

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

AÇIK DENİZ YAPILARININ GÜVENİLİRLİĞE DAYALI OPTİMİZASYONU

DOKTORA TEZİ

İnş. Yük. Müh. Vedat TOĞAN

**EYLÜL 2009
TRABZON**

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

AÇIK DENİZ YAPILARININ GÜVENİLİRLİĞE DAYALI OPTİMİZASYONU

İnş. Yük. Müh. Vedat TOĞAN

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsüne
“Doktora (İnşaat Mühendisliği)”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 09.09.2009
Tezin Savunma Tarihi : 25.09.2009

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ayşe DALOĞLU

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Şakir ERDOĞDU

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Vasif V. NABİYEV

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Yusuf AYVAZ

Jüri Üyesi : Prof. Dr. M. Polat SAKA

Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Salih TERZİOĞLU

Trabzon 2009

ÖNSÖZ

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

Yüksek lisans ve doktora çalışmalarım esnasında daima yanımda olan, doktora çalışma konumu bana öneren ve çalışmalarımı sürekli olarak takip eden, öğrenciliğimin her aşamasında bilgi ve deneyiminden yararlandığım, bilimsel düşünce tarzını benimsememi sağlayan yönetici hocam Sayın Prof. Dr. Ayşe DALOĞLU'na teşekkürlerimi sunmayı zevkli bir görev sayarım.

Değerli zamanlarını ayırarak tezimi değerlendiren hocalarım Sayın Prof. Dr. Şakir ERDOĞDU'ya, Sayın Prof. Dr. Vasıf N. NABİYEV'e, Sayın Prof. Dr. Yusuf AYVAZ'a ve Sayın Prof. Dr. M. Polat SAKA'ya teşekkürlerimi sunarım.

Tezin sonlandırılmasında ve bilime olan ilgimin artmasında yadsınamaz katkısı bulunan TU Delft'ten Sayın Dr. Halil KARADENİZ'e, görüş, öneri ve tartışmaları ile de Sayın Prof. Dr. Ton Vrouwenvelder'a teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Ayrıca eğitim-öğretimim süresince bana emeği geçen tüm hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam boyunca yardımını esirgemeyen bütün arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Sağlamış olduğu 2214 kodlu burs dolayısı ile çalışmanın daha verimli olmasına katkıda bulunan TÜBİTAK'a teşekkür ederim.

İlgi, sevgi ve desteklerini esirgemeyen hayatımda yer almış ve alan diğer tüm dostlarıma teşekkür ederim.

Aileme, Eşime ve Bozkırların Çobanı, Babam'a...

Vedat TOĞAN
Trabzon 2009

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	V
SUMMARY	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ	VII
TABLolar DİZİNİ.....	X
SEMBOLLER DİZİNİ	XII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Güvenilirliğe Dayalı Optimizasyon Konusunda Yapılan Bazı Çalışmalar.....	3
1.3. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı	12
1.4. Güvenilirlik ve Güvenilirlik Analizi	13
1.4.1. Birinci Dereceden Güvenilirlik Yöntemi	15
1.4.2. Tersine Güvenilirlik Yöntemi	21
1.5. Optimizasyon ve Optimizasyon Yöntemleri	23
1.5.1. Matematiksel Programlama.....	24
1.5.2. Sezgisel Algoritmalar	25
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEME.....	28
2.1. Giriş.....	28
2.2. Güvenilirliğe Dayalı Optimizasyon Probleminin Matematiksel Formülasyonu... ..	29
2.2.1. Bir Güvenilirliğe Dayalı Optimizasyon Algoritmasının Bileşenleri.....	30
2.2.2. Güvenilirlik Sınırlayıcılarının Kontrolü.....	31
2.3. Tek Ayaklı Deniz Platformu İçin Geliştirilen Güvenilirliğe Dayalı Optimizasyon Algoritması.....	32
2.3.1. Tek Ayaklı Deniz Platformu	33
2.3.2. Tek Ayaklı Deniz Platformunun Güvenilirliğe Dayalı Optimizasyonu.....	35
2.3.2.1. Tek Ayaklı Deniz Platformunun Parçalı Olarak Güvenilirlik İndeksi Yaklaşımına Dayanan Güvenilirliğe Dayalı Optimizasyonu	44
2.3.2.2. Tek Ayaklı Deniz Platformunun Parçalı Olarak Performans Ölçümü Yaklaşımına Dayanan Güvenilirliğe Dayalı Optimizasyonu	58

2.4.	Deniz Platformlarının SAPOS Kullanılarak Güvenilirliğe Dayalı Optimizasyonu.....	69
2.5.	SAPOS Kullanılarak Gerçekleştirilen Güvenilirliğe Dayalı Optimizasyon İşlem Dizisinin Doğruluğunun Denetimi	73
2.5.1.	Tek Ayaklı Deniz Platformunun 3 Parçalı Olarak Gerçekleştirilen Optimizasyonları İçin Programın Doğruluğu	73
2.5.2.	Tek Ayaklı Deniz Platformunun 6 Parçalı Olarak Gerçekleştirilen Optimizasyonları İçin Programın Doğruluğu	75
2.5.3.	Tek Ayaklı Deniz Platformunun 12 Parçalı Olarak Gerçekleştirilen Optimizasyonları İçin Programın Doğruluğu	78
2.6.	Üç Ayaklı ve Ceket Tipi Deniz Platformlarının SAPOS Kullanılarak Gerçekleştirilen Güvenilirliğe Dayalı Optimizasyonları	82
2.6.1.	Üç Ayaklı Deniz Platformu	83
2.6.2.	Ceket Tipi Deniz Platformu	93
3.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	105
4.	KAYNAKLAR.....	107
5.	EKLER.....	116
ÖZGEÇMİŞ		

ÖZET

Gelişen teknolojiyle beraber artık günümüzde, bir ihtiyacı karşılamak adına belirli koşulları sağlayan tasarımlar arasından en uygun olanının elde edilmesine yönelik geliştirilmiş pek çok ardışık işlem dizileri bulunmaktadır. Bu algoritmaların ortak özellikleri yük, malzeme, geometri v.b. gibi kullanılan parametrelerin değerlerinin belirli olmasıdır. Oysaki mühendislik problemlerinde kullanılan parametrelerin çoğunda belirsizlikler mevcuttur. Diğer bir ifadeyle bu parametreler için kullanılan değerler rastgele değişkenlerdir.

Bu çalışmanın amacı optimizasyon sürecinde, kullanılan parametrelerin değerlerinde oluşabilecek belirsizlikleri dikkate alarak açık deniz yapılarının optimizasyonunu gerçekleştirerek minimum ağırlıklarını elde etmektir. Bunun için optimizasyon yöntemi olarak ardışık ikinci dereceden programlama ve diferansiyel gelişim yöntemini, güvenilirlik metodu olarak da birinci dereceden güvenilirlik yöntemi ve tersine güvenilirlik yöntemini içeren bir bilgisayar programı FORTRAN dilinde kodlanmıştır. Bu program yardımıyla kendi ağırlığı, maksimum dalga yükü ve taşıdığı istasyon yüküne maruz 3 farklı tip açık deniz yapısının belirsizlikler altında eleman güvenilirliğine dayalı optimizasyonları gerçekleştirilmiştir. Optimizasyonda gerek malzeme özellikleri gerekse yükleme için kullanılan parametre değerlerinde oluşabilecek belirsizlikler dikkate alınmıştır.

Sonuç olarak, belirsizliklerin optimizasyon sürecinde dikkate alınmaları durumunda açık deniz yapılarının elde edilen ağırlıkları belirsizliklerin dikkate alınmamaları durumuna göre elde edilen ağırlıklarından daha fazladır. Optimizasyonda belirsizliklere bağlı sınırlayıcıların değerlendirilmesinde kullanılan tersine güvenilirlik yöntemine dayanan performans ölçümü yaklaşımı, birinci dereceden güvenilirlik yöntemine dayanan güvenilirlik indeksi yaklaşımına göre hem yakınsama oranı hem de hesap zamanı açısından daha etkindir. Optimizasyon yöntemi olarak kullanılan diferansiyel gelişim, fazla hesap zamanı gerektirmesine rağmen elde edilen sonuçlar açısından ardışık ikinci dereceden programlama ile uygun sonuçlar vermektedir ve kullanılabilir olmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Rastgele Değişken, Güvenilirlik, Güvenilirliğe Dayalı Optimizasyon
Açık Deniz Yapıları, Diferansiyel Gelişim, Duyarlılık

SUMMARY

Reliability Based Design Optimization of Offshore Structures

With the improving technology today, there are many algorithms available to obtain the optimum solution among the designs that satisfy some predefined conditions for a certain problem. The common property of these algorithms is that the parameters of the optimization such as material, load, geometry etc., are considered as deterministic. However, kinds of randomness exist for most of the parameters used in engineering problems. That is, considering these parameters as random variables is more truthful.

The aim of this study is to obtain the minimum weight of the offshore structures by performing their optimizations under the randomness that is unavoidable for the parameters used in the optimization. A computer program is coded in FORTRAN for the purpose. Program includes the sequential quadratic programming and differential evolution as the optimization methods in addition to the first order reliability and inverse reliability methods. Three different types of offshore structures are optimized considering the component reliability under self-weight, maximum wave height and the total mass at the top. The uncertainties related with both the material and the loading are taken into account in the optimization process.

It is concluded that when the parameters defined in the optimization are considered as random the weight of offshore structures are calculated heavier than those obtained with deterministic parameters. The performance measure approach based on the inverse reliability method is robust compare to the reliability index approach based on the first order reliability method in terms of both the convergence rate and the computation time. Although it needs more computation time differential evolution produces nearly the same results with the sequential quadratic programming and it can be employed.

Key Words: Random Variables, Reliability, Reliability Based Design Optimization, Offshore Structures, Differential Evolution, Sensitivity

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1.	Tasarım değişkenlerindeki belirsizliğin geleneksel optimizasyon sonucuna etkisi	2
Şekil 1.2.	Geleneksel ve güvenilirliğe dayalı optimizasyon algoritmaları	3
Şekil 1.3.	Cornel güvenilirlik indeksinin geometrik gösterimi.....	16
Şekil 1.4.	Hasofer ve Lind'in güvenilirlik indeksi tanımının $g=Q-S$ için gösterimi	18
Şekil 1.5.	Güvenilirlik indeksinin birinci derece güvenilirlik yöntemi ve tersine güvenilirlik yöntemi için geometrik gösterimi	23
Şekil 2.1.	Yuvalanmış veya iki döngülü güvenilirliğe dayalı optimizasyon algoritması	30
Şekil 2.2.	Tek ayaklı deniz platformu.....	33
Şekil 2.3.	3, 6 ve 12 parçaya bölünmüş tek ayaklı deniz platformu	36
Şekil 2.4.	12 parçalı tek ayaklı deniz platformu için geliştirilmiş kütle formülasyonu	41
Şekil 2.5.	Tek ayaklı deniz platformunun 3 parçalı olarak gerçekleştirilen optimizasyon süreçlerine göre ağırlığının değişimi.....	51
Şekil 2.6.	Tek ayaklı deniz platformunun 6 parçalı olarak gerçekleştirilen optimizasyon süreçlerine göre ağırlığının değişimi.....	52
Şekil 2.7.	Tek ayaklı deniz platformunun 12 parçalı olarak gerçekleştirilen optimizasyon süreçlerine göre ağırlığının değişimi.....	53
Şekil 2.8.	Tek ayaklı deniz platformunun 3 parçalı olarak gerçekleştirilen optimizasyon sonuçlarının değişimi	54
Şekil 2.9.	Tek ayaklı deniz platformunun 6 parçalı olarak gerçekleştirilen optimizasyon sonuçlarının değişimi	55
Şekil 2.10.	Tek ayaklı deniz platformunun 12 parçalı olarak gerçekleştirilen optimizasyon sonuçlarının değişimi	56
Şekil 2.11.	Tek ayaklı deniz platformunun parçalı olarak NLPQLP kullanılarak gerçekleştirilen güvenilirlik indeksi yaklaşımı ve performans ölçüsü yaklaşımına dayanan güvenilirliğe dayalı optimizasyonu için toplam güvenilirlik analizi sayısı ve CPU zamanı.....	63
Şekil 2.12.	Tek ayaklı deniz platformunun parçalı olarak NLPQLP kullanılarak gerçekleştirilen güvenilirlik indeksi yaklaşımı ve performans ölçüsü yaklaşımına dayanan güvenilirliğe dayalı optimizasyon (rastgele d ile)'u için toplam güvenilirlik analizi sayısı ve CPU zamanı.....	64
Şekil 2.13.	Tek ayaklı deniz platformunun parçalı olarak DE kullanılarak gerçekleştirilen güvenilirlik indeksi yaklaşımı ve performans ölçüsü	

yaklaşımına dayanan güvenilirliğe dayalı optimizasyonu için toplam güvenilirlik analizi sayısı ve CPU zamanı.....	65
Şekil 2.14. Tek ayaklı deniz platformunun parçalı olarak DE kullanılarak gerçekleştirilen güvenilirlik indeksi yaklaşımı ve performans ölçüsü yaklaşımına dayanan güvenilirliğe dayalı optimizasyon (rastgele d ile)’u için toplam güvenilirlik analizi sayısı ve CPU zamanı.....	66
Şekil 2.15. SAPOS kullanılarak gerçekleştirilen güvenilirliğe dayalı optimizasyon sürecinin akış diyagramı.....	70
Şekil 2.16. Açık kod (algoritma) ve SAPOS kullanarak tek ayaklı platformun 3 parçalı olarak gerçekleştirilen optimizasyonlarının karşılaştırması	74
Şekil 2.17. Açık kod (algoritma) ve SAPOS kullanarak tek ayaklı platformun 6 parçalı olarak gerçekleştirilen optimizasyonlarının karşılaştırması	78
Şekil 2.18. Açık kod (algoritma) ve SAPOS kullanarak tek ayaklı platformun 12 parçalı olarak gerçekleştirilen optimizasyonlarının karşılaştırması	81
Şekil 2.19. Tek ayaklı platform için eleman sayısının sonuçlara etkisi.....	82
Şekil 2.20. Üç ayaklı deniz platformu ve eleman grupları	83
Şekil 2.21. Üç ayaklı platformu için eleman boylarının sonuçlara etkisi.....	84
Şekil 2.22. Üç ayaklı deniz platformunun gerçekleştirilen optimizasyon süreçlerine dair ağırlığının değişimi.....	87
Şekil 2.23. Üç ayaklı deniz platformuna ilişkin gerçekleştirilen optimizasyon sonuçlarının değişimi (güvenilirlik indeksi yaklaşımına dayanan güvenilirliğe dayalı optimizasyon için).....	88
Şekil 2.24. Üç ayaklı deniz platformuna ilişkin gerçekleştirilen optimizasyon sonuçlarının değişimi (performans ölçüsü yaklaşımına dayanan güvenilirliğe dayalı optimizasyon için).....	89
Şekil 2.25. Üç ayaklı deniz platformun NLPQL kullanarak gerçekleştirilen güvenilirlik indeksi yaklaşımı ve performans ölçüsü yaklaşımına dayanan güvenilirliğe dayalı optimizasyonu için toplam güvenilirlik analizi sayısı ve CPU zamanı	90
Şekil 2.26. Üç ayaklı deniz platformun DE kullanarak gerçekleştirilen güvenilirlik indeksi yaklaşımı ve performans ölçüsü yaklaşımına dayanan güvenilirliğe dayalı optimizasyonu için toplam güvenilirlik analizi sayısı ve CPU zamanı	91
Şekil 2.27. Ceket tipi deniz platformu ve eleman gruplandırması.....	93
Şekil 2.28. Ceket tipi deniz platformunun gerçekleştirilen optimizasyon süreçlerine dair ağırlığının değişimi.....	98
Şekil 2.29. Ceket tipi deniz platformuna ilişkin gerçekleştirilen optimizasyon sonuçlarının değişimi (güvenilirlik indeksi yaklaşımına dayanan güvenilirliğe dayalı optimizasyon için).....	99
Şekil 2.30. Ceket tipi deniz platformuna ilişkin gerçekleştirilen optimizasyon sonuçlarının değişimi (performans ölçüsü yaklaşımına dayanan güvenilirliğe dayalı optimizasyon için).....	100

Şekil 2.31. Ceket tipi deniz platformun NLPQL kullanarak gerçekleştirilen güvenilirlik indeksi yaklaşımı ve performans ölçüsü yaklaşımına dayanan güvenilirliğe dayalı optimizasyonu için toplam güvenilirlik analizi sayısı ve CPU zamanı	101
Şekil 2.32. Ceket tipi deniz platformun DE kullanarak gerçekleştirilen güvenilirlik indeksi yaklaşımı ve performans ölçüsü yaklaşımına dayanan güvenilirliğe dayalı optimizasyonu için toplam güvenilirlik analizi sayısı ve CPU zamanı	102

TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Tek ayaklı deniz platformunun güvenilirliğe dayalı optimizasyonunda kullanılan parametreler	43
Tablo 2.2. Tek ayaklı deniz platformunun 3 parçalı olarak NLPQLP ve DE ile gerçekleştirilen güvenilirlik indeksi yaklaşımına dayanan güvenilirliğe dayalı optimizasyon sonuçları	48
Tablo 2.3. Tek ayaklı deniz platformunun 6 parçalı olarak NLPQLP ve DE ile gerçekleştirilen güvenilirlik indeksi yaklaşımına dayanan güvenilirliğe dayalı optimizasyon sonuçları	49
Tablo 2.4. Tek ayaklı deniz platformunun 12 parçalı olarak NLPQLP ve DE ile gerçekleştirilen güvenilirlik indeksi yaklaşımına dayanan güvenilirliğe dayalı optimizasyon sonuçları	50
Tablo 2.5. Tek ayaklı deniz platformunun 3 parçalı olarak NLPQLP ve DE ile gerçekleştirilen performans ölçüsü yaklaşımına dayanan güvenilirliğe dayalı optimizasyon sonuçları	60
Tablo 2.6. Tek ayaklı deniz platformunun 6 parçalı olarak NLPQLP ve DE ile gerçekleştirilen performans ölçüsü yaklaşımına dayanan güvenilirliğe dayalı optimizasyon sonuçları	61
Tablo 2.7. Tek ayaklı deniz platformunun 12 parçalı olarak NLPQLP ve DE ile gerçekleştirilen performans ölçüsü yaklaşımına dayanan güvenilirliğe dayalı optimizasyon sonuçları	62
Tablo 2.8. Tek ayaklı deniz platformunun 3 parçalı olarak SAPOS kullanılarak NLPQL ve DE ile gerçekleştirilen güvenilirlik indeksi yaklaşımına dayanan güvenilirliğe dayalı optimizasyon sonuçları.....	73
Tablo 2.9. Tek ayaklı deniz platformunun 3 parçalı olarak SAPOS kullanılarak NLPQL ve DE ile gerçekleştirilen performans ölçüsü yaklaşımına dayanan güvenilirliğe dayalı optimizasyon sonuçları.....	74
Tablo 2.10. Tek ayaklı deniz platformunun 6 parçalı olarak SAPOS kullanılarak NLPQL ve DE ile gerçekleştirilen güvenilirlik indeksi yaklaşımına dayanan güvenilirliğe dayalı optimizasyon sonuçları.....	76
Tablo 2.11. Tek ayaklı deniz platformunun 6 parçalı olarak SAPOS kullanılarak NLPQL ve DE ile gerçekleştirilen performans ölçüsü yaklaşımına dayanan güvenilirliğe dayalı optimizasyon sonuçları.....	77
Tablo 2.12. Tek ayaklı deniz platformunun 12 parçalı olarak SAPOS kullanılarak NLPQL ve DE ile gerçekleştirilen güvenilirlik indeksi yaklaşımına dayanan güvenilirliğe dayalı optimizasyon sonuçları.....	79
Tablo 2.13. Tek ayaklı deniz platformunun 12 parçalı olarak SAPOS kullanılarak NLPQL ve DE ile gerçekleştirilen performans ölçüsü yaklaşımına dayanan güvenilirliğe dayalı optimizasyon sonuçları.....	80

Tablo 2.14. Üç ayaklı deniz platformunun SAPOS kullanılarak NLPQL ve DE ile gerçekleştirilen güvenilirlik indeksi yaklaşımına dayanan güvenilirliğe dayalı optimizasyon sonuçları	85
Tablo 2.15. Üç ayaklı deniz platformunun SAPOS kullanılarak NLPQL ve DE ile gerçekleştirilen performans ölçüsü yaklaşımına dayanan güvenilirliğe dayalı optimizasyon sonuçları	86
Tablo 2.16. Ceket tipi deniz platformunun güvenilirliğe dayalı optimizasyonunda kullanılan parametreler	95
Tablo 2.17. Ceket tipi deniz platformunun SAPOS kullanılarak NLPQL ve DE ile gerçekleştirilen güvenilirlik indeksi yaklaşımına dayanan güvenilirliğe dayalı optimizasyon sonuçları	96
Tablo 2.18. Ceket tipi deniz platformunun SAPOS kullanılarak NLPQL ve DE ile gerçekleştirilen performans ölçüsü yaklaşımına dayanan güvenilirliğe dayalı optimizasyon sonuçları	97
Ek Tablo 2.1.NLPQLP için başlangıç değerleri	124
Ek Tablo 2.2.DE için kullanılan popülasyon sayısı, maksimum iterasyon, mutasyon ve çaprazlama oranları	125

SEMBOLLER DİZİNİ

BDGY	Birinci dereceden güvenilirlik yöntemi
D	En kesitin çapı
DE	Diferansiyel gelişim
E	Elastisite modülü
EPS	Bir değer
FOSM	Birinci derece ikinci moment yöntemi
GDO	Güvenilirliğe dayalı optimizasyon
GIY	Güvenilirlik indeksi yaklaşımı
H	Hessian matrisi
I	Atalet momenti
İDGY	İkinci dereceden güvenilirlik yöntemi
LP	Lineer programlama
M	Eğilme momenti
MFD	Değiştirilmiş uygun yön yöntemi
N	Normal kuvvet
NLP	Lineer olmayan programlama
PÖY	Performans ölçümü yaklaşımı
Q	Arz
R	En kesitin yarıçapı
S	Talep
SCF	Gerilme yığılması faktörü
SEY	Sonlu elemanlar yöntemi
SLP	Ardışık birinci dereceden programlama
SQP	Ardışık ikinci dereceden programlama
SUMT	Ardışık sınırlayıcısız minimizasyon tekniği
T	Deniz kalınlık büyütmesi
TGY	Tersine güvenilirlik yöntemi
U	Normalleştirilmiş değişken vektörü uzayı
W	Amaç fonksiyonu

X	Rastgele değişken vektörü uzayı
A_s	En kesit alan
b_b	Parçaya(elemana) ait alt noktanın koordinatı
C_a	Bir parametre
C_b	Bir parametre
C_d	Sürüklenme kuvveti
c_d	Sürüklenme kuvveti katsayısı
C_m	Atalet kuvveti
c_m	Atalet kuvveti katsayısı
C_X	Kovaryans matrisi
d	Tasarım değişkeni vektörü
d_{alt}	Tasarım değişkeni vektörü için alt sınır
D_{av}	Kesitin ortalama çapı
d_{su}	Su derinliği
$d_{üst}$	Tasarım değişkeni vektörü için üst sınır
$f(.)$	Olasılık yoğunluk fonksiyonu
$F(.)$	Yığışımli dağılım fonksiyonu
f_y	Akma dayanımı
g	Yer çekim ivmesi
$g(.)$	Sınır durum fonksiyonu
g^*	Hedef olasılık performans ölçüsü
$G_U(.)$	Sınır durum fonksiyonun standart normal uzaydaki değeri
$h(.)$	Eşitlik sınırlayıcısı
H_{mak}	Maksimum dalga yüksekliği
h_s	Platformun yüksekliği
k	Platforma ait genelleştirilmiş rijitlik
L_e	Elemanın boyu
m	Dalga sayısı
m^*	Platforma ait genelleştirilmiş kütle
M_{ist}	İstasyon yükü
$P(.)$	Olasılık
$p(Z)$	Dalga kuvveti
P_f	Göçme olasılığı

\bar{P}_f	İzin verilen göçme olasılığı
R_{av}	Kesitin ortalama yarıçapı
t	En kesitin kalınlığı
u	Normalleştirilmiş değişken vektörü
u^*	Normalleştirilmiş uzayda tasarım noktası vektörü
u_x	Su parçacıklarının yatay hızı
\dot{u}_x	Dalganın yayılma yönündeki ivmesi
x	Rastgele değişken vektörü
z	Parçanın(elemanın) z koordinatı
α	Doğrultman kosinüsü
α_{dalga}	Dalga dikliği
β	Güvenilirlik indeksi
β_t	İstenilen güvenilirlik indeksi değeri
δ	Platformun deplasman fonksiyonu
λ	Boyutsuz burkulma parametresi
μ	Beklenen değer, sayısal ortalama
ν	Poisson oranı
ρ_a	Bir parametre
ρ_b	Bir parametre
ρ_s	Çeliğin yoğunluğunu
ρ_{su}	Suyun yoğunluğu
σ	Standart sapma
σ_a	Normal kuvvetten dolayı oluşan gerilme
σ_b	Eğilme momentinden dolayı oluşan gerilme
σ_{cr}	Kritik burkulma gerilmesi
σ_{Ea}	Bir gerilme parametresi
σ_{Eb}	Bir gerilme parametresi
σ_{nom}	Kesitte oluşan gerilme
τ	Bir parametre
$\phi(.)$	Standart normal dağılımın olasılık yoğunluk fonksiyonu
ω	Dalga frekansı
ω_a	İstenilen doğal frekans değeri

ω_n	Doğal frekans
$\Phi(\cdot)$	Standart normal dağılımın yığışımli dağılım fonksiyonu
ξ	Bir parametre
Z	Bir parametre
$\hat{\eta}$	Dalga genliği
$\ \cdot\ $	Vektör uzunluğu
Δ	Artırım değer

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

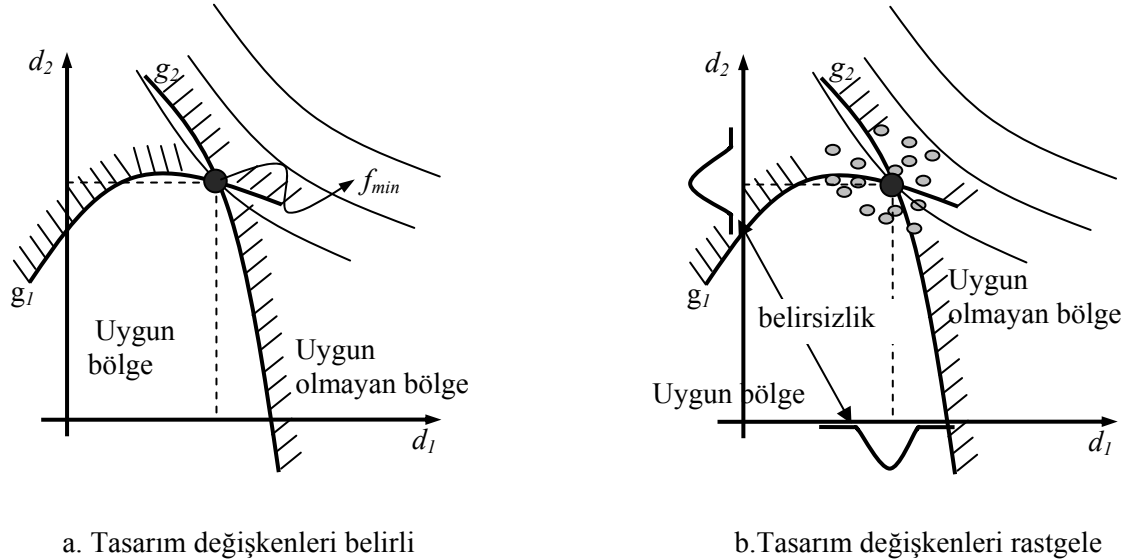
Yapıların boyutlandırılması sürecinde yapı mühendisleri, yapıda kullanılan malzemenin mekanik özellikleri ile etkiyen dış yükler altında yapının analizini yaparak sistemde oluşan gerilme ve yer değiştirmeleri hesaplarlar. Elde edilen bu değerlere göre yapı elemanları için daha önceden seçilmiş kesit boyutlarını değiştirirler. Bu değişimin sebebi, ya gerilme ve yer değiştirmelerin şartnamelerce belirlenen sınırlardan büyük olması ya da çok küçük olmasıdır. Birinci durumda yapı güvenliği sağlanamayacağından kesit boyutlarının büyütülmesi, ikinci durumda ise ekonomik çözümün sağlanamaması sebebiyle kesit boyutlarında küçültmeye gidilir. Daha sonra yapı bu yeni kesitlerle yeniden analiz edilerek, gerilme ve yer değiştirmeler kontrol edilir. Bu ardı sıra hesaplama şartnamelerce belirlenen gerilme ve yer değiştirme sınırları sağlanıp ekonomik bir çözüm elde edilinceye kadar tekrarlanır. Bu nedenle belirli bir amaca hizmet edecek olan mühendislik yapılarını, belirli bir emniyet ve rijitliğe sahip olacak biçimde birçok farklı şekilde tasarlamak mümkündür. Bunlar arasında belirtilen istekleri (koşulları) sağlayan en ekonomik çözümün bulunması yapı mühendisliğinin temel amacıdır.

Bu amaca ulaşmak, ardışık olarak tekrarlanan işlemlerde bilgisayarların ve yaklaşık yöntemlerin kullanılmaya başlanılmasına kadar pek kolay olmamıştır. Gelişen teknolojiyle beraber artık günümüzde, bir ihtiyacı karşılamak için belirtilen koşulları sağlayan tasarımlar arasından en uygun (optimum) olanının elde edilmesine yönelik geliştirilmiş pek çok yaklaşık yöntemler (algoritmalar) bulunmaktadır. Bu algoritmaların ortak özellikleri, kullanılan parametre ve değişken değerlerinin belirli olmasıdır. Oysaki mühendislik problemlerinde kullanılan parametrelerin çoğunda belirsizlikler mevcuttur. Örneğin yapıya etkiyen yüklerin, malzemenin dirençlerinin, yapı elemanlarında oluşan gerilmelerin, yapıya ait geometrik boyutların değerlerinde önceden kestirilemeyen bir şekilde değişimler görülebilmektedir (Bayazıt, 1996). Bu parametreler için kullanılan değerler rastgele değişkenlerdir.

Bu değerlerdeki belirsizlikler, üretim, işçilik vb. gibi aşamalardan, doğasal olaylardan kaynaklanabilmektedir. Öte yandan çözüm için kurulan matematiksel modelin

kendisinin yetersiz olması da belirsizliğin nedeni olabilmektedir. Görüldüğü gibi bir problemin çözümünde kullanılan parametrelerin değerlerinde önceden tahmin edilemeyen belirsizlikler söz konusu olmaktadır. Dolayısı ile mühendislik problemlerinin planlanması ve projelendirilmelerinde belirsizlik etkilerinin dikkate alınmasının gerektiği görülmektedir. Bu da olasılık teorisini ve istatistik yöntemleri kullanılarak yapılabilir.

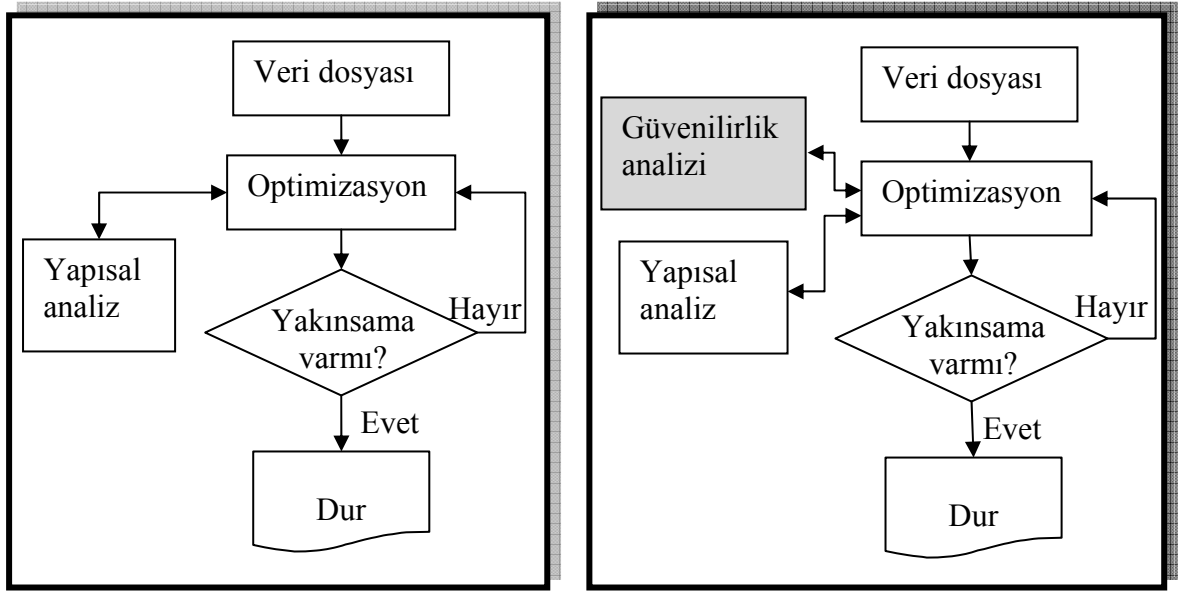
Kullanılan parametrelerin değerlerinde oluşabilecek değişimlerin olasılık teorisi aracılığı ile optimizasyon sürecine katılması güvenilirliğe dayalı optimizasyon (GDO) tekniğini ortaya çıkarmıştır. Adından da anlaşılacağı gibi GDO, rastgele değişkenlere bağlı koşullar altında istenilen amaç fonksiyonunun minimum değerini elde edilmesidir. Şekil 1.1a'de iki tasarım değişkenli (d_1, d_2) bir optimizasyon probleminin tanımlanan sınırlayıcılar (g_1, g_2) altında amaç fonksiyonu (f) değerinin en küçük değerini veren çözümün grafiksel gösterimi verilmektedir. Burada tasarım değişkenlerinde oluşabilecek değişimler dikkate alınmamıştır (geleneksel optimizasyon). Tasarım değişkenlerinin rastgele olması halinde (Şekil 1.1b) tasarım değişkenlerinde oluşabilecek değişimler geleneksel optimizasyon ile elde edilen çözümde değişimlere neden olmaktadır. Buradan da daha önce bahsedildiği üzere belirsizlik etkilerinin dikkate alınmasının gerektiği görülmektedir.



Şekil 1.1. Tasarım değişkenlerindeki belirsizliğin geleneksel optimizasyon sonucuna etkisi

Geleneksel optimizasyon işlem dizisinden farklı olarak güvenilirliğe dayalı optimizasyonda rastgele değişkenlere bağlı koşulların değerlendirilmesini yapmak üzere

optimizasyon işlem dizisine güvenilirlik analizi yöntemlerinden birinin eklenmesi gerekmektedir (Şekil 1.2). Ayrıca geleneksel optimizasyondan farklı olarak güvenilirliğe dayalı optimizasyon iki farklı çözüm uzayında çalışmayı gerektirmektedir. Verilerin belirli bir değer ile ifade edildiği ilk uzayda optimizasyon, rastgele değişkenlerle işlem yapılan ikinci uzayda ise güvenilirlik analizi gerçekleştirilmektedir. Güvenilirlik analizi, negatif değeri başarısızlığı temsil eden bir sınır (limit) durum fonksiyonu üzerinden ilgili yöntemler aracılığı ile gerçekleştirilmektedir. İki çözüm uzayındaki veri alışverişi değişken değerlerinin bir uzaydan diğer uzaya dönüştürülmesiyle sağlanmaktadır.



a. Geleneksel optimizasyon

b. Güvenilirliğe dayalı optimizasyon

Şekil 1.2. Geleneksel ve güvenilirliğe dayalı optimizasyon algoritmaları

1.2. Güvenilirliğe Dayalı Optimizasyon Konusunda Yapılan Bazı Çalışmalar

Optimizasyon sürecinde kullanılan parametrelerin değerlerinde oluşabilecek belirsizliklerin dikkate alınmasıyla ortaya çıkan güvenilirliğe dayalı optimizasyon (GDO) tekniği, aslında istenilen amacın, belirsizliklere bağlı koşullar altında en uygununun bulunmasıdır. Bu tasarım felsefesi, daha ekonomik, verimli ve güvenilir yapı sistemlerinin ortaya çıkmasına yol açmaktadır (Royset, 2002).

Güvenilirlik ve optimizasyonu birleştirme çabaları ilk defa Hilton ve Feigen (1960) tarafından gerçekleştirilmiştir. Kalaba (1962), Hilton ve Feigen (1960) tarafından sunulan

GDO problemini farklı bir optimizasyon yöntemi (dinamik programlama) kullanarak tekrar incelemiştir.

Moses ve Stevenson (1970), basit bir çerçeve sistemin (3 elemanlı) olası tüm göçme modlarını dikkate alarak minimum ağırlıklı güvenilirliğe dayalı optimizasyon (GDO)'unu incelemiştir.

Murotsu vd. (1980), 6, 29 ve 16 elemanlı düzlem kafes sistemlerin Matris Yöntemi kullanarak göçme durumlarını sistematik olarak belirleyebilen bir algoritma geliştirmişler ve algoritmayı adı geçen sistemlerin izin verilen bir göçme olasılığı için GDO'sunda kullanmışlardır.

Thoft-Christensen ve Murotsu (1986), eleman veya sisteme ait göçme koşullarını Matris Yöntemini kullanarak sistematik olarak belirleyebilen algoritmalarını öncelikle çeşitli düzlem kafes sistemlere daha sonra ise 25 ve 48 elemanlı uzay kafes sistemler ile basit düzlem çerçeve sistemlere uygulayarak ilgili sistemlerin GDO'sunu gerçekleştirmişlerdir.

Sorensen ve Thoft-Christensen (1986), önemli göçme modlarının belirlenmesi, sistem güvenilirlik indeksinin belirlenmesi ve optimum noktanın bulunması gibi üç aşamadan oluşturdukları algoritmaları ile iki farklı matematiksel tabanlı optimizasyon metodu kullanarak elemanlarını 4 farklı grupta topladıkları 8 elemanlı düzlem çerçeve ve 7 farklı grupta topladıkları 48 uzay kafes sistemlerin GDO'sunu gerçekleştirmişlerdir.

Lee ve Kwak (1988), 3 ve 25 çubuklu uzay kafes sistemleri, yük değerlerini ve malzeme dayanımını rastgele değişken olarak dikkate alarak ilgili sistemlerin GDO'sunu gerçekleştirmişlerdir.

Thoft-Christensen (1988), 48 elemanlı uzay kafes sistemin ve 13 elemanlı düzlem çerçeve sistemlerin sistem güvenilirliklerini dikkate alarak güvenilirliğe dayalı boyut ve şekil optimizasyonlarını gerçekleştirmiştir.

Nikolaidis ve Burdisso (1988), GDO'da sıklıkla kullanılan ve güvenilirlik indeksinin, limit durum fonksiyonunun rastgele değişkenlerin sayısal ortalamasında (beklenen değerinde) birinci dereceden Taylor serisine açılarak elde edilmesine dayanan yöntemin sakıncalarına değinmişlerdir. Daha sonra Hasofer ve Lind (1974) tarafından geliştirilen yöntemi GDO sürecine ekleyerek bir ucu ankastre olan ve serbest ucundan da bir kablo desteklenen basit bir sistemin güvenilirliğe dayalı optimizasyon (GDO)'unu gerçekleştirmişler ve bahsi geçen yöntemleri karşılaştırmışlardır.

Sankaran ve Haldar (1989), bir yapı sisteminin analizini belirsizlikler içeren malzeme, geometri veya yükleme değerleri altında yapabilen bir algoritma sunmuşlar ve bu algoritmayı kullanarak 3 ve 10 elemanlı düzlem çerçeve sistemlerin GDO'sunu gerçekleştirmişlerdir.

Nakip ve Frangopol (1990), yapı sistemlerinin belirsizlikler altında analizini, tasarım ve optimizasyonlarını gerçekleştirmek üzere sistematik işlem adımlarını içeren iki adet program geliştirmişler ve bu programlar aracılığı ile 3 elemanlı düzlem çerçeve, 13 elemanlı düzlem kafes sistemin GDO'sunu gerçekleştirmişlerdir.

Thanedar ve Kodiyalam (1992), rastgele değişkenlerin açık bir fonksiyonu olarak ifade edilebildiği gerilme, deplasman, yorulma sınırlayıcıları altında ankastre kiriş ile üç elemanlı düzlem kafes sistemin GDO'sunu gerçekleştirmişlerdir.

Enevoldsen ve Sorensen (1994), GDO felsefesinin inşaat mühendisliği problemlerine uygulanabilmesi için sistematik işlem dizileri sunmuşlardır. Ayrıca standart bir sonlu elemanlar yöntemine dayanan bir analiz programının kullanılarak bir yapı sisteminin GDO'sunun nasıl gerçekleştirileceğini göstermişlerdir. Son olarak da aksenal basınç yüküne maruz basit mesnetli ve içi boş daire kesitli bir kolonun GDO problemini çözmüşlerdir.

Reddy vd. (1994), yükleme ve malzeme özelliklerinde belirsizlikler içeren ankastre kiriş ve basit mesnetli plaklar ile bir gaz tribünü bıçağının SEY kullanarak GDO'larını gerçekleştirmişlerdir.

Natarajan ve Santhakumar (1995), rüzgâr yükü ile malzeme dayanımını rastgele değişken tanımlamışlar ve elektrik iletiminde kullanılan iki adet elektrik iletim hattı kulesinin güvenilirliğe dayalı olarak boyut ve şekil optimizasyonunu gerçekleştirmişlerdir.

Luo ve Grandhi (1997), mevcut bir optimizasyon programına güvenilirlik analizi modülü eklemişler ve GDO gerçekleştirebilmek için programdaki ilgili değişimleri yapmışlardır. Geliştirdikleri program ile 10 çubuklu düzlem kafes sistemin, uzay çalışmalarında kullanılan 113 elemanlı bir uzay kafes sistemin ve bir uçağın kanadının GDO'sunu gerçekleştirmişlerdir.

Gasser ve Schueller (1997), yapı sistemlerinin GDO'sunu gerçekleştirmek üzere sistematik işlem dizisi sunmuşlardır. İşlem dizisi güvenilirlik analizi için farklı metotları kullanabilmektedir. Bu işlem dizisini rastgele olarak dikkate aldıkları dalga yüküne maruz düzlem çerçeve elemanlardan oluşan deniz yapısının GDO'sunda kullanmışlardır. Deniz

yapısının lineer olmayan davranışını da dikkate almışlardır. Dalga yükü düğüm noktalarına tekil yük olarak etki ettirilmiştir.

Kuschel ve Rackwitz (1997), sunulan güvenilirliğe dayalı optimizasyon (GDO) işlem dizilerinde karşılaşılan temel iki problem üzerine incelemelerde bulunarak yeni bir güvenilirliğe dayalı optimizasyon işlem dizisi sunmuşlar ve bu işlem dizisini dikkörtgen bir profile sahip kolon örneği üzerinde test etmişlerdir.

Pu vd. (1997), SWATH olarak adlandırılan geminin düzlem çerçeve olarak modelledikleri bir kısmının GDO'sunu gerçekleştirmişlerdir.

Moses (1997), düzlem kafes olarak modellenen 13 ve 15 elemanlı deniz yapılarının farklı tipte göçme senaryoları altında GDO'sunu gerçekleştirmiştir.

Barakat vd. (1999), dört farklı zemin tabakasından oluşan bir zemine gömülü yanal yük ile eğilme momenti etkisindeki çelik bir kazığın korozyona karşı GDO'sunu gerçekleştirmişlerdir.

Stocki vd. (1999), geliştirilen GDO işlem dizilerinin genellikle küçük sistemlere uygulandığını belirterek hızlı ve doğru bir GDO işlem dizisi sunmuşlardır. Sunulan bu işlem dizisi ile dört tip farklı yüklemeye maruz olan deniz platformunun GDO'sunu gerçekleştirmişlerdir. Deniz platformunu 139 elemanlı uzay bir kafes sistem olarak modellemişler ve rastgele değişkenlerin bir fonksiyonu olan 24 adette sınırlayıcı dikkate almışlardır.

Kleiber vd. (1999), Stocki vd. (1999) tarafından verilen GDO problemini stabilite sınırlayıcılarını da katarak yeniden incelemişler ve buna ilaveten düzlem kafes örgülü eksenel yüke maruz bir kolonu da geliştirdikleri GDO işlem dizisinin etkinliğini göstermek adına incelemişlerdir.

Yukarıda anılan çalışmaların temel özelliği, parametrelerin rastgele değişken olarak optimizasyon sürecine katılma çabalarına uygun olarak ilk yıllarda basit yapı sistemlerine daha sonra ise daha sistematik işlem dizileri sunarak daha büyük sistemlere GDO felsefesinin uygulanmasına yönelik olmasıdır. Optimizasyon için matematiksel teoriye dayanan ve SLP (Sequential Linear Programming), SQP (Sequential Quadratic Programming), MFD (Modified Feasible Direction) ve SUMT (Sequential Unconstrained Minimization Technique) olarak bilinen yöntemler kullanılmıştır. Rastgele değişkenlerin bir fonksiyonu olan sınırlayıcıların hesaplanması önceleri, ilgili sınırlayıcıya ait sınır durum fonksiyonu rastgele değişkenlerin beklenen değerlerinde birinci dereceden Taylor serisine açılmasıyla elde edilen fonksiyon üzerinden yapılmaktaydı. Daha sonraları bu

yöntem yerine Hasofer ve Lind (1974) tarafından sunulan ve Rackwitz ve Fiessler (1978) tarafından geliştirilen Birinci Dereceden Güvenilirlik Yöntemi (BDGY) kullanılmıştır. Anılan çalışmaların bir diğer ortak noktası ise araştırmacıların mevcut optimizasyon programlarına güvenilirliğe dayalı optimizasyon (GDO) yapabilme yeteneği katabilmek adına yaptıkları eklemeler ve program tanıtımlarıdır.

Tu (1999) ve Tu vd. (1999), rastgele değişkenlerin bir fonksiyonu olan sınırlayıcıların hesaplanmasında kullanılan BDGY dayanan güvenilirlik indeksi yaklaşımı (GİY) yerine performans ölçümü yaklaşımı (PÖY)'ni geliştirmişlerdir. Yöntemin GİY'den daha etkin ve hızlı olduğunu rastgele değişkenlerin açık bir fonksiyonu olarak ifade edilebildiği matematiksel fonksiyonlar üzerinde göstermişlerdir. PÖY o tarihe kadar bilinen klasik güvenilirlik analizi yerine tersine güvenilirlik analizi (Der Kiureghian vd., 1994; Li ve Foschi, 1998)'nin yapılmasını gerektirmektedir. Tersine güvenilirlik analizi mevcut limit durum fonksiyonunun bağlı olduğu değişkenler için güvenilirliğini bulmak yerine istenilen güvenilirlik seviyesi için o fonksiyonun bağlı olduğu değişkenlerden istenilen değişken değerlerinin bulunmasını sağlayan bir yöntemdir.

Thampan ve Krishnamoorthy (2001), 10 çubuklu düzlem kafes ve 25 elemanlı uzay kafes sistemlerin sistem güvenilirliğini dikkate alarak, rastgele olan yük değerleri altında gerilme ve deplasman sınırlayıcıları için güvenilirliğe dayalı boyut ve şekil optimizasyonlarını yapmışlardır.

Antonio (2001), kirişlerle güçlendirilmiş kompozit tabakalı küresel bir kabuğun rastgele olarak dikkate aldığı malzeme özellikleri, yük değerleri ve gerilme, deplasman ve burkulma sınırlayıcıları altında kabuğun geometrik olarak lineer olmayan davranışını da göz önüne alarak GDO'sunu gerçekleştirmiştir.

Stocki vd. (2001), 10 elemanlı düzlem kafes sistemin ile 24 elemanlı kubbe biçimli uzay kafes sistemin rastgele tasarım değişkeni olarak dikkate aldıkları enkesit alanları için ayırık, düğüm noktası koordinatları için de sürekli kabulünü yaparak bu sistemlerin güvenilirliğe dayalı boyut ve şekil optimizasyonlarını yapmışlardır.

Burton ve Hajela (2001), bir GDO problemi için rastgele değişkenlere bağlı sınırlayıcıların değerlendirilmesinde kullanılan güvenilirlik analizi için 3 farklı yöntem kullanmışlar ve yöntemlerin performans değerlendirmesini 6 elemanlı düzlem bir kafes sistemin güvenilirliğe dayalı şekil ve boyut optimizasyonu problemi üzerinde göstermişlerdir.

Youn (2001) ve Youn vd. (2003), güvenilirliğe dayalı optimizasyon (GDO) problemlerinde rastgele değişkenlere bağlı sınırlayıcıların değerlendirilmelerinde kullanılan performans ölçümü yaklaşımı (PÖY) ile güvenilirlik indeksi yaklaşımı (GİY)'nin üstünlüklerini karşılaştırmışlardır. PÖY'ün daha hızlı ve etkin olduğunu ancak bazı problem tipleri için PÖY'ünde başarısızlık sergileyebildiğini göstermişlerdir. Bu problemi aşmak adına PÖY için melez analiz adını verdikleri yöntemi geliştirmişler ve bu yöntemin etkinliğini matematiksel fonksiyon, iki elemanlı dikdörtgen kesitli bir çerçeve ve askeri bir aracın (tank) mekanik birleşim elemanı gibi GDO problemlerinde göstermişlerdir.

Royset (2002), düzlem kafes sistem olarak modelledikleri 15 elemanlı bir deniz platformunu 6 farklı eleman grubunda toplamıştır. Rüzgâr, dalga ve özgül ağırlık ile elastisite modülünü rastgele olarak dikkate almış ve deniz platformunun tepe düğüm noktasının deplasman değerinin izin verilen güvenilirlik seviyesini aşmayacak şekilde eleman gruplarının alanlarını minimize etmiştir. Buna ilave olarak 3 elemanlı bir düzlem çerçevenin ve betonarme karayolu köprüsü kirişinin rastgele malzeme özellikleri, yük değerleri için GDO'sunu gerçekleştirmiştir.

Jendo ve Kolanek (2002), rastgele olan dört farklı yükleme durumu için 474 elemandan oluşan silindirik biçimli uzay bir kafes sistemin yine rastgele olan malzeme ve geometrik özellikleri için güvenilirliğe dayalı boyut ve şekil optimizasyonunu gerçekleştirmişlerdir.

Lee vd. (2002), GDO işlem dizilerinde rastgele değişkenlere bağlı sınırlayıcıların değerlendirilmelerinde sıklıkla kullanılan GİY ile PÖY'ün karşılaştırmasını ankastre kiriş, 3 ve 10 elemanlı düzlem kafes sistemlerin GDO problemleri üzerinde yapmışlardır.

Agarwal ve Renaud (2002), BGDY kullanılarak yapılan rastgele değişkenlere bağlı sınırlayıcı değerlendirmesinde ilgili sınırlayıcı için gerekli sayıda yapısal analiz işlemi tekrarlamak yerine yanıt yüzey (response surface) yöntemini kullanarak ilgili hesabı azaltmayı amaçlamışlar ve 10 çubuklu düzlem kafes sistemin gerilme ve doğal frekans sınırlayıcıları için GDO'sunu gerçekleştirmişlerdir.

Burton (2003), bir GDO probleminin çözümü için gerekli olan süreyi azaltmak ve GDO işlem dizisini oluşturan sayısal yöntemler için daha hızlı ve etkin çözümler üretmek için algoritmalar geliştirmiştir. Bu amaçla rastgele değişkenlere bağlı sınırlayıcıların hesaplanmasında kullanılan BGDY için yenilikler sunmuştur. Bu yenilemeleri rastgele yük ve malzeme özelliklerine sahip 3 ile 6 elemanlı düzlem kafes sistemlerin ve bir tribün bacağına GDO'larında test etmiştir.

Padmanabhan (2003), güvenilirliğe dayalı optimizasyon (GDO) problemlerinde rastgele değişkenlere bağlı sınırlayıcıların değerlendirilmesi için güvenilir bölge metoduna (trust region method) dayanan yeni bir güvenilirlik analizi metodu sunmuş ve bu yöntemin performansını literatürden aldığı rastgele değişkenlerin açık bir fonksiyonu olarak ifade edilebilen analitik problemler ve 10 elemanlı düzlem kafes sistemin GDO problemlerinde test etmiştir.

Burton ve Hajela (2003), ikinci dereceden türev bilgisi gerektirmesi nedeniyle hesap hacmi büyük olan ancak birinci dereceden güvenilirlik yöntemi (BDGY)'ne göre daha doğru sonuçlar üreten ikinci dereceden güvenilirlik yöntemi (İDGY)'ni kullanmak adına ikinci dereceden vektör karmaşıklığı (vector complexity) yöntemini sunmuşlardır. Yöntemi İDGY'den önce kullanarak GDO için gerekli hesap süresini kısaltmaya çalışmışlar ve yöntemi 3 ile 6 elemanlı düzlem kafes sistemlerin GDO'larında test etmişlerdir.

Dimou ve Koumoussis (2003), rastgele olan yük değerleri, malzeme özellikleri ve enkesit alan değerleri için gerilme, deplasman ve geometri sınırlayıcıları altında 25 elemanlı bir düzlem kafes sistemin güvenilirliğe dayalı boyut ve şekil optimizasyonunu gerçekleştirmişlerdir.

Barakat vd. (2003) ve Barakat vd. (2004), öngörülen I kesitli bir betonarme kirişin rastgele alınan malzeme özellikleri ile ACI (American Concrete Institute) standardında belirtilen gerilme, maksimum kesme, çatlak genişliği vb koşullar altında GDO'sunu gerçekleştirmişlerdir.

Jung ve Cho (2004), geometrik olarak doğrusal olmayan davranışı dikkate alarak farklı mesnet koşullarındaki plakların Midlin teorisini kullanarak güvenilirliğe dayalı topoloji optimizasyonlarını yapmışlardır.

Deb vd. (2004), rastgele değişkenlere bağlı sınırlayıcıların değerlendirilmesinde kullanılan birkaç yöntemin karşılaştırmasını ve performanslarını matematiksel fonksiyonlar ve bir arabanın yandan çarpılmasına karşı emniyeti problemlerinde test etmişlerdir.

Agarwal (2004), dikkate alınan belirsizliklerin 3 ayrı sınıfa ayrılabilceğini özellikle kaçınılmayan belirsizlikler grubuna giren (yük, malzeme, geometri vb) birinci grup belirsizliklerin GDO problemlerinde sıklıkla dikkate alındığını belirtmiştir. Ancak mühendislik çözümlerinde yapılan kabullerden ve kullanılan sayısal çözümler yöntemlerinden ileri gelen belirsizliklerin oluşturduğu ikinci grup belirsizliklerin de dikkate alınması gerektiğini belirterek bu belirsizliği de dikkate alarak rastgele

değişkenlerin açık bir fonksiyonu olarak ifade edilebilen ankastre kiriş ve bir kolon problemlerini incelemiştir.

Youn ve Choi (2004), rastgele değişkenlerin güvenilirliğe dayalı optimizasyon (GDO) işlem dizilerine katılmasını sağlayan istatistiksel dağılımların değişiminin GDO işlem dizilerinin performansını ve ulaşılan çözümü etkilediğini belirterek rastgele değişkenlerin farklı istatistiksel dağılımları için iki elemanlı bir çerçeve sistemin ve mekanik bir birleşim parçasının GDO'sunu gerçekleştirmişlerdir.

Qu (2004), GDO problemlerinde gerekli işlem sayısını azaltmak ve GDO için geliştirilen işlem dizilerini daha etkin hale getirmek adına, rastgele değişkenlere bağlı sınırlayıcıları kontrol etmek için olasılık yeterlilik faktörü (probabilistic sufficiency factor) adlı bir yöntem geliştirmiş ve güçlendirilmiş kompozit panellerden oluşan bir yakıt deposunun GDO problemini incelemiştir.

Qu ve Haftka (2004), Qu (2004) tarafından sunulan olasılık yeterlilik faktörü yöntemini kullanarak dikdörtgen kesitli bir ankastre kirişin rastgele yük ve malzeme özellikleri ile izin verilen bir deplasman değeri için kirişin minimum enkesit alanını bulmuşlardır.

Negrao ve Simoes (2004), üç açıklıklı simetrik kablolu asma köprünün taşıyıcı sisteminin rastgele geometrik ve enkesit özellikleri için deplasman ve gerilme sınırlayıcıları altında GDO'sunu gerçekleştirmişlerdir.

Tsompanakis ve Papadrakakis (2004), güvenilirlik analizi için Monte Carlo yöntemini kullanmışlar ve bunun için gerekli hesap süresini kısaltmak için de melez bir GDO işlem dizisi sunmuşlardır. 6 katlı 2 açıklıklı ve 25 katlı 3 açıklıklı uzay çerçeve sistemlerin rastgele olan yükleme değerleri, malzeme ve enkesit özellikleri ile Eurocode 3'de belirtilen gerilme ve deplasman sınırlayıcıları için GDO'larını yapmışlardır.

Yang ve Gu (2004), 4 farklı GDO işlem dizisinin performansını ankastre kiriş ve arabanın yandan çarpmaya karşı destek bariyerleri problemlerinde test etmişler ve problemlerin GDO çözüm süreçlerinde elde ettikleri gözlemleri belirtmişlerdir.

Ramu vd. (2004) ve Ramu vd. (2006), GDO işlem dizilerinde rastgele değişkenlere bağlı sınırlayıcıların değerlendirilmesinde kullanılan tersine güvenilirlik yöntemine dayanan farklı metotların performans değerlendirmesini kare kesitli bir ankastre kirişin GDO'sunda gerçekleştirmişlerdir.

Eboli ve Vaz (2005), iki farklı malzemeden oluşan 10 çubuklu düzlem kafes sistemin rastgele olan malzeme özellikleri ve dayanımları için farklı güvenilirlik seviyelerinde güvenilirliğe dayalı optimizasyon (GDO)'nunu gerçekleştirmişlerdir.

Papadrakakis vd. (2005), GDO işlem dizisi için gerekli hesap zamanını kısaltmak için sinir ağları yöntemini güvenilirlik analizinde kullanılan Monte Carlo yöntemi ile ilişkilendirmişler ve rastgele yük, malzeme ve enkesit özellikleri ile 6 katlı bir uzay çerçeve ile 39 elemanlı uzay bir kafes sistemin GDO'sunu incelemişlerdir.

Simoës vd. (2006), eksenel basınca ve eğilme momentine maruz I profilleri ile dış yüzeyinden güçlendirilmiş bir silindirik kabuğun burkulma sınırlayıcıları altında rastgele yükleme ve malzeme özellikleri için GDO'sunu gerçekleştirmişlerdir.

Toğan ve Daloğlu (2006), (2007a,b), 29 ve 43 elemanlı düzlem ve 25 elemanlı uzay kafes sistemlerin GDO'sunu Murotsu vd. (1980) tarafından sunulan Matris Yöntemi ve güvenilirlik analizi içinde limit durum fonksiyonunun rastgele değişkenlerin sayısal ortalamasında birinci dereceden Taylor serisine açılarak elde edilmesine dayanan yöntemi kullanarak gerçekleştirmişlerdir.

Ramu (2007), rastgele değişkenlere bağlı sınırlayıcıların değerlendirilmesi için yapılan güvenilirlik analizine üç farklı yeni model sunmuşlar ve sunulan modellerin etkinliğini dikdörtgen kesitli ankastre kiriş, kütle sönümleyici ve bir hidrojen tankının kompozit tabakalı panellerden oluşan çeperi gibi GDO problemleri için göstermiştir.

Smith (2007), 12 adet farklı GDO işlem dizisi sunmuş ve bu işlem dizilerini uzay araçlarının GDO'larında test etmiştir.

Kaymaz (2007), paket bir yapısal analiz programını yanıt yüzey (response surface) yöntemine dayanan güvenilirlik analizi işlem dizisi ile ilişkilendirerek kare kesitli rastgele yük ve malzeme özelliklerine sahip bir ankastre kirişin GDO'sunu gerçekleştirmiştir.

Yukarıda anılan çalışmaların temel özelliği güvenilirlik analizi yöntemlerinde gerçekleşen gelişmelere bağlı olarak farklı tipte güvenilirlik analizi yöntemlerinin kullanılması ve geleneksel optimizasyona nazaran daha fazla hesap zamanı gerektiren GDO işlem dizilerinde zamanı kısaltmak adına sunulan farklı tipteki yenilemelerdir. Ayrıca optimizasyon yöntemi olarak ta sıklıkla SQP yöntemi kullanılmaktadır. Buna ilaveten genetik algoritma (Thamapan ve Krishnamoorthy, 2001; Antonio, 2001; Dimou ve Koumoussis, 2003; Deb vd., 2004; Toğan ve Daloğlu, 2006; 2007) ve evrimsel strateji (Tsompanakis ve Papadrakakis, 2004; Papadrakakis vd., 2005) gibi evrimsel algoritmalarda optimizasyon yöntemi olarak kullanılmaktadır.

Son yıllarda araştırmacılar özellikle güvenilirlik analizini gerçekleştirmek için harcanan zamanı kısaltmak amacıyla yeni güvenilirliğe dayalı optimizasyon (GDO) işlem dizileri, yeni güvenilirlik analizi yöntemleri veya birkaç yöntemin üstün özelliklerini birleştiren melez yöntemler geliştirmektedirler (Mohsine vd., 2006; Yi ve Cheng, 2008; Ju ve Lee, 2008; Ching ve Hsu 2008; Castillo vd., 2008; Yang ve Yi, 2009; Youn ve Xi, 2009).

1.3. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı

Deniz yapılarının özellikle ceket tipi deniz yapılarının güvenilirliğe dayalı optimizasyon (GDO)'ları literatür de sıklıkla 2-3 boyutlu kafes veya düzlem çerçeve sistemler olarak incelenmiştir. Yapılan incelemelerde bu yapılar için dalga ve rüzgar yükleri ile taşıdığı platform yükü dikkate alınmıştır. Bu yapıların optimizasyonlarında matematiksel tabanlı optimizasyon yöntemleri özellikle ardışık ikinci dereceden programlama (SQP) yöntemi, güvenilirlik analizlerinde ise birinci dereceden güvenilirlik yöntemi (BDGY) kullanılmıştır.

Bu çalışmanın amacı deniz yapılarının sayısal analizini yapmak üzere geliştirilen SAPOS (Stochastic Analysis Program for Offshore Structures, Karadeniz, 1994) adlı programı kullanarak tek ayaklı, üç ayaklı ve ceket tipi deniz yapılarının güvenilirliğe dayalı optimizasyonlarını SQP ve BDGY'e ilaveten diferansiyel gelişim (Differential Evolution, DE) yöntemini ve Tersine Güvenilirlik Yöntemi (TGY)'ni kullanarak gerçekleştirmektedir.

Öncelikle tek ayaklı elik bir deniz platformunun GDO'sunu gerçekleştirmek adına FORTRAN dilinde açık bir kod geliştirilmiştir. Daha sonra SAPOS (Karadeniz, 1994) programı ile ilişkilendirilmek üzere daha sistematik bir GDO işlem dizisi geliştirilmiştir. Bunun için güvenilirlik analizi yapan bir alt programlar kümesi FORTRAN dilinde yazılarak SAPOS ile ilişkilendirilmiştir. Son olarak farklı teorilere dayanan ve optimizasyon için kullanılan alt programlar kümesi güvenilirlik analizi ve SAPOS ile ilişkilendirilmiştir. SAPOS'u kullanan GDO işlem dizisinin doğruluğu tek ayaklı platform için geliştirilen açık kod ile doğrulandıktan sonra üç ayaklı ve ceket tipi deniz platformlarının güvenilirliğe dayalı optimizasyonları yük, malzeme özellikleri ve eleman en kesitleri değerleri rastgele değişken olarak dikkate alınarak incelenmiştir.

1.4. Güvenilirlik ve Güvenilirlik Analizi

Bir mühendislik yapısının maruz kaldığı dış etkiler altında yapı standartlarında belirtilen kriterleri sağlaması beklenir. Bu koşullar en basit anlamda elemanlarda oluşan gerilme ve düğüm noktalarındaki deplasman değerlerinin şartnamelerde izin verilen üst sınırları aşmasını sınırlandırıcı koşullardır. Dolayısı ile *güvenilirlik* bir mühendislik yapısının kendisinden beklenen performansı gerçekleştirme (sağlama) olasılığı olarak tanımlanmaktadır. Diğer bir deyişle bir yapı sistemindeki *arzın* Q istenilen *talepten* S büyük olma olasılığına güvenilirlik denmektedir. Örneğin bir kiriş için arz Q kirişin moment taşıma kapasitesini talep S ise yüklemmeden dolayı kirişte oluşan moment değerini ifade etmektedir. Bu örnek için kirişin *performans veya sınır (limit) durum fonksiyonu* aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$g(Q,S) = Q - S \quad (1.1)$$

Denklem (1.1)'den de görülebileceği üzere $g > 0$ ve $g < 0$ için kiriş istenilen performansı sağlamakta ve sağlamamaktadır. $g = 0$ durumu ise bu iki durum arasındaki sınırı ifade etmektedir. Denklem (1.1)'in *sağlanamama (başarısızlık) olasılığı* P_f matematiksel olarak aşağıdaki gibi ifade edilir (Bayazit, 1996; Madsen vd., 1986; Melchers, 1999; Ang ve Tang, 1984; Novak ve Collins, 2000; Ditlevsen ve Madsen, 1996; Ranganathan, 1990; Thoft-Christensen ve Baker, 1982; Spaethe, 1992).

$$P_f = P(g \leq 0) = P(Q - S \leq 0) \quad (1.2)$$

burada $P(\cdot)$ ilgili olayın gerçekleşme olasılığını ifade etmektedir. Belirsizlikler nedeni ile gerek Q gerekse S'nin rastgele değişkenler oldukları dikkate alınır, Denklem (1.2) aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$P_f = \sum P(Q \leq S | S = s) P(S = s) \quad (1.3a)$$

burada $P(\cdot | \cdot)$ ilgili olayın koşullu olasılığıdır ve olaylar bağımsız ise Denklem (1.3a)

$$P_f = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^s f_Q(q) f_S(s) dq ds \quad (1.3b)$$

gibi ifade edilir. Burada $f_Q(q)$ ve $f_S(s)$ Q ve S'nin istatistiksel dağılımlarına ait olasılık yoğunluk fonksiyonlarıdır. Sürekli bir rastgele değişken için yığılımlı dağılım fonksiyonunun $F_X(x) = P(X \leq x) = \int_{-\infty}^x f_X(x) dx$ olduğu dikkate alınırsa Denklem (1.3b) aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$P_f = \int_{-\infty}^{+\infty} F_Q(s) f_S(s) ds \quad (1.3c)$$

Bu integralin alınması oldukça zor olduğundan pratikte başarısızlık olasılığı P_f farklı yaklaşık yöntemler kullanılarak hesaplanmaktadır (Bayazıt, 1996; Madsen vd., 1986; Melchers, 1999; Ang ve Tang, 1984; Novak ve Collins, 2000; Ditlevsen ve Madsen, 1996; Ranganathan, 1990; Thoft-Christensen ve Baker, 1982; Spaethe, 1992). Bu yöntemler kullanılarak P_f 'nin hesaplanması *güvenilirlik analizi*'ni oluşturmaktadır.

Güvenilirlik analizini gerçekleştirmek üzere kullanılan yöntemler benzetim (simülasyon) ve moment yöntemleri olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır. En çok bilinen benzetim yöntemi Monte Carlo yöntemidir. Limit durum fonksiyonu olarak verilen ifadenin sayısal benzetimini gerçekleştiren bu yöntemlerde verilen ifadeyi kontrol eden yardımcı bir fonksiyon vardır. Bu fonksiyon verilen ifadenin gerçekleşmesi durumunda bir artmakta ve gerçekleştirilen benzetimler sonucunda elde edilen bu rakam toplam benzetim sayısına bölünerek P_f belirlenmektedir. Monte Carlo yöntemi oldukça fazla hesap hacmi gerektirdiğinden bu sakıncayı ortadan kaldırmak için Latin Hiperküp, Etkin Örnekleme (Importance Sampling) ve Yanıt Yüzey (Response Surface) gibi değişim azaltma (variance reduction) metotları kullanılmaktadır (Rubinstein, 1981; And ve Tang, 1984; Schueller vd., 1989; Marek vd., 1996; Kaymaz, 2005).

Moment yöntemleri ise benzetim yöntemlerine göre daha hızlı ve kesin sonuca oldukça yakın değerler vermesi nedeni ile mühendislik uygulamalarında tercih sebebi olmaktadır. Birinci ve ikinci dereceden güvenilirlik yöntemleri en çok bilinen ve kullanılan moment yöntemleridir. Ancak ikinci dereceden güvenilirlik yöntemi (İDGY),

birinci dereceden güvenilirlik yöntemine (BDGY) göre kesin sonuca daha yakın sonuçlar vermesine rağmen, ilgili sınır durum fonksiyonuna ait ikinci türev bilgilerine ihtiyaç duyulduğundan daha fazla hesap zamanı gerektirmektedir ve mühendislik uygulamalarında İDGY seyrek kullanılmaktadır.

Bu çalışmada rastgele değişkenlere bağlı sınır durum fonksiyonlarının değerlendirilmesinde kullanılan güvenilirlik analizi yöntemi olarak mühendislik çalışmalarında sıklıkla tercih edilen BDGY ile son 10 yılda bu yöntemin farklı bir türü olan tersine güvenilirlik yöntemi (TGY) kullanılmaktadır.

1.4.1. Birinci Dereceden Güvenilirlik Yöntemi

Denklem (1.1) için Q ve S'nin beklenen değerleri μ_Q , μ_S ve standart sapmaları σ_Q , σ_S olan normal dağılımlara sahip olmaları durumunda sınır durum fonksiyonu da beklenen değeri μ_g ve standart sapması σ_g aşağıdaki gibi ifade edilen normal dağılıma sahiptir (Bayazit, 1996; Madsen vd., 1986; Melchers, 1999; Ang ve Tang, 1984; Novak ve Collins, 2000; Ditlevsen ve Madsen, 1996; Ranganathan, 1990; Thoft-Christensen ve Baker, 1982; Spaethe, 1992; Karadeniz ve Vrouwenvelder, 2006).

$$\mu_g = \mu_Q - \mu_S \quad \sigma_g = (\sigma_Q + \sigma_S)^{1/2} \quad (1.4)$$

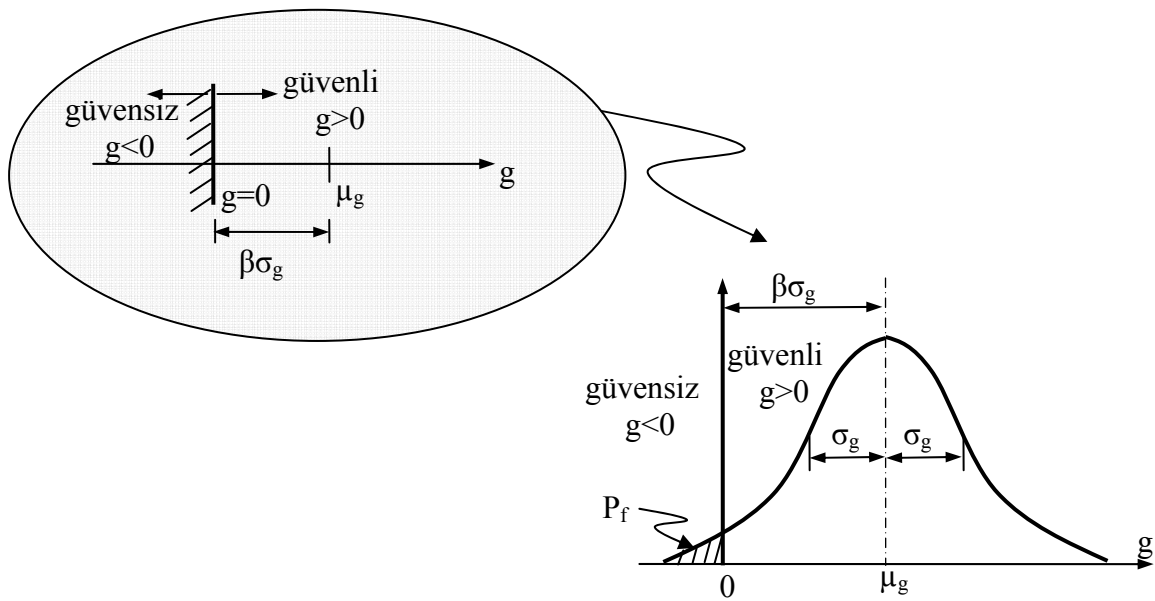
bu durumda P_f

$$P_f = P(Q - S \leq 0) = P(g \leq 0) = \Phi\left(\frac{0 - \mu_g}{\sigma_g}\right) \quad (1.5)$$

gibi hesaplanabilir. Denklem (1.4) kullanılarak Denklem (1.5)

$$P_f = \Phi \left(\frac{-(\mu_Q - \mu_S)}{(\sigma_Q^2 + \sigma_S^2)^{1/2}} \right) = \Phi(-\beta) \quad (1.6)$$

gibi gösterilebilir. Burada $\Phi(\cdot)$ standartlaştırılmış normal dağılımın yığılımlı dağılım fonksiyonudur ve $\beta = \mu_g / \sigma_g$ *güvenilirlik indeksi* olarak tanımlanmaktadır. Bu tanım ilk defa Cornell (1969) tarafından yapılmıştır. Bu tanımlamaya göre μ_g 'den $g=0$ yüzeyine olan mesafe güvenilirliğin ölçüsü olmaktadır (Şekil 1.3).



Şekil 1.3. Cornell güvenilirlik indeksinin geometrik gösterimi

Bu şekilde hesaplanan β 'nın g 'nin farklı fakat eşlenik formülasyonu ($g=Q-S=\log(Q/S)$) için değişik sonuçlar verdiği ve g 'nin rastgele değişkenlerin lineer olmayan bir fonksiyonu olduğu durumlarda da kullanılmadığı görülmüştür (Madsen vd., 1986; Melchers, 1999). Çünkü bir mühendislik yapısı için Q ve S kullanılan malzemenin özelliklerinin, yapının maruz kaldığı yükün, eleman ve yapı boyutlarının vb. gibi kendileri de birer rastgele değişken olabilen parametrelere bağlı bir fonksiyon olmaktadır. Dolayısı ile pek çok durumda güvenilirlik problemini Denklem (1.1)'de verildiği gibi iki rastgele değişkenin lineer fonksiyonu olarak tanımlamak mümkün olmamaktadır. Buradan da görülebildiği gibi g , n boyutlu bir rastgele değişken vektörüne $X=[X_1, X_2, \dots, X_n]^T$ bağlı olmaktadır. X

temel değişkenler olarak tanımlanmakta ve bir mühendislik problemi için temel değişkenler yüklemesi, malzeme özellikleri, geometrik özellikler olmaktadır.

g 'nin X 'in lineer olmayan bir fonksiyonu olması durumunda güvenilirliğin $\beta = \mu_g / \sigma_g$ $g=0$ 'dan μ_g 'ye olan mesafe olduğu dikkate alınarak g 'nin $g=0$ 'da bir noktada x^* etrafında birinci dereceden Taylor serisine açılarak lineerleştirilmesi yoluna gidilir (Denklem (1.7)).

$$g(X) \cong g(x^*) + \nabla g(x^*)^T (X - x^*) \quad (1.7)$$

Bu durumda g 'nin beklenen değeri ve standart sapması aşağıdaki gibi olmaktadır.

$$\mu_g = g(x^*) + \nabla g(x^*)^T (\mu_X - x^*) \quad \sigma_g = \left(\nabla g(x^*)^T C_X \nabla g(x^*) \right)^{1/2} \quad (1.8)$$

burada $\nabla g(x^*)^T = [\partial g / \partial X_1, \partial g / \partial X_2, \dots, \partial g / \partial X_n]$ olarak bilinen gradyan operatörünü, $C_X = C(X_i, X_j) = \rho \sigma_{X_i} \sigma_{X_j}$ ($i=j=1, \dots, n$) ise rastgele değişkenlerin kovaryans matrisini göstermektedir ve ρ korelasyon katsayıdır. Güvenilirliğin $\beta = \mu_g / \sigma_g$ olduğu dikkate alınırsa Denklem (1.8) aracılığı ile β kolayca hesaplanır. Bu yolla elde edilen β 'ya *birinci derece ikinci moment* (First Order Second Moment, FOSM) güvenilirlik indeksi denilmektedir. Adından da anlaşılacağı üzere β 'nın hesabında birinci dereceden Taylor serisi ve rastgele değişkenin ilk iki momenti kullanılmaktadır.

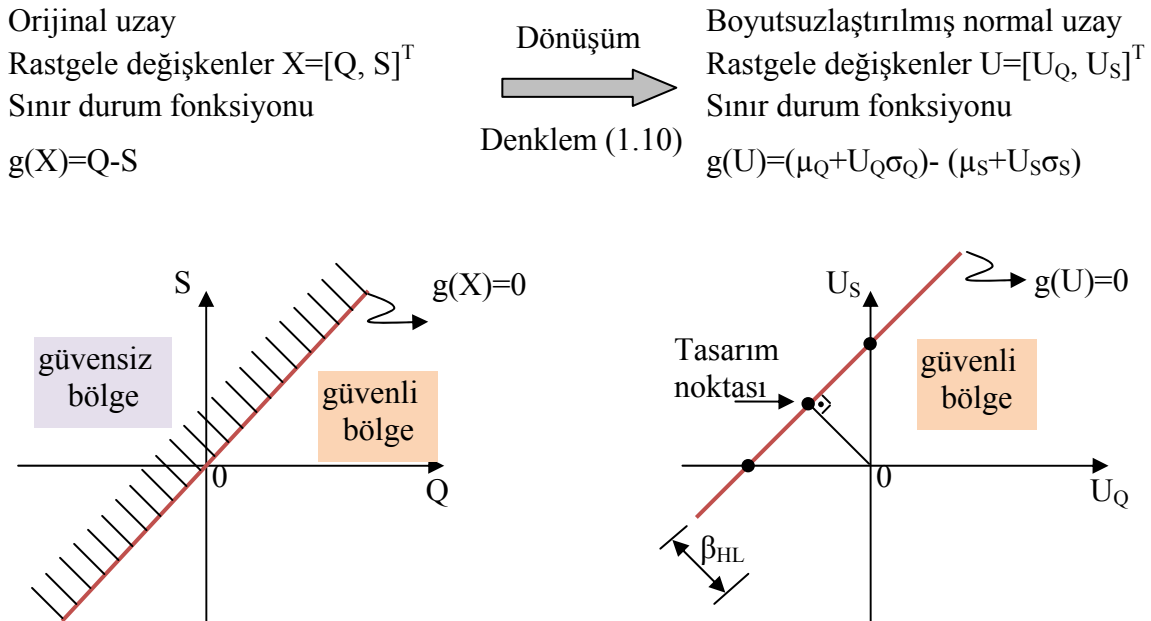
Bu şekilde tanımlanan β 'nın hesabında g 'nin $g=0$ 'da hangi nokta etrafında Taylor serisine açılacağı farklı yöntemleri ortaya çıkarmıştır. g 'nin bir nokta etrafında birinci dereceden Taylor serisine açılarak lineerleştirilmesi için rastgele değişkenlerin beklenen değerlerinin μ_X kullanılması *beklenen değer birinci derece ikinci moment* olarak adlandırılan yaklaşımın ortaya çıkmasına yol açmıştır. Bu durumda β Denklem (1.8) göz önüne alınarak Denklem (1.9) ile hesaplanmaktadır. P_f ise Denklem (1.6)'dan hesaplanır. Ancak bu yaklaşım yukarıda da bahsedildiği gibi g 'nin farklı fakat eşlenik tanımı için farklı sonuçlar vermektedir. Bu sorunu aşmak adına *ileri güvenilirlik yöntemi* sunulmuştur (Hasofer ve Lind, 1974). Bu yöntem g 'nin rastgele değişkenlerin beklenen değerlerinde birinci dereceden Taylor serisine açılarak lineerleştirilmesini değil de $g=0$ yüzeyinde *tasarım noktası* (design point) olarak adlandırılan bir noktada birinci dereceden Taylor serisine açılarak lineerleştirilmesi esasına dayanır. Bu durumda β 'nın tanımı

$$\beta = \frac{\mu_g}{\sigma_g} = \frac{g(\mu_x)}{(\nabla g(\mu_x)^T C_x \nabla g(\mu_x))^{1/2}} \quad (1.9)$$

boyutsuzlaştırılmış normal uzayda orijinden $g=0$ yüzeyi üzerinde bir noktaya olan minimum mesafe olmakta ve β *genelleştirilmiş güvenilirlik indeksi* olarak adlandırılmaktadır. Hasofer ve Lind (1974) tarafından sunulan bu yöntem rastgele değişkenlerin normal dağılımda ve bağımsız oldukları kabulünü yapmaktadır. Bundan sonraki adım rastgele değişkenlerin Denklem (1.10)'da verilen dönüşüm işlemi yapılarak beklenen değeri μ sıfır, standart sapması σ bir olan boyutsuzlaştırılmış normal uzaya indirgenmesidir.

$$U = \frac{X - \mu_x}{\sigma_x} \quad (1.10)$$

burada U rastgele değişkenlere, X , ait Denklem (1.10) aracılığıyla normalleştirilmiş değişkenlerdir. Şekil 1.4'de Hasofer ve Lind (1974) tarafından yapılan bu tanımın geometrik gösterimi yapılmaktadır.



Şekil 1.4. Hasofer ve Lind'in güvenilirlik indeksi tanımının $g=Q-S$ için gösterimi

Dolayısı ile bu β tanımını aşağıdaki gibi ifade edilen bir optimizasyon problemi olarak göstermek mümkündür.

$$\begin{aligned} & \text{bul } u \\ & \min \beta = \left(\sum_{i=1}^n u_i^2 \right)^{1/2} = (u^T u)^{1/2} \\ & \text{öyleki } g(u) = 0 \end{aligned} \quad (1.11)$$

Denklem (1.11)'de verilen sınırlayıcı optimizasyon problemi bu amaçla kullanılan herhangi bir optimizasyon yöntemi ile çözülebilir. Bunun yerine ardışık olarak gerçekleştirilen işlemler aracılığıyla da β hesaplanabilmektedir. Buna göre tasarım noktasının u^* , $g=0$ yüzeyi üzerinde olduğu ve $\beta = \mu_g / \sigma_g$ olduğu dikkate alınırsa sınır durum fonksiyonunun beklenen değeri ve standart sapması aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\mu_g = \nabla g(u^*)^T (\mu_u - u^*) \quad \sigma_g = \left(\nabla g(u^*)^T C_U \nabla g(u^*) \right)^{1/2} \quad (1.12)$$

Bağımsız ve normal dağılımdaki rastgele değişkenlerin U standart sapması σ_{U_i} ile kovaryans matrisi C_U arasında aşağıdaki gibi ifade edilebilen bir ilişki söz konusudur.

$$\sigma_U = \sqrt{C_U} \quad (1.13)$$

Bu durumda sınır durum fonksiyonunun standart sapması

$$\sigma_g = \nabla g(u^*)^T \sigma_U \alpha \quad (1.14)$$

gibi ifade edilebilir. Burada α bağımsız ve normal dağılımdaki rastgele değişkenlerin duyarlılığı (sensitivity) olup aşağıdaki gibi ifade edilmektedir (CIRIA, 1977; Karadeniz ve Vrouwenvelder, 2006; Bayazıt, 1996; Türkman 1989).

$$\alpha = \frac{\sigma_U \nabla g(u^*)}{(\nabla g(u^*)^T C_U \nabla g(u^*))^{1/2}} \quad (1.15)$$

β ise $\beta = \mu_g / \sigma_g$ olduğu dikkate alınırsa Denklem (1.16)'daki gibi hesaplanabilir.

$$\beta = \frac{\nabla g(u^*)^T (\mu_U - u^*)}{\nabla g(u^*)^T \sigma_U \alpha} \quad (1.16)$$

β ve α hesaplandıktan sonra bir sonraki adımdaki tasarım noktası aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$u^* = \mu_U - \beta \sigma_U \alpha \quad (1.17)$$

Bu işlemlere tanımlanan bir düzeyde yakınsaklık sağlanıncaya kadar devam edilir. Rackwitz ve Fiessler (1978) gerçek (orijinal) ve indirgenmiş rastgele değişkenlerin yığılımlı dağılım ve olasılık yoğunluk fonksiyonlarının tasarım noktasında eşit olduğu kabulü ile normal dağılıma sahip olmayan bağımsız rastgele değişkenlerin dağılımlarını normal dağılıma uydurmuşlardır (Denklem (1.18)).

$$F_X(x_i) = \Phi(u_i^*) \Rightarrow x_i = F_X^{-1}(\Phi(u_i^*)) \text{ veya } u_i^* = \Phi^{-1}(F_X(x_i)) \quad (1.18)$$

Böylelikle Hasofer ve Lind (1974) tarafından sunulan ve rastgele değişkenlerin bağımsız normal dağılımda olması durumunda uygulanan yöntemi geliştirmişlerdir. Daha sonraları Newton-Raphson yöntemine dayanan ve *Birinci Dereceden Güvenilirlik Yöntemi* (BDGY) denilince ilk akla gelen ardışık işlem dizisini sunmuşlardır (Rackwitz ve Fiessler, 1978). Bu işlem dizisi aşağıda verilmektedir.

1. Rastgele değişkenlere başlangıç değerleri atanır. Bu değer genellikle rastgele değişkenlerin beklenen değeridir.
2. Denklem (1.18)'i kullanarak normal dağılımda olmayan rastgele değişkenlerin eşlenik normal dağılımları elde edilir.

3. Sınır durum fonksiyonunu $g(u^*)$ ve gradyan vektörü hesaplanır

$$\nabla g(u^*) = \frac{\partial g(u)}{\partial U} \Big|_{U=u^*}$$
4. Denklem (1.15) ile verilen bağımsız ve normal dağılımdaki rastgele değişkenlerin duyarlılığı (doğrultman kosinüsleri) hesaplanır.
5. Denklem (1.16) ile β hesaplanır.
6. Tasarım noktaları u^* Denklem (1.17) aracılığı ile yenilenir.
7. Tasarım noktaları için yakınsama kontrol edilir; $g(u^*)=0$ veya $g(u^*) \leq 10^{-5}$.
8. Yeterli yakınsaklık sağlandığında işlem tamamlanır aksi durumda 3. adımdan itibaren işlem tekrarlanır.

1.4.2. Tersine Güvenilirlik Yöntemi

BDGY yöntemi Denklem (1.11)'de verilen optimizasyon probleminin çözümünü aramaktadır. Diğer bir ifadeyle rastgele değişkenlere, X , bağlı bir sınır durum fonksiyonunun, g , ilgili tüm değişkenler için güvenilirlik düzeyini belirten güvenilirlik indeksini, β , bulmaktadır. Bunun aksine istenilen bir güvenilirlik düzeyi için g 'nin bağlı olduğu rastgele veya belirli (deterministik) değişkenlerin bazılarının değerlerinin bulunması tersine güvenilirlik problemini ortaya çıkarmaktadır (Li ve Fochi, 1998; Sadovsky, 2000; Der Kiureghian vd., 1994). Bu durumda Denklem (1.11)'de verilen problem tersine güvenilirlik problemi için aşağıdaki hali almaktadır.

$$\begin{aligned} & \text{bul } u \\ & \text{min } g(u) = 0 \\ & \text{öyleki } (u^T u)^{1/2} = \beta \end{aligned} \tag{1.19}$$

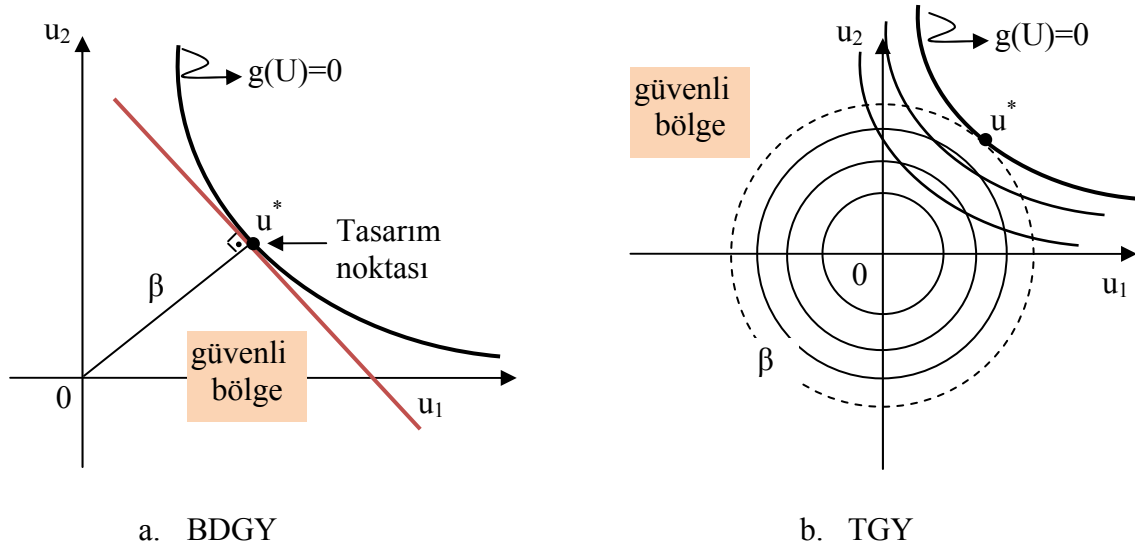
Bu sınırlayıcı optimizasyon problemin çözümü de bu amaçla kullanılan herhangi bir optimizasyon yöntemi ile elde edilebilir. Ancak Der Kiureghian vd (1994) ilk defa yukarıda BDGY için verilen ardışık işlem dizisini sınır durum fonksiyonunun bağlı olduğu deterministik bir parametrenin verilen bir güvenilirlik düzeyi için değerini bulmada kullanmışlardır. Li ve Foschi (1998) ise bu yöntemi hem rastgele hem de deterministik olabilen çoklu parametrelerin bulunması için geliştirmişlerdir. Sadovsky (2000) ise Li ve

Foschi (1998) tarafında verilen yöntemin tasarım noktasında elde edilecek asal eğrilik (principal curvatures) bilgilerini de kullanması durumunda daha hızlı yakınsayabildiğini göstermiştir. Aşağıda güvenilirliğe dayalı bir optimizasyon probleminde, rastgele değişkenlere bağlı bir sınır durum fonksiyonunun istenilen güvenilirlik düzeyi için değerlendirilmesin de kullanılan TGY'nin ardışık işlem dizisi verilmektedir (Tu, 1999; Tu vd., 1999).

1. Rastgele değişkenlere başlangıç değerleri atanır. Bu değer genellikle rastgele değişkenlerin beklenen değeridir.
2. Denklem (1.18)'i kullanarak normal dağılımda olmayan rastgele değişkenlerin eşlenik normal dağılımları elde edilir.
3. Sınır durum fonksiyonu $g(u^*)$ ve gradyan vektörü hesaplanır.

$$\nabla g(u^*) = \frac{\partial g(u)}{\partial U} \Big|_{U=u^*}$$
4. Denklem (1.15) ile verilen bağımsız ve normal dağılımdaki rastgele değişkenlerin duyarlılığı (doğrultman kosinüsleri) hesaplanır.
5. Tasarım noktaları u^* Denklem (1.17) aracılığı ile yenilenir.
6. Tasarım noktaları için yakınsama kontrol edilir; $g(u^*)=0$ veya $g(u^*) \leq 10^{-5}$.
7. Yeterli yakınsaklık sağlandı ise işlem durur aksi durumda 3. adımdan itibaren işlem tekrarlanır.

Daha önce bahsedildiği üzere bu işlem dizisi BDGY için kullanılan yönteme dayanmaktadır. Şekil 1.5'de normalleştirilmiş iki değişkenli uzayda birinci dereceden güvenilirlik yöntemi (BDGY) ile tersine güvenilirlik yöntemi (TGY) için güvenilirlik indeksi (β)'nin geometrik gösterimi verilmektedir. Şekil 1.5'den de görülebildiği üzere TGY, u uzayında istenilen güvenilirlik düzeyine karşılık gelen β yarı çaplı bir daire üzerinde g 'yi sıfır yapan noktayı aramaktadır. β verildiği için β yarı çaplı dairenin yeri u uzayında sabit kalmaktadır. Bu da tersine güvenilirlik yöntemi (TGY)'nin birinci dereceden güvenilirlik yöntemi (BDGY)'ne göre daha hızlı ve yüksek oranda yakınsama yapmasını sağlamaktadır (Tu, 1999; Tu vd., 1999).



Şekil 1.5. Güvenilirlik indeksinin (β) birinci derece güvenilirlik yöntemi (BDGY) ve tersine güvenilirlik yöntemine (TGY) için geometrik gösterimi

1.5. Optimizasyon ve Optimizasyon Yöntemleri

Belirli bir amaca hizmet edecek olan mühendislik yapılarını, belirli bir emniyet ve rijitliğe sahip olacak biçimde, pek çok farklı şekilde tasarlamak mümkündür. Bu tasarımlar arasından belirtilen şartları sağlayan ve en az ağırlığa veya hacime sahip olan yapının bulunması problemine *yapı optimizasyonu* adı verilmektedir. Yapısal optimizasyon problemi genel olarak aşağıdaki gibi ifade edilebilmektedir (Rao, 1996; Arora, 2004; Haftka ve Gürdal, 1992; Gill vd., 1981).

$$\begin{aligned}
 &\text{bul} && d = [d_1, d_2, \dots, d_n]^T \\
 &\text{min} && W(d) \\
 &\text{öyleki} && h_j(d) = 0 \quad j = 1, \dots, p \\
 &&& g_i(d) \leq 0 \quad i = 1, \dots, m \\
 &&& d_{\text{alt}} \leq d \leq d_{\text{üst}}
 \end{aligned} \tag{1.20}$$

burada d , n boyutlu *tasarım değişkenleri vektörüdür*. $W(d)$ yapısal optimizasyon probleminin *amaç fonksiyonudur*. $h_j(d)$ ve $g_i(d)$ eşitlik ve eşitsizlik sınırlayıcılarıdır. d_{alt} ve $d_{\text{üst}}$ ise tasarım değişkenlerinin değer alması istenilen aralığa ait alt ve üst sınır değerlerini göstermektedir. Yapı optimizasyonu için d eleman enkesit alanlarını, $h_j(d)$ ve $g_i(d)$

standartlarda belirtilen izin verilen sınır değerleri ve $W(d)$ ise yapının ağırlığını veya hacmini göstermektedir. Mühendislik problemlerinde genellikle $g_i(d)$ ile gösterilen tipte sınırlayıcılara rastlanmaktadır.

Denklem (1.20) ile verilen bir optimizasyon probleminin çözümlü günümüzde genellikle matematiksel programlama veya sezgisel (heuristic) algoritma yöntemlerinden biri ile yapılmaktadır. Adından da anlaşılacağı gibi bu iki gruba giren optimizasyon yöntemleri çözüme ulaşmak için matematiksel ilkelere ve doğada var olan gerçek olayların taklit edilmesine dayanmaktadır.

1.5.1. Matematiksel Programlama

Matematiksel programlama yöntemleri, amaç fonksiyonu ve sınırlayıcıların tasarım değişkenlerinin lineer fonksiyonu olması durumunda lineer programlama, lineer olmaması durumunda lineer olmayan programlama (Nonlinear Programming, NLP) olarak iki grupta toplanır. NLP yöntemlerinden biri olan ardışık ikinci dereceden programlama (Sequential Quadratic Programming, SQP) matematiksel programlama yöntemleri arasında mühendislik alanındaki optimizasyon problemlerinin çözümünde sıklıkla kullanılan yöntemlerden biridir.

Pek çok matematiksel tabanlı sayısal optimizasyon yöntemi için temel düşünce aşağıda verilen işlem adımlarını takip ederek ardışık olarak iyileştirilmiş yaklaşık çözümler üretmektir.

- Bir başlangıç noktası seç, d_i
- Uygun bir yön (feasible or search direction) bul, S_i
- Bulunan yön için uygun adım boyunu (step length) bul, $\Delta\delta$
- d_i için yeni iyileştirmeyi hesapla, $d_{i+1}=d_i+ \Delta\delta S_i$
- d_{i+1} optimum ise dur. Aksi halde 2. adıma git işlemleri tekrarla.

Denklem (1.20) ile verilen bir optimizasyon probleminin çözümlü için kullanılan SQP yönteminin esası verilen bir başlangıç noktası için problemi quadratic programlama (QP) olarak adlandırılan bir alt probleme dönüştürmektir. Bu alt problemin çözümünden uygun yön S bulunur. Daha sonra problem bu yönde uygun adım boyunun $\Delta\delta$ hesaplanmasına indirgenir. Hem S hem de $\Delta\delta$ bulduktan sonra d bir sonraki iterasyon adımı için yenilenecek işlemlere devam edilir. Yeteri bir yakınsaklık sağlanınca veya belirlenen

maksimum iterasyon adımına ulaşıncaya işleme son verilir. Buna göre bir SQP algoritması için ardışık işlem dizisi aşağıdaki gibi olmaktadır (Rao, 1996; Boggs ve Tolle, 1996; Schittkowski, 1985; Spellucci, 1998; Arora, 2004; Haftka ve Gürdal, 1992; Gill vd., 1981, Venkarataman, 2002).

1. Tasarım değişkenleri için başlangıç değerleri seç. Hessian matrisi H birim matris olarak al.
2. Amaç fonksiyonu, sınırlayıcı değerleri ve bunlar için gradyanları hesapla. Eğer itersyon adımı $k > 1$ ise H'yi yenile.
3. Denklem (1.21) ile verilen problemi kvadratik programlama ile çöz.

$$\begin{aligned} \min \quad & \bar{W} = \nabla W^T S + \frac{1}{2} S^T H S \\ \text{öyle ki} \quad & h(d) + \nabla h(d)^T S = 0 \\ & g(d) + \nabla g(d)^T S \leq 0 \end{aligned} \quad (1.21)$$

4. Yakınsama kriterlerini ve sınırlayıcıları kontrol et. Eğer sağlanıyorsa dur.
5. Adım boyunu $\Delta\delta$, $W(d) + RV(d)$ olarak verilen fonksiyonu (descent or merit function) azaltacak biçimde bul ve tasarım değişkenlerini yenile $d_{k+1} = d_k + \Delta\delta S$
6. İterasyon sayısını artır ve 2. adıma git.

burada $R > 0$ olan ceza katsayısı, $V(d)$ ise ya maksimum sınırlayıcı ihlali ya da sıfır olan bir değerdir.

1.5.2. Sezgisel Algoritmalar

Bu tür optimizasyon teknikleri, doğada var olan gerçek olayları taklit ederek geliştirilmiş olup problemin çözümüne kesin matematiksel ifadeler yerine sadece problemin doğru sonuca gitmesini gerektirecek mantıksal yaklaşımların bilgisayara kodlanıp çözdürülmesiyle işlemektedir. Kesin matematiksel ifadeler içermedikleri için bu tip teknikler ile elde edilen sonuçları en iyi olma garantileri olmamaktadır. Ancak yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre, bu tip tekniklerin diğer yaklaşık yöntemlerde olduğu gibi sunduğu çözümler en iyiye yakın ve kullanılabilir olmaktadır.

Mahfouz (1999)'a göre bir çok alt grubu olan bu tip tekniklerin uygulamaya yönelik avantajları bir çok araştırmacı tarafından incelenmiş ve aşağıdaki gibi özetlenebilecek avantajlarının olduğu belirtilmiştir.

- Amaç fonksiyonu ve sınırlayıcılarla ilgili olarak türev bilgilerine ihtiyaç yoktur.
- Farklı yükleme ve sınırlayıcılar altında karmaşık sistemleri çözme esnekliğine sahiptirler.
- Standart profil tablolarından ayırık tasarım değişkeni olarak kesit özellikleri alabilirler.
- Birden fazla olası çözüm üretirler.
- Tasarım problemi ile ilgili olarak tasarımcı, deneyimini ve yeteneklerini algoritmaya katabilmektedir.

Bu ortak özelliklere sahip yöntemlerin en çok bilinenleri Benzetimli Tavlama (Simulated Annealing, SA), Genetik Algoritma (Genetic Algorithms, GA) ve Evrimsel Strateji (Evolutionary Strategy, ES)'dir. (Kirkpatrick vd., 1983; Leiete ve Topping, 1999; Nalçacı Erbatur, 2005; Rajeev ve Krishnamoorthy, 1992; Weldali ve Saka, 1999; Erbatur vd., 2000; Toğan, 2004; Toğan ve Daloğlu, 2006, 2008; Rechenberg, 1973; Hasançebi, 2008).

Son on yılda doğadaki farklı süreç veya olayları taklit ederek geliştirilmiş optimizasyon yöntemlerine de rastlanmaktadır. Uyum arama (Harmony Search, HS), Parçacık Sürü Optimizasyon (Particle Swarm Optimization, PSO) ve Diferansiyel Gelişim (Differential Evolution, DE) yöntemleri bunların bazılarıdır (Geem vd., 2001, Ebehart ve Kennedy, 1995; Storn ve Price, 1997).

DE, popülasyon tabanlı ve rastgele seçilmiş vektörlerin farkına dayalı bir mutasyon işlemi uygulayan bir sezgisel (heuristic) algoritmadır (Storn ve Price, 1997). Kullanılan basit mutasyon işlemi algoritmanın performansını geliştirmekte, yeni araştırma bölgelerinin araştırılmasını sağlamakta ve onu daha kararlı yapmaktadır (Karaboğa ve Baştürk, 2005). Diğer popülasyon tabanlı sezgisel algoritmalarda da olduğu gibi DE'de bir optimizasyon probleminin çözümüne, *başlangıç popülasyonu* olarak adlandırılan n_p adet satır ve n adet sütundan oluşan bir matrisin rastgele oluşturulmasıyla başlar. Burada n_p olası çözüm adedini yani popülasyondaki birey sayısını, n ise tasarım değişkeni sayısını göstermektedir. Oluşturulan bu popülasyonun her bir bireyi için, *bu bireyden ve birbirinden farklı 3 adet* birey popülasyondan rastgele seçilir. Seçilen 3 birey (y_{r0}, y_{r1}, y_{r2}) aşağıdaki bağıntı aracılığı ile mutasyona tabi tutularak o birey (y_i) için yeni bir birey (v_i) elde edilir.

$$v_i = y_{r0} + F(y_{r1} - y_{r2}) \quad (1.22)$$

burada $F(0,1)$ aralığında değer alan bir ölçekleme faktörüdür. Daha sonra v_i ile y_i aşağıda verilen formülasyon kullanılarak çaprazlamaya tabii tutularak yeni aday birey (b_i) elde edilir.

$$b_i = b_{i,j} = \begin{cases} v_{i,j} & \text{eğer } \text{rand}_j(0,1) \leq Cr \\ y_{i,j} & \text{eğer } \text{rand}_j(0,1) > Cr \end{cases} \quad (1.23)$$

burada $\text{rand}_j(0,1)$ aralığında üretilen rastgele bir sayıyı, Cr ise $[0,1]$ aralığındaki seçilen bir çaprazlama olasılığıdır. b_i 'nin sunduğu çözüm y_i 'ninkinden daha iyi ise y_i , b_i ile değiştirilir. Aksi durumda y_i korunur. Bu işleme bir sonlandırma kriteri sağlanıncaya kadar devam edilir. Bu bilgiler ışığında DE algoritmasının temel işlem adımları aşağıdaki gibi olmaktadır (Storn ve Price, 1997; Price vd., 2005; Karaboğa ve Baştürk, 2005).

1. Başlangıç popülasyonu oluşturulur P_{ij} ($i=1,\dots,np; j=1,\dots,n$)
2. P 'deki çözümlerin kalite (amaç fonksiyonu) değerleri hesaplanır $W(P_{ij})$
3. P popülasyonundan y_i için

$$y_{r0}, y_{r1}, y_{r2} \mid y_i \neq y_{r0} \neq y_{r1} \neq y_{r2}$$

olacak şekilde rastgele 3 çözüm (birey) seçilir ve Denklem (1.22) aracılığı ile mutasyona uğramış yeni çözüm (v_i) üretilir. Daha sonra Denklem (1.23) kullanılarak y_i ve v_i 'den yeni aday çözüm (b_i) üretilir.

4. Eğer $W(b_i)$ 'i $W(y_i)$ 'den iyi ise ($W(b_i) \leq W(y_i)$) P popülasyonunda y_i yerine b_i koyulur. Değilse y_i muhafaza edilir.
5. Sonlandırma kriteri sağlanıyorsa işlem durdurulur. Aksi halde 2. adımdan itibaren işlem tekrarlanır.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEME

2.1. Giriş

Yapı mühendisleri, tasarımı uygulanabilir kılacak bir takım koşullar altında, döngüsel olan analiz ve değerlendirme safhaları sonucunda ortaya çıkan çözümlerden birini seçmek durumundadırlar. Ancak bu seçimin, malzeme, geometri ve taşıyıcı sistem bakımından en uygun olması isteği ihtiyaca cevap vermeyi zorlaştırmaktadır. Bu amaçla değerlendirme işlemi için bilgisayarlarda çalıştırılan döngüsel işlemler dizisi yazılmıştır. Bu işlemler dizisinde, dikkate alınan yük, malzeme dayanım sınırı, geometri ve elemanların en kesit alanları değerlerinde oluşabilecek değişimler dikkate alınmamaktadır. Oysaki gerek bu değerlerin belirlenmesinde gerek malzemelerin üretiminde gerekse de yapım sürecinde rastgelelikler bulunmaktadır. Dolayısı ile bu rastgelelikler veriler gurubunun belirli değerlerle temsil edilmesini güçleştirmektedir. Son birkaç on yıldır yapılan çalışmalar göstermektedir ki, geleneksel olarak yapıya gelen optimizasyon işlemlerinde verilerin rastgele olarak dikkate alınması, alınmaması durumunda ulaşılan amaç fonksiyonu değerini etkilemektedir. Optimizasyon sürecinde dikkate alınan verilerin rastgele olarak kabul edilmesi *güvenilirliğe dayalı optimizasyon* (GDO) tekniğini ortaya çıkarmaktadır. Adından da anlaşılabilirliği gibi güvenilirliğe dayalı optimizasyon, rastgele değişkenlere bağlı koşullar altında istenilen amacın minimum değerinin elde edilmesidir. Dolayısı ile geleneksel optimizasyona göre, GDO'da, güvenilirlik analizi yöntemlerinden birinin rastgele değişkenlere bağlı koşulların değerlendirilmesini yapmak üzere optimizasyon işlem dizisine eklenmesini gerektirmektedir. Bu ekleniş, yine geleneksel optimizasyondan farklı olarak GDO'un iki farklı çözüm uzayında çalışmasını gerektirmektedir. Verilerin belirli bir değer ile ifade edildiği ilk uzayda, optimizasyon, rastgele değişkenlerle işlem görülen ikinci uzayda ise güvenilirlik analizi gerçekleştirilmektedir.

2.2. Güvenilirliğe Dayalı Optimizasyon Probleminin Matematiksel Formülasyonu

Bir güvenilirliğe dayalı optimizasyon (GDO) probleminin matematiksel formülasyonu aşağıdaki gibi verilmektedir (Sorensen ve Enevoldsen, 1994; Kuschel ve Rackwitz, 1997; Frangopol, 1998; Gasser ve Schüeller, 1997; Frangopol ve Maute, 2005).

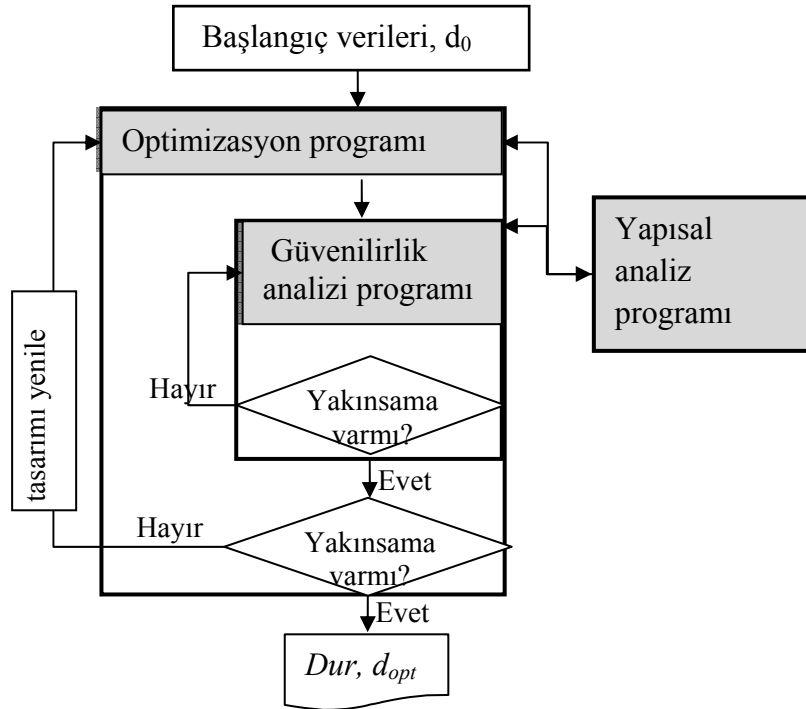
$$\begin{aligned}
 & \text{bul } d \\
 & \text{min. } W(d) \\
 & \text{öyleki } P_{f,k} = P(g_k(d, X) \leq 0) \leq \bar{P}_{f,k}, \quad k = 1, \dots, p \\
 & \quad d_{\text{alt}} \leq d \leq d_{\text{üst}}
 \end{aligned} \tag{2.1}$$

burada $d=[d_i]^T$ ($i=1, \dots, n$) ve $X=[X_j]^T$ ($j=1, \dots, m$) olarak tanımlanan tasarım ve rastgele değişkenler vektörünü; $g_k(d, X)$ hem tasarım değişkenlerine hem de rastgele değişkenlere bağlı sınır durum fonksiyonunu, p GDO problemindeki sınırlayıcı sayısını, P_f sınır durum fonksiyonunun Denklem (2.1) ile gösterilen gerçekleşme olasılığını, \bar{P}_f ise bu olasılığın üst sınır değerini göstermektedir. GDO problemlerinde optimizasyonun tasarım değişkenleri d deterministik veya rastgele olarak alınabilmektedir. GDO'da tasarım değişkenlerinin rastgele olması durumunda, bu değişkenlerin sayısal ortalama değerleri μ_d genellikle optimizasyonun tasarım değişkenleri olarak dikkate alınmaktadır. Geleneksel optimizasyon problemi gerçekte tüm verilerin sayısal ortalama μ değerlerinin bir fonksiyonu olarak ifade edilmektedir. Denklem (2.1)'de verilen ve p adet olan sınırlayıcılara GDO'da *güvenilirlik veya olasılık sınırlayıcısı* denilmektedir.

Güvenilirlik sınırlayıcısının varlığı, geleneksel optimizasyondan farklı olarak optimizasyon sürecine güvenilirlik analizi programının da katılmasını gerektirmektedir. Dolayısı ile bir GDO algoritması, tasarım değişkenlerini yenileyen ve en uygununu bulan bir optimizasyon programı, güvenilirlik sınırlayıcısının kontrol edilmesine aracılık eden güvenilirlik analizi programı ve son olarak da mühendislik sisteminin sayısal çözümlemesini yapan bir analiz programı gibi üç farklı bileşeni içermektedir.

2.2.1. Bir Güvenilirliğe Dayalı Optimizasyon Algoritmasının Bileşenleri

Üç farklı programı bünyesinde barındıran bir güvenilirliğe dayalı optimizasyon (GDO) probleminin çözümü bu programların etkin ve verimli bir biçimde birbirleriyle etkileşimlerinin sağlanmasını gerektirmektedir. Bu etkileşimlerin farklı şekillerde yapılabilmesi mümkündür (Cheng vd., 2006; Kharmanda vd., 2002). Bunlardan yuvalanmış veya iki döngülü olarak adlandırılan etkileşim biçimi en sık rastlanılanıdır. Bu etkileşim biçimi Şekil 2.1’de gösterilmektedir. Adından ve Şekil 2.1’den anlaşılacağı gibi ilk önce optimizasyon programı tasarım değişkenlerine değer atar. Daha sonra güvenilirlik analizi programı ilgili veriler ile güvenilirlik sınırlayıcısı değerini hesaplar.



Şekil 2.1. Yuvalanmış veya iki döngülü güvenilirliğe dayalı optimizasyon algoritması

Yapısal analiz programı ise hem optimizasyon hem de güvenilirlik analiz programına ihtiyaç duyulduğu anda ilgili analiz sonuçlarını iletir. Böylelikle bu ardışık işlem dizisi yaklaşık sonuç elde edilinceye veya bir sonlandırma koşulu sağlanıncaya kadar devam eder. Bir GDO algoritmasındaki her bir program için farklı tipte yöntemler kullanılabilir. Örneğin, optimizasyon programı için matematiksel teoriye dayanan bir optimizasyon

yöntemi kullanılabileceği gibi doğadaki olayları taklit eden bir optimizasyon yöntemi de tercih edilebilir.

2.2.2. Güvenilirlik Sınırlayıcılarının Kontrolü

Bir güvenilirliğe dayalı optimizasyon (GDO) probleminde güvenilirlik sınırlayıcısı veya sınırlayıcılarının kontrolü Denklem (2.1) ile gösterilen biçimden ziyade Denklem (1.6) ile verilen biçimde yapılır. Bu durumda güvenilirlik sınırlayıcısının kontrolü aşağıda verilen ifade aracılığıyla yapılmaktadır.

$$\begin{aligned} \beta_k &= -\Phi^{-1}(P_{f,k}), \quad \beta_{t,k} = -\Phi^{-1}(\bar{P}_{f,k}) \quad \text{olmak üzere} \\ \beta_k &\geq \beta_{t,k} \end{aligned} \quad (2.2)$$

burada β_k k. güvenilirlik sınırlayıcısına ait güvenilirlik indeksini, $\beta_{t,k}$ bu indeks değeri için verilen *hedef (target) güvenilirlik indeksini*, $\Phi(\cdot)$ ise standart normal dağılımın yığışlımlı dağılım fonksiyonunu göstermektedir. Güvenilirlik sınırlayıcılarının Denklem (2.2)'deki gibi kontrolünün yapıldığı GDO problemine *güvenilirlik indeksi yaklaşımı (GİY)*'na dayanan GDO denilmektedir. k. güvenilirlik sınırlayıcısına ait güvenilirlik indeksinin β_k hesabı daha önceki bölümde açıklanan ve Birinci Dereceden Güvenilirlik Yöntemi (BDGY) olarak adlandırılan güvenilirlik analizi yöntemi ile yapılmaktadır.

Bir GDO probleminde güvenilirlik sınırlayıcısı veya sınırlayıcılarının kontrolü aşağıda verilen ifadeler aracılığı ile de yapılabilmektedir (Tu, 1999; Tu vd., 1999).

$$\begin{aligned} P_{f,k} &= P(g_k(d, X) \leq 0) = F_{g_k}(0) \leq \Phi(-\beta_{t,k}) \quad \text{olmak üzere} \\ g^* &= F_{g_k}^{-1}(\Phi(-\beta_{t,k})) \geq 0 \end{aligned} \quad (2.3)$$

burada F_{g_k} k. sınır durum fonksiyonunun g_k yığışlımlı dağılım fonksiyonunu, g^* ise hedef olasılık performans ölçüsünü (target probabilistic performance measure) göstermektedir. Dolayısı ile k. güvenilirlik sınırlayıcısının kontrolü aşağıda verilen ifadeyle yapılır.

$$g^* \approx G_{U,k}(u_{\beta_k=\beta_{t,k}}^*) \geq 0 \quad (2.4)$$

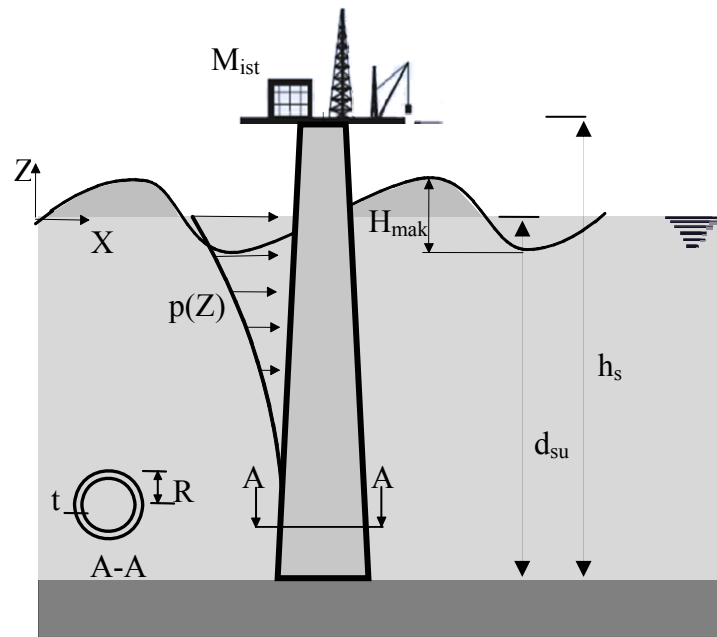
burada $G_{U,k}(\cdot)$ k. sınır durum fonksiyonunun normalize edilmiş uzayda $u_{\beta_k=\beta_{t,k}}^*$ için değerini göstermektedir. Denklem (2.4)'den de görülebildiği gibi güvenilirlik sınırlayıcısının kontrolü g^* için işaret kontrolüne dönüşmektedir. Negatif değer başarısızlığı temsil ettiği için g^* işareti güvenilirlik sınırlayıcısının sağlanıp sağlanmadığının bir ölçüsü olarak kullanılabilir (Lee vd., 2002). Güvenilirlik sınırlayıcılarının Denklem (2.4) aracılığı ile kontrolünün yapıldığı GDO problemine *performans ölçüsü yaklaşımı* (PÖY)'na dayanan GDO denilmektedir. k. güvenilirlik sınırlayıcısına ait performans ölçüsünün g^* hesabı daha önceki bölümde açıklanan ve BDGY dayanan Tersine Güvenilirlik Yöntemi (TGY) ile yapılmaktadır (Tu, 1999; Tu vd., 1999; Lee vd., 2002; Ramu vd., 2006).

2.3. Tek Ayaklı Deniz Platformu İçin Geliştirilen Güvenilirliğe Dayalı Optimizasyon Algoritması

Bu çalışmada farklı tipteki deniz platformlarının (tek ayaklı, üç ayaklı ve ceket tipi) güvenilirliğe dayalı optimizasyon (GDO)'unu yapmak üzere etkileşimleri gerçekleştirilen algoritmanın ilk aşamasında tek ayaklı deniz platformu için FORTRAN dilinde açık bir kod yazılmıştır. Bu algoritma aracılığı ile bir yapı sisteminin GDO gerçekleştirmek üzere yapılması gerekli işlem adımları anlaşılmıştır. Daha sonra edinilen bilgiler ışığında bahsi geçen farklı tipteki deniz platformlarının GDO gerçekleştirmek üzere daha genel bir program oluşturulmuştur. Bu program yapısal analiz için SAPOS (Stochastic Analysis Program for Offshore Structures, Karadeniz 1994), optimizasyon için ardışık ikinci dereceden programlama (SQP) ve diferansiyel gelişim (DE), güvenilirlik analizi için ise birinci dereceden güvenilirlik ve tersine güvenilirlik yöntemlerini bünyesinde barındırmaktadır.

2.3.1. Tek Ayaklı Deniz Platformu

Deniz platformları denizlerde gözlem, araştırma ve petrol, doğal gaz vb. yeraltı kaynaklarının çıkartıldığı istasyonlar olarak hizmet vermektedirler. İnşa edildikleri yerlerin çevre koşulları dikkate alındığında bu tür yapı sistemlerinin optimizasyonlarında verilerin rastgele olarak dikkate alınması kaçınılmaz olmaktadır. Bu amaçla inşa edilen deniz platform tiplerinden biri de Şekil 2.2’de görülen tek ayaklı olanıdır. Platform; kendi ağırlığı, istasyon yükü M_{ist} ve dalga yüküne maruzdur.



Şekil 2.2. Tek ayaklı deniz platformu

burada H_{mak} maksimum dalga yüksekliğini, h_s platformun yüksekliğini, d_{su} su derinliğini, t ve R ise platformun en kesitinin kalınlığını ve yarı çapını göstermektedir. Dalga yükünden dolayı sisteme etkiyen dalga kuvveti $p(Z)$ aşağıdaki gibi verilen Morison denkleminde hesaplanmaktadır (Karadeniz, 2005).

$$p(Z) = \frac{1}{2} \rho_{su} c_d D |u_x| u_x + \frac{\pi}{4} \rho_{su} c_m D^2 \dot{u}_x \quad (2.5)$$

burada D platformun en kesit çapını, ρ_{su} suyun yoğunluğunu, c_d ve c_m sürüklenme (drag) ve atalet (inertia) kuvveti katsayılarını, u_x ve \dot{u}_x su parçacıklarının yatay hızı ve dalganın yayılma yönündeki ivmesini göstermektedir. Lineer dalga teoremi kullanılarak u_x ve \dot{u}_x aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\begin{aligned} u_x &= \hat{\eta} \omega \frac{\cosh(mZ + md_{su})}{\sinh(md_{su})} \sin \Omega \\ \dot{u}_x &= \hat{\eta} \omega^2 \frac{\cosh(mZ + md_{su})}{\sinh(md_{su})} \cos \Omega, \quad \Omega = \omega t - mx \end{aligned} \quad (2.6)$$

burada $\hat{\eta}$, ω ve m sırası ile dalga genliği, dalga frekansı ve dalga sayısıdır. $p(Z)$ 'den dolayı platformun en alt noktasında meydana gelen eğilme momenti aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$M = \int_{Z=-d_{su}}^0 (d_{su} + Z) p(Z) dz \quad (2.7)$$

Lineer dalga teorisi kullanılarak hesaplanan eğilme momenti ise aşağıdaki ifade ile bulunmaktadır.

$$M = \frac{D}{2} \frac{g \rho_{su} \hat{\eta}}{m} (C_d |\sin \Omega| \sin \Omega + C_m \cos \Omega) \quad (2.8)$$

burada g yer çekim ivmesini, C_d ve C_m ise sürüklenme ve atalet kuvveti terimlerine ait aşağıdaki gibi verilen parametreleri göstermektedir.

$$C_d = \frac{c_d \hat{\eta}}{4} \left(\frac{2y^2}{\sinh 2y} + 2y - \tanh y \right) \rightarrow y = m d_{su} \quad (2.9)$$

$$C_m = \frac{\pi}{2} c_m D \left(\frac{1}{\cosh y} + y \tanh y - 1 \right)$$

Denklem (2.8)'den görülebileceği gibi doğrusal dalga teorisi kullanılarak elde edilecek eğilme momenti değeri Ω aşağıda verilen değerine bağlı olarak bir maksimum birde minimum değer almaktadır.

$$\cos \Omega = \pm C_m / 2C_d \quad \text{veya} \quad C_m \leq 2C_d \quad (2.10)$$

Denklem (2.10)'da verilen koşula bağlı olarak eğilme momentinin hesabına ya C_d ile C_m beraber ya da sadece C_m katkıda bulunmaktadır (Karadeniz, 2005).

$$M = \begin{cases} \frac{D}{2} \frac{g \rho_{su}}{m} \hat{\eta} \left(C_d + \frac{C_m^2}{4C_d} \right) & \text{eğer } C_m \leq 2C_d \\ \frac{D}{2} \frac{g \rho_{su}}{m} \hat{\eta} C_m & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (2.11)$$

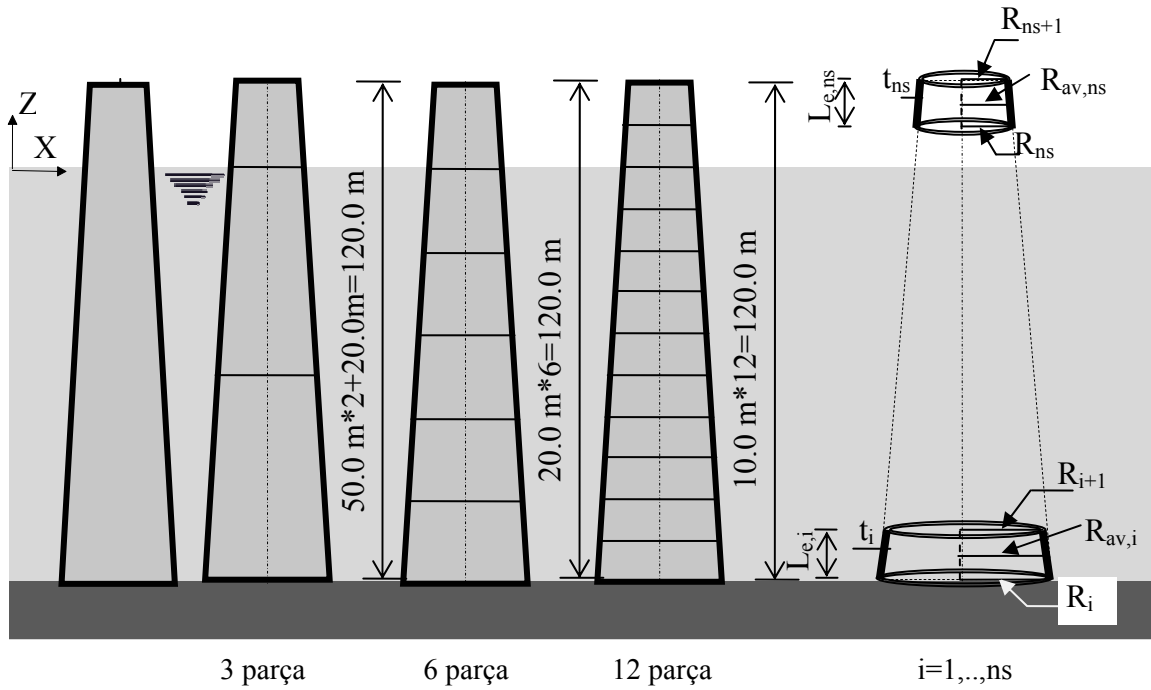
burada $\hat{\eta} = H_{mak}/2$, m ise $m = 2\pi\alpha_{dalga}/H_{mak}$ olarak verilmektedir. α_{dalga} ise dalga dikliğidir.

2.3.2. Tek Ayaklı Deniz Platformunun Güvenilirliğe Dayalı Optimizasyonu

Şekil 2.2'de verilen tek ayaklı deniz platformunun güvenilirliğe dayalı optimizasyon (GDO) probleminin formülasyonu aşağıda verilmektedir.

$$\begin{aligned} \text{bul} \quad & d = \mu_d \\ \text{min} \quad & W(d) = \rho_s \sum_{i=1}^{ns} A_{s,i} L_{e,i} \\ \text{öyleki} \quad & P(g_j(d, X) \leq 0) \leq \bar{P}_{f,j} \quad j = 1, \dots, 2ns + 1 \end{aligned} \quad (2.12)$$

burada ρ_s çeliğin yoğunluğunu, A_s enkesit alanını, L_e ise elemanın boyunu göstermektedir. Platform sırası ile 3, 6 ve 12 parçaya bölünmektedir (Şekil 2.3). Tasarım değişkeni vektörü d her bir parçanın kalınlığı t_i ($i=1, \dots, ns$), platformun en alt R_i ve üst parçalarının R_{ns+1} yarı çaplarından oluşmaktadır. Platformun en alt ile en üst parçası arasında kalan parçalarının yarı çapları R_i ve R_{ns+1} 'ye lineer bağlı olarak belirlenmektedir. Platformun parçalarının Şekil 2.3'de verilen enkesit tipinden oluştuğu kabul edilmektedir. Dolayısı ile her bir parçayı temsil eden kesit özellikleri Denklem (2.13) aracılığı ile tanımlanmaktadır.



Şekil 2.3. 3, 6 ve 12 parçaya bölünmüş tek ayaklı deniz platformu

$$\begin{aligned}
R_{av,i} &= \frac{R_i + R_{i+1}}{2} & D_{av,i} &= 2R_{av,i} \\
A_{s,i} &= 2\pi R_{av,i} t_i & I_i &= \frac{\pi}{8} D_{av,i}^3 t_i \quad i = 1, \dots, ns
\end{aligned} \tag{2.13}$$

burada t_i , $R_{av,i}$, $D_{av,i}$, $A_{s,i}$ ve I_i sırası ile i . kesitin kalınlığını, ortalama yarıçapını, ortalama çapını, en kesit alanını ve atalet momentini göstermektedir. Tasarım değişkenleri d ve rastgele değişkenlere X bağlı sınır durum fonksiyonları $g_j(d, X)$ ise sırasıyla gerilme, burkulma ve doğal frekanstır. İzin verilen gerilmeye ait sınır durum fonksiyonu

$$g_j(d, X) = f_y - \sigma_{nom,i} \quad j = 1, \dots, ns \tag{2.14}$$

$$\sigma_{nom,i} = \frac{N_i}{A_{s,i}} \pm \frac{M_{y,i}}{I_{y,i}} \frac{D_{av,i}}{2} \pm \frac{M_{z,i}}{I_{z,i}} \frac{D_{av,i}}{2} \quad i = 1, \dots, ns$$

burada $\sigma_{nom,i}$ i . kesitte oluşan normal gerilmeyi, f_y akma gerilmesini, N_i , $M_{y,i}$, $M_{z,i}$ sırasıyla i . kesite etkiyen normal kuvvet, y ve z eksenleri etrafındaki eğilme momentlerini, $I_{y,i}$ ve $I_{z,i}$ ise yine i . kesitin ilgili eksenlerine ait atalet momentlerini göstermektedir. Kesitte $M_{z,i}$ momenti oluşmayacağından $\sigma_{nom,i}$ aşağıdaki verilen ifade ile hesaplanmaktadır.

$$\sigma_{nom,i} = \frac{N_i}{A_{s,i}} + \frac{M_{y,i}}{I_{y,i}} \frac{D_{av,i}}{2} \tag{2.15}$$

i . kesitte oluşacak maksimum normal kuvvet, M_{ist} platformun taşıdığı istasyon yükünü göstermek üzere

$$N_i = \left[M_{ist} + \sum_{k=i}^{ns} \rho_s A_{s,k} L_{e,k} \right] g \tag{2.16}$$

ifadesiyle verilmektedir. Eğilme momenti $M_{y,i}$ ise yukarıda verildiği üzere Denklem (2.11) aracılığıyla hesaplanmaktadır. Büyük çaplı elemanlar için C_d 'nin katkısının C_m 'ye oranla

ihmal edilebilir olduğundan eğilme momenti hesabında C_d ihmal edilmiştir (Karadeniz 1994; Karadeniz vd., 2009). Ayrıca platform parçalara bölüdüğü için su içerisinde kalan parçaların alt noktasında hesaplanacak olan maksimum eğilme momenti

$$M_{y,i} = M = \int_{Z=-b_{b,i}}^0 (b_{b,i} + Z)p(Z)dz \quad (2.17)$$

ifadesi dikkate alınarak aşağıdaki gibi elde edilir. Burada $b_{b,i}$ i. parçaya ait alt noktanın koordinatıdır. Diğer bir değişle i. kesit için kullanılan düğüm noktalarından kesitin alt ucunu tanımlayan düğüm noktasının koordinatıdır.

$$M_{y,i} = \frac{D_{av,i}}{2} \frac{g \rho_{su}}{m} \hat{\eta} C_m \quad (2.18)$$

$$C_m = \frac{\pi}{2} c_m D_{av,i} \left(m b_{b,i} \tanh(m d_{su}) + \frac{\cosh(m(d_{su} - b_{b,i}))}{\cosh(m d_{su})} - 1 \right)$$

Tek ayaklı platformun GDO'sunda dikkate alınan burkulmaya ait sınır durum fonksiyonu aşağıda ifade aracılığı ile tanımlanmaktadır.

$$g_j(d, X) = \sigma_{cr,i} - \sigma_{nom,i} \quad j = ns + 1, \dots, 2ns \quad (2.19)$$

$\sigma_{cr,i}$ i. kesitin kritik burkulma gerilmesi olup DNV (1992) ve Uys vd. (2007)'de verilen formülasyon aracılığı ile hesaplanmaktadır.

$$\sigma_{cr,i} = \frac{f_y}{\sqrt{1 + \lambda_i^4}} \quad (2.20)$$

burada λ boyutsuz burkulma parametresi olup

$$\lambda_i^2 = \frac{f_y}{\sigma_{a,i} + \sigma_{b,i}} \left(\frac{\sigma_{a,i}}{\sigma_{Ea,i}} + \frac{\sigma_{b,i}}{\sigma_{Eb,i}} \right) \quad (2.21)$$

ifadesi ile verilmektedir. Burada $\sigma_{a,i}$ ve $\sigma_{b,i}$ i. kesit için normal kuvvetten ve eğilme momentinden dolayı oluşan gerilmeleri göstermektedir. $\sigma_{Ea,i}$ ve $\sigma_{Eb,i}$ ise aşağıdaki bağıntılar aracılığı ile hesaplanan gerilmelerdir.

$$\begin{aligned} \sigma_{Ea,i} &= (1.50 - 50\chi) C_{a,i} \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{t_i}{L_{r,i}} \right)^2 \\ \sigma_{Eb,i} &= (1.50 - 50\chi) C_{b,i} \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{t_i}{L_{r,i}} \right)^2 \end{aligned} \quad (2.22)$$

$$\begin{aligned} C_{a,i} &= \sqrt{1 + (\rho_a \xi)^2} & C_{b,i} &= \sqrt{1 + (\rho_b \xi)^2} \\ \rho_a &= 0.5 \left(\frac{R_{av,i}}{150t_i} \right)^{-1/2} & \rho_b &= 0.5 \left(\frac{R_{av,i}}{300t_i} \right)^{-1/2} \\ \xi &= 0.702Z & Z &= \frac{L_{r,i}}{R_{av,i}t_i} \sqrt{1-\nu^2} & L_{r,i} &= \frac{L_{e,i}}{nr+1} \end{aligned} \quad (2.23)$$

burada ν Poisson oranını, E elastisite modülünü, nr çevresel rijitleştirici sayısını, χ değeri 0.02 olarak (Uys vd., 2007) alınan bir parametreyi göstermektedir. Platformu oluşturan parçalar için çevresel rijitleştirici kullanılmadığından nr sıfıra dolayısı ile de Denklem (2.22) ve (2.23) yer alan $L_{r,i}$ değeri $L_{e,i}$ 'ye eşit olmaktadır.

Formülasyonlardan görülebileceği gibi $\sigma_{cr,i}$ i. kesitin hem eğilme hem de eksenel kuvvet etkisinde olması durumunda kullanılmaktadır. Su yüzeyi üzerinde yer alan kesit veya kesitler ise sadece eksenel yüke maruz olduklarından $\sigma_{cr,i}$ değeri bu kesitler için

$$\sigma_{cr,i} = \frac{E}{\sqrt{3(1-\nu^2)}} \left(\frac{t_i}{R_{av,i}} \right) \quad (2.24)$$

bağıntısı ile hesaplanmaktadır (Lancaster vd., 2000). Platformun GDO'sunda dikkate alınan son sınır durum fonksiyonu ise doğal frekansa aittir ve aşağıda gibi tanımlanmaktadır.

$$g_j(d, X) = \omega_n - \omega_a \quad j = 2ns + 1 \quad (2.25)$$

ω_n platformun doğal frekansını, $\omega_a (=3.0 \text{ rad/sn})$ ise bu frekans değerine getirilen alt sınırı göstermektedir. Platformun doğal frekansı aşağıdaki bağıntı aracılığı ile hesaplanmaktadır.

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m^*}} \quad (2.26)$$

burada k ve m^* platforma ait genelleştirilmiş rijitliği ve kütle göstermektedir. m^* platformun deplasman fonksiyonuna δ göre hesaplanmaktadır. δ 'nın

$$\delta(z) = \frac{3}{2} \left(\frac{z}{h_s} \right)^2 - \frac{1}{2} \left(\frac{z}{h_s} \right)^3 \quad (2.27)$$

ifadesi ile verildiği göz önüne alınarak platformun bir parçasının genelleştirilmiş kütlesi

$$m_i^* = \rho_s A_{s,i} \int_{z_i}^{z_{i+1}} \delta^2(z) dz = \frac{\rho_s A_{s,i}}{4h_s^4} \left[\frac{z_{i+1}^7 - z_i^7}{7h_s^2} - \frac{z_{i+1}^6 - z_i^6}{h_s} + \frac{9(z_{i+1}^5 - z_i^5)}{5} \right] \quad (2.28)$$

$$i = 1, \dots, ns$$

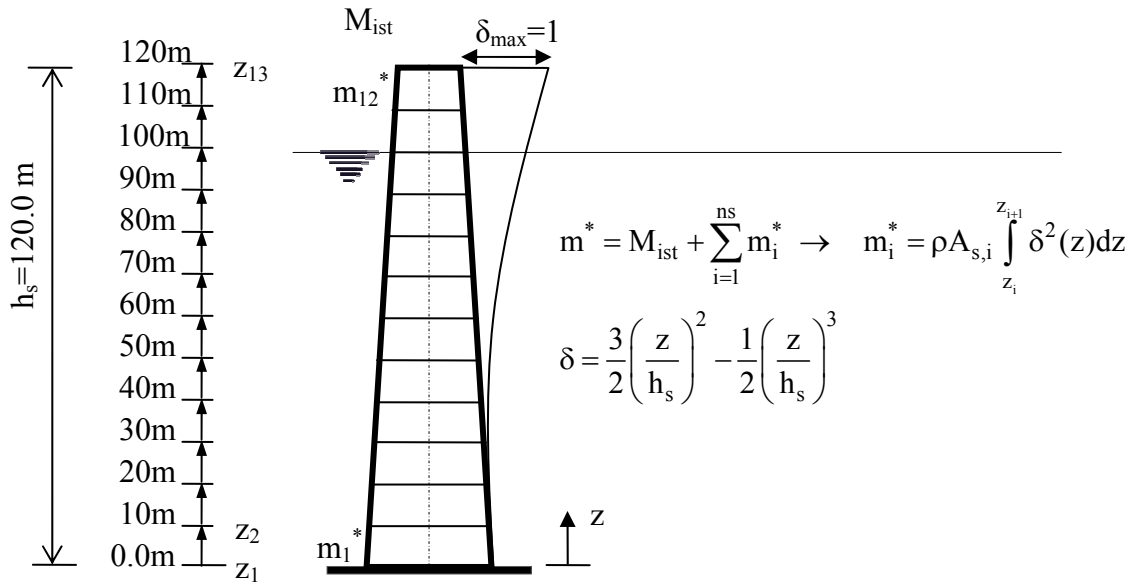
bağıntısı ile hesaplanmaktadır. Burada z_i ve z_{i+1} parçanın alt ve üst noktalarına ait z koordinatlarını göstermektedir (Şekil 2.4). Bu tanımlamalardan sonra platforma ait genelleştirilmiş kütle

$$m^* = M_{ist} + \sum_{i=1}^{ns} m_i^* \quad (2.29)$$

ile hesaplanmaktadır. Platformun parçaları farklı kalınlık ve yarıçap değerlerine sahip olduğundan parçalar arasında rijitlik bakımından süreksizlik söz konusudur ve rijitlik

$$k = \int_0^{h_s} EI \left(\frac{\partial^2 \delta}{\partial z^2} \right)^2 dz \quad (2.30)$$

ifadesi ile doğrudan hesaplanamamaktadır. Dolayısı ile her bir parçanın integrasyonundan hareketle platformun rijitliği



Şekil 2.4. 12 parçalı tek ayaklı deniz platformu için geliştirilmiş kütle formülasyonu

$$k = \frac{3EI_{ns}}{h_s^3} \frac{1}{\left[\sum_{i=1}^{ns-1} \frac{I_{ns}}{I_i} \tau \left\{ 3 - (3 + 6(i-1))\tau + (3(i^2 - i) + 1)\tau^2 \right\} \right] + \tau^3} \quad (2.31)$$

bağıntısı ile verilmektedir. Burada I_i ($i=1, \dots, ns$) daha önce belirtildiği üzere i . kesitin atalet momentini, ns parça sayısını, τ ise değeri $1/ns$ olan bir parametreyi göstermektedir.

Tüm bu veriler ışığında farklı adette parçalara bölünmüş tek ayaklı deniz platformunun güvenilirliğe dayalı optimizasyon (GDO) probleminin formülasyonu aşağıdaki gibi özetlenebilir.

$$\begin{aligned} \text{bul} \quad & d = \mu_d \\ \text{min} \quad & W(d) = \rho_s \sum_{i=1}^{ns} A_{s,i} L_{e,i} \\ \text{öyleki} \quad & P(g_j(d, X) \leq 0) \leq \bar{P}_{f,j} \quad j = 1, \dots, 2ns + 1 \end{aligned} \quad (2.32)$$

$$\begin{aligned} g_j(d, X) &= f_y - \sigma_{nom,i} \quad j = 1, \dots, ns \\ g_j(d, X) &= \sigma_{cr,i} - \sigma_{nom,i} \quad j = ns + 1, \dots, 2ns \\ g_j(d, X) &= \omega_n - \omega_a \quad j = 2ns + 1 \end{aligned} \quad (2.33)$$

Denklem (2.32) ve (2.33)'de $d = \mu_d$ optimizasyon probleminin tasarım değişkenlerinin sayısal ortalama değerlerine ait n boyutlu bir vektörü, $W(d)$ platformun ağırlığı olarak dikkate alınan amaç fonksiyonunu, ρ_s , $A_{s,i}$ ve $L_{e,i}$ sırası ile çeliğin yoğunluğunu, i . kesitin alanını ve boyunu, $P(\cdot)$ tanımlanan olayın gerçekleşme olasılığını, \bar{P}_f bu olasılığın izin verilen değerini, $g_j(\cdot)$ ise sırası ile gerilme, burkulma ve doğal frekansa ait sınır durum fonksiyonlarını ifade etmektedir.

Tek ayaklı deniz platformunun parçalı olarak güvenilirliğe dayalı optimizasyon (GDO)'nunda tasarım değişkeni vektörü d her bir parçanın kalınlıkları t_i ($i=1, \dots, ns$) ile platformun en alt R_i ile en üst R_{ns+1} parçasının yarıçaplarının sayısal ortalama değerlerinden oluşmaktadır. Tasarım değişkenleri için tanımlanan değer aralıkları

$$\begin{aligned}
0.010\text{m} \leq t_i \leq 0.10\text{m} & \quad i = 1, \dots, ns \\
5.0\text{m} \leq R_i \leq 10.50\text{m} & \quad 2.50\text{m} \leq R_{ns+1} \leq 5.25\text{m}
\end{aligned}
\tag{2.34}$$

olarak verilmektedir. Parçalara ait diğer yarıçap değerleri lineer olarak R_i ve R_{ns+1} ile ilişkilendirilmiştir. Tablo 2.1’de rastgele olarak alınan parametrelerin ve diğer parametrelerin istatistiksel dağılımları ve bu dağılımlara ait özellikleri verilmektedir.

Tablo 2.1. Tek ayaklı deniz platformunun güvenilirliğe dayalı optimizasyonunda kullanılan parametreler

Simge	Tanımı	Sayısal ortalama μ	Değişim katsayısı σ/μ	İstatistiksel dağılım
ρ_s	Çeliğin yoğunluğu	7800 kg/m ³	-	-
ρ_{su}	Suyun yoğunluğu	1024 kg/m ³	-	-
d_{su}	Suyun derinliği	100 m	-	-
h_s	Platformun yüksekliği	120 m	-	-
ν	Poisson oranı	0.30	-	-
f_y	Akma dayanımı	450.0e6 Pa	0.06	Lognormal
E	Elastisite modülü	210.0e9 Pa	0.05	Lognormal
M_{ist}	İstasyon yükü	2.0e6 kg	0.10	Lognormal
H_{mak}	Maksimum dalga yüksekliği	22.73 m	0.05	Weibull
α_{dalga}	Dalga dikliği	0.06	0.125	Lognormal
c_m	Atalet kuvveti katsayısı	1.60	0.10	Lognormal

Maksimum dalga yüksekliğine ait olan istatistiksel dağılım $A=21.6$ m ve $B=1.13$ parametrelili değiştirilmiş Weibull dağılımı olarak aşağıdaki gibi verilmektedir (StuPoc V, 1979).

$$F_{H_{mak}}(h) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{h - A}{B}\right)\right]
\tag{2.35}$$

Daha önce belirtildiği üzere güvenilirliğe dayalı optimizasyon (GDO) problemlerinde güvenilirlik sınırlayıcıları Denklem (2.32) verildiğinin aksine Denklem (2.2) veya (2.4) gibi ifade edilmektedir. Güvenilirlik sınırlayıcı veya sınırlayıcılarının bu

iki farklı şekilde ele alınmaları güvenilirlik indeksi yaklaşımı (GİY)'na ve performans ölçüsü yaklaşımı (PÖY)'na dayanan güvenilirliğe dayalı optimizasyon (GDO) olarak adlandırılan formülasyonları ortaya çıkarmaktadır.

2.3.2.1. Tek Ayaklı Deniz Platformunun Parçalı Olarak Güvenilirlik İndeksi Yaklaşımına Dayanan Güvenilirliğe Dayalı Optimizasyonu

Bir güvenilirliğe dayalı optimizasyon (GDO) probleminde güvenilirlik sınırlayıcılarının

$$\beta_j \geq \beta_{t,j} \quad j=1,\dots,m \quad (2.36)$$

bağıntısı ile dikkate alınmaları problemin güvenilirlik indeksi yaklaşımı (GİY)'na dayanan GDO problemi olarak adlandırılmasına yol açmaktadır. β_j ($j=1,\dots,m$) j. sınır durum fonksiyonuna ait güvenilirlik indeksini, $\beta_{t,j}$ bu güvenilirlik indeksi için tanımlanan alt değeri, m ise problemdeki toplam güvenilirlik sınırlayıcısı sayısını göstermektedir. Dolayısı ile m adet sınırlayıcı için m adet güvenilirlik analizi gerçekleştirmek gerekmektedir. Güvenilirlik analizinin kendisinde iterasyon tabanlı olduğundan GDO problemlerinde sonuca ulaşmak için gerekli işlem süresi fazla olmaktadır.

β_t için JCSS (Joint Committee on Structural Safety, 2000)'de arzu edilen güvenilirlik düzeyleri için tavsiye edilen değerler yer almaktadır ve tavsiye edilen minimum değer 3.10'dur. JCSS (2000)'de ön görülen bir başarısızlık için yaşam riskinin ve bu başarısızlık için ekonomik sonuçların yüksek oranda önem arz ettiği durumlarda minimum β_t değeri olarak 3.70 tavsiye edilmektedir. Bu nedenle de tüm deniz platformlarının GDO'sunda $\beta_{t,j}$ ($j=1,\dots,m$) için 3.70 değeri kullanılmaktadır.

Tek ayaklı deniz platformunun parçalı olarak GİY'e dayalı GDO'sunu gerçekleştirmek üzere yukarıda verilen formülasyonlar ışığında FORTRAN dilinde bir bilgisayar algoritması yazılmıştır. Algoritma optimizasyon için SQP tabanlı bir program olan NLPQLP (Schittkowski, 2001) ve sezgisel algoritma tabanlı bir program olan DE'yi (Storn ve Price, 1997) kullanmaktadır. Algoritma güvenilirlik analizi için ise hem hızlı oluşu hem de yeteri derecede hassas sonuçlar vermesi nedeni ile GDO problemleri

uygulamalarında tercih edilen birinci dereceden güvenilirlik yöntemi (BDGY) kullanılmaktadır.

BDGY kullanılarak sınır durum fonksiyonuna, g , ait güvenilirlik indeksinin, β , hesaplanması için sınır durum fonksiyonunun rastgele değişkenlere göre indirgenmiş u uzayındaki türev bilgilerine ihtiyaç duyulmaktadır. u uzayında ihtiyaç duyulan türev bilgileri ise zincir kuralı uygulanarak

$$\frac{\partial g}{\partial u} = \frac{\partial g}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial u} \quad (2.37)$$

bağıntısı ile hesaplanabilir. Burada u , orijinal uzaydaki rastgele değişkenlerin, x , indirgenmiş uzaydaki karşılıklarıdır. u ile x arasında Denklem (1.18) ile verilen ilişkinin söz konusu olduğu dikkate alınırsa $\partial x / \partial u$

$$\frac{\partial x}{\partial u} = \frac{\partial F_X^{-1}(\Phi(u))}{\partial u} = \frac{\phi(u)}{f_X(x)} \quad (2.38)$$

ifadesi ile verilebilir. $\phi(\cdot)$ ve $f_X(\cdot)$ burada sırasıyla standart normal dağılımın ve ilgili rastgele değişkenin istatistiksel dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonudur. Tüm sınır durum fonksiyonları için verilen Denklem (2.14), (2.19) ve (2.25)'den de görüldüğü üzere sınır durum fonksiyonları tanımlanan rastgele değişkenlerin açık birer fonksiyonlarıdır. Dolayısı ile sınır durum fonksiyonları ile ilgili türev bilgilerini, $\partial g / \partial x$, doğrudan elde etmek mümkün olmaktadır (bkz Ekler, Ek 1). Öte taraftan kullanılan matematiksel tabanlı optimizasyon yöntemi, SQP, de amaç fonksiyonu ve sınırlayıcıların tasarım değişkenlerine göre türev bilgilerine gereksinim duymaktadır. Güvenilirlik indeksi yaklaşımına dayalı güvenilirliğe dayalı optimizasyonda sınırlayıcılar Denklem (2.36)'daki gibi verildiğinden ilgili türev

$$\frac{\partial g(d, X)}{\partial d} = \frac{\partial \beta}{\partial d} - \frac{\partial \beta_t}{\partial d} \quad (2.39)$$

ile ifade edilir. β_t tasarım değişkenlerinin bir fonksiyonu olmadığı için değeri sıfırdır. $\partial \beta / \partial d$ ise tasarım değişkeninin rastgele olarak tanımlanıp tanımlanmamasına göre iki farklı biçimde hesaplanmaktadır (Frangopol ve Maute, 2005; Ditlevsen ve Madsen, 1996; Madsen vd., 1986). Eğer optimizasyon probleminin tasarım değişkenleri rastgele olarak tanımlanmamış ise ilgili türev değeri

$$\frac{\partial \beta}{\partial d} = \frac{1}{\|\nabla g\|} \frac{\partial g}{\partial d} \quad (2.40)$$

ile eğer rastgele olarak tanımlanmış ise

$$\frac{\partial \beta}{\partial d} = \frac{1}{\beta} u^* \frac{\partial u^*}{\partial d} \quad (2.41)$$

bağıntıları kullanılarak hesaplanır. Burada $\|\cdot\|$ ilgili vektörün uzunluğunu, β ilgili sınırlayıcıya ait güvenilirlik indeksini, u^* ise indirgenmiş uzayda β 'yı veren noktanın koordinatlarını göstermektedir. Bu türev hesaplamalarından da görüldüğü gibi güvenilirlik analizi sonucu elde edilen bilgiler kullanılmaktadır. Bu nedenden dolayı geleneksel optimizasyonda oldukça fazla hesap zamanı gerektiren bu türev hesaplamaları GDO'da güvenilirlik analizi varlığı sebebi ile daha hızlı olabilmektedir.

Özet olarak tüm bu formülasyonlara dayanarak geliştirilen algoritmanın işlem sırası ana hatları ile aşağıdaki gibi olmaktadır.

1. Probleme ait başlangıç değerleri girilir.
2. NLPQLP veya DE aracılığı ile optimizasyona başlanır.
3. Güvenilirlik sınırlayıcıları için BDGY kullanarak güvenilirlik indeksleri bulunur.
4. Amaç fonksiyonu ve sınırlayıcıların değerleri ve türevleri hesaplanır.
5. Sonlandırma koşulları kontrol edilir.
6. Koşullar sağlandı ise optimizasyonu sonlandırılır. Aksi halde tasarım değişkenlerini yenilenir ve 2 ile 6. adımları arasındaki işlemler tekrarlanır.

Ana hatları yukarıdaki gibi verilen algoritma kullanılarak tek ayaklı deniz platformu için gerçekleştirilen optimizasyonlarının sonuçları Tablo 2.2, 2.3 ve 2.4’de verilmektedir. Tablo 2.2 platformun 3, Tablo 2.3 platformun 6 ve Tablo 2.4’de platformun 12 parçalı olarak gerçekleştirilen güvenilirlik indeksi yaklaşımına dayanan güvenilirliğe dayalı optimizasyon sonuçlarını göstermektedir. Tablo 2.2, 2.3 ve 2.4’ün 2. ve 3. sütunları geleneksel optimizasyon sonuçlarını, 4. ve 5. sütunları Tablo 2.1’de verilen rastgele değişkenlerle elde edilen güvenilirliğe dayalı optimizasyon sonuçlarını, 6. ve 7. sütunları ise Tablo 2.1’de verilen rastgele değişkenlere ilaveten tasarım değişkenlerinin de rastgele değişken olarak alınması ile elde edilen güvenilirliğe dayalı optimizasyon sonuçlarını vermektedir. Tasarım değişkenlerinin rastgele olarak dikkate alınmaları durumunda *%5 değişim katsayılı lognormal dağılıma* sahip oldukları kabulü yapılmaktadır ve daha önce bahsedildiği üzere sayısal ortalama μ değerleri optimizasyonun tasarım değişkeni olarak dikkate alınmaktadır. Bu durumda güvenilirlik analizi optimizasyon programı tarafından yenilenen sayısal ortalama değerlerinden haberdar edilmelidir. Diğer bir değişle güvenilirlik analizinde bir sonraki işlem adımında optimizasyon programı tarafından yenilenen sayısal ortalama değerleri kullanılmaktadır.

Platformun ağırlığının NLPQLP ve DE ile gerçekleştirilen geleneksel optimizasyon ve güvenilirliğe dayalı optimizasyon sürecindeki değişimleri sırası ile 3 parçalı için Şekil 2.5, 6 parçalı için Şekil 2.6 ve 12 parçalı için Şekil 2.7’de verilmektedir. Dikkate alınan tasarım değişkenlerinin ve güvenilirlik sınırlayıcılarının geleneksel optimizasyon ve GDO sonuçları için değişimi ise sırası ile 3 parçalı için Şekil 2.8, 6 parçalı için Şekil 2.9 ve 12 parçalı için Şekil 2.10’da gösterilmektedir. Geleneksel optimizasyon için verilen güvenilirlik sınırlayıcılarına dair güvenilirlik indeksleri, bu optimizasyon sonuçları için elde edilen değerleri göstermektedir.

Tablo 2.2. Tek ayaklı deniz platformunun 3 parçalı olarak NLPQLP ve DE ile gerçekleştirilen güvenilirlik indeksi yaklaşımına dayanan güvenilirliğe dayalı optimizasyon sonuçları

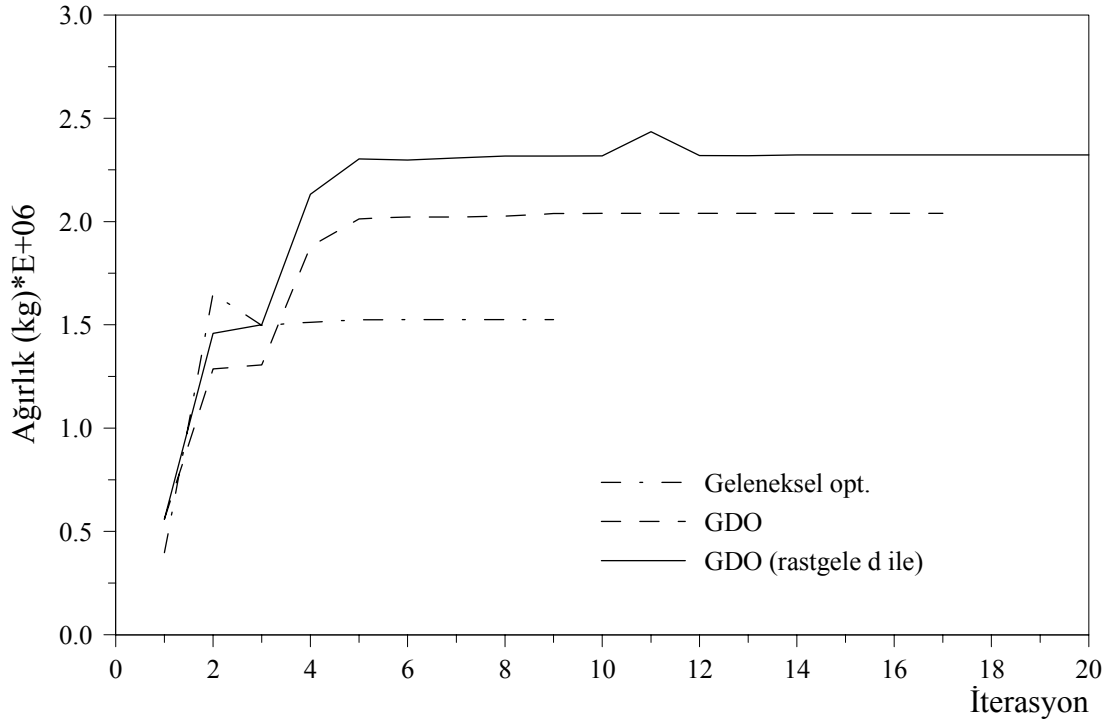
Tasarım değişkenleri d	Geleneksel optimizasyon		Güvenilirliğe dayalı optimizasyon (GDO)		GDO (rastgele d ile)	
	NLPQLP	DE	NLPQLP	DE	NLPQLP	DE
Kalınlık (m)						
t ₁	0.0496	0.0496	0.0626	0.0626	0.0692	0.0691
t ₂	0.0313	0.0313	0.0397	0.0397	0.0437	0.0437
t ₃	0.010	0.010	0.0113	0.0113	0.0110	0.0112
Yarıçap (m)						
R _{en alt}	9.246	9.237	9.824	9.831	10.075	10.102
R _{en üst}	4.407	4.416	4.665	4.656	4.976	4.940
Ağırlık (kg)*10 ⁶	1.5252	1.5252	2.0397	2.0404	2.3229	2.3247

Tablo 2.3. Tek ayaklı deniz platformunun 6 parçalı olarak NLPQLP ve DE ile gerçekleştirilen güvenilirlik indeksi yaklaşımına dayanan güvenilirliğe dayalı optimizasyon sonuçları

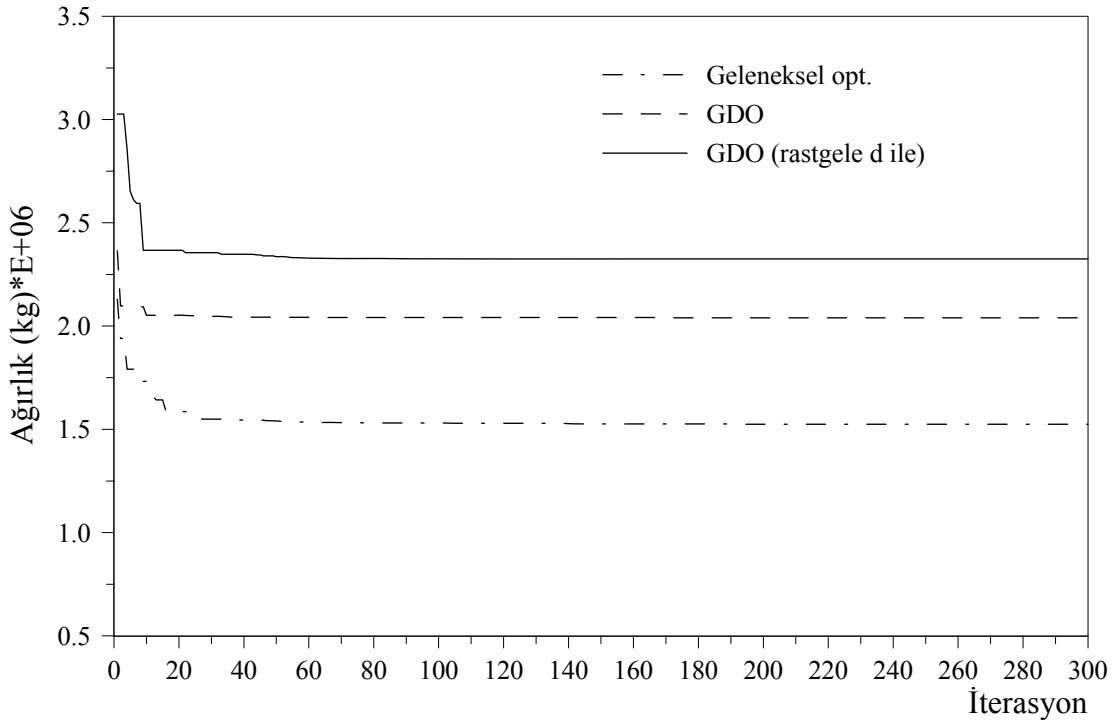
Tasarım değişkenleri d	Geleneksel optimizasyon		Güvenilirliğe dayalı optimizasyon (GDO)		GDO (rastgele d ile)	
	NLPQLP	DE	NLPQLP	DE	NLPQLP	DE
Kalınlık (m)						
t ₁	0.0472	0.0474	0.0597	0.0598	0.0664	0.0666
t ₂	0.0403	0.0404	0.0510	0.0511	0.0567	0.0569
t ₃	0.0331	0.0333	0.0419	0.0419	0.0465	0.0467
t ₄	0.0256	0.0257	0.0320	0.0321	0.0355	0.0355
t ₅	0.0182	0.0182	0.0219	0.0219	0.0243	0.0243
t ₆	0.010	0.010	0.010	0.0101	0.010	0.0101
Yarıçap (m)						
R _{en alt}	9.816	9.769	10.372	10.345	10.500	10.461
R _{en üst}	4.359	4.393	4.761	4.783	5.122	5.160
Ağırlık (kg)*10 ⁶						
	1.3279	1.3298	1.7642	1.7656	2.0062	2.0087

Tablo 2.4. Tek ayaklı deniz platformunun 12 parçalı olarak NLPQLP ve DE ile gerçekleştirilen güvenilirlik indeksi yaklaşımına dayanan güvenilirliğe dayalı optimizasyon sonuçları

Tasarım değişkenleri d	Geleneksel optimizasyon		Güvenilirliğe dayalı optimizasyon (GDO)		GDO (rastgele d ile)	
	NLPQLP	DE	NLPQLP	DE	NLPQLP	DE
Kalınlık (m)						
t ₁	0.0465	0.0462	0.0592	0.0593	0.0662	0.0662
t ₂	0.0431	0.0428	0.0549	0.0550	0.0614	0.0617
t ₃	0.0397	0.0394	0.0505	0.0506	0.0565	0.566
t ₄	0.0362	0.0360	0.0460	0.0461	0.0514	0.0515
t ₅	0.0326	0.0323	0.0414	0.0415	0.0462	0.0464
t ₆	0.0289	0.0288	0.0366	0.0367	0.0408	0.0409
t ₇	0.0252	0.0252	0.0316	0.0317	0.0353	0.0360
t ₈	0.0215	0.0220	0.0265	0.0267	0.0300	0.0300
t ₉	0.0180	0.0181	0.0216	0.0218	0.0256	0.0251
t ₁₀	0.0151	0.0168	0.0180	0.0181	0.0201	0.0204
t ₁₁	0.0101	0.0108	0.0118	0.0111	0.0134	0.0129
t ₁₂	0.010	0.0102	0.010	0.0101	0.010	0.010
Yarıçap (m)						
R _{en alt}	10.129	10.225	10.50	10.489	10.50	10.495
R _{en üst}	4.263	4.118	4.818	4.837	5.250	5.250
Ağırlık (kg)*10 ⁶						
	1.2725	1.2750	1.6865	1.6886	1.9237	1.9269

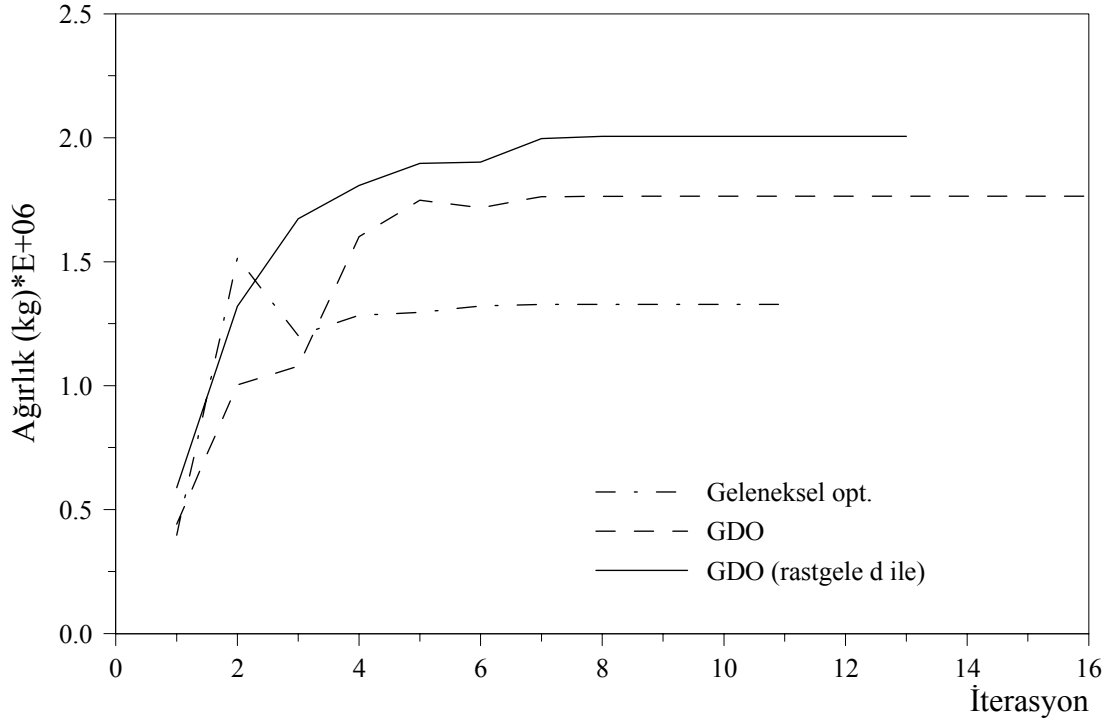


a. NLPQLP

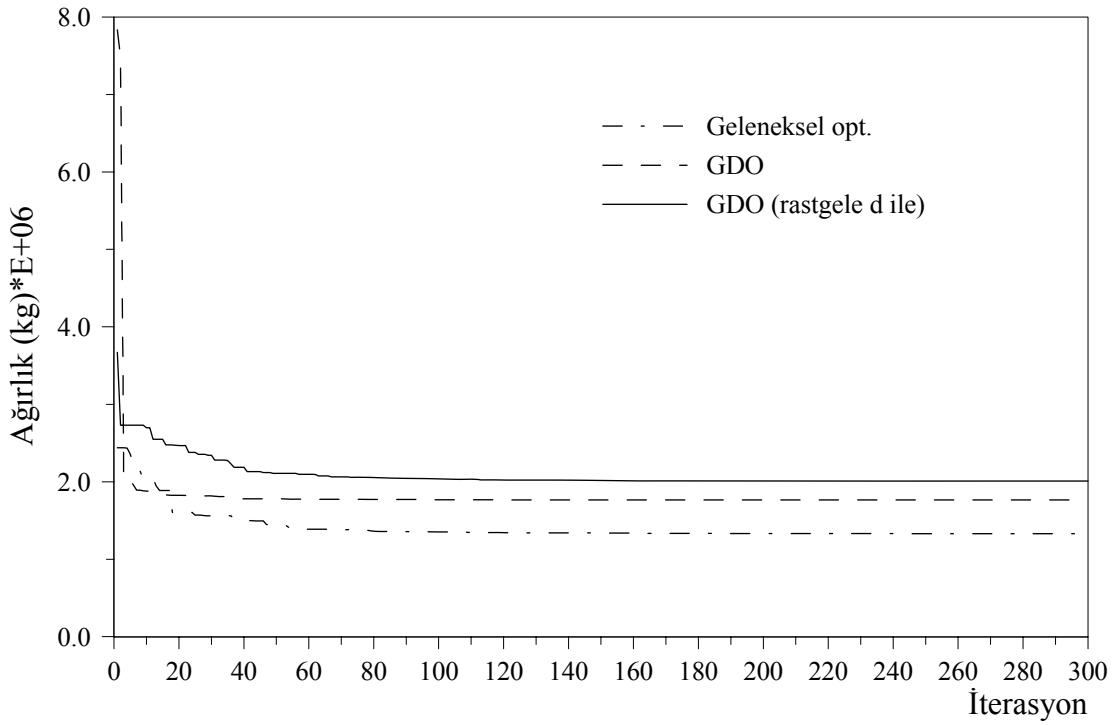


b. DE

Şekil 2.5. Tek ayaklı deniz platformunun 3 parçalı olarak gerçekleştirilen optimizasyon süreçlerine göre ağırlığının değişimi

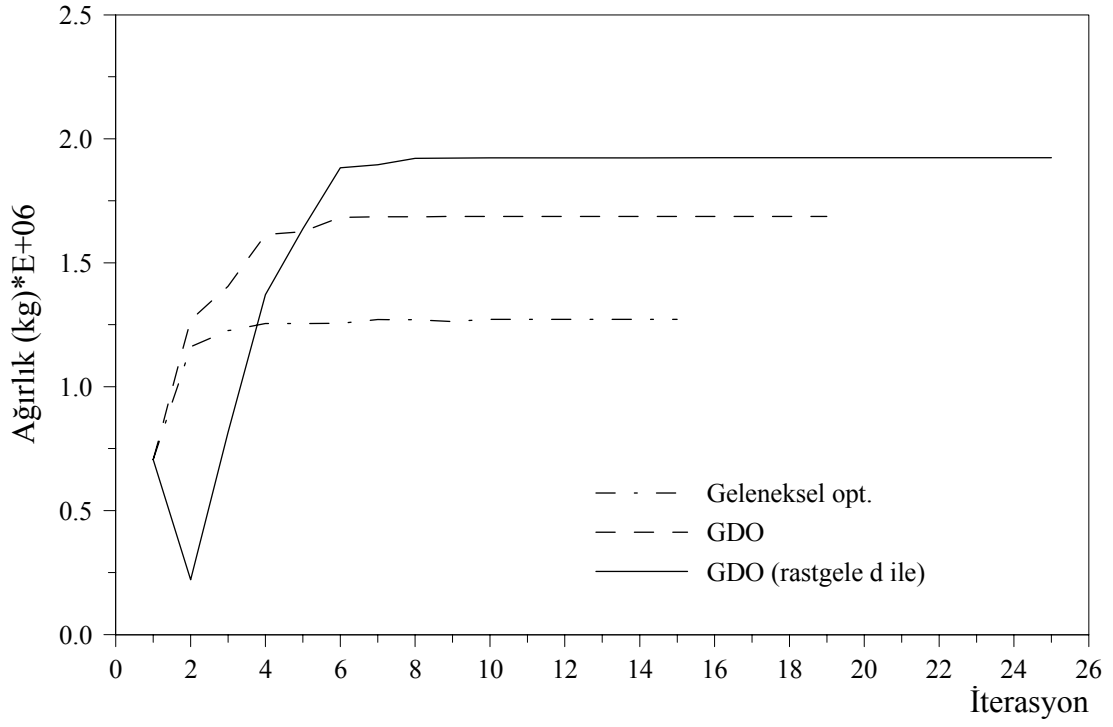


a. NLPQLP

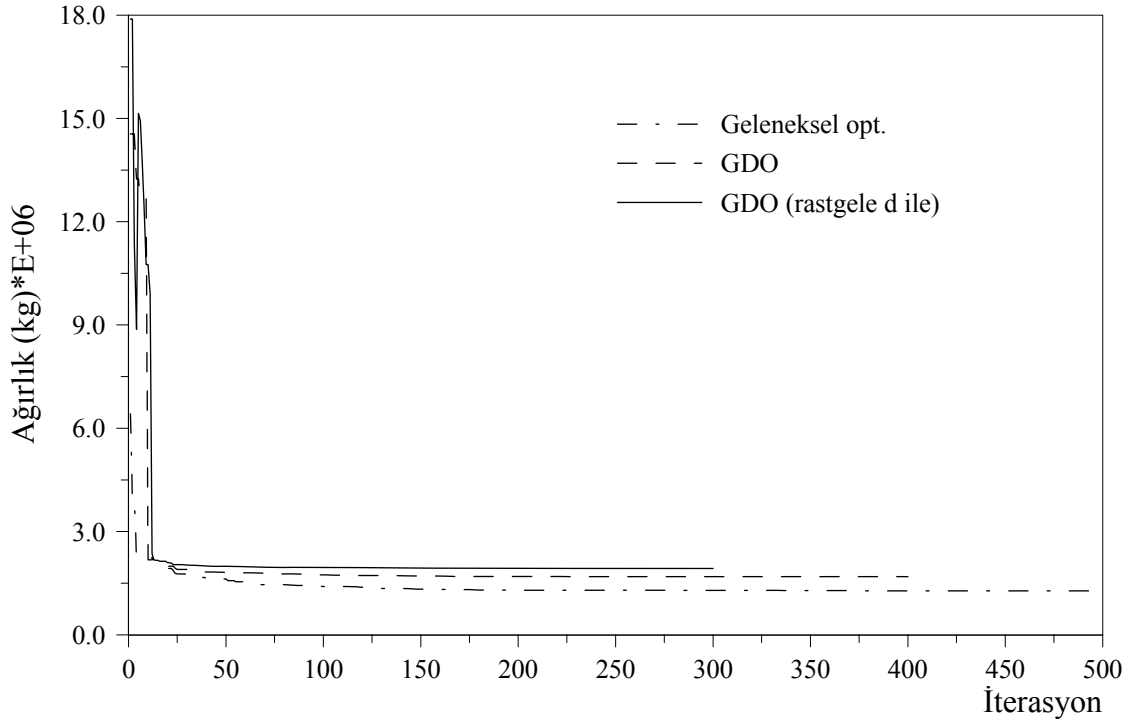


b. DE

Şekil 2.6. Tek ayaklı deniz platformunun 6 parçalı olarak gerçekleştirilen optimizasyon süreçlerine göre ağırlığının değişimi

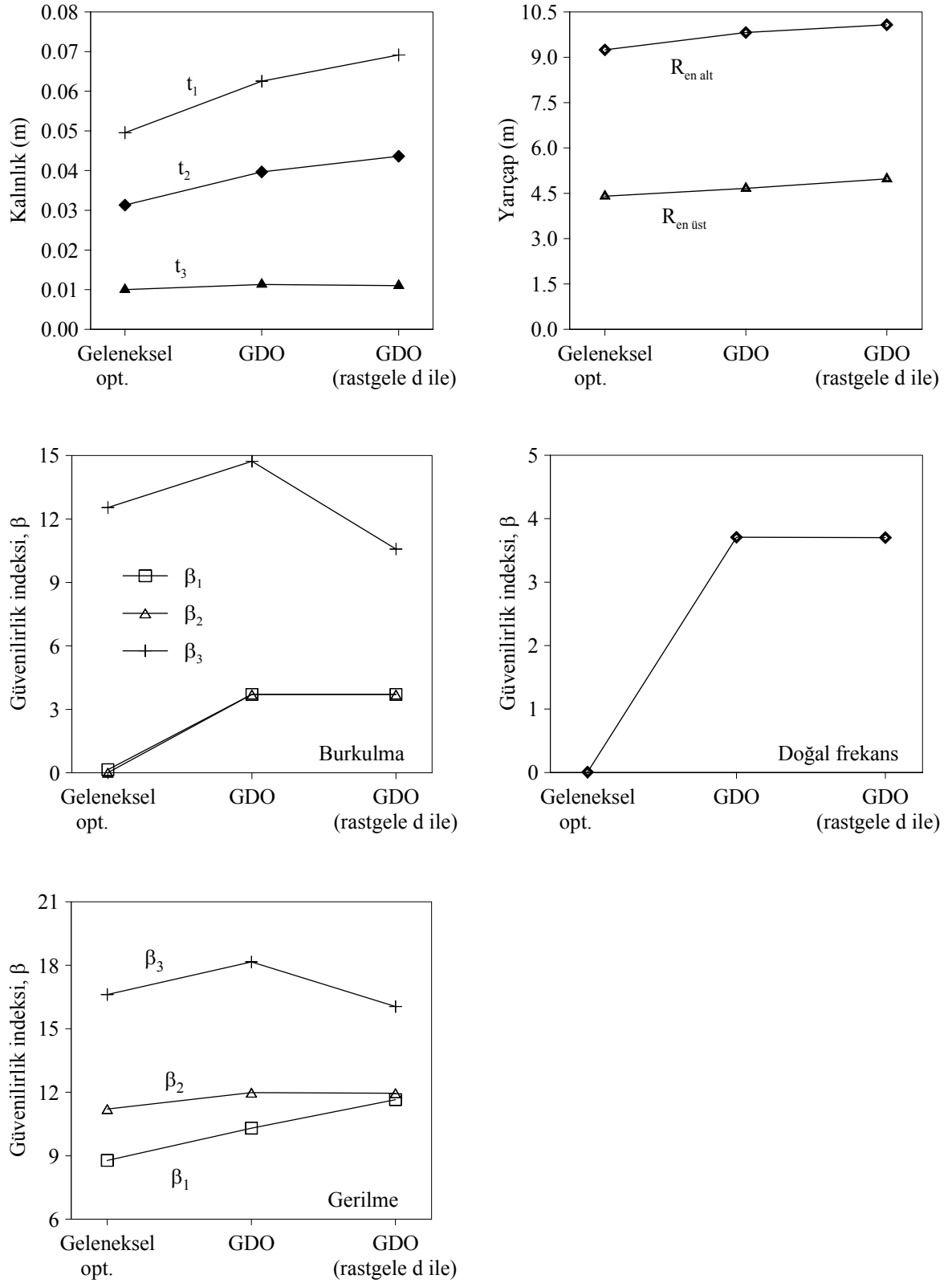


a. NLPQLP

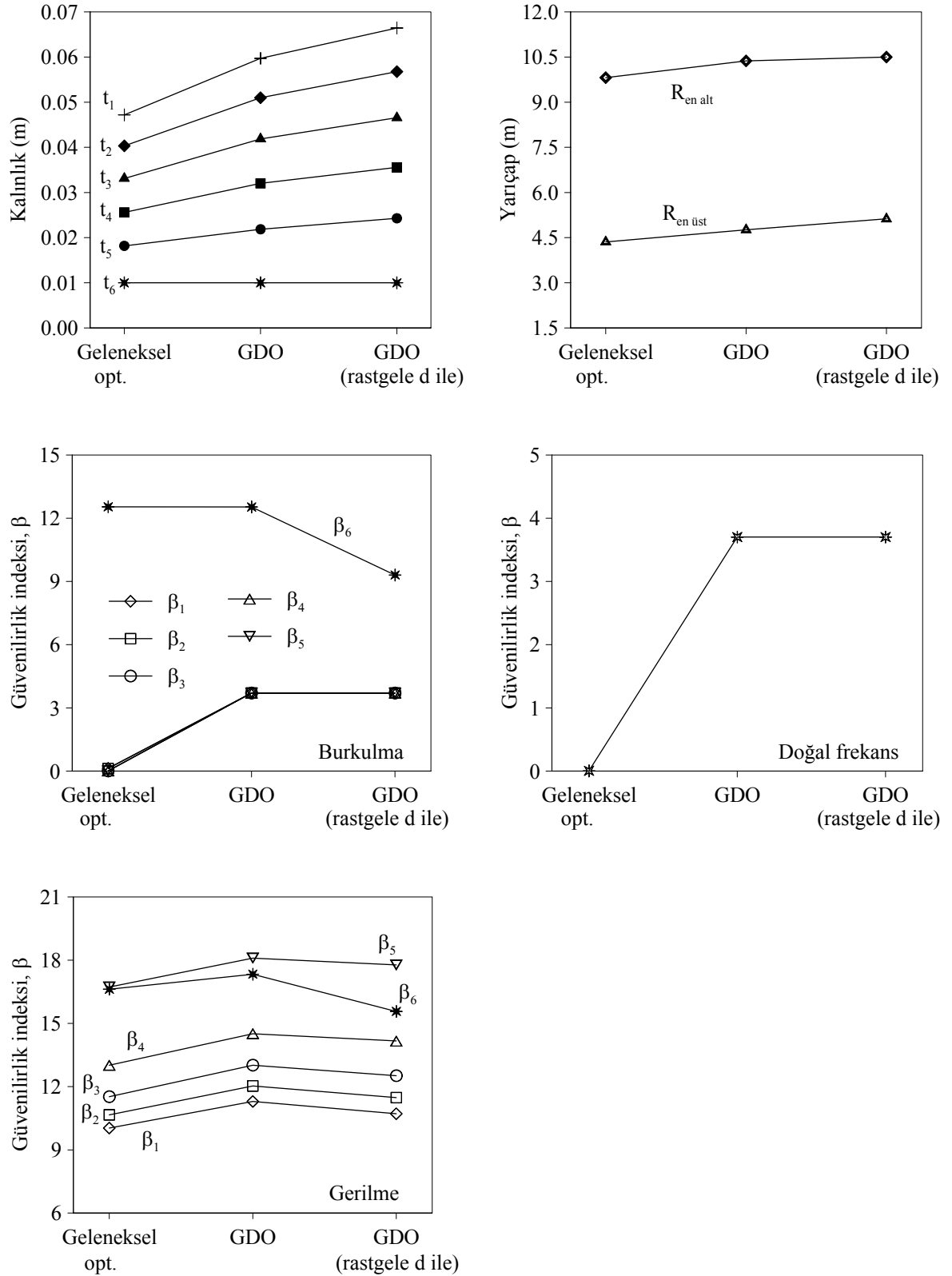


b. DE

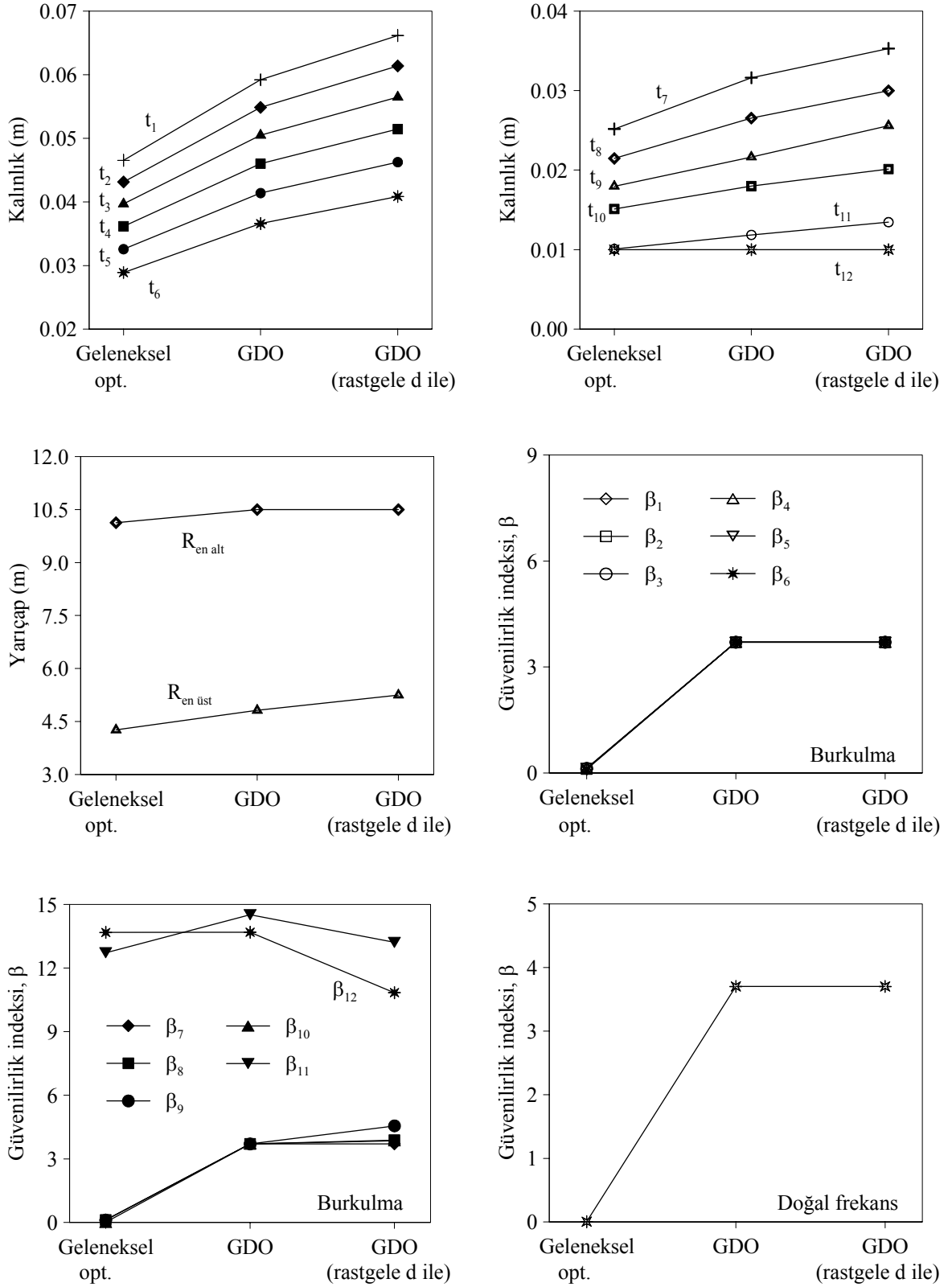
Şekil 2.7. Tek ayaklı deniz platformunun 12 parçalı olarak gerçekleştirilen optimizasyon süreçlerine göre ağırlığının değişimi



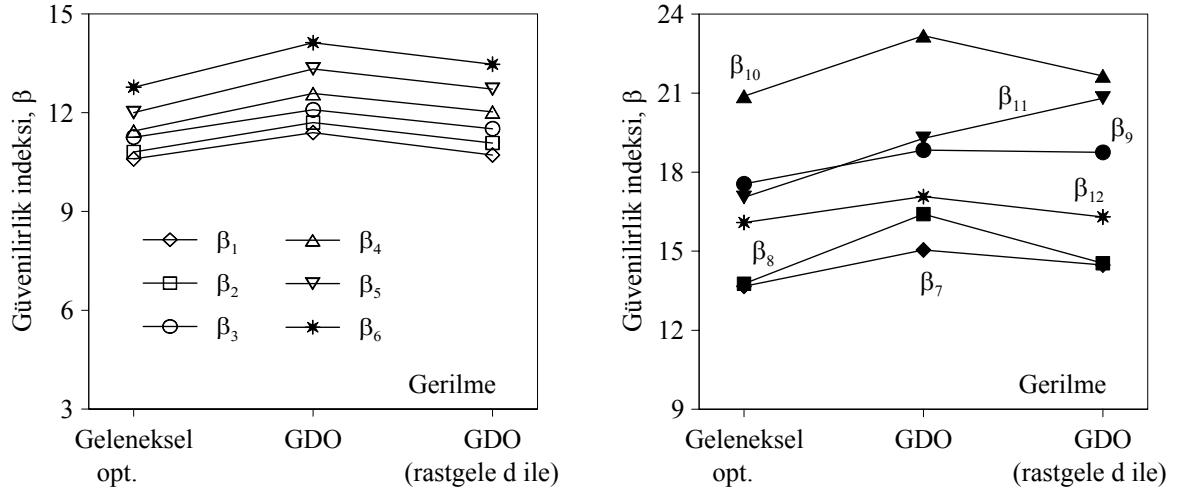
Şekil 2.8. Tek ayaklı deniz platformunun 3 parçalı olarak gerçekleştirilen optimizasyon sonuçlarının değişimi



Şekil 2.9. Tek ayaklı deniz platformunun 6 parçalı olarak gerçekleştirilen optimizasyon sonuçlarının değişimi



Şekil 2.10. Tek ayaklı deniz platformunun 12 parçalı olarak gerçekleştirilen optimizasyon sonuçlarının değişimi



Şekil 2.10. Tek ayaklı deniz platformunun 12 parçalı olarak gerçekleştirilen optimizasyon sonuçlarının değişimi

Daha önce bahsedildiği üzere Tablo 2.2, 2.3 ve 2.4'de 3 farklı tipte gerçekleştirilen optimizasyon sonuçları verilmektedir. Geleneksel optimizasyon başlığı altında verilen sonuçlar, hiçbir parametrede rastgeleliğin dikkate alınmadığı durumda elde edilen sonuçları, diğer bir deyişle deterministik optimizasyon sonuçlarını göstermektedir. Güvenilirliğe dayalı optimizasyon başlığı altında verilen sonuçlar, optimizasyon sürecinde Tablo 2.1'de istatistiksel dağılımları ve özellikleri verilen akma dayanımı, elastisite modülü, istasyon yükü, maksimum dalga yüksekliği, dalga dikliği ve atalet kuvveti katsayısının rastgele değişkenler olarak dikkate alınmaları ile edilen sonuçları göstermektedir. Son olarak ta güvenilirliğe dayalı optimizasyon (rastgele d ile) başlığı altında verilen sonuçlar, güvenilirliğe dayalı optimizasyon da optimizasyon sürecinde dikkate alınan rastgele değişkenlere ek olarak tasarım değişkenlerinin de rastgele değişken olarak dikkate alınması durumunda elde edilen sonuçları göstermektedir. Tasarım değişkenlerinin rastgele olarak dikkate alınmaları durumunda %5 değişim katsayılı lognormal dağılıma sahip oldukları kabulü yapılmaktadır ve sayısal ortalama μ değerleri optimizasyonun tasarım değişkeni olarak dikkate alınmaktadır.

Tablo 2.2, 2.3 ve 2.4'den de görüldüğü gibi güvenilirliğe dayalı optimizasyon ile elde edilen platformun ağırlılığı geleneksel optimizasyon ile elde edilen ağırlıktan daha fazladır. Dolayısı ile belirsizliklerin olasılık teorisi aracılığı ile rastgele değişken olarak dikkate alınmaları elde edilen ağırlık değerini etkilemektedir (bkz Şekil 2.5, 2.6 ve 2.7). Geleneksel optimizasyonla elde edilen sonuçlar aktif sınırlayıcılar için istenilen güvenilirlik düzeyini sağlayamazken güvenilirliğe dayalı optimizasyon istenilen güvenilirlik düzeyinde

sonuçlar üretmektedir. Gerek geleneksel optimizasyon gerekse güvenilirliğe dayalı optimizasyon problemi için burkulmaya ve doğal frekansa ait sınırlayıcılar aktif olmaktadır (bkz Şekil 2.8, 2.9 ve 2.10).

2.3.2.2. Tek Ayaklı Deniz Platformunun Parçalı Olarak Performans ls Yaklaşımına Dayanan Güvenilirliğe Dayalı Optimizasyonu

Bir güvenilirliğe dayalı optimizasyon (GDO) probleminde güvenilirlik sınırlayıcılarının

$$g_j^*(d, X) \geq 0 \quad j=1, \dots, m \quad (2.42)$$

bağıntısı ile dikkate alınmaları problemin performans ls yaklaşımı (PÖY)'na dayanan güvenilirliğe dayalı optimizasyon (GDO) problemi olarak adlandırılmasına yol açmaktadır. $g_j^*(.)$ optimizasyon probleminin rastgele olarak dikkate alınan veya alınmayan tasarım değişkenleri d ile problemin geneli için dikkate alınan rastgele değişkenlerin, X , bir fonksiyonu olan sınır durum fonksiyonunun boyutsuzlaştırılmış normal uzaydaki (u uzayındaki) değerini göstermektedir. Ancak burada önemli olan nokta rastgele değişkenlerin u uzayındaki karşılıklarının dikkate alınan minimum güvenilirlik indeksi değerini β_t sağlayacak Şekilde belirlenmesidir. Diğer bir değişle PÖY'e dayalı GDO problemlerinde güvenilirlik sınırlayıcılarının kontrolü güvenilirlik indeksi yaklaşımı (GİY)'na dayanan GDO problemlerinden farklı olarak u uzayında orijinden uzaklığı β_t 'ye eşit olan noktalar arasında $g_j^*(.)$ 'yi minimum yapacak noktanın belirlenmesi biçiminde olmaktadır. u uzayında negatif değer başarısızlığı temsil ettiğinden minimum değerin pozitif olması gerekmektedir. Bu nedendir ki sınır durum fonksiyonun u uzayındaki işareti güvenilirlik sınırlayıcısının sağlanıp sağlanmadığını gösterebilmektedir (Lee vd., 2002). PÖY'e dayalı GDO problemlerinde güvenilirlik sınırlayıcısının değerlendirilmesinde sıklıkla birinci dereceden güvenilirlik yöntemi (BDGY)'ne dayanan tersine güvenilirlik yöntemi (TGY) kullanılmaktadır. Bu yöntemde iterasyon tabanlı olduğundan GDO problemlerinde sonuca ulaşmak için gerekli işlem süresi ve sayısı geleneksel optimizasyona göre fazla olabilmektedir. Ancak GDO problemlerinde PÖY

dayalı bir formülasyonun seçilmesi güvenilirlik analizi açısından hem işlem sayısı hem de yakınsama oranı bakımından güvenilirlik indeksi yaklaşımı (GİY)'na dayalı formülasyona göre daha fazla avantaj sağlamaktadır (Tu, 1999; Tu vd 1999; Ramu vd., 2006; Lee vd., 2002). Bu avantaj GİY'in aksine PÖY'de u uzayında gerçekleştirilen iterasyon adımlarının yarı çapı β_t 'ye eşit sabit bir daire üzerinde gerçekleşmesinden kaynaklanmaktadır (bkz Şekil 1.5). Oysaki GİY'de u uzayındaki iterasyon adımları sınır durum fonksiyonu için gerçekleştirilmekte ve sınır durum fonksiyonu da yenilenen tasarım değişkenleri ile yenilediğinden sonuca ulaşmak daha fazla işlem sayısı gerektirmektedir.

Tek ayaklı deniz platformunun parçalı olarak PÖY'e dayalı GDO'sunu gerçekleştirmek için bir önceki bölümde verilen formülasyonlar FORTRAN dilinde algoritma haline getirilmiştir. Algoritma bir önceki bölümde olduğu gibi optimizasyon için SQP tabanlı bir program olan NLPQLP (Schittkowski, 2001) ve sezgisel algoritma tabanlı bir program olan DE'yi (Storn ve Price, 1997) kullanmaktadır. Algoritma güvenilirlik analizi için ise hem hızlı oluşu hem de yeteri derecede hassas sonuçlar vermesi nedeni ile PÖY'e dayalı GDO problemlerinde sıklıkla tercih edilen birinci dereceden güvenilirlik yöntemine (BDGY) dayanan tersine güvenilirlik yöntemi (TGY)'ni kullanmaktadır.

Kullanılan matematiksel tabanlı optimizasyon yöntemi, SQP, amaç fonksiyonu ve sınırlayıcıların tasarım değişkenlerine göre türev bilgilerine gereksinim duymaktadır. PÖY'e dayalı GDO'da sınırlayıcılar Denklem (2.42)'deki gibi verildiğinden ilgili türev

$$\frac{\partial g_j^*(.)}{\partial d} \quad (2.43)$$

ile doğrudan hesaplanmaktadır (Frangopol ve Maute, 2005).

Tüm bu formülasyonlara dayanarak geliştirilen açık kodun işlem sırası ana hatları ile aşağıdaki gibi olmaktadır.

1. Probleme ait başlangıç değerleri girilir.
2. NLPQLP veya DE aracılığı ile optimizasyona başlanır.
3. Güvenilirlik sınırlayıcıları için BDGY dayanan TGY kullanılarak u uzayında sınır durum fonksiyonlarının değerleri bulunur.
4. Amaç fonksiyonu ve türevleri hesaplanır.
5. Sonlandırma koşulları kontrol edilir.

6. Koşullar sağlandı ise optimizasyon sonlandırılır. Aksi halde tasarım değişkenlerini yenilenir ve 2 ila 6. adımlar arası işlemler tekrarlanır.

Ana hatları yukarıdaki gibi verilen algoritma kullanılarak tek ayaklı deniz platformunun gerçekleştirilen optimizasyonlarının sonuçları Tablo 2.5, 2.6 ve 2.7’de verilmektedir. Tablo 2.5 platformun 3, Tablo 2.6 platformun 6 ve Tablo 2.7’de platformun 12 parçalı olarak NLPQLP ve DE kullanılarak gerçekleştirilen performans ölçüsü yaklaşımı (PÖY)’na dayan güvenilirliğe dayalı optimizasyon (GDO) sonuçlarını göstermektedir.

Tablo 2.5. Tek ayaklı deniz platformunun 3 parçalı olarak NLPQLP ve DE ile gerçekleştirilen performans ölçüsü yaklaşımı dayanan güvenilirliğe dayalı optimizasyon sonuçları

Tasarım değişkenleri d	Geleneksel optimizasyon		Güvenilirliğe dayalı optimizasyon (GDO)		GDO (rastgele d ile)	
	NLPQLP	DE	NLPQLP	DE	NLPQLP	DE
Kalınlık (m)						
t ₁	0.0496	0.0496	0.0621	0.0621	0.0686	0.0686
t ₂	0.0313	0.0313	0.0395	0.0395	0.0434	0.0434
t ₃	0.010	0.010	0.0114	0.0114	0.0109	0.0110
Yarıçap (m)						
R _{en alt}	9.246	9.237	9.865	9.865	10.099	10.099
R _{en üst}	4.407	4.416	4.645	4.645	4.981	4.980
Ağırlık (kg)*10 ⁶						
	1.5252	1.5252	2.0319	2.0319	2.3125	2.3125

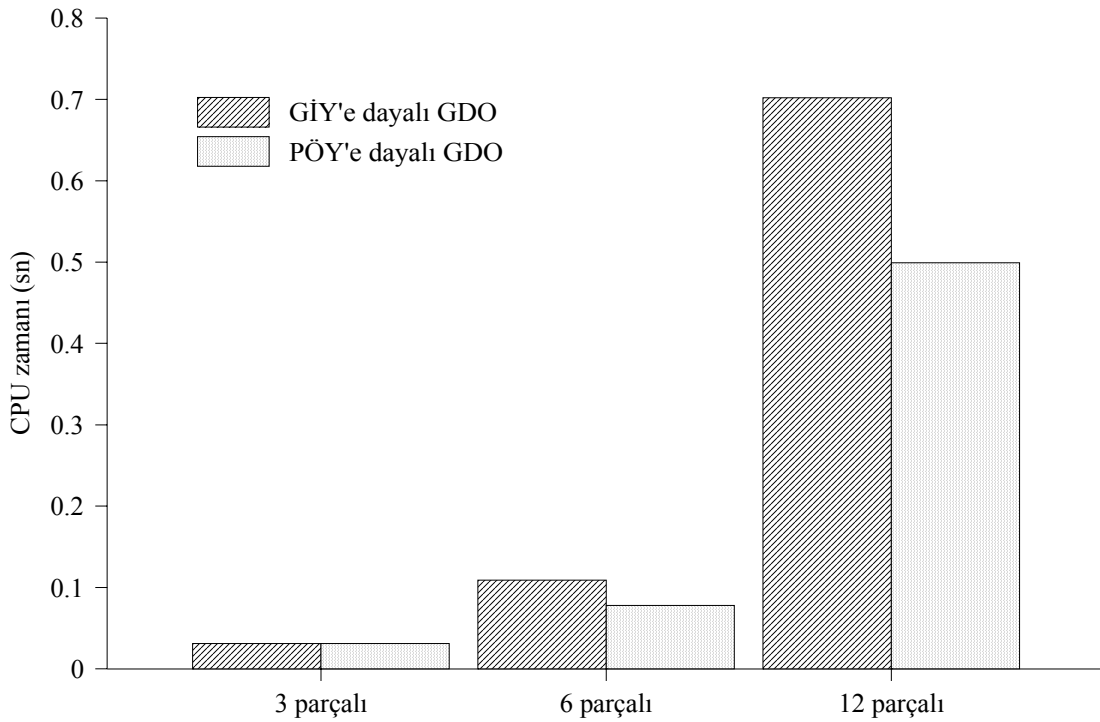
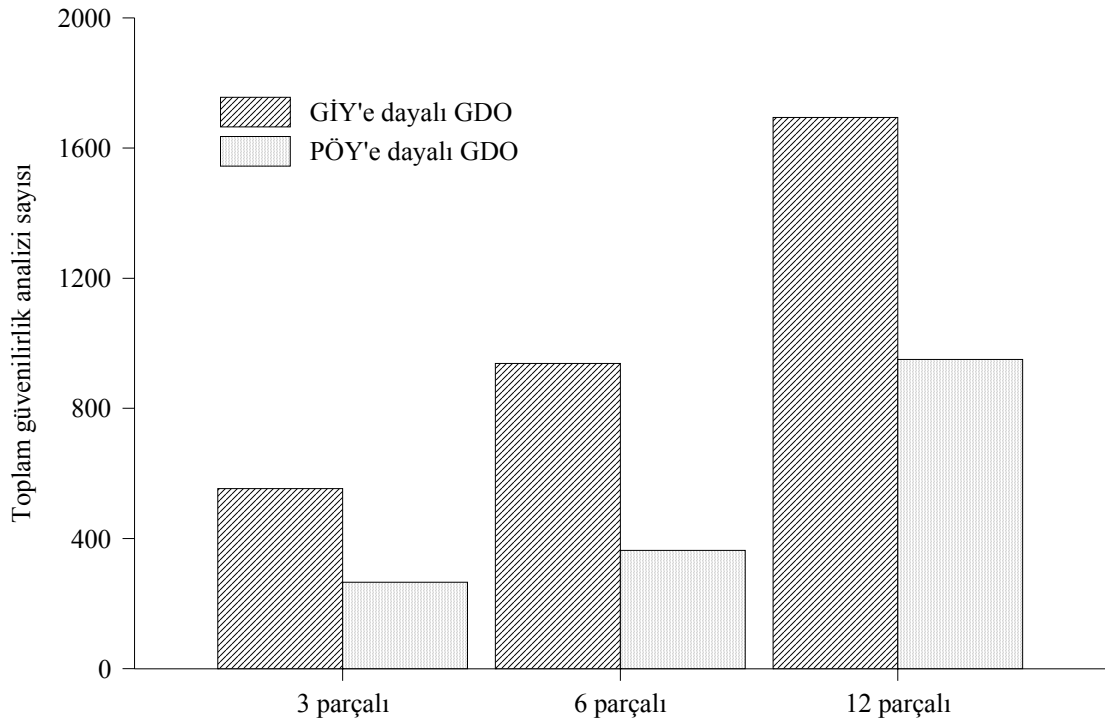
Tablo 2.6. Tek ayaklı deniz platformunun 6 parçalı olarak NLPQLP ve DE ile gerçekleştirilen performans ölçüsü yaklaşımı dayanan güvenilirliğe dayalı optimizasyon sonuçları

Tasarım değişkenleri d	Geleneksel optimizasyon		Güvenilirliğe dayalı optimizasyon (GDO)		GDO (rastgele d ile)	
	NLPQLP	DE	NLPQLP	DE	NLPQLP	DE
Kalınlık (m)						
t ₁	0.0472	0.0474	0.0592	0.0592	0.0659	0.0659
t ₂	0.0403	0.0404	0.0507	0.0507	0.0564	0.0564
t ₃	0.0331	0.0333	0.0417	0.0417	0.0463	0.0463
t ₄	0.0256	0.0257	0.0319	0.0319	0.0354	0.0354
t ₅	0.0182	0.0182	0.0218	0.0218	0.0242	0.0242
t ₆	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010
Yarıçap (m)						
R _{en alt}	9.816	9.769	10.411	10.423	10.500	10.498
R _{en üst}	4.359	4.393	4.745	4.734	5.150	5.150
Ağırlık (kg)*10 ⁶						
	1.3279	1.3298	1.7579	1.7581	1.9966	1.9968

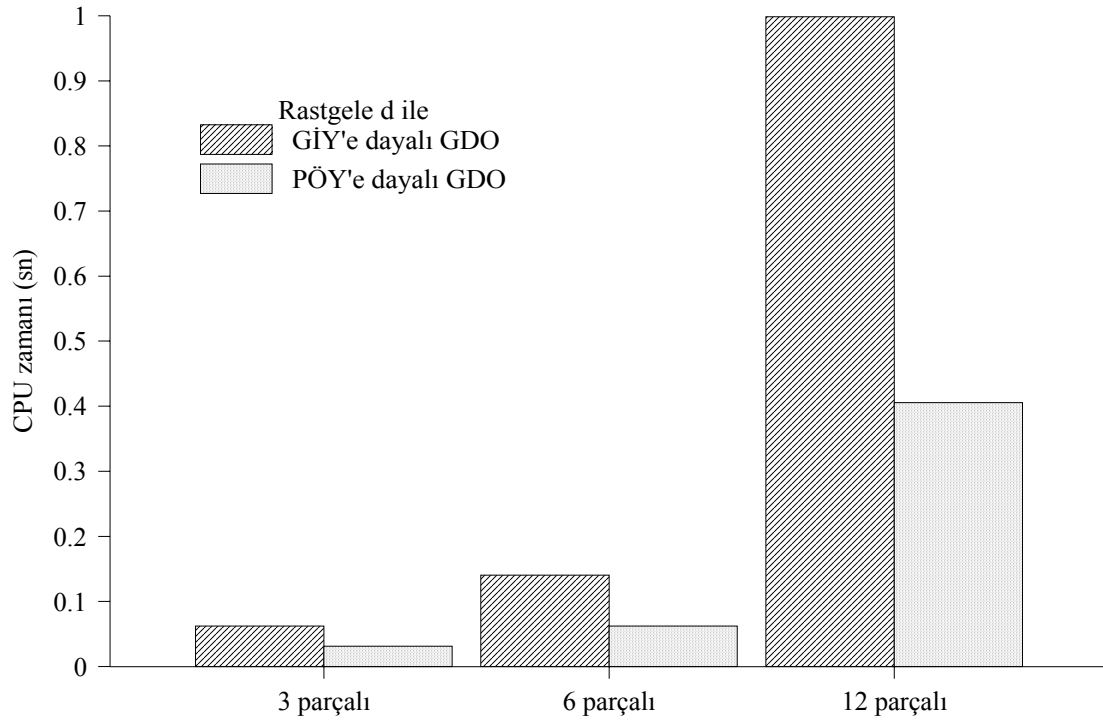
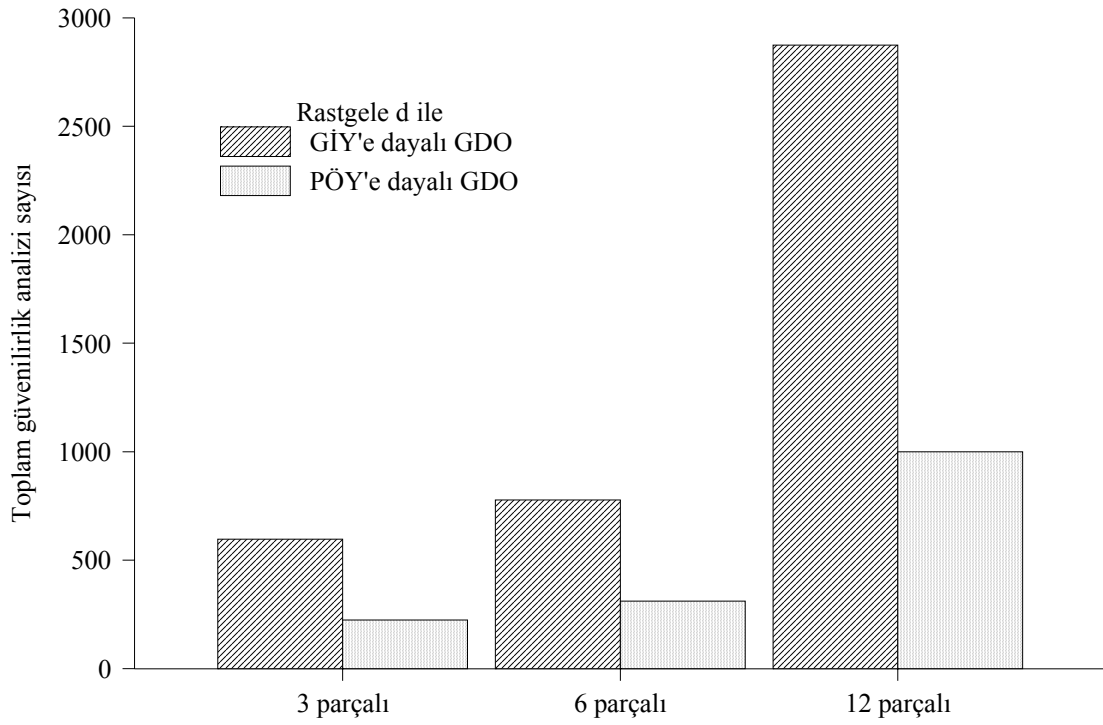
Tablo 2.7. Tek ayaklı deniz platformunun 12 parçalı olarak NLPQLP ve DE ile gerçekleştirilen performans ölçüsü yaklaşımı dayanan güvenilirliğe dayalı optimizasyon sonuçları

Tasarım değişkenleri d	Geleneksel optimizasyon		Güvenilirliğe dayalı optimizasyon (GDO)		GDO (rastgele d ile)	
	NLPQLP	DE	NLPQLP	DE	NLPQLP	DE
Kalınlık (m)						
t ₁	0.0465	0.0462	0.0588	0.0588	0.0655	0.0655
t ₂	0.0431	0.0428	0.0546	0.0545	0.0608	0.0608
t ₃	0.0397	0.0394	0.0503	0.0502	0.0560	0.0560
t ₄	0.0362	0.0360	0.0458	0.0458	0.0510	0.0511
t ₅	0.0326	0.0323	0.0413	0.0413	0.0460	0.0459
t ₆	0.0289	0.0288	0.0365	0.0365	0.0406	0.0406
t ₇	0.0252	0.0252	0.0316	0.0315	0.0351	0.0355
t ₈	0.0215	0.0220	0.0265	0.0265	0.0308	0.0305
t ₉	0.0180	0.0181	0.0216	0.0218	0.0263	0.0260
t ₁₀	0.0151	0.0168	0.0180	0.0180	0.0206	0.0207
t ₁₁	0.0101	0.0108	0.0118	0.0121	0.0137	0.0138
t ₁₂	0.010	0.0102	0.010	0.010	0.010	0.010
Yarıçap (m)						
R _{en alt}	10.129	10.225	10.500	10.499	10.500	10.500
R _{en üst}	4.263	4.118	4.836	4.827	5.250	5.250
Ağırlık (kg)*10 ⁶						
	1.2725	1.2750	1.6811	1.6814	1.9178	1.9179

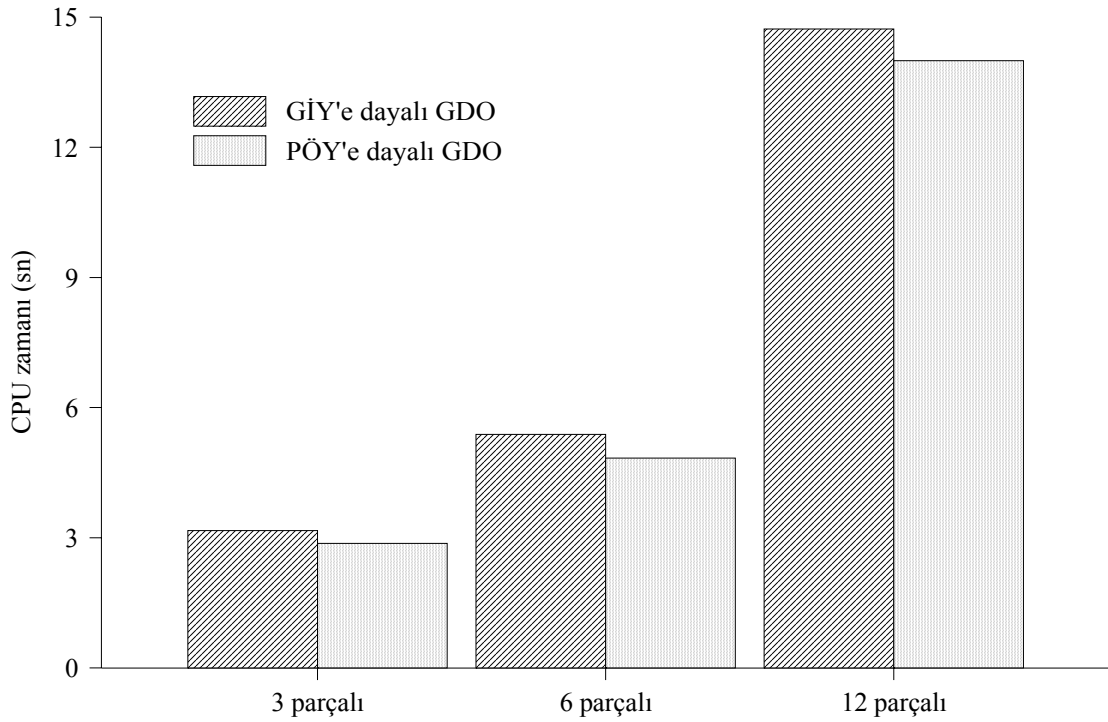
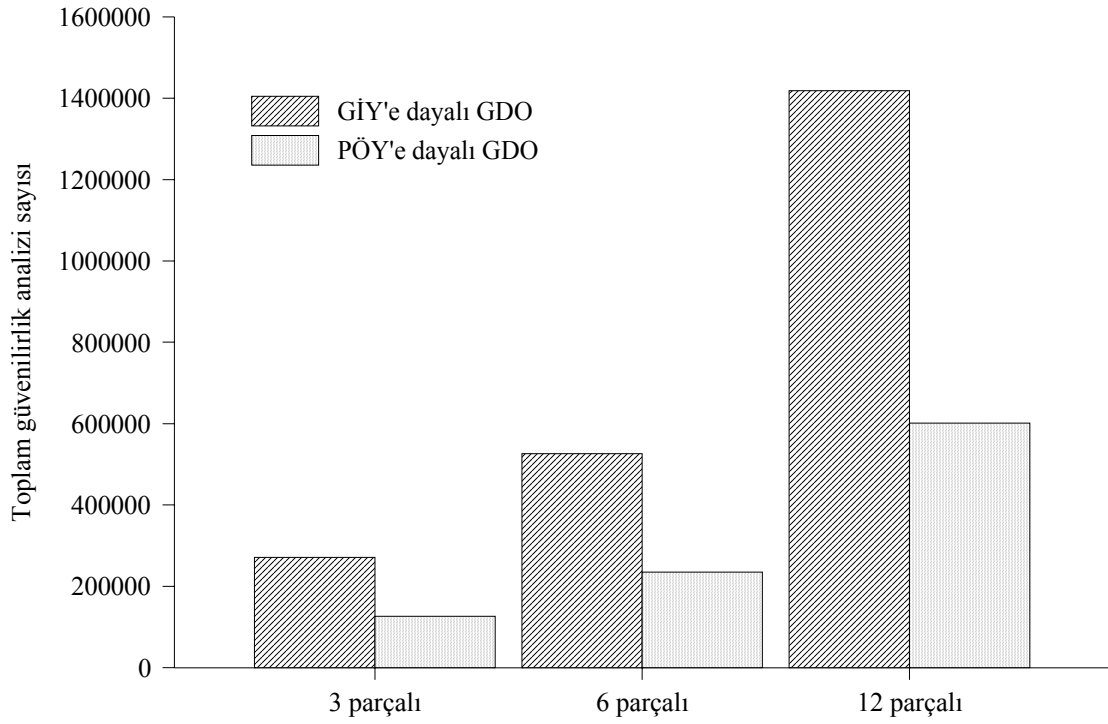
Tek ayaklı deniz platformunun parçalı olarak NLPQLP kullanılarak gerçekleştirilen güvenilirlik indeksi yaklaşımı (GİY) ve performans ölçüsü yaklaşımı (PÖY)'na dayanan güvenilirliğe dayalı optimizasyon (GDO)'ları sürecinde yapılan toplam güvenilirlik analizi miktarlarının ve GDO için çözüme ulaşmak için gerekli hesap zamanının değişimi sırası ile Şekil 2.11 ve 2.12 karşılaştırmalı olarak verilmektedir. Şekil 2.13 ile 2.14 aynı durumların DE kullanılması durumundaki değişimleri göstermektedir.



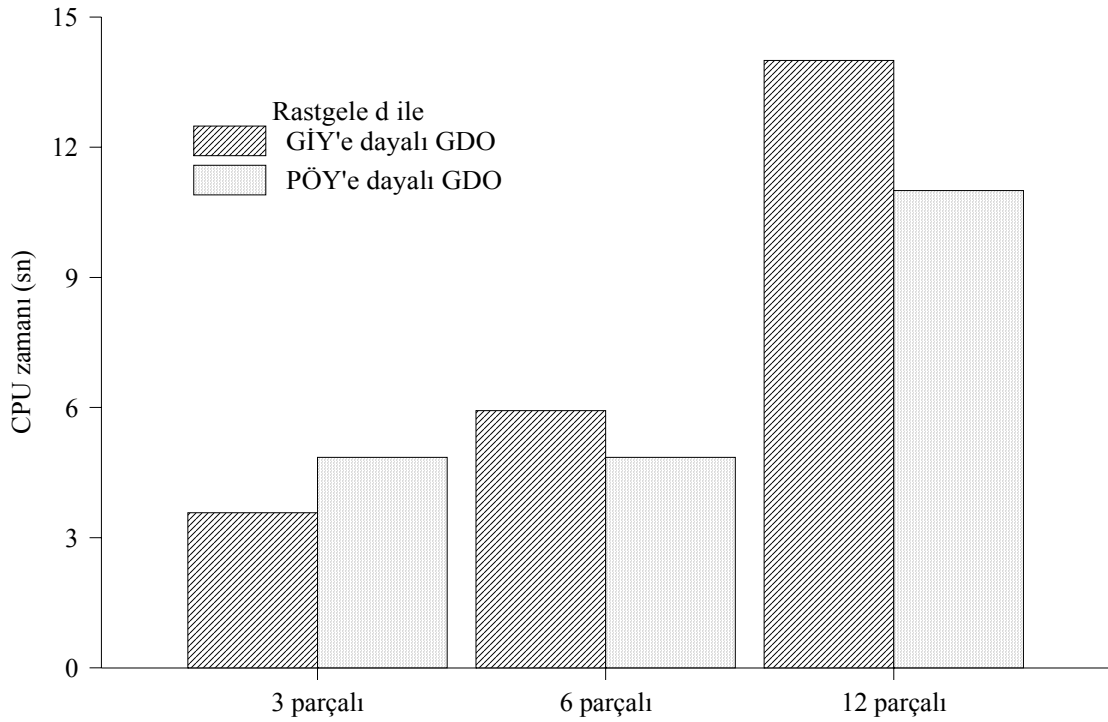
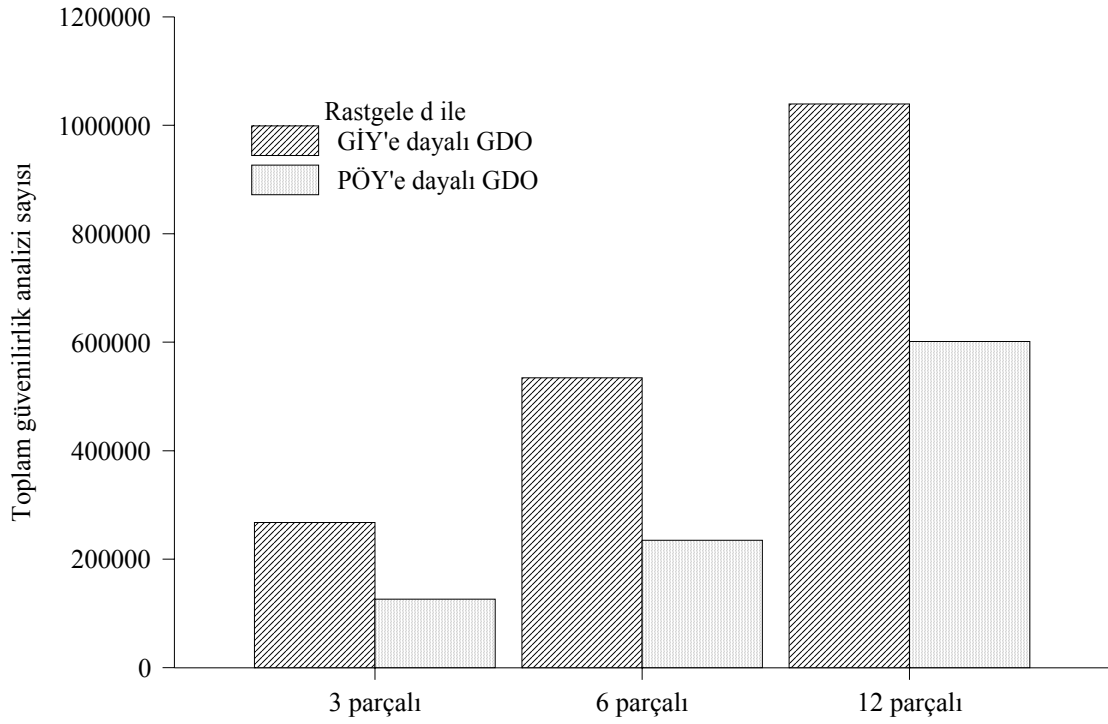
Şekil 2.11. Tek ayaklı deniz platformunun parçalı olarak NLPQLP kullanılarak gerçekleştirilen güvenilirlik indeksi yaklaşımı ve performans ölçüsü yaklaşımına dayanan güvenilirliğe dayalı optimizasyonu için toplam güvenilirlik analizi sayısı ve CPU zamanı



Şekil 2.12. Tek ayaklı deniz platformunun parçalı olarak NLPQLP kullanılarak gerçekleştirilen güvenilirlik indeksi yaklaşımı ve performans ölçüsü yaklaşımına dayanan güvenilirliğe dayalı optimizasyon (rastgele d ile)'u için toplam güvenilirlik analizi sayısı ve CPU zamanı



Şekil 2.13. Tek ayaklı deniz platformunun parçalı olarak DE kullanılarak gerçekleştirilen güvenilirlik indeksi yaklaşımı ve performans ölçüsü yaklaşımına dayanan güvenilirliğe dayalı optimizasyonu için toplam güvenilirlik analizi sayısı ve CPU zamanı



Şekil 2.14. Tek ayaklı deniz platformunun parçalı olarak DE kullanılarak gerçekleştirilen güvenilirlik indeksi yaklaşımı ve performans ölçüsü yaklaşımına dayanan güvenilirliğe dayalı optimizasyon (rastgele d ile)'u için toplam güvenilirlik analizi sayısı ve CPU zamanı

Sunulan Tablo 2.5, 2.6 ve 2.7 ile Şekil 2.11, 2.12, 2.13 ve 2.14 ışığında tek ayaklı deniz platformunun parçalı olarak NLPQLP ve DE kullanılarak gerçekleştirilen optimizasyonlarından şu sonuçları çıkarmak mümkün olmaktadır. Parametrelerdeki belirsizliklerin olasılık teorisi aracılığı ile rastgele değişken olarak dikkate alınmaları alınmama durumlarına göre elde edilen sonuçları etkilemektedir. Parametrelerin rastgele olarak dikkate alındığı GDO'lar geleneksel optimizasyonlara göre daha ağır sonuçlar vermektedirler. Geleneksel optimizasyonla elde edilen sonuçlar istenilen güvenilirlik düzeyini sağlamamaktadırlar. GDO istenilen güvenilirlik düzeyinde sonuçlar üretmektedir. Gerek geleneksel optimizasyon gerekse GDO problemi için burkulmaya ve doğal frekansa ait sınırlayıcılar aktif olmaktadır. Yani izin verilen alt değerlerine ($\beta_i=3.70$) yakın değerler almaktadırlar. Ancak su seviyesi üzerinde yer alan elemanlar için burkulma sınırlayıcıları izin verilen alt değerden büyük değer aldıklarından aktif değildirler. Parametrelerin rastgele olarak dikkate alınabildiği GDO'lar sınırlayıcılar için güvenilirlik analizine ihtiyaç duyduklarından geleneksel optimizasyona göre daha fazla hesap zamanı gerektirmektedir. Optimizasyon için belirlenen tasarım değişkenlerinin de rastgele olarak dikkate alınması alınmaması durumuna göre daha ağır sonuçlar vermektedir. Optimizasyon için kullanılan matematiksel ve sezgisel tabanlı yöntemler farklı hesap zamanı gerektirmelerine rağmen aynı sonuçları üretmektedirler. GİY'e dayanan GDO'lar PÖY'e dayanan GDO'ya göre sınırlayıcıların kontrolü için daha fazla miktarda güvenilirlik analizine ihtiyaç duymaktadır. Diğer bir değişle güvenilirlik analizi GİY'e dayalı formülasyonla verilen güvenilirlik sınırlayıcısı için daha fazla iterasyonla sonuca ulaşmaktadır. Buda GDO süreci için gerekli toplam güvenilirlik analizi miktarını artırmaktadır. Gerek istenilen güvenilirlik seviyesinin gerekse de rastgele değişkelerdeki belirsizliklerin (değişim katsayılarının) artması GDO sürecinin daha ağır sonuçlar üretmesine yol açmaktadır.

GDO sürecinde kullanılan algoritmalarda yer alan sayısal yöntemlerden kaynaklanan sayısal hatalar ile karşılaşabilmek mümkün olmaktadır. Örneğin özellikle GİY'e dayalı GDO'larda matematiksel tabanlı yöntemler için alınan başlangıç değerleri güvenilirlik analizinde kullanılan BDGY'nin ıraksamasına ve sürecin erken sonlanmasına veya hata uyarısına neden olabilmektedir. Bu durum geleneksel optimizasyonda da olduğu gibi farklı başlangıç değerleri alınarak önlenabilmektedir. Karşılaşılabilen bir diğer hata ise rastgele değişkenler için standartlaştırılmış uzaydan orijinal uzaya yapılan dönüşümlerde ($x=F^{-1}(\Phi(u))$) standart normal dağılımın yığılımlı olasılık fonksiyonunun ($\Phi(.)$) büyük u

değerleri için değer üretmemesi veya belirli bir değerden sonra aynı değeri üretmesinden kaynaklanan sonlanmalar veya hata uyarısıdır (Tu vd., 1999; Lee vd., 2002). Çalışmada matematiksel tabanlı program için alınan başlangıç değerleri Ek 2’de verilmektedir. Bu değerler bahsi geçen sayısal hatayı vermeden en kısa sürede güvenilirliğe dayalı optimizasyon (GDO) sürecinin normal sonlanmasını sağlamış değerlerdir.

GDO için sezgisel tabanlı algoritmalar özellikle popülasyon tabanlı algoritmalar kullanıldığında probleme bağımlı olarak büyük popülasyon değerlerinde GDO sürecinde erken sonlanma ile de karşılaşabilmektedir (Lee vd., 2001). Bunun nedeni rastgele oluşturulan popülasyonun çözüm uzayında farklı bölgelerden değerler içermesi ve bu çözümlerinde güvenilirlik analizinin iraksamasına neden olmasıdır. Düşük popülasyon (10 dan az değil) ve fazla maksimum iterasyon sayısı kullanmak bu sorunu aşmada çözüm olabilmektedir. Bu nedenle çalışmada hem daha kısa sürede çözüme ulaşabilmek hem de bahsi geçen şekilde bir problemle karşılaşmamak için düşük popülasyon ve büyük maksimum iterasyon sayısı ile GDO’lar gerçekleştirilmektedir. Elde edilen çözümlerin matematiksel teoriye dayanan optimizasyon yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen GDO’lar için elde edilen çözümlere göre kabul edilebilir olmaması durumunda popülasyon sayısı artırılırken maksimum iterasyon sayısı azaltılmaktadır. Bunun da istenilen düzeyde çözüm üretememesi durumunda maksimum iterasyon sayısı da artırılmaktadır. Çalışmada 20 ve 30 adetlik popülasyonlar ile 100, 200, 300, 400 ve 500 maksimum iterasyon sayısı kullanılmıştır. Sezgisel algoritma için kullanılan popülasyon, maksimum iterasyon sayısı ve mutasyon, F, ile çaprazlama, Cr, oranı değerleri Ek 2’de verilmektedir.

Yapı sistemlerinin yüklemeler altında analizlerinin yapılmasında Sonlu Elemanlar Yöntemine (SEY) dayanarak geliştirilen programlar sıklıkla kullanılmaktadır. Çalışmada farklı tipteki deniz platformlarının da GDO’larını yapabilmek için bu sistemlerin analizlerinde SAPOS (Karadeniz, 1994) programı kullanılmaktadır. Bu nedenle tek ayaklı deniz platformun parçalı olarak GDO’sunu gerçekleştirmek üzere geliştirilen açık kod ışığında SAPOS (Karadeniz, 1994) programına eklenmek üzere daha sistematik bir GDO işlem dizisi geliştirilmektedir.

2.4. Deniz Platformlarının SAPOS Kullanılarak Güvenilirliğe Dayalı Optimizasyonu

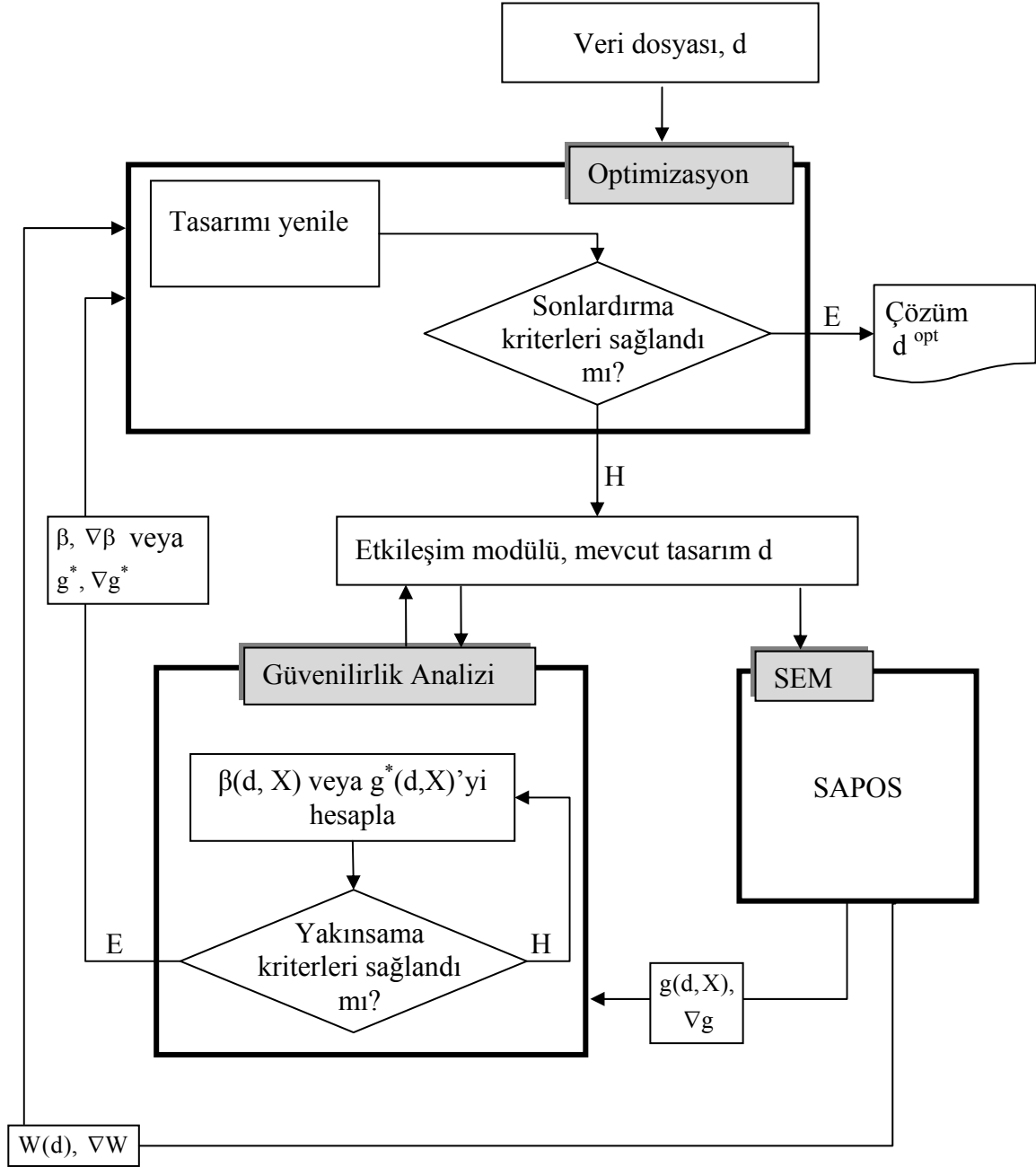
Bir önceki bölümden de görülebildiği gibi tek ayaklı deniz platformunun güvenilirliğe dayalı optimizasyon (GDO)'unu gerçekleştirmek için gerekli tüm bağıntılar, Denklem (2.13), (2.14), ..., (2.31), ilgili parametrelerin açık birer ifadesi olarak yazılabilmektedir. Oysaki her zaman böyle bir ifadeler grubunu elde etmek zordur ve yapı sistemlerinin analizlerinde SEY'e dayanan paket programlar kullanılmaktadır. Bu nedenle de çalışmada daha genel bir GDO işlem dizisi elde edebilmek ve farklı tipteki deniz platformlarının da GDO'sunu yapabilmek için sistemlerin yapısal analizlerinde SAPOS (Stochastic Analysis Program for Offshore Structures) programı kullanılmaktadır. SAPOS programı Karadeniz (1994) tarafından SEY'e dayalı modüler formda FORTRAN dilinde geliştirilen bir programdır.

SAPOS kullanılarak deniz platformlarının GDO'larını gerçekleştirmek üzere çalışmada yapılan işlem dizisinin akış diyagramı Şekil 2.15'de verilmektedir. Daha önce bahsedildiği ve Şekil 2.1'de de gösterildiği gibi GDO süreci 3 programın etkileşimli olarak çalışmasını gerektirmektedir. Akış diyagramından da takip edilebildiği gibi veri dosyası, ilgili probleme ait tüm verileri optimizasyon programına bildirmektedir. Optimizasyon programı aldığı veriyi etkileşim modülüne ileterek o anki tasarıma ait bilgileri güvenilirlik analizi ve SAPOS programına iletir. Güvenilirlik analizi de ihtiyaç duyduğunda etkileşim modülü aracılığı ile SAPOS dan ilgili sınır durum fonksiyonuna ait değeri alır. Güvenilirlik analizi sınır durum fonksiyonunun bağlı olduğu değişkenlere göre türev bilgilerine ihtiyaç duymaktadır. Bu türev bilgisi ileri sonlu farklar bağıntısı kullanarak elde edilir. Buna göre bir fonksiyonun ($f(s)$) türevi, bağlı olduğu değişkenlere göre değeri hesapladıktan sonra değişkenlerden birine (s_i) diğerleri sabit olmak kaydı ile ufak bir artırım (Δs_i) verilerek fonksiyonun değeri yeniden hesaplanır. Fonksiyonun o değişkene göre türevi ileri sonlu fark bağıntısı kullanılarak

$$f'(s_i) = \frac{f(s_i + \Delta s_i) - f(s)}{\Delta s_i} \quad (2.44)$$

ile hesaplanır. Burada $f(s_i + \Delta s_i)$ fonksiyonun diğer değişkenler aynı değerde iken s_i 'deki Δs_i artırımını için yeniden hesaplanan değerini, $f(s)$ fonksiyonun tüm değişkenlerin artırımsız

değerleri için hesaplanan değerini göstermektedir. Sınır durum fonksiyonlarının bağlı olduğu rastgele değişkenlere göre açık bir ifadesinin yazılamamasından dolayı güvenilirlik analizi için gerekli türev bilgileri ileri sonlu farklar kullanılarak hesaplanmaktadır. İleri sonlu farklar mevcut programın fazla değiştirilmesine neden olmadan kullanılabilirdiğinden programlama açısından da kolaylıklar sağlamaktadır. Ancak verilen artırımın hassasiyetine



Şekil 2.15. SAPOS kullanılarak gerçekleştirilen güvenilirliğe dayalı optimizasyon sürecinin akış diyagramı

göre türev bilgisi değiştiğinden gerçek değere yeteri yakınsaklıkta sonuç elde edebilmek için uygun artırımın verilmesi önem arz etmektedir. Çalışmada ilgili değişkene verilecek artırım

$$\Delta x_i = \text{EPS} * \max(1, |x_i|) \quad (2.45)$$

ifadesi ile hesaplanmaktadır. Burada EPS 10^{-6} den büyük olmayan değeri, max() verilen iki değer arsından büyük olanı veren bir operatörü, |.| ise mutlak değeri göstermektedir. Yöntem artırım için fonksiyonun değerinin yeniden hesaplanmasını gerektirdiğinden güvenilirlik analizi bu değişimi etkileşim modülü aracılığı ile SAPOS'a ileterek yeniden analizin gerçekleşmesini ve bu değişim için ilgili değerlerin elde edilmesini sağlamaktadır. Bu nedenledir ki güvenilirlik analizi etkileşim modülüne çift yönlü okla bağlanmaktadır. Böylelikle güvenilirlik analiz için gerekli türev bilgisi Denklem (2.44) ile kolayca hesaplanmaktadır. Güvenilirlik analizi yakınsama sağladıktan sonra kendisi için gerekli iterasyon adımına son vererek ilgili değerleri optimizasyona gönderir. Bunlar sınırlayıcılarla ilgili veriler olduğundan amaç fonksiyonuna ait bilgiler SAPOS programından alınmaktadır. Optimizasyon bu nedenle hem güvenilirlik analizi hem de SAPOS ile ilişkilendirilmektedir. Optimizasyon bu veriler ile sınırlayıcıları ve sonlandırma kriterlerini kontrol ederek optimizasyona ait iterasyonun sonlanıp sonlanmayacağına karar vermektedir, Şekil 2.15.

Şekil 2.15'de akış diyagramı verilen ve çalışmada geliştirilen programın ana ve alt programları şu şekilde olmaktadır. Program SAPOS_OPT olarak adlandırılan ana programla başlamaktadır. Bu program ilgili data dosyalarını okuyarak optimizasyon problemine ait bilgileri ilgili değişkenlere atar. Kısacası başlangıç tasarımını oluşturur ve optimizasyon programını çağırır. Optimizasyon programı kendisi için önemli olan amaç fonksiyonu, sınırlayıcı değerlerini FCN, türev bilgilerini ise GRAD olarak adlandırılan alt program aracılığı ile edinir. FCN alt programı ayrıca optimizasyonun geleneksel (deterministik) mi yoksa GDO' mu olduğuna göre ilgili alt programı çağırır. Eğer problem geleneksel ise DETERMINISTIC_OPT adlı alt program çağrılarak, eğer problem güvenilirliğe dayalı ise REL_BASED_OPT adlı alt program çağrılarak ilgili optimizasyon sürecine başlanır. Bu alt programlar o anki tasarım için ilgili hesaplamaları yaparak sınırlayıcı değerlerini FCN alt programına o da optimizasyon programına bildirir. GRAD

alt programı da o anki tasarım için türev bilgilerini hesaplayarak optimizasyon programına bildirir. REL_BASED_OPT alt programı öncelikle optimizasyonun tasarım değişkenlerinin rastgele olup olmadıklarını kontrol eder. Eğer rastgele ise o anki değerleri tasarım değişkenlerinin sayısal ortalama değeri olarak saklar. Değilse doğrudan tasarım değişkenlerine değer olarak atar. Daha sonra belirtilen sayıdaki sınır durum fonksiyonu için güvenilirlik analizine başlar. Güvenilirlik analizi için iki farklı yöntem kullanıldığından hangi yöntemin seçildiğine bağlı olarak PÖY için H MV, G İY için ise HL_RF adlı alt programlar çağrılır. Bu programlar o anki tasarım için ilgili sınır durum fonksiyonunun güvenilirlik analizini gerçekleştirerek PÖY için sınır durum fonksiyonunun u uzayındaki değerini ve türev bilgilerini, G İY için ise güvenilirlik indeksi değerini ve türev bilgilerini REL_BASED_OPT adlı programa gönderir. H MV adlı alt program BDGY dayalı TGY'yi kullanarak, HL_RF ise BDGY'yi kullanarak güvenilirlik analizi gerçekleştirmektedirler. Her iki alt programda yer alan CONS adlı alt program ilgili güvenilirlik analizi yöntemleri için gerekli sınır durum fonksiyonu değerleri ve türev bilgilerini SAPOS ile etkileşimli çalışarak hesaplar ve H MV ile HL_RF alt programlarına döner. Bu alt programlarda yöntemleri gereğince yeteri yakınsaklık sağlanıncaya kadar iterasyonlarına devam ederler. Yakınsaklık sağlanınca da REL_BASED_OPT alt programını oda FCN alt programını en son olarak da FCN optimizasyon programını elde edilen bilgilerden haberdar eder. GDO işlem süreci optimizasyonun sonlandırma kriteri veya kriterleri sağlanıncaya kadar devam etmektedir. CONS alt programı geliştirilen algoritmadan elde edilen bilgiler ışığında bir güvenilirlik analizi gerçekleştirmek için gerekli sınır durum fonksiyonu ve türev bilgilerini sağlar biçimde ardışık alt programlar aracılığı ile kodlanmıştır.

Açık kod ile gerçekleştirilen optimizasyonlarda kullanılan matematiksel tabanlı SQP yöntemine dayanan optimizasyon alt programı (NLPQLP) SAPOS kütüphanesi ile çakıştığından SAPOS kullanılarak gerçekleştirilen optimizasyonlarda Visual FORTRAN'da yer alan IMSL (Visual Numeric, 1995) kütüphanesinde bulunan NLPQL alt programı (Schittkowski, 1986) kullanılmaktadır.

2.5. SAPOS Kullanılarak Gerçekleştirilen Güvenilirliğe Dayalı Optimizasyon İşlem Dizisinin Doğruluğunun Denetimi

Çalışmada SAPOS (Stochastic Analysis Program for Offshore Structures, Karadeniz 1994) kullanılarak gerçekleştirilen güvenilirliğe dayalı optimizasyon (GDO) işlem dizisinin doğruluğu bir önceki bölümde tek ayaklı deniz platformun parçalı olarak matematiksel ve sezgisel tabanlı optimizasyon yöntemleri ile gerçekleştirilen güvenilirlik indeksi yaklaşımı (GİY) ve performans ölçüsü yaklaşımı (PÖY)'na dayanan güvenilirliğe dayalı optimizasyonları için geliştirilen algoritma ile elde sonuçlarla karşılaştırmak sureti ile yapılmaktadır.

2.5.1. Tek Ayaklı Deniz Platformunun 3 Parçalı Olarak Gerçekleştirilen Optimizasyonları İçin Programın Doğruluğu

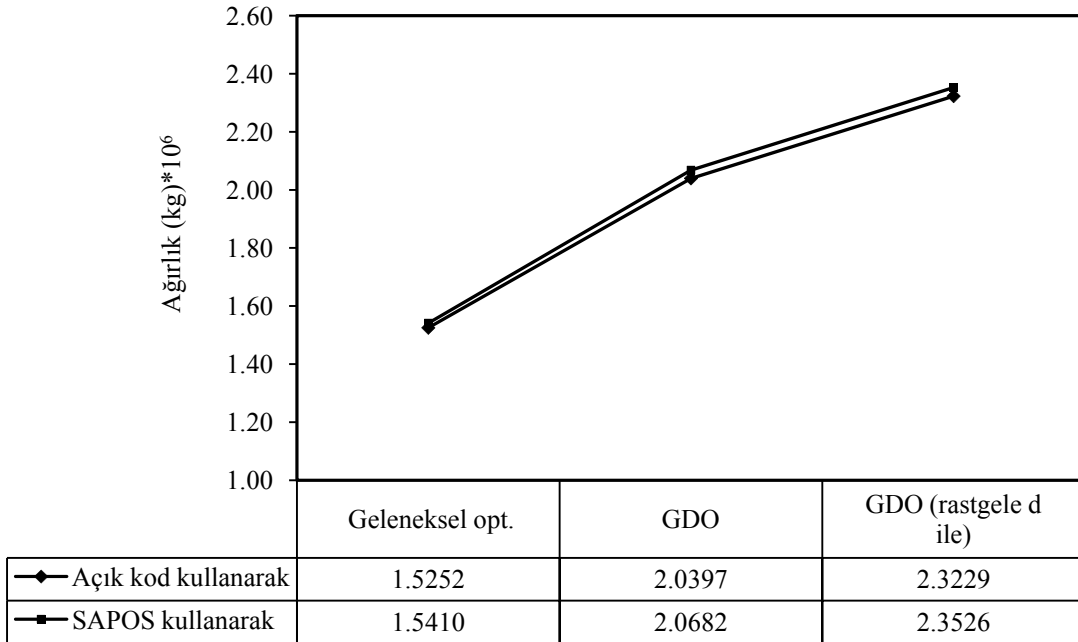
Platformun 3 parçalı olarak SAPOS kullanılarak gerçekleştirilen geleneksel ve GDO optimizasyon sonuçları Tablo 2.8 ve 2.9'da verilmektedir.

Tablo 2.8. Tek ayaklı deniz platformunun 3 parçalı olarak SAPOS kullanılarak NLPQL ve DE ile gerçekleştirilen güvenilirlik indeksi yaklaşımına dayanan güvenilirliğe dayalı optimizasyon sonuçları

Tasarım değişkenleri d	Geleneksel optimizasyon		Güvenilirliğe dayalı optimizasyon (GDO)		GDO (rastgele d ile)	
	NLPQL	DE	NLPQL	DE	NLPQL	DE
Kalınlık (m)						
t ₁	0.0481	0.0479	0.0606	0.0607	0.0675	0.0678
t ₂	0.0314	0.0314	0.0398	0.0399	0.0439	0.0441
t ₃	0.0107	0.0123	0.0145	0.0146	0.0131	0.0135
Yarıçap (m)						
R _{en alt}	9.694	9.830	10.413	10.436	10.500	10.500
R _{en üst}	4.286	4.115	4.346	4.356	4.834	4.866
Ağırlık (kg)*10 ⁶						
	1.5410	1.5460	2.0682	2.0773	2.3526	2.3654

Tablo 2.9. Tek ayaklı deniz platformunun 3 parçalı olarak SAPOS kullanılarak NLPQL ve DE ile gerçekleştirilen performans ölçüsü yaklaşımına dayanan güvenilirliğe dayalı optimizasyon sonuçları

Tasarım değişkenleri	Geleneksel optimizasyon		Güvenilirliğe dayalı optimizasyon (GDO)		GDO (rastgele d ile)	
	NLPQL	DE	NLPQL	DE	NLPQL	DE
Kalınlık (m)						
t_1	0.0481	0.0479	0.0606	0.0610	0.0676	0.0679
t_2	0.0314	0.0314	0.0398	0.0401	0.0440	0.0442
t_3	0.0107	0.0123	0.0145	0.0144	0.0132	0.0138
Yarıçap (m)						
$R_{en\ alt}$	9.694	9.830	10.421	10.339	10.500	10.455
$R_{en\ üst}$	4.286	4.115	4.342	4.398	4.841	4.851
Ağırlık (kg)* 10^6						
	1.5410	1.5460	2.0689	2.0765	2.3552	2.3634



Şekil 2.16. Açık kod (algoritma) ve SAPOS kullanarak tek ayaklı platformun 3 parçalı olarak gerçekleştirilen optimizasyonlarının karşılaştırması

Tablo 2.8 ve 2.9’da verilen sonuçlar Tablo 2.2 ve 2.5’de sunulan sonuçlarla karşılaştırıldığında ulaşılan sonuçların %3’den az oranda farklılık gösterdiği ve bununda pratik açıdan kabul edilebilir sınırlar içerisinde olduğu görülmektedir (Şekil 2.16). Optimizasyon süreçlerinde sistemlerin analizi için SAPOS programı kullanıldığından beklenildiği gibi gereken hesap zamanının algoritmaya göre daha fazla olmaktadır. Ayrıca türev bilgileri algoritmada olduğu gibi doğrudan belirlenemediğinden ve türev hesabı için ileri sonlu farklar denklemi kullanıldığından sonuçların farklılık göstermesi beklenen bir durum olmaktadır. Diğer bir farklı ise lgoritmada yük değerleri hesaplanırken kullanılan formülasyon ile SAPOS’da kullanılan formülasyon arasındaki farklılıktan ileri gelmektedir.

2.5.2. Tek Ayaklı Deniz Platformunun 6 Parçalı Olarak Gerçekleştirilen Optimizasyonları İçin Programın Doğruluğu

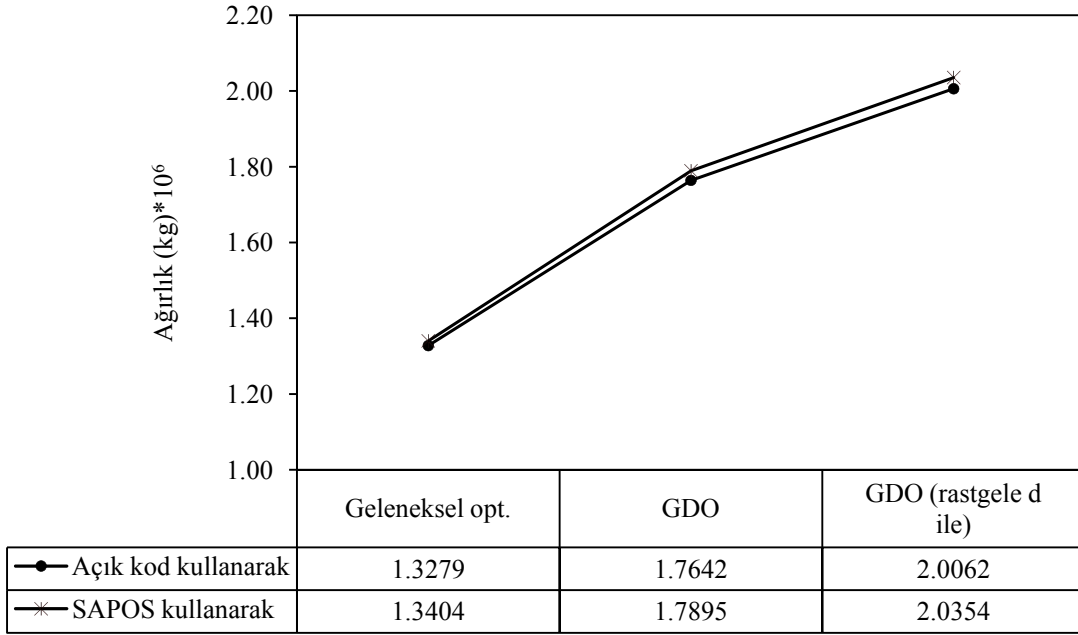
Platformun 6 parçalı olarak SAPOS kullanılarak gerçekleştirilen geleneksel optimizasyon ve güvenilirliğe dayalı optimizasyon (GDO) sonuçları Tablo 2.10 ve 2.11’de verilmektedir. Tablo 2.10 güvenilirlik indeksi yaklaşımı (GİY)’na dayanan güvenilirliğe dayalı optimizasyon, Tablo 2.11 ise performans ölçüsü yaklaşımı (PÖY)’na dayanan güvenilirliğe dayalı optimizasyon sonuçlarını göstermektedir.

Tablo 2.10. Tek ayaklı deniz platformunun 6 parçalı olarak SAPOS kullanılarak NLPQL ve DE ile gerçekleştirilen güvenilirlik indeksi yaklaşımına dayanan güvenilirliğe dayalı optimizasyon sonuçları

Tasarım değişkenleri	Geleneksel optimizasyon		Güvenilirliğe dayalı optimizasyon (GDO)		GDO (rastgele d ile)	
	NLPQL	DE	NLPQL	DE	NLPQL	DE
Kalınlık (m)						
t ₁	0.0460	0.0457	0.0587	0.0592	0.0654	0.0655
t ₂	0.0398	0.0395	0.0509	0.0513	0.0566	0.0567
t ₃	0.0330	0.0329	0.0422	0.0425	0.0468	0.0469
t ₄	0.0257	0.0256	0.0324	0.0327	0.0359	0.0369
t ₅	0.0183	0.0194	0.0221	0.0227	0.0259	0.0254
t ₆	0.010	0.0101	0.0120	0.0112	0.0135	0.0137
Yarıçap (m)						
R _{en alt}	10.092	10.197	10.500	10.422	10.500	10.499
R _{en üst}	4.380	4.243	4.854	4.963	5.250	5.249
Ağırlık (kg)*10 ⁶						
	1.3404	1.3437	1.7895	1.7998	2.0354	2.0548

Tablo 2.11. Tek ayaklı deniz platformunun 6 parçalı olarak SAPOS kullanılarak NLPQL ve DE ile gerçekleştirilen performans ölçüsü yaklaşımına dayanan güvenilirliğe dayalı optimizasyon sonuçları

Tasarım değişkenleri	Geleneksel optimizasyon		Güvenilirliğe dayalı optimizasyon (GDO)		GDO (rastgele d ile)	
	NLPQL	DE	NLPQL	DE	NLPQL	DE
Kalınlık (m)						
t ₁	0.0460	0.0457	0.0587	0.0587	0.0654	0.0657
t ₂	0.0398	0.0395	0.0509	0.0512	0.0566	0.0569
t ₃	0.0330	0.0329	0.0422	0.0423	0.0468	0.0471
t ₄	0.0257	0.0256	0.0324	0.0330	0.0359	0.0366
t ₅	0.0183	0.0194	0.0221	0.0237	0.0263	0.0257
t ₆	0.010	0.0101	0.0120	0.0129	0.0137	0.0129
Yarıçap (m)						
R _{en alt}	10.092	10.197	10.500	10.465	10.500	10.499
R _{en üst}	4.380	4.243	4.856	4.777	5.250	5.247
Ağırlık (kg)*10 ⁶						
	1.3404	1.3437	1.7899	1.8028	2.0387	2.0429



Şekil 2.17. Açık kod (algoritma) ve SAPOS kullanarak tek ayaklı platformun 6 parçalı olarak gerçekleştirilen optimizasyonlarının karşılaştırması

Tablo 2.10 ve 2.11’de verilen sonuçlar algoritma kullanılarak elde edilen ve Tablo 2.3 ve 2.6’da sunulan sonuçlarla karşılaştırıldığında ulaşılan sonuçların %3’den az oranda farklılık gösterdiği görülmektedir. Bu farklılığın kabul edilebilir sınırlar içerisinde uyum gösterdiği görülmektedir (Şekil 2.17).

2.5.3. Tek Ayaklı Deniz Platformunun 12 Parçalı Olarak Gerçekleştirilen Optimizasyonları İçin Programın Doğruluğu

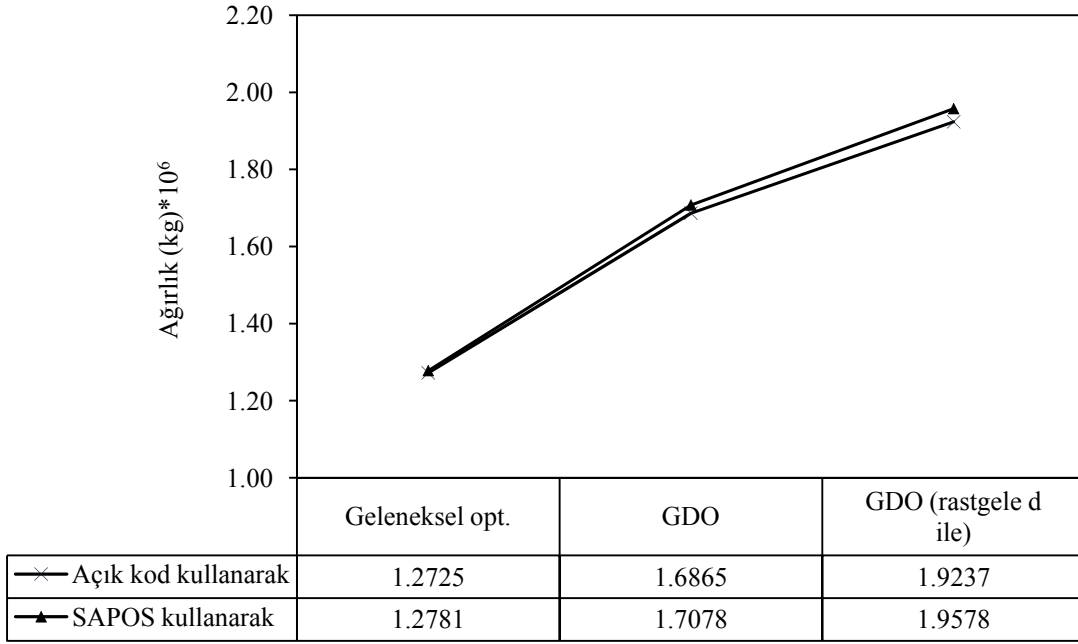
Platformun 12 parçalı olarak SAPOS kullanılarak gerçekleştirilen geleneksel optimizasyon ve güvenilirliğe dayalı optimizasyon (GDO) sonuçları Tablo 2.12 ve 2.13’de verilmektedir. Tablo 2.12 güvenilirlik indeksi yaklaşımı (GİY)’na dayanan güvenilirliğe dayalı optimizasyon, Tablo 2.13 ise performans ölçüsü yaklaşımı (PÖY)’na dayanan güvenilirliğe dayalı optimizasyon sonuçlarını göstermektedir.

Tablo 2.12. Tek ayaklı deniz platformunun 12 parçalı olarak SAPOS kullanılarak NLPQL ve DE ile gerçekleştirilen güvenilirlik indeksi yaklaşımına dayanan güvenilirliğe dayalı optimizasyon sonuçları

Tasarım değişkenleri	Geleneksel optimizasyon		Güvenilirliğe dayalı optimizasyon (GDO)		GDO (rastgele d ile)	
	NLPQL	DE	NLPQL	DE	NLPQL	DE
Kalınlık (m)						
t ₁	0.0447	0.0441	0.0580	0.0578	0.0635	0.0642
t ₂	0.0417	0.0415	0.0543	0.0542	0.0595	0.0597
t ₃	0.0389	0.0385	0.0504	0.0505	0.0552	0.0554
t ₄	0.0357	0.0354	0.0463	0.0461	0.0506	0.0524
t ₅	0.0324	0.0323	0.0419	0.0418	0.0458	0.0465
t ₆	0.0289	0.0292	0.0372	0.0373	0.0437	0.0428
t ₇	0.0252	0.0254	0.0323	0.0325	0.0373	0.0406
t ₈	0.0217	0.0216	0.0271	0.0270	0.0362	0.0345
t ₉	0.0181	0.0193	0.0220	0.0244	0.0288	0.0329
t ₁₀	0.0152	0.0167	0.0182	0.0187	0.0224	0.0242
t ₁₁	0.0111	0.0139	0.0129	0.0132	0.0174	0.0156
t ₁₂	0.010	0.0104	0.010	0.0105	0.0114	0.0101
Yarıçap (m)						
R _{en alt}	10.500	10.500	10.500	10.499	10.500	10.499
R _{en üst}	4.213	4.083	5.103	5.043	5.250	5.249
Ağırlık (kg)*10 ⁶						
	1.2781	1.2876	1.7078	1.7157	1.9578	1.9868

Tablo 2.13. Tek ayaklı deniz platformunun 12 parçalı olarak SAPOS kullanılarak NLPQL ve DE ile gerçekleştirilen performans ölçüsü yaklaşımına dayanan güvenilirliğe dayalı optimizasyon sonuçları

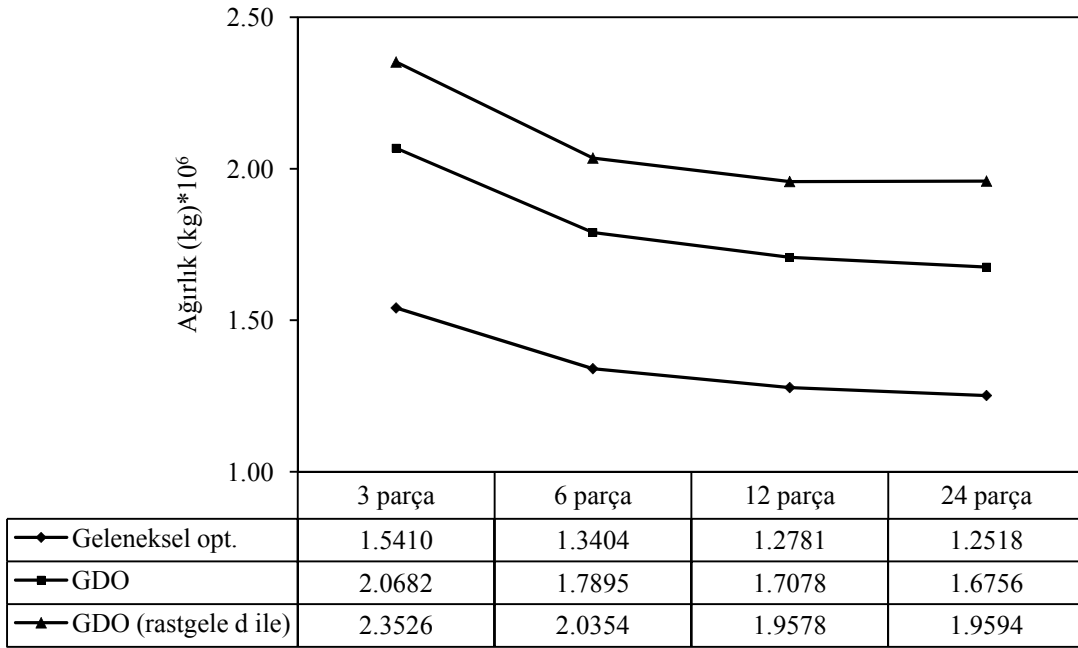
Tasarım değişkenleri	Geleneksel optimizasyon		Güvenilirliğe dayalı optimizasyon (GDO)		GDO (rastgele d ile)	
	NLPQL	DE	NLPQL	DE	NLPQL	DE
Kalınlık (m)						
t ₁	0.0447	0.0441	0.0581	0.0579	0.0635	0.0641
t ₂	0.0417	0.0415	0.0543	0.0551	0.0595	0.0609
t ₃	0.0389	0.0385	0.0504	0.0501	0.0552	0.0560
t ₄	0.0357	0.0354	0.0463	0.0478	0.0506	0.0514
t ₅	0.0324	0.0323	0.0419	0.0417	0.0458	0.0465
t ₆	0.0289	0.0292	0.0372	0.0371	0.0407	0.0433
t ₇	0.0252	0.0254	0.0323	0.0328	0.0372	0.0389
t ₈	0.0217	0.0216	0.0271	0.0289	0.0354	0.0363
t ₉	0.0181	0.0193	0.0220	0.0271	0.0288	0.0298
t ₁₀	0.0152	0.0167	0.0182	0.0185	0.0275	0.0230
t ₁₁	0.0111	0.0139	0.0129	0.0144	0.0148	0.0168
t ₁₂	0.010	0.0104	0.010	0.010	0.010	0.0113
Yarıçap (m)						
R _{en alt}	10.500	10.500	10.500	10.477	10.500	10.499
R _{en üst}	4.213	4.083	5.105	4.945	5.250	5.248
Ağırlık (kg)*10 ⁶						
	1.2781	1.2876	1.7092	1.7314	1.9469	1.9869



Şekil 2.18. Açık kod (algoritma) ve SAPOS kullanarak tek ayaklı platformun 12 parçalı olarak gerçekleştirilen optimizasyonlarının karşılaştırması

Tablo 2.12 ve 2.13’de verilen sonuçlar Tablo 2.4 ve 2.7’de sunulan sonuçlarla karşılaştırıldığında ulaşılan sonuçların en çok %3.5 oranında farklılık gösterdiği ve bu farkında pratik açıdan kabul edilebilir sınırlar içerisinde uyum gösterdiği görülmektedir (Şekil 2.18).

Çalışmada sistematik olarak tek ayaklı platformun güvenilirliğe dayalı optimizasyon (GDO)’unun gerçekleştirilmesine yönelik bilgilerin elde edilmesi için platform öncelikle basit olarak (3 parça) ele alınmıştır. GDO için gerekli gözlemler elde edildikten sonra problem parça (eleman) sayısı artırılarak büyütülmüştür. Parça sayısına bağlı olarak platformun sonlu elemanlar modeli de hassaslaştığından Şekil 2.19’da da gösterildiği gibi parça sayısına göre elde edilen sonuçların değişimi incelenmiştir. Şekil 2.19’dan da görülebildiği gibi parça sayısının 12 ve 24 olması durumunda elde edilen sonuçların artık yatay bir seyir göstermesi nedeni 12 ve 24 parçalı sonlu elemanlar modelinin platform için yeterli olduğu görülmektedir. Dolayısı ile platformun 12 parçalı olarak incelenmesi kabul edilebilir olmaktadır.



Şekil 2.19. Tek ayaklı platform için eleman sayısının sonuçlara etkisi

Şekil 2.17, 2.18 ve 2.19 aracılığı yapılan karşılaştırmalardan Şekil 2.15’de akış diyagramı, bölüm 2.4’de ana ve alt programları açıklanan ve çalışmada geliştirilen programın deniz platformlarının hem geleneksel hem de güvenilirliğe dayalı optimizasyon (GDO)’larında kullanılabilir olduğu görülmektedir.

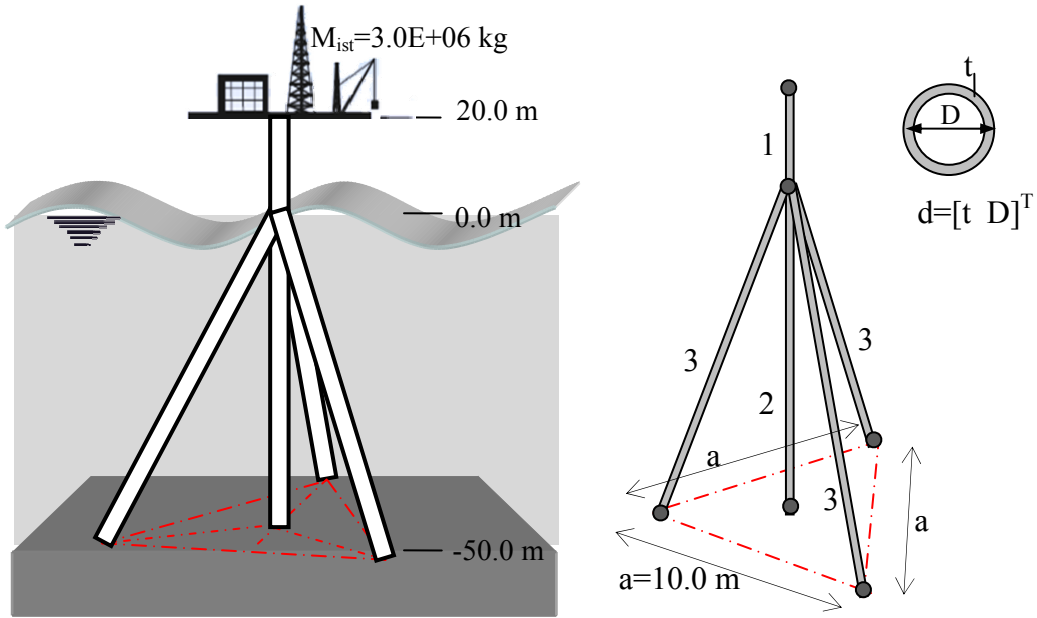
Çalışmada SAPOS kullanılarak geliştirilen GDO işlem dizisi, üç ayaklı ve ceket tipi gibi farklı tipteki deniz platformlarının optimizasyonlarında kullanılmaktadır

2.6. Üç Ayaklı ve Ceket Tipi Deniz Platformlarının SAPOS Kullanılarak Gerçekleştirilen Güvenilirliğe Dayalı Optimizasyonları

Doğruluğu algoritma ile elde edilen sonuçlarla gösterilen SAPOS (Stochastic Analysis Program for Offshore Structures, Karadeniz 1994) kullanılarak geliştirilen güvenilirliğe dayalı optimizasyon (GDO) işlem dizisi, tek ayaklı deniz platformu gibi denizlerde gözlem, araştırma ve petrol, doğal gaz vb. yeraltı kaynaklarının çıkartıldığı istasyonlar olarak hizmet veren diğer tipteki üç ayaklı ve ceket tipi deniz platformlarının optimizasyonlarında da kullanılmaktadır.

2.6.1. Üç Ayaklı Deniz Platformu

Şekil 2.20’de görülen üç ayaklı deniz platformu dalga yükleri, üzerindeki istasyon yükü ile kendi ağırlığı etkisi altındadır. Sistem elemanları kalınlığı ve çapı tasarım değişkeni olarak dikkate alınan ve Şekil 2.20’deki gösterildiği gibi olan içi boş daire kesitli profillerden oluşmaktadır. Sistem elemanları Şekil 2.20’de de gösterildiği gibi 3 farklı grupta toplanmaktadır. Dolayısı ile optimizasyon probleminde 6 adet bağımsız tasarım değişkeni söz konusudur. Sistemin güvenilirliğe dayalı optimizasyonunda rastgele olarak dikkate alınan değişkenler Tablo 2.1’de verildiği gibidir. Ancak burada istasyon yükünün beklenen değeri için $3.0E+06$ kg değeri dikkate alınmıştır.



Şekil 2.20. Üç ayaklı deniz platformu ve eleman grupları

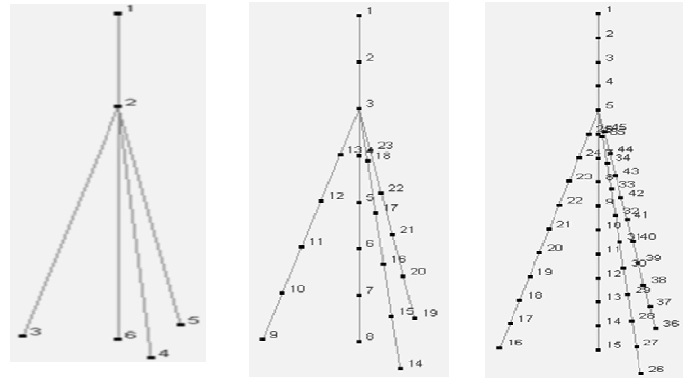
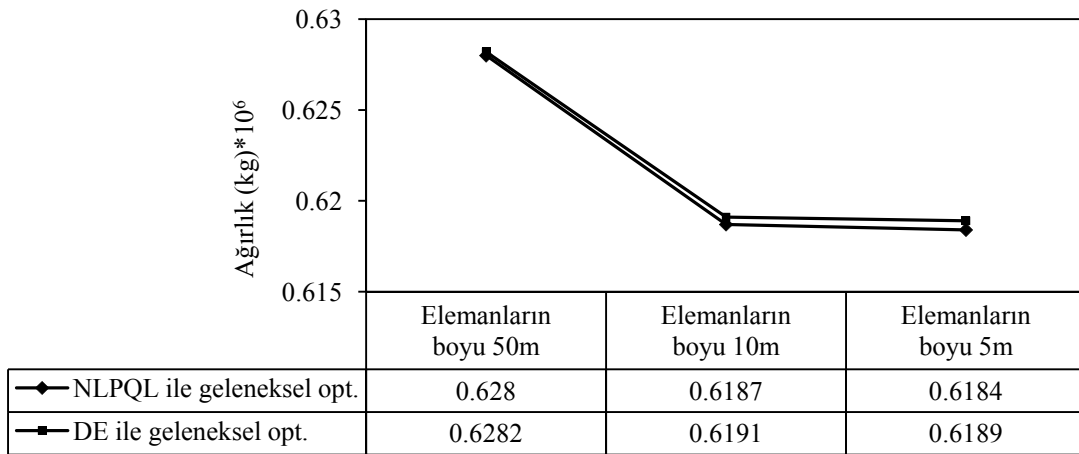
Bu veriler ışığında üç ayaklı deniz platformunun güvenilirliğe dayalı optimizasyon (GDO) probleminin amaç fonksiyonu platformun ağırlığı, sınırlayıcıları ise gerilme, burkulma ve doğal frekansa ait güvenilirlik sınırlayıcılarıdır. Bu sınırlayıcılara ait sınır durum fonksiyonları tek ayaklı deniz platformunun optimizasyonunda verildiği gibidir. GDO problemi için eğer tasarım değişkenleri rastgele olarak dikkate alınmaz ise 6 adet, rastgele olarak dikkate alınır ise 12 adet rastgele değişken söz konusu olmaktadır. Tasarım değişkenlerinin rastgele olarak dikkate alınmaları durumunda *%5 değişim katsayılı normal*

dağılıma sahip oldukları kabulü yapılmaktadır. Tasarım değişkenleri için tanımlanan değer aralıkları aşağıdaki gibidir.

$$0.01m \leq t_i \leq 0.10m \quad 1.0m \leq D_i \leq 10.0m \quad i = 1, 2, 3 \quad (2.46)$$

Üç ayaklı deniz platformunun güvenilirliğe dayalı optimizasyon (GDO)'u sonucunda 2 nolu eleman grubuna ait tasarım değişkenlerinin tanımlanan en az değerleri aldıkları gözlenmiş ve daha uygulanabilir tasarım için 1 nolu eleman grubunun çapının 2 nolu eleman grubununkinden büyük olmamasını sağlayacak biçimde GDO'su yapılmıştır (Karadeniz vd., 2009). Çalışmada üç ayaklı deniz platformu için gerçekleştirilen optimizasyonlarda bu sonuç dikkate alınmaktadır ve 1 nolu eleman grubunun çapının 2 nolu eleman grubununkinden büyük olmaması sağlanmaktadır.

Şekil 2.21'de sistem için dikkate alınan sonlu eleman modellerinin geleneksel optimizasyon sonucuna etkisi verilmektedir.



Şekil 2.21. Üç ayaklı platformu için eleman boylarının sonuçlara etkisi

Şekil 2.21'den her bir eleman grubunu oluşturan elemanların boyları için 10m'lik değerin, platformun optimizasyonlarında dikkate alınmasının yeterli olduğu görülmektedir.

Çalışmada SAPOS kullanılarak geliştirilen güvenilirliğe dayalı optimizasyon (GDO) işlem dizisi ile üç ayaklı deniz platformu için gerçekleştirilen optimizasyonlarının sonuçları Tablo 2.14 ve 2.15'de verilmektedir. Tablo 2.14 ve Tablo 2.15 sırasıyla platformun güvenilirlik indeksi yaklaşımı (GIY)'na ve performans ölçüsü yaklaşımı (PÖY)'na dayalı olarak gerçekleştirilen GDO sonuçlarını göstermektedir. Tablo 2.14 ve Tablo 2.15'in 2. ve 3. sütunları geleneksel optimizasyon sonuçlarını, 4. ve 5. sütunları Tablo 2.1'de verilen rastgele değişkenlerle elde edilen GDO sonuçlarını, 6. ve 7. sütunları ise Tablo 2.1'de verilen rastgele değişkenlere ilaveten tasarım değişkenlerinin de rastgele değişken olarak alınması ile elde edilen GDO sonuçlarını vermektedir. NLPQL kullanılarak gerçekleştirilen optimizasyonlarında dikkate alınan başlangıç değerleri ise geleneksel optimizasyon için kalınlıklar 0.020m çaplar 3.50m, GDO için kalınlıklar 0.020m eleman gruplarının çapları sırası ile 5.0, 6.0 ve 3.50m olarak dikkate alınmıştır.

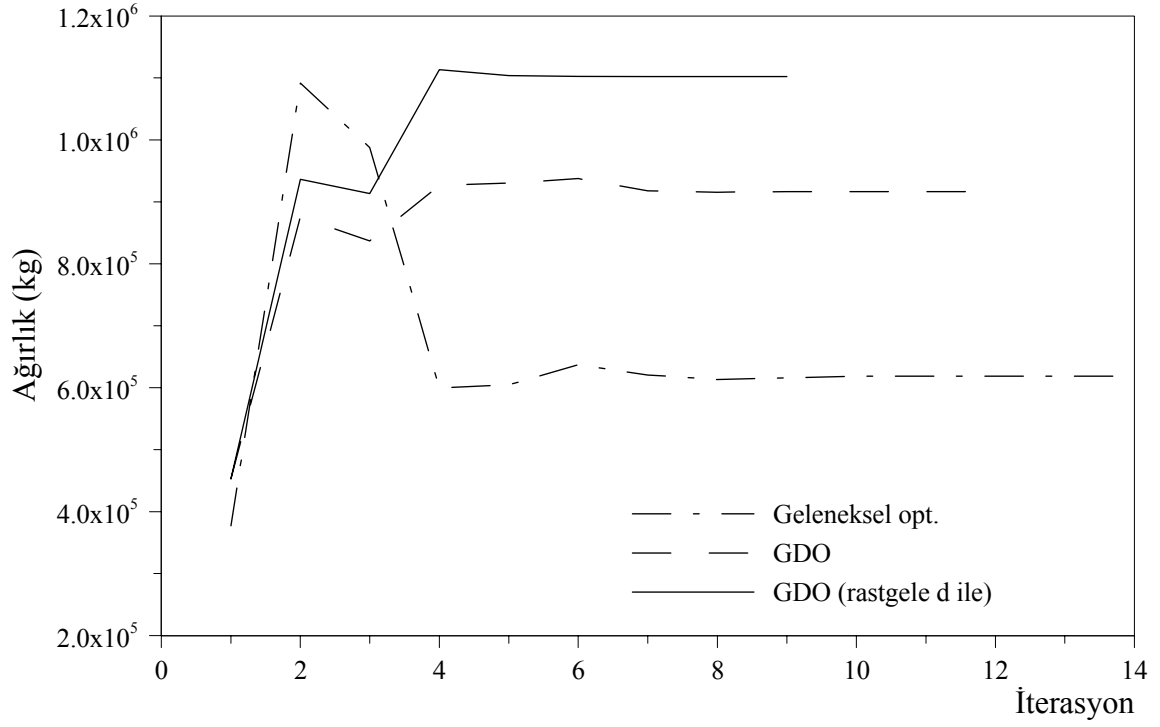
Tablo 2.14. Üç ayaklı deniz platformunun SAPOS kullanılarak NLPQL ve DE ile gerçekleştirilen güvenilirlik indeksi yaklaşımına dayanan güvenilirliğe dayalı optimizasyon sonuçları

Tasarım değişkenleri d	Geleneksel optimizasyon		Güvenilirliğe dayalı optimizasyon (GDO)		GDO (rastgele d ile)	
	NLPQL	DE	NLPQL	DE	NLPQL	DE
Kalınlık (m)						
t ₁	0.0121	0.0122	0.0178	0.0189	0.0161	0.0167
t ₂	0.0429	0.0428	0.0651	0.0647	0.0376	0.0378
t ₃	0.010	0.010	0.010	0.010	0.0242	0.0241
Çap (m)						
D ₁	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	9.993
D ₂	10.0	10.0	10.0	9.999	10.0	10.0
D ₃	1.00	1.00	1.00	1.00	6.338	6.317
Ağırlık (kg)*10 ⁶						
	0.6187	0.6191	0.9167	0.9175	1.1025	1.1047

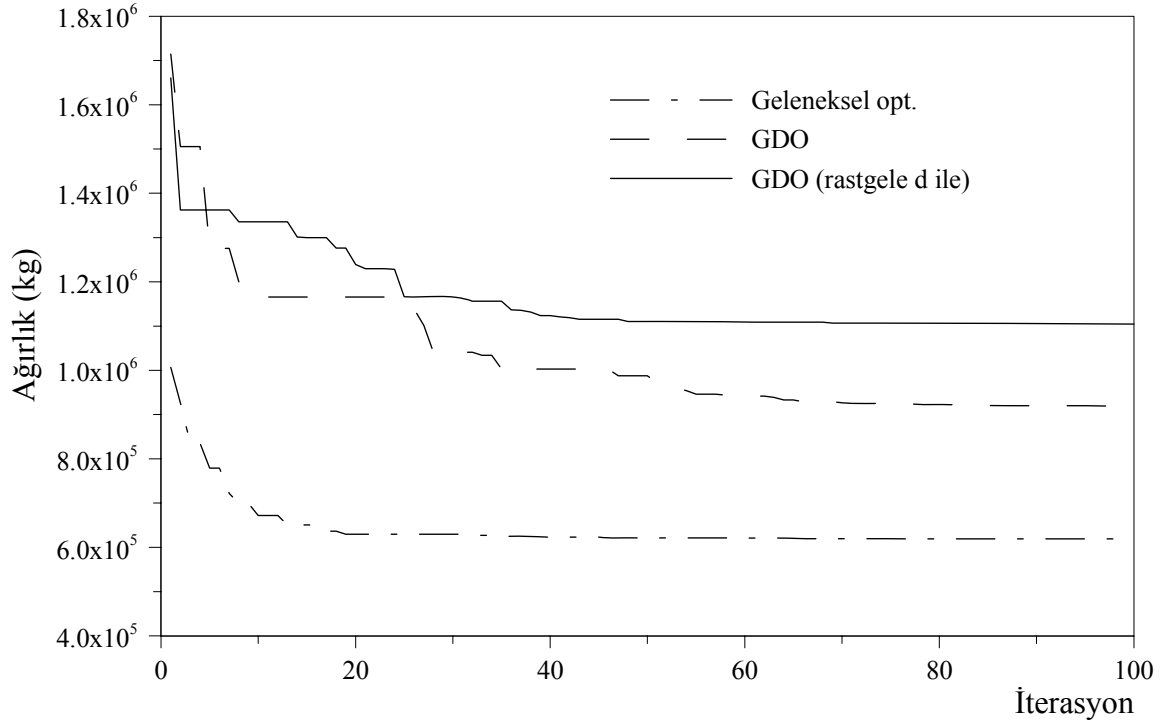
Tablo 2.15. Üç ayaklı deniz platformunun SAPOS kullanılarak NLPQL ve DE ile gerçekleştirilen performans ölçüsü yaklaşımına dayanan güvenilirliğe dayalı optimizasyon sonuçları

Tasarım değişkenleri	Geleneksel optimizasyon		Güvenilirliğe dayalı optimizasyon (GDO)		GDO (rastgele d ile)	
	NLPQL	DE	NLPQL	DE	NLPQL	DE
Kalınlık (m)						
t ₁	0.0121	0.0122	0.0178	0.0177	0.0158	0.0164
t ₂	0.0429	0.0428	0.0651	0.0652	0.0376	0.0378
t ₃	0.010	0.010	0.010	0.010	0.0242	0.0243
Çap (m)						
D ₁	10.0	10.0	10.0	9.999	10.0	9.954
D ₂	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	9.981
D ₃	1.00	1.00	1.00	1.00	6.343	6.309
Ağırlık (kg)*10 ⁶						
	0.6187	0.6191	0.9164	0.9164	1.1023	1.1066

DE kullanılarak gerçekleştirilen optimizasyonlarda ise 20 adetlik bir popülasyon ile maksimum 100 iterasyon, mutasyon oranı olarak $F=0.70$, çaprazlama oranı olarak $C_r=0.85$ değerleri dikkate alınmıştır. Platformun ağırlığının NLPQL ve DE ile gerçekleştirilen geleneksel optimizasyon ve güvenilirliğe dayalı optimizasyon (GDO) sürecindeki değişimleri sırası ile Şekil 2.22’de verilmektedir. Dikkate alınan tasarım değişkenlerinin ve güvenilirlik sınırlayıcılarının güvenilirlik indeksi yaklaşımı (GİY) ve performans ölçüsü yaklaşımı (PÖY)’na dayanan GDO sürecindeki değişimleri ise sırası ile Şekil 2.23 ve Şekil 2.24’de gösterilmektedir. Üç ayaklı deniz platformunun NLPQL ve DE kullanılarak gerçekleştirilen GİY ve PÖY’e dayanan GDO’ları sürecinde yapılan toplam güvenilirlik analizi miktarlarının ve GDO’lar için gerekli hesap zamanının değişimi sırası ile Şekil 2.25 ve 2.26’da karşılaştırmalı olarak verilmektedir.

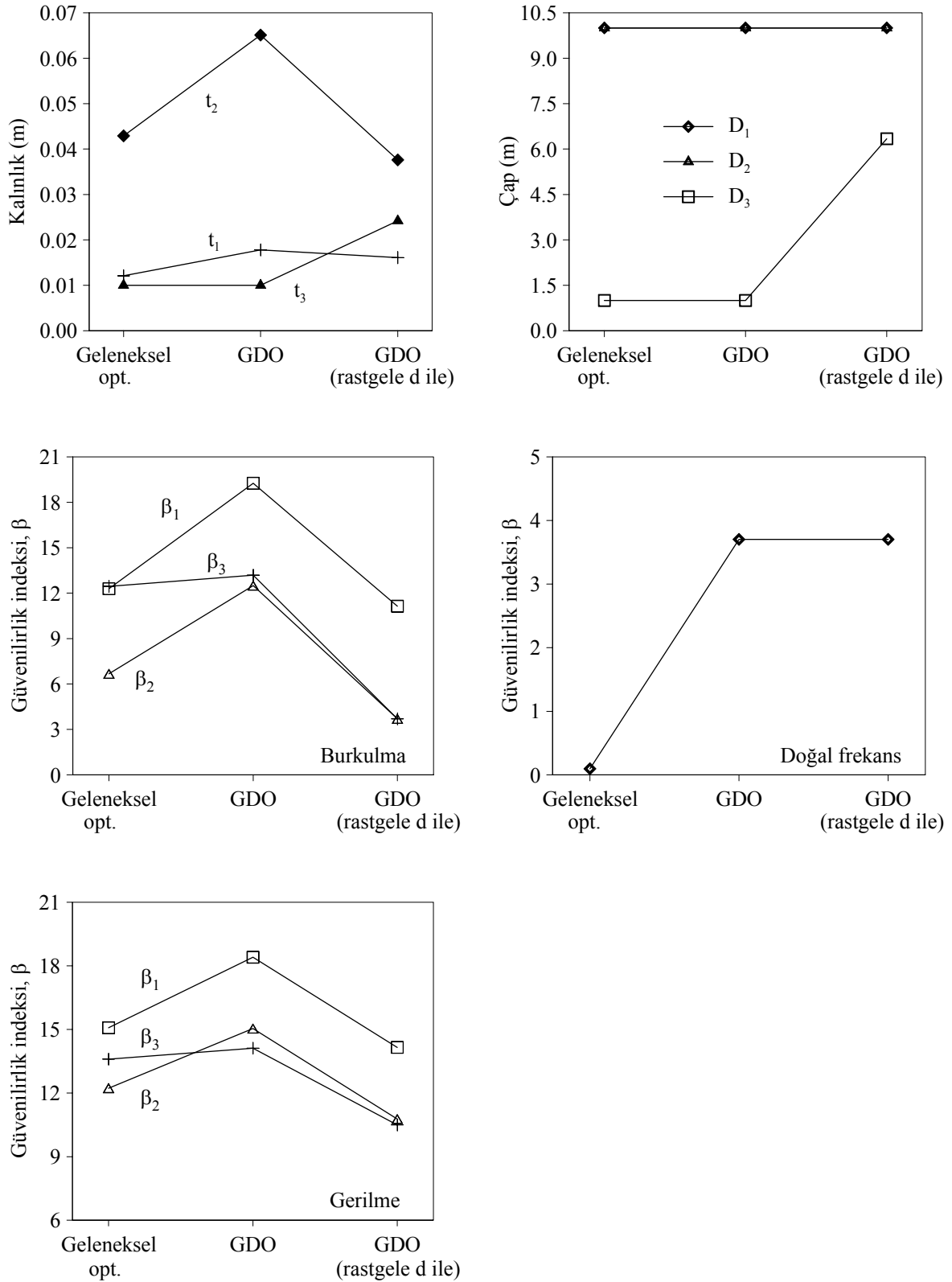


a. NLPQL

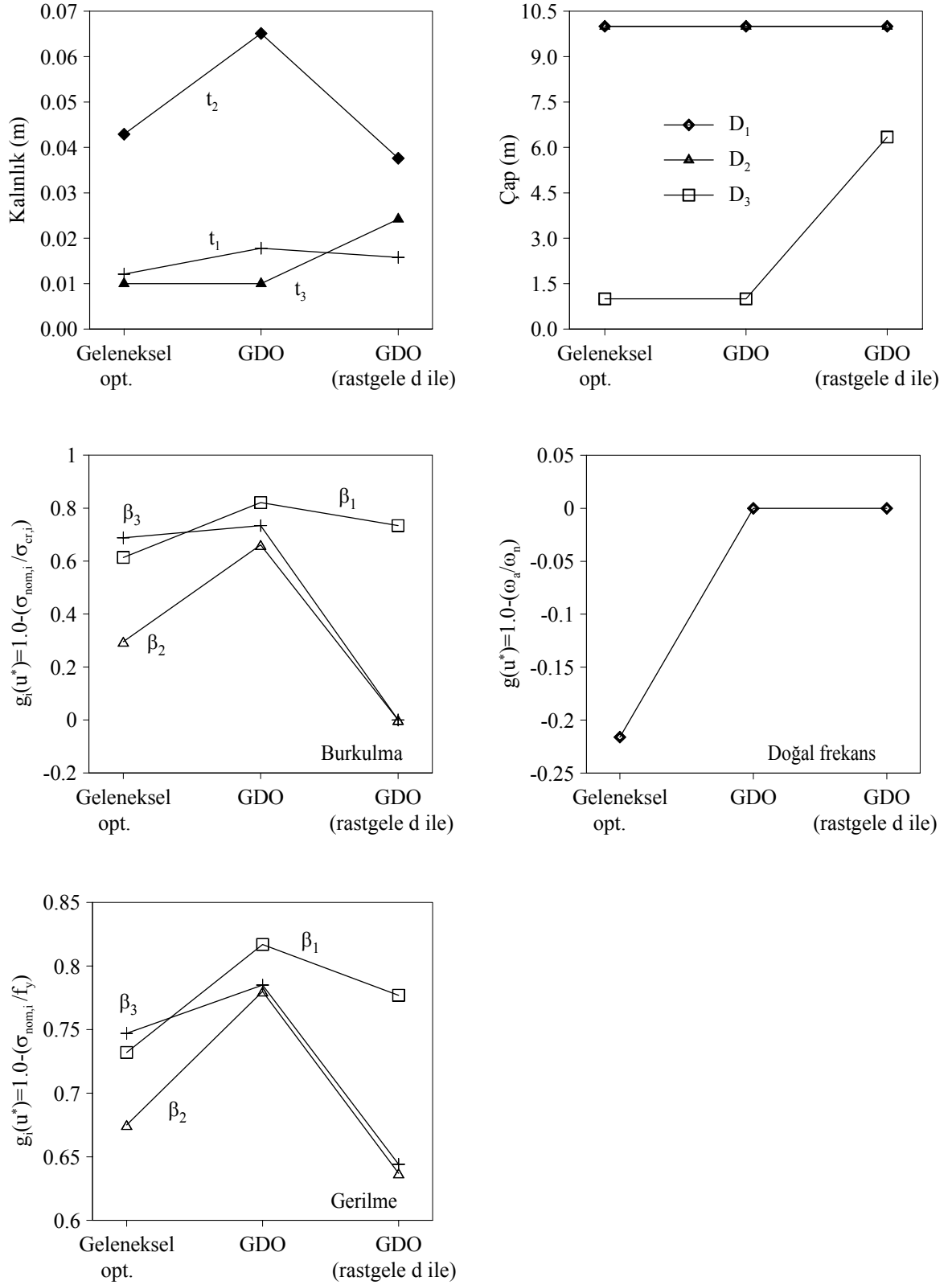


b. DE

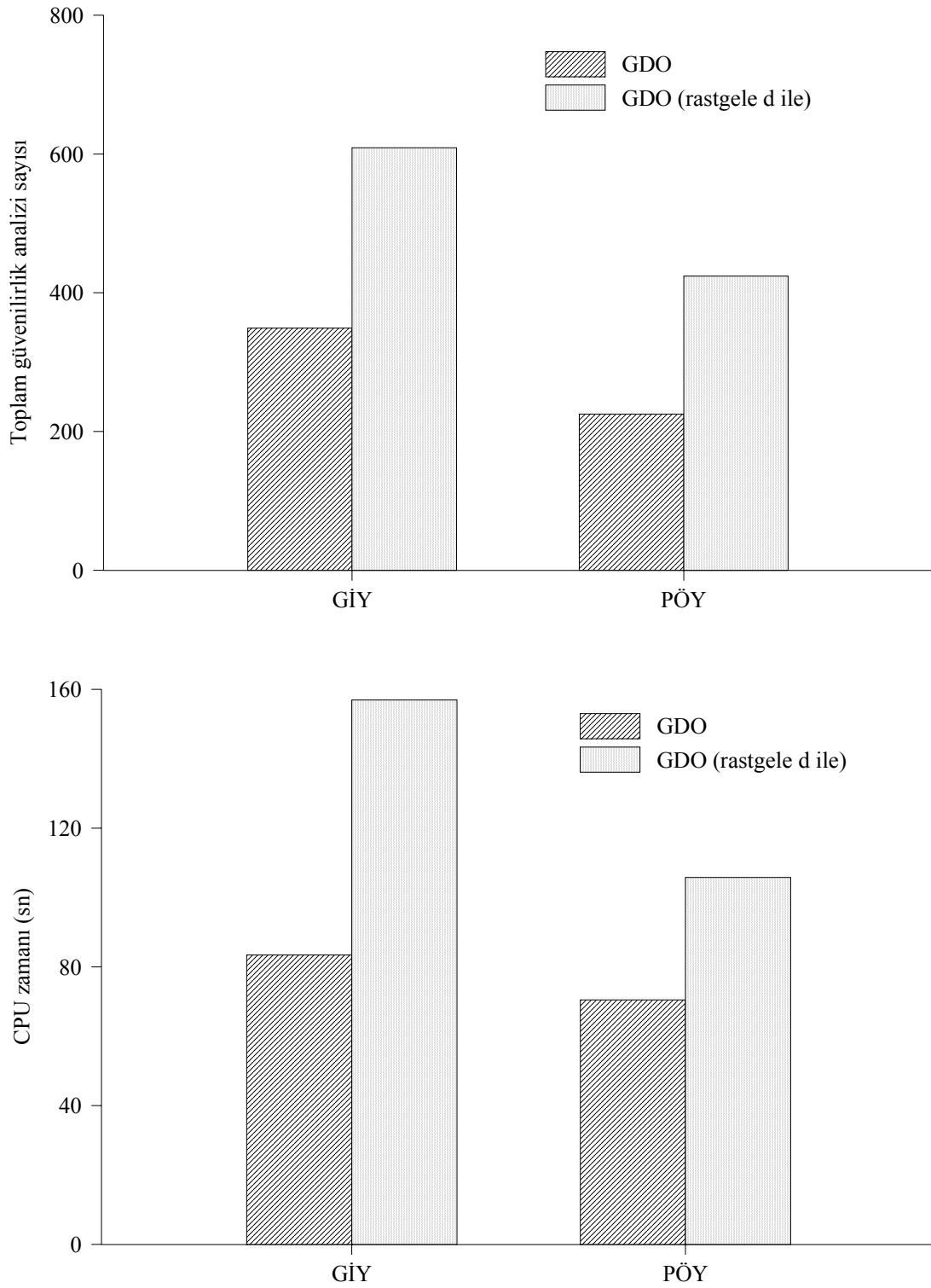
Şekil 2.22. Üç ayaklı deniz platformunun gerçekleştirilen optimizasyon süreçlerine dair ağırlığının değişimi



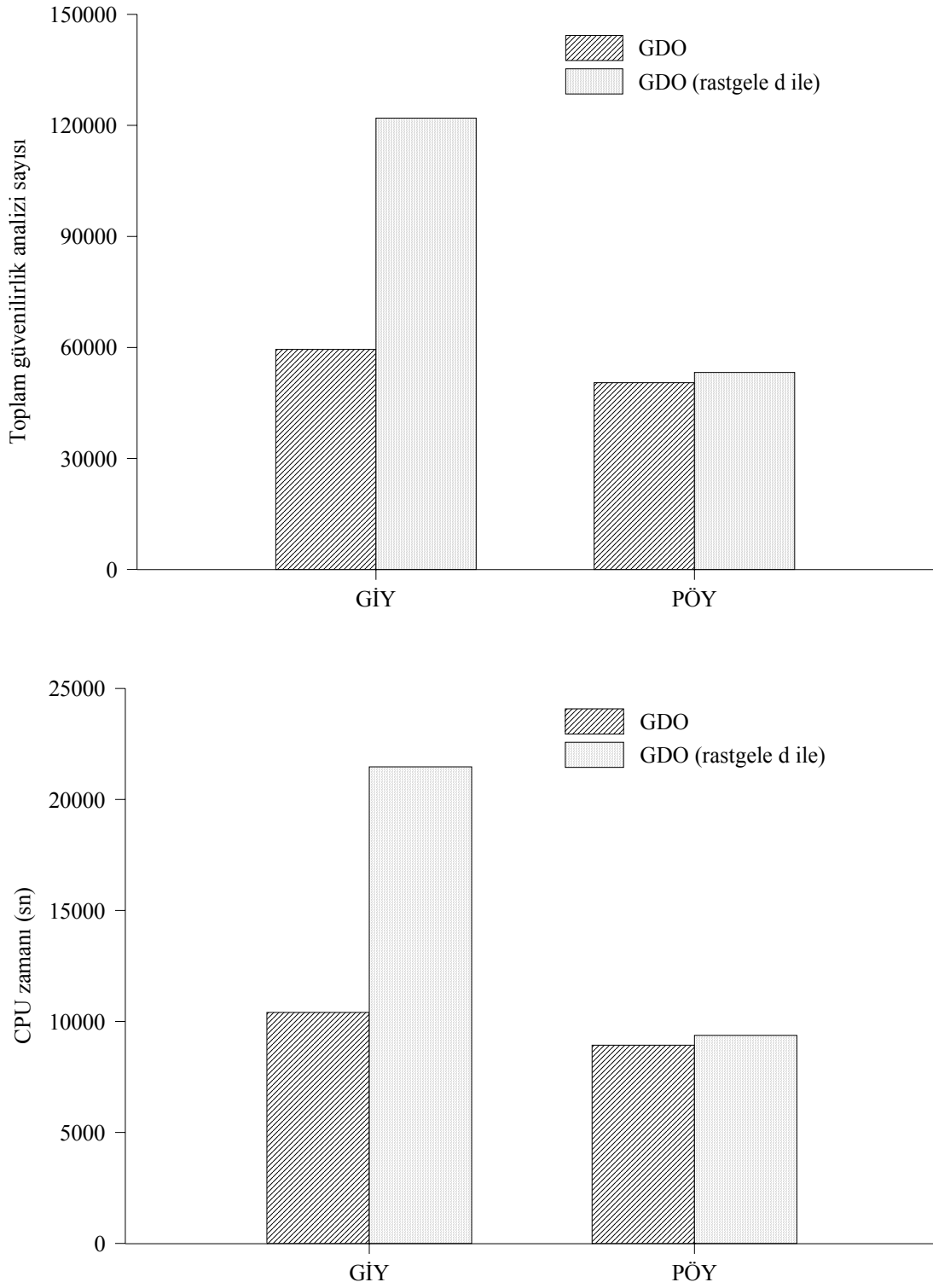
Şekil 2.23. Üç ayaklı deniz platformuna ilişkin gerçekleştirilen optimizasyon sonuçlarının değişimi (güvenilirlik indeksi yaklaşımına dayanan güvenilirliğe dayalı optimizasyon için)



Şekil 2.24. Üç ayaklı deniz platformuna ilişkin gerçekleştirilen optimizasyon sonuçlarının değişimi (performans ölçüsü yaklaşımına dayanan güvenilirliğe dayalı optimizasyon için)



Şekil 2.25. Üç ayaklı deniz platformun NLPQL kullanarak gerçekleştirilen güvenilirlik indeksi yaklaşımı ve performans ölçüsü yaklaşımına dayanan güvenilirliğe dayalı optimizasyonu için toplam güvenilirlik analizi sayısı ve CPU zamanı

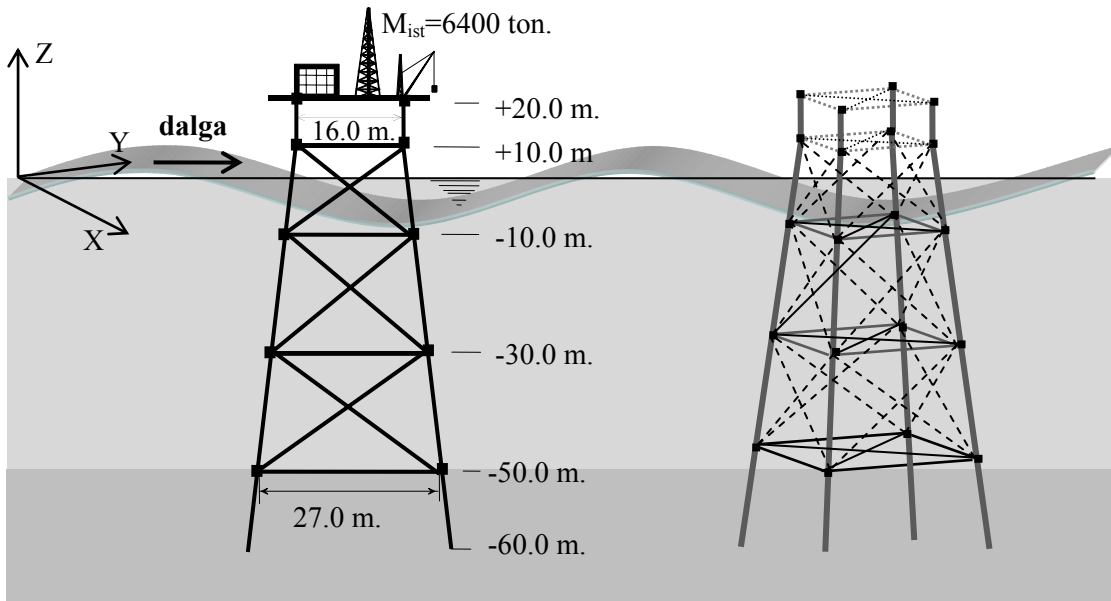


Şekil 2.26. Üç ayaklı deniz platformun DE kullanarak gerçekleştirilen güvenilirlik indeksi yaklaşımı ve performans ölçüsü yaklaşımına dayanan güvenilirliğe dayalı optimizasyonu için toplam güvenilirlik analizi sayısı ve CPU zamanı

Sunulan Tablo 2.14, 2.15 ve Şekil 2.22, 2.23, 2.24, 2.25, 2.26 ışığında üç ayaklı deniz platformunun NLPQL ve DE kullanılarak gerçekleştirilen optimizasyonlarından şu sonuçları çıkarmak mümkündür. Parametrelerdeki belirsizliklerin olasılık teorisi aracılığı ile rastgele değişken olarak dikkate alınmaları durumunda edilen platform ağırlığı geleneksel yolla elde edilen platform ağırlığından daha fazladır. Geleneksel optimizasyonla elde edilen sonuçlar aktif sınırlayıcılar için istenilen güvenilirlik düzeyini sağlamamaktadırlar. GDO istenilen güvenilirlik düzeyinde sonuçlar üretmektedir. Gerek geleneksel optimizasyon gerekse GDO için sadece doğal frekansa ait sınırlayıcı aktif olmaktadır. Ancak d’de rastgele değişken olarak dikkate alındığı GDO sonucunda ulaşılan çözüm için burkulma (birinci eleman grubuna ait olan sınırlayıcı hariç) ve doğal frekansa ait güvenilirlik sınırlayıcıları aktif olmaktadır. Bu durumda sınırlayıcıların sağlanması için tasarım daha büyük en kesit değerleri almaktadır. Ancak hem birinci hem de ikinci eleman grubuna ait çap değerleri izin verilen en büyük değerde olduklarından bu isteğe 3. eleman grubuna ait çapın artırılması ile cevap verilmektedir. Artan çap değeri kalınlıkların azalmasına dolayısı ile de daha önceki durumlar için aktif olmayan burkulma sınırlayıcısının aktif olmasına sebep vermektedir. Bu da göstermektedir ki optimizasyon için belirlenen tasarım değişkenlerinin de rastgele olarak dikkate alınması alınmaması durumuna göre farklı sonuç vermektedir. Optimizasyon için kullanılan matematiksel ve sezgisel tabanlı yöntemler farklı hesap zamanı gerektirmelerine rağmen aynı sonuçları üretmektedirler. Güvenilirlik indeksi yaklaşımı (GİY)’na dayanan güvenilirliğe dayalı optimizasyon (GDO) performans ölçüsü yaklaşımı (PÖY)’na dayanan GDO’ya göre sınırlayıcıların kontrolü için daha fazla miktarda güvenilirlik analizine ihtiyaç duymaktadır. Daha öncede bahsedildiği üzere bunun nedeni GİY için gerçekleştirilen birinci dereceden güvenilirlik yöntemi (BDGY)’ne dayanan güvenilirlik analizinde sınır durum fonksiyonunun standart normal uzaydaki yüzeyinin değişen parametre değerleri için değişmesidir. Oysaki PÖY için gerçekleştirilen BDGY’e dayanan tersine güvenilirlik analizinde, istenilen güvenilirlik indeksine ait yüzey standart normal uzayda sabit ve yarıçapı bu indeks değerine eşit bir daire olmaktadır (Tu 1999; Ramu vd. 2006; Tu vd. 1999). Bu da PÖY’e dayalı GDO süreci için gerekli toplam güvenilirlik analizi miktarını dolaylı olarak da çözüme ulaşma süresini azaltmaktadır. Gerek istenilen güvenilirlik seviyesinin gerekse de rastgele değişkenlerdeki belirsizliklerin artması GDO sürecinin daha ağır sonuçlar üretmesine yol açmaktadır.

2.6.2. Ceket Tipi Deniz Platformu

Şekil 2.27’de verilen ceket tipi deniz platformu, araştırma ve petrol, doğal gaz vb. yeraltı kaynaklarının çıkartıldığı istasyonlar olarak hizmet veren diğer tipteki (tek ve üç ayaklı) platformlar gibi sıklıkla tercih edilen bir platform tipidir. Daha önceki örneklerde bahsedildiği üzere platform dalga yükü, kendi ağırlığı ve üzerinde yer alan istasyon yükü etkisi altındadır. Platformun elemanları 74 adet olup Şekil 2.27’de gösterildiği gibi 4 ayrı grupta toplanmaktadır. +20.0m ile -50.0m kodu arasındaki düşey elemanlar 1. grubu, +20.0m ile +10.0m kodu arasındaki yatay elemanlar ve diyagonaller 2. grubu, +20.0m ile -50.0m kodu arasındaki düşey diyagonaller 3. grubu, +20.0m ile -50.0m kodu arasındaki yatay diyagonaller ve elemanlar 4. grubu oluşturmaktadır. Sistem eleman grupları kalınlığı ve çapı tasarım değişkeni olarak dikkate alınan içi boş daire kesitli profillerden oluşmaktadır (bkz Şekil 2.20). Platformun -50.0m seviyesinde -60.0m kadar uzanan ayaklar üzerine oturduğu kabul edilmektedir. Bu veriler ışığında ceket tipi deniz platformunun güvenilirliğe dayalı optimizasyon (GDO) problemi aşağıdaki gibi özetlenebilir.



Şekil 2.27. Ceket tipi deniz platformu ve eleman gruplandırması

$$\begin{aligned}
& \text{bul} \quad d = \mu_d \\
& \text{min} \quad W(d) = \rho_s \sum_{i=1}^{ns} A_{s,i} L_{e,i} \quad (2.47) \\
& \text{öyleki} \quad P(g_j(d, X) \leq 0) \leq \bar{P}_{f,j} \quad j = 1, \dots, 2ns + 1
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
g_j(d, X) &= f_y - \sigma_{nom,i} & i, j &= 1, \dots, ns \\
g_j(d, X) &= \sigma_{cr,i} - \sigma_{nom,i} & i &= 1, \dots, ns \quad j = ns + 1, \dots, 2ns \\
g_j(d, X) &= \omega_n - \omega_a & j &= 2ns + 1
\end{aligned} \quad (2.48)$$

$$0.01m \leq t_i \leq 0.050m \quad 1.0m \leq D_i \leq 3.50m \quad i = 1, \dots, ns \quad (2.49)$$

Denklem (2.47), (2.48) ve (2.49)'da ns sistemin elemanlarının toplandığı eleman grup sayısını, Denklem (2.48)'de $g_j(\cdot)$ ise sırası ile güvenilirlik sınırlayıcısı olarak dikkate alınan gerilme, burkulma ve doğal frekansa ait sınır durum fonksiyonlarını ifade etmektedir. Tasarım değişkeni vektörü d her bir eleman grubunun kalınlıkları t_i ($i=1, \dots, ns$) ile çaplarının D_i ($i=1, \dots, ns$) sayısal ortalama değerlerinden oluşmaktadır. Tasarım değişkenleri için tanımlanan değer aralıkları Denklem (2.49)'da verilmektedir. Tablo 2.16'da platformun güvenilirliğe dayalı optimizasyon (GDO)'unda rastgele olarak alınan parametrelerin ve diğer parametrelerin istatistiksel dağılımları ve bu dağılımlara ait özellikleri verilmektedir. Tablo 2.16'dan da görüldüğü üzere çalışmada incelenen diğer iki örnekten farklı olarak bu örnek için 1 adet yeni rastgele değişken daha dikkate alınmaktadır. Elemanlar için dikkate alınan çap değerleri diğer iki örneğe nazaran daha küçük değerlerde olduğundan sürüklenme kuvveti etkisi diğer iki örneğin aksine ihmal edilemez olmaktadır. GDO problemi için eğer tasarım değişkenleri rastgele olarak dikkate alınmaz ise 7 adet, rastgele olarak dikkate alınırlarsa 15 adet rastgele değişken söz konusu olmaktadır. Tasarım değişkenlerinin rastgele olarak dikkate alınmaları durumunda %6 *değişim katsayılı lognormal dağılıma* sahip oldukları kabulü yapılmaktadır.

Tablo 2.16. Ceket tipi deniz platformunun güvenilirliğe dayalı optimizasyonunda kullanılan parametreler

Simge	Tanımı	Sayısal ortalama μ	Değişim katsayısı σ/μ	İstatistiksel dağılım
ρ_s	Çeliğin yoğunluğu	7800 kg/m ³	-	-
ρ_{su}	Suyun yoğunluğu	1024 kg/m ³	-	-
d_{su}	Suyun derinliği	50 m	-	-
h_s	Platformun yüksekliği	70.0 m	-	-
ν	Poisson oranı	0.30	-	-
f_y	Akma dayanımı	450.0e6 Pa	0.06	Lognormal
E	Elastisite modülü	2.10e9 Pa	0.05	Lognormal
M_{ist}	İstasyon yükü	6.40e6 kg	0.10	Lognormal
H_{mak}	Maksimum dalga yüksekliği	22.73 m	0.05	Weibull
α_{dalga}	Dalga dikliği	0.06	0.125	Lognormal
c_m	Atalet kuvveti katsayısı	2.0	0.10	Lognormal
c_d	Sürüklenme kuvveti katsayısı	1.30	0.10	Lognormal

Çalışmada SAPOS kullanılarak geliştirilen GDO işlem dizisi ile ceket tipi deniz platformu için gerçekleştirilen optimizasyon sonuçları Tablo 2.17 ve 2.18’de verilmektedir. Tablo 2.17 ve Tablo 2.18 sırasıyla platformun GİY’e ve PÖY’e dayalı olarak gerçekleştirilen GDO’larının sonuçlarını göstermektedir. Tablo 2.17 ve Tablo 2.18’in 2. ve 3. sütunları geleneksel optimizasyon sonuçlarını, 4. ve 5. sütunları Tablo 2.16’de verilen rastgele değişkenlerle elde edilen GDO sonuçlarını, 6. ve 7. sütunları ise Tablo 2.16’da verilen rastgele değişkenlere ilaveten tasarım değişkenlerinin de rastgele değişken olarak alınması ile elde edilen GDO sonuçlarını vermektedir. NLPQL kullanılarak gerçekleştirilen optimizasyonlarda dikkate alınan başlangıç değerleri, geleneksel optimizasyon için kalınlıklar 0.015m, çaplar 1.75m, GDO için kalınlıklar 0.020m, çaplar 1.85m’dir.

DE kullanılarak gerçekleştirilen geleneksel optimizasyonda ise 30 adetlik bir popülasyon ile maksimum 100 iterasyon, mutasyon oranı olarak $F=0.70$, çaprazlama oranı olarak $Cr=0.85$ değerleri dikkate alınmıştır. GDO için ise 10 adetlik bir popülasyon ile maksimum 100 iterasyon dikkate alınmıştır. Bunun nedeni 20 ila 30 adetlik popülasyon için programın daha önceki bölümlerde değinildiği üzere beklenmedik bir şekilde sonlanmasıdır. Dikkate alınan amaç fonksiyonu değerindeki değişimin 100 iterasyon

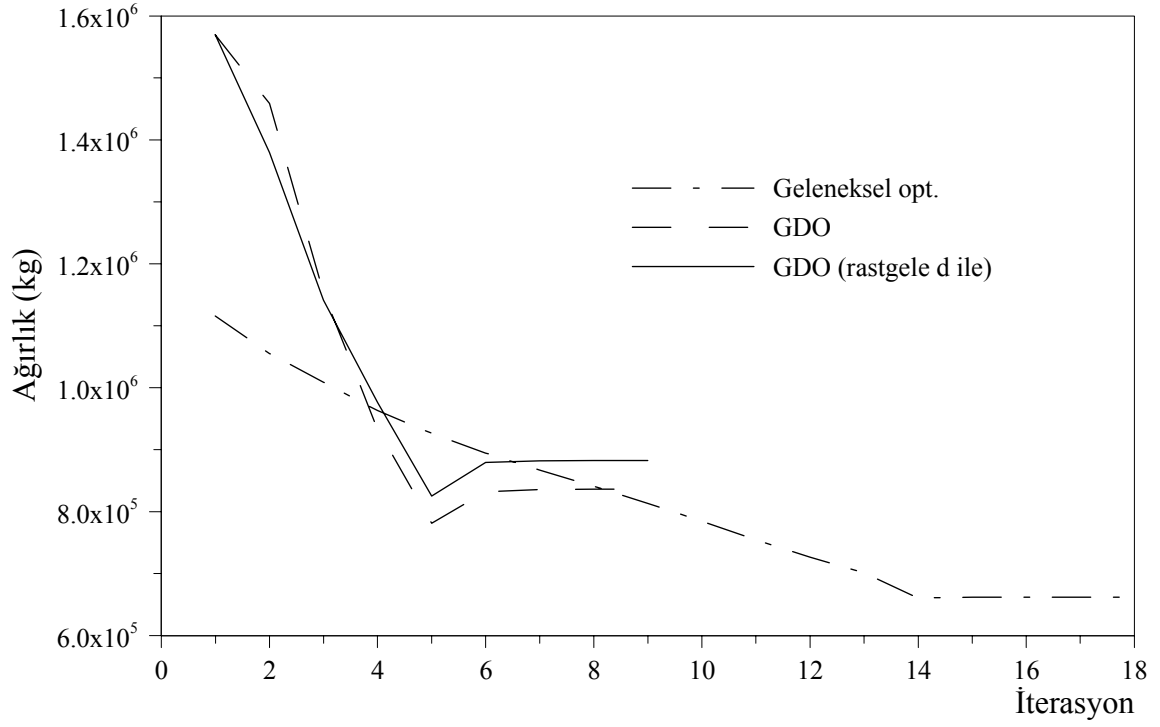
adımından sonra fazla olmaması sebebiyle de iterasyon adımı 100 olarak alınmıştır. Platformun ağırlığının NLPQLP ve DE ile gerçekleştirilen geleneksel optimizasyon ve güvenilirliğe dayalı optimizasyon (GDO) sürecindeki değişimleri sırası ile Şekil 2.28’de verilmektedir. Dikkate alınan tasarım değişkenlerinin ve güvenilirlik sınırlayıcılarının güvenilirlik indeksi yaklaşımı (GİY) ve performans ölçüsü yaklaşımı (PÖY)’na dayanan GDO sürecindeki değişimleri ise sırası ile Şekil 2.29 ve Şekil 2.30’de gösterilmektedir. Ceket tipi deniz platformunun NLPQL ve DE kullanılarak gerçekleştirilen GİY ve PÖY’e dayalı GDO’ları sürecinde yapılan toplam güvenilirlik analizi miktarlarının ve GDO’lar için sonuca ulaşmada gerekli hesap zamanının değişimi sırası ile Şekil 2.31 ve 2.32’de karşılaştırmalı olarak verilmektedir.

Tablo 2.17. Ceket tipi deniz platformunun SAPOS kullanılarak NLPQL ve DE ile gerçekleştirilen güvenilirlik indeksi yaklaşımına dayanan güvenilirliğe dayalı optimizasyon sonuçları

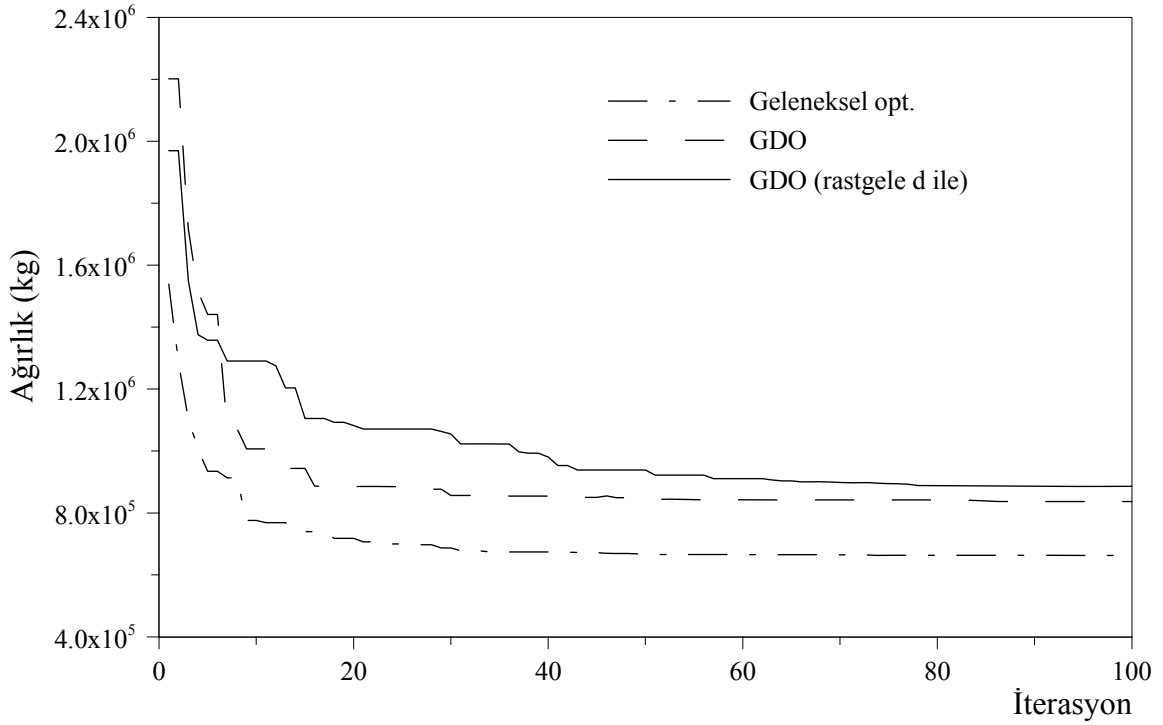
Tasarım değişkenleri	Geleneksel optimizasyon		Güvenilirliğe dayalı optimizasyon (GDO)		GDO (rastgele d ile)	
	NLPQL	DE	NLPQL	DE	NLPQL	DE
Kalınlık (m)						
t ₁	0.0137	0.0137	0.0177	0.0177	0.0195	0.01953
t ₂	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010
t ₃	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010
t ₄	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010
Çap (m)						
D ₁	2.347	2.347	2.790	2.787	2.798	2.797
D ₂	2.165	2.166	2.881	2.899	3.010	2.981
D ₃	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01
D ₄	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Ağırlık (kg)*10 ⁶						
	0.6621	0.6621	0.8363	0.8369	0.8825	0.8829

Tablo 2.18. Ceket tipi deniz platformunun SAPOS kullanılarak NLPQL ve DE ile gerçekleştirilen performans ölçüsü yaklaşımına dayanan güvenilirliğe dayalı optimizasyon sonuçları

Tasarım değişkenleri	Geleneksel optimizasyon		Güvenilirliğe dayalı optimizasyon (GDO)		GDO (rastgele d ile)	
	NLPQL	DE	NLPQL	DE	NLPQL	DE
Kalınlık (m)						
t ₁	0.0137	0.0137	0.0177	0.0179	0.0195	0.0196
t ₂	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010
t ₃	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010
t ₄	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010
Çap (m)						
D ₁	2.347	2.347	2.789	2.799	2.799	2.782
D ₂	2.165	2.166	2.883	2.809	3.00	2.987
D ₃	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.008
D ₄	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Ağırlık (kg)*10 ⁶						
	0.6621	0.6621	0.8361	0.8367	0.8822	0.8826

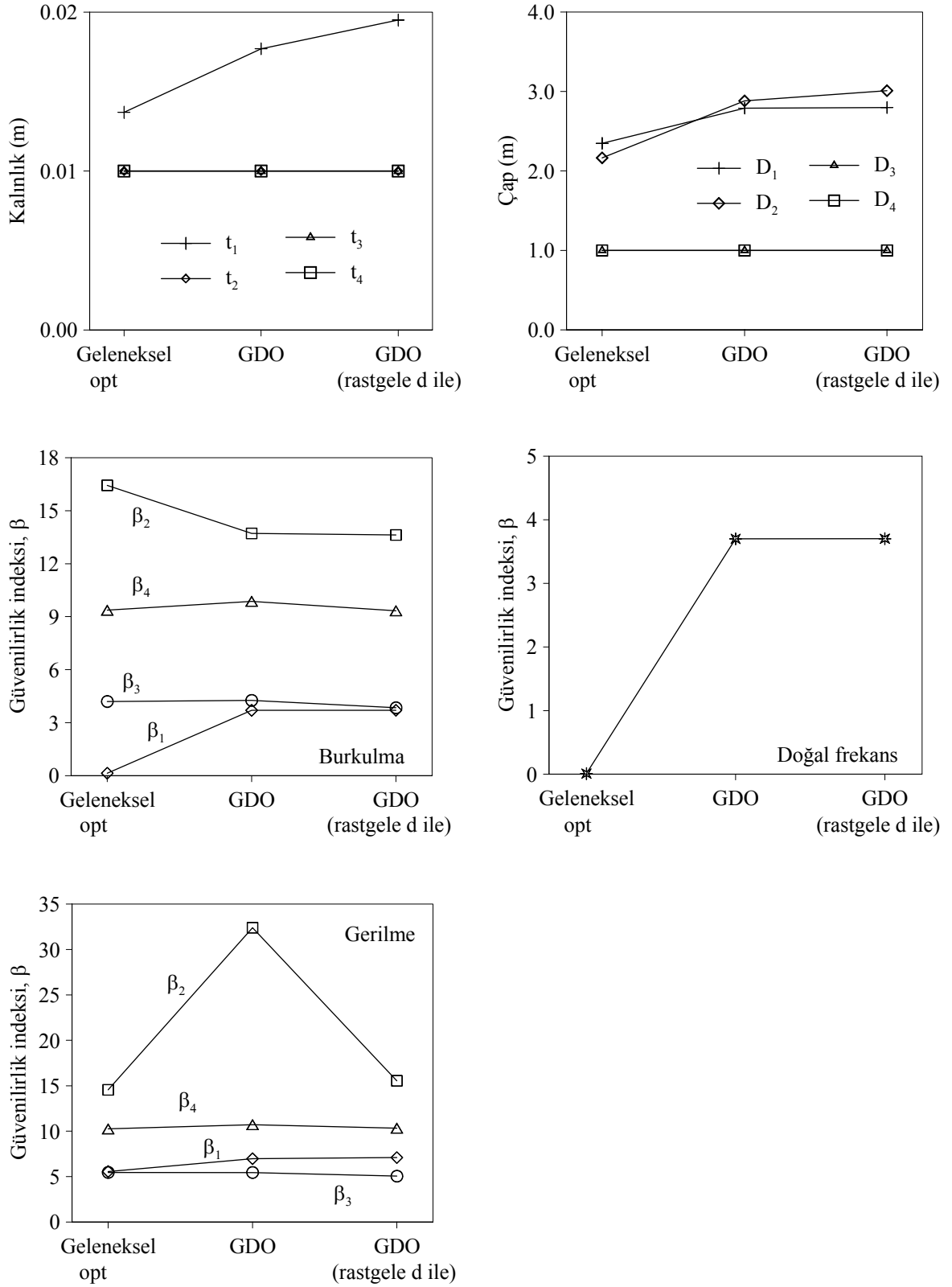


a. NLPQL

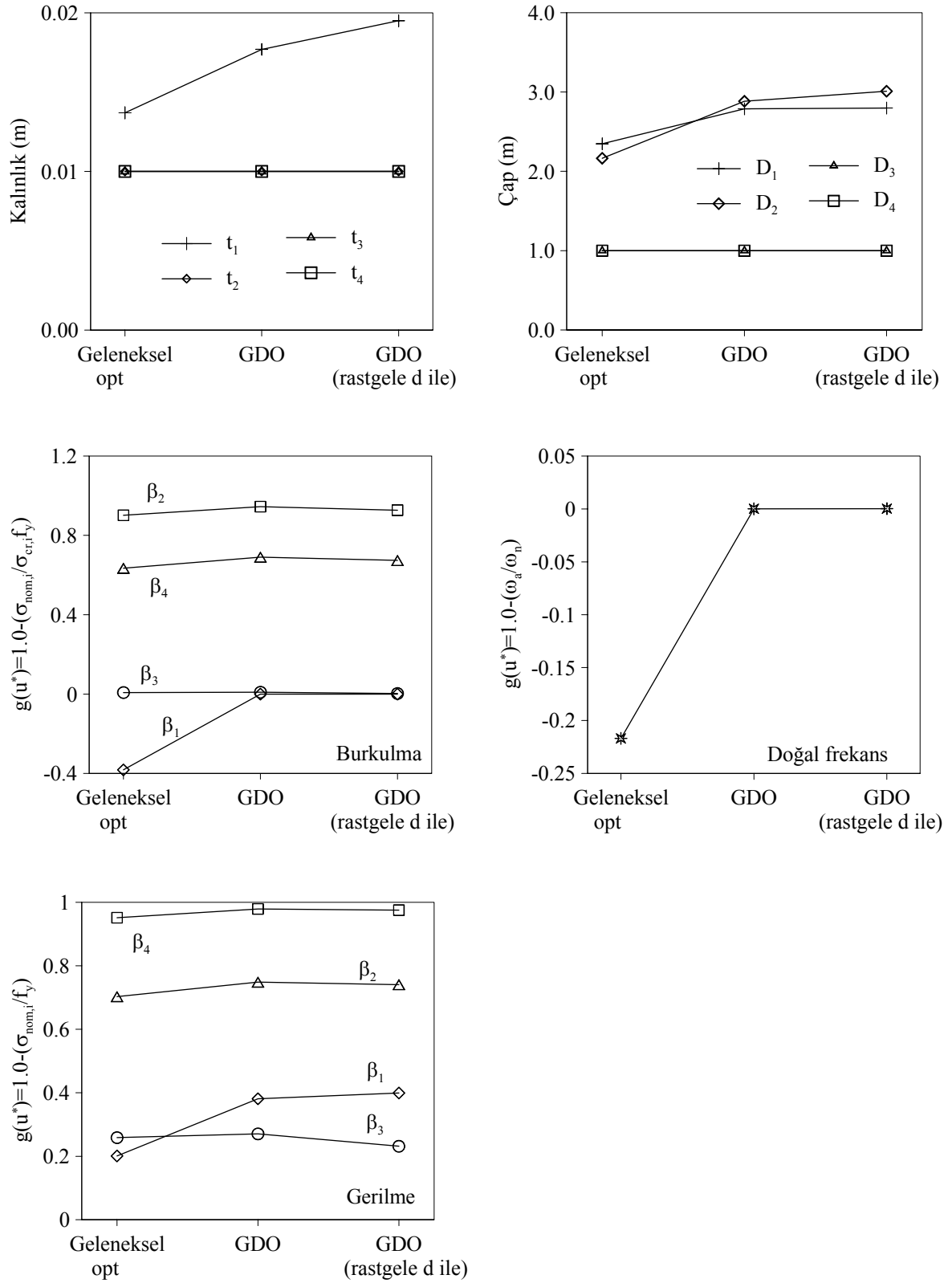


b. DE

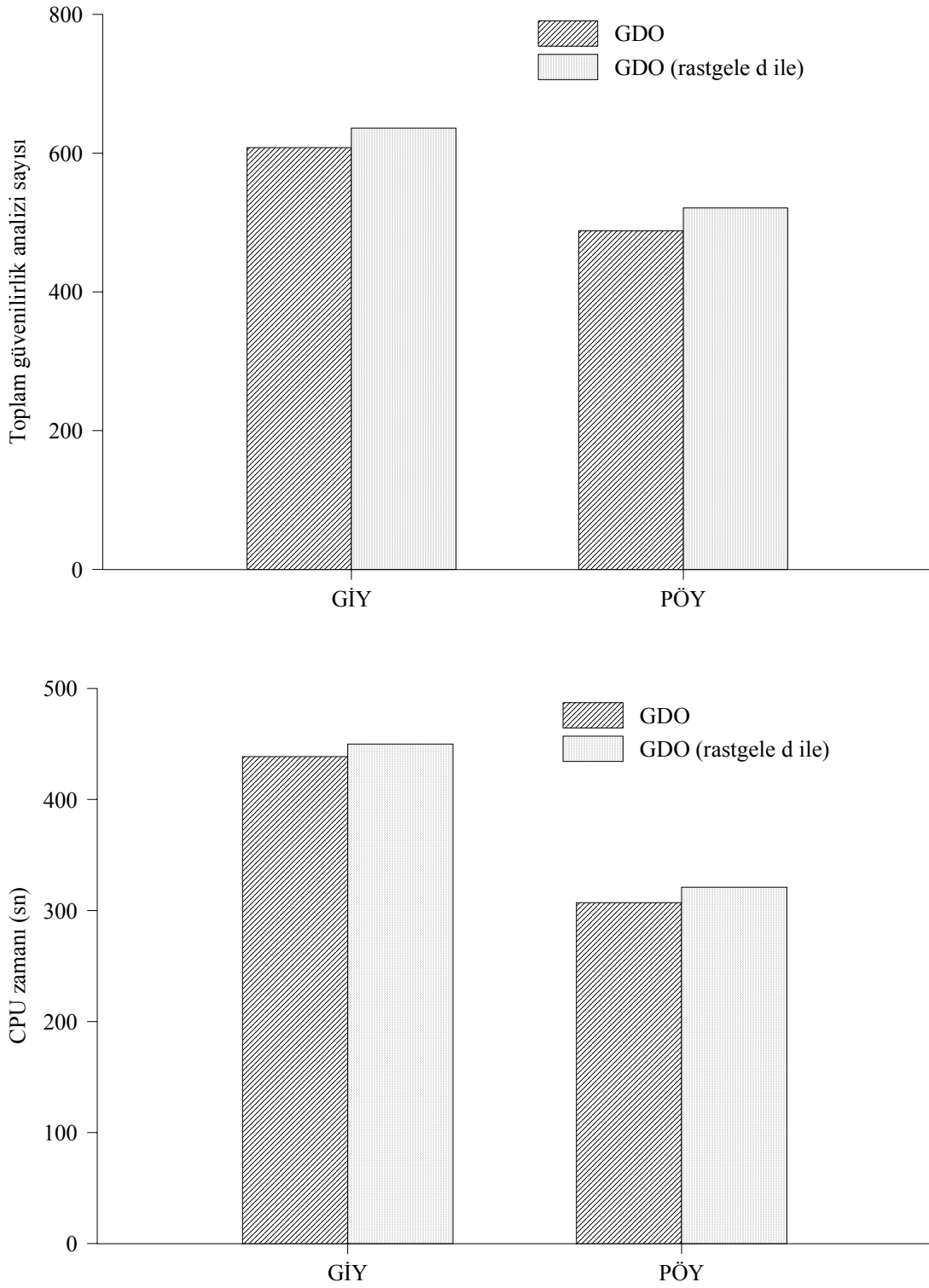
Şekil 2.28. Ceket tipi deniz platformunun gerçekleştirilen optimizasyon süreçlerine dair ağırlığının değişimi



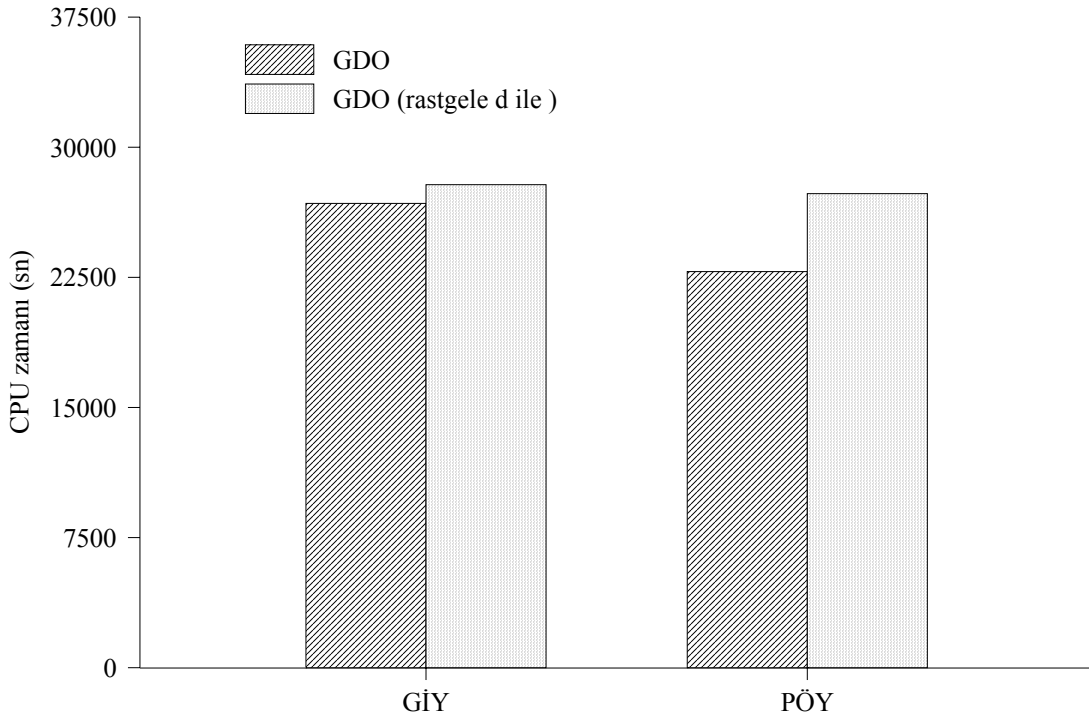
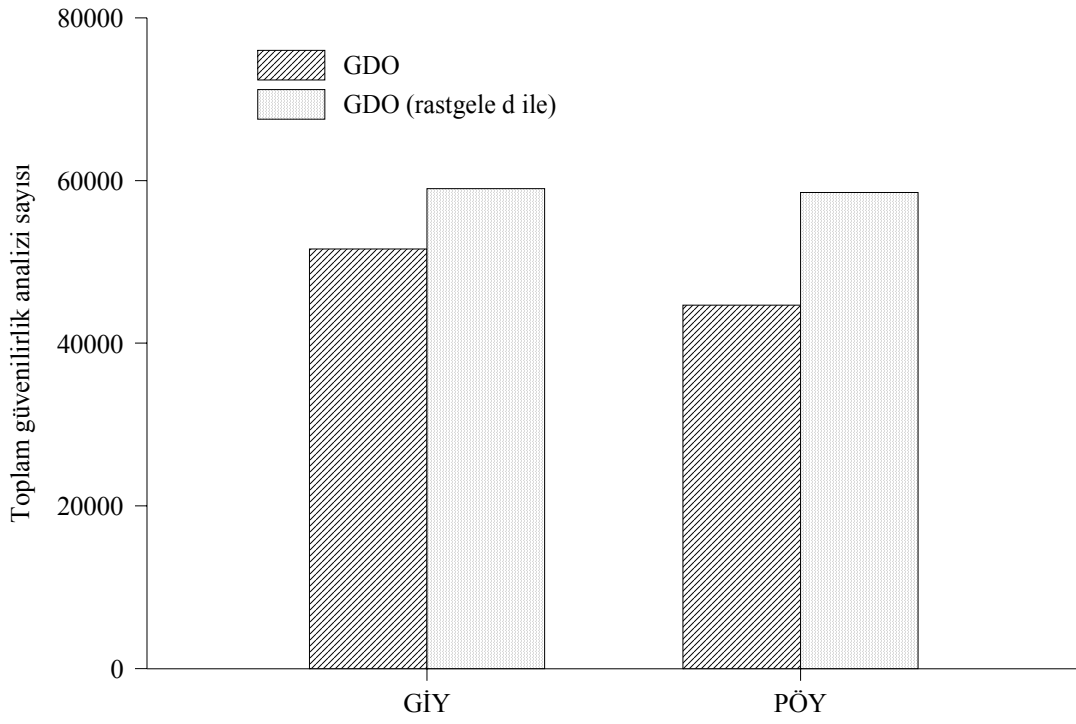
Şekil 2.29. Çeket tipi deniz platformuna ilişkin gerçekleştirilen optimizasyon sonuçlarının değişimi (güvenilirlik indeksi yaklaşımına dayanan güvenilirliğe dayalı optimizasyon için)



Şekil 2.30. Çeket tipi deniz platformuna ilişkin gerçekleştirilen optimizasyon sonuçlarının değişimi (performans ölçüsü yaklaşımına dayanan güvenilirliğe dayalı optimizasyon için)



Şekil 2.31. Çeket tipi deniz platformun NLPQL kullanarak gerçekleştirilen güvenilirlik indeksi yaklaşımı ve performans ölçüsü yaklaşımına dayanan güvenilirliğe dayalı optimizasyonu için toplam güvenilirlik analizi sayısı ve CPU zamanı



Şekil 2.32. Ceket tipi deniz platformun DE kullanarak gerçekleştirilen güvenilirlik indeksi yaklaşımı ve performans ölçüsü yaklaşımına dayanan güvenilirliğe dayalı optimizasyonu için toplam güvenilirlik analizi sayısı ve CPU zamanı

Daha önce bahsedildiği üzere Tablo 2.17 ve 2.18’de 3 farklı tipte gerçekleştirilen optimizasyon sonuçları verilmektedir. Geleneksel optimizasyon başlığı altında verilen sonuçlar, hiçbir parametrede belirsizliğin dikkate alınmadığı durumda elde edilen sonuçları, diğer bir değişle deterministik optimizasyon sonuçlarını göstermektedir. Güvenilirliğe dayalı optimizasyon başlığı altında verilen sonuçlar, optimizasyon sürecinde Tablo 2.16’de istatistiksel dağılımları ve özellikleri verilen akma dayanımı, elastisite modülü, istasyon yükü, maksimum dalga yüksekliği, dalga dikliği, atalet kuvveti katsayısı ve sürüklenme kuvveti katsayısının rastgele değişkenler olarak dikkate alınmaları ile edilen sonuçları göstermektedir. Son olarak ta güvenilirliğe dayalı optimizasyon (rastgele d ile) başlığı altında verilen sonuçlar, güvenilirliğe dayalı optimizasyon da optimizasyon sürecinde dikkate alınan rastgele değişkenlere ek olarak tasarım değişkenlerinin de rastgele değişken olarak dikkate alınması durumunda elde edilen sonuçları göstermektedir. Tasarım değişkenlerinin rastgele olarak dikkate alınmaları durumunda *%6 değişim katsayılı lognormal dağılıma* sahip oldukları kabulü yapılmaktadır ve sayısal ortalama μ değerleri optimizasyonun tasarım değişkeni olarak dikkate alınmaktadır

Sunulan Tablo 2.17, 2.18 ve Şekil 2.28, 2.29, 2.30, 2.31, 2.32 ışığında ceket tipi deniz platformunun NLPQL ve DE kullanılarak gerçekleştirilen optimizasyonlarından şu sonuçları çıkarmak mümkündür. Parametrelerdeki belirsizliklerin olasılık teorisi aracılığı ile rastgele değişken olarak optimizasyon sürecinde dikkate alınmaları alınmama durumlarına göre elde edilen platform ağırlığını etkilemektedir. Güvenilirliğe dayalı optimizasyon (GDO) istenilen güvenilirlik düzeyinde sonuçlar üretmektedir. Gerek geleneksel optimizasyon GDO için doğal frekansa ve birinci eleman grubuna ait kritik burkulma gerilmesi sınırlayıcıları aktif olmaktadır. Ancak d’inde rastgele değişken olarak dikkate alınması durumunda ulaşılan çözüm için gerçekleştirilen daha önceki optimizasyonlardan farklı olarak 3. eleman grubuna ait olan burkulma sınırlayıcısı da izin verilen minimum güvenilirlik indeksi seviyesine yanaşmaktadır. Diğer bir ifadeyle bu sınırlayıcı optimizasyon için dikkate alınan tasarım değişkenlerindeki belirsizliğe duyarlı olmaktadır. Optimizasyon için kullanılan matematiksel ve sezgisel tabanlı yöntemler farklı hesap zamanı gerektirmelerine rağmen aynı sonuçları üretmektedirler. Güvenilirlik indeksi yaklaşımı (GIY)’na dayanan güvenilirliğe dayalı optimizasyonlar performans ölçüsü yaklaşımına dayanan güvenilirliğe dayalı optimizasyona göre sınırlayıcıların kontrolü için daha fazla miktarda güvenilirlik analizine ihtiyaç duymaktadır. Gerek istenilen güvenilirlik seviyesinin gerekse de rastgele değişkenlerdeki belirsizliklerin (değişim katsayılarının)

artması güvenilirliğe dayalı optimizasyon (GDO) sürecinin amaç fonksiyonu için daha ağır değerler üretmesine yol açmaktadır.

3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Geleneksel optimizasyon sürecinde kullanılan parametrelerdeki belirsizlikler dikkate alınmamaktadır. Bir yapı sisteminin belirtilen koşullar altında minimum ağırlıklı olacak biçimde gerçekleştirilecek optimizasyonlarında, kullanılacak parametrelerdeki belirsizliklerin de dikkate alınması, bu çalışmanın amacını oluşturmaktadır. Bu amaç doğrultusunda, öncelikle tek ayaklı çelik bir deniz platformunun belirsizlikler altında optimizasyonunu gerçekleştirmek adına FORTRAN dilinde bir algoritma (açık kod) geliştirilmiştir. Bu algoritma aracılığı ile elde edilen bilgiler ışığında daha sistematik bir güvenilirliğe dayalı optimizasyon (GDO) işlem dizisi farklı tipte deniz platformlarına uygulanmak üzere geliştirilmiştir. İşlem dizisi, güvenilirliğe dayalı optimizasyonlarda sıklıkla kullanılan ardışık ikinci derece programlama (SQP) optimizasyon yöntemi ve birinci dereceden güvenilirlik yönteminin (BDGY) yanı sıra optimizasyon yöntemi olarak diferansiyel gelişim (Differential Evolution, DE) yöntemini, güvenilirlik metodu olarak da birinci derece güvenilirlik yöntemine (BDGY) ilaveten Tersine Güvenilirlik Yöntemi (TGY)'ni içermektedir. Bu işlem dizisi aracılığı ile tek ayaklı, üç ayaklı ve ceket tipi deniz platformlarının güvenilirliğe dayalı optimizasyonları incelenmiştir. Elde edilen bulgular ışığında bu çalışmadan çıkarılabilecek başlıca sonuç ve öneriler aşağıda sunulmaktadır.

Parametrelerdeki belirsizliklerin de optimizasyon sürecine katılmaları, geleneksel optimizasyonda da olduğu gibi katılmamalarına göre belirtilen koşullar altında ulaşılan amaç fonksiyonu olarak dikkate alınan deniz yapılarının ağırlık değerini etkilemektedir. Bu etki amaç fonksiyonu değerinin fazlaşması yönünde olmaktadır. Belirsizliğin artması amaç fonksiyonu değerinin daha da fazlaşmasına yol açmaktadır.

Belirsizliklerin optimizasyon sürecine katılmaları, bilinen optimizasyon işlem dizisine ilave bir algoritmanın daha eklenmesini gerektirmektedir. Bu ekleme, geleneksel optimizasyona göre çözüme ulaşmak için harcanan hesap zamanını artırmaktadır.

Belirsizliklerin dikkate alınması durumunda, bu belirsizliklere bağlı sınırlayıcıların değerlendirilmesinde kullanılan yöntemler çözüme ulaşmak için gerekli hesap süresini etkilemektedir. Kullanılan yöntemler türev bilgilerine ihtiyaç duyduklarından, türev hesabı için kullanılan metotlarda hesap zamanını etkilemektedir.

Genellikle tercih edilen matematiksel tabanlı optimizasyon yöntemine, SQP, göre sezgisel tabanlı optimizasyon yöntemi de, DE, güvenilirliğe dayalı optimizasyonlarda

kullanılabilir olmaktadır. Ancak sezgisel tabanlı optimizasyon yöntemi çözüme ulaşmada matematiksel yöntemlere göre daha fazla hesap zamanına ihtiyaç duymaktadır.

Belirsizliklerin değerlendirilmesi için kullanılan yöntemler matematiksel tabanlı optimizasyon yönteminin, SQP, ihtiyaç duyduğu türev bilgilerini sağladığından, bu yöntemi kullanılması için ilave bir avantaj sağlamaktadır.

Belirsizliklere bağlı sınırlayıcıların değerlendirilmesi için kullanılan yöntemlerden performans ölçüsü yaklaşımı (PÖY), güvenilirlik indeksi yaklaşımı (GİY)'na göre gerek yakınsama oranı gerekse de yakınsama için gerekli iterasyon sayısı bakımından daha tercih edilebilir olmaktadır.

Belirsizliklerin dikkate alındığı optimizasyon sürecinde bu amaçla etkileşimi sağlanan algoritmalarda yer alan sayısal yöntemlerden kaynaklanan erken sonlanmalarla veya hata uyarıları ile karşılaşabilmektedir. Bu erken sonlanmalar özellikle de güvenilirlik analizi gerçekleştirmek için kullanılan sayısal yöntemlerden ileri gelmektedir.

Bu çalışma kapsamında sistem için eleman gruplarına dair güvenilirlik dikkate alınmıştır. Bu nedenle sistem güvenilirliğinin dikkate alındığı optimizasyonların yapılmasında fayda bulunmaktadır.

Bu çalışma kapsamında sisteme ait geometrik özelliklere dair belirsizlikler dikkate alınmamıştır. Benzer bir çalışma kapsamında bu belirsizliklerinde dikkate alınarak etkisinin görülmesi yapılabilecektir.

Bu çalışma kapsamında gerekli türev bilgileri için ileri sonlu farklar bağıntısı kullanılmaktadır. Kolay programlama ve kullanım sağlamasına rağmen bu yöntem çözüme ulaşmada gerekli hesap zamanı oldukça etkilemektedir. Bu nedenle stokastik sonlu eleman yöntemi veya sonlu elemanlar yöntemine dayanarak türev bilgilerin elde edildiği yöntemlerin kullanılmasında fayda bulunmaktadır.

Türev bilgileri için daha hızlı yöntemlerin kullanılmasıyla sezgisel tabanlı optimizasyon yöntemlerinin çözüme ulaşma için gerekli hesap zamanı performanslarının araştırılmasında fayda bulunmaktadır. Popülasyon tabanlı sezgisel algoritmalar yerine bir noktadan hareketle diğer bir noktaya geçiş yapan benzetilmiş tavlama (Simulating Annealing-SA) gibi sezgisel yöntemin performansının da incelenmesinde fayda bulunmaktadır.

Bu çalışma kapsamında zamana bağlı olmayan gerilmeye dayalı güvenilirlik yöntemi kullanılmıştır. Benzer bir çalışma kapsamında deniz platformlarının yorulmaya dayalı optimizasyonları incelenebilecektir.

4. KAYNAKLAR

- Agarwal, H. ve Renaud, J.E., 2002. Reliability Based Design Optimization for Multidisciplinary Systems using Response Surface, Proc. of the 43rd AIAA Structures, Structural Dynamic, and Material Conference and Exhibit, Denver, Colorado.
- Agarwal, H., 2004. Reliability Based Design Optimization: Formulations and Methodologies, PhD Thesis, the University of Notre Dame, USA.
- Ang, A.H-S. ve Tang, W.H., 1984. Probability Concepts in Engineering Planning and Design, 1-2, John Wiley & Sons, Canada.
- Antonio, C.A.C., 2001. A Hierarchical Genetic Algorithm for Reliability Based Design of Geometrically Non-Linear Composite Structures, Composite Structures, 54, 37-47.
- Arora, J.S., 2004. Introduction to Optimum Design, Elsevier Academic Press, California.
- Barakat, S., Bani-Hani, K. ve Taha, M.Q., 2004. Multi Objective Reliability Based Optimization of Pre-stressed Concrete Beams, Structural Safety, 26, 311-342.
- Barakat, S., Kallas, N. ve Taha, M.Q., 2003. Single Objective Reliability Based Optimization of Pre-stressed Concrete Beams, Computers and Structures, 81, 2501-2512.
- Barakat, S.A., Malkawi, A.I.H. ve Tahat, R.H., 1999. Reliability Based Optimization of Laterally Loaded Piles, Structural Safety, 21, 45-64.
- Bayazıt, M., 1996. İnşaat Mühendisliğinde Olasılık Yöntemleri, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- Boggs, P.T. ve Tolle, J.W., 1996. Sequential Quadratic Programming, Acta Numerica, 1-52.
- Burton, S.A. ve Hajela, P., 2001. Reliability Based Shape Optimization of Truss Structures, Proc. of the 42nd AIAA Structures, Structural Dynamic, and Material Conference and Exhibit, Seattle.
- Burton, S.A. ve Hajela, P., 2003. A Variable-Complexity Approach to Second-Order Reliability Based Optimization, Structural Multidisc. Optimization, 25, 237-250.
- Burton, S.A., 2003. Issue of Computational Efficiency in Reliability Based Structural Optimization, PhD Thesis, Rensselaer Polytechnic Institute, USA.

- Castillo, E., Minguez, R. ve Castillo, C., 2008. Sensitivity Analysis in Optimization and Reliability Problems, Reliability Engineering and System Engineering, 93, 1788-1800.
- Cheng, G., Xu, L. ve Jiang, L., 2006. A Sequential Approximate Programming Strategy for Reliability Based Structural Optimization, Computers & Structures, 84, 1353-67.
- Ching, J. ve Hsu, W.C., 2008. Transforming Reliability Limit-State Constraints into Deterministic Limit-State Constraints, Structural Safety, 30, 11-33.
- CIRIA, 1977. Rationalization of Safety and Serviceability Factors in Structural Codes.
- Cornel C.A., 1969. A Probability Based Structural Code, Journal of ACI, 66, 974-985.
- Deb, K., Padmanabhan, D., Gupta, S. ve Mall, A.K., 2004. Handling Uncertainties Through Reliability Based Optimization Using Evolutionary Algorithms, KanGAL Report no: 2006009, Indian Institute of Technology Kanpur.
- Der Kiureghian, A., Zhang, Y. ve Li, C.C., 1994. Inverse Reliability Problem, Journal of Engineering Mechanics ASCE, 120-5, 1154-1159.
- Det Norske Veritas (DNV), 1992. Buckling Strength Analysis, Hovik, Norway, Classification notes.
- Dimou, C.K. ve Koumouisis, V.K., 2003. Competitive Genetic Algorithms with Application to Reliability Optimal Design, Advances in Engineering Software, 34, 773-785.
- Ditlevsen, O. ve Madsen, H.O., 1996. Structural Reliability Methods, John Wiley & Sons, Chichester.
- Eberhart, R.C. ve Kennedy, J., 1995. A new Optimizer using Particle Swarm Theory, Proc. in 6th Symposium Micro Machine and human science IEEE, 39-43, New Jersey.
- Eboli, C.R. ve Vaz, L.E., 2005. Optimization of Plane Trusses with Constraints in the Reliability Index Beta, Proc. of the 6th World Congress of Structural and Multidisciplinary Optimization, Rio de Janeiro.
- Enevoldsen, I. ve Sorensen, J.D., 1994. Reliability-Based Optimization in Structural Engineering, Structural Safety, 15, 169-196.
- Erbatur, F., Hasançebi, Ö., Tütüncü, İ. ve Kılıç, H., 2000. Optimal Design of Planar and Space Structures with Genetic Algorithms, Computers & Structures, 75, 209-224.
- Frangopol, D.M., 1998. Probabilistic Structural Optimization, Progress in Structural Engineering and Materials, 1-2, 223-30.
- Frangopol, D.M. ve Maute, K., 2005. Reliability Based Optimization of civil and Aerospace Structural System, Engineering Design Reliability Handbook, chapter 24.

- Gasser, M. ve Schueller, G.I., 1997. Reliability-based Optimization of Structural System, Mathematical Methods of Operations Research, 46, 287-307.
- Geem, Z.W., Kim, J.H. ve Loganathan, G.V., 2001. A new Heuristic Optimization Algorithm: Harmony Search, Simulation, 76-2, 60-68.
- Gill, P.E., Murray, W. ve Wright, M.H., 1981. Practical Optimization, Academic Press, New York.
- Haftka, R.T. ve Gürdal, Z., 1992. Element of Structural Optimization, Kluwer Academic Publishers.
- Hasançebi, Ö., 2008. Adaptive Evolution Strategies in Structural Optimization: Enhancing their Computational Performance with Applications to Large-scale Structures, Computers & Structures, 86, 119-132.
- Hasofer, A.M. ve Lind N., 1974. An Exact and Invariant First-Order Reliability Format, Journal of Engineering Mechanics ASCE, 100, 111-121
- Hilton, H. ve Feigen, M., 1960. Minimum Weight Analysis Based on Structural Reliability, Journal of Aerospace Sciences, 27, 641-652.
- IMSL Fortran 90 MP Library, 1998, Version 4.01, Visual Numerics.
- Jendo, S. ve Kolanek, K., 2002. Reliability Based Optimization of Spatial Shell Trusses under Multi-loading Conditions, Proc. of the 10th IFIP-WG 7.5 Working Conference on Reliability and Optimization of Structural System, Osaka, 189-195.
- Joint Committee on Structural Safety (JCSS), 2000. Probabilistic Model Code, Part 1–Basis of Design.
- Ju, B.H. ve Lee, B.C., 2008. Reliability Based Design Optimization using a Moment Method and a Kriging Metamodel, Engineering Optimization, 40, 5, 421-438.
- Jung, H.S. ve Cho, S., 2004. Reliability Based Topology Optimization of Geometrically Non-Linear Structures with Loading and Material Uncertainties, Finite Elements in Analysis and Design, 43, 311-331.
- Kalaba, R., 1962. Design of Minimum-Weight Structures Given Reliability and Cost, Journal of Aerospace Sciences, 29, 355-356.
- Karaboğa, D. ve Baştürk, B., 2005. Diferansiyel Gelişim Algoritması ile İmge Bölütleme, Conference of 13th IEEE SIU'2005, Kayseri.
- Karadeniz, H., 1994. SAPOS, Stochastic Analysis Program for Offshore Structures, User Manual, Report No:03.21.1.21.15, TU-Delft, The Netherlands.
- Karadeniz, H., 2005. Reliability Calculation of RC offshore structures under extreme wave loading, Proc. of the 15th Int. Offshore and Polar Engineering Conference, Seoul, Korea.

- Karadeniz, H., Toğan, V. ve Vrouwenvelder, T., 2009. An Integrated Reliability Based Design Optimization of offshore towers, Reliability Engineering and System Safety, 94, 1510-1516.
- Karadeniz, H. ve Vrouwenvelder, T., 2006. Overview Reliability Methods, Report:SAF-R5-1-TUD-01(10), TU-Delft, The Netherlands.
- Kaymaz, I., 2005. Application of Kriging Method to Structural Reliability Problems, Structural Safety, 27, 133-151
- Kaymaz, I., 2007. Approximation Methods for Reliability Based Design Optimization Problems, GAMM, 30, 2, 255-268.
- Kharmanda, G., Mohamed, A. ve Lemaire, M., 2002. Efficient Reliability Based Design Optimization Using a Hybrid Space with Application to Finite Element Analysis, Struc Multidisc Optim, 24, 233-45.
- Kirkpatrick, S., Gelatt, C.D. ve Vecchi, M.P., 1983. Optimization by Simulated Annealing, Science, 120, 671-680.
- Kleiber, M, Siemaszko, A. ve Stocki, R., 1999. Interactive Stability Oriented Reliability Based Design Optimization, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 168, 243-2453.
- Kuschel, N. ve Rackwitz, R., 1997. Two Basic Problems in Reliability Based Structural Optimization, Mathematical Methods of Operations Research, 46, 309-333.
- Lancaster, E.R., Calladine, C.R. ve Palmer, S.C., 2000. Paradoxical buckling behavior of thin cylindrical shell under axial compression, Journal of Mechanical Sciences, 42: 843-865.
- Lee, J.O., Yang, Y.S. ve Ruy, W.S., 2002. A Comparative Study on Reliability Index and Target Performance Based Probabilistic Structural Design Optimization, Computers and Structures, 80, 257-269.
- Lee, T.W. ve Kwak, B.M., 1988. A Reliability Based Optimal Design Using Advanced First Order Second Moment Method, An International Journal Mechanics Based Design of Structures and Machines, 15, 4, 523-542.
- Leiete, J.P.B. ve Topping, B.H.V., 1999. Parallel Simulated Annealing for Structural Optimization, Computers & Structures, 73, 545-564.
- Li, H. ve Foschi, R.O., 1998. An Inverse Reliability Method and Its Application, Structural Safety, 20, 257-270.
- Luo, X. ve Grandhi, R.V., 1997. ASTROS for Reliability-based Multidisciplinary Structural Analysis and Optimization, Computers and Structures, 62, 4, 737-745.
- Madsen, H.O., Krenk, S. ve Lind, N.C., 1986. Methods of Structural Safety, Printice-Hall, Englewodd Cliffs, New Jersey.

- Mahfouz, S.Y., 1999. Design Optimization of Structural Steelwork, PhD Thesis, University of Bradford.
- Marek, P., Gustar, M. ve Anagnos, T., 1996. Simulation-Based Reliability Assessment for Structural Engineers, CRC Press, Boca Raton.
- Melchers, R.E., 1999. Structural Reliability Analysis and Prediction, John Wiley & Sons, Baffins Lane, Chichester.
- Mohsine, A., Kharmanda, G. ve El-Hami, A., 2006. Improved Hybrid Method as a Robust Tool for Reliability Based Design Optimization, Structural Multidisc. Optimization, 32, 203-213.
- Moses, F. ve Stevenson, J., 1970. Reliability-Based Structural Design, Journal of Structural Division ASCE, 96, 221-244.
- Moses, F., 1997. Problems and Prospects of Reliability Based Optimization, Engineering Structures, 19, 4, 293-301.
- Murotsu, Y., Okada, H., Niwa, K. ve Miwa, S., 1980. Reliability Analysis of Truss Structures by Using Matrix Method, Journal of Mechanical Design ASME, 102, 749-756.
- Nakip, R. ve Frangopol, D.M., 1990. RSBA and RSBA-OPT: Two Computer Programs for Structural System Reliability Analysis and Optimization, Computers and Structures, 36, 1, 13-27.
- Nağacı, N. ve Erbatur, F., 2005. Discrete-continuous Design Optimization of Steel Structures using Simulated Annealing, ARI the Bulletin of Istanbul Technical University, 54-1, 72-78.
- Natarajan, K. ve Santhakumar, A.R., 1995. Reliability-based Optimization of Transmission Line Towers, Computers and Structures, 55, 3, 387-403.
- Negrao, J.H.O. ve Simoes, L.M.C., 2004. Reliability Based Optimum Design of Cable-Stayed Bridges, Structural Multidisc. Optimization, 28, 214-220.
- Nikolaidis, E. ve Burdisso, R., 1988. Reliability Based Optimization: A Safety Index Approach, Computers and Structures, 28, 6, 781-788.
- Nowak, A.S. ve Collins, K.R., 2000. Reliability of Structures, McGraw-Hill, Singapore.
- Padmanabhan, D., 2003. Reliability Based Optimization for Multidisciplinary System Design, PhD Thesis, the University of Notre Dame, USA.
- Papadrakakis, M., Lagaros, N.D. ve Plevris, V., 2005. Design Optimization of Steel Structures Considering Uncertainties, Engineering Structures, 27, 1408-1418.
- Price, K.V., Storn, R.M. ve Lampinen, J.S., 2005. Differential Evolution: a Practical Approach to Global Optimization, Springer, Berlin.

- Pu, Y., Das, P.K. ve Faulkner, D., 1997. A Strategy for Reliability Based Optimization, Engineering Structures, 19, 3, 276-282.
- Qu, X. ve Haftka, R.T., 2004. Reliability Based Design Optimization using Probabilistic sufficiency factor, Structural Multidisciplinary Optimization, 27, 314-325.
- Qu, X., 2004. Reliability Based Structural Optimization using Response Surface Approximations and Probabilistic sufficiency Factor, PhD Thesis, University of Florida, USA.
- Rackwitz, R. ve Fiessler, B., 1978. Structural Reliability under Combined Random Load Sequences, Computers and Structures, 9, 489-494.
- Rajaev, S. ve Krishnamoorthy, C.S., 1992. Discrete Optimization of Structures Using Genetic Algorithms, Journal of Structural Engineering ASCE, 118-5, 1233-1250.
- Ramu, P., 2007. Multiple Tail Models Including Inverse Measures for Structural Design Under Uncertainties, PhD Thesis, University of Florida, USA.
- Ramu, P., Qu, X., Youn, B.D., Haftka, R.T. ve Choi, K.K., 2006. Inverse Reliability Measures and Reliability Based Design Optimization, Int. J. Reliability and Safety, 1, 187-205.
- Ramu, P., Qu, X., Youn, B.D., Haftka, R.T. ve Choi, K.K., 2004. Safety Factor and Inverse Reliability Measures, Proc. of the 45th AIAA Structures, Structural Dynamic, and Material Conference and Exhibit, California, A04-1670.
- Ranganathan, R., 1996. Reliability Analysis and Design of Structures, McGraw-Hill, New Delhi.
- Rao, S.S., 1996. Engineering Optimization: Theory and Practice, John Wiley & Sons, New York.
- Rechenberg, I., 1973. Evolutionsstrategie: Optimierung Technischer Systeme nach Prinzipien der Biologischen Evolution, Frommann-Holzboog, Stuttgart.
- Reddy, M.V., Grandhi, R.V. ve Hopkins, V.A., 1994. Reliability Based Structural Optimization: A Simplified Safety Index Approach, Computers and Structures, 53, 6, 1407-1418.
- Royset, J.O., 2002. Reliability Based Design Optimization of Series Structural Systems, PhD Thesis, the University of California, Berkeley, USA.
- Rubinstein, R.Y., 1981. Simulaiton and Monte Carlo Method, Wiley, New York.
- Sadovsky, Z., 2000. Discussion on: An Inverse Reliability Method and Its Application, Structural Safety, 22, 97-102.
- Sankaran, M. ve Haldar, A., 1989. Efficient Algorithm for Stochastic Structural Optimization, Journal of Structural Engineering ASCE, 115, 7, 1579-1598.

- Schittkowski, K., 1985. NLPQL: A Fortran Subroutine Solving Unconstrained Nonlinear Programming Problems, Annals of Operation Research, 5, 485-500.
- Schittkowski, K., 1986. NLPQL: A FORTRAN Subroutine Solving Constrained Nonlinear Programming Problems, Annals of Operations Research, 5, 485-500.
- Schittkowski, K., 2001. NLPQLP: A new Fortran Implementation of a Sequential Quadratic Programming Algorithm, User's guide, Report, Department of Mathematics, University of Bayreuth.
- Schueller, G.I., Bucher, C.G., Bourgund, U. ve Ouyornpraset, W., 1989. On Efficient Computational Schemes to Calculate Structural Failure Probabilities, Probabilistic Fracture Mechanics, 1, 10-18.
- Simoës, L.M.C., Farkas, J. ve Jarmai, K., 2006. Reliability Based Optimum Design of a Welded Stringer Stiffened Steel Cylindrical Shell subject to Axial Compression and Bending, Structural Multidisc. Optimization, 31, 147-155.
- Smith, S., 2007. Probabilistic Design of Multidisciplinary System, PhD Thesis, Vanderbilt University, USA.
- Sorensen, J.D. ve Thoft-Christensen, P., 1986. Structural Optimization with Reliability Constraints, Lecture Notes in Control and Information Sciences, 84, 876-885.
- Spaethe, G., 1992. Die Sicherheit Tragender Baukonstruktionen, Springer Verlag, Wien.
- Spellucci, P., 1998. An SQP Method for General Nonlinear Programs Using only Equality Constrained Subproblems, Mathematical Programming, 82, 413-448.
- Stocki, R., Kolanek, K., Jendo, S. ve Kleiber, M., 2001. Study on Discrete Optimization Techniques in Reliability Based Optimization of Truss Structures, Computers and Structures, 75, 2235-2247.
- Stocki, R., Siemaszko, A. ve Kleiber, M., 1999. Interactive Methodology for Reliability Based Structural Design and Optimization, Computer Assisted Mechanics and Engineering Sciences, 6, 39-62.
- Storn, R.M. ve Price, K.V., 1997. Differential Evolution: A Simple and Efficient Heuristic for Global Optimization over Continuous Spaces, Journal of Global Optimization, 11, 341-359.
- StuPoc V, 1979. Probabilistic Reliability Analysis for Offshore structures, Final Report, Netherlands Industrial Council for Oceanology, The Netherlands.
- Thampan, C.K.P.V. ve Krishnamoorthy, C.S., 2001. System Reliability Based Configuration Optimization of Trusses, Journal of Structural Engineering ASCE, 127, 8, 947-956.
- Thanedar, P.B. ve Kodiyalam, S., 1992. Structural Optimization using Probabilistic Constraints, Structural Optimization, 4, 236-240.

- Thoft-Christensen, P., 1988. Application of Optimization Methods in Structural System Reliability Theory, Lecture Notes in Control and Information Sciences, 113, 484-497.
- Thoft-Christensen, P. ve Baker, M.J., 1982. Structural Reliability theory and Its Applications, Springer Verlag, Heidelberg, Berlin.
- Thofy-Christensen, P. ve Murotsu, Y., 1986. Application of Structural Systems Reliability Theory, Springer-Verlag, Heidelberg, Berlin.
- Toğan, V. ve Daloğlu, A., 2006. Reliability and Reliability Based Design Optimization, Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences, 30, 4, 237-250.
- Toğan, V. ve Daloğlu, A., 2007a. Design and Reliability Based Optimization of a 2d Arch Bridge, Journal of Engineering and Natural Sciences, 1, 17-16.
- Toğan, V. ve Daloğlu, A., 2007b. Optimum Design of a Truss System under the Constraint of Failure Probability, ARI The Bulletin of the Istanbul Technical University, 54, 5, 8-19.
- Toğan, V., 2004. Kafes Sistemlerin Sabit ve Hareketli Yükler Altında Genetik Algoritma ile Boyut ve Şekil Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon..
- Toğan, V. ve Daloğlu, A., 2006. Optimization of 3D Trusses with Adaptive Approach in Genetic algorithms, Engineering Structures, 28, 1019-1027.
- Toğan, V. ve Daloğlu, A., 2008. An Improved Genetic Algorithms with Initial Population Strategy and Self-adaptive Member Grouping, Computers & Structures, 86, 1204-1218.
- Tsompanakis, Y. ve Papadrakakis, M., 2004. Large-Scale Reliability Based Structural Optimization, Structural Multidisc. Optimization, 26, 429-440.
- Tu, J., 1999. Design Potential Concept for Reliability Based Design Optimization, PhD Thesis, The University of Iowa, USA.
- Tu, J., Choi, K.K. ve Park, Y.H., 1999. A New Study on Reliability Based Design Optimization, Journal of Engineering Mechanics ASME, 121, 557-564.
- Türkman, F., 1989. Rastgele yükler ve rastgele dayanım etkisi altındaki su yapılarının risk ve güvenilirliği, IMO 10. Teknik Kongre, Ankara, 177-197.
- Uys, P.E., Farkas, J., Jarmai, K. ve van Tonder, F., 2007. Optimization of a Steel Tower for a Wind Turbine Structure, Engineering Structures, 29, 1337-1342.
- Venkarataman, P., 2002. Applied Optimization with MATLAB Programming, John Wiley & Sons, New York.

- Weldali, S.H. ve Saka, M.P., 1999. Optimum Geometry and Spacing Design of Roof Trusses Based on BS 5950 using Genetic algorithm, Design Optimization, 1,-2, 198-219.
- Yang, D. ve Yi, P., 2009. Chaos Control of Performance Measure Approach for Evaluation of Probabilistic Constraints, Structural Multidisc. Optimization, 38, 83-92.
- Yang, R.J. ve Gu, L., 2004. Experience with Approximate Reliability Based Optimization Methods, Structural Multidisc. Optimization, 26, 152-159.
- Yi, P. ve Cheng, G., 2008. Further Study on Efficiency of Sequential Approximate Programming for Probabilistic Structural Design Optimization, Structural Multidisc. Optimization, 35, 509-522.
- Youn, B.D. ve Choi, K.K., 2004. An Investigation of Nonlinearity of Reliability Based Design Optimization Approaches, Journal of Engineering Mechanics ASME, 126, 403-411.
- Youn, B.D., 2001. Advances in Reliability Based Design Optimization and Probability Analysis, PhD Thesis, The University of Iowa, USA.
- Youn, B.D., Choi, K.K. ve Park, Y.H., 2003. Hybrid Analysis Method for Reliability Based Design Optimization, Journal of Engineering Mechanics ASME, 125, 221-232.
- Youn, B.D. ve Xi, Z., 2009. Reliability Based Robust Design Optimization using the Eigenvector Dimension Reduction (EDR) Method, Structural Multidisc. Optimization, 37, 475-492.

5. EKLER

Ek 1. Gerilmeye ait Sınır Durum Fonksiyonunun Türev Bilgileri $\partial g/\partial x$

Gerilmeye ait sınır durum fonksiyonu

$$g(d, X) = f_y - \sigma_{\text{nom},i} \quad i = 1, \dots, ns$$
$$\sigma_{\text{nom},i} = \begin{cases} \frac{N_i}{A_{s,i}} + \frac{M_{y,i}}{I_{y,i}} \frac{D_{av,i}}{2} & i < ns \\ \frac{N_i}{A_{s,i}} & i = ns \end{cases} \quad (\text{E.2.1})$$

ile verilmektedir. Burada $N_i/A_{s,i}$, S_{a_i} ile ve $(M_{y,i}/I_{y,i})*(D_{av,i}/2)$ 'de S_{b_i} ile gösterilirse gerilmeye ait sınır durum fonksiyonunun $g(d, X)$ parçaların kalınlıklarına $t_i (i=1, \dots, ns)$ göre türevi

$$\frac{\partial g(d, X)_j}{\partial t_k} = \begin{cases} -\frac{\partial S_{a_j}}{\partial t_k} - \frac{\partial S_{b_j}}{\partial t_k} & j = k = 1, \dots, ns - 1 \\ -\frac{\partial S_{a_j}}{\partial t_k} & j = k = ns \end{cases} \quad (\text{E.2.2})$$

ifadesi ile hesaplanabilir. Dolayısı ile de $\partial S_{a_j}/\partial t_k$ ve $\partial S_{b_j}/\partial t_k$ değerleri

Ek 1.'in devamı

$$\frac{\partial S a_j}{\partial t_k} = \begin{cases} 0.0 & k < j \\ \frac{\rho_s g L_{e,k}}{t_j} - \frac{N_j}{\pi t_j^2 D_{av,j}} & k = j \\ \frac{\rho_s g D_{av,k} L_{e,k}}{t_j D_{av,j}} & k > j \end{cases} \quad (E.2.3)$$

$j = k = 1, \dots, ns$

$$\frac{\partial S b_j}{\partial t_k} = \begin{cases} 0 & j = ns \\ -\frac{1}{t_j} S b_j & k = j \\ 0 & k \neq j \end{cases} \quad (E.2.4)$$

$k = 1, \dots, ns \quad j = 1, \dots, ns - 1$

bağıntıları ile hesaplanabilir. Gerilmeye ait sınır durum fonksiyonunun $g(d,X)$ en alt parçanın yarıçapına göre türevi

$$\frac{\partial g(X,d)_j}{\partial R_1} = -\frac{\partial S a_j}{\partial R_1} - \frac{\partial S b_j}{\partial R_1} \quad j = 1, \dots, ns - 1$$

$$\frac{\partial g(X,d)_j}{\partial R_1} = -\frac{\partial S a_j}{\partial R_1} \quad j = ns \quad (E.2.5)$$

ifadesi ile hesaplanabilir. Dolayısı ile de $\partial S a_j / \partial R_1$ ve $\partial S b_j / \partial R_1$ değerleri

Ek 1.'in devamı

$$\frac{\partial \text{Sa}_j}{\partial R_1} = \begin{cases} -\frac{M_{\text{ist}} g}{\pi t_j D_{\text{av},j}^2} \left(1.0 - \text{Ord}_j \frac{\partial \Lambda}{\partial R_1} \right) & j = \text{ns} \\ -\frac{M_{\text{ist}} g}{\pi t_j D_{\text{av},j}^2} \left(2.0 - (\text{Ord}_j + \text{Ord}_{j+1}) \frac{\partial \Lambda}{\partial R_1} \right) + \frac{\rho_s g}{t_j} \sum_{i=j+1}^{\text{ns}} t_i \frac{\partial \left(\frac{D_{\text{av},i}}{D_{\text{av},j}} \right)}{\partial R_1} L_{e,i} & j = 1, \dots, \text{ns} - 1 \end{cases} \quad (\text{E.2.6})$$

$$\frac{\partial \left(\frac{D_{\text{av},i}}{D_{\text{av},j}} \right)}{\partial R_1} = \frac{2 - (\text{Ord}_i + \text{Ord}_{i+1}) \frac{\partial \Lambda}{\partial R_1}}{D_{\text{av}_j}} - \frac{D_{\text{av}_i} (2 - (\text{Ord}_j + \text{Ord}_{j+1}) \frac{\partial \Lambda}{\partial R_1})}{D_{\text{av}_j}^2} \quad (\text{E.2.7})$$

$j = 1, \dots, \text{ns} - 1 \quad i = j, \dots, \text{ns}$

$$\frac{\partial \Lambda}{\partial R_1} = \frac{1}{\left((R_1 - R_4)^2 + \text{Ord}_{\text{ns}+1}^2 \right)^{1/2}} \left(1 - \frac{(R_1 - R_{\text{ns}+1})^2}{\left((R_1 - R_{\text{ns}+1})^2 + \text{Ord}_{\text{ns}+1}^2 \right)} \right) \quad (\text{E.2.8})$$

$$\frac{\partial \Lambda}{\partial R_{\text{ns}+1}} = -\frac{\partial \Lambda}{\partial R_1}$$

$$\frac{\partial \text{Sb}_i}{\partial R_1} = \begin{cases} 0 & i = \text{ns} - 1, \dots, \text{ns} \\ \frac{1}{t_i} T2 \sum_{j=i+1}^{\text{ns}-1} \frac{\partial \left(\frac{D_{\text{av},j}}{D_{\text{av},i}} \right)^2}{\partial R_1} \mathfrak{M}_j & i = 1, \dots, \text{ns} - 2 \end{cases} \quad (\text{E.2.9})$$

Ek 1.'in devamı

$$T2 = g\rho_w H_{\text{mak}} c_m / 2.0$$

$$\frac{\partial \left(\frac{D_{\text{av},j}}{D_{\text{av},i}} \right)^2}{\partial R_1} = 2 \frac{D_{\text{av},j}}{D_{\text{av},i}} \left(\frac{2 - (\text{Ord}_j + \text{Ord}_{j+1}) \frac{\partial \Lambda}{\partial R_1}}{D_{\text{av},i}} - \frac{D_{\text{av},j} (2 - (\text{Ord}_i + \text{Ord}_{i+1}) \frac{\partial \Lambda}{\partial R_1})}{D_{\text{av},i}^2} \right)$$

$$\mathfrak{M}_j = \left[e^{-m \text{Ord}_{\text{ns}-j}} (\text{Ord}_{\text{ns}+2-j} - \text{Ord}_{\text{ns}-j} - \frac{1}{m}) - e^{-m \text{Ord}_{\text{ns}+1-j}} (\text{Ord}_{\text{ns}+2-j} - \text{Ord}_{\text{ns}+1-j} - \frac{1}{m}) \right]$$

(E.2.10)

Gerilmeye ait sınır durum fonksiyonunun $g(d,X)$ en üst parçanın yarıçapına göre türevi

$$\frac{\partial g(X,d)_j}{\partial R_{\text{ns}+1}} = -\frac{\partial \text{Sa}_j}{\partial R_{\text{ns}+1}} - \frac{\partial \text{Sb}_j}{\partial R_{\text{ns}+1}} \quad j = 1, \dots, \text{ns} - 1$$

$$\frac{\partial g(X,d)_j}{\partial R_{\text{ns}+1}} = -\frac{\partial \text{Sa}_j}{\partial R_{\text{ns}+1}} \quad j = \text{ns}$$

(E.2.11)

ifadesi ile hesaplanabilir. Dolayısı ile de $\partial \text{Sa}_j / \partial R_{\text{ns}+1}$ ve $\partial \text{Sb}_j / \partial R_{\text{ns}+1}$ değerleri

$$\frac{\partial \text{Sa}_j}{\partial R_{\text{ns}+1}} = \begin{cases} -\frac{M_{\text{ist}} g}{\pi t_j D_{\text{av},j}^2} \left(1.0 - \text{Ord}_j \frac{\partial \Lambda}{\partial R_{\text{ns}+1}} \right) & j = \text{ns} \\ -\frac{M_{\text{ist}} g}{\pi t_j D_{\text{av},j}^2} \left(-(\text{Ord}_j + \text{Ord}_{j+1}) \frac{\partial \Lambda}{\partial R_{\text{ns}+1}} \right) + \frac{\rho_s g}{t_j} \sum_{i=j+1}^{\text{ns}} t_i \frac{\partial \left(\frac{D_{\text{av},i}}{D_{\text{av},j}} \right)}{\partial R_{\text{ns}+1}} L_{e,i} & j = 1, \dots, \text{ns} - 1 \end{cases} \quad (\text{E.2.12})$$

Ek 1.'in devamı

$$\frac{\partial \left(\frac{D_{av,i}}{D_{av,j}} \right)}{\partial R_{ns+1}} = \frac{-(Ord_i + Ord_{i+1}) \frac{\partial \Lambda}{\partial R_{ns+1}}}{D_{av,j}} - \frac{D_{av,i} (-(Ord_j + Ord_{j+1}) \frac{\partial \Lambda}{\partial R_{ns+1}})}{D_{av,j}^2} \quad (E.2.13)$$

$j = 1, \dots, ns - 1 \quad i = j, \dots, ns$

$$\frac{\partial Sb_i}{\partial R_{ns+1}} = \begin{cases} 0 & i = ns - 1, \dots, ns \\ \frac{1}{t_i} T2 \sum_{j=i+1}^{ns-1} \frac{\partial \left(\frac{D_{av,j}}{D_{av,i}} \right)^2}{\partial R_{ns+1}} \mathfrak{M}_j & i = 1, \dots, ns - 2 \end{cases} \quad (E.2.14)$$

$$\frac{\partial \left(\frac{D_{av,j}}{D_{av,i}} \right)^2}{\partial R_{ns+1}} = 2 \frac{D_{av,j}}{D_{av,i}} \left(\frac{-(Ord_j + Ord_{j+1}) \frac{\partial \Lambda}{\partial R_{ns+1}}}{D_{av,i}} - \frac{D_{av,j} (-(Ord_i + Ord_{i+1}) \frac{\partial \Lambda}{\partial R_{ns+1}})}{D_{av,i}^2} \right) \quad (E.2.15)$$

Gerilmeye ait sınır durum fonksiyonunun $g(d, X)$ tanımlanan rastgele değişkenlere (f_y , M_{ist} , H_{max} , α_{dalga} , and c_m) göre türevi

$$\frac{\partial g(d, X)_i}{\partial f_y} = 1.0 \quad i = 1, \dots, ns \quad (E.2.16)$$

Ek 1.'in devamı

$$\frac{\partial g(d, X)_i}{\partial M_{ist}} = -\frac{\partial Sa_i}{\partial M_{ist}} \quad (E.2.17)$$

$$\frac{\partial Sa_i}{\partial M_{ist}} = \frac{g}{A_{s,i}} \quad i = 1, \dots, ns$$

$$\frac{\partial g(d, X)_i}{\partial H_{mak}} = -\frac{\partial Sb_i}{\partial H_{mak}}$$

$$\frac{\partial Sb_i}{\partial H_{mak}} = \begin{cases} \frac{1}{t_i} \frac{g\rho_{su}}{2} c_m \left\{ \mathbb{k}_{i \rightarrow 1} + \mathbb{k}_{i \rightarrow 2} + \mathbb{k}_{i \rightarrow 3} + \sum_{j=i+1}^{ns-1} \left(\frac{D_{av,j}}{D_{av,i}} \right)^2 (\mathbb{k}_{j \rightarrow 1} + \mathbb{k}_{j \rightarrow 2} + \mathbb{k}_{j \rightarrow 3}) \right\} & i = 1, \dots, ns-1 \\ 0 & i = ns \end{cases} \quad (E.2.18)$$

$$\mathbb{k}_{i \rightarrow 1} = e^{-m \text{Ord}_{ns-i}} \left(\text{Ord}_{ns+1-i} - \text{Ord}_{ns-i} - \frac{1}{m} \right) [1 + m \text{Ord}_{ns-i}]$$

$$\mathbb{k}_{i \rightarrow 2} = -e^{-m \text{Ord}_{ns+1-i}} \left(\text{Ord}_{ns+1-i} - \text{Ord}_{ns+1-i} - \frac{1}{m} \right) [1 + m \text{Ord}_{ns+1-i}] \quad (E.2.19)$$

$$\mathbb{k}_{i \rightarrow 3} = \frac{1}{m} (e^{-m \text{Ord}_{ns+1-i}} - e^{-m \text{Ord}_{ns-i}})$$

$$\mathbb{k}_{j \rightarrow 1} = e^{-m \text{Ord}_{ns-j}} \left(\text{Ord}_{ns+1-i} - \text{Ord}_{ns-j} - \frac{1}{m} \right) [1 + m \text{Ord}_{ns-j}]$$

$$\mathbb{k}_{j \rightarrow 2} = -e^{-m \text{Ord}_{ns+1-j}} \left(\text{Ord}_{ns+1-i} - \text{Ord}_{ns+1-j} - \frac{1}{m} \right) [1 + m \text{Ord}_{ns+1-j}] \quad (E.2.20)$$

$$\mathbb{k}_{j \rightarrow 3} = \frac{1}{m} (e^{-m \text{Ord}_{ns+1-j}} - e^{-m \text{Ord}_{ns-j}})$$

Ek 1.'in devamı

$$\frac{\partial g(d, X)_i}{\partial \alpha_{\text{da lga}}} = -\frac{\partial S b_i}{\partial \alpha_{\text{da lga}}}$$

$$\frac{\partial S b_i}{\partial \alpha_{\text{da lga}}} = \begin{cases} \frac{1}{t_i} \frac{g p_{\text{su}}}{2} H_{\text{mak}} \mathbf{c}_m \left\{ \mathbb{Z}_{i \rightarrow 1} + \mathbb{Z}_{i \rightarrow 2} + \sum_{j=i+1}^{ns-1} \left(\frac{D_{\text{av},j}}{D_{\text{av},i}} \right)^2 (\mathbb{Z}_{j \rightarrow 1} + \mathbb{Z}_{j \rightarrow 2}) \right\} & i = 1, \dots, ns-1 \\ 0 & i = ns \end{cases} \quad (\text{E.2.21})$$

$$\mathbb{Z}_{i \rightarrow 1} = -\frac{2\pi}{H_{\text{mak}}} \begin{bmatrix} \text{Ord}_{ns-i} e^{-m \text{Ord}_{ns-i}} (\text{Ord}_{ns+1-i} - \text{Ord}_{ns-i} - \frac{1}{m}) - \\ \text{Ord}_{ns+1-i} e^{-m \text{Ord}_{ns+1-i}} (\text{Ord}_{ns+1-i} - \text{Ord}_{ns+1-i} - \frac{1}{m}) \end{bmatrix} \quad (\text{E.2.22})$$

$$\mathbb{Z}_{i \rightarrow 2} = \frac{1}{m \alpha_{\text{da lga}}} (e^{-m \text{Ord}_{ns-i}} - e^{-m \text{Ord}_{ns+1-i}})$$

$$\mathbb{Z}_{j \rightarrow 1} = -\frac{2\pi}{H_{\text{mak}}} \begin{bmatrix} \text{Ord}_{ns-j} e^{-m \text{Ord}_{ns-j}} (\text{Ord}_{ns+1-i} - \text{Ord}_{ns-j} - \frac{1}{m}) - \\ \text{Ord}_{ns+1-j} e^{-m \text{Ord}_{ns+1-j}} (\text{Ord}_{ns+1-i} - \text{Ord}_{ns+1-j} - \frac{1}{m}) \end{bmatrix} \quad (\text{E.2.23})$$

$$\mathbb{Z}_{j \rightarrow 2} = \frac{1}{m \alpha_{\text{da lga}}} (e^{-m \text{Ord}_{ns-j}} - e^{-m \text{Ord}_{ns+1-j}})$$

Ek 1.'in devamı

$$\frac{\partial g(d, X)_i}{\partial c_m} = -\frac{\partial S b_i}{\partial c_m}$$

$$\frac{\partial S b_i}{\partial c_m} = \begin{cases} \frac{1}{t_i} \frac{g \rho_{su}}{2} H_{mak} \left\{ \mathfrak{M}_i + \sum_{j=i+1}^{ns-1} \left(\frac{D_{av,j}}{D_{av,i}} \right)^2 \mathfrak{M}_j \right\} & i = 1, \dots, ns-1 \\ 0 & i = ns \end{cases}$$

$$\mathfrak{M}_i = \left[e^{-m \text{Ord}_{ns-i}} \left(\text{Ord}_{ns+1-i} - \text{Ord}_{ns-i} - \frac{1}{m} \right) - e^{-m \text{Ord}_{ns+1-i}} \left(\text{Ord}_{ns+1-i} - \text{Ord}_{ns+1-i} - \frac{1}{m} \right) \right]$$

$$\mathfrak{M}_j = \left[e^{-m \text{Ord}_{ns-j}} \left(\text{Ord}_{ns+1-i} - \text{Ord}_{ns-j} - \frac{1}{m} \right) - e^{-m \text{Ord}_{ns+1-j}} \left(\text{Ord}_{ns+1-i} - \text{Ord}_{ns+1-j} - \frac{1}{m} \right) \right]$$

(E.2.24)

Ek 2. Tek Ayaklı Deniz Yapısının Optimizasyon Yöntemleri için Dikkate Alınan Parametreler

Ek Tablo 2.1. NLPQLP için başlangıç değerleri

Tasarım değişkenleri d	Geleneksel optimizasyon		Güvenilirliğe dayalı optimizasyon (GDO)			GDO (rastgele d ile)		
	3 ve 6 parçalı	12 parçalı	3 parçalı	6 parçalı	12 parçalı	3 parçalı	6 parçalı	12 parçalı
Kalınlık (m)								
t ₁	0.015	0.020	0.020	0.015	0.020	0.020	0.020	0.025
t ₂	0.015	0.020	0.020	0.015	0.020	0.020	0.020	0.025
t ₃	0.015	0.020	0.020	0.015	0.020	0.020	0.020	0.020
t ₄	0.015	0.020		0.015	0.020		0.020	0.020
t ₅	0.015	0.020		0.015	0.020		0.020	0.020
t ₆	0.015	0.020		0.015	0.020		0.020	0.020
t ₇		0.020			0.020			0.020
t ₈		0.020			0.020			0.020
t ₉		0.020			0.020			0.020
t ₁₀		0.020			0.020			0.020
t ₁₁		0.020			0.020			0.020
t ₁₂		0.020			0.020			0.020
Yarıçap (m)								
R _{en alt}	6.00	8.50	6.50	6.50	8.50	6.50	6.50	8.50
R _{en üst}	3.00	3.50	3.0	3.50	3.50	3.0	3.50	3.50

ÖZGEÇMİŞ

Vedat TOĞAN 1978 yılında Ankara’da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini sırasıyla Fahri ÇALDAĞ İlköğretim Okulu, Ahmet YESEVİ İlköğretim Okulu ve Ankara İnşaat Teknik Lisesi olmak üzere Ankara’da tamamladı. 2000 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümünden bölüm birincisi olarak mezun olduktan sonra aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Müh. Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. Aralık 2001’de KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü’nün 50/d kadrosuna Araştırma Görevlisi olarak atandı. Şubat 2004’te yüksek lisans eğitimini tamamlayarak doktora eğitimine başladı. Doktora çalışması sürecinde Sokrates Erasmus bursu ile 1 yıl Bochum Ruhr Üniversitesi, Almanya ve TÜBİTAK bursu ile de 9 ay Delft Teknoloji Üniversitesi’nde, Hollanda, doktora konusu üzerinde çalışmalarda bulundu. Evli olan, ulusal ve uluslararası yayınları bulunan TOĞAN iyi derecede İngilizce bilmektedir.