Donatı Oranının Belirlenmesi	89
2.5.	Kısmen Öngerilmeli Beton Kirişlerde Oluşan Kayıpların Belirlenmesi.....	90
2.6.	Kısmen Öngerilmeli Beton Kirişlere Etkiyen Yüklerin Belirlenmesi	92
2.6.1.	Sabit Yüklerin Belirlenmesi.....	92
2.6.2.	Hareketli Yüklerin Belirlenmesi	93
2.6.3.	Optimum Tasarımda Kullanılan Yük Birleşimlerinin Belirlenmesi	95
2.6.4.	Kısmen Öngerilmeli Beton Kirişlerde Oluşan Kesit Etkilerinin Belirlenmesi	95
2.7.	Kısmen Öngerilmeli Beton Kiriş Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesi.....	96
2.8.	Malzemelerin Birim Fiyatlarının Tespit Edilmesi	97
2.9.	Çeşitli Yük Durumlarında İzin Verilen Gerilme ve Sehimler	98
2.9.1.	Çeşitli Yük Durumlarında Beton ve Öngerme Çeliğinde İzin Verilen Gerilmeler	98
2.9.2.	Çeşitli Yük Durumlarında İzin Verilen Sehimler	100

2.10.	Beton Örtüsü, Donatı Yerleşimi ve Kenetlenme Boyunun Belirlenmesi	101
2.11.	Kısmen Öngerilmeli Beton Kirişlerin Optimum Tasarımı.....	102
2.11.1.	Sayısal Uygulama-1	103
2.11.1.1.	Amaç Fonksiyonu	103
2.11.1.2.	Tasarım Parametreleri	105
2.11.1.3.	Tasarım Değişkenleri	106
2.11.1.4.	Sınırlayıcılar	107
2.11.1.5.	Genetik Algoritma ile Optimum Tasarım	110
2.11.1.6.	Yapay Arı Koloni Algoritması ile Optimum Tasarım	111
2.11.1.7.	Algoritmalarından Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması.....	112
2.11.2.	Sayısal Uygulama-2	115
2.11.2.1.	Amaç Fonksiyonu	115
2.11.2.2.	Tasarım Parametreleri	116
2.11.2.3.	Tasarım Değişkenleri	116
2.11.2.4.	Sınırlayıcılar	118
2.11.2.5.	Genetik Algoritma ile Optimum Tasarım	119
2.11.2.6.	Yapay Arı Koloni Algoritması ile Optimum Tasarım	119
2.11.2.7.	Algoritmalarından Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması.....	120
2.11.3.	Sayısal Uygulama-3	124
2.11.3.1.	Amaç Fonksiyonu	124
2.11.3.2.	Tasarım Parametreleri	125
2.11.3.3.	Tasarım Değişkenleri	126
2.11.3.4.	Sınırlayıcılar	127
2.11.3.5.	Genetik Algoritma ile Optimum Tasarım	128
2.11.3.6.	Yapay Arı Koloni Algoritması ile Optimum Tasarım	128
2.11.3.7.	Algoritmalarından Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması.....	129
3.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	132
4.	KAYNAKLAR	136

ÖZGEÇMİŞ

Doktora Tezi

ÖZET

KISMEN ÖNGERİLMELİ BETON KİRİŞLERİN YAPAY ARI KOLONİ
ALGORİTMASI VE GENETİK ALGORİTMAYLA OPTİMUM TASARIMI

Erdem TÜRKELİ

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Hasan Tahsin ÖZTÜRK
2016, 159 Sayfa

Kısmen öngerilmeli beton yapı tekniğinin, tam öngerilmeli beton tekniğine göre genelde daha ekonomik olduğu bilinmektedir. Bununla beraber, Türkiye’de bu konuyla ilgili çalışma ve uygulamalar yok denecek kadar azdır. Optimum tasarım çalışmalarına ise rastlanılmamıştır.

Bu çalışmanın temel amacı, kısmen öngerilmeli beton kirişlerin maliyet bakımından optimum tasarımlarını Yapay Arı Koloni ve Genetik Algoritmalarla gerçekleştirmektir. Bu çalışma, dört bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm genel bilgiler bölümü olup, burada köprüler, kısmen öngerilmeli betonla ilgili teknik literatür ve yapı optimizasyon teknikleri üzerinde durulmaktadır. İkinci bölümde, yapı optimizasyon tekniklerinden Yapay Arı Algoritması ve Genetik Algoritma özetlenmekte, bu algoritmalarla, örnek olarak seçilen üç probleme ilişkin amaç fonksiyonu, tasarım değişkenleri ve sınırlayıcılar belirlenerek, maliyet yönünden optimum tasarımları yapılmakta ve elde edilen bulgular, geleneksel yöntemlerle elde edilenlerle karşılaştırılmaktadır. Üçüncü bölüm çalışmanın bütününden çıkarılabilen sonuç ve önerilere ayrılmıştır. Bu son bölümü kaynaklar listesi ve yazarın özgeçmişi izlemektedir.

Elde edilen bulguların irdelenmesi, kısmen öngerilmeli beton I ve T enkesitli kirişlerin maliyet açısından, Yapay Arı Koloni Algoritması ya da Genetik Algoritmayla gerçekleştirilen tasarımlarının, emniyetten ödün vermeden geleneksel yöntemle yapılan tasarıma göre çok daha ekonomik olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Köprü, Kısmen öngerilmeli beton, Optimizasyon, Yapay arı koloni algoritması, Genetik algoritma

PhD. Thesis

SUMMARY

OPTIMUM DESIGN OF PARTIALLY PRESTRESSED CONCRETE BEAMS USING
ARTIFICIAL BEE COLONY ALGORITHM AND GENETIC ALGORITHMS

Erdem TÜRKEİ

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Engineering Graduate Program
Supervisor: Assistant Prof. Dr. Hasan Tahsin ÖZTÜRK
2016, 159 Pages

Generally, it's known that partially prestressed concrete technique is more economical than fully prestressed concrete. Nevertheless there are almost no studies and applications on this subject in Turkey. However no optimum design studies have been found.

The main purpose of this study is to perform optimum design of partially prestressed concrete beams from cost point of view by using Artificial Bee Colony and Genetic Algorithms. This study consists of four parts. The first part is the general information section where bridges, technical literature about partially prestressed concrete and structural optimization techniques are focussed on. In the second part of the study; the structural optimization techniques, Artificial Bee Colony and Genetic Algorithms are summarized, with these algorithms, the optimum design of three selected example problems are performed by determining their objective function, design variables and constraints from cost point of view, and the results obtained are compared with the results obtained from traditional design. Third chapter is reserved to the results and recommendations deducted from the whole study. This last chapter is followed by the list of references and the author's biography.

The interpretation of the results show that the design of partially prestressed concrete I and T crosssectioned beams from cost point of view by using Artificial Bee Colony or Genetic Algorithms is much more economical than the traditional ones without conceding safety.

Key Words: Bridge, Partially Prestressed Concrete, Optimization, Artificial bee colony algorithm, Genetic algorithm

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1.	Kirişli plak köprü taşıyıcı elemanları	1
Şekil 1.2.	Tipik bir girişli plak karayolu köprüsüne ilişkin temel elemanlar.....	2
Şekil 1.3.	I enkesitli girişlerle inşa edilen prefabrike öngerilmeli beton bir köprü görünümü.....	27
Şekil 1.4.	Topoloji, boyut ve şekil optimizasyonunun şematik olarak gösterimi	30
Şekil 1.5.	Gerçek (a), Doğrusallaştırılmış (b) arama uzayı sınırlayıcıları (G) ve amaç fonksiyonu [$F(x)$].....	33
Şekil 1.6.	Biyolojik bir sinir hücresinin şematik gösterimi	36
Şekil 1.7.	Yapay sinir hücresi	37
Şekil 1.8.	Basit bir Genetik Algoritmaya ilişkin akış şeması	44
Şekil 1.9.	Öngerilmeli girişlerle inşa edilmiş bir köprü üstyapısı örneği	52
Şekil 1.10.	Kısmen öngerilmeli tipik bir beton giriş enkesiti örneği	53
Şekil 2.1.	Biyolojideki gen ve kromozomun genetik algoritmadaki karşılıkları	57
Şekil 2.2.	Ağaç kodlama için kromozom örneği.....	60
Şekil 2.3.	Tek noktalı çaprazlama örneği.....	65
Şekil 2.4.	İki noktalı çaprazlama örneği	66
Şekil 2.5.	En üst ve en alt beton liflerinde oluşan gerilmelerin hesaplanması.....	76
Şekil 2.6.	Eşit yayılı yük ile yüklenmiş basit mesnetli giriş	78
Şekil 2.7.	Basit mesnetli, parabolik yörüngeli öngerilme donatılı giriş.....	79
Şekil 2.8.	Taşıma gücü durumunda kısmen öngerilmeli beton girişin enkesiti ve enkesitte oluşan kuvvetler.....	83
Şekil 2.9.	Öngerilmeli girişlerde şekildeğiştirmeye göre öngerilmeli donatılarda oluşan gerilmelerin değişimi.....	84
Şekil 2.10.	$H_{30}-S_{24}$ hareketli yük sınıfının standart kamyon üzerinde gösterimi.....	93
Şekil 2.11.	Standart kamyon yükünün basit mesnetli giriş üzerinde elverişsiz yerleşimi ..	94
Şekil 2.12.	Eşdeğer şerit yüklemenin basit mesnetli giriş üzerinde elverişsiz yerleşimi....	94
Şekil 2.13.	Şematik olarak gerçek kesitin idealize edilmiş kesite dönüştürülmesi.....	96
Şekil 2.14.	Nilson tarafından sunulan kısmen öngerilmeli giriş tasarımı	103
Şekil 2.15.	Uygulama-1'e ilişkin tasarım değişkenleri.....	107
Şekil 2.16.	Genetik Algoritmayla Uygulama 1'e ilişkin optimum tasarımda her bir nesil için toplam maliyetin ardışık yaklaşım sayısı ile değişimi	111

Şekil 2.17. Yapay Arı Koloni Algoritmasıyla Uygulama 1'e ilişkin optimum tasarımda her bir nesil için toplam maliyetin ardışık yaklaşım sayısı ile değişimi.....	112
Şekil 2.18. Elde edilen optimum çözümle teknik literatürde mevcut çözümün şematik gösterimi	113
Şekil 2.19. Uygulama-2'ye ilişkin tasarım değişkenleri.....	118
Şekil 2.20. Genetik Algoritmayla Uygulama-2'ye ilişkin optimum tasarımda her bir nesil için toplam maliyetin ardışık yaklaşım sayısı ile değişimi.....	119
Şekil 2.21. Yapay Arı Koloni Algoritmasıyla Uygulama-2'ye ilişkin optimum tasarımda her bir nesil için toplam maliyetin ardışık yaklaşım sayısı ile değişimi.....	120
Şekil 2.22. Optimum tasarımda elde edilenlerle teknik literatürde mevcut tasarım değişkenlerinin şematik olarak gösterilmesi.....	122
Şekil 2.23. Kirişin Naaman ve Siriaksorn tarafından elde edilen optimum enkesit tasarımı	124
Şekil 2.24. Uygulama-3'e ilişkin tasarım değişkenleri.....	127
Şekil 2.25. Genetik Algoritmayla Uygulama-3'e ilişkin optimum tasarımda her bir nesil için toplam maliyetin ardışık yaklaşım sayısı ile değişimi.....	128
Şekil 2.26. Yapay Arı Koloni Algoritmasıyla Uygulama-3'e ilişkin optimum tasarımda her bir nesil için toplam maliyetin ardışık yaklaşım sayısı ile değişimi.....	129
Şekil 2.27. Optimum tasarımda elde edilenlerle teknik literatürde verilen tasarım değişkenlerinin şematik olarak gösterimi	130

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Türkiye’de karayolları ağında bulunan köprülerin türlerine göre sayı ve uzunlukları	28
Tablo 2.1. Beş bireyli bir nesilde kopyalama operatörünün uygulanması	64
Tablo 2.2. Sünme katsayısı, C_u	80
Tablo 2.3. Zamana bağlı kayıplar (MPa)	91
Tablo 2.4. Tasarımda kullanılan malzemelerin 2014 yılı birim fiyatları	98
Tablo 2.5. Optimum tasarımda kullanılan tasarım değişkenleri	106
Tablo 2.6. Optimum tasarımda elde edilen ve teknik literatürde sunulan tasarım değişkeni değerleri	113
Tablo 2.7. Sayısal Uygulama-1’in Genetik Algoritma ve Yapay Arı Koloni Algoritması koşullarından elde edilen ortalama, standart sapma ve optimum değerler	114
Tablo 2.8. Optimum tasarımda kullanılan tasarım değişkenleri	117
Tablo 2.9. Optimum tasarımda elde edilen ve teknik literatürde verilen değişken değerleri	121
Tablo 2.10. Genetik Algoritma ve Yapay Arı Koloni Algoritmasıyla 100 koşul sonucunda elde edilen çözümlerin ortalama, standart sapma ve optimum değerler	123
Tablo 2.11. Optimum tasarımda kullanılan tasarım değişkenleri	126
Tablo 2.12. Optimum tasarımda elde edilen ve teknik literatürde verilen değişken değerleri	130
Tablo 2.13. Genetik Algoritma ve Yapay Arı Koloni Algoritmasıyla 100 koşul sonucunda elde edilen çözümlerin ortalama, standart sapma ve optimum değerler	131

SEMBOLLER DİZİNİ

a	Eşdeğer dikdörtgen basınç bloğunun derinliği
A	Enkesit alanı
A_c	Beton enkesit alanı
a_p	Bir adet öngerilme donatısının alanı
A_{ps}	Öngerilmeli donatıların toplam alanı
a_s	Bir adet betonarme donatının alanı
A_s	Betonarme donatıların toplam alanı
A_s'	Basınç bölgesinde bulunan betonarme donatısı toplam alanı
b	Kirişin basınç yüzünün kesit genişliği
b_b	Alt başlık genişliği
$BF_{\text{betonarme2}}$	Betonarme için $\emptyset 14$ - $\emptyset 32$ mm'lik ince nervürlü donatı temini ve işçiliği (nakliye hariç) birim fiyatı
BF_{kilif}	Öngerilme kılıfının birim fiyatı
BF_{kirisyer}	Prefabrike kirişlerin yerlerine konulması birim fiyatı
$BF_{\text{önger}}$	Yüksek dayanımlı öngerme donatısının birim fiyatı
$BF_{\text{öngerbeton}}$	Köprülerin öngerilmeli (önçekim-artçekim) boyuna ve enine kirişlerinde her dozda donatılı beton birim fiyatı
$BF_{\text{öngyer}}$	Öngerilme donatısının yerine konulma işçiliğinin birim fiyatı
b_t	Kirişin basınç yüzünün kesit genişliği, üst başlık genişliği
b_w	Tablalı elemanın gövde genişliği, gövde genişliği
c	Kesit ağırlık merkezinin derinliği, tarafsız eksen derinliği
c_b	Kesitin ağırlık merkezinden en alt beton lifine olan uzaklık
C_{beton}	Beton maliyeti
cgc	Beton enkesitinin ağırlık merkezi
$C_{\text{geleneksel}}$	Betonarme donatısının maliyeti
$C_{\text{geleneksel2}}$	Basınç bölgesinde bulunan betonarme donatısının maliyeti
cgs	Öngerilme donatısının ağırlık merkezi
CK	Ceza katsayısı
C_{kilif}	Öngerilme donatısının kılıf maliyeti

$C_{kirisyer}$	Öngerilmeli kirişin yerine konulması maliyeti
$C_{önger}$	Öngerilme donatısı maliyeti
$C_{öngerisci}$	Öngerilme donatısının yerine konulması işçilik maliyeti
c_t	Kesitin ağırlık merkezinden en üst beton lifine olan uzaklık
C_u	Sünme katsayısı
D	Tasarım değişkeni sayısı
d_c	Net beton örtüsü, kirişte kullanılan öngerme donatısının anma çapı
d_e	Donatılarda (Öngerilmeli ve betonarme) oluşan çekme kuvveti merkezinin basınç etkisindeki en uzak beton lifine olan uzaklığı
d_p	Öngerilme donatısı ağırlık merkezinin etkili derinliği
d_s	Betonarme donatıların kesit merkezine olan etkili derinliği
d_s'	Basınç bölgesinde bulunan betonarme donatıları ağırlık merkezinin etkili derinliği
e	Öngerilme donatısının dışmerkezliği
E_c	Betonun elastisite modülü
E_{ps}	Öngerilme donatısının elastisite modülü
E_s	Betonarme donatısının elastisite modülü
e_1	Kiriş orta kesitinde öngerilme donatısının dışmerkezliği
e_2	Mesnetlerde öngerilme donatısının dışmerkezliği
F	Tasarım yükü
f_{cc}	Enkesit ağırlık merkezinde beton basınç gerilmesi
f_{ctd}	Beton tasarım çekme dayanımı
$f_i^d(x)$	Bir bireyin uygunluk derecesi
f_m	Çaprazlanacak bireylerden uygunluğu küçük olanın değeri
f_{max}	Bir nesildeki en büyük uygunluk değerini, nesil içindeki en kötü bireyin amaç fonksiyonu değeri
f_{min}	Bir nesildeki en küçük uygunluk değeri
f_{ort}	Nesildeki bireylerin ortalama uygunluk derecesi, bir nesildeki ortalama uygunluk değeri
f_r	Betonun kırılma dayanımı
f_y	Çekme bölgesinde bulunan betonarme donatısının akma dayanımı
f_{yd}	Çekme bölgesindeki boyuna donatı tasarım dayanımı
$f(x)$	Amaç fonksiyonu, hesaplanan bireyin amaç fonksiyonu değeri

f'	Herhangi bir bireyin uygunluk değeri
$f'(x)$	Uygun olmayan çözümlerin uygunluk değeri
f_c'	Betonun basınç dayanımı
f_{ci}'	Öngerme kuvvetinin verildiği anda betondaki basınç gerilmesi
$f'_i(x)$	Bir bireyin uygunluk değeri
f_y'	Basınç bölgesinde bulunan betonarme donatısının akma dayanımı
G	Sabit yükler
g_{max}	Nesildeki en büyük ihlal değeri
g_{min}	Nesildeki en küçük ihlal değeri
g_{ort}	Nesildeki ortalama ihlal değeri
$g(i)$	i . sınırlayıcının ihlal miktarı ($i = 1, \dots, n$)
$g(x)$	Sınırlayıcılar
h	Enkesit yüksekliği
h_b	Kiriş yüksekliği
h_f	Tabla kalınlığı
h_w	Kiriş gövde yüksekliği
h_{wmin}	Seçilen donatıların yerleşebileceği minimum gövde yüksekliği
I	Kesitin eylemsizlik momenti
I_{cr}	Çatlamış kesitin eylemsizlik momenti
I_e	Çatlamış kesitin etkili eylemsizlik momenti
I_g	Kesitin eylemsizlik momenti
$ihlal_j$	j . nektar kaynağının sınırlayıcı ihlal değeri
k	i 'den farklı bir çözüm indisi, önerilmeli donatının akma ve çekme dayanımına bağlı bir katsayı
l	Kiriş açıklığı
L	Kiriş açıklığı
l_b	Nervürlü donatı çubukları için kenetlenme boyu
LIMIT	Yapay arı koloni algoritmasında bir denetim parametresi
l_e	Eşdeğer Kalınlık
m	Eşitsizlik tipi toplam sınırlayıcı sayısı
M	Eşit yayılı yüklü kirişin açıklık ortasındaki maksimum moment
M_a	Dış yüklerden oluşan moment
m_c	Beton için malzeme katsayısı

M_{cr}	Kesitte eğilme çatlağı oluşturan moment
M_D	Kiriş özağırlığından oluşan moment
M_L	Deprem ile çarpma etkilerini de içeren hareketli yüklerden oluşan moment
M_{max}	Dış yüklerden oluşan moment
M_n	Denge altı donatılı kısmen öngerilmeli beton kesitlerin moment taşıma gücü, eğilme momenti anma taşıma gücü
MR	[0,1] aralığında değer alan bir denetim parametresi
m_s	Çelik için malzeme katsayısı
M_{SD}	İlave sabit ek yüklerden oluşan moment
M_T	Toplam moment
n	Sınırlayıcı sayısı
n_p	Öngerilme donatılarının modüler oranı
n_{ps}	Öngerilme donatı çubuk sayısı
n_s	Betonarme donatılarının modüler oranı
n_{st}	Betonarme donatı çubuk sayısı (çekme bölgesi)
n_{stb}	Betonarme donatı çubuk sayısı (basınç bölgesi)
P	Öngerilme kuvveti
p_c	Çaprazlama olasılık değerleri
P_e	Kayıplar oluştuktan sonra etkili öngerilme kuvveti
p_i	Olasılık değeri
P_i	Kayıplardan önceki öngerilme kuvveti, başlangıç öngerilme kuvveti
p_m	Mutasyon olasılık değerleri
p_t	Üst guse yüksekliği
p_b	Alt guse yüksekliği
PPR	Kısmen öngerilme oranı
Q	Hareketli yükler
r	Kesitin eylemsizlik yarıçapı
R	Öngerilme donatısında oluşan gerilme kaybı oranı
R_j	[0,1] aralığında düzgün dağılımlı rasgele bir sayı
S_b	En alt beton lifi için hesaplanan mukavemet momenti
SN	Nektar kaynağı sayısı
SPP	Yapay arı koloni algoritmasında bir denetim parametresi
SSs	Betonarme donatısının yerleşeceği sıra sayısı

$SS_{s_{max}}$	Betonarme donatısının en fazla yerleşebileceği sıra sayısı (çekme bölgesi)
$SS_{s_{max2}}$	Betonarme donatısının en fazla yerleşebileceği sıra sayısı (basınç bölgesi)
S^t	En üst beton lifi için hesaplanan mukavemet momenti
t_b	Alt başlık kalınlığı
t_{bmin}	Betonun donatılar arasında rahat bir şekilde dökülmesi için minimum alt başlık kalınlığı
t_t	Üst başlık kalınlığı
u	Dış ortam ile etkileşimde olan alanın çevresi
V_c	Kısmen öngerilmeli beton kiriş kesme dayanımı
V_{ci}	Kesmeli eğilmede kesme dayanımı
V_{cw}	Gövde-kesme mekanizması durumunda kesme dayanımı
V_d	Kirişin öz ağırlığından oluşan kesme kuvveti
V_i	Maksimum moment M_{max} ile aynı anda ve dışarıdan uygulanan yüklerden dolayı oluşan kesme kuvveti değeri
v_i^j	Mevcut kaynağın komşuluğunda yeni bir kaynak belirleme işlemi
V_{max}	Maksimum kesme kuvveti
V_p	Etkili öngerilme kuvvetinin düşey bileşeni
w	Kiriş üzerindeki eşit yayılı yük
w_o	Kirişin öz ağırlığından oluşan sabit yük
w_{SD}	Yayılı ek sabit yük
w_L	Yayılı hareketli yük
x_n	Tasarım değişkenleri
x_{max}^j	j. tasarım değişkeninin üst sınırı
x_{min}^j	j. tasarım değişkeninin alt sınırı
β_1	Taşıma gücü durumunda eşdeğer dikdörtgen gerilme bloğu katsayısı
γ_c	Öngerilmeli beton birim ağırlığı (ton/m^3)
γ_s	Donatı çeliğinin birim ağırlığı (ton/m^3)
Δ	Basit mesnetli kirişte eşit yayılı yükten oluşan sehim
Δ_{add}	Özağırlık ve diğer ek sabit yüklerden oluşan geciken sehim
Δ_{DL}	Uzun süreli sabit yük nedeniyle oluşan geciken sehim
Δ_{DL}^{max}	Sabit yük etkisinde, zamana bağlı etkiler dikkate alınarak hesaplanan, izin verilen en büyük sehim
$(\Delta_i)_G$	Sabit yüklerden dolayı oluşan ani sehim

Δ_{LL}	Zamana bağlı hareketli yük nedeniyle oluşan sehim
$(\Delta_i)_{LL}$	Hareketli yük nedeniyle oluşan ani sehim
Δ_{LL}^{max}	Hareketli yük etkisinde, zamana bağlı etkiler dikkate alınarak hesaplanan, izin verilen en büyük sehim
$(\Delta_i)_{LLcr}$	Çatlamış kirişin ortasında hareketli yük nedeniyle oluşan ani sehim
$(\Delta_i)_{LLuncr}$	Çatlak oluşmamış kirişin ortasında hareketli yük nedeniyle oluşan ani sehim
$(\Delta_i)_{SD}$	Sabit ek yüklerden oluşan ani sehim
Δ_{pi}	Başlangıç ters sehimi, basit mesnetli, parabolik yörüngeli öngerilme donatılı kirişte oluşan ters sehim
Δ_{pe}	Etkin ngerilme kuvveti nedeniyle oluşturulan ters sehim
Δ_{up}^{max}	İzin verilen en büyük ters sehim
Δ_{wo}	Basit mesnetli kirişin öz ağırlığı altında oluşan sehim
θ	Dikkate alınan kesitte öngerilme donatısının eğimi
λ	Hafif betonu normal ağırlıklı betondan ayırmak için kullanılan bir katsayı
ρ_p	öngerilme donatısı oranı
ρ_s	Betonarme donatısı oranı
\emptyset	Kapasite azaltma katsayısı, betonarme donatısı apı
σ	Basit mesnetli, merkezi öngerilme kuvvetine maruz bir kirişte oluşan basınç gerilmesi
σ^b	En alt beton lifinde oluşan gerilmeler
σ_{ci}	İlk ngerilme kuvveti altında en alt beton lifinde izin verilen basınç gerilmesi
σ_{cs}	Kullanım yükleri altında zamana bağlı öngerme kayıplarından sonra en üst beton lifinde izin verilen basınç gerilmesi
σ_{pe}	Tüm kayıpların gerçekleştiği, kirişin öz ağırlığı ve etkin öngerilme kuvveti altında oluşan etkin gerilme
σ_{pi}	Düşük rölaksasyonlu ve gerilmesi azaltılmış öngerme donatılarında izin verilen ilk çekme gerilmesi
σ_{pij}	Düşük rölaksasyonlu ve gerilmesi azaltılmış öngerme donatısında izin verilen j günlük ilk çekme gerilmesi
σ_{ps}	Taşıma gücü durumunda öngerilme donatısında oluşan ortalama gerilme
σ_{pu}	öngerilme donatısının çekme dayanımı
σ_{py}	öngerilmeli donatının akma dayanımı
σ^t	En st beton lifinde oluşan gerilme
σ_{ti}	İlk ngerilme kuvveti altında en üst beton lifinde izin verilen çekme gerilmesi

σ_{ts}	Kullanım yükleri altında zamana bağlı öngerme kayıplarından sonra en alt beton lifinde izin verilen çekme gerilmesi
$\Phi(x)$	Cezalandırılmış amaç fonksiyonu
$\Phi_{\max}(x)$	Nesildeki en büyük cezalandırılmış amaç fonksiyonu değeri
$\Phi_{\min}(x)$	Nesildeki en küçük cezalandırılmış amaç fonksiyonu değeri
Φ_{ij}	-1 ile 1 aralığında rasgele değer alan bir parametre

Not: Simgeler dizininde verilmeyen simgeler metnin içinde geçtikleri yerde tanımlanmıştır.



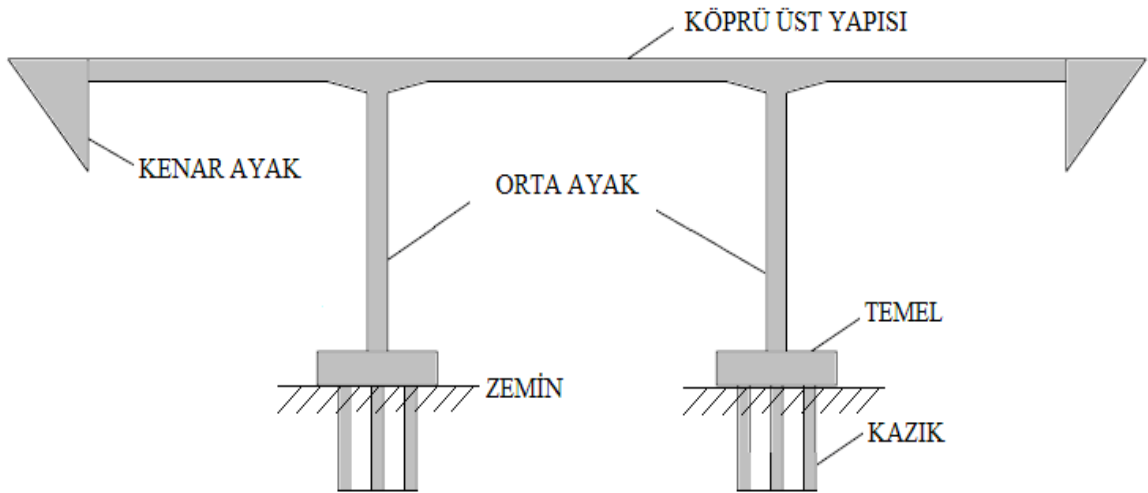
1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Köprülerin, vadi, nehir, otoyol ya da benzeri bir nedenle ayrılmış iki noktayı birleştirmek amacıyla inşa edilen yapılar olduğu bilinmektedir. Bu amaçla inşa edilen köprüler; inşa edilecekleri arazi özellikleri, geçilecek toplam açıklık, yapının boyutu, yükleme çeşitleri, bir seferde geçilecek maksimum açıklık, fabrikasyon ya da inşaat için kullanılacak teknolojiler, arazinin şekli, köprünün önemi ve maliyeti gibi etmenlere göre farklı şekillerde inşa edilebilmektedirler. Bu etmenler aynı zamanda tasarım ve köprü şeklinin seçimini de belirlemektedir (Ali, 2010).

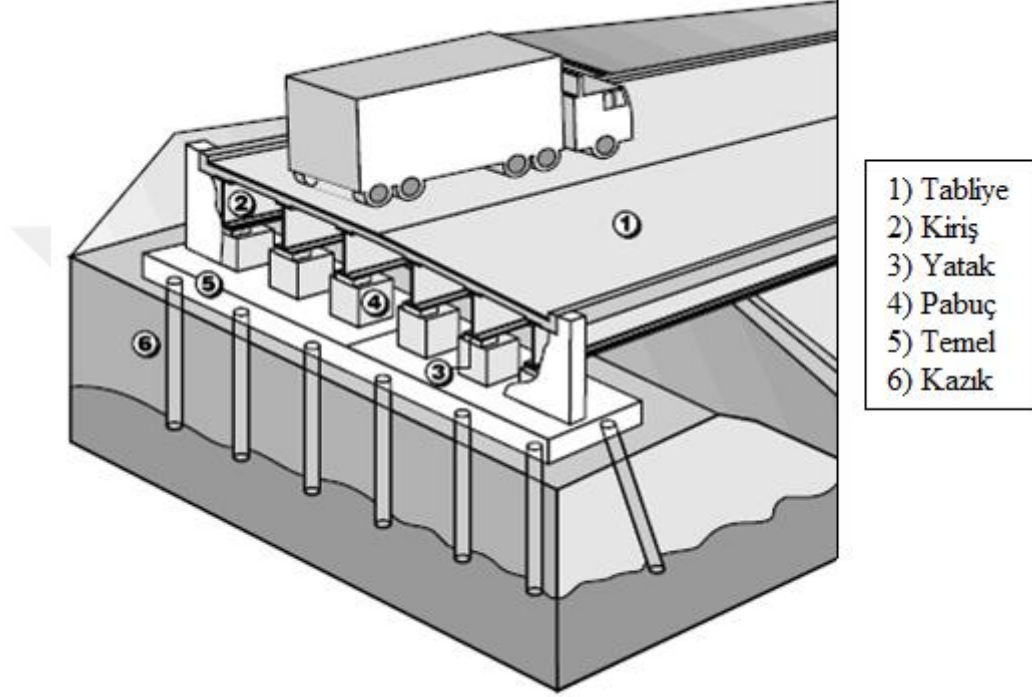
Köprüler açıklıklarına göre, kısa, orta ve uzun açıklıklı olarak sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırma için kesin açıklık değerleri bulunmamakla birlikte, önerilmeli beton köprüler için 15 m'den küçük açıklıklı olanlar kısa, 15 m ~ 30 m arasında olanlar orta ve 30 m'den büyük açıklıklı olanlar ise uzun açıklıklı olarak adlandırılmaktadır (Demiray, 2009).

Kirişli plak köprüler, Şekil 1.1'de görüldüğü gibi trafik yüklerini taşıyan ve bu yükleri köprü altyapısına aktaran köprü üst yapısı ile kenar ayak, orta ayak ve temel sisteminden oluşmaktadır (Sarsık, 2008).



Şekil 1.1. Kirişli plak köprü taşıyıcı elemanları (Sarsık, 2008).

Köprü üstyapısı, mesnetler üzerindeki bütün elemanları kapsamaktadır. Bunlar; tabliye, boylama ve enlemelerdir. Daha önce de belirtildiği gibi, köprü altyapısı ise, üstyapının üzerine oturduğu kenar ve orta ayaklar, temel, pabuç ve yataklardan oluşmaktadır. Tipik bir kirişli plak karayolu köprüsünü oluşturan temel elemanlar Şekil 1.2’de verilmektedir (Durmuş, 2010).



Şekil 1.2. Tipik bir kirişli plak karayolu köprüsüne ilişkin temel elemanlar (Durmuş, 2010).

Karayolları üzerindeki önemli mühendislik yapılarından biri olan köprüler, ilk dönemlerinde dar, küçük açıklıklı ve hafif yükleri taşıyabilecek nitelikte kâgir ve ahşap malzemelerden yapılırken; günümüzde bu köprülerin yerini büyük açıklıklı betonarme, çelik ya da öngerilmeli beton köprüler almıştır. Karayolları Genel Müdürlüğü’nün kuruluşu ile birlikte köprü yapımına hız verilmiş, ancak öngerilmeli beton köprülerin yapımına son yıllarda başlanmıştır (Altunışık, 2010).

Köprüler, yapıldıkları malzemelerine, taşıyıcı sistemlerine, kullanılış amaçlarına, kiriş şekillerine, plandaki şekillerine, mesnetlenme koşullarına ve hizmet sürelerine göre sınıflara ayrılmaktadır. Bu sınıflandırma aşağıda özetlenmektedir (Türker, 2009; Durmuş, 2010).

- a) Malzemelerine göre köprüler: Ahşap, kâgir, beton, betonarme, öngerilmeli beton, çelik, kompozit, alüminyum ve kısmen öngerilmeli beton köprüler olarak sınıflandırılmaktadır.
- b) Taşıyıcı sistemlerine göre köprüler: Plak köprüler, kirişli plak köprüler, çerçeve köprüler, kemer köprüler, asma köprüler ve kablolu köprüler olarak sınıflandırılmaktadır.
- c) Kullanım amaçlarına göre köprüler: Karayolu köprüleri, demiryolu köprüleri, karma köprüler, kanal köprüleri ve yaya köprüleri olarak sınıflandırılmaktadır.
- d) Kiriş şekillerine göre köprüler: Dolu gövdeli kirişli, sandık (kutu) kesitli kirişli, kafes kirişli, sabit ya da değişken yükseklikli kirişli köprüler olarak sınıflandırılmaktadır.
- e) Plandaki şekillerine göre köprüler: Dik verev ve yatayda eğimli (kurbada) köprüler olarak sınıflandırılmaktadır.
- f) Mesnetlenme koşullarına göre köprüler: Basit mesnetli, ankastre mesnetli, sürekli mesnetli ve gerber kirişli olarak sınıflandırılmaktadır.
- g) Hizmet sürelerine göre köprüler: Geçici ve daimi köprüler olarak sınıflandırılmaktadır.

Dünyanın çeşitli bölgelerinde inşa edilmiş olan orta açıklıklı köprülerde, köprülerin inşasında kullanılan malzeme bakımından, zaman içerisinde önemli gelişmelerin yaşandığı görülebilmekte olup, gerçek anlamda bir mühendislik eseri olarak yapılmış olan ilk orta açıklıklı köprülerin, kemer şeklinde ve kagir malzeme kullanılarak yapıldıkları bilinmektedir. Sonraki dönemlerde ise, malzeme olarak çelikle inşa edilen köprülerin daha çok tercih edilerek kullanıldığı görülmektedir. Takip eden yıllarda, betonarme de orta açıklıklı köprülerin inşasında kullanılan malzemeler arasında yerini almış ve orta açıklıklı köprüler de betonarme olarak inşa edilmeye başlamıştır. İlk zamanlarda, köprü tasarımında yerinde döküm betonarme kullanılmasından kaynaklı olarak, çok büyük açıklıklı kirişler yapılamamaktaydı. Daha sonraları ise, (ön döküm) prefabrike beton ve öngerilmeli beton tekniklerinin ortaya çıkmasıyla, çok açıklıklı köprülerde bu son teknik kullanılmaya başlanmıştır (Aydın, 2006).

1.2. Kısmen Öngerilmeli Beton Yapı Tekniği

1.2.1. Kısmen Öngerilmeli Betonun Tanımı

Kısmen öngerilmeli beton, çeşitli kaynaklarda değişik şekillerde tanımlanmaktadır. Bu tanımlardan bazıları aşağıda verilmektedir.

Kullanım yükleri etkisinde, betondaki çekme gerilmelerinin sıfır olduğu durum tam öngerilmeli durum olarak bilinmekle birlikte, betonda bir miktar çekme gerilmesine izin verilen durum ise kısmen öngerilmeli durum olarak adlandırılmaktadır (Nilson, 1976).

Kısmen öngerilme, kesitin çekme ve/veya basınç bölgesinde, hem aktif adı verilen öngerilme donatısı ve hem de pasif adı verilen betonarme donatısının, elemanda bir arada kullanılması olarak tanımlanabilmektedir (Naaman, 1977).

Emperger ve Abeles, betonda sınırlı çekme gerilmelerine ve kılcal çatlaklara izin verilen, betonarme ve tam öngerilmeden farklı üçüncü bir yöntemi önermişlerdir. Abeles, bu yöntemi tam öngerilmeden ayırmak için “kısmen öngerilmeli beton” olarak adlandırmıştır. Kısmen öngerilmeli beton, hem geleneksel betonarme hem de öngerilmeli betonun özelliklerini taşımaktadır (Lee, 1984).

Kısmen öngerilmeli beton, betonarme donatısı ve öngerilmeli donatının birlikte kullanılmasıyla oluşmakta ve geleneksel betonarme ile öngerilmeli betona göre çeşitli üstünlükleri bulunmaktadır (Harajli ve Naaman, 1985a).

Öngerilmeli beton yapıların daha çok inşa edilmesiyle kazanılan tecrübeler, tam öngerilmeli beton ile geleneksel donatılı beton arasında oluşturulan ara bir çözümün birtakım üstünlükleri olduğunu göstermiştir. Bu şekilde, kullanım yükleri altında betondaki çekme gerilmelerine dolayısıyla bazı çatlaklara izin verilen beton yapı elemanları, kısmen öngerilmeli beton eleman olarak adlandırılmaktadır (Nilson, 1987).

Kısmen öngerilmeli beton kiriş, betonarme donatısını ve öngerilme donatısını birlikte içeren kiriş olarak tanımlanabilmektedir. Tam öngerilmeli beton kirişler, betonarme donatısı içermeyen ya da göz ardı edilecek kadar içeren kirişlerdir (Naaman ve Hamza, 1993).

Kısmen öngerilmeli beton yapılar, kullanım yükleri altında izin verilen kılcal çatlakların gelişebildiği, genel olarak hem öngerilme hem de betonarme donatısına sahip yapılar olarak tanımlanmaktadır (Al-Gahtani vd., 1995).

ACI-ASCE Ortak Komitesi, kısmen öngerilmeli betonu, sabit ve hareketli yükler altında, betonda eğilme momentlerinden dolayı oluşan çekme gerilmelerine ve çatlamaya izin verilerek, kullanılabilirlik ve dayanım gereksinimlerinin sağlandığı, öngerilmeli ve öngerilmesiz donatının bir arada kullanıldığı bir yapım tekniği olarak tanımlamaktadır (ACI-ASCE, 2000).

Öngerilmeli beton ilk kullanılmaya başlandığında, betonarmeden farklı bir malzeme olarak düşünülmüş ve “tam öngerilme” olarak uygulanmıştır. Bu durumda, öngerme donatısı izin verilen maksimum çekme gerilmesine kadar gerilmiş ve betonarme donatısı kullanılmamıştır. Ancak, bazı durumlarda tam öngerilmeden ötürü ters sehim yüksek değerlere ulaşmış çatlamalara neden olmakta ve kullanım yükleri etkisinde dahi bu sehim değeri sıfırlanamamaktadır. Diğer taraftan, bazı elemanlarda tasarım momenti ile taşıma gücü momenti arasında yeterli fark oluşmamakta, kullanım yükünün hemen üzerinde kırılmaya ulaşılabilmekteydi. Sınırlı öngerilme kavramı, bu sakıncaları ortadan kaldırmak için doğmuştur (Keyder, 2005).

Kısmen öngerilmeli beton kesitler, betonarme donatısının yanında öngerilmeli beton donatısını da içerdiğinden, betonarme donatısı dış yükler altında oluşan çekme gerilmelerini karşılamaktadır (Agrawal ve Bhattacharya, 2010; Karayannis ve Chalioris, 2013).

Bu çalışmada ise, “kısmen öngerilmeli beton”, kullanılabilirlik, taşıma gücü koşullarını sağlayarak, kesitin çekme ve/veya basınç bölgesinde hem öngerilme hem de betonarme donatısını birlikte içeren ve kesitin taşıma gücü hesabında her iki donatıyı da dikkate alan, sabit ve hareketli yükler altında bazı durumlarda çekme gerilmelerine dolayısıyla da çatlamaya izin verilen beton olarak tanımlanmaktadır.

1.2.2. Kısmen Öngerilmeli Betonun Tarihçesi

Beton elemanlara uygulanan öngerilme, kullanım yükü etkilerine karşı koymak ve elemanların yapısal davranışlarını değiştirmek için uygun bir konumda ve büyüklükteki basınç gerilmeleridir. Öngerilmeli beton fikri ilk defa Eugène FREYSSINET (1879-1962) tarafından ortaya atılmış, ismi konulmuş ve uygulamada da kullanılabilirliği gösterilmiştir. Freyssinet, bir öngerilmeli eleman üzerindeki dönüşüm yükü olarak ifade ettiği yük artırılınca, belirli yük seviyesinde çekme bölgesindeki eğilme çatlaklarının kaybolduğunu fark etmiştir. Yük azaldığında çatlakların birbirine yaklaştığını savunmakla birlikte

betonun homojen bir malzeme gibi davranmasını sağlamak için kullanım yükleri altında çatlaklardan kaçınılması gerektiğini belirtmiştir. Ancak, farklı bir tasarım yaklaşımı, 1939 yılında von Emperger ve 1940 yılında Abeles tarafından önerilmiştir. Bu araştırmacılar, betonarmenin asal donatısında yüksek gerilmelere izin verilmesini, sehimin ve çatlak genişliğinin denetlenebilmesi için küçük bir oranda, yüksek dayanımlı gerilmiş çelik kullanılmasını önermişlerdir. Abeles, 1945 yılında İngiltere’de, bu tasarım fikrinin desteklenmesi için birçok ön çalışma gerçekleştirmiştir. Araştırmacı, bu çalışmasında, betonda oluşan olası çatlakları ve çekme gerilmelerini ortadan kaldırmanın gereksiz olduğunu belirlemiştir. Öngerilmelinin kullanım yükünün bir kısmını karşılayacak şekilde uygulanabileceğini fark etmiş, böylece kullanım yükü etkisinde betonda çekme gerilmeleri ve ince çatlaklar oluşmuştur. Betonarme donatısı, çatlak denetimine yardımcı olmakta ve istenilen dayanımı sağlamada kullanılmaktadır. Abeles, bu tasarım yaklaşımını “kısmen öngerilmeli beton” olarak adlandırmıştır. Bu tanım dikkate alındığında, Freyssinet tarafından savunulan tasarım yaklaşımının “tam öngerilmeli beton” olarak adlandırılması daha uygun olmaktadır. Abeles, kısmen öngerilme ilkelerine göre birçok yapı tasarlamıştır. Daha sonraları bu yapılar üzerinde yapılan araştırmalar, yapılarda emniyetsiz bir durumun ya da yapısal bozulmanın olmadığını göstermiş, bu araştırma sonuçları 1983’te Beton Birliği tarafından yayınlanan “Kısmen Öngerilme” raporunda da tartışılmıştır. Kısmen öngerilmeli beton, Yapı Mühendisleri Enstitüsü tarafından yayınlanan “Öngerilmeli Beton Raporu”nda tanınmıştır. Kısmen öngerilme için yönetmelik koşulları 1959 yılında “İngiliz Öngerilmeli Beton Standardı (CP 115)”na eklenmiştir. Günümüzde, hem İngiliz Standardı’nda (BS 8110) hem de 1978 yılında CEB-FIP tarafından yayınlanan “Beton Yapılar Yönetmeliği”nde (ACI-ASCE, 2000):

1) Kullanım yükleri altında, betonda çekme gerilmelerine dolayısıyla çatlamaya izin verilmeyen yapılar,

2) Kullanım yükleri altında, betonda sınırlı bir çekme gerilmesi dolayısıyla kılcal çatlaklara izin verilen yapılar,

3) Kullanım yükleri altında, sınırlı çatlak genişliğine (0.2 mm) izin verilen yapılar olmak üzere, üç öngerilmeli beton yapı sınıfı tanımlanmaktadır.

Avrupa’da, kısmen öngerilmeye olan ilgi 1950 ve 1960’larda artmıştır. 1950’lerin ortalarında, Danimarka’daki birçok yapı, özellikle de köprüler, kısmen öngerilme fikri kullanılarak tasarlanmıştır. Bu yapıların başarımları, kullanıma açıldıktan 25 yıl sonra değerlendirilmiş ve emniyetli oldukları görülmüştür. İsviçre’nin Zürih şehri yakınlarında

ilk kısmen öngerilmeli beton köprü (Weinland Köprüsü) 1958 yılında tamamlanmıştır. İsviçre Mühendisler ve Mimarlar Birliği tarafından kısmen öngerilmeli betonla ilgili yönetmelik koşulları, İsviçre yönetmeliklerine (SIA Standard 162) eklenmiş ve 1960'tan bu yana, 3000'den fazla köprü bu ilkelere göre başarıyla tasarlanmıştır. Amerika'da, 1950'lerin başlarında öngerilmeli beton tasarımının, Kamu Yolları Bürosu tarafından 1954'te yayınlanan "Öngerilmeli Beton Köprü Ölçütleri"ne dayandığı, bu ölçütlere göre, kullanım yükleri altında, betonda çekme gerilmelerine ve çatlağa izin verilmediği bilinmektedir. ACI-ASCE Ortak Komitesi 323'ün 1958'de yayınladığı raporda, belli yük aşamalarında çatlak oluşmasına izin verilebileceği savunulmuş, böylece bu raporda kısmen öngerilme ilkelerine yer verilmiştir. Lin, 1963 yılında, dengeli yük tasarım fikrini yayınlamış ve bu çalışmasıyla kısmen öngerilmenin pratikte uygulanabileceği düşüncesini desteklemiştir. 1971 yılında yayınlanan PCI tasarım elkitabının ilk baskısında çekme gerilmelerine izin veren tasarım yöntemleri sunulmuştur. 1978 yılında yayınlanan ikinci baskısında ise "kısmen öngerilmeli" deyiminden bahsedilmiş, 1985 yılında yayınlanan üçüncü baskısında, öngerilmeli ve öngerilmesiz donatıyı birlikte kapsayan elemanların tasarım örnekleri eklenmiştir. Yıllardan beri birçok mühendisin köprü tasarımında çekme gerilmelerine izin vermelerine rağmen, kısmen öngerilmeli beton ancak 1993 yılında yayınlanan "LRFD Specifications for Highway Bridges Design and Commentary"nın nihai taslağına girebilmiştir (ACI-ASCE, 2000).

Özetle, kronolojik olarak ilk önce betonarme tekniğinin geliştirildiği, daha sonra öngerilmeli beton tekniğinin kullanılmaya başlandığı, en son ise kısmen öngerilmeli beton fikrinin ortaya çıkarak uygulamaya geçmiş olduğu bilinmektedir (Durmuş, 2007).

1.2.3. Kısmen Öngerilmeli Beton Yapı Tekniğinin Betonarme ve Öngerilmeli Beton Yapı Tekniğine göre Üstünlükleri

Kısmen öngerilmeli beton yapı tekniğinin, betonarme ve öngerilmeli beton yapı tekniğine göre başlıca üstünlükleri aşağıda sıralanmaktadır (Durmuş, 1982; Aktaş, 1999; ACI-ASCE, 2000; Akgün, 2003).

1. Bu yapı tekniği kullanılarak inşa edilen yapıların, betonarme yapılar kadar olmasa bile, öngerilmeli beton yapılarda bulunmayan yeniden dağılım (adaptasyon) özeliği bulunmaktadır.

2. Bu yapı tekniğinde de, yüksek başarımı betonların kullanılması daha uygun olmaktadır.
3. Bu yapı tekniğinde, öngerilme donatısı ile birlikte, betonarme donatısı da kullanıldığından, daha ekonomik çözümler elde edilebilmektedir.
4. Bu teknikte, tam öngerilmeli betonda, betonun kısılmasından doğan ani kayıplar, önemli derecede azaltılabilmektedir.
5. Bu teknikte donatıların yorulma riski öngerilmeli beton yapı tekniğindekiinden daha düşük olmaktadır.
6. Kısmen öngermeli beton kirişler, tam öngerilmeli beton kirişlere göre, daha sünek davranış göstermektedir.
7. Kısmen öngerilmeli beton yapı tekniğinde, ters sehim, öngerilmeli betona oranla daha az olmaktadır. Bu özellik, çok açıklıklı köprülerde, açıklık sehimlerinin eşitlenmesi, dolayısıyla sürüş rahatlığı için önem arz etmektedir.
8. Yangına karşı, kısmen öngerilmeli betonun başarımı, öngerilmeli betona göre daha yüksektir.

1.2.4. Kısmen Öngerilmeli Beton Yapı Tekniği ile İlgili Bazı Çalışmalar

Abeles (1954), kısmen öngerilmeli beton elemanların statik ve dinamik yükler altındaki davranışını belirlemek üzere birtakım deneyler gerçekleştirmiş ve birçok durumda, öngerilmeli betondan daha üstün yanlarının olduğunu ortaya koymuştur.

Burns (1964), kısmen öngerilmeli beton kirişlerin moment-eğrilik ilişkisini araştırmış ve kirişlerin çatlaması ile taşıma gücüne etki eden parametreleri belirlemiştir.

Magura ve Hognestad (1966), kısmen öngerilmeli beton köprü kirişlerinin tekrarlı yükler altında, kırılmaya kadar olan davranışını deneysel olarak incelemiş ve elde edilen bulguların, AASHTO Karayolu Köprü Deney Sonuçları ile uyum içinde olduğunu göstermiştir.

Abeles (1967), betonarme ve öngerilmeli beton kirişlerle birlikte kısmen öngerilmeli beton kirişlerin tasarımlarını incelemiştir. Bu incelemede kullanılan etkin öngerilme kuvveti, kullanım yükleri altında izin verilen en büyük çatlak genişliğinin geçilmemesini sağlayan donatı oranıyla belirlenmiş ve betonarme donatısı miktarının, izin verilen en büyük sehime bağlı olduğu gösterilmiştir.

Abeles vd. (1974), denge altı donatılı kısmen öngerilmeli beton kirişlerdeki aderansın, tersinir tekrarlanır yükler altında, sehim ve çatlamaaya olan etkisini incelemiştirlerdir.

Desayi (1975), I kesitli kısmen öngerilmeli beton kirişlerin eğilme çatlak mekanizmasını araştırmış ve çeşitli yükler altında, çatlak aralıklarını ve en büyük çatlak genişliğini belirlemeye imkan tanıyan bir yöntem önermiştir. Önerilen yöntemin doğruluğu, 9 adet öngerilmeli I kesitli kiriş için elde edilen bulguların, deney bulgularıyla karşılaştırılması suretiyle gösterilmeye çalışılmıştır.

Nilson (1976), eğilme etkisinde kısmen öngerilmeli beton kirişlerin kullanım yükleri altında çatlak oluşumundan sonra, gerilme dağılımının belirlenmesi için bir yöntem önermiş ve uygulamasını sayısal örneklerle göstermiştir.

Naaman (1977), öngerilmeli ve kısmen öngerilmeli beton kesitlerin taşıma gücünü belirlemek için doğrusal olmayan bir yöntem kullanmış ve bu yöntemde, öngerilme donatısının da doğrusal olmayan davranışını dikkate almıştır. Elde edilen bulguları, ACI Standardı'nda önerilen yöntemle elde edilenlerle karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma, ACI'da önerilen yöntemin, moment kapasitesini belirlemede güvenilir tarafta kaldığını, ancak, öngerilme donatısındaki şekilgeçişirme ve kesitin eğriliğini belirlemede ihmal edilemeyecek düzeyde hatalı olduğunu göstermiştir.

Moustafa (1977), eğilme etkisindeki kısmen öngerilmeli beton elemanların tasarımı için bir yöntem geliştirmiş ve sayısal uygulamalarını göstermiştir. Bu çalışmada, kullanılacak çizelge ve karşılıklı etkileşim diyagramları da verilmiştir.

Naaman ve Siriaksorn (1979a-1979b), çalışmalarının birinci kısmında, çatlama ya da çatlak oluşmamış kısmen öngerilmeli beton kirişler için bir çözüm yöntemi geliştirmişlerdir. İkinci kısımda ise, kısmen öngerilmeli beton kirişlerin davranışlarını etkileyen bazı parametreleri belirlemek için, standart prefabrike kesitlerin, bilgisayar yardımı ile parametrik çözümlenmelerini gerçekleştirmişlerdir.

Lin (1979), betonarme, öngerilmeli ve kısmen öngerilmeli betonla ilgili bir teknik literatür çalışması yardımıyla, basit eğilme, kesmeli eğilme ve birleşik eğilme etkisindeki elemanlarda betonarme donatısının etkilerini incelemiştir.

Thompson ve Park (1980a), öngerilmeli, kısmen öngerilmeli ve betonarme elemanlar için tersinir yinelenir yükler altında, moment-eğrilik ilişkisini inceleyerek, bu ilişkiyi idealleştirmişlerdir. Bu idealleştirmeyi, öngerilmeli beton, kısmen öngerilmeli beton ve betonarme bir serbestlik dereceli kirişlerin deprem davranışlarını, farklı deprem kayıtları

altında, karşılaştırmalı olarak kullanmışlardır. Çalışmanın sonunda, aynı dayanım, başlangıç rijitliği ve sönüme sahip öngerilmeli beton kirişlerin, büyük deprem yükleri altında yerdeğiştirmelerinin, betonarme kirişlere göre daha büyük olduğu kanısına varmışlardır.

Meier ve Gergely (1981), kısmen öngerilmeli beton kirişlerin, öngerilmeli beton kirişlere göre ters sehimlerinin ve kullanılan öngerilme donatılarının az olmasından dolayı, tasarımlarının daha ekonomik yapılabilmesi gibi üstünlüklerinin bulunduğunu doğrulamışlardır. Bununla beraber, kısmen öngerilmeli betonun birtakım sakıncalarını da belirtmişlerdir.

Dean vd. (1981), dikdörtgen kesitli kısmen öngerilmeli 4 adet beton kirişin çatlak mekanizmasını incelemişlerdir. Elde edilen bulguları, o tarihte yürürlükte bulunan uluslararası standartlarda önerilen yöntemlerden elde edilen bulgularla karşılaştırmışlardır

Cohn ve Bartlett (1982), toplam donatı miktarı, öngerilme donatısının toplam donatı miktarına oranı ve öngerilme derecesi gibi değişkenlerin, kısmen öngerilmeli beton kesitlerin süneklik ve elastik olmayan davranışları üzerindeki etkilerini araştırmışlardır.

Naaman (1982a), öngerme tellerinin yorulma davranışına ilişkin deneysel bulguları, kısmen öngerilmeli beton kirişlerin yorulma davranışlarına ilişkin bulgularla karşılaştırmış ve kısmen öngerilmeli beton kirişlerde, betonarme donatısındaki yorulmanın tasarımda göz önüne alınması gerektiğini savunmuştur.

Naaman ve Siriaksorn (1982), farklı kullanılabilirlik sınır durumlarında kısmen öngerilmeli kirişlerin güvenilirliklerini incelemişlerdir. Çalışmada, enkesit şeklinin, kiriş açıklığının, hareketli yükün büyüklüğünün ve kısmen öngerilme derecesinin etkisini de araştırmışlardır.

Durmuş (1982), çalışmasında döşemelerle beraber çalışan öngerilmeli beton ve kısmen öngerilmeli beton kirişlerin mekanik davranışlarının bu sistemin güvenliğine olan etkilerini deneysel ve teorik olarak araştırmıştır. Çalışmanın sonunda, döşeme plakları tarafından enine sıkışmaya maruz inceleme konusu kirişlerin çatlama dayanımlarının, aktif ve pasif donatı oranı ne olursa olsun, bu etki altında olmayanlarınkenden daima daha büyük olduğu ve bu artışın enine etki ile doğru orantılı olarak değiştiği, eğilmedeki kırılma dayanımlarının ise bu etki altında olmayanlarınkenden pasif donatı oranına bağlı olarak daha büyük olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, kısmen öngerilmeli beton kirişlerin enine etkiye maruz olanlarında kırılma anındaki birim kısalmaların bu etki altında olmayanlarınkenden daha büyük olduğu belirlenmiştir.

Uber (1983), kısmen öngerilmeli T-kirişlerin tasarımı için basit bir yöntem sunmuştur. Bu yöntemde kullanılmak üzere, geleneksel betonarmeden tam öngerilmeli beton tasarımına kadar geniş bir alanı kapsayan tasarım diyagramları ve çizelgeleri oluşturulmuştur.

Naaman (1983), öngerilmeli ve kısmen öngerilmeli beton elemanların davranışını belirlemek için doğrusal olmayan yaklaşık bir tasarım yöntemi sunmuştur.

Dale (1983), çalışmasında kısmen öngerilmeli beton kirişlerin kesme dayanımının belirlenmesi konusunda daha önceden yapılan çalışmaları incelemiştir. Bu çalışmanın ardından kesme dayanımının belirlenmesi amacıyla gerçekleştirdiği deneylerden elde ettiği bulguları, teknik literatürde bulunan yöntemlerle elde edilenlerle karşılaştırmıştır.

Bachmann (1983a), çalışmasında İsviçre Standardı SIA 162'de bulunan öngerilmeli beton ilkelerinde son 30 yıl içinde meydana gelen gelişmeleri incelemiştir. Çalışmada, söz konusu standardın 1956 basımında tam öngerilmeli şart koşulduğu, kısmen öngerilmeli betonun kullanımına ise 1968 yılında izin verildiği vurgulanmıştır. Ayrıca, 1982 yılında yürürlüğe giren standartta ise farklı oranlarda öngerilme donatısı içeren betonarme kesitler için tasarım ilkelerinin bulunduğu da belirtilmiştir.

Shushkewich (1983), çalışmasında çatlama geleneksel betonarme ve kısmen öngerilmeli beton kesitlerde oluşan gerilmeleri belirlemek için basitleştirilmiş bir yöntem sunmuştur.

Bruggeling (1983), çalışmasında, daha önce Dischinger (1939) tarafından önerilen bir tasarım yöntemini, donatısı enkesite dağıtılmış elemanların çatlak oluşmuş durumlarını da kapsayacak şekilde genişletmiştir. Diğer taraftan yazar, kısmen öngerilmeli betonda zamana bağlı oluşan etkilerin hangi durumlarda göz ardı edilebileceğini de çalışmasında belirtmiştir.

Menn (1983), kısmen öngerilmeli betonun üstünlük ve sakıncalarını tartıştığı çalışmasında, eğilme etkisindeki elemanlar için basit bir bağıntı geliştirmiştir. Kısmen öngerilmeli betonun pratikteki üstünlüklerini göstermek için İsviçre'de tasarlanmış olan iki adet uygulamayı sunmuştur.

Saouma ve Murad (1984), çalışmalarında I enkesitli kısmen öngerilmeli beton kirişlerin optimizasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Bunun için, kısmen öngerilmeli kiriş imalatında kullanılan beton, kalıp, betonarme ve öngerilme donatısı maliyetlerinin toplamını, amaç fonksiyonu olarak kullanmışlardır. Oluşturulan bu amaç fonksiyonunu, içsel ceza fonksiyonu yöntemiyle birlikte çeşitli davranış sınırlayıcılarını (eğilme

dayanımı, başlangıç ters sehimi, sabit yük sehimi, hareketli yük sehimi, taşıma gücü ve kesme dayanımı) da dikkate alarak maliyet yönünden minimize etmeye çalışmışlardır. Bu yöntemin uygulanması için beş adet kiriş seçilmiş, bunlar çatlak oluşma ve oluşmama durumlarına göre optimize edilmiştir. Çalışmanın sonunda bulunan optimum değerlerin, yaklaşık olarak % 27 daha ekonomik olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Cohn ve MacRae (1984a), betonarme kirişlerin optimizasyonunu doğrusal olmayan programlama yöntemini kullanarak yapmışlardır. Çalışmada kullanılan yaklaşımın geleneksel betonarme, tam öngerilme ve kısmen öngerilmeli yapı elemanlarına uygulanabileceği belirtilmiştir. Yaklaşımın bilgisayarda kullanılabilmesini sağlamak amacıyla OSCON adı verilen bir yazılım geliştirilmiştir. Çalışmanın sonunda, geliştirilen yazılımla dört adet uygulama yapılarak, bunlardan elde edilen sonuçlar verilmiştir.

Cohn ve MacRae (1984b), her biri farklı boyutlara, derinlik/açıklık oranlarına ve hareketli yüke sahip 240 adet basit mesnetli geleneksel betonarme, kısmen öngerilmeli, önçekim ve ardçekim öngermeli kirişler üzerinde parametrik bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmanın sonucunda, derinlik/açıklık oranı yüksek olan ve düşük hareketli yüke maruz geleneksel betonarme kirişin maliyet yönünden en uygun olduğu vurgulanmıştır. Ayrıca, tam öngerilmeli beton kirişlerde de derinlik/açıklık oranı düşük olan ve yüksek hareketli yüke maruz kirişlerin maliyet yönünden en uygun olduğu vurgulanmıştır. Bunların ara değerlerinde ise kısmen öngerilmeli beton kirişlerin maliyet bakımından daha uygun olacağı belirtilmiştir.

Lee (1984), çalışmasında 46 gün boyunca kullanım yükünün % 50'sini taşıyan kısmen öngerilmeli 9 kiriş üzerinde deneyler gerçekleştirmiştir. Çalışmada, çekme gerilmesi, öngerilme derecesi ve kısmen öngerilme oranı gibi üç kısmen öngerilme parametresi, karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Cooke vd. (1984), kısmen öngerilmeli beton köprü üst yapılarının elastik olmayan yangın çözümlenmesi için bir teori geliştirmişlerdir. Kısmen öngerilmeli T ve kutu enkesitli kirişlerin altında bir ölçekte modellerinin yangın yüklemesini de içeren deneysel araştırma gerçekleştirilmiştir. Teorik yöntemlerle elde edilen kuvvetler, sehimler ve çatlak genişlikleri deneysel bulgularla karşılaştırılmıştır.

Bachmann (1984), çalışmasında kısmen öngerilmeyle ilgili İsviçre'deki gelişmeleri araştırmış ve bu ülkedeki tasarım uygulamaları hakkında bilgiler sunmuştur. Ayrıca, çalışmada geleneksel betonarmeden tam öngerilmeli betona geçiş yapmaya izin veren basit

bir tasarım yöntemi sunulmuştur. Çalışmanın sonunda, üç açıklıklı sürekli bir köprü kirişi üzerinde, yöntemin uygulamasını gerçekleştirmiştir.

Foo ve Warner (1984), çalışmalarında kısmen öngerilmeli 6 adet beton eğilme elemanı üzerinde yorulma deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Çalışmanın sonunda, yorulma kırılmasının betonarme çekme ve öngerilme donatısının art arda kopması ya da her iki donatının aynı anda kopması sonucu oluştuğu belirtilmiştir.

Harajli ve Naaman (1985a), basit mesnetli dikdörtgen enkesitli 12 adet kısmen öngerilmeli beton kirişin yorulma davranışını deneysel olarak incelemiştir. Altı adet kısmen öngerilmeli beton ve üç adet geleneksel beton kirişin yorulma göçmesine maruz kalmadan 5.000.000 yük tekrarını taşıyabildiği görülmüştür. Üç adet tam öngerilmeli beton kirişin ise çatlak oluşuktan hemen sonra 1.210.000, 2.170.000 ve 1.940.000 yük tekrarında yorulma göçmesine maruz kaldığı belirtilmiştir.

Ghali ve Tadros (1985), kısmen öngerilmeli yapılardaki gerilme ve şekildeğiştirmeleri tahmin etmek için bir yöntem sunmuşlardır. Yapılan çalışmada, sabit yükler altında elemanlarda çatlak oluşmadığı, fakat geçici hareketli yükler etkisinde çatlak oluşabileceği kabulü yapılmıştır. Bu kabuller dikkate alınarak, çatlak oluşmuş ve çatlak oluşmamış kısmen öngerilmeli beton kirişlerin eğriliklerinin hesaplandığı sayısal uygulamalar gerçekleştirilmiş ve sehim hesabında elde edilen eğrilik değerleri kullanılmıştır.

Harajli ve Naaman (1985b), çalışmalarında eğilme etkisindeki elemanların taşıma gücünün hesabında, öngerilmeli donatıda oluşan gerilmeler üzerinde çeşitli parametrelerin etkisini araştırmışlardır. Çalışmada yapılan uygulamalarda, öngerilme donatısındaki hesaplanan gerilmeler, standartlarda verilen denklemlerle tahmin edilen gerilmelerle karşılaştırılmıştır.

Naaman (1985), çalışmasında kısmen öngerilmeli beton teknolojisine ilişkin teknik bilgiler hakkında bazı hatırlatmalar yapmış ve bazı tavsiyelerde bulunmuştur.

Du ve Tao (1985), kısmen öngerilmeli beton kirişlerdeki aderanssız öngerilme donatısında oluşan nihai gerilmeler üzerinde, betonarme donatısı miktarının etkisini araştırmak için 22 adet aderanssız kısmen öngerilmeli beton kiriş üzerinde deneyler yapmıştır. Çalışmanın sonunda, aderanssız öngerilme donatısında oluşan nihai gerilmenin, hem aderanssız öngerilme donatı oranının hem de aderanslı betonarme donatısı oranının bir fonksiyonu olduğu sonucuna varılmıştır.

Peterson ve Tadros (1986), kısmen öngerilmeli beton elemanların basit eğilme etkisinde tasarımını yapabildiği bir yöntem sunmuşlardır. Bu yöntemin geliştirilerek, öngerilmemiş beton yapı elemanlarından tam öngerilmeli beton yapı elemanlarına kadar geniş bir yelpazede kullanılabileceğini vurgulamışlardır.

Dilger ve Suri (1986), çalışmalarında çatlak oluşmuş kısmen öngerilmeli elemanlarda basınç boşalmasından sonra donatılarda oluşan gerilmeleri, çizelgeler ve diyagramlar yardımıyla veren bir yöntem sunmuşlardır. Bu çalışmada, çatlak oluşmuş kısmen öngerilmeli beton kesitte, tarafsız eksen derinliği, kesit merkezinin derinliği ve çatlak oluştuğundan sonraki atalet momenti gibi kesit özelliklerinin belirlenmesi için doğrusal oranlama yapılması gerektiği belirtilmiş ve söz konusu çizelgelerin yararlı birer tasarım aracı olduğu vurgulanmıştır. Çalışmanın sonunda, yöntemin uygulanması sayısal örneklerle gerçekleştirilmiştir.

Suri ve Dilger (1986), çalışmalarında değişik türde öngerilmeli ve betonarme donatısı içeren kısmen öngerilmeli elemanlarda oluşan çatlak genişliklerini tahmin etmek için çeşitli denklemler sunmuşlardır. Çalışmanın sonunda, geliştirilmiş Gergely-Lutz denkleminin kısmen öngerilmeli beton elemanlarda oluşan çatlak genişliğini tahmin etmede kullanılabileceği belirtilmiştir.

Al-Zaid ve Naaman (1986), denge ve uygunluk durumlarına bağlı olarak, elastik davranan çatlak oluşmuş tam ve kısmen öngerilmeli kompozit kesitler için genel bir çözümleme yöntemi geliştirmişlerdir. Yük etkisiyle öngerilme kuvvetindeki değişimleri dikkate alarak malzemelerdeki gerilme ve yerdeğiştirmelere ilişkin denklemler türetilmiştir. Çalışmanın sonunda, yöntemin uygulaması bir örnek üzerinde gösterilmiştir.

Naaman vd. (1986), geleneksel, tam öngerilmeli ve kısmen öngerilmeli elemanların eğilme sünekliklerini değerlendirmek için analitik bir model geliştirmişlerdir. Bu çalışmadaki analitik modelden elde edilen bulgular, deneysel verilerle ve diğer araştırmalarla karşılaştırılmıştır. Süneklik ve dönmeyi tahmin etmek üzere denklemler türetilmiş ve bu denklemlerin tasarımda kullanılabilirliği incelenmiştir. Sonuçların yüksek dayanımlı betonla üretilen ve sargılama etkisinin dikkate alındığı elemanlara uygulanabilirliği tartışılmıştır.

Shahawi ve Batchelor (1986), çalışmalarında aderanslı ard-germeli T enkesitli kısmen öngerilmeli kirişlerin yorulma davranışını bir dizi deneyle araştırmışlardır. Kirişler basit mesnetli, aynı boyut ve eğilme dayanımına sahip olarak tasarlanmışlardır. Çalışmada öngerilme derecesi, 0,2 ile 1,0 arasında değiştirilmiştir. Çalışmanın sonunda, yorulma

kırılmasının art arda kopan betonarme donatıları yüzünden olduğu, bu aşamada öngerilmeli donatıda herhangi bir kopma meydana gelmediği belirtilmiştir. Ayrıca, elemanda oluşan en büyük çatlak genişliğini tahmin etmek için CEB-FIP Standardı'nda önerilen bağıntının uygun sonuçlar verdiği, uygun çatlak ve yorulma davranışı için öngerilme derecesinin 0,4 ile 0,6 arasında olması gerektiği vurgulanmıştır.

Brondum-Nielsen (1986a), kullanılabilirlik sınır durumu için simetrik eğilme ve aksenal yük etkisi altındaki kısmen öngerilmeli ve betonarme kesitlerde oluşan gerilmeleri, büzülme, sünme ve basınç boşalmasını da göz önüne alarak belirlemiştir.

Cohn (1986), iki cilt halinde yayınlanmış olan çalışmasında, o güne kadar kısmen öngerilmeli betonla ilgili yapılan çalışmaları sunmuştur.

Foo (1986), çalışmasında yorulma yükü etkisinde kısmen öngerilmeli beton eğilme elemanlarının davranışını teorik ve deneysel olarak incelemiştir. Çalışmada, 6 adet kısmen öngerilmeli beton kiriş üzerinde çeşitli yorulma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, doğrusal olmayan malzeme davranışını, sünme ve büzülme gibi zamana bağlı etkileri de dikkate alan teorik bir model geliştirilmiştir. Çalışmanın sonunda, kısmen öngerilmeli beton kirişlerin yorulma davranışında betonarme ve öngerilmeli donatının kopmasının etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

Basu vd. (1987a-1987b), çalışmalarının ilk kısmında çelik bir kiriş tarafından desteklenen beton döşemeyi de içeren kısmen öngerilmeli beton kirişin davranışını analitik olarak değerlendirmişlerdir. Çalışmanın ilk kısmında, döşemenin kirişle kompozit olarak çalışması durumunda, öngerilme negatif moment bölgesine uygulanmış, böylece, negatif moment bölgesindeki çatlakın önlenmesine ve malzeme bakımından ekonomi sağlanmasına çalışılmıştır. Çalışmanın ikinci kısmında ise, söz konusu sürekli kiriş modeli üzerinde deneyler gerçekleştirilmiş ve deneysel bulgular, çalışmanın ilk kısmından elde edilen analitik bulgularla karşılaştırılmıştır.

Al-Zaid vd. (1988), öngerilmeli ve kısmen öngerilmeli kompozit kirişler için genel bir zaman-adımı çözümü yöntemi sunmuşlardır. Oluşturulan sayısal model, betondaki sünme, büzülme ve öngerilme donatısındaki gevşemeyi de dikkate almaktadır. Çalışmanın sonunda, bilgisayar yardımıyla parametrik bir çalışma yapılmış ve yöntemin uygulaması, sayısal örnekler üzerinde gösterilmiştir.

Harajli (1988), çalışmasında çevrimsel yük etkisindeki kısmen öngerilmeli beton kiriş-kolon bağlantılarının moment-dönme ilişkisini belirlemek için bir model

geliştirmiştir. Yazar, bu modelin, deney sonuçları ve sonlu eleman çözümlenmeleriyle de uyum içinde olduğunu savunmaktadır.

Yaginuma ve Kitada (1988), çalışmalarında aderanssız kısmen öngerilmeli kirişler üzerinde deneyler gerçekleştirmişlerdir. Çalışmanın sonunda, açıklık/derinlik oranı arttıkça öngerilme donatısındaki gerilme artışının daha küçük olduğu belirlenmiştir.

Harajli ve Alameh (1989), artan bir şekilde çatlamaya devam eden kısmen öngerilmeli kirişlerin yük-şekildeğiştirme davranışını belirlemek için teorik bir model geliştirmişlerdir. Çalışmada geliştirilmiş olan yük-şekildeğiştirme ilişkisinin, mevcut yöntemlerle ve deneysel verilerle uyum içerisinde olduğu savunulmaktadır. Çalışmanın sonunda, önerilen modelle gerçekleştirilen sayısal örnekler sunulmuştur.

Rao ve Jayaraman (1989), başlangıçta çatlak oluşmuş betonarme donatısı içeren ve içermeyen kısmen öngerilmeli beton elemanlardaki zamana bağlı gerilmeleri ve şekildeğiştirmelerin hesaplanabildiği analitik bir yöntem sunmuşlardır. Çalışmanın sonunda, yöntemin uygulaması 4 adet sayısal örnek üzerinde gösterilmiştir.

Harajli ve Naaman (1989), çalışmalarında sabit yük ve çevrimsel yorulma yükü altındaki kısmen öngerilmeli beton kirişlerde çatlak oluşumunu incelemişlerdir. Çalışma, deneysel ve sayısal modelleme olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Çalışmanın sonucunda, sayısal modelden elde edilen bulguların deneysel bulgularla uyumlu olduğu savunulmaktadır.

Hassoun ve Sahebjam (1989), çalışmalarında göçmeye kadar artan yükler altında, kısmen öngerilmeli beton kirişlerde çatlak mekanizmasını deneysel olarak incelemişlerdir. Üzerinde deneyler gerçekleştirilen kirişlerde, değişik oranlarda öngerilmeli ve betonarme donatısı kullanılmıştır. Çatlak aralıkları ve genişlikleri ölçülmüş, kısmen öngerilmeli beton eğilme elemanlarında oluşan maksimum çatlak genişliğini hesaplamak için bir bağıntı oluşturulmuştur.

Shushkewich (1990), çatlak oluşmuş ve oluşmamış kısmen öngerilmeli beton kesitlerdeki gerilmelerin belirlenmesi için çeşitli bağıntılar geliştirmiştir. Bu bağıntılar yardımıyla, dikdörtgen, I, T ve ters T enkesitli kirişlerde kesit tasarımının kolaylıkla yapılabildiğini belirtmiştir.

Chouman (1990), çalışmasında kısmen öngerilmeli betonun zamana bağlı davranışı üzerinde betonarme donatısının etkisini araştırmıştır.

Taerwe (1990), çalışmasında Beton Yapılar için Model Standart'ta (CEB-FIB) bulunan ve öngerilme kayıplarını hesaplamak için kullanılan bağıntıyı, betonarme

donatısını da dikkate alacak şekilde genişletmiştir. Söz konusu bağıntı kullanılarak, çatlak oluşmamış kısmen öngerilmeli kesitlerde betondaki sünme ve büzülmeden dolayı oluşan gerilmelerin kolaylıkla hesaplanabildiğini vurgulamıştır.

Harajli ve Hijazi (1991), çalışmalarında taşıma gücüne ulaşıldığı durumda kısmen öngerilmeli beton elemanların donatılarında oluşan gerilmeleri doğrusal olmayan çözümlene yöntemiyle belirlemişlerdir. Deneylerle desteklenen çalışmada, yük türünün, yükleme durumunun, betonarme donatısı miktarının ve eleman açıklığının yüksekliğine oranının, donatıdaki gerilmeye önemli etkileri olduğu kanısına varılmıştır.

Naaman ve Founas (1991), rasgele genlikte yorulma yüküne maruz kısmen öngerilmeli kirişlerin davranışlarını ve bunların yorulma davranışlarına etki eden parametreleri araştırmışlardır. Deney programında, 6 deney kirişi tekdüze artan yük altında göçmeye kadar denenmiş, 10 deney kirişi ise yorulma deneyine tabi tutulmuştur. Yorulma deneyindeki tepe yükü, köprülerdeki kamyon yükü frekans dağılımını temsil edecek şekilde seçilmiştir. Deneyde, sehimler, çatlak genişlikleri, eğrilikler, betonarme ve öngerilme donatısındaki şekildeğişimler ölçülmüş ve bunların çevrimsel yük etkisinde göçmeye kadar artışları incelenmiştir. Çalışmanın sonunda, rasgele genlikteki yorulma yükünün sabit genlikteki yorulma yükünden daha hasar verici olduğu belirtilmiştir.

Campbell ve Chouinard (1991), aderanssız kısmen öngerilmeli beton kirişlerin taşıma gücüne ulaştıklarında, öngerilme donatısında oluşan gerilmeleri, 6 adet dikdörtgen enkesitli kiriş üzerinde deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmanın sonunda aderanslı betonarme donatısının, kirişlerin eğilme davranışı ve taşıma gücüne ulaşıldığında öngerilme donatısındaki gerilme artışı üzerinde önemli etkilerinin olduğu belirtilmiştir.

Espion ve Halleux (1991), çalışmalarında tam ve kısmen öngerilmeli beton kirişler üzerinde uzun süreli yüklemeler altında gerçekleştirilen deneylerden elde edilen sonuçları sunmuşlardır. Deneylerde 5 yıl boyunca sabit yüke maruz 2 metre açıklığa sahip 10 adet dikdörtgen enkesitli kiriş kullanılmıştır. Çalışmanın sonunda, 5 yıl boyunca sabit yüke maruz olarak bekletilen kirişlerle erken yaşlarda göçmeye kadar denenilen kirişlerin taşıma kapasitelerinde önemli bir farklılığın olmadığı belirtilmiştir.

Rao (1991), eğilme etkisindeki kısmen öngerilmeli elemanlarda, betondaki rötne ve sünme ile donatıdaki rölaksasyonu dikkate alarak, optimum kesiti belirleyen bir algoritma sunmuştur.

Abul-Feilat (1991), çalışmasında iki açıklıklı, düzgün yayılı yükle yüklenmiş, tam ve kısmen öngerilmeli sürekli kirişlerin minimum maliyetli tasarımını gerçekleştirmiştir.

Öngerilme uygulanmış donatılardaki kayıpların, aktarma ve kullanım durumları için hesaplandığı belirtilmiştir. Simetrik olmayan I enkesitin geometrisi, öngerilmeli ve betonarme donatıların alanları ile öngerilmeli donatı profili, tasarım değişkenleri olarak kabul edilmiştir. Çalışmada sınırlayıcı olarak; eğilme etkisinde oluşan gerilmeler, eğilme kapasitesi, çatlama momenti, kesme dayanımı, enkesit geometrisi ve kablo profili dikkate alınmıştır.

Chern vd. (1992), artan bir şekilde çatlamaya devam eden kısmen öngerilmeli beton kirişlerin şekildeğiştirmesini hesaplamak için sayısal bir yöntem sunmuşlardır. Çalışmanın sonucunda, betondaki uzama şekildeğiştirmesini dikkate almanın, betonun çekme dayanımını ihmal eden geleneksel teoriden bir miktar daha gerçeğe yakın sonuçlar verdiği kanısına varılmıştır.

Naaman (1992), eğilme ve basınç etkisindeki betonarme, tam öngerilmeli ve kısmen öngerilmeli beton elemanlarda; minimum ve maksimum donatı oranının belirlenmesiyle, aderanslı ve aderanssız durumlarda taşıma gücüne ulaşıldığında donatıda oluşan gerilmelerin hesaplanması konusunda birtakım öneriler sunmuştur.

Khaleel (1992), çalışmasında kısmen öngerilmeli beton yapıların güvenilirliğe dayalı çözümlenmesini sunarak, bu yapıların söz konusu çözümlenme yöntemiyle tasarımları hakkında bilgiler vermiştir.

Cohn ve Lounis (1993), çalışmalarında kısmen ve tam öngerilmeli sürekli kirişlerin ve tek doğrultuda çalışan döşemelerin minimum maliyetli tasarımlarını sunmuşlardır. Çalışmada gerçekleştirilen optimizasyonda, Lagrange algoritması kullanılmıştır. Kullanılabilirlik sınır durumu için dikkate alınan sınırlayıcılar, ACI standardına uygun olarak belirlenmiştir. Amaç fonksiyonu, kirişteki betonun, betonarme donatısının ve öngerilmeli donatının maliyetlerini kapsamaktadır. Çalışmanın sonunda, izin verilen çekme gerilmesinin artmasıyla, amaç fonksiyonu değerinin düştüğü belirtilmiştir.

Khaleel ve Itani (1993a), basit mesnetli asimetric I enkesitli kısmen öngerilmeli beton kirişlerin ACI standardına göre minimum maliyetli optimum tasarımını gerçekleştirmişlerdir. Çatlak oluşmuş ve oluşmamış kesitlerin optimum tasarımında, doğrusal olmayan optimizasyon yöntemi ve ardışık ikinci dereceden programlama yöntemi kullanılmıştır. Yapılan çalışmaların sonucunda, beton dayanımının artmasının, elde edilen minimum maliyete çok fazla etkisinin olmadığı, öngerilme donatısının dayanımının artmasının ise belli bir ölçüde etkisinin olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca, betonda bir

miktar betonarme donatısının kullanılmasının çatlak gelişimini kolaylaştırdığı, toplam maliyeti düşürdüğü ve sünekliği arttırdığı belirtilmiştir.

Naaman ve Hamza (1993), çalışmalarında, tam öngerilmeli ve kısmen öngerilmeli yüksek dayanımlı beton kirişlerde, öngerilme kayıplarını incelemişlerdir. Değişik açıklıklı ve genişlikli, farklı enkesite sahip bina ve köprü kirişleri üzerinde; öngerilme donatısının dayanımı ve türünün, betonarme donatısının akma dayanımının, ortamın bağıl neminin ve kür koşullarının etkisi araştırılmıştır. Zamana bağlı öngerilme kayıpları, zaman-adımı çözümleme yöntemi kullanılarak bilgisayar yardımıyla hesaplanmıştır.

Khaleel ve Itani (1993b), mevcut kirişli köprülerin güvenliğini yükün ve dayanım parametrelerinin bir fonksiyonu olarak hesaplayan bir yöntem sunmuşlardır. Köprü kapasitesi, yapı yıkılana kadar arttırılan kamyon yükü cinsinden doğrusal olmayan sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Tam öngerilmeli köprülerin güvenilirliklerinin, kısmen öngerilmeli köprülerden daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, sistem güvenilirliğine, dışta bulunan kirişlerdeki hasarların, içte yer alan kirişlerdeki hasarlara göre etkisinin daha fazla olduğu sonucuna varılmıştır.

Rao vd. (1993), sabit yük ve başlangıç öngerilme etkisi altındaki kısmen öngerilmeli beton elemanlarda, betondaki sünme ve rötne ile öngerilmeli donatının rölaksasyonu gibi zamana bağlı etkilerden dolayı, betonda ve betonarme donatısındaki öngerilme kaybını ve gerilme dağılımını hesaplamaya yarayan bir yöntem sunmuşlardır. Çalışmada, kısmen öngerilmeli betonda gerilme ve şekildeğişirmelere bağlı tarafsız eksen derinliğinin zaman içerisinde değiştiği, bu değişimin de genellikle artış şeklinde olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, önerilen yöntemde, zamana bağlı tarafsız eksen derinliğini hesaplamak için 3. dereceden denklem çözümüne ihtiyaç duyulmadığı vurgulanmıştır. Önerilen yöntemin sayısal uygulaması, 2 adet örnek üzerinde sunulmuştur.

Branson (1993), çatlak oluşmuş öngerilmemiş ve kısmen öngerilmeli eğilme elemanlarının başlangıçtaki ve zamana bağlı şekildeğişirmelerinin hesaplanması için bir yöntem sunmuştur. Çalışmada sunulan yöntem, diğer araştırmacıların deneysel verileri ile karşılaştırılarak doğrulanmıştır.

Rao ve Dilger (1993), çalışmalarında, kısmen öngerilmeli beton elemanların kısa süreli sehimleri hesaplamada, etkili atalet momenti yaklaşımına dayanan yöntemleri incelemişlerdir. Bu yöntemlerin doğruluğu, 55 adet kısmen öngerilmeli beton kiriş üzerinde gerçekleştirilen deneylerden elde edilen verilerin, analitik olarak hesaplanan sehimlerle karşılaştırılmasıyla gösterilmeye çalışılmıştır. Çalışmanın sonunda, kısmen

öngerilmeli beton elemanlarda basınç boşalması ve çatlama momentinin hesaplanmasını kolaylaştıran tasarım çizelgeleri sunulmuştur.

Naaman vd. (1993), 2 adet kısmen öngerilmeli T-enkesitli kirişte karbon lifli kompozit öngerilme donatısı kullanarak birtakım deneyler gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada, bu kirişlerin yük-sehim ilişkisinin teorik olarak belirlenmesi için doğrusal olmayan çözümleme yöntemi kullanılmış ve çalışmanın sonunda bu yöntemle elde edilen bulguların deneysel bulgularla uyumlu olduğu belirtilmiştir.

Alkhairi ve Naaman (1993), çalışmalarında aderanslı ve aderanssız öngerilme donatısıyla öngerilmesiz betonarme donatısı içeren beton kirişlerin moment-şekildeğiştirme ilişkisini, doğrusal olmayan bir çözümleme yöntemiyle belirlemişlerdir. Çalışmanın sonunda, elde edilen teorik bulguların deneysel olanlarla uyum içerisinde olduğu belirtilmiştir.

Xin ve Gilbert (1993), artan yüke maruz kısmen öngerilmeli beton elemanların zamana bağlı çözümlemesi için analitik bir yöntem sunmuşlardır. Sunulan yöntemin doğruluğu, çalışmaya eklenen sayısal uygulamalarla gösterilmiştir.

Al-Gahtani vd. (1995), çalışmalarında iki açıklıklı sürekli kısmen öngerilmeli beton kirişlerin optimum tasarımını gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada optimum tasarım, eğilme etkisinde oluşan gerilmeler, taşıma gücü, çatlama momenti, nihai kesme dayanımı, maksimum ve minimum donatı oranları, enkesit boyutları ve kablo profiline ilişkin sınırlayıcılar dikkate alınarak, PCBDOS adı verilen yazılım yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonucunda, iki açıklıklı, sürekli kirişler için kısmen öngerilmeli beton tasarımının, tam öngerilmeli beton tasarımından daha ekonomik olduğu kanısına varılmıştır.

Gregor ve Collins (1995), çalışmalarında ard-germeli donatı ve etriye içeren altı adet kiriş üzerinde deneyler gerçekleştirmiştir. Deneylerin sonucunda elde edilen bulgular, ACI Standardı'ndan elde edilen bulgularla karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar sonucunda, ACI Standardı kullanılarak elde edilen eğilme kapasitesinin deneysel olarak elde edilenlerden daha büyük, kesme kapasitesinin ise daha küçük olduğu yargısına varılmıştır.

Paramasivam vd. (1995), çalışmalarında kesme etkisi altındaki kısmen öngerilmeli beton kirişlerin davranışının belirlenmesi için bir sonlu elemanlar modeli önermişlerdir. Çalışmada, ayrıca, kısmen öngerilme oranının, açıklığın, etkili derinlik oranının ve çelik donatının hacimce oranının değiştirildiği deneyler gerçekleştirmiş ve elde edilen bulgular sonlu elemanlar çözümlemesinden elde edilenlerle karşılaştırılmıştır. Önerilen sonlu

elemanlar modeliyle, deney kirişlerinin sehim ve taşıma güçlerinin gerçeğe uygun bir şekilde belirlendiği sonucuna ulaşılmıştır.

Naaman (1995), 1994 yılında yayınlanan AASHTO Otoyol Köprüsü Tasarımı Şartnamesi koşullarına göre geleneksel betonarme, tam ve kısmen öngerilmeli beton elemanların eğilme dayanımını hesaplayan bir yöntem önermiştir. Çalışmada önerilen yöntem kullanılarak, tablalı veya dikdörtgen kesitlerde, denge altı ve denge üstü donatı oranlı, aderanslı ve aderanssız durumlar için, öngerilme ve betonarme donatısı içeren kirişler üzerinde sayısal uygulamalar gerçekleştirilmiştir.

Kısmen öngerilmeli dikdörtgen ve T-enkesitli kirişlerin minimum maliyetle optimum tasarımını, ayırıklaştırılmış sürekli optimalite ölçütüne (DCOC) göre gerçekleştirmişlerdir (Han vd., 1995; Han vd., 1996a-1996b).

Gutierrez vd. (1996), çalışmalarında öngerilme ve betonarme donatısı içeren beton kesitlerin birim şekil değiştirme ve gerilme dağılımını belirlemek amacıyla kullanılan bir yöntem geliştirmişlerdir. Sunulan yöntemin, çatlak oluşmuş ya da oluşmamış durumlardan bağımsız olarak betondaki ve öngerilme donatısındaki zamana bağlı etkileri de dikkate aldığı belirtilmiştir. Geleneksel betonarme, tam öngerilmeli beton ve kısmen öngerilmeli beton kesit uygulamaları, çeşitli yükleme koşulları altında yapılarak sunulan yöntemin kullanılabilirliği gösterilmiştir.

Lopes vd. (1997) kısmen öngerilmeli sürekli kirişlerdeki eğilme momentinin yeniden dağılımını araştırmışlardır. Bu amaçla, iki açıklıklı yedi sürekli kiriş, yüksüz durumdan göçmeye kadar denenmiştir. Deneylemlerden elde edilen nihai yükler, plastik ve elastik davranış dikkate alınarak hesaplanan teorik yüklerle karşılaştırılmıştır.

Sarma ve Adeli (1998), çalışmalarında, betonarme yapıların optimizasyonu konusunda, o zamana kadar yapılan çalışmaları derleyerek, bir sentez çalışması gerçekleştirmişlerdir. Yapılan sentez çalışmasında, daha önce optimizasyonu yapılmış betonarme yapılar; betonarme kirişler ve döşemeler, kolonlar, çerçeve yapılar ve diğer betonarme yapılar (köprüler, su tankları, betonarme perde duvarlar, betonarme boru sistemleri ve betonarme çekme elemanları) şeklinde sınıflandırılmıştır. Çalışmada ayrıca betonarme yapıların optimizasyonu ile ilgili çalışmalar dışında, kısmen öngerilmeli beton yapıların optimizasyonu ile ilgili olanlara ilişkin de bilgiler verilmiştir. Yapılan sentez çalışması ışığında, betonarme yapıların optimizasyonuna ilişkin olarak yüzlerce çalışmanın yapıldığı, ancak bunlardan çoğunun amacının ağırlığı minimize etmek olduğu, bu çalışmalardan yalnızca birkaçının maliyet yönünden optimizasyonla ilgilendiği ve

betonarme yapıların birden fazla malzemeden oluştukları için maliyet yönünden optimize edilmeleri gerektiği vurgulanmıştır.

Chowdhury (1999), çalışmasında geleneksel betonarme ve kısmen öngerilme beton kirişlerin çatlak mekanizmalarını ve sönümlerini incelemek için bazı deneyler gerçekleştirmiştir. İki aşamadan oluşan deneyler, toplam 30 adet geleneksel betonarme ve kısmen öngerilmeli kiriş üzerinde gerçekleştirilmiştir. Deneylerden elde edilen bulguların değerlendirilmesiyle, geleneksel betonarme ve kısmen öngerilmeli beton kirişlerin sönümünün belirlenmesinde kullanılan 2 adet ampirik bağıntı geliştirilmiştir. Sunulan bağıntıların doğruluğunu ve güvenilirliğini kanıtlamak için teknik literatürde mevcut yayınlarla karşılaştırmalı çalışmalar yapılmıştır.

Aktaş (1999), çalışmasında betonun çekme dayanımının dikkate alındığı çatlama betonarme kirişlerde eğriliğin ve sehimin belirlenebilmesi için bir yöntem önermiştir. Önerilen yöntemin kısa süreli yükler etkisindeki çatlama kirişlere de uygulanabileceği belirtilmiştir.

Pisani (1999), çevrimsel yük etkisindeki geleneksel betonarme, kısmen öngerilmeli ve tam öngerilmeli kirişlerin dıştan öngerilme verilerek güçlendirilmesinden sonraki davranışını incelemiştir. Deneysel çalışma ve sonrasında geliştirdikleri modeller üzerinde yapılan sayısal çözümlerden elde edilen bulguların karşılaştırılması sonucunda, güçlendirilen yapının taşıma kapasitesinin, güçlendirilmemiş oranla daha fazla olduğu belirlenmiştir.

Bolander ve Le (1999), geleneksel betonarme ve kısmen öngerilmeli yapıların kullanım yükleri altında çatlama izin verecek şekilde tasarlandıklarını belirterek, özellikle yapısal dayanıklılığın önemli olduğu çevre koşullarında, düşük yük seviyelerinde çatlak oluşumu ve dağılımının doğru bir şekilde belirlenmesinin çok önemli olduğunu vurgulamışlardır.

Kısmen öngerilmeli betonun gelişimi konusunda, Amerikan Beton Enstitüsü (ACI-ASCE, 2000) tarafından düzenlenen raporda, bu tekniğin tarihçesi, tanımı, tasarım ilkeleri, üstünlük ve sakıncaları, uygulama alanları ve bu teknikle üretilen elemanların çeşitli yükleme durumlarında zamana bağlı davranışı hakkında ayrıntılı bilgiler sunulmuştur.

Chowdhury vd. (2000), 26 adet basit mesnetli betonarme ve kısmen öngerilmeli sürekli kirişin çatlak mekanizmasını ve sönümünü belirlemek için tam ölçekli deneyler gerçekleştirmişlerdir. Bu deneylerden elde edilen bulgular yardımıyla, betonarme ve

kısmen öngerilmeli kirişlerin sönümünün logaritmik azalışını tahmin etmek için 2 ayrı ampirik bağıntı türetilmiştir.

Rashed vd. (2000), çalışmalarında, su rezervuarları ve pis su ıslah tanklarının yapısal tasarımının genellikle betonarme ya da tam öngerilmeli beton kullanılarak yapıldığını belirterek, bu tür yapıların kısmen öngerilmeli betonla yapılması fikrini gerçekleştirdikleri deneylerle araştırmışlardır. Yapılan deneylerde, toplam 8 adet tam ölçekli tipik tank duvarı üzerinde sızdırmazlık deneyi gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonunda, kısmen öngerilmeli tank duvarlarının basit eğilme ve merkezi çekme etkisinde, çatlak genişliği ve dağılımı açısından iyi bir davranış gösterdiği belirlenmiştir.

Zatar ve Mutsuyoshi (2000; 2002) köprü ayaklarında oluşan kalıcı yerdeğiştirmelerin kısmen öngerilmeli beton kullanarak azaltılıp azaltılmayacağını araştırmışlardır. Bunun için küçük ölçekli köprü ayakları üzerinde bir dizi deney gerçekleştirilmiştir. Deneylerden elde edilen bulgular yardımıyla kısmen öngerilmeli beton köprü ayaklarının elastik olmayan davranışları belirlenmiştir.

Rodriguez-Gutierrez ve Aristizabal-Ochoa (2001a), çalışmalarında iki doğrultuda birleşik eğilme etkisindeki, düzensiz geometriye sahip betonarme, kısmen öngerilmeli ve tam öngerilmeli narin kolonların elastik olmayan yapısal davranışlarını, taşıma gücünü ve göçme şeklini belirleyen analitik bir yöntem sunmuşlardır. Sunulan yöntemde, malzemelerin doğrusal olmayan gerilme-birim şekildeğiştirme ilişkisinin dikkate alındığı belirtilmiştir. Ayrıca, ikinci merteye etkileri de dikkate alınmış ve bunların hesabında sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır. Çalışmanın sonunda, sunulmuş olan yöntemin uygulaması, 3 adet sayısal örnek üzerinde gösterilmiştir.

Rodriguez-Gutierrez ve Aristizabal-Ochoa (2001b), çalışmalarında iki doğrultuda birleşik eğilme etkisinde, düzensiz geometriye sahip betonarme, kısmen öngerilmeli ve tam öngerilmeli narin enkesitlerin elastik olmayan yapısal davranışlarını, taşıma gücünü ve göçme şeklini içeren Moment-Yük-Eğrilik diyagramlarını belirlemek için analitik bir yöntem geliştirmişlerdir. Çalışmanın sonunda, geliştirilen yöntemin uygulaması 2 adet sayısal örnek üzerinde gösterilmiştir.

Chowdhury ve Loo (2001), geleneksel betonarme ve kısmen öngerilmeli beton kirişlerdeki ortalama çatlak genişliğini hesaplamada kullanılan bir bağıntı geliştirmişlerdir. Geliştirilen bağıntının başarımı, 18 geleneksel betonarme ve 12 kısmen öngerilmeli beton kirişin çatlak aralığı ve çatlak genişliği ölçümlerini içeren deneylerden elde edilen bulgular yardımıyla denetlenmiştir. Diğer taraftan söz konusu bağıntı, ACI Bina Standardı, İngiliz

Standardı ve Eurocode'da tavsiye edilen bağıntılarla karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonunda, önerilmiş olan bağıntıdan elde edilen değerlerin, deney verileri ile uyum içinde olduğu kanısına varılmıştır.

Fang ve Campbell (2001), lifli polimer (FRP) öngerilme ve betonarme donatısı bulunan kısmen öngerilmeli kirişlerin davranışını temsil eden bir model geliştirmişlerdir. Çalışmanın sonunda, önerilen modelin belirli bir düzeyde aderanslı ya da tam aderanslı kısmen öngerilmeli beton kirişlerin davranışını doğru bir şekilde temsil ettiği sonucuna ulaşılmıştır.

Rebentrost (2003), çalışmasında, ard-germeli ve aderanslı kısmen öngerilmeli eğilme elemanlarının sünekliğini ve doğrusal olmayan yük etkisindeki davranışını teorik olarak incelemiştir. Yapılan teorik incelemede, söz konusu kirişlerdeki sünme ve büzülme gibi zamana bağlı etkiler dikkate alınmamıştır.

Zou (2003), birleşik eğilme etkisindeki lifli polimer (FRP) donatılı tam ve kısmen öngerilmeli kirişlerde oluşan kısa süreli sehimlerin belirlendiği çeşitli yöntemleri derlemiştir. Bu yöntemlerin kullanılmasıyla elde edilen bulgular, deneysel bulgularla karşılaştırılmış ve bunların birbiriyle uyum içinde oldukları belirlenmiştir.

Au ve Du (2004), kısmen öngerilmeli beton tekniğinde o tarihe kadar olan gelişmelere ilişkin bir rapor hazırlamışlardır. Bu raporda, aderanssız öngerilmeli ve kısmen öngerilmeli beton eğilme elemanlarının kullanım aşamasındaki davranışları araştırılmıştır. Bununla birlikte, lifli polimerlerin (FRP) kısmen öngerilmeli beton elemanlarda kullanılmasına ilişkin çalışmalar hakkında da bilgiler verilmiştir.

Akgün ve Durmuş (2004), çalışmalarında basit eğilme etkisi altındaki kısmen öngerilmeli yüksek başarımı beton kirişlerin dayanım, şekildeğiştirme ve çatlama durumlarını inceleyerek, bu betonlar ile üretilen kısmen öngerilmeli beton kirişlerin optimum öngerilme oranını belirlemişlerdir. Yüksek başarımı ve geleneksel betonlar kullanılarak üretilen betonarme ve kısmen öngerilmeli beton kirişlerin basit eğilme etkisi altındaki davranışları karşılaştırmalı olarak incelenmiş, varılan sonuç ve öneriler sunulmuştur.

Au vd. (2005), kullanım yükleri etkisindeki aderanssız kısmen öngerilmeli beton kirişlerin davranışlarını incelemek için sayısal bir yöntem geliştirmişlerdir. Çalışmada geliştirilen yöntemden elde edilen bulguların, teknik literatürde yer alan deney bulgularıyla uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır.

Akgün ve Durmuş (2006), çalışmalarında kısmen öngerilmeli beton kirişlerde yüksek başarımı beton kullanmanın yararları hakkında bilgiler vermişlerdir.

Mahin vd. (2006), çalışmalarında betonarme kolonlarda oluşan kalıcı yerdeğiştirmeleri minimize etmek amacıyla betonarme donatılardan bazılarının çıkartılarak yerine ard-germeli donatı bulunduğu bir tasarım yapmışlardır. Bu tür kısmen öngerilmeli beton kolonların deprem başarımları, bir dizi deprem benzetim deneyi ile araştırılmış, sonuç olarak kısmen öngerilmeli kolonların güçlü yer sarsıntılarında kayda değer biçimde daha iyi davranış gösterdiği belirtilmiştir.

Evirgen (2007), sınırlı öngerilmeli kirişlerde betonun çekme dayanımının kirişte oluşan yerdeğiştirmelere katkısını incelemiştir. Farklı 4 adet çekme modeli kullanılarak bunların birbiriyle ve çekme dayanımının ihmal edildiği durum ile karşılaştırılması yapılmıştır.

Akgün ve Durmuş (2007), çalışmalarında betonarme, tam öngerilmeli ve kısmen öngerilmeli yapı tekniklerini kullanarak geleneksel ve yüksek başarımı betonlarla üretilen kirişlerin eğilme davranışlarını teorik ve deneysel yöntemlerle karşılaştırmalı olarak incelemiştir. Kısmen öngerilmeli betonun adaptasyon yapma özelliği, deney kirişlerinden elde edilen bulguların; dayanım, şekildeğiştirme ve çatlama durumları yönünden değerlendirilmesi ile doğrulanmıştır. Ayrıca, yapım teknikleri farklı geleneksel ve yüksek başarımı betonlarla üretilen kirişlerin, amaca uygun eğilme davranışları için optimum kısmen öngerilme oranları belirlenmiştir. Çalışmanın sonucunda, deprenselliği yüksek bölgelerde süneklik özelliğine sahip kısmen öngerilmeli beton yapı tekniğinin kullanılmasının uygun olacağı belirtilmiştir.

Thomas ve Ramaswamy (2007), çalışmalarında kesme açısından kritik 11 adet kısmen öngerilmeli beton T enkesitli kirişin, değiştirilmiş basınç alanı teorisini kullanarak doğrusal olmayan çözümlemesini gerçekleştirmişlerdir.

Chowdhury (2008), çalışmasında kısmen öngerilmeli yüksek dayanımlı beton kirişlerin çatlama ve sehim davranışlarını incelemek için açıklık ortası sehimi, çatlak genişliği ve çatlak aralığı ölçümleri yapılan 4 adet tam ölçekli kirişi göçmeye kadar denemiştir. Deneylerden elde edilen bulgular, ACI Standardı ve Avustralya Standardı'ndan elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda, deneylerden elde edilen sehim sonuçlarının standartlarda sunulan yöntemlerden elde edilenlerle uyumsuz olduğu belirlenmiştir.

Au vd. (2008), dıştan iki adet donatı ile öngerilme verilen 6 adet basit mesnetli kısmen öngerilmeli kirişi göçmeye kadar deneyerek davranışlarını incelemişlerdir. Yapılan incelemeyle birlikte, dıştan verilen öngerilmenin süneklik üzerindeki etkisini de araştırmışlardır.

Liu vd. (2009a), çalışmalarında çelik lif ilaveli yüksek dayanımlı betonlarla imal edilen tam ve kısmen öngerilmeli kirişlerin eğilme davranışlarını deneysel ve doğrusal olmayan sonlu elemanlar yöntemiyle sayısal olarak araştırmışlardır. Yapılan araştırmada, kirişlerin sehim, çatlak oluşumu ve gelişimi, betonun ve donatının birim şekil değiştirme ve kirişlerde oluşan momentin yeniden dağılımı gibi yapısal davranışlar incelenmiştir. Sonuç olarak, sayısal bulguların, deneysel olanlarla uyumlu olduğu belirlenmiştir.

Saqan ve Frosch (2009), kısmen öngerilmeli beton kirişlerin kesme dayanımını ve davranışını araştırmak amacıyla öngerilmeli ve betonarme donatısı içeren 9 adet büyük ölçekli dikdörtgen kiriş üzerinde deneyler gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada, kirişlerde kullanılan eğilme donatısının (öngerilmeli ve betonarme) kesme dayanımı üzerindeki etkisini araştırmışlar, sonuç olarak, tarafsız eksen derinliğiyle beton tarafından sağlanan kesme dayanımı arasında yakın bir ilişki olduğu sonucuna varmışlardır.

Naaman (2012), çalışmasında öngerilmeli ve kısmen öngerilmeli yapıların çözümlemesi ve tasarımı hakkında birtakım bilgiler vererek, örnek uygulamalar gerçekleştirmiştir.

Karayannis ve Chalioris (2013), kısmen öngerilmeli elemanlarda, betondaki çatlak genişliğinin sınırlandırılması için gerekli olan öngerilmenin belirlenmesi konusunda çalışmışlardır. Çalışmada ilk olarak, ACI 318 ve Eurocode 2'ye göre betonarme donatılarında oluşan gerilmeler hesaplanmış ve türetilen bir bağıntı yardımıyla basınç bölgesinin derinliği belirlenmiştir. Belirlenen değerler yardımıyla, ihtiyaç duyulan öngerilme kuvvetleri hesaplanmıştır.

Teknik literatürde, kısmen öngerilmeli beton yapı tekniği ile ilgili olarak yukarıda verilmiş olan çalışmalardan başka, daha birçok araştırmacının çalışmaları bulunmaktadır. Bunlar arasında, dergilerde yayınlanmış olan makale ve teknik notlar (Abeles, 1940; Abeles, 1945; Baker, 1949; Lin ve Lakhwara, 1966; Bennett ve Dave, 1969; Shaikh ve Branson, 1970; Stevens, 1970; Abeles, 1971; Bennett ve Chandrasekhar, 1971; Bennett ve Chandrasekhar, 1972; Bennett ve Veerasubramanian, 1972; Lin ve Thornton, 1972; Abeles ve Kung, 1973; Tam ve Pannell, 1976; Park ve Thompson, 1977; Tadros vd., 1977; Tam ve Pannell, 1977; Bennett ve Joynes, 1977; Abeles, 1979; Bennett ve Joynes, 1979;

Thompson ve Park, 1980b; Naaman, 1981; Branson ve Trost, 1982a; Branson ve Trost, 1982b; Inomata, 1982; Naaman, 1982b; Shelton ve Naaman, 1982; Tadros, 1982a; Tadros, 1982b; Bennett, 1984; Jenny, 1984; Bruggeling, 1985; Freyermuth, 1985; Brondum-Nielsen, 1986b; Inomata, 1987; Riva ve Cohn, 1990; Scholz, 1991; Boczkaj, 1994; Padmarajaiah ve Ramaswamy, 2002; Özden ve Ertaş, 2007), sempozyum, konferans, kongre, seminer ve çalıştaylarda sunulan bildiriler (Prasado Rao, 1970; Thürlimann, 1971; Bennett, 1980; Naaman, 1980; Leonhardt, 1980; Appleton vd., 1983; Mansour, 1983; Perisic ve Alender, 1983; Bachmann, 1983b; Bennett, 1986; Naaman, 1989; Akgün ve Durmuş, 2009), üniversite laboratuvarlarında yapılan deneylerle ilgili hazırlanmış olan raporlar (Sharif ve Basu, 1982; Kryzencius, 1983; Harajli ve Naaman, 1984; Naaman ve Hamza, 1991), kitap (Bennett, 1978), yüksek lisans (Cannas, 1975; MacRae, 1983) ve doktora tez çalışmaları (Dave, 1967; Chandrasekhar, 1970; Veerasubramanian, 1971; Harajli, 1985; Shahawi, 1985; Founas, 1989) bulunmaktadır.

1.2.5. Kısmen Öngerilmeli Beton Yapı Tekniğinin Türkiye'deki Köprü Üstyapılarında Kullanımı

Günümüzde prefabrike kirişler kullanılan betonarme karayolu köprülerinin, Türkiye'de yaygın olarak uygulanan bir köprü türü olduğu bilinmektedir (Akoğul, 2007). Türkiye'de yapılmakta olan karayolu ve demiryolu köprü üstyapılarında, ülke koşullarından dolayı, çoğunlukla öngerilmeli betonarme I kirişler kullanılmaktadır (Caner vd., 2007). Prefabrike öngerilmeli beton kirişler kullanılarak inşa edilen bir köprü Şekil 1.3'te görülmektedir.



Şekil 1.3. I enkesitli kirişlerle inşa edilen prefabrike öngerilmeli beton bir köprü görünümü (Caner vd., 2007).

Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından yayımlanmış olan 2013 yılı Ocak ayına ilişkin bilgiler dikkate alındığında, Türkiye’de toplam uzunluğu yaklaşık olarak 335 km. olan 6981 adet köprü bulunduğu anlaşılmaktadır. Karayolları ağında bulunan bu köprülerin türlerine göre sayı ve uzunlukları, Tablo 1.1’de verilmektedir (TCK, 2013).

Tablo 1.1. Türkiye’de karayolları ağında bulunan köprülerin türlerine göre sayı ve uzunlukları (TCK, 2013).

Cinsi ve Tipi	Sayı	Boy (m.)
Betonarme Basit Kiriş	2401	74.141,25
Betonarme Basit Plak	176	2.958,10
Betonarme Sürekli Kiriş	43	2.838,75
Betonarme Sürekli Plak	185	6.691,50
Betonarme Çıkmalı Kiriş	180	6.245,20
Betonarme Çıkmalı Plak	238	5.600,75
Betonarme Gerber Kiriş	221	19.336,70
Betonarme Gerber Plak	40	1.558,40
Betonarme Kemer	35	2.309,65
Öngerilmeli Ön Çekim	2739	182.834,95
Öngerilmeli Ard Çekim	15	1.880,60
Betonarme Kutu Kesit	3	958,00
Betonarme Çerçeve Kiriş	4	139,00
Betonarme Çerçeve Plak	299	5.735,85
Beton Kemer	65	1.280,85
Kablo Askılı	2	840,00
Taş Kemer	47	2.989,70
Kompozit	230	9.479,05
Çelik Kutu Kesit	4	1.197,80
Çelik Kiriş Betonarme Döşeme	5	945,80
Çelik Kiriş Zores Döşeme	9	221,45
Çelik Kafes Kiriş	12	708,85
Ferbeton	5	72,75
Karışık	23	3.382,70
TOPLAM	6981	334.347,65

Bu çalışmada gerçekleştirilen teknik literatür araştırmasından ve Tablo 1.1’den, Türkiye’deki karayolu ağı köprü üstyapısı inşaatlarında henüz kısmen öngerilmeli beton kullanılmadığı açıkça görülmektedir. Bunun nedenlerinin; kısmen öngerilmeli beton

tekniklerinin ülkemizde yeterince tanınmaması, ülkemizde kısmen öngerilmeli beton tekniklerinin henüz yeterince araştırılmaması, yorulma davranışı gibi uygulamada sorun yaratabilecek taraflarının bulunması ve tasarımcıların alışılmışın dışında yöntemleri kullanmaktan kaçınmasının olabileceği düşünülmektedir.

Türkiye'deki köprü üstyapılarında çoğunlukla I enkesitli öngerilmeli beton kirişler kullanılmaktadır. Bu tür kirişlerde, yalnızca öngerilme donatısı kullanılmakta ve kirişin taşıma gücü hesabında yalnızca bu donatının etkisi hesaba katılmaktadır. Kullanılan diğer donatılar ise yalnızca konstrüktif amaçlı olarak kullanılmaktadır. Diğer bir deyişle, öngerme donatısı dışındaki diğer donatıların, kirişlerin taşıma güçlerine katkısı, hesaba katılmamaktadır.

Bu çalışmanın konusu olan kısmen öngerilmeli beton kirişlerde ise, kesitin çekme ve/veya basınç bölgesinde hem öngerilmeli hem de betonarme donatısı birarada bulunmakta, kesitin taşıma gücü hesabında her iki donatının da etkisi hesaba katılmakta, sabit ve hareketli yükler etkisinde çekme gerilmelerine ve çatlamaya izin verilmektedir.

Gerçekleştirilen bu çalışma, dört bir tarafı karayolu ağı ile sarılmış olan ülkemizde bulunan karayolu köprü üstyapılarının inşasında kısmen öngerilmeli beton yapı tekniklerinin kullanımının uygulamada yaygınlaşmasına, her bir köprü üstyapısı için standart enkesitli öngerilmeli kiriş kullanmak yerine, optimum enkesitli kısmen öngerilmeli beton kiriş kullanılmasına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

1.3. Optimizasyon Probleminin Tanımı ve Tarihsel Gelişimi

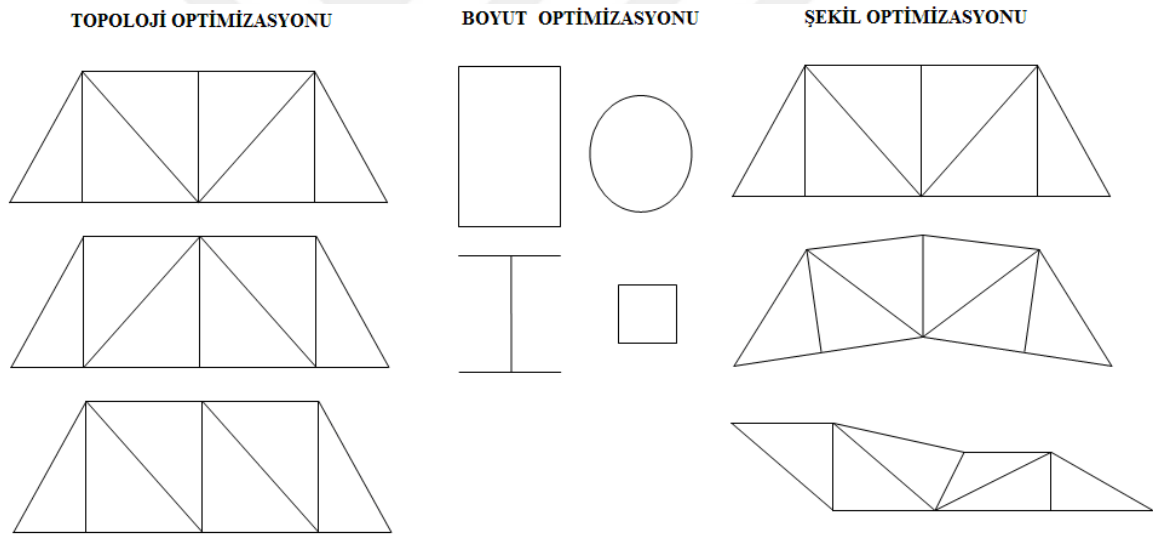
Optimizasyon problemi, eşitlik ya da eşitsizlikler şeklinde ifade edilen belirli kısıtlamalarla sınırlandırılmış, x_i tasarım değişkenleri cinsinden yazılan bir $f(x_i)$ amaç fonksiyonunun maksimum veya minimum değerini arama problemi olarak bilinmektedir. Minimum ya da maksimum değeri aranan fonksiyon “amaç” fonksiyonu, dikkate alınan kısıtlamalar problemin “sınırlayıcıları” olarak bilinmekte, problemdeki bilinmeyenler “tasarım değişkenleri” ve optimum tasarım süresince sabit kalan yapı özellikleri ise “tasarım parametreleri” olarak adlandırılmaktadır. Optimum tasarım, mühendislikte fiziksel problemleri matematiksel olarak ifade ederek en iyi çözümlerin belirlenmesi olarak tanımlanmaktadır. Optimizasyonu gerçekleştirilen mühendislik problemlerinin başlıcaları; yapıların statik ve dinamik yüklere göre ağırlığı ve/veya maliyeti minimum olacak şekilde optimum boyutlandırılması, mekanik ve yapısal sistemlerin şekil ve geometrik bakımdan

optimum tasarımı ve sistemlerin güvenilirlik açısından optimum bir şekilde denetimi olarak sıralanabilmektedir (Atabay, 2004; Aydın, 2006).

Yapıların optimizasyonu, genel olarak, topoloji, boyut ve şekil optimizasyonu olarak adlandırılan üç sınıfa ayrılmaktadır. Bunlar:

- Topoloji Optimizasyonu: Optimum tasarıma ulaşmak için elemanların düğüm noktaları arasındaki yerleşiminin belirlenmesi,
- Boyut Optimizasyonu: Optimum boyuta ulaşmak için eleman enkesit özelliklerinin belirlenmesi,
- Şekil Optimizasyonu: Topolojiyi değiştirmeden yapının şeklini değiştirmek için düğüm noktalarının en iyi sonucu veren yerlerinin bulunması,

şeklinde tanımlanabilmektedir (Ünalı, 2012). Burada tanımlanan optimizasyon sınıfları şematik olarak Şekil 1.4'te gösterilmektedir.



Şekil 1.4. Topoloji, boyut ve şekil optimizasyonunun şematik olarak gösterimi (Ünalı, 2012).

Belirli sınırlayıcılar altında, en uygun çözümü bulma tekniği olarak tanımlanan optimizasyonun insanlık tarihi ile birlikte doğduğu ve karar vermede güçlü bir araç olarak kullanıldığı bilinmektedir. İnsanoğlunun, günümüzde olduğu kadar geçmişte de belirlediği amacı, en uygun koşullarda elde etme ve bu amaca ulaştıran yollar içinden en iyisini seçme eğiliminin varlığı görülmektedir. Optimizasyon, matematiksel bir temele oturduğu 17. yüzyıla kadar sezgi ve tecrübeye dayandırılarak problemlerin çözümüne uygulanmaktaydı. Eski çağlarda, savunma amacıyla yapılan kalelerin, genellikle, alan/çevre oranı maksimum

olan daire şekline benzetilmesi, en az malzeme ve işçilik maliyeti ile en geniş alanı savunabilme kaygısının sonucu olmuştur. 17. yüzyılda Newton ve Leibnitz tarafından matematiksel çözümlenmenin geliştirilmesi ile optimizasyon teorisi temelinin bilimsel olarak atıldığı bilinmektedir. Söz konusu gelişimi izleyen yıllarda, optimizasyon problemleri, genellikle çeşitli değişkenlerle tanımlanan bir amaç fonksiyonu ile sınır koşulları belirleyen eşitlik ve eşitsizlik türü sınırlayıcılarla ifade edilerek çözülmeye başlanmıştır. Ancak, matematiksel optimizasyon yöntemleri, teorik yapısından gelen birtakım güçlükler nedeniyle, son derece sınırlı bir uygulama alanı bulabilmiştir (Atabay, 2004; Şeker, 2008).

Teknik literatürde, mühendislik yapılarının optimizasyonu ile ilgili olarak birçok araştırmacının çalışmaları bulunmaktadır. Bu çalışmalardan bazıları şunlardır:

Levy ve Lev (1987), çalışmalarında 1980-1984 yılları arasında yapılmış yapısal optimizasyon konulu çalışmaları derlemiştir. Bu çalışmalar arasında, makaleler, kitaplar ve bilgisayar programları bulunmaktadır.

Cohn ve Lounis (1994), çalışmalarında betonarme köprü sistemlerinin optimum tasarımını gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada, eleman bazında optimizasyon, yapısal düzen ve tüm sistem optimizasyonu adı verilen üç ayrı optimizasyon seviyesinden bahsedilmiştir. Tasarımlarda, yapı maliyeti, kullanılan öngerilme donatısı ya da beton miktarı ve üstyapı derinliği gibi amaç fonksiyonlarının birini ya da birkaçını dikkate alarak optimize etmişlerdir.

Aydın ve Ayvaz (2010), çalışmalarında I enkesitli önçekimli öngermeli köprü üstyapılarının, topoloji ve şekil optimizasyonu yoluyla, maliyetini minimize etmişlerdir. Çalışmada, şekil ve topoloji optimizasyonunu gerçekleştirmek için genetik algoritma kullanılmıştır.

Ahsan vd. (2012), çalışmalarında, basit mesnetli, ard-çekmeli, I enkesitli öngermeli beton köprü üstyapıları için bir optimizasyon yaklaşımı sunmuşlardır. Çalışmanın amacı, malzeme fiyatlarını, üretimini ve yerine yerleştirilmesini dikkate alarak yapının toplam maliyetini minimize etmektir. Sunulmuş olan optimizasyon yaklaşımı, gerçek hayatta yer alan bir köprü projesi için kullanılarak, tabliye alanının her metrekaresi için % 35 oranında ekonomi sağlanmıştır.

Teknik literatürde, mühendislik yapılarının optimizasyonu ile ilgili olarak yukarıdaki çalışmalardan başka, daha birçok araştırmacının çalışmaları bulunmaktadır. Bu çalışmalardan başlıcaları olarak, öngerilmeli beton kirişlerin optimum tasarımı (Oktar,

1995; Çağatay, 1996; Barakat vd., 2003; Martí ve González-Vidoso, 2010), betonarme elemanların optimum tasarımı (Öztürk vd., 2012; Öztürk ve Durmuş, 2013), betonarme yapıların optimum tasarımı (Krakovski, 1997; Ceranic ve Fryer, 2000; Barros vd., 2005), topoloji optimizasyonu (Eschenauer ve Olhoff, 2001; Rozvany, 2009), köprü altyapılarının maliyet optimizasyonu (Hassanain ve Loov, 2003) ve öngerilmeli çelik kafes kirişlerin ağırlık optimizasyonu (Çakır, 2011) bulunmaktadır.

1.4. Yapısal Optimizasyon Yöntemleri

Yapısal optimizasyon yöntemlerini,

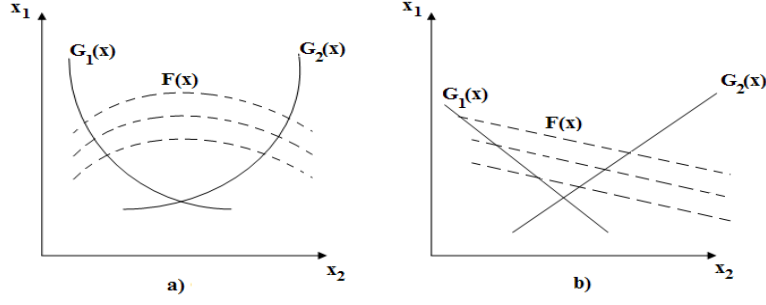
1. Geleneksel Yöntemler: Matematiksel Programlama ve Optimumluk Ölçütü Yöntemleri.
2. Sezgisel Yöntemler: Tabu Arama, Benzetilmiş Tavlama, Yapay Sinir Ağları, Karınca Kolonileri, Bulanık Mantık, Yapay Bağışıklık Sistemi, Parçacık Sürü, Genetik Algoritmalar vb.

olarak iki ana gruba ayırmak mümkündür (Dede, 2003).

1.4.1. Geleneksel Yöntemler

1.4.1.1. Matematiksel Programlama

Matematiksel programlamayı, doğrusal programlama ve doğrusal olmayan programlama olmak üzere ikiye ayırmak mümkündür. Doğrusal programlama yönteminde; amaç fonksiyonu, ilgili sınırlayıcıların ve tasarım değişkenlerinin doğrusal bir birleşimi olmakla birlikte, yapıların optimizasyonunda doğrusal programlama yöntemini uygulamak için amaç fonksiyonu ve sınırlayıcıların doğrusallaştırılması gerekmektedir. Bu doğrusallaştırma işleminin doğrusal olmayan problemleri optimize etmek için kullanılması durumunda ise, Şekil 1.5'ten de görüldüğü gibi, arama uzayı gerçeğe uygun olmayan bir şekilde değiştirilmekte, bu durum da hatalı sonuçların elde edilmesine neden olabilmektedir (Bekiroğlu, 2003).



Şekil 1.5. Gerçek (a), Doğrusallaştırılmış (b) arama uzayı sınırlayıcıları (G) ve amaç fonksiyonu [$F(x)$] (Bekiroğlu, 2003).

Matematiksel programlama, mühendislik problemlerinde;

- Çok miktarda tasarım değişkeni ve sınırlayıcının bulunması,
- Sınırlayıcıları değerlendirmek için çok fazla işlemin ve sürenin gerekmesi,

gibi nedenlerle etkin bir şekilde kullanılamamaktadır (Dede, 2003).

Teknik literatürde matematiksel programlama yöntemi kullanılarak yapılmış bazı çalışmalar aşağıda verilmektedir.

Herskovits vd. (2005), çalışmalarında mühendislik problemlerinin optimizasyonunda kullanılan matematiksel programlama yöntemlerini araştırmışlardır.

Pérez vd. (2013), matematiksel programlama yöntemini kullanarak, bir açık deniz rüzgar çiftliğinin, enerji üretimi maksimum olacak şekilde optimum yerleşim planını hazırlamışlardır.

1.4.1.2. Optimumluk Ölçütü Yöntemi

Bu yöntemde problemin fiziki yapısı göz önünde bulundurularak, yapının davranışıyla ilgili kabullere dayanan yaklaşık ifadelerle kurulabilen bir ölçüt belirlenmekte olup, bu ölçüt sağlanacak şekilde yapı boyutlandırıldığında, amaç fonksiyonu da optimum değerini almış olmaktadır (Aydın, 2006).

Bu yöntemde, tasarım değişkenlerinin sürekliliği esaslı geçerli olmakla birlikte ayrık tasarım değişkenlerinin kullanımının gerekli olması durumunda ise iki adımlı bir çözüm uygulanmaktadır. Bu çözümün ilk adımında, sürekli değişkenler kullanılarak optimizasyon gerçekleştirilmekte, ikinci adımında ise, sürekli değişkenler kullanılarak elde edilen değerler yerine ayrık değişkenlerden eşlenikleri konularak sonuca gidilmektedir. Bu yöntemde ayrıca tasarım değişkeni olarak yapı elemanının tek bir enkesit özelliği

kullanılmakta ve diğer enkesit özelliklerinin tamamı ise tasarım değişkeni olarak seçilen enkesit özelliğinin bir fonksiyonu olarak ifade edilmektedirler (Aydın, 2006).

Optimumluk ölçütü yöntemi kullanılarak yapılmış olan bazı çalışmalar aşağıda verilmektedir.

Saka (1988), çalışmasında doğrusal olmayan programlama ile optimumluk ölçütü yöntemini birleştirerek bir optimum tasarım algoritması geliştirmiştir.

Hjelmstad ve Pezeshk (1991), çalışmalarında optimumluk ölçütü yönteminin kullanıldığı bir tasarım yöntemi geliştirerek, bu yöntemle, taşıma gücü sınır durumunda, çerçeve yapıların stabiliteelerini ve dayanımlarını iyileştirmişlerdir.

Khosravi ve Sedaghati (2008), çalışmalarında sonlu elemanlar yöntemiyle yapısal çözümlemesi gerçekleştirilen tabakalı kompozit elemanların optimum tasarımı için optimumluk ölçütü yöntemini kullanmışlardır. Tasarım değişkenleri olarak tabakaların kalınlıkları ve lif doğrultuları dikkate alınmıştır.

1.4.2. Sezgisel Yöntemler

1.4.2.1. Tabu Arama Algoritması

Tabu kelimesi dokunulmaz, yasaklı şey anlamına gelmekte olup, tabu arama algoritmasının amacı, herbir iterasyon sonucunda elde edilen çözümlerin istenmeyen sonuçlara gitmesinden kaçınmaktır. Tabu arama algoritması, uygun bir başlangıç çözümü ile araştırmaya başlamakta, bu uygun çözüme benzer ve uygun olmayan çözümler üretmek listelemektedir. Aynı zamanda, herhangi bir iterasyonda rasgele üretilen çözümler rasgele kullanırken, bu çözümlerin tabu listesinde kaydedilen uygun olmayan çözümlerden olmamasına dikkat edilmektedir. Algoritma tarafından üretilen uygun çözüm bir önceki çözümden daha iyi ise, onunla yer değiştirilmektedir. Bu özellik, tabu arama algoritmasının, problemin çözümünde kullanılan verileri kavrayabilme özelliğinin bulunduğunu göstermektedir. Durum böyle olunca, çözüm aşamasında herhangi bir uyumsuz veri, problemi iyi sonuçlara götürebilecek ipuçları verebilmekte ve problemin çözümünde daha etkili ve ekonomik araştırma olanağı sağlamaktadır. Aynı zamanda, tabu aramaları, tabu listelerindeki verileri diğer yöntemlerden de (Genetik Algoritma, Yapay Sinir Ağları vb.) alabilmektedir (Dede, 2003).

Tabu arama optimizasyon tekniği kullanılarak yapılmış olan bazı çalışmalar aşağıda verilmektedir.

Kargahi vd. (2006), önceden tasarlanmış elik çerçevelerin, tabu arama algoritmasıyla, ağırlığını minimize etmeye çalışmışlardır. Çalışmanın sonunda, yapı ağırlıklarının ortalama % 23,4 oranında azaldığı belirlenmiştir.

Değertekin vd. (2008), çalışmalarında tabu arama algoritmasını ve genetik algoritmayı kullanarak geometrik olarak doğrusal olmayan elik uzay çerçevelerin optimum tasarımlarını gerçekleştirmişlerdir.

1.4.2.2. Benzetilmiş Tavlama Algoritması

Benzetilmiş tavlama algoritmasının metallere ısıl işlemlerin uygulanmasından esinlenerek oluşturulmuş bir algoritma olduğu bilinmektedir. Metallere ısıl işlemlerin uygulanması sürecinde öncelikle metaller yüksek sıcaklıklara çıkarılmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda metal atomları serbestçe hareket etmekte, sıvı haldeki bu madde, kademeli olarak soğutulduğunda, atomlar serbestçe hareket etme yeteneklerini kaybetmekte ve homojen bir kristalleşme meydana gelmektedir. Bu olay, benzetilmiş tavlama algoritmasıyla çözülecek problem için global optimum çözümü nitelemektedir. Eğer hızlı bir soğutma yapılırsa belli bir yapıya sahip olmayan heterojen bir kristalleşme olmaktadır. Bu da homojen kristallere göre daha yüksek enerji seviyeli yerel optimum çözümler oluşturmaktadır. Atomların homojen dizilimine izin veren soğutma işleminin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Isıl işlemin doğası gereği yavaş soğutma, maddenin minimum enerji seviyesine ulaşmasına imkan vermektedir. Benzetilmiş tavlamanın özü, sistemin ısıtılıp soğutulmasıyla bulunduğu enerji seviyesinden daha düşük enerji seviyelerine geçme fırsatı yakalamaya çalışmaktan ibarettir. Böylelikle yerel minimum enerji seviyelerinden ziyade daha düşük enerji seviyelerine doğru bir geçiş sağlanmaktadır (Bekiroğlu, 2003).

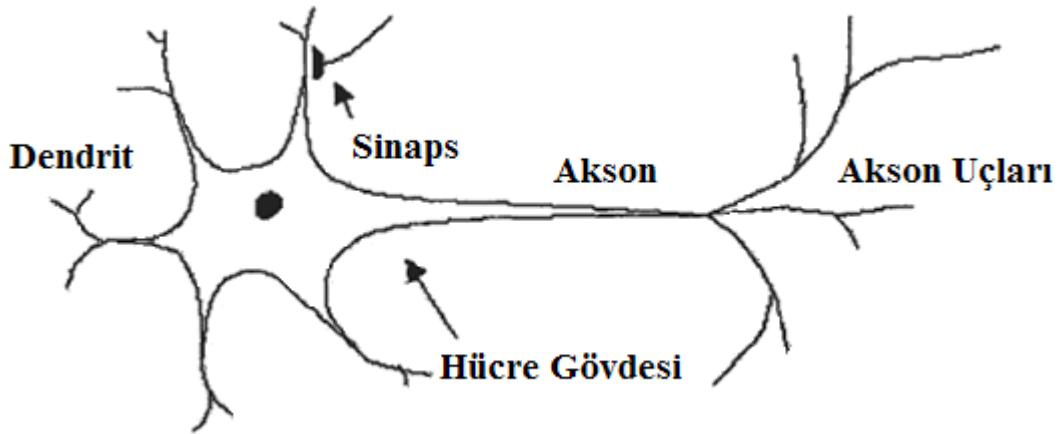
Benzetilmiş tavlama algoritması kullanılarak yapılmış olan bazı çalışmalar aşağıda verilmektedir.

Paya vd. (2008), betonarme bina çerçevelerinin tasarımını, çok amaçlı benzetilmiş tavlama algoritmasıyla gerçekleştirmişlerdir.

Hasançebi vd. (2010), yapısal optimizasyonda kullanılan benzetilmiş tavlama algoritmasının başarımını arttırmışlardır. Başarımı arttırılarak geliştirilen algoritmanın kullanılabilirliği ve başarımındaki artış, iki sayısal örnekle doğrulanmaya çalışılmıştır.

1.4.2.3. Yapay Sinir Ağları Algoritması

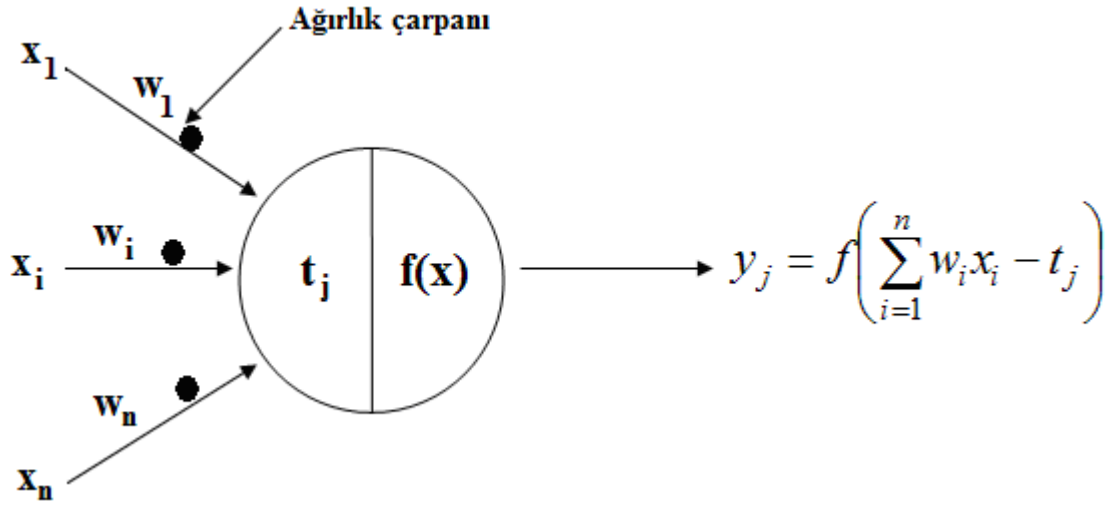
Biyolojik sinir ağlarının temel elemanının sinir hücreleri olduğu bilinmektedir. İnsan beyninin korteks kısmında, yaklaşık olarak 10^{11} nöron (sinir hücresi) bulunmaktadır. Her hücrenin, sayısı 1000-10000 arasında değişen başka hücrelerle karşılıklı ilişki içerisinde olduğu da bir gerçektir. Bir sinir hücresi; hücre gövdesi, dendrit ve akson adı verilen elemanlardan oluşmaktadır (Şekil 1.6). Sinir hücresine diğer sinir hücrelerinden gelen uyarımlar, dendritler aracılığıyla hücre gövdesine taşınmakta ve hücre içi kararlılık halinin bozulmasıyla oluşan bir kimyasal süreçle diğer hücrelere, aksonlarla iletilmektedir. Uyarımların diğer sinir hücrelerine taşınabilmesini akson uçları ile dendritler arasındaki sinaptik boşluklar (sinaps) sağlamaktadır. Sinaptik boşluk içinde yer alan “sinaptik kesecikler” tarafından sağlanan nöro-iletken maddenin sinaptik boşluğa dolması ile, uyarımların diğer hücrelere geçişi sağlanmaktadır. Hücrelere gelen uyarımlarla, hücreler arasındaki mevcut sinaptik ilişkilerin değişimi ya da hücreler arasında yeni sinaptik ilişkilerin kurulması “öğrenme” sürecine karşılık gelmektedir (Koç, 2002).



Şekil 1.6. Biyolojik bir sinir hücresinin şematik gösterimi (Koç, 2002).

Yapay sinir ağları esas olarak biyolojik nöronların basitleştirilmiş bir şekilde matematiksel olarak modellenmesine dayanmaktadır. Biyolojik ve yapay sinir hücreleri

arasındaki benzeşim de (Şekil 1.7); hücreye gelen ve hücreden çıkan veriler akson ve dendritlere; ağırlık çarpanı (w_i) sinaplara ve eşik değerler (t_j) hücre içi kararlılık haline karşılık gelmektedir. Yapay sinir hücresinde, ağırlık çarpanı etkisine bağlı olarak ($w_1, w_2 \dots w_n$) hücreye gelen veriler ($x_1, x_2 \dots x_n$), eşik değeri (t_j) de dikkate alınarak doğrusal olmayan bir aktivasyon fonksiyonu $f(x)$ yardımıyla çıktıya (y_j) dönüştürülmektedir. Yapay sinir hücrelerinin genellikle katmanlı bir yapı gösterecek biçimde birbirine bağlanmasıyla yapay sinir ağları meydana getirilmekte ve yapay sinir hücreleri arasında kurulan bağlantılara ilişkin ağırlık çarpanlarının, girdi ve çıktı verileriyle uyumlu olacak şekilde değiştirilmesi, biyolojik “öğrenme” sürecine karşılık gelmektedir. Yapay sinir ağları, insan beyninin öğrenme, düşünme ve değişik koşullar altında çok hızlı karar verebilme gibi yeteneklerinin, basitleştirilmiş modeller yardımıyla, karmaşık problemlerin çözülmesinde kullanılmasını amaçlamaktadır. Sınıflandırma, kümeleme, modelleme ve tahmin gibi değişik işlemlerde kullanılan yapay sinir ağlarının en büyük üstünlükleri, doğrusal olmayan sistemleri modelleyebilmesi, bilgiyi paralel olarak işleyebilmesi ve yeni durumlara uyum sağlayabilme yeteneğinin bulunması şeklinde sıralanabilmektedir (Koç, 2002).



Şekil 1.7. Yapay sinir hücresi (Koç, 2002).

Yapay sinir ağları optimizasyon tekniği kullanılarak yapılmış olan bazı çalışmalar aşağıda verilmektedir.

Abdalla vd. (2007), dikdörtgen enkesite sahip betonarme kirişlerin kesme dayanımının tahmininde yapay sinir ağları tekniğini kullanmışlardır.

Möller vd. (2009), yapay sinir ağları tekniğini, yapının zaman tanım alanında çözümlenmesi sonucu elde edilen davranışı tahmin etmede kullanarak deprem etkisindeki bir yapının optimizasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Optimizasyondaki amaç fonksiyonu, başarımlı sınırlayıcıları altında, yapının toplam maliyetini minimize etmeyi hedeflemektedir.

1.4.2.4. Karınca Kolonisi Algoritması

Karıncalar, koloni halinde yaşayan ve problem çözmeye örnek alınabilecek önemli davranış özellikleri olan canlılardır. Karıncalar tam olarak görebilme yeteneğine sahip olmayan, dolayısıyla çevrelerinde ne olup bittiğini izleyemeyen böceklerdir. Ancak, yuvalarından yiyecek kaynağına ulaşmada ve yiyecek kaynağından yuvalarına dönmeye en kısa yolu bulabilmektedirler. Karıncalar yiyecek ile yuva arasındaki bu en kısa yolu bulmak ve aralarındaki haberleşmeyi sağlamak için feromon adı verilen kimyasal bir madde kullanmaktadırlar. Karınca kolonisi algoritması da buradan hareketle matematiksel modellemeye dayalı bir algoritma olarak geliştirilmiştir. Bu konuyla ilgili ilk çalışma Dorigo vd. (1991) tarafından yapılmış ve kendi sistemlerini karınca sistemi, ortaya çıkan algoritmayı ise karınca algoritması olarak tanımlamışlardır. Burada karınca kolonilerinin davranışlarının tam olarak modellenmesi yerine, yapay karınca kolonilerinin bir optimizasyon aracı olarak kullanılması amaçlanmış, dolayısıyla söz konusu algoritma gerçek karınca davranışına göre biraz farklılık göstermiştir. Örneğin, yapay karıncaların belirli bir hafızaya sahip oldukları kabul edilmekte, ancak gerçek karıncaların aksine tamamen kör olmadıkları düşünülmektedir (Öztürk, 2013).

Ayrıntılı optimizasyon problemleri için tanımlanan karınca kolonisi algoritmaları aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır. Bu adımlar:

1. Parametrelere ve hatların feromon miktarlarına başlangıç değerlerinin atanması ve sayacın sıfırlanması,
2. Tüm karıncalar için feromon maddesine bağlı olarak yolların üretilmesi,
3. Yolların uzunluklarının hesaplanması,
4. Yolların uzunluklarına göre bu yollarda mevcut olan feromon maddesinin miktarının değiştirilmesi,
5. Bulunan en kısa yolun hafızada tutulması,
6. Durdurma ölçütü sağlanmıyorsa 2. adıma dönülmesi

şeklinde ifade edilebilmektedir (Öztürk, 2013).

Karınca kolonileri optimizasyon tekniği kullanılarak yapılmış olan bazı çalışmalar aşağıda verilmektedir.

Camp vd. (2005), elik çerçevelerin, ayrıık değişkenler kullanılarak optimizasyonu için, karınca kolonisi algoritmasını kullanan tasarım süreci geliştirmişlerdir.

Kaveh ve Talatahari (2010), sınırlayıcıları bulunan mühendislik tasarım problemleri için bir geliştirilmiş karınca kolonisi algoritması sunmuşlardır.

Martínez vd. (2011), tipik olarak derin vadi viyaduklerinde kullanılan içi boř dikdörtgen kesitli yüksek köprü ayaklarının optimum tasarımı için karınca kolonisi algoritmasını kullanan bir yöntem sunmuşlardır.

1.4.2.5. Bulanık Mantık

Bilgisayarların matematiksel programlanmasında sadece doğru ve yanlış kavramları bulunmakta, bu ikisinin arasında bir kavramın bilgisayar tarafından algılanması mümkün olmamaktadır. Ancak bir insan beyninin dşnme yapısında doğru ve yanlış kavramlarının arasında görecelilik esasına dayanan birçok kavram söz konusu olmaktadır. Bulanık mantık, bu belirsiz ifadeleri bilgisayarlar için anlamlı kılmak üzere oluşturulmuş bir makine öğretme biçimidir. Örneğin, normal bir klima cihazı belirli termometre sıcaklığına bağlı olarak çalışıp dururken, bulanık mantık kullanılarak programlanmış bir klima cihazı çok soğuk, biraz soğuk, biraz sıcak, çok sıcak ve ılık gibi kavramları algılayarak çalışma süresini uzatıp kısaltmaya, daha yüksek ya da düşük kademelerde çalışmaya kendisi karar verebilmektedir. Günümüzde mutfak eşyalarından, iş makinelerine kadar birçok alanda bulanık mantığa dayalı programlamadan yararlanılmaktadır. Bulanık mantık, son yıllarda yapı mühendisliğinde de sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır. Yapı tasarımı için geliştirilen bir bilgisayar programı, bir yapı elemanı için gerilme hesabı yaptığında, eğer oluşan gerilme emniyet gerilmesinin altında ise kesitin yeterli, eğer üzerinde ise kesitin yetersiz olduğuna karar vermektedir. Bu ikisinin arasında bir ifade söz konusu olmamaktadır. Ancak gerilmelerin %50 oranında aşıldığı bir kesitle, %1 oranında aşıldığı bir kesit için tamamen aynı karar ifadelerini kullanmak çok doğru olmamaktadır. Bununla birlikte, bir optimum tasarım probleminde, gerilmeleri %1 oranında aşan bir çözüm büyük bir olasılıkla, emniyet gerilmesini aşmayan birçok çözüme oranla optimum çözüme daha yakın olabilmektedir (Arslan, 2010).

Bulanık mantık kullanılarak yapılmış olan bazı çalışmalar aşağıda verilmektedir.

Ahlawat ve Ramaswamy (2001), yapıların çok amaçlı titreşim denetimini gerçekleştirmek amacıyla, bulanık mantık kullanarak bir optimum tasarım çalışması yapmışlardır.

Mitra vd. (2010), korozyondan dolayı yıpranmış betonarme binaların durum değerlendirmesi için bulanık mantığa dayanan bir yöntem sunmuşlardır.

1.4.2.6. Yapay Bağışıklık Sistemi Algoritması

Bağışıklık sisteminin, vücudu patojen olarak adlandırılan virüs, bakteri ve diğer parazitlerden koruduğu bilinmektedir. Bu patojenler, antikorlar tarafından tanınmakta ve ortadan kaldırılmaktadır. Çok fazla sayıda patojen olduğundan, vücut tarafından bunların tanınması başlı başına büyük bir iş olmaktadır. Bağışıklık sisteminin en az 10^6 patojen tanımlama kapasitesinin olduğu ve bu sistemdeki genomların 10^5 gen içerdiği kabul edilmektedir. Muhtemel bütün patojenleri tanımak için bağışıklık sistemi antikor oluşturmak amacıyla genom parçalarını kullanmaktadır. Bu süreç bir genetik algoritma kullanılarak taklit edilmektedir. Patojenler ve antikorlar ikili sarmallarla temsil edilmekte ve genetik algoritmadaki uygunluk fonksiyonu bunlar arasındaki benzerlikleri ölçme için eşleştirme fonksiyonuyla yer değiştirilmektedir (Öztürk, 2013).

Yapay bağışıklık sistemi algoritması kullanılarak yapılmış olan bazı çalışmalar aşağıda verilmektedir.

Coello ve Cortés (2005), yapay bağışıklık sistemi algoritması kullanarak, sınırlayıcı veya sınırlayıcısız çok amaçlı optimizasyon problemlerini çözmüşlerdir. Sonuçlar, çalışmada önerilen yaklaşımın çok amaçlı optimizasyon problemlerinin çözümüne uygulanabilir olduğunu göstermiştir.

Liu vd. (2009b), çalışmalarında yapay bağışıklık sistemi algoritması kullanarak kompozit bir hidrojen depolama tankının ağırlık optimizasyonunu gerçekleştirmişlerdir.

1.4.2.7. Parçacık Sürü Algoritması

Parçacık sürü algoritması; böcek sürüleri ve kuş kümeleri gibi canlıların birlikte yaşama davranışlarını temel almaktadır. Bu süreçte toplum, bir arama fonksiyonunun arama uzayında rasgele oluşturduğu birkaç parçacıkla temsil edilen sürüden oluşmaktadır.

Sürü içerisindeki her bir parçacık tasarım probleminin optimizasyonunda bir aday çözümü temsil etmektedir. Arama uzayında hareket eden parçacıkların konumları; mevcut konumları, hız vektörü ve zaman artımıyla güncellenmektedir. Parçacık sürü optimizasyon algoritması, 1995'te tanıtılmasının ardından birtakım gelişmeler geçirmiştir. Bu gelişmelerden çoğunun yakınsama hızını geliştirmeye ve sürünün farklılaşmasının arttırılmasına yönelik olduğu belirtilmektedir (Öztürk, 2013).

Parçacık sürü optimizasyon tekniği kullanılarak yapılmış olan bazı çalışmalar aşağıda verilmektedir.

Perez ve Behdinan (2007), sınırlayıcı yapısal optimizasyon problemleri için uygun olan bir parçacık sürü algoritması geliştirerek, bunun uygulamasını gerçekleştirmişlerdir.

Li vd. (2009), ayrık tasarım değişkenleri kullanarak, çatı makaslarının optimum tasarımını, parçacık sürü algoritmasıyla gerçekleştirmişlerdir.

1.4.2.8. Genetik Algoritmalar

Genetik Algoritma, genetik evrim mekanizmasını model olarak almakta, en iyinin hayatta kalması ve adaptasyonu esasına dayanmaktadır. Genetik Algoritma, her ne kadar belirli ölçütler sayesinde en iyiyi bulmaya yönlendirilmiş bir arama yöntemi ise de, yine de en iyi çözümü bulması garanti olarak görülmemektedir. Diğer taraftan, teknik literatürdeki çalışmalar, genetik algoritmalarla yapılan optimizasyon sonucu ulaşılan çözümlerin, uygulanabilirlik açısından kullanılabilir olduğunu göstermektedir. Genetik Algoritma, güçlülerin hayatlarını devam ettirirken güçsüzlerin yok olacağı ilkesine dayanmakta olup, bu ilkeye göre, iyi olan bireyler varlıklarını bir sonraki nesilde devam ettirirken zayıf bireyler ise bir sonraki nesilde bulunmayacaklardır. Bunun sonucunda, daha sonraki nesiller hayatlarını devam ettiren bu iyi bireylerin eşleşmesi sonucunda oluşacak bireylerden ibaret olmaktadır. Böylece, bir sonraki nesildeki bireylerin kalitesinin bir önceki nesildekilerden daha iyi olacağını söylemek mümkün olmaktadır. Bu şekilde nesiller boyu devam edecek evrim sonucunda, topluluk içindeki bireylerin kalitesi gittikçe artmakta ve sonunda mükemmel bireylerden oluşan bir topluluk elde edilmektedir (Aydın, 2006).

1.4.2.8.1. Genetik Algoritmanın (GA) Tarihçesi

Genetik algoritma konusundaki ilk çalışma, Michigan Üniversitesi'nde psikoloji ve bilgisayar uzmanı olan John Holland tarafından 1975 yılında gerçekleştirilmiştir. Başlangıçta pratik bir faydası olmadığı düşünülen genetik algoritmalar, Holland'ın öğrencisi David E. Goldberg'e, gaz boru hatlarının denetimi üzerine yaptığı doktora teziyle, National Science Foundation tarafından verilen "Genç Araştırmacı" ödülünü kazandırmıştır (1985). Goldberg, 1989'da yayınlanan kitabında, genetik algoritmalara dayalı tam 83 uygulamaya yer vererek, genetik algoritmanın birçok problemin çözümünde kullanılabileceğini göstermiştir (Şeker, 2008).

1.4.2.8.2. Genetik Algoritmanın Üstünlük ve Sakıncaları

Yapı optimizasyonunda, genetik algoritmaların üstünlükleri;

- Ayrık (kesikli) ya da sürekli tasarım değişkenleri kullanılabilmesi,
- Sınırlayıcıların kolaylıkla tanımlanabilmesi,
- Birden çok yük birleşiminin uygulanmasına izin vermesi,
- Geleneksel optimizasyon yöntemlerinin aksine, türev bilgisine gereksinim duymadan çalışması,
- Çözüm uzayında aynı anda geniş bir alanda çok sayıda noktadan araştırmaya başlanması,
- Paralel hesaplamalara çok uygun olması,
- Çok fazla sayıda tasarım değişkeni bulunan problemlere uygulanabilmesi,
- Ulaşılan sonuçların, üzerinde hiçbir değişiklik yapılmaksızın kullanılabilmesi,
- Uygulanabilmesi için amaç fonksiyonu ile sınırlayıcılar arasında belirgin bir ilişkinin bulunmasının gerekmemesi,
- Sadece mutlak (global) en iyi çözümü değil, en iyi çözümlerin listesini bile verebilmesi,
- Çok fazla uç değeri olan amaç fonksiyonlarını bile optimize edebilmesi,

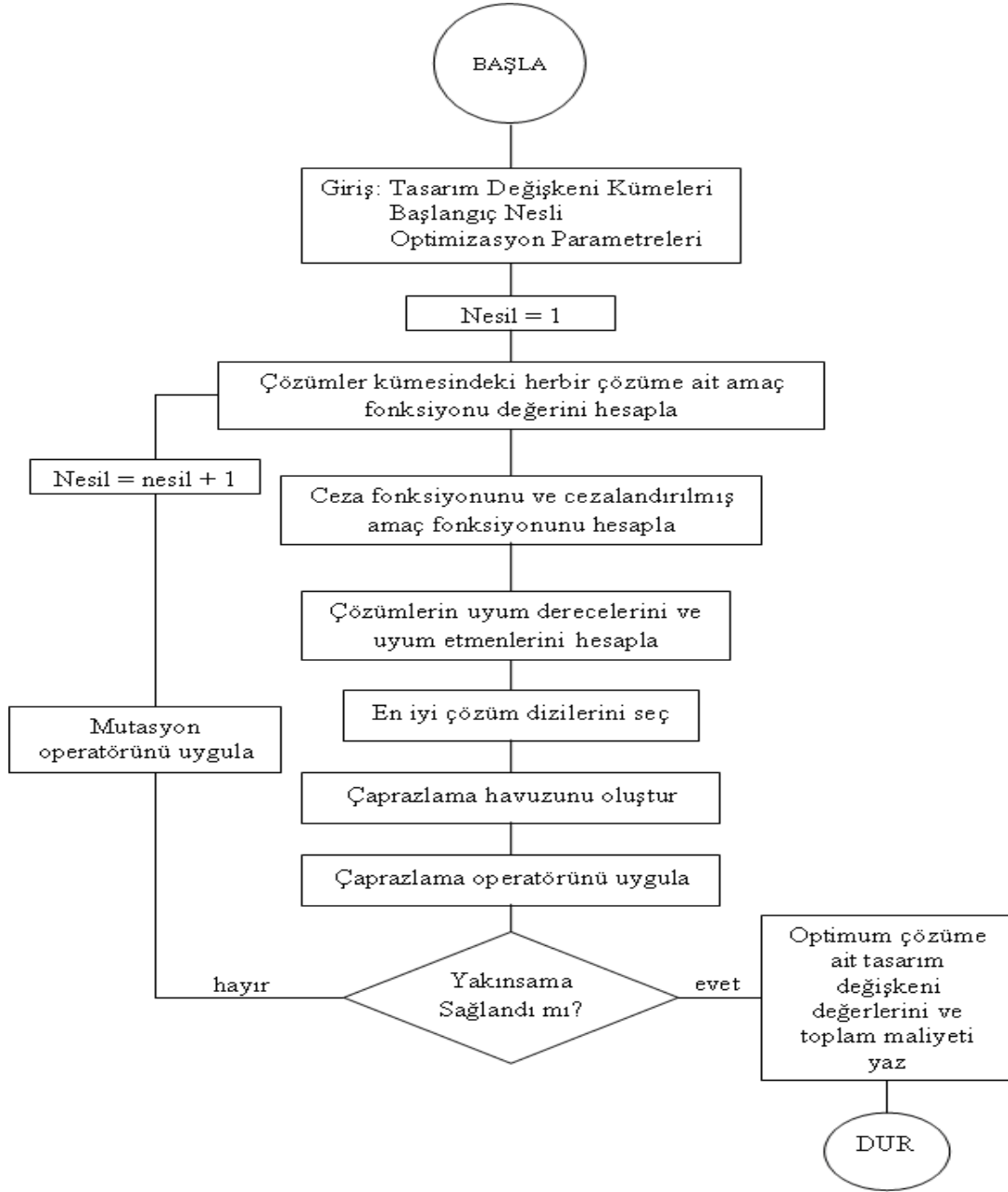
olarak sıralanabilmektedir. Genetik algoritmanın yukarıda sayılan üstünlüklerinin yanında bazı sakıncaları da bulunmaktadır. Bu sakıncalar ise;

- Optimum tasarım neticesinde ulaşılan sonucun en iyi sonuç olduğunun asla söylenememesi ve daima daha iyi bir sonucun bulunabilmesi olasılığının bulunması,
- Evrimsel bir optimizasyon yöntemi olduğu için çözüme ulaşma süresinin matematiksel programlama yöntemlerine oranla daha uzun olması,
- Klasik optimizasyon yöntemlerinde bir yön veya sistematik izin takip edilmesi gerekmesine karşı, genetik algoritmanın karar uzayını tamamen rasgele olarak taraması,

olarak sıralanabilmektedir (Aydın, 2006; şeker, 2008).

1.4.2.8.3. Genetik Algoritmanın İşleyişi

Bir genetik algortmada, ilk olarak tasarım değişkenlerinin diziler ile temsil edildiği muhtemel çözümlerden oluşan bir başlangıç nesli belirlenmektedir. Genetik algortmalar ayrıık tasarım değişkenlerini kullanabilmekte ve bu tasarım değişkenlerinin alabileceği değerler tasarıma başlamadan önce belirlenmektedir. Çözüm dizilerindeki tasarım değişkenlerinin kodlama işlemi de, çözüümü oluşturan tasarım değişkeni değerinin değer kümesindeki sıra numarasının kodlanması şeklinde uygulanmaktadır. Bu kodlama işlemi, sıra numarasının ikili ya da üçlü sayı sisteminde kodlanması olabileceği gibi gerçek değerlerin kodlanması şeklinde de olabilmektedir. Bu yaklaşım içinde çözüm dizilerinin oluşturduğu kümenin nesle, çözümlerin birer bireye ve çözüm dizilerini oluşturan rakamların ise genlere benzetilmesi mümkün olmaktadır. Başlangıç neslinin oluşturulmasının ardından evrimsel süreç başlamaktadır. Bu süreçte ilk olarak, nesildeki her çözümün uygunluk değerini belirlemek, belirlenen uygunluk değerine göre çaprazlama ve mutasyon işlemleri uygulanmaktadır. Bu işlemler, optimum çözüm bulununcaya kadar tekrarlanmaktadır. Genetik algortmaya ilişkin genel akış şeması şekil 1.8’de verilmektedir (Arslan, 2010).



Şekil 1.8. Basit bir Genetik Algoritmaya ilişkin akış şeması (Aydın, 2006).

1.4.2.8.4. Basit Genetik Algoritma

Teknik literatürde bulunan genetik algoritmaların büyük bir çoğunluğunun, Goldberg tarafından önerilen basit genetik algoritmanın değiştirilmiş şekilleri olduğu bilinmekte olup, Goldberg tarafından önerilen basit genetik algoritmada, üç temel operatör bulunmaktadır. Bunlar: kopyalama, çaprazlama ve mutasyondur. Başlangıç neslinin tamamen rasgele olarak belirlenmesinden sonra, Darwin'in doğal seçim, en iyilerin

hayatlarını devam ettirmesi ve zayıfların varlıklarının sona ermesi ilkesine dayanan kopyalama işlemi gerçekleştirilmektedir. Çaprazlama operatörü ile rasgele eşlenen ebeveyn çözüm dizileri arasından yine rasgele seçilen dizilerin belirli kısımları birbirleri ile yer değiştirilmekte, bu suretle de nesle yeni çözüm dizileri eklenmiş olmaktadır. Mutasyon operatörü ile de nesildeki rasgele belirlenen bireylerden önceden belirlenen bir miktarının değiştirilmesi sağlanmakta, böylelikle nesle çeşitlilik kazandırılarak arama uzayının değişik bölgelerinde, optimumu arama işlemi sağlanmaktadır (Aydın, 2006).

1.4.2.8.5. Geliştirilmiş Genetik Algoritmalar

Son yıllarda, basit genetik algoritmaya bulanık küme teorisinin eklenmesi, ceza fonksiyonunun hesaplanmasında bulanık mantık ve melez operatörlerin kullanılması, melez başlangıç nesli seçimi gibi algoritmanın başarımını artırıcı geliştirmeler eklenmiş olup, geliştirilmiş genetik algoritmanın özellikle sonuca ulaşma süresinin kısalması yönünde etkili olduğu görülmektedir (Aydın, 2006).

1.4.2.8.6. Genetik Algoritma ile İlgili Bazı Çalışmalar

Turgut (1995), çalışmasında, genetik algoritma tekniğini kullanarak yapı sistemleri için uygun yük birleşimlerini belirlemiştir. Çalışmada bulunan sonuçlar, tesir çizgileri yöntemiyle karşılaştırılmış ve tesir çizgilerinden daha hassas oldukları belirlenmiştir.

Tütüncü (1995), çelik çerçevelerin genetik algoritmalarla optimizasyonu konusundaki çalışmasında, çelik çerçevelerin piyasada bulunabilen kesitlere göre optimum tasarım bağıntılarını geliştirmiş ve bu bağıntılar GAOS adı verilen bir bilgisayar yazılımına aktarılmıştır. Ele alınan çerçeveler için elde edilen bulgular, daha önce yapılan çalışmaların bulgularıyla karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmayla, genetik algoritmaların bu tür problemlerde kullanılabilir bir optimizasyon tekniği olduğu sonucuna varılmıştır.

Hasançebi (1996), çalışmasında genetik algoritmaları, uzay kafes sistemlerin optimizasyonunda kullanmıştır. Çalışmanın sonunda, genetik algoritmaların, geleneksel yöntemlere göre, önemli üstünlüklerinin bulunduğu sonucuna varılmıştır.

Demirpolat (1997), çalışmasında genetik algoritmayı kullanarak, betonun kırılma yörüngesini belirlemiştir.

Armutçu (1997), çelik çerçevelerin optimizasyonu konusundaki çalışmasında, yerdeğiştirme ve gerilme sınırlayıcılarını TS 648'e göre belirlemiştir. Bu amaçla, bir bilgisayar yazılımı geliştirilmiş ve teknik literatürden seçilmiş değişik sayısal örnekler çözülmüştür.

Kılıç (1997), genetik algoritmaları çelik çerçevelerin optimum tasarımında kullanmıştır. Çalışmada, iki ve üç boyutlu çelik çerçevelerin, Türk ve Amerikan şartnamelerine göre, piyasada bulunabilen kesitler kullanılarak optimizasyonu için bir bilgisayar yazılımı geliştirilmiş ve literatürden alınan bazı örnek problemler çözülmüştür. Karşılaştırılan bulgular, genetik algoritmaların yapısal optimizasyonda etkin bir şekilde kullanılabileceğini göstermiştir.

Kahraman (1999), çalışmasında genetik algoritmaları, uzay kafes sistemlerin kesit, şekil ve topoloji optimizasyonunda kullanmıştır. Çalışmada, geliştirilen bilgisayar programı yardımı ile iki ve üç boyutlu çelik kafes sistemleri, gerilme, yerdeğiştirme ve stabilite sınırlayıcıları dikkate alınarak optimize edilmiştir. Elde edilen bulgular, genetik algoritmanın diğer tekniklere kıyasla daha etkin olduğunu ortaya koymuştur.

Aydın (2000), çalışmasında uzay kafes sistemlerin optimum tasarımını gerçekleştirmiştir. Tasarımda, gerilme, yerdeğiştirme ve stabilite sınırlayıcıları dikkate alınarak FORTRAN programlama dilinde bir bilgisayar programı hazırlanmış ve bu program yardımıyla çeşitli kafes sistemlerin optimum tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Kaya (2001), çalışmasında, betonarme yüksek kiriş optimum tasarımında, genetik algoritmaları kullanmıştır.

Çağdaş (2001), çalışmasında betonarme döşemelerin akma çizgisi yöntemiyle çözümünde, akma çizgisi deseninin belirlenmesi için bir yapay zeka tekniği olan genetik algoritmayı kullanmıştır. Çalışmada, alışılmış döşemelerin yanı sıra, değişik geometrilere sahip döşemeler, değişik mesnetleme ve yükleme koşulları altında incelenmiştir.

Hasançebi (2001), çalışmasında, genetik algoritmaları ve ısıtma işlem algoritmasını birtakım yapı tasarımı problemlerine uygulamıştır.

Dede (2003), çalışmasında genetik algoritmada değer kodlaması kullanarak kafes sistemlerin minimum ağırlıklı tasarımını gerçekleştirmiştir. Bu amaçla, FORTRAN programlama dilinde bir bilgisayar yazılımı geliştirmiş ve yazılımda yerdeğiştirme, gerilme ve stabilite sınırlayıcılarını dikkate almıştır. Çalışmanın sonunda, değer kodlaması kullanılarak hazırlanan yazılımın kafes sistemlerin genetik algoritma ile minimum ağırlıklı olarak boyutlandırılmasında etkin bir şekilde kullanılabileceği gösterilmiştir.

Bekiroğlu (2003), çalışmasında çok noktalı çaprazlama ve akıllı mutasyon operatörleri ile farklı kodlama eşitleri kullanarak, genetik algoritma yardımıyla elik ereve sistemlerin minimum ağırlıklı tasarımıyı yapmıştır.

Toğan (2004), kafes sistemlerin sabit ve katar yükleri altında genetik algoritma ile boyut ve şekil optimizasyonunu gerçekleştirmiştir.

Atabay (2004), perdeli betonarme yapı sistemlerinin genetik algoritma yöntemi yardımıyla maliyet optimizasyonunu gerçekleştirmiştir. Tasarım değişkenleri olarak perde boyutları dikkate alınmış, sınırlayıcı olarak ise, 1 Ocak 1998 tarihinde yürürlüğe giren “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik” ve “TS 500”de bulunan perde boyutları ve donatılara ilişkin koşullar kullanılmıştır.

Taşkınoğlu (2006), yapıların optimizasyonunda kullanılmak üzere genetik algoritma tabanlı bir tasarım yöntemi geliştirmiştir. Çalışmada, amaç fonksiyonu olarak yapıların toplam ağırlığı göz önüne alınmıştır.

şeker (2008), çalışmasında düzlemsel elik çerçevelerin genetik algoritma ile minimum ağırlıklı tasarımıyı yapmıştır. Bu amaçla, ereve elemanların kesit alanları tasarım değişkenleri olarak alınmış ve yapının toplam ağırlığını minimize eden kesit alanları aranmıştır. Dikkate alınan gerilme, stabilite ve izin verilen maksimum yerdeğiştirme sınırlayıcıları, TS 648’e göre belirlenmiştir. Çalışmanın sonunda, geliştirilen genetik algoritma yazılımının düzlemsel elik çerçevelerin optimizasyonu için uygun olduğu kanısına varılmıştır.

Chen (2008), genetik algoritma ve sonlu elemanlar yöntemi kullanarak iki boyutlu düzlemlerde gerilme problemlerinin şekil optimizasyonu için bir bilgisayar yazılımı geliştirmiştir.

Bayar (2008), çalışmasında düzlem elik çerçevelerin, emniyet gerilmeleri yönetmeliğiyle (AISC-ASD) yük ve dayanım etmeni yönetmeliğine (AISC-LRFD) göre, genetik algoritmayla tasarımıyı gerçekleştiren iki yazılım geliştirmiştir.

Karabüyük (2011), üç boyutlu ereve ve kafes sistemlerin deprem yükleri altında genetik algoritma ile optimum tasarımıyı gerçekleştirmiştir. Hesaplamalarda, gerilme ve yerdeğiştirme sınırlayıcıları dikkate alınmıştır.

Ünalımış (2012), iki ve üç boyutlu kafes sistemlerin optimum tasarımlarını gerçekleştirmiştir. Amaç fonksiyonu olarak yapı ağırlığı, sınırlayıcı olarak ise gerilme ve düğüm noktalarının yerdeğiştirmelerle ilgili kısıtlar dikkate alınmıştır. Çalışmada ayrıca,

düzlemsel ve uzay kafes yapıların çözümlenmesi için sonlu elemanlar yazılımı geliştirilerek, genetik algoritma ile birleştirilmiştir.

Burada özetlenen çalışmalar dışında, teknik literatürde, Genetik Algoritma ile ilgili olarak çeşitli uluslararası dergilerde yayınlanmış makaleler bulunmaktadır (Jenkins, 1991; Riche ve Haftka, 1993; Adeli ve Cheng, 1993; Grierson ve Pak, 1993; Rajan, 1995; Chapman ve Jakiela, 1996; Nagendra vd., 1996; Camp vd., 1998; Chou ve Ghaboussi, 2001; Salajegheh ve Gholizadeh, 2005; Kaveh ve Rahami, 2006; Perera vd., 2009; Dede vd., 2011; Kaya, 2011; Hassan, 2013; Jung ve Kim, 2013).

1.4.2.9. Yapay Arı Koloni Algoritması

Bal arısı sürüsünün, dinamik olarak iş bölümü yapabilme ve çevresel değişimlere karşı uyarlanabilir cevap verebilme yeteneklerine sahip olan doğadaki en ilginç sürülerden biri olduğu bilinmektedir. Bal arılarının fotoğrafik hafıza, yol bulma becerisi, sezgisel kavrama yeteneği ve yeni yuva yeri seçerken toplu olarak karar verebilme yeteneği gibi birçok özelliğe sahip oldukları da bilinen bir gerçektir. Arıların söz konusu iletişimlerinin, yiyecek aramalarının, taşımalarının, dağıtmalarının ve saklamalarının kusursuzluğu, araştırmacıları bunların davranışlarını modellemeye yöneltmiştir.

Doğal bir arı kolonisinde işler, arılar tarafından, bir iş bölümüne göre yapılmaktadır. Arıların iş bölümü yapabilme ve belli bir amaç için bir araya gelebilmeleri sürü zekasının önemli özellikleri olarak bilinmektedir. Tereshko (2000) tarafından önerilmiş olan yiyecek arama modelinde; yiyecek kaynakları, görevli ve görevsiz işçi arılar olmak üzere üç bileşen bulunmaktadır. Yiyecek kaynakları, arıların nektar ya da polen elde etmek amacıyla ulaşmaya çalıştıkları kaynak olarak bilinmektedir. Bir yiyecek kaynağının değeri o kaynağın; çeşidi, kovana yakınlığı, nektar kıvamı ve nektarın alınmasındaki kolaylık gibi birçok etmene bağlı olmaktadır. Basite indirgemek için bazen kaynağın değeri, kaynağın zenginliği gibi tek bir ölçütle de ifade edilebilmektedir. Görevi belirli işçi arılar, daha önceden belirlenen kaynaklardaki nektarların kovana getirilmesini sağlamaktadırlar. Bunlar aynı zamanda kaynağın kalitesi ve yeriyle ilgili bilgiyi de kovandaki arılarla paylaşmaktadırlar. Görevi belirsiz arılar ise nektar toplayabilmek için kaynak arayışında olan arılardır. Bunlar içsel dürtüye ya da bir dış etmene bağlı olarak rasgele kaynak arayışında olan kaşif arılar ve kovanda bekleyerek görevli arılardan gelen bilgiyi kullanmak suretiyle yeni bir kaynağa yönelen gözcü arılardan oluşmaktadır (Öztürk, 2013).

1.4.2.9.1. Arılar Arasındaki Bilgi Paylaşımının Sağlanması

Arılar arasında bilgi paylaşımı, gerçekleştirdikleri dansla sağlanmaktadır. Kovanda bulunan dans alanında bir arının gerçekleştirdiği dans esnasında, diğer arılar ona antenleriyle dokunarak bulduğu kaynağın tadı ve kokusu ile ilgili bilgiyi almaktadırlar. Ziyaret edilen kaynağa daha fazla arı gönderebilmek için arı bu dansı kovandaki çeşitli alanlarda gerçekleştirerek kaynağa geri dönmektedir. Yapılan dansı; nektarın tadı, çıkarılmasındaki kolaylığı, kıvamı, hava koşulları ve günün hangi vakti olduğu gibi birçok etmen etkilemektedir. Nektar kaynağının yön bilgisi de yine dansla verilmekte ve arılar yapılan dans sayesinde kaynak ile güneş arasındaki açıyı anlayabilmektedirler. Arılar birleşik gözleriyle, güneşle kendi yörüngeleri arasındaki açıyı ölçebilmekte ve bu işlemi güneşin önünün kapalı olması durumunda bile polarize olmuş gün ışığından faydalanarak yapabilmektedirler. Uzaklığı ise enerji tüketimlerine göre hesaplayabilmekte, yüklerine göre farklı yüksekliklerde uçarak enerji tüketimlerini ayarlayabilmektedirler. Kaynağın uzaklığına göre arılar; dairesel dans, kuyruk dansı ve titreme dansı olarak adlandırılan dansları gerçekleştirebilmektedirler. Kaşif arılar tarafından kaynaklarla ilgili bilgiler, dans alanında gözcü arılara iletildikten sonra, gözcü arılar hangisini seçeceklerine kaynağın zenginliğine göre karar vermektedirler. Kaynak bulunduktan sonra arı, kaynağın yerini hafızasında tutmakta ve nektar toplamaya başlamaktadır. Böylece bunlar görevli arı haline dönüşmektedir. Nektar toplayan arı kovana geri dönmekte ve topladığı nektarı yiyecek depolarına aktarmaktadır. Bu aktarım gerçekleştikten sonra arı, aşağıdaki üç davranıştan birini yapmaktadır:

- Gittiği kaynağı bırakarak bağımsız gözcü olmakta,
- Gittiği kaynağa dönmeden önce dans ederek diğer arıları da aynı kaynağa yönlendirmekte,
- Herhangi bir yönlendirme yapmadan kaynağa dönmektedir.

Arıların kendi kendilerine organize olabilmeleri:

- Negatif geribesleme (tüketilen kaynağın bırakılması),
- Pozitif geribesleme (kaynağın nektar miktarı ne kadar fazlaysa kaynağı seçen gözcü arı sayısının da buna bağlı olarak artması),
- Salınımlar (kaşif arıların nektar kaynağı bulabilmek üzere rasgele salınım yapmaları),

- Çoklu etkileşimler (arıların nektar kaynağıyla ilgili bilgiyi dans alanında paylaşması),

gibi özellikleri sayesinde sağlanmaktadır (Öztürk, 2013).

1.4.2.9.2. Yapay Arı Koloni Algoritmasının İşleyişi

Algoritmaya ilişkin süreç:

- Kaşif arıların sürecin başında rasgele nektar kaynağı aramaya başlaması,
- Nektar kaynağını bulan kaşif arıların, görevli arı haline dönüşmesi ve buldukları kaynaklardan kovana nektar taşımaya başlaması, her bir görevli arının, kovana getirdiği nektarı boşalttıktan sonra geldiği kaynağına geri dönmesi ya da dans alanında sergilediği dans aracılığıyla taşıdığı bilgiyi gözcü arılara iletmesi, eğer görevli arının kullandığı kaynak tükenmiş ise bu arının kaşif arıya dönüşerek yeniden kaynak arayışına koyulması,
- Kovanda bekleyen gözcü arıların da zengin kaynakları işaret eden dansları izlemek suretiyle, kaynağın uygunluğuna bağlı olarak, bir kaynağı tercih etmesi,

şeklinde özetlenmektedir. Bu süreç, Yapay Arı Koloni Algoritmasında sırasıyla:

- Başlangıç nektar kaynaklarının üretilmesi,
- Üretilen kaynakların değerlendirilmesi,
- İterasyon sayısının 1'e eşitlenmesi,
- Görevli arıların nektar bölgelerine gönderilmesi (Görevli arı aşaması),
- Görevli arılardan gelen bilgiye göre gözcü arılar için olasılık değerlerinin hesaplanması,
- Gözcü arıların olasılık değerlerine göre nektar kaynaklarının seçilmesi (Gözcü arı aşaması),
- Bırakılacak kaynaklara karar verilmesi ve kaşif arı üretiminin yapılması (Kaşif arı aşaması),
- Elde edilen en iyi kaynağın hafızada tutulması,
- İterasyon sayısının bir arttırılması,
- Maksimum çevrim sayısına ulaşmışsa işlemin bitirilmesi, ulaşmamışsa "Görevli Arı Aşaması"na dönülmesi,

adımlarından oluşmaktadır (Öztürk, 2013).

1.4.2.9.3. Yapay Arı Koloni Algoritması ile İlgili Bazı Çalışmalar

Baykaşoğlu vd. (2007), Yapay Arı Kolonisi Algoritması konusunda yapılmış olan çalışmaları incelemişlerdir. Ayrıca, Yapay Arı Koloni Algoritmasını, “NP-hard” problemi olarak bilinen genelleştirilmiş atama problemini çözmek için uygulamışlardır.

Karaboğa vd. (2007), Yapay Arı Koloni Algoritmasını, Yapay Sinir Ağlarının eğitilmesinde kullanılan optimum ağırlık kümesinin elde edilmesinde kullanmışlardır.

Quan ve Shi (2008), geliştirilmiş bir Yapay Arı Koloni Algoritması sunmuşlardır. Söz konusu algoritma ile çok değişkenli 10 fonksiyonun çözümlündeki başarımı değerlendirilmiş ve algoritma başarılı bulunmuştur.

Akay ve Karaboğa (2009), tamsayı programlama problemlerine, Yapay Arı Koloni Algoritmasını uygulamışlar ve elde edilen bulguları, Parçacık Sürü Algoritmasından elde edilenlerle karşılaştırarak başarımını değerlendirmişlerdir. Çalışmanın sonunda, Yapay Arı Koloni Algoritmasının, tamsayı programlama problemlerinde etkin bir şekilde kullanılabilceği sonucuna varılmıştır.

Kang vd. (2009), Nelder-Mead Simpleks yöntemini, Yapay Arı Koloni Algoritmasıyla birleştirerek bir Melez Simpleks Yapay Arı Koloni Algoritması geliştirmişler ve ters çözümlene problemleri için kullanmışlardır. Söz konusu algoritma, beton baraj-temel sisteminin çözümüne uygulanmıştır.

Zhao vd. (2010), Yapay Arı Koloni Algoritması ve Genetik Algoritmayı birleştirerek melez bir algoritma geliştirmişlerdir.

Karaboğa ve Öztürk (2011), Yapay Arı Koloni Algoritmasını, veri kümelenmeleri için kullanmışlardır. Ayrıca, elde edilen sonuçlar, Parçacık Sürü Algoritması ve literatürdeki dokuz farklı sınıflama tekniğinden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonunda, Yapay Arı Koloni Algoritmasının çok değerşkenli veri kümelenmesinde etkin bir biçimde kullanılabilceği ortaya konulmuştur.

Sönmez (2011), kendini uyarlayabilen bir ceza fonksiyonu kullandıkları Yapay Arı Koloni Algoritmasıyla, çelik kafes yapıların minimum ağırlıklı tasarımını gerçekleştirmişlerdir. Sabit geometriye ve maksimum 200 elemana sahip 5 farklı kafes sisteme uygulanan algoritmadan elde edilen sonuçlar, algoritmanın yapısal tasarım için etkin bir araç olduğunu göstermiştir.

Akay ve Karaboğa (2012), Yapay Arı Koloni Algoritmasını büyük ölçekli optimizasyon problemlerine uygulamışlardır. Bunun için, temel Yapay Arı Koloni

Algoritmasına bir sınırlayıcı işleme yöntemi ilave etmişler ve söz konusu algoritmayı 9 sınırlayıcısız büyük ölçekli test problemi ve 5 sınırlayıcılı iyi bilinen mühendislik problemlerine uygulamışlardır.

Öztürk (2013), deprem bölgelerinde yapılacak betonarme sığ tünellerin optimum tasarımını, Genetik Algoritma ve Yapay Arı Koloni Algoritması kullanarak gerçekleştirmiştir.

Teknik literatürde, Yapay Arı Koloni Algoritma yöntemiyle, optimizasyon problemlerinin çözümüne ilişkin yukarıda ayrıntılı açıklamaları ile verilmiş olan çalışmalardan başka, konferans ve sempozyumlarda sunulan bildiriler (Sato ve Hagiwara, 1997; Lucic ve Teodorovic, 2001; Chong vd., 2006; Hemamalini ve Simon, 2008; Kadioğlu vd., 2010) çeşitli uluslararası dergilerde yayınlanmış makaleler (Wedde vd., 2004; Drias vd., 2005; Marković vd., 2007; Gözde ve Taplamacıoğlu, 2011; Fister vd., 2012; Ramanathan vd., 2013; Karaboğa vd., 2014) ve tezler (Akay, 2009; Sevim, 2013; Eser 2014) bulunmaktadır.

1.5. Kısmen Öngerilmeli Beton Kirişli Köprü Üstyapılarının Optimizasyonu

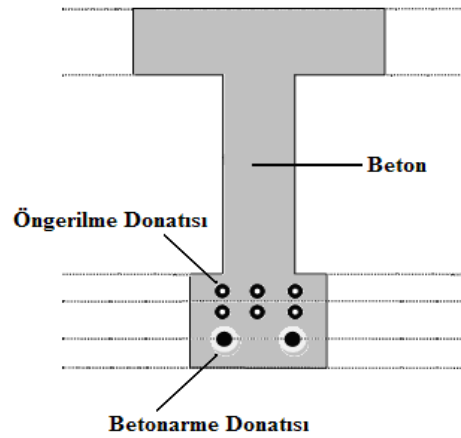
Genel olarak, tam ya da kısmen öngerilmeli beton köprü üstyapıları, fabrikada imal edilen ön üretimli öngerilmeli kirişlerden, ayrı kirişleri birbirine bağlamak ve beraber çalışmalarını sağlamak amacıyla dökülen tabliye betonundan ve mesnet bölgelerinde üstyapı bütünlüğünü sağlamak için tasarlanan enleme kirişlerinden oluşmaktadır (Caner vd., 2007; Aktaş, 2010). Bu şekilde inşa edilmiş bir köprü örneği Şekil 1.9'da gösterilmektedir.



Şekil 1.9. Öngerilmeli kirişlerle inşa edilmiş bir köprü üstyapısı örneği (Akoğul, 2007).

Çok açıklıklı bir köprü tasarımının ilk aşamasını köprünün toplam açıklığının belirlenmesi oluşturmakta, sonraki aşamada ise tasarımcılar tarafından, böyle bir açıklığın geçilebilmesi için köprünün kaç açıklıklı olması gerektiği ve kaç adet köprü ayağı kullanılmasının uygun olacağı tespit edilmektedir. Bu seçimde, toplam açıklığın boyu kadar köprü eksen boyunca arazi profiline kotları ve bu kotlara bağlı olarak oluşacak ayakların yükseklikleri de etkili olmaktadır. Özetle, çok açıklıklı bir köprü tasarımında boyut yönünden inceleme yapılmadan önce sistem seçimi üzerinde bir araştırma yapılmaktadır. Köprünün ayak aralıkları belirlendikten sonra bu aralıkların uygun bir kiriş ve tabliye sistemiyle birleştirilmesi gerekmekte olup, öncelikle taşıt yüküne bağlı olarak tabliye kalınlığı belirlenmektedir. Daha sonra ise, bu tabliyenin altına yerleştirilecek kirişlerin adedi ve boyutları tespit edilmektedir. Uygulama aşamasında genellikle, önceden özellikleri belirlenmiş ve standartlaşmış kesitli öngerilmeli kirişler kullanılmaktadır. Köprü ayak aralığına, tabliye genişliğine ve kullanılacak kiriş sayısına bağlı olarak standartlaşmış olan bu kirişlerden söz konusu köprü açıklığı için uygun enkesitli olanı seçilmektedir. Ancak her köprü kendi içinde farklı özelliklere sahip olduğundan dolayı, standart kesitli kirişlerin üzerinde değişiklik yapılması suretiyle, her köprü üst yapısı için, minimum malzeme kullanılarak tasarlanacak bir kesitin belirlenmesi gerekmektedir (Aydın, 2006).

Kısmen öngerilmeli olarak imal edilen ön üretimli kirişler, hem betonarme, hem de gerilmiş haldeki öngerilme donatısını içermekte ve bu iki donatı tipi kirişin taşıma gücünün hesabında dikkate alınmaktadır. Kısmen öngerilmeli tipik bir beton kiriş enkesiti örneği Şekil 1.10'da gösterilmektedir.



Şekil 1.10. Kısmen öngerilmeli tipik bir beton kiriş enkesiti örneği

Bu çalışmada, kısmen öngerilmeli beton kirişlerin taşıma gücü ve kullanılabilirlik sınırlarını aşmadan, toplam yapım maliyetinin minimum değerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu amaçla, yapısal optimizasyon alanında kullanılan Genetik Algoritma ve Yapay Arı Koloni Algoritması optimizasyon aracı olarak seçilmiştir. Teknik literatürde, önceden de bahsedildiği gibi kısmen öngerilmeli beton kirişlerin optimizasyonu konusunda birçok çalışma bulunmakta, ancak Genetik Algoritma ve Yapay Arı Koloni Algoritmasının optimizasyon aracı olarak kullanıldığı bir çalışmaya rastlanmamaktadır.

Daha önce de belirtildiği gibi, ülkemizdeki köprü üstyapılarında tam öngerilmeli beton olarak imal edilen kirişler kullanılmaktadır. Tam öngerilmeli kiriş maliyetinin büyük bir bölümünü, öngerilme kabloları oluşturmaktadır. Bu nedenle, öngerilme kablolarının sayısını ve boyutunu azaltmanın ya da öngerilme donatılarının yerine taşıma gücünde katkısı olacak betonarme donatısı kullanmanın ülke ekonomisine katkı sağlayacağı da bir gerçektir. Bu durum, kısmen öngerilme beton tekniğiyle sağlanabilmektedir. Bununla birlikte, ülkemizde kısmen öngerilmeli köprü üstyapısı bulunmaması nedeniyle, bu çalışma ülkemizde yapılacak uygulamalara bir katkı sağlayabilecektir.

Halen ülkemizde öngerilmeli yapılar ile ilgili olarak Türk Standartları Enstitüsü tarafından yayımlanmış “TS 3233-Öngerilmeli Beton Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları” (TSE, 1979) ve karayolu köprülerinin tasarımı ile ilgili olarak Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından yayımlanmış “Yol Köprüleri için Teknik Şartname” (KGM, 1973) yürürlükte bulunmaktadır. Ancak, yürürlükteki bu standart ve şartnamenin, gelişen teknoloji ve tasarım ilkelerine göre güncellenmemesi, bir köprü üstyapısını boyutlandırmak için bazı noktalarda yetersiz ve eksik kalmalarına, bu durum da, tasarımcıların, yabancı yönetmelikleri, ülkemiz koşullarına uyarlayarak kullanmalarına neden olmaktadır. Bu çalışmada, kısmen öngerilmeli beton kirişler optimize edilirken, Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından da kabul edilen ve yaygın olarak kullanılan “Amerikan Devlet Otoyolları ve Resmi Taşımacılık Birliği” tarafından yayımlanmış “Köprü Yönetmeliği”nin (AASHTO, 2002) esasları büyük ölçüde dikkate alınmıştır.

1.6. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmanın temel amacı, I ve T enkesitlere sahip, basınç ve/veya çekme bölgesinde betonarme donatısı bulunan kısmen öngerilmeli beton kirişlerin, Yapay Arı Koloni Algoritması ve Genetik Algoritma optimizasyon tekniklerini kullanarak, minimum maliyetli tasarımlarını gerçekleştirmekten ibarettir.

Bu amaçla, çalışmanın birinci bölümünde, kısmen öngerilmeli beton yapı tekniği hakkında genel bilgiler verilmiş, bu yapı tekniğinin Türkiye'deki köprü üstyapılarında kullanımı irdelenmiş ve yapı optimizasyon tekniklerine ilişkin gerekli bilgiler üzerinde durulmuştur.

İkinci bölümde, Yapay Arı Koloni ve Genetik Algoritmalar tanıtılmakta, kısmen öngerilmeli beton kirişlerin yapısal çözümlemesi için kullanılan genel bağıntılar belirlenmekte ve yapısal optimizasyon sırasında gerekli olan diğer bilgiler üzerinde durulmaktadır. Tüm bu bilgiler ışığında, teknik literatürden seçilen üç adet kirişin, kısmen öngerilmeli beton tekniği kullanılarak, Yapay Arı Koloni ve Genetik Algoritma teknikleriyle birlikte minimum maliyetli tasarımları gerçekleştirilmekte ve elde edilen bulgular, kirişlerin geleneksel tasarımlarıyla karşılaştırılmaktadır.

Çalışmanın bütününden çıkarılabilen bazı sonuç ve öneriler ise üçüncü bölümde özetlenmekte ve bu son bölümü kaynaklar listesi izlemektedir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEMELER

2.1. Genetik Algoritma ile Yapısal Optimizasyon

Genetik algoritmaların optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılan yöntemler olduğu bilinmektedir. Diğer bir deyişle genetik algoritmalar, karmaşık bir probleme optimal bir çözüm aranırken kullanılan, doğal seçim yöntemlerini esas alan bir yöntemdir. Biyolojik organizmaların genetik sürecine dayanmaktadır. Charles Darwin'in "Türlerin Orjini" adlı kitabında bahsettiği gibi nesil, en iyinin hayatta kalması ve doğal seçim ilkelerine göre oluşturulmaktadır (Bolat, 2006).

Genetik algoritma, canlı sistemlerdeki genetik şifre mantığı kullanılarak sezgisel olarak en iyi çözüm veya en iyi çözüme yakın olabilecek bir sonuç bulmayı hedeflemektedir. Bu mantık, doğal seçime yani güçlü bireyin hayatta kalma olasılığının yüksek olmasına dayanmakta, evrim sonucu hayatta kalan birey en iyi sonuç olarak alınmaktadır. Doğadaki bireylerin birleşerek çocukları oluşturması ve bu çocuklardan güçlü olanın hayatta kalması genetik algoritmanın temelini oluşturmaktadır. Genetik algoritma, bir bireyler topluluğuyla başlayarak bu bireylerden çocuklar elde etmekte, bireylerin özellikleri ve sayısı, rastlantısal olarak belirlenmektedir. Bu bireyler de rastlantısal olarak eşleştirilerek ebeveyn olmaktadır. Bu ebeveynlerden elde edilen çocuklar, seçim, çaprazlama ve mutasyon işlemlerine maruz kalmaktadırlar. Bu işlemlerin tekrarlanması ile evrim gerçekleşmektedir. Sonunda, durdurma ölçütlerinin gerçekleşip gerçekleşmediğine bağlı olarak genetik algoritma durdurulmaktadır (Altay, 2007).

Genetik algoritma, optimizasyon uygulanacak problemi, Darwin'in evrim teorisini göz önünde bulundurarak, sanal bir evrim sürecinden geçirmektedir. Söz konusu bu süreçte yine doğadaki evrim süreci taklit edilmekte ve birtakım işlemler gerçekleştirilmektedir. Basit genetik algoritmada gerçekleştirilen bu işlemler, seçim (kopyalama), çaprazlama ve mutasyondur. Genetik algoritmada kullanılan birtakım terimler aşağıda açıklanmaktadır (Dede, 2003).

Birey: Literatürdeki genel adının kromozom olduğu bilinmektedir. Problemin çözümü olabilecek tasarım değişkenlerinin belirli sıraya göre dizilmesinden oluşmaktadır.

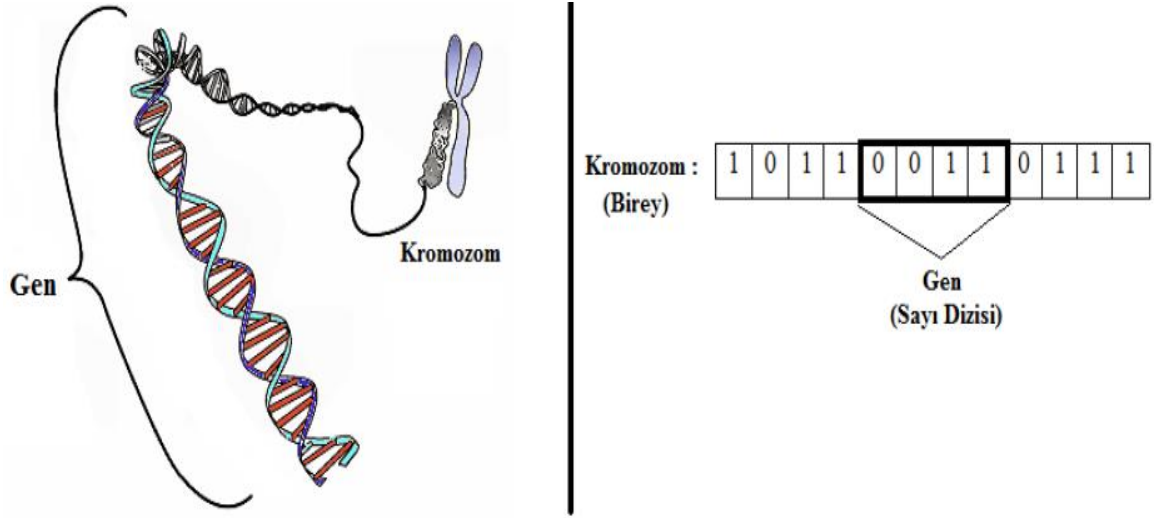
Ebeveyn Birey: Genetik işlem görüp yeni birey (çocuk birey) oluşturabilen herhangi bir bireydir.

Nesil: Daha iyi ebeveyn bireyler elde etmek için belirli sayıda bireyin katılımıyla genetik algortmada oluşturulan herhangi bir toplumdur (Populasyon).

Uygunluk: Tasarım başarımının ölçüsüdür.

Genetik İşlem: Ebeveyn bireyler arasında bilgi iletişimini sağlayan işlemlerdir.

Genetik algortmada, herbir çözüm nesildeki bir bireyle (kromozomla) gösterilmekte, bireyleri de sayı dizileri simgelemektedir. Bireyleri simgeleyen sayıların her birine ise gen adı verilmektedir. Bu durum, Şekil 2.1’de şematik olarak gösterilmektedir (Öztürk, 2013).



Şekil 2.1. Biyolojideki gen ve kromozomun genetik algortmadaki karşılıkları (Öztürk, 2013).

2.1.1. Genetik Algortma Tekniğinde Yapılan Bazı Temel Kabuller

Geliştirilen genetik algortmada yapılan bazı temel kabuller aşağıda sıralanmaktadır (Bekiroğlu, 2003).

- Bireyi oluşturan karakter sayısı sabit olabildiği gibi değişken de olabilmektedir. Ancak, yapısal optimizasyonda, tasarım değişkenleri sayısı, her tasarım için sabit olduğundan, bu tür problemlerin çözümünde kullanılan genetik algortmalarda birey uzunluğu sabit olmaktadır.
- Nesil büyüklüğü diğer bir deyişle nesildeki birey sayısı sabit olabildiği gibi değişken de olabilmektedir.

- Nesildeki tüm bireylerin yeni birey oluşumuna katılımının sağlanması, bireylerin eşleşmesi ve çaprazlama operatörünün çiftler arasında uygulanabilmesi için, nesildeki birey sayısının çift olması gerekmektedir.

2.1.2. Başlangıç Nesli ve Tasarım Değişkeni Değer Kümelerinin Oluşturulması

Genetik algoritma, optimizasyon sürecine başlayabilmek için algoritma tarafından rasgele belirlenebilen veya kullanıcı tarafından oluşturulabilen bir başlangıç nesline ihtiyaç duymaktadır. Başlangıç neslinin iyi seçilmesi, optimum tasarımı bulmak için yapılacak iterasyon sayısının çok fazla olmaması bakımından önem arz etmektedir. Genel anlamı itibarı ile, nesil büyüklüğü 20-100 birey arasında değişmektedir. Nesil büyüklüğünün çok küçük olması halinde, genetik algoritma, yerel bir optimuma odaklanabilmekte, çok büyük olması halinde ise optimum çözüme ulaşma süresi uzamakta olup, algoritmanın verimli çalışması için topluluktaki birey sayısının birey uzunluğuna bağlı olarak yeterli sayıda olması gerekmektedir. Bireylerin uzunluğunun da, tasarım değişkeni sayısına ve bu tasarım değişkenleri için seçilen değişken kümesindeki değer sayısına bağlı olarak değiştiği bilinmektedir. Bu sebepten dolayı, tasarım değişkeni değer kümelerinde, optimum çözüme kolay bir şekilde ulaşabilmeyi sağlayacak ve optimum çözüme ulaşma süresini çok uzatmayacak sayıda değer bulunmasına dikkat edilmesi gerekmektedir (Bekiroğlu, 2003; Dede, 2003; Aydın, 2006).

2.1.3. Genetik Algoritmada Muhtemel Çözümlerin Kodlanması

Bir problemin genetik algoritmayla optimum çözümünün belirlenebilmesi için tüm çözümlerin aynı boyutlara sahip karakterler dizisi biçiminde gösterilmesi gerekmekte olup, bu dizilerden her biri, problemin araştırma uzayındaki olası bir çözümünü simgelemektedir (Bekiroğlu, 2003).

Genetik algoritmada kodlama sistematığı olarak genellikle ikili, tamsayı, permütasyon ve ağaç kodlamaları kullanılmaktadır. Bu kodlama türlerine ilişkin örnekler aşağıda sunulmaktadır (Bolat, 2006; Şeker, 2008).

2.1.3.1. İkili Kodlama

İkili kodlama, genetik algorithmada en yaygın kullanılan kodlama türüdür. Nesil içindeki bireylerin herbiri 0 ve 1'lerden oluşmuş diziler şeklinde ifade edilmektedir. Bu tür kodlamanın kullanıldığı genetik algoritma hesaplamalarında gerçek sayıya dönüştürme işlemi sırasında bir zaman kaybı oluşmaktadır. İkili kodlama kullanılarak oluşturulmuş iki kromozom örneği aşağıda verilmektedir (Bolat, 2006).

Kromozom A: 110101000

Kromozom B: 011011101

Bu kromozomlar içerisinde, optimizasyon sırasında kullanılan tasarım değişkenleri, çeşitli şifreleme yöntemleri kullanılarak kodlanmaktadır.

2.1.3.2. Değer Kodlama

Değer kodlamada birey, tamsayıların ard arda yazılmasıyla oluşturulmaktadır. Bu tür kodlamada, kodlama ve kod çözme işlemlerinin yapılmaması nedeniyle, bir zaman kaybı oluşmamaktadır. Diğer taraftan, bilgiyi temsil eden eleman (karakter) sayısı az olduğundan çözüm uzayında arama işlemi yavaşlamaktadır. Değer kodlama kullanılarak oluşturulmuş iki kromozom örneği aşağıda verilmektedir (Bolat, 2006).

Kromozom A: 4,375 | 0,817 | 0,298 | 1,176 | 3,177 | 6,748

Kromozom B: 0,566 | 4,280 | 3,110 | 2,108 | 2,213 | 0,214

2.1.3.3. Permütasyon Kodlama

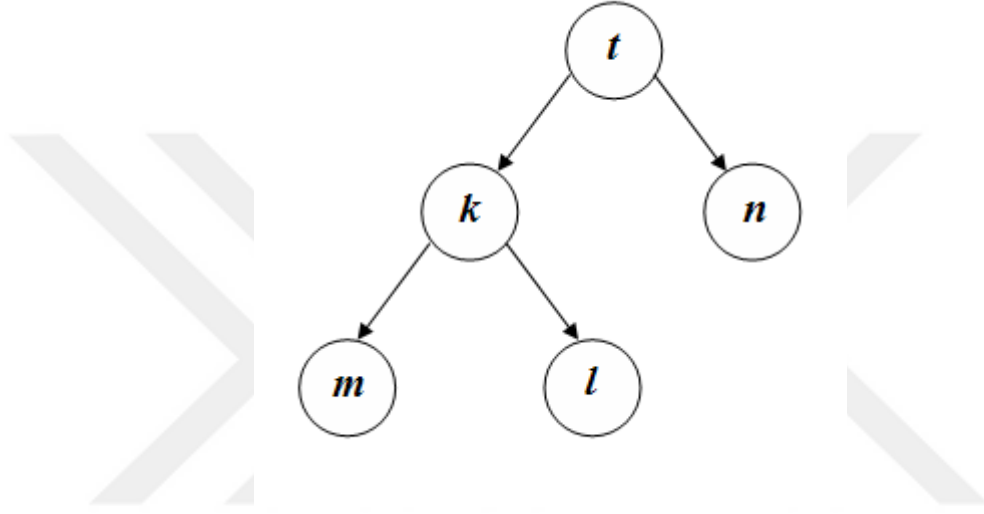
Bu kodlama, Gezgin Satıcı Problemi ve iş sıralama problemleri gibi permütasyon problemlerinde kullanılmaktadır. Burada her kromozom bir numaralar dizisiyle ifade edilmektedir. Permütasyon kodlama kullanılarak oluşturulmuş iki kromozom örneği aşağıda verilmektedir (Şeker, 2008).

Kromozom A: 4528557956325

Kromozom B: 7523654921354

2.1.3.4. Ağaç Kodlama

Ağaç kodlamada her kromozom, adından da anlaşıldığı gibi nesnelere ve nesnelere arası işlemleri içeren bir ağaç yapısından oluşmaktadır. Ağaç kodlama, program geliştirmek için uygun bir kodlama türü olmakla birlikte, LISP ve Prolog gibi programlama dillerinde, sıklıkla kullanılmaktadır (Şeker, 2008). Ağaç kodlama örneği kullanılarak oluşturulmuş bir kromozom örneği şematik olarak Şekil 2.2’de verilmektedir.



Şekil 2.2. Ağaç kodlama için kromozom örneği (Şeker, 2008).

2.1.4. Ceza Fonksiyonu ve Cezalandırılmış Amaç Fonksiyonunun Belirlenmesi

Genetik algoritma, sınırlayıcısız problemlere uygun bir yöntem olduğundan dolayı sınırlayıcı tasarım problemlerinin, sınırlayıcısız tasarım problemlerine dönüştürülmesi gerekmektedir. Bunun için, tasarım probleminin sınırlayıcıları boyutsuz değerlere indirgenmekte yani normalize edilmektedir. Bunun sonucunda da, ihlaller bir fonksiyon yardımıyla amaç fonksiyonuna eklenmekte olup, sınırlayıcıların ihlal edilmesi ölçüsünde amaç fonksiyonunun değeri arttırılmaktadır. Amaç fonksiyonunun değerindeki söz konusu bu artış, tasarımı, uygun tasarım olma niteliğinden uzaklaştırmakta ve cezalandırmaktadır. Bundan dolayı, ihlalleri içeren fonksiyona “ceza fonksiyonu” denilmekte olup, bu fonksiyonun amaç fonksiyonuna eklenmesiyle, sınırlayıcı tasarım problemi, sınırlayıcısız hale dönüşmektedir (Bekiroğlu, 2003).

Ceza fonksiyonunun amaç fonksiyonuna eklenmesi sonucunda oluşan fonksiyona, cezalandırılmış amaç fonksiyonu adı verilmektedir. Bireylerin sınırlayıcıları ihlal edip

etmediklerinin sınırlayıcılar tarafından denetlenmesi neticesinde, eğer sınırlayıcılar ihlal edilmemişse, amaç fonksiyonu ile cezalandırılmış amaç fonksiyonu aynı değeri almaktadır. Eğer sınırlayıcı ihlali mevcut ise, ihlaller amaç fonksiyonuna eklendiğinden dolayı, çözümler uygun olmamakta ve çözümlerin cezalandırılmış amaç fonksiyonu anlamsız değerler almaktadır (Dede, 2003).

Bu çalışmada gerçekleştirilen uygulamalarda, Toğan ve Daloğlu (2006) tarafından da kullanılan uyarlanabilen bir ceza fonksiyonu yöntemi kullanılmıştır. Söz konusu ceza fonksiyonu yöntemine göre; n sınırlayıcı sayısını, $g(i)$ i. sınırlayıcının ihlal miktarını ($i = 1, \dots, n$), g_{\min} , g_{ort} ve g_{\max} sırasıyla nesildeki en küçük, ortalama ve en büyük ihlal değerini göstermek üzere, ceza katsayısı:

$$CK = \begin{cases} g(i) \geq g_{\text{ort}} \Rightarrow (g_{\max} + g(i)) / (g_{\max} - g_{\text{ort}}) \\ g(i) < g_{\text{ort}} \Rightarrow (g_{\text{ort}} + g(i)) / (g_{\text{ort}} - g_{\min}) \\ g(i) = 0 \Rightarrow 0 \end{cases} \quad (1)$$

şeklinde elde edilmektedir. Bu katsayı kullanılarak ifade edilen cezalandırılmış amaç fonksiyonu ise, $f(x)$ amaç fonksiyonunu göstermek üzere,

$$\Phi(x) = f(x) \cdot (1 + CK) \quad (2)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

Görüldüğü gibi bu yöntem, deneme yanılma yoluyla önceden belirlenmesi gereken bir ceza katsayısı gerektirmemektedir. Bu yöntemde, tüm bireyler aynı oranda cezalandırılmamakta, ihlal miktarları arttığında ceza terimi büyüyerek uygulanan ceza ağırlaşmakta ve böylece söz konusu ceza fonksiyonu yöntemi nesilden nesile ve bireyden bireye kendini uyarlamaktadır.

2.1.5. Muhtemel Çözümlerin Uygunluk Derecelerinin Belirlenmesi

Genetik algoritmada, bir çözümün uygunluk derecesi, doğadaki bir bireyin hayatta kalarak gelecek nesillere aktarılabilme yeteneğine benzetilebilmekte olup, çözümlerin optimum çözüme yakınlık derecesini ifade etmek üzere kullanılmaktadır. Başka bir deyişle, kopyalama operatörünün uygulanabilmesi için, çözümlerin öncelikle uygunluk derecelerine göre sınıflandırılmaları gerekmekte olup, iterasyon sonucu elde edilen çözümler kümesinde, uygunluk derecesi en iyi çözümler, uygunluk derecesi en kötü olan çözümler yerine kopyalanmaktadır (Aydın, 2006).

Bu çalışmada kullanılan kendini uyarlayabilen genetik algoritmada, bir bireyin uygunluk derecesi, $\Phi_{\max}(x)$ ve $\Phi_{\min}(x)$ sırasıyla nesildeki en büyük ve en küçük cezalandırılmış amaç fonksiyonu değerini göstermek üzere,

$$f_i^d(x) = [\Phi_{\max}(x) + \Phi_{\min}(x)] - \Phi_i(x) \quad (3)$$

bağıntısıyla, bir bireyin uygunluk değeri ise, f_{ort} nesildeki bireylerin ortalama uygunluk derecesini göstermek üzere,

$$f_i'(x) = \frac{f_i^d(x)}{f_{\text{ort}}} \quad (4)$$

bağıntısıyla belirlenmektedir (Öztürk, 2013).

2.1.6. Genetik İşlemlerin Olası Çözümlere Uygulanması

Genetik algoritmalar, çözüm topluluğuna adım adım genetik işlemler uygulayarak ve uygun topluluktan arama yoluyla yeni nesiller üreterek en iyi çözümlere ulaşılmasını sağlamaktadır. Basit genetik algoritmaların çoğu dört ana işlemde oluşmaktadır (Parlak, 2007). Bunlar;

- Seçim
- Kopyalama
- Çaprazlama

- Mutasyon işlemleri

olarak adlandırılmaktadır.

2.1.6.1. Seçim İşlemi

Seçim, topluluğu oluşturan her dizinin uygunluk değerlerine (amaç fonksiyonu değerleri) bağlı olarak kopyalanması işlemi olarak bilinmektedir. Bu işlem “doğal seçilimin” bilgisayar ortamındaki karşılığı olarak da görülebilmektedir. Topluluğu oluşturan her dizi, problemin olası çözümlerinden birini temsil etmekte ve seçim işlemi en uygun çözümlerin daha sonraki çözümleri (yeni toplulukları) daha yüksek olasılıkla etkilemesini amaçlamaktadır. Uygunluk değeri saptanan diziler, bir seçim mekanizması ile kopyalama işlemine uğratılmaktadır (Koç, 2002).

Bu seçim mekanizmalarından bazıları (Şeker, 2008);

- Rulet Tekeri (Turnike) Seçimi
- Baltzman Seçimi
- Turnuva Seçimi
- Sıralama Seçimi
- Sabit Durum Seçimi
- Rastgele Seçim
- Ağırlıklı Rastgele Seçim (Mertebe ya da Hedef Ağırlıklarıyla)

şeklinde sıralanabilmektedir.

2.1.6.2. Kopyalama İşlemi

Kopyalama işlemi uygunluk değeri kötü olan bireylerin uygunluk değeri iyi olanlarla değiştirilmesini sağlamaktadır. Bu işlemde nesildeki tüm bireylerin uygunluk değerleri hesaplanmakta ve önceden belirlenmiş bir değerden daha küçük uygunluğa sahip olan bireyler nesilden çıkarılmaktadır. Nesilde kalan iyi bireylerden uygunluk değeri yüksek olanlar çıkarılan birey sayısı kadar kopyalamak suretiyle nesildeki toplam birey sayısı tamamlanmaktadır. Eşleme havuzuna alınan bu bireyler birbirleriyle rasgele eşlenmekte ve çaprazlama işlemi bu eşler arasında gerçekleştirilmektedir. Tam bir eşleme olması için birey sayısının çift olması gerekmektedir (Öztürk, 2013).

Kopyalama işleminin 5 bireyli bir nesle uygulanması ile ilgili örnek Tablo 2.1’de verilmektedir (Aydın, 2006).

Tablo 2.1. Beş bireyli bir nesilde kopyalama operatörünün uygulanması (Aydın, 2006).

Birey No	Bir Önceki Nesil	Uygunluk Değeri	Kopyalanan Birey Adedi	Çaprazlama Havuzu
1	111000	1,12	1	111000
2	010100	1,35	2	010100
3	110000	1,10	1	110000
4	001100	0,55	0	010100
5	110011	1,17	1	110011

Tablo 2.1’den görüldüğü gibi, her biri üçer gene sahip iki kromozomdan oluşan 5 bireyli bir nesilde, uygunluk değeri en az olan 4 nolu bireyin yerine uygunluk değeri en iyi olan 2 nolu birey çaprazlama havuzunda ikinci kez bulunmak üzere kopyalanmıştır.

2.1.6.3. Çaprazlama İşlemi

Çaprazlama işlemi, seçim ve kopyalama işlemleriyle elde edilen dizilerden yeni diziler, başka bir deyişle yeni çözümler üretilmesi olarak tanımlanmaktadır. Bu işlem, öncelikle mevcut dizilerin rasgele eşleştirilmesi ve daha sonra eşleştirilen diziler arasında belirli kısımların karşılıklı değiştirilmesi şeklinde gerçekleştirilmektedir (Koç, 2002).

Teknik literatürde değişik çaprazlama türleri bulunmaktadır. Bunlar:

- Tek kesimli çaprazlama (tek noktalı gen takası)
- Çift kesimli çaprazlama (çift noktalı gen takası)
- Çok kesimli çaprazlama
- Düzgün çaprazlama
- Karıştırmalı çaprazlama
- Ara birleşmeli çaprazlama
- Doğrusal birleşmeli çaprazlama
- Aritmetik çaprazlama

olarak sıralanabilmektedir (Şeker, 2008).

Çaprazlama işleminde nesildeki bireylerin kendisiyle eşlenmesine izin verilmemekte ancak birey kendilerinden üretilen kopyalarla eşlenebilmektedir. Çaprazlama genetik algorithmda yakınsama olasılığını artırmakta ve böylece topluma yeni bireyler kazandırmaktadır. Çaprazlama işlemiyle her iterasyonda yeni bireyler üretilerek genetik algoritmanın bu yeni bireyler üzerinde araştırma yapması sağlanmaktadır. Bu işlemi uygulamak üzere eşleme havuzunda eşleştirilen bireyler çaprazlama havuzuna alınarak burada rasgele çaprazlama noktaları belirlenmektedir (Öztürk, 2013).

Genetik algorithmda sık kullanılan çaprazlama türleri ile ilgili bilgiler aşağıda verilmektedir.

2.1.6.3.1. Tek Noktalı Çaprazlama

Tek noktalı çaprazlamada, çaprazlama havuzundaki ebeveyn bireyler, rasgele belirlenen sadece bir tane çaprazlama noktasından iki dizi parçasına bölünmekte olup, dizi parçaları eş birey ile karşılıklı değiştirilmekte ve yeni çocuk bireyler oluşturulmaktadır.

Bu tür çaprazlamada, 1. çocuk birey için, çaprazlama noktasına kadar olan kısım ilk bireyden ve çaprazlama noktasından dizi sonuna kadar olan ikinci kısım ise eş bireyden alınmakta ve ilk çocuk birey oluşturulduktan sonra ebeveyn bireylerden artan parçalarla 2. çocuk birey oluşturulmaktadır. Çaprazlama sonunda oluşan yeni bireyler ebeveyn bireylerin yerini alarak bir sonraki nesile aktarılmaktadır (Dede, 2003).

Tek noktalı çaprazlama örneği Şekil 2.3'te gösterilmektedir.

		Çaprazlama Noktası							
Birey		13	4	7	17	30	9	18	4
Eş Birey		9	14	8	29	2	5	17	7
		Çaprazlamadan sonra							
1. Çocuk Birey		13	4	7	17	30	5	17	7
2. Çocuk Birey		9	14	8	29	2	9	18	4
Dizi Sıra No		1	2	3	4	5	6	7	8

Şekil 2.3. Tek noktalı çaprazlama örneği (Dede, 2003).

2.1.6.3.2. Çift Noktalı Çaprazlama

İki noktalı çaprazlamada, eş bireyler için 2 adet çaprazlama noktası rasgele belirlenmektedir. Bireyler arasındaki dizi parçası değişimi, bu iki çaprazlama noktası arasında kalan kısmın karşılıklı değiştirilmesiyle yapılmaktadır. Teknik literatürde, iki noktalı çaprazlamanın, tek noktalı çaprazlamaya göre daha verimli olduğu savunulmaktadır (Dede, 2003). İki noktalı çaprazlama örneği Şekil 2.4’te gösterilmektedir.

		Çaprazlama Noktası							
Birey	13	4	7	17	30	9	18	4	
Eş Birey	9	14	8	29	2	5	17	7	
		Çaprazlamadan sonra							
1. Çocuk Birey	13	4	7	29	2	5	17	7	
2. Çocuk Birey	9	14	8	17	30	9	18	4	
Dizi Sıra No	1	2	3	4	5	6	7	8	

Şekil 2.4. İki noktalı çaprazlama örneği (Dede, 2003).

2.1.6.3.3. Düzgün Çaprazlama

Bu tür çaprazlama işleminde, öncelikle geçici olarak ikili düzende bir dizi oluşturulmaktadır. Uzunluğu yığındaki dizilerin uzunluğuna eşit olan bu geçici dizide, “0” ve “1” değerleri önceden belirlenen bir olasılık değerine göre elde edilmektedir. Geçici dizideki “1” değerleri, 1. yeni dizide, 1. ebeveyn dizinin elemanlarının, 2. yeni dizide ise, 2. ebeveyn dizinin elemanlarının kullanılacağını göstermektedir. Aynı şekilde “0” değerleri, 1. yeni dizide, 2. ebeveyn dizinin elemanlarının, 2. yeni dizide ise, 1. ebeveyn dizinin elemanlarının kullanılacağını göstermektedir. Düzgün çaprazlama örneği aşağıda verilmektedir (Altıparmak, 1996).

Sıra No:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. Dizi:	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	1	0
2. Dizi:	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0
Geçici Dizi:	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	1
1. Yeni Dizi	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0
2. Yeni Dizi	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0

2.1.6.4. Mutasyon İşlemi

Mutasyon işlemi, genetik algoritmanın erken yakınsamasını önlerken, düşük uygunluk değerine sahip bireylerin problemde çözüm olarak belirlenmesini de önlemeye çalışmaktadır. Mutasyon işlemi uygunluk değeri yüksek bireylere uygulanarak algoritmanın erken yakınsamaması sağlanmaktadır. Bununla birlikte bu işlem, rasgele seçilen bireylere de uygulanabilmektedir. Bazı araştırmacılar mutasyon işleminin en iyi bireyi nesilden çıkarabileceği gerekçesiyle bu işlemin kullanılmamasını, kullanılacaksa da kullanılma oranının düşük tutulmasını önermektedirler (Öztürk, 2013).

Ele alınan problemin yapısına göre aşağıdaki mutasyon türlerinden en uygun olanının seçilerek uygulanması gerekmektedir (Bolat, 2006).

- **Ters Çevirme:** Kromozomdan rasgele iki bölge seçilir ve iki ucu arasında ters çevrilir.

Kromozom A: 0 1 1 1 0 0 0 1 0 1

Mutasyon A : 0 1 0 0 1 1 0 1 0 1

- **Ekleme:** Rasgele bir parça seçilir ve rasgele bir yere yerleştirilir.

Kromozom A: 0 1 1 1 0 0 0 1 0 1

Mutasyon A : 0 1 0 1 0 0 0 1 0 1

- **Yer Değişikliği:** Rasgele bir alt dizi seçilir ve rasgele bir yere yerleştirilir.

Kromozom A: 0 1 1 1 0 0 0 1 0 1

Mutasyon A : 0 1 1 1 0 0 1 1 0 0

- **Karşılıklı Değişim:** Rasgele seçilen iki genin yerleri değiştirilir.

Kromozom A: 0 1 1 1 0 0 0 1 0 1

Mutasyon A : 0 0 1 1 0 1 0 1 0 1

2.1.7. Çaprazlama ve Mutasyon İşlemlerinin Uygulanma Olasılıkları

Yeni aday çözümleri üretmek için kullanılan çaprazlama ve mutasyon işlemlerinin uygulanma olasılıkları da algoritmanın başarımını etkilemektedir. Bu olasılık değerleri önceden belirlenen sabit değerler olarak alınabileceği gibi, kendini uyarlayabilecek şekilde de hesaplanabilmektedir. Bu çalışmada, çaprazlama ve mutasyon olasılıklarının belirlenmesi için Toğan ve Daloğlu (2006) tarafından da kullanılan, uyarlanabilen bir yöntem kullanılmıştır. Bu yöntemle göre; f' herhangi bir bireyin uygunluk değerini, f_{\min} , f_{ort} ve f_{\max} sırasıyla bir nesildeki en küçük, ortalama ve en büyük uygunluk değerini ve f_m çaprazlanacak bireylerden uygunluğu küçük olanın değerini göstermek üzere, çaprazlama (p_c) ve mutasyon (p_m) olasılık değerleri;

$$p_c = \begin{cases} f_{\max} - f_m / f_{\max} - f_{\text{ort}} & \Rightarrow f_m \geq f_{\text{ort}} \\ 1.0 & \Rightarrow f_m < f_{\text{ort}} \end{cases} \quad (5)$$

$$p_m = \begin{cases} 0.5f_{\max} - f' / f_{\max} - f_{\text{ort}} & \Rightarrow f' \geq f_{\text{ort}} \\ f_{\text{ort}} - f' / f_{\text{ort}} - f_{\min} & \Rightarrow f' < f_{\text{ort}} \end{cases} \quad (6)$$

bağıntılarıyla hesaplanmaktadır.

2.2. Yapay Arı Koloni Algoritmasıyla Yapısal Optimizasyon

2.2.1. Başlangıç Yiyecek Kaynağının (Nektar) Üretilmesi Aşaması

Başlangıç nektar kaynaklarının üretilmesinde kovan çevresinde bulunan nektar kaynakları, arama uzayı olarak düşünülmekte ve algoritmayı başlatmak üzere rasgele yiyecek kaynaklarının oluşturulmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Başlangıçta üretilen tüm nektar kaynaklarının uygun bir çözüme karşılık geleceği bir neslin oluşturulması zaman alıcı olduğu gibi bazı problemler için de çok zor olmaktadır. Zira Yapay Arı Koloni Algoritması başlangıçta üretilen çözümlerin uygun bölgede olmalarını önemsememektedir. Kaşif arıların gerçekleştirdiği bu işlem, matematiksel olarak; x_{\min}^j ve x_{\max}^j sırasıyla j .

tasarım değişkeninin alt ve üst sınırlarını, D tasarım değişkeni sayısını, SN nektar kaynağı sayısını göstermek ve $i = 1 \dots SN$, $j = 1 \dots D$ olmak üzere (Akay, 2009; Öztürk, 2013):

$$x_i^j = x_{\min}^j + \text{rand}(0,1)(x_{\max}^j - x_{\min}^j) \quad (7)$$

bağıntısı ile gösterilmektedir. Ayrıca her kaynağın geliştirilememe sayısını ifade eden ve ileriki aşamalarda kaynağın terk edilip edilemeyeceğini belirlemeye yarayan sayaç sıfırlanmaktadır. Başlangıç aşamasını takiben tüm kaynakların uygunluklarının belirlenmesinin ardından görevli, gözcü ve kaşif arı aşamalarına geçilmek suretiyle çözümün iyileştirilmesine çalışılmaktadır. Bu çözümde kullanılan algoritma, maksimum iterasyon sayısına ulaştığında durdurulabileceği gibi diğer optimizasyon algoritmaları için kullanılan bir başka durdurma ölçütü de kullanılabilir (Öztürk, 2013).

2.2.2. İşçi Arıların Yiyecek (Nektar) Kaynağı Bölgelerine Gönderilmesi

Bu aşama, görevli arı aşaması olarak adlandırılmaktadır. Görevli arı aşamasında her bir nektar kaynağının bir görevli arısı bulunduğu kabul edildiğinden nektar kaynaklarının sayısı, görevli arı sayısına eşit olmaktadır. Bu aşamada, işçi arı çalıştığı yiyecek kaynağı komşuluğunda yeni bir yiyecek kaynağı belirler ve bunun kalitesini değerlendirir. Yeni kaynak daha iyi ise bu yeni kaynağı hafızasına alır. Mevcut kaynağın komşuluğunda yeni bir kaynak belirleme işlemi; $i = 1 \dots SN$, $j = 1 \dots D$ 'ye kadar değişmek ve Φ_{ij} -1 ile 1 aralığında rasgele değer alan bir parametreyi, $k \in \{1,2, \dots, SN\}$ olmak ve i 'den farklı bir çözüm indisini göstermek üzere:

$$v_i^j = x_i^j + \Phi_{ij}(x_i^j - x_k^j) \quad (8)$$

ifadesi ile yapılmaktadır (Akay, 2009; Öztürk, 2013). Sınırlamalı optimizasyon problemlerinde ise yeni bir kaynak belirleme işlemi; $R_j [0,1]$ aralığında düzgün dağılımlı rasgele bir sayıyı ve $MR [0,1]$ aralığında değer alan bir denetim parametresini göstermek üzere:

$$v_i^j = \begin{cases} R_j < MR \Rightarrow x_i^j + \Phi_{ij}(x_i^j - x_k^j) \\ R_j \geq MR \Rightarrow x_i^j \end{cases} \quad (9)$$

ifadesi ile gerçekleştirilmektedir (Öztürk, 2013). Buradan da anlaşılacağı gibi [0,1] aralığında rasgele üretilen düzgün dağılımlı R_j parametresi, MR parametresinden küçükse çözüm değiştirilmektedir. Bu işlem sonrasında çözümde en az bir değişim gerçekleşmemişse bu çözüme ilişkin tasarım değişkenlerinden rasgele seçilen bir tanesi kullanılmak suretiyle çözümde kullanılan nektar kaynağı değiştirilmektedir. Böylece en az bir tasarım değişkeninin değiştirilmesi garantilenmiş olmaktadır. Yukarıdaki bağıttan da görülebileceği gibi x_i^j ve x_k^j arasındaki fark azaldıkça, diğer bir deyişle çözümler birbirine benzedikçe, x_i^j çözümündeki değişim azalmaktadır. Bu durum, arama uzayında optimum çözüme yaklaşıldıkça adım büyüklüğünün de azaltılarak ayarlandığı anlamına gelmektedir. Üretilen komşu çözümdeki tasarım değişkenlerinin alt ya da üst sınır değerlerinin aşılması durumunda, bu değer tasarım değişkeninin alt ya da üst sınırına aşağıdaki bağıntı yardımıyla ötelenmektedir (Akay, 2009; Öztürk, 2013).

$$v_i^j = \begin{cases} v_i^j < x_{\min}^j & \Rightarrow x_{\min}^j \\ x_{\min}^j \leq v_i^j \leq x_{\max}^j & \Rightarrow v_i^j \\ v_i^j > x_{\max}^j & \Rightarrow x_{\max}^j \end{cases} \quad (10)$$

Üretilen komşu nektar kaynağı ile eski kaynak arasında seçim yapılabilmesi için bir değerlendirme yapılması gerekmektedir. Sınırlamasız optimizasyon problemlerinde eski x_i nektar kaynağı ile yeni komşu nektar kaynağı v_i arasında uygunluk değerine göre, aç gözlülük diye adlandırılan (greedy) bir seçme işlemi uygulanmaktadır. Yeni bulunan v_i çözümü daha iyi ise görevli arı hafızasındaki eski nektar kaynağını silerek yerine yenisini almaktadır. Eğer yeni çözüm daha optimum bir çözüm değilse eski nektar kaynağına gitmeye devam etmekte ve geliştirememeye sayacı bir arttırılmaktadır (Akay, 2009; Öztürk, 2013).

Bu çalışmada kullanılan sınırlayıcı işleme yöntemi, ceza fonksiyonlarına dayanan yöntemler ve uygun ile uygun olmayan çözümler arasında ayırım yapabilen yöntemlerden her ikisinin özelliğini de taşımaktadır. Bu yolla uygun olmayan çözümlerin cezalandırılması için amaç fonksiyonuna bir ceza terimi eklenmesine rağmen, bu

fonksiyon önceki evrimsel algoritma uygulamalarından ve geleneksel yöntemlerde tanımlanan ceza fonksiyonlarından farklılık göstermektedir. Yöntemde özel bir seçim operatörünün kullanılması önerilmekte ve seçim iki çözüm arasından (Öztürk, 2013),

- 1) Uygun olan çözümleri uygun olmayanlara tercih etmek,
- 2) İki uygun çözüm arasından, daha iyi amaç fonksiyonu değerine sahip olanı seçmek,
- 3) İki uygun olmayan çözüm arasından, sınırlayıcı ihlali daha küçük olanı seçmek suretiyle yapılmaktadır.

Uygun olmayan çözümlerin sadece kendilerinin sınır ihlalleri dikkate alınarak, bunların uygunluk değerlerinin hesabı için; f_{\max} , nesil içindeki en kötü bireyin amaç fonksiyonu değerini, $f(x)$ ise hesaplanan bireyin amaç fonksiyonu değerini, m eşitsizlik tipi toplam sınırlayıcı sayısını ve $g(x)$ sınırlayıcıları göstermek üzere (Öztürk, 2013):

$$f'(x) = \begin{cases} \text{Sınırlayıcı İhlali yok ise} & f(x) \quad (g_j(x) \leq 0 \quad j=1,2,\dots,m) \\ \text{Sınırlayıcı İhlali var ise} & f_{\max} + \sum_{j=1}^m g_j(x) \end{cases} \quad (11)$$

bağıntısı önerilmektedir. Bu durumda uygun olmayan çözümlerin uygunluk değeri $f'(x)$, sadece sınır ihlallerine bağlı olmayıp bu değerler aynı zamanda mevcut nesildeki çözümlere de bağlanmış olmakta, uygun çözümlerin uygunluk değeri ise amaç fonksiyonu değerine eşitlenmektedir. Ancak, Öztürk (2013) algoritmasında uygunluk değerini (11) bağıntısını kullanarak değil, nesildeki en kötü bireyin amaç fonksiyonu değeri kullanılmadan:

$$f'_i(x) = \begin{cases} f(x) \geq 0 & \Rightarrow 1/(1 + f(x)) \\ f(x) < 0 & \Rightarrow 1 + |f(x)| \end{cases} \quad (12)$$

bağıntısı ile hesaplanmaktadır. Bireylerin seçilme olasılıkları ise uygun bireyler için uygunluk değeriyle, uygun olmayan bireyler için ise sınırlayıcı ihlalleriyle ifade edilmektedir.

2.2.3. Gözcü Arıların Seçimde Kullanacakları Olasılık Değerlerinin Saptanması

Görevli arılar araştırmalarını tamamladıktan sonra kovana dönerek buldukları kaynaklarla ilgili bilgiyi gözcü arılara aktarmaktadırlar. Gözcü arılar da bu bilgiden faydalanarak kaynakta bulunan nektar miktarına göre bir kaynak seçmektedirler. Olasılıksal bu seçme işlemi, bağıl nektar miktarlarına karşılık gelen uygunluk değerlerinden yararlanılarak gerçekleştirilmektedir. Bu işlem, teknik literatürde bulunan rulet tekerleği, sıralamaya dayalı, stokastik örnekleme, turnuva yöntemi ya da diğer seçimlerden herhangi biri kullanılarak yapılmaktadır. Sınırlamasız optimizasyon problemlerinde kullanılmış olan basit Yapay Arı Koloni Algoritmasında ise bu işlem rulet tekerleği seçim yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu tür problemlerde söz konusu olasılık değeri,

$$p_i = \frac{f'_i(x)}{\sum_{i=1}^{SN} f'_i(x)} \quad (13)$$

ifadesiyle belirlenmektedir. Bu ifadeden de görüldüğü gibi, kaynağın nektar miktarının artmasıyla seçilme olasılığı da artmaktadır. Sınırlamalı optimizasyon problemlerinde ise bu olasılık değeri (p_i) uygun bölgede olan ve uygun bölgede olmayan çözümler için, ihlal_j, j. nektar kaynağının sınırlayıcı ihlal değerini göstermek üzere,

$$p_i = \begin{cases} \text{uygun bölgede ise} & 0,5 + \left(f'_i(x) / \sum_{i=1}^{SN} f'_i(x) \right) \cdot 0,5 \\ \text{uygun bölgede değil ise} & 1 - \left(\text{ihlal}_j / \sum_{j=1}^{SN} \text{ihlal}_j \right) \cdot 0,5 \end{cases} \quad (14)$$

ifadelerinin biriyle hesaplanmaktadır. Sınırlamalı problemler için yapılan bu değişiklikte, uygun bölgede olmayan çözümlerin de nesilde bulunması açısından, bu tür çözümlere de olasılık değeri verilmesi sağlanmıştır. Olasılık değerlerinin hesaplanmasının ardından her bir kaynak için [0,1] aralığında rasgele bir sayı üretilmekte ve olasılık değerinin bu sayıdan büyük olması durumunda (9) bağıntısı kullanılarak tekrar yeni bir çözüm üretilmektedir. Bu aşamada da görevli arı aşamasında olduğu gibi bu çözüm değerlendirilmek suretiyle

eski çözümlerle karşılaştırılmakta ve hangi çözümle devam edileceğine seçim işlemi uygulanarak karar verilmektedir. Eğer çözüm, yeni çözümle değiştirilmişse, geliştirememeye sayacı sıfırlanmakta, aksi durumda bu sayaç bir arttırılmakta ve bu süreç tüm gözcü arılar nektar kaynaklarına ulaşana kadar devam etmektedir (Öztürk, 2013).

2.2.4. Kaynağı Bırakma Ölçütü: Limit ve Kaşif Arı Üretim Aşaması

Kaşif arı aşaması, yeni çözümlerin nesle katılarak farklılık sağlanması amacıyla kullanılmaktadır. Bir çevrim sonunda görevli ve gözcü arılar arama süreçlerini tamamladıktan sonra, gittikleri nektar kaynaklarının tükenip tükenmediği hakkında bilgi veren, geliştirememeye sayacı denetlenmektedir. Denetlenen kaynak için geliştirememeye sayacı önceden belirlenmiş sınır bir değerin (LIMIT) üzerindeyse, bu kaynağın nektarının tükendiği kabul edilmekte ve bunun görevli arısı kaşif arıya dönüşmektedir. Kaşif arı, daha önce belirtilmiş olan (7) bağıntısına göre rasgele bir kaynak aramakta ve böylece bulunan kaynakla tükenmiş kaynak yer değiştirmektedir. Sınırlamasız optimizasyon problemlerinde yukarıda ifade edilen LIMIT parametresinin aşılmaması için her adımda, sınırlamalı problemlerde ise belli periyotlarla denetlenmekte ve bu periyot SPP adı verilen bir optimizasyon parametresine göre ayarlanmaktadır.

Burada Yapay Arı Koloni Algoritmasının;

- 1) Oldukça basit ve esnek olan,
- 2) Nektar arayan arıların davranışlarını oldukça gerçeğe yakın modelleyen,
- 3) Sürü zekasına dayanan,
- 4) Sürekli ve ayırık değişkenlere sahip problemlere uygulanabilen,
- 5) Oldukça az denetim parametresine sahip olan,

6) Kaşif arılar tarafından gerçekleştirilen küresel, görevli ve gözcü arılar tarafından gerçekleştirilen bölgesel araştırma kabiliyetine sahip bir algoritma olduğu belirtilmelidir (Öztürk, 2013).

2.3. Algoritma Durdurma Ölçütleri

Algoritma durdurma ölçütleri konusunda teknik literatürde birçok ölçüt bulunmaktadır. Bu ölçütler; kaynak (reference), tükenme (exhaustion), gelişim (improvement), dağılım (dispersion) tabanlı ölçütler ve birleşik ölçütler olarak sınıflandırılmaktadır. Aşağıda kısaca bu ölçütler üzerinde durulmaktadır (Öztürk, 2013).

- **Kaynak Ölçütleri:** Bu ölçüte göre, algoritmada kullanılan nesildeki bireylerin önceden belirlenmiş bir oranı optimum sonuca ulaştığında yakınsamanın sağlandığı kabul edilerek iterasyon durdurulmaktadır. Mühendislik problemlerinde genellikle optimum sonuç önceden bilinmemektedir. Durum böyle olunca, bu ölçüt optimum sonucu önceden bilinen problemlere uygulanmakta ve buradan elde edilen bilgiler diğer problemlere uygulanmaktadır.
- **Tükenme Tabanlı Ölçütler:** Evrimsel algoritmalarda sıkça kullanılan bu ölçütte göre, bilgisayarla hesap olanaklarının sınırlı olması nedeniyle, belirli bir iterasyon sayısı, amaç fonksiyonu değerlendirme sayısı ya da bilgisayar çalışma süresi dikkate alınarak optimizasyon işlemi durdurulmaktadır.
- **Gelişim Tabanlı Ölçütler:** Bu ölçüte göre, algoritmanın işleyişi esnasında iterasyonlarda elde edilen değerler arasındaki farkın çok küçük olması durumunda elde edilen son değer optimum olduğu kabul edilerek optimizasyon işlemi durdurulmaktadır. Bu ölçütlerin birine göre algoritma, belirli sayıdaki nesil boyunca en iyi amaç fonksiyonu değerindeki gelişim bir eşik değer altına indiğinde durdurulmaktadır. Bir diğerinde ise en iyi amaç fonksiyonu yerine ortalama amaç fonksiyonu değeri kullanılmaktadır.
- **Dağılım Tabanlı Ölçütler:** Bu ölçütlere göre algoritmalarda genellikle bireylerin tümü optimum değere yakınsamaya çalışmaktadır. Nesildeki bireylerin amaç fonksiyonu değerleri arasındaki fark pratik olarak kalmayınca yakınsamanın gerçekleştiği düşünülmekte, optimum sonuca nesildeki bireylerin en iyi bireye olan mesafesi denetlenmek suretiyle ulaşılmaktadır.
- **Birleşik Ölçütler:** Bu ölçütler yukarıda özetlenen ölçütlerin birkaçının birlikte kullanılmasıyla oluşturulan ölçütlerdir.

2.4. Kısmen Öngerilmeli Beton Kirişler İçin Genel Bağıntuların Belirlenmesi

2.4.1. En Üst ve En Alt Beton Liflerinde Oluşan Gerilmelerin Hesaplanması

Bu çalışmada, optimizasyonu gerçekleştirilen kısmen öngerilmeli beton kirişlerin çeşitli yük durumlarında, en üst ve en alt beton liflerinde oluşan gerilmelerin hesaplanmasında, Nawy (2003) tarafından dikdörtgen kesitli bir kiriş için belirlenen ve Şekil 2.5 yardımıyla ifade edilen bağıntılar kullanılmıştır. Şekil 2.5'te, c_{gc} ve c_{gs} , sırasıyla, beton enkesitinin ağırlık merkezini ve öngerilme donatısının ağırlık merkezini göstermektedir. Buna göre, basit mesnetli, merkezi öngerilme kuvvetine maruz bir kirişte (Şekil 2.5a), basınç gerilmesi kesite düzgün bir şekilde yayılmaktadır. Bu durumda kiriş enkesitindeki basınç gerilmesi, P ve A , sırasıyla, öngerilme kuvvetini ve enkesit alanını göstermek üzere,

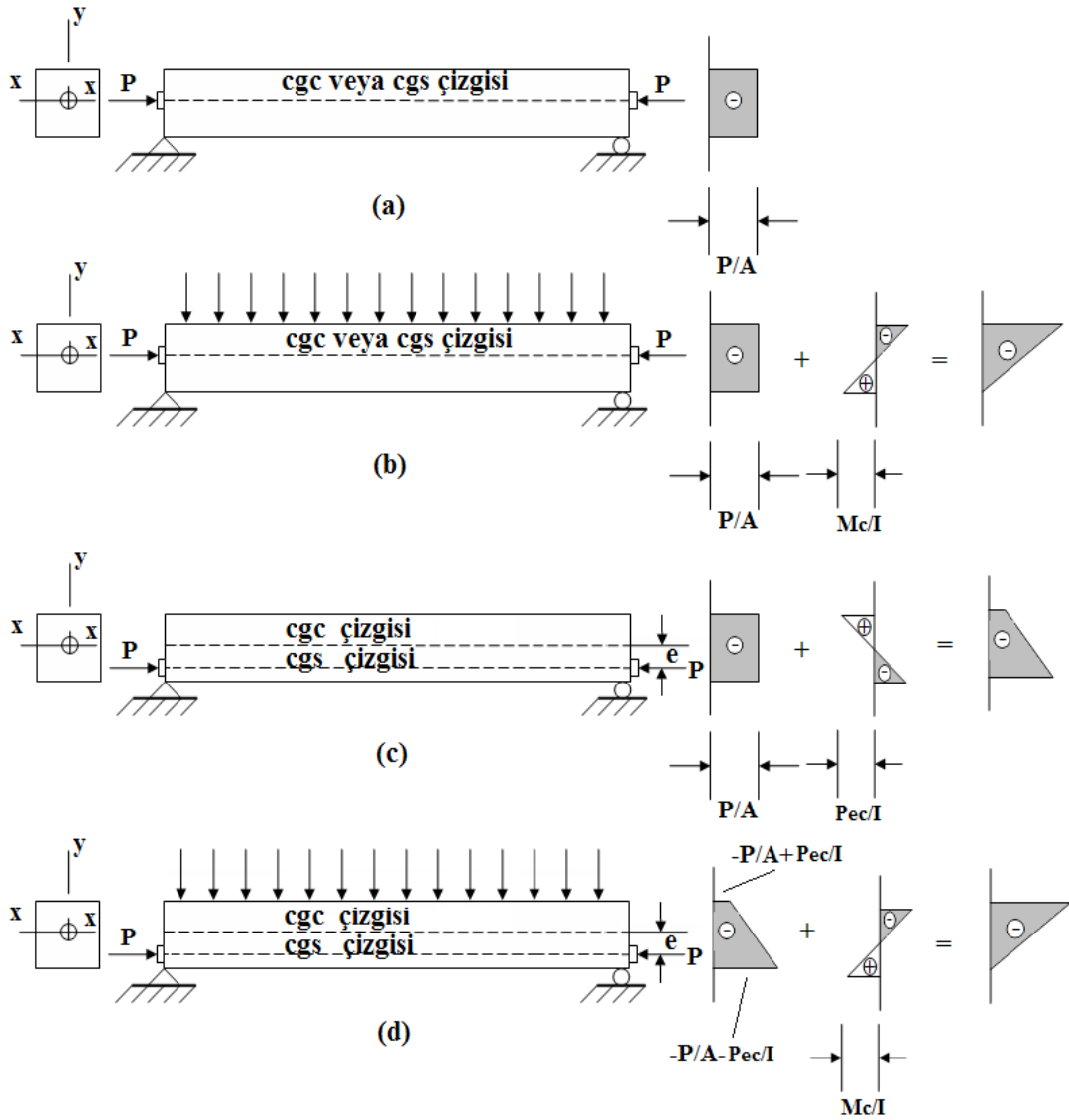
$$\sigma = -\frac{P}{A} \quad (15)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Bağıntıdaki (-) işareti, basıncı simgelemektedir. Aynı kirişin üzerinde, eşit yayılı yük bulunması durumunda (Şekil 2.5b), açıklık ortasında maksimum moment M oluşmaktadır. Bu durumda, I kesitin eylemsizlik momenti ve c kesit ağırlık merkezinin derinliği (dikdörtgen kesit için $c=h/2$) olmak üzere, en üst (σ^t) ve en alt (σ^b) beton lifinde oluşan gerilmeler:

$$\sigma^t = -\frac{P}{A} - \frac{Mc}{I} \quad (16)$$

$$\sigma^b = -\frac{P}{A} + \frac{Mc}{I} \quad (17)$$

bağıntularıyla belirlenmektedir.



Şekil 2.5. En üst ve en alt beton liflerinde oluşan gerilmelerin hesaplanması (Nawy, 2003).

Yukarıdaki (17) bağıntısındaki $-P/A$ (basınç gerilmesi) ifadesinin, kesitte oluşan eğilmede çekme gerilmesini azalttığı, hatta toplam çekmeyi ortadan kaldırdığı ya da kabul edilir sınırlar içerisinde tutabildiği görülmektedir. Ayrıca, (16) bağıntısıyla hesaplanan en üst lifteki basınç gerilmesi bazı durumlarda betonun taşıma kapasitesini aşabilmektedir. Bu durumda, merkezi öngerilme kuvvetinin azaltılması gerekmektedir. Söz konusu durumdan kaçınmak için öngerilme donatısı tarafsız eksenin altında dış merkez olarak konumlandırılmaktadır. Öngerilme donatısı, ağırlık merkezinden “e” kadar uzağa yerleştirildiğinde (Şekil 2.5c ve 2.5d), $P \cdot e$ kadar bir moment oluşmakta, en üst ve en alt liflerdeki gerilmeler,

$$\sigma^t = -\frac{P}{A} - \frac{Mc}{I} + \frac{Pec}{I} \quad (18)$$

$$\sigma^b = -\frac{P}{A} + \frac{Mc}{I} - \frac{Pec}{I} \quad (19)$$

şeklini almaktadır. Diğer taraftan, (16), (17), (18) ve (19) nolu bağıntılarda I/A ifadesinin yerine, kesitin eylemsizlik yarıçapının karesi (r^2) yazılırsa,

(a) Yalnızca öngerilme kuvvetinin olması ve “e” kadar bir dışmerkezlik olması durumunda, c_t ve c_b , sırasıyla, kesitin ağırlık merkezinden en üst ve en alt life olan uzaklıklar olmak üzere, en üst ve en alt beton lifindeki gerilme ifadeleri:

$$\sigma^t = -\frac{P_i}{A} \left(1 - \frac{ec_t}{r^2} \right) \quad (20)$$

$$\sigma^b = -\frac{P_i}{A} \left(1 + \frac{ec_b}{r^2} \right) \quad (21)$$

şeklini almaktadır.

(b) Öngerilme kuvveti ile birlikte kiriş özağırlığının da dikkate alınması durumunda ise, M_D kiriş özağırlığından oluşan momenti, S^t ve S_b , sırasıyla, en üst ve en alt beton lifi için hesaplanan mukavemet momentlerini, P_i , kayıplardan önceki öngerilme kuvvetini göstermek üzere, en üst ve en alt beton lifindeki gerilme ifadeleri:

$$\sigma^t = -\frac{P_i}{A} \left(1 - \frac{ec_t}{r^2} \right) - \frac{M_D}{S^t} \quad (22)$$

$$\sigma^b = -\frac{P_i}{A} \left(1 + \frac{ec_b}{r^2} \right) + \frac{M_D}{S_b} \quad (23)$$

şeklini almaktadır.

Öngerilmeli kirişte, tabliye inşasından sonra ilave sabit ve hareketli yükler nedeniyle ek bir moment oluşmakta ve toplam moment, M_{SD} ve M_L , sırasıyla, ilave sabit ek yüklerden ve deprem ile çarpma etkilerini de içeren hareketli yüklerden oluşan momentleri göstermek üzere,

$$M_T = M_D + M_{SD} + M_L \quad (24)$$

ifadesiyle belirlenmektedir. Bu durumda, P_e , kayıplar oluşuktan sonra etkili öngerilme kuvvetini göstermek üzere:

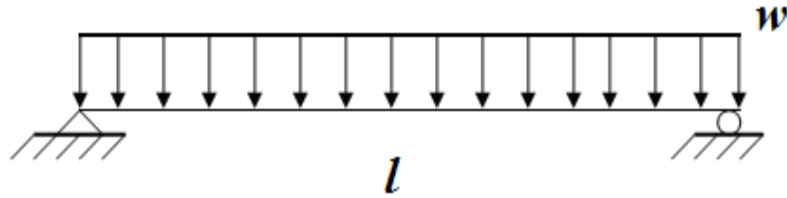
$$\sigma^t = -\frac{P_e}{A} \left(1 - \frac{ec_t}{r^2} \right) - \frac{M_T}{S^t} \quad (25)$$

$$\sigma^b = -\frac{P_e}{A} \left(1 + \frac{ec_b}{r^2} \right) + \frac{M_T}{S_b} \quad (26)$$

şeklindedir.

2.4.2. Kısmen Öngerilmeli Beton Kirişlerde Sehîm Hesaplamaları

Aşağıdaki Şekil 2.6'da gösterilen basit mesnetli kirişte, eşit yayılı yükten oluşan sehîm; w , eşit yayılı yükü, l , kiriş açıklığını, E_c , betonun elastisite modülünü ve I_g , kesitin eylemsizlik momentini göstermek üzere,



Şekil 2.6. Eşit yayılı yük ile yüklenmiş basit mesnetli kiriş (Naaman, 2012).

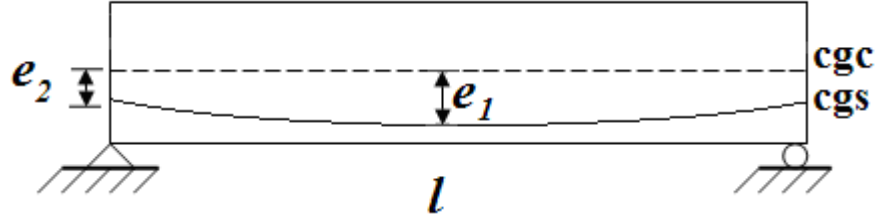
$$\Delta = \frac{5wl^4}{384E_c I_g} \quad (27)$$

ifadesiyle belirlenmektedir (Naaman, 2012). Buna göre, w_o , kirişin öz ağırlığından oluşan sabit yükü göstermek üzere, basit mesnetli kirişin öz ağırlığı altında oluşan sehimi:

$$\Delta_{w_o} = \frac{5w_o l^4}{384E_c I_g} \quad (28)$$

bağıntısıyla hesaplanmaktadır (Saouma ve Murad, 1984).

Bu çalışmada, optimizasyonu yapılan kısmen öngerilmeli beton kirişlerin öngerilmeli donatı profilinin parabolik yörüngeli olduğu kabul edilmiştir (bkz. Şekil 2.7).



Şekil 2.7. Basit mesnetli, parabolik yörüngeli öngerilme donatılı kiriş (Naaman, 2012).

Buna göre, Şekil 2.7'de basit mesnetli, parabolik yörüngeli öngerilme donatılı kirişte oluşan ters sehimi, P , öngerilme kuvvetini, l , kiriş açıklığını, E_c , betonun elastisite modülünü, I_g , kesitin eylemsizlik momentini, e_1 ve e_2 , sırasıyla, kiriş orta kesiti ve mesnetlerde öngerilme donatısının dışmerkezliğini göstermek üzere,

$$\Delta_{pi} = -\frac{Pl^2}{8E_c I_g} \left[e_2 + \frac{5}{6}(e_1 - e_2) \right] \quad (29)$$

şeklinde belirlenmektedir (Naaman, 2012).

Diğer taraftan, uzun süreli sabit yük nedeniyle oluşan geciken sehimi ise, Δ_{pe} , etkin öngerilme kuvveti nedeniyle oluşturulan ters sehimi göstermek üzere,

$$\Delta_{pe} = \Delta_{pi} \cdot \left(\frac{P_e}{P_i} \right) \quad (30)$$

ifadesiyle, Δ_{pi} , (29)'da gösterilen başlangıç ters sehimini, Δ_{wo} , (28)'de gösterilen basit mesnetli kirişin öz ağırlığı altında oluşan sehimini ve C_u , sünme katsayısını göstermek üzere,

$$\Delta_{DL} = -\Delta_{pe} - (\Delta_{pi} + \Delta_{pe}) \cdot \frac{C_u}{2} + \Delta_{wo} \cdot (1 + C_u) \quad (31)$$

bağıntısıyla belirlenmektedir (Saouma ve Murad, 1984).

Yukarıdaki (31) nolu bağıntıda ifade edilen sünme katsayısı, ortamın kuru ya da nemli olmasına bağlı olarak, eşdeğer kalınlık ve yükleme yaşına göre, Tablo 2.2'den alınabilmektedir (Ersoy vd., 2004).

Tablo 2.2. Sünme katsayısı, C_u (Ersoy vd., 2004).

Yükleme Yaşı	Kuru (Göreceli Nem %50)			Nemli (Göreceli Nem %80)		
	Eşdeğer Kalınlık, l_e (mm)					
	50	150	600	50	150	600
1 Gün	5,4	4,4	3,6	3,5	3,0	2,6
7 Gün	3,9	3,2	2,5	2,5	2,1	1,9
28 Gün	3,2	2,5	2,0	1,9	1,7	1,5
90 Gün	2,6	2,1	1,6	1,6	1,4	1,2
365 Gün	2,0	1,6	1,2	1,2	1,0	1,0

Tablo 2.2'de belirtilmiş olan eşdeğer kalınlık, A_c , beton enkesit alanını ve u ise dış ortam ile etkileşimde olan alanın çevresini göstermek üzere,

$$l_e = \frac{2A_c}{u} \quad (32)$$

bağıntısıyla bulunmaktadır (Ersoy vd., 2004).

Kısmen öngerilmeli beton kirişler için zamana bağlı hareketli yük nedeniyle oluşan sehim, $(\Delta_i)_{LL}$, hareketli yük nedeniyle oluşan ani sehim, (Δ_{add}) ise, özağırlık ve diğer ek sabit yüklerden oluşan geciken sehimi göstermek üzere,

$$\Delta_{LL} = (\Delta_i)_{LL} + \Delta_{add} \quad (33)$$

ifadesiyle, hareketli yükten dolayı oluşan ani sehim $(\Delta_i)_{LL}$ ise, I_e , çatlama kesitin etkili eylemsizlik momentini, w , kiriş üstündeki yayılı hareketli yük olmak üzere, $(\Delta_i)_{LLcr}$,

$$(\Delta_i)_{LLcr} = -\frac{Pl^2}{8E_c I_e} \left[e_2 + \frac{5}{6}(e_1 - e_2) \right] + \frac{5wl^4}{384E_c I_e} \quad (34)$$

bağıntısıyla ifade edilen çatlama kesitin ortasında hareketli yük nedeniyle oluşan ani sehimi ve $(\Delta_i)_{LLuncr}$,

$$(\Delta_i)_{LLuncr} = -\frac{Pl^2}{8E_c I_g} \left[e_2 + \frac{5}{6}(e_1 - e_2) \right] + \frac{5wl^4}{384E_c I_g} \quad (35)$$

bağıntısıyla ifade edilen çatlak oluşmamış kirişin ortasında hareketli yük nedeniyle oluşan ani sehimi göstermek üzere,

$$(\Delta_i)_{LL} = (\Delta_i)_{LLcr} - (\Delta_i)_{LLuncr} \quad (36)$$

ifadesiyle hesaplanmaktadır (Naaman, 2012). Ayrıca, Naaman (2012), özağırlık ve diğer ek sabit yüklerden oluşan geciken sehimin, $(\Delta_i)_G$ ve $(\Delta_i)_{SD}$, (27) bağıntısından ilgili yayılı yüke göre hesaplanabilen, sırasıyla, sabit ve sabit ek yüklerden oluşan ani sehimi ve Δ_{pi} , (29) bağıntısı ile hesaplanabilen ters sehimi göstermek üzere, Δ_{add} 'nin;

$$\Delta_{add} = 1.8(\Delta_{pi}) + 2.2(\Delta_i)_G + 2(\Delta_i)_{SD} \quad (37)$$

ifadesiyle belirlenmesini önermiştir (Naaman, 2012).

Çatlamış kesit için etkili eylemsizlik momenti, M_{cr} , kesitte eğilme çatlağı oluşturan momenti, M_a , dış yüklerden oluşan momenti, I_g , kesitin eylemsizlik momentini ve I_{cr} , çatlamış kesitin eylemsizlik momentini göstermek üzere,

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \cdot I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \right] \cdot I_{cr} \leq I_g \quad (38)$$

ifadesiyle belirlenmektedir (Nawy, 2003). Burada, TS 3233'te (1979), M_a olarak, "elemanın sehim hesabına temel olan yükler altındaki maksimum momentin" dikkate alındığını belirtmek uygun olmaktadır.

Kesitte eğilme çatlağı oluşturan moment, f_r , betonun kırılma dayanımını, S_b , en alt life göre hesaplanan mukavemet momentini, P_e , kayıplar oluştuğundan sonra etkili öngerilme kuvvetini, r , kesitin eylemsizlik yarıçapını, c_b , kesitin ağırlık merkezinden en alt life olan uzaklığı ve e , öngerilme donatısının dışmerkezliğini göstermek üzere, M_{cr} ,

$$M_{cr} = f_r \cdot S_b + P_e \cdot \left(\frac{r^2}{c_b} + e \right) \quad (39)$$

şeklinde hesaplanmaktadır (Saouma ve Murad, 1984).

Kısmen öngerilmeli beton kirişler için çatlamış kesitin eylemsizlik momenti, I_{cr} , n_p ve n_s ifadeleri, E_{ps} , E_s ve E_c sırasıyla, öngerilme donatısının elastisite modülü, betonarme donatısının elastisite modülü ve betonun elastisite modülü olmak üzere,

$$n_p = \frac{E_{ps}}{E_c} \quad (40)$$

$$n_s = \frac{E_s}{E_c} \quad (41)$$

bağıntılarıyla ifade edilen öngerilme ve betonarme donatılarının modüler oranlarını, ρ_p ve ρ_s ise, A_{ps} , öngerilmeli donatıların toplam alanı, d_p , öngerilmeli donatısı ağırlık merkezinin

etkili derinliği, A_s , betonarme donatıların toplam alanı, d_s , betonarme donatıların kesit merkezine olan etkili derinliği ve b_t , kirişin basınç yüzünün kesit genişliği olmak üzere,

$$\rho_p = \frac{A_{ps}}{b_t \cdot d_p} \quad (42)$$

$$\rho_s = \frac{A_s}{b_t \cdot d_s} \quad (43)$$

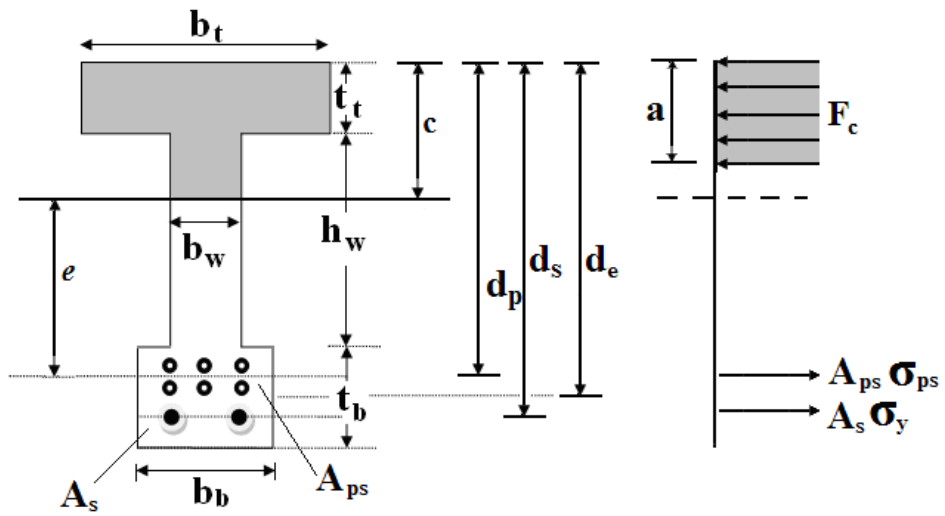
bağıntılarıyla ifade edilen öngerilme ve betonarme donatısı oranlarını göstermek üzere,

$$I_{cr} = (n_p \cdot A_{ps} \cdot d_p^2 + n_s \cdot A_s \cdot d_s^2) \cdot (1 - 1,6 \cdot \sqrt{n_p \cdot \rho_p + n_s \cdot \rho_s}) \quad (44)$$

ifadesiyle hesaplanmaktadır (Nawy, 2003),

2.4.3. Kısmen Öngerilmeli Beton Kirişlerin Taşıma Gücünün Belirlenmesi

Taşıma gücü durumunda, kısmen öngerilmeli beton kirişte oluşan kuvvetler Şekil 2.8'de gösterilmektedir (Naaman, 1992).



Şekil 2.8. Taşıma gücü durumunda kısmen öngerilmeli beton kirişin enkesiti ve enkesitte oluşan kuvvetler (Naaman, 1992).

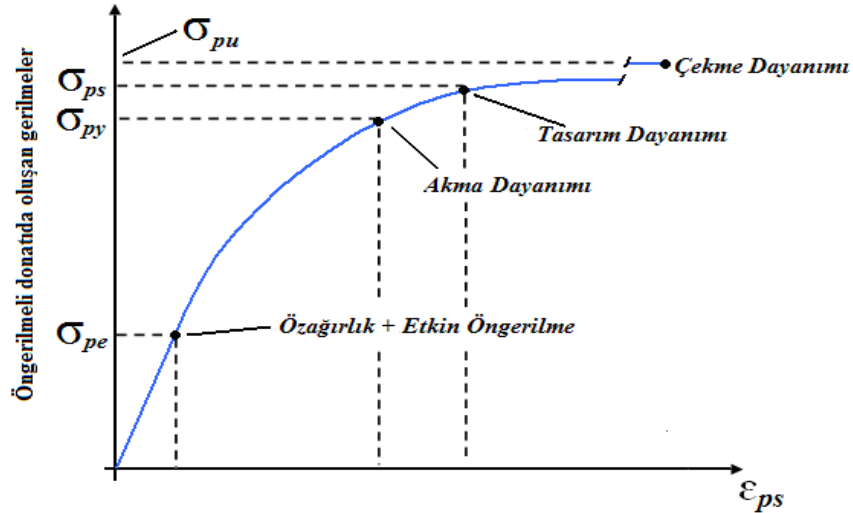
Şekil 2.8’de, σ_{ps} , taşıma gücü durumunda öngerilme donatısında oluşan ortalama gerilmeyi, f_y , çekme bölgesinde bulunan betonarme donatısının akma dayanımını, A_{ps} , öngerilmeli donatıların toplam alanını, d_p , öngerilmeli donatısı ağırlık merkezinin etkili derinliğini, A_s , betonarme donatıların toplam alanını, d_s , betonarme donatıların kesit merkezine olan etkili derinliğini, d_e , öngerilmeli ve betonarme donatılarının birlikte bulunduğu eğilme elemanlarında, donatılarda oluşan çekme kuvveti merkezinin basınç altındaki en uzak beton lifine olan uzaklığını, a , eşdeğer dikdörtgen basınç bloğunun derinliğini ve F_c , basınç altındaki betonda oluşan kuvveti ifade etmektedir.

Donatılarda oluşan çekme kuvveti merkezinin basınç etkisindeki en uzak beton lifine olan uzaklığı;

$$d_e = \frac{A_{ps} \cdot \sigma_{ps} \cdot d_p + A_s \cdot \sigma_y \cdot d_s}{A_{ps} \cdot \sigma_{ps} + A_s \cdot \sigma_y} \quad (45)$$

ifadesi ile belirlenmektedir (Naaman, 1992).

Öngerilmeli kirişlerde oluşan şekildeğiştirmeye göre öngerilmeli donatılarda oluşan gerilmelerin değişimi, Şekil 2.9’da gösterilmektedir (Naaman, 2012).



Şekil 2.9. Öngerilmeli kirişlerde şekildeğiştirmeye göre öngerilmeli donatılarda oluşan gerilmelerin değişimi (Naaman, 2012).

Şekil 2.9’da, σ_{pe} gerilmesi, tüm kayıpların gerçekleştiği, kirişin öz ağırlığı ve etkin öngerilme kuvvetinin etkisi altında oluşan etkin gerilme olarak tanımlanmaktadır. Kiriş üzerine etkiyen yükün artmasıyla birlikte, öngerilmeli donatı akma dayanımına

ulaşmaktadır. Bu nokta, σ_{py} gerilmesiyle gösterilmektedir. σ_{ps} gerilmesinde, kiriş maksimum taşıma kapasitesine ulaşmaktadır. Ayrıca, bu gerilmeye, maksimum yük noktası veya eğilme momenti anma taşıma gücü (M_n) karşılık gelen gerilme de denilmektedir. Genel olarak kiriş, bu gerilme değerinden sonra, artan şekildeğiştirmelerle, taşıma gücüne karşılık gerilme değerinde küçük artışlar olmaktadır. Taşıma gücü durumunda, öngerilme donatısında oluşan gerilmenin (σ_{ps}), öngerilme donatısının çekme gerilmesine (σ_{pu}) eşit olmadığı, bu değerden daha küçük değer aldığı görülmektedir. Bununla birlikte, genellikle, dengealtı donatılı kirişler için σ_{ps} gerilmesinin, σ_{py} akma gerilmesinden daha büyük değer aldığı bilinmektedir (Naaman, 2012).

Eğilme etkisindeki dikdörtgen ya da tablalı kesitlerde, öngerilmeli donatıdaki taşıma gücüne karşılık gelen gerilme, k , öngerilmeli donatının akma ve çekme dayanımına bağlı bir katsayı, c , tarafsız eksen derinliği ve d_p , öngerilmeli donatısı ağırlık merkezinin etkili derinliği olmak üzere,

$$\sigma_{ps} = \sigma_{pu} \cdot \left(1 - \frac{k \cdot c}{d_p}\right) \quad (46)$$

bağıntısı ile hesaplanabilmektedir (AASHTO LRFD, 2007). Bu bağıntının, öngerilmeli ve betonarme donatısı bulunan kesitlerde de geçerli olduğu bilinmektedir.

Yukarıdaki (46) bağıntısındaki k katsayısı,

$$\sigma_{pe} \geq 0.5\sigma_{pu} \text{ koşulu ile } k = 2 \cdot \left(1,04 - \frac{\sigma_{py}}{\sigma_{pu}}\right) \quad (47)$$

bağıntısı ile ifade edilmektedir (AASHTO LRFD, 2007). Dikdörtgen ya da dikdörtgen kesit davranışı gösteren tablalı kesitler için tarafsız eksen derinliği, f_y , çekme bölgesinde bulunan betonarme donatısı akma dayanımını, A_s' , basınç bölgesinde bulunan betonarme donatısı toplam alanını, f_y' , basınç bölgesinde bulunan betonarme donatısının akma dayanımını, f_c' , betonun basınç dayanımını, β_1 , taşıma gücü durumunda eşdeğer dikdörtgen gerilme bloğu katsayısını, b , kirişin basınç yüzünün kesit genişliğini ve b_w , tablalı elemanın gövde genişliğini göstermek üzere,

$$c = \frac{A_{ps} \cdot \sigma_{pu} + A_s \cdot f_y - A'_s \cdot |f'_y|}{0,85 \cdot f'_c \cdot \beta_1 \cdot b + k \cdot A_{ps} \cdot \sigma_{pu} / d_p} \quad (48)$$

bağıntısı ile, T-kesit davranışı gösteren tablalı kesitler için, h_f tabla kalınlığını göstermek üzere,

$$c = \frac{A_{ps} \cdot \sigma_{pu} + A_s \cdot f_y - A'_s \cdot |f'_y| - 0,85 \cdot f'_c \cdot \beta_1 \cdot (b - b_w) \cdot h_f}{0,85 \cdot f'_c \cdot \beta_1 \cdot b_w + k \cdot A_{ps} \cdot \sigma_{pu} / d_p} \quad (49)$$

bağıntısı ile ifade edilmektedir (Naaman, 1992).

Denge altı donatılı dikdörtgen veya dikdörtgen kesit davranışı gösteren tablalı kesitli kısmen öngerilmeli beton kesitlerin moment taşıma gücü (ϕM_n), ϕ , kapasite azaltma katsayısını, a , eşdeğer dikdörtgen gerilme bloğunun derinliğini, d'_s , basınç bölgesinde bulunan betonarme donatıları ağırlık merkezinin etkili derinliğini göstermek üzere,

$$\phi M_n = \phi \left[A_{ps} \cdot \sigma_{ps} \cdot \left(d_p - \frac{a}{2} \right) + A_s \cdot f_y \cdot \left(d_s - \frac{a}{2} \right) - A'_s \cdot |f'_y| \cdot \left(d'_s - \frac{a}{2} \right) \right] \quad (50)$$

bağıntısıyla, tablalı kesitler için ise taşıma gücü momenti,

$$\phi M_n = \phi \left[A_{ps} \cdot \sigma_{ps} \cdot \left(d_p - \frac{a}{2} \right) + A_s \cdot f_y \cdot \left(d_s - \frac{a}{2} \right) - A'_s \cdot |f'_y| \cdot \left(d'_s - \frac{a}{2} \right) + 0,85 \cdot \beta_1 \cdot f'_c \cdot (b - b_w) \cdot h_f \cdot \left(\frac{a - h_f}{2} \right) \right] \quad (51)$$

bağıntısı ile hesaplanmaktadır (Naaman, 1992).

Naaman (2012), ϕ , kapasite azaltma katsayısının, kısmen öngerilmeli beton eğilmeye çalışan kirişler için 0.9 olarak alınmasını önermektedir. Bu nedenle, bu çalışmada, kapasite azaltma katsayısı olarak bu değer kullanılmıştır.

Eşdeğer dikdörtgen gerilme bloğu katsayısının (β_1) belirlenmesi için,

$$\begin{aligned}
\beta_1 &= 0,85 & \Rightarrow & f'_c \leq 28\text{MPa} \\
\beta_1 &= 0,65 & \Rightarrow & f'_c \geq 56\text{MPa} \\
\beta_1 &= 0,85 - 5 \times 10^{-2} (f'_c - 28) / 7 & \Rightarrow & 28 \leq f'_c \leq 56\text{MPa}
\end{aligned}
\tag{52}$$

ifadeleri kullanılabilir (Naaman, 2012). Eşdeğer dikdörtgen gerilme bloğunun derinliğinin, a , ise söz konusu β_1 katsayısı kullanılarak,

$$a = \beta_1 \cdot c \tag{53}$$

ifadesiyle belirlendiği bilinmektedir (Naaman, 2012).

2.4.4. Kısmen Öngerilmeli Beton Kirişlerde Kesme Dayanımının Belirlenmesi

Teknik literatürdeki birçok araştırma, betonarme ve tam öngerilmeli beton kirişlerde, kesme kuvvetlerinden dolayı Kesmeli eğilme çatlakları ve Gövde kesme çatlakları adı verilen iki tür çatlakın oluştuğunu göstermektedir. Bu çatlak türlerinden hangisinin oluşacağı, oluşan kesme kuvvetinin ve eğilme momentinin büyüklüğüne bağlı olmaktadır. Kirişin kesme kuvvetleri yönünden güvenli bir şekilde tasarlanabilmesi bakımından, betonun kesme dayanımının (V_c), kesmeli eğilme ve gövde kesme mekanizma durumları için belirlenmesi gerekmektedir. Daha sonra belirlenen kesme dayanımı değerlerinden küçük olanı, kirişin kesme dayanımı olarak dikkate alınmaktadır (AASHTO, 2002; Nawy, 2003; Naaman, 2012).

2.4.4.1. Kesmeli Eğilmede Kesme Dayanımı

Kesmeli eğilmede kesme dayanımı, V_{ci} , λ , hafif betonu normal ağırlıklı betondan ayırmak için kullanılan bir katsayısı, V_d , kirişin öz ağırlığından oluşan kesme kuvvetini, V_i , maksimum moment M_{max} ile aynı anda ve dışarıdan uygulanan yüklerden dolayı oluşan kesme kuvveti değerini, M_{max} , dış yüklerden oluşan momenti, M_{cr} , kesitte eğilme çatlak oluşturduğu moment ve h , enkesit yüksekliğini göstermek üzere,

$$V_{ci} = 0.6 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d_p + V_d + \frac{V_i}{M_{\max}} \cdot M_{cr} \quad (d_p \geq 0.8h) \quad (54)$$

ifadesiyle belirlenmektedir (Nawy, 2003). Ayrıca, teknik literatürde (54) bağıntısıyla hesaplanan kesme dayanımının (V_{ci}),

$$1.7 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d_p \leq V_{ci} \leq 5.0 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d_p \quad (55)$$

değerleri arasında olması gerektiği belirtilmektedir (Nawy, 2003). Hafif betonu normal ağırlıklı betondan ayırmak için kullanılan bir katsayı, λ ,

$$\begin{aligned} &= 1.0 \quad \text{normal beton için} \\ \lambda &= 0.85 \quad \text{ince agrega ile üretilen beton için} \\ &= 0.75 \quad \text{tüm hafif betonlar için} \end{aligned} \quad (56)$$

ifadelerinden biriyle belirlenebilmektedir (Nawy, 2003).

2.4.4.2. Gövde Kesme Dayanımı

Gövde kesme dayanımı, V_{cw} , f_{cc} , enkesit ağırlık merkezinde beton basınç gerilmesini ve V_p , etkili öngerilme kuvvetinin düşey bileşenini göstermek üzere,

$$V_{cw} = \left(3.5 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} + 0.3 \cdot f_{cc} \right) \cdot b_w \cdot d_p + V_p \quad (d_p \geq 0.8h) \quad (57)$$

olarak ifade edilmektedir (AASHTO, 2002). Bu bağıntıda kullanılan enkesit ağırlık merkezinde beton basınç gerilmesi, f_{cc} , P_e , tüm kayıplar oluşuktan sonra etkili öngerilme kuvveti ve A_c , beton enkesit alanı olmak üzere,

$$f_{cc} = \frac{P_e}{A_c} \quad (58)$$

bağıntısıyla, etkili öngerilme kuvvetinin düşey bileşeni, V_p ise, θ , dikkate alınan kesitte öngerilme donatısının eğimi olmak üzere,

$$V_p = P_e \cdot \tan \theta \quad (59)$$

ifadesiyle hesaplanmaktadır (Nawy, 2003).

Daha önce belirtildiği gibi, kesmeli eğilme (V_{ci}) ve gövde kesme dayanımı (V_{cw}) değerlerinden küçük olanı, beton tarafından karşılanan kesme dayanımı (V_c) olarak dikkate alınmaktadır. Buna göre, beton tarafından karşılanan kesme dayanımı,

$$V_c = \text{Min}(V_{ci}, V_{cw}) \quad (60)$$

şeklinde ifade edilebilmektedir (AASHTO, 2002).

2.4.5. Minimum ve Maksimum Donatı Oranlarının Belirlenmesi

2.4.5.1. Minimum Donatı Oranının Belirlenmesi

Kısmen öngerilmeli beton eğilme elemanlarının herhangi bir enkesitindeki minimum donatı oranı denetimi,

$$\phi M_n \geq 1.2 \cdot M_{cr} \quad (61)$$

koşulunun sağlanmasıyla gerçekleştirilmektedir (Naaman, 1992). Burada, taşıma gücü momenti ϕM_n , enkesitin dikdörtgen ya da tablalı olmasına göre (50) ya da (51) bağıntısıyla, kesitte eğilme çatlakları oluşturan moment (M_{cr}) ise (39) bağıntısı ile hesaplanmaktadır.

2.4.5.2. Maksimum Donatı Oranının Belirlenmesi

Kısmen öngerilmeli beton eğilme elemanlarının, taşıma gücüne katkı sağlayan öngerilmeli ve betonarme donatılarının herhangi bir enkesitteki maksimum oranı,

$$\frac{c}{d_e} \leq 0.42 \quad (62)$$

ifadesi ile belirlenmektedir (Naaman, 1992). Burada, tarafsız eksenin basınç altındaki en uzak beton lifine olan uzaklığı (c), enkesitin dikdörtgen veya tablalı şekilde davranış göstermesine göre (48) veya (49) bağıntısı ile, donatılarda oluşan çekme kuvveti merkezinin basınç altındaki en uzak beton lifine olan uzaklığı (d_e) ise (45) bağıntısı ile belirlenmektedir.

2.5. Kısmen Öngerilmeli Beton Kirişlerde Oluşan Kayıpların Belirlenmesi

Kısmen öngerilmeli beton kirişlerde, büzülme, sünme, çeliğin gevşemesi gibi zamana bağlı oluşan kayıplar, kısmen öngerilme oranına (PPR) bağlı olarak çeşitli kaynaklarda verilmektedir (AASHTO LRFD, 2007; DLH, 2007; Naaman, 2012). Betondaki basınç gerilmesi 24 MPa değerine ulaştıktan sonra, zamana bağlı kayıplar,

- Elemanların normal ağırlıklı betondan imal edilmesi,
- Betona buhar ya da nem kürünün uygulanması,
- Normal ya da düşük gevşeme özelliğine sahip teller ya da öngerilmeli çubukların kullanılması,
- Şantiyede, standart iklim koşullarının mevcut olması,

koşullarının sağlanması kaydıyla Tablo 2.3 kullanılarak belirlenebilmektedir (DLH, 2007).

Ayrıca, teknik literatürde, alışılmamış boyutlar, öngerilme seviyeleri, inşaat aşamaları ya da beton özellikleri söz konusu olduğu durumlarda, AASHTO LRFD (2007)'de verilmekte olan hesap yöntemlerinden yararlanılabileceği belirtilmektedir. Düşük gevşemeli teller kullanılması durumunda Tablo 2.3'te verilmiş olan değerler; kutu kesitli kirişler için 28 MPa, dikdörtgen kesitli kirişler, dolu plaklar ve I-kesitli yapma kirişler için 41 MPa, Tek-T ve Çift-T kesitli boşluklu plaklar için 55 MPa kadar azaltılabilmektedir (DLH, 2007).

Bu çalışmada gerçekleştirilen uygulamalarda, kaynak çalışmalar ile uyum sağlanması bakımından, zamana bağlı oluşan kayıpların hesabı ayrıca yapılmamış ve kaynak çalışmalarda verilen kayıp oranı (R) dikkate alınarak, optimum tasarım gerçekleştirilmiştir.

Tablo 2.3. Zamana bağlı kayıplar (MPa) (DLH, 2007).

Kiriş Kesitinin Tipi	Seviye	$\sigma_{pu} = 1620, 1725$ veya 1860 MPa olan tel veya bükümler için	$\sigma_{pu} = 1000$ veya 1100 MPa olan çubuklar için
Dikdörtgen kesitli kirişler ve masif plaklar	Üst Sınır	$200 + 28.PPR$	$130 + 41.PPR$
	Ortalama	$180 + 28.PPR$	
Kutu kesitli ızgara kirişleri	Üst Sınır	$145 + 28.PPR$	100
	Ortalama	$130 + 28.PPR$	
I-kesitli yapma kirişleri	Ortalama	$230 \cdot \left[1 - 0,15 \cdot \frac{f'_c - 41}{41} \right] + 41 \cdot PPR$	$130 + 41.PPR$
Tek T, Çift T, çekirdeği boşluklu ve guseli plak	Üst Sınır	$270 \cdot \left[1 - 0,15 \cdot \frac{f'_c - 41}{41} \right] + 41 \cdot PPR$	$210 \cdot \left[1 - 0,15 \cdot \frac{f'_c - 41}{41} \right] + 41 \cdot PPR$
	Ortalama	$230 \cdot \left[1 - 0,15 \cdot \frac{f'_c - 41}{41} \right] + 41 \cdot PPR$	

Tablo 2.3'te kullanılan kısmen öngerilme oranı PPR,

$$PPR = \frac{\text{Öngerilme donatısı taşıma gücü momenti}}{\text{Toplam donatı taşıma gücü momenti}} \quad (63)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Daha açık bir ifadeyle kısmen öngerilme oranı, A_{ps} , öngerilmeli donatıların toplam alanını, σ_{ps} , taşıma gücü durumunda öngerilme donatısında oluşan ortalama gerilmeyi, d_p , öngerilmeli donatısı ağırlık merkezinin etkili derinliğini, a , eşdeğer dikdörtgen gerilme bloğunun derinliğini, A_s , betonarme donatıların toplam alanını, f_y , çekme bölgesinde bulunan betonarme donatısının akma dayanımını ve d_s , betonarme donatıların merkezine olan etkili derinliği göstermek üzere,

$$PPR = \frac{A_{ps} \cdot \sigma_{ps} \left(d_p - \frac{a}{2} \right)}{A_{ps} \cdot \sigma_{ps} \left(d_p - \frac{a}{2} \right) + A_s \cdot f_y \cdot \left(d_s - \frac{a}{2} \right)} \quad (64)$$

ifadesi ile belirlenmektedir (Naaman, 2012).

2.6. Kısmen Öngerilmeli Beton Kirişlere Etkiyen Yüklerin Belirlenmesi

Yapıya etkiyen yükler, sabit ve hareketli yükler olmak üzere iki sınıfta toplanabilmektedir. Bilindiği gibi, yapı taşıyıcı sistemini oluşturan elemanların öz ağırlıkları, sabit yükler sınıfında değerlendirilebilmektedir. Yapıya dışarıdan etkiyen yükler; rüzgar yükü, kar yükü, su akıntısının etkisi, buz etkisi, zemin etkisi, sıcaklık değişiminin etkisi, rötre ve sünme etkisi, taşıt yükleri, yaya yükleri ve deprem yükleri hareketli yükler sınıfına dahil edilebilmektedir (Aktaş, 2010).

Bu çalışmada gerçekleştirilen uygulamalarda, kaynak çalışmalar ile uyum sağlanması bakımından, sabit ve hareketli yüklerin ayrıca hesabı yapılmamıştır. Bu sebepten dolayı, kaynak çalışmalarda sunulan moment veya yük değerleri dikkate alınarak, optimum tasarım gerçekleştirilmiştir.

2.6.1. Sabit Yüklerin Belirlenmesi

Yapının taşıyıcı sistemini oluşturan elemanların öz ağırlıkları ile üstyapıyı oluşturan, asfalt, korkuluk, bariyer, tesisat boruları, kablolar ve diğer bileşenlerin ağırlıkları sabit yük olarak değerlendirilmektedir.

Yaya yükü, Yol Köprüleri için Teknik Şartname'de (KGM, 1973) hareketli yük sınıfına dahil edilmesine rağmen, bu çalışmada, sabit yük sınıfında hesaplamalara dahil edilmiştir. Yaya köprülerinde, hareketli yük olarak, $4,00 \text{ kN/m}^2$, taşıt köprülerinin yaya kaldırımlarında ise, $3,00 \text{ kN/m}^2$ eşit yayılı bir yük alınmakta ve yapının yalnız bir tarafındaki yaya kaldırımının yüklü olması halinin de incelenmesi gerekmektedir. Genişliği $0,60 \text{ m}$. ya da daha az olan emniyet bordürlerinde yaya yükü alınmamaktadır. Şehir içinde ya da insan kalabalığının fazla olduğu yerlerde, gerekiyorsa yaya yükü arttırılabilmektedir (Aktaş, 2010).

Bu çalışmada, maliyet optimizasyonu gerçekleştirilecek olan kısmen öngerilmeli beton kirişlerin orta noktasında oluşan maksimum moment ve mesnet iç yüzünde oluşan maksimum kesme kuvveti değerleri, düzgün bir şekilde yüklenmiş basit mesnetli kiriş kabulü ile yukarıda belirtilmiş olan sabit yükler dikkate alınarak hesaplanmıştır.

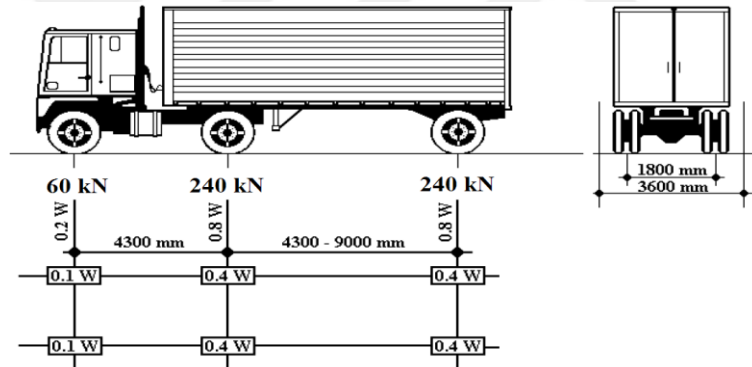
2.6.2. Hareketli Yüklerin Belirlenmesi

Kısmen öngerilmeli beton kirişli köprü üst yapısı üzerine etkiyen hareketli yükün belirlenmesi için Yol Köprüleri için Teknik Şartname'sine göre (KGM, 1973):

- Karayolları Genel Müdürlüğü Köprüler Dairesi Başkanlığı'nca gerekli görülen hallerde, $H_{30}-S_{24}$,
- Saatte 100-400 taşıt geçen ya da ağır sanayi merkezlerine giden yollarda, $H_{20}-S_{16}$,
- Saatte 100'den daha az taşıt geçen yollarda, $H_{15}-S_{12}$,
- Köy yollarında, H_{10} ,

yüklemesi dikkate alınmaktadır.

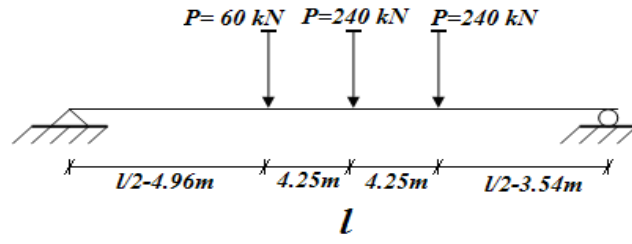
Köprülerin üzerindeki hareketli yükler, standart kamyonlardan ya da standart kamyon katarına eşdeğer olan şerit yüklerinden ibarettir. $H_{30}-S_{24}$ hareketli yük sınıfının standart kamyon üzerindeki gösterimi Şekil 2.10'da verilmektedir (Aydın, 2006).



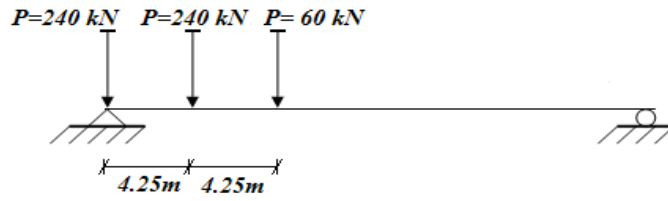
Şekil 2.10. $H_{30}-S_{24}$ hareketli yük sınıfının standart kamyon üzerindeki gösterimi (Aydın, 2006).

$H_{30}-S_{24}$ yük sınıfında, H harfi iki dingilli bir kamyonu, S harfi ise ona bağlı bir yarım treyleri temsil etmekte olup, H harfinden sonra gelen rakam, kamyonun iki dingilinin ağırlığını, S harfinden sonra gelen rakam ise yarım treylerin tek dingilinin ağırlığını göstermektedir. Şerit yükleme ise bir eşit yaylı yük ve bir adet tekil yükten oluşmaktadır (Aydın, 2006).

$H_{30}-S_{24}$ standart kamyon yükünün ve $H_{30}-S_{24}$ eşdeğer şerit yüklemesinin basit mesnetli kiriş üzerinde, maksimum açıklık momenti ve maksimum kesme kuvveti değerlerini verecek şekilde yerleşimi sırasıyla Şekil 2.11 ve Şekil 2.12'de verilmektedir (Aktaş, 2010).

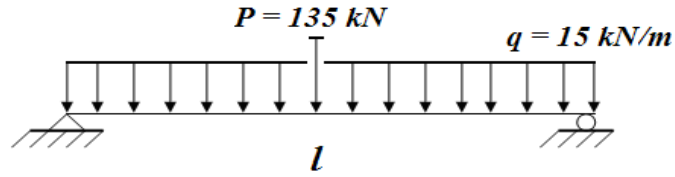


(a) Eğilme Momenti için

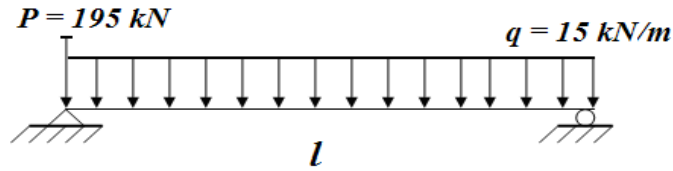


(b) Kesme Kuvveti için

Şekil 2.11. Standart kamyon yükünün basit mesnetli kiriş üzerinde elverişsiz yerleşimi (Aktaş, 2010).



(a) Eğilme Momenti için



(b) Kesme Kuvveti için

Şekil 2.12. Eşdeğer şerit yüklemenin basit mesnetli kiriş üzerinde elverişsiz yerleşimi (Aktaş, 2010).

2.6.3. Optimum Tasarımda Kullanılan Yük Birleşimlerinin Belirlenmesi

Kısmen öngerilmeli beton kirişlerin optimum tasarımında, genellikle sabit ve hareketli yükler dikkate alınmaktadır. Bu nedenle, kısmen öngerilmeli beton kirişlerin optimum tasarımında kullanılan yük birleşimleri belirlenirken, yalnızca sabit ve hareketli yük katsayılarını içeren birleşimler incelenmiştir. Naaman (2012), sabit ve hareketli yükleri içeren birleşimlerden en sık kullanılanlardan bir tanesinin, F, tasarım yükünü, G, sabit yükleri ve Q ise hareketli yükleri göstermek üzere,

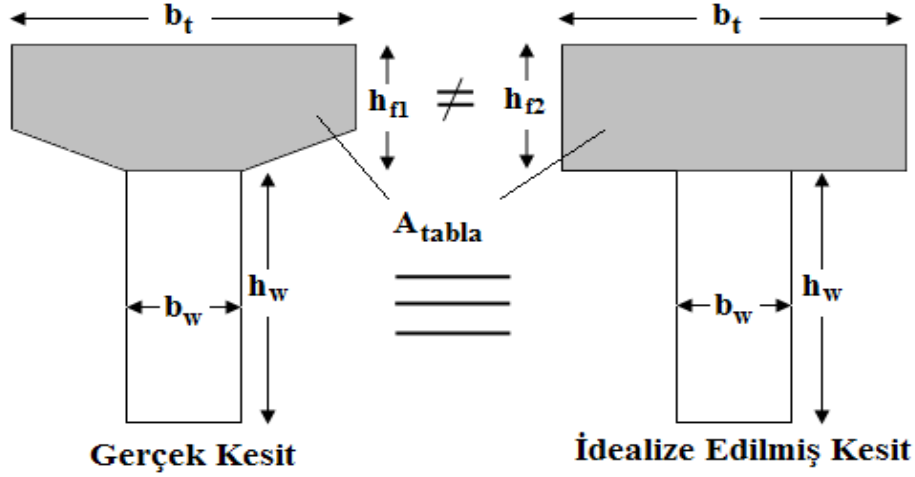
$$F = 1,2 \cdot G + 1,6 \cdot Q \quad (65)$$

olduğunu belirtmiştir. Bu çalışmada, kısmen öngerilmeli beton kirişlerin optimum tasarımı yapılırken söz konusu yük birleşimi dikkate alınmıştır.

2.6.4. Kısmen Öngerilmeli Beton Kirişlerde Oluşan Kesit Etkilerinin Belirlenmesi

Bu çalışmada dikkate alınan kısmen öngerilmeli beton kirişlerde oluşan kesit etkileri, kirişlerin basit mesnetli olduğu kabulü ile belirlenmiştir. Bu kabule göre, sabit ve hareketli yükler etkisinde gerçekleştirilen yapısal çözümlerden elde edilen moment ve kesme kuvveti değerleri, sehim ve taşıma gücü hesaplamalarında kullanılmıştır.

Enkesitlerinde guse içeren T-kesitli ve I-kesitli kirişlerin yapısal çözümlemesinde, idealize edilen kesitler kullanılmıştır. İdealize edilen kesit belirlenirken, toplam enkesit ve tabla alanı sabit kalmak üzere, tabla yüksekliği değiştirilmektedir. Teknik literatürde, idealize edilmiş kesitin kullanılmasının, sonuçları önemli ölçüde değiştirmeyeceği ifade edilmektedir. T-enkesitli kiriş için idealize edilmiş kesitin belirlenmesi, şematik olarak Şekil 2.13'te gösterilmektedir (Naaman, 2012).



Şekil 2.13. Şematik olarak gerçek kesitin idealize edilmiş kesite dönüştürülmesi (Naaman, 2012).

2.7. Kısmen Öngerilmeli Beton Kiriş Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesi

Kısmen öngerilmeli beton kirişleri oluşturan ana malzemeler; yüksek dayanımlı beton ve öngerme donatısı, gerilmemiş öngerme donatısı ya da betonarme donatısıdır. Daha önce de belirtildiği gibi, kısmen öngerilmeli beton kirişlerin malzeme bakımından tam öngerilmeli kirişlerden temel farkı, basınç ve/veya çekme bölgesinde gerilmemiş öngerme donatısı ya da betonarme donatısı bulunması ve söz konusu bu donatıların taşıma gücü durumunda, kirişin davranışına katkıda bulunmasıdır.

Teknik literatürde, kullanılan malzemenin karakteristik özellikleri bakımından kısmen ya da tam öngerilmeli kirişler için bir ayrıma rastlanılmamıştır. Bu nedenle, tam öngerilmeli kirişler için kullanılan karakteristik malzeme özelliklerinin kısmen öngerilmeli kirişler için de geçerli olduğu kabul edilmektedir.

TS 3233'te (1979) öngerilmeli elemanlarda kullanılan betonun yüksek dayanımlı olmasının zorunlu olduğu ve öngerilmeli elemanlarda kullanılacak beton sınıfının en az C25/30 olması gerektiği belirtilmiştir. Bir diğer kaynakta ise (Naaman, 2012), öngerilmeli beton yapıların tasarımında, yalnızca betonun dayanımının değil, sünme ve büzülme gibi zamana bağlı özelliklerinin de dikkate alınması gerektiği ve bunların çelikteki öngerilme kayıpları ve yapının uzun süreli şekildeğişirmesinin üzerindeki etkisinin araştırılması gerektiği belirtilmektedir.

TS 3233'te (1979) betonarme çeliğinin, TS 500 (2000)'e uygun çelik çubuklar olduğu, çelik çubuk olarak nervürlü donatının tercih edilmesi gerektiği belirtilmiştir.

Ayrıca, karakteristik akma dayanımının da 420 MPa'ın üzerinde olmaması gerektiği vurgulanmıştır.

Kısmen öngerilmeli beton kirişlerde, öngerilme donatısı olarak yüksek dayanımlı çelik kullanılması gerekmekte olup, bunlar, yüksek dayanımının yanı sıra yüksek gerilmelerde elastik sınırlar içinde kalabilmeli, dayanım sınırına kadar yeterli sünekliği gösterebilmeli, aderansı iyi olmalı, rölaksasyonu düşük olmalı, yorulmaya ve korozyona karşı dayanıklı, ekonomik ve kolay ulaşılabilir olmalıdır. Aksi durumda, öngerilme kayıplarından dolayı, çelikteki gerilmeler önemli ölçüde azalmakta ve zamanla yok olmaktadır. Öngerme çeliği olarak ise, öngerme teli, öngerme toronu ya da öngerme çubuğu kullanılabilir. Öngerilmeli tellerin; çapları 1,5 mm.'den 7 mm.'ye kadar olan, kaplamasız, gerilmeden arınmış, orantılılık sınırı yükseltilmiş olması gerekmektedir. Öngerilme toronları ise, iki veya daha fazla telin helis şeklinde üst üste sarılmaları ile elde edilmektedir. Öngerme çubukları, çapları 7 mm. ile 32 mm. arasında değişen, tek parçadan oluşan, sıcak çekilmiş, özel alaşımlı çubuklardır. Öngerme teli, toronu ve çubuklarının TS 3233'teki (1979) verilen mekanik özelliklere sahip olması gerekmektedir (Aydın, 2006).

2.8. Malzemelerin Birim Fiyatlarının Tespit Edilmesi

Kısmen öngerilmeli beton kirişlerde, önceden de belirtildiği gibi, malzeme olarak yüksek dayanımlı beton, öngerme donatısı, gerilmemiş öngerme donatısı ya da betonarme donatısı kullanılmaktadır. Söz konusu bu malzemelerin maliyetleriyle ilgili tasarım parametrelerinin belirlenmesinde, Karayolları Genel Müdürlüğü'nün 2014 yılı birim fiyatları dikkate alınmış ve bu birim fiyatlar Tablo 2.4'te gösterilmiştir (KGM, 2014).

Tablo 2.4. Tasarımda kullanılan malzemelerin 2014 yılı birim fiyatları (KGM, 2014).

Poz No	Tanım	Birim Ağırlık	Birim Fiyat
KGM/23.014/K	Betonarme için Ø8-Ø12 mm'lik ince nervürlü çelik temini ve işçiliği (Nakliye Hariç)	78,5 kN/m ³	2.324,80 ₺/ton
KGM/23.015/K	Betonarme için Ø14-Ø32 mm'lik ince nervürlü çelik temini ve işçiliği (Nakliye Hariç)	78,5 kN/m ³	2.226,24 ₺/ton
KGM/23.002/K-6	Boyuna ve enine önçekim, öngerme çeliğinin (Tel, demet, çubuk) yerlerine konulması, gerilmesi, gevşetilmesi ve kesilmesi işçiliği	78,5 kN/m ³	6.416,99 ₺/ton
KGM/3792/1	Yüksek dayanımlı öngerme çeliği temini (0,5 inç halat) (Tip 270K)	78,5 kN/m ³	2.812,50 ₺/ton
KGM/3793	Kılıf borusu temini	--	1,96 ₺/m
KGM/16.137/K	Köprülerin Öngerilmeli (Önçekim-Artçekim) Boyuna ve Enine Kirişlerinde Her Dozda Demirli Beton	25,0 kN/m ³	309,66 ₺/m ³
KGM/16.136/K-1	Prefabrik kirişlerin yerlerine konulması	--	27,13 ₺/ton

2.9. Çeşitli Yük Durumlarında İzin Verilen Gerilme ve Sehimler

2.9.1. Çeşitli Yük Durumlarında Beton ve Öngerme Çeliğinde İzin Verilen Gerilmeler

Zamana bağlı öngerme kayıpları oluşmadan ve kullanım yükleri altında zamana bağlı öngerme kayıpları oluştuğundan sonra, betondaki izin verilen gerilmeler aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır (ACI, 2002; Naaman, 2012).

Öngerme kuvvetinin verildiği anda betondaki basınç gerilmesi yaklaşık olarak, f_c' betonun karakteristik basınç dayanımını göstermek üzere,

$$f_{ci}' = 0,80 \cdot f_c' \quad (66)$$

şeklinde ifade edilmektedir (Naaman, 2012). Öngerilmeli eğilme elemanlarında, ilk öngerilme kuvveti altında en alt ve üst beton lifinde izin verilen basınç ve çekme gerilmeleri sırasıyla,

$$\sigma_{ci} = 0,60 \cdot f'_{ci} = 0,48 \cdot f'_c \quad (67)$$

$$\sigma_{ti} = 0,25 \cdot \sqrt{f'_{ci}} \quad (68)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Benzer şekilde, öngerilmeli eğilme elemanlarında, kullanım yükleri altında zamana bağlı öngerme kayıplarından sonra, en üst ve en alt beton lifinde, izin verilen basınç ve çekme gerilmeleri sırasıyla,

$$\sigma_{cs} = 0,60 \cdot f'_c \quad (69)$$

$$\sigma_{ts} = 0,50 \cdot \sqrt{f'_c} \quad (70)$$

olarak hesaplanmaktadır.

Öngerme donatısında izin verilen gerilmeler ise, donatının düşük rölaksasyonlu ve gerilmesi azaltılmış olmasına göre değişmektedir. Buna göre, σ_{pu} , öngerilme donatısının çekme dayanımını ve σ_{py} , öngerilme donatısının akma dayanımını göstermek üzere, yük aktarımından hemen sonra, düşük rölaksasyonlu ve gerilmesi azaltılmış öngerme donatılarında, izin verilen ilk çekme gerilmeleri sırasıyla (ACI, 2002; Naaman 2012),

$$\sigma_{pi} = 0,82 \cdot \sigma_{py} = 0,82 \cdot (0,90 \cdot \sigma_{pu}) = 0,74 \cdot \sigma_{pu} \quad (71)$$

$$\sigma_{pi} = 0,82 \cdot \sigma_{py} = 0,82 \cdot (0,85 \cdot \sigma_{pu}) = 0,70 \cdot \sigma_{pu} \quad (72)$$

olarak ifade edilmektedir. Aynı zamanda, yük aktarımından hemen önce, düşük rölaksasyonlu ve gerilmesi azaltılmış öngerme donatısında izin verilen j günlük ilk çekme gerilmesi (σ_{pij}) olarak, $0,80 \cdot \sigma_{pu}$ ifadesiyle hesaplanan değerle, öngerme donatısının üreticisi

tarafından tavsiye edilen değer karşılaştırılarak, bunlardan küçük olan dikkate alınmaktadır. Bu durum,

$$\sigma_{pij} = \min(0,80 \cdot \sigma_{pu}, \text{üretici değeri}) \quad (73)$$

şeklinde ifade edilmektedir (Naaman, 2012).

2.9.2. Çeşitli Yük Durumlarında İzin Verilen Şehimler

Çeşitli yük durumlarında, kısmen öngerilmeli beton kirişler için ters şehimin, L, kısmen öngerilmeli kirişin açıklığını göstermek üzere,

$$\Delta_{up}^{max} = -L/180 \quad (74)$$

bağıntısıyla hesaplanan değerden küçük olması gerekmektedir (Saouma ve Murad, 1984). Benzer şekilde, sabit yük etkisinde, zamana bağlı etkiler de dikkate alınarak hesaplanan şehimin ise,

$$\Delta_{DL}^{max} = L/180 \quad (75)$$

ifadesiyle hesaplanan değerden, hareketli yük etkisinde zamana bağlı etkiler de dikkate alınarak hesaplanan şehimin ise,

$$\Delta_{LL}^{max} = L/240 \quad (76)$$

ifadesiyle hesaplanan değerden küçük olması gerekmektedir (Saouma ve Murad, 1984; ACI, 2002; Nawy, 2003; Naaman, 2012).

2.10. Beton Örtüsü, Donatı Yerleşimi ve Kenetlenme Boyunun Belirlenmesi

Amerikan Yönetmeliği'nde (ACI, 2002), dış ortam ya da zemin ile temas halinde bulunmayan ve yerinde döküm olarak üretilmeyen öngerilmeli kirişlerde, minimum net beton örtüsünün, kirişte kullanılan öngerme donatısının çapına (d_c) eşit olması, aynı zamanda, 16 mm.'den küçük ve 38 mm.'den büyük olmaması gerektiği belirtilmektedir.

$$16 \text{ mm} < \text{Net beton örtüsü} = d_c < 38 \text{ mm} \quad (77)$$

Bir diğer yönetmelikte ise (AASHTO, 2002), öngermeli ya da betonarme donatıları için minimum 38 mm. net beton örtüsünün sağlanması gerektiği belirtilmektedir.

Bu çalışmada, uygulamaya konu olan kısmen öngerilmeli beton kirişler için de net beton örtüsü, 38 mm. olarak dikkate alınmıştır.

Tam öngerilmeli ya da kısmen öngerilmeli beton kirişlerde, tasarım sonucu elde edilen donatılar, genellikle bir sıraya sığmamaktadır. Bu durumda, öngerilmeli ve betonarme donatılarının arasına betonun yerleştirilmesini sağlayabilmek için yeterli mesafe sağlanmalıdır. Teknik literatürde (Naaman, 2012), çapı 15 mm.'yi geçmeyen öngerme donatısı kullanılan öngerilmeli kirişler için, donatıların merkezleri arasındaki uzaklığın 50 mm. olarak seçilmesinin, beton dökümü esnasında, betonun uygun bir şekilde yerleşmesi bakımından yeterli olduğu belirtilmiştir. Durum böyle olunca, bu çalışmada da, öngerilme ve betonarme donatılarının merkezleri arasındaki net uzaklık 50 mm. olarak kabul edilmiştir.

Açıklığı 10 m.'den fazla olan kısmen öngerilmeli beton kirişli köprülerde, uygulama aşamasında, betonarme donatılarının 12 m.'den daha uzun üretilmemelerinden dolayı, tek parça olarak kullanılma imkanı bulunmamaktadır. Bu nedenle, betonarme donatılarının, kiriş açıklığına göre, iki veya üç parça halinde kullanılması gerekmektedir. Bu durumda, nervürlü çubuklar için kenetlenme boyu, f_{yd} , çekme bölgesindeki boyuna donatı tasarım dayanımını, f_{ctd} , beton tasarım çekme dayanımını ve \emptyset betonarme donatı çapını göstermek üzere,

$$l_b = 0.12 \frac{f_{yd}}{f_{ctd}} \phi \geq 20\phi \quad (78)$$

bağıntısıyla, donatı çapının, $32\text{mm} < \phi \leq 40\text{ mm}$. olduğu durumlarda ise,

$$l_b = \left(\frac{100}{132 - \phi} \right) 0.12 \frac{f_{yd}}{f_{ctd}} \phi \quad (79)$$

ifadesi ile hesaplanmaktadır (TS 500, 2000).

2.11. Kısmen Öngerilmeli Beton Kirişlerin Optimum Tasarımı

Çalışmanın bu bölümünde, kısmen öngerilmeli beton kirişlerin, Genetik Algoritma ve Yapay Arı Koloni Algoritması kullanılarak, maliyet yönünden optimum tasarımları gerçekleştirilecektir. Maliyet yönünden optimum tasarımı gerçekleştirilecek her bir problemin, amaç fonksiyonunun, tasarım değişkenlerinin, tasarım parametrelerinin ve dikkate alınan yapısal sınırlayıcılarının farklı olması nedeniyle, sayısal uygulamaların her biri farklı başlıklar altında incelenmiştir.

Optimum tasarım probleminin matematiksel ifadesi; tasarım değişkenlerinin, amaç fonksiyonunun ve sağlanması gereken sınırlayıcıların tanımlanmasını gerektirmektedir. Yapısal optimizasyon problemi, matematiksel olarak; $f(x)$ amaç fonksiyonunu, $g_j(x)$ eşitsizlik türü sınırlayıcıları ve $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ tasarım değişkenlerini göstermek ve,

$$g_j(x) = g_j(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \leq 0 \quad j = 1, \dots, k \quad (80)$$

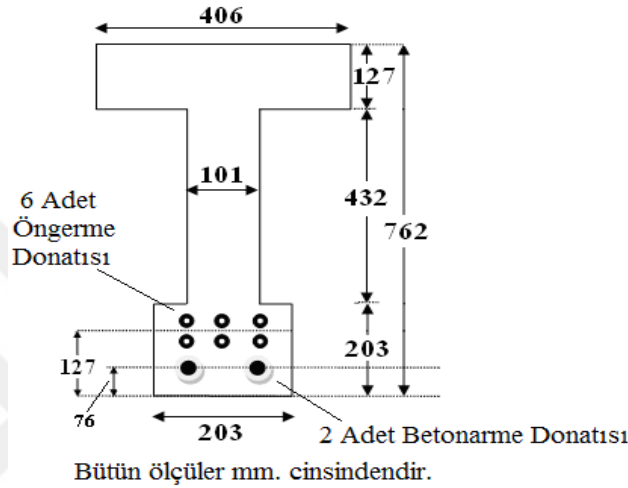
eşitsizliklerini sağlamak üzere,

$$\text{optimize } f(x) = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \quad (81)$$

şeklinde ifade edilmektedir (Öztürk, 2013).

2.11.1. Sayısal Uygulama-1

Bu sayısal uygulamada, Arthur H. Nilson'un 1976 yılında gerçekleştirdiği çalışmasının son bölümünde tasarım örneği olarak sunulan kısmen öngerilmeli beton kirişin optimum tasarımı gerçekleştirilecektir. Şekil 2.14'te, söz konusu kısmen öngerilmeli kirişin tasarımı gösterilmektedir.



Şekil 2.14. Nilson tarafından sunulan kısmen öngerilmeli kiriş tasarımı (Nilson, 1976).

2.11.1.1. Amaç Fonksiyonu

Bu uygulamada amaç fonksiyonu, $C_{\text{önger}}$, öngerilmeli donatı maliyetini, C_{kilif} , öngerilme donatısının kılıf maliyetini, $C_{\text{öngerisci}}$, öngerilmeli donatının yerine konulması işçilik maliyetini, C_{beton} , beton maliyetini, $C_{\text{kirişyer}}$, öngerilmeli kirişin yerine konulması maliyetini ve $C_{\text{geleneksel}}$, betonarme donatısının maliyetini göstermek üzere,

$$f(x) = C_{\text{önger}} + C_{\text{kilif}} + C_{\text{öngerisci}} + C_{\text{beton}} + C_{\text{kirişyer}} + C_{\text{geleneksel}} \quad (82)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Öngerilme donatısı maliyeti, n_{ps} , öngerilme donatı çubuk sayısını (adet), a_p , bir adet öngerilme donatısının alanını (m^2), L , kiriş açıklığını (m), γ_s , donatı çeliğinin birim ağırlığını (ton/m^3) ve $BF_{\text{önger}}$, KGM/3792/1 poz nolu yüksek dayanımlı öngerme donatısının birim fiyatını (₺/ton) göstermek üzere,

$$C_{\text{önger}} = n_{ps} \cdot a_p \cdot L \cdot \gamma_s \cdot BF_{\text{önger}} \quad (83)$$

şeklinde gösterilmektedir. Öngerilmeli donatılar için kullanılan kılıfın maliyeti, BF_{kilif} , KGM/3793 poz nolu öngerilme kılıfının birim fiyatını (₺/m) göstermek üzere,

$$C_{\text{kilif}} = n_{ps} \cdot L \cdot BF_{\text{kilif}} \quad (84)$$

olarak hesaplanabilmektedir. Öngerilme donatısının yerine konulması işçiliğinin maliyeti, $BF_{\text{öngyer}}$, KGM/23.002/K-6 poz nolu boyuna ve enine önçekim, öngerme çeliğinin (tel, demet, çubuk) yerlerine konulması, gerilmesi, gevşetilmesi ve kesilmesi işçiliği birim fiyatını (₺/ton) göstermek üzere,

$$C_{\text{öngerişci}} = n_{ps} \cdot a_p \cdot L \cdot \gamma_s \cdot BF_{\text{öngyer}} \quad (85)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Öngerilmeli betonun maliyeti, A_c , beton enkesit alanını ve $BF_{\text{öngerbeton}}$, KGM/16.137/K poz nolu köprülerin öngerilmeli (önçekim-artçekim) boyuna ve enine kirişlerinde donatılı beton birim fiyatını (₺/m³) göstermek üzere,

$$C_{\text{beton}} = A_c \cdot L \cdot BF_{\text{öngerbeton}} \quad (86)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Kısmen öngerilmeli kirişlerin yerleştirilme maliyeti, γ_c ve $BF_{\text{kirişyer}}$, sırasıyla, öngerilmeli beton birim ağırlığını (ton/m³) ve KGM/16.136/K-1 poz nolu prefabrike kirişlerin yerleştirilmesine ilişkin birim fiyatı (₺/ton) göstermek üzere,

$$C_{\text{kirişyer}} = A_c \cdot L \cdot \gamma_c \cdot BF_{\text{kirişyer}} \quad (87)$$

şeklinde gösterilmektedir. Betonarme donatısının maliyeti ise, n_{st} , betonarme donatı çubuk sayısını (adet), a_s , bir adet betonarme donatının alanını (m²) ve $BF_{\text{betonarme2}}$, KGM/23.015/K poz nolu betonarme için Ø14-Ø32 mm'lik ince nervürlü donatı temini ve işçiliği (nakliye hariç) birim fiyatını (₺/ton) göstermek üzere,

$$C_{\text{geleneksel}} = n_{\text{st}} \cdot a_s \cdot l \cdot \gamma_s \cdot BF_{\text{betonarme2}} \quad (88)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

2.11.1.2. Tasarım Parametreleri

Bu uygulama için Nilson (1976) tarafından sunulan tasarım parametreleri aşağıda verilmektedir.

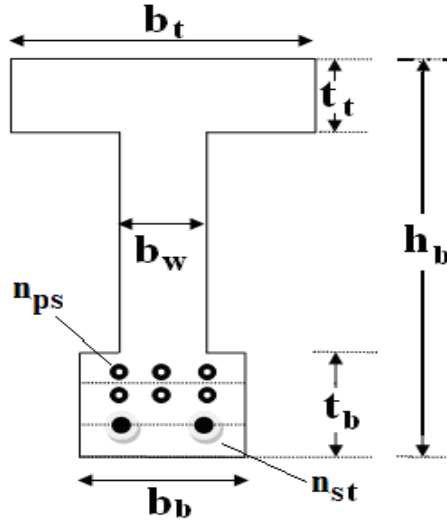
Kiriş toplam açıklığı (L).....	: 11,497 m
Net beton örtüsü.....	: 38 mm
Donatı çeliğinin birim ağırlığı (γ_s).....	: 7,85 ton/m ³
Başlangıç öngerme kuvveti (P_i).....	: 683,75 kN
Öngermeli beton karakteristik basınç dayanımı (f_c').....	: 35 MPa
Öngermeli beton kırılma dayanımı (modülü) (f_r).....	: 3,5 MPa
Betonarme donatısı çapı.....	: 25,4 mm
Kapasite azaltma katsayısı (\emptyset).....	: 0,9
Normal ağırlıklı beton için kullanılan katsayı (λ).....	: 1,0
Öngermeli donatı çapı.....	: 12,7 mm
Öngermeli beton birim ağırlığı (γ_c).....	: 25 kN/m ³
Öngermeli beton elastisite modülü (E_c).....	: 24900 MPa
Öngermeli donatısının elastisite modülü (E_{ps}).....	: 186000 MPa
Betonarme donatısı elastisite modülü (E_s).....	: 200000 MPa
Öngerme donatısı karakteristik çekme dayanımı (σ_{pu}).....	: 1725 MPa
Betonarme donatısı akma dayanımı (f_y).....	: 414 MPa
Sünme katsayısı (C_u).....	: 1,8
İlave sabit ek yüklerden oluşan moment (M_{SD}).....	: 52 kN.m
Hareketli yüklerden kaynaklanan moment (M_L).....	: 259 kN.m
Öngermeli donatısında oluşan gerilme kaybı oranı (R).....	: 0,8

2.11.1.3. Tasarım Değişkenleri

Bu uygulama için tasarım değişkenleri, kısmen önerilmeli kirişin enkesit boyutlarıyla, önerilmeli ve betonarme donatı adetlerinden oluşmakta olup, toplam değişken sayısı 8'dir. Söz konusu tasarım değişkenleri ve optimizasyon sırasında alabilecekleri değerler Tablo 2.5'te verilmekte ve bu değişkenler enkesit üzerinde, Şekil 2.15'te gösterilmektedir.

Tablo 2.5. Optimum tasarımda kullanılan tasarım değişkenleri

Tasarım Değişkeni	Değişkenler	Birimi	Alabileceği Değer Sayısı
Üst Başlık Kalınlığı (t_t)	80; 100; 120; 150; 180; 200; 220; 250; 300; 350; 400; 450; 500	mm	13
Üst Başlık Genişliği (b_t)	200; 250; 300; 350; 400; 450; 500; 550; 600; 650	mm	10
Alt Başlık Kalınlığı (t_b)	50; 100; 150; 200; 220; 250; 280; 300; 350; 400; 450; 500; 550; 600; 650	mm	15
Alt Başlık Genişliği (b_b)	50; 100; 150; 200; 250; 300; 350; 400; 450; 500; 550; 600; 650; 700; 750; 800	mm	16
Gövde Genişliği (b_w)	100; 110; 120; 130; 140; 150; 160; 170; 180; 190; 200; 210; 220; 230; 240; 250; 260; 270; 280; 290; 300	mm	21
Kiriş Yüksekliği (h_b)	400; 450; 500; 550; 600; 650; 700; 750; 800; 850; 900; 950; 1000; 1050; 1100; 1150; 1200; 1250; 1300; 1350; 1400	mm	20
Öngerilme Donatı Çubuk Sayısı (n_{ps})	2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 13; 14; 15; 16; 17; 18; 19; 20; 21; 22; 23; 24; 25; 26; 27; 28; 29; 30; 31; 32; 33	adet	32
Betonarme Donatı Çubuk Sayısı (n_{st})	2; 4; 6; 8; 10; 12; 14; 16;	adet	8



Şekil 2.15. Uygulama-1'e ilişkin tasarım değişkenleri

2.11.1.4. Sınırlayıcılar

Bu çalışma kapsamındaki tüm uygulama problemlerinde kullanılan sınırlayıcılar, teknik literatürde kısmen önerilmeli beton elemanların optimizasyonu ile ilgili çalışmalarda sınırlayıcılar ve köprülerle ilgili ulusal ve uluslararası standartlardaki (TS 3233, 1979; Saouma ve Murad, 1984; AASHTO, 2002; ACI, 2002; Nawy, 2003; Aydın, 2006) koşullar dikkate alınarak oluşturulmuştur.

Bu sayısal uygulamada, 15 adet sınırlayıcı kullanılmaktadır. Bunlardan ilk dördü, öngerme kuvvetinin ilk verildiği ve kullanım yüklerinin uygulandığı durumlarda, önerilmeli betonda oluşan çekme ve basınç gerilmelerinin denetlenmesinde kullanılmaktadır. Beşinci sınırlayıcı ile öngerme kuvvetinin verildiği andaki ters sehim, altıncı ve yedinci sınırlayıcılar ile de, sırasıyla, zamana bağlı etkilerin de dikkate alındığı sabit ve hareketli yük sehimleri denetlenmektedir. Dokuzuncu sınırlayıcı ile söz konusu kısmen önerilmeli beton kirişlerin moment kapasitelerinin, onuncu sınırlayıcıyla ise kesme kuvveti kapasitelerinin yeterliliği sağlanmaktadır. Sekiz ve onbirinci sınırlayıcılarla, kısmen önerilmeli beton kirişlerde kullanılan donatı oranının minimum ve maksimum donatı oranları arasında olması sağlanmaktadır. Oniki ve onüçüncü sınırlayıcılar, geometrik sınırlayıcılar olup, kirişin boyutlarının uygunluğunu, ondört ve onbeş nolu sınırlayıcılar ise, optimum tasarım sonucu bulunan betonarme ve önerilme donatılarının kesit içinde uygun bir şekilde yerleşimini sağlayan sınırlayıcılardır.

Kiriş kesitinin çekme etkisindeki en uzak beton lifinde oluşan gerilmenin, izin verilen çekme gerilmesinden küçük olup olmadığı,

$$g(1) = \frac{\sigma_i^t}{\sigma_{ti}} - 1 = \frac{-\frac{P_i}{A_c} \left(1 - \frac{ec_t}{r^2}\right) - \frac{M_D}{S^t}}{\sigma_{ti}} - 1 \leq 0 \quad (89)$$

ifadesiyle, kesitte oluşan basınç gerilmesinin, izin verilen basınç gerilmesinden küçük olup olmadığı ise,

$$g(2) = \frac{\sigma_i^b}{\sigma_{ci}} - 1 = \frac{\left| -\frac{P_i}{A_c} \left(1 + \frac{ec_b}{r^2}\right) - \frac{M_D}{S_b} \right|}{\sigma_{ci}} - 1 \leq 0 \quad (90)$$

ifadesiyle denetlenmektedir. Kullanım yükleri etkisi altında oluşan çekme ve basınç gerilmelerinin, izin verilen gerilmelerden küçük olup olmadıkları, sırasıyla,

$$g(3) = \frac{\sigma_s^t}{\sigma_{cs}} - 1 = \frac{\left| -\frac{P_e}{A_c} \left(1 - \frac{ec_t}{r^2}\right) - \frac{M_T}{S^t} \right|}{\sigma_{cs}} - 1 \leq 0 \quad (91)$$

$$g(4) = \frac{\sigma_s^b}{\sigma_{ts}} - 1 = \frac{\left| -\frac{P_e}{A_c} \left(1 + \frac{ec_b}{r^2}\right) - \frac{M_T}{S_b} \right|}{\sigma_{ts}} - 1 \leq 0 \quad (92)$$

bağıntılarıyla denetlenmektedir. Basit mesnetli kirişin öz ağırlığı altında oluşan sehim ile, başlangıçta oluşan ters sehimin toplamının, izin verilen en büyük ters sehimi aşıp aşmadığı,

$$g(5) = \frac{\Delta_{wo} - \Delta_{pi}}{\Delta_{up}^{\max}} - 1 = \frac{\frac{5w_0L^4}{384E_cI_g} - \frac{5P_i eL^2}{48E_cI_g}}{-L/180} - 1 \leq 0 \quad (93)$$

ifadesiyle, uzun süreli sabit yük etkisinde oluşan ve zamana bağlı hareketli yük etkisinde oluşan sehimler, izin verilen sehimleri aşp aşmadığı,

$$g(6) = \frac{\Delta_{DL}}{\Delta_{DL}^{max}} - 1 = \frac{-\Delta_{pe} - (\Delta_{pi} + \Delta_{pe}) \cdot \frac{C_u}{2} + \Delta_{wo} \cdot (1 + C_u)}{L / 180} - 1 \leq 0 \quad (94)$$

$$g(7) = \frac{\Delta_{LL}}{\Delta_{LL}^{max}} - 1 = \frac{(\Delta_i)_{LL} + \Delta_{add}}{L / 240} - 1 \leq 0 \quad (95)$$

ifadeleriyle denetlenmektedir. Kısmen öngerilmeli beton kirişler için minimum ve maksimum donatı oranlarının denetimi sırasıyla,

$$g(8) = \frac{1,2 \cdot M_{cr}}{\phi M_n} - 1 \leq 0 \quad (96)$$

$$g(9) = \frac{c}{d_e} - 0,42 \leq 0 \quad (97)$$

bağıntılarıyla gerçekleştirilmektedir. Beton tarafından sağlanan kesme kuvvetinin, maksimum kesme kuvvetinden büyük olup olmadığı,

$$g(10) = \frac{V_{max}}{V_c} - 1 \leq 0 \quad (98)$$

ifadesiyle, benzer şekilde, kesit taşıma gücü momentinin, maksimum eğilme momentinden büyük olup olmadığı ise,

$$g(11) = \frac{M_{max}}{M_n} - 1 \leq 0 \quad (99)$$

ifadesiyle belirlenmektedir. Üst başlık genişliğinin, alt başlık genişliğinden büyük olması durumu,

$$g(12) = \frac{b_b}{b_t} - 1 \leq 0 \quad (100)$$

sınırlayıcısıyla, kirişin gövde genişliğinin alt başlık genişliğinden küçük olması durumu ise,

$$g(13) = \frac{b_w}{b_b} - 1 \leq 0 \quad (101)$$

sınırlayıcısıyla sağlanmaktadır. Alt başlık kalınlığı, betonarme ve öngermeli donatıların arasına, betonun uygun bir şekilde yerleştirilmesi bakımından, t_{bmin} , donatı sayısı, beton örtüsü ve donatı arasında bırakılması gereken minimum mesafeye göre hesaplanan en küçük altbaşlık kalınlığı olmak üzere,

$$g(14) = \frac{t_{bmin}}{t_b} - 1 \leq 0 \quad (102)$$

ifadesiyle denetlenmektedir. Betonarme donatıların yerleşeceği sıra sayısı (SSs), daha önceden belirlenen bir sıra sayısı (SS_{smax}) sınırlandırılmıştır. Geliştirilen yazılımda bu sınırlayıcı,

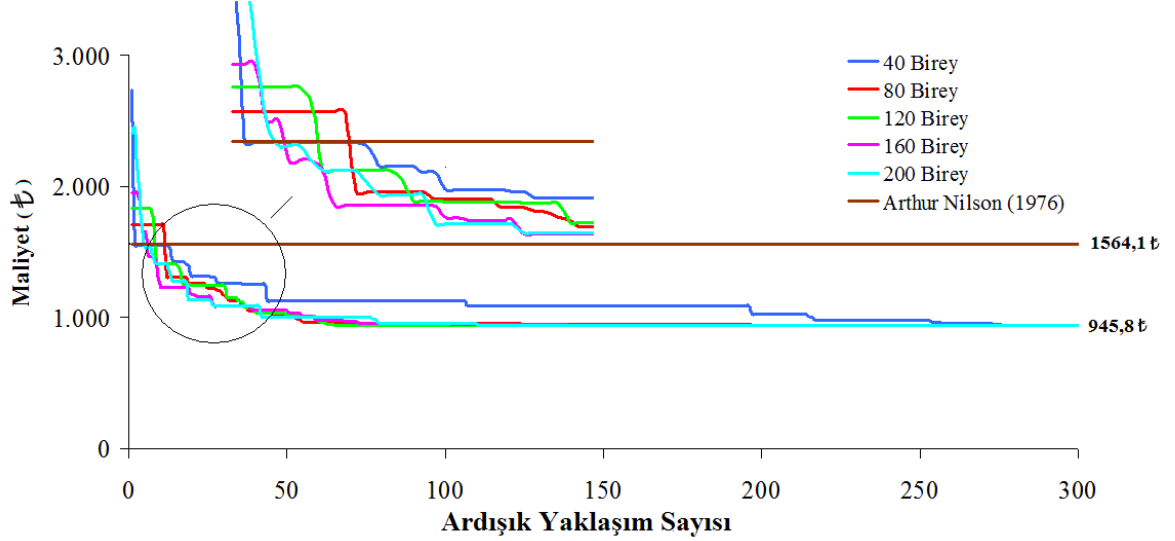
$$g(15) = \frac{SSs}{SS_{smax}} - 1 \leq 0 \quad (103)$$

ifadesiyle denetlenmektedir. Bu uygulamada, betonarme donatısının en fazla 2 sraya yerleşebileceği varsayılmıştır.

2.11.1.5. Genetik Algoritma ile Optimum Tasarım

Genetik Algoritmaya ilişkin yazılımlar MATLAB programlama dilinde (MATLAB, 2008) gerçekleştirilmiştir. Sınırlayıcı işleme yöntemi olarak, kendini uyarlayabilen ceza fonksiyonu yöntemi kullanılmıştır. Nesildeki birey sayısının optimum çözüm üzerindeki etkisini belirleyebilmek için çözümler; 40, 80, 120, 160 ve 200 bireyden oluşan nesiller

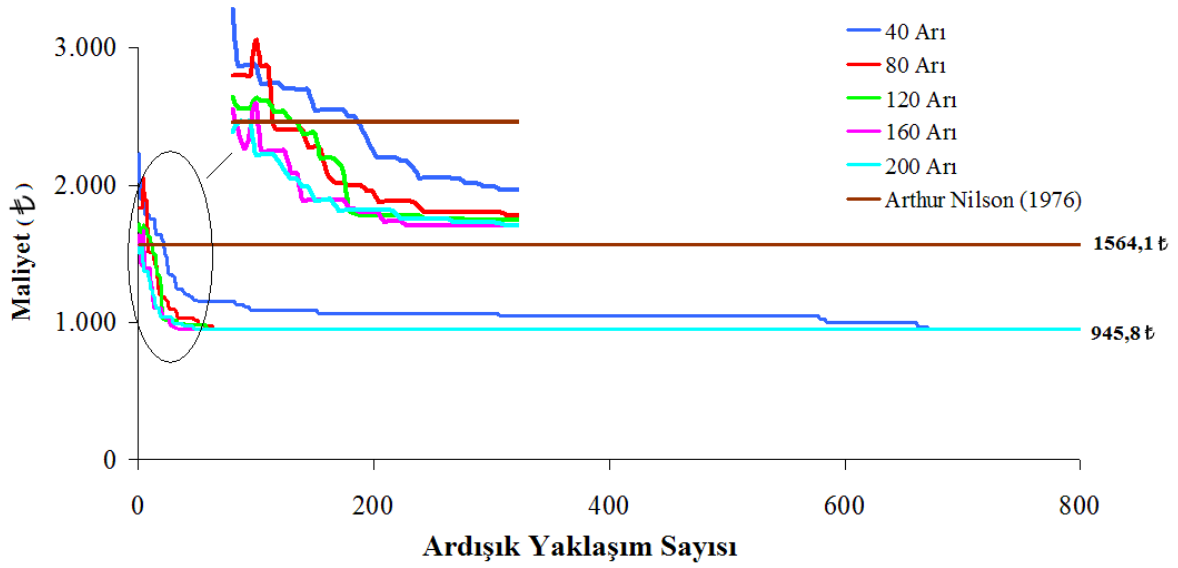
kullanılarak gerçekleştirilmiş ve her bir nesil için 100 bağımsız koşum yapılmıştır. Gerçekleştirilen koşumlarda, yaklaşık 300 ardışık yaklaşım sonucunda tüm nesiller için yakınsamanın sağlandığı belirlenmiştir. Bu problemin, Genetik Algoritma ile optimizasyonu sonrasında, elde edilen toplam maliyetin ardışık yaklaşım sayısına göre değişimi, Şekil 2.16'da gösterilmektedir.



Şekil 2.16. Genetik Algoritmayla Uygulama 1'e ilişkin optimum tasarımda her bir nesil için toplam maliyetin ardışık yaklaşım sayısı ile değişimi

2.11.1.6. Yapay Arı Koloni Algoritması ile Optimum Tasarım

Yapay Arı Koloni algoritmasına ilişkin yazılımlar da MATLAB programlama dilinde (MATLAB, 2008) gerçekleştirilmiştir. Nesildeki birey sayısının optimum çözüm üzerindeki etkisini belirleyebilmek için çözümler; 40, 80, 120, 160 ve 200 arıdan oluşan nesiller kullanılarak gerçekleştirilmiş ve her bir nesil için 100 bağımsız koşum yapılmıştır. Gerçekleştirilen koşumlarda, yaklaşık 800 ardışık yaklaşım sonucunda tüm nesiller için yakınsamanın sağlandığı belirlenmiştir. Bu problemin, Yapay Arı Koloni Algoritması ile optimizasyonu sonrasında, elde edilen toplam maliyetin ardışık yaklaşım sayısına göre değişimi, Şekil 2.17'de gösterilmektedir.

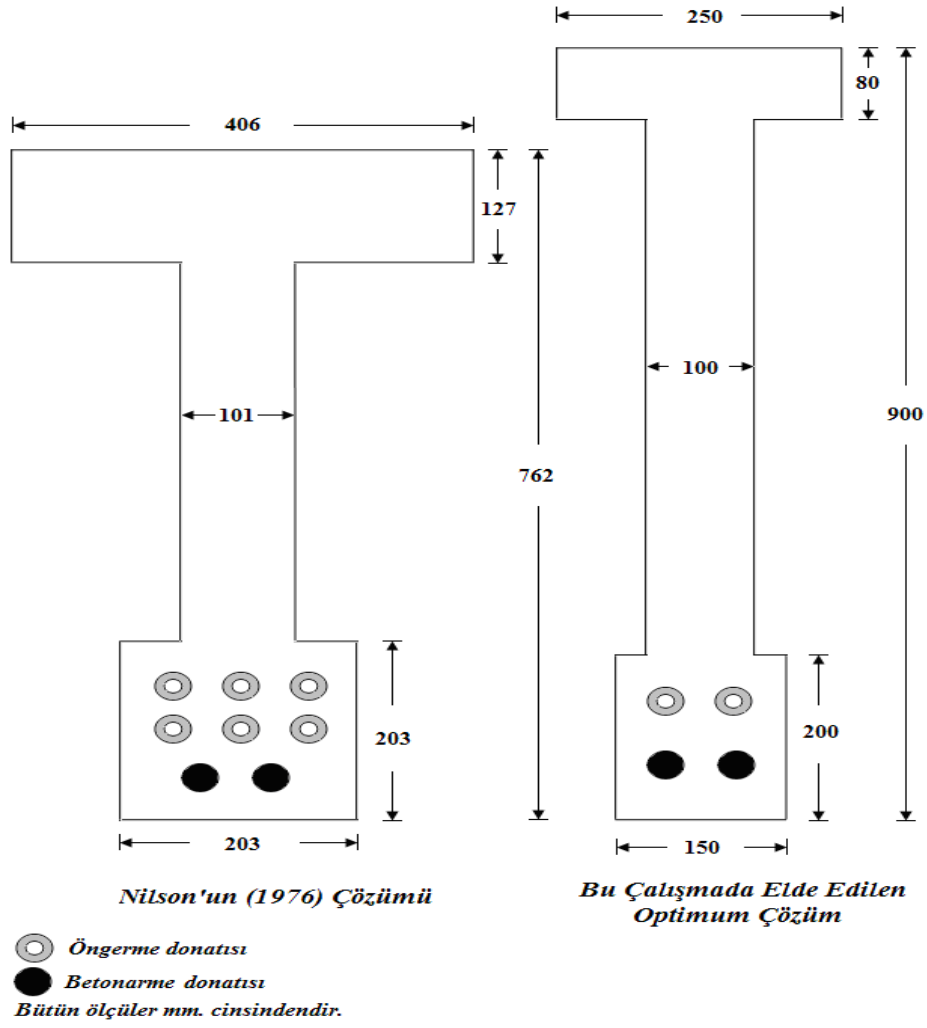


Şekil 2.17. Yapay Arı Koloni Algoritmasıyla Uygulama 1'e ilişkin optimum tasarımda her bir nesil için toplam maliyetin ardışık yaklaşım sayısı ile değişimi

Yapay Arı Koloni Algoritması'nın 40, 80, 120, 160 ve 200 arıdan oluşan nesiller kullanılarak gerçekleştirilen koşullarındaki denetim parametreleri; MR için 0,1 ile 0,9 arasında 0,1 artımlarla 9 farklı değer, LIMIT için $0,1 \times SN \times D$, $0,5 \times SN \times D$, $SN \times D$, $2 \times SN \times D$, $4 \times SN \times D$ ile hesaplanan 5 farklı değer ve SPP için yine $0,1 \times SN \times D$, $0,5 \times SN \times D$, $SN \times D$, $2 \times SN \times D$, $4 \times SN \times D$ değerlerinin kombinasyonlarının denenmesi sonucunda, en optimum çözümü veren denetim parametreleri $MR=0,7$, $SPP=0,1 \times SN \times D$ ve $LIMIT=0,1 \times SN \times D$ olarak belirlenmiştir.

2.11.1.7. Algoritmalarından Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması

Genetik Algoritma'nın ve Yapay Arı Kolonisi Algoritması'nın ayrı olarak Uygulama-1'in optimum tasarımında kullanılmasının sonucunda; 40, 80, 120, 160 ve 200 Birey (veya Arı) içeren nesillerin hepsinde, **945,8 ₺** optimum maliyete ulaşılmıştır. Söz konusu bu maliyet, Nilson (1976) tarafından belirlenen **1564,1 ₺**'lik tasarım maliyetinden % 39 daha ekonomiktir. Daha düşük olan bu maliyet, algoritmalar tarafından, herhangi bir sınırlayıcı ihlali olmadan, öngerilme donatısının ve kiriş enkesit boyutlarının değiştirilmesi ile elde edilmiştir. Optimum tasarım sonucu elde edilen tasarım değişkenleri, şematik olarak Şekil 2.18'de sunulmaktadır.



Şekil 2.18. Elde edilen optimum çözümle teknik literatürde mevcut çözümün şematik gösterimi

Ayrıca, tasarım değişkenlerinin elde edilen optimum değerleri, Tablo 2.6'da Nilson (1976) tarafından sunulanlarla karşılaştırılmıştır.

Tablo 2.6. Optimum tasarımda elde edilen ve teknik literatürde sunulan tasarım değişkeni değerleri

Tasarım Değişkenleri	t_t	b_t	t_b	b_b	b_w	h_b	n_{ps}	n_{st}
Nilson (1976)	127	406	203	203	101	760	6	2
Optimum Tasarım (Bu çalışma)	80	250	200	150	100	900	2	2

Şekil 2.16 ve 2.17'den görülebileceği üzere, 40 birey (ya da Arı) içeren nesillerin, optimum çözüme farklı sayıda birey içeren diğer nesillerden daha geç ulaştığı

görülmektedir. Genetik Algoritma ve Yapay Arı Kolonisi Algoritmasının 80, 120, 160 ve 200 Birey ya da Arı içeren nesillerinin optimum çözüme ulaşma hızı neredeyse aynıdır. Diğer taraftan, iki algoritma için de 100 koşum sonrasında 800 ardışık yaklaşım için elde edilen ortalama, standart sapma ve optimum maliyetler Tablo 2.7’de verilmektedir.

Tablo 2.7. Sayısal Uygulama-1’in Genetik Algoritma ve Yapay Arı Koloni Algoritması koşumlarından elde edilen ortalama, standart sapma ve optimum değerler

Birey veya Arı Sayısı		40	80	120	160	200
Ortalama (₺)	Genetik Algoritma	982,05	952,09	947,97	947,71	947,27
	Yapay Arı Koloni Algoritması	950,68	947,29	946,06	946,06	945,84
Standart Sapma	Genetik Algoritma	47,42	21,04	8,22	10,05	10,03
	Yapay Arı Koloni Algoritması	18,06	10,67	1,04	1,04	0,43
Optimum Değer (₺)	Genetik Algoritma	945,84	945,84	945,84	945,84	945,84
	Yapay Arı Koloni Algoritması	945,84	945,84	945,84	945,84	945,84

Tablo 2.7’den, Genetik Algoritmayla optimum tasarımda, 40, 80, 120, 160 ve 200 bireyli tüm nesillerden elde edilen optimum maliyetlerin, Yapay Arı Koloni Algoritmasıyla elde edilenlerden daha büyük olduğu görülmektedir. Diğer bir deyişle, Yapay Arı Koloni Algoritmasıyla elde edilen optimum maliyetlerin ortalama değerlerinin, optimum çözüme daha yakın olduğu anlaşılmaktadır. Nesildeki birey sayısı arttıkça, ortalama değerler arasındaki fark azalmaktadır. Bununla birlikte, Genetik Algoritmayla elde edilen optimum maliyetlerin standart sapma değerlerinin, Yapay Arı Koloni Algoritmasıyla elde edilenlerden daha büyük olduğu görülmektedir. Bu durum da, Yapay Arı Koloni Algoritması’nın, optimum çözüme, Genetik Algoritma’dan daha iyi yakınsadığını ve arama uzayında daha iyi arama yaptığını göstermektedir. Bununla birlikte, elde edilen optimum kiriş tasarımı için, kısmen öngerilme oranı (PPR) 0,446 olarak hesaplanmıştır. Bu durum, optimum maliyetle tasarlanan kirişin, betonarmeye daha yakın davranış sergilediğini göstermektedir.

2.11.2. Sayısal Uygulama-2

İkinci sayısal uygulama olarak Saouma ve Murad (1984) tarafından içsel ceza fonksiyonu yöntemi kullanılarak optimize edilmiş I-kesitli kısmen öngerilmeli beton kiriş seçilmiş olup, bu uygulamanın diğer uygulamalardan farkı, basınç bölgesinde de betonarme donatısı bulunmasıdır. Seçilen bu problemde, belirlenen amaç fonksiyonu, çeşitli sınırlayıcılar (eğilme dayanımı, başlangıç ters sehimi, sabit yük sehimi, hareketli yük sehimi, taşıma gücü ve kesme dayanımı) dikkate alınarak, Genetik Algoritma ve Yapay Arı Koloni Algoritmasıyla, maliyet yönünden minimize edilmeye çalışılmıştır.

2.11.2.1. Amaç Fonksiyonu

Bu uygulamada amaç fonksiyonu, öngerilmeli donatı, öngerilmeli donatı kılıfı, beton ve betonarme donatısı maliyetleriyle, öngerilmeli donatının ve öngerilmeli kirişin yerleştirilmesine ilişkin işçilikleri içermektedir. Bu amaç fonksiyonu,

$$f(x) = (C_{\text{önger}} + C_{\text{kilif}} + C_{\text{öngerisci}} + C_{\text{beton}} + C_{\text{kirişyer}} + C_{\text{geleneksel}} + C_{\text{geleneksel2}}) \quad (104)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Daha önce de ifade edildiği gibi, bu uygulamada, Uygulama-1 ve 3'ten farklı olarak, maliyet optimizasyonu yapılan kirişin, basınç bölgesinde de betonarme donatısı kullanılmıştır. Bu nedenle, amaç fonksiyonuna, basınç bölgesinde bulunan betonarme donatısının maliyetini gösteren $C_{\text{geleneksel2}}$ ifadesi eklenmiştir. Buna göre, basınç bölgesinde bulunan betonarme donatısının maliyeti, n_{stb} , basınç bölgesinde bulunan betonarme donatı çubuk sayısını göstermek üzere,

$$C_{\text{geleneksel2}} = n_{\text{stb}} \cdot a_s \cdot \gamma_s \cdot BF_{\text{betonarme2}} \cdot (L + l_b) \quad (105)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Ayrıca, bu uygulamada, betonarme donatısının maliyeti hesaplanırken donatıdaki kenetlenme boyu da dikkate alınmaktadır.

2.11.2.2. Tasarım Parametreleri

Bu uygulama için Saouma ve Murad (1984) tarafından sunulan tasarım parametreleri aşağıda verilmiştir.

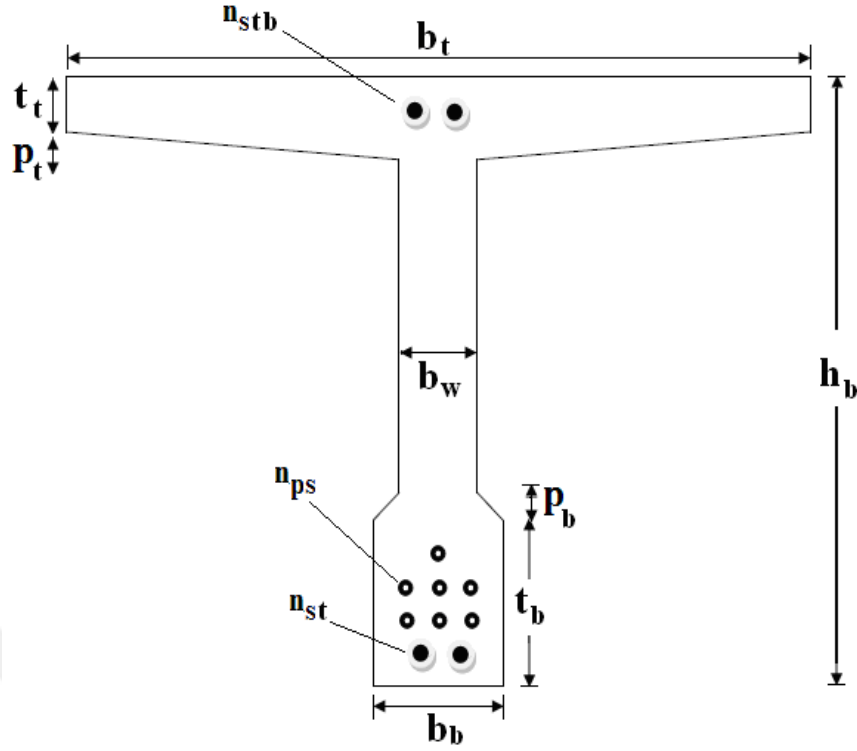
Kiriş toplam açıklığı (L).....	: 24,400 m
Öngerilmeli ve betonarme donatısı paspayı.....	: 38 mm
Donatı çeliğinin birim ağırlığı (γ_s).....	: 7,85 ton/m ³
Öngermeli beton karakteristik basınç dayanımı (f_c').....	: 34,5 MPa
Öngerme donatısı karakteristik çekme dayanımı (σ_{pu}).....	: 1725 MPa
Sünme katsayısı (C_u).....	: 1,0
Öngermeli beton kırılma dayanımı (modülü) (f_r).....	: 3,5 MPa
Öngerilme donatısının elastisite modülü (E_{ps}).....	: 207300 MPa
Betonarme donatısı akma dayanımı (f_y).....	: 414 MPa
Öngerilmeli beton elastisite modülü (E_c).....	: 27169 MPa
Betonarme donatısı elastisite modülü (E_s).....	: 200000 MPa
Öngerilmeli donatı çapı.....	: 15,24 mm
Betonarme donatısı çapı.....	: 12,7 mm
Öngerilmeli beton birim ağırlığı (γ_c).....	: 20 kN/m ³
Kapasite azaltma katsayısı (ϕ).....	: 0,9
Normal ağırlıklı beton için kullanılan katsayı (λ).....	: 1,0
Beton için malzeme katsayısı (m_c).....	: 1,5
Çelik için malzeme katsayısı (m_s).....	: 1,15
Öngerme donatısında oluşan gerilme kaybı oranı (R).....	: 0,85
Yayıllı ek sabit yük (w_{SD}).....	: 5,4 N/mm
Yayıllı hareketli yük (w_L).....	: 17,5 N/mm

2.11.2.3. Tasarım Değişkenleri

Bu uygulama için tasarım değişkenleri, kısmen öngerilmeli kirişin boyutlarıyla, öngerilmeli ve betonarme donatısı adetlerinden (çekme ve basınç bölgesinde bulunan) oluşmakta olup, toplam tasarım değişkeni sayısı 11'dir. Söz konusu tasarım değişkenleri ve optimizasyon sırasında alabilecekleri değerler Tablo 2.8'de verilmekte ve bu değişkenler enkesit üzerinde Şekil 2.19'da gösterilmektedir.

Tablo 2.8. Optimum tasarımda kullanılan tasarım değişkenleri

Tasarım Değişkeni	Değişkenler	Birimi	Alabileceği Değer Sayısı
Üst Başlık Kalınlığı (t_t)	100; 110; 120; 130; 140; 150; 160; 170; 180; 190; 200	mm	11
Üst Guse Yüksekliği (p_t)	50; 60; 70; 80; 90; 100; 125; 150	mm	8
Alt Başlık Kalınlığı (t_b)	100; 110; 120; 130; 140; 150; 160; 170; 180; 190; 200	mm	11
Alt Guse Yüksekliği (p_b)	50; 60; 70; 80; 90; 100; 125; 150	mm	8
Alt Başlık Genişliği (b_b)	150; 200; 250; 300; 350; 400; 450; 500; 550; 600; 650; 700	mm	12
Gövde Genişliği (b_w)	150; 160; 170; 180; 190; 200; 225; 250; 300; 350; 400; 450	mm	12
Kiriş Yüksekliği (h_b)	500; 550; 600; 650; 700; 750; 800; 850; 900; 950; 1000; 1050; 1100; 1150; 1200; 1250; 1300; 1350; 1400; 1450; 1500	mm	21
Öngerilme Donatı Çubuk Sayısı (n_{ps})	2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 13; 14; 15; 16; 17; 18; 19; 20; 21; 22; 23; 24; 25; 26; 27; 28; 29; 30; 31; 32; 33	adet	32
Betonarme Donatı Çubuk Sayısı (n_{st})	2; 4; 6; 8; 10; 12; 14; 16; 18; 20; 22; 24; 26; 28; 30; 32	adet	16
Betonarme Donatı Çubuk Sayısı (n_{stb})	2; 4; 6; 8; 10; 12; 14; 16; 18; 20; 22; 24; 26; 28; 30; 32	adet	16
Üst Başlık Genişliği (b_t)	1000; 1050; 1100; 1150; 1200; 1250; 1300; 1350; 1400; 1450; 1500; 1550; 1600; 1650; 1700; 1750; 1800; 1850; 1900; 1950; 2000	mm	21



Şekil 2.19. Uygulama-2'ye ilişkin tasarım değişkenleri

2.11.2.4. Sınırlayıcılar

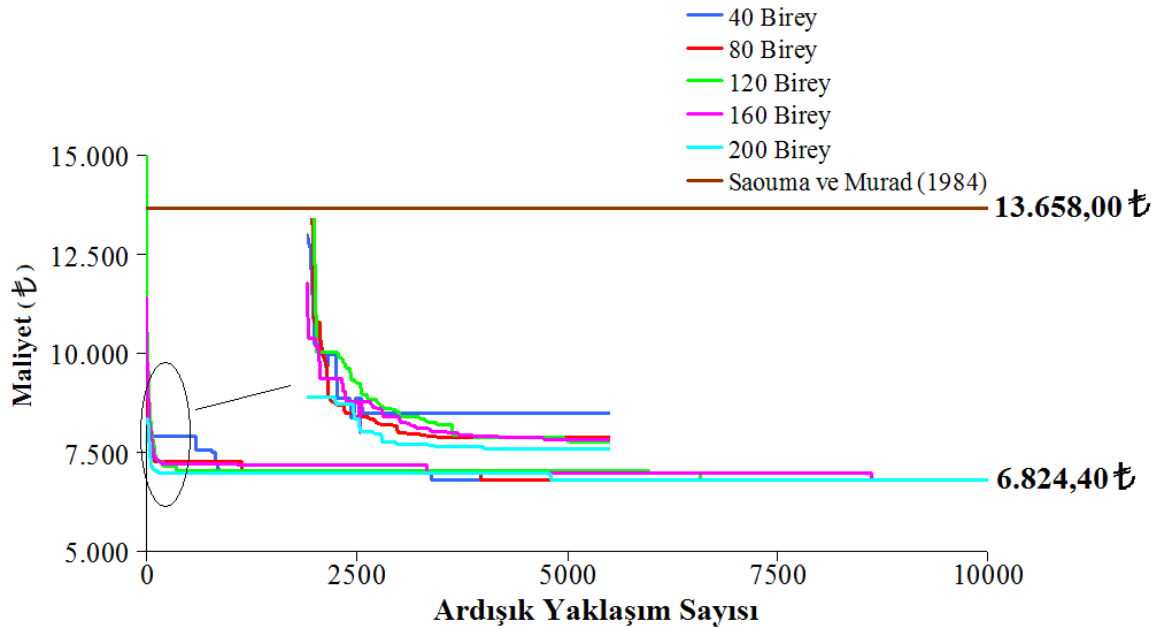
Uygulama-2 için 16 adet sınırlayıcı seçilmiş olup, bu sınırlayıcıların ilk onbeş tanesi, Uygulama-1'de kullanılmış olan sınırlayıcılarla aynı olmasından dolayı, bu kısımda yalnızca Sayısal Uygulama-1'deki sınırlayıcılara eklenen 16 nolu sınırlayıcı hakkında bilgi verilmiştir. 16 nolu sınırlayıcı ile, basınç bölgesinde bulunan betonarme donatısının, kesite uygun bir şekilde yerleşip yerleşmediği denetlenmektedir. Bu uygulamada, basınç bölgesinde bulunan betonarme donatısının en fazla 2 sraya yerleşebileceği varsayılmıştır. Buna göre, SSs_2 , optimizasyon sonucunda elde edilen betonarme donatılarının yerleşebildiği sıra sayısını ve SSs_{max2} , betonarme donatının basınç bölgesinde en fazla yerleşebileceği sıra sayısını göstermek üzere,

$$g(16) = \frac{SSs_2}{SSs_{max2}} - 1 \leq 0 \quad (106)$$

olarak ifade edilmektedir.

2.11.2.5. Genetik Algoritma ile Optimum Tasarım

Uygulama-2'nin genetik algoritmaya ilişkin yazılımı MATLAB (MATLAB, 2008) programlama dilinde oluşturulmuştur. Sınırlayıcı işleme yöntemi olarak, kendini uyarlayabilen ceza fonksiyonu kullanılmıştır. Uygulama-2'nin optimum tasarımı sırasında, nesildeki birey sayısının optimum çözüm üzerindeki etkisini belirleyebilmek için çözümler; 40, 80, 120, 160 ve 200 bireyden oluşan nesiller kullanılarak gerçekleştirilmiş ve her bir nesil için 100 bağımsız koşum yapılmıştır. Gerçekleştirilen koşumlarda, yaklaşık 10000 ardışık yaklaşım sonucunda, tüm nesiller için yakınsamanın sağlandığı belirlenmiştir. Uygulama-2'nin Genetik Algoritma ile optimizasyonu sonrasında, elde edilen toplam maliyetin ardışık yaklaşım sayısına göre değişimi, Şekil 2.20'de gösterilmiştir.

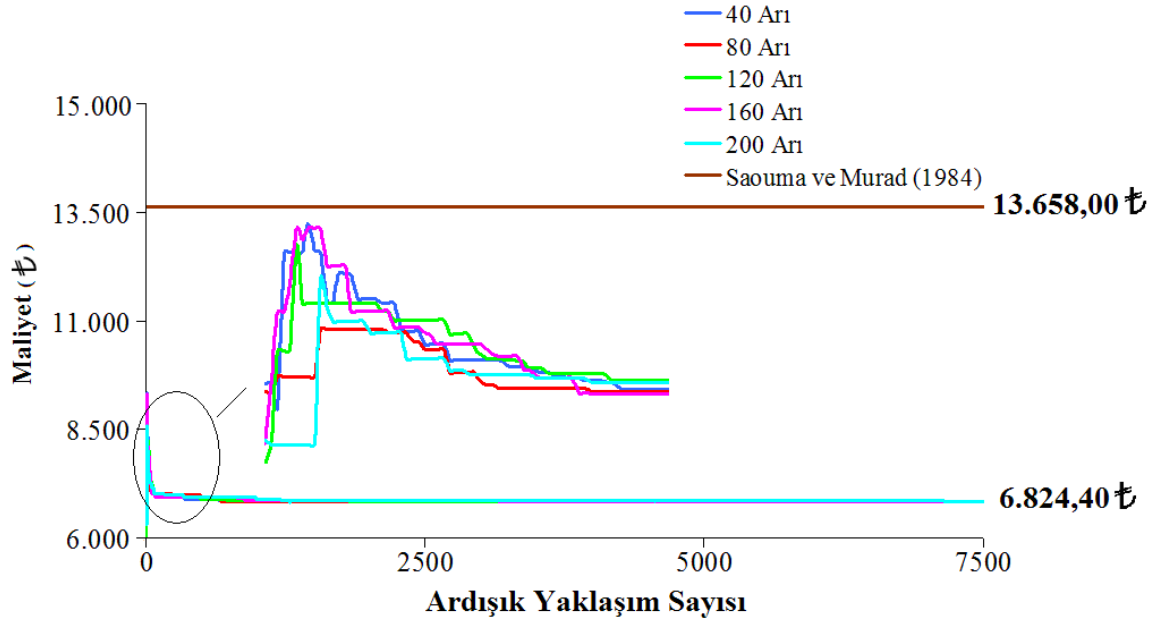


Şekil 2.20. Genetik Algoritmayla Uygulama-2'ye ilişkin optimum tasarımda her bir nesil için toplam maliyetin ardışık yaklaşım sayısı ile değişimi

2.11.2.6. Yapay Arı Koloni Algoritması ile Optimum Tasarım

Yapay Arı Koloni Algoritması'na ilişkin yazılımlar da MATLAB programlama dilinde (MATLAB, 2008) gerçekleştirilmiştir. Nesildeki birey sayısının, optimum çözüm üzerindeki etkisini belirleyebilmek için çözümler; 40, 80, 120, 160 ve 200 arıdan oluşan

nesiller kullanılarak gerçekleştirilmiş ve her bir nesil için 100 bağımsız koşum yapılmıştır. Gerçekleştirilen koşumlarda, yaklaşık 7500 ardışık yaklaşım sonucunda tüm nesiller için yakınsamanın sağlandığı belirlenmiştir. Uygulama 2'nin Yapay Arı Koloni Algoritması ile optimizasyonu sonrasında, elde edilen toplam maliyetin ardışık yaklaşım sayısına göre değişimi, Şekil 2.21'de gösterilmiştir.



Şekil 2.21. Yapay Arı Koloni Algoritmasıyla Uygulama-2'ye ilişkin optimum tasarımda her bir nesil için toplam maliyetin ardışık yaklaşım sayısına göre değişimi

Bu sayısal uygulamada da, Yapay Arı Koloni Algoritması'nın 40, 80, 120, 160 ve 200 arıdan oluşan nesiller kullanılarak gerçekleştirilen koşullarındaki denetim parametreleri; MR için 0,1 ile 0,9 arasında 0,1 artımlarla 9 farklı değer, LIMIT için $0,1 \times SN \times D$, $0,5 \times SN \times D$, $SN \times D$, $2 \times SN \times D$, $4 \times SN \times D$ ile hesaplanan 5 farklı değer ve SPP için yine $0,1 \times SN \times D$, $0,5 \times SN \times D$, $SN \times D$, $2 \times SN \times D$, $4 \times SN \times D$ değerlerinin kombinasyonlarının denenmesi sonucunda, optimum çözümü veren en uygun denetim parametreleri $MR=0,9$, $SPP=0,5 \times SN \times D$ ve $LIMIT=0,5 \times SN \times D$ olarak belirlenmiştir.

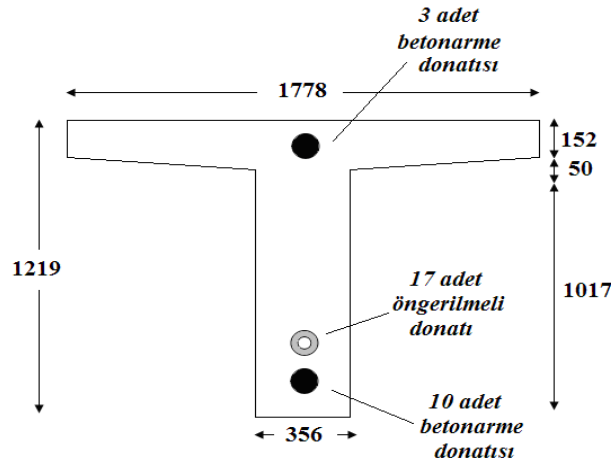
2.11.2.7. Algoritmalarından Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması

Genetik Algoritma'nın ve Yapay Arı Kolonisi Algoritması'nın ayrı olarak Uygulama-2'de uygulanmasının sonucunda; 40, 80, 120, 160 ve 200 Birey (veya Arı) içeren nesillerin hepsinde, **6.824,40 ₺** optimum maliyete ulaşılmıştır. Söz konusu bu

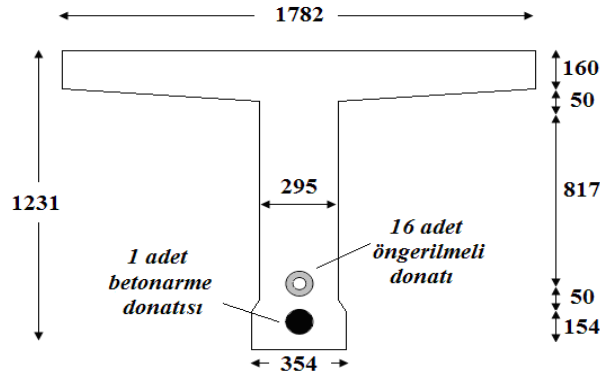
maliyet, Saouma ve Murad (1984) tarafından elde edilen **13.658,00 ₺**'lik tasarım maliyetinden % 50 daha ekonomiktir. Daha düşük olan bu maliyet, algoritmalar tarafından, herhangi bir sınırlayıcı ihlali olmadan önerilme donatısının azaltılması, bazı kiriş enkesit boyutlarının değiştirilmesi ve basınç bölgesinde betonarme donatısı kullanımına izin verilmesi sonucunda elde edilmiştir. Optimum tasarım sonucu elde edilen tasarım değişkenleri, Tablo 2.9'da, Saouma ve Murad (1984) tarafından sunulanlarla karşılaştırılmış ve Şekil 2.22'de bu değerler şematik şekiller üzerinde verilmiştir.

Tablo 2.9. Optimum tasarımda elde edilen ve teknik literatürde verilen değişken değerleri

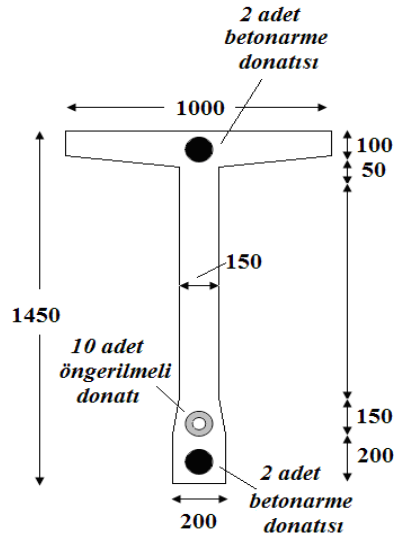
Tasarım Değişkenleri	t_t	p_t	t_b	p_b	b_b	b_w	h_b	n_{ps}	n_{st}	n_{stb}	b_t
Saouma ve Murad (Başlangıç Tasarım) (1984)	152	50	152	-	356	356	1219	17	10	3	1778
Saouma ve Murad (Optimum Tasarım) (1984)	160	50	154	50	354	295	1231	16	1	0	1782
Optimum Tasarım (Bu Çalışma)	100	50	200	150	200	150	1450	10	2	2	1000





Saouma ve Murad (1984) (Başlangıç Tasarım)



Saouma ve Murad (1984) (Optimum Tasarım)



Bu çalışmada elde edilen optimum çözüm

 Öngerme donatısı
 Betonarme donatısı
 Bütün ölçüler mm. cinsindedir.

Şekil 2.22. Optimum tasarımda elde edilenlerle teknik literatürde mevcut tasarım değişkenlerinin şematik olarak gösterilmesi

Şekil 2.20 ve 2.21’den görülebileceği üzere, Genetik Algoritma’da 40 bireyli nesiller, farklı sayıda birey içeren diğer nesillerden daha geç olarak optimum çözüme ulaşmıştır. Yapay Arı Koloni Algoritması’nda ise farklı sayıda birey içeren nesillerin optimum çözüme neredeyse aynı anda ulaştığı görülmektedir. Diğer taraftan, iki algoritma için de 100 koşum sonrasında 10000 ardışık yaklaşım için elde edilen optimum çözümlerin ortalama, standart sapmaları ve optimum maliyet değerleri, Tablo 2.10’da verilmektedir.

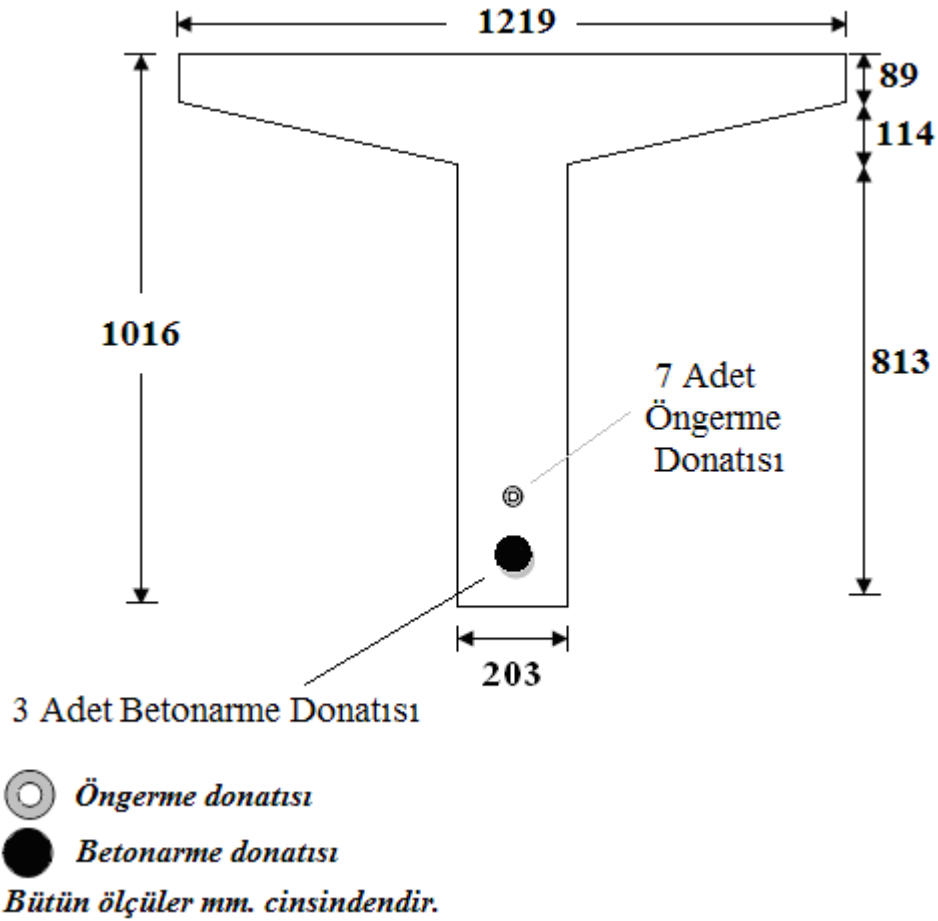
Tablo 2.10. Genetik Algoritma ve Yapay Arı Koloni Algoritmasıyla 100 koşum sonucunda elde edilen çözümlerin ortalama, standart sapma ve optimum değerleri

Birey ve Arı Sayısı		40	80	120	160	200
Ortalama (₺)	Genetik Algoritma	7.061,27	7.012,48	6.970,10	6.874,69	6.862,30
	Yapay Arı Koloni Algoritması	6.857,10	6.835,04	6.831,83	6.829,05	6.826,26
Standart Sapma	Genetik Algoritma	144,33	71,84	67,97	63,76	54,75
	Yapay Arı Koloni Algoritması	22,33	21,40	9,33	8,25	5,72
Optimum Değer (₺)	Genetik Algoritma	6.824,40	6.824,40	6.824,40	6.824,40	6.824,40
	Yapay Arı Koloni Algoritması	6.824,40	6.824,40	6.824,40	6.824,40	6.824,40

Tablo 2.10’den görülebileceği üzere, Genetik Algoritmayla optimum tasarımda, tüm nesillerden elde edilen optimum maliyetlerin ortalama değerlerinin, Yapay Arı Koloni Algoritmasıyla elde edilenlerden daha büyük olduğu görülmektedir. Diğer bir deyişle, Yapay Arı Koloni Algoritmasıyla elde edilen optimum maliyetlerin ortalama değerlerinin, optimum çözüme Genetik Algoritmayla elde edilenlerden daha yakın olduğu anlaşılmaktadır. Bununla birlikte, Genetik Algoritmayla elde edilen optimum maliyetlerin standart sapma değerlerinin Yapay Arı Koloni Algoritmasıyla elde edilenlerden daha büyük olduğu görülmektedir. Yapılan bu karşılaştırma, Yapay Arı Koloni Algoritması’nın, optimum çözüme, Genetik Algoritma’dan daha iyi yakınsadığını ve çözüm uzayında daha iyi arama yaptığını göstermektedir. Bununla birlikte, elde edilen optimum kiriş tasarımı için, kısmen öngerilme oranı (PPR) 0,9638 olarak hesaplanmıştır. Bu durum, optimum maliyetle tasarlanan kirişin, öngerilmeli betona daha yakın davranış sergilediğini göstermektedir.

2.11.3. Sayısal Uygulama-3

Bu uygulamada, Naaman ve Siriaksorn (1979a) tarafından tasarım örneği olarak sunulan kısmen öngerilmeli beton T enkesitli kirişin optimum tasarımı gerçekleştirilmiştir. Şekil 2.23'te, söz konusu kısmen öngerilmeli kirişin Naaman ve Siriaksorn (1979a) tarafından elde edilen optimum enkesit tasarımı gösterilmektedir.



Şekil 2.23. Kirişin Naaman ve Siriaksorn tarafından elde edilen optimum enkesit tasarımı (Naaman ve Siriaksorn, 1979a).

2.11.3.1. Amaç Fonksiyonu

Bu uygulamada amaç fonksiyonu, öngerilmeli donatı, öngerilmeli donatı kılıfı, beton ve betonarme donatısı maliyetleriyle, öngerilmeli donatının ve öngerilmeli kirişin yerleştirilmesine ilişkin işçilikleri içermektedir. Bu amaç fonksiyonu,

$$f(x) = C_{\text{önger}} + C_{\text{kilif}} + C_{\text{öngerisci}} + C_{\text{beton}} + C_{\text{kirisyer}} + C_{\text{geleneksel}} \quad (107)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

2.11.3.2. Tasarım Parametreleri

Bu uygulama için Naaman ve Siriakson (1979a) tarafından kullanılan tasarım parametreleri aşağıda verilmektedir.

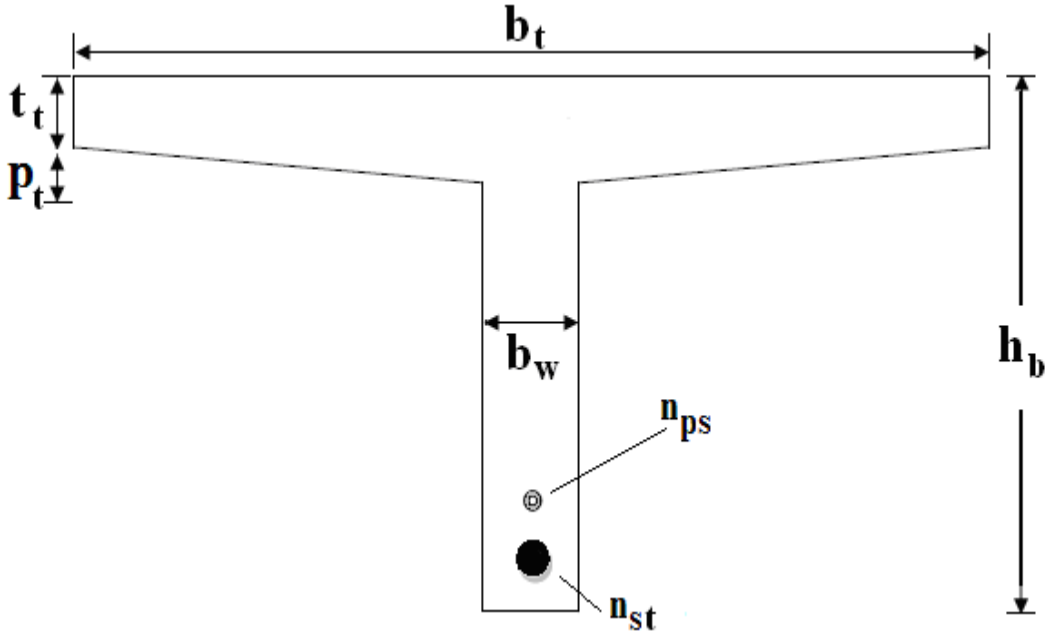
Kiriş toplam açıklığı (L).....	: 21,350 m
Öngerilmeli ve betonarme donatı paspayı.....	: 38 mm
Donatı çeliğinin birim ağırlığı (γ_s).....	: 7,85 ton/m ³
Öngermeli beton karakteristik basınç dayanımı (f_c').....	: 34,475 MPa
Öngerme donatısı karakteristik çekme dayanımı (σ_{pu}).....	: 1861 MPa
Sünme katsayısı (C_u).....	: 2,0
Öngermeli beton kırılma dayanımı (modülü) (f_r).....	: 3,5 MPa
Öngerilme donatısının elastisite modülü (E_{ps}).....	: 186165 MPa
Betonarme donatısı akma dayanımı (f_y).....	: 414 MPa
Öngerilmeli beton elastisite modülü (E_c).....	: 29560 MPa
Betonarme donatısı elastisite modülü (E_s).....	: 200000 MPa
Öngerilmeli donatı çapı.....	: 11,11 mm
Betonarme donatısı çapı.....	: 22,22 mm
Öngerilmeli beton birim ağırlığı (γ_c).....	: 20 kN/m ³
Kapasite azaltma katsayısı (\emptyset).....	: 0,9
Normal ağırlıklı beton için kullanılan katsayı (λ).....	: 1,0
Beton için malzeme katsayısı (m_c).....	: 1,5
Çelik için malzeme katsayısı (m_s).....	: 1,15
Öngerme donatısında oluşan gerilme kaybı oranı (R).....	: 0,85
Yayıllı ek sabit yük (w_{SD}).....	: 0,58 N/mm
Yayıllı hareketli yük (w_L).....	: 5,84 N/mm

2.11.3.3. Tasarım Değişkenleri

Bu uygulamada, kısmen öngermeli kirişin boyutları, öngermeli ve betonarme donatısı adetlerinden oluşan 11 adet tasarım değişkeni dikkate alınmıştır. Söz konusu tasarım değişkenleri ve optimizasyon sırasında alabilecekleri değerler Tablo 2.11’de verilmekte ve bu değişkenler enkesit üzerinde Şekil 2.24’te gösterilmektedir.

Tablo 2.11. Optimum tasarımda kullanılan tasarım değişkenleri

Tasarım Değişkeni	Değişkenler	Birimi	Alabileceği Değer Sayısı
Üst Başlık Kalınlığı (t_t)	100; 110; 120; 130; 140; 150; 160; 170; 180; 190; 200	mm	11
Üst Guse Yüksekliği (p_t)	50; 60; 70; 80; 90; 100; 125; 150	mm	8
Gövde Genişliği (b_w)	150; 160; 170; 180; 190; 200; 225; 250; 300; 350; 400; 450	mm	12
Kiriş Yüksekliği (h_b)	500; 550; 600; 650; 700; 750; 800; 850; 900; 950; 1000; 1050; 1100; 1150; 1200; 1250; 1300; 1350; 1400; 1450; 1500	mm	21
Öngertilme Donatı Çubuk Sayısı (n_{ps})	2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 13; 14; 15; 16; 17; 18; 19; 20; 21; 22; 23; 24; 25; 26; 27; 28; 29; 30; 31; 32; 33	adet	32
Betonarme Donatı Çubuk Sayısı (n_{st})	2; 4; 6; 8; 10; 12; 14; 16; 18; 20; 22; 24; 26; 28; 30; 32	adet	16
Üst Başlık Genişliği (b_t)	1000; 1050; 1100; 1150; 1200; 1250; 1300; 1350; 1400; 1450; 1500; 1550; 1600; 1650; 1700; 1750; 1800; 1850; 1900; 1950; 2000	mm	21



Şekil 2.24. Uygulama-3'e ilişkin tasarım değişkenleri

2.11.3.4. Sınırlayıcılar

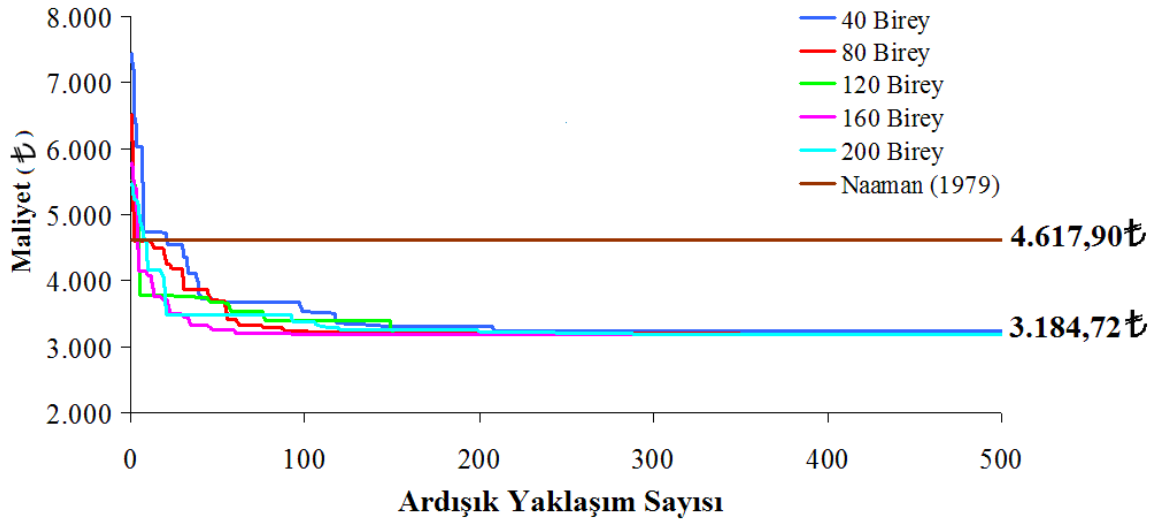
Uygulama 3'ün optimum tasarımında 13 adet sınırlayıcı seçilmiştir. Bunların ilk 12'si, ilk sayısal uygulamada kullanılan sınırlayıcılarla aynıdır. Ek olarak bu uygulamada, 13 nolu sınırlayıcı ile, gövde yüksekliği boyunca, öngerilmeli ve betonarme donatılarının, gövde yüksekliği dışına taşmadan sığması denetlenmektedir. Buna göre, 13 nolu sınırlayıcı, h_{wmin} , seçilen donatıların yerleşebileceği minimum gövde yüksekliğini ve h_w , kiriş gövde yüksekliğini göstermek üzere,

$$g(13) = \frac{h_{wmin}}{h_w} - 1 \leq 0 \quad (108)$$

olarak ifade edilmektedir.

2.11.3.5. Genetik Algoritma ile Optimum Tasarım

Uygulama-3'ün genetik algoritmaya ilişkin yazılımı, diğer uygulamalarda olduğu gibi MATLAB (MATLAB, 2008) programlama dilinde oluşturulmuştur. Sınırlayıcı işleme yöntemi olarak, kendini uyarlayabilen ceza fonksiyonu yöntemi kullanılmıştır. Uygulama-3'ün optimum tasarımı sırasında, nesildeki birey sayısının optimum çözüm üzerindeki etkisini belirleyebilmek için çözümler; 40, 80, 120, 160 ve 200 bireyden oluşan nesiller kullanılarak gerçekleştirilmiş ve her bir nesil için 100 bağımsız koşum yapılmıştır. Gerçekleştirilen koşumlarda, yaklaşık 500 ardışık yaklaşım sonucunda, tüm nesiller için yakınsamanın sağlandığı belirlenmiştir. Uygulama 3'ün Genetik Algoritma ile optimizasyonu sonrasında, elde edilen toplam maliyetin ardışık yaklaşım sayısına göre değişimi, Şekil 2.25'te gösterilmiştir.

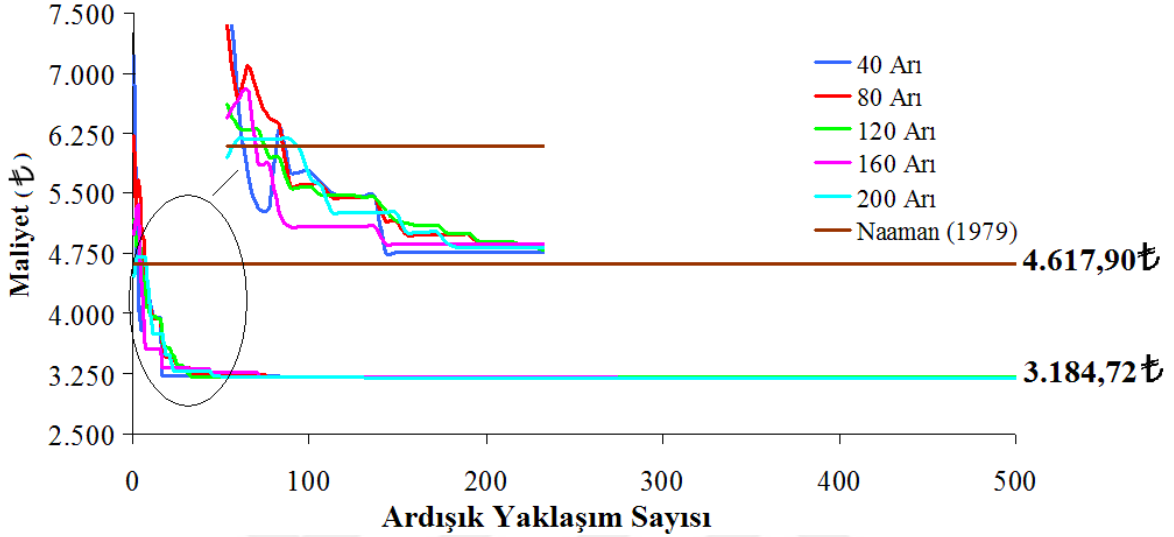


Şekil 2.25. Genetik Algoritmayla Uygulama-3'e ilişkin optimum tasarımda her bir nesil için toplam maliyetin ardışık yaklaşım sayısı ile değişimi

2.11.3.6. Yapay Arı Koloni Algoritması ile Optimum Tasarım

Yapay Arı Koloni algoritmasına ilişkin yazılımlar da MATLAB programlama dilinde (MATLAB, 2008) gerçekleştirilmiştir. Nesildeki birey sayısının, optimum çözüm üzerindeki etkisini belirleyebilmek için çözümler; 40, 80, 120, 160 ve 200 arıdan oluşan nesiller kullanılarak gerçekleştirilmiş ve her bir nesil için 100 bağımsız koşum yapılmıştır. Gerçekleştirilen koşumlarda, yaklaşık 500 ardışık yaklaşım sonucunda, tüm nesiller için

yakınsamanın sağlandığı belirlenmiştir. Uygulama 3'ün Yapay Arı Koloni Algoritması ile optimizasyonu sonrasında, elde edilen toplam maliyetin ardışık yaklaşım sayısına göre değişimi, Şekil 2.26'da verilmektedir.



Şekil 2.26. Yapay Arı Koloni Algoritmasıyla Uygulama-3'e ilişkin optimum tasarımda her bir nesil için toplam maliyetin ardışık yaklaşım sayısı ile değişimi

Bu uygulamada da, Yapay Arı Koloni Algoritması'nın 40, 80, 120, 160 ve 200 arıdan oluşan nesilleri için, önceki uygulamalarda belirtilmiş olan MR, LIMIT ve SPP değerlerinin kombinasyonlarının denenmesi sonucunda, optimum çözümü veren en uygun denetim parametrelerinin $MR=0,9$, $SPP=0,5 \times SN \times D$ ve $LIMIT=0,5 \times SN \times D$ olduğu belirlenmiştir.

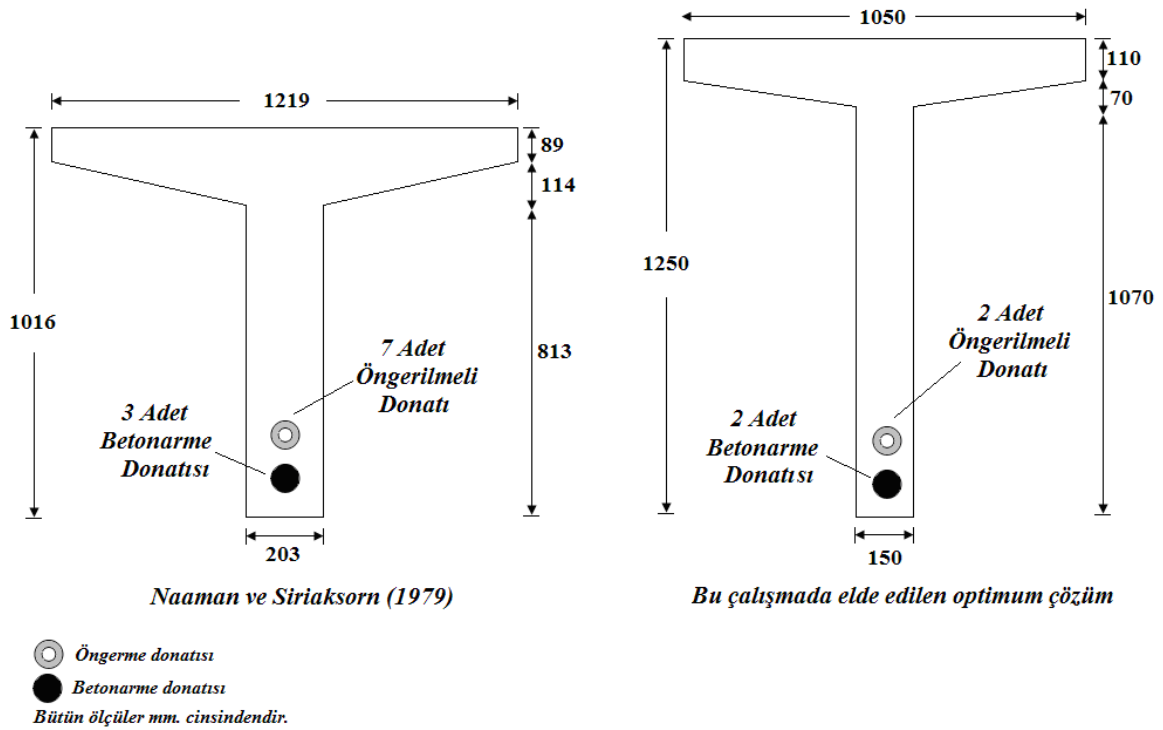
2.11.3.7. Algoritmalarından Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması

Genetik Algoritma'nın ve Yapay Arı Kolonisi Algoritması'nın ayrı olarak Sayısal Uygulama-3'te kullanılmasının sonucunda; 40, 80, 120, 160 ve 200 birey (veya Arı) içeren nesillerin, 40 bireyli Genetik Algoritma nesli hariç, tümünde **3.184,72 ₺** optimum maliyete ulaşılmıştır. Söz konusu bu maliyet, Naaman ve Siriaksorn (1979a) tarafından sunulmuş olan **4.167,90 ₺**'lik tasarım maliyetinden % 23 daha ekonomiktir. Daha düşük olan bu maliyet, algoritmalar tarafından, herhangi bir sınırlayıcı ihlali olmadan önerilme donatısının azaltılması ve bazı giriş enkesit boyutlarının değiştirilmesi sonucunda elde edilmiştir. Optimum tasarım sonucu elde edilen tasarım değişkenleri, Tablo 2.12'de,

Naaman ve Siriaksorn (1979a) tarafından sunulanlarla karşılaştırılmış ve Şekil 2.27’de bu değerler şematik şekiller üzerinde verilmiştir.

Tablo 2.12. Optimum tasarımda elde edilen ve teknik literatürde verilen değişken değerleri

Tasarım Değişkenleri	t_t	p_t	b_w	h_b	n_{ps}	n_{st}	b_t
Naaman ve Siriaksorn (1979a)	89	114	203	1016	7	3	1219
Optimum Tasarım (Bu Çalışma)	110	70	150	1250	2	2	1050



Şekil 2.27. Optimum tasarımda elde edilenlerle teknik literatürde verilen tasarım değişkenlerinin şematik olarak gösterimi

Şekil 2.25 ve 2.26’den, Genetik Algoritma’nın Yapay Arı Koloni Algoritması’ndan daha geç optimum çözüme ulaştığı görülmektedir. İki algoritma için de 100 koşum sonrasında 500 ardışık yaklaşım için elde edilen optimum çözümlerin ortalama, standart sapmaları ve optimum maliyet değerleri, Tablo 2.13’te verilmektedir.

Tablo 2.13. Genetik Algoritma ve Yapay Arı Koloni Algoritmasıyla 100 koşum sonucunda elde edilen optimum çözümlerin ortalama, standart sapma ve optimum değerleri

Birey ve Arı Sayısı		40	80	120	160	200
Ortalama (₺)	Genetik Algoritma	3.645,96	3.354,57	3.241,85	3.202,52	3.188,38
	Yapay Arı Koloni Algoritması	3.215,90	3.196,82	3.191,85	3.186,92	3.185,45
Standart Sapma	Genetik Algoritma	154,72	123,18	89,10	14,07	6,51
	Yapay Arı Koloni Algoritması	116,66	10,01	8,41	5,37	3,28
Optimum Değer(₺)	Genetik Algoritma	3.229,78	3.184,72	3.184,72	3.184,72	3.184,72
	Yapay Arı Koloni Algoritması	3.184,72	3.184,72	3.184,72	3.184,72	3.184,72

Tablo 2.13'ten görülebileceği üzere, Genetik Algoritmayla optimum tasarımda, tüm nesillerden elde edilen optimum maliyetlerin ortalama değerlerinin, Yapay Arı Koloni Algoritmasıyla elde edilenlerden daha büyük olduğu görülmektedir. Diğer bir deyişle, Yapay Arı Koloni Algoritmasıyla elde edilen optimum maliyetlerin ortalama değerlerinin, optimum çözüme Genetik Algoritmadan elde edilenlerden daha yakın olduğu anlaşılmaktadır. Bununla birlikte, Genetik Algoritmayla elde edilen optimum maliyetlerin standart sapma değerlerinin, Yapay Arı Koloni Algoritmasıyla elde edilenlerden daha büyük olduğu görülmektedir. Yapılan bu karşılaştırma, Yapay Arı Koloni Algoritması'nın, Genetik Algoritma'dan daha iyi optimum çözüme yakınsadığını ve çözüm uzayında daha iyi arama yaptığını göstermektedir. Bununla birlikte, elde edilen optimum kiriş tasarımı için kısmen önerilme oranı (PPR) 0,5710 olarak hesaplanmıştır. Bu durum, optimum maliyetle tasarlanan kirişin, betonarme kiriş davranışına daha yakın davranış sergilediğini göstermektedir.

3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmanın temel amacı, kısmen öngerilmeli beton kirişlerin minimum maliyetle tasarımlarını, Yapay Arı Koloni Algoritması ve Genetik Algoritmayı kullanarak gerçekleştirmektir.

Bu amaçla, çalışmanın birinci bölümünde, köprüler ile ilgili genel bilgiler verilmiş, bunu takiben kısmen öngerilmeli betonun tarihçesi, tanımı, üstünlük ve sakıncaları, kısmen öngerilmeli betonla ilgili daha önce yapılan çalışmalar ve yapısal optimizasyona ilişkin bilgiler verilmiştir.

İkinci bölümde Yapay Arı Koloni Algoritması ve Genetik Algoritma üzerinde durulmuş, kısmen öngerilmeli beton kirişlerin tasarımı için teknik literatürde yer alan matematiksel ifadeler derlenmiş, örnek uygulama olarak seçilen kısmen öngerilmeli beton kirişli köprülerin, optimum tasarımı için amaç fonksiyonu, tasarım değişkenleri ve sınırlayıcılara ilişkin matematiksel ifadeler oluşturulmuştur. Bu matematiksel ifadeler kullanılarak sözkonusu algoritmalarla, örnek uygulama problemlerinin minimum maliyetli tasarımı gerçekleştirilmiş, elde edilen bulgular, daha önce yapılmış olan çalışmaların geleneksel ve optimum tasarım bulgularıyla karşılaştırılmıştır.

Çalışmanın bütününden çıkarılabilecek başlıca sonuç ve öneriler aşağıda özetlenmektedir.

- ✓ MATLAB programlama dilinde, kısmen öngerilmeli beton kirişlerin, Yapay Arı Koloni Algoritması ve Genetik Algoritmayla optimum tasarımını yapabilen yazılımlar hazırlanmıştır. Söz konusu bu yazılımlar, gerçekleştirilen her bir sayısal uygulamanın tipik özellikleri için ayrı ayrı oluşturulmuş ve bağımsız koşulları gerçekleştirilmiştir.
- ✓ Yapılan araştırmalar neticesinde, kısmen öngerilmeli beton yapı tekniğinin, henüz Türkiye'deki köprü üstyapı kirişlerinde kullanılmadığı belirlenmiştir. Bu nedenle, bu çalışmanın, kısmen öngerilmeli beton yapı tekniğinin köprü üstyapısı kirişlerine uygulanabilirliğinin gösterilmesi, ülkemizde kullanımının yaygınlaştırılması ve ülke ekonomisine katkı sağlanması bakımından faydalı olacağı düşünülmektedir.
- ✓ Kısmen öngerilmeli beton tekniğinin, kirişlerin yapısal optimizasyonlarında uygulanabilirliğini göstermek amacıyla, farklı özelliklere sahip üç farklı sayısal uygulama gerçekleştirilmiştir. Birinci sayısal uygulamada, daha önce kısmen

öngerilmeli beton tekniği kullanılarak tasarımı yapılmış bir kirişin, yukarıda belirtilen algoritmalarla minimum maliyetli optimum tasarımı gerçekleştirilmiştir. İkinci sayısal uygulamada, daha önce kısmen öngerilmeli beton tekniği kullanılarak tasarlanmış ve basınç bölgesinde betonarme donatısı içeren bir kirişin, söz konusu algoritmalar kullanılarak, optimum tasarımı yapılmıştır. Üçüncü uygulamada ise, kısmen öngerilmeli beton T-enkesitli bir kirişin, optimum tasarımı gerçekleştirilmiştir.

- ✓ Tüm sayısal uygulamalar için, nesildeki birey sayısının optimum çözüm üzerindeki etkisini belirleyebilmek için çözümler; 40, 80, 120, 160 ve 200 birey ya da arıdan oluşan nesiller kullanılarak gerçekleştirilmiş ve her bir nesil için 100 bağımsız koşum yapılmıştır. Bunun sonucunda, tüm uygulamaların 40, 80, 120, 160 ve 200 birey ya da arıdan oluşan nesillerinden, Genetik Algoritma ya da Yapay Arı Koloni Algoritması kullanılarak elde edilen optimum maliyet değerlerinin aynı değere ulaştığı görülmektedir. Ayrıca, üçüncü sayısal uygulamadaki Genetik Algoritma kullanılarak, 40 bireyle yapılan optimum tasarımda, optimum sonuca ulaşamamıştır. Uygulama-3'teki bu durum, Yapay Arı Koloni Algoritmasının Genetik Algoritmadan her koşul altında daha etkin bir arama yaptığını göstermektedir.
- ✓ Tüm sayısal uygulamaların 100 bağımsız koşumu sonrasında, herbir koşum için elde edilen optimum değerlerinin ortalama ve standart sapma değerleri karşılaştırıldığında; Genetik Algoritmayla elde edilen optimum çözümlerin ortalama ve standart sapma değerlerinin, Yapay Arı Koloni Algoritması kullanılarak elde edilenlerden daha büyük olduğu sonucuna varılmıştır. Bu durum, Yapay Arı Koloni Algoritması'nın, optimum çözüme, Genetik Algoritma'dan daha iyi yakınsadığını ve daha iyi arama yaptığını göstermektedir.
- ✓ Gerçekleştirilen tüm sayısal uygulamalarda, teknik literatürdeki tasarımlardan daha ekonomik tasarımlar, herhangi bir sınırlayıcı ihlali olmaksızın belirlenmiştir. Birinci uygulamada maliyet, 1564,1 ₺'den 945,8 ₺'ye azaltılarak % 39, ikinci uygulamada maliyet, 13.658,00 ₺'den 6.824,40 ₺'ye azaltılarak %50 ve son olarak üçüncü uygulamada ise maliyet, 4.167,90 ₺'den 3.184,72 ₺'ye azaltılarak %23 daha ekonomik sonuçlar elde edilmiştir. Bu maliyet azalışının en önemli nedenlerinden bir tanesinin, toplam maliyette büyük payı olan öngerilmeli donatının ve buna bağlı olarak donatı işçiliğinin azaltılması olduğu sonucuna varılmıştır. Diğer taraftan, bazı

özel koşullarda çatlak oluşumuna izin verilmesi de kısmen önerilmeli beton tekniği ile üretilen kirişlerin daha ekonomik olmasını sağladığı anlaşılmaktadır.

- ✓ Tüm sayısal uygulamalar için, Genetik Algoritma ve Yapay Arı Koloni Algoritması ile elde edilen optimum çözümlerin, kısmen önerilme oranları (PPR) belirlenmiştir. Bunlar; Sayısal Uygulama-1 için 0,446, Sayısal Uygulama-2 için 0,964 ve son olarak da Sayısal Uygulama-3 için 0,571 olarak belirlenmiştir. Bu durum, Sayısal Uygulama-1 ve 3'ün betonarme kiriş davranışına, Sayısal Uygulama-2'nin ise önerilmeli kiriş davranışına daha yakın davranış sergilediğini göstermektedir. Diğer bir deyişle, maliyet bakımından optimum kısmen önerilme oranının, problemin türüne göre farklı değerler aldığı anlaşılmaktadır.
- ✓ Tüm sayısal uygulamaların, Yapay Arı Koloni Algoritması için, 40, 80, 120, 160 ve 200 arıdan oluşan nesiller kullanılarak gerçekleştirilen koşullarında, algoritma denetim parametreleri olarak; MR için 0,1 ile 0,9 arasında, 0,1 artımlarla 9 farklı değer, LIMIT için 0,1xSNxD, 0,5xSNxD, SNxD, 2xSNxD, 4xSNxD ile hesaplanan 5 farklı değer ve SPP için yine 0,1xSNxD, 0,5xSNxD, SNxD, 2xSNxD, 4xSNxD değerlerinin birleşimleri denenmiş ve en optimum çözümü veren denetim parametreleri belirlenmeye çalışılmıştır. Bunun sonucunda, optimum çözümü gerçekleştirilen uygulamalar için, MR denetim parametresi için 0,7 ve 0,9 değerleriyle, SPP ve LIMIT denetim parametreleri için ise, 0,1xSNxD ve 0,5xSNxD ile hesaplanan değerlerle, optimum çözümlere daha hızlı ulaşılabildiği belirlenmiştir.
- ✓ Uygulama-1 ve 2 için, 40 Birey (veya Arı) içeren nesillerin, optimum çözüme farklı sayıda birey içeren diğer nesillerden daha geç ulaştığı sonucuna varılmış olup, Genetik Algoritma ve Yapay Arı Kolonisi Algoritmasının 80, 120, 160 ve 200 Birey (veya Arı) içeren nesillerinin optimum çözüme ulaşma hızı neredeyse aynıdır. Uygulama-3 için de, Genetik Algoritma'nın Yapay Arı Koloni Algoritması'ndan daha geç optimum çözüme ulaştığı belirlenmiştir.

Özetle bu çalışma, kısmen önerilmeli beton yapı teknikleriyle tasarlanmış olan T ve I enkesite sahip kirişlerin optimum tasarımlarının, Yapay Arı Koloni Algoritması ve Genetik Algoritmayla gerçekleştirilebileceğini ve elde edilen optimum tasarım maliyetinin geleneksel yöntemle tasarlanan kirişlerinkinden ihmal edilemeyecek derecede düşük olduğunu göstermiştir. Ancak, elde edilen bu sonuçlar, çalışmamıza konu olan önerilmeli kirişler ve kullanılan algoritmalar için geçerlidir. Bu sonuçların genellenebilmesi için, benzer çalışmaların daha farklı kirişler üzerinde de yapılması gerekmektedir.

Gerçekleştirilen çalışmanın geliştirilmesi bakımından, çatlak genişliğinin de bir sınırlayıcı olarak dikkate alınmasının ve kompozit kesit hesabının da yapılarak optimum tasarımda göz önünde bulundurulmasının uygun olacağı düşünülmektedir. Diğer taraftan, bu çalışmada elde edilen optimum tasarımların, deneysel olarak denetlenmesi ve bu tür kirişlerin, tersinir tekrarlanır yükler altındaki yorulma davranışlarının da belirlenmesinde yarar bulunmaktadır. Bu konular, bu çalışmanın devam ettirilmesini sağlayabilecektir.



4. KAYNAKLAR

- AASHTO, 2002. Standard Specifications for Highway Bridges, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C.
- AASHTO LRFD, 2007. Bridge Design Specifications, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C.
- Abeles, P., W., 1940. Saving Reinforcement by Prestressing, Concrete and Constructional Engineering, 35, 7, 328-333.
- Abeles, P., W., 1945. Fully and Partly Prestressed Concrete, ACI Journal Proceedings, 41, 1, 181-216.
- Abeles, P., W., 1954. Static and Fatigue Tests on Partially Prestressed Concrete Constructions, ACI Journal Proceedings, 51, 12, 361-376.
- Abeles, P., W., 1967. Design of Partially Prestressed Concrete Beams, ACI Journal, 64, 10, 669-677.
- Abeles, P., W., 1971. Partial Prestressing and Its Suitability for Limit State Design, The Structural Engineer, 49, 2, 67-86.
- Abeles, P., W. ve Kung, R., 1973. Prestress Losses due to the Effect of Shrinkage and Creep on Non-tensioned Steel, ACI Journal Proceedings, 70, 1, 19-27.
- Abeles, P., W., Brown, E., I. ve Hu, C., H., 1974. Behavior of Under-Reinforced Prestressed Concrete Beams Subjected to Different Stress Ranges, ACI Special Publication, 41, 279-300.
- Abeles, P., W., 1979. Philosophy of Design of Partial Prestressing, ACI Special Publication, 59, 287-304.
- Abdalla, J., A., Elsanosi, A. ve Abdelwahab, A., 2007. Modeling and Simulation of Shear Resistance of R/C Beams using Artificial Neural Network, Journal of the Franklin Institute, 344, 5, 741-756.
- Abul-Feilat, E., A., 1991. Optimum Design of Continuous Partially Prestressed Concrete Beams, Master of Science Thesis, King Fahd University of Petroleum and Minerals, Civil Engineering Department, Dhahran.
- ACI, 2002. Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318M-02) and Commentary (ACI 318RM-02), USA.
- Adeli, H. ve Cheng, N., 1993. Integrated Genetic Algorithm for Optimization of Space Structures, Journal of Aerospace Engineering, 6, 4, 315-328.

- Agrawal, G. ve Bhattacharya, B., 2010. Partial Safety Factor Design of Rectangular Partially Prestressed Concrete Beams in Ultimate Flexural Limit State, Journal of Structural Engineering, 37, 4, 257-267.
- Ahlatat, A., S. ve Ramaswamy, A., 2001. Multiobjective Optimal Structural Vibration Control Using Fuzzy Logic Control System, Journal of Structural Engineering, 127, 11, 1330-1337.
- Ahsan, R., Rana, S. ve Ghani, S., N., 2012. Cost Optimum Design of Posttensioned I-Girder Bridge using Global Optimization Algorithm, Journal of Structural Engineering, 138, 2, 273-284.
- Akay, B., 2009. Nümerik Optimizasyon Problemlerinde Yapay Arı Kolonisi (Artificial Bee Colony) Algoritmasının Performans Analizi, Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Akay, B. ve Karaboğa, D., 2009. Solving Integer Programming Problems by Using Artificial Bee Colony Algorithm, AI*IA 2009: Emergent Perspectives in Artificial Intelligence, 5883, 355-364.
- Akay, B. ve Karaboğa, D., 2012. Artificial Bee Colony Algorithm for Large-Scale Problems and Engineering Design Optimization, Journal of Intelligent Manufacturing, 23, 4, 1001-1014.
- Akgün, Y., 2003. Kısmen Öngerilmeli Yüksek Başarımli Beton Kirişlerin Davranışlarının İncelenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Akgün, Y. ve Durmuş, A., 2004. Kısmen Öngerilmeli Yüksek Başarımli Beton Kirişlerin Eğilmede Davranışları, Türkiye İnşaat Mühendisliği XVII. Teknik Kongresi, Nisan, İstanbul, 217-221.
- Akgün, Y. ve Durmuş, A., 2006. Kısmen Öngerilmeli Beton Kirişlerde Yüksek Başarımli Beton Kullanmanın Yararları, Yedinci Uluslararası İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler Kongresi, Ekim, İstanbul, 1-12.
- Akgün, Y. ve Durmuş, A., 2007. Depremselliği Yüksek Bölgelerde Kısmen Öngerilmeli Beton Yapı Tekniğinin Kullanımının Önemi, Uluslararası Deprem ve Yapı Mühendisliğinde Gelişmeler Sempozyumu, Ekim, Antalya, 527-538.
- Akgün, Y. ve Durmuş, A., 2009. Advantages of Using High Performance Concrete in Partially Prestressed Beams and Optimization of Partially Prestressed Ratio, 1st International Conference on Concrete Technology Proceedings, November, Tabriz, Iran.
- Akoğul, C., 2007. Prekast Kirişli Betonarme Köprülerin AASHTO'ya göre Depreme Dayanıklı Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Aktaş, E., 2010. Öngerilme Kirişli Bir Köprü Tasarımı ve Performansının Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Aktaş, M., 1999. Betonarme ve Kısmi Öngermeli Kirişlerde Yerdeğiştirmelere Betonun Çekme Dayanımının Katkısı, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Al-Gahtani, A., S., Al-Saadoun, S., S. ve Abul-Feilat, E., A., 1995. Design Optimization of Continuous Partially Prestressed Concrete Beams, Computers & Structures, 55, 2, 365-370.
- Ali, M., K., 2010. Öngermeli Betonarme Köprü Kirişi Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Üniversitesi, Ankara.
- Alkhairi, F., M. ve Naaman, A., E., 1993. Analysis of Beams Prestressed with Unbonded Internal or External Tendons, Journal of Structural Engineering, 119, 9, 2680-2700.
- Altay, A., 2007. Genetik Algoritma ve Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Altıparmak, F., 1996. Genetik Algoritma ile Haberleşme Şebekelerinin Topolojik Optimizasyonu, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Altunışık, A., C., 2010. Karayolu Köprülerinin Yapısal Davranışlarının Analitik ve Deneysel Yöntemlerle Belirlenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Al-Zaid, R., Z. ve Naaman, A., E., 1986. Analysis of Partially Prestressed Composite Beams, Journal of Structural Engineering, 112, 4, 709-725.
- Al-Zaid, R., Z., Naaman, A., E. ve Nowak, A., S., 1988. Partially Prestressed Composite Beams under Sustained and Cyclic Loads, Journal of Structural Engineering, 114, 2, 269-291.
- Appleton, J., Camara, J. ve Almeida, J., F., 1983. Elastoplastic Analysis and Design of Partially Prestressed Concrete Beams, International Symposium Nonlinearity and Continuity in Prestressed Concrete, July, University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada, 2, 77-106.
- Armutçu, M., 1997. Genetik Algoritma ile Çelik Çerçevelerin Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Arslan, M., E., 2010. Öngerilmeli ve Kısmen Öngerilmeli Beton Kirişli Plak Köprülerinin Optimum Tasarımı, Doktora Tez Raporu, No:2, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

- Atabay, Ş., 2004. Perdeli Betonarme Yapı Sistemlerinin Genetik Algoritma ile Optimum Tasarımı, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Au, F., T., K. ve Du, J., S., 2004. Partially Prestressed Concrete, Progress in Structural Engineering and Materials, 6, 2, 127-135.
- Au, F., T., K., Du, J., S. ve Cheung, Y., K., 2005. Service Load Analysis of Unbonded Partially Prestressed Concrete Members, Magazine of Concrete Research, 57, 4, 199-209.
- Au, F., T., K., Su, R., K., L., Tso, K. ve Chan, K., H., E., 2008. Behaviour of Partially Prestressed Beams with External Tendons, Magazine of Concrete Research, 60, 6, 455-467.
- Aydın, Z., 2000. Uzay Kafes Sistemlerin Genetik Algoritma ile Optimum Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Aydın, Z., 2006. Öngerilmeli Beton Kirişli Köprü Üstyapılarının Genetik Algoritma ile Optimum Tasarımı, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Aydın, Z. ve Ayvaz, Y., 2010. Optimum Topology and Shape Design of Prestressed Concrete Bridge Girders using a Genetic Algorithm, Structural and Multidisciplinary Optimizatın, 41, 1, 151-162.
- Bachmann, H., 1983a. From Full to Partial Prestressing, ACI Concrete International, 5, 10, 36-39.
- Bachmann, H., 1983b. Partially Prestressed Concrete: Simplified Design Based on Swiss Practice Since 1968, International Symposium: Non-Linearity and Continuity in Prestressed Concrete, July, University of Waterloo, Ontario, Canada, 29-46.
- Bachmann, H., 1984. Design of Partially Prestressed Concrete Structures Based on Swiss Experiences, Journal of Prestressed Concrete Institute, 29, 4, 84-105.
- Baker, A., L., L., 1949. Plastic Theory of Design for Ordinary Reinforced and Prestressed Concrete Including Moment Redistribution in Continuous Members, Magazine of Concrete Research, 1, 2, 57-66.
- Barakat, S., Kallas, N. ve Taha, M., Q., 2003. Single Objective Reliability-Based Optimization of Prestressed Concrete Beams, Computers and Structures, 81, 2501-2512.
- Barros, M., H., F., M., Martins, R., A., F. ve Barros, A., F., M., 2005. Cost Optimization of Singly and Doubly Reinforced Concrete Beams with EC2-2001, Structural and Multidisciplinary Optimization, 30, 236-242.

- Basu, P., K., Sharif, A., M. ve Ahmed, N., U., 1987a. Partially Prestressed Continuous Composite Beams I, Journal of Structural Engineering, 113, 9, 1909-1925.
- Basu, P., K., Sharif, A., M. ve Ahmed, N., U., 1987b. Partially Prestressed Composite Beams II, Journal of Structural Engineering, 113, 9, 1926-1938.
- Bayar, G., Y., 2008. Çerçeve Taşıyıcı Sistemlerin Optimum Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.
- Baykaşoğlu, A., Özbakır, L. ve Tapkan, P., 2007. Artificial Bee Colony Algorithm and Its Application to Generalized Assignment Problem, Swarm Intelligence: Focus on Ant and Particle Swarm Optimization, 113-144.
- Bekiroğlu, S., 2003. Genetik Algoritma ile Çelik Çerçevelerin Optimum Boyutlandırılması, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Bennett, E., W. ve Dave, N., J., 1969. Test Performance and Design of Concrete Beams with Limited Prestress, The Structural Engineer, 47, 12, 487-496.
- Bennett, E., W. ve Chandrasekhar, C., S., 1971. Calculation of the Width of Cracks in Class 3 Prestressed Beams, Proceedings of the Institute of Civil Engineers, 49, 3, 333-346.
- Bennett, E., W. ve Chandrasekhar, C., S., 1972. Supplementary Tensile Reinforcement in Prestressed Concrete Beams, Concrete, 6, 10, 35-39.
- Bennett, E., W. ve Veerasubramanian, N., 1972. Behavior of Nonrectangular Beams with Limited Prestress After Flexural Cracking, ACI Journal Proceedings, 69, 9, 533-542.
- Bennett, E., W. ve Joynes, H., W., 1977. Fatigue Resistance of Reinforcement in Partially Prestressed Beams, Journal of Prestressed Concrete Institute, 22, 2, 78-88.
- Bennett, E., W., 1978. Partial Prestressing-Developments in Prestressed Concrete-1, Applied Science Publishers Ltd., Chapter 4, 125-147, 259 s., London, England.
- Bennett, E., W. ve Joynes, H., W., 1979. Fatigue Strength of Cold-worked Non-prestressed Reinforcement in Prestressed Concrete Beams, Magazine of Concrete Research, 31, 106, 13-18.
- Bennett, E., W., 1980. Design of Partially Prestressed Concrete with Reference to the CEB/FIP Model Code, FIP Proceedings of a Symposium on Partial Prestressing and Practical Construction in Prestressed and Reinforced Concrete, September, Bucharest, Romania, 207-235.
- Bennett, E., W., 1984. Partial Prestressing- A Historical Overview, Journal of Prestressed Concrete Institute, 29, 5, 104-117.

- Bennett, E., W., 1986. Partially Prestressed Members: Repeated Loading, Proceedings of NATO Advanced Research Workshop: Partial Prestressing from Theory to Practice, Paris, France, 135-149.
- Boczka, B., K., 1994. Section Partially Prestressed-An Exact Solution, Journal of Prestressed Concrete Institute, 39, 6, 99-106.
- Bolander, J., E. ve Le, B., D., 1999. Modeling Crack Development in Reinforced Concrete Structures under Service Loading, Construction and Building Materials, 13, 23-31.
- Bolat, B., 2006. Asansör Kontrol Sistemlerinin Genetik Algoritma ile Simülasyonu, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Branson, D., E. ve Trost, H., 1982a. Unified Procedures for Predicting the Deflection and Centroidal Axis Location of Partially Cracked Nonprestressed and Prestressed Concrete Members, ACI Journal Proceedings, 79, 2, 119-130.
- Branson, D., E. ve Trost, H., 1982b. Application of the I-Effective Method in Calculating Deflections of Partially Prestressed Members, Journal of Prestressed Concrete Institute, 27, 5, 62-77.
- Branson, S., T., D., E., 1993. Initial and Time-Dependent Deformation of Progressively Cracking Nonprestressed and Partially Prestressed Concrete Beams, ACI Structural Journal, 90, 5, 480-488.
- Brondum-Nielsen, T., 1986a. Serviceability Limit State Analysis of Cracked, Partially Prestressed, or Reinforced Concrete Sections under Symmetric Bending, ACI Journal Proceedings, 83, 4, 547-552.
- Brondum-Nielsen, T., 1986b. Ultimate Flexural Capacity of Fully Prestressed, Partially Prestressed, and Nonprestressed Arbitrary Concrete Sections under Symmetric Bending, ACI Journal Proceedings, 83, 1, 29-35.
- Bruggeling, A., S., G., 1983. Towards A Simple Method of Analysis for Partially Prestressed Concrete, Report 5-82-D16, Faculty of Civil Engineering, Delft University of Technology, Delft, Netherlands.
- Bruggeling, A., S., G., 1985. Partially Prestressed Concrete Structures-A Design Challenge, Journal of Prestressed Concrete Institute, 30, 2, 140-171.
- Burns, N., H., 1964. Moment Curvature Relationships for Partially Prestressed Concrete Beams, Journal of Prestressed Concrete Institute, 9, 1, 52-63.
- 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.
- Camp, C., V., Bichon, B., J. ve Stovall, S., P., 2005. Design of Steel Frames Using Ant Colony Optimization, Journal of Structural Engineering, 131, 3, 369-379.

- Campbell, T., I. ve Chouinard, K., L., 1991. Influence of Nonprestressed Reinforcement on Strength of Unbonded Partially Prestressed Concrete Members, ACI Structural Journal, 88, 5, 546-551.
- Caner, A., Erdem, A. ve Bozalioğlu, D., 2007. Yüksek Hızlı Tren Köprüleri için Üstyapı Sistemlerinin Değerlendirilmesi, 1. Köprü ve Viyadükler Sempozyumu, Kasım, Antalya, 213-225.
- Cannas, I., 1975. The Ultimate Moment Capacity and Moment Rotation Characteristics of Partially Prestressed Bonded Concrete Beams, Master of Science Thesis, University of Manchester, Institute of Science and Technology, Manchester, UK.
- Ceranic, B. ve Fryer, C., 2000. Sensitivity Analysis and Optimum Design Curves for the Minimum Cost Design of Singly and Doubly Reinforced Concrete Beams, Structural and Multidisciplinary Optimization, 20, 260-268.
- Chandrasekhar, C., S., 1970. A Study of the Influence of the Properties and Distribution of the Reinforcement on the Behaviour of Beams with Limited Prestress, Doctoral Dissertation, University of Leeds, Leeds.
- Chapman, C., D. ve Jakiela, M., J., 1996. Genetic Algorithm-Based Structural Topology Design with Compliance and Topology Simplification Considerations, Journal of Mechanical Design, 118, 89-98.
- Chen, W., H., 2008. Genetik Algoritma ile İki Boyutlu Düzlemlerin Şekil Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Chern, J., C., You, C., M. ve Bağant, Z., P., 1992. Deformation of Progressively Cracking Partially Prestressed Concrete Beams, Journal of Prestressed Concrete Institute, 37, 1, 74-84.
- Chong, C., S., Low, M., Y., H., Sivakumar, A., I. ve Gay, K., L., 2006. A Bee Colony Optimization Algorithm to Job Shop Scheduling. Winter Simulation Conference, Aralık, California, ABD, IEEE, 1954-1961.
- Chou, J., H. ve Ghaboussi, J., 2001. Genetic Algorithm in Structural Damage Detection, Computers & Structures, 79, 1335-1353.
- Chouman, M., M., 1990. The Effect of Additional Reinforcement on Time-Dependent Behavior of Partially Prestressed Concrete, Doctoral Dissertation, University of Leeds, Department of Civil Engineering, Leeds.
- Chowdhury, S., H., 1999. Damping Characteristics of Reinforced and Partially Prestressed Concrete Beams, Doctoral Dissertation, Griffith University, Faculty of Engineering, Queensland, Australia.

- Chowdhury, S., H., Loo, Y., C. ve Fragomani, S., 2000. Damping Formulae for Reinforced and Partially Prestressed Concrete Beams, Advances in Structural Engineering, 3, 4, 327-335.
- Chowdhury, S., H. ve Loo, Y., C., 2001. A New Formula for Prediction of Crack Widths in Reinforced and Partially Prestressed Concrete Beams, Advances in Structural Engineering, 4, 2, 101-110.
- Chowdhury, S., H., 2008. Cracking and Deflection Behaviour of Partially Prestressed High Strength Concrete Beams, Australasian Structural Engineering Conference, June, Melbourne, Australia, 79-91.
- Coello, C., A., C. ve Cortés, N., C., 2005. Solving Multiobjective Optimization Problems Using An Artificial Immune System, Genetic Programming and Evolvable Machines, 6, 2, 163-190.
- Cohn, M., Z. ve Bartlett, M., 1982. Computer-Simulated Flexural Tests of Partially Prestressed Concrete Sections, Journal of the Structural Division, 108, 12, 2747-2765.
- Cohn, M., Z. ve MacRae, A., J., 1984a. Optimization of Structural Concrete Beams, Journal of Structural Engineering, 110, 7, 1573-1588.
- Cohn, M., Z. ve MacRae, A., J., 1984b., Prestressing Optimization and its Implications for Design, Journal of Prestressed Concrete Institute, 29, 4, 68-83.
- Cohn, M., Z., 1986. Partial Prestressing, From Theory to Practice, NATO-ASI Applied Science Series, Martinus Nijhoff Publishers, 1-2, Dordrecht, The Netherlands.
- Cohn, M., Z. ve Lounis, Z., 1993. Optimum Limit Design of Continuous Prestressed Concrete Beams, Journal of Structural Engineering, 119, 12, 3551-3570.
- Cohn, M., Z. ve Lounis, Z., 1994. Optimal Design of Structural Concrete Bridge Systems, Journal of Structural Engineering, 120, 9, 2653-2674.
- Cooke, N., Priestley, M., J., N. ve Thurston, S., J., 1984. Analysis and Design of Partially Prestressed Concrete Bridges under Thermal Loading, Journal of Prestressed Concrete Institute, 29, 3, 94-115.
- Çağatay, İ., H., 1996. Öngerilmeli Beton Kirişlerin Optimum Tasarımı, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Çağdaş, İ., U., 2001. Betonarme Döşemelerin Akma Çizgileri Yöntemiyle Analizinde Akma Çizgisi Desenin Genetik Algoritma ile Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Çakır, E., 2011. Öngerilmeli Çelik Kafes Kirişlerin Minimum Ağırlıklı Boyutlandırılması, Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.

- Dale, J., T., 1983. The Shear Strength of Partially Prestressed Concrete Beams, Report No. 317, Department of Civil Engineering, University of Auckland, New Zealand, 351 s.
- Dave, N., J., 1967. Limited Prestressing As a Means of Economy in Structural Concrete, Doctoral Dissertation, University of Leeds, Leeds.
- Dean, J., A., Park, R. ve Tian, L., C., 1981. The Observed and Predicted Cracking Behaviour of Four Partially Prestressed Concrete Beam Sections, Transactions of the New Zealand Institution of Engineers Incorporated: Civil Engineering Section, 8, 3, 65-76.
- Dede, T., 2003. Değer Kodlaması Kullanarak Kafes Sistemlerin Genetik Algoritma ile Minimum Ağırlıklı Boyutlandırılması, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Dede, T., Bekiroğlu, S. ve Ayvaz, Y., 2011. Weight Minimization of Trusses with Genetic Algorithm, Applied Soft Computing, 11, 2565-2575.
- Değertekin, S., Ö., Saka, M., P. ve Hayalioğlu, M., S., 2008. Optimal Load and Resistance Factor Design of Geometrically Nonlinear Steel Space Frames via Tabu Search and Genetic Algorithm, Engineering Structures, 30, 1, 197-205.
- Demiray, E., 2009. Öngerilmeli Betondan Prefabrik Kirişli Demiryolu Köprülerinin Yapay Sinir Ağları ile Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Demirpolat, M., 1997. Betonun Kırılma Yörüngesinin Tespitinde Genetik Algoritma Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Desayi, P., 1975. A Method for Determining the Spacing and Width of Cracks in Partially Prestressed Concrete Beams, Institution of Civil Engineers, Proceedings, 59, 2, 411-428.
- Dilger, W., H. ve Suri, K., M., 1986. Steel Stresses in Partially Prestressed Concrete Members, Journal of Prestressed Concrete Institute, 31, 3, 88-112.
- Dischinger, F., 1939. Elastische und Plastische Verformungen der Eisenbetontragwerke und Insbesondere der Bogenbrücken, Der Bauingenieur, 20, 5/6, 53-63.
- DLH, 2007. Köprü Tasarım Esasları, Demiryolları Eki, T.C. Ulaştırma Bakanlığı, Demiryollar, Limanlar, Havameydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü, Yüksel Proje, Ankara.
- Dorigo, M., Maniezzo, V., Colorni, A. ve Maniezzo, V., 1991. Positive Feedback as a Search Strategy, Politecnico di Milano, Milano, İtalya, 110 s.

- Drias, H., Sadeg, S. ve Yahi, S., 2005. Cooperative Bees Swarm for Solving the Maximum Weighted Satisfiability Problem, Computational Intelligence and Bioinspired Systems, 3512, 417-448.
- Du, G., C. ve Tao, X., K., 1985. Ultimate Stress of Unbonded Tendons in Partially Prestressed Concrete Beams, Journal of Prestressed Concrete Institute, 30, 6, 72-91.
- Durmuş, A., 1982. Döşemelerle Beraber Çalışan Öngerilmeli Beton ve Öngerilmeli Betonarme Kirişlerin Mekanik Davranışlarının Bu Sistemin Güvenliğine Etkileri, Doçentlik Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, İnşaat ve Mimarlık Fakültesi, Trabzon.
- Durmuş, A., 2007. Betonarme Ders Notları (Yayınlanmamış), Karadeniz Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Trabzon.
- Durmuş, A., 2010. Betonarme Köprüler Ders Notları (Yayınlanmamış), Karadeniz Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Trabzon.
- Ersoy, U., Özcebe, G. ve Tankut, T., 2004. Reinforced Concrete, Middle East Technical University, Revised Edition, 623 s., Ankara.
- Eschenauer, H., A. ve Olhoff, N., 2001. Topology Optimization of Continuum Structures: A Review, Applied Mechanics Reviews, 54, 331-389.
- Eser, C., 2014. Çelik Yapıların Yapay Arı Kolonisi (ABC) Algoritması ve SAP2000 ile Optimum Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Espion, B. ve Halleux, P., 1991. Long-Term Behavior of Prestressed and Partially Prestressed Concrete Beams: Experimental and Numerical Results, ACI Special Publication, 129, 19-38.
- Evirgen, A., 2007. Sınırlı Öngerilmeli Kirişlerde Betonun Değişik Çekme Modellerinin Yerdeğiştirmelere Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Fang, Z. ve Campbell, T., I., 2001. General and Simplified Models for the Analysis of Partially Prestressed Concrete Beams Containing FRP Tendons of Arbitrary Bonded Condition, International Conference on FRP Composites in Civil Engineering, December, Hong Kong, China, 1185-1192.
- Fister, I., Fister, I. ve Brest, J., 2012. A Hybrid Artificial Bee Colony Algorithm for Graph 3-Coloring, Swarm and Evolutionary Computation, 7269, 66-74.
- Foo, M., H. ve Warner, R., F., 1984. Fatigue Tests on Partially Prestressed Concrete Beams, NATO Advanced Research Workshop, Paris, France, 62 s.

- Foo, M., H., 1986. Behaviour of Partially Prestressed Concrete Structures under Fatigue Loading, Doctoral Dissertation, University of Adelaide, Department of Civil Engineering, Adelaide.
- Founas, M., 1989. Deformations and Deflections of Partially Prestressed Concrete T-beams under Static and Random Amplitude Fatigue Loading, Doctoral Dissertation, University of Michigan, Ann Arbor, Michigan.
- Freyermuth, C., L., 1985. Practice of Partial Prestressing for Continuous Post-Tensioned Structures in North America, Journal of Prestressed Concrete Institute, 30, 1, 154-182.
- Ghali, A. ve Tadros, M., K., 1985. Partially Prestressed Concrete Structures, Journal of Structural Engineering, 111, 8, 1846-1865.
- Gözde, H. ve Taplamacıoğlu, M., C., 2011. Comparative Performance Analysis of Artificial Bee Colony Algorithm for Automatic Voltage Regulator (AVR) System, Journal of the Franklin Institute, 348, 8, 1927-1946.
- Gregor, T. ve Collins, M., P., 1995. Tests of Large Partially Prestressed Concrete Girders, ACI Structural Journal, 92, 1, 63-72.
- Grierson, D., E. ve Pak, W., H., 1993. Optimal Sizing, Geometrical and Topological Design using A Genetic Algorithm, Structural Optimization, 6, 151-159.
- Gutierrez, S., E., Cudmani, R., O. ve Danesi, R., F., 1996. Time-Dependent Analysis of Reinforced and Prestressed Concrete Members, ACI Structural Journal, 93, 4, 420-427.
- Han, S., H., Adamu, A. ve Karihaloo, B., L., 1995. Application of DCOC to Optimum Prestressed Concrete Beam Design, Engineering Optimization, 25, 3, 179-200.
- Han, S., H., Adamu, A. ve Karihaloo, B., L., 1996a. Minimum Cost Design of Multispan Partially Prestressed Concrete T-beams using DCOC, Structural Optimization, 12, 2-3, 75-86.
- Han, S., H., Adamu, A. ve Karihaloo, B., L., 1996b. Minimum Cost Design of Multispan Partially Prestressed Concrete Beams using DCOC, Engineering Optimization, 26, 1, 35-59.
- Harajli, M., H. ve Naaman, A., E., 1984. Deformation and Cracking of Partially Prestressed Concrete Beams under Static and Cyclic Fatigue Loading, Research Report No. UMEE 84R1, Department of Civil Engineering, The University of Michigan, Ann Arbor, Michigan, 178 s.
- Harajli, M., H., 1985. Deformation and Cracking of Partially Prestressed Concrete Beams under Static and Cyclic Fatigue Loading, Doctoral Dissertation, University of Michigan, Ann Arbor, Michigan.

- Harajli, M., H. ve Naaman, A., E., 1985a. Static and Fatigue Tests on Partially Prestressed Beams, Journal of Structural Engineering, 111, 7, 1602-1618.
- Harajli, M., H. ve Naaman, A., E., 1985b. Evaluation of the Ultimate Steel Stress in Partially Prestressed Flexural Members, Journal of Prestressed Concrete Institute, 30, 5, 54-81.
- Harajli, M., H., 1988. Behavior of Partially Prestressed Concrete Joints under Cyclic Loading, Journal of Structural Engineering, 114, 11, 2525-2543.
- Harajli, M., H. ve Alameh, A., S., 1989. Deflection of Progressively Cracking Partially Prestressed Concrete Flexural Members, Journal of Prestressed Concrete Institute, 34, 3, 94-127.
- Harajli, M., H. ve Naaman, A., E., 1989. Cracking in Partially Prestressed Beams under Static and Fatigue Loading, ACI Special Publication, 113, 29-56.
- Harajli, M., H. ve Hijazi, S., A., 1991. Evaluation of the Ultimate Steel Stress in Partially Prestressed Concrete Members, Journal of Prestressed Concrete Institute, 36, 1, 62-82.
- Hasançebi, O., 1996. Genetik Algoritmaların Uzay Kafes Sistemlerin Optimizasyonunda Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Hasançebi, O., 2001. Doğal Süreçlere Dayalı Analogiler Kullanılarak Optimum Yapı Tasarımı, Doktora Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Hasançebi, O., Çarbaş, S. ve Saka, M., P., 2010. Improving the Performance of Simulated Annealing in Structural Optimization, Structural and Multidisciplinary Optimization, 41, 2, 189-203.
- Hassan, M., M., 2013. Optimization of Stay Cables in Cable-Stayed Bridges using Finite Element, Genetic Algorithm, and B-spline Combined Technique, Engineering Structures, 49, 643-654.
- Hassanain, M., A. ve Loov, R., E., 2003. Cost Optimization of Concrete Bridge Infrastructure, Canadian Journal of Civil Engineering, 30, 5, 841-849.
- Hassoun, M., N. ve Sahebjam, K., 1989. Cracking of Partially Prestressed Concrete Beams, ACI Special Publication, 113, 57-78.
- Hemamalini, S. ve Simon, S., P., 2008. Economic Load Dispatch with Value-Point Effect Using Artificial Bee Colony Algorithm. XXXII National Systems Conference, Aralık, India, Bildiriler Kitabı: 525-530.

- Herskovits, J., Mappa, P., Goulart, E. ve Soares, C., M., M., 2005. Mathematical Programming Models and Algorithms for Engineering Design Optimization, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 194, 30-33, 3244-3268.
- Hjelmstad, K., D. ve Pezeshk, S., 1991. Optimal Design of Frames to Resist Buckling under Multiple Load Cases, Journal of Structural Engineering, 117, 3, 914-935.
- Inomata, S., 1982. A Design Procedure for Partially Prestressed Concrete Beams Based on Strength and Serviceability, Journal of Prestressed Concrete Institute, 27, 5, 100-116.
- Inomata, S., 1987. An Approach for Creep Analysis of Cracked Partially Prestressed Concrete Members, Journal of Prestressed Concrete Institute, 32, 1, 104-125.
- Jenkins, W., M., 1991. Towards Structural Optimization via The Genetic Algorithm, Computers & Structures, 40, 5, 1321-1327.
- Jenny, D., P., 1984. Current Status of Partial Prestressing for Pretensioned Concrete Products in North America, Journal of Prestressed Concrete Institute, 30, 1, 142-152.
- Joint ACI-ASCE, Committee 423, 2000. State-of-the-art Report on Partially Prestressed Concrete (ACI 423.5R-99), Farmington Hills, Michigan: American Concrete Institute.
- Jung, D., S. ve Kim, C., Y., 2013. Finite Element Model Updating of a Simply Supported Skewed PSC I-Girder Bridge using Hybrid Genetic Algorithm, KSCE Journal of Civil Engineering, 17, 3, 518-529.
- Kadioğlu, T., Vural, R. ve Yıldırım, T., 2010. Artificial Bee Colony Based Butterworth Filter Optimization. National Conference on Electrical, Electronics and Computer Engineering, Aralık, Bursa, Türkiye, IEEE, 425-428.
- Kahraman, M., 1999. Genetik Algoritmaların Uzay Kafes Sistemlerinin Eşzamanlı Kesit Alanı, Şekil ve Topoloji Optimizasyonunda Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Kang, F., Li, J. ve Xu, Q., 2009. Structural Inverse Analysis by Hybrid Simplex Artificial Bee Colony Algorithms, Computers & Structures, 87, 13-14, 861-870.
- Karaboğa, D., Akay, B. ve Öztürk, C., 2007. Artificial Bee Colony (ABC) Optimization Algorithm for Training Feed-Forward Neural Networks, Modeling Decisions for Artificial Intelligence, 318-329.
- Karaboğa, D. ve Öztürk, C., 2011. A Novel Clustering Approach: Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm, Applied Soft Computing, 11, 1, 652-657.

- Karaboğa, D., Görkemli, B., Öztürk, C. ve Karaboğa, N., 2014. A comprehensive survey: artificial bee colony (ABC) algorithm and applications, Artificial Intelligence Review, 42, 1, 21-57.
- Karabüyük, E., 2011. Yapısal Sistemlerin Deprem Yükleri Altında Genetik Algoritma ile Optimum Tasarımı, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Karayannis, C., G. ve Chalioris, C., E., 2013. Design of Partially Prestressed Concrete Beams Based on the Cracking Control Provisions, Engineering Structures, 48, 402-416.
- Kargahi, M., Anderson, J., C. ve Dessouky, M., M., 2006. Structural Weight Optimization of Frames Using Tabu Search. I: Optimization Procedure, Journal of Structural Engineering, 132, 12, 1858-1868.
- Kaveh, A. ve Rahami, H., 2006. Analysis, Design and Optimization of Structures using Force Method and Genetic Algorithm, International Journal for Numerical Methods in Engineering, 65, 1570-1584.
- Kaveh, A. ve Talatahari, S., 2010. An Improved Ant Colony Optimization for Constrained Engineering Design Problems, Engineering Computations, 27, 1, 155-182.
- Kaya, M., 2001. Betonarme Yüksek Kiriş Tasarımında Genetik Algoritmaların Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Kaya, M., 2011. The Effects of Two New Crossover Operators on Genetic Algorithm Performance, Applied Soft Computing, 11, 881-890.
- Keyder, E., 2005. Öngerilmeli Beton, Bizim Büro Basımevi, İkinci Baskı, 245 s., Ankara.
- KGM, 1973. Yol Köprüleri için Teknik Şartname, Karayolları Genel Müdürlüğü Matbaası, Yayın No: 207, Ankara.
- KGM, 2014. Yol, Köprü, Bitümlü Kaplamalar ve Trafik İşlerine Ait Birim Fiyat Listesi, T.C. Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Khaleel, M., A., 1992. Reliability-Based Analysis, Sensitivity, and Design of Partially Prestressed Concrete Systems, Doctoral Dissertation, Washington State University, Washington, United States of America.
- Khaleel, M., A. ve Itani, R., Y., 1993a. Optimization of Partially Prestressed Concrete Girders under Multiple Strength and Serviceability Criteria, Computers & Structures, 49, 3, 427-438.
- Khaleel, M., A. ve Itani, R., Y., 1993b. Safety Evaluation of Existing Partially Prestressed Concrete Girder Bridges, Computers and Structures, 48, 5, 763-770.

- Khosravi, P. ve Sedaghati, R., 2008. Design of Laminated Composite Structures for Optimum Fiber Direction and Layer Thickness, Using Optimality Criteria, Structural and Multidisciplinary Optimization, 36, 2, 159-167.
- Kılıç, M., H., 1997. Genetik Algoritmaların Çerçevelerin Optimizasyonunda Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Koç, M., L., 2002. Taş Dolgu Dalgakıranların Yapay Sinir Ağları, Bulanık Mantık Sistemleri ve Genetik Algoritma ile Ön Tasarımı ve Güvenirlilik Analizi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Krakovski, M., B., 1997. Optimization of RC Structures using Design of Experiments, Computers and Structures, 63, 1, 119-132.
- Kryzencius, S., 1983. Partially Prestressed Concrete, A Review of Design Data and Requirements, Report SRR-83-06, Ontario Ministry of Transportation and Communications, R & D Branch, Ontario, Canada, 71 s.
- Lee, K., H., 1984. Deformation of Partially Prestressed Concrete Beams Under Service Loads, Doctoral Dissertation, University of Leeds, Department of Civil Engineering, Leeds.
- Leonhardt, F., 1980. Partial Prestressing Improves Serviceability, Proceedings of the FIP Symposium on Partial Prestressing and Practical Construction in Prestressed and Reinforced Concrete, September, Bucharest, Romania, 250-257.
- Levy, R. ve Lev, O., E., 1987. Recent Developments in Structural Optimization, Journal of Structural Engineering, 113, 9, 1939-1962.
- Li, L., J., Huang, Z., B. ve Liu, F., 2009. A Heuristic Particle Swarm Optimization Method for Truss Structures with Discrete Variables, Computers & Structures, 87, 7, 435-443.
- Lin, T., Y. ve Lakhwara, T., R., 1966. Ultimate Strength of Eccentrically Loaded Partially Prestressed Columns, Journal of Prestressed Concrete Institute, 11, 3, 37-49.
- Lin, T., Y. ve Thornton, K., 1972. Secondary Moment and Moment Redistribution in Continuous Prestressed Concrete Beams, Journal of Prestressed Concrete Institute, 17, 1, 8-20.
- Lin, T., Y., 1979. Partial Prestressing Design-Philosophy and Approach, ACI Special Publication, 59, 257-268.
- Liu, H., Xiang, T. ve Zhao, R., 2009a. Research on Non-linear Structural Behaviors of Prestressed Concrete Beams Made of High Strength and Steel Fiber Reinforced Concretes, Construction and Building Materials, 23, 85-95.

- Liu, P., Xu, P. ve Zheng, J., 2009b. Artificial Immune System for Optimal Design of Composite Hydrogen Storage Vessel, Computational Materials Science, 47, 1, 261-267.
- Lopes, S., M., R., Harrop, J. ve Gamble, A., E., 1997. Study of Moment Redistribution in Prestressed Concrete Beams, Journal of Structural Engineering, 123, 5, 561-566.
- Lucic, P. ve Teodorovic, D., 2001. Bee System: Modeling Combinatorial Optimization Transportation Engineering Problems by Swarm Intelligence. IV. Triennial Symposium on Transportation Analysis, Haziran, Sao Miguel, Azores Islands, Bildiriler Kitabı: 441-445.
- MacRae, A., J., 1983. Optimal Design of Partially Prestressed Concrete Beams, Master of Science Thesis, University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada.
- Magura, D., D. ve Hognestad, E., 1966. Tests of Partially Prestressed Concrete Girders, Journal of the Structural Division, 92, 327-350.
- Mahin, S., Sakai, J. ve Jeong H., 2006. Use of Partially Prestressed Reinforced Concrete Columns to Reduce Post-Earthquake Residual Displacements of Bridges, Fifth National Seismic Conference on Bridges & Highways, September, San Francisco, California.
- Mansour, M., A., 1983. Partially Prestressed Concrete Beams under Repeated Loading, International Symposium-Nonlinearity and Continuity of Prestressed Concrete, July, University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada.
- Marković, G. Z., Teodorović, D., B. ve Aćimović-Raspopović, V., S., 2007. Routing and Wavelength Assignment in All-Optical Networks Based on The Bee Colony Optimization, AI Communications, 20, 4, 273-285.
- Martí, J., V. ve González-Vidosa, F., 2010. Design of Prestressed Concrete Precast Pedestrian Bridges by Heuristic Optimization, Advances in Engineering Software, 41, 916-922.
- Martínez, F., J., González-Vidosa, F., Hospitaler, A. ve Alcalá, J., 2011. Design of Tall Bridge Piers by Ant Colony Optimization, Engineering Structures, 33, 8, 2320-2329.
- MATLAB, 2008. The Language of Technical Computing, MathWorks, Massachusetts, ABD.
- Meier, S., W. ve Gergely, P., 1981. Flexural Crack Width in Partially Prestressed Concrete Beams, Journal of the Structural Division, 107, 2, 429-433.
- Menn, C., 1983. Partial Prestressing From the Designer's Point of View, ACI Concrete International, 5, 3, 52-59.

- Mitra, G., Jain, K., K. ve Bhattacharjee, B., 2010. Condition Assessment of Corrosion-Distressed Reinforced Concrete Buildings Using Fuzzy Logic, Journal of Performance of Constructed Facilities, 24, 6, 562-570.
- Moustafa, S., E., 1977. Design of Partially Prestressed Concrete Flexural Members, Journal of Prestressed Concrete Institute, 22, 3, 12-29.
- Möller, O., Foschi, R., O., Quiroz, L., M. ve Rubinstein, M., 2009. Structural Optimization for Performance-Based Design in Earthquake Engineering: Applications of Neural Networks, Structural Safety, 31, 6, 490-499.
- Naaman, A., E., 1977. Ultimate Analysis of Prestressed and Partially Prestressed Sections by Strain Compatibility, Journal of Prestressed Concrete Institute, 22, 1, 32-51.
- Naaman, A., E. ve Siriaksorn, A., 1979a. Serviceability Based Design of Partially Prestressed Beams (Part 1), Journal of Prestressed Concrete Institute, 24, 2, 64-89.
- Naaman, A., E. ve Siriaksorn, A., 1979b. Serviceability Based Design of Partially Prestressed Beams (Part 2), Journal of Prestressed Concrete Institute, 24, 3, 40-60.
- Naaman, A., E., 1980. Partially Prestressed Beams: A Unified Design Procedure for Strength and Serviceability, Proceedings of the FIP Symposium on Partial Prestressing and Practical Construction in Prestressed and Reinforced Concrete, September, Bucharest, Romania, 236-249.
- Naaman, A., E., 1981. A Proposal to Extend Some Code Provisions on Reinforcement to Partial Prestressing, Journal of Prestressed Concrete Institute, 26, 2, 74-91.
- Naaman, A., E., 1982a. Fatigue in Partially Prestressed Concrete Beams, ACI Special Publication, 75, 25-46.
- Naaman, A., E., 1982b. Research Needs in Partial Prestressing, Journal of Prestressed Concrete Institute, 27, 4, 106-107.
- Naaman, A., E. ve Siriaksorn, A., 1982. Reliability of Partially Prestressed Beams at Serviceability Limit States, Journal of Prestressed Concrete Institute, 27, 6, 66-85.
- Naaman, A., E., 1983. An Approximate Nonlinear Design Procedure for Partially Prestressed Concrete Beams, Computers & Structures, 17, 2, 287-299.
- Naaman, A., E., 1985. Partially Prestressed Concrete: Review and Recommendations, Journal of Prestressed Concrete Institute, 30, 6, 31-71.
- Naaman, A., E., Harajli, M., H. ve Wight, J., K., 1986. Analysis of Ductility in Partially Prestressed Concrete Flexural Members, Journal of Prestressed Concrete Institute, 31, 3, 64-87.

- Naaman, A., E., 1989. Fatigue of Reinforcement in Partially Prestressed Beams, Proceedings of ASCE Structures Congress, Structural Materials, May, San Francisco, California, 377-381.
- Naaman A., E. ve Founas, M., 1991. Partially Prestressed Beams under Random Amplitude Fatigue Loading, Journal of Structural Engineering, 117, 12, 3742-3761.
- Naaman, A., E. ve Hamza, A., M., 1991. Evaluation of Prestress Losses for Partially Prestressed High Strength Concrete Beams, Report No. UMCE 91-18, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Michigan, Ann Arbor.
- Naaman, A., E., 1992. Unified Design Recommendations for Reinforced, Prestressed, and Partially Prestressed Concrete Bending and Compression Members, ACI Structural Journal, 89, 2, 200-210.
- Naaman, A., E. ve Hamza, A., M., 1993. Prestress Losses in Partially Prestressed High Strength Concrete Beams, Journal of Prestressed Concrete Institute, 38, 3, 98-114.
- Naaman, A., E., Tan, K., H., Jeong, S., M. ve Alkhairi, F., M., 1993. Partially Prestressed Beams with Carbon Fiber Composite Strands: Preliminary Tests Evaluation, ACI Special Publication, 138, 441-464.
- Naaman, A., E., 1995. Unified Bending Strength Design of Concrete Members: AASHTO LRFD Code, Journal of Structural Engineering, 121, 6, 964-970.
- Naaman, A., E., 2012. Prestressed Concrete Analysis and Design: Fundamentals, Techno Press 3000, Third Edition, 1176 p., Ann Arbor, Michigan.
- Nagendra, S., Jestin, D., Gürdal, Z., Hafıka, R., T. ve Watson, L., T., 1996. Improved Genetic Algorithm for the Design of Stiffened Composite Panels, Computers & Structures, 58, 3, 543-555.
- Nawy, E., G., 2003. Prestressed Concrete: A Fundamental Approach, Prentice Hall, Fourth Edition, 939 p., Upper Saddle River, New Jersey, USA.
- Nilson, A., H., 1976. Flexural Stresses After Cracking in Partially Prestressed Beams, Journal of Prestressed Concrete Institute, 21, 4, 72-81.
- Nilson, A., H., 1987. Design of Prestressed Concrete, John Wiley & Sons, 2nd Edition, Canada.
- Oktar, B., Ö., 1995. Öngerilmeli Beton Kirişlerin Lineer Olmayan Programlamayla Optimum Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Özden, Ş. ve Ertaş, O., 2007. Behavior of Unbonded, Post-Tensioned, Precast Concrete Connections with Different Percentages of Mild Steel Reinforcement, Journal of Prestressed Concrete Institute, 52, 2, 32-44.

- Öztürk, H., T., 2013. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Betonarme Sığ Tünellerin Yapay Arı Koloni Algoritması ve Genetik Algoritmayla Optimum Tasarımı, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Öztürk, H., T., Durmuş, A. ve Durmuş A., 2012. Optimum Design of a Reinforced Concrete Beam Using Artificial Bee Colony Algorithm, Computers and Concrete, 10, 295-306.
- Öztürk, H., T. ve Durmuş, A., 2013. Optimum Cost Design of RC Columns Using Artificial Bee Colony Algorithm, Structural Engineering and Mechanics, 45, 643-654.
- Padmarajaiah, S., K. ve Ramaswamy, A., 2002. A Finite Element Assessment of Flexural Strength of Prestressed Concrete Beams with Fiber Reinforcement, Cement and Concrete Composites, 24, 2, 229-241.
- Paramasivam, P., Tan, K., H. ve Murugappant, K., 1995. Finite Element Analysis of Partially Prestressed Steel Fiber Concrete Beams in Shear, Advanced Cement Based Materials, 2, 6, 231-239.
- Park, R. ve Thompson, K., J., 1977. Cyclic Load Tests on Prestressed and Partially Prestressed Beam-Column Joints, Journal of Prestressed Concrete Institute, 22, 5, 84-111.
- Parlak, M., 2007. Genetik Algoritmaların Hesapsal ve Yapısal Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- Paya, I., Yepes, V., González-Vidoso, F. ve Hospitaler, A., 2008. Multiobjective Optimization of Concrete Frames by Simulated Annealing, Computer Aided Civil and Infrastructure Engineering, 23, 8, 596-610.
- Perera, R., Ruiz, A. ve Manzano, C., 2009. Performance Assessment of Multicriteria Damage Identification Genetic Algorithms, Computers & Structures, 87, 120-127.
- Pérez, B., Mínguez, R. ve Guancho, R., 2013. Offshore Wind Farm Layout Optimization Using Mathematical Programming Techniques, Renewable Energy, 53, 389-399.
- Perez, R., E. ve Behdinan, K., 2007. Particle Swarm Approach for Structural Design Optimization, Computers & Structures, 85, 19, 1579-1588.
- Perisic, Z. ve Alender, V., 1983. Effect of Nonprestressed Reinforcement on Prestress Losses and Serviceability Limit of Prestressed Members, International Symposium: Nonlinearity and Continuity in Prestressed Concrete, July, University of Waterloo, Waterloo, Canada, 217-233.
- Peterson, D., N. ve Tadros, M., K., 1986. Simplified Flexural Design of Partially Prestressed Concrete Members, Journal of Prestressed Concrete Institute, 30, 3, 50-69.

- Pisani, M., A., 1999. Strengthening by Means of External Prestressing, Journal of Bridge Engineering, 4, 2, 131-135.
- Prasado Rao, A., S., 1970. Design of Limited and Moderately Prestressed Concrete Members, Seminar on Problems of Prestressing Proceedings, January-February, Madras, India, 83-98.
- Quan, H. ve Shi, X., 2008. On the Analysis of Performance of the Improved Artificial Bee Colony Algorithm. Fourth International Conference on Natural Computation, Ekim, Jinan, China, IEEE, 654-658.
- Rajan, S., D., 1995. Sizing, Shape, and Topology Design Optimization of Trusses using Genetic Algorithm, Journal of Structural Engineering, 121, 10, 1480-1487.
- Ramanathan, R., Kalaiarasi, K. ve Prabha, D., 2013. Improved wavelet based compression with adaptive lifting scheme using Artificial Bee Colony algorithm, International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology, 2, 4, 1549-1554.
- Rao, A., S., P. ve Jayaraman, R., 1989. Creep and Shrinkage Analysis of Partially Prestressed Concrete Members, Journal of Structural Engineering, 115, 5, 1169-1189.
- Rao, A., S., P., 1991. Selection and Design of Partially Prestressed Concrete Sections for Strength and Serviceability, ACI Structural Journal, 88, 3, 330-339.
- Rao, S., V., K., M, Rao, A., S., P. ve Dilger, W., H., 1993. Time-Dependent Analysis of Cracked Partially Prestressed Concrete Members, Journal of Structural Engineering, 119, 12, 3571-3589.
- Rao, S., V., K., M. ve Dilger, W., H., 1993. Evaluation of Short-Term Deflections of Partially Prestressed Concrete Members, ACI Structural Journal, 89, 1, 71-78.
- Rashed, A., Rogowsky, D., M. ve Elwi, A., E., 2000. Tests on Reinforced Partially Prestressed Concrete Tank Walls, Journal of Structural Engineering, 126, 6, 675-683.
- Rebentrost, M., 2003. Deformation Capacity and Moment Redistribution of Partially Prestressed Concrete Beams, Doctoral Dissertation, Adelaide University, Department of Civil and Environmental Engineering, Australia.
- Riche, R., L. ve Haftka, R., T., 1993. Optimization of Laminate Stacking Sequence for Buckling Load Maximization by Genetic Algorithm, AIAA Journal, 31, 5, 951-956.
- Riva, P. ve Cohn, M., Z., 1990. Engineering Approach to Nonlinear Analysis of Concrete Structures, Journal of Structural Engineering, 116, 8, 2162-2186.

- Rodriguez-Gutierrez, J., A. ve Aristizabal-Ochoa, J., D., 2001a. Reinforced, Partially, and Fully Prestressed Slender Concrete Columns under Biaxial Bending and Axial Load, Journal of Structural Engineering, 127, 7, 774-783.
- Rodriguez-Gutierrez, J., A. ve Aristizabal-Ochoa, J., D., 2001b. M-P-Ø Diagrams for Reinforced, Partially, and Fully Prestressed Concrete Sections under Biaxial Bending and Axial Load, Journal of Structural Engineering, 127, 7, 763-773.
- Rozvany, G., I., N., 2009. A Critical Review of Established Methods of Structural Topology Optimization, Structural and Multidisciplinary Optimization, 37, 217-237.
- Saka, M., P., 1988. Optimum Design of Nonlinear Space Trusses, Computers and Structures, 30, 3, 545-551.
- Salajegheh, E. ve Gholizadeh, S., 2005. Optimum Design of Structures by an Improved Genetic Algorithm using Neural Networks, Advances in Engineering Software, 36, 757-767.
- Saouma, V., E. ve Murad, R., S., 1984. Partially Prestressed Concrete Beam Optimization, Journal of Structural Engineering, 110, 3, 589-604.
- Saqan, E., I. ve Frosch, R., J., 2009. Influence of Flexural Reinforcement on Shear Strength of Prestressed Concrete Beams, ACI Structural Journal, 106, 1, 60-68.
- Sarma, K., C. ve Adeli, H., 1998. Cost Optimization of Concrete Structures, Journal of Structural Engineering, 124, 5, 570-578.
- Sarsık, S., T., 2008. Öngerilmeli Prefabrike I Kesitli Köprü Kirişlerinin Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Sato, T. ve Hagiwara, M., 1997. Bee System: Finding Solution by a Concentrated Search. International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, Ekim, Florida, ABD, IEEE, 3954-3959.
- Scholz, H., 1991. Simple Deflection and Cracking Rules for Partially Prestressed Members, ACI Structural Journal, 88, 2, 199-203.
- Sevim, Ö., 2013. Yapay Arı Koloni Algoritması Kullanılarak 3 Boyutlu Çelik Yapıların Optimum Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray.
- Shahawi, M., E., 1985. Fatigue and Cracking Behaviour of Partially Prestressed Concrete Members, Doctoral Dissertation, Queen's University, Kingston, Ontario, Canada.
- Shahawi, M., E. ve Batchelor, B., D., 1986. Fatigue of Partially Prestressed Concrete, Journal of Structural Engineering, 112, 3, 524-537.

- Shaikh, A., F. ve Branson, D., E., 1970. Non-tensioned Steel in Prestressed Concrete Beams, Journal of Prestressed Concrete Institute, 15, 1, 14-36.
- Sharif, A., M. ve Basu, P., K., 1982. Behavior of Partially Prestressed Composite Beams, Structural Engineering Research Report, No. 65, Washington University, St Louis.
- Shelton, D., J. ve Naaman, A., E., 1982. A Proposal to Extend Some Code Provisions on Reinforcement to Partial Prestressing, Journal of Prestressed Concrete Institute, 27, 1, 150-151.
- Shushkewich, K., W., 1983. Simplified Cracked Section Analysis, ACI Journal Proceedings, 80, 6, 526-531.
- Shushkewich, K., W., 1990. Moment-curvature Relationships for Partially Prestressed Concrete Beams, Journal of Structural Engineering, 116, 10, 2815-2823.
- Sönmez, M., 2011. Artificial Bee Colony Algorithm for Optimization of Truss Structures, Applied Soft Computing, 11, 2, 2406-2418.
- Stevens, R., F., 1970. Tests on Prestressed Reinforced Concrete Beams, Concrete, 3, 11, 457-462.
- Suri, K., M. ve Dilger, W., H., 1986. Crack Width of Partially Prestressed Concrete Members, ACI Journal Proceedings, 83, 5, 784-797.
- Şeker, T., 2008. Düzlemsel Çelik Çerçevelerin Genetik Algoritma ile Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Tadros, M., K., Ghali, A. ve Dilger, W., H., 1977. Effect of Non-prestressed Steel on Prestress Loss and Deflection, Journal of Prestressed Concrete Institute, 22, 2, 50-63.
- Tadros, M., K., 1982a. Expedient Service Load Analysis of Cracked Prestressed Concrete Sections, Journal of Prestressed Concrete Institute, 27, 6, 86-111.
- Tadros, M., K., 1982b. Expedient Serviceability Analysis of Cracked Prestressed Concrete Beams, Journal of Prestressed Concrete Institute, 27, 6, 67-86.
- Taerwe, L., R., 1990. Simplified Analysis of Stress Redistribution in Partially Prestressed Concrete Sections, ACI Structural Journal, 87, 1, 93-98.
- Tam, A. ve Pannell, F., N., 1976. The Ultimate Moment of Resistance of Unbonded Partially Prestressed Reinforced Concrete Beams, Magazine of Concrete Research, 28, 97, 203-208.
- Tam, A. ve Pannell, F., N., 1977. Design of Partially Prestressed Beams, Concrete, 11, 9, 32-33.

- Taşkınoğlu, E., E., 2006. Genetik Algoritma ile Yapısal Optimizasyon, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Tereshko, V., 2000. Reaction-Diffusion Model of a Honeybee Colony's Foraging Behaviour, Parallel Problem Solving from Nature PPSN VI Lecture Notes in Computer Science, 1917, 807-816.
- T.C.K., 2013. Köprü Envanter Bilgileri, T.C.K. İstatistiki Yayınlar, Ankara.
- Thomas, J. ve Ramaswamy, A., 2007. Shear of Prestressed Concrete Beams with Steel Fibres, Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Structures & Buildings, 160, 5, 287-293.
- Thompson, K., J. ve Park, R., 1980a. Seismic Response of Partially Prestressed Concrete, Journal of the Structural Division, 106, 8, 1755-1775.
- Thompson, K., J. ve Park, R., 1980b. Ductility of Prestressed and Partially Prestressed Concrete Sections, Journal of Prestressed Concrete Institute, 25, 2, 45-69.
- Thürlimann, B., 1971. A Case for Partial Prestressing, Structural Concrete Symposium Proceedings, May, University of Toronto, 253-301.
- Toğan, V., 2004. Kafes Sistemlerin Sabit ve Katar Yükleri Altında Genetik Algoritma ile Boyut ve Şekil Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Togan, V. ve Daloglu, A., T., 2006. Optimization of 3D Trusses with Adaptive Approach in Genetic Algorithms, Engineering Structures, 28, 7, 1019-1027.
- TS 3233, 1979. Öngerilmeli Beton Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 500, 2000. Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Turgut, P., 1995. Yapılarda Hareketli Yük Kombinasyonlarının Genetik Algoritmalar ile Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Türker, İ., Y., 2009. Çelik Köprülerin Tasarımı, Microsoft Powerpoint Sunumu, Proya A.Ş., Ankara.
- Tütüncü, İ., 1995. Çelik Çerçevelerin Genetik Algoritmalarla Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Uber, A., H., 1983. Practical Design of Partially Prestressed Concrete Beams, Concrete International, 5, 4, 49-54.

- Ünalmiş, D., 2012. Design Optimization of Truss Structures using Genetic Algorithms, Master of Science Thesis, Middle East Technical University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Aerospace Engineering, Ankara.
- Veerasubramanian, N., 1971. Effect of Shape of Cross-section on the Flexural Behaviour of Class 3 Prestressed Concrete Beams, Doctoral Dissertation, University of Leeds, Leeds.
- Wedde, H., Farooq, M. ve Zhang, Y., 2004. Beehive: an Efficient Fault-Tolerant Routing Algorithm Inspired by Honey Bee Behavior, Ant Colony Optimization and Swarm Intelligence, 3172, 83-94.
- Xin, L., J. ve Gilbert, R., I., 1993. Time Analysis of Partially Prestressed Beam Subjected to Changing Loads, Journal of Structural Engineering, 119, 9, 2593-2606.
- Yaginuma, Y. ve Kitada, Y., 1988. Influence of Span on Behaviour of Partially Prestressed Concrete Beams with Exterior Cables, Transactions of the Japan Concrete Institute, 10, 409-416.
- Zatar, W., A. ve Mutsuyoshi, H., 2000. Reduced Residual Displacements of Partially Prestressed Concrete Bridge Piers, 12th World Conference on Earthquake Engineering, January, Auckland, New Zealand, Paper No.1111.
- Zatar, W., A. ve Mutsuyoshi, H., 2002. Residual Displacements of Concrete Bridge Piers Subjected to Near Field Earthquakes, ACI Structural Journal, 99, 6, 740-749.
- Zhao, H., Pei, Z., Jiang, J., Guan, R., Wang, C. ve Shi, X., 2010. A Hybrid Swarm Intelligent Method Based on Genetic Algorithm and Artificial Bee Colony, Advances in Swarm Intelligence, 6145, 558-565.
- Zou, P., X., W., 2003. Theoretical Study on Short-Term and Long-Term Deflections of Fiber Reinforced Polymer Prestressed Concrete Beams, Journal of Composites for Construction, 7, 4, 285-291.

ÖZGEÇMİŞ

Erdem TÜRKEĒLİ 1983 yılında Ordu'da doğdu. İlköğrenimini 1989-1994 yılları arasında, Burdur İli, Bucak İlçesi, Cumhuriyet İlkokulu'nda, orta ve lise öğrenimini ise, 1994-2001 yılları arasında, sırasıyla, Bucak Anadolu Lisesi, Diyarbakır Anadolu Lisesi ve en son Ordu Anadolu Lisesi'nde okul birincisi derecesi ile tamamladı. Yüksek öğrenimine 2001 yılında Ortadoğu Teknik Üniversitesi'nde başlayarak, 2005-2006 Eğitim-Öğretim yılı Bahar Dönemi'nde 2,82 not ortalaması ile mezun oldu. Yüksek Lisans öğrenimine, 2007 yılında, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda başladı. Aynı yıl Kamu Personeli Seçme Sınavı'nda göstermiş olduğu başarı ile Amasya Bayındırlık ve İskan İl Müdürlüğü emrine atandı. Yüksek Lisans eğitimini 2009 yılında tamamladıktan sonra, askerlik görevini ifa etmek üzere görevinden ayrıldı. Kamu Personeli Yabancı Dil Sınavı (KPDS) ve Üniversitelerarası Kurul Yabancı Dil Sınavı (ÜDS)'de elde etmiş olduğu başarılı sonuçlar ile İngilizce'den muafiyet alarak, 2011 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Doktora öğrenimine başladı. Halen Ordu Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü'nde görevini devam ettirmektedir. Evli ve bir çocuk babası olan Erdem TÜRKEĒLİ'nin yabancı dili İngilizce'dir.

SCI/SCIE kapsamındaki dergilerde yayınlanmış makaleleri ve diğer yayınları:

1. Karaca, Z., **Türkeli, E.**, 2012. Determination and comparison of wind loads for industrial reinforced concrete chimneys, The Structural Design of Tall and Special Buildings, 21, 2, 133-154.
2. Karaca, Z., **Türkeli, E.**, 2014. The slenderness effect on wind response of industrial reinforced concrete chimneys, Wind and Structures, 18, 3, 281-294.
3. Karaca, Z., **Türkeli, E.**, Günaydın, M., Adanur, S., 2015. Dynamic responses of industrial reinforced concrete chimneys strengthened with fiber-reinforced polymers, The Structural Design of Tall and Special Buildings, 24, 3, 228-241.
4. **Türkeli, E.**, Livaoğlu, R., Doğangün, A., 2015. Dynamic response of traditional and buttressed reinforced concrete minarets, Engineering Failure Analysis, 49, 31-48.

5. **Türkeli, E.**, 2014. Determination and Comparison of Wind and Earthquake Responses of Reinforced Concrete Minarets, Arabian Journal for Science and Engineering, 39, 5, 3665-3680.
6. **Türkeli, E.**, Durmuş, A., Betonarme Sanayi Bacalarının Deprem Davranışı Üzerine Bir Yaklaşım, 8. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, Mayıs 2015, İstanbul, Bildiriler Kitabı I: 255-262.
7. Öztürk, H. T., **Türkeli, E.**, Durmuş, A., 2016. Optimum Design of RC Shallow Tunnels in Earthquake Zones Using Artificial Bee Colony and Genetic Algorithms, Computers and Concrete, 17, 4, 435-453.

