

T.C
DİCLE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğüne
DIYARBAKIR

Bu çalışma, jürimiz tarafından *İnşaat...Mühendisliği*.....
Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
BOKÜMANTASYON MERKEZİ

Jüri Üyesinin Ünvanı , Adı Soyadı

Başkan : **Prof. Dr. M. Sedat HAYALİOĞLU (Danışman)** *Sedat*

Üye : **Prof. Dr. Mehmet ÜLKER** *Mehmet*

Üye : **Yrd. Doç. Dr. Halil GÖRGÜN** *Halil*

Yukarıdaki bilgilerin doğruluğunu onaylarım.

İlhan
30.17.1.2001.
Prof. Dr. H. İlhan TÜTALAR
Müdür

TEŞEKKÜR

Tez yönetimimi üstlenen ve çalışmamın her aşamasında büyük ilgi, yakınlık ve desteğini gördüğüm Prof. Dr. M. Sedat HAYALIOĞLU'na en içten teşekkürlerimi sunarım.



| | <u>Sayfa</u> |
|--|---------------------|
| Teşekkür | i |
| İçindekiler | ii |
| Amaç | v |
| Özet | vii |
| Summary | viii |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR | 2 |
| 3. OPTİMİZASYON VE GENETİK ALGORİTMA | 4 |
| 3.1. Giriş | 4 |
| 3.2. Optimizasyon Problemindeki Temel Kavramlar | 5 |
| 3.2.1. Tasarım Değişkenleri | 5 |
| 3.2.1.1. Yapı Geometrisi ve Şekli | 6 |
| 3.2.1.2. Enkesit Boyutları | 6 |
| 3.2.1.3. Yapı Topolojisi | 6 |
| 3.2.1.4. Malzeme Özellikleri | 6 |
| 3.2.2. Sınırlayıcılar | 6 |
| 3.2.3. Tasarım Uzayı | 7 |
| 3.2.4. Amaç Fonksiyonu | 8 |
| 3.2.5. Optimizasyon Probleminin Matematiksel İfadesi | 8 |
| 3.3. Optimizasyon Yöntemleri | 8 |
| 3.3.1. Matematik Programlama | 9 |
| 3.3.1.1. Lineer Programlama | 9 |
| 3.3.1.2. Lineer Olmayan Programlama | 9 |
| 3.3.2. Dinamik Programlama | 10 |
| 3.3.3. Optimumluk Kriteri Yöntemleri | 10 |
| 3.4. Genetik Algoritma | 11 |
| 3.4.1. Giriş | 11 |
| 3.4.2. Genetik Algoritma Kavramı | 11 |
| 3.4.3. Genetik Algoritma Operatörleri | 12 |
| 3.4.3.1. Üreme Operatörü | 12 |
| 3.4.3.2. Çaprazlama Operatörü | 13 |
| 3.4.3.3. Mutasyon (Başkalaşım) Operatörü | 14 |

| | |
|--|-----------|
| 3.5. Optimum Tasarım Problemi | 14 |
| 3.5.1. Amaç Fonksiyonu | 15 |
| 3.5.2. Uygunluk Kriteri | 15 |
| 4. YARI RİJİT BİRLEŞİMLİ ÇELİK ÇERÇEVELER | 21 |
| 4.1. Giriş | 21 |
| 4.2. Yarı Rijit Birleşim Davranışı | 21 |
| 4.3. Birleşim Modelleri | 24 |
| 4.4. Birleşim Tipleri | 25 |
| 4.5. Eleman Rijitlikleri | 30 |
| 4.5.1. Kiriş-Kolon Elemanı | 30 |
| 4.5.2. Yarı Rijit Kiriş Elemanı | 31 |
| 4.5.2.1. Yarı Rijit Kiriş Elemanı İçin | |
| Ankastrelik Uç Momentleri Elde Edilmesi | 34 |
| 4.6. Yapı Rijitlik Matrisi | 37 |
| 5. BİLEŞİK GERİLME KONTROLLERİ GERİLME VE DEPLASMAN SINIRLAYICILARI | 39 |
| 5.1. Giriş | 39 |
| 5.2. Eksenel Basınç ve Eğilme Bağlılıları | 39 |
| 5.3. Etkili Kolon Uzunluk Faktörü | 43 |
| 5.4. Eksenel Çekme ve Eğilme Bağlılıları | 43 |
| 5.5. Genetik Algoritmadaki Gerilme ve Deplasman Sınırlayıcıları | 44 |
| 6. LİNEER OLMAYAN ANALİZ | 46 |
| 6.1. Giriş | 46 |
| 6.2. Sekant Rijitlik Yaklaşımı | 46 |
| 6.3. Lineer Olmayan Analiz Algoritması | 49 |

| | |
|---|----|
| 7. YARI RİJİT BİRLEŞİMLİ LİNEER OLMAYAN ÇERÇEVELERİN OPTİMUM TASARIM ALGORİTMASI VE BİLGİSAYAR PROGRAMLAMASI | |
| 7.1. Giriş | 50 |
| 7.2. Optimum Tasarım Algoritması | 50 |
| 7.3. Bilgisayar Programlaması | 51 |
| 7.3.1. Programın Giriş Bilgilerinde Kullanılan Sembollerin Tanıtımı | 51 |
| 7.3.2 Giriş Bilgilerinin Verilmesi | 55 |
| 7.4 Örnek Çerçeve Datası | 56 |
| 8. SAYISAL ÖRNEKLER | 64 |
| 8.1. Giriş | 64 |
| 8.2. Tek Açıklıklı Üç Katlı Çerçeve | 65 |
| 8.3. İki Açıklıklı Üç Katlı Çerçeve | 70 |
| 8.4. Üç Açıklıklı Dört Katlı Çerçeve | 75 |
| 8.5. Tek Açıklıklı On Katlı Çerçeve | 78 |
| 9. SONUÇLAR | 83 |
| KAYNAKLAR | 85 |
| ÇİZELGE LİSTESİ | 88 |
| ŞEKİL LİSTESİ | 90 |
| SEMBOLLER | 91 |
| ÖZGEÇMİŞ | 96 |

AMAÇ

Taşıyıcı sistemlerin tasarımında, eleman birleşimleri ya mükemmel bir şekilde mafsallı ya da tamamen rijit kabul edilmektedir. Gerçekte ise birleşimler bu iki kabulün arasındadırlar; yarı rijittirler, yani dönmeye karşı bir miktar rijitliğe sahiptirler. Özellikle çelik yapılarda kullanılan bulonlu kiriş-kolon birleşimleri uygulanan eğilme momenti altında belirli bir esnekliğe ve dönmeye sahiptirler. Birleşimlerin bu esnekliği taşıyıcı sistemin stabilitesi üzerinde olumsuz rol oynamakta ve sistemlerin yanal ötelenmesini artırmaktadır. Yanal ötelenmelerdeki bu artış elemanlardaki ikinci mertebe yani $P - \Delta$ etkilerini arttıracaktır. Bu nedenle kiriş-kolon birleşimlerinin lineer olmayan moment-dönme özellikleri yapı sistemlerinin tasarımında önemli rol oynamaktadır.

Günümüzde yapı sistemlerinin ekonomik tasarımı önem kazanmaktadır. Bu da yapı sistemlerinin tasarımının belirlenen bir optimizasyon yöntemiyle yapılmasını gerekli kılmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, kiriş-kolon birleşimlerinin yarı-rijit özelliklerini dikkate alarak çelik çerçeve taşıyıcı sistemlerin hesaplanan yükler altında çelik yapıların tasarımıyla ilgili Türk yönetmeliklerindeki (TS 648) bileşik gerilme ve burkulma sınırlayıcıları ve ayrıca deplasman sınırlayıcıları altında optimum tasarımı gerçekleştiren bir algoritma ve bunun bilgisayar programını geliştirmektir. Optimizasyon yöntemi olarak doğadaki genetik ve doğal seleksiyon olayına dayanan genetik algoritma yöntemi seçilmiştir. Optimum tasarımda, yukarıda bahsedilen yükler ve sınırlayıcılar altında minimum ağırlıklı çerçevelerin elde edilmesi amaçlanmıştır. Optimum tasarımın bir parçası olan çerçevelerin analizlerinde, eleman birleşimlerinin yarı-rijit özellikleri ve elemanlarda ikinci mertebe etkileri; yani geometrik bakımdan lineer olmayan davranışları da göz önüne alınarak, lineer olmayan analiz teknikleri kullanılmıştır.

Bu çalışmada geliştirilen algoritma ve bilgisayar programı ile değişik yarı-rijit birleşimli çelik çerçevelerin optimum tasarımları yapılmış, sonuçlar rijit birleşimli çerçevelerin optimum tasarımıyla karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmalardan aşağıdaki bazı önemli sonuçlar elde edilmiştir; Yarı-rijit birleşimli çerçeveler, rijit birleşimli çerçevelere göre daha ekonomik sonuçlar vermektedir. Ayrıca birleşimlerin yarı-rijit olması çerçevelerin yatay ötelenmelerini artırmaktadır. Çelik çerçevelerin tasarımları, belirlenen çelik profil listelerinden yapıldığı için, optimizasyon yöntemi

olarak ayırık tasarım değişkenleriyle uğraşan bir yöntemin seçilmesi gerekmektedir. Optimizasyon yöntemi olarak genetik algoritmanın buna uygun bir yöntem olduğu görülmektedir.



ÖZET

Bu çalışmada yarı-rijit birleşimli çelik çerçevelerin genetik algoritma yöntemiyle optimum tasarımı için bir algoritma geliştirilmiş ve bu algoritmanın bilgisayar programı sunulmuştur. Optimizasyonda Türk Çelik Yapılar Yönetmeliğindeki TS 648 (1980) gerilme ve çerçeve yanal ötelenme sınırlayıcıları kullanılmıştır.

Birinci bölümde araştırmanın nedeni ve önemi belirtilmektedir.

İkinci bölümde ise bu konuda veya benzeri konularda daha önce yapılan çalışmalara kısaca değinilmiştir.

Üçüncü bölümde optimizasyon problemiyle ilgili temel kavramlar verilmiştir. Optimizasyon yöntemleri kısaca açıklanmış bunlardan genetik algoritma yöntemi detaylı biçimde incelenmiştir.

Dördüncü bölümde yarı-rijit birleşim davranışı detaylı biçimde incelenmiş, birleşim türleri verilmiştir. Yarı-rijit birleşimli çelik çerçevelerin analizi için gerekli bağıntılar ve yarı-rijit birleşimli elemanlar için rijitlik matrisleri elde edilmiştir.

Beşinci bölümde tasarımda esas alınan gerilme formülleri TS 648 Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları yönetmeliği esas alınarak verilmiştir.

Altıncı bölümde lineer olmayan analiz yük artımı yaklaşımına dayanan ve her yük artımında sistem rijitlik denklemleri şekil değiştirmiş son durum için sağlayan sekant rijitlik yaklaşımı açıklanmış, lineer olmayan analiz algoritması verilmiştir.

Yedinci bölümde lineer olmayan yarı-rijit birleşimli çerçevelerin genetik algoritma ile optimum tasarım algoritması verilmiştir. Geliştirilen bilgisayar programı tanıtılmış programın giriş bilgilerindeki semboller açıklanmıştır. Giriş bilgilerinin formatı verilerek örnek çerçeve datası üzerinde gösterilmiştir.

Sekizinci bölümde değişik çerçevelerin optimum tasarımı, geliştirilen bilgisayar programı ile yapılmış ve sonuçlar verilmiştir. Aynı çerçevelerin rijit birleşimli olarak tasarımları da yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Dokuzuncu bölümde çalışmadan elde edilen sonuçlar verilmiştir. Buna göre; yarı-rijit birleşimli çerçevelerin rijit birleşimli çerçevelere göre daha ekonomik olduğu görülmekte ancak çerçeve yanal ötelenmelerinde epey bir artış olmaktadır. Ayrıca birleşim parametreleri değiştirilerek çözümler yapılmış ve daha esnek birleşimlerin daha ağır optimum çerçeveler doğurduğu sonucuna varılmıştır. Yarı-rijit birleşimli kirişlerde, rijit birleşimli kirişlere göre uç momentlerinde azalma ve açıklık momentlerinde artma olmakta ve daha ekonomik bir kiriş tasarımı yapılmaktadır.

SUMMARY

In this study, an algorithm has been developed for optimum design of semi-rigid steel frames. A computer program which follows the instructions of the algorithm has also been prepared and presented. Frame drift constraints and stress constraints in the Turkish Steel Design and Construction Specification TS 648 (1980) are used in the optimization.

In the first chapter, the importance and the reasons for the research has been stated.

In the second chapter, previous research works related to this subject are mentioned briefly.

In the third chapter, basic concepts regarding optimization problem and optimization methods are explained briefly. Genetic Algorithm, an optimization method, is inspected in detail in this chapter.

In the fourth chapter, semi-rigid behaviour of connections is examined in detail and the most common types of beam-to-column connections currently employed in the steel structures industry are given. The equations and member stiffness matrices required for the analysis of steel frames with incorporating the semi-rigid connections have been obtained.

In the fifth chapter, the stress interaction formulas considered in the optimum design taken from TS 648 (1980) are expressed.

In the sixth chapter, a nonlinear analysis method depending on the load incremental approach with secant stiffness concept is explained in which the system equilibrium equations are satisfied for the deformed system in every load increment. Nonlinear analysis algorithm is also given in this chapter.

In the seventh chapter, optimum design algorithm for the nonlinear semi-rigid frames is presented. A computer program developed in this study is introduced. Information on input data of the program and sample frame data are given herein.

In the eighth chapter, optimum designs of various frames are performed by the computer program and the results are presented. The same frames with rigid connections are also designed and results are compared.

In the ninth chapter, conclusions drawn from this study are given. The important conclusions are as follows;

Semi-rigid frames have been found economic when compared to rigid frames, but there has been considerable increase in their displacements. Moreover, designs are performed changing the connections parameters. Frames with more flexible, connections result in heavier optimum frames. End moments decrease span moments increase in the beams when compared to the beams with rigid connections. This leads to a more economic beam design.



1. GİRİŞ

Bu çalışmada geometrik bakımından lineer olmayan, malzeme olarak standart çelik kesitlerden oluşan ve yarı rijit birleşim özelliği gösteren düzlem çerçevelerin optimum tasarımı için bir algoritma geliştirilmiş ve bunun bilgisayar programı yapılmıştır. Algoritma, optimizasyon yöntemi olarak genetik algoritma ve lineer olmayan analiz yöntemlerinin beraber kullanılmasıyla elde edilmiştir. Burada amaç fonksiyonu çerçevenin ağırlığı olurken sınırlayıcı olarak deplasman ve gerilme sınırlayıcıları alınmıştır. Geliştirilen bilgisayar programı lineer olmayan rijit birleşimli çerçevelerin genetik optimizasyonunu da yapabilmektedir. Böylelikle, yarı rijit birleşim davranışı ile rijit birleşim davranış arasında karşılaştırma yapma olanağı da sağlanmaktadır.

Bilindiği gibi klasik çerçeve analizinde birleşimler ya tam rijit ya da mafsallı kabul edilmektedir. Bu idealleştirme analiz işlemini basitleştirmesine karşın idealleştirilmiş davranış ile yapının gerçek davranışı arasında farklılıklar yaratmaktadır. Çünkü, çerçevelerdeki kiriş-kolon birleşimleri gerçekte yarı-rijit davranırlar. Dolayısıyla çerçevenin gerçek davranışını dikkate alarak yapılan analizler daha doğru olacaktır. Ekonominin her geçen gün biraz daha önemli olduğu günümüzde, aynı sistemin deplasman ve gerilme sınırlamalarını sağlayan bir çok analizin yapılması ve bu analizlerden minimum ağırlıklı çerçevenin tespit edilmesi büyük önem taşımaktadır. Minimum ağırlıklı çerçeve tasarımı bir çok araştırmacının ilgisini çekmiştir. Son yıllarda bu konu üzerine yapılan yapısal optimizasyon ile ilgili çalışmalarda genetik algoritma yöntemi sıkça kullanılmıştır.

İşte bu çalışma, kiriş-kolon birleşiminin gerçek davranışı olan yarı rijit davranışı ile son yıllarda yapısal optimizasyonla ilgili çalışmalarda sıkça kullanılan genetik algoritma yöntemini ve lineer olmayan analiz tekniğini bir araya getirmeyi amaçlamıştır. Böylelikle bir taraftan birleşimlerin gerçek davranışı göz önüne alınırken aynı anda minimum ağırlıklı çerçeve de elde edilmeye çalışılmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bu bölümde teze ilgili konularda daha önceden yapılan bazı çalışmalara değinilmiştir. Konu karışıklığını önlemek amacıyla tez konusunda yapılan çalışmaları üç kısımda incelemek faydalı olacaktır. Bunlar genetik algoritma konusunda yapılan çalışmalar, yarı rijit birleşimlerle ilgili çalışmalar ve lineer olmayan analiz ile ilgili çalışmalardır. Bazı çalışmalarda lineer olmayan analiz ve yarı rijit birleşim özellikleri bir arada kullanılmış, bazı çalışmalarda ise genetik algoritma ve lineer olmayan analiz beraber kullanılmıştır.

Genetik algoritma ve optimizasyon ile ilgili yapılan bazı çalışmalar kronolojik olarak aşağıda sıralanmıştır.

Saka ve Hayalioğlu (1991), geometrik bakımdan lineer olmayan elastik-plastik çelik çerçevelerin optimumluk kriterleri yöntemini kullanarak optimizasyonu için bir algoritma geliştirmişlerdir. Rajaev ve Krishnamoorthy (1992), ayrık tasarım değişkenli yapısal sistemlerin optimizasyonu için basit bir genetik algoritma geliştirmişlerdir. Genetik algoritma sınırlayıcısız optimizasyon problemleri için uygun olduğundan sınırlayıcı problemi ceza fonksiyonları vasıtasıyla sınırlayıcısız hale dönüştürmüşlerdir. Jenkins (1992), düzlem çerçevelerin optimum tasarımı için bir genetik algoritma sunmuştur. Analizde doğal genetik kanunların uygulanmasıyla her nesilde daha iyi kesitler elde edildi. Daloğlu ve Armutçu (1998), düzlem çelik çerçevelerin optimum tasarımı için kesit özelliklerini pratikte hazır olan standart kesitlerden seçebilen bir genetik algoritma sunmuşlardır. Yapıyı gerilme, stabilite ve maksimum deplasman sınırlayıcıları altında boyutlandırmışlardır. Camp, Pezeshk ve Cao (1998), iki boyutlu yapıların ayrık optimizasyonu için bir genetik algoritma sunmuşlardır. Deplasman ve gerilme sınırlayıcıları altında minimum ağırlıklı çerçeveyi elde etmişlerdir. Pezeshk, Camp ve Chen (2000), iki boyutlu geometrik bakımdan lineer olmayan çelik çerçevelerin optimum tasarımı için bir genetik algoritma sunmuşlardır. Ayrıca geometrik bakımdan lineer ve lineer olmayan analiz arasında da karşılaştırma yapmışlardır. Hayalioğlu (2000), ayrık tasarım değişkenli geometrik bakımdan lineer olmayan elastik-plastik çerçevelerin optimum tasarımı için bir genetik algoritma geliştirmiştir. Lineer olmayan analizde Newton-Raphson iterasyonu vasıtasıyla yük artımı yaklaşımını kullanmıştır.

Yarı-rijit birleşimler ve bunların analizi ve tasarımı ile ilgili yapılan bazı önemli çalışmalar, kronolojik olarak aşağıda sıralanmıştır.

Kishi ve Chen (1986-a, 1986-b), yarı-rijit çelik birleşimlerin davranışı üzerine deneye dayalı geniş bir bilgi kaynağı oluşturmuşlardır. Toplam 303 test datası ve değiştirilmiş üstel eğri uydurma programı bilgisayar ortamına aktarmışlardır. Xu ve Grierson (1993), yarı rijit birleşim davranışını dikkate alarak çelik çerçevelerin optimum tasarımını yapan bir bilgisayar programı geliştirmişlerdir. Programda birleşim rijitlikleri sürekli, eleman kesitleri ise ayrı değişkenler olarak alınmıştır. Optimizasyon algoritmasında matematik programlama yöntemleri kullanarak deplasman ve gerilme sınırlayıcılarına bağlı olarak eleman ve birleşim maliyeti minimuma indirgenmişlerdir. Abdalla ve Chen (1995), yaygın olarak kullanılan yarı-rijit birleşim tipleri için 46 test datası üzerinde moment-dönme ilişkisi üzerine yaptıkları deneylerden bir veri tabanı elde etmişlerdir. Simoes (1996), yarı-rijit çelik çerçevelerin optimum tasarımını yapan bir bilgisayar programı sunmuştur. Programda birleşim rijitlikleri sürekli, eleman kesitleri ise ayrı değişkenler olarak alınmıştır. Optimizasyon algoritmasında matematik programlama yöntemini kullanarak minimum maliyetli çerçeveyi elde etmiştir. Goto ve Miyashita (1998), rijit ve yarı rijit davranış farklılıklarını dikkate alarak yarı-rijit birleşimler için yeni bir sınıflama sistemi önermişlerdir. Bu sistemde kullanılabilirlik sınır durumu yerine nihai durum göz önüne alınmıştır. Dhillon ve O'Malley (1999), geometrik bakımdan lineer olmayan yarı-rijit çerçeveler için bir algoritma geliştirmişlerdir. Lineer olmayan analizi yük artımı ve sekant rijitlik yaklaşımı ile gerçekleştirmişlerdir. İnteraktif bir program geliştirdiklerinden eleman kesitlerini ve birleşim parametrelerini değiştirme olanağı da bulunmaktadır.

Çerçevelerin lineer olmayan analizi ile ilgili yapılan bazı çalışmalar ise kronolojik olarak aşağıda sıralanmıştır.

Korn ve Galambos (1968), geometrik bakımdan lineer olmayan elastik-plastik düzlem çerçevelerin analizini yük artımına dayanan bir yöntemle yapmışlardır. Oran (1973a) geometrik bakımdan lineer olmayan düzlem çerçevelerin ve (1973b) ise uzay çerçevelerin tanjant rijitlik matrislerini elde etmiştir. Kassimali (1983) ve Cichon (1984), geometrik bakımdan lineer olmayan elastik-plastik düzlem çerçevelerin analizini Newton-Raphson tipi iterasyonu kullanarak yapmışlardır. See ve McConnel (1986), yük artımı ve tanjant rijitlik matrisi yaklaşımını kullanarak, uzay sistemlerin elastik stabilitesini incelemişlerdir. Goto ve Chen (1987), geometrik bakımdan lineer olmayan elastik düzlem çerçevelerin analizi için iteratif bir yöntem geliştirmişlerdir.

3. OPTİMİZASYON VE GENETİK ALGORİTMA

3.1. Giriş

İnşaat mühendisliğinde herhangi bir yapının tasarımı dört adımda gerçekleşmektedir.

- 1) Fonksiyonel ihtiyaçların belirlenmesi
- 2) Tasarımın yapılması
- 3) Optimizasyon
- 4) Kontrol ve detaylar

Birinci adımda önceden belirlenmiş olan fonksiyonel ihtiyaçlar ortaya konur. Örneğin, bir fabrika binası için gerekli olan arazi alanı, bir çerçevedeki kiriş ve kolon sayısı, bir köprüdeki kiriş sayısı. İkinci adımda beklenen ihtiyaçlara cevap verecek yapı tipi seçilir. Bu adımda eleman kesit alanlarının belirlenmesi, malzeme çeşidinin tayini, eleman birleşim tiplerinin seçimini kapsar. Ancak aynı ihtiyaçlara cevap verebilecek birden çok yapı tipi olacağından hangi yapı türünün seçileceği tasarım yapan mühendisin bilgi, beceri ve tecrübesine bağlı olacaktır. Üçüncü aşamada seçilen sisteme hizmet ömrü boyunca etkimesi beklenen yükler uygulanarak analiz yapılır. Bu analiz sonucunda elde edilecek kesit tesiri ve yer değiştirme değerlerinin yönetmeliklere uygunluğu irdelenir. Sonuçların uygun olmaması durumunda önceki adıma gidilerek kesit boyutları ve gerekiyorsa yapı tipi değiştirilir. Bu şekilde değiştirilen yapı için analiz adımı sonuçlar uygun oluncaya kadar tekrarlanır. Uygun sonuçlarda birbirleriyle karşılaştırılarak minimum ağırlıklı veya minimum maliyetli yapının elde edilmesi yoluna gidilir. Son adımda ise nihai kontroller yapılır.

Dikkat edilirse yapısal tasarım her aşamada en iyiye karar verme işleminden oluşan bir süreçtir. Optimizasyon karar verme problemlerine çözüm getiren bir bilim dalı olması itibarıyla birçok mühendislik alanında olduğu gibi İnşaat mühendisliğinde de kullanılmaktadır.

Optimizasyon problemleri temel olarak maksimum veya minimumu elde edilmek istenen bir amaç fonksiyonu ve problemin uygulama alanına göre değişecek sınırlayıcılardan oluşur. İnşaat mühendisliği uygulamalarında amaç fonksiyonumuz yapı maliyeti veya yapı ağırlığı olurken, sınırlayıcılarımız ise yönetmeliklerde maksimum veya minimum değerleri verilmiş olan gerilme ve deplasman değerleri olabilir.

Mevcut yapısal optimizasyon problemleri üç sınıfa ayrılabilir Camp (1998).

a. Matematik programlama : Optimum çözüme ulaşmada sayısal analiz tekniklerinden faydalanan yöntemlerdir. Gradyan yöntemleri, en dik iniş minimizasyonu gibi değişik sayısal analiz teknikleri vasıtasıyla optimum çözüme ulaşılır.

b. Optimumluk kriteri yöntemi : Yapı davranışına bağlı bir kriterin optimum çözümden sağlanmasına dayanır Kirsch (1981). Tam gerilmeli boyutlandırma bir optimumluk kriteri yöntemidir. Bu yöntemde en az bir yükleme durumu altında yapının her elemanının maksimum gerilmesi bir izin verilen gerilme ile sınırlanmıştır. Yöntem, tekrarlı analizler ve her analizde bir önceki adımdan daha iyi sonuçların elde edilmesi esasına dayanır.

c. Genetik algoritma : Genetik evrim kanunlarının bilgisayar programlama dillerine uyarlanmasıyla elde edilen bir optimizasyon tekniğidir. Yöntemin en önemli özelliği matematiksel kanunlar yerine doğal genetik kanunlardan faydalanmasıdır. Genetik algoritma doğal seçim ve genetik kodlama kavramları üzerine inşa edilmiştir. Analizde, her adımda çevre koşullarına en uygun bireylerin hayatta kalması esası uygulanır.

3.2. Optimizasyon Problemindeki Temel Kavramlar

3.2.1. Tasarım Değişkenleri

Optimum tasarım probleminde amaç fonksiyonunu meydana getiren değişkenlere tasarım değişkenleri denir. Tasarım değişkenleri şu özellikleri temsil edebilir.

- a) Yapının geometrisi
- b) Enkesit boyutları
- c) Yapı topolojisi
- d) Malzemenin fiziksel veya mekanik özellikleri

Optimizasyon problemlerinde tasarım değişkenleri sürekli ve ayrık olmak üzere iki grupta incelenir. Sürekli değişkenler belli bir aralıkta her değeri alabilirken, ayrık değişkenler belli bir aralıkta sadece önceden belirlenmiş tekil değerleri alabilir. Yapı mühendisliğinde karşılaştığımız değişkenler ise genellikle ayrık değişkenlerdir. Örneğin, bir çelik çerçeve standart kesitlerden üretilmiş elemanlardan oluşur ve her eleman bir ayrık değişkeni temsil eder.

3.2.1.1. Yapı Geometrisi ve Şekli

Optimizasyon işlemini uygulayacağımız çerçevedeki düğüm noktalarının koordinatları, kiriş açıklık mesafeleri, kolon boyları optimum tasarım sürecindeki tasarım değişkenleri olarak düşünülebilir.

3.2.1.2. Enkesit Boyutları

Burkulmaya çalınan kolon elemanın veya eğilmeye maruz bir kiriş elemanın kesit alanı, atalet momenti en kesit tasarım değişkenleri olarak alınabilir.

3.2.1.3. Yapı Topolojisi

Topolojik tasarım değişkenleri olarak bir çerçevedeki açıklık sayısı, düğüm sayısı, kolon sayısı alınabilir.

3.2.1.4. Malzeme Özellikleri

Malzemenin gerilme-şekil değiştirme özelliği, sünme değişimi, elastisite modülündeki değişim gibi özelliklerdir. Malzeme türü ayrık değişkenler takımından yapılan seçimle belirlenir.

3.2.2. Sınırlayıcılar

Uygun bir tasarımda sağlanması gereken sınırlamalara 'sınırlayıcılar' adı verilir. Dolayısıyla bir yapının yapılabirliği tüm sınırlayıcıların sağlanması ile mümkündür. Sınırlayıcılar iki gruba ayrılmaktadır.

1. Davranış Sınırlayıcıları

Gerilme, deplasman, burkulma, sehim gibi yapı davranışı ile ilgili sınırlayıcı kriterlerdir.

2. İmalat Sınırlayıcıları

Bunlar fonksiyonellik, imalat ve estetik açıdan uyulması gereken sınırlayıcılarıdır. Maksimum plak kalınlığı, minimum çatı eğimi, bir plağın minimum kalınlığı tipik imalat sınırlayıcılarıdır.

Sınırlayıcıların değerleri şartnamelerde denklem (3.1) ve (3.2)'deki gibi matematiksel olarak eşitlik veya eşitsizlik biçiminde ifade edilir.

$$g_j(x) \leq 0 \quad j = 1, \dots, n \quad (3.1)$$

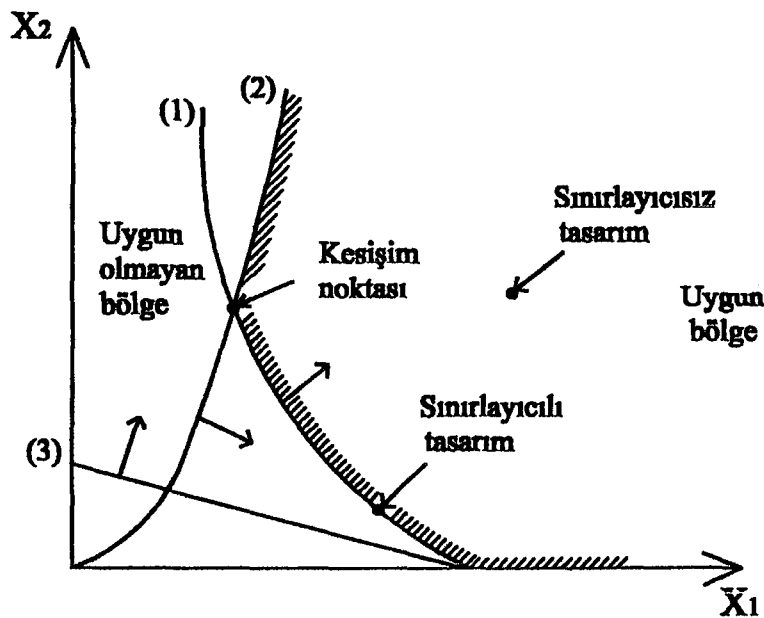
$$h_k(x) = 0 \quad k = 1, \dots, m \quad (3.2)$$

Burada m ve n sırasıyla eşitlik ve eşitsizlik sınırlayıcılarının sayısını, x ise tasarım değişkeni vektörünü göstermektedir.

3.2.3. Tasarım Uzayı

Tasarım değişkenlerinin tanımlı olduğu uzaya tasarım veya boyutlandırma uzayı denir. Tasarım uzayındaki her bir tasarım değişkeni bir boyutu oluşturur. N değişkenli genel durumda N boyutlu uzay söz konusudur.

Tüm sınırlayıcıları sağlayan tasarım uygun tasarım olmaktadır. Tasarım değişkenlerinin sağladığı $g_j(x) = 0$ denklemi tasarım uzayını $g_j > 0$ ve $g_j < 0$ olmak üzere iki kısma ayırmaktadır. Şekil 3.1'de X_1 ve X_2 tasarım değişkenlerini ifade etmektedir. (1), (2) eğrisi ve (3) doğrusu tasarım değişkenleri cinsinden ifade edilen sınırlayıcılara ait fonksiyonları göstermektedir. Ok işaretleri bu sınırlayıcıların sağlandığı bölgeyi gösterir. Görüldüğü gibi tüm sınırlayıcıların sağlandığı bölgeye 'uygun bölge' denir. Uygun bölgedeki tüm noktalar 'sınırlayıcısız tasarım' adını alır. Yüzeydeki $g_j(x) = 0$ koşulunu sağlayan noktalar ise 'sınırlayıcılı tasarım' olmaktadır. Bir tasarım noktasında j 'nci sınırlayıcı $g_j(x) = 0$ ise 'aktif sınırlayıcı', $g_j(x) < 0$ olursa 'pasif sınırlayıcı' adını alır. Hiçbir sınırlayıcıyı sağlamayan tasarımların oluşturduğu bölgeye 'uygun olmayan bölge' denir. ($j=1, \dots, m$) m sınırlayıcı sayısıdır.



Şekil 3.1 İki boyutlu tasarım uzayı

3.2.4. Amaç Fonksiyonu

Fonksiyonel ihtiyaçlara cevap veren ve aynı zamanda sınırlayıcıları sağlayan sonsuz sayıda uygun tasarım içinde en iyisinin tespit edilmesi, bu tasarımlar arasında karşılaştırma yapmakla mümkündür. Bu amaçla tasarım değişkenlerini içeren ve optimizasyon sürecinde maksimum veya minimumu araştırılan fonksiyon, amaç fonksiyonu (Bazı kaynaklarda maliyet fonksiyonu) adını almaktadır. $F(X)$ ile ifade edeceğimiz bu fonksiyon değişkenleri yapı ağırlığı, yapı maliyeti veya bizim belirleyeceğimiz başka bir kriteri temsil edebilir. Amaç fonksiyonunun seçimi optimizasyon sürecindeki en önemli kararlardan biridir. Bazen amaç fonksiyonunun seçimi çok kolaydır. Örneğin, ağırlık kolaylıkla hesaplanabilen bir büyüklük olduğundan optimizasyon işlemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak çoğu optimizasyon problemi sadece minimum ağırlığı bulmakla sınırlanmamıştır. Amaç fonksiyonumuzun malzeme maliyeti, malzeme nakliyesi, bakım ve onarım giderleri gibi kriterleri de içermesi istenebilir. Bu durumlarda amaç fonksiyonunun elde edilmesini güçleşir. Bununla beraber optimizasyonda genel olarak maliyet veya ağırlık gibi kolay biçimde ifade edilebilen bir fonksiyon belirlenir.

3.2.5. Optimizasyon Probleminin Matematiksel İfadesi

Optimum tasarım problemi, aşağıdaki (3.3) eşitsizliği ile (3.4) denklemini sağlayan X tasarım değişkenleri takımının seçimi olarak ifade edilir.

$$g_j(X) \leq 0 \quad j = 1, \dots, k \quad (3.3)$$

$$W = \min F(X) \quad (3.4)$$

Burada k eşitsizlik sınırlayıcısı sayısını, (3.3) denklemini eşitsizlik sınırlayıcılarını, (3.4) denklemini ise minimumu aranan amaç fonksiyonunu ifade etmektedir.

3.3. Optimizasyon Yöntemleri

1-Matematik programlama

1.1-Linear programlama

1.2-Linear olmayan programlama

2-Dinamik programlama

3-Optimumluk kriteri yöntemleri

4- Genetik algoritma

3.3.1. Matematik Programlama

Matematik programlama, denklem (3.3) ve (3.4)'de matematiksel formülasyonu verilen optimizasyon problemini sayısal araştırma yöntemleriyle çözmektedir. Matematik programlama ile çok sayıda tasarım değişkeni ve sınırlayıcısı olan problemler çözülebilmektedir. Yöntem sürekli tasarım değişkenleri için uygundur. Matematik programlama sınırlayıcıların ve amaç fonksiyonunun, tasarım değişkenlerinin lineer veya lineer olmayan terimleri olarak ifade edilmesine göre iki gruba ayrılmıştır. Bu konuda yapılan bazı çalışmalar şöyle sıralanabilir. Lev (1981) çalışmasında matematik programlama yöntemini yapıların şekil ve topolojik optimizasyonunda kullanmıştır. Arora ve Belegundu (1984) yapısal optimizasyonda kullanılan matematik programlama yöntemlerini karşılaştırmalı olarak tartışmışlardır.

3.3.1.1 Lineer Programlama

Lineer programlamada, sınırlayıcılar ve amaç fonksiyonu tasarım değişkenlerinin lineer terimleri olarak ifade edilmektedir. Kirsch (1981) ve Morris (1982)'de Simplex ve diğer lineer programlama problemleri için çözüm yöntemlerini vermişlerdir. Reinschmidt ve Russel (1974) ızgara ve kafes sistemlerin şekil optimizasyonunda lineer programlamayı kullanmışlardır. Çok değişkenli ve sınırlayıcılı problemlerin çözümüne olanak sağlaması programın başlıca avantajlarından biridir. Bu avantajlarından dolayı bazı pratik lineer olmayan programlama problemleri lineer programlama vasıtasıyla çözülmektedir.

3.3.1.2. Lineer Olmayan Programlama

Bu yöntemde sınırlayıcılar ve amaç fonksiyonu, tasarım değişkenlerinin lineer olmayan terimleri olarak ifade edilmektedir. Lineer olmayan programlama problemleri sınırlayıcısız ve sınırlayıcılı olmak üzere iki kısma ayrılmaktadır. Sınırlayıcısız lineer olmayan programlama problemlerinde herhangi bir sınırlayıcı göz önüne alınmaz. Sınırlayıcılı lineer olmayan programlama problemleri ise ceza fonksiyonları vasıtasıyla sınırlayıcısız hale getirilerek çözülebilmektedir. Lineer olmayan programlamanın bir dalı olan geometrik programlamada amaç fonksiyonu tasarım değişkenlerinin polinom ifadeleri biçiminde olmaktadır. Geometrik programlama ile ilgili çözüm teknikleri Kirsch (1981)'de verilmiştir.

3.3.2. Dinamik Programlama

Dinamik programlama amaç fonksiyonunun optimum değerini bulmada kullanılan farklı bir optimizasyon tekniğidir. Mühendislik çalışmalarında, tasarım süresince her safhada alınan kararlar sonraki safhaları etkiler. Bir safhada çıkan sonuçlar takip eden safhalarda da kullanılır. Örneğin, çok katlı bir yapıda önce en üst katın kolon ve kirişleri boyutlandırılır, sonra bir alttaki katın ve daha sonra adım adım tüm katların kiriş ve kolonları boyutlandırılarak temel seviyesine kadar inilir. Bir kata etkileyen yükler bir aşağıdaki katı etkiler. Dinamik programlama böyle çok aşamalı bir süreci sistematik hale getirir ve her safhada optimum boyutlandırma yapılır. En son boyutlandırma tüm safhaların optimizasyonlarının toplamı olarak elde edilir.

3.3.3. Optimumluk Kriteri Yöntemleri

İteratif bir yöntem olan optimum tasarımda her bir çevrim iki adımdan oluşur.

1- Yeniden analiz adımı : Mevcut tasarım için yapının analizi yapılır.

2- Yeniden tasarım adımı : Amaç fonksiyonunu minimize etmek ve sınırlayıcıları sağlamak üzere tasarım değişkenleri yeniden değiştirilir.

Optimumluk kriteri yöntemleri dolaylı yöntemler olarak adlandırılır. Dolaylı ve dolaysız matematiksel programlama yöntemleri amaçları aynı olmasına karşın yeniden tasarım adımında farklılıklar gösterir. Dolaysız yöntemlerde (matematik programlama) amaç fonksiyonu farklı nümerik algoritmalarla minimize edilirken, dolaylı yöntemlerde yapı davranışlarıyla ilgili bir kriter tanımlanır ve bu kriterin optimum değeri sağlandığında çözüm elde edilir. Optimumluk kriterleri gerilme ve deplasman sınırlayıcıları ile ilgili olabilir. Bunun dışında burkulma, dinamik veya lineer olmayan davranışla da ilgili optimumluk kriterleri elde edilmiştir. En az bir yükleme durumu için yapıdaki her bir elemanın izin verilen gerilmelere maruz kalması belli bir maksimum gerilme değerini aşmaması kabulüne dayanan 'tam gerilmeli tasarım' da bir optimumluk kriteri yöntemidir. Yöntem yapının tekrarlı analizleri ve her analiz sonrası değişkenlerin değiştirilmesi esasına dayanır. Önceden belirlenen optimumluk kriteri sağlanıncaya kadar ardı sıra analizler devam eder. Tabak ve Wright (1981), optimumluk kriteri vasıtasıyla çerçevelerin optimum boyutlandırmasını yapan bir program geliştirmişlerdir. Gerilme ve deplasman sınırlayıcıları altında minimum ağırlıklı ve küçük deplasman yapan çerçeveyi elde etmişlerdir.

Optimumluk kriteri yöntemleri matematik programlama kadar genel değildir. Hesaplama açısından etkili olduklarından çok elemanlı sistemlerin optimum tasarımı için uygundur. Daha detaylı bir inceleme yapılacağından genetik algoritma yeni bir kısımda incelenecektir.

3.4. Genetik Algoritma

3.4.1. Giriş

İnşaat mühendisliği uygulamalarında yapıya etkiyen yükler altında yapı davranışının yönetmeliklerde belirtilen sınırlar içinde kalması ve aynı anda minimum ağırlıklı yapının elde edilmesi, üzerinde en çok uğraşılan optimizasyon problemidir. Bu konu üzerine birçok matematik programlama yöntemi geliştirilmesine karşın bu yöntemlerin sürekli tasarım değişkenleri için uygun olması, pratikte ise çoğu tasarım değişkeninin ayrık olması ve ayrık değişkenlere uygun alternatif yöntemlerin geliştirilmesi matematik programlamaya olan ilgiyi azaltmıştır.

Genetik algoritma biyoloji kanunlarının bilgisayar programlama dillerine uygulanması ile elde edilen bir direk arama yöntemidir. Ayrık tasarım değişkenli problemlere çözüm bulması yöntemin önemini daha da artırmaktadır. Çünkü İnşaat mühendisliğinde kullanılan değişkenlerin çoğu ayrık değişkenlerdir. Yöntem matematiksel kanunlar yerine evrim teorisinin doğal seleksiyon ve doğal adaptasyon gibi temel kanunlarını kullanmaktadır.

Özellikle çelik yapı elemanlarının fabrikalarda standart kesitlerde üretilmesi ve yapımda birtakım sınırlamaların dikkate alınması ayrık tasarım değişkenlerini kullanan genetik algoritma yönteminin çelik yapıların optimizasyonu probleminde uygulanabilir kılmaktadır. Genetik algoritma yönteminin yapısal optimizasyon problemlerine uygulandığı bazı önemli çalışmalara Bölüm 2’de değinilmiştir.

3.4.2. Genetik Algoritma Kavramı

Genetik algoritmalar, evrimin esasını oluşturan doğal genetik ve doğal seleksiyon kavramlarına dayanan araştırma teknikleridir. Bunlar doğadan alınmış genetik operatörler yardımıyla en sağlıklı (uygun) bireylerin hayatta kalma ilkesini uygulayan güçlü araştırma teknikleridir.

Araştırma algoritması olan genetik algoritma doğal seçim ve genetik kodlama kavramları üzerine inşa edilmiştir. Genetik algoritmanın geleneksel optimizasyon yöntemlerinden başlıca farklılıklarını şöyle sıralayabiliriz Goldberg (1989).

- 1) Genetik algoritma değişkenlerin kendisiyle değil, değişkenlerin kodlanmış bir kümesiyle icra edilir.
- 2) Tek bir tasarım değişkeninin optimize etmektense tasarım değişkenleri popülasyonundaki en iyi nesli araştırır.
- 3) Kısmi türev, gradyan veya diğer matematiksel operatörler yerine sadece amaç fonksiyonunu kullanır.
- 4) Genetik algoritma deterministik kurallar yerine olasılığın değişim kurallarını uygular.

Genetik algoritmanın temel karakteri problemi tanımlayan değişkenlerin kodlanmasıdır. En yaygın olarak kullanılan kodlama metodu değişkenlerin ikili tabanda belli uzunlukta bir diziyeye dönüştürmektir. Bu diziler yapay kromozomlar olarak ifade edilmekte dizideki her bir karakter ise yapay bir geni temsil etmektedir. Bu yapay gen 0 veya 1 olabilir. Genetik algoritma terimleri ve doğal genetik terimleri arasında çizelge 3.1'deki gibi bir karşılaştırma yapılabilir.

Çizelge 3.1 Doğal genetik ve genetik algoritma terimlerinin karşılaştırılması

| DOĞAL GENETİK TERİMLERİ | GENETİK ALGORİTMA TERİMLERİ |
|--------------------------------|--|
| Kromozom | Dizi |
| Gen | Dizi bireyleri |
| Allele (Gen değerleri) | Bireylerin aldığı değerler (0 veya 1) |
| Lokasyon (Kromozom dizilişi) | Dizinin alternatif dizilişi |
| Genotip (Toplam genetik paket) | Yapı (Dizilerin toplamı) |
| Fenotip (Fiziksel çeşitlilik) | Alternatif yapı tipleri |

3.4.3. Genetik Algoritma Operatörleri

3.4.3.1. Üreme Operatörü

Genetik algortmada öncelikle üremenin olacağı topluluk (popülasyon) belirlenmelidir. İki değişkenimiz (0 ve 1) olduğundan, örnek olarak sekiz tane de ayrı değerimiz olduğunu varsayarsak bu ayrı değerler ikilik sistemde $2^3 = 8$, 3'lü diziler olarak ifade edilecektir. Aşağıda gösterildiği gibi her bir dizi popülasyondaki bir elemana karşı gelecektir.

| | | | | |
|-----|---|-----------|---|---|
| 000 | → | 1.....011 | → | 5 |
| 001 | → | 2.....110 | → | 6 |
| 010 | → | 3.....101 | → | 7 |
| 100 | → | 4.....111 | → | 8 |

Çizelge 3.2 Sekiz ayrıık değerin ikilik sistemde kodlanması

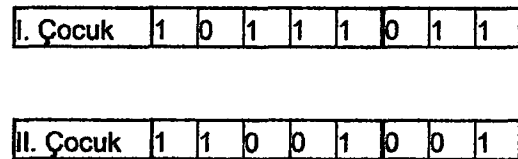
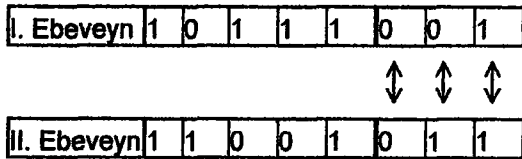
İki tabanında kodlanan tasarım değışkenleri onluk tabana dönüştürülerek verilen kesit listesindeki sıra numaraları belirlenir. Yukarıdaki değer kümesinden rastgele seçilecek iki değerle bir birey oluşturulur. Örneğin, 1 ve 8 değerin bir araya getirilmesiyle '000111' şeklinde bir birey oluşturulacaktır. Bu işlem uygun bir bilgisayar programlama dilinde yazılacak program vasıtasıyla otomatik olarak yaptırılmaktadır. Bu şekilde elde edilen bireylerin oluşturduğu topluluk içinde hangi bireylerin sonraki nesillere geçeceği hangi bireylerin yok olacağı uygunluk faktörü vasıtasıyla belirlenecektir. Üreme işlemi sonunda yaşayan bireyler eşleşme havuzuna alınır ve çaprazlama operatörüyle rastgele çiftleştirilir.

3.4.3.2. Çaprazlama Operatörü

Çaprazlama genetik algoritmadaki en önemli operatörlerden biridir. Çiftleştirme işlemi çaprazlama operatörüyle rastgele yapılmaktadır. Çaprazlama esnasında ana baba arasında gen alışverişi olmakta, her ana babadan farklı koda sahip iki çocuk olmaktadır. Birçok çaprazlama operatörü olmasına karşın şimdiye kadar yapılan çalışmalarda iki nokta arası ve üniform çaprazlama türünün diğer çaprazlama türlerine göre daha etkili olduğu gözlenmiştir. Bununla birlikte hangi çaprazlama türünün daha iyi olduğu konusunda herhangi bir teorik ispat bulunmamaktadır. Üniform çaprazlama türü de dahil olmak üzere değışik çaprazlama türlerinin işleyiş tarzı aşağıdaki gibidir.

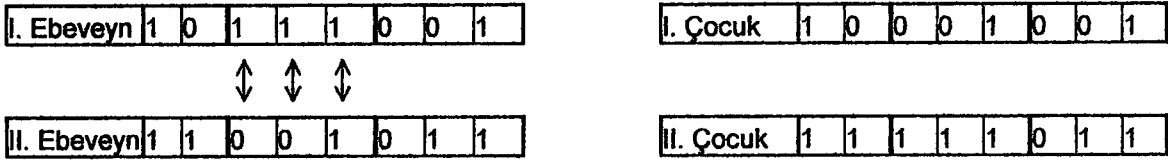
a. Tek nokta çaprazlama

Tek nokta çaprazlamada rastgele seçilen bir bireyden sonrası için gen alışverişi yapılmaktadır.



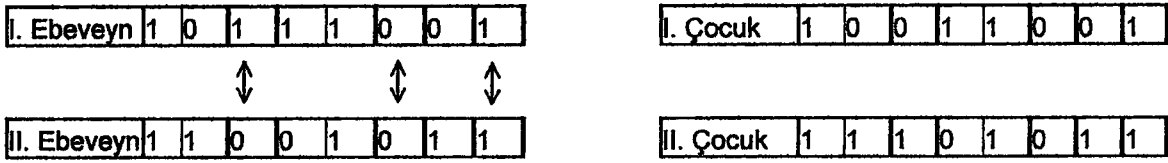
b. İki nokta arası çaprazlama

İki nokta arası çaprazlamada, rastgele seçilen iki birey arasında karşılıklı gen alışverişi yapılmaktadır.



c. Üniform çaprazlama

Üniform çaprazlamada rastgele seçilen bireyler arasında gen alışverişi olmaktadır.



3.4.3.3. Mutasyon (Başkalaşım) Operatörü

Mutasyon, üreme ve çaprazlama operatörlerine göre ikinci dereceden bir operatör olmasına karşın genetik algoritma araştırmasında önemli bir rol üstlenmektedir. Mutasyon operatörü erken yakınsamayı engellemekte, araştırmada çeşitliliği ve farklılığı sağlayarak çaprazlama sonucunda elde edilen yeni bireylerden daha iyi bireyler olup olmadığını araştırmaktadır.

Mutasyon esnasında yapılan işlemleri şu şekilde özetleyebiliriz; çaprazlama neticesinde elde edilen dizideki her bir karakter için bilgisayar tarafından rastgele bir sayı üretilir ve bu sayı mutasyon olasılığı ile karşılaştırılır. Eğer bu rastgele sayı, mutasyon olasılığından küçükse bu pozisyonadaki karakterin değeri değiştirilir. Sıfır ise bir, bir ise sıfır yapılır. Aksi durumda bir sonraki karaktere geçilir. Bu şekilde işlemler her bir karakter için tekrarlanır. Genetik algoritma çalışmalarında mutasyon olasılığı genelde %0.1 - %0.2 civarında seçilmektedir.

3.5. Optimum Tasarım Problemi

Düzlem çerçevelerin optimum tasarım problemi aşağıdaki ifade ile tanımlanabilir.

$$\min W(x) = \sum_{k=1}^{ng} A_k \sum_{i=1}^{mk} \rho_i L_i \quad (3.5)$$

$W(x)$ çerçeve ağırlığı olup Bölüm 5'deki deplasman ve gerilme sınırlayıcıları altında minimize edilecektir. (3.5) ifadesindeki A_k k'nci gruptaki elemanların kesit alanını, mk k grubundaki toplam eleman sayısını, ρ_i ve L_i i'nci elemanın özgül ağırlığını ve boyunu, ng çerçevedeki toplam grup sayısını göstermektedir.

3.5.1. Amaç Fonksiyonu

Genetik algoritma sınırlayıcısız optimizasyon problemleri için uygundur. Bu nedenle buradaki sınırlayıcı problemi genetik algoritma yöntemiyle çözebilmemiz için sınırlayıcısız optimizasyon problemine dönüştürmemiz gerekmektedir. Bu konuda Rajaev ve Krishnamoorthy (1992) tarafından ileri sürülen normalize edilmiş ve sınırlayıcıların ihlaline dayanan formülasyon verilecektir. Böylelikle sınırlayıcısız amaç fonksiyonu (3.8) ifadesi ile tanımlanacaktır.

$$g_i(x) = \frac{\sigma_j}{\sigma_a} - 1 \leq 0 \quad , \quad \frac{u_j}{u_a} - 1 \leq 0 \quad (3.6)$$

$$\phi(x) = W(x)(1 + KC) \quad (3.7)$$

$$C = \sum_{i=1}^m c_i \quad (3.8)$$

$$g_i(x) > 0 \rightarrow c_i = g_i(x)$$

$$g_i(x) \leq 0 \rightarrow c_i = 0 \quad (3.9)$$

Burada $W(x)$ amaç fonksiyonu, K probleme göre seçilen bir sabit, σ_j j'nci elemanın gerilmesi, σ_a gerilmelerin alabileceği sınır değeri, u_j j'nci sınırlanmış deplasman değeri, u_a deplasmanların alabileceği maksimum değeri, m sınırlayıcıların toplam sayısı olmaktadır. c_i ihlal edilme katsayısı olup (3.9) ifadesi ile hesaplanacaktır.

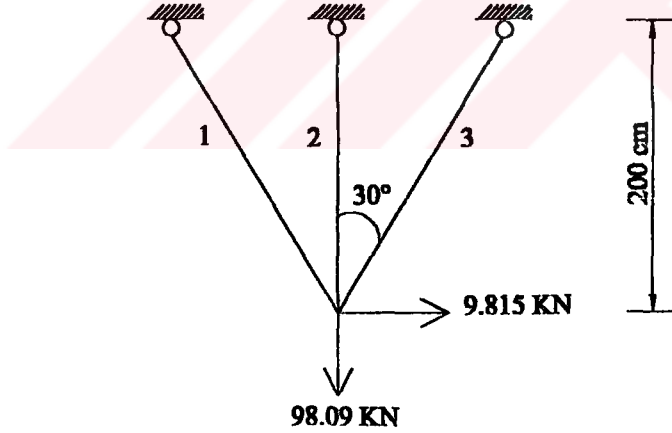
3.5.2. Uygunluk Kriteri

Genetik algoritma yöntemi bireyler arasında seçim yapabilmek için uygunluk kriterini kullanmaktadır. Bu kriter popülasyondaki en sağlıklı bireyin uygunluğunun maksimum olması esasına dayanır. Buna göre popülasyondaki i'nci birey için uygunluk ifadesi (3.10) formunda yazılabilir Rajaev ve Krishnamoorthy (1992) .

$$F_i = (\phi(x)_{\max} + \phi(x)_{\min}) - \phi(x)_i \quad (3.10)$$

Burada $\phi(x)_{\max}$ popülasyondaki maksimum sınırlayıcısız amaç fonksiyonu, $\phi(x)_{\min}$ popülasyondaki minimum sınırlayıcısız amaç fonksiyonu, $\phi(x)_i$ i'nci eleman için sınırlayıcısız amaç fonksiyonu değerini göstermektedir. F_i / F_{ort} ifadesi ile burada her bireyin uygunluk faktörü hesaplanır. Burada F_{ort} popülasyonun ortalama uygunluğudur. Uygunluk faktörü vasıtasıyla bireyin yok olmasına veya eşleşme havuzuna alınmasına karar verilir. Uygunluk faktörü küçük olan bireyler yok olurken büyük olan bireyler eşleşme havuzuna alınmaktadır. Uygunluk faktörü yüksek olan bireyler uygunluk faktörleriyle orantılı sayıda eşleşme havuzuna kopyaları gönderilmekte böylece fazladan eşleşme havuzuna giden bireyler yok olan bireylerin yerini alarak popülasyondaki sayısal dengelemeyi sağlamaktadır. Eşleşme havuzu oluşturulduktan sonra bireyler rastgele çiftleştirilmekte ardından çaprazlama ve değişim (mutasyon) operatörleri uygulanmaktadır.

Şimdiye kadar anlatılan kavramların daha iyi anlaşılabilmesi amacıyla Rajaev ve Krishnamoorthy (1992) den alınan ve Şekil 3.5'de boyutları ve yükleme durumu verilen üç çubuklu kafes sistemin genetik algoritma yoluyla optimum tasarımı yapılacaktır.



Şekil 3.2 Üç çubuklu kafes sistem

Elastisite modülü $E = 2,008.10^5 \text{ Mpa}$, malzeme özgül ağırlığı $\rho = 7,85.10^3 \text{ kg / m}^3$

deplasman sınırları, $u_{\max.} = \pm 5 \text{ mm}$, gerilme sınırları $\sigma_{\max.} = \pm 147,5 \text{ Mpa}$ olarak verilmiştir. Şekil 3.5'de verilen yükleme durumları için 1,2,3 no'lu elemanların

optimum kesit alanları araştırılacaktır. Minimum ağırlıklı kesit için amaç fonksiyonu aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$f(x) = \sum_{i=1}^3 \rho A_i L_i \quad (3.11)$$

Tasarım değişkenleri ayrık değişkenler olarak aşağıdaki gibi hazırlanmış bir S listesinden atanabilir. $S=(1,2 ; 1,4 ; 1,6 ; 1,8 ; 2,0 ; 2,2 ; 2,4 ; 2,6 ; 2,8 ; 3,0 ; 3,2 ; 3,4 ; 3,6 ; 3,8 ; 4,0 ; 4,4)(cm^2)$. Bu durumda 16 adet farklı değerimiz ve 3 tip kesit alanımız bulunmaktadır. 1 ve 2 no'lu kesit alanlarının eşit kabul edilmesiyle kesit alanı sayısı iki olacaktır. S listesinde 16 farklı değer ikili kodlama sisteminde dörtlü diziler ($2^4 = 16$) şeklinde gösterilir. İki kesit grubu olduğundan dizilerin toplam uzunluğu ise sekizdir. Sonuçta topluluktaki her bir dizi , iki tane dörtlü alt diziden oluşacaktır. İki tabanında kodlanan tasarım değişkenleri on tabanına dönüştürülerek verilen bireyin kesit listesindeki sıra numarası belirlenir. Örneğin; 0000 alt dizisi listedeki onluk tabanda sıfır değerine eşit olarak birinci eleman olan $1,2cm^2$ yi , 1111 alt dizisi ise onluk tabanda 15 değerine eşit olduğundan listedeki $15+1=16$. eleman olan $4,4cm^2$ temsil etmektedir. Popülasyonda iki tabanında kodlanan (0 ve 1) başlangıç topluluğu rastgele oluşturulmuş ve Çizelge 3.3'de 2. kolonda gösterilmiştir. 1. kolondaki 01110111 bireyi 0111 dizisi ve 0111 dizilerinden oluşmakta ve bu diziler listedeki 8. eleman olan $2,6cm^2$ yi temsil etmektedir. Bu şekilde belirlenen alan değerleri ise 3. ve 4. kolonlarda gösterilmiştir. 5. kolonda denklem (3.5)'de ifade edilen amaç fonksiyonu vasıtasıyla her bir bireyin ağırlıkları hesaplanmıştır. 6-10 kolonlarında kafesin analizi yapılmış, ardından sırasıyla (3.9) ifadesinden ihlal katsayıları, denklem (3.7)'den sınırlayıcısız amaç fonksiyonu , (3.10) ifadesiyle uygunluk değerleri ve 14. kolonda uygunluk faktörleri elde edilmiştir. Daha önceden anlatıldığı gibi uygunluk faktörleri düşük olan bireyler elenirken elenen bu bireyler yerine uygunluk faktörü yüksek olan bireylerden iki veya daha fazla sayıda alınarak popülasyondaki birey sayısı korunmuştur. Bu şekilde oluşturulan bireyler çiftleşme havuzuna alınarak 17. kolonda gösterildiği gibi rasgele çiftleştirilmiştir. Böylece 1. birey ile 3. birey , 2. ile 7. , 4. ile 8. , 6. ile 5. bireyler arasında 18. ve 19. kolonlardaki gibi rasgele seçilen noktalar arasında çaprazlama yapılarak ikinci nesil elde edilmiştir. Aynı işlemler ikinci nesil için de tekrarlanmış ve sonuçlar çizelge 3.4'de özetlenmiştir. İkinci nesilden elde edilen sonuçları ilk nesil ile karşılaştırdığımızda, ihlal katsayılarının düştüğünü, amaç fonksiyonun ortalamasında azalma olduğunu kısaca daha iyi bir nesil elde ettiğimizi görebiliriz.

Çizelge 3.3 Üç çubuklu kafes sistemin genetik algoritma ile optimizasyonunda birinci nesil için hesaplama ayrıntıları

| Birey No. | Popülasyon | A1 | A2 | $\bar{f}(x)$ (kg) | σ_1 (Mpa) | σ_2 (Mpa) | σ_3 (Mpa) | u_1 (mm) | u_2 (mm) | C | $\phi(x)$ | F | F/\bar{F} | Kopya Sayısı | Çiftleşme Havuzu | Eşleş. | Cs1 | Cs2 | İkinci nesil |
|-----------|------------|-----|-----|-------------------|------------------|------------------|------------------|------------|------------|-------|-----------|---------|-------------|--------------|------------------|--------|------|------|--------------|
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) | (9) | (10) | (11) | (12) | (13) | (14) | (15) | (16) | (17) | (18) | (19) | (20) |
| 1 | 01110111 | 2,6 | 2,6 | 13,508 | 160,84 | 85,34 | 164,07 | 0,87 | -1,63 | 0,208 | 41,605 | 88,918 | 1,15 | 1 | 01110111 | 3 | 4 | 8 | 01111111 |
| 2 | 10011111 | 3,0 | 4,4 | 17,784 | 121,40 | 55,97 | 118,20 | 0,75 | -1,18 | 0,000 | 17,784 | 112,739 | 1,46 | 2 | 10011111 | 7 | 2 | 4 | 10101111 |
| 3 | 01000111 | 2,0 | 2,6 | 11,333 | 190,63 | 92,48 | 188,67 | 1,13 | -1,88 | 0,578 | 76,838 | 53,685 | 0,69 | 1 | 10011111 | 1 | 4 | 8 | 10010111 |
| 4 | 11110011 | 4,4 | 1,8 | 18,777 | 120,20 | 75,58 | 130,48 | 0,51 | -1,30 | 0,000 | 18,777 | 111,746 | 1,45 | 1 | 01000111 | 8 | 1 | 4 | 00110111 |
| 5 | 00110110 | 1,8 | 2,4 | 10,294 | 209,82 | 100,77 | 206,99 | 1,25 | -2,06 | 0,833 | 96,043 | 34,480 | 0,45 | 0 | 11110011 | 6 | 2 | 6 | 11101011 |
| 6 | 01100000 | 2,4 | 1,2 | 10,585 | 211,29 | 129,51 | 227,13 | 0,09 | -2,26 | 0,979 | 114,212 | 16,311 | 0,21 | 0 | 10101001 | 5 | 2 | 6 | 10110011 |
| 7 | 10101001 | 3,2 | 3,0 | 16,311 | 133,48 | 72,14 | 137,03 | 0,71 | -1,36 | 0,000 | 16,311 | 114,212 | 1,48 | 2 | 10101001 | 2 | 2 | 4 | 10011001 |
| 8 | 00111101 | 1,8 | 3,8 | 12,492 | 174,40 | 65,35 | 159,79 | 1,25 | -1,59 | 0,271 | 46,358 | 84,165 | 1,09 | 1 | 00111101 | 4 | 1 | 4 | 01001101 |

Çizelge 3.4 Üç çubuklu kafes sistemin genetik algoritma ile optimizasyonunda ikinci nesil için hesaplama ayrıntıları

| Birey No. | Popülasyon | A1 | A2 | f(x) (kg) | σ_1 (Mpa) | σ_2 (Mpa) | σ_3 (Mpa) | u_1 (mm) | u_2 (mm) | C | $\phi(x)$ | F | F/\bar{F} | Kopya Sayısı | Çiftleşme Havuzu | Eşleşme | Cs1 | Cs2 | Üçüncü nesil |
|-----------|------------|-----|-----|--------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------|---------------|-------|-----------|--------|-------------|--------------|------------------|---------|------|------|--------------|
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) | (9) | (10) | (11) | (12) | (13) | (14) | (15) | (16) | (17) | (18) | (19) | (20) |
| 1 | 01111111 | 2,6 | 4,4 | 16,334 | 143,36 | 56,86 | 126,11 | 0,87 | -1,26 | 0,000 | 16,334 | 87,612 | 1,18 | 1 | 01111111 | 4 | 2 | 5 | 01011111 |
| 2 | 10101111 | 3,2 | 4,4 | 18,509 | 11666 | 55,32 | 114,62 | 0,71 | -1,14 | 0,000 | 18,509 | 85,437 | 1,15 | 1 | 10010111 | 5 | 4 | 8 | 10011011 |
| 3 | 10010111 | 3,0 | 2,6 | 14,958 | 145,96 | 80,53 | 150,95 | 0,75 | -1,50 | 0,026 | 18,847 | 85,099 | 1,15 | 1 | 10010111 | 5 | 4 | 8 | 10011011 |
| 4 | 00110111 | 1,8 | 2,6 | 10,607 | 203,53 | 94,48 | 198,61 | 1,25 | -1,98 | 0,733 | 88,360 | 15,586 | 0,21 | 0 | 10011001 | 1 | 2 | 5 | 10111001 |
| 5 | 11101011 | 4,0 | 3,4 | 19,839 | 110,13 | 61,06 | 114,09 | 0,56 | -1,14 | 0,000 | 19,839 | 84,107 | 1,13 | 1 | 11101011 | 3 | 4 | 8 | 11100111 |
| 6 | 10110011 | 3,4 | 1,8 | 15,152 | 147,21 | 89,48 | 157,95 | 0,66 | -1,57 | 0,073 | 26,137 | 77,809 | 1,05 | 1 | 10110011 | 7 | 2 | 7 | 10011001 |
| 7 | 10011001 | 3,0 | 3,0 | 15,586 | 139,40 | 73,97 | 142,20 | 0,75 | -1,42 | 0,000 | 15,586 | 88,360 | 1,19 | 2 | 10011001 | 6 | 2 | 7 | 10110011 |
| 8 | 01001101 | 2,0 | 2,0 | 13,216 | 164,08 | 65,94 | 153,30 | 1,13 | -1,53 | 0,157 | 33,965 | 69,981 | 0,94 | 1 | 01001101 | 2 | 2 | 4 | 01101101 |

Çizelge 3.5 Üç çubuklu kafes sistemin genetik algoritma ile optimizasyonunda üçüncü nesil için hesaplama ayrıntıları

| Birey No. | A1 | A2 | f(x) (kg) | σ_1 (Mpa) | σ_2 (Mpa) | σ_3 (Mpa) | u_1 (mm) | u_2 (mm) | C | $\phi(x)$ |
|-----------|-----|-----|--------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------|---------------|---------|-----------|
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) | (9) | (10) | (11) |
| 1 | 2,2 | 4,4 | 14,884 | 145,99 | 56,77 | 135,14 | 1,03 | -1,35 | 0,000 | 14,884 |
| 2 | 2,8 | 4,4 | 17,059 | 126,60 | 56,50 | 122,03 | 0,81 | -1,22 | 0,000 | 17,059 |
| 3 | 3,0 | 3,4 | 16,214 | 133,55 | 68,12 | 134,47 | 0,75 | -1,34 | 0,000 | 16,214 |
| 4 | 3,4 | 3,0 | 17,036 | 128,07 | 70,34 | 132,23 | 0,66 | -1,32 | 0,000 | 17,036 |
| 5 | 4,0 | 2,6 | 18,583 | 118,91 | 69,84 | 125,79 | 0,56 | -1,25 | 0,000 | 18,583 |
| 6 | 3,0 | 3,0 | 15,586 | 139,40 | 73,96 | 142,20 | 0,75 | -1,42 | 0,000 | 15,586 |
| 7 | 3,4 | 1,8 | 15,152 | 147,21 | 89,48 | 157,75 | 0,66 | -1,57 | 0,07240 | 26,137 |
| 8 | 2,4 | 3,8 | 14,667 | 147,26 | 65,47 | 141,78 | 0,94 | -1,41 | 0,00074 | 14,778 |

Çizelge 3.5'de üçüncü neslin analizinde en hafif birey olan 8 no'lu bireyin 14,467 kg ağırlık ve sıfıra çok yakın bir ihlal katsayısına sahip olduğu görülmektedir. Bu aşamadan sonra yeni nesiller üretilse bile üçüncü nesilde elde edilen değerlerde ihmal edilebilir azalmalar meydana geleceğinden genetik algoritma sürecini bitirmemiz yerinde olacaktır. Bu amaçla çevrimi bitirecek bir kriter belirlenmektedir. Genetik algoritmada genelde popülasyondaki bireyler (kesitler) %85 aynı bireylerden oluşursa yakınsama sağlandığı varsayılarak optimizasyon süreci bitirilir ve %85'i temsil eden kesit optimum kesit olarak belirlenir.

4. YARI RİJİT BİRLEŞİMLİ ÇELİK ÇERÇEVELER

4.1. Giriş

Kiriş-kolon birleşimleri çerçeve sistemlerin davranışında önemli rol oynamaktadır. Çelik çerçevelerin alışlagelmiş analizinde kiriş-kolon birleşimleri ya tam rijit ya da mafsallı kabul edilmektedir. Birleşim davranışı üzerine yapılan bu idealleştirme analiz işlemini basitleştirmesine karşın, idealleştirilmiş davranış ile yapının gerçek davranış arasında farklılıkların olması kaçınılmazdır. Çünkü çelik çerçevelerde kullanılan birleşimler gerçekte yarı rijit davranış gösterir.

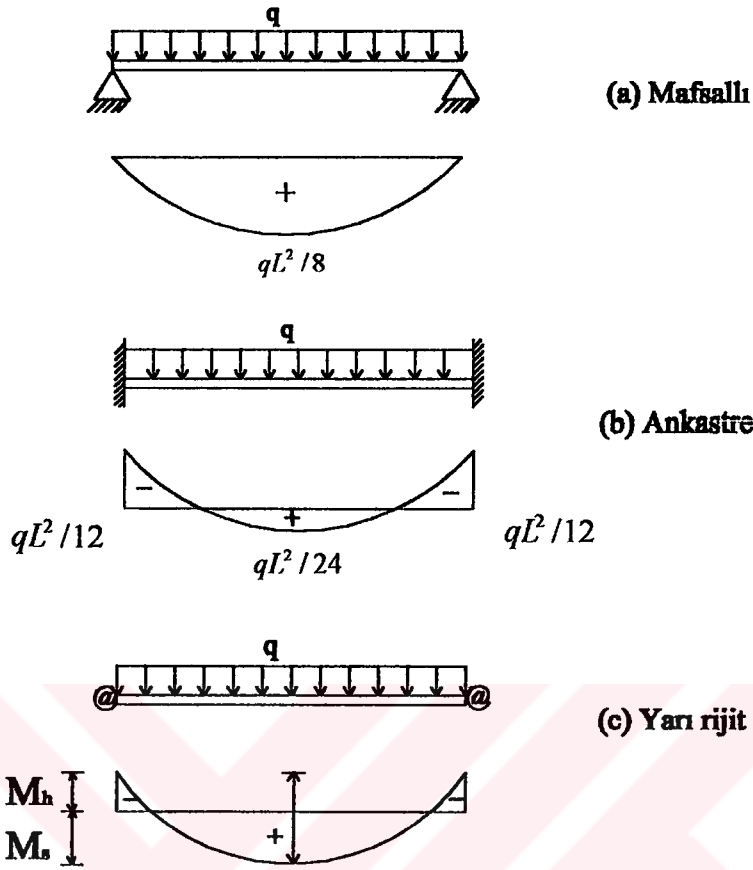
AISC çelik yapı yönetmeliği (1995) tamamen sınırlanmış ve kısmen sınırlanmış olmak üzere iki çelik birleşim tipi tanımlamıştır. Tamamen sınırlanmış tipte kiriş-kolon birleşimlerinin tamamen rijit olduğu, kısmen sınırlanmış da ise birleşimlerin rijit bağlı ve mafsallı bağlı arasında belli bir moment kapasitesine sahip olduğu kabul edilmiştir. Birleşimlerdeki bu momentin neden olduğu açısız şekil değiştirme kiriş-kolon birleşimlerindeki en önemli şekil değiştirme olmaktadır. Açısız şekil değiştirme sonucunda çerçevede meydana gelen ilave eksantriklik kolon elemanlarındaki $P - \Delta$ etkilerini artırarak çerçeve stabilitesini bozmaktadır. Hesaplarda kiriş-kolon birleşimlerinin lineer olmayan bu davranışının göz önüne alınması daha gerçekçi ve ekonomik sonuçlar verecektir.

Bu bölümde yarı rijit birleşim davranışı irdelenip, analiz için gerekli bağıntılar çıkarılmıştır. Yarı rijit birleşimlerle ilgili yapılmış bazı önemli çalışmalara 2. Bölüm’de değinilmiştir.

4.2. Yarı Rijit Birleşim Davranışı

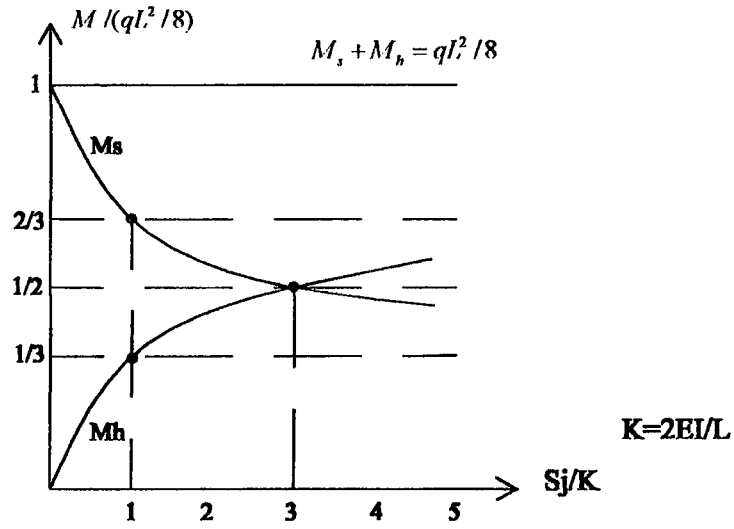
Yarı rijit birleşimlerin diğer birleşim türlerinden farklılıklarını, tek açıklıklı düzgün yayılı yüklü kiriş üzerinde inceleyebiliriz. Şekil 4.1a’da mafsallı kiriş için maksimum eğilme momenti kiriş orta noktasında meydana gelmektedir. Şekil 4.1b’de ankastre kiriş için maksimum eğilme momenti, mesnetlerde ve mafsallı kirişteki maksimum momentin üçte ikisi kadar bir değer almaktadır. Şekil 4.1c’deki yarı rijit birleşim için ise maksimum eğilme momenti mesnetlerde veya kiriş orta noktasında olabilir. Ancak bu değer her zaman için mafsallı kirişteki değerden daha küçüktür.

Birleşim elemanlarının rijitliği uygun seçilerek mesnetlerdeki ve kiriş orta noktasındaki moment değerleri eşitlenebilir, böylelikle hesap momenti azalarak daha hafif kesitler elde edilebilir.

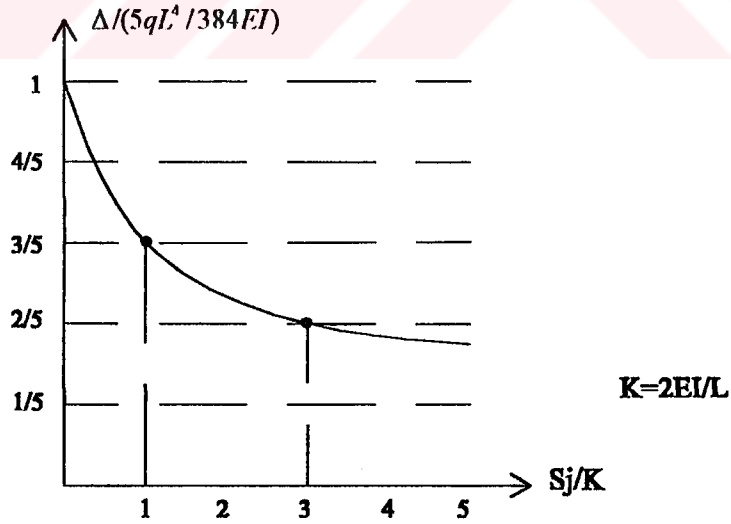


şekil 4.1 Ünlform yüklü değişik mesnet koşullarına sahip kiriş için moment diyagramları

Anderson, Colson ve Jaspert (1993) kiriş momentlerinin birleşim rijitliği ile değişimini ve birleşim rijitliğinin kiriş orta noktasındaki çökme ile değişimini vermişlerdir. şekil 4.2'de birleşim rijitliği (S_j)/eğilme rijitliği (K) oranı ile kiriş momentlerinin (M) değişimi gösterilmiştir. Grafikten görüldüğü üzere S_j/K oranı arttıkça kiriş mesnet momentleri de büyütmekte, buna karşın maksimum açıklık moment değeri azalmaktadır. Bu durum şekil 4.1'in tekrar incelenmesiyle açık biçimde görülebilir. Mafsallı durumda mesnet momentleri oluşmamakta, rijit birleşimde ise mesnet momentleri, maksimum açıklık momentinin iki katı olmaktadır. şekil 4.3'de ise birleşim rijitliği/eğilme rijitliği oranının kiriş orta noktasındaki çökme ile değişimi görülmektedir. Bu oran arttıkça kiriş orta noktasındaki çökme azalmakta, oran azaldıkça ise çökme artmaktadır.



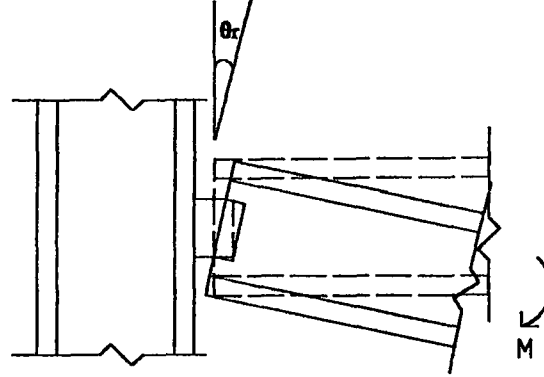
Şekil 4.2 Kiriş momentlerinin birleşim rijitliği/eğilme rijitliği oranı ile değişimi



Şekil 4.3 Kiriş orta noktasındaki çökmenin birleşim rijitliği/eğilme rijitliği oranı ile değişimi

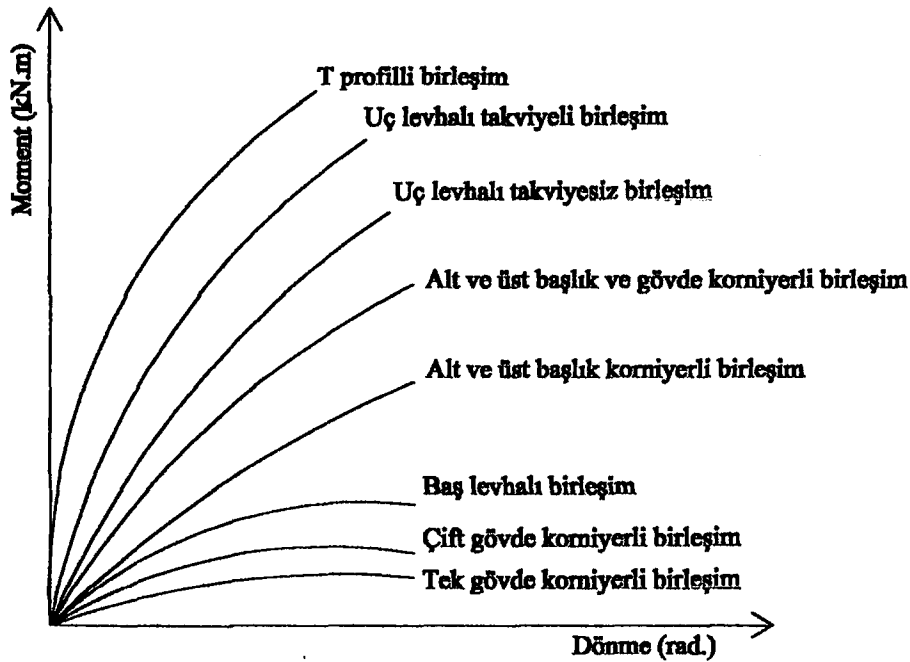
4.3. Birleşim Modelleri

Birleşimler kuvvetleri bir elemandan diğerine aktaran araçlardır. Yapı sistemlerindeki birleşimlerin aktardığı en önemli kuvvet ise momenttir. Şekil 4.4' de M moment etkisi altında θ_r açısı kadar dönen bir birleşim elemanı görülmektedir.



Şekil 4.4 Birleşimlerin moment - dönme ilişkisi

Şekil 4.5'de ise çok sık kullanılan yarı rijit birleşim tiplerinin moment-dönme eğrileri arasındaki ilişki gösterilmektedir. Şekilden de görüldüğü üzere tek gövde korniyerli birleşim diğer birleşim tiplerine göre en küçük moment etkisinde en büyük dönmeyi yaparak en fleksibil birleşim olurken, T profilli birleşim en büyük moment değeri etkisinde en küçük dönmeyi yaparak en rijit birleşim olmaktadır. Adı geçen birleşim tipleri Şekil 4.6-Şekil 4.13 de gösterilmektedir.



Şekil 4.5 Birleşim tipleri için moment-dönme eğrileri

Bir birleşimin rijitlik veya esnekliği levha ve korniyer kalınlığı, bulon çapı, birleşim derinliği gibi geometrik parametrelere bağlıdır. Tüm yükleme durumlarına göre moment-dönme ilişkisi Şekil 4.5' de görüldüğü gibi lineer değildir ve birleşim esnekliğine göre farklılıklar gösterir. Daha esnek birleşimin dönme kapasitesi daha fazla olacaktır.

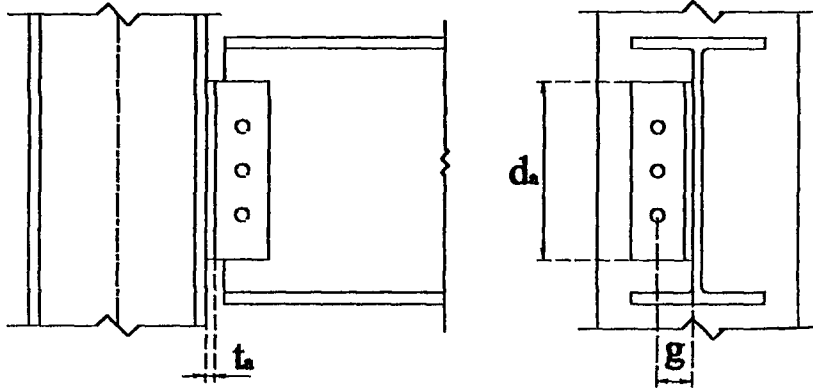
Moment-eğrilik ilişkisi üzerine yapılan bazı önemli çalışmalar 2. Bölüm' de incelenmişti. Çok sık kullanılan birleşimler için yapılan çok sayıda test sonuçları Kishi-Chen (1986) tarafından sunulmuştur. Moment-dönme eğrileri için deneylerden elde edilmiş bazı eğri uydurma modelleri bulunmaktadır. Bu modeller moment-dönme ilişkisini tanımlama durumlarına göre lineer, polinom, kübik spline, kuvvet (üs) ve exponansiyel modellerdir (Abdalla ve Chen, 1995). Bu çalışmada Frye-Morris (1975) tarafından yarı rijit birleşimler için teklif edilen polinom modeli kullanılmıştır. Buna göre moment-dönme bağıntısı:

$$\theta_r = C_1(\kappa M)^1 + C_2(\kappa M)^3 + C_3(\kappa M)^5 \quad (4.1)$$

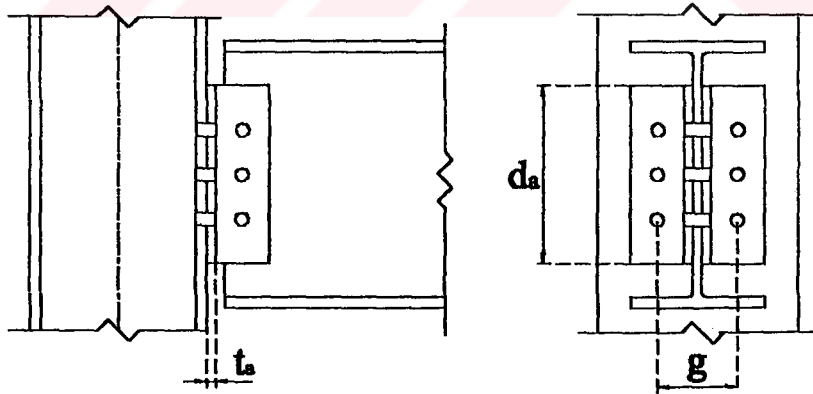
şeklinde dir. Burada θ_r birleşimin dönmesini, M birleşime uygulanan momenti, C_1, C_2, C_3 eğri uydurma sabitlerini, κ ise birleşim tipine ve geometrisine bağlı olan standartlaştırma sabitini ifade etmektedir.

4.4. Birleşim Tipleri

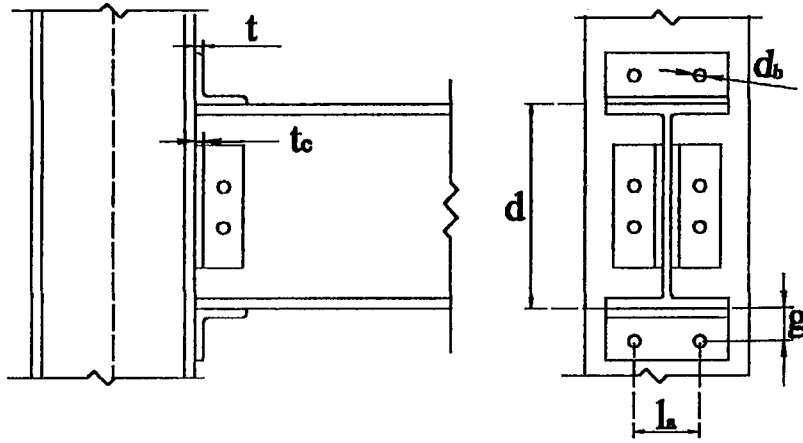
Yaygın olarak kullanılan birleşim tiplerinin şekilleri ve özellikleri Şekil 4.6 dan Şekil 4.13 e kadar verilmiştir. Çizelge 4.1'de analiz aşamasında esas alınan polinom modeli için denklem (4.1)'deki C_1, C_2, C_3 eğri uydurma sabitleri ile birleşim tipine ve geometrisine göre değişen κ standartlaştırma sabitinin ifadesi her bir birleşim tipi için ayrı ayrı verilmiştir. Bu sabitlerin değerleri Dhillon ve O'Malley'in (1999) yaptıkları çalışmadan alınmıştır. Burada momentler kip-inch, κ 'yı oluşturan geometrik parametreler inch ve birleşimin dönmesi θ_r ise radyan cinsinden hesaplanmaktadır.



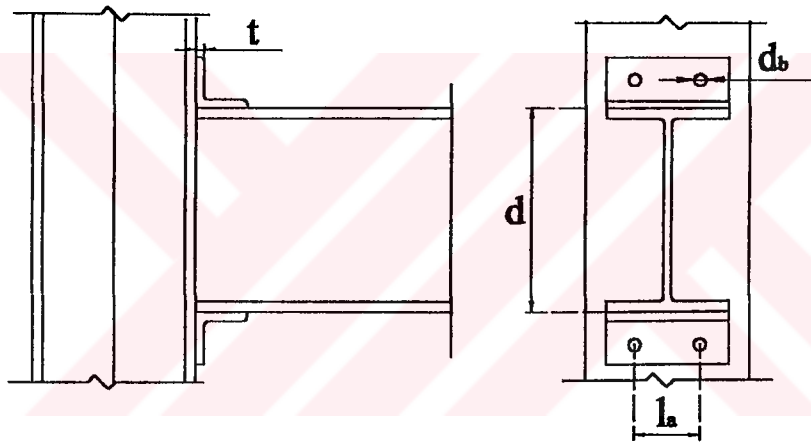
Şekil 4.6 Tek gövde korniyerli birleşim



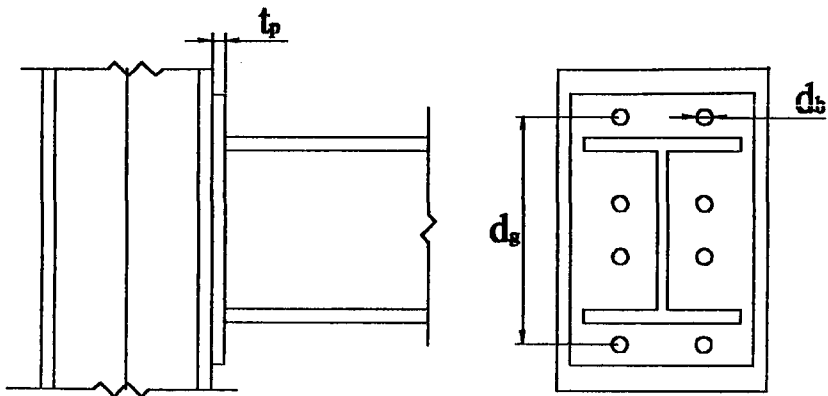
Şekil 4.7 Çift gövde korniyerli birleşim



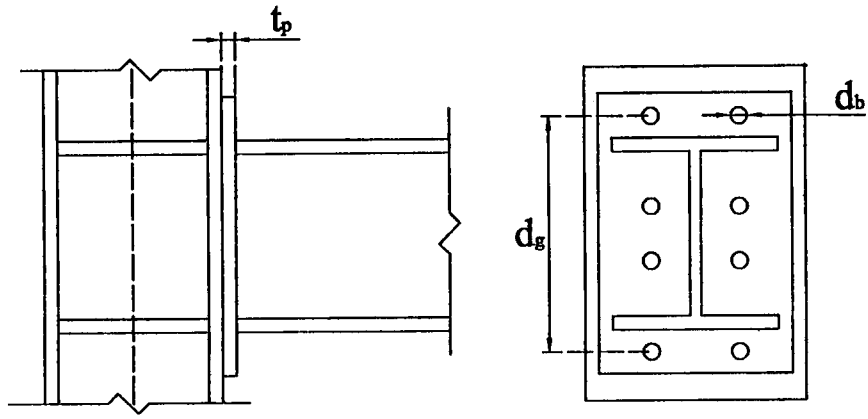
Şekil 4.8 Alt ve üst başlık ve çift gövde korniyerli birleşim



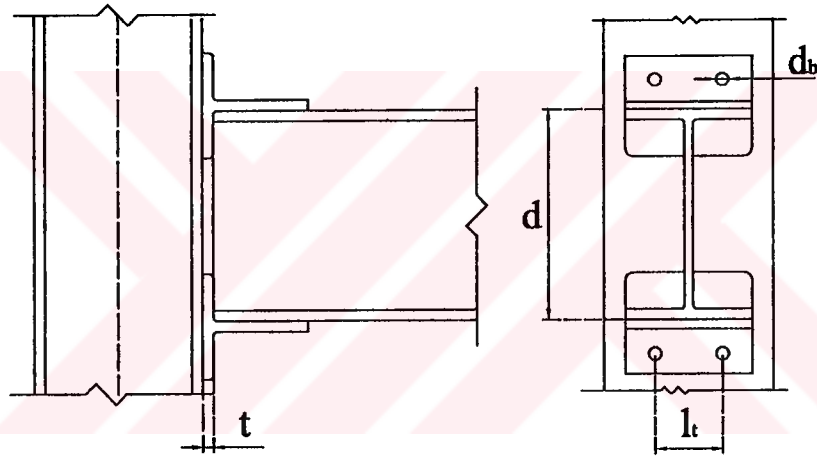
Şekil 4.9 Alt ve üst başlık korniyerli birleşim



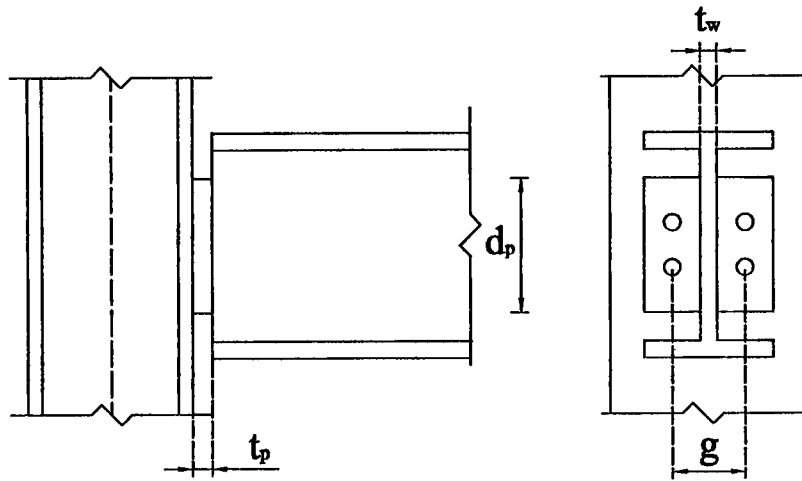
Şekil 4.10 Uç levhalı takviyesiz birleşim



Şekil 4.11 Uç levhalı takviyeli birleşim



Şekil 4.12 T profilli birleşim



Şekil 4.13 Baş levhalı birleşim

Çizelge 4.1 Birleşim tipleri için eğri uydurma ve standartlaştırma sabitleri

| Birleşim tipleri (1) | Eğri uydurma sabitleri (2) | Standartlaştırma sabiti (3) |
|---|--|---|
| Tek gövde korniyerli birleşim | $C_1 = 4,28.10^{-3}$ $C_2 = 1,45.10^{-9}$ $C_3 = 1,51.10^{-16}$ | $\kappa = d_a^{-2.4} t_a^{-1.81} g^{0.15}$ |
| Çift gövde korniyerli birleşim | $C_1 = 3,66.10^{-4}$ $C_2 = 1,15.10^{-6}$ $C_3 = 4,57.10^{-8}$ | $\kappa = d_a^{-2.4} t_a^{-1.81} g^{0.15}$ |
| Alt ve üst başlık ve çift gövde korniyerli birleşim | $C_1 = 2,23.10^{-5}$ $C_2 = 1,85.10^{-8}$ $C_3 = 3,19.10^{-12}$ | $\kappa = d^{-1.287} t^{-1.128} t_c^{-0.415} l_a^{-0.694} g^{1.35}$ |
| Alt ve üst başlık korniyerli birleşim | $C_1 = 8,46.10^{-4}$ $C_2 = 1,01.10^{-4}$ $C_3 = 1,24.10^{-8}$ | $\kappa = d^{-1.5} t^{-0.5} l_a^{-0.7} d_b^{-1.5}$ |
| Uç levhalı takviyesiz birleşim | $C_1 = 1,83.10^{-3}$ $C_2 = 1,04.10^{-4}$ $C_3 = 6,38.10^{-6}$ | $\kappa = d_g^{-2.4} t_p^{-0.4} d_h^{-1.5}$ |
| Uç levhalı takviyeli birleşim | $C_1 = 1,79.10^{-3}$ $C_2 = 1,76.10^{-4}$ $C_3 = 2,04.10^{-4}$ | $\kappa = d_r^{-2.4} t_p^{-0.6}$ |
| Uç levhalı takviyeli birleşim | $C_1 = 2,10.10^{-4}$ $C_2 = 6,20.10^{-6}$ $C_3 = -7,60.10^{-9}$ | $\kappa = d^{-1.5} t^{-0.5} l_t^{-0.7} d_b^{-1.1}$ |
| Baş levhalı birleşim | $C_1 = 5,10.10^{-5}$ $C_2 = 6,20.10^{-10}$ $C_3 = 2,40.10^{-13}$ | $\kappa = d_p^{-2.3} t_p^{-1.6} t_w^{-0.5} g^{1.6}$ |

4.5. Eleman Rijitlikleri

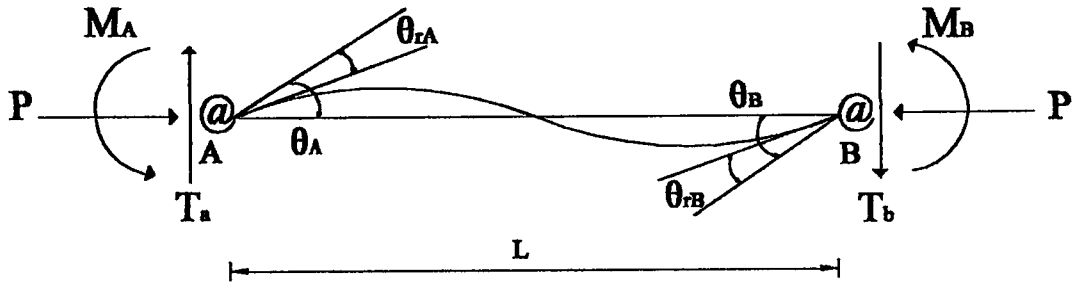
Lineer elastik analizde şekil değiştirmelerin küçük olduğu kabul edilerek denge denklemleri yapının başlangıç geometrisi esas alınarak yazılmaktadır. Ancak yapıya etki eden yüklerin artması yapı geometrisinde ihmal edilemeyecek şekil değişimlerine neden olacağından, denge ve uygunluk denklemlerinin şekil değiştirmiş durum için yazılması gerekir. Dolayısıyla lineer olmayan şekil değişimlerinin ifade edebilmesi için rijitlik matrisi geometrik nonlineerlik etkilerini içermelidir. Uçlarında yarı rijit bağlantı olan elemanlarda ise, rijitlik matrisi yarı rijit birleşim özelliği göz önüne alınacak şekilde değiştirilmelidir.

Çerçeve sistemlerde kolonlar süreklidir ve herhangi bir yarı-rijit bağlantı elemanı taşımazlar, yarı rijit birleşimler ise kiriş uç kısımlarına bağlanmaktadır. Ancak kirişler küçük eksenel kuvvetlere sahiptirler ve geometrik bakımdan lineer olmama etkisi ihmal edilebilir. Kolonlarda ise eksenel kuvvetler büyüktür ve geometrik bakımdan lineer olmama etkisi göz önüne alınmaktadır. Basitleştirme amacıyla yarı rijit birleşimli düzlem çerçevelerin analizinde kiriş-kolon elemanı ve yarı-rijit kiriş elemanı olmak üzere iki tip eleman kullanılmaktadır. Şimdi sırasıyla kiriş-kolon elemanı ve yarı rijit kiriş elemanı için rijitlik matrisleri elde edilecektir.

4.5.1. Kiriş-Kolon Elemanı

Bir kiriş-kolon elemanı için rijitlik matrisi $P-\Delta$ etkilerinin de hesaba katılmasıyla, $[\bar{k}_e]$ ve $[\bar{k}_g]$ şeklinde iki matrisin toplamı olarak ifade edilebilir. $[\bar{k}_g]$ geometrik rijitlik matrisi olup (4.3) ifadesi ile, $[\bar{k}_e]$ birinci derece çerçeve eleman rijitlik matrisi olup (4.4) ifadesiyle hesaplanır Dhillon ve O'Malley (1999). Böylece i 'nci eleman için lineer olmayan rijitlik matrisi (4.2)'deki gibi olur.

$$[\bar{k}]_i = [\bar{k}_e]_i + [\bar{k}_g]_i \quad (4.2)$$



Şekil 4.14 Dönel yaylı kiriş elemanı

θ_A ve θ_B birleşim dönmeleri yerine sırasıyla $(\theta_A - \theta_{rA})$ ve $(\theta_B - \theta_{rB})$ 'nin yazılmasıyla yarı rijit birleşimler için moment-dönme denklemleri, Şekil 4.14'deki kirişin A ve B ucu için denklem (4.7) ve (4.8)'deki gibi yazılabilir.

$$M_A = \frac{EI}{L} \left[4 \left(\theta_A - \frac{M_A}{R_{kA}} \right) + 2 \left(\theta_B - \frac{M_B}{R_{kB}} \right) \right] \quad (4.7)$$

$$M_B = \frac{EI}{L} \left[4 \left(\theta_B - \frac{M_B}{R_{kB}} \right) + 2 \left(\theta_A - \frac{M_A}{R_{kA}} \right) \right] \quad (4.8)$$

Bu denklemler (4.11)-(4.14) ifadeleri de göz önüne alınarak (4.9) ve (4.10) denklemlerindeki gibi kısaltılabilir.

$$M_A = \frac{EI}{L} (s_{ii} \theta_A + s_{ij} \theta_B) \quad (4.9)$$

$$M_B = \frac{EI}{L} (s_{ji} \theta_A + s_{jj} \theta_B) \quad (4.10)$$

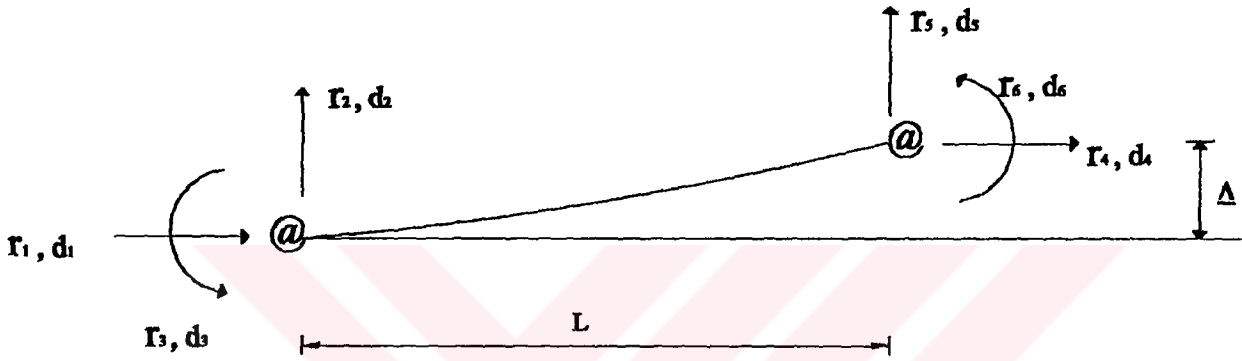
Burada,

$$s_{ii} = \frac{1}{R} \left(4 + \frac{12EI}{LR_{kB}} \right) \quad (4.11)$$

$$s_{ij} = \left(4 + \frac{12EI}{LR_{kA}} \right) \quad (4.12)$$

$$s_{ij} = \frac{2}{R} \quad (4.13)$$

$$R = \left(1 + \frac{4EI}{LR_{kA}} \right) \left(1 + \frac{4EI}{LR_{kB}} \right) - \left(\frac{EI}{L} \right)^2 \left(\frac{4}{R_{kA}R_{kB}} \right) \quad (4.14)$$



Şekil 4.15 Düzlem çerçeve elemanı

Denklem (4.9) ve (4.10), Şekil (4.15)'deki altı serbestlik dereceli düzlem çerçeve elemanın rijitlik matrisi formuna dönüştürerek açık ifadesi aşağıda verilmiştir Dhillon ve O'Malley(1999).

$$[k]_f = \begin{bmatrix} \frac{A_x E}{L} & & & & & \\ 0 & (s_{ii} + 2s_{ij} + s_{jj}) \frac{EI}{L^3} & & & & \\ 0 & (s_{ii} + s_{ij}) \frac{EI}{L^2} & s_{ii} \frac{EI}{L} & & & \\ -\frac{A_x E}{L} & 0 & 0 & \frac{A_x E}{L} & & \\ 0 & -(s_{ii} + 2s_{ij} + s_{jj}) \frac{EI}{L^3} & -(s_{ii} + s_{ij}) \frac{EI}{L^2} & 0 & (s_{ii} + 2s_{ij} + s_{jj}) \frac{EI}{L^3} & \\ 0 & (s_{ij} + s_{jj}) \frac{EI}{L^2} & s_{ij} \frac{EI}{L} & 0 & -(s_{ij} + s_{jj}) \frac{EI}{L^2} & s_{jj} \frac{EI}{L} \end{bmatrix} \quad \begin{matrix} \\ \\ \\ \\ \text{Simetrik} \\ \\ \end{matrix} \quad (4.15)$$

Rijitlik denklemi, herhangi bir eleman için denklem (4.16)'deki genel formda olmaktadır.

$$\{\bar{r}\} = [\bar{k}]\{\bar{d}\} + \{\bar{r}_F\} \quad (4.16)$$

Burada $\{\bar{r}\}$ ve $\{\bar{d}\}$ sırasıyla eleman koordinatlarındaki eleman uç kuvvetleri ve uç deplasman vektörleri, $\{\bar{r}_F\}$ yarı rijit bağlantılı kiriş elemanları için ankastrelilik uç kuvvetleridir. Bu kuvvetleri matris formda (4.17)'deki gibi ifade edebiliriz.

$$\{\bar{r}_F\} = \begin{bmatrix} 0 & V_{FA}^* & M_{FA}^* & 0 & V_{FB}^* & M_{FB}^* \end{bmatrix} \quad (4.17)$$

Matristeki değerler aşağıdaki ifadelerle hesaplanmaktadır.

$$M_{FA}^* = \frac{M_{FA} + 6\alpha_B M_{FB}}{(1 + 4\alpha_A + 4\alpha_B + 12\alpha_A\alpha_B)} \quad (4.18)$$

$$M_{FB}^* = \frac{M_{FB} + 6\alpha_A M_{FA}}{(1 + 4\alpha_A + 4\alpha_B + 12\alpha_A\alpha_B)} \quad (4.19)$$

$$\alpha_A = \frac{EI/L}{R_{kA}} \quad (4.20)$$

$$\alpha_B = \frac{EI/L}{R_{kB}} \quad (4.21)$$

Denklemlerdeki M_{FA}, M_{FB} ve M_{FA}^*, M_{FB}^* sırasıyla rijit ve yarı rijit birleşimli elemanlar için ankastrelilik uç momentleridir. V_{FA}^* ve V_{FB}^* ise eleman dengesinden elde edilen yarı rijit birleşim için ankastrelilik uç kesme kuvvetleridir.

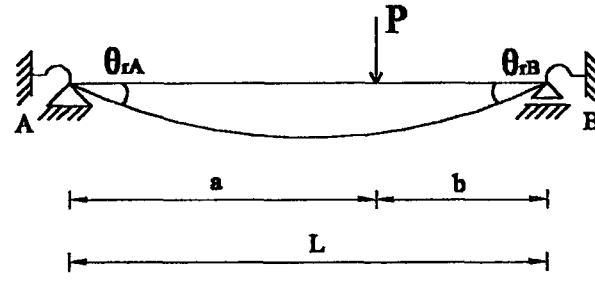
4.5.2.1. Yarı Rijit Kiriş Elemanı İçin Ankastrelilik Uç Momentlerinin

Elde Edilmesi

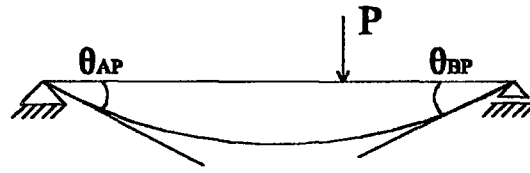
Tekil P yükü ile yüklü A ve B uçlarında dönel yaylar bulunan ve R_{kA}, R_{kB} yay rijitliğine sahip Şekil (4.16a)'daki AB kirişini göz önüne alalım. Yarı rijit kiriş için A ve B ucundaki momentler (4.22) ve (4.23) eşitliğindeki gibi olmaktadır.

$$M_A = R_{kA}\theta_{rA} \quad (4.22)$$

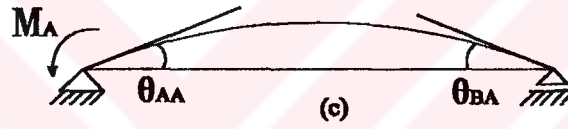
$$M_B = R_{kB}\theta_{rB} \quad (4.23)$$



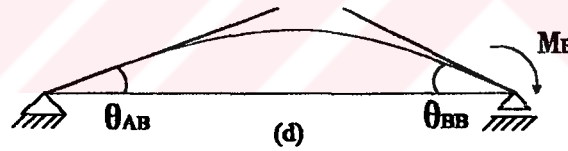
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 4.16 Yarı rijit kiriş

Uç yayların atılmasıyla oluşan basit mesnetli kiriş için Şekil (4.16b)-(4.16d)'deki üç farklı yükleme durumu için A ucundaki dönmeler sırasıyla (4.24)-(4.26) ifadelerindeki gibi olacaktır.

$$\theta_{AP} = \frac{Pab(L+b)}{6EIL}$$

(4.24)

$$\theta_{AA} = -\frac{M_A L}{3EI} \quad (4.25)$$

$$\theta_{AB} = -\frac{M_B L}{6EI} \quad (4.26)$$

Üç durumun süperpozisyonu ile A ucundaki yayın rölatif dönmesi olan θ_{rA} için (4.27) eşitliği elde edilir.

$$\theta_{rA} = \theta_{AP} + \theta_{AA} + \theta_{AB} \quad (4.27)$$

(4.24)-(4.26) denklemlerinin (4.27)'de yerine bırakılmasıyla (4.28) eşitliği yazılır.

$$\frac{M_A}{R_{kA}} = \frac{Pb(L+b)}{6EI} - \frac{M_A L}{3EI} - \frac{M_B L}{6EI} \quad (4.28)$$

(4.28) eşitliği, (4.30)-(4.33) ifadeleri kullanılarak aşağıdaki bağıntıya dönüştürülebilir.

$$2M_A(1+3\alpha_A) + M_B = 2M_{FA} + M_{FB} \quad (4.29)$$

$$\alpha_A = \frac{EI}{LR_{kA}} \quad (4.30)$$

$$\alpha_B = \frac{EI}{LR_{kB}} \quad (4.31)$$

$$M_{FA} = \frac{Pab^2}{L^2} \quad (4.32)$$

$$M_{FB} = \frac{Pa^2b}{L^2} \quad (4.33)$$

A ucu için yapılan işlemlerin B ucu için tekrarlanmasıyla (4.34) denklemi elde edilir.

$$M_A + 2M_B(1+3\alpha_B) = M_{FA} + 2M_{FB} \quad (4.34)$$

(4.30)- (4.34) ifadeleri vasıtasıyla, yarı rijit kirişler için ankastrelik uç momentlerini (4.35) ve (4.36) denklemlerindeki biçimde elde ederiz.

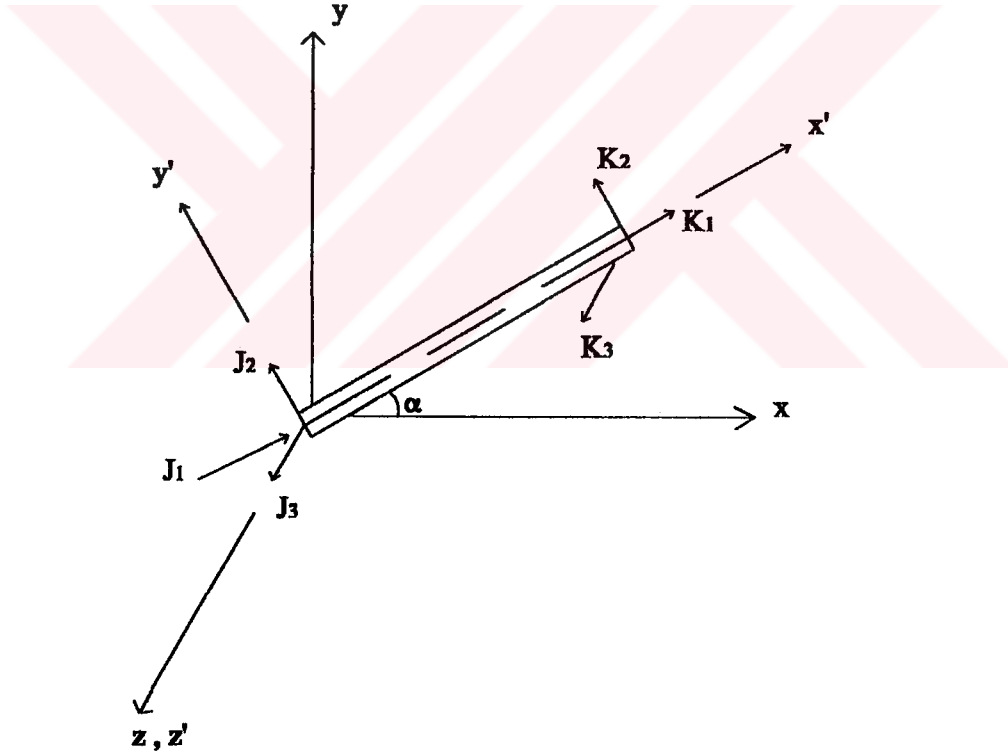
$$M_{FA}^* = \frac{M_{FA} + 6\alpha_B M_{FB}}{(1 + 4\alpha_A + 4\alpha_B + 12\alpha_A \alpha_B)} \quad (4.35)$$

$$M_{FB}^* = \frac{M_{FB} + 6\alpha_A M_{FA}}{(1 + 4\alpha_A + 4\alpha_B + 12\alpha_A\alpha_B)} \quad (4.36)$$

Benzer şekilde, denklem (4.35) ve (4.36) nın düzgün veya lineer değişen yayılı yükler içinde geçerli olduğu gösterilebilir.

4.6. Yapı Rijitlik Matrisi

Denklem (4.2)'deki kiriş-kolon rijitlik matrisi ve denklem (4.15)'deki yarı rijit kiriş matrisi eleman koordinat sisteminde tanımlanmıştır. Şekil (4.17)'de görüldüğü üzere eleman ve yapı koordinatları birbirinden farklı olabilmektedir. Dolayısıyla yapı rijitlik matrisini oluşturmadan önce eleman koordinat sistemindeki bu matrisleri yapı koordinat sisteminin dönüştürmemiz gerekmektedir. Bu dönüşüm için (4.37)'deki bağıntı kullanılabilir.



Şekil 4.17 Eleman (x', y', z') ve yapı (x, y, z) koordinatlarında çerçeve elemanı

$$[k]_i = [T]_i^T [\bar{k}]_i [T]_i \quad (4.37)$$

Bu ifadede $[k]_i$ i 'nci elemanın yapı koordinatlarındaki rijitlik matrisi, $[\bar{k}]_i$ i 'nci elemanın eleman koordinatlarındaki rijitlik matrisi, $[T]_i$ i 'nci eleman için dönüşüm matrisi olmaktadır. Dönüşüm matrisi ise (4.38)'deki biçimde ifade edilmektedir.

$$[T]_i = \begin{bmatrix} \lambda & \mu & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\mu & \lambda & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \lambda & \mu & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\mu & \lambda & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.38)$$

Matriste $\lambda = \cos \alpha$; $\mu = \sin \alpha$ 'dir. α ise Şekil (4.17)'deki görüldüğü gibi eleman ve yapı koordinatları arasındaki açıdır.

5. BİLEŞİK GERİLME KONTROLLERİ, GERİLME VE DEPLASMAN SINIRLAYICILARI

5.1. Giriş

Bu bölümde aksenal basınç ve eğilme momenti, aksenal çekme ve eğilme momenti etkisine maruz çubukların tasarımı için gerekli gerilme kontrolü formülleri sırasıyla verilecektir. Formüller, TS 648 (1980) 'Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları' yönetmeliğinden alınmış olup geliştirilen bilgisayar programında, genetik algoritmayla optimizasyonda gerilme sınırlayıcıları olarak kullanılmıştır.

5.2. Aksenal Basınç ve Eğilme Bağlıları

Eksenal basınç kuvveti ile birlikte bir de eğilme momenti etkisi altındaki bir çubuk için 'Eğilmeli burkulma' söz konusudur Odabaşı (1997). Eğilmeli burkulmada, $N + (M_x \text{ veya } M_y)$ ya da $N + (M_x + M_y)$ etkileri söz konusu olacaktır. Bu durumda yapılması gereken hesaplamalar TS 648 (1980) Madde 3.4 de açıklanmıştır.

Eksenal basınç ve eğilme momenti etkisindeki çubuklarda gerilme kontrolü aşağıdaki bağıntılarla yapılır.

$$\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} + \frac{C_{mx}\sigma_{bx}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma'_{ex}}\right)\sigma_{Bx}} + \frac{C_{my}\sigma_{by}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma'_{ey}}\right)\sigma_{By}} \leq 1,0 \quad (5.1)$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{0.6\sigma_a} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} + \frac{\sigma_{by}}{\sigma_{By}} \leq 1,0 \quad (5.2)$$

$\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} \leq 0,15$ olması durumunda ise sadece (5.4) formülünün uygulanması yeterli olacaktır.

$$\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} + \frac{\sigma_{by}}{\sigma_{By}} \leq 1,0 \quad (5.3)$$

Yukarıdaki ifadelerde σ_{eb} yalnız aksenal basınç etkisi için hesaplanan gerilme, σ_{bem} yalnız aksenal basınç kuvveti etkisi altında müsaade edilen gerilme, σ_a akma gerilmesi,

σ_{hx} yalnız M_x eğilme momenti etkisi altında hesaplanan basınç-eğilme başlığı gerilmesi, σ_{by} yalnız M_y eğilme momenti etkisi altında hesaplanan basınç-eğilme başlığı gerilmesi, σ_{bx} yalnız M_x eğilme momenti etkisi halinde müsaade edilecek eğilme-basınç başlığı emniyet gerilmesi, σ_{by} yalnız M_y eğilme momenti etkisi halinde müsaade edilecek eğilme-basınç başlığı emniyet gerilmesi, σ'_{ex} x-x asal eksenleri etrafındaki burkulmalar için hesaplanan gerilmeler, σ'_{ey} y-y asal eksenleri etrafındaki burkulmalar için hesaplanan gerilmeler, C_{mx} M_x moment diyagramlarını ve hesap yapılan düzleme dik doğrultuda çubuğun tutulma düzenini göz önüne alan katsayılar, C_{my} M_y moment diyagramlarını ve hesap yapılan düzleme dik doğrultuda çubuğun tutulma düzenini göz önüne alan katsayılar olarak tanımlanmaktadır.

σ_{bem} , çubuk narinliğinin kritik narinlikten küçük veya büyük olmasına göre (5.4) veya (5.5) ifadelerinden hesaplanır.

$$\sigma_{bem} = \frac{\left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{\lambda}{\lambda_p} \right)^2 \right] \sigma_a}{n}, \quad \lambda < \lambda_p \text{ ise} \quad (5.4)$$

$$\sigma_{bem} = \frac{2 \pi^2 E}{5 \lambda^2}, \quad \lambda \geq \lambda_p \text{ ise} \quad (5.5)$$

Burada λ çubuğun narinliği, λ_p plastik narinlik sınırı (kritik narinlik), n emniyet katsayısıdır. (5.4) ve (5.5)'de geçen kritik narinlik ise (5.6) formülüyle hesaplanmaktadır. Çubuk narinliği olan λ , kesitin x asal eksenini etrafındaki burkulmaya göre hesaplanan çubuk narinliğidir (λ_x).

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{\sigma_a}} \quad (5.6)$$

$$\lambda_x = \frac{Ks}{i_x} \quad (5.7)$$

Burada s çubuğun gerçek boyu, K kolon etkili uzunluk faktörü, i_x ise kesitin x eksenine göre olan atalet yarıçapıdır.

n emniyet katsayısı değeri, çubuğun narinlik değerine göre (5.8)-(5.10) formüllerinden hesaplanır.

$$n = 1,67 \quad , \quad \lambda < 20 \quad \text{ise} \quad (5.8)$$

$$n = 1,5 + 1,2 \left(\frac{\lambda}{\lambda_p} \right) - 0,2 \left(\frac{\lambda}{\lambda_p} \right)^3, \quad 20 \leq \lambda < \lambda_p \quad \text{ise} \quad (5.9)$$

$$n = 2,5 \quad , \quad \lambda > \lambda_p \quad \text{ise} \quad (5.10)$$

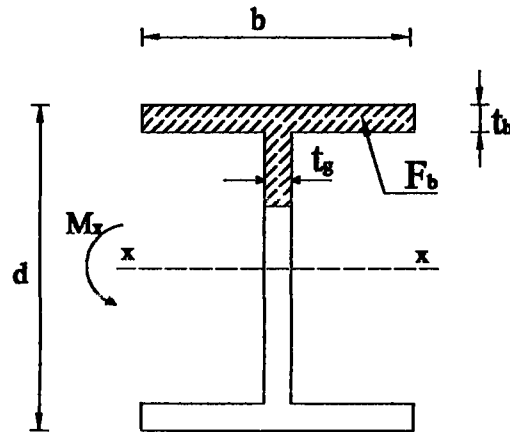
(5.1)-(5.3) bağıntılarından σ_{Bx} gerilmesi aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\sigma_{Bx} = \frac{84 \cdot 10^4 C_b}{s \cdot \frac{d}{F_b}} \quad (5.11)$$

(5.11) ifadesi ile hesaplanan σ_{Bx} gerilmesi $0,6 \sigma_a$ değerini aşamaz. Burada s kirişin basınç başlığında dönmeye veya yanal deplasmana karşı mesnetleri arasındaki mesafe (cm), F_b basınç başlığının enkesit alanıdır (cm²). Bu ifadelerde hesaplanan σ_{Bx} gerilmesi kgf/cm² cinsindedir. Herhangi bir enkesitte basınç başlığı olarak, enkesit başlık elemanı ile basınç bölgesindeki gövde yüksekliğinin üçte birinin çalıştığı kabul edilmektedir (Şekil 5.1).

$$F_b = bt_b + \frac{1}{3} \left(\frac{d - 2t_b}{2} \right) t_s \quad (5.12)$$

(5.11) denkleminde yer alan C_b bir katsayıdır. Bu katsayı çubuğun moment düzlemine dik düzlem içinde tutulan (1) ve (2) noktaları arasındaki eğilme momenti diyagramının şekline göre Çizelge 5.1'den 1 ve 2 durumu için hesaplanır, 3 ve 4 durumu için ise sabit değer olarak alınır. Ancak Çizelge 5.1 durum 1 ve 2 için C_b hesap değeri 2,3 değerini aşamaz.

Şekil 5.1 M_x momentine maruz profil kesit elemanı

| Durum | 1 | 2 | 3 | 4 |
|------------------|---|---|------|-----|
| Moment diyagramı | | | | |
| C_b | $1,75 + 1,05 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) + 0,3 \left(\frac{M_1}{M_2} \right)^2$ | $1,75 - 1,05 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) + 0,3 \left(\frac{M_1}{M_2} \right)^2$ | 1,75 | 1,0 |

Çizelge 5.1 C_b katsayısının tayini

x-x asal eksenleri etrafındaki burkulmalar için hesaplanan σ'_{ex} değeri aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\sigma'_{ex} = \frac{\pi^2 E}{\lambda_x^2} \frac{1}{2,5} \quad (5.13)$$

Denklem (5.1)'deki C_m değeri ise yanal deplasmanın mümkün olduğu çerçevelerde 0,85 olarak alınan bir sabittir.

5.3. Etkili Kolon Uzunluk Faktörü

(5.7) denkleminde çubuk burkulma boyunun hesabında, çubuğun gerçek boyu bir K etkili kolon uzunluk faktörü ile çarpılır. Bu faktör çubuğun her iki ucuna birleşen elemanların rijitliklerine bağlı olarak yanal deplasmanın mümkün olduğu çerçevelerde aşağıdaki bağıntıdan hesaplanabilir Dhillon ve O'Malley (1999).

$$\frac{G_A G_B (\pi / K)^2 - 36}{6(G_A + G_B)} = \frac{\pi / K}{\tan(\pi / K)} \quad (5.14)$$

Burada G_A, G_B kolonların A ve B uçları için rijitlik dağıtım faktörleri olup,

$$G = \frac{\sum I_c / s_c}{\sum I_g / s_g} \quad (5.15)$$

şeklinde hesaplanır.

Burada I_c göz önüne alınan noktaya rijit olarak bağlanmış kolonların atalet momenti, I_g göz önüne alınan noktaya rijit olarak bağlanmış kirişlerin atalet momenti, s_c ilgili kolonların serbest boyu, s_g ilgili kirişlerin serbest boyudur. (5.15) ifadesindeki I_g / s_g kiriş rijitliği, farklı uç koşulları için aşağıdaki faktörlerle çarpılır. Ankastre uçlar için 0,5, mafsallı uçlar için 0,67 ve yarı-rijit uçlar için $1/(1 + 6EI / LR_k)$ olmaktadır.

5.4. Eksenel Çekme ve Eğilme Bağlılıkları

Eksenel çekme kuvveti ve eğilme momentine maruz bir çubukta gerilme kontrolleri aşağıdaki şekilde yapılır.

$$\frac{\sigma_{eç}}{0.60\sigma_a} + \frac{\sigma_{çx}}{\sigma_{çem}} \leq 1,0 \quad (5.16)$$

Burada $\sigma_{e\zeta}$ yalnız aksenal çekme etkisi için hesaplanan gerilme, $\sigma_{\zeta x}$ yalnız eğilme momenti etkisi altında hesaplanan çekme gerilmesi, $\sigma_{\zeta em}$ ise çekme emniyet gerilmesidir.

5.5. Genetik Algoritmadaki Gerilme ve Deplasman Sınırlayıcıları

Kesitleri sadece x ekseninde eğilmeye çalışan çubukların genetik algoritma ile optimum tasarımında aşağıdaki normalize edilmiş gerilme sınırlayıcıları kullanılmaktadır.

Eksenal basınç ve eğilmeye maruz çubuklar için ;

$$g_i(x) = \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} + \frac{C_{mx}\sigma_{bx}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma'_{ex}}\right)\sigma_{Bx}} - 1,0 \leq 0 \quad i=1, \dots, nm \quad (5.17)$$

$$g_i(x) = \frac{\sigma_{eb}}{0,60\sigma_a} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} - 1,0 \leq 0 \quad i=1, \dots, nm \quad (5.18)$$

Eğer $\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} \leq 0,15$ ise (5.17) ve (5.18) sınırlayıcıları yerine ,

$$g_i(x) = \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} - 1,0 \leq 0 \quad i=1, \dots, nm \quad (5.19)$$

ifadesi kullanılabilir.

Eksenal çekme ve eğilmeye maruz çubuklar için ise;

$$g_i(x) = \frac{\sigma_{e\zeta}}{0,60\sigma_a} + \frac{\sigma_{\zeta x}}{\sigma_{\zeta em}} - 1,0 \leq 0 \quad i=1, \dots, nm \quad (5.20)$$

sınırlayıcısı kullanılabilir.

Deplasman sınırlayıcıları ise,

$$g_j(x) = \frac{\delta_j}{\delta_{ju}} - 1, 0 \leq 0 \quad i=1, \dots, p \quad (5.21)$$

şeklindedir. Burada δ_j j'nci sınırlanmış deplasman değeri, δ_{ju} ise onun üst sınırını göstermektedir. Sınırlayıcısız amaç fonksiyonu denklem (3.18) deki gibidir.

$$\phi(x) = W(x)(1 + KC) \quad (5.22)$$

$$C = \sum_{i=1}^m c_i \quad (5.23)$$

(5.22)'deki K sabit bir değer olup bu çalışmada 10 olarak alınmıştır. (5.23) deki c_i ihlal katsayıları ise aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\begin{aligned} \text{Eğer } g_i(x) > 0 \text{ ise } c_i &= g_i(x), \\ \text{Eğer } g_i(x) \leq 0 \text{ ise } c_i &= 0, \\ \text{Eğer } g_j(x) > 0 \text{ ise } c_j &= g_j(x), \\ \text{Eğer } g_j(x) \leq 0 \text{ ise } c_j &= 0 \end{aligned} \quad (5.24)$$

(5.17)-(5.24) denklemlerinde; nm çerçevedeki toplam eleman sayısını, p çerçevedeki sınırlanmış deplasmanların toplam sayısını, m ise sınırlayıcıların toplam sayısını ifade etmektedir.

6. LİNEER OLMAYAN ANALİZ

6.1. Giriş

Bu bölümde çerçevelerin lineer olmayan analizi açıklanmaktadır. Yapı mühendisliği açısından iki tip lineer olmayan durum tanımlanır. Birincisi malzeme bakımından lineer olmayan durumdur ve malzemenin lineer olmayan elastik ve plastik , elastik-plastik veya viskoelastik davranışından kaynaklanır. İkinci tip lineer olmama durumu ise geometrik bakımdan lineer olmama durumu olup şekil değiştirmelerin yapı geometrisinde ihmal edilemeyecek değişikliklere yol açtığı durumlarda ortaya çıkmaktadır. Bu durumda denge denklemleri yapının şekil değiştirmiş durumu için yazılmalıdır. Buna ilave olarak her iki durumun bir arada olduğu birleşik durum da söz konusudur.

Malzeme, geometrik ve birleşik bakımdan lineer olmayan davranış konuları bir çok araştırmacı tarafından incelenerek değişik çözüm yöntemleri geliştirilmiştir. Yapılan bazı önemli çalışmaların amaçları ve elde ettikleri bulgular 2.Bölüm'de değerlendirilmiştir.

Bu çalışmada ise geometrik bakımdan lineer olmayan davranış gösteren, malzeme bakımından ise elastik olan standart kesitlerden oluşan düzlem çelik çerçevelerin analizi 'sekant rijitlik' yaklaşımı ile yapılmıştır.

6.2. Sekant Rijitlik Yaklaşımı

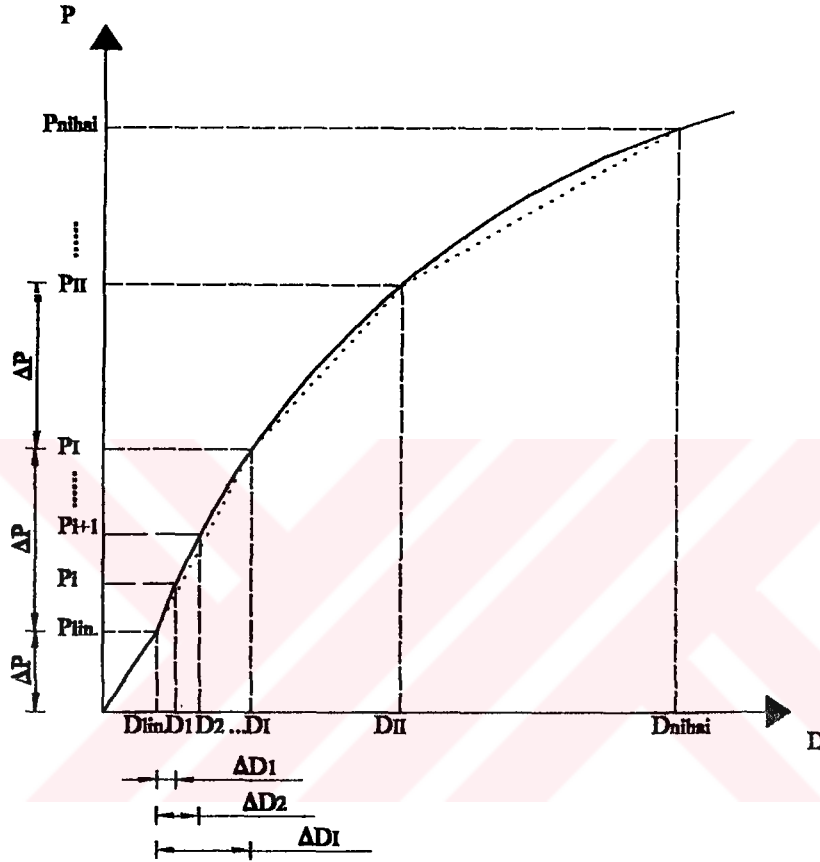
Yapı rijitlik denklemleri, geometrik lineer olmama ve birleşim esnekliği etkilerinin hesaba katılmasıyla oluşturulan eleman rijitliklerinin süperpozisyonu ile elde edilir. Bu rijitlik denklemleri lineer değildir ve iteratif bir çözüm yöntemi gerektirirler. Bu çalışmada kullanılan yöntem aşağıda açıklanan sekant rijitlik yaklaşımıdır.

Bu yöntemde göre yapıya etki eden yükler belli sayıda yük artımına bölünür. Yük artımları aynı veya farklı değerleri alabilir. Bu çalışmadaki hesaplar yük artımlarının aynı değerleri almasına göre yapılacaktır. Nihai yük faktörü değeri ile başlangıç yüklerinin kaç parçaya bölüneceği belirlenir. Artımsal formdaki rijitlik denklemi (6.1)'deki yapı rijitlik denklemine benzer şekilde (6.2)'deki gibi yazılır.

$$\{P\} = [S]\{D\} \quad (6.1)$$

$$\{\Delta P\} = [S]\{\Delta D\} \quad (6.2)$$

Burada $[S]$ yapı rijitlik matrisi, $\{P\}$ yapıya eki eden kuvvetler vektörü, $\{D\}$ yapı deplasman vektörü, $\{\Delta P\}$ yük artım vektörü, $\{\Delta D\}$ deplasman artım vektörüdür.



Şekil 6.1 Linceer olmayan analizde sekant rijitlik yaklaşımı

Şekil 6.1'de görüldüğü gibi ilk yük artımında lineer analiz yapılarak, lineer olmayan analiz için gerekli başlangıç deplasman ve uç kuvvet değerleri elde edilir. Bu değerler ile eleman rijitlik matrisleri hesaplanarak buradan yapı rijitlik matrisi $[S]$ elde edilir. $\{\Delta P\}$ yük artımı için (6.2) denklemini çözülerek ilk yük artımındaki ilk döngünün $\{\Delta D\}_1$ deplasman artımı hesaplanır.

$$\{\Delta P\} = [S]\{\Delta D\}_1 \quad (6.3)$$

Hesaplanan $\{\Delta D\}_1$ deplasmanı çubuk uç kuvvetleri ile uç deplasmanları arasındaki bağıntıda yerine konularak, her eleman için artımsal uç kuvvetleri hesaplanır.

$$\{\Delta F\}_i = [k]_i \{\Delta D\}_1 + \{\Delta F_o\}_i \quad (6.4)$$

Burada $\{\Delta F\}_i$ i'nci elemanın artımsal uç kuvvetleri, $[k]_i$ i'nci elemanın rijitlik matrisi, $\{\Delta F_o\}_i$ i'nci eleman ankastrelik artımsal uç kuvvetleridir.

Her eleman için hesaplanan yük ve deplasman artım değerleri, (6.5) ve (6.6) denklemindeki gibi bir önceki adımdaki analizden elde edilmiş yük ve deplasman değerine ilave edilir Böylelikle Şekil 6.1 de açıkça görüldüğü gibi ilk yük artımı içindeki birinci döngü tamamlanmış olur.

$$\{P\}_i = \{P\}_{i-1} + \{\Delta P\}_i \quad (6.5)$$

$$\{D\}_i = \{D\}_{i-1} + \{\Delta D\}_i \quad (6.6)$$

$$\frac{|D_i - D_{i-1}|}{D_i} \leq \varepsilon = 0,0001 \quad (6.7)$$

Bir önceki adımda elde edilmiş olan deplasman değerleri ile son adımdaki analizden elde edilen deplasman değerleri kullanılarak (6.7)'deki yakınsama kriterinin sağlanıp sağlanmadığı araştırılır. Bu kriterin anlamı hesaplanan çerçeve deplasmanlarının bir önceki döngüde hesaplanan deplasmanlara yeteri kadar yakın olmasıdır. Yakınsama sağlanmışsa ilk $\{\Delta P\}$ yük artımı için hesaplanacak olan döngüler tamamlanmıştır. İkinci yük artımı için aynı hesaplamalar tekrarlanır. Yakınsama sağlanmamışsa bir önceki döngüde elde edilen uç kuvvet ve deplasman değerleri kullanılarak yeniden $[S]$ yapı rijitlik matrisi oluşturulur. $\{\Delta P\}$ yük artımı için bu sefer $\{\Delta D\}_2$ deplasman artımı (6.3) denkleminde hesaplanır. Eleman uç kuvvet artımları (6.4)'deki gibi hesaplanıp (6.5) ve (6.6) eşitliklerindeki gibi önceki analizden elde edilmiş değerlere ilave edilerek ikinci döngü tamamlanır. Yakınsama kriteri sağlanıncaya kadar bu döngüler tekrarlanır. Kriterin sağlanması durumunda ilk yük artımı için hesaplama biter, ikinci yük artımı için aynı sıra takip edilerek hesaplama yapılır. Her döngüde hesaplanan $[S]$ matrisine yapı sekant rijitlik matrisi de denir.

Bir yük artımının yakınsamış çözümü bir sonraki yük artımının başlangıç değerlerini oluşturur. Bu iteratif yöntem tüm yük artımlarına uygulanır. Nihai yük faktörüne ulaşılmasıyla son yük artımı da uygulanarak yapıya etki eden toplam yüklere ulaşılır, son adımdaki çubuk uç kuvvetleri ve deplasman değerleri nihai değerler olarak elde edilerek analiz tamamlanır.

6.3. Lineer Olmayan Analiz Algoritması

Bu kısımda bilgisayar programında kullanılan lineer olmayan analiz algoritması hesap sırasına göre adımlar halinde aşağıda açıklanmıştır.

- 1- Yapıya etki eden yükleri nihai yük faktörü oranında birbirine eşit yük artımlarına böl .
- 2- İlk yük artımı için lineer analiz yaparak lineer olmayan analiz için gerekli başlangıç deplasman ve uç kuvvetlerini elde et.
- 3- Kiriş elemanlarının rijitlik matrislerini (4.15), kiriş-kolon elemanlarının rijitlik matrisini ise (4.2) ifadesiyle hesapla, eleman koordinatlarındaki bu matrisleri (4.37) denklemiyle yapı koordinatlarına dönüştürüp süperpoze ederek $[S]$ yapı rijitlik matrisini oluştur.
- 4- Denklem (6.3) ile $\{\Delta P\}$ yük artımı için $\{\Delta D\}_i$ deplasman artımını hesapla.
- 5- Her elemanın artımsal uç kuvvetlerini (6.4) denklemiyle hesapla.
- 6- (6.5) ve (6.6) denklemiyle son durum için her elemanın uç kuvvet ve deplasman değerlerini hesapla.
- 7- (6.7) eşitliği ile verilen yakınsama kriterini kontrol et. Yakınsama sağlanmışsa analize 9. adımdan devam et.
- 8- Yakınsama sağlanmadıysa, 6. adımda elde edilen son deplasman ve uç kuvvet değerlerini kullanarak (3)-(7) adımlarını yakınsama kriteri sağlanıncaya kadar tekrarla.
- 9- Yakınsama sağlanmış, bu yük artımı için hesaplamalar tamamlanmıştır.
- 10- Tüm yük artımları için (3)-(9) adımlarını tekrarla.
- 11- Son yük artımı için nihai çubuk uç kuvvetlerini ve deplasman değerlerini hesapla.
- 12- Analizi bitir.

7. YARI RİJİT BİRLEŞİMLİ LİNEER OLMAYAN ÇERÇEVELERİN OPTİMUM TASARIM ALGORİTMASI VE BİLGİSAYAR PROGRAMLAMASI

7.1. Giriş

Bu bölümde daha önceki bölümlerde anlatılan bilgilere dayanarak yarı-rijit birleşimli geometrik bakımdan lineer olmayan çerçevelerin genetik algoritma yöntemiyle optimum tasarımı için geliştirilen algoritma ve bu algoritmanın bilgisayar programı açıklanacaktır.

7.2. Optimum Tasarım Algoritması

Geometrik olarak lineer olmayan yarı-rijit bağlantılı çerçeveler için genetik algoritma yöntemiyle optimum tasarımı aşağıdaki adımlardan oluşur.

- 1- Tasarım değişkenlerini ikili sistemde kodla. Dizi uzunluğunu belirle. Popülasyon için bir kesit listesi düzenle.
- 2- İkili sayılardan (0 ve 1) oluşan başlangıç popülasyonunu rastgele oluştur. (Popülasyonun her bir bireyi bir çerçeveyi oluşturan tasarım değişkenlerini temsil etmektedir)
- 3- Her bir birey için ikili sistemde kodlanan tasarım değişkenlerini onluk sisteme dönüştürerek kesit listesindeki sıra numarasını bul, bu numaradaki standart kesitle eşleştir.
- 4- Belirlenen bu kesitlerle her bireyin (çerçevenin) lineer olmayan analizini Bölüm 6.3'e göre yaparak her çerçeve için düğüm noktaları deplasmanları ve elemanlardaki gerilmeleri hesapla.
- 5- Her birey için denklem (5.24)'ü kullanarak sınırlayıcıların ihlal edilme katsayılarını, (5.23) ve (5.22) denklemiyle de sınırlayıcısız amaç fonksiyonunu hesapla. Popülasyonda amaç fonksiyonlarının maksimum ve minimum değerlerini belirle.
- 6- (3.10) denklemiyle her bireyin uygunluğunu hesapla. Popülasyona Goldberg (1989)'da anlatıldığı gibi, optimum çözüme hızlı yakınsama için, 'Lineer uygunluk ölçeklendirmesi' ni uygula. Popülasyonda ortalama uygunluk ve her bireyin uygunluk faktörünü belirle.

- 7- Üreme operatörünü uygula. Her bireyi uygunluk faktörü ile orantılı olarak kopyalayarak eşleşme havuzuna gönder. Bu arada uygunluğu düşük olan bireyleri popülasyondan çıkar. Bu yeni kopyaları havuzda rastgele eşleştir ve her çiftte üniform çaprazlama uygulayarak yeni döller ve bunların oluşturduğu yeni popülasyonu elde et.
- 8- Yeni popülasyondaki her döle mutasyon operatörünü uygula.
- 9- Yeni popülasyonu başlangıç popülasyonu ile yer değiştir. 3-9 arası adımlardaki işlemlere, en son elde edilen popülasyondaki maksimum uygunlukla ortalama uygunluk arasındaki fark belirli küçük bir değerin altına ininceye kadar devam et. Bu durumda maksimum uygunluk değerine sahip bireyi optimum çözüm olarak belirle.

7.3. Bilgisayar Programlaması

Bu çalışmada verilen algoritmaları uygulayan bir bilgisayar programı Fortran90 dilinde geliştirilmiştir. Program bir ana ve on dokuz alt programdan oluşmaktadır. Bu program genetik algoritma yöntemini kullanarak yarı-rijit birleşimli ve geometrik bakımdan lineer olmayan çelik çerçevelerin optimum tasarımını yapmaktadır. Program ayrıca giriş bilgilerindeki bazı parametrelerin değiştirilmesiyle lineer ve lineer olmayan rijit birleşimli çerçevelerinde optimum tasarımını yapmaktadır.

7.3.1. Programın Giriş Bilgilerinde Kullanılan Sembollerin Tanıtımı

AÇIKLAMA : Datası hazırlanan çerçevenin özelliklerinin yazılabileceği giriş datasının ilk satırdır.

AÇIKLAMA : Datası hazırlanan çerçevenin özelliklerinin yazılabileceği ikinci bir satırdır.

M : Çerçeveadaki eleman sayısıdır.

NJ : Çerçeveadaki düğüm noktası sayısıdır.

NR : Toplam mesnet reaksiyonu sayısıdır.

NRJ : Toplam mesnet sayısıdır.

NG : Çerçeveadaki toplam grup sayısıdır.

NYF : Nihai yük faktörüdür. Lineer olmayan analizde yapıya etki eden yüklerin bölüneceği değerdir.

NP : Sınırlanmış deplasman sayısıdır.

NELM : Kesit listesindeki eleman sayısıdır.

- LS : Bir tasarım değişkenindeki bit sayısıdır.
- NPL : Popülasyon büyüklüğüdür. (Popülasyondaki bireylerin toplam sayısıdır)
- MIT : Maksimum nesil sayısıdır.
- E : Malzeme elastisite modülüdür.
- EPS : Lineer olmayan analizde yakınsaklık oranı olup analizde 0,0001 olarak seçilmiştir.
- FY : Malzeme akma dayanımıdır.
- CMULT : Lineer uygunluk ölçeklendirme faktörü olup 1,2-2,0 değerleri arasında alınır Goldberg (1989) .
- RO : Malzeme özgül ağırlığıdır.
- J : Düğüm noktası numarasıdır.
- X(J) : J numaralı düğüm noktasının x koordinatıdır.
- Y(J) : J numaralı düğüm noktasının y koordinatıdır.
- MKK : K'inci gruptaki toplam eleman sayısıdır.
- (NUM(K,I) , I=1,MKK) : K'inci gruptaki elemanların çerçevedeki numaralarıdır.
- QYK(K) : K'inci grubun nihai yayılı yüküdür.
- JTP(K) : K'inci grubun elemanlarının uçlarındaki birleşim tipi numarasıdır.
- Uçlarında yarı-rijit birleşim olmayan kolanlar için $JTP(K)=0$,
- Uçlarında tek gövde korniyerli birleşim olan kirişler için $JTP(K)=1$,
- Uçlarında çift gövde korniyerli birleşim olan kirişler için $JTP(K)=2$,
- Uçlarında alt ve üst başlık ve çift gövde korniyerli birleşim olan kirişler için $JTP(K)=3$,
- Uçlarında alt ve üst başlık korniyerli birleşim olan kirişler için $JTP(K)=4$,
- Uçlarında uç levhalı takviyesiz birleşim olan kirişler için $JTP(K)=5$,
- Uçlarında uç levhalı takviyeli birleşim olan kirişler için $JTP(K)=6$,
- Uçlarında T profilli birleşim olan kirişler için $JTP(K)=7$,
- Uçlarında baş levhalı birleşim olan kirişler için $JTP(K)=8$, değerleri kullanılır.
- C1(K), C2(K), C3(K) : K no'lu grubun elemanlarının uçlarındaki birleşim tipine göre değişen ve Tablo 4.1'den alınan eğri uydurma sabitleridir.

TA(K)(t_a), G(K)(g), TC(K)(t_c),

DB(K)(d_b), TP(K)(t_p) : K no'lu grubun elemanlarının uçlarındaki birleşimlere ait, Şekil (4.6)-(4.13)'de gösterilen ve Tablo4.1 üçüncü kolondaki standartlaştırma sabitlerinin hesaplanmasında kullanılan birleşim parametreleridir. (Şekillerde gösterilen fakat giriş bilgilerinde verilmeyen diğer parametreler her tasarımda yeni kesitlere bağlı olarak değişken alınmaktadır)

J : Eleman numarasıdır.

JJ(J) : J'nci eleman ilk ucunun çerçevedeki düğüm noktası numarasıdır.

JK(J) : J'nci elemanın ikinci ucunun çerçevedeki düğüm noktası numarasıdır.

MTYPE(J) : Eleman tip parametresidir.

MTYPE(J)=1 için eleman uçları rijit birleşimli kabul edilir.

MTYPE(J)=2 için elemanlar kiriş-kolon elemanı kabul edilir.

MTYPE(J)=3 için elemanlar yarı-rijit birleşimli kabul edilir.

MTIP(J) : Eleman tip numarasıdır.

MTIP(J)=1 için eleman kolon kabul edilir.

MTIP(J)=2 için eleman kiriş kabul edilir.

IRL(3*K-2), IRL(3*K-1),

IRL(3*K-1) : K'inci sınırlanmış mesnetin sırasıyla x,y ve moment yönündeki sınırlama durumudur. Değer 1 verilirse mesnet o yönde sınırlanmıştır. Değer 0 verilirse mesnetin o yönde serbest olduğu kabul edilir.

NEL : Uçları sınırlanmış elemanın numarasıdır.

NU : Elemanının sınırlanmış ucudur (İlk uç için 1, ikinci uç için 2 alınır).

NC : Sınırlanmış deplasmanın yönüdür (x yönü için 1, y yönü için 2 ve dönme için 3 kullanılır).

SD(I) : I no'lu sınırlanmış deplasmanın üst sınır değeridir.

NLJ : Yüklü bulunan düğüm noktası sayısıdır.

- NLM : Yüklü bulunan eleman sayısıdır.
- $A(3*K-2)$, $A(3*K-1)$,
 $A(3*K)$: K no'lu düğüm noktasına etki eden sırasıyla x , y ve moment doğrultusundaki yük değerleridir.(Bunlar matematikteki pozitif yönlerde ise pozitif işaret alırlar)
- $AML(I,1)$, $AML(I,2)$,
 $AML(I,3)$, $AML(I,4)$,
 $AML(I,5)$, $AML(I,6)$: I no'lu elemanın ilk ve son ucundaki lokal koordinatlarda, sırasıyla aksenal kuvvet, eksene dik kuvvet ve moment ankastrelik uç kuvvetlerdir. Her iki uç için bunlar matematikteki pozitif yönlerde ise pozitif işaret alırlar.
- $(IGY(K, I, L),L=1,2)$: K no'lu kolonun ilk ucuna birleşen 1. ve 2. giriş numaralarıdır. Giriş yoksa 0 değeri alınır.
- $(IGY(K, J, L),L=1,2)$: K no'lu kolonun ikinci ucuna birleşen 1. ve 2. giriş numaralarıdır. Giriş yoksa 0 değeri alınır
- $(ICO(K,I,L),L=1,2)$: K no'lu kolonun ilk ucuna birleşen 1. ve 2. kolon numaralarıdır. Kolon yoksa 0 değeri alınır.
- $(ICO(K,J,L),L=1,2)$: K no'lu kolonun ikinci ucuna birleşen 1. ve 2. kolon numaralarıdır. Kolon yoksa 0 değeri alınır.
- $(IBCX(K,I,L),L=1,2)$: Girişin ilk ucuna birleşen 1. ve 2. kolon numaralarıdır. Kolon yoksa 0 alınır.
- $(IBCX(K,J,L),L=1,2)$: Girişin ikinci ucuna birleşen 1. ve 2. kolon numaralarıdır. Kolon yoksa 0 alınır.
- $(IKO(K,I,L),L=1,2)$: Girişin ilk ucuna birleşen birinci ve ikinci giriş numaralarıdır. Giriş yoksa sıfır alınır.
- $(IKO(K,J, L),L=1,2)$: Girişin ikinci ucuna birleşen birinci ve ikinci giriş numaralarıdır. Giriş yoksa sıfır alınır.
- DSGN(I) : Profil kesit listesindeki I no'lu kesitin sembolik gösterimi
- $(SCPRO(I,J), J=1,8)$: I profil kesit listesindeki I no'lu kesitin sırasıyla kesit alanı, atalet momenti, mukavemet momenti, profil başlık genişliği, profil yüksekliği, profil başlık kalınlığı, profil gövde kalınlığı ve profil başlık oyuk yarıçapıdır.

7.3.2. Giriş Bilgilerinin Verilmesi

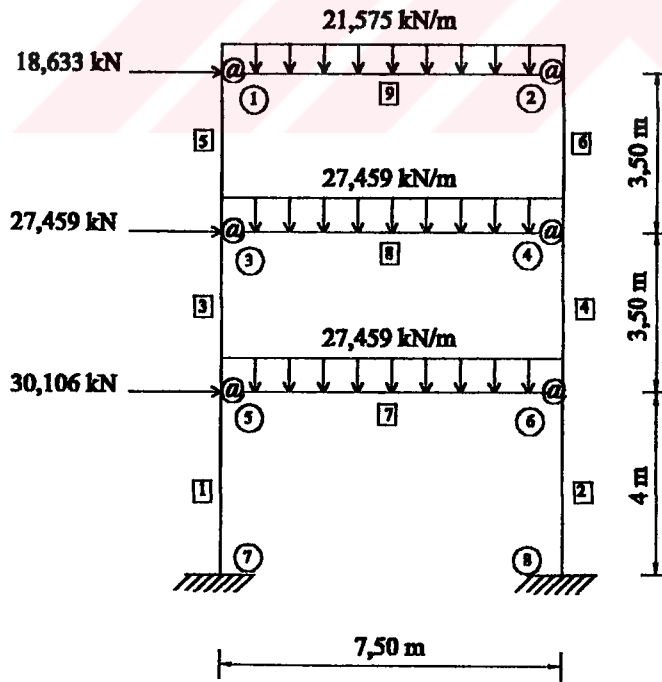
Bilgisayar programının giriş bilgileri Fortran diline göre aşağıdaki formatta verilmesi gerekmektedir.

| <u>YARI RÜJİT BİRLEŞİMLİ ÇELİK ÇERÇEVELER</u> | <u>FORMAT</u> |
|--|--|
| 1- AÇIKLAMA(1) | 20A4 |
| 2- AÇIKLAMA(2) | 20A4 |
| 2- M, NJ, NR, NRJ, NG, NYF, NP, NELM, LS, NPL, MIT | 11I5 |
| 3- E, EPS, FY, CMULT, RO | 5F10.0 |
| 4- J, X(J), Y(J) (NJ sayısı kadar olmalıdır) | I10, 2F10.4 |
| 5- MKK, (NUM(K,I), I=1,MKK) (NG sayısı kadar olmalıdır) | 16I5 |
| 6- QYK(K), JTP(K) (NG sayısı kadar olmalıdır) | F10.0, I5 |
| 7- C1(K), C2(K), C3(K), TA(K), G(K) C1(K), C2(K), C3(K), TA(K), G(K) C1(K), C2(K), C3(K), TA(K), TC(K), G(K) C1(K), C2(K), C3(K), TA(K), DB(K) C1(K), C2(K), C3(K), TP(K), DB(K) C1(K), C2(K), C3(K), TP(K), DB(K) C1(K), C2(K), C3(K), TA(K), DB(K) C1(K), C2(K), C3(K), TP(K), G(K) (Sekiz birleşim tipinden istenilen seçilebilir) (NG sayısı kadar olmalıdır) | 3D10.2, 4F10.0 3D10.2, 4F10.0 3D10.2, 4F10.0 3D10.2, 4F10.0 3D10.2, 4F10.0 3D10.2, 4F10.0 3D10.2, 4F10.0 3D10.2, 4F10.0 |
| 8- J, JJ(J), JJ(K), MTYPE(J), MTIP(J) (M sayısı kadar olmalıdır) | 5I10 |
| 9- K, IRL(3*K-2), IRL(3*K-1), IRL(3*K) (Sınırlanmışsa 1, serbest ise 0 alınır.) (NRJ sayısı kadar olmalıdır) | 4I10 |
| 10-NEL, NU, NC, SD(I) (NP sayısı kadar olmalıdır) | 3I10, F10.0 |
| 11-NLJ, NLM | 2I10 |

| | |
|---|-------------|
| 12- K, A(3*K-2), A(3*K-1), A(3*K) (NLJ sayısı kadar olmalıdır.) | I10, 3F10.4 |
| 13- I, AML(I,1) , AML(I,2) , AML(I,3) , AML(I,4), AML(I,5) , AML(I,6) (NLM sayısı kadar olmalıdır.) | I10, 6F10.4 |
| 14-(IGY(K, I, L),L=1,2),(IGY(K, J, L),L=1,2) | 16I5 |
| 15-(ICO(K,I,L),L=1,2), (ICO(K,J,L),L=1,2) | 16I5 |
| 16-(IBCX(K,I,L),L=1,2), (IBCX(K,J,L),L=1,2) | 16I5 |
| 17- (IKO(K,I,L),L=1,2), (IKO(K,J, L),L=1,2) | 16I5 |
| 14- DSGN(I) , (SCPRO(I,J), J=1,8) (NELM sayısı kadar olmalıdır.) | A10, 7F10.0 |

7.4. Örnek Çerçeve Datası

Şekil 7.1'deki tek açıklıklı üç katlı çerçevenin sırasıyla yarı-rijit birleşimli olması durumu için, rijit birleşim $P-\Delta$ etkisinin göz önüne alınmadığı durum için ve rijit birleşim $P-\Delta$ etkisinin göz önüne alındığı durum için örnek data yapısı verilmiştir.



Şekil 8.1 Tek açıklıklı üç katlı çerçeve

Örneklerde, bütün büyüklükler SI birim sistemine göre verilmesine karşın, bilgisayar programının giriş verilerinde kuvvetlerin ve ağırlıkların kgf, uzunlukların cm ve birleşim parametrelerinin (t_a, g, t_c, d_b, t_p) inch cinsinden verilmesi gerekmektedir.

Çerçeve için malzeme çelik olup elastisite modülü $E=205940\text{MPa}$ ($2,1 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2$), akma dayanımı $\sigma_a=235,4\text{MPa}$ (2400kgf/cm^2), özgül ağırlığı $\rho= 7850 \text{ kg/m}^3$, analiz yakınsama oranı $\varepsilon=0,0001$, lineer uygunluk ölçeklendirme faktörü $\text{CMULT}=2$ seçilmiştir. Lineer olmayan analiz için nihai yük faktörü $\text{NYF}=10$ olup yük artımları eşit alınmıştır. Örnek olması için yarı rijit birleşim tipi olarak Çizelge 4.1'deki 4 no'lu birleşim (alt ve üst başlık korniyerli birleşim) seçilmiştir. Çerçeve 3 tanesi kolon elemanlarından, 3 tanesi de kiriş elemanlarından oluşmak üzere toplam 6 gruba ayrılmıştır. 64 tane HE kesitinden European Wide Flange Beams, Euronorm (1993) oluşan bir kesit listesi seçilmiş, popülasyon büyüklüğü 60 alınmıştır.

Gruptaki eleman numaraları aşağıdaki şekilde düzenlenmiştir :

1.Grup: 1,2 ; 2.Grup: 3,4 ; 3.Grup: 5,6 ; 4.Grup: 7 ; 5.Grup: 8 ; 6.Grup: 9

En üst katın yatay deplasmanları; rijit birleşim $P - \Delta$ etkisi yoksa 2,2 cm ; Rijit birleşim $P - \Delta$ etkisi varsa 2,444 cm ; Yarı-rijit birleşimler için ise 4,4 cm ile sınırlandırılmıştır.

ÖRNEK ÇERÇEVENİN GENETİK ALGORİTMA İLE OPTİMİZASYONU
YARI RİJİT BİRLEŞİM TİPİ:4

9 8 6 2 6 10 2 64 6 60 200
2100000. 0.0001 2400. 2.0 .00785

1 0. 1100.
2 750. 1100.
3 0. 750.
4 750. 750.
5 0. 400.
6 750. 400.
7 0. 0.
8 750. 0.

2 1 2
0. 0
2 3 4
0. 0
2 5 6
0. 0
1 7
28. 4
1 8
28. 4
1 9
22. 4

8.46D-4 1.01D-4 1.24D-8 0.7874 1.1024
8.46D-4 1.01D-4 1.24D-8 0.7874 1.1024
8.46D-4 1.01D-4 1.24D-8 0.7874 1.1024

1 7 5 2 1
2 8 6 2 1
3 5 3 2 1
4 6 4 2 1
5 3 1 2 1
6 4 2 2 1
7 5 6 3 2
8 3 4 3 2
9 1 2 3 2
7 1 1 1 1
8 1 1 1 1
9 1 1 4.4
9 2 1 4.4
3 3

1 190.
3 280.
5 307.

7 0. 1050. 131250. 0. 1050. -131250.
8 0. 1050. 131250. 0. 1050. -131250.
9 0. 825. 103125. 0. 825. -103125.

0 0 0 7
0 0 1 3
0 0 7 0
0 2 2 4
0 7 0 8
1 3 3 5
7 0 8 0
2 4 4 6
0 8 0 9
3 5 5 0
8 0 9 0
4 6 6 0
1 3 2 4
0 7 7 0
3 5 4 6
0 8 8 0
5 0 6 0
0 9 9 0

| | | | | | | | | |
|---------|-------|--------|-------|------|------|------|------|-----|
| HE200AA | 44.13 | 2944. | 316.6 | 20. | 18.6 | .8 | .55 | 1.8 |
| HE200A | 53.83 | 3692. | 388.6 | 20. | 19. | 1. | .65 | 1.8 |
| HE200B | 78.08 | 5696. | 569.6 | 20. | 20. | 1.5 | .9 | 1.8 |
| HE200M | 131.3 | 10640. | 967.4 | 20.6 | 22. | 2.5 | 1.5 | 1.8 |
| HE220AA | 51.46 | 4170. | 406.9 | 22. | 20.5 | .85 | .6 | 1.8 |
| HE220A | 64.34 | 5410. | 515.2 | 22. | 21. | 1.1 | .7 | 1.8 |
| HE220B | 91.04 | 8091. | 735.5 | 22. | 22. | 1.6 | .95 | 1.8 |
| HE220M | 149.4 | 14600. | 1217. | 22.6 | 24. | 2.6 | 1.55 | 1.8 |
| HE240AA | 60.38 | 5835. | 521. | 24. | 22.4 | .9 | .65 | 2.1 |
| HE240A | 76.84 | 7763. | 675.1 | 24. | 23. | 1.2 | .75 | 2.1 |
| HE240B | 106. | 11260. | 938.3 | 24. | 24. | 1.7 | 1. | 2.1 |
| HE240M | 199.6 | 24290. | 1799. | 24.8 | 27. | 3.2 | 1.8 | 2.1 |
| HE260AA | 68.97 | 7981. | 654.1 | 26. | 24.4 | .95 | .65 | 2.4 |
| HE260A | 86.82 | 10450. | 836.4 | 26. | 25. | 1.25 | .75 | 2.4 |

| | | | | | | | | |
|---------|-------|---------|--------|------|------|------|------|-----|
| HE260B | 118.4 | 14920. | 1148. | 26. | 26. | 1.75 | 1. | 2.4 |
| HE260M | 219.6 | 31310. | 2159. | 26.8 | 29. | 3.25 | 1.8 | 2.4 |
| HE280AA | 78.02 | 10560. | 799.8 | 28. | 26.4 | 1. | .7 | 2.4 |
| HE280A | 97.26 | 13670. | 1013. | 28. | 27. | 1.3 | .8 | 2.4 |
| HE280B | 131.4 | 19270. | 1376. | 28. | 28. | 1.8 | 1.05 | 2.4 |
| HE280M | 240.2 | 39550. | 2551. | 28.8 | 31. | 3.3 | 1.85 | 2.4 |
| HE300AA | 88.91 | 13800. | 975.6 | 30. | 28.3 | 1.05 | .75 | 2.7 |
| HE300A | 112.5 | 18260. | 1260. | 30. | 29. | 1.4 | .85 | 2.7 |
| HE300B | 149.1 | 25170. | 1678. | 30. | 30. | 1.9 | 1.1 | 2.7 |
| HE300C | 225.1 | 40950. | 2559. | 30.5 | 32. | 2.9 | 1.6 | 2.7 |
| HE300M | 303.1 | 59200. | 3482. | 31. | 34. | 3.9 | 2.1 | 2.7 |
| HE320AA | 94.58 | 16450. | 1093. | 30. | 30.1 | 1.1 | .8 | 2.7 |
| HE320A | 124.4 | 22930. | 1479. | 30. | 31. | 1.55 | .9 | 2.7 |
| HE320B | 161.3 | 30820. | 1926. | 30. | 32. | 2.05 | 1.15 | 2.7 |
| HE320M | 312. | 68130. | 3796. | 30.9 | 35.9 | 4. | 2.1 | 2.7 |
| HE340AA | 100.5 | 19550. | 1222. | 30. | 32. | 1.15 | .85 | 2.7 |
| HE340A | 133.5 | 27690. | 1678. | 30. | 33. | 1.65 | .95 | 2.7 |
| HE340B | 170.9 | 36660. | 2156. | 30. | 34. | 2.15 | 1.2 | 2.7 |
| HE340M | 315.8 | 76370. | 4052. | 30.9 | 37.7 | 4. | 2.1 | 2.7 |
| HE360AA | 106.6 | 23040. | 1359. | 30. | 33.9 | 1.2 | .9 | 2.7 |
| HE360A | 142.8 | 33090. | 1891. | 30. | 35. | 1.75 | 1. | 2.7 |
| HE360B | 180.6 | 43190. | 2400. | 30. | 36. | 2.25 | 1.25 | 2.7 |
| HE360M | 318.8 | 84870. | 4297. | 30.8 | 39.5 | 4. | 2.1 | 2.7 |
| HE400AA | 117.7 | 31520. | 1654. | 30. | 37.8 | 1.3 | .95 | 2.7 |
| HE400A | 159. | 45070. | 2311. | 30. | 39. | 1.9 | 1.1 | 2.7 |
| HE400B | 197.8 | 57680. | 2884. | 30. | 40. | 2.4 | 1.35 | 2.7 |
| HE400M | 325.8 | 104100. | 4820. | 30.7 | 43.2 | 4. | 2.1 | 2.7 |
| HE40029 | 380.3 | 124200. | 5593. | 30.9 | 44.4 | 4.6 | 2.55 | 2.7 |
| HE40034 | 441.9 | 149400. | 6522. | 31.3 | 45.8 | 5.3 | 2.95 | 2.7 |
| HE40040 | 513.9 | 180800. | 7629. | 31.8 | 47.4 | 6.1 | 3.4 | 2.7 |
| HE40046 | 595.7 | 219200. | 8909. | 32.3 | 49.2 | 7. | 3.9 | 2.7 |
| HE450AA | 127.1 | 41890. | 1971. | 30. | 42.5 | 1.35 | 1. | 2.7 |
| HE450A | 178. | 63720. | 2896. | 30. | 44. | 2.1 | 1.15 | 2.7 |
| HE450B | 218. | 79890. | 3551. | 30. | 45. | 2.6 | 1.4 | 2.7 |
| HE450M | 335.4 | 131500. | 5501. | 30.7 | 47.8 | 4. | 2.1 | 2.7 |
| HE45031 | 396.9 | 157300. | 6421. | 31. | 49. | 4.6 | 2.65 | 2.7 |
| HE45036 | 468.8 | 192700. | 7615. | 31.4 | 50.6 | 5.4 | 3.1 | 2.7 |
| HE45043 | 555.9 | 240300. | 9135. | 31.9 | 52.6 | 6.4 | 3.55 | 2.7 |
| HE45051 | 660.9 | 299400. | 10930. | 32.5 | 54.8 | 7.5 | 4.2 | 2.7 |
| HE500AA | 136.9 | 54640. | 2315. | 30. | 47.2 | 1.4 | 1.05 | 2.7 |
| HE500A | 197.5 | 86970. | 3550. | 30. | 49. | 2.3 | 1.2 | 2.7 |
| HE500B | 238.6 | 107200. | 4287. | 30. | 50. | 2.8 | 1.45 | 2.7 |
| HE500M | 344.3 | 161900. | 6180. | 30.6 | 52.4 | 4. | 2.1 | 2.7 |
| HE50032 | 408.2 | 193400. | 7216. | 30.9 | 53.6 | 4.6 | 2.65 | 2.7 |
| HE50037 | 483. | 236600. | 8573. | 31.4 | 55.2 | 5.4 | 3.1 | 2.7 |
| HE50045 | 574.4 | 294000. | 10280. | 31.9 | 57.2 | 6.4 | 3.6 | 2.7 |
| HE50053 | 680.2 | 364100. | 12260. | 32.5 | 59.4 | 7.5 | 4.2 | 2.7 |
| HE550AA | 152.8 | 72870. | 2792. | 30. | 52.2 | 1.5 | 1.15 | 2.7 |
| HE550A | 211.8 | 111900. | 4146. | 30. | 54. | 2.4 | 1.25 | 2.7 |
| HE550B | 254.1 | 136700. | 4971. | 30. | 55. | 2.9 | 1.5 | 2.7 |

ÖRNEK ÇERÇEVENİN GENETİK ALGORİTMA İLE OPTİMİZASYONU
RİJİT BİRLEŞİM P-DELTA ETKİSİ VAR

9 8 6 2 6 10 2 64 6 60 200
2100000. 0.0001 2400. 2.0 .00785

1 0. 1100.
2 750. 1100.
3 0. 750.
4 750. 750.
5 0. 400.
6 750. 400.
7 0. 0.
8 750. 0.

2 1 2
0. 2 3 4
0. 2 5 6
0. 1 7 0
28. 1 8 0
28. 1 9 0
22. 1 0

1 7 5 2 1
2 8 6 2 1
3 5 3 2 1
4 6 4 2 1
5 3 1 2 1
6 4 2 2 1
7 5 6 1 2
8 3 4 1 2
9 1 2 1 2
7 1 1 1
8 1 1 1
9 1 1 2.444 1
9 2 1 2.444

3 3
1 190.
3 280.
5 307.

7 0. 1050. 131250. 0. 1050. -131250.
8 0. 1050. 131250. 0. 1050. -131250.
9 0. 825. 103125. 0. 825. -103125.

0 0 0 7
0 0 1 3
0 0 7 0
0 2 2 4
0 7 0 8
1 3 3 5
7 0 8 0
2 4 4 6
0 8 0 9
3 5 5 0
8 0 9 0
4 6 6 0
1 3 2 4
0 7 7 0
3 5 4 6
0 8 8 0
5 0 6 0
0 9 9 0

| | | | | | | | | |
|---------|-------|--------|-------|------|------|------|------|-----|
| HE200AA | 44.13 | 2944. | 316.6 | 20. | 18.6 | .8 | .55 | 1.8 |
| HE200A | 53.83 | 3692. | 388.6 | 20. | 19. | 1. | .65 | 1.8 |
| HE200B | 78.08 | 5696. | 569.6 | 20. | 20. | 1.5 | .9 | 1.8 |
| HE200M | 131.3 | 10640. | 967.4 | 20.6 | 22. | 2.5 | 1.5 | 1.8 |
| HE220AA | 51.46 | 4170. | 406.9 | 22. | 20.5 | .85 | .6 | 1.8 |
| HE220A | 64.34 | 5410. | 515.2 | 22. | 21. | 1.1 | .7 | 1.8 |
| HE220B | 91.04 | 8091. | 735.5 | 22. | 22. | 1.6 | .95 | 1.8 |
| HE220M | 149.4 | 14600. | 1217. | 22.6 | 24. | 2.6 | 1.55 | 1.8 |
| HE240AA | 60.38 | 5835. | 521. | 24. | 22.4 | .9 | .65 | 2.1 |
| HE240A | 76.84 | 7763. | 675.1 | 24. | 23. | 1.2 | .75 | 2.1 |
| HE240B | 106. | 11260. | 938.3 | 24. | 24. | 1.7 | 1. | 2.1 |
| HE240M | 199.6 | 24290. | 1799. | 24.8 | 27. | 3.2 | 1.8 | 2.1 |
| HE260AA | 68.97 | 7981. | 654.1 | 26. | 24.4 | .95 | .65 | 2.4 |
| HE260A | 86.82 | 10450. | 836.4 | 26. | 25. | 1.25 | .75 | 2.4 |
| HE260B | 118.4 | 14920. | 1148. | 26. | 26. | 1.75 | 1. | 2.4 |
| HE260M | 219.6 | 31310. | 2159. | 26.8 | 29. | 3.25 | 1.8 | 2.4 |
| HE280AA | 78.02 | 10560. | 799.8 | 28. | 26.4 | 1. | .7 | 2.4 |

| | | | | | | | | |
|---------|-------|---------|--------|------|------|------|------|-----|
| HE280A | 97.26 | 13670. | 1013. | 28. | 27. | 1.3 | .8 | 2.4 |
| HE280B | 131.4 | 19270. | 1376. | 28. | 28. | 1.8 | 1.05 | 2.4 |
| HE280M | 240.2 | 39550. | 2551. | 28.8 | 31. | 3.3 | 1.85 | 2.4 |
| HE300AA | 88.91 | 13800. | 975.6 | 30. | 28.3 | 1.05 | .75 | 2.7 |
| HE300A | 112.5 | 18260. | 1260. | 30. | 29. | 1.4 | .85 | 2.7 |
| HE300B | 149.1 | 25170. | 1678. | 30. | 30. | 1.9 | 1.1 | 2.7 |
| HE300C | 225.1 | 40950. | 2559. | 30.5 | 32. | 2.9 | 1.6 | 2.7 |
| HE300M | 303.1 | 59200. | 3482. | 31. | 34. | 3.9 | 2.1 | 2.7 |
| HE320AA | 94.58 | 16450. | 1093. | 30. | 30.1 | 1.1 | .8 | 2.7 |
| HE320A | 124.4 | 22930. | 1479. | 30. | 31. | 1.55 | .9 | 2.7 |
| HE320B | 161.3 | 30820. | 1926. | 30. | 32. | 2.05 | 1.15 | 2.7 |
| HE320M | 312. | 68130. | 3796. | 30.9 | 35.9 | 4. | 2.1 | 2.7 |
| HE340AA | 100.5 | 19550. | 1222. | 30. | 32. | 1.15 | .85 | 2.7 |
| HE340A | 133.5 | 27690. | 1678. | 30. | 33. | 1.65 | .95 | 2.7 |
| HE340B | 170.9 | 36660. | 2156. | 30. | 34. | 2.15 | 1.2 | 2.7 |
| HE340M | 315.8 | 76370. | 4052. | 30.9 | 37.7 | 4. | 2.1 | 2.7 |
| HE360AA | 106.6 | 23040. | 1359. | 30. | 33.9 | 1.2 | .9 | 2.7 |
| HE360A | 142.8 | 33090. | 1891. | 30. | 35. | 1.75 | 1. | 2.7 |
| HE360B | 180.6 | 43190. | 2400. | 30. | 36. | 2.25 | 1.25 | 2.7 |
| HE360M | 318.8 | 84870. | 4297. | 30.8 | 39.5 | 4. | 2.1 | 2.7 |
| HE400AA | 117.7 | 31520. | 1654. | 30. | 37.8 | 1.3 | .95 | 2.7 |
| HE400A | 159. | 45070. | 2311. | 30. | 39. | 1.9 | 1.1 | 2.7 |
| HE400B | 197.8 | 57680. | 2884. | 30. | 40. | 2.4 | 1.35 | 2.7 |
| HE400M | 325.8 | 104100. | 4820. | 30.7 | 43.2 | 4. | 2.1 | 2.7 |
| HE40029 | 380.3 | 124200. | 5593. | 30.9 | 44.4 | 4.6 | 2.55 | 2.7 |
| HE40034 | 441.9 | 149400. | 6522. | 31.3 | 45.8 | 5.3 | 2.95 | 2.7 |
| HE40040 | 513.9 | 180800. | 7629. | 31.8 | 47.4 | 6.1 | 3.4 | 2.7 |
| HE40046 | 595.7 | 219200. | 8909. | 32.3 | 49.2 | 7. | 3.9 | 2.7 |
| HE450AA | 127.1 | 41890. | 1971. | 30. | 42.5 | 1.35 | 1. | 2.7 |
| HE450A | 178. | 63720. | 2896. | 30. | 44. | 2.1 | 1.15 | 2.7 |
| HE450B | 218. | 79890. | 3551. | 30. | 45. | 2.6 | 1.4 | 2.7 |
| HE450M | 335.4 | 131500. | 5501. | 30.7 | 47.8 | 4. | 2.1 | 2.7 |
| HE45031 | 396.9 | 157300. | 6421. | 31. | 49. | 4.6 | 2.65 | 2.7 |
| HE45036 | 468.8 | 192700. | 7615. | 31.4 | 50.6 | 5.4 | 3.1 | 2.7 |
| HE45043 | 555.9 | 240300. | 9135. | 31.9 | 52.6 | 6.4 | 3.55 | 2.7 |
| HE45051 | 660.9 | 299400. | 10930. | 32.5 | 54.8 | 7.5 | 4.2 | 2.7 |
| HE500AA | 136.9 | 54640. | 2315. | 30. | 47.2 | 1.4 | 1.05 | 2.7 |
| HE500A | 197.5 | 86970. | 3550. | 30. | 49. | 2.3 | 1.2 | 2.7 |
| HE500B | 238.6 | 107200. | 4287. | 30. | 50. | 2.8 | 1.45 | 2.7 |
| HE500M | 344.3 | 161900. | 6180. | 30.6 | 52.4 | 4. | 2.1 | 2.7 |
| HE50032 | 408.2 | 193400. | 7216. | 30.9 | 53.6 | 4.6 | 2.65 | 2.7 |
| HE50037 | 483. | 236600. | 8573. | 31.4 | 55.2 | 5.4 | 3.1 | 2.7 |
| HE50045 | 574.4 | 294000. | 10280. | 31.9 | 57.2 | 6.4 | 3.6 | 2.7 |
| HE50053 | 680.2 | 364100. | 12260. | 32.5 | 59.4 | 7.5 | 4.2 | 2.7 |
| HE550AA | 152.8 | 72870. | 2792. | 30. | 52.2 | 1.5 | 1.15 | 2.7 |
| HE550A | 211.8 | 111900. | 4146. | 30. | 54. | 2.4 | 1.25 | 2.7 |
| HE550B | 254.1 | 136700. | 4971. | 30. | 55. | 2.9 | 1.5 | 2.7 |

9 8 6 2 6 10 2 64 6 60 200
2100000. 0.0001 2400. 2.0 .00785

1 0. 1100.
2 750. 1100.
3 0. 750.
4 750. 750.
5 0. 400.
6 750. 400.
7 0. 0.
8 750. 0.

2 1 2
0. 0
2 3 4
0. 0
2 5 6
0. 0
1 7
28. 0
1 8
28. 0
1 9
22. 0

1 7 5 1 1
2 8 6 1 1
3 5 3 1 1
4 6 4 1 1
5 3 1 1 1
6 4 2 1 1
7 5 6 1 2
8 3 4 1 2
9 1 2 1 2
7 1 1 1
8 1 1 1
9 1 1 2.2
9 2 1 2.2
3 3

1 190.
3 280.
5 307.

7 0. 1050. 131250. 0. 1050. -131250.
8 0. 1050. 131250. 0. 1050. -131250.
9 0. 825. 103125. 0. 825. -103125.

0 0 0 7
0 1 1 3
0 0 7 0
0 2 2 4
0 7 0 8
1 3 3 5
7 0 8 0
2 4 4 6
0 8 0 9
3 5 5 0
8 0 9 0
4 6 6 0
1 3 2 4
0 7 7 0
3 5 4 6
0 8 8 0
5 0 6 0
0 9 9 0

| | | | | | | | | |
|---------|-------|--------|-------|------|------|------|------|-----|
| HE200AA | 44.13 | 2944. | 316.6 | 20. | 18.6 | .8 | .55 | 1.8 |
| HE200A | 53.83 | 3692. | 388.6 | 20. | 19. | 1. | .65 | 1.8 |
| HE200B | 78.08 | 5696. | 569.6 | 20. | 20. | 1.5 | .9 | 1.8 |
| HE200M | 131.3 | 10640. | 967.4 | 20.6 | 22. | 2.5 | 1.5 | 1.8 |
| HE220AA | 51.46 | 4170. | 406.9 | 22. | 20.5 | .85 | .6 | 1.8 |
| HE220A | 64.34 | 5410. | 515.2 | 22. | 21. | 1.1 | .7 | 1.8 |
| HE220B | 91.04 | 8091. | 735.5 | 22. | 22. | 1.6 | .95 | 1.8 |
| HE220M | 149.4 | 14600. | 1217. | 22.6 | 24. | 2.6 | 1.55 | 1.8 |
| HE240AA | 60.38 | 5835. | 521. | 24. | 22.4 | .9 | .65 | 2.1 |
| HE240A | 76.84 | 7763. | 675.1 | 24. | 23. | 1.2 | .75 | 2.1 |
| HE240B | 106. | 11260. | 938.3 | 24. | 24. | 1.7 | 1. | 2.1 |
| HE240M | 199.6 | 24290. | 1799. | 24.8 | 27. | 3.2 | 1.8 | 2.1 |
| HE260AA | 68.97 | 7981. | 654.1 | 26. | 24.4 | .95 | .65 | 2.4 |
| HE260A | 86.82 | 10450. | 836.4 | 26. | 25. | 1.25 | .75 | 2.4 |
| HE260B | 118.4 | 14920. | 1148. | 26. | 26. | 1.75 | 1. | 2.4 |
| HE260M | 219.6 | 31310. | 2159. | 26.8 | 29. | 3.25 | 1.8 | 2.4 |
| HE280AA | 78.02 | 10560. | 799.8 | 28. | 26.4 | 1. | .7 | 2.4 |

| | | | | | | | | |
|---------|-------|---------|--------|------|------|------|------|-----|
| HE280A | 97.26 | 13670. | 1013. | 28. | 27. | 1.3 | .8 | 2.4 |
| HE280B | 131.4 | 19270. | 1376. | 28. | 28. | 1.8 | 1.05 | 2.4 |
| HE280M | 240.2 | 39550. | 2551. | 28.8 | 31. | 3.3 | 1.85 | 2.4 |
| HE300AA | 88.91 | 13800. | 975.6 | 30. | 28.3 | 1.05 | .75 | 2.7 |
| HE300A | 112.5 | 18260. | 1260. | 30. | 29. | 1.4 | .85 | 2.7 |
| HE300B | 149.1 | 25170. | 1678. | 30. | 30. | 1.9 | 1.1 | 2.7 |
| HE300C | 225.1 | 40950. | 2559. | 30.5 | 32. | 2.9 | 1.6 | 2.7 |
| HE300M | 303.1 | 59200. | 3482. | 31. | 34. | 3.9 | 2.1 | 2.7 |
| HE320AA | 94.58 | 16450. | 1093. | 30. | 30.1 | 1.1 | .8 | 2.7 |
| HE320A | 124.4 | 22930. | 1479. | 30. | 31. | 1.55 | .9 | 2.7 |
| HE320B | 161.3 | 30820. | 1926. | 30. | 32. | 2.05 | 1.15 | 2.7 |
| HE320M | 312. | 68130. | 3796. | 30.9 | 35.9 | 4. | 2.1 | 2.7 |
| HE340AA | 100.5 | 19550. | 1222. | 30. | 32. | 1.15 | .85 | 2.7 |
| HE340A | 133.5 | 27690. | 1678. | 30. | 33. | 1.65 | .95 | 2.7 |
| HE340B | 170.9 | 36660. | 2156. | 30. | 34. | 2.15 | 1.2 | 2.7 |
| HE340M | 315.8 | 76370. | 4052. | 30.9 | 37.7 | 4. | 2.1 | 2.7 |
| HE360AA | 106.6 | 23040. | 1359. | 30. | 33.9 | 1.2 | .9 | 2.7 |
| HE360A | 142.8 | 33090. | 1891. | 30. | 35. | 1.75 | 1. | 2.7 |
| HE360B | 180.6 | 43190. | 2400. | 30. | 36. | 2.25 | 1.25 | 2.7 |
| HE360M | 318.8 | 84870. | 4297. | 30.8 | 39.5 | 4. | 2.1 | 2.7 |
| HE400AA | 117.7 | 31520. | 1654. | 30. | 37.8 | 1.3 | .95 | 2.7 |
| HE400A | 159. | 45070. | 2311. | 30. | 39. | 1.9 | 1.1 | 2.7 |
| HE400B | 197.8 | 57680. | 2884. | 30. | 40. | 2.4 | 1.35 | 2.7 |
| HE400M | 325.8 | 104100. | 4820. | 30.7 | 43.2 | 4. | 2.1 | 2.7 |
| HE40029 | 380.3 | 124200. | 5593. | 30.9 | 44.4 | 4.6 | 2.55 | 2.7 |
| HE40034 | 441.9 | 149400. | 6522. | 31.3 | 45.8 | 5.3 | 2.95 | 2.7 |
| HE40040 | 513.9 | 180800. | 7629. | 31.8 | 47.4 | 6.1 | 3.4 | 2.7 |
| HE40046 | 595.7 | 219200. | 8909. | 32.3 | 49.2 | 7. | 3.9 | 2.7 |
| HE450AA | 127.1 | 41890. | 1971. | 30. | 42.5 | 1.35 | 1. | 2.7 |
| HE450A | 178. | 63720. | 2896. | 30. | 44. | 2.1 | 1.15 | 2.7 |
| HE450B | 218. | 79890. | 3551. | 30. | 45. | 2.6 | 1.4 | 2.7 |
| HE450M | 335.4 | 131500. | 5501. | 30.7 | 47.8 | 4. | 2.1 | 2.7 |
| HE45031 | 396.9 | 157300. | 6421. | 31. | 49. | 4.6 | 2.65 | 2.7 |
| HE45036 | 468.8 | 192700. | 7615. | 31.4 | 50.6 | 5.4 | 3.1 | 2.7 |
| HE45043 | 555.9 | 240300. | 9135. | 31.9 | 52.6 | 6.4 | 3.55 | 2.7 |
| HE45051 | 660.9 | 299400. | 10930. | 32.5 | 54.8 | 7.5 | 4.2 | 2.7 |
| HE500AA | 136.9 | 54640. | 2315. | 30. | 47.2 | 1.4 | 1.05 | 2.7 |
| HE500A | 197.5 | 86970. | 3550. | 30. | 49. | 2.3 | 1.2 | 2.7 |
| HE500B | 238.6 | 107200. | 4287. | 30. | 50. | 2.8 | 1.45 | 2.7 |
| HE500M | 344.3 | 161900. | 6180. | 30.6 | 52.4 | 4. | 2.1 | 2.7 |
| HE50032 | 408.2 | 193400. | 7216. | 30.9 | 53.6 | 4.6 | 2.65 | 2.7 |
| HE50037 | 483. | 236600. | 8573. | 31.4 | 55.2 | 5.4 | 3.1 | 2.7 |
| HE50045 | 574.4 | 294000. | 10280. | 31.9 | 57.2 | 6.4 | 3.6 | 2.7 |
| HE50053 | 680.2 | 364100. | 12260. | 32.5 | 59.4 | 7.5 | 4.2 | 2.7 |
| HE550AA | 152.8 | 72870. | 2792. | 30. | 52.2 | 1.5 | 1.15 | 2.7 |
| HE550A | 211.8 | 111900. | 4146. | 30. | 54. | 2.4 | 1.25 | 2.7 |
| HE550B | 254.1 | 136700. | 4971. | 30. | 55. | 2.9 | 1.5 | 2.7 |

8. SAYISAL ÖRNEKLER

8.1. Giriş

Bu bölümde lineer olmayan Yarı-rijit birleşimli çelik çerçevelerin genetik algoritma yöntemi ile optimum tasarımı için geliştirilen bilgisayar programının uygulaması olarak çeşitli sayısal örnekler çözülmüştür. Tüm örnekler program girişi bilgileri değiştirilerek elemanlarda $P-\Delta$ etkisini göz önüne alan ve $P-\Delta$ etkisini göz önüne almayan rijit birleşim durumları için de çözümlenerek yarı-rijit birleşimlerle karşılaştırma yapılmıştır.

Bu çalışmadaki bütün örneklerde malzeme çelik olup elastisite modülü $E=205940$ MPa ($2,1.10^6 \text{kgf/cm}^2$), akma dayanımı $\sigma_a=235,4$ MPa (2400kgf/cm^2), özgül ağırlığı $\rho = 7850 \text{kg/m}^3$ değerleri kullanılmıştır. Ayrıca tüm örneklerde lineer olmayan analiz için yakınsaklık oranı $EPS=0,0001$, lineer uygunluk ölçeklendirme faktörü $CMULT=2$ seçilmiştir. Lineer olmayan analiz için nihai yük faktörü $NYF =10$ olup yük artımları eşit alınmıştır. Yarı-rijit birleşimlerin adları ve tip numaraları Çizelge 8.1'de gösterilmiştir.

Optimum tasarımda TS 910 (1986)'daki kesit listelerindeki kesit sayısı optimizasyon için yetersiz olduğundan, Avrupa Geniş Başlık Kiriş Kesitlerindeki, European Wide Flange Beams, Euronorm (1993) HE kesitleri kullanılmıştır. HE kesitleri AA tipleri hariç A,B ve M tipleri TS 910 (1986)'daki IPGh, IPG, IPGt kesitlerinin aynısıdır.

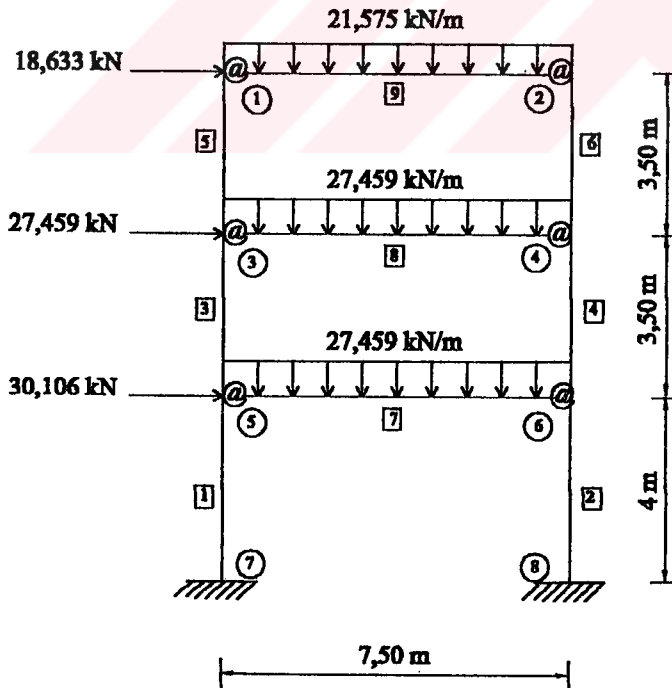
Bu çalışmada verilen bütün örneklerde, çerçevelerin en üst kat yatay ötelenmeleri sınırlandırılmıştır. Bu sınırlandırma, yarı-rijit birleşimli çerçevelerde çerçeve yüksekliğinin 250 de biri, rijit birleşimli ve $P-\Delta$ etkisi göz önüne alınmayan çerçevelerde çerçeve yüksekliğinin 400-500 de biri ve rijit birleşimli ancak $P-\Delta$ etkisi göz önüne alınan çerçevelerde ise çerçeve yüksekliğinin 400-475 de biri olarak dikkate alınmıştır. Program Pentium III 450MHz mikro-işlemcili kişisel bilgisayarda çalıştırılmıştır.

Çizelge 8.1 Birleşim adları ve tip numaraları

| Birleşim Adı | Birleşim tipi numarası |
|---|------------------------|
| Tek gövde korniyerli birleşim | 1 |
| Çift gövde korniyerli birleşim | 2 |
| Alt ve üst başlık ve çift gövde korniyerli birleşim | 3 |
| Alt ve üst başlık korniyerli birleşim | 4 |
| Uç levhalı takviyesiz birleşim | 5 |
| Uç levhalı takviyeli birleşim | 6 |
| T profilli birleşim | 7 |
| Baş levhalı birleşim | 8 |

8.2. Tek Açıklıklı Üç Katlı Çerçeve

Şekil 8.1'de tek açıklıklı, üç katlı çerçevenin boyutları ve yükleme durumu gösterilmektedir.



Şekil 8.1 Tek açıklıklı üç katlı çerçeve

Çerçeve 3 tanesi kolon elemanlarından, 3 tanesi de kiriş elemanlarından oluşmak üzere toplam 6 gruba ayrılmıştır. 64 tane HE kesitinden oluşan bir kesit listesi seçilmiş, popülasyon büyüklüğü 60 alınmıştır.

En üst katın yatay deplasmanları yarı-rijit birleşimler için 4,4 cm , rijit birleşim $P-\Delta$ etkisi yok ise 2,2 cm , rijit birleşim $P-\Delta$ etkisi varsa 2,444 cm ile sınırlandırılmaktadır.

Gruplardaki eleman numaraları aşağıdaki şekilde düzenlenmiştir:

1.Grup: 1,2 ; 2.Grup: 3,4 ; 3.Grup: 5,6 ; 4.Grup: 7 ; 5.Grup: 8 ; 6.Grup: 9

Söz konusu çerçevenin optimum tasarımı sekiz Yarı-rijit birleşim tipi için yapılmış, ayrıca rijit birleşim için de $P-\Delta$ etkisi olan ve $P-\Delta$ etkisi olmayan iki duruma göre de tasarım yapılmıştır. Yarı-rijit birleşim tipleri için seçilen sabit birleşim parametreleri Çizelge 8.2'de verilmiştir. Bütün tasarım sonuçları Çizelge 8.3'de özet biçimde verilmiştir. Popülasyon büyüklüğünün iki katına çıkarılmasıyla optimum tasarımdaki değişimler Çizelge 8.4'de verilmiştir. Çizelge 8.5'de ise 8 ayrı yarı-rijit birleşim tipi ve rijit birleşimler için optimum kesit profil numaraları verilmiştir. Rijit ve yarı-rijit birleşim için Çizelge 8.6'da eleman uç momentleri, Çizelge 8.7'de ise kiriş elemanları için maksimum açıklık momentleri verilmiştir.

Çizelge 8.2 Tek açıklıklı üç katlı çerçevede yarı-rijit birleşim tipleri için sabit birleşim parametreleri

| Birleşim tipi | Sabit parametreler (cm) |
|---------------|------------------------------------|
| 1 | $t_a = 2,4$ $g = 11$ |
| 2 | $t_a = 2,4$ $g = 22$ |
| 3 | $t_a = 1,6$ $t_c = 1,6$ $g = 10,5$ |
| 4 | $t_a = 2,0$ $d_h = 2,8$ |
| 5 | $t_p = 2,0$ $d_h = 2,0$ |
| 6 | $t_p = 2,0$ $d_h = 2,0$ |
| 7 | $t_a = 2,0$ $d_h = 2,0$ |
| 8 | $t_p = 2,4$ $g = 22$ |

Çizelge 8.3 Tek açıklıklı üç katlı çerçevenin optimum tasarım sonuçları

| Yarı-rijit Birleşim Tipi | Optimum Ağırlıklar (kg) | | | Yatay Deplasmanlar (cm) | | |
|--------------------------|-------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| | Yarı-rijit birleşim | Rijit birleşim P-delta etkisi var | Rijit birleşim P-delta etkisi yok | Yarı-rijit birleşim | Rijit birleşim P-delta etkisi var | Rijit birleşim P-delta etkisi yok |
| 1 | 4037 | | | 4,21 | | |
| 2 | 3298 | | | 3,66 | | |
| 3 | 3263 | | | 4,26 | | |
| 4 | 3330 | 3728 | 3811 | 4,32 | 2,41 | 2,19 |
| 5 | 3526 | | | 4,31 | | |
| 6 | 3456 | | | 4,27 | | |
| 7 | 3325 | | | 4,21 | | |
| 8 | 3885 | | | 4,33 | | |

Yarı-rijit birleşimli çerçeveler rijit çerçevelerden %50-%80 arasında daha fazla deplasmanlar yapabilmektedir. Buna ilaveten yarı-rijit çerçeveler 1. ve 8. tipler hariç %5-%15 daha hafif olmaktadır. Çizelge 8.4'den görüleceği üzere popülasyon büyüklüğünün artmasıyla çerçevenin optimum ağırlığı %0,01 azalmakta, üretilen nesil sayısı artmakta, analiz süresi ise 4 katına çıkmaktadır. Burada 3 numaralı birleşim tipi kullanılmıştır.

Çizelge 8.4 Tek açıklıklı üç katlı çerçevede popülasyon büyüklüğü değişiminin optimum tasarıma etkileri

| Popülasyon Büyüklüğü | Ağırlık (kg) | Nesil Sayısı | Analiz Süresi (Dk.) |
|----------------------|--------------|--------------|---------------------|
| 60 | 3462 | 200 | 1,53 |
| 120 | 3418 | 251 | 6,12 |

Çizelge 8.5 Tek açıklıklı üç katlı çerçevede yarı-rijit ve rijit birleşimler için optimum kesit profil numaraları

| Grup no. | Yarı rijit birleşim türü | | | | | | | | Rijit birleşim P-Delta etkisi var | Rijit birleşim P-Delta etkisi yok |
|----------|--------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) | | |
| 1 | HE500 AA | HE300 AA | HE320 AA | HE340 AA | HE340 AA | HE320 AA | HE240 B | HE500 AA | HE260 B | HE320 AA |
| 2 | HE240 A | HE260 AA | HE240 AA | HE240 AA | HE260 AA | HE220 AA | HE200 B | HE240 A | HE280 AA | HE340 AA |
| 3 | HE220 AA | HE200 AA | HE200 AA | HE200 AA | HE200 AA | HE200 AA | HE200 AA | HE220 AA | HE320 AA | HE260 A |
| 4 | HE360 A | HE400 AA | HE500 AA | HE360 A | HE360 A | HE360 A | HE360 AA | HE340 A | HE400 AA | HE400 A |
| 5 | HE550 AA | HE400 AA | HE320 A | HE400 AA | HE460 AA | HE400 AA | HE320 A | HE450 AA | HE340 A | HE360 AA |
| 6 | HE320 A | HE320 A | HE320 AA | HE340 AA | HE340 AA | HE320 A | HE360 AA | HE340 A | HE320 AA | HE240 B |

Çizelge 8.6 Tek açıklıklı üç katlı çerçevede yarı-rijit ve rijit birleşimli elemanlarda uç momentlerinin mutlak değerleri

| Eleman no. | Rijit birleşim (P-delta etkisi yok) moment değeri (kN.m) | Yarı-rijit birleşim moment değeri (kN.m) |
|------------|---|--|
| 1 | 68,352 | 104,931 |
| 2 | 111,796 | 97,674 |
| 3 | 17,064 | 45,600 |
| 4 | 98,067 | 34,519 |
| 5 | 69,529 | 11,376 |
| 6 | 107,873 | 28,243 |
| 7 | 204,354 | 101,707 |
| 8 | 171,828 | 55,689 |
| 9 | 108,702 | 28,262 |

Çizelge 8.7 Tek açıklıklı üç katlı çerçevede yarı-rijit ve rijit birleşimli kirişlerde maksimum açıklık momentlerinin değerleri

| Eleman no. | Rijit birleşim (P-delta etkisi yok) maksimum açıklık momenti (kN.m) | Yarı-rijit birleşim maksimum açıklık momenti (kN.m) |
|------------|--|---|
| 7 | 104,919 | 215,919 |
| 8 | 78,040 | 201,160 |
| 9 | 63,221 | 143,926 |

Çizelge 8.6'de yarı-rijit birleşimli çerçevelerde rijit birleşimli çerçevelere göre kiriş uç momentlerinin azaldığı, bazı kolon momentlerinin ise rijit birleşimlere göre arttığı görülmektedir. Çizelge 8.7'de ise yarı-rijit ve rijit birleşimli çerçevelerin maksimum açıklık momentleri karşılaştırılmıştır. Yarı-rijit birleşimli çerçevelerde maksimum açıklık momentleri, rijit birleşimli çerçevelere kıyasla daha büyük değerler almıştır. Bu kıyaslama da 3 numaralı birleşim tipi kullanılmıştır.

Yarı-rijit birleşimler için sabit birleşim parametreleri Çizelge 8.8’de verilmiştir. Çerçevenin optimum tasarım sonuçları Çizelge 8.9’da, optimum kesitler ise Çizelge 8.10’da verilmektedir. Sonuçlardan yarı-rijit birleşimli çerçevelerde tasarımda 1. ve 8. tip hariç yatay ötelenmelerin üst sınırlarına ulaşmadığı görülmekte ve rijit birleşimlerde ise gene gerilme sınırlayıcılarının hakim olduğu görülmektedir.

Çizelge 8.8 İki açıklıklı üç katlı çerçevede yarı-rijit birleşimler için sabit birleşim parametreleri

| Birleşim tipi | Sabit kesit parametreleri (cm) | | |
|---------------|--------------------------------|-------------|------------|
| 1 | $t_a = 2,8$ | $g = 15,5$ | |
| 2 | $t_a = 2,4$ | $g = 31,0$ | |
| 3 | $t_a = 2,0$ | $t_c = 2,0$ | $g = 10,5$ |
| 4 | $t_a = 2,8$ | $d_b = 2,8$ | |
| 5 | $t_p = 2,8$ | $d_b = 2,8$ | |
| 6 | $t_p = 2,8$ | $d_b = 2,8$ | |
| 7 | $t_a = 2,0$ | $d_b = 2,0$ | |
| 8 | $t_p = 2,0$ | $g = 22,0$ | |

Çizelge 8.9 İki açıklıklı üç katlı çerçevenin optimum tasarım sonuçları

| Yarı-rijit Birleşim Tipi | Optimum Ağırlık (kg) | | | Yatay Deplasman (cm) | | |
|--------------------------|----------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| | Yarı-rijit birleşim | Rijit birleşim P-delta etkisi var | Rijit birleşim P-delta etkisi yok | Yarı-rijit birleşim | Rijit birleşim P-delta etkisi var | Rijit birleşim P-delta etkisi yok |
| 1 | 5624 | | | 4,38 | | |
| 2 | 4891 | | | 2,87 | | |
| 3 | 4927 | | | 2,97 | | |
| 4 | 5079 | 5256 | 5397 | 3,06 | 2,08 | 2,04 |
| 5 | 5002 | | | 2,97 | | |
| 6 | 4924 | | | 3,27 | | |
| 7 | 4577 | | | 2,63 | | |
| 8 | 5420 | | | 4,08 | | |

Çizelge 8.10 İki açıklıklı üç katlı çerçevede yarı-rijit ve rijit birleşimler için optimum kesit profil numaraları

| Grup no. | Yarı rijit birleşim türü | | | | | | | | Rijit birleşim P-Delta etkisi var | Rijit birleşim P-Delta etkisi yok |
|----------|--------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) | | |
| 1 | HE340 A | HE280 AA | HE220 AA | HE220 AA | HE340 AA | HE280 AA | HE220 AA | HE340 AA | HE260 AA | HE220 AA |
| 2 | HE340 A | HE340 AA | HE340 A | HE340 A | HE200 B | HE400 AA | HE340 A | HE340 A | HE340 A | HE340A |
| 3 | HE180 AA | HE180 AA | HE220 AA | HE180 AA | HE180 AA | HE180 AA | HE200 A | HE260 AA | HE180 B | HE260 B |
| 4 | HE360 AA | HE220 B | HE260 AA | HE260 A | HE240 B | HE320 A | HE240 A | HE340 AA | HE240 A | HE200 A |
| 5 | HE220 AA | HE180 AA | HE180 AA | HE180 AA | HE180 AA | HE180 AA | HE180 AA | HE180 AA | HE240 AA | HE180 B |
| 6 | HE220 AA | HE180 AA | HE180 AA | HE180 AA | HE180 AA | HE180 AA | HE220 B | HE220 AA | HE180 AA | HE180 AA |
| 7 | HE340 A | HE450 AA | HE340 A | HE450 AA | HE340 AA | HE320 A | HE320 A | HE400 AA | HE340 A | HE340 A |
| 8 | HE340 A | HE360 AA | HE320 A | HE340 A | HE340 A | HE320 A | HE340 AA | HE450 AA | HE360 AA | HE340 A |
| 9 | HE340 AA | HE260 B | HE240 B | HE260 B | HE260 B | HE340 AA | HE280 AA | HE300 A | HE260 B | HE300 AA |

Çizelge 8.9'dan görüldüğü gibi yarı-rijit birleşimli çerçeveler bazı birleşim tiplerinde rijit birleşimlere göre iki katına varan yanal deplasmanlar yapabilmektedir. Buna ilaveten %5-%9 arasında daha hafif çerçeveler elde edilmiştir. 3 numaralı birleşim tipi için popülasyon büyüklüğünün iki katına çıkarılmasıyla elde edilen sonuçlar Çizelge 8.11'de verilmiştir

Çizelge 8.11 İki açıklıklı üç katlı çerçevede popülasyon büyüklüğü değişiminin optimum tasarıma etkileri

| Popülasyon Büyüklüğü | Ağırlık (kg) | Nesil Sayısı | Analiz Süresi (Dk.) |
|----------------------|--------------|--------------|---------------------|
| 54 | 4926 | 201 | 2,28 |
| 108 | 4598 | 251 | 10,40 |

Popülasyon büyüklüğünün iki katına çıkarılmasıyla optimum ağırlık %6,5 azalmakta, üretilen nesil sayısı artmakta, analiz süresi ise 4,56 kat artmaktadır.

Çizelge 8.12 İki açıklıklı üç katlı yarı-rijit birleşimli çerçevede sabit birleşim parametrelerindeki değişimin optimum tasarıma etkileri

| Birleşim tipi sabit parametreleri (cm) (6.tip) | Optimum ağırlık (kg) | Çerçeve yatay ötelenmesi (cm) |
|--|----------------------|-------------------------------|
| $t_p=2,8$ $d_b=2,8$ | 5002 | 2,97 |
| $t_p=2,5$ $d_b=2,5$ | 5336 | 3,17 |
| $t_p=2,1$ $d_b=2,1$ | 5425 | 3,26 |
| $t_p=1,7$ $d_b=1,7$ | 5513 | 3,26 |

Çizelge 8.12'de görüldüğü gibi birleşim parametrelerinin küçültülmesiyle daha esnek birleşimlerde daha ağır optimum çözümler elde edilmekte, bunun yanında deplasman değerlerinde de artış olmaktadır.

Çizelge 8.13 İki açıklıklı üç katlı çerçevede yarı-rijit ve rijit birleşimli elemanlarda uç momentlerinin mutlak değerleri

| Eleman no. | Rijit birleşim için uç moment değeri (kN.m) | Yarı-rijit birleşim (3.tip) için moment değeri (kN.m) |
|------------|---|---|
| 1 | 16,083 | 27,782 |
| 2 | 140,235 | 144,812 |
| 3 | 28,341 | 27,184 |
| 4 | 21,221 | 22,418 |
| 5 | 21,359 | 52,132 |
| 6 | 100,116 | 25,830 |
| 7 | 24,575 | 5,589 |
| 8 | 12,386 | 11,935 |
| 9 | 47,641 | 16,632 |
| 10 | 198,916 | 62,016 |
| 11 | 128,479 | 52,033 |
| 12 | 143,277 | 45,971 |
| 13 | 128,224 | 39,638 |
| 14 | 124,772 | 31,687 |
| 15 | 112,867 | 19,745 |

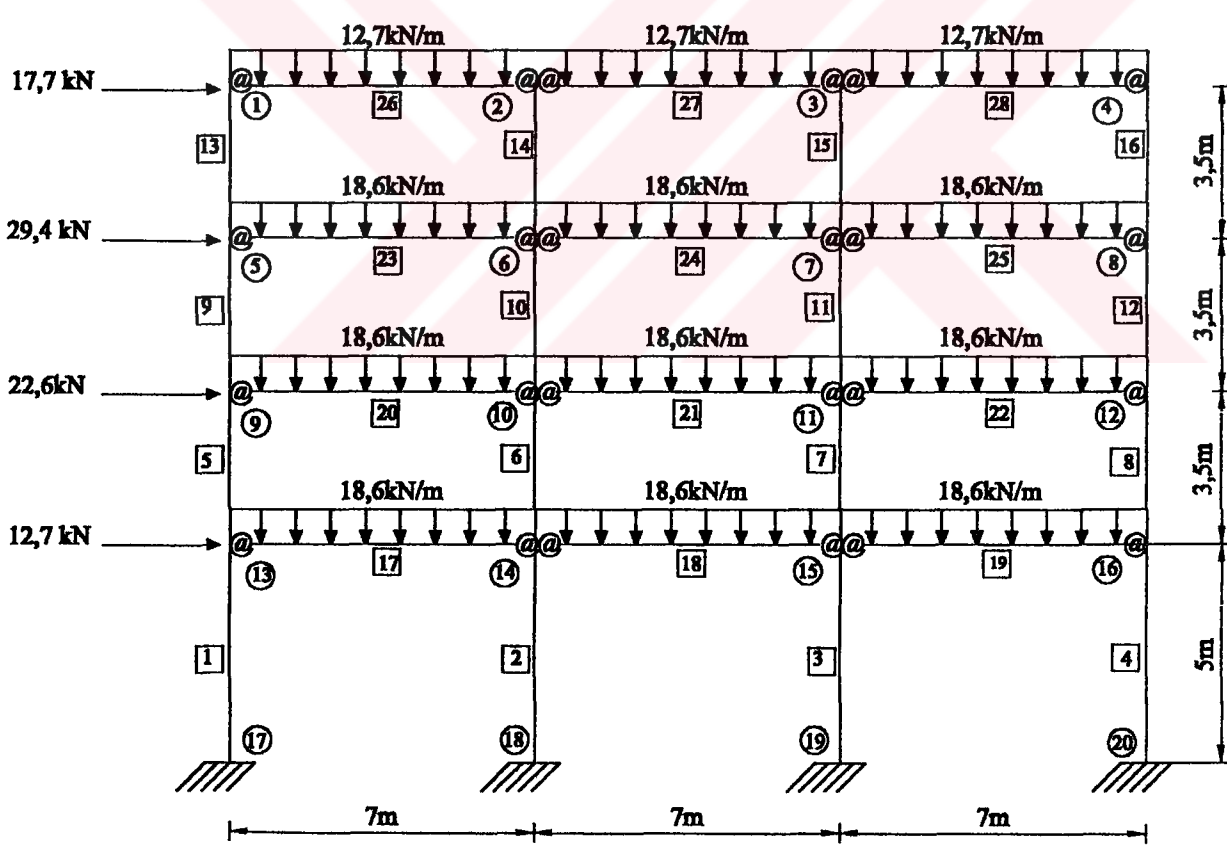
Çizelge 8.14 İki açıklıklı üç katlı çerçevede yarı-rijit ve rijit birleşimli kirişlerde maksimum açıklık momentlerinin değerleri

| Eleman | Rijit birleşim (kN.m) | Yarı-rijit birleşim (3.tip) (kN.m) |
|--------|-----------------------|------------------------------------|
| 10 | 80,758 | 159,102 |
| 11 | 70,866 | 179,963 |
| 12 | 86,591 | 165,762 |
| 13 | 54,579 | 162,727 |
| 14 | 71,284 | 128,656 |
| 15 | 63,195 | 123,367 |

Yarı-rijit ve rijit birleşimli çerçevelerin eleman uç momentlerinin ve kirişlerde maksimum açıklık momentlerinin mutlak değerleri Çizelge 8.13 ve Çizelge 8.14'de verilmiştir. Çizelge 8.13'de yarı-rijit birleşimli çerçevelerde kiriş uç momentlerinin rijit birleşimli çerçevelere kıyasla daha küçük olduğu, Çizelge 8.14'den ise maksimum kiriş açıklık momentlerinin daha büyük olduğu görülmektedir.

8.4. Üç Açıklıklı Dört Katlı Çerçeve

Şekil 8.6'de geometrisi ve yükleme durumu verilen çerçevenin elemanları 8 gruba ayrılmıştır. Çerçeve için 64 tane HE kesitinden oluşan bir liste hazırlanmış, popülasyon büyüklüğü 96 alınmıştır.



Şekil 8.3 Üç açıklıklı dört katlı çerçeve

En üst katın yatay deplasmanları yarı-rijit birleşimler için 6,3 cm , rijit birleşim $P-\Delta$ etkisi varsa 3,25 cm, rijit birleşim $P-\Delta$ etkisi yoksa 3,10 cm ile sınırlandırılmaktadır.

Gruplardaki eleman numaraları aşağıdaki şekilde düzenlenmiştir:

1.Grup: 1,2,3,4 ; 2.Grup: 5,6,7,8 ; 3.Grup: 9,10,11,12 ; 4.Grup: 13,14,15,16 ; 5.Grup: 17,18,19 ; 6.Grup: 20,21,22 ; 7. Grup : 23,24,25 ; 8. Grup : 26,27,28

Yarı-rijit birleşimler için birleşim sabit parametreleri Çizelge 8.15’de verilmiştir. Optimum tasarım sonuçları ve optimum kesitler sırasıyla Çizelge 8.16 ve Çizelge 8.17’de verilmiştir.

Çizelge 8.15 Üç açıklıklı dört katlı çerçevede yarı-rijit birleşimler için sabit birleşim parametreleri

| Birleşim tipi | Birleşim tipi için sabit kesit parametreleri (cm) | | |
|---------------|---|-------------|------------|
| 1 | $t_a = 2,0$ | $g = 11,0$ | |
| 2 | $t_a = 2,0$ | $g = 22,0$ | |
| 3 | $t_a = 2,0$ | $t_c = 2,0$ | $g = 10,5$ |
| 4 | $t_a = 2,4$ | $d_b = 2,8$ | |
| 5 | $t_p = 2,4$ | $d_b = 2,8$ | |
| 6 | $t_p = 2,4$ | $d_b = 2,8$ | |
| 7 | $t_a = 2,4$ | $d_b = 2,8$ | |
| 8 | $t_p = 2,0$ | $g = 22,0$ | |

Çizelge 8.16 Üç açıklıklı dört katlı çerçevenin optimum tasarım sonuçları

| Yarı-Rijit Birleşim Tipi | Optimum Ağırlık (kg) | | | Yatay Deplasman (cm) | | |
|--------------------------|----------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| | Yarı-rijit birleşim | Rijit birleşim P-delta etkisi var | Rijit birleşim P-delta etkisi yok | Yarı-rijit birleşim | Rijit birleşim P-delta etkisi var | Rijit birleşim P-delta etkisi yok |
| 1 | 11112 | | | 5,82 | | |
| 2 | 9305 | | | 4,77 | | |
| 3 | 8577 | | | 4,49 | | |
| 4 | 9235 | 9770 | 10048 | 5,29 | 3,04 | 3,22 |
| 5 | 8768 | | | 5,03 | | |
| 6 | 8258 | | | 5,00 | | |
| 7 | 7798 | | | 4,60 | | |
| 8 | 11249 | | | 5,93 | | |

Çizelge 8.17 Üç açıklıklı dört katlı çerçevede yarı-rijit ve rijit birleşimler için optimum kesit profil numaraları

| Grup no. | Yarı rijit birleşim türü | | | | | | | | Rijit birleşim P-Delta etkisi var | Rijit birleşim P-Delta etkisi yok |
|----------|--------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) | | |
| 1 | HE400 AA | HE220 B | HE260 A | HE240 B | HE240 B | HE300 AA | HE340 AA | HE220 B | HE320 A | HE260 B |
| 2 | HE320 AA | HE240 AA | HE220 A | HE200 B | HE240 A | HE220 A | HE260 A | HE260 AA | HE220 B | HE340 AA |
| 3 | HE220 AA | HE220 AA | HE220 AA | HE200 AA | HE200 AA | HE200 AA | HE240 AA | HE200 B | HE220 AA | HE220 AA |
| 4 | HE220 AA | HE200 AA | HE220 AA | HE200 AA | HE200 AA | HE220 AA | HE200 AA | HE200 AA | HE220 AA | HE200 AA |
| 5 | HE300 AA | HE360 AA | HE280 AA | HE320 AA | HE280 AA | HE300 AA | HE240 AA | HE550 AA | HE240 B | HE360 AA |
| 6 | HE500 AA | HE320 AA | HE360 AA | HE260 A | HE260 A | HE280 AA | HE260 AA | HE500 AA | HE340 AA | HE320 AA |
| 7 | HE450 AA | HE320 AA | HE240 A | HE300 AA | HE280 AA | HE280 AA | HE260 AA | HE340 AA | HE280 AA | HE260 A |
| 8 | HE280 AA | HE280 AA | HE 220 A | HE200 B | HE280 AA | HE220 A | HE220 AA | HE280 AA | HE240 AA | HE280 AA |

Çizelge 8.16'dan görüleceği üzere 1. ve 8. yarı rijit birleşimler ekonomik olmamakla beraber, diğer tipler için yarı-rijit çerçeveler rijit çerçevelere nazaran birleşim tipine göre %5-%15 daha hafif olmaktadır. Deplasmanlar ise yarı rijit birleşimlerde rijit birleşimlere göre %50-%90 daha fazladır. 3 numaralı birleşim tipi için popülasyon büyüklüğünün iki katına çıkarılmasıyla tasarım sonuçlarının değişimi Çizelge 8.18'de verilmektedir.

Çizelge 8.18 Üç açıklıklı dört katlı çerçevenin popülasyon büyüklüğü değişiminin optimum tasarıma etkileri

| Popülasyon Büyüküğü | Ağırlık (kg) | Nesil Sayısı | Analiz Süresi (Dk.) |
|------------------------|-----------------|--------------|------------------------|
| 48 | 8759 | 164 | 9,33 |
| 96 | 8572 | 301 | 26,40 |

Çizelge 8.18'dan görüleceği üzere popülasyon büyüklüğünün artmasıyla optimum ağırlıkta azalma olmakta, analiz süresi ve üretilen nesil sayısı artmaktadır.

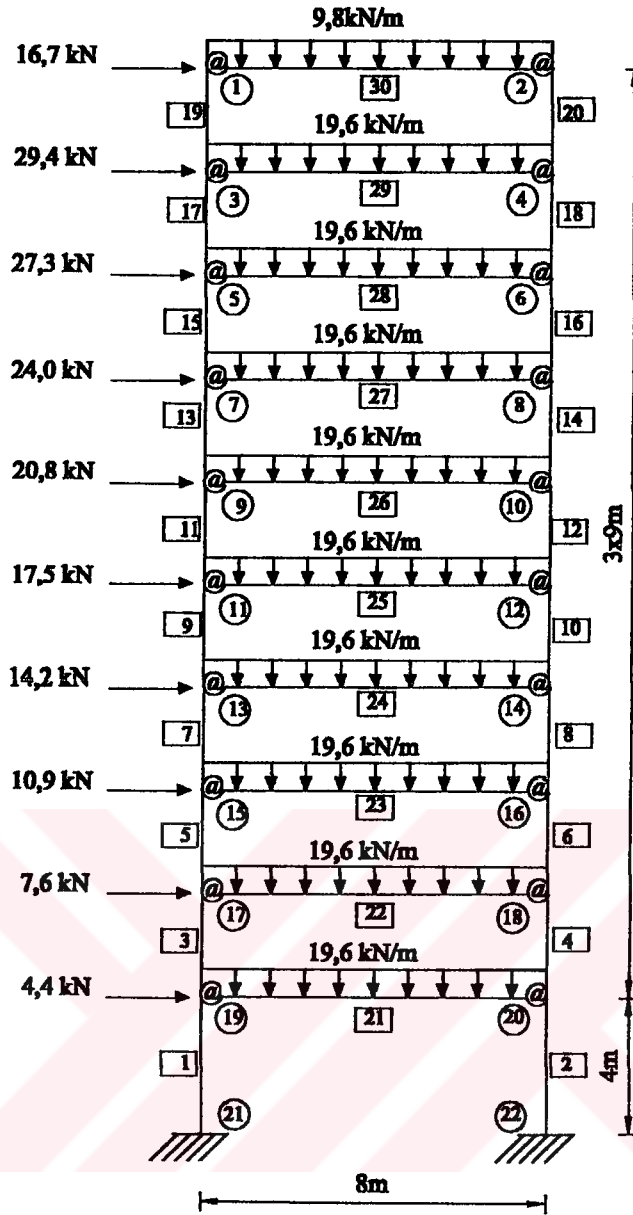
8.5. Tek Açıklıklı On Katlı Çerçeve

Şekil 8.4'de boyutları ve yükleme durumu verilen çerçevenin elemanları 8 gruba ayrılmıştır. Popülasyon büyüklüğü 60 alınmıştır.

En üst katın yatay deplasmanları yarı-rijit birleşimler için 12,4 cm , rijit birleşim $P - \Delta$ etkisi varsa 6,89 cm, rijit birleşim $P - \Delta$ etkisi yoksa 6,2 cm ile sınırlandırılmaktadır.

Gruplardaki eleman numaraları aşağıdaki şekilde düzenlenmiştir:

1.Grup: 1,2,3,4,5,6 ; 2.Grup: 6,7,8,9,10,11,12 ; 3.Grup: 13,14,15,16,17,18 ; 4.Grup: 19,20 ; 5.Grup: 21,22,23 ; 6.Grup: 24,25,26 ; 7. Grup : 27,28,29 ; 8. Grup : 30



Şekil 8.4 Tek açıklıklı on katlı çerçeve

Yarı-rijit birleşimler için birleşim sabit parametreleri Çizelge 8.19'de verilmiştir. Optimum tasarım sonuçları ve optimum kesitler sırasıyla Çizelge 8.20 ve Çizelge 8.21'de verilmiştir.

Çizelge 8.19 Tek açıklıklı on katlı çerçevede yarı-rijit birleşimler için sabit birleşim parametreleri

| Birleşim tipi | Sabit kesit parametreleri (cm) | | |
|---------------|--------------------------------|-------------|------------|
| 1 | $t_a = 2,8$ | $g = 15,5$ | |
| 2 | $t_a = 2,0$ | $g = 22,0$ | |
| 3 | $t_a = 1,6$ | $t_c = 1,6$ | $g = 10,5$ |
| 4 | $t_a = 2,4$ | $d_b = 2,8$ | |
| 5 | $t_p = 2,0$ | $d_b = 2,0$ | |
| 6 | $t_p = 2,0$ | $d_b = 2,0$ | |
| 7 | $t_a = 2,0$ | $d_b = 2,0$ | |
| 8 | $t_p = 2,4$ | $g = 22,0$ | |

Çizelge 8.20 Tek açıklıklı on katlı çerçevenin optimum tasarım sonuçları

| Yarı-Rijit Birleşim Tipi | Optimum Ağırlık (kg) | | | Yatay Deplasman (cm) | | |
|--------------------------|----------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| | Yarı-rijit birleşim | Rijit birleşim P-delta etkisi var | Rijit birleşim P-delta etkisi yok | Yarı-rijit birleşim | Rijit birleşim P-delta etkisi var | Rijit birleşim P-delta etkisi yok |
| 1 | 21764 | | | 11,72 | | |
| 2 | 15862 | | | 12,38 | | |
| 3 | 16288 | | | 12,39 | | |
| 4 | 16712 | 18818 | 19520 | 12,39 | 6,72 | 6,18 |
| 5 | 17289 | | | 12,32 | | |
| 6 | 17577 | | | 12,31 | | |
| 7 | 16475 | | | 12,35 | | |
| 8 | 21206 | | | 12,39 | | |

Çizelge 8.20' den görüldüğü gibi rijit birleşimlerde P- Δ etkisi göz önüne alınan durum P- Δ etkisi göz önüne alınmayan duruma göre %10 civarında daha fazla yanal deplasman yapabilmektedir. Yarı-rijit birleşimler ise rijit birleşimli durumlara kıyasla birleşim tiplerine göre değişmekle birlikte %70 ile % 100 arasında daha fazla yanal deplasman değerlerine ulaşabilmektedir. Bunun yanında yarı-rijit birleşimler 1. ve 8. tipler hariç P- Δ etkisi göz önüne alınan ve P- Δ etkisi göz önüne alınmayan rijit birleşimli durumlara göre yarı rijit birleşim tipine bağlı olarak %10 - %15 arasında daha hafif çerçeveler oluşturmaktadır. Çizelge 8.22'de popülasyon büyüklüğünün artması durumunda sonuçlardaki değişim görülmektedir. Burada 3 numaralı birleşim tipi kullanılmıştır.

Çizelge 8.21 Tek açıklıklı on katlı çerçevede yarı-rijit ve rijit birleşimler için optimum kesit profil numaraları

| Grup no. | Yarı rijit birleşim türü | | | | | | | | Rijit birleşim P-Delta etkisi var | Rijit birleşim P-Delta etkisi yok |
|----------|--------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) | | |
| 1 | HE650x347 | HE450 B | HE650 A | HE600 A | HE650 A | HE500 B | HE450 B | HE450x312 | HE320 A | HE260 B |
| 2 | HE550 AA | HE550 AA | HE500 AA | HE500 AA | HE360 B | HE500 A | HE550 AA | HE360 B | HE220 B | HE340 AA |
| 3 | HE320 AA | HE340 AA | HE340 AA | HE340 AA | HE450 AA | HE360 A | HE320 AA | HE340 AA | HE220 AA | HE220 AA |
| 4 | HE320 AA | HE450 AA | HE360 AA | HE320 AA | HE320 AA | HE320 AA | HE320 AA | HE340 AA | HE220 AA | HE200 AA |
| 5 | HE700 AA | HE550 AA | HE500 AA | HE600 AA | HE500 AA | HE600 AA | HE650 AA | HE650 AA | HE240 B | HE360 AA |
| 6 | HE650 AA | HE450 AA | HE650 AA | HE500 AA | HE650 AA | HE450 AA | HE 360 A | HE650 AA | HE340 AA | HE320 AA |
| 7 | HE650 AA | HE450 AA | HE360 AA | HE600 AA | HE400 AA | HE450 AA | HE340 A | HE650 AA | HE280 AA | HE260 A |
| 8 | HE360 AA | HE320 AA | HE400 AA | HE320 AA | HE320 AA | HE320 AA | HE320 AA | HE320 AA | HE240 AA | HE280 AA |

Çizelge 8.22 Tek açıklıklı on katlı çerçevenin popülasyon büyüklüğü değişiminin optimum tasarıma etkileri

| Popülasyon Büyüklüğü | Ağırlık (kg) | Nesil Sayısı | Analiz Süresi (Dk.) |
|-----------------------------|---------------------|---------------------|----------------------------|
| 60 | 17289 | 191 | 6,06 |
| 96 | 17035 | 276 | 14,14 |

Popülasyon büyüklüğünün artmasıyla optimum ağırlıkta çok küçük bir azalma olmakta , üretilen nesil sayısı artmakta, analiz süresi de 2,33 kat artmaktadır.



9. SONUÇLAR

1. Bu çalışmada geometrik bakımdan lineer olmayan ve standart çelik kesitlerden oluşan yarı rijit birleşimli düzlem çerçevelerin deplasman ve TS648(1980)'deki gerilme sınırlayıcıları altında optimum boyutlandırmasını yapan bir algoritma ve bunun bilgisayar programı geliştirilmiştir.
2. Optimum boyutlandırmada genetik algoritma yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem uygulanırken her optimizasyon adımında lineer olmayan analiz yapılmıştır. Lineer olmayan analizde yapıya etki eden yükler belli sayıda küçük yük artımlarına bölünmesiyle yapı rijitlik denklemleri yük ve deplasmanların artımsal ifadeleri biçiminde yazılarak sekant rijitlik matrisi yaklaşımı kullanılmıştır.
3. Genetik algortmada üniform çaprazlama olasılığı olarak 0,95 değeri uygulanmış, ayrıca her bireye 0,001 mutasyon olasılığı ile mutasyon operatörü uygulanmıştır. Optimum tasarımda bu değerler uygun sonuçlar vermiştir. Daha küçük çaprazlama olasılığı ve daha büyük mutasyon olasılığının optimum çözüme yakınsamayı geciktirdiği gözlenmiştir.
4. Popülasyon büyüklüğü optimum ağırlık değerini, üretilecek nesil sayısını ve bilgisayar hesaplama süresini etkilemektedir. 8.4-8.11-8.18-8.22 çizelgelerinin incelenmesiyle popülasyon büyüklüğü arttıkça optimum ağırlığın azaldığı görülmüştür. Popülasyon büyüklüğü arttıkça üretilecek nesil sayısı ve doğal olarak analiz süresi artmaktadır. Popülasyon büyüklüğünün birey dizi uzunluğunun 1-2 katı arasında olması uygundur.
5. Birleşim esnekliği ve geometrik bakımdan lineer olmayan davranış çerçevenin yanal deplasmanını önemli oranda arttırmaktadır. Çizelge 8.3, 8.9, 8.16, 8.20'den görüldüğü gibi birleşim esnekliği fazla olan yarı-rijit birleşimli çerçevelerde yanal deplasman rijit birleşimlere göre %50-%100 artmaktadır. Rijit birleşimlerde lineer olmama durumunu göz önüne alındığı ($P - \Delta$ etkilerinin hesaba katıldığı) durumlar, bu etkinin hesaba katılmadığı durumlara göre çerçeve %5-%9 daha fazla yanal deplasman yapabilmektedir.
6. 1. ve 8. birleşim tipi hariç yarı-rijit birleşimler rijit birleşimlere göre daha ekonomik sonuçlar vermiştir. Çizelge 8.3,8.9,8.16,8.20 incelendiğinde çok büyük esneklik özelliği gösteren tek gövde korniyerli ve baş levhalı birleşimler

dışındaki yarı rijit birleşim tipleri için çerçevelerin %5-%20 daha hafif olduğu görülmüştür.

7. Birleşim parametrelerindeki değişim çerçevenin yatay ötelenmesini etkilemektedir. Çizelge 8.12'de görüldüğü gibi daha esnek birleşimler için daha ağır optimum çözümler elde edilmiştir. Bunun nedeni; daha esnek birleşimlerin daha fazla deplasman yapması ve bu deplasmanların, sınırlayıcılar vasıtasıyla daha aşağı çekilmesiyle doğal olarak tasarımda daha büyük kesitlerin seçilmesidir.
8. 8.6,8.7,8.13, 8.14 Çizelgelerinin incelenmesiyle yarı rijit birleşimli çerçevelerde, rijit birleşimli çerçevelere göre kirişlerin uç mesnet momentlerinin azaldığı, maksimum açıklık momentlerinin arttığı bu durumda kirişlerde ekonomik çözümlere sebep olduğu görülmüştür. Bazı kolon momentlerinde ise rijit birleşimlere göre artış gözlenmiştir.
9. Birleşim rijitliği ile deplasman sınırlarının dengeli biçimde seçilmesiyle rijit çerçevelere göre daha ekonomik yarı rijit çerçeveler elde edilebilmektedir.

KAYNAKLAR

1. AISC , 1995. Load and Resistance Factor Design Specification for Structural Steel Buildings , American Inst. of Steel Construction , Chicago, IL
2. ABDALLA , K. M. , CHEN , W.F. , 1995. Expanded Database of Semi-Rigid Steel Connections , Computers & Structures , Vol.56 , No.4, 553-564.
3. ANDERSON, D., COLSON, A., JASPART, J.P. ,1993. Connections and Frame Design for Economy, New Steel Construction, 30-33.
4. ARORA, J.S. , BELEGUNDU, A.D. , 1984. Structural Optimization by Mathematical Programming Methods, AIAA Journal, Vol. 22 , No.6
5. CAMP, C. , PEZESHK, S. , CAO , G. , 1998. Optimized Design of Two-Dimensional Structures Using a Genetic Algorithm , Journal of Structural Engineering , Vol.124, No.5, 551-558.
6. CICHON, C., 1984. Large Displacements in-Plane Analysis of Elastic-Plastic Frames, J. Computers and Structures , Vol.19 , 737-745.
7. DALOĞLU, A. , ARMUTÇU, M., 1998. Genetik Algoritma ile Düzlem Çelik Çerçevelerin Optimum Tasarımı, İMO Teknik Dergi , Yazı 116 , 1601-1615.
8. DHILLON , B. S. , O'MALLEY, J. W. , 1999. Interactive Design of Semirigid Steel Frames , Journal of Structural Engineering , Vol.125, No.5, 556-564.
9. EUROPEAN WIDE FLANGE BEAMS, EURONORM , 1993, (53-62).
10. FRYE, M.J. , MORRIS G.A. , 1975. Analysis of Flexibly Connected Steel Frames, Can. J. Civ. Engrg2, 280-291.
11. GOLDBERG , D. E. , 1989. Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning . Addison- Wesley Publishing Company, INC.
12. GOTO, Y. , CHEN, W. , 1987. Second-Order Elastic Analysis for Frame Design, J. Struct. Eng., ASCE, Vol.113, No.7,1501-1519.
13. GOTO, Y. , MIYASHITA, S. , 1998. Classification System for Rigid and Semirigid Connections, Journal of Structural Engineering, Vol.124, No.7, 750-757.
14. HAYALİOĞLU, M. S. , 2000. Optimum Design of Geometrically Non-Linear Elastic-Plastic Steel Frames Via Genetic Algorithm , Computers & Structures , 77, 527-538.

15. JENKINS, W.M. , 1992. Plane Frame Optimum Design Environment Based on Genetic Algorithm, Journal of Structural Engineering, Vol.118, No.11, 3103-3112.
16. KASSIMALI, A. ,1983. Large Deformation Analysis of Elastic-Plastic Frames , J. Struc. Eng. , ASCE, Vol.109, No.8 , 1869-1886.
17. KIRSCH , U. , 1981. Optimum Structural Design . McGraw-Hill Book Company.
18. KISHI, N. , CHEN, W.F. ,1986-a. Database of Steel Frames Beam-to-Column Connections , Vols I and II. Structural Engineering Report no. CE-STR-86-26, School of Civil Engineering, Purdue University, West Lafayette .
19. KISHI, N. , CHEN, W.F. ,1986-b. Steel Connection Data Bank Program. Structural Engineering Report no. CE-STR-86-18, School of Civil Engineering, Purdue University, West Lafayette
20. KORN, A., GALAMBOS, T.V. ,1968. Behavior of Elastic-Plastic Frames, J.Struc., Div., ASCE, Vol.94, No.ST5
21. LEV , O.E. ,1981. Sequential Geometric Optimization, J. Struc. Div. , ASCE, Vol.107, No.10.
22. MORRIS, A. J. , 1982. Foundations of Structural Optimization . John Wiley.
23. ODABAŞI , Y. , 1997. Ahşap ve Çelik Yapı Elemanları. Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş. İSTANBUL .
24. ORAN, C. , 1973-a. Tangent Stiffnes in Plane Frames, J.Struc. Div., ASCE, Vol.99, No.ST6.
25. ORAN, C. , 1973-b. Tangent Stiffnes in Space Frames, J.Struc. Div., ASCE, Vol.99, No.ST6
26. PEZESHK, S. ,CAMP, C.V. , CHEN , D. , 2000. Design of Nonlinear Framed Structures Using Genetic Optimization , Journal of Structural Engineering , Vol.126, No.3, 382-388.
27. RAJAEV, S. ,KRISHNAMOORTHY, C. S. ,1992. Discrete Optimization of Structures Using Genetic Algorithms , Journal of Structural Engineering , Vol.118, No.5, 1233-1250.
28. REINSCHMIDT, K.F. , RUSSEL, A.D. , 1974. Applications of Linear Programming in Structural Layout and Optimization, J. Computers and Structures , Vol.4

29. SAKA, M.P. , HAYALIOĞLU ,M.S. , 1991. Optimum Design of Geometrically Nonlinear Elastic-Plastic Steel Frames, Computers& Structures, **38**, 3, 329-344.
30. SEE, T., MC CONNEL, R.E., 1986. Large Displacement Elastic Buckling of Space Structures , J. Struc. Eng., ASCE, Vol.112, No.5
31. SIMÕES , L. M. C. , 1996. Optimization of Frames with Semi-Rigid Connections , Computers & Structures , Vol.60 , No.4, 531-539.
32. TABAK, E.I. , WRIGHT, P.M. ,1981. Optimality Criteria for Building Frames, J. Struct. Div. , ASCE, Vol. 107, No.ST7
33. TS648 , 1980. Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları
34. TS910 , 1986. Çelik I Profilleri Sıcak Haddelenmiş
35. XU , L. , GRIERSON , D. E. , 1993. Computer-Automated Design of Semirigid Steel Frameworks , Journal of Structural Engineering , Vol.119, No.6, 1740-1760.



ÇİZELGE LİSTESİ

- Çizelge 3.1 Doğal genetik ve genetik algoritma terimlerinin karşılaştırılması
- Çizelge 3.2 Sekiz ayrıık değerin ikilik sistemde kodlanması
- Çizelge 3.3 Üç çubuklu kafes sistemin genetik algoritma ile optimizasyonunda birinci nesil için hesaplama ayrıntıları
- Çizelge 3.4 Üç çubuklu kafes sistemin genetik algoritma ile optimizasyonunda ikinci nesil için hesaplama ayrıntıları
- Çizelge 3.5 Üç çubuklu kafes sistemin genetik algoritma ile optimizasyonunda üçüncü nesil için hesaplama ayrıntıları
- Çizelge 4.1 Birleşim tipleri için eğri uydurma ve standartlaştırma sabitleri
- Çizelge 5.1 C_b katsayısının tayini
- Çizelge 8.1 Birleşim adları ve tip numaraları
- Çizelge 8.2 Tek açıklıklı üç katlı çerçevede yarı-rijit birleşim tipleri için sabit birleşim parametreleri
- Çizelge 8.3 Tek açıklıklı üç katlı çerçevenin optimum tasarım sonuçları
- Çizelge 8.4 Tek açıklıklı üç katlı çerçevede popülasyon büyüklüğü değişiminin optimum tasarıma etkileri
- Çizelge 8.5 Tek açıklıklı üç katlı çerçevede yarı-rijit ve rijit birleşimler için optimum kesit profil numaraları
- Çizelge 8.6 Tek açıklıklı üç katlı çerçevede yarı-rijit ve rijit birleşimli elemanlarda uç momentlerinin mutlak değerleri
- Çizelge 8.7 Tek açıklıklı üç katlı çerçevede yarı-rijit ve rijit birleşimli kirişlerde maksimum açıklık momentlerinin değerleri
- Çizelge 8.8 İki açıklıklı üç katlı çerçevede yarı-rijit birleşimler için sabit birleşim parametreleri
- Çizelge 8.9 İki açıklıklı üç katlı çerçevenin optimum tasarım sonuçları
- Çizelge 8.10 İki açıklıklı üç katlı çerçevede yarı-rijit ve rijit birleşimler için optimum kesit profil numaraları
- Çizelge 8.11 İki açıklıklı üç katlı çerçevede popülasyon büyüklüğü değişiminin optimum tasarıma etkileri
- Çizelge 8.12 İki açıklıklı üç katlı yarı-rijit birleşimli çerçevede sabit birleşim parametrelerindeki değişimin optimum tasarıma etkileri

- Çizelge 8.13 İki açıklıklı üç katlı çerçevede yarı-rijit ve rijit birleşimli elemanlarda uç momentlerinin mutlak değerleri
- Çizelge 8.14 İki açıklıklı üç katlı çerçevede yarı-rijit ve rijit birleşimli kirişlerde maksimum açıklık momentlerinin değerleri
- Çizelge 8.15 Üç açıklıklı dört katlı çerçevede yarı-rijit birleşimler için sabit birleşim parametreleri
- Çizelge 8.16 Üç açıklıklı dört katlı çerçevenin optimum tasarım sonuçları
- Çizelge 8.17 İki açıklıklı dört katlı çerçevede yarı-rijit ve rijit birleşimler için optimum kesit profil numaraları
- Çizelge 8.18 Üç açıklıklı dört katlı çerçevenin popülasyon büyüklüğü değişiminin optimum tasarıma etkileri
- Çizelge 8.19 Tek açıklıklı on katlı çerçevede yarı-rijit birleşimler için sabit birleşim parametreleri
- Çizelge 8.20 Tek açıklıklı on katlı çerçevenin optimum tasarım sonuçları
- Çizelge 8.21 Tek açıklıklı on katlı çerçevede yarı-rijit ve rijit birleşimler için optimum kesit profil numaraları
- Çizelge 8.22 Tek açıklıklı on katlı çerçevenin popülasyon büyüklüğü değişiminin optimum tasarıma etkileri

ŞEKİL LİSTESİ

- Şekil 3.1 İki boyutlu tasarım uzayı
- Şekil 3.2 Üç çubuklu kafes sistem
- Şekil 4.1 Üniform yüklü değişik mesnet koşullarına sahip kiriş için moment diyagramları
- Şekil 4.2 Kiriş momentlerinin birleşim rijitliği/eğilme rijitliği oranı ile değişimi
- Şekil 4.3 Kiriş orta noktasındaki çökmenin birleşim rijitliği/eğilme rijitliği oranı ile değişimi
- Şekil 4.4 Birleşimlerin moment-dönme ilişkisi
- Şekil 4.5 Birleşim tipleri için moment-dönme eğrileri
- Şekil 4.6 Tek gövde korniyerli birleşim
- Şekil 4.7 Çift gövde korniyerli birleşim
- Şekil 4.8 Alt ve üst başlık ve çift gövde korniyerli birleşim
- Şekil 4.9 Alt ve üst başlık korniyerli birleşim
- Şekli 4.10 Uç levhalı takviyesiz birleşim
- Şekil 4.11 Uç levhalı takviyeli birleşim
- Şekil 4.12 T profilli birleşim
- Şekil 4.13 Baş levhalı birleşim
- Şekil 4.14 Dönel yaylı kiriş elemanı
- Şekil 4.15 Düzlem çerçeve elemanı
- Şekil 4.16 Yarı rijit kiriş
- Şekil 4.17 Elemanın eleman (x', y', z') ve yapı (x, y, z) koordinatlarında çerçeve elemanı
- Şekil 5.1 M_x momentine maruz profil kesit elemanı
- Şekil 6.1 Lineer olmayan analizde sekant rijitlik yaklaşımı
- Şekil 7.1 Örnek çerçeve
- Şekil 8.1 Tek açıklıklı üç katlı çerçeve
- Şekil 8.2 İki açıklıklı üç katlı çerçeve
- Şekil 8.3 Üç açıklıklı dört katlı çerçeve
- Şekil 8.4 Tek açıklıklı on katlı çerçeve

SEMBOLLER

| | |
|-----------------|--|
| A_k | k grubundaki elemanların kesit alanı |
| A_x | Enkesit alanı |
| b | Başlık boyu |
| C_b | Çubuğun moment düzlemine dik düzlem içinde tutulan (1) ve (2) noktaları arasındaki eğilme momenti diyagramının şekline göre hesaplanan katsayı |
| c_i | İhlal edilme katsayısı |
| C_m | Uç momentlerini, hesap yapılan düzleme dik doğrultudaki çubuğun tutulma durumuna göre hesaplayan bir katsayı |
| C_{mx} | M_x moment diyagramlarını ve hesap yapılan düzleme dik doğrultuda çubuğun tutulma düzenini göz önüne alan katsayı |
| C_{my} | M_y moment diyagramlarını ve hesap yapılan düzleme dik doğrultuda çubuğun tutulma düzenini göz önüne alan katsayı |
| C_1, C_2, C_3 | Eğri uydurma sabitleri |
| d | Profil boyu |
| d_a | Korniyer boyu |
| d_b | Bulon çapı |
| d_g | Bulon delikleri arasındaki düşey mesafe |
| d_p | Başlık levhası boyu |
| $\{\bar{d}\}$ | Eleman koordinatlarındaki deplasman vektörü |
| $\{D\}$ | Yapı deplasman vektörü |
| E | Elastisite modülü |
| F_i | Uygunluk ifadesi |
| g | Bulon delikleri arasındaki yatay mesafe |
| G_A, G_B | Kolonların A ve B uçları için rijitlik dağıtım faktörleri |
| $g_j(x)$ | Eşitsizlik sınırlayıcısı |
| $h_k(x)$ | Eşitlik sınırlayıcısı |
| I | Atalet momenti |

| | |
|----------------------|--|
| I_c | Göz önüne alınan noktaya rijit olarak bağlanmış kolonların atalet momenti |
| I_g | Göz önüne alınan noktaya rijit olarak bağlanmış kirişlerin atalet momenti |
| k | Eşitsizlik sınırlayıcısı sayısı |
| K | Sınırlayıcısız amaç fonksiyonunun hesabında probleme göre seçilen bir sabit. Basınca çalışan çubukların burkulma boyunun hesabında kullanılan ve burkulma boyunu belirleyen bir katsayı. Efektif uzunluk faktörü |
| $[K]$ | Sistem rijitlik matrisi |
| $[k]_i$ | i 'nci elemanın yapı koordinatlarındaki rijitlik matrisi |
| $[\bar{k}]_i$ | i . elemanın eleman koordinatlarındaki rijitlik matrisi |
| $[\bar{k}_e]$ | Birinci derece çerçeve eleman rijitlik matrisi |
| $[\bar{k}_g]$ | Geometrik rijitlik matrisi |
| l_a | Korniyer boyu |
| l_i | Korniyer boyu |
| L | Eleman uzunluğu |
| L_i | i 'nci elemanın boyu |
| m | Eşitlik sınırlayıcısı sayısı. Sınırlayıcı sayısı |
| M | Moment |
| M_1 | Kiriş yanal desteklerin olduğu noktalardaki uç momentlerinin küçüğü |
| M_2 | Kiriş yanal desteklerin olduğu noktalardaki uç momentlerinin büyüğü |
| mk | k grubundaki toplam eleman sayısı |
| M_{FA}, M_{FB} | Rijit birleşimli elemanlar için ankastrelik uç momentleri |
| M_{FA}^*, M_{FB}^* | Yarı rijit birleşimli elemanlar için ankastrelik uç momentleri |
| M_H | Kiriş uç momentleri |
| M_S | Maksimum kiriş açıklık momenti |
| n | Emniyet katsayısı |
| ng | Çerçevedeki toplam grup sayısı |
| p | Deplasman sınırlayıcısı sayısı |
| P | Eleman aksenal kuvveti |

| | |
|----------------------|--|
| $\{P\}$ | Yapıya eki eden kuvvetler vektörü |
| P_{cr} | Ucu tutulu kolon için kritik yük |
| P_e | Mafsallı kolon için Euler burkulma yükü |
| $\{r\}$ | Yer değiştirme vektörü |
| $\{\bar{r}\}$ | Eleman koordinatlarındaki eleman uç kuvvetleri |
| $\{\bar{r}_F\}$ | yarı rijit bağlantılı kiriş elemanları için ankastrelilik uç kuvvetleri |
| $\{R\}$ | Sisteme etki eden dış kuvvet vektörü |
| R_{kA}, R_{kB} | Kirişin A ve B ucundaki yay rijitlikleri |
| s_c | Çerçevelerde göz önüne alınan noktaya rijit bağlanmış kolonların burkulma boyu |
| s_g | Çerçevelerde göz önüne alınan noktaya rijit bağlanmış kirişlerin burkulma boyu |
| s_{kx} | x eksenine göre burkulma boyu |
| $[S]$ | Sistem gerilme matrisi, yapı rijitlik matrisi |
| T_a, T_b | Eleman uç ankastrelilik kesme kuvvetleri |
| t | Korniyer kalınlığı |
| t_a | Korniyer kalınlığı |
| t_b | Başlık genişliği |
| t_g | Gövde genişliği |
| t_p | Uç levhası kalınlığı |
| t_w | Profil gövde kalınlığı |
| $[T]_i$ | i 'nci eleman için dönüşüm matrisi |
| u_a | Deplasmanların alabileceği maksimum değer |
| u_j | j 'nci elemanın deplasman değeri |
| $u_{max.}$ | Deplasman sınırı |
| V_{FA}^*, V_{FB}^* | Eleman dengesinden elde edilen ankastrelilik uç kesme kuvvetleri |
| W | Yapı ağırlığı |
| $W(x)$ | Çerçeve ağırlığı. Amaç fonksiyonu |
| x | Tasarım değişkeni vektörü |

| | |
|--------------------|---|
| $\{X\}$ | Tasarım değişkeni |
| Z | Amaç fonksiyonu |
| δ_j | j 'nci sınırlanmış noktadaki deplasman değeri |
| δ_{ju} | Deplasman sınırlayıcısının alabileceği en büyük değer |
| $\{\Delta D\}$ | Deplasman artım vektörü |
| $\{\Delta F\}_i$ | i 'nci elemanın artımsal uç kuvvetleri |
| $\{\Delta F_o\}_i$ | i 'nci elemanın ankastrelik artımsal uç kuvvetleri |
| $\{\Delta P\}$ | Yük artım vektörü |
| ψ | C_m 'nin hesabında kullanılan bir katsayı |
| κ | Standartlaştırma sabiti |
| λ | Çubuğun narinliği |
| λ_p | Plastik narinlik sınırı (kritik narinlik) |
| λ_x | x eksenine göre narinlik |
| λ_{yb} | Basınç başlığı ve gövdenin basınç bölgesinin üçte birinin gövde eksenine göre narinliği |
| ρ_i | i 'nci elemanın özgül ağırlığı |
| σ_a | Akma gerilmesi |
| $\{\sigma\}$ | Gerilme vektörü |
| σ_a | Gerilmelerin alabileceği maksimum değer |
| σ_{bem} | Yalnız aksenal basınç etkisi altında uygulanan emniyet gerilmesi |
| σ_{bx} | Yalnız M_x eğilme momenti etkisi altında hesaplanan basınç-eğilme başlığı gerilmesi |
| σ_{by} | Yalnız M_y eğilme momenti etkisi altında hesaplanan basınç-eğilme başlığı gerilmesi |
| σ_{Bx} | Yalnız M_x eğilme momenti etkisi halinde müsaade edilecek eğilme-basınç başlığı emniyet gerilmesi |
| σ_{By} | Yalnız M_y eğilme momenti etkisi halinde müsaade edilecek eğilme-basınç başlığı emniyet gerilmesi |
| σ_{ob} | Yalnız aksenal basınç etkisi için hesaplanan gerilme |

| | |
|----------------------------|---|
| $\sigma_{\zeta em}$ | Çekme emniyet gerilmesi |
| $\sigma_{\zeta x}$ | Yalnız eğilme momenti etkisi altında hesaplanan çekme gerilmesi |
| $\sigma_{e\zeta}$ | Yalnız aksel çekme etkisi için hesaplanan gerilme |
| σ'_{ex} | x-x asal eksenleri etrafındaki burkulmalar için hesaplanan gerilmeler |
| σ'_{ey} | y-y asal eksenleri etrafındaki burkulmalar için hesaplanan gerilmeler |
| σ_j | j'nci elemanın gerilmesi |
| $\sigma_{max.}$ | Gerilme sınırı |
| θ_r | Birleşimlerin dönme açısı |
| θ_{rA}, θ_{rB} | Kirişin A ve B ucundaki yayların rölatif dönmeleri |



ÖZGEÇMİŞ

S. Özgür DEĞERTEKİN 1976 yılında Diyarbakır'da doğmuş, ilk, orta ve lise öğrenimini Diyarbakır'da tamamlamıştır. Temmuz 1998'de Dicle Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünden mezun olmuştur. Temmuz 1999'da Dicle Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümüne Araştırma Görevlisi olarak atanmıştır. Halen aynı görevi sürdürmektedir.

