

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GENETİK ALGORİTMALAR KULLANILARAK
SONLU ELEMAN GÜNCELLEMESİ YÖNTEMİYLE
HASAR TESPİTİ VE PARAMETRE BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Yıldırım Serhat ERDOĞAN**

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : YAPI MÜHENDİSLİĞİ

HAZİRAN 2007

**GENETİK ALGORİTMALAR KULLANILARAK SONLU
ELEMEN GÜNCELLEMESİ YÖNTEMİYLE HASAR
TESPİTİ VE PARAMETRE BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Yıldırım Serhat ERDOĞAN
(501051126)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 7 Mayıs 2007
Tezin Savunulduğu Tarih : 13 Haziran 2007

Tez Danışmanı : Doç.Dr. Pelin Gündeş BAKIR
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Hasan BODUROĞLU (İ.T.Ü.)
Prof.Dr. Faruk YÜKSELER (Y.T.Ü.)

HAZİRAN 2007

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında, global optimizasyon yöntemlerinden genetik algoritmalar kullanılarak sonlu eleman modeli güncelleme yöntemiyle basit bir kiriş üzerinde parametre belirlenmesi ve hasar tespiti çalışması yapılmıştır.

Son zamanlarda üzerinde yoğun araştırmalar yapılan bu konu hakkında yaptığım tez çalışmamda yardımlarından dolayı tez danışmanım Doç. Dr. Pelin Gündeş Bakır'a teşekkürlerimi sunarım. Bu çalışmamın, konu üzerinde araştırma yapmak isteyen lisans veya yüksek lisans öğrencilerine bir kaynak olması dileklerle.

Haziran 2007

Yıldırım Serhat ERDOĞAN

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	ix
ÖZET	xi
SUMMARY	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Sonlu Eleman Güncellemesi Ve Hasar Tespiti	1
1.2. Sayısal Optimizasyon	4
1.3. Tezin Ana Teması	5
1.4. Tezin Organizasyonu	6
2. GLOBAL OPTİMİZASYON YÖNTEMLERİ	7
2.1. Giriş	7
2.2. Genetik Algoritmalar	8
2.2.1. Kodlama	10
2.2.1.1. Standart bit kodlama	10
2.2.1.2. Gray kodlama	11
2.2.1.3. Gerçek sayı kodlama	12
2.2.2. Seçme ve elitizm	12
2.2.2.1. Rulet tekerleği seçme yöntemi	13
2.2.2.2. Turnuva seçme yöntemi	14
2.2.3. Çaprazlama	14
2.2.4. Mutasyon	15
2.2.5. Genetik algoritmaların temel işlem sırası	16
2.2.6. GA'lar için pratik öneriler ve geliştirme	17
3. SONLU ELEMAN MODELİ GÜNCELLEMESİ	18
3.1. Giriş	18
3.2. Sonlu Eleman Güncellemesinin Teorik Açıklaması	19
3.2.1. Uygunluk fonksiyonu	20
3.2.2. Sonlu eleman güncellemesinde değişkenler	21
3.2.3. Modal uygunluk kriteri	22
3.2.4. Gürültü Etkisi	23
3.2.5. Ağırlık kavramı	24
3.3. Sonlu Eleman Güncellemesinde Genetik Algoritmalar	25

4. SAYISAL UYGULAMALAR	27
4.1. Kirişin Geometrik ve Malzeme Özellikleri	27
4.2. Kiriş İçin Kütle Ve Rijitlik Matrisleri	28
4.3. Sonlu Eleman Kodunun Performansı	31
4.4. Sonlu Eleman Güncellemesi Uygulamaları	33
4.4.1. Basit hasar durumunda güncelleme	33
4.4.1.1. Basit hasarlı kirişte hafif hasar	33
4.4.1.2. Basit hasarlı kirişte orta hasar	38
4.4.2. Karışık hasarlı durum için güncelleme	41
4.4.2.1. Karışık hasarlı kirişte hafif hasar	41
4.4.2.2. Karışık hasarlı kirişte orta hasar	45
4.4.3. Yayılı hasar durumu için güncelleme	48
5. SONUÇLAR	51
KAYNAKLAR	53
ÖZGEÇMİŞ	56

KISALTMALAR

FRF	: Frekans Cevap Fonksiyonu
CLM	: Eşleştirilmiş Yerel Minimize Ediciler
GA	: Genetik Algoritmalar
SET	: Simule Edilmiş Tavlama
EC	: Evrimsel Hesaplama
MAC	: Modal Uygunluk Kriteri
TMAC	: Toplam Modal Uygunluk Kriteri
MTMAC	: Modifiye Toplam Modal Uygunluk Kriteri

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1 Standart bit kodlama ve gray kodlama yöntemlerinin karşılaştırılması	12
Tablo 2.2 Örnek kromozomlar ve uygunluk değerler.....	13
Tablo 2.3 Rasgele sayılar ve seçilen kromozomlar.....	14
Tablo 4.1 Doğal titreşim frekansları (Hz).....	32
Tablo 4.2 Hafif hasarlı basit hasar durumunda düzeltme katsayıları.....	35
Tablo 4.3 Orta hasarlı basit hasar durumunda düzeltme katsayıları.....	38
Tablo 4.4 Hafif hasarlı karışık hasar durumunda düzeltme katsayıları.....	42
Tablo 4.5 Orta hasarlı karışık hasar durumunda düzeltme katsayıları.....	46
Tablo 4.6 Hafif hasarlı yayılı hasar durumunda düzeltme katsayıları.....	49

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : $f(x)$ fonksiyonunun grafik gösterimi.....	7
Şekil 2.2 : Uygunluk değerlerinin global minimum da kümelenmesi.....	9
Şekil 2.3 : Tek noktali ve çok noktali çaprazlama.....	14
Şekil 2.4 : Mutasyon işlemi	15
Şekil 2.5 : Temel GA işlemleri için akış diyagramı.....	16
Şekil 3.1 : Sonlu eleman güncellemesi için akış diyagramı.....	19
Şekil 3.2 : Güncellemede genetik algoritmalar için akış diyagramı.....	25
Şekil 4.1 : Kirişin sonlu eleman modeli.....	28
Şekil 4.2 : Timoshenko kirişinde kayma açısı.....	29
Şekil 4.3 : Kiriş için ilk 4 mod şekli.....	32
Şekil 4.4 : Hafif hasarlı basit hasarlı kirişte hasar durumu.....	33
Şekil 4.5 : Hafif hasarlı basit hasar durumunda ilk 8 mod için MAC değerleri.....	34
Şekil 4.6 : Hafif hasarlı basit hasar durumunda ilk 10 frekansın göreceli farkları.....	34
Şekil 4.7 : Hafif hasarlı basit hasar durumunda hafif gürültülü mod şekilleri için MAC değerleri.....	36
Şekil 4.8 : Hafif hasarlı basit hasar durumunda hafif gürültülü doğal frekansların göreceli farkları.....	36
Şekil 4.9 : Hafif hasarlı basit hasar durumunda ağır gürültülü MAC değerleri.....	37
Şekil 4.10 : Hafif hasarlı basit hasar durumunda ağır gürültülü doğal frekans farkları.....	37
Şekil 4.11 : Orta hasarlı basit hasar durumunda gürültüsüz mod şekilleri için MAC değerleri	39
Şekil 4.12 : Orta hasarlı basit hasar durumunda gürültüsüz göreceli doğal frekans farkları	39
Şekil 4.13 : Orta hasarlı basit hasar durumunda ağır gürültülü MAC değerleri.....	40
Şekil 4.14 : Orta hasarlı basit hasar durumunda ağır gürültülü doğal frekans farkları	40
Şekil 4.15 : Hafif hasarlı karışık hasar durumundaki kirişte hasar durumu....	41
Şekil 4.16 : Hafif hasarlı karışık hasar durumda gürültüsüz MAC değerleri..	41
Şekil 4.17 : Hafif hasarlı karışık hasar durumunda gürültüsüz doğal frekans farkları	42
Şekil 4.18 : Hafif hasarlı karışık hasar durumunda hafif gürültülü MAC değerleri.....	43
Şekil 4.19 : Hafif hasarlı karışık hasar durumunda hafif gürültülü frekans farkları	43
Şekil 4.20 : Hafif hasarlı karışık hasar durumunda ağır gürültülü MAC	44

Şekil 4.21 : Hafif hasarlı karışık hasar durumunda ağır gürültülü doğal frekans farkları.....	44
Şekil 4.22 : Orta hasarlı karışık hasar durumunda gürültüsüz MAC değerleri.....	45
Şekil 4.23 : Orta hasarlı karışık hasar durumunda gürültüsüz doğal frekans farkları.....	45
Şekil 4.24 : Orta hasarlı karışık hasar durumunda ağır gürültülü MAC değerleri.....	47
Şekil 4.25 : Orta hasarlı karışık hasar durumunda ağır gürültülü doğal frekans farkları.....	47
Şekil 4.26 : Yayılı hasarlı kırışte hasar durumu.....	48
Şekil 4.27 : Yayılı hasarlı durumda gürültüsüz göreceli frekans farkları.....	48
Şekil 4.28 : Yayılı hasarlı durumda gürültülü frekansların göreceli farkları...	49

SEMBOL LİSTESİ

$f(\mathbf{x})$: Fonksiyon
x_1, x_2, \dots, x_n	: Fonksiyon değişkenleri
θ	: Değişkenleri içeren popülasyon
\mathbf{b}	: Bit sayısı
\mathbf{m}	: Virgülden sonraki basamak sayısı
θ_{\max}	: Değişken alabileceği maksimum sayı değeri
θ_{\min}	: Değişkenin alabileceği minimum sayı değeri
S_f	: Uygunluk değerlerinin toplamı
P_c	: Çaprazlama olasılığı
P_m	: Mutasyon olasılığı
N	: Popülasyon boyutu
N_e	: Elit kromozom sayısı
$f(\theta)$: Uygunluk fonksiyonu
$z_j(\theta)$: Sayısal girdiler
z_j	: Deneysel girdiler
$r_j(\theta)$: Artık vektörü
$r_f(a)$: Doğal frekans artıkları
$r_s(a)$: Mod şekli artıkları
$\lambda_j(a)$: Güncellenen doğal frekanslar
λ_j	: Deneysel doğal frekanslar
$\phi_j^l(a)$: Güncellenen mod şekli
$\phi_j^r(a)$: Güncellenen mod şekillerinde maksimum deplasman
ϕ_j^l	: Deneysel Mod Şekilleri
ϕ_j^r	: Deneysel mod şekillerinde maksimum deplasman
a_x	: Düzeltme Katsayıları
\mathbf{X}	: Güncellenmiş fiziksel büyüklükler
\mathbf{X}_{ref}	: Referans fiziksel büyüklükler
η	: Standart sapma
ζ	: Rasgele sayılar
\mathbf{W}	: Ağırlık matrisi
\mathbf{E}	: Elastisite modülü
\mathbf{G}	: Kayma Modülü
\mathbf{I}	: Atalet momenti
\mathbf{A}	: Kiriş kesit alanı
μ	: Poission oranı
ρ	: Birim ağırlık

γ	: Kayma açısı
α	: kayma gerilmesi için düzeltme sayısı
ϕ	: Eğilme ve kayma rijitliklerinin karakterize eden boyutsuz büyüklük
L	: Uzunluk
K	: Rijitlik matrisi
M_{CT}	: Kayma açısını da içeren kütle matrisi
M_{CR}	: Dönme atalet kütlelerini içeren kütle matrisi
M_C	: Toplam kütle matrisi

GENETİK ALGORİTMALAR KULLANILARAK SONLU ELEMAN MODELİ GÜNCELLEMESİ YÖNTEMİYLE HASAR TESPİTİ VE PARAMETRE BELİRLENMESİ

ÖZET

Bu tez çalışmasında daha önce çeşitli optimizasyon yöntemleri kullanılarak uygulanan sonlu eleman modeli güncellemesi yönteminde, genetik algoritmalar adlı global optimizasyon yönteminin kullanılabilirliği araştırılmıştır. En küçük kareler problemi şeklinde oluşturulan, hasarlı ve hasarsız yapıdaki mod şekli ve doğal frekans farklarını içeren bir uygunluk fonksiyonu kullanılmıştır. Hasar, sonlu elemanlara bölünmüş kiriş elemanlarının, elastisite modülündeki azalma ile tarif edilmiştir. Tanımlanan uygunluk fonksiyonu minimize edilerek her elemanın elastisite modülündeki azalma tespit edilmiş böylece hasarın yeri ve büyüklüğü belirlenmiştir.

Uygunluk fonksiyonunu minimize etmek için global optimizasyon tekniklerinden genetik algoritmalar kullanılmıştır. Genetik algoritmaların birçok karmaşık optimizasyon problemine kolayca uygulanabilen bir araştırma tekniğidir. Bu tezin amacı da genetik algoritmaların sonlu eleman güncellemesindeki performansını belirlemektir.

Bölüm 1’de giriş ve literatür çalışması yapılmış, konu ile ilgili daha önceden yapılan çalışmalar hakkında kısa bilgiler sunulmuştur. Sonlu eleman güncellemesinde farklı yöntemler için çeşitli referanslar verilmiştir.

Bölüm 2’de global optimizasyon yöntemlerine kısa bir giriş yapılmış ve temel genetik algoritma işlemcileri hakkında detaylı bilgi verilmiştir. Ayrıca bölümün sonunda genetik algoritmalar için birkaç pratik öneri sunulmuştur.

Bölüm 3’te sonlu eleman güncellemesinin tanımı yapılmış ve genel prosedür açıklanmıştır. Bu tezin kapsamındaki uygunluk fonksiyonu ve güncellenen değişkenler açık bir şekilde anlatılmıştır. Ayrıca detaylı akış diyagramlarıyla konu desteklenmiştir.

Bölüm 4’te ise sonuçlar tartışılmış, yöntemin avantaj ve dezavantajlarına değinilmiştir.

Daha gerçekçi bir modelleme için güncellenen kirişte kayma açısı dikkate alınmış ayrıca kütle matrislerinde dönel atalet hesaba katılmıştır.

Sonuç olarak genetik algoritmaların güçlü bir optimizasyon tekniği olduğu görülmüş, ele aldığımız kirişte gürültülü ve gürültüsüz durumlar için çok iyi sonuçlar elde edilmiştir.

DAMAGE DETECTION AND PARAMETER IDENTIFICATION BY FINITE ELEMENT MODEL UPDATING USING GENETIC ALGORITHMS

SUMMARY

In this study, a finite element model updating method using the global optimization technique “genetic algorithm” is applied to detect damage for three different damage scenarios. A fitness function, which contains differences between the numerical and the experimental dynamic data is used and formulated like a least squares problem. Damage is defined as the reduction in the elasticity moduli of the reference finite element model members. Reductions in the elasticity moduli are determined by minimizing the predefined fitness function. Consequently, the location and the severity of the damage are detected.

The global optimization technique ‘Genetic Algorithms’ is used to minimize the fitness function. The aim of this thesis is to measure the performance of genetic algorithms in finite element model updating method.

In Chapter 1, introduction and a literature review are presented and relevant research is summarized. State of the art in finite element model updating methods is summarized.

In Chapter 2, a short introduction to global optimization methods and detailed information on basic genetic algorithm operators are presented. In addition a few practical guidance and extensions are suggested for GAs.

In Chapter 3, finite element model updating technique is explained. The fitness function within the context of this thesis and design variables are defined.

In Chapter 4, conclusions are presented and the advantages or disadvantages of the method are explained.

For a more realistic FE model, shear distortion and the rotary inertia in the mass and stiffness matrices are taken into account.

In conclusion, it is apparent that the genetic algorithms are powerful and a robust global optimization technique. Results, obtained for noisy and noise free simulations for the considered beam are very good and accurate.

1. GİRİŞ

1.1 Sonlu Eleman Güncellemesi Ve Hasar Tespiti

Sonlu eleman yöntemi, yapıların tasarım ve analizinde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Sonlu eleman modeli kullanılarak yapının fiziksel davranışı yaklaşık olarak simule edilebilir ve servis yükleri altındaki durumu belirlenebilir. Bu şekilde yapının güvenilirliği hakkında bilgi edinilebilir ve tasarım değişkenlerinin etkisi incelenebilir.

Sonlu elemanlar metodundan elde edilecek modal parametreler (mod şekilleri ve frekanslar) eğer yapı hasarlı ise gerçek modal parametreleri iyi temsil etmeyebilir. Genelde deneysel hatalara rağmen, dinamik testlerden elde edilen titreşim verileri, yapının davranışını sonlu eleman modeline kıyasla daha doğru yansıtır. Bundan dolayı sonlu eleman modeli, deneysel verilerle uyumlu hale getirilerek doğrulanmalıdır. Deneylelerden elde edilmiş titreşim verileri ile sonlu eleman modelinden elde edilen dinamik verilerin birbirleriyle uyumlu hale getirilerek doğrulanmasına sonlu eleman modeli güncellemesi denir. Sonlu eleman modeli güncellemesinde genelde dinamik veri olarak, ölçümleri daha kolay olduğundan doğal frekans ve mod şekilleri kullanılmıştır. Alternatif bir yaklaşım olarak Fritzen ve diğ. (1998) frekans tepki fonksiyonlarını (FRF) kullanmıştır.

Deprem vb. sebeplerden hasar görmüş bina ve köprü gibi birçok inşaat mühendisliği yapısında, yeniden onarım veya performansının değerlendirilmesi açısından hasarın yeri ve şiddetinin belirlenmesi günümüzde gittikçe önem kazanmaktadır. Hasar belirlemede yaygın olarak kullanılan yöntemler, mevcut yapıdan karot alınarak yapı malzemesinin dayanımının belirlenmesi gibi yıkıcı yöntemlerin yanısıra ya görsel ya da ultrasonik, x-ray gibi yıkıcı olmayan yöntemlerdir (Doherty,1987). Fakat bu yöntemler genelde yerel olarak yapının ulaşılması kolay veya görülebilir yerlerine uygulanabilir. Ayrıca bu tür yöntemleri kullanırken daha önceden hasar durumu hakkında yaklaşık olarak bilgi sahibi olunmalıdır. Bundan dolayı modal verileri kullanarak karmaşık yapılarda hasarı global olarak belirleme amacıyla yeni teknikler öne sürülmüştür. Bu yöntemler, yapıdaki hasarı belirlemede frekans ve mod şekilleri gibi yapının dinamik karakteristiklerindeki değişimlerden yararlanılmıştır. Hasarlı ve

hasarsız durumdaki yapının karşılaştırılması hasarın büyüklüğünü ve yerel olarak tespitini mümkün kılmaktadır.

Mod şekilleri ve doğal frekanslar hasarın bulunması açısından yaygın olarak kullanılan dinamik parametrelerdir. Doğal frekansların yalnız başına kullanılması, yapının tek bir noktasında ölçülerek kolay bir şekilde bulunması açısından çekicidir. Salawu (1997) ve Bicanic ve Chen (1997) bu konuda araştırmalar yapmış fakat frekansların tek başına yapının dinamik davranışını yansıtmadığı görülmüştür. Bundan dolayı mod şekillerinin de kullanılması öngörülmüştür. Fakat mod şekillerindeki değişimlerin hesaba katılması, birçok yerde ölçülmesinin gerekliliği ve çevredeki titreşimlerden etkilenmeleri dolayısıyla daha zordur.

Pandey ve diğ. (1991) mod şekillerinin türevlerinden yararlanarak hasar belirleme çalışmaları yapmıştır. Bu türevlerin, küçük yer değiştirmelere karşı daha duyarlı olmalarına karşın, doğru bir şekilde hesaplanabilmeleri oldukça zordur. Ayrıca başka bir yaklaşım olarak Stubbs ve Kim (1996), Shi ve diğ. (2000) modal şekil değiştirme enerjisini kullanmışlardır.

Deneysel modal verilerle sayısal modal veriler arasındaki uyumu sağlayarak hasarın belirlenmesi genel olarak sonlu eleman modeli güncellemesi (SEMG) yöntemiyle mümkün olur. SEMG asıl olarak 1990'ların başlarında gelişmeye başlamıştır. Burada amaç hasarlı ve hasarsız durumdaki yapının doğal frekansları ve mod şekillerinin arasındaki farkın minimize edilerek elastisite modülü gibi malzeme özelliklerindeki veya rijitlikteki değişimin bulunmasıdır. Rijitlik ile modal parametreler arasındaki ilişki, rijitlikteki değişimin modal parametrelerde değişikliğe yol açmasına neden olur. Yapının elemanlarında, malzeme özelliğinin birbirinden bağımsız bir şekilde değişmesi hasarın yerel olarak yeterli bir şekilde saptanmasını kolaylaştırmıştır. Mottershead ve Friswell (1993), Imregun ve Visser (1991) bu konuda önemli çalışmalar yapmıştır. Sonlu eleman güncellemesinde aradığımız değişkenler genelde elastisite modülündeki yüzde olarak azalma miktarını temsil eden katsayılardır. Bu katsayılar sonlu eleman modelimizin hassaslığına bağlı olarak değişir. Her sonlu eleman için bir değişken kullanılır. Bu tezin kapsamında olduğu gibi genelde en küçük kareler problemi şeklinde tanımlanan uygunluk fonksiyonunun minimize edilmesiyle bu değişkenler bulunur. Hangi elemanın elastisite modülünde ne kadar azalma olduğu, hasarın yeri ve derecesini belirlememizi sağlar.

Sonlu eleman güncellemesinde farklı yaklaşımlar olarak Wei (1990) ve Heylen (1987) doğrudan yöntemler kullanmışlardır. Doğrudan yöntemler, rijitlik veya kütle matrisinin ya da her ikisinin eş zamanlı olarak güncellenmesi anlamına gelir. Friswell ve diğ. (1998) rijitlik ve viskoz sönüm matrisini aynı anda güncellemiştir.

Fakat bu yöntemin zorluğu kimi zaman sistem matrislerinin positif definite olmamaları ve elemanların birbirinden bağımsız değişerek hiçbir fiziksel anlam taşımamaları olmuştur. Buna rağmen doğrudan metodu birçok araştırmacı kullanmıştır. Ge ve Lui (2005) 10 parçaya bölünerek modellenmiş bir ankastre konsol kirişte hasar tespiti yaparken Kosmatka ve Ricles (1999) bir kafes sistemi güncelleyerek hasarı belirlemeye çalışmışlardır. Vestroni ve Capecchi (2000) ise basit bir kirişte doğrudan yöntemi kullanmıştır. Genel olarak etkili sonuçlar elde edilse de bu araştırmalar da basit yapılar kullanılmış ve hasar sınırlı tutulmuştur.

Son günlerde en çok kullanılan yöntem yukarıda anlatılan hassaslık tabanlı yöntemler olmuştur. Deneysel ve sayısal veriler arasındaki uyumsuzluğu temsil eden bir uygunluk fonksiyonunu minimize edecek değişkenlerin bulunması yapıdaki fiziksel hasarı tespit etmede daha başarılı olmuştur.

Sonlu eleman güncellemesinin önemli problemlerinden biride deneysel verilerin genelde yeterli olmamasıdır. Li ve Brown (1995), Nalitoela ve diğ. (1992) gibi araştırmacılar deneysel verileri arttırmak için yapıyı farklı şekillerde teste tabi tutmuşlardır. Bir başka yol olarak da değişken sayısını azaltmak için Fritzen ve Bohle (1999), Teughel ve diğ.(2002) hasar fonksiyonları kullanmışlardır.

Sonlu eleman güncellemesi birçok yapı çeşidine farklı optimizasyon teknikleri kullanılarak uygulanmıştır. Brownjohn ve Xia (2000) Singapur'daki asma köprü olarak tasarlanmış Safti Link köprüsünün dinamik davranışını deneysel verilerle betonun elastisite modülündeki değişimi doğrularak incelemişlerdir. Aynı şekilde Natke ve Cempel (1997) frekans ve mod şekillerindeki değişimlerden yararlanarak çelik bir köprüde hasar belirleme çalışmaları yapmışlardır. Doubling ve Farrar (1997) hasarın mod şekillerinde önemli bir değişiklik meydana getirip getirmediğini incelemişler ve hasar belirlemede mod şekillerinin kullanılması ve mod şekli vektörünü doğru bir şekilde oluşturmak için yapının birçok yerinde ölçüm yapılması gerektiğini tavsiye etmişlerdir. Yu ve diğ. (2006) ise Northridge depreminde hasar görmüş mevcut 5 katlı bir yapıda hassalık tabanlı sonlu eleman güncellemesi yöntemi ile hasar belirleme çalışması yapmışlardır. Çalışmalarında doğal frekans değişimlerini ve frekans tepki fonksiyonlarını kullanmışlardır.

Bir çok araştırmacı yerel ve global optimizasyon yöntemlerini kullanarak sonlu eleman güncellemesi yapmıştır. Global optimizasyon yöntemlerini kullanan araştırmacılardan Teughel (2003), üzerine tekil yük uygulanarak hasar verilmiş bir kirişi CLM optimizasyon algoritmasını kullanarak güncellemiş ve yeterli sonuçlar elde etmiştir. Bu tezin kapsamında da olan genetik algoritmaları kullanarak Perrera ve Torres (2006) 4 metre uzunluğundaki basit kirişte çeşitli hasar tiplerine göre hasar

belirleme çalışması yapmıştır. Çalışmalarında doğrudan yöntemi yararlanmışlar ve rijitlik matrisini güncellemişlerdir. Hao ve Xia (2002) hassaslık tabanlı güncelleme yönteminden yararlanmış ve genetik algoritmalar ile ankastre bir kiriş ve ahşap bir çerçevede hasar tespiti yapmışlardır. Çalışmalarında genetik algoritmalarda gerçek sayı kodlama tekniğini kullanmışlardır. Ayrıca uygunluk fonksiyonu için üç kriteri ayrı ayrı kullanmışlardır. Bu kriterler, sadece doğal frekans değişimleri, sadece mod şekli değişimleri ve her ikisinin aynı anda değişimleridir. Aynı şekilde Ratnam ve Rao (2003) basit bir kafes kirişte genetik algoritmalar ile hasar tespiti yapmıştır. Lu ve Tu (2005) ise hassaslık tabanlı sonlu eleman güncellemesi ile 6, 12 ve 24 katlı temsili bir yapıda genetik algoritmalar yardımıyla hasar tespiti yapmışlardır.

1.2 Sayısal Optimizasyon

Optimizasyon genel olarak bir şeyi daha iyi hale getirmek anlamındadır. Bir ürün imal ederken uzunluğu kısaltmak, ağırlığını azaltmak veya maliyetini minimuma düşürmek bir çeşit optimizasyondur. Matematiksel olarak ise bir fonksiyonu maksimize ya da minimize edecek değişkenleri bulmak olarak tanımlanabilir.

Sonlu eleman güncellemesinde, deneysel ve sayısal doğal frekans ve mod şekli farklarının yer aldığı en küçük kareler problemi şeklinde ifade edilen bir uygunluk fonksiyonunu minimize edilir. Bunun için sağlam ve güvenilir bir optimizasyon algoritması kullanılmalıdır.

Genel olarak optimizasyon teknikleri yerel ve global olmak üzere ikiye ayrılır. Yerel optimizasyon teknikleri, fonksiyonun bir noktasından başlar ve sonuca ulaşana kadar iteratif olarak devam eder. Genelde uygunluk fonksiyonunun türevlerini kullanırlar ve bu şekilde sonuca global optimizasyon yöntemlerine göre daha hızlı ulaşırlar. Rao (1996), Gill ve diğ.(1997) ve Nocedal ve Wright (1999)'ın eserlerinde yerel optimizasyon yöntemleri ile ilgili detaylı bilgiler bulunabilir. Yerel optimizasyon yöntemlerinin global minimumu bulmaları garanti değildir. Başlangıç değişkenlerine göre yerel minimuma takılma ihtimalleri yüksektir. Quasi-Newton, Lagrange methodu yerel optimizasyon yöntemlerinden birkaçıdır.

Genetik algoritmalar (Holland,1975) ve simule edilmiş tavlama (Kirkpatrick ve diğ. 1983) gibi global optimizasyon yöntemleri yerel optimizasyon yöntemlerine göre global minimumu bulma açısından daha sağlam yöntemlerdir. Bu yöntemlerde rastgele seçilen başlangıç değişkenlerinin sonuca etkisi çok azdır. GA'lar doğal evrim prensiplerine dayanır ve değişken gruplarını içeren bir popülasyon kullanır. Bu GA'ların fonksiyonun her noktasında minimumu aramasını sağlar ve global

minimumuna takılmasını önler. Simule edilmiş tavlama (SET) yöntemi ise muhtemel yerel minimumu içeren fonksiyon eğrilerinden uzaklaşır. Her iki yöntemin dezavantajı, türevsel bilgiyi kullanmamalarından dolayı sonuca ulaşmak için çok fazla sayıda iterasyon yapmalarıdır. GA ve SET yöntemi, Nanakorn ve Meesonklin (2001) gibi araştırmacıların da yaptığı gibi yapısal optimizasyonda sık sık kullanılmışlardır. Fakat son yıllarda GA ve SET yöntemi sonlu eleman güncellemesinde yapısal hasarı belirmemek için kullanılan yaygın bir yöntem olmuştur (He ve Hwang, 2006, Chou ve Ghaboussi ,2001).

1.3 Tezin Ana Teması

Sonlu eleman modeli güncellemesi yöntemiyle hasar tespiti, son zamanlarda üzerinde yoğun çalışmalar yapılan bir konu olmuştur. Gerek doğrudan yöntemler gerek hassalık tabanlı sonlu eleman modeli güncellemesi yöntemlerin de uygunluk fonksiyonunu minimize edecek sağlam bir optimizasyon algoritmasına gereksinim duyulur. Bunun için bir çok yerel ve global optimizasyon teknikleri kullanılmıştır.

Bu tezin amacı, global optimizasyon tekniklerinden genetik algoritmalar kullanılarak sonlu eleman modeli güncellemesi yöntemiyle hasar tespiti çalışması yapmaktır. Deneysel ve sayısal, doğal frekans ve mod şekillerinin arasındaki farkları içeren bir uygunluk fonksiyonu oluşturulmuş ve bu uygunluk fonksiyonu genetik algoritmalar ile minimize edilmiştir. Minimizasyon işlemi seçme, çaprazlama mutasyon gibi temel genetik algoritma işlemleri kullanılmıştır. Geniş bir çalışma konusu olan genetik algoritmaların performansı, üç farklı hasar senaryosuna göre incelenmiştir. Her bir senaryoda, popülasyon sayısı, çaprazlama ve mutasyon olasılıkları için farklı değerler kullanılmıştır. Bu değerler, en iyi sonucu elde etmek için deneme yanılma yöntemiyle belirlenmiştir. Bu tezin kapsamındaki genetik algoritmalarda, bu başlangıç değerleri için ideal bir kriter verilmemiş, sadece sonlu eleman yöntemine uygulanabilirliği ve performansı incelenmiştir.

Genetik algoritmalar kullanılarak sonlu eleman güncellemesi yöntemiyle hasar tespiti, basit bir kiriş üzerinde sayısal uygulamalarla pekiştirilmiştir. Sayısal uygulamalarda kullanılan kirişin deneysel modal verileri için deney yapılmamış yukarıda belirtildiği gibi hasar senaryolarına göre elde edilmiştir. Genetik algoritmaların performansını daha iyi incelemek için gerçek yapılarda yapılan ölçümlerle mevcut olan gürültü etkisi de hesaba katılmıştır. Farklı gürültü seviyelerine göre algoritmanın sağlamlığını değerlendirmek bu tezin amaçlarından biridir.

1.4 Tezin Organizasyonu

Bu tezin kapsamında, genetik algoritmaların sonlu eleman modeli güncellemesi tekniğiyle hasar tespitindeki performansı incelenmiştir. İlk olarak bir literatür taraması sunulmuş ve daha önce konu ile ilgili çalışmalardan bahsedilmiştir. Sonraki bölümlerde genetik algoritmalar ve sonlu eleman modeli güncellemesi teknikleri için genel teorik prosedür sunulmuştur. Konunun desteklenmesi amacıyla farklı hasar senaryoları geliştirilmiş ve sayısal uygulamalara yer verilmiştir. Tezin organizasyonu aşağıda verilmiştir.

Bölüm 1, sonlu eleman modeli güncellemesi ve genetik algoritmalarla ilgili daha önce yapılmış çalışmaları özetleyen bir referans kısmından ve bu tezin kapsamını da içeren bir giriş kısmından oluşmaktadır.

Bölüm 2, global optimizasyon yöntemlerine kısa bir giriş içermekte ve genetik algoritmalar için detaylı bir içerik sunmaktadır. Bu bölümde, temel genetik algoritma işlemcileri açıklanmış ve konuyu desteklemek amacıyla kısa örnekler verilmiştir. Bölümün sonunda genetik algoritmalar için birkaç pratik öneri sunulmuştur.

Bölüm 3, sonlu eleman modeli güncellemesinin teorik açıklamasını içermektedir. Sonlu eleman modeli güncellemesinin değişkenleri açıklanmış ve yakınsamadaki kriterlerden bahsedilmiştir.

Bölüm 4'te, basit bir kirişte üç hasar senaryosuna göre genetik algoritmalar kullanılarak sonlu eleman modeli güncellemesi tekniğiyle hasar tespiti yapılmış ve detaylı sayısal uygulamalar sunulmuştur.

Bölüm 5, elde edilen sonuçları özetleyen sonuçlar kısmını içermektedir.

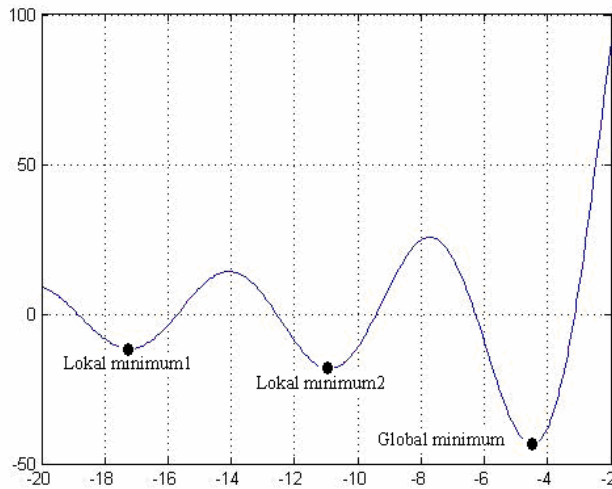
2. GLOBAL OPTİMİZASYON YÖNTEMLERİ

2.1 Giriş

Bir çok uygulamada fonksiyonun global minimumunun bulunması önemlidir. Ama genelde fonksiyonlar global minimumun yanında bir çok yerel minimuma sahip olabilir. Bundan dolayı bulduğumuz sonucun gerçekten aradığımız sonuç olduğundan emin olamayız. Global optimizasyon yöntemleri, yerel optimizasyon yöntemlerinin tersine herhangi bir fonksiyonun yerel minimumlarına takılmadan global minimumunu bulan yöntemlerdir.

Örnek olarak Denklem (2.1) deki fonksiyonu incelersek; “Şekil 2.1” de görüldüğü gibi fonksiyonun 2 tane yerel minimumu vardır. Burada amaç, fonksiyonun global minimum değerini veren $x = -4.5313$ değerini bulmaktır. Yerel optimizasyon yöntemleriyle genelde tatmin edici sonuçlar elde edilse de bu yöntemlerin, başlangıç noktasına bağlı olarak yerel minimuma takılma olasılıkları yüksektir. Global optimizasyon yöntemlerinde ise başlangıç değerlerinin seçiminin sonuca etkisi azdır.

$$f(x) = \frac{200 \times \sin(x)}{x} \quad -20 \leq x \leq -2 \quad (2.1)$$



Şekil 2.1: $f(x)$ fonksiyonunun grafik gösterimi

Genetik Algoritmalar ve Simule Edilmiş Tavlama gibi global optimizasyon yöntemlerinin en büyük dezavantajı; fonksiyonun gradyanına veya daha yüksek türevlerine ihtiyaç duymayan rastlantısal araştırma tekniği olmalarından dolayı çok fazla hesap hacmine gerek duymalarıdır. Bu iki teknikte doğal olgulardan yola çıkılarak bulunmuştur. Genetik algoritmalarda, doğanın evriminden; simule edilmiş tavlama yönteminde ise termodinamik soğuma işleminden esinlenilmiştir.

2.2 Genetik Algoritmalar

Genetik algoritmalar bilgisayar uygulamalarında yaygın olarak kullanılan global optimizasyon yöntemlerinden biridir. İlk defa John Holland (1975) tarafından bulunmuştur. Daha sonraları Goldberg (1989) gibi araştırmacılar genetik algoritmalar ile ilgili önemli çalışmalar yapmıştır. Doğal evrim ve en elverişli olanın hayatta kalması prensiplerine dayanır. Genetik algoritmalar literatürde de genelde evrimsel hesaplama (EC) tekniği olarak geçer (Spall, 2003). Burada EC doğal evrimin matematiksel benzetmesine dayanan bir rastgele araştırma ve optimizasyon anlamındadır. Toplum evriminin araştırılması, insan çevre etkileşimi, hükümet politikalarının etkisi ve endüstri gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Bu tezin odak noktası ise $f(\theta)$ $x_1, x_2, \dots, x_n \in \theta$ gibi bir fonksiyonun minimize edilmesi problemidir.

Genetik algoritmaları, diğer optimizasyon algoritmalarından ayıran en temel özellik “Örnek 2” ‘de görüldüğü gibi fonksiyonu minimize edecek değişkenleri içeren bir populasyon kullanmasıdır.

Örnek 2.1:

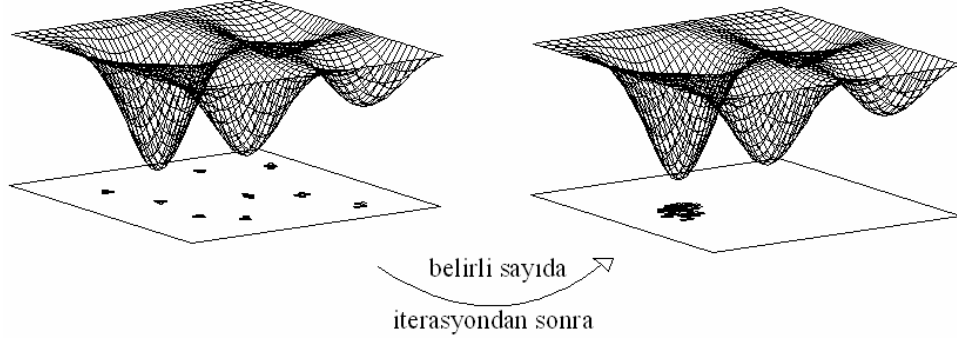
$$x_1, x_2, \dots, x_n \in \theta \quad f(\theta) = x_1 + x_2 + \dots x_n \text{ olmak üzere;}$$

$$\theta = [x_1, x_2, \dots, x_n] \longrightarrow \text{diğer optimizasyon algoritmaları}$$

$$\theta = \begin{bmatrix} x_1^i, x_2^i, \dots, x_n^i \\ x_1^{\prime\prime}, x_2^{\prime\prime}, \dots, x_n^{\prime\prime} \\ \vdots \\ x_1^{\prime\prime\prime}, x_2^{\prime\prime\prime}, \dots, x_n^{\prime\prime\prime} \end{bmatrix} \longrightarrow \text{Genetik algoritmalar}$$

Burada θ , problemin çözümünde kullanılacak potansiyel çözümlerin populasyonu, x^i lerden oluşan her değişken kümesi; kromozom, x değişkenlerinin herbiri ise gen olarak adlandırılır. Diğer yöntemler başlangıç olarak sadece bir populasyon üyesine

yani x değişkenler kümesine çeşitli değerler verir ve bu değerlere göre uygunluk değerini hesaplayarak yakınsaklığı kontrol eder. Genetik algoritmalar ise her bir kromozomun n tane genine çeşitli başlangıç değerleri atar, popülasyondaki kromozom sayısı (N) kadar uygunluk değeri elde eder ve içlerinden en elverişli olanı seçer. Algoritma başarılı ise “Şekil 2.2”de görüldüğü gibi bütün uygunluk değerleri global minimumda kümelenir.



Şekil 2.2: Uygunluk değerlerinin global minimumda kümelenmesi

Genetik algoritmaların böyle bir popülasyon kullanması; yerel minimuma takılmasını engellediğinden dolayı karmaşık ve doğrusal olmayan problemlerde avantaj sağlar. Ayrıca genetik algoritmalar, gradient tabanlı geleneksel optimizasyon yöntemlerinden farklı olarak fonksiyonun türevlerine ihtiyaç duymaz. Bu da fonksiyonu türetilemeyen problemlerde de uygulanmasını mümkün kılar. Genetik algoritmaların bir diğer özelliği ise değişkenleri 0 ve 1’lerde oluşan sayılar şeklinde kodlamasıdır. Genetik algoritmalar ayrıca deterministik değil rastlantısal bir optimizasyon tekniğidir.

Genetik algoritmaların genel olarak işlem sırasını incelersek;

1. Başlatma; popülasyon büyüklüğü ve popülasyonun her bir elemanı için çeşitli başlangıç değerleri seçilir ve her popülasyon üyesi (kromozom) için kodlama işlemi yapılır.
2. Karıştırma; her popülasyon üyesi popülasyon içersinde birbirleriyle karıştırılır ve yeni popülasyon elde edilir.
3. Hesaplama ve algoritmayı durdurma; her popülasyon üyesinin (değişkenler kümesi) değerleri için fonksiyon değerleri (uygunluk değerleri) hesaplanır. Bu uygunluk değerleri içinde en uygun olanı seçilir ve yakınsaması kontrol edilir. Yakınsama yeterliyse algoritma durdurulur. Eğer yeterli değilse 2. adıma dönülür. Genelde genetik algoritmalar rastlantısal araştırma tekniği olduğundan istenilen

yakınsaklığın sağlanamaması olasılığına karşı belirli sayıda iterasyondan sonra algoritma durdurulur.

2.2.1 Kodlama

Genetik algoritmalarda önemli bir işlemde değişkenlerin yani genlerin kodlanması ve tekrar deşifre edilmesidir. Bütün genetik algoritma işlemleri (çaprazlama, mutasyon,..) bu kodlanmış değişkenler üstünde yapılır. Genelde kodlama işlemi bit zincirleri yani değişkenlerin (0,1) şeklinde ifade edilmesidir. Bunun için birçok kodlama tekniği geliştirilmiştir.

2.2.1.1 Standart bit kodlama

Standart bit kodlama birçok nedenden dolayı en çok kullanılan kodlama tekniklerinden biridir. Genetik algoritma işlemlerine uygunluğu ve ilk kullanılan yöntem olması bu sebeplerden birkaçı olabilir.

Genel olarak standart bit kodlama işlemi;

1. θ değişken kümesi, θ_{\max} ve θ_{\min} değişkenin alabileceği max. ve min. sayı değeri, $\theta_{\min} \leq \theta \leq \theta_{\max}$ ve b; bit sayısı, m; virgülden sonraki basamak sayısı olmak üzere (2.2) formülü ile her bir genin yani değişkenin en fazla kaç tane 0 ve 1'den oluşacağı yani maksimum bit sayısı belirlenir.

$$10^m(\theta_{\max} - \theta_{\min}) \leq 2^0 + 2^1 + 2^2 + \dots + 2^{b-1} = 2^b - 1 \quad 2.2$$

2. (2.3) eşitliği ile bir d sayısı belirlenir. d sayısı (2.4) eşitliğinde yerine konur. (2.4) eşitliği sağlanıyorsa değişkenin bit ifadesinde ilk hane 1, sağlanmıyorsa 0 olur. Buna göre bütün hanelerin 0 veya 1 olmasına karar verilir.

$$d = \frac{(\theta_{\max} - \theta_{\min})}{(2^b - 1)} \quad 2.3$$

$$\frac{\text{round}[(\theta - \theta_{\min})/d]}{2^{i-1}} \geq 1 \quad i=b, b-1, b-2, \dots, 1 \quad 2.4$$

Deşifre işlemi;

a 'lar 0 ve 1'lerden oluşan sayılar olmak üzere $[a_1, a_2, a_3, \dots, a_n]$ şeklindeki bit zincirinden oluşan kodlanmış değişkenlerimiz (2.5) formülü ile tekrar gerçek sayıya döndürülür.

$$\theta = \theta_{\min} + \frac{\theta_{\max} - \theta_{\min}}{2^b - 1} \sum_{i=1}^b a_i 2^{b-i} \quad 2.5$$

örnek 2.2:

$$\theta = [t_1] = [-2.31] \quad -4 \leq t_1 \leq 10 \quad m=2 \quad \text{olsun;}$$

$$t_1 \text{ için (2.2) eşitliği ile } 2^{11} - 1 \geq 10^2(10 - (-4)) \longrightarrow 2047 \geq 1400 \quad b_{\max}=11 \text{ olur.}$$

$$(2.3) \text{ eşitliği ile } d = \frac{(10 - (-4))}{2^{11} - 1} = 0.00684$$

$$i=11 \text{ için } \frac{\text{round}(10 - (-4)/0.00684)}{2^{11-1}} = 0.241 \leq 1 \quad \text{burada } a_1 = 0 \text{ olur}$$

$$i=10 \text{ için } \frac{\text{round}(10 - (-4)/0.00684)}{2^{10-1}} = 0.482 \leq 1 \quad \text{burada } a_2 = 0 \text{ devam edersek;}$$

$$b = [a_1, a_2, \dots, a_{11}] \longrightarrow b = [00011110111] \quad \text{şeklinde kodlanabilir.}$$

Deşifre işlemi ise (2.5) formülü yardımıyla;

$$\theta = -4 + \frac{10 - (-4)}{2^{11} - 1} \times (2^0 + 2^1 + 2^2 + 2^4 + 2^5 + 2^6 + 2^7) = -2.31$$

2.2.1.2 Gray kodlama

Gray kodlama yönteminde de değişkenler standart bit kodlamadaki gibi 1 ve 0'lardan oluşan sayı zinciri şeklinde kodlamaktadır. Bu yöntemde farklı olarak sayı zincirinin dizilimi farklıdır. Bu da gray kodlama yönteminde avantaj olarak işlem hacminde azalma sağlar."Tablo 2.1" de görüldüğü gibi birbiri ardına gelen sayıların kodlanmış halleri incelendiğinde, Gray kodlama yönteminde bir tam sayıdan diğerine geçmek için 1 hane değişirken standart bit kodlama yönteminde genelde 2 veya 3 hanenin değişmesi gerekiyor. Bu da standart bit kodlama da daha fazla işlem hacmi gerektirir.

Tablo 2.1: Standart bit kodlama ve gray kodlama yöntemlerinin karşılaştırılması

tamsayı	Standart bit kodlama	Gray kodlama
6	0110	0101
7	0111	0100
8	1000	1100
9	1001	1101

2.2.1.3 Gerçek sayı kodlama

Bu yöntemde sayılar adından da anlaşılacağı gibi kodlama işlemine girmez, oldukları gibi kullanılırlar. Sayıların kodlama işlemine girmeden kullanılmalarının avantajları vardır. Değişkenlerin kodlanmaması algoritmanın işlem hacminde azalma sağlar ve uygulamaları kolaylaştırır. Örnek 2.3 te iki kromozomu olan bir populasyonun gerçek sayı ve değişkenleri 5 bit ile kodlanmış halleri gösterilmektedir.

Örnek 2.3: Gerçek sayı ve bit kodlama

$$\theta = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & x_3 & x_4 \\ x_1 & x_2 & x_3 & x_4 \end{bmatrix} \text{ olmak üzere}$$

$$\theta = \begin{bmatrix} 21 & 3 & 12 & 23 \\ 5 & 9 & 11 & 17 \end{bmatrix} \longrightarrow \text{gerçek sayı}$$

$$\theta = \begin{bmatrix} 10110|00011|01100|11000 \\ 00101|01001|01011|10010 \end{bmatrix} \longrightarrow \text{bit kodlama}$$

2.2.2 Seçme ve Elitizm

Genetik algoritmalarda her populasyon üyesindeki değişkenlere rastgele başlangıç değerleri verildikten sonra fonksiyon değerleri yani uygunluk değerleri hesaplanır. Bu uygunluk değerlerine göre populasyon üyeleri yeni ve daha uygun bir populasyon oluşturmak için genetik algoritma işlemlerine girmeden önce birbirleriyle bir çift oluşturacak şekilde eşlenirler. Rulet tekerleği seçme yöntemi, turnuva seçme yöntemi en çok kullanılan seçme yöntemleridir.

Elitizm ise belirli sayıdaki en uygun kromozomun yani populasyon üyesinin bir sonraki populasyona hiç değişmeden aktarılmasıdır. Bundaki amaç, genetik algoritmaların rastgele araştırma tekniği olmasından dolayı oluşabilecek yeni populasyon eskisine göre daha elverişsiz değerler içerebilir. Bundan dolayı bir önceki populasyonun en uygun değerleri populasyonun verimliliğini korumak için değişmeden aktarılırlar. Bu yöntem ilk defa De Jong (1975) tarafından bulunmuştur. Elitizm ve seçme her iterasyon için yapılır.

2.2.2.1 Rulet tekerleği seçme yöntemi

Bu seçme yönteminde her kromozomun uygunluk değeriyle orantılı seçilme şansına sahiptir.

Genel işlem sırası;

1. Bütün populasyon üyelerinin uygunluk değerlerinin toplamı (S_j) ve kümülatif toplamı bulunur.
2. $[0, S_j]$ aralığında yayılmış uygunluk değeri sayısı kadar rastgele sayılar seçilir.
3. Kümülatif toplamı bu rastgele sayılardan büyük olan ilk kromozom seçilir. Populasyon üyesi sayısı kadar bu işlem tekrarlanır ve yan yana olanlar eşlenir.

Örnek 2.4: Rulet tekerleği seçme yöntemi

Bu örneği bir fonksiyonu maksimize etme problemi olduğunu farz edersek uygunluk değeri büyük olan kromozomlar daha uygun kromozomdur. “Tablo 2.3” de görüldüğü gibi uygunluk değeri yüksek olan 6 nolu kromozom yöntemin amacına uygun olarak 2 defa seçilmiştir. Burada kromozomlar 3-9, 5-10, 8-6, 6-4 olmak üzere eşleştirilirler.

Tablo 2.2: Örnek kromozomlar ve uygunluk değerleri N=10

kromozom	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Uygunluk değeri	0.10	0.20	0.05	0.45	0.25	1.00	0.10	0.80	0.05	0.5
Kümülatif toplam	0.10	0.30	0.35	0.80	1.05	2.05	2.15	2.95	3.00	3.5

Tablo 2.3: Rastgele sayılar ve seçilen kromozomlar

Rastgele sayı	0.34	2.96	0.86	3.38	2.27	1.33	1.72	0.36
Seçilen kromozom	3	9	5	10	8	6	6	4

2.2.2.2 Turnuva seçme yöntemi

Bu tezin kapsamındaki yöntem olan turnuva seçme yöntemi, rastgele seçilmiş bir çift kromozom uygunluk değerlerine göre birbirleriyle karşılaştırılır. Problemin amacına göre; örneğin problemimiz minimizasyon problemi ise uygunluk değeri küçük olan birinci eş olarak seçilir. Daha sonra rastgele bir çift kromozom daha seçilir, uygunluk değerleri karşılaştırılır ve küçük olan seçilir. Sonuçta uygunluk değeri diğerlerine göre daha küçük olan kromozomlar birbirleriyle eşleştirilir.

2.2.3 Çaprazlama

Çaprazlama, seçme işlemiyle eşlenmiş iki populasyon üyesinin değişkenlerinin birbirleriyle yer değiştirme veya karıştırılma işlemidir. P_c , kromozomların birbirlerine çaprazlanıp çaprazlanmayacağını olasılığıdır. Çaprazlama işlemine girmeyen kromozomlar yeni populasyonda değişmeden yerlerini alırlar. Çaprazlama işlemine girenler ise “Şekil 2.3” de görüldüğü gibi belirli bir noktadan sonraki değişkenleri yer değiştirir. “Şekil 2.3(a)” da tek noktalı çaprazlamada tek bir nokta belirlenir ve bu noktadan sonraki değişkenler birbirlerinin yerini alır. “Şekil 2.3(b)” deki çok noktalı çaprazlamada ise iki adet çaprazlama noktası belirlenir ve arada kalan değişkenler yer değiştirir. Unutulmamalıdır ki, çaprazlama işlemi sonunda yeni değişkenler oluşmaz sadece mevcut değişkenler, populasyon üyeleri arasında yer değiştirir.

$$\begin{array}{ccc} \text{Eşler} & & \text{çocuklar} \\ (a) \quad \begin{array}{l} 101|100101 \\ 001|011010 \end{array} & \longrightarrow & \begin{array}{l} 101|011010 \\ 001|100101 \end{array} \\ (b) \quad \begin{array}{l} 1|01100|101 \\ 0|01011|010 \end{array} & \longrightarrow & \begin{array}{l} 1|01011|101 \\ 0|01100|010 \end{array} \end{array}$$

Şekil 2.3: Tek noktalı ve çok noktalı çaprazlama

Tek noktalı çaprazlama uzun bit zincirine sahip kromozomlarda çok kullanışlı olmayabilir. Bunun nedeni, tek noktalı çaprazlamada çok çeşitli kombinasyonlar oluşturmanın mümkün olmamasıdır. Örneğin 11*****1 birinci eş, ****11** ikinci eş olsun, tek noktalı çaprazlama ile 11**11*1 gibi yeni bir kromozom elde edemeyiz. Bu da daha elverişli değerler verebilme ihtimali yüksek olan değişkenlerin uygun kromozomda bulunma ihtimalini azaltabilir. Bununla birlikte iki noktalı çaprazlamada yeterli kombinasyonlar oluşturmayabilir. Bunun için çaprazlama noktası sayısı için araştırmacılar bit zincirinin uzunluğuna bağlı bir fonksiyon kullanılmasına önermişlerdir fakat bu tartışmaya açık bir konu olarak kalmıştır.

Çaprazlama işlemi ayrıca kodlanmamış haldeki yani gerçek sayılardan oluşan kromozomlarda da kullanılabilir. Örnek olarak $[2.1, -7.4, 4.0, 3.9 | 6.2, -1.5]$ ve $[-3.8, 3.3, 9.2, -0.6 | 8.4, -5.1]$ eşler olmak üzere tek noktalı çaprazlamalarından $[2.1, -7.4, 4.0, 3.9, 8.4, -5.1]$ ve $[-3.8, 3.3, 9.2, -0.6, 6.2, -1.5]$ elde edilebilir.

2.2.4 Mutasyon

Genetik algoritmalarda çaprazlama işlemi yeni değişkenler oluşturmadığından dolayı yeterli yakınsaklığı sağlamada yeterli olmayabilir. Bunun için mutasyon işlemine başvurulur. Bit kodlama tekniği ile kodlanan populasyon üyelerinde bu işlem genelde “Şekil 2.4” de görüldüğü gibi 1’in 0’ a veya 0’ın 1’e dönüşmesi şeklinde olur.

$$10|1|011010 \longrightarrow 10|0|011010$$

Şekil 2.4: Mutasyon işlemi

P_m mutasyon işleminin gerçekleşme olasılığıdır. Genelde mutasyon 0.01-0.0001 aralığında düşük olasılıklarda meydana gelir. Bunun nedeni çaprazlama işleminden gelen uygun değişkenleri bozmamaktır. Mutasyon işleminin en önemli özelliklerinden biri, çaprazlama işleminin tersine populasyona yeni değişkenler kazandırmak ve bu sayede yerel minimuma takılmayı önlemektir.

2.2.5 Genetik Algoritmaların Temel İşlem Sırası

Genetik algoritmaların birçok çeşidi olduğundan tek bir standart formundan bahsetmek mümkün değildir. Bununla birlikte bu bölümde sunulan temel işlem sırası birçok uygulamada kullanılan işlem sırasındır.

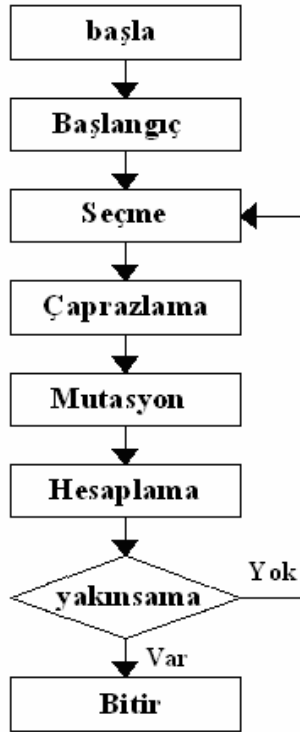
Başlatma: rastgele değişkenlerden oluşan N sayıda kromozom içeren bir başlangıç popülasyonu oluşturulur. Her kromozom için uygunluk değerleri hesaplanır.

Seçme: N_e elit kromozom sayısı olmak üzere, $N-N_e$ tane kromozom birbirleriyle çift olarak eşlenirler. Kromozomlar uygunluk değerlerine göre eşlenirler.

Çaprazlama: seçme işlemiyle eşlenmiş kromozomlar P_c çaprazlama olasılığına göre tek veya çok noktalı olmak üzere çaprazlama noktalarına göre çaprazlanırlar. Çaprazlama işlemine girmeyen kromozomlar bir sonraki popülasyona olduğu gibi girerler.

Mutasyon: kromozomlar P_m olasılığıyla mutasyona uğrarlar.

Hesaplama: elit kromozomlar popülasyona yerleştirilir ve her kromozom için uygunluk değerleri hesaplanır. Eğer istenilen yakınsaklık sağlanıyorsa program durdurulur. Sağlanmıyorsa seçme işlemine dönülür ve aynı işlemlere devam edilir.



Şekil 2.5: Temel GA işlemleri için akış diyagramı

2.2.6 GA'lar İçin Pratik Öneriler ve Geliştirme

Genetik algoritmaların “Şekil 2.5” de tanımlanan temel adımları bazı problemlerde yetersiz kalabilir. Bunun için GA'lar problem çeşitlerine göre özelleştirilebilirler.

GA'larda başlangıç popülasyonun seçimi diğer algoritmaların tersine sonuca çok fazla etki etmemesine rağmen bir çok etkenin seçimi genetik algoritmaların performansını oldukça etkiler. Bu etkenler, P_m , P_c gibi olasılıklar, popülasyon sayısı N , kodlama tekniği, seçme yöntemi, elit kromozom sayısı veya çaprazlama noktasının yeri olabilir. Bütün bu değerlerin seçimi için araştırmacılar arasında bir fikir birliğine varılmış değildir. Bununla birlikte popülasyon sayısı, P_m ve P_c olasılıkları için sırasıyla $20 \leq N \leq 100$, $0.60 \leq P_c \leq 0.95$, $0.001 \leq P_m \leq 0.01$ değerleri önerilmiştir.

Türevsel büyüklüğü kullanılmamalarından dolayı GA'lar yerel optimizasyon yöntemlerine göre daha yavaş optimizasyon teknikleridir. Bundan dolayı GA'ların yerel optimizasyon yöntemleriyle beraber kullanılmaları önerilmiştir. Michalewicz (1996) mutasyon işleminin geliştirilmesi için öneriler sunarken bazı araştırmacılar GA'ların önemli derecede işlem yaptıktan sonra durdurulup sonuçlarının herhangi bir yerel optimizasyon yönteminde başlangıç değerleri olarak kullanılması tavsiye etmişlerdir.

3. SONLU ELEMAN MODELİ GÜNCELLEMESİ

3.1 Giriş

Sonlu elemanlar yöntemi inşaat mühendisliği yapılarının analizinde ve tasarımında yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Özellikle yapıların dinamik davranışını tahmin etmede ve hesaplamada kullanılır. Güvenilir tahminler yapmak için uygun ve elverişli bir sonlu eleman modeline gereksinim duyarız. Ama mevcut yapıların sonlu elemanlar yöntemiyle analizinde, malzeme özellikleri, bağlantı tipleri, sınır şartları gibi yapısal olarak birçok bilinmeyenle karşılaşırız. Bu gibi sorunlar gerçekçi bir sonlu eleman modeli oluşturmamıza engel teşkil edebilir.

Sonlu eleman modelinde bu sorunlardan dolayı bazı düzeltmeler yapmamız gerekir. Bu düzeltmeler, yapının analitik modelinden elde edilmiş frekanslar, mod şekilleri gibi dinamik verileri ile deneylerde elde edilmiş dinamik verilerinin birbiriyle örtüşmesini sağlayan bir sonlu eleman metodu güncellemesi yöntemiyle yapılabilir. Genellikle yapının dinamik davranışıyla ilgili deneysel veriler, belirli bir hata payı içermelerine rağmen, sonlu eleman modeline göre daha iyi sonuçlar verirler. Sonlu eleman modeli güncellemesi yöntemi, sonlu eleman modelinin bu sayısal ve dinamik karakteristiklerinin birbirine uyumlu hale getirilmesi prensiplerine dayanır.

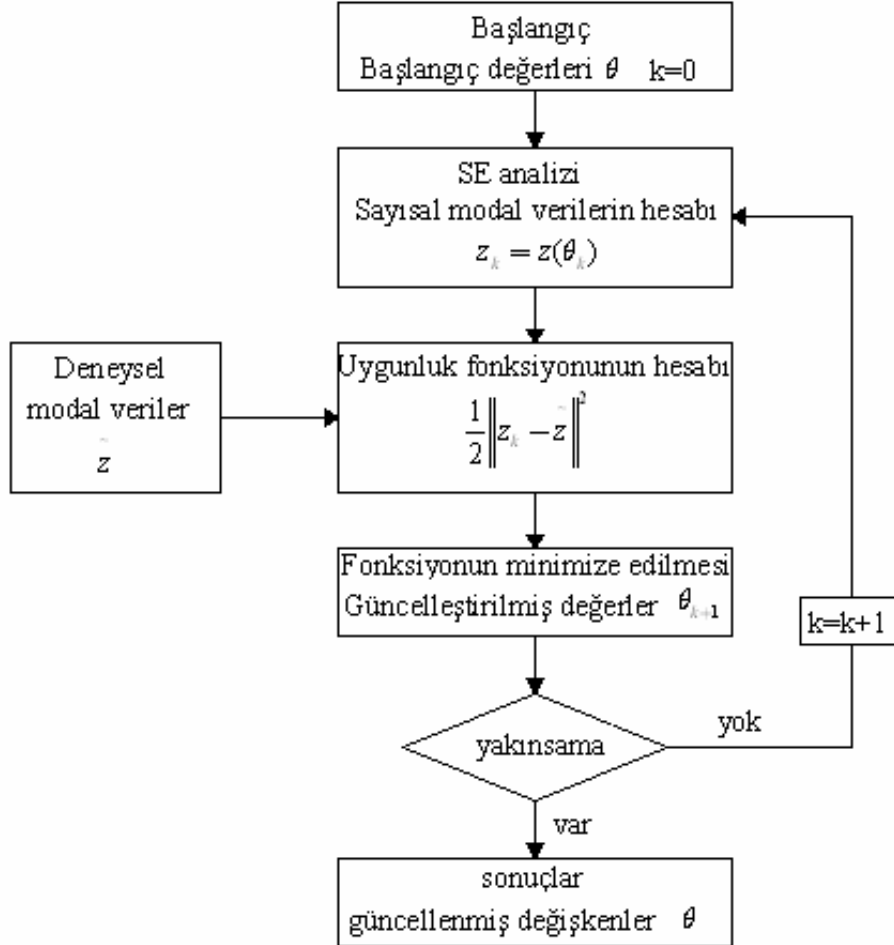
Güncellenmiş bir sonlu eleman modelinin başka analizlerde kullanılmasına kıyasla, sonlu eleman modeli güncellemesi yaygın olarak bir parametre tanımlaması tekniği olarak kullanılır. Bu bilinmeyen fiziksel parametreler, sayısal sonlu eleman modelinin ölçülen deneysel verilerle uyumunun sağlanmasıyla bulunur. Bundan dolayı sonlu eleman modeli güncellemesi mekanikte kullanılan bir çeşit ters modelleme tekniğidir. Burada ters modellemenin anlamı deneylerden elde edilmiş verilerin sayısal bilgiye dönüştürülmesi ve deneylerden ölçülen değerler ile analitik olarak hesaplanan değerlerin arasındaki uyumsuzluğun, tanımlanması gereken bu bilinmeyen parametrelere göre minimize edilmesidir. Bu yöntem özellikle yapısal hasarı belirlemede kullanılır. Burada hasar, rijitlikteki azalma ve tanımlanması gereken parametreler ise sonlu eleman modelindeki elemanların rijitlik azaltma çarpanlarıdır.

Bu bölümde sonlu eleman modeli güncellemesi prosedürü sunulmuştur. Bu prosedür, uygunluk fonksiyonu, sayısal ve deneysel modal verilerin arasındaki farkın bir

ölçüsü olan optimizasyon problemine dayanır. İlk olarak uygunluk fonksiyonu açıklanmıştır. Artık vektörü frekans ve mod şekillerinin farkları olan en küçük kareler probleminin tanımı yapılmıştır. Daha sonra optimizasyon probleminin değişkenleri tartışılmıştır. Optimizasyon algoritması olarak genetik algoritmalar kullanılmıştır.

3.2 Sonlu Eleman Güncellemesinin Teorik Açıklaması

Sonlu eleman güncellemesinin temel basamakları “Şekil 3.1”de verilmiştir. Başlangıç olarak sonlu eleman modelinde bilinmeyen değişkenler (θ) için tahmini başlangıç değerleri atanır. Bu değerlerle sonlu eleman analizi yapılarak mod şekilleri ve frekanslar hesaplanır.



Şekil 3.1: Sonlu eleman güncellemesi için akış diyagramı

Deneyisel modal veriler, deneylerden elde edilir. Bu çalışmada sonlu eleman modelindeki kirişin çeşitli noktalarında hasar olduğu farz edilerek çeşitli hasar senaryoları kullanılmıştır. Deneyisel ve sayısal modal veriler kullanılarak uygunluk fonksiyonu oluşturulur. Bu uygunluk fonksiyonu yerel veya global optimizasyon algoritmalarından biri kullanılarak minimize edilir. Bu çalışmada genetik algoritmalar kullanılmıştır. Minimizasyona yeterli yakınsama sağlanana kadar devam edilir veya optimizasyon algoritmasının yapısına uygun olarak belirli bir iterasyondan sonra algoritma durdurulur ve güncellenmiş değişkenler elde edilir.

3.2.1 Uygunluk fonksiyonu

Sonlu eleman güncellemesinin tatbiki için Zang ve diğ. (2000), Brownjohn ve Xia (2000), Mottershead ve Friswell (1993) gibi birçok araştırmacı en küçük kareler probleminin çözümünü önermişlerdir. Burada uygunluk fonksiyonu Denklem (3.1) de görüldüğü gibi sıradan bir en küçük kareler problemi şeklinde formülize edilebilir. Bunun dışında farklı yaklaşımlar olsa da en küçük kareler etkili bir yaklaşım olmuş ve genel olarak kullanılan yöntem olarak kabul edilmiştir.

$$f(\theta) = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^m [z_j(\theta) - z_j]^2 = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^m r_j(\theta)^2 \quad (3.1)$$

Denklem (3.1) de $z_j(\theta)$ sayısal modal girdileri ya da başka deyişle güncelleştirilen modal girdileri, z_j ise deneylerden elde edilen modal verileri temsil etmektedir. Burada ağırlıklı en küçük kareler yöntemi de dikkate alınabilir. Artık vektörü bileşenlerinin birbirlerine göre önemlerini ve kesinliklerini dikkate alabilmek için bir ağırlık matrisiyle yada katsayısıyla çarpılabilir. Genelde deneylerden elde edilen mod şekillerinde hata payı frekanslara göre büyüktür ve mod şekillerinin Denklem (3.2) deki özelleştirilmiş uygunluk fonksiyonuna katkısı belirli bir ağırlıkta alınabilir.

$$f(a) = \frac{1}{2} \|r(a)\|^2 = \frac{1}{2} \left\| \begin{matrix} r_f(a) \\ r_s(a) \end{matrix} \right\|^2 \quad (3.2)$$

Denklem (3.2) deki $r_f(a)$, Denklem (3.3) de görüldüğü gibi güncellenmiş frekansların karesi ile hasarlı durumdaki frekansların karesinin farkının hasarlı durumdaki frekanslarının karesine oranı, $r_s(a)$ ise Denklem (3.4) de gösterildiği gibi güncellenmiş mod şekilleri ile hasarlı durumdaki mod şekilleri arasındaki farkı

temsil eder. Sayısal ve deneysel mod şekillerinin aynı ağırlıkta kalabilmeleri için maksimum deplasmana bölünerek normalleştirilirler.(Friswell ve diğ., 1998)

$$r_f(a) = \frac{\lambda_j(a)^2 - \lambda_j^2}{\lambda_j^2} \quad j = 1, 2, \dots, m_f \quad (3.3)$$

$$r_s(a) = \frac{\phi_j^l(a)}{\phi_j^r(a)} - \frac{\phi_j^l}{\phi_j^r} \quad j = 1, 2, \dots, m_s \quad (3.4)$$

Denklem (3.3) de m_f güncelleme işleminde kullanılacak frekans sayısını belirtir. Bütün frekansların aynı ölçüde katkı sağlaması için göreceli farkları alınmıştır. Aksi takdirde frekanslar büyüdükçe farkları da o ölçüde büyür ve her frekans uygunluk fonksiyonuna aynı ağırlıkta katkı sağlamazdı.

Uygunluk fonksiyonunda frekansların kullanılmasının önemli sebeplerinden biri de sistemin rijitlik matrisi ile ilgili elemanlarındandır. Ayrıca frekanslar deneysel olarak neredeyse kesin bir şekilde ölçülebilir. Bundan dolayı frekanslar güncelleme işlemi için vazgeçilmez karakteristiklerdir ve optimizasyon probleminin şartları açısından kullanılmalarda yarar vardır.

Frekanslar yapının dinamik davranışı hakkında değerli bilgiler sunsalar da yapının dinamik davranışı tam olarak tanımlamaya yardımcı olamazlar. Bunun için uygunluk fonksiyonu, Denklem (3.4) tanımlanan mod şekillerinin katkısıyla güçlendirilir. Ama mod şekilleri ölçülmesi daha zor olan büyüklüklerdir ve deneysel olarak sadece yatay ve dikey yönde ölçülmeleri mümkündür. Ayrıca ölçüm esnasında binanın doğal titreşimleri dışında rüzgar ve trafik gibi çevre titreşimlerinde frekanslara göre daha çok etkilenirler.

3.2.2 Sonlu Eleman Güncellemesinde Değişkenler

Sonlu eleman modeli güncellemesinde, hasarın varlığı sistem rijitlik matrislerindeki azalmayla ifade edilir. Sonlu eleman modelindeki her elemanın elastisite modülü ve ya atalet momenti gibi fiziksel büyüklükleri (başka bir deyişle rijitliği) hasar boyutuna göre düzeltme katsayılarıyla düzeltilir. Sonlu eleman güncellemesinin değişkenleri bu düzeltme katsayılarıdır. Bu katsayılar uygunluk fonksiyonunun minimize edilmesiyle bulunur ve böylece hasarın büyüklüğü ve yeri belirlenebilir. Denklem (3.5) de düzeltme katsayıları boyutsuz olarak tanımlanmıştır.

$$a_x = -\frac{X - X_{ref}}{X_{ref}} \quad (3.5)$$

Bu denklemde a_x düzeltme katsayıları, X_{ref} referans (başlangıç) fiziksel büyüklükler, X ise güncellenen fiziksel büyüklüklerdir. Aynı şekilde güncellenmiş X fiziksel büyüklüğünün değeri Denklem (3.6) ile bulunur.

$$X = X_{ref}(1 - a_x) \quad (3.6)$$

Sonlu eleman güncelleme yönteminde sistem matrisindeki her eleman güncelleme için aday bir büyüklüktür. İnşaat mühendisliği uygulamalarında yapı hasarlı durumdayken kütle matrisinin özelliklerinin değişmediği kabul edildiğinden, elastisite modülü gibi rijitlik matrisinin elemanlarında düzeltme yapılır böylece Denklem (3.7) elde edilir.

$$E = E_{ref}(1 - a_x) \quad (3.7)$$

Burada E_{ref} ve E sırasıyla başlangıç ve güncellenmiş durumdaki elastisite modüllerini temsil eder.

3.2.3 Modal Uygunluk Kriteri

Yaygın olarak kullanılan modal uygunluk kriteri (MAC) Ewins (1984) tarafından ortaya atılmıştır. Denklem (3.8) ile tanımlanan MAC, deneysel modal verilerle sayısal modal veriler arasında uygunluğu ifade eder.

$$MAC([\phi_i^D], [\phi_j^S]) = \frac{|[\phi_i^D]^T [\phi_j^S]|^2}{([\phi_i^D]^T [\phi_i^D])([\phi_j^S]^T [\phi_j^S])} \quad (3.8)$$

Denklem (3.8)'de $[\phi_i^D]$ i 'inci deneysel modu $[\phi_j^S]$ ise j 'inci sayısal modu ifade etmektedir. Eğer deneysel ve sayısal (güncellenen) mod şekilleri birbirine tam olarak eşitse, MAC 1 değerini alır. Eğer sayısal ve deneysel mod şekillerini bireysel olarak değil de bir bütün olarak hesaplanırsa ortaya Denklem (3.9) da tanımlanan Gao ve Spencer (2002) tarafından ortaya atılan toplam modal uygunluk kriteri (TMAC) ifadesi çıkar.

$$TMAC = \prod_{i=1}^m MAC([\phi_i^D], [\phi_i^S]) \quad (3.9)$$

TMAC ifadesi, Denklem (3.2) ile tanımlanan uygunluk fonksiyonundaki $r_s(a)$ 'nın yerine kullanılabilir. Bu şekilde daha elverişli bir uygunluk fonksiyonu tanımlanabilir. Fakat TMAC düzgün yayılı hasarın olduğu yapılarda geçerli olmaz. Çünkü her elemanda eşit miktarda hasar olursa, hasarlı ve hasarsız durumlardaki mod şekilleri aynı olur. Maia ve diğ. (1997) tarafından farklı uygunluk kriterleri de tanımlanmıştır.

MAC ve TMAC ifadelerinde sadece mod katkıları gözetilir. Bu ifadelerin içine frekansları dahil edersek (3.10) daki gibi bir ifade elde edebiliriz.

$$MTMAC = \prod_{i=1}^m \frac{MAC([\phi_i^D], [\phi_i^S])}{\left(1 + \left| \frac{\lambda_i^S - \lambda_i^D}{\lambda_i^S + \lambda_i^D} \right| \right)} \quad (3.10)$$

Denklem (3.10) da λ_i^S ve λ_i^D sırasıyla sayısal ve deneysel frekansların karesini ifade eder. MTMAC 0 ile 1 arasında değişir. MTMAC 'ı kullanarak Denklem (3.11) deki gibi bir uygunluk fonksiyonu tanımlayabiliriz (Perera ve Torres, 2006).

$$F = 1 - MTMAC \quad (3.11)$$

3.2.4 Gürültü Etkisi

Genelde bir yapının deneysel olarak ölçülen modal verilerinin içinde yapının doğal titreşimlerinin yanı sıra rüzgar veya yağmur gibi çevrede titreşim yaratan etkiler de bulunur. Bunun yanında dinamik kapasitesi düşük olan aletlerle yapılan ölçümlerde de gürültü oranı yüksektir. Bu etkilerin de içinde bulunduğu verilere gürültülü veriler denir.

Uygulamada modal veriler genelde gürültülüdür ve algoritmanın sağlamlığını test etmek amacıyla gürültünün de hesaba katılması gereklidir. Tezin kapsamındaki hasarlı durumdaki kirişin modal verilerine Denklem (3.12) ve (3.13) de tanımlanan biçimde belirli oranda rastgele sayılar ekleyerek gürültüyü hesaba katmalıyız.

$$\phi_{ij}^k = \phi_{ij} + n\xi \quad (3.12)$$

$$\lambda_{ij}^k = \lambda_{ij} + n\xi \quad (3.13)$$

(3.12) Denklemindeki n terimi, hafif gürültülü durumda doğal frekanslar için %0.5, mod şekilleri için %1, ağır gürültülü durumda ise doğal frekanslar için %1, mod şekilleri için %3 değerini alır. $n\xi$ terimi $[-1,1]$ aralığında değişen sayı değerleri alır. Burada frekansların gürültüden daha az etkilendiği ve daha doğru bir şekilde ölçülebildiği düşünülmüştür.

3.2.5 Ağırlık Kavramı

Sonlu eleman güncellemesinde uygunluk fonksiyonunun en küçük kareler problemi şeklindeki formülasyonu artıkların önemlerine ve içerdikleri gürültü miktarına göre uygunluk fonksiyonundaki ağırlıkların belirlenmesini kolaylaştırır. Ağırlığın etkisi genelde artık sayısının tasarım değişkenlerinin sayısından daha fazla olduğunda önemlidir. Burada ağırlık katsayılarının kesin değerlerinden çok göreceli büyüklükleri önemlidir. Farklı verilerin ağırlıklarına göre kullanılması yöntemi daha güçlü ve çok yönlü hale getirebilir fakat bunun için güçlü bir mühendislik öngörüsü gereklidir. Ağırlığında hesaba katıldığı en küçük kareler problemi şeklinde ifade edilen uygunluk fonksiyonu Denklem (3.13) de verilmiştir.

$$f(\theta) = \|Wr(\theta)\|^2 \quad (3.13)$$

Burada W ağırlık matrisidir. Eğer $W = \text{diag}(\dots, w_j^2, \dots)$ şeklinde bir ağırlık matrisi ise Denklem (3.13) Denklem (3.14) şeklinde ifade edilebilir.

$$f(\theta) = \sum_{j=1}^m [w_j r_j(\theta)]^2 \quad (3.14)$$

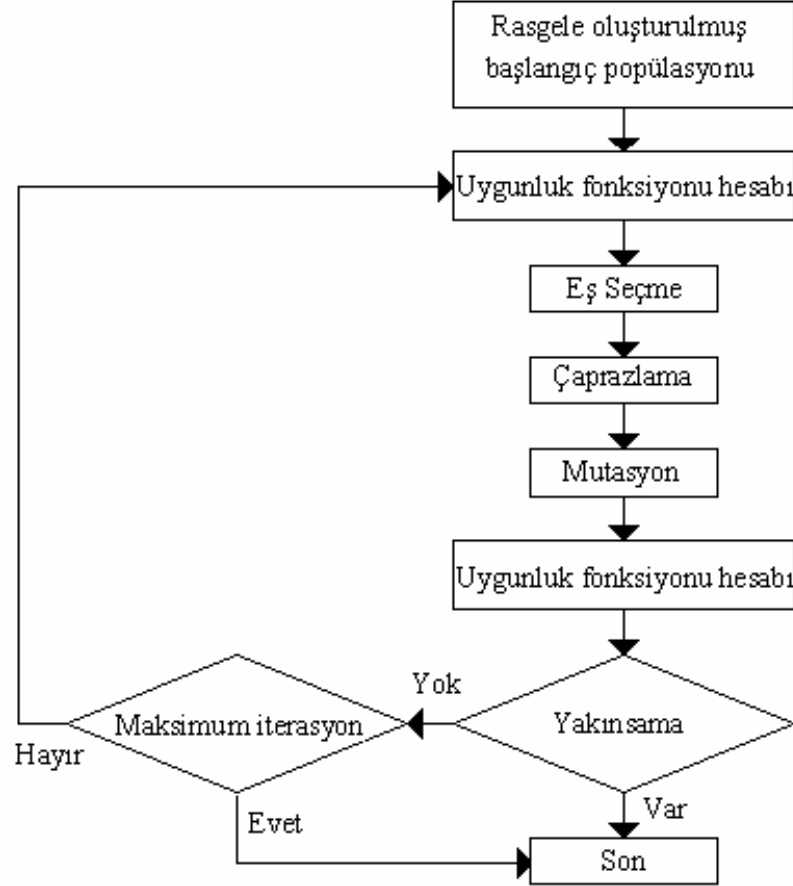
Daha öncede belirtildiği gibi doğal frekanslar yapının fiziksel parametrelerine hassasiyetlerinden dolayı daha kesin deneysel verilerdir. Probleme etkileri daha olumludur. Diğer taraftan mod şekilleri daha gürültülüdür ve minimize probleminin stabilitesi açısından olumsuzluklara neden olabilir. Bunun için uygun bir ağırlık matrisinin kullanılması yararlı olabilir.

Her iki artık tipinde avantajların ve olumsuzlukları göz önüne alarak bir denge kurulmalıdır. Örneğin mod şekilleri iyi bir şekilde ölçülmüş, hasarlı ve hasarsız durumdaki mod şekli farkları yüksekse mod şekilleri daha ağırlıklı bir şekilde kullanılmalıdır.

Genelde mod şekli artıklarının ağırlığının ne kadar olacağını bilmek zordur. Modelleme ve ölçüm hatalarına göre farklı ağırlıkların kullanılması farklı sonuçlar elde etmemizi sağlar. Bundan dolayı ideal bir sonuca ulaşmamız her zaman mümkün olmaz. Geçekçi ve iyi sonuçlara mühendislik öngörülerimizi kullanarak ulaşmalıyız.

3.3 Sonlu Eleman Güncellemesinde Genetik Algoritmalar

Genetik algoritmaların sonlu eleman güncellemesine uygulanması “Şekil 3.2”de verilen akış diyagramıyla açıklanmıştır. GA programı, hiçbir tahmin yapılmadan rastgele seçilmiş değişkenlerle oluşturulan başlangıç popülasyonu ile başlar. Daha sonra Denklem (3.2) de tanımlanan uygunluk fonksiyonu hesaplanır. Seçme, çaprazlama, mutasyon gibi genetik algoritma işlemcileri ile yeni popülasyon oluşturulur ve en uygun sonuç bulunana kadar iterasyona devam edilir.



Şekil 3.2: Güncellemede genetik algoritmalar için akış diyagramı

Genetik algoritmaların sonlu eleman modeli güncellemesinde kullanımında farklı uygunluk fonksiyonları tanımlamak ve genetik algoritma işlemcileri geliştirmek mümkündür. Hao ve Xia (2002), Friswell ve Penny (1998), Rao ve diğ.(2004) gibi araştırmacılar farklı sonlu eleman modelleri ve uygunluk fonksiyonları kullanarak genetik algoritmaları hasar belirlemede kullanmışlardır. Genetik algoritmalar güçlü bir yöntemdir. Fakat pek çok etken yakınsamada önemli rol oynar. Bu etkenlerden en önemlileri populasyon boyutu, çaprazlama ve mutasyon olasılıkları ve uygunluk fonksiyonun yapısıdır. Bu tezin kapsamındaki en küçük kareler problemi şeklinde oluşturulmuş uygunluk fonksiyonu en çok kullanılan fonksiyondur. Ayrıca değişken sayısındaki artış, yani sonlu eleman modelinin hassaslığındaki artış, yakınsamanın daha yavaş gerçekleşmesini sağlar. Fakat genetik algoritmaların sağlam bir hesaplama tekniği ve geliştirilmeye açık olmasından dolayı yapının karmaşıklığı ve bilinmeyen sayısındaki artışın çok fazla etkisi yoktur.

4. SAYISAL UYGULAMALAR

Bu bölümde, geometrik ve malzeme özellikleri bölüm (4.1) de tanımlanan kirişin farklı hasar senaryolarına göre genetik algoritmalar ile sonlu eleman güncellemesi yapılarak hasarın yeri ve büyüklüğü belirlenmeye çalışılmıştır. Sonlu eleman modeli güncellemesindeki genetik algoritmalar için James Spall tarafından Matlab’da geliştirilen bilgisayar kodu kullanılmıştır. Güncelleme için ise Gundes ve diğ. (2007)’nin kullandığı trust region algoritmasının yerine bu genetik algoritmalar kodu yerleştirilmiştir. Hasar senaryoları, basit, karışık ve düzgün yayılı olmak üzere üç çeşittir. Ayrıca bu üç senaryo için hafif ve orta hasar olmak üzere iki hasar durumu incelenmiştir. Gürültünün hesaba katılması için hasarlı durumdaki frekans ve mod şekillerine belirli oranda rastgele sayılar eklenmiştir. Gürültü etkisi hafif ve ağır gürültülü durum olmak üzere iki şekilde ele alınmıştır. Hafif gürültülü durumda doğal frekanslara standart sapması %0.5, mod şekillerine %1 olan normal dağılımlı sayılar eklenmiştir. Ağır gürültülü durumda ise doğal frekanslar için standart sapması %1, mod şekillerine ise için %3 olan normal dağılımlı sayılar eklenmiştir. Uygunluk fonksiyonu için kirişin ilk 10 frekansı ve 8 mod şekli alınmıştır. Mod şekilleri, sadece düşey deplasmanların ölçülebildiği kabulü ile yalnız düşey yöndeki deplasmanları içermektedir. Ayrıca her durum için MAC değerleri hesaplanmış, frekanslar için de yüzde olarak yakınsamalar grafik olarak gösterilmiştir. Kiriş, kayma açısının da hesaba katıldığı Timoshenko düzlem kirişidir. Çubuğun aksenal rijitliği de hesaba katılmış ve bir noktada $[u_i, \nu_i, \theta_i]$ olmak üzere üç serbestlik tanımlanmıştır. Kütle matrisleri kütlelerin yayılı olduğu duruma göre yazılmıştır.

4.1 Kirişin Geometrik Ve Malzeme özellikleri

Kiriş 6m boyunda, 200x250 (hxb) mm² boyutunda enkesit alanına sahiptir. Sonlu eleman modellemesi için kiriş 30 eşit parçaya bölünmüştür. “Şekil 4.1” de görüldüğü gibi sınır koşulları $x=2000$ mm de kayıcı mesnetli $x= 5800$ mm de sabit mesnetli olarak tanımlanmıştır. Malzeme olarak C25 betonu kullanıldı. $E=30000$ MPa, $\mu = 0,2$, $\rho = 2500kg / m^3$, $G=12500$ MPa



Şekil 4.1: Kirişin sonlu eleman modeli

4.2 Kiriş İçin Kütle Ve Rijitlik Matrisleri

Bernoulli-Euler kirişi için rijitlik matrisi Denklem (4.1) de verilmiştir. Bu tür kirişlerde düzlem şekiller şekil değiştirdikten sonra da düzlem kalır hipotezi geçerlidir. Rijitlik matrisinde kayma açısı hesaba katılmaz.

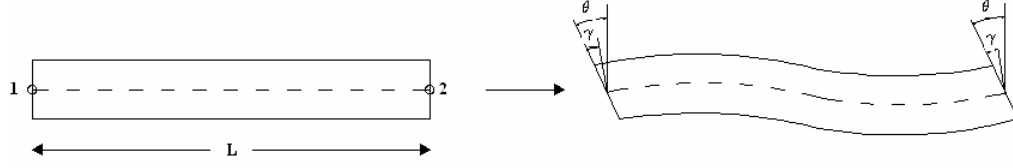
$$[K] = \begin{bmatrix} \frac{EA}{L} & 0 & 0 & -\frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} & 0 & -\frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} & 0 & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} \\ -\frac{EA}{L} & 0 & 0 & \frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} & 0 & \frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} & 0 & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

Denklem (4.2) ile verilen kütle matrisinde ise dönme ataleti ihmal edilir. Bu kütle matrisinde kütlelerin yayılı olduğu duruma göre yazılmıştır.

$$[M_c] = \frac{\rho AL}{420} \begin{bmatrix} 140 & 0 & 0 & 70 & 0 & 0 \\ 0 & 156 & 22L & 0 & 54 & -13L \\ 0 & 22L & 4L^2 & 0 & 13L & -3L^2 \\ 70 & 0 & 0 & 140 & 0 & 0 \\ 0 & 54 & 13L & 0 & 156 & -22L \\ 0 & -13L & -3L^2 & 0 & -22L & 4L^2 \end{bmatrix} \quad (4.2)$$

Bu tezde de kullanılan Timoshenko kirişinde ise gerçeğe daha yakın bir kabul yapılmıştır. Düzlem şekiller düzlem kalır hipotezi geçerlidir fakat kayma yüzeyinin

kiriş eksenine dik açı yaptığı kabulü yerine şekil değiştirmeden sonra “Şekil 4.2”de de görüldüğü gibi belirli bir γ açısı yaptığı kabul edilir.



Şekil 4.2: Timoshenko kirişinde kayma açısı

Timoshenko kirişinde tanımlanan bu kayma açısının da hesaba katılması için Denklem (4.3) deki eğilme ve kayma rijitliklerinin oranını ifade eden boyutsuz bir büyüklük kullanılır. α değeri kayma gerilmelerinin düzgün dağılmadığını karakterize eden sayıdır. Dikdörtgen kesitler için $\alpha=6/5$ alınabilir.

$$\phi = \frac{12EI}{G(A/\alpha)L^2} \quad (4.3)$$

ϕ büyüklüğünü de içeren rijitlik ve kütle matrisleri Denklem (4.4) ve (4.5) de verilmiştir.

$$[K] = \begin{bmatrix} \frac{EA}{L} & 0 & 0 & -\frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI}{L^3(1+\phi)} & \frac{6EI}{L^2(1+\phi)} & 0 & -\frac{12EI}{L^3(1+\phi)} & \frac{6EI}{L^2(1+\phi)} \\ 0 & \frac{6EI}{L^2(1+\phi)} & \frac{(4+\phi)EI}{L(1+\phi)} & 0 & -\frac{6EI}{L^2(1+\phi)} & \frac{(2-\phi)EI}{L(1+\phi)} \\ -\frac{EA}{L} & 0 & 0 & \frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12EI}{L^3(1+\phi)} & -\frac{6EI}{L^2(1+\phi)} & 0 & \frac{12EI}{L^3(1+\phi)} & -\frac{6EI}{L^2(1+\phi)} \\ 0 & \frac{6EI}{L^2(1+\phi)} & \frac{(2-\phi)EI}{L(1+\phi)} & 0 & -\frac{6EI}{L^2(1+\phi)} & \frac{(4+\phi)EI}{L(1+\phi)} \end{bmatrix} \quad (4.4)$$

$$[M_{cr}] = \frac{\rho AL}{(1+\phi)^2} \begin{bmatrix} \frac{140(1+\phi)^2}{\rho AL} & 0 & 0 & \frac{70(1+\phi)^2}{\rho AL} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{13}{35} + \frac{7}{10}\phi + \frac{1}{3}\phi^2 & (\frac{11}{210} + \frac{11}{120}\phi + \frac{1}{24}\phi^2)L & 0 & \frac{9}{70} + \frac{3}{10}\phi + \frac{1}{6}\phi^2 & -(\frac{13}{420} + \frac{3}{40}\phi + \frac{1}{24}\phi^2)L \\ 0 & (\frac{11}{210} + \frac{11}{120}\phi + \frac{1}{24}\phi^2)L & (\frac{1}{105} + \frac{1}{60}\phi + \frac{1}{120}\phi^2)L^2 & 0 & (\frac{13}{420} + \frac{3}{40}\phi + \frac{1}{24}\phi^2)L & -(\frac{1}{140} + \frac{1}{60}\phi + \frac{1}{120}\phi^2)L^2 \\ \frac{70(1+\phi)^2}{\rho AL} & 0 & 0 & \frac{140(1+\phi)^2}{\rho AL} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{9}{70} + \frac{3}{10}\phi + \frac{1}{6}\phi^2 & (\frac{13}{420} + \frac{3}{40}\phi + \frac{1}{24}\phi^2)L & 0 & \frac{13}{35} + \frac{7}{10}\phi + \frac{1}{3}\phi^2 & -(\frac{11}{210} + \frac{11}{120}\phi + \frac{1}{24}\phi^2)L \\ 0 & -(\frac{13}{420} + \frac{3}{40}\phi + \frac{1}{24}\phi^2)L & -(\frac{1}{140} + \frac{1}{60}\phi + \frac{1}{120}\phi^2)L^2 & 0 & -(\frac{11}{210} + \frac{11}{120}\phi + \frac{1}{24}\phi^2)L & (\frac{1}{105} + \frac{1}{60}\phi + \frac{1}{120}\phi^2)L^2 \end{bmatrix} \quad (4.5)$$

Kütle matrisi için dönme ataletini de içeren matris Denklem (4.6) da verilmiştir. Böylece toplam kütle matrisi Denklem (4.7) deki gibi iki matrisin toplamı olur.

$$[M_{RT}] = \frac{\rho I}{(1+\phi)^2 L} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{6}{5} & (\frac{1}{10} - \frac{1}{2}\phi)L & 0 & -\frac{6}{5} & (\frac{1}{10} - \frac{1}{2}\phi)L \\ 0 & (\frac{1}{10} - \frac{1}{2}\phi)L & (\frac{2}{15} + \frac{1}{6}\phi + \frac{1}{3}\phi^2)L^2 & 0 & (-\frac{1}{10} + \frac{1}{2}\phi)L & -(\frac{1}{30} + \frac{1}{6}\phi - \frac{1}{6}\phi^2)L^2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{6}{5} & (-\frac{1}{10} + \frac{1}{2}\phi)L & 0 & \frac{6}{5} & (-\frac{1}{10} + \frac{1}{2}\phi)L \\ 0 & (\frac{1}{10} - \frac{1}{2}\phi)L & -(\frac{1}{30} + \frac{1}{6}\phi - \frac{1}{6}\phi^2)L^2 & 0 & (-\frac{1}{10} + \frac{1}{2}\phi)L & (\frac{2}{15} + \frac{1}{6}\phi + \frac{1}{3}\phi^2)L^2 \end{bmatrix} \quad (4.6)$$

$$[M_C] = [M_{CT}] + [M_{CR}] \quad (4.7)$$

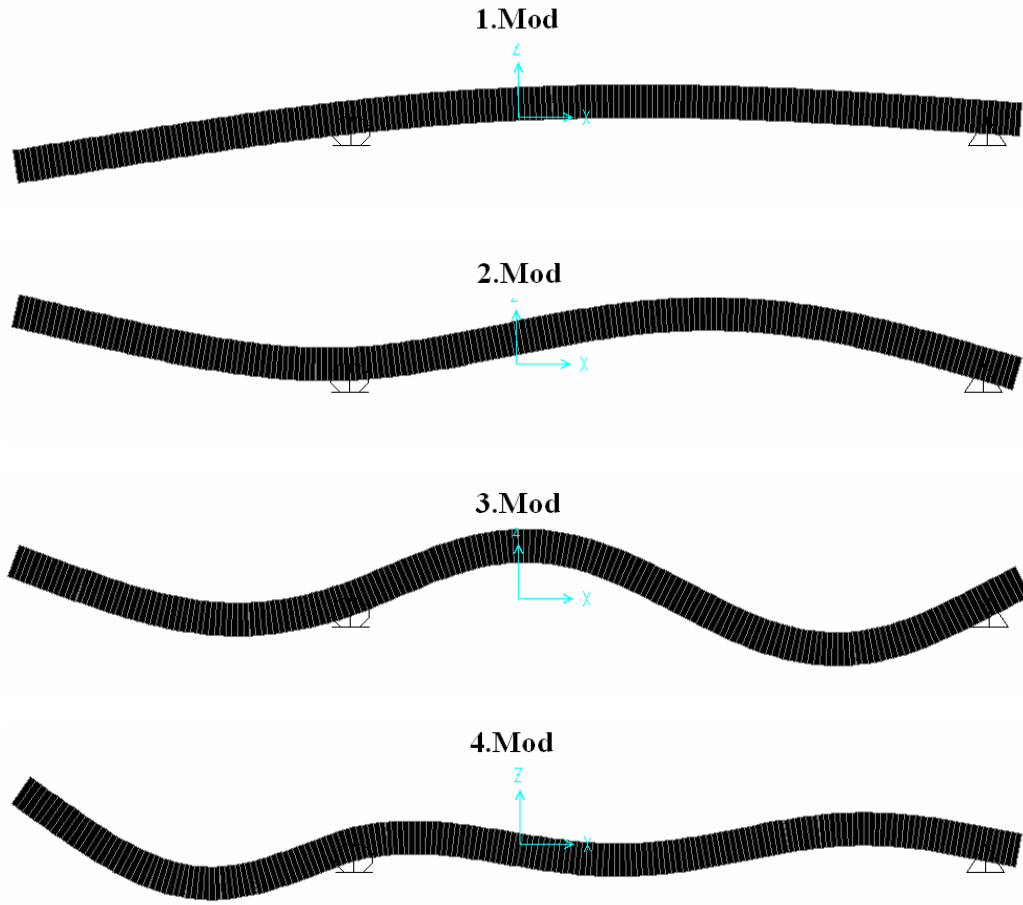
4.3 Sonlu Eleman Kodunun Performansı

Sonlu eleman analizi için Michael Hatch tarafından yazılan sonlu eleman kodu kullanılmıştır. Mevcut programda, kirişte kayma açısının, aksenal rijitliğin, kütle matrislerinde dönme atalet kütlelerinin hesaba katılması için gerekli değişiklikler yapılmıştır. Programda matris yöntemlerinden yararlanılmıştır. Program, yapının frekans ve mod şekilleri gibi modal karakteristiklerini bulmak için bir özdeğerler problemi çözer. Denklem (4.8) deki λ_i ve ϕ_i sırasıyla özdeğerler ve özvektörler veya frekansların karesi ve mod şekilleri olmak üzere, bu denklemin çözümü, kütle ve rijitlik matrisleri hesaplandıktan sonra Matlab program dilinde eig[K,M] komutuyla bulunabilir. Programın geçerliliği ve sonuçların hassasiyeti için “Şekil 4.1” deki kirişin modal analiz sonuçları yaygın olarak kullanılan sonlu eleman analizi programlarından SAP2000 ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar “Tablo 4.1” de verilmiştir.

$$[K - \lambda_i M] \phi_i = 0 \quad (4.8)$$

Tablo(4.1): Doğal titreşim frekansları(Hz)

Mod Sayısı	Sap2000	Matlab (dönme ataleti yok)	Matlab (dönme ataleti var)
1	13.1444	13.1444	13.1271
2	31.8654	31.8655	31.8150
3	92.8936	92.9075	92.4111
4	144.2585	144.3062	142.7908
5	149.3206	149.3328	149.3330
6	208.8119	208.9784	206.7790



Şekil 4.3: Kiriş için ilk 4 mod şekli

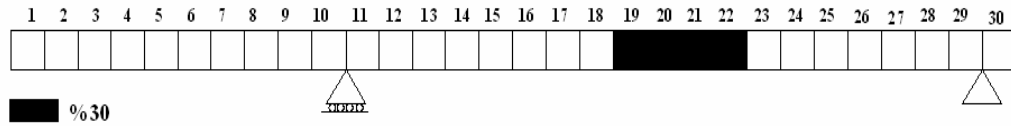
4.4 Sonlu Eleman Modeli Güncellemesi Uygulamaları

Bu bölümde, bölüm (4.1)'de geometrik ve malzeme özellikleri verilen kiriş için sonlu eleman güncellemesi yöntemiyle hasar tespiti yapılmıştır. Basit, karışık ve düzgün yayılı hasar olmak üzere üç farklı hasar senaryosu denenmiştir. Her hasar senaryosu hafif ve orta hasar olmak üzere iki farklı durum için tekrarlanmıştır. Gürültü etkisi ise hafif ve ağır olmak üzere iki şekilde göz önüne alınmıştır. Basit ve karışık hasarlı durumlarda hafif hasar için hafif ve ağır gürültülü durumlar incelenirken, orta hasarlı durumlarda en olumsuz durumu göz önüne almak için sadece ağır gürültü durumu incelenmiştir. Yayılı hasarlı durumda ise bir örnek teşkil etmesi amacıyla sadece hafif hasar ve hafif gürültülü durumlar göz önüne alınmıştır. Bu hasar senaryolarına göre genetik algoritmaların bir optimizasyon tekniği olarak sonlu eleman güncellemesindeki yakınsaklığı tablo ve şekillerle açıklanmıştır.

4.4.1 Basit Hasar Durumunda Güncelleme

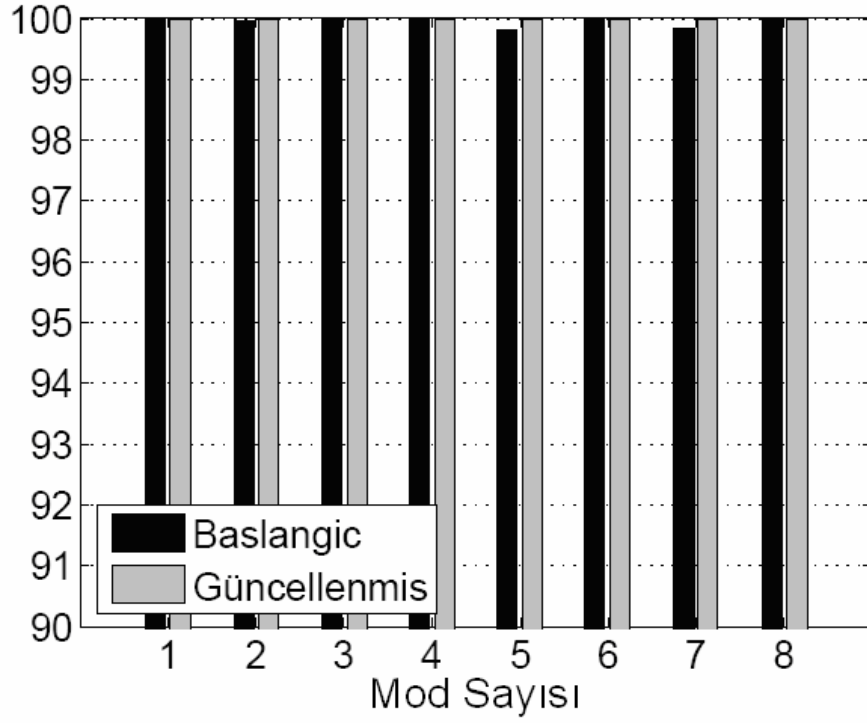
4.4.1.1 Basit Hasarlı Kirişte Hafif Hasar

Basit hasarlı durumundaki kiriş için “Şekil 4.4” de hasarın yeri ve büyüklüğü gösterilmiştir. Populasyon sayısı $N=30$, $P_c=0.80$, $P_m=0.01$ ve gürültüsüz durum için iterasyon sayısı= 1500, gürültülü durumlar için iterasyon sayısı=3000 alınmış, değişkenlerin kodlanmasında bit sayısı=14 olarak belirlenmiştir.

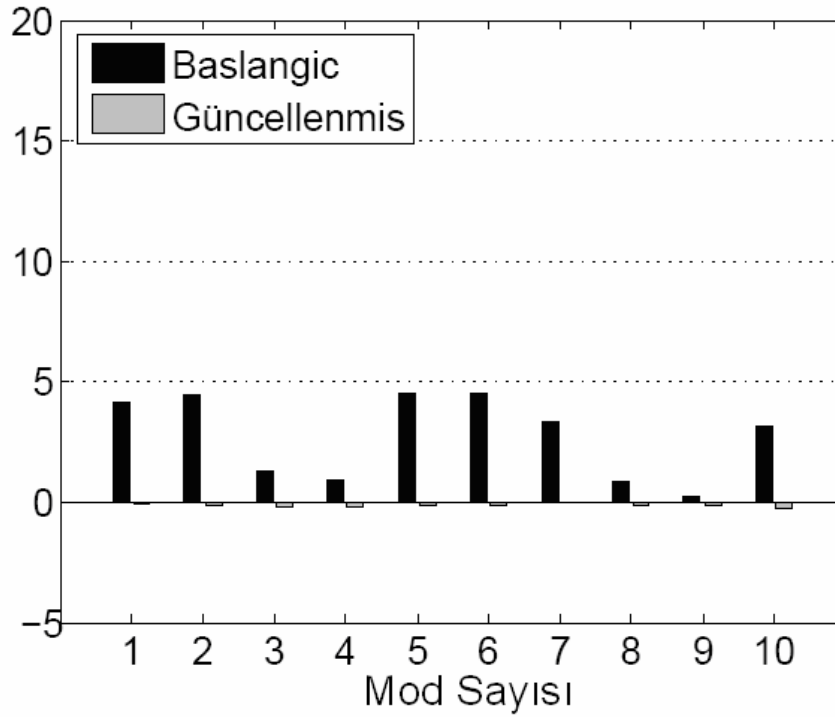


Şekil 4.4: Hafif hasarlı basit hasar durumunda kirişte hasar durumu

Hafif hasarlı basit hasar durumunda gürültüsüz doğal frekans ve mod şekilleri için güncelleme sonuçları “Şekil 4.5” ve ”Şekil 4.6” da verilmiştir.



Şekil 4.5: Hafif hasarlı basit hasar durumunda ilk 8 mod için MAC değerleri



Şekil 4.6: Hafif hasarlı basit hasar durumunda ilk10 doğal frekansın göreceli farkları

“Şekil 4.6” daki göreceli farklar $\frac{\nu_g - \nu_h}{\nu_h} \%$ şeklinde bulunur ve güncellenen frekanslar ile hasarlı durumdaki frekansların farkıdır.

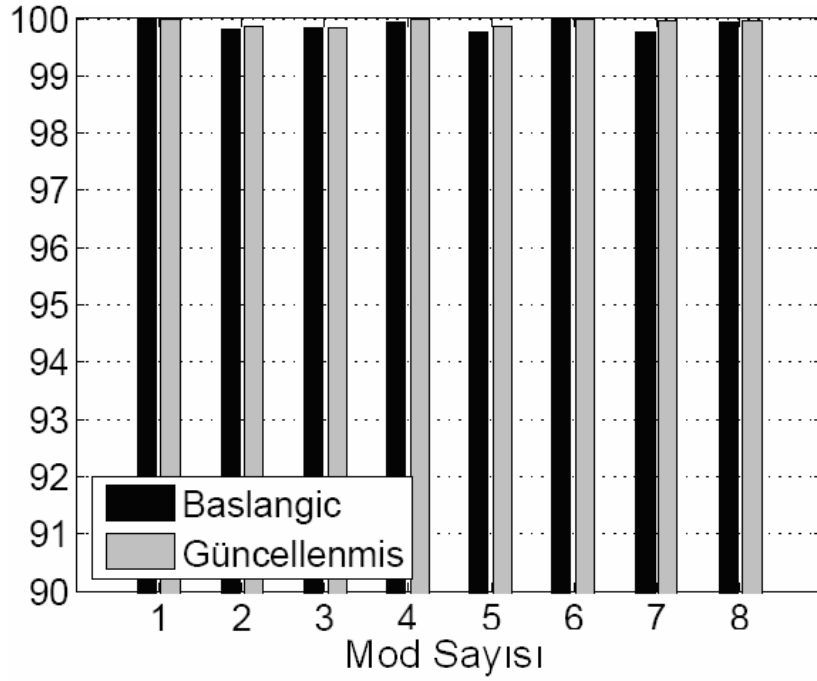
“Tablo 4.2”de basit hasarlı durumda gürültüsüz, hafif gürültülü ve ağır gürültülü durumlar için düzeltme katsayıları karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.

Grafiklerden de anlaşılacağı gibi sonlu eleman modeli güncellemesinde genetik algoritmalar, basit hasarlı durum için oldukça iyi bir yakınsaklık sağlıyor. Hasarın şiddetini kabul edilebilir bir yakınsaklıkta bulsa da yerini neredeyse birebir tespit edebilmektedir.

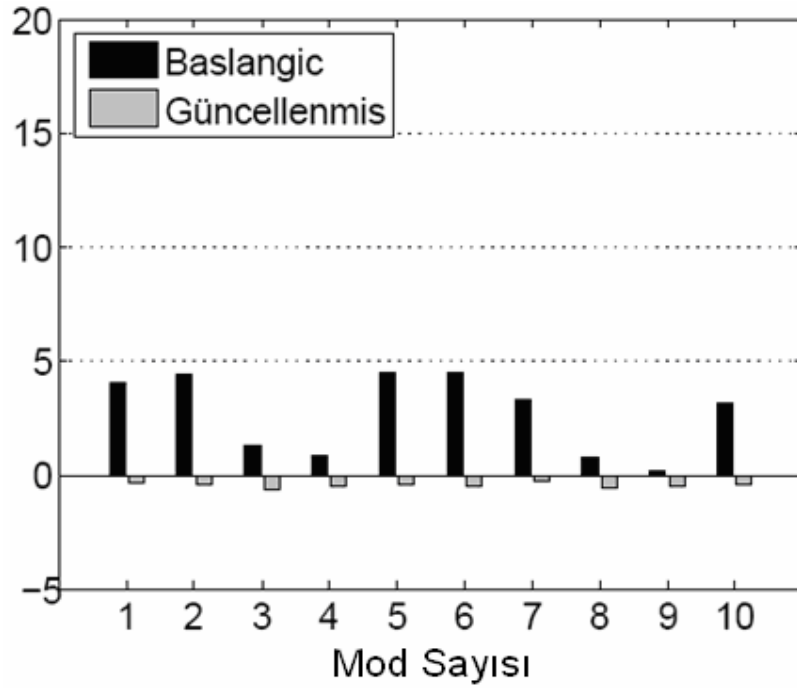
Basit hasarlı durumda gürültüyü de hesaba katmak için hafif gürültülü durumda hasarlı durumdaki doğal frekanslara standart sapması % 0.5, mod şekillerine standart sapması %1, ağır gürültülü durumda frekanslara %1, mod şekillerine ise %3 ise olan normal dağılımlı rastgele sayılar eklenmiştir. Hafif gürültülü durumdaki MAC değerleri ve göreceli frekans farkları “Şekil 4.7” ve “Şekil 4.8” de verilmiştir.

Tablo(4.2): Hafif hasarlı basit hasar durumunda düzeltme katsayıları

Eleman no	hasarlı	gürültüsüz	Hafif gürültülü	Ağır gürültülü
1	0	0.0315	0.0048	0.0000
2	0	0.0010	0.0159	0.0000
3	0	0.0032	0.0083	0.0007
4	0	0.0000	0.0077	0.0625
5	0	0.0002	0.0156	0.0000
6	0	0.0025	0.0009	0.0000
7	0	0.0051	0.0220	0.0000
8	0	0.0001	0.0152	0.0091
9	0	0.0012	0.0000	0.0192
10	0	0.0034	0.0000	0.0311
11	0	0.0029	0.0002	0.0107
12	0	0.0012	0.0126	0.1255
13	0	0.0001	0.0001	0.0625
14	0	0.0032	0.0032	0.0000
15	0	0.0040	0.0442	0.0000
16	0	0.0005	0.0000	0.0002
17	0	0.0004	0.0000	0.0000
18	0	0.0601	0.0311	0.0371
19	0.30	0.2180	0.1869	0.1242
20	0.30	0.3750	0.4100	0.4218
21	0.30	0.2358	0.1813	0.1552
22	0.30	0.3123	0.3750	0.3750
23	0	0.0000	0.0000	0.0625
24	0	0.0003	0.0007	0.0004
25	0	0.0148	0.0659	0.0671
26	0	0.0006	0.0000	0.0043
27	0	0.0001	0.0000	0.0007
28	0	0.0023	0.0001	0.0332
29	0	0.0053	0.0010	0.0009
30	0	0.0259	0.1565	0.1601

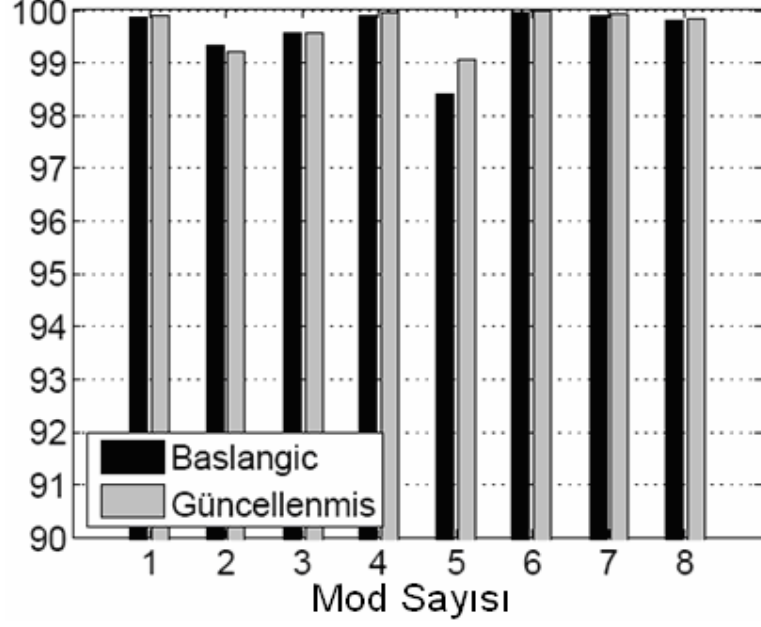


Şekil 4.7: Hafif hasarlı basit hasar durumunda hafif gürültülü mod şekilleri için MAC değerleri

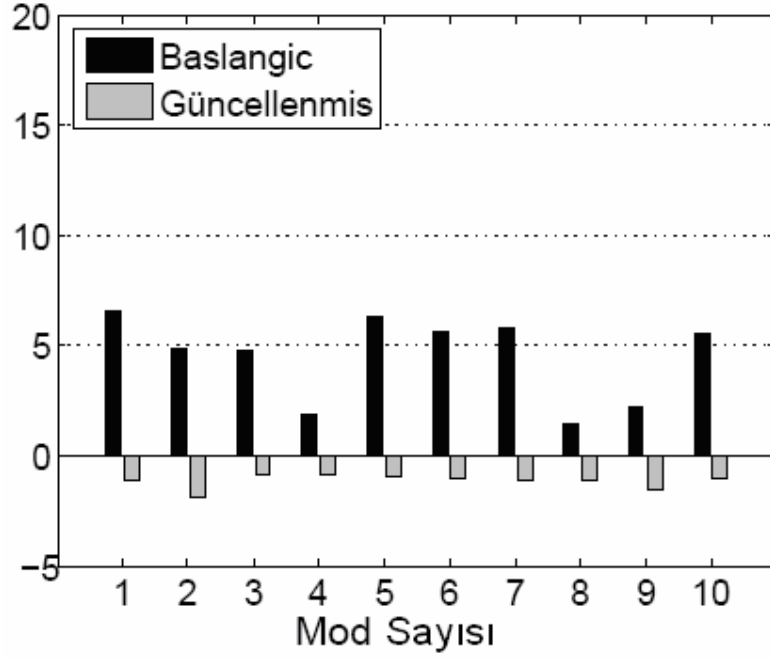


Şekil 4.8: Hafif hasarlı basit hasar durumunda hafif gürültülü doğal frekansların göreceli farkları

Mod şekillerine standart sapması daha yüksek sayılar eklenmesinin nedeni gerçekte de mod şekillerinin gürültüden daha fazla etkilenmesidir. Ağır gürültülü durumda “Şekil 4.9” ve “Şekil 4.10”da görüleceği gibi yakınsamada bir düşüş olsa da basit hasar durumu için sonuçlar yeterince iyidir.



Şekil 4.9: Hafif hasarlı basit hasar durumunda ağır gürültülü MAC değerleri



Şekil 4.10: Hafif hasarlı basit hasar durumunda ağır gürültülü doğal frekans farkları

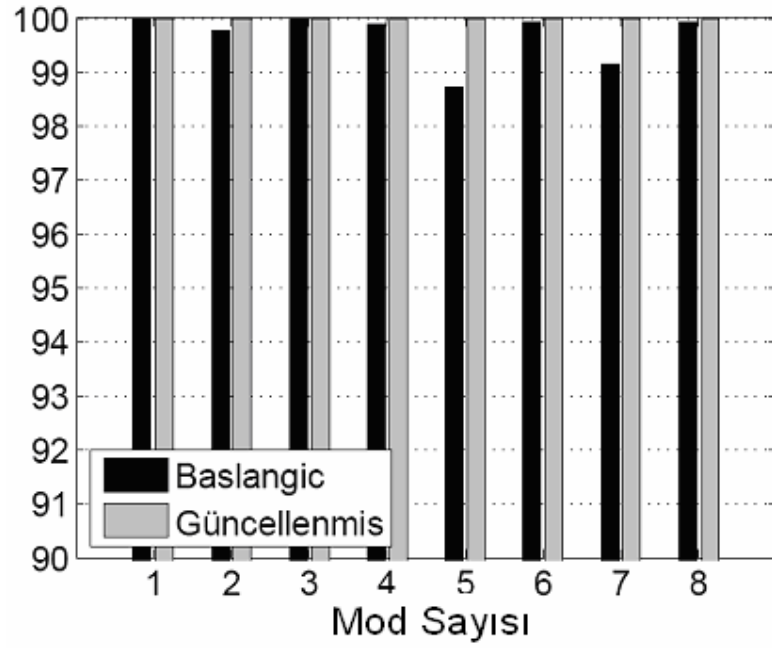
4.4.1.2 Basit Hasarlı Kirişte Orta Hasar

Bu bölümde, basit hasarlı kirişte hasar miktarı, “Tablo 4.3” de de görüldüğü gibi bir miktar arttırılmıştır. Kiriş ayrıca ağır gürültülü durum içinde incelenmiştir. Bu durum, basit hasarlı kirişte, algoritmanın sağlamlığını test etmek amacıyla göz önüne alınan en elverişsiz durumdur.

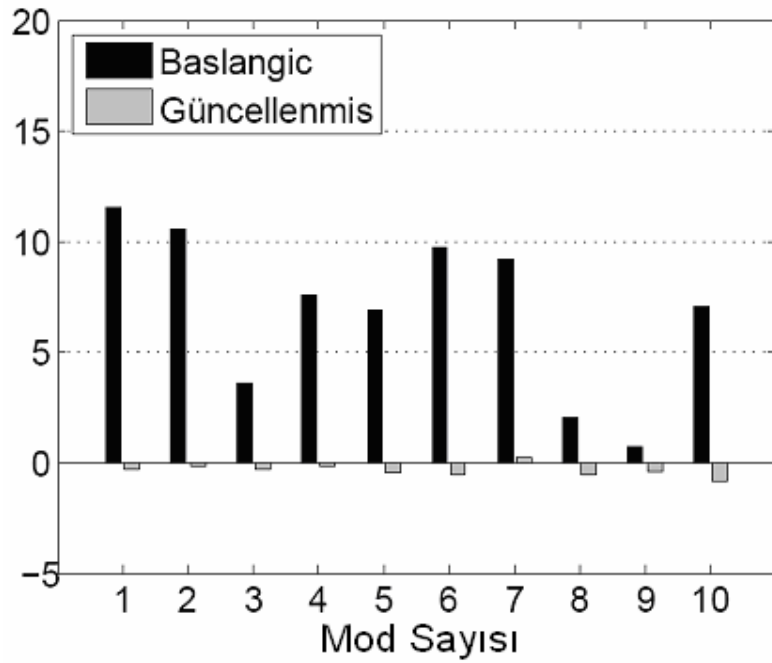
Gürültüsüz ve ağır gürültülü durum için düzeltme katsayıları “Tablo 4.3” de, gürültüsüz durum için MAC değerleri sırasıyla ve doğal frekans farkları “Şekil 4.11” ve “Şekil 4.12” de verilmiştir.

Tablo(4.3): Orta hasarlı basit hasar durumunda düzeltme katsayıları

Eleman no	hasarlı	gürültüsüz	Ağır gürültülü
1	0	0.0070	0.0002
2	0	0.0318	0.0000
3	0	0.0159	0.0060
4	0	0.0099	0.1228
5	0	0.0025	0.0003
6	0	0.0020	0.0004
7	0	0.0151	0.0001
8	0	0.0009	0.1170
9	0	0.0003	0.0012
10	0	0.0202	0.0000
11	0	0.0122	0.0590
12	0	0.0004	0.0007
13	0	0.0000	0.1260
14	0	0.0001	0.0032
15	0	0.0270	0.0083
16	0	0.0005	0.0019
17	0	0.0000	0.0000
18	0	0.1251	0.2522
19	0.55	0.4861	0.5000
20	0.55	0.6250	0.4999
21	0.55	0.5125	0.4999
22	0.55	0.4999	0.3769
23	0	0.0706	0.0500
24	0	0.0000	0.0000
25	0	0.0005	0.0000
26	0	0.0245	0.0527
27	0	0.0249	0.0006
28	0	0.0010	0.0009
29	0	0.0031	0.0000
30	0	0.1229	0.2428

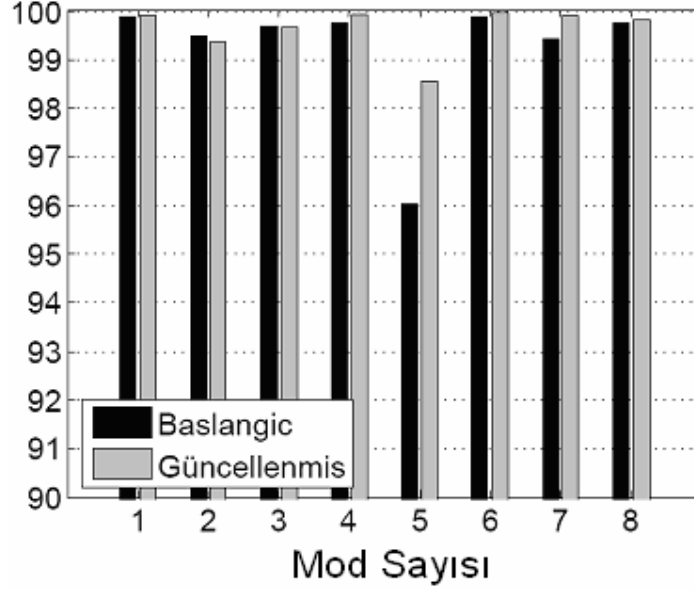


Şekil 4.11: Orta hasarlı basit hasar durumunda gürültüsüz mod şekilleri için MAC değerleri

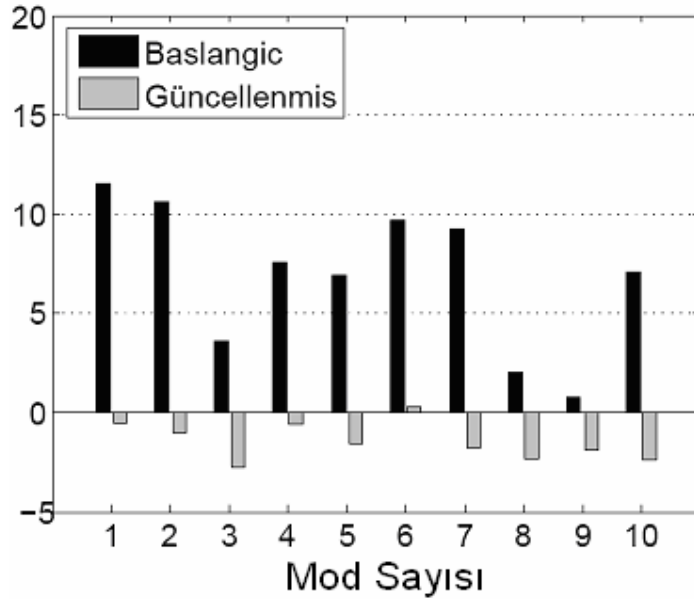


Şekil 4.12: Orta hasarlı basit hasar durumunda gürültüsüz göreceli doğal frekans farkları

Orta hasarlı basit hasar durumunda gürültüsüz doğal frekans ve mod şekilleri için yeteri yakınsaklığın sağlandığı görülmektedir. Hafif hasar durumuna göre göreceli doğal frekans farkları ve MAC değerlerinin yakınsamasında azalma olsa da sonuç tatmin edicidir. Düzeltme katsayılarında ise gürültülü ve gürültüsüz durum için ya sonuçlar yeterince iyidir. Ağır gürültülü durum için MAC değerleri ve göreceli frekans farkları “Şekil 4.13” ve “Şekil 4.14” de verilmiştir.



Şekil 4.13: Orta hasarlı basit hasar durumunda ağır gürültülü MAC değerleri

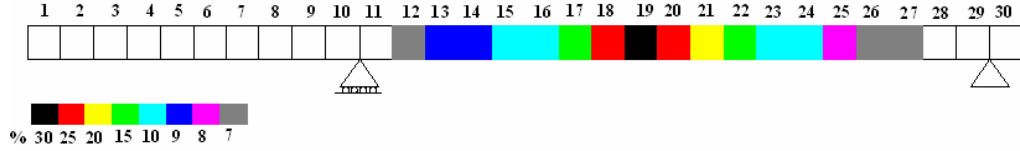


Şekil 4.14: Orta hasarlı basit hasar durumunda ağır gürültülü doğal frekans farkları

4.4.2 Karışık Hasarlı Durum İçin Güncelleme

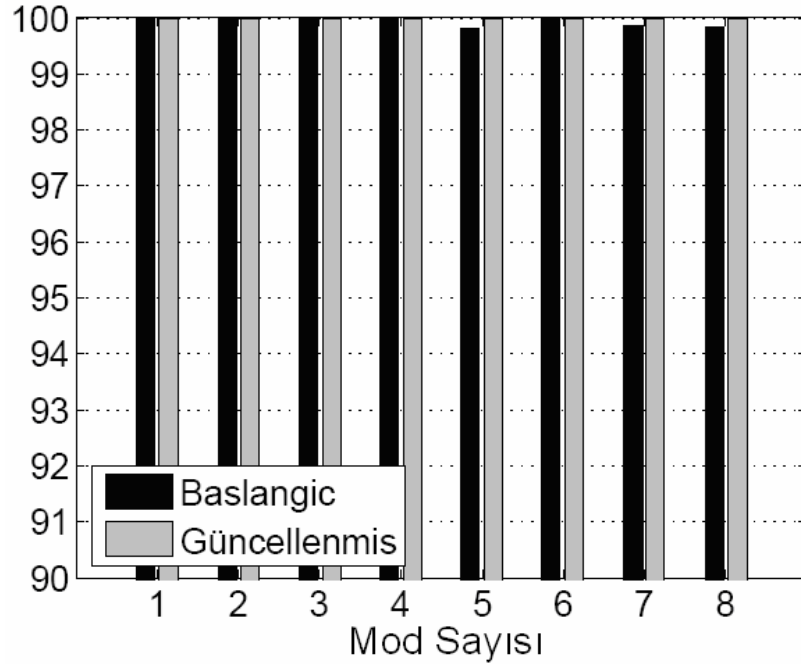
4.4.2.1 Karışık Hasarlı Kirişte Hafif Hasar

Hafif hasarlı karışık hasar durumundaki kiriş için “Şekil 4.15” de hasarın yeri ve büyüklüğü gösterilmiştir. Populasyon sayısı $N=22$, $P_c=0.80$, $P_m=0.01$ ve iterasyon sayısı= 3000 olarak belirlenmiştir.

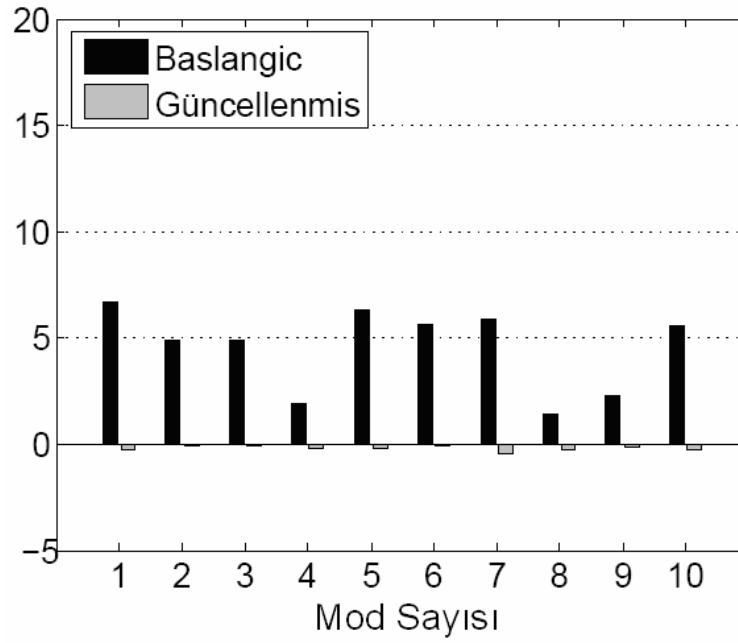


Şekil 4.15: Hafif hasarlı karışık hasar durumundaki kirişte hasar durumu

Uygulamada hasarın karışık bir şekilde yayılı olarak bulunması muhtemeldir. Bundan dolayı genetik algoritmaların bu durum için yakınsaklığı sağlaması oldukça önemlidir. “Şekil 4.16” ve “Şekil 4.17” da gürültüsüz durum için MAC değerleri ve doğal frekans farkları grafik olarak gösterilmiştir. “Tablo 4.4” de ise gürültülü ve gürültüsüz durumlar için düzeltme katsayıları verilmiştir.



Şekil 4.16: Hafif hasarlı karışık hasar durumda gürültüsüz MAC değerleri



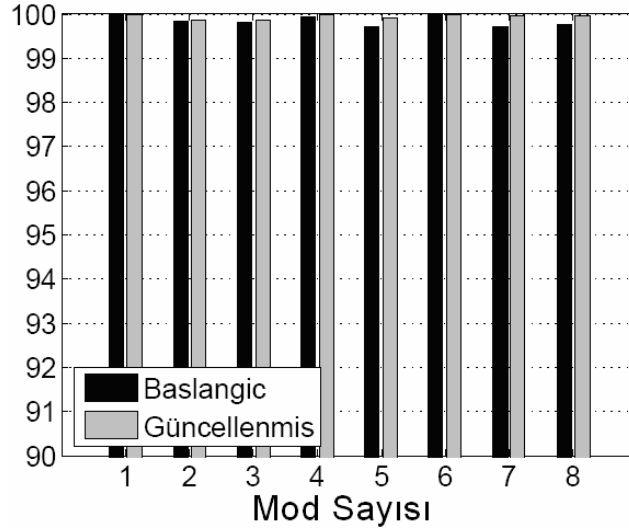
Şekil 4.17: Hafif hasarlı karışık hasar durumunda gürültüsüz doğal frekans farkları

Tablo(4.4): Hafif hasarlı karışık hasar durumunda düzeltme katsayıları

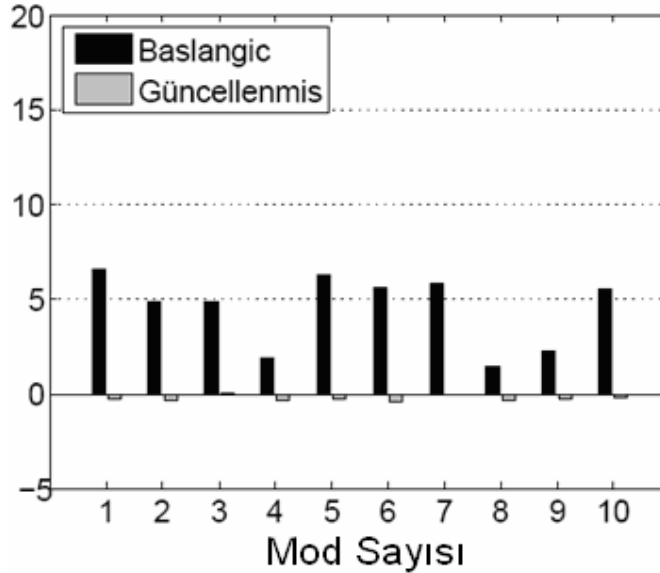
Eleman no	hasarlı	gürültüsüz	Hafif gürültülü	Ağır gürültülü
1	0.00	0.0304	0.0342	0.0021
2	0.00	0.0021	0.0002	0.0032
3	0.00	0.0006	0.0026	0.0078
4	0.00	0.0084	0.0158	0.0153
5	0.00	0.0037	0.0009	0.0009
6	0.00	0.0000	0.0018	0.0001
7	0.00	0.0000	0.0000	0.0018
8	0.00	0.0312	0.0001	0.0024
9	0.00	0.0002	0.0003	0.1294
10	0.00	0.0040	0.0000	0.0645
11	0.00	0.0005	0.0003	0.0055
12	0.07	0.0461	0.1250	0.1253
13	0.09	0.1176	0.0625	0.1870
14	0.09	0.0892	0.1035	0.0235
15	0.10	0.0311	0.1259	0.1294
16	0.10	0.2109	0.0936	0.1264
17	0.15	0.0001	0.0551	0.0025
18	0.25	0.3750	0.3125	0.3112
19	0.30	0.2500	0.2335	0.2356
20	0.25	0.2656	0.3125	0.2876
21	0.20	0.2108	0.2500	0.2586
22	0.15	0.0707	0.0079	0.0618
23	0.10	0.1875	0.2195	0.2630
24	0.10	0.0001	0.0005	0.0352
25	0.08	0.1390	0.1251	0.1253
26	0.07	0.0002	0.0625	0.1226
27	0.07	0.1250	0.0716	0.0010
28	0.00	0.0000	0.0028	0.0714
29	0.00	0.0000	0.0000	0.0101
30	0.00	0.0197	0.0775	0.0054

Grafiklerden de anlaşılacağı gibi oldukça iyi yakınsaklık sağlanmıştır. Basit hasarlı duruma göre populasyon sayısı azaltılmasına rağmen iterasyon sayısı artırılmıştır. Genetik algoritmalarda daha önceden de bahsedildiği gibi populasyon sayısı, mutasyon ve çaprazlama olasılığı gibi başlangıç parametreleri değiştirildiği takdirde farklı sonuçlara ulaşmak mümkündür. Aynı parametrelerin her problemde kullanılması sonuçların aynı yakınsaklıkta olmasını gerektirmez.

Hafif hasarlı karışık hasar durumunda hafif gürültülü doğal frekans farkları ve MAC değerleri “Şekil 4.18” ve “Şekil 4.19” de verilmiştir.

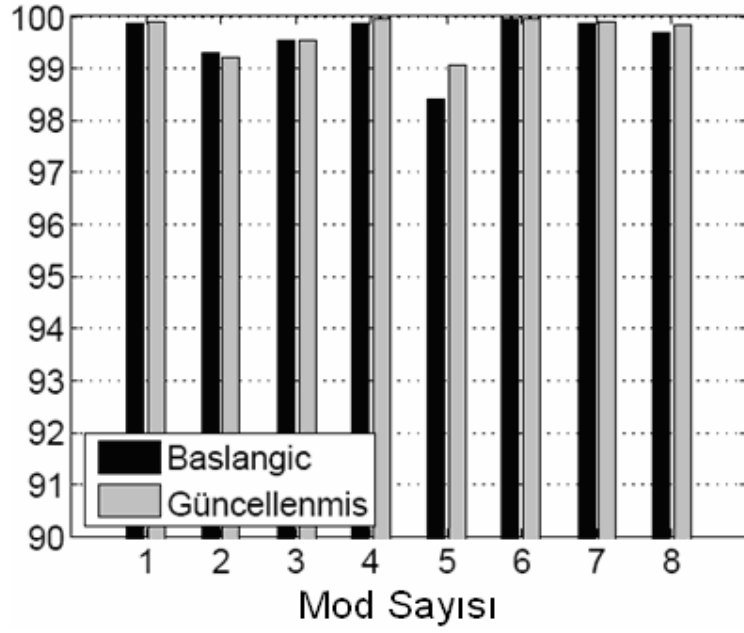


Şekil 4.18: Hafif hasarlı karışık hasar durumunda hafif gürültülü MAC değerleri

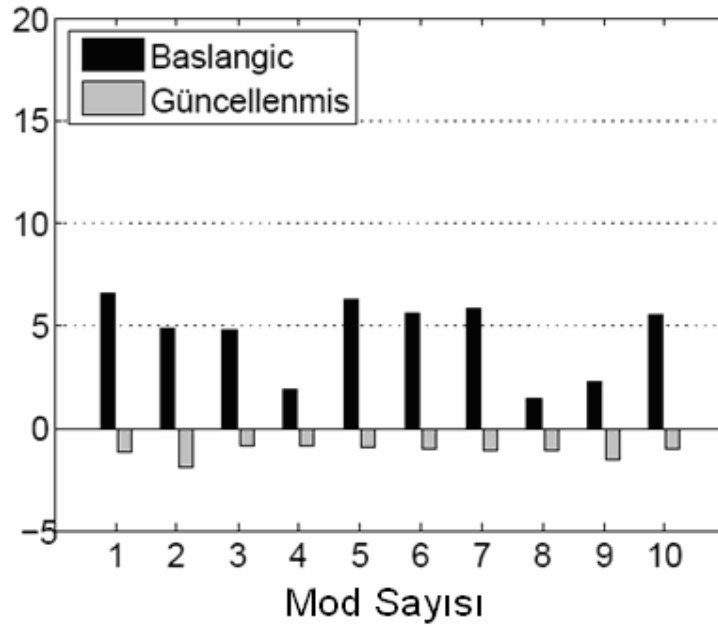


Şekil 4.19: Hafif hasarlı karışık hasar durumunda hafif gürültülü frekans farkları

Hafif hasarlı karışık hasar durumundaki kiriş için ağır gürültülü MAC ve doğal frekans farkları “Şekil 4.20” ve “4.21” de verilmiştir.



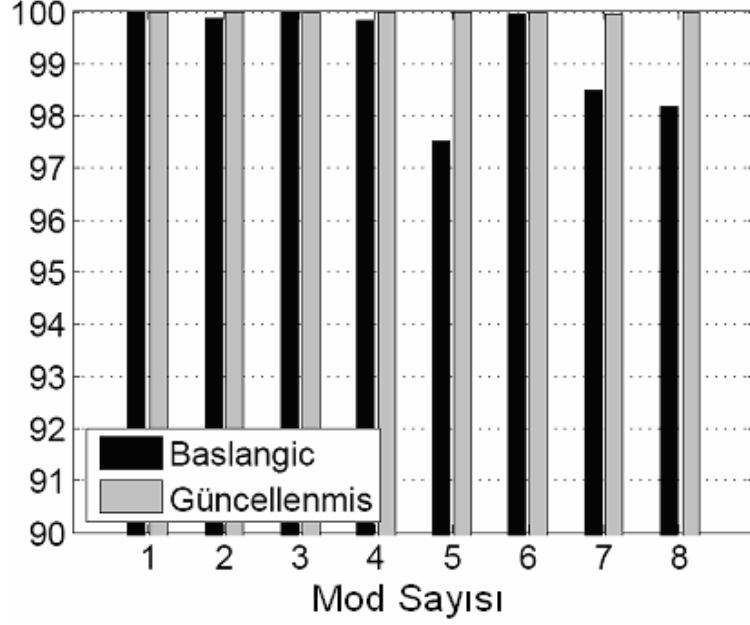
Şekil 4.20: Hafif hasarlı karışık hasar durumunda ağır gürültülü MAC değerleri



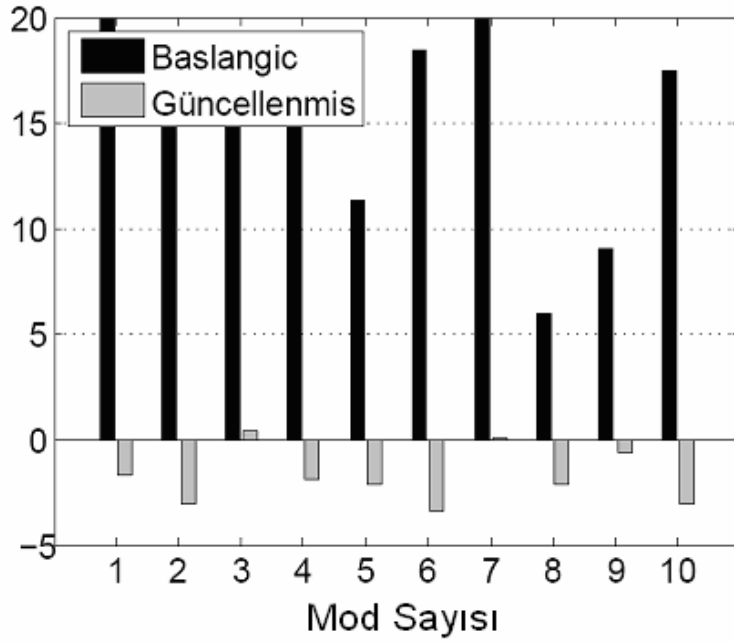
Şekil 4.21: Hafif hasarlı karışık hasar durumunda ağır gürültülü frekans farkları

4.4.2.2 Karışık Hasarlı Kirişte Orta Hasar

Karışık hasarlı kirişte orta hasar durumunda hasar miktarı “Tablo 4.5” de verilmiştir. Gürültüsüz durum için güncelleme sonuçları “Şekil 4.22” ve “Şekil 4.23” de verilmiştir.



Şekil 4.22: Orta hasarlı karışık hasar durumunda gürültüsüz MAC değerleri



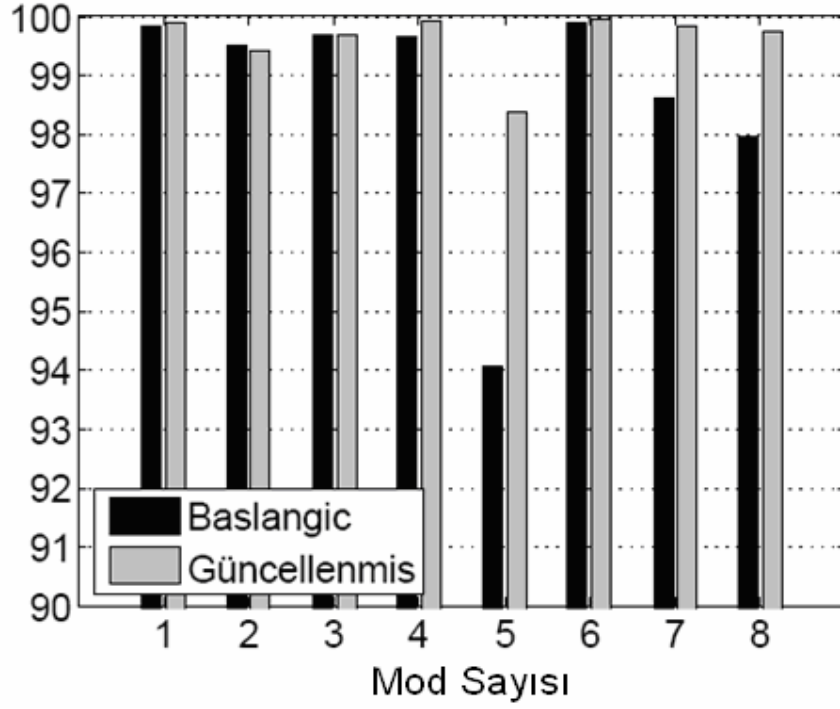
Şekil 4.23: Orta hasarlı karışık hasar durumunda gürültüsüz doğal frekans farkları

Tablo(4.5): Orta hasarlı karışık hasar durumunda düzeltme katsayıları

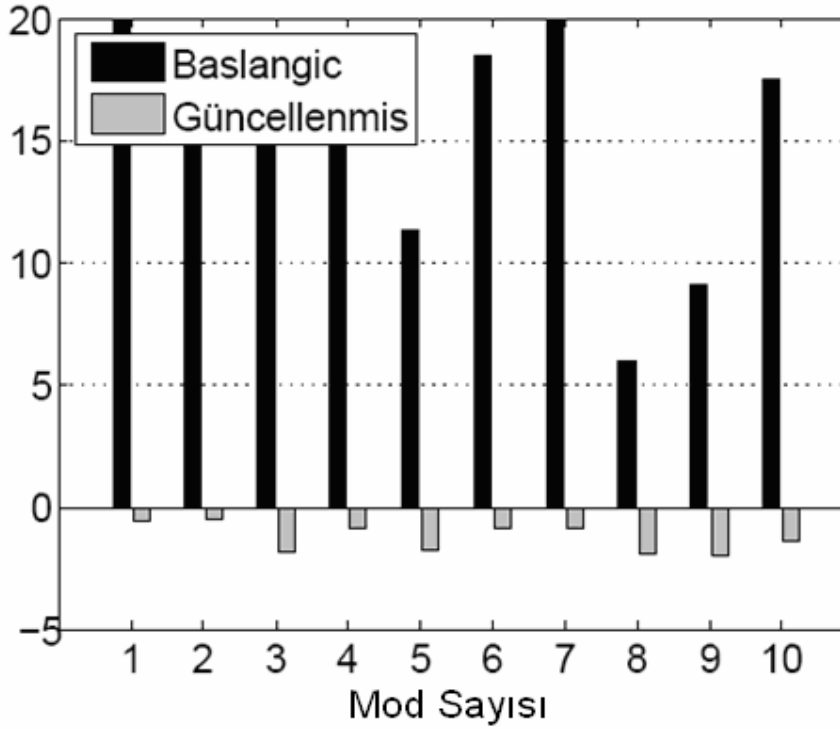
Eleman no	hasarlı	Gürültüsüz güncellenen	Gürültülü güncellenen
1	0.00	0.0327	0.0000
2	0.00	0.0628	0.0000
3	0.00	0.0703	0.0000
4	0.00	0.0006	0.0310
5	0.00	0.1263	0.1170
6	0.00	0.0000	0.0000
7	0.00	0.0016	0.0006
8	0.00	0.0626	0.1250
9	0.00	0.0008	0.0000
10	0.00	0.0003	0.0005
11	0.00	0.2503	0.0117
12	0.18	0.1802	0.1873
13	0.20	0.2502	0.1875
14	0.25	0.2505	0.3688
15	0.35	0.3639	0.2222
16	0.42	0.3128	0.5000
17	0.45	0.5010	0.5000
18	0.55	0.4368	0.4999
19	0.60	0.5000	0.6250
20	0.55	0.7500	0.5100
21	0.50	0.5000	0.4999
22	0.40	0.5000	0.0942
23	0.35	0.0025	0.5000
24	0.32	0.5000	0.3593
25	0.30	0.0001	0.0545
26	0.25	0.3240	0.5000
27	0.20	0.1753	0.0000
28	0.00	0.0592	0.054
29	0.00	0.0100	0.1259
30	0.00	0.1091	0.3000

Karışık hasarlı kirişte orta hasar durumunda gürültüsüz doğal frekans ve mod şekilleri için yakınsamada belirgin bir düşüş olsa da sonuçlar yeterince iyidir. Orta hasarlı durumda yakınsamayı test etmek amacıyla en elverişsiz durum düşünülmüş ve sadece ağır gürültü durumu incelenmiştir. Ağır gürültülü durumda ise “Şekil 4.24” ve “Şekil 4.25” deki MAC değerleri ve doğal frekans farkları incelendiğinde yakınsamadaki düşüş artmaya devam etmektedir. Fakat ”Tablo 4.5” deki düzeltme katsayıları gürültülü ve gürültüsüz durumlar için hasarın yeri ve büyüklüğü hakkında yeterli bir bilgi verebilmektedir.

Orta hasar ve ağır gürültülü durumlarda da genetik algoritmalar yardımıyla çok iyi sonuçlar elde etmek mümkündür. Bunun için iterasyon sayısında artış yapılabilir veya bu hasar durumu için popülasyon sayısı, çaprazlama ve mutasyon olasılığı gibi başlangıç parametreleri değiştirilerek en optimum sonuca ulaşılabilir.



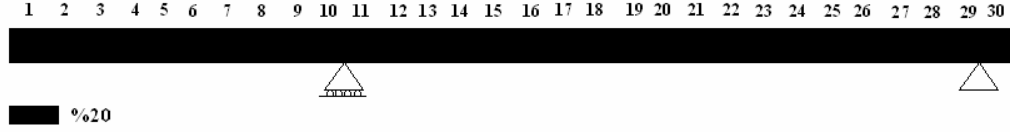
Şekil 4.24: Orta hasarlı karışık hasar durumunda ağır gürültülü MAC değerleri



Şekil 4.25: Orta hasarlı karışık hasar durumunda ağır gürültülü doğal frekans farkları

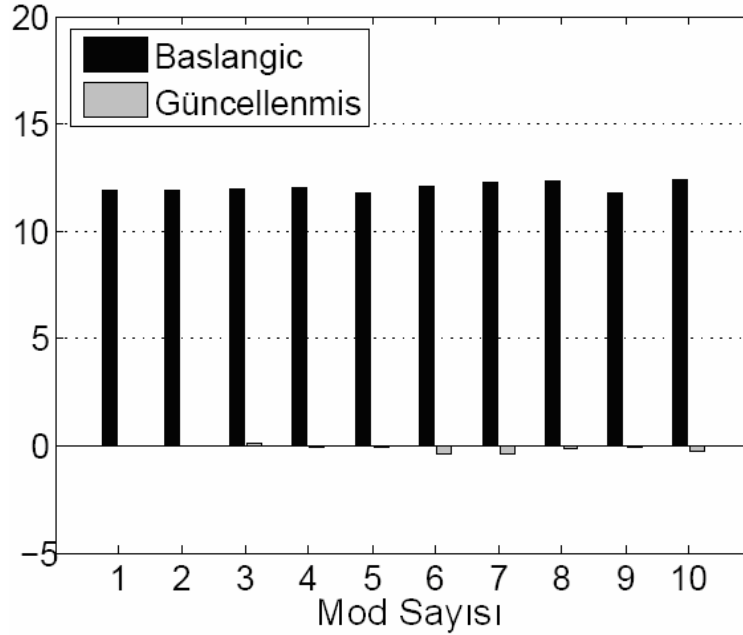
4.4.3 Yayılı Hasar Durumu İçin Güncelleme

Yayıllı hasar durumundaki kiriş için “Şekil 4.26” de hasarın yeri ve büyüklüğü gösterilmiştir. Populasyon sayısı $N=36$, $P_c=0.80$, $P_m=0.01$ ve iterasyon sayısı= 2000 olarak belirlenmiştir. Yayıllı hasar durumunda sadece hafif hasar ve hafif gürültülü durum incelenmiş, orta hasar ve ağır gürültü durumu incelenmemiştir.



Şekil 4.26: Yayıllı hasarlı kirişte hasar durumu

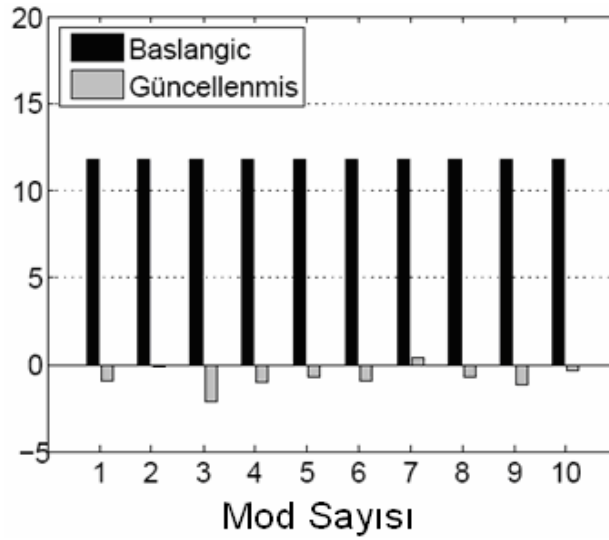
Yayıllı hasarlı kiriş ile hasarsız durumdaki kirişin mod şekilleri aynı olduğundan MAC değerleri hesaplanmamıştır. Gürültüsüz durumda doğal frekanslar arasındaki göreceli farklar için grafik “Şekil 4.27” de verilmiştir. Frekanslardaki yakınsamanın oldukça iyi olduğu grafikten görülmektedir. “Tablo 4.5” deki düzeltme katsayılarında ise yer yer hata olmasına karşın sonuçlar hasar hakkında yaklaşık olarak bir bilgi edinmemizi sağlayacak yeterliliktedir. Sonuçlar başlangıç parametrelerindeki uygun değişikliklerle iyileştirilebilir. “Şekil 4.28” de verilen gürültülü durum için frekans farkları grafiği ise gürültülü durumda da genetik algoritmaların iyi sonuçlar verdiğini göstermektedir.



Şekil 4.27: Yayıllı hasarlı durumda gürültüsüz göreceli frekans farkları

Tablo(4.6): Hafif hasarlı yayılı hasar durumunda düzeltme katsayıları

Eleman no	hasarlı	Gürültüsüz güncellenen	Hafif Gürültülü güncellenen
1	0.20	0.2526	0.0010
2	0.20	0.2806	0.1576
3	0.20	0.2186	0.1506
4	0.20	0.0502	0.2238
5	0.20	0.3750	0.1722
6	0.20	0.0466	0.0000
7	0.20	0.1873	0.4000
8	0.20	0.2366	0.0000
9	0.20	0.1573	0.2462
10	0.20	0.3127	0.1569
11	0.20	0.0944	0.1875
12	0.20	0.1535	0.1986
13	0.20	0.2502	0.2030
14	0.20	0.1879	0.0000
15	0.20	0.1703	0.4000
16	0.20	0.2484	0.1500
17	0.20	0.0773	0.2812
18	0.20	0.3112	0.2208
19	0.20	0.0078	0.0152
20	0.20	0.3440	0.3125
21	0.20	0.0858	0.0842
22	0.20	0.2658	0.1874
23	0.20	0.1250	0.1564
24	0.20	0.2477	0.2500
25	0.20	0.1242	0.2501
26	0.20	0.2028	0.2592
27	0.20	0.2505	0.193
28	0.20	0.1878	0.1875
29	0.20	0.1885	0.1889
30	0.20	0.3192	0.3122



Şekil 4.28: Yayılı hasarlı durumda gürültülü frekansların göreceli farkları

Üç farklı hasar senaryosu için de genetik algoritmaların sonlu eleman güncellemesi yöntemiyle hasar belirlemede yakınsaklığı elde edilen sonuçlar açısından yeterlidir. Ancak örneklerden de anlaşılacağı gibi her örnek için farklı iterasyon sayısı ve populasyon boyutu kullanılmıştır ve farklı problemler için hangi parametrelerin uygun olduğunu belirlemek için tam bir kriter verilmemiştir. Bu hala genetik algoritmalar için araştırmaya açıktır. Ayrıca elde edilen sonuçlara birçok parametrenin etkisi söz konusu olduğundan sonuçların iyileştirilmesi mümkündür.

5. SONUÇLAR

Bu tezde özet olarak inşaat mühendisliği yapıları üzerinde mekanikte ters modelleme olarak bilinen yöntem uygulanmıştır. Ters modelleme için sonlu eleman güncelleme tekniği kullanılmıştır. Amaç, deneysel modal veriler ile sonlu eleman modelinden elde edilen verilerin arasında uygunluk sağlayarak yapının bilinmeyen parametrelerini saptamaktır. Bu tezin kapsamında bu bilinmeyen parametreler sonlu elemanlara bölünmüş kirişin her elemanının elastisite modülündeki azalmayı temsil eden düzeltme katsayılarıdır.

Düzeltilme katsayılarının tespitinin yapıdaki hasarın yeri ve büyüklüğünün belirlenmesi anlamına geldiği gösterilmiştir. Bunun için kullanılan sonlu eleman güncelleme yönteminde deneysel ve sayısal frekans ve mod şekillerinin arasındaki farkı tanımlayan bir uygunluk fonksiyonu kullanılmıştır. Bu uygunluk fonksiyonu problemi bir en küçük kareler problemine dönüştürmüş ve bir optimizasyon problemi çözülmüştür. Bu tezde tanımlanan uygunluk fonksiyonu dışında farklı uygunluk fonksiyonları da tanımlamak mümkündür.

Sonlu eleman güncellemesinin ana algoritması olarak global optimizasyon yöntemlerinden genetik algoritmalar kullanılmıştır. En küçük kareler problemi şeklinde ifade edilen uygunluk fonksiyonumuz genetik algoritmalar yöntemiyle minimize edilmiştir. Genetik algoritmaların temel basamakları açıklanmış ve verilen sayısal örneklerde bu temel basamaklar kullanılmıştır.

Genetik algoritmalar uygulamadaki kolaylığı ve yeterli yakınsaklıkta bilgi sunması açısından elverişli bir optimizasyon tekniğidir. Ancak sayılar örneklerde de görüldüğü gibi çok sayıda iterasyon gerektirmekte bu da işlem hacmi ve zamanı açısından bir olumsuzluk meydana getirebilmektedir. Fakat hızlı gelişen bilgisayar teknolojileri sayesinde bilgisayar hızlarındaki artış genetik algoritmaları daha elverişli bir teknik haline getirmektedir.

Birçok optimizasyon algoritmasında rastgele seçilen başlangıç değerlerinin sonuçlara etkisi önemli boyutlardayken genetik algoritmalarda bu büyük bir sorun teşkil etmez. Bununla birlikte uygulamalarda da görüleceği gibi her problem için populasyon ve

iterasyon sayısı gibi GA'ların temel parametreleri her problem için en uygun değeri bulmak açısından değiştirilmiştir. Bununla ilgili temel bir kriter mevcut değildir.

Sayısal uygulamalarda ele alınan hasar senaryolarında genetik algoritmaların yakınsaklığı incelenmiş ve oldukça iyi sonuçlar elde edilmiştir. Hasar büyüklüğünün ve gürültü etkisinin artışı, sonuçların kalitesinde bir düşüş meydana getirmektedir. Bunu üstesinde gelmek için genetik algoritmalarda birçok iyileştirme yapılabilir veya populasyon sayısı, çaprazlama ve mutasyon olasılıkları gibi başlangıç parametrelerinde değişiklik yapılabilir. Bu genetik algoritmaların hala gelişmekte olan bir konu olmasının bir göstergesidir. Ayrıca bu tezin kapsamında olmasa da doğal frekans ve mod şekillerinin ağırlıklı kullanılması gürültülü durumlarda da iyi sonuçlar elde etmeyi mümkün kılmaktadır.

Sonlu eleman modeli güncellemesinde sonuçlara etkisi olan başka kriterlerde mevcuttur. Sonlu eleman modelindeki eleman sayısındaki artış, düzeltme katsayılarındaki yani problemdeki bilinmeyenlerdeki artış anlamına gelmektedir. Bu da yakınsamada bir düşüşe neden olmaktadır. Bununla birlikte uygunluk fonksiyonumuz ne kadar bilgi içeriyorsa o kadar iyi sonuçlar elde edilir. Başka bir deyişle yakınsama, doğal frekans ve mod şekillerindeki artışla doğru orantılıdır.

KAYNAKLAR

- Bicanic, N. and Chen, H.**, 1997. Damage identifications in frame structures using natural frequencies, *Int. J. Numer. Methods Eng.*, **40**, 4451-4468
- Brownjohn, J.M.W. and Xia, P.Q.**, 2000. Dynamic assesment of curved cable-stayed bridge by model updating, *Journal of Structural Engineering*, **126**, 252-260
- Chou, J.H. and Ghaboussi, J.**, 2001. Genetic algorithm in structural damage detection, *Computers and Structures*, **79**, 1335-1353
- Doherty, J.E.**, 1987. Nondestructive Evaluation, in *Hanbook On Experimental Mechanic*, Chapter12, Eds. Kobayashi A.S., Indiana
- Doubling, S.W. and Farrar, C.R.**, 1997. Using statistical analysis to enhance modal-base damage identification, *Proceeding of DAMAS 97*, Sheffield, UK, 199-210
- Ewins, D.J.**, 1984. Modal Testing: Teory and Practice, Wiley, New York
- Friswell, M.I., Inman, D.J. and Pilkey, D.F.**, 1998. The direct updating of damping and stiffness matrices, *AIAA Journal*, **36**, 491-493
- Friswell, M.I., Motterhead, J.E. and Ahmadian, H.**, 1998. Combining subset selection and parameter constraints in model updating, *J. Vib.and Acous.*, **120**, 854-859
- Fritzen, C.P., Jennewein, D. and Kiefer, T.**, 1998. Damage detection based on model updating methods, *Mechanical System and Signal Processing* , **12**, 163-186
- Fritzen C.P and Bohle K.**, 1999. Identification of damage in large scale structures by means of measured FRFs-Procedure and application to the I40 highway bridge, *proceeding of DAMAS 99*, Dublin, Ireland, 310-319
- Gao, Y. and Spencer, B.F.**, 2002. DAMAge Localization under ambient vibration using changes in flexibility, *Eart. Eng. Eng. Vib.*, 1. 136-144
- Ge, M. and Lui E.M.**, 2005. Structural damage detection using system dynamic properties, *Computers and structures*, **83**, 2185-2196
- Gill, P.E., Murray, W. and Wright, M.H.**, 1997. Practical Optimization, Akademic Press Limited, San Diego
- Goldberg, D.E.**, 1989. Genetic Algorithm in Search, optimization and Machine Learning, Addison-Wesley Publishing, Mass.
- Hao, H. and Xia, Y.**, 2002. Vibration-based damage detection of structures by genetic algorithms, *Journal of Computing in Civil Engineering*, ASCE **16**, 222-229
- He, R.S. and Hwang, S.F.**, 2006. Damage detection by an adaptive real-parameter simulated annaeling genetic algorithm, *Computers and Structures*, **84**, 2231-2243

- Heylen, W.**, 1987. Optimization of model matrices of mechanical structures using experimental modal data, *PhD Thesis*, K. U. Leuven, Belgium
- Holland, J.**, 1975. Adaptation in Natural and Artificial Systems, University of Michigan Press, Michigan
- Imregun, M. and Visser, W.J.**, 1991. A review of modal updating techniques, *The shock and Vibration Digest*, **23**, 9-20
- Kirkpatrick, S., Gelatt, C.D., and Vecchi, M.P.**, 1983. Optimization by simulated annealing, *Science*, **220**, 671-680
- Kosmatka, J.B. and Ricles, J.M.**, 1999. Damage detection in structures by modal vibration characterization, *Journal of Structural Engineering*, **125**, 1384-1392
- Li, S.M. and Brown, D.L.**, 1995. Application of unified matrix polynomial approach (UNPA) to perturb boundry condition (PBC) testing, *Mechanical System and Signal Processing*, **9**, 77-84
- Link, M.**, 1999. Updating analitical models- Basic procedures and extensions, in *Modal Analysis and testing*, Eds. Maia, N.M.M & Silva, J.M.M., Belgium
- Lu, Y. and Tu, Z.**, 2005. Dynamic model updating using a combined genetic-eigensensitivity algorithm and application in seismic response prediction, *Earthquake Engineering and structural Dynamic*, **34**, 1149-1170
- Melanie, M.**, 1999, An Introduction to Genetic Algorithms, MIT Press, Massachusetts
- Michalewicz, Z.**, 1996. Genetic Algorithms + Data Structures = Evaluation Programs, Springer-Verlag, New York
- Mottershead, J.E. and Friswell, M.I.**, 1993. Model updating in structural dynamics: a survey, *Journal of Sound and Vibration*, **167**, 347-375
- Nanakorn, P. and Meesomklin, K.**, 2001. An adaptive penalty function in genetic algorithms for structural design optimization, *Comp. and struc.*, **79**, 2527-2539
- Natke, H.G. and Cempel, C.**, 1997. Model-aided diagnosis based on symsponts, *Proceedings of DAMAS 97*, Sheffield, UK, 363-374
- Nocedal, J. and Wright, S.J.**, 1999. Numerical Optimization, Springer, New York
- Nalitolela, N., Penny, J.E.T. and Friswell, M.I.**, 1992. A mass or stiffness addition technique for structural parameter updating, *International Journal of Analitical and Experimental Modal Analysis*, **7**, 157-168
- Pandey, A.K., Biswas, M. and Saman, M.M.**, 1991. Damage detection from changes in curvature mod shapes, *Journal of Sound and Vibration*, **145**, 321-332

- Perera, R. and Torres, R.**, 2005. Structural damage detection via modal data with genetic algorithms, *Journal of Structural Engineering*, **132**, 1491-1501
- Ratnam, C. and Rao, P.**, 2003. Identification of damage in structures using genetic algorithms, *Journal of The Institution of Engineers*, **84**, 154-160
- Rao, M.A., Srinivas, J. and Murthy, B.S.N.**, 2004. Damage detection in vibrating bodies using genetic algorithm, *Computers and Structures*, **82**, 963-968
- Rao, S.S.**, 1996. Engineering Optimization- Teory and Practice, John Wiley & Sons, New York
- Salawu, O.S.**, 1997. Detection of structural damage through changes in frequency: A Review, *Engineering Structures*, **19**, 718-723
- Shi, Z.Y., Law, S.S. and Zhang L.M.**, 2000. Structural damage detection from modal strain energy changes, *Journal of Engineering Mechanics*, **126**, 1216-1223
- Spall, J.C.**, 2003. Introduction to Stochastic Search and Optimization, John Wiley & Sons, New York
- Stubbs, N. and Kim J.T.**, 1996. Damage localization in structures without baseline modal parametres, *AIAA J.*, **34**, 1644-1654
- Teughels, A., Maeck, J. and Roeck G.D.**, 2002. Damage assesment by FE model updating using damage functions, *Computers and Structures*, **80**, 1869-1879
- Teughels, A.**, 2003. Inverse modelling of civil engineering structures based on operational modal data, *PhD Thesis*, K,U, Leuven, Belgium
- Vestroni, F. and Capecchi, D.**, 2000. Damage detection in beam structures based on frequency measurement, *Journal of Engineering Mechanics*, **126**, 761-768
- Wei, F.S.**, 1990. Structural dynamic model improvment using vibration test data, *AIAA Journal*, **28**, 175-177
- Yu, E., Wallace, J.W. and Taciroglu, E.**, 2006. Parameter identification of framed structures using an improved finite element model updating method-Part II: Application to experimental data, *Earth. Eng. and Struc. Dynamic*, **36**, 641-660
- Zang, Q.W., Chang, C.C. and Chang, T.Y.P.**, 2000. Finite element model updating for structures with parametric constraints, *Eart. Eng. and Dyn. Struc.*, **29**, 927-944
- Gundes, P., Reynders, E. And De Roeck, G.**, 2007. Sensivity based finite element model updating using constrained optimization with a trust region algorithm, *Journal of Sound And Vibraion*, accepted in 2007

ÖZGEÇMİŞ

Tezin yazarı Yıldırım Serhat ERDOĞAN 1983 yılında Kocaeli’de doğmuştur. İlkokulu Karamürsel Atatürk İlköğretim okulunda, ortaokulu ise Karamürsel Anadolu Lisesi’nde tamamlamıştır. Karamürsel Lisesi’nden mezun olduktan sonra İstanbul Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’ne 2001 yılında kaydını yaptırmış, 2005 yılında mezun olmuştur. Aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü’nde yüksek lisans eğitimine başlamıştır. Halen İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Anabilim Dalı’nda eğitimini sürdürmektedir