

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ELEKTRONİK VE BİLGİSAYAR EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

**GEMİ ÜZERİ YEDEK PARÇA STOKLARININ
GENETİK ALGORİTMA İLE OPTİMİZASYONU**

ERKAN KIYAK

KOCAELİ 2013

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ELEKTRONİK VE BİLGİSAYAR EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

**GEMİ ÜZERİ YEDEK PARÇA STOKLARININ
GENETİK ALGORİTMA İLE OPTİMİZASYONU**

ERKAN KIYAK

Doç.Dr. Mehmet YILDIRIM
Danışman, Kocaeli Üniv.

Prof.Dr. Alpaslan FİĞLALI
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.

Doç.Dr. Melih İNAL
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.

Doç.Dr. Celal ÇEKEN
Jüri Üyesi, Sakarya Üniv.

Yrd.Doç.Dr. Sevinç İLHAN OMURCA
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.

.....

.....

.....

.....

.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 27.06.2013

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Savaş gemilerinin görevlerini aksatmadan yapabilmeleri için, gemi personeli küçük arıza onarımlarını görev sırasında yaparlar. Üzerlerinde, yüzlerce sistemin bulunduğu ve bu sistemlerde kullanılan yüz binden fazla parçayı içeren savaş gemilerinde, olası arıza durumlarında kullanılması muhtemel yedek parçaların gemi üzeri ambarlarda depolanması gerekmektedir. Ancak, hem maliyet hem de mekan açısından tüm parçaların birer yedeğini gemi üzerinde depolamak mümkün bir çözüm değildir.

Bu çalışmada, gemi üzerinde bulundurulması gereken yedek parça stok listesinin oluşturulması amacıyla genetik algoritmalar kullanılmıştır. Genetik algoritmaların en çok talep edilen, en kritik ve en ekonomik yedek parçayı seçebilmesi için yeni bir metot önerilmiştir. Bu doktora tez çalışması, T.C. Kocaeli Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 2012/10 proje numarası ile desteklenmiştir.

Çalışmalarım süresince her türlü desteği bana sunan, tezim ile ilgili yaptığım çalışmaların tüm aşamalarında yanımda olan, danışmanım Doç.Dr. Mehmet YILDIRIM'a ve tez izleme komitesi üyesi hocalarım Doç.Dr. Melih İNAL ve Yrd.Doç.Dr. Sevinç İLHAN OMURCA'ya teşekkür ederim. Bugünlere gelmemde büyük emekleri olan annem, babam ve ağabeyime saygılarımı sunarım.

Değerli eşim Ayşen ve biricik oğlum Ege'ye verdikleri destek için çok teşekkür ederim.

Son olarak, doktora çalışmalarının tamamlanmasına 1 ay kala vefat eden sevgili babam Rıza KIYAK'a seslenmek isterim. Sevgili babacığım, ayrılığına alışmak bir yana her geçen gün seni çok daha fazla düşünüyorum ve özlüyorum. Sana layık bir evlat olmak için ne yapsak az...

Haziran-2013

Erkan KIYAK

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ	iv
TABLolar DİZİNİ	v
SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR	vi
ÖZET	viii
ABSTRACT	ix
GİRİŞ	1
1. MEVCUT GEMİ ÜZERİ YEDEK PARÇA STOK MODELLERİ	13
1.1. Gemi Üzeri Yedek Parçaların Sınıflandırılması	13
1.2. Gemi Üzeri Yedek Parça Seçiminde Kullanılan Veri ve Parametreler.....	16
1.3. Mevcut Gemi Üzeri Yedek Parça Stok Modellerinin Tarihsel Gelişimi	18
1.3.1. 0.25 FLSIP modeli	18
1.3.2. MODFLSIP modeli	19
1.3.3. 0.5 FLSIP modeli	20
1.3.4. 0.5 FLSIP+ modeli	23
1.3.5. Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modeli	25
1.3.6. 0.5 FLSIP+ ve Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modelleri ile yedek parçaların hesaplanması	28
2. GENETİK ALGORİTMALAR	32
2.1. Genetik Algoritmaların Temeli	32
2.2. Genetik Algoritmaların Akış Diyagramı	34
2.3. Kodlama	36
2.4. Seçim	37
2.4.1. Rulet çarkı yöntemi	38
2.4.2. Turnuva yöntemi	38
2.4.3. Elitizm	39
2.5. Çaprazlama	39
2.5.1. Tek noktalı çaprazlama	40
2.5.2. Çok noktalı çaprazlama	41
2.5.3. Uniform çaprazlama	42
2.6. Mutasyon	43
2.6.1. İkili kodlamada mutasyon	44
2.6.2. Tamsayı kodlamada rastgele mutasyon	44
2.6.3. Tamsayı kodlamada ters çevirme mutasyonu	45
2.6.4. Karşılıklı değişim mutasyonu	45
2.7. Yeni Nüfus ve Durdurma Kriteri	45
2.8. Genetik Algoritmalarda Parametre Seçimi	46
2.9. Genetik Algoritmaların Avantaj ve Dezavantajları	47
2.10. Genetik Algoritmaların Uygulama Alanları	48
3. GENETİK ALGORİTMA VERİ ve PARAMETRELERİNİN TESPİTİ	49
3.1. Optimizasyonda Kullanılacak Verilerin Hazırlanması	49
3.1.1. Gemi sınıfının ve geminin belirlenmesi	49

3.1.2. Onarım seviyesinin belirlenmesi.....	50
3.1.3. Malzemenin gemide bulundurulmasına etki edecek verinin seçilmesi ve işlenmesi.....	50
3.2. Genetik Algoritmanın Probleme Uyarlanması.....	52
3.2.1. Başlangıç nüfusunun belirlenmesi.....	52
3.2.2. Amaç fonksiyonunun belirlenmesi.....	52
3.2.3. Mutasyon oranının belirlenmesi.....	54
3.2.4. Çaprazlama yönteminin ve nüfus büyüklüğünün belirlenmesi.....	56
3.2.5. Diğer genetik algoritma parametreleri.....	57
4. GENETİK ALGORİTMALAR ile GEMİ ÜZERİ YEDEK PARÇA OPTİMİZASYONU ve SONUÇLARI.....	58
4.1. Mevcut Modeller ve GA ile Seçilen Yedek Parçalar.....	62
4.1.1. 0.5 FLSIP+ modeliyle seçilen yedek parçalar.....	62
4.1.2. Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modeliyle seçilen yedek parçalar.....	63
4.1.3. GA ile seçilen yedek parçalar.....	65
4.2. Mevcut Modeller ve GA ile Seçilen Yedek Parçaların Analizi.....	66
4.2.1. GA'nın 200 çalıştırma sonucu ile 0.5 FLSIP+ modeli sonuçlarının karşılaştırılması.....	67
4.2.1.1. Seçilen yedek parça sayılarına göre karşılaştırma.....	67
4.2.1.2. Ortalama birim fiyatlarına göre karşılaştırma.....	68
4.2.1.3. Talep miktarlarına göre karşılaştırma.....	69
4.2.1.4. Önem derecesine göre karşılaştırma.....	70
4.2.2. GA'nın 200 çalıştırma sonucu ile Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modeli sonuçlarının karşılaştırılması.....	712
4.2.2.1. Seçilen yedek parça sayılarına göre karşılaştırma.....	72
4.2.2.2. Ortalama birim fiyatlarına göre karşılaştırma.....	73
4.2.2.3. Talep miktarlarına göre karşılaştırma.....	74
4.2.2.4. Önem derecesine göre karşılaştırma.....	756
4.2.3. GA'nın 1000 yedek parçalı başlangıç nüfusuyla çalıştırılması ile 0.5 FLSIP+ modeli sonuçlarının karşılaştırılması.....	778
4.2.3.1. Seçilen yedek parça sayılarına göre karşılaştırma.....	78
4.2.3.2. Ortalama birim fiyatlarına göre karşılaştırma.....	79
4.2.3.3. Talep miktarlarına göre karşılaştırma.....	80
4.2.3.4. Önem derecesine göre karşılaştırma.....	82
4.2.4. GA'nın 1000 yedek parçalı başlangıç nüfusuyla çalıştırılması ile Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modeli sonuçlarının karşılaştırılması.....	83
4.2.4.1. Seçilen yedek parça sayılarına göre karşılaştırma.....	83
4.2.4.2. Ortalama birim fiyatlarına göre karşılaştırma.....	84
4.2.4.3. Talep miktarlarına göre karşılaştırma.....	85
4.2.4.4. Önem derecesine göre karşılaştırma.....	87
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	90
KAYNAKLAR.....	94
EKLER.....	98
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER.....	106
ÖZGEÇMİŞ.....	107

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Gemi üzeri yedek parça türleri.....	14
Şekil 1.2.	Üç farklı tip gemiye ait gemi üzeri yedek parça listesi içeriği	15
Şekil 1.3.	0.5 FLSIP modeline ait süreç.....	21
Şekil 1.4.	0.5 FLSIP+ modeline ait süreç	25
Şekil 1.5.	Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modeline ait süreç.....	27
Şekil 1.6.	Talebe dayalı stok modellerinin etkinlik karşılaştırması	28
Şekil 1.7.	Stok modellerinin tarihsel gelişimi	28
Şekil 2.1.	Rastgele oluştur ve test et algoritması	34
Şekil 2.2.	Zeki rastgele oluştur ve test et algoritması	34
Şekil 2.3.	Genetik algoritmaların akış diyagramı	35
Şekil 2.4.	Rulet çarkı.....	38
Şekil 2.5.	Turnuva metodu	39
Şekil 2.6.	Tek noktalı çaprazlama Adım-1.....	40
Şekil 2.7.	Tek noktalı çaprazlama Adım-2.....	40
Şekil 2.8.	Tek noktalı çaprazlama Adım-3.....	41
Şekil 2.9.	Çok noktalı çaprazlama Adım-1	41
Şekil 2.10.	Çok noktalı çaprazlama Adım-2	42
Şekil 2.11.	Çok noktalı çaprazlama Adım-3	42
Şekil 2.12.	Uniform çaprazlama Adım-1	42
Şekil 2.13.	Uniform çaprazlama Adım-2	43
Şekil 2.14.	Uniform çaprazlama Adım-3	43
Şekil 2.15.	İkili kodlama mutasyonu örneği	44
Şekil 2.16.	Rastgele mutasyon örneği	44
Şekil 2.17.	Ters çevirme mutasyonu örneği.....	45
Şekil 2.18.	Karşılıklı değişim mutasyonu örneği	45
Şekil 2.19.	Genetik algoritmaların uygulama alanları	48
Şekil 3.1.	Çalışma planı	49
Şekil 3.2.	Mutasyon oranları deneme sonuçları	56
Şekil 4.1.	Önerilen yöntemin akış şeması	60
Şekil 4.2.	0.5 FLSIP+ modeli sonuçlarına göre miktar dağılımı	63
Şekil 4.3.	0.5 FLSIP+ modeline göre maliyet (\$) dağılımı.....	63
Şekil 4.4.	Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modeli sonuçlarına göre miktar dağılımı... ..	64
Şekil 4.5.	Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modeline göre maliyet (\$) dağılımı	64
Şekil 4.6.	Genetik algoritma sonuçlarına göre miktar dağılımı	65
Şekil 4.7.	Genetik algoritma sonuçlarına göre maliyet dağılımı.....	66

TABLolar DİZİNİ

Tablo 1.1. COSAL dosya uzantı ve açıklamaları.....	17
Tablo 1.2. Yedek parça seçiminde kullanılan parametreler.....	17
Tablo 1.3. Roberts gemisinin MODFLSIP modeline göre yedek parçaları.....	22
Tablo 1.4. Roberts gemisinin 0.5 FLSIP modeline göre yedek parçaları.....	22
Tablo 1.5. MODFLSIP ve 0.5 FLSIP modellerinin etkinlikleri.....	23
Tablo 1.6. Roberts gemisinin 0.5 FLSIP+ modeline göre yedek parçaları.....	24
Tablo 1.7. 0.5 FLSIP+ modelinin diğer modellere göre etkinliği.....	24
Tablo 1.8. Yedek parça hesaplaması.....	29
Tablo 1.9. 0.5 FLSIP+ modeline göre yedek parça miktar ve maliyetleri.....	31
Tablo 1.10. Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modeline göre yedek parça miktar ve maliyetleri.....	31
Tablo 3.1. Parçanın gemi için önem dereceleri.....	52
Tablo 3.2. Mutasyon oranını belirlemek için kullanılan GA parametreleri.....	54
Tablo 3.3. 0,01, 0,001 ve 0,0001 mutasyon oranları için deneme sonuçları.....	55
Tablo 3.4. 0,005 ve 0,0005 mutasyon oranları için deneme sonuçları.....	55
Tablo 3.5. 0,0075 ve 0,00075 mutasyon oranları için deneme sonuçları.....	55
Tablo 3.6. Çaprazlama türü ve nüfus büyüklüklerine göre deneme sonuçları.....	56
Tablo 3.7. Nüfus büyüklüğü 600 için sonuçlar.....	57
Tablo 4.1. Farklı parametrelere göre genetik algoritmanın çalışma süreleri.....	58
Tablo 4.2. 200 çalıştırma ile seçilen parçaların seçilme sıklıkları.....	61
Tablo 4.3. 0.5 FLSIP+ modeli ile elde edilen maliyet ve miktarlar.....	63
Tablo 4.4. Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modeli ile elde edilen maliyet ve miktarlar.....	64
Tablo 4.5. Seçilen yedek parça sayılarının karşılaştırması.....	68
Tablo 4.6. Seçilen yedek parçaların ortalama birim fiyatlarının karşılaştırması.....	69
Tablo 4.7. Seçilen yedek parçaların talep miktarlarının karşılaştırması.....	70
Tablo 4.8. Seçilen yedek parçaların önem derecelerinin karşılaştırması.....	71
Tablo 4.9. Seçilen yedek parça sayılarının karşılaştırması.....	73
Tablo 4.10. Seçilen yedek parçaların ortalama birim fiyatlarının karşılaştırması.....	74
Tablo 4.11. Seçilen yedek parçaların talep miktarlarının karşılaştırması.....	75
Tablo 4.12. Seçilen yedek parçaların önem derecelerinin karşılaştırması.....	77
Tablo 4.13. Seçilen yedek parça sayılarının karşılaştırması.....	79
Tablo 4.14. Seçilen yedek parçaların ortalama birim fiyatlarının karşılaştırması.....	80
Tablo 4.15. Seçilen yedek parçaların talep miktarlarının karşılaştırması.....	81
Tablo 4.16. Seçilen yedek parçaların önem derecelerinin karşılaştırması.....	82
Tablo 4.17. Seçilen yedek parça sayılarının karşılaştırması.....	84
Tablo 4.18. Seçilen yedek parçaların ortalama birim fiyatlarının karşılaştırması.....	85
Tablo 4.19. Seçilen yedek parçaların talep miktarlarının karşılaştırması.....	86
Tablo 4.20. Seçilen yedek parçaların talep miktarlarının karşılaştırması.....	88

SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR

BRF _i	: i Malzemesinin Yenileme Etmeni
i	: Parçanın ID'si.
IMEC	: Item Mission Essentiality Code (Malzeme Görev Kritiklik Kodu)
MEC _i	: i Malzemesinin Önem Derecesi
MCC	: Mission Criticality Code (Görev Kritiklik Kodu)
MDV	: Mean Demand Value (Ortalama Talep Miktarı)
MRU _i	: i Malzemesinin Minimum Değişirme Miktarı
P _i	: i Malzemesinin Birim Fiyatı
TP _i	: i Malzemesinin Gemi Üzeri Toplam Mevcudu
UR	: Usage Rate (Kullanım Oranı)
Z	: Amaç Fonksiyonu

Kısaltmalar

AHP	: Analytic Hierarchy Process (Analitik Hiyerarşi Prosesi)
AOI	: Area of Interest Items (İlgi Alanı Malzemeleri)
ARZRAP	: Arıza Raporu
COSAL	: Coordinated Shipboard Allowance List (Gemi Onarım Yedekleri Kadro Listesi)
FGA	: Fuzzy Genetic Algorithm (Bulanık Genetik Algoritma)
FLSIP	: Fleet Logistic Support Improvement Program (Donanma Lojistik Destek Geliştirme Programı)
GAMIC	: Genetic Algorithm For Multicriteria Inventory Classification (Çok Kriterli Envanter Sınıflandırması İçin Genetik Algoritma)
ID	: Identification Number (Malzeme Tanıtma Numarası)
MAM	: Maintenance Assistance Module (Bakım Destek Modülü)
MD 0.5F+	: Maliyet Duyarlı 0,5 FLSIP Artı Modeli
METRIC	: Multi Echelon Technique For Recoverable Item Control (Tamir Edilebilir Malzeme Kontrolü İçin Çoklu Kademe Tekniği)
MODFLSIP	: Modified FLSIP (İyileştirilmiş FLSIP modeli)
NIIN	: National Item Identification Number (Ulusal Malzeme Tanıtma Numarası)
NSRI	: Non-Storeroom Items (Ambar Dışında Saklanan Malzemeler)
OSI	: Operating Space Items (El Altında Bulundurulmuş Malzemeler)
PBS	: Planlı Bakım Sistemi
PMX	: Partially Matched Crossover (Kısmi Eşleşim Çaprazlama)
PRISM	: Pasific Region Inventory Stock Model (Pasifik Bölgesi Envanter Stock Modeli)
RSS	: Ready Service Spares (Servis Malzemeleri)

SMR	: Source, Maintenance and Recoverability Code (Kaynak, Bakım ve Onarılabirlik Kodu)
SRI	: Store Room Items (Gemi Ambar Malzemeleri)
SNSL	: Stock Number Sequence List (Stok Numarası Sıralı Liste)
SQL	: Structured Query Language (Yapısal Sorgulama Dili)
SVMH	: Salinas Valley Memorial Hospital (Salinas Valley Memorial Hastanesi)
TOR	: Technical Override Items (Teknik Öngörü Malzemeleri)
VARI-METRIC	: Variant of METRIC model (METRIC Modelin Varyantı)
3M	: Maintenance, Material and Management (Bakım, Materyal ve Yönetim)

GEMİ ÜZERİ YEDEK PARÇA STOKLARININ GENETİK ALGORİTMA İLE OPTİMİZASYONU

ÖZET

Üretim veya hizmet üreten organizasyonların kullandıkları sistem, cihaz veya teçhizatla herhangi bir arıza olması durumu, oluşabilecek en kötü senaryolardan birisidir. Bu sorunu çözmek için kullanılan yöntemlerden birisi, organizasyonun kendi depolarında yeterli yedek parça bulundurarak, onarım işlemlerini yine kendisinin gerçekleştirmesidir. Bu çalışmada, organizasyon olarak bir savaş gemisi ele alınmıştır. Savaş gemileri, kendisinden istenen görevi her ne sorunla karşılaşırsa karşılaşırsın yerine getirebilmelidir. Bunu başarabilmek için gemi personeli, yeteneği dahilinde olan arıza onarımlarını, gemi üzerinde depolanacak olan yedek parçaları kullanarak yapmaları gerekmektedir.

Gemi üzerindeki sistemlerde yüz binin üzerinde parça bulunduğu dikkate alınırsa, yedeklenmesi gereken sınırlı sayıda parçaların belirlenmesi son derece zor bir problemdir. Depolanması gereken yedek parçaların belirlenmesi için, geçmişten bugüne çeşitli deterministik yöntemler kullanılmıştır. Bu çalışmada, sezgisel bir optimizasyon yöntemi olan genetik algoritmalar kullanılmıştır. Optimizasyon yapmak için, yedek parçaların önem derecesi, geçmiş yıllardaki kullanım istatistikleri, fiyatları gibi bilgilerden yararlanılmıştır.

Genetik algoritmalar bir çok alanda kullanılan bir optimizasyon yöntemi olmasına karşın, bu çalışmadaki kromozom uzunluğunun, yani kromozom içerisindeki gen sayısının, bin ve üzerinde olması bu çalışmayı diğerlerinden farklı kılmaktadır. Çalışmada, çok büyük kromozom uzunluklarına sahip kombinasyonel optimizasyon problemlerinin genetik algoritma ile çözümü için yeni bir metot önerilmiştir. Önerilen metot ile elde edilen optimizasyon sonuçları, yaygın olarak kullanılan modellerle elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldığında, genetik algoritma modelinin daha iyi olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bunlara ek olarak, genetik algoritma ile oluşturulan yedek parça listesinin hem daha ekonomik olduğu hem de listede yer alan yedek parçaların önem derecelerinin ve talep miktarlarının daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Genetik Algoritma, Optimizasyon, Uzun Kromozom, Yedek Parça.

OPTIMIZATION OF WARSHIPS' ONBOARD SPARE PART STOCKS BY GENETIC ALGORITHMS

ABSTRACT

The probability of failure of systems used for manufacturing or servicing is one of the worst scenarios for an organization. One of the methods used to handle this problem is that the organization ought to repair itself by using its own spare parts stock. In this research, a warship spare parts stock model is used. Warships should fulfill her duties in all circumstances. To manage this, the warship staff should use the spare parts allocated on board to make reparation that he has talented.

Considering the warships have more than a hundred thousand unique parts, it's a very hard problem to decide which spare parts should be stocked at warehouse aiming to use in case of failure. For the determination of spare parts that should be stocked on board, various deterministic methods used in the past. In this research, genetic algorithms that are a heuristic optimization method is used to solve this problem. The usage quantity, the importance and the price of parts are used for optimization.

Although genetic algorithms are widely used over many kinds of problems in optimization problems, this research is diverging from others by means of a genetic algorithm with a very long chromosome length (over 1000) is used. A new method is offered to solve the combinational optimization problems with a very long chromosome length by using genetic algorithms. When the output of optimization constituted by new method compared with current models used widely over navies, came to a conclusion that the genetic algorithm model is better. Additionally came to a conclusion that the spare parts list constituted by genetic algorithms is both more economic and the importance and demand quantity of spare parts is higher.

Keywords: Genetic Algorithms, Optimization, Lengthy Chromosome, Spare Parts.

GİRİŞ

Savaş gemilerinin ana amacı, kendilerine verilen görevleri en iyi şekilde yerine getirmektir. Bu görevleri icra ederken, gemi üzerinde bulunan sistem veya cihazlardan herhangi birisinin arızalanması durumunda, verilen görevi yerine getiremeyeceği gibi üzerindeki personel ile birlikte yok edilme tehlikesi ile karşı karşıya kalabilir. Bu durum, öncelikli olarak önlenmesi gereken bir durumdur.

Savaş gemilerinin görev esnasında arızalanması durumunda yapılabilecek olası hareket tarzları şunlardır;

- Arızayı giderecek personel ve yedek parçanın gemiye götürülerek arızanın giderilmesi,
- Geminin arızası hareket kabiliyetini etkilemiyorsa, arızayı giderecek personel ve yedek parçanın bulunduğu limana giderek arızanın giderilmesi,
- Gemi üzerindeki personelden istifade ederek arızaların giderilmesidir. Bunu sağlamak için gemi personeline eğitim verilmesi, doküman sağlanması ve teçhizat verilmesi gerekebilmektedir. Ayrıca, gemi üzerindeki personelin, arızasını onarabileceği sistem ve cihazlara ait yedek parçaların gemi üzerinde bulundurulması gerekmektedir.

Yukarıda açıklanan hareket tarzlarından ilk iki tanesinin büyük zaman kayıplarına neden olacağı açıktır. Bu nedenle, özellikle uzun süreli görevlere giden ve üzerinde yedek parça yedeklemeye müsait ambarı bulunan gemiler için en ideal çözüm üçüncü hareket tarzı olup dünya genelinde bu yöntem uygulanmaktadır. Gemi personelinin yeteneği dahilinde tamiri yapılamayan, görece büyük çaplı veya karmaşık arızalar için ise diğer yöntemler kullanılmaya devam edilmektedir.

Gemi personelinin yeteneği dahilinde olan arıza onarımları herhangi bir dış yardım alınmadan yapılmakla birlikte, bu arızaların giderilmesi için gerekli olan yedek parçanın gemi üzerinde bulunmaması durumunda, eğitilmiş veya tecrübeli personel

herhangi bir şey ifade etmeyecektir. Bununla birlikte, gemi personelinin yeteneği dahilinde olan arıza onarımları için ihtiyaç duyulan tüm yedek parçanın gemi üzerinde bulundurulması iki açıdan imkansızdır. Bunlardan birincisi, gemi üzerinde tüm yedek parçayı depolamaya yetecek kadar yer bulunmamasıdır. İkincisi ise, tüm yedek parçaların toplam maliyetidir. Bu yedek parçaların büyük çoğunluğu, ortalama 40 yıl olan gemi ömrü boyunca hiç kullanılmayacaktır. Dolayısı ile, tüm yedek parçayı gemi üzerinde bulundurmak rasyonel değildir. Bu nedenle, gemi üzerinde bulundurulması gereken yedek parçaların belirlenmesi işleminin, bu tez çalışmasının çözüm bulmaya çalıştığı bir optimizasyon problemi.

Literatür alışması yapılırken ulaşılan kaynaklar aşığıda verilen üç ana başlık altında toplanmıştır:

- Donanmalarda kullanılan yedekleme modelleri ile ilgili yayınlar,
- Genel stok ve envanter yönetimi ile ilgili yayınlar,
- Genetik algoritmaların lojistik alanında kullanımı ile ilgili yayınlar.

Donanmalarda kullanılan yedekleme modelleri ile ilgili yayınlanan çalışmalar aşığıda verilmektedir:

Pawley [1] çalışmasında, yedek parça depolama problemlerinin çözümünde kullanılan 0.25 FLSIP (Fleet Logistic Support Improvement Program), MODFLSIP ve 0.5 FLSIP+ modelleri ile ilgili detaylı bilgiler vermiş, bu modellerin etkinliğinin ölçülmesi için kullanılan formülleri açıklamış ve her bir yöntemin birbirleri ile karşılaştırmasını yapmıştır. 0.5 FLSIP+ modelini detaylandırmış ve bu modelin özellikle hazırlık durumuna olan katkısını incelemiştir. Bunun yanında, yine kar amacı gütmeyen bir kuruluş olan Salinas Valley Memorial Hastanesine (SVMH) ait bir modeli incelemiştir. Her iki örneğin ortak noktası olan, etkinlik ve müşteri odaklılığı maksimize edilirken, maliyetin minimumda tutulması esasına dayanarak modelleri karşılaştırmıştır. SVMH'ye ait modelin, müşteri odaklı olmak yönünden daha iyi sonuçlar ürettiği sonucuna ulaşmıştır. 0.5 FLSIP+ modelinin, SVMH modeli benzeri bir yöntemi kendisine adapte ederek daha etkin ve müşteri memnuniyeti odaklı bir model oluşturulabileceğini belirtmiştir.

Eggenberger [2], 0.5 FLSIP+ modelinin maliyet duyarlılığı konusunda çeşitli analizlerde bulunmuş ve gemilerin ana bakımları esnasında yeni modelin önceki modellerle kıyaslamasını yapmıştır. Bu sayede, 0.5 FLSIP+ modelinin geliştirilebilmesi için altyapı oluşturmuştur.

Penrose [3] yapmış olduğu çalışmada yedekleme modellerini; talebi esas alan “malzeme bazlı modeller” ve genel sistemi esas alan “hazırlık durumu bazlı modeller” olmak üzere ikiye ayırmıştır. Hazırlık durumu bazlı modelleri detaylı olarak incelemiş ve bu tür modellemenin yapılabilmesi için doğru ve detaylı veriye ihtiyaç duyulduğunu belirtmiştir. Parçaların elde bulundurulma durumlarının ve bu parçaların maliyet bilgilerinin, malzeme bazlı modellerde çıktı parametreleri iken, hazırlık durumu bazlı modellerde girdi parametreleri olduğunu belirtmiştir. Bu nedenle, hazırlık durumu bazlı yaklaşımın görece daha iyi bir yaklaşım olduğunu iddia etmiştir. Diğer taraftan, hazırlık durumu bazlı model için ihtiyaç duyulan verinin çok maliyetli, karışık ve çok zaman alıcı olması nedeniyle, uygulanmasının çok daha zor olduğunu belirtmiştir.

Moreira ve Cuquel [4], 2001 yılında hazırladıkları yüksek lisans tezinde, Brezilya Donanması'nın hazırlık durumunun olası en yüksek değerde bulundurulmasını sağlamak için, gerekli kontrol ve politika oluşturulması işleminin, envanterinde 500.000'den fazla malzeme kaydının bulunması nedeniyle çok güç olduğunu belirtmiştir. Bu zorlukları aşmak üzere yeni bir model önerisinde bulunmuşlardır. Tez çalışmalarında Brezilya Donanması'nda kullanılan, talepleri tahmin, analiz ve monitöre eden karmaşık bir model olan SPAADA isimli modeli tanıtmışlardır. Sherbrooke tarafından ortaya atılan ve taleplerin Poisson dağılımıyla modellendiği marjinal analiz yöntemi ile kendi geliştirdikleri SPAADA modelini karşılaştırmışlardır. Önerilen yeni model ile mevcut modelin karşılaştırılması yapılarak, önerdikleri modelin hazırlık durumu açısından çok daha etkin olduğunu savunmuşlardır.

Pekari ve diğ. [5], envanter stoklarının optimizasyonuna yarayan ve Pasifik bölgesi envanter stok modeli isimli (PRISM) bir araç geliştirmişler ve bu aracı mevcut modellerle karşılaştırmışlardır. Önerdikleri sistem, talep bazlı bir sistemdir. Çalışmalarında, 0.5 FLSIP+ modelini, ABD Donanması'nda görevli denizaltılara

göre modifiye etmişlerdir. Modellerinde kullandıkları veriler; malzeme bazında son 24 aylık zaman aralığı içerisinde yapılan taleplerin sayısı ve toplamıdır.

Rustenburg ve diğ. [6], Sherbrooke'nin uçaklar için bir çalışması olan VARI-METRIC modelini esas almışlar ve eksiklik olarak gördükleri bazı bileşenlerini geliştirerek, Hollanda Kraliyet Donanması gemilerinde kullanılmak üzere yeni bir model önermişlerdir. Sherbrooke'un geliştirdiği modelde, üs olarak adlandırılan yerde birden fazla uçak vardır ve tüm bu uçakların arızalarına, birinci onarım kademesi olan üs bakmaktadır. Yazarlara göre, savaş gemileri bu açıdan bakıldığında daha kolay modellenebilir çünkü üs olarak adlandırılan yer bizzat savaş gemisinin kendisidir ve sadece kendisinden oluşan bir müşterisi vardır. Buna rağmen, geliştirilen modelde, tıpkı Sherbrooke gibi iki kademeli (multi-echelon) yapı kullanılmıştır. İlk kademe savaş gemisinin kendisi, ikinci kademe ise tüm savaş gemilerinin tamirlerinin yapıldığı ve ilave yedek parçalarının tutulduğu ana bakım/depolama merkezidir. Rustenburg ve diğ., sistem bazlı modelin, malzeme bazlı modelle karşılaştırıldığında daha az maliyetle daha yüksek hazırlık durumu oranı sağladığını belirtmişlerdir. Gemi üzeri arızalar, VARI-METRIC modelinde olduğu üzere poisson dağılımı ile modellenmiştir. Sonuç olarak, Sherbrooke'nin VARI-METRIC modelinde değişiklikler yaparak, uçaklar için geliştirilmiş olan sistemi gemiler için de kullanılabilir hale getirmişlerdir.

Stok ve envanter yönetimi ile ilgili yayınlanan çalışmalar aşağıda verilmektedir:

Hnaien ve diğ. [7], değişken tedarik gecikmelerinin hüküm sürdüğü bir ortamda ikmal planlamasını incelemişlerdir. İmal edilecek ürüne dair müşteri memnuniyetini maksimize ederken, ürünü oluşturan bileşenlerin elde bulundurma maliyetini minimize eden bir modelin gerçekleştirilmesinde, optimizasyon yöntemi olarak genetik algoritmaları kullanmışlardır.

Taosheng ve Changchen [8], bazı durumlarda cihaz ve sistem arızalarının çok büyük ekonomik kayıplara neden olabileceğini belirtmişler ve bu sistem ve cihazlara ait kritik yedek parçaların elde bulundurulması üzerinde durmuşlardır. Bunu sağlayabilmek için, bir envanter optimizasyon modeli önermişlerdir. Çalışmalarında, tümevarım konseptine dayalı optimum ilişkiyi çözümleyen ve sonrasında optimal tedarik stratejisi öneren bir algoritma sunmuşlardır.

Sherbrooke [9], 1967 yılında yayınladığı makalesinde, METRIC adını verdiği matematiksel bir model sunmuştur. Çalışmada, Bayesyen prosedürleri ve Poisson dağılımları kullanılmıştır. Kendisinden sonraki kuşaklar için olağanüstü bir kaynak olan ve etkisini hala devam ettiren bu çalışmada; üs bünyesindeki herhangi bir sistem / cihaz / parçanın arıza yapması durumunda, gelişigüzel olasılık dağılımına sahip bir tamir zamanında ve üs bünyesinde tamir edilme olasılığının r olduğu, üssün bağlı olduğu ana depoda tamir edilme olasılığının ise $1-r$ olduğunu belirtmiştir. İkinci durumda ana depo, üsse tamir edilen malzeme kadar borçlanmış sayılmaktadır. Sistemde, üslerin birbirleri ile aralarında herhangi bir iletişim olmadığı varsayılmıştır. Düşük talepli ve yüksek değerlikli malzemeler için uygun politika $(s-1,s)$ 'dir. Sherbrooke'a göre, bu problemin, tamir süre dağılımından daha çok ortalama tamir süresinin bir fonksiyonu olan basit bir analitik çözümü mevcuttur. Bu amaçla, pratik ve etkili bir bilgisayar programı geliştirmiştir. Program, herhangi bir sistem yatırımı için tahmini yok satma miktarını minimize etmenin yanı sıra her türlü stok dağılımını değerlendirebilen ve stok miktarının en uygun şekilde yeniden dağılımını hesaplayabilen bir yapıda hazırlanmıştır.

Haksever ve Moussourakis'e [10] göre, "ne zaman sipariş verilmeli?" ve "ne kadar sipariş verilmeli?" soruları, bir envanter sisteminde yöneticilerin cevaplaması gereken en önemli sorulardır. Bütçe, yer, ağırlık vb. kısıtlar da göz önüne alınarak, karar verilmesi gereken malzeme sayısı arttıkça, bu süreç daha da zorlu bir hal almaktadır. Literatürdeki çoğu yaklaşım sadece bütçe kısıtını dikkate alırken, Haksever ve Moussourakis, çoklu kısıtlı ve çoklu malzeme sipariş edilmesine yönelik olarak ne zaman ve ne kadar sipariş verilmesi gerektiğini eniyileyen bir model geliştirmişlerdir. 30 farklı ürün ve 5 farklı kısıt için yaptıkları denemelerde, 20 saniyelik bir hesaplama süresinin yeterli olduğunu belirtmişlerdir.

Strijbosch ve diğ. [11], Hollanda'da bulunan bir hazır giyim üretim alanındaki makinelerin yedek parçaları için, basit ve gelişmiş olmak üzere iki farklı envanter modelini incelemişlerdir. Basit yaklaşım, aşağı yukarı standart haline gelen modeldir. Yeniden sipariş verme zamanının tutturulamaması dikkate alınmamış, gecikme zamanlarındaki talep dağılımı için normal dağılım kullanılmıştır. Gelişmiş yaklaşım ise yeniden sipariş verme zamanının tutturulamamasını dikkate almakta, gecikme zamanlarındaki sıfır veya sıfırdan farklı talep miktarlarını ayırt edebilmekte ve talep

dağılımı olarak gama dağılımını kullanmaktadır. Basit yaklaşımın, tüm parçalar için servis seviyesinin elde edildiğinden emin olunması istenildiği durumlarda tutarlı sonuçlar üretemezken, gelişmiş yaklaşımın birçok durumda arzu edilene yakın sonuçlar ürettiğini belirtmişlerdir.

Kun ve diğ. [12], yedek parça ve onarım teçhizatının, kaynakları desteklemek için kullanılan iki önemli faktör olduğunu belirtmişlerdir. Bu iki girdinin, talep miktarını tahmin etmek için yapılan bir çok araştırmada ayrı ayrı ele alındıklarını, fakat ikisi arasındaki yakın ilişkinin dikkate alınmadığını belirtmişlerdir. Bununla birlikte, onarım teçhizatı miktarının, el altında bulundurulacak yedek parça miktarının belirlenmesinde önemli bir etken olduğunu öne sürmüşlerdir. Yedek parçaları ve onarım teçhizatlarını belirli bir oranda tutma ve optimizasyon çalışmaları sayesinde, yedek parça ihtiyaç miktarlarını tahmin etme yeteneğinin etkin bir şekilde geliştirebileceğini belirtmişlerdir.

Louit ve Pascuali [13], madencilik, petrol, gaz, kamu hizmetleri, ulaşım gibi teçhizat ve makinelerin yoğun olarak kullanıldığı alanlarda, el altında yeteri kadar yedek parça bulundurmanın önemli olduğunu belirtmişlerdir. Stok yetersizliği, malzemelerin genel performansını etkilemekte, hatta büyük problemlere neden olabilmektedir. Diğer yandan, el altında fazla miktarda yedek parça bulundurma, sermayenin kötü kullanımına neden olmakta ve yüklü miktarda boşa para harcamaya neden olabilmektedir. Çalışmalarında, malzemelerin onarılabilir ve onarılamaz olma durumlarına göre ayrı ayrı optimal stok seviyesinin belirlenmesine yönelik çeşitli yaklaşımlar ele almışlardır. Stok güvenilirliği için anlık ve zaman aralıklı güvenilirlik hesaplamalarını irdemişlerdir. Bunlara ek olarak, herhangi bir yedek parça stoğunun daha ne kadar idare edebileceğini tahmin eden modelleri incelemişlerdir. Makaleye göre tek kademe modeller tabiatı gereği stokastik modellerdir. Tek kademe modelden kasıt, yedek parçaların tek bir ambarda olması ve onun da genellikle kullanıldığı yerde bulunmasıdır. Çoklu kademe modellerden kasıt ise, yedek parçaların bir kısmının cihaz / teçhizatların bulunduğu yerde bulunurken, bazı parçaların daha üst düzey ambarlarda / ana stok noktalarında bulundurulma esasıdır. Onarılamayan parçalar için kullanılan yaklaşımların, normal dağılım yaklaşımı ve Poisson dağılımı yaklaşımı olduğunu belirtmişlerdir. Onarılabilir parçalar için kullanılan yaklaşımların ise; sınırsız onarım kapasiteli anlık güvenilirlik modeli,

sınırsız onarım kapasiteli zaman aralıklı güvenilirlik modeli, sınırlı onarım kapasiteli anlık güvenilirlik modeli, sınırlı onarım kapasiteli zaman aralıklı güvenilirlik modeli ve onarılabılır parçalar için hazır olma modeli olduğunu belirtmişlerdir.

Goshorn ve diğ. [14], Poisson dağılımlı hata modelini kullanan bir yedek parça optimizasyon tekniğini tanıtmışlardır. Çalışmalarında elde ettikleri simülasyon sonuçlarına göre, arızalar arası geçen zaman, ambarlama maliyeti ve görev kritiklik kodu gibi metrikler kullanılmadan oluşturulan modellerin çok fazla malzemeyi stoklama eğiliminde olduğunu belirtmişlerdir. Sezgisel yaklaşımları temel alan modellerin, klasik işletme koşullarında %49 oranında gereksiz malzeme depolandığını iddia etmişlerdir. Çok gevşek bir politikaya sahip olan modellerde ise, görev kabiliyetlerini belirgin oranda düşürecek şekilde, olması gerekenden %31 civarında daha az malzeme depolandığını öne sürmüşlerdir. Sonuç olarak, maliyetleri azaltma ile göreve hazırlık kriterleri arasında dengeli bir şekilde oluşturdukları sistemi, %90 güvenilirlik esasına göre geliştirdiklerini ve bu yüksek güvenilirlik oranına sezgisel yöntemlerle ulaşamayacağını belirtmişlerdir.

Genetik algoritmaların lojistik alanında kullanımı ile ilgili yayınlanan çalışmalar aşağıda verilmektedir:

Pasandideh ve diğ. [15], tamir edilemeyen malzemeler için, bir ana depo ve m adet perakendeciden oluşan iki kademeli envanter sistemini tanıtmışlar ve sistemlerinde yıl içerisinde herhangi bir zaman sipariş verilebileceğini temel alan sürekli sipariş politikasını kullanmışlardır. Yıllık ortalama sipariş frekansı, tahmini yok satma miktarı ve bütçe kısıtları altında etkili bir stoklama politikası sunan bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri yeni modelde genetik algoritma kullanmışlardır. Kullandıkları genetik algoritmada farklı çaprazlama, mutasyon ve nüfus büyüklüğü üçlüsü için denemeler yapmışlar ve sonuçta çaprazlama=0,52 mutasyon=0,18 ve nüfus büyüklüğü olarak 175 parametresinin kendi problemlerinde en ideal parametreler olduğunu bulmuşlardır. Elde ettikleri bu parametreler ile 100 deneme neticesinde minimum toplam envanter yatırımına ulaşmışlardır.

Roy ve diğ. [16], paranın zaman içindeki enflasyonist değerini hesaba katacak şekilde, yeni bir ürüne ait envanter modeli geliştirilmiştir. Bu modelin amacı, beklenen kar oranını maksimize etmeye yöneliktir. Bunu sağlamak için üçgenel

bulanık mantığı ve genetik algoritmaları kullanmışlardır. Genetik algoritmanın çaprazlama parametresi, ebeveynlerin genç, orta yaşlı ve yaşlı gibi yaş tiplerinin bir fonksiyonudur ve bulanık mantık kullanılarak hesaplanmıştır. Bulanık genetik algoritma (FGA) olarak adlandırılan bu model, farklı durumlara sahip üretim fazlası envanter modelde, bir karar verebilmek için kullanılmıştır. Oluşturulan bulanık genetik algoritma, diğer genetik algoritmalar ile karşılaştırılmıştır.

Adams [17], malzeme düzeyi ve sistem düzeyi olmak üzere iki farklı yedek parça yönetim biçimini ele almış ve depolanacak yedek parçaların belirlenmesi ve bu yöntemlerin kullanılması durumunda oluşabilecek risklerin analiz edilmesi konusunu irdelenmiştir. Yedek parça optimizasyon yöntemi olarak marjinal analiz ve genetik algoritma kullanmıştır. Genel olarak Sherbrooke'nin METRIC modeli ve sistem bazlı modellemeyi dikkate almıştır.

Daniel ve Rajendrah [18], envanter değerinin, tedarik zinciri yönetimindeki malzemelerin toplam değerinin yaklaşık %30'u gibi önemli bir oranını teşkil etmesi nedeniyle, envanter yönetiminin önemini vurgulamışlardır. Kendi geliştirdikleri algoritma ile toplam tedarik zinciri maliyetini minimize etmek için tedarik zincirindeki envanter seviyelerinin optimizasyonunu önermişlerdir. Ambarda bulundurma ve talebi karşılayamama maliyetlerinin minimize edilmesi için kendi geliştirdikleri bir genetik algoritma çözümü önermişlerdir. Genetik algoritmayı, olası tedarik zinciri yönetimleri arasında en uygun olanını seçmede kullanmışlardır. Olası tedarik zinciri yönetimlerinin ayrı ayrı detaylı incelemesi sonrasında elde edilen sonuç ile kısa sürede elde edilen genetik algoritma sonuçları arasında belirgin bir fark olmaması, geliştirdikleri algoritmanın başarısını göstermektedir.

Fanggeng ve diğ. [19], silah sistemlerinin tamir edilebilir yedek parçalarının çok kademeli envanter optimizasyonunu, genetik algoritmalar ile gerçekleştirmişlerdir. Sherbrooke tarafından geliştirilmiş olan ve genel olarak tamir edilebilir yedek parçaların envanter optimizasyonunu sağlayan METRIC sistemini temel alan bir genetik algoritma optimizasyonu oluşturmuşlardır. Geliştirdikleri genetik algoritmanın bir tane çaprazlama, bir tane mutasyon operatörü bulunmaktadır. İlk nüfusu rastgele olarak oluşturmuşlardır. Kromozomlar, $(n+1).l$ uzunluğundaki doğal

sayı dizelerinden oluşmaktadır. Burada; n üs sayısı, l ise cihazın tamir edilebilir yedek parça sayısını göstermektedir.

Jiangsheng ve diğ. [20], aynı yıl içerisinde, daha önce yayınladıkları genetik algoritma çözümünü biraz daha geliştirmişlerdir. Oluşturdukları algoritma, üç adet çaprazlama, bir adet mutasyon ve iki adet yerel arama işlemini kullanmaktadır. Yaptıkları analizler sonucunda, yeni geliştirdikleri genetik algoritmanın, daha önce geliştirdikleri genetik algoritma çözümünden çok daha başarılı bir sonuç ürettiğini belirtmişlerdir. Geliştirdikleri yeni modelin önceki genetik algoritma çözümlerinden tek belirgin farkı, bir yerine üç adet çaprazlama operatörü kullanmasıdır. Ayrıca, kromozom oluşturulurken 9 yerine 8 üs/ambar kullanmışlardır.

Mak ve diğ. [21], değişken yapıda talep değerleri gösteren envanter malzemelerinin optimal kontrolünü ele almışlardır. En uygun stok tamamlama politikasının belirlenmesi için matematiksel bir model geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri modelde, önceden belirlenen bir w sayısının üzerindeki müşteri taleplerini özel talepler statüsüne alıp, modelleme dışında bırakarak, envanter sisteminin bozulması önlemişlerdir. w miktarına eşit veya küçük olan müşteri talepleri ise stoktan karşılanmıştır. Bu modeli gerçekleştirmek üzere kullandıkları genetik algoritmanın kromozomları üç adet gen içermektedir; eşik değeri w , yeniden sipariş seviyesi s ve bu seviyeye kadar olan sipariş miktarı S .

Güvenir ve Erel [22], parametre optimizasyonu için genetik algoritma kullanımını ele almışlardır. Sürekli üniform çaprazlama adını verdikleri yeni bir çaprazlama yöntemi önermişlerdir. Bu yeni çaprazlama tekniğini çok kriterli envanter sınıflandırma problemlerine uygulamışlardır. Genetik algoritma ile elde ettikleri sonuçları, analitik hiyerarşi süreci (AHP) modelini kullanan klasik sınıflandırma teknikleri ile karşılaştırmışlardır. Yazarlara göre sınıflandırma, envanterde bulunan tüm malzemelerin belirli kriterlere göre A, B veya C sınıfı olarak sınıflandırılmasıdır. Genetik algoritma modellemesi sonuçlarının, AHP ile karşılaştırıldığında çok daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir.

Bona [23], otomobil fabrikaları için bir envanter optimizasyonu çalışması yapmıştır. Otomobil parçaları için sipariş verme zamanını ve ihtiyaç miktarını elde etmiştir. Çalışmasında, klasik envanter mekanizmalarının uygulandığı envanter kontrol

sisteminin, bilgisayar destekli bir simülasyon ve genetik algoritmalarla faydalanılarak optimize edildiği bir metot önermiştir.

Özdemir ve Seçme [24], tedarik zinciri ulaştırma probleminin genetik algoritmalar ile çözümünü incelemişlerdir. Ulaştırma problemi olarak formüle ettikleri bu problemde amacın, değişik arz noktalarından değişik talep noktalarına, toplam maliyeti minimum yapacak şekilde, ürünün nasıl taşınacağına tespit edilmesi olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmalarında, standart lineer ulaştırma problemi temelinde genetik algoritmalar uygulamış ve ulaştırma probleminin genetik gösterimi ile karşılaşılan zorlukları açıklamışlardır. Problemin genetik gösteriminde kullanılan vektör gösterim ve matris gösterim yapıları, genetik operatörlerin uygulanması ve amaç fonksiyonunun değerlendirilmesi açısından incelenmiştir. Sonuç olarak ulaştırma probleminin genetik algoritmalar ile çözümünde matris gösterimin vektör gösterime göre daha başarılı sonuçlar ürettiğini ve ayrıca kod basitliği ve uygulanabilirliği açısından da daha üstün olduğunu öne sürmüşlerdir.

İlgin ve Tunalı [25], endüstride bakım ve yedek parça envanter politikalarının, ayrı ayrı veya sıralı olarak ele alındığını bildirmişlerdir. Bununla birlikte, işletmelerin bakım politikaları, yedek parça envanterini doğrudan etkilediği için ayrı ayrı veya sıralı değil, beraber ele alınması gerektiğini belirtmişlerdir. Çalışmalarında, koruyucu bakım ve yedek parça belirleme politikalarını beraber kullanan bir genetik algoritma optimizasyonu önermişlerdir. Çaprazlama, mutasyon, nüfus büyüklüğü ve tekrarlanma sayısı gibi genetik algoritma parametrelerinin en uygun şekilde bulunabilmesi için çok sayıda deneme yapmışlar, bunu yaparken bazı parametreleri sabitleyip, diğerlerini değiştirme yöntemini uygulamışlardır. Sonuç olarak, genetik algoritma ile maliyetlerde belirgin bir azalmanın yanı sıra üretim sisteminde de önemli iyileşmeler elde ettiklerini öne sürmüşlerdir.

Literatürdeki çalışmalara genel olarak bakıldığında, bir organizasyonda bulunan sistem, cihaz veya makinelerin maksimum düzeyde çalışır halde bulunması için oluşturulan yedek parça depolama optimizasyonlarının, diğer envanter optimizasyonlarından çok farklı olduğu görülmüştür. Genetik algoritmalar, tamir edilebilir ve çok katmanlı organizasyonlarda kullanılmış olmasına rağmen, gemi üzerinde bulundurulması gereken ve tek katmanlı, malzeme talep odaklı, tamir

edilebilen veya edilemeyen özelliklere sahip yedek parça listesinin optimizasyonu konusunda herhangi bir çalışma ile karşılaşılmamıştır. Bu açıdan bakıldığında, bu tez çalışmanın alanında ilk olacağı değerlendirilmektedir. Kapsamlı literatür çalışması sonrasında elde edilen bulgular aşağıda sunulmuştur.

- Donanmalarda kullanılan ve gemiler üzerindeki yedek parça listelerinin oluşturulmasını amaçlayan modeller incelendiğinde, daha çok Sherbrooke'nin önerdiği METRIC modelini temel alan modellemelerin kullanıldığı görülmüş, genetik algoritma kullanılan herhangi bir durum ile karşılaşılmamıştır.
- Lojistik alandaki optimizasyon modelleri incelendiğinde, farklı olguları modelleyen çok farklı sistemler ile karşılaşmıştır. Yayınlarda genel olarak; tedarik zinciri yönetimlerindeki perakendeci-distribütör-üretici-hammadde sağlayıcı birimleri konu alan optimizasyonlar, sipariş miktarı ve sipariş zamanı optimizasyonları, nakliyede en kısa yol bulma optimizasyonları, çok kademeli optimizasyonlar ve tamir edilebilir parçalara yönelik optimizasyonlar gözlenmiştir. Bunlardan bazılarında genetik algoritmaların kullanıldığı görülmüştür.
- Genetik algoritma kullanan optimizasyonlar başlığı altında, tüm genetik algoritma kullanan modeller yerine, kapsam daraltılarak sadece lojistik alanında kullanılan genetik algoritma yayınları incelenmiştir. Genetik algoritmalar, özellikle son yıllarda lojistiğin birçok alanında kullanılır olmaya başladığından, bu yayınlar aynı zamanda lojistik optimizasyonları ile benzerdir.

Bu tez çalışması kapsamında; Bölüm 1'de, Amerikan Donanması başta olmak üzere dünya donanmalarında sıklıkla kullanılan gemi üzeri yedek parça depolama modelleri ile ilgili bilgiler verilmiş, bu modellerin kronolojik olarak gelişimi ele alınmıştır.

Bölüm 2'de, sezgisel optimizasyon algoritmalarından biri olan ve bu doktora tez çalışmasında kullanılan genetik algoritmalar hakkında detaylı bilgiler verilmiş, genetik algoritmalarda kullanılan operatörler tanıtılmıştır.

Bölüm 3'te, genetik algoritmaların gemi üzeri yedek parça depolama problemlerinde kullanılabilmesi için yeni bir uygulama metodu önerilmiştir. Önerilen metodun gerekliliği ve detayları anlatılmıştır.

Bölüm 4’te, bir önceki bölümde anlatılan yeni metodun uygulanmasıyla elde edilen deneysel sonuçların, mevcut modellerle elde edilen sonuçlar ile karşılaştırması yapılmıştır.

Bölüm 5’te, tez çalışması ile elde edilen sonuçlar ve öneriler sunulmuştur.

1. MEVCUT GEMİ ÜZERİ YEDEK PARÇA STOK MODELLERİ

Genel olarak savaş gemileri yurtdışından satın alınırken, geminin üzerinde bulunan tüm sistem ve cihazları, bu sistem ve cihazları oluşturan tüm parçaları ve sistemlerin arıza ve kritiklik durumuna göre bu parçalardan hangilerinden ne kadar yedeklenmesi gerektiği gibi çok önemli bilgileri ile birlikte alınır. Bu bilgiler olmadan gemilerin görevlerini yapmaları düşünülemez. Tüm bu bilgileri içeren dokümantasyona Coordinated Shipboard Allowance List (COSAL) denir. Daha net bir ifade ile COSAL, gemi üzerindeki mevcut tüm cihazları, teçhizatları ve geminin onarım yetkisinde bulunan arızalar ve periyodik bakımlar için gemide stoklanması gereken onarım yedeklerini listeleyen, bu malzemelerin teknik ve lojistik yönetimine yönelik temel bir dokümandır.

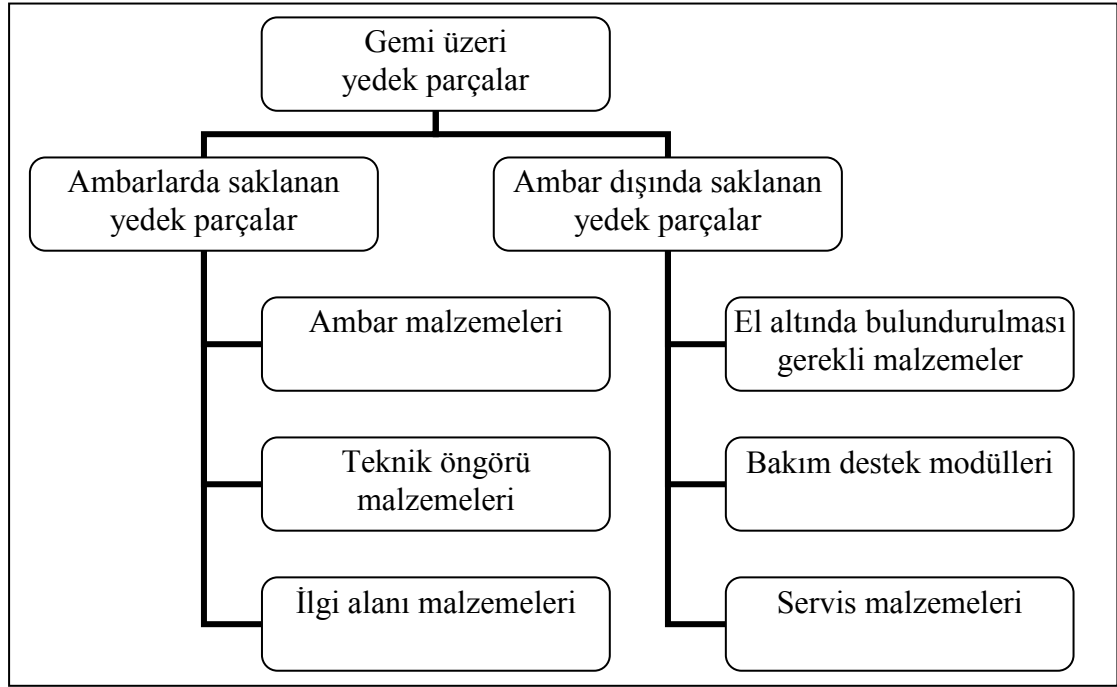
1.1. Gemi Üzeri Yedek Parçaların Sınıflandırılması

Gemi üzeri yedek parça listesindeki yedek parçalar, özelliğine göre ambarlarda veya ambar dışında saklanabilmektedir. Gemi üzeri yedek parça türleri, toplu halde Şekil 1.1'de gösterilmektedir. Ambarlarda saklanan yedek parçalar da kendi arasında üçe ayrılmaktadır [41]:

- Ambar malzemeleri (storeroom items – SRI),
- Teknik öngörü malzemeleri (technical override items – TOR),
- İlgi alanı malzemeleri (area of interest items – AOI).

Teknik öngörü malzemeleri, silah sistemlerinden istenen güvenilirlik düzeyi, planlı bakım veya gemi personelinin güvenliği için gerekli olan malzemeler olup, deneyimli personel tarafından gemi üzerinde taşınmasının uygun olacağı değerlendirilen malzeme grubudur. Değerlendirmeler, tecrübelerden faydalanıldığı için objektif değil subjektiftir. Bu nedenle, bu tez çalışmasında hedeflenen gemi üzeri yedek parça listesi oluşturma çalışmaları kapsamı dışındadırlar. Amerikan

Donanmasında görevli 3 farklı tip savaş gemisine ait gemi üzeri yedek parça listesinin hangi malzeme tiplerinden meydana geldiği Şekil 1.2’de gösterilmektedir.

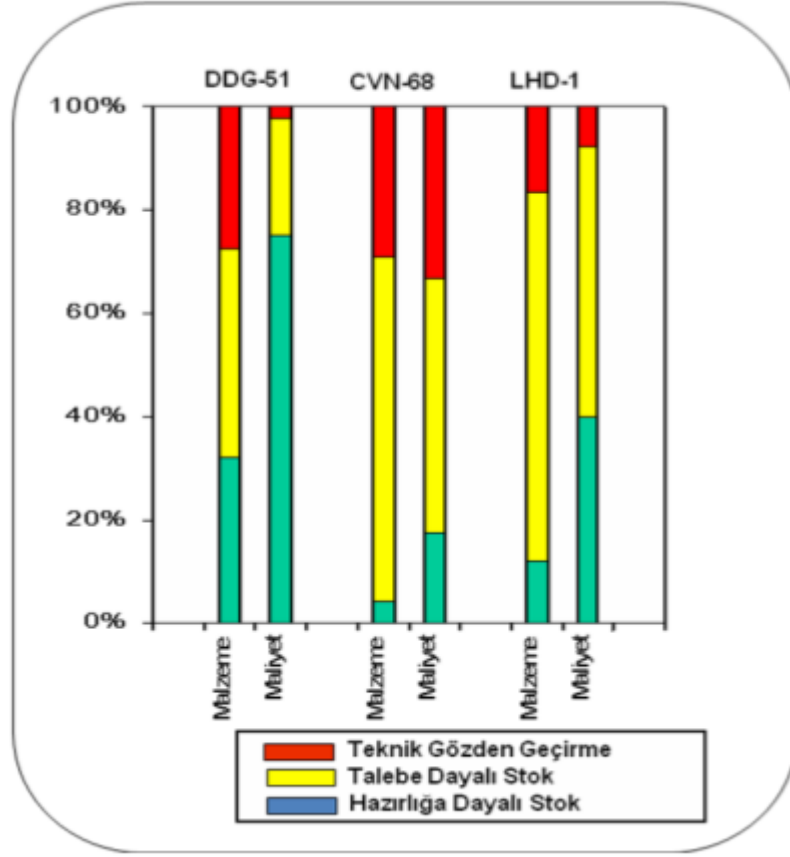


Şekil 1.1. Gemi üzeri yedek parça türleri

Ambar dışında saklanan malzemeler de kendi içinde üçe ayrılmaktadır:

- El altında bulundurulması gerekli malzemeler (operating space items – OSD): Bakım yapmak için bakım personeli ve teknik personeli tarafından ihtiyaç duyulan malzemelerdir.
- Bakım destek modülleri (maintenance assistance modules – MAM): Genel olarak arızanın tespiti ve giderilmesi için kullanılan test ekipmanlarıdır.
- Servis malzemeleri (ready service spares - RSS): Onarım işlemini kolaylaştırmaya yönelik, fiziksel olarak çalışma alanında bulundurulmuş yedek parçalardır.

Ambar dışında saklanan malzemeler, doğrudan arızanın giderilmesi için ihtiyaç duyulan malzemeler değil, onarımın yapılabilmesi için ihtiyaç duyulan ara malzemelerdir. Bu nedenle, bu malzeme grubu da bu tez çalışmasında hedeflenen gemi üzeri yedek parça listesi oluşturma çalışmaları kapsamı dışındadır.



Şekil 1.2. Üç farklı tip gemiye ait gemi üzeri yedek parça listesi içeriği [1]

Gemi üzeri yedek parça optimizasyonu sadece ambar malzemeleri üzerinde yapılmaktadır. Bunun için öncelikle, bakımın yapılacağı seviyenin bilinmesi gerekmektedir. Bazı parçalar, fiziksel olarak çok büyük olmaları veya gemi personeli tarafından tamir edilemeyecek şekilde karmaşık olması veya özel tamir aletine gereksinim duyması nedeniyle gemi seviyesi bakım kapsamı dışındadırlar. Savaş gemilerinde bulunan tüm sistem, cihaz ve parçalar hakkında gerekli bilgiyi içeren COSAL dokümantasyonunda yer alan kaynak, bakım ve onarılabirlik kodu (SMR - source, maintenance and recoverability code) kodu, bakımın hangi seviyede yapılabileceğini göstermektedir. SMR koduna göre, tersane seviyesi bakımı gibi gemi seviyesi bakım kapsamı dışındaki büyük ölçekli bakımlarda kullanılan malzemeler, gemi üzerinde bulundurulması gereken yedek parçalar olarak seçilemezler.

Buna göre, gemi üzeri yedek parçaların seçiminde kullanılmak üzere bir model oluşturulabilmesi için, ilk yapılması gereken SRI malzemeleri arasından, SMR kodlu

gemi personeline tamir edilebilir etiketli malzemeler kümesinin oluşturulmasıdır. Diğer yedek parça türleri, geminin idamesi için kullanılan önemli veri kaynakları olmalarına rağmen, gemi üzerinde bulundurulması gereken yedek parça listesinin hesaplanmasında kullanım yerleri bulunmamaktadır.

1.2. Gemi Üzeri Yedek Parça Seçiminde Kullanılan Veri ve Parametreler

Gemi üzeri yedek parça listesinin hesaplanmasında, birçok veri kullanılmak durumundadır ve bu veri COSAL elektronik dokümantasyonunun farklı bölümlerinde yer almaktadır. Tablo 1.1’de, COSAL elektronik dokümantasyonlarında verilen tüm verinin içerisinde yer aldığı dosyaların uzantı ve açıklamaları verilmektedir. Genel olarak, gemi üzeri yedek parça hesaplamasında kullanılması planlanan veri PX1, GX1, NX1, NX12 ve NX13 dosyalarında bulunmaktadır. Bu dosyaların içerisindeki veri, düzgün veritabanı tablosu formatında değildir. Tez çalışması kapsamında, öncelikle bu verinin okunabilir hale getirilebilmesi için bir çalışma yapılmıştır. PX1, GX1 ve NX1 dosya yapısı Ek-B’de verilmiştir. Koyu gölgelendirilmiş alanlar, 0.5 FLSIP+ ve Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modelleriyle gemi üzeri yedek parça listesinin oluşturulması için ihtiyaç duyulan alanları göstermektedir.

Gemi üzerindeki sistemlerde yüzbinin üzerinde parça bulunduğu dikkate alınır, yedeklenmesi gereken sınırlı sayıda parçaların belirlenmesi son derece zor bir problemdir ve bunu gerçekleştirebilmek için çeşitli kriterler veya parametrelerin kullanılması gerekmektedir. COSAL listelerinin detaylı incelenmesi sonucunda, gemi üzerinde stoklanması gereken yedek parçaların hesaplanmasında kullanılan parametreler Tablo 1.2’de verilmiştir.

Model oluşturulması için öncelikle her bir yedek malzeme için kullanım oranı UR (usage rate) Eşitlik (1.1) ile hesaplanmalıdır. UR , bir yedek parçaya 90 günlük bir süre zarfında ne sıklıkla ihtiyaç duyulacağını gösteren rakamsal bir veridir.

$$UR = \frac{TP \cdot BRF}{4} \quad (1.1)$$

Tablo 1.1. COSAL dosya uzantı ve açıklamaları

Dosya Uzantısı	Açıklama
NV1	COSAL PART I - SOAPL
FX1	COSAL PART I SECTION A AND B
VU1	COSAL PART I SECTION C, D AND E (PART I)
PX1	COSAL PART II SECTION A - APL DATA
PX3	COSAL PART II SECTION C - AEL DATA
NW1	MASTER WORK TAPE
GX1	PRE-SNSL DATA PRIOR TO COMPUTATION OF ALLOWANCES
NX1	SNSL COMPUTED WORK TAPE –BY METHOD MODFLSIP (REGULAR RUN)
NX12	SNSL COMPUTED WORK TAPE –BY METHOD 0,25F (REGULAR RUN)
NX13	SNSL COMPUTED WORK TAPE –BY METHOD FLSIP 0,5F+ (REGULAR RUN)
HV1	COSAL PART III SECTION D – CROSS REFERENCE DATA
PW1	MODFLSIP (SHIP VALUE LIST) (REGULAR PRODUCTION)
PW12	FLSIP 0,25F (SHIP VALUE LIST) (REGULAR PRODUCTION)
PW13	FLSIP 0,5F+ (SHIP VALUE LIST) (REGULAR PRODUCTION)

Tablo 1.2. Yedek parça seçiminde kullanılan parametreler

Veri Adı	Kısaltması
Yedek parça birim fiyatı	P (Unit Price)
Gemi üzeri toplam sayı	TP (Total Population)
Yedek parçanın önem derecesi	MEC (Military Essential Code)
En iyi değişim çarpanı	BRF (Best Replacement Factor)
Minimum değişim miktarı	MRU (Minimum Replacement Unit)

UR hesaplanırken, *BRF* oranının *TP* ile çarpıldıktan sonra 4'e bölünmesinin nedeni şudur: Savaş gemileri genel olarak 90 gün boyunca dışarıdan herhangi bir lojistik destek almadan kendi başına savaşabilecek şekilde kurgulanır. *BRF* oranı, yıllık ortalama taleplerden yola çıkılarak hesaplandığı için, *TP* ile çarpımından elde edilen sonuç yıllık toplam miktarı verecektir. Gemiler ise yıllık ihtiyaçlarını değil, 90 günlük yedek parça ihtiyaçlarını üzerlerinde taşıdıkları için ($365 / 90 \approx 4$), yıllık hesaplanan yedek parça miktarı 4'e bölünerek 90 günlük yedek parça miktarı hesaplanmış olur.

Optimizasyon sonucu elde edilecek gemi üzeri stoklanacak yedek parça listesi oluşturulabilmesi için *MRU* dikkate alınmalıdır. *MRU*, bir bakım yapılırken aynı malzemeden değiştirilmesi gereken en az miktarı gösterir. Örneğin, araç bakımlarında lastikler değiştirilirken en az iki lastik birden değiştirilmesi gerektiği gibi.

TP: Bir parçanın gemi üzerinde mevcut tüm cihaz ve teçhizatlar da toplam kaç adet kullanıldığı bilgisidir.

BRF: Bir gemide aynı yedek parçanın bir yıl içinde kaç kez değiştirileceğinin, yeni bir gemi için üreticinin mühendislik tahminlerine, kullanımda olan gemiler için ise sarf miktarlarına dayanılarak her yıl yeniden hesaplanan miktarıdır. *BRF*, her yıl yeniden hesaplanırken aşağıdaki eşitlik kullanılır;

$$BRF_{yeni} = \alpha \cdot MDV_{yeni} + (1-\alpha) \cdot BRF_{eski} \quad (1.2)$$

Eşitlik (1.2)'den de anlaşılacağı üzere, yeni *BRF* hesaplanırken, yıl içerisinde gerçekleşen ortalama talep miktarının (*MDV*) belirli bir ağırlıkla çarpımı kullanılır. α değeri, genel olarak eğilimi belirleyen bir çarpandır. Malzemeye olan talep son yıllarda artma veya azalma eğilimindeyse, bu değer de bu eğilime göre artar veya azalır. Eğer malzemeye ait belirli bir talep bulunmuyorsa, bu durumda genel olarak $\alpha=0,1$ değeri alınır. Yani son yıl talepleri genel *BRF* oranını %10 oranında etkiler. Büyük α değeri, son yıla ait verinin çok daha önemli olduğunu göstermektedir.

1.3. Mevcut Gemi Üzeri Yedek Parça Stok Modellerinin Tarihsel Gelişimi

Bu bölümde, dünya donanmalarında yaygın olarak kullanılan gemi üzeri yedek parça stok modelleri ve tarihsel gelişimleri anlatılmaktadır.

1.3.1. 0.25 FLSIP modeli

Bu model, yedek parçanın 4 yıl içerisinde en az 1 defa talep görme esasına dayandırılmıştır. 4 yıl içerisinde minimum 1 talebin anlamı, malzemenin yıllık minimum 0,25 talep miktarı değerine sahip olmasıdır. Bu nedenle, modelin ismi yıllık talep miktarından esinlenilerek 0.25 FLSIP olarak belirlenmiştir.

Gemi üzeri yedek parça miktarları hesaplanırken, bir yıl yerine 90 güne karşılık gelen yılın dörtte biri oranı esas alınmaktadır. Bu durumda, $0,25 / 4 = 0,0625$ eşik değeri elde edilir. 0.25 FLSIP modelinde, bu eşik değerine göre olası üç durum şunlardır;

- $UR < 0,0625$ durumu: 90 günlük kullanım oranı 0,0625'ten küçük olan yedek malzemeler, yani talep miktarı çok az olan malzemeler, gemi üzerinde stoklanacak yedek parça listesinin dışında kalmaktadır.
- $0,0625 < UR \leq 1$ durumu: Bu durumdaki malzemeler, sigorta malzemesi olmaya adaydırlar ve UR dışındaki diğer özelliklerine bakılır. Bu özellikleri, *MEC* ve *IMEC* kodları göstermektedir. Burada; *MEC* kodu bir sistem içerisindeki parçanın sistemin genel işleyişine etkisini gösterirken, *IMEC* kodu malzeme ile geminin asli görevleri arasındaki ilişkiyi tanımlamaktadır. *MEC* ve *IMEC* incelemesi sonucunda sigorta malzemesi olarak belirlenen malzemelerden *MRU* kadar malzeme gemi üzerinde yedeklenir.
- $UR \geq 1$ durumu: Bu durumdaki malzemeler, talebe dayalı malzeme olarak tanımlanır. Gemi üzerinde ne kadar yedekleneceği sorusunun cevabı ise, yıllık talep miktarının dörtte biridir.

Gemi üzeri yedek parça stok listesi kapsamı dışında kalan ve bu nedenle *UR* değeri hesaplanmayan malzemeler; daha önce Şekil 1.1'de gösterilen TOR, AOI, OSI, MAM ve RSS malzemeleridir.

1.3.2. MODFLSIP modeli

0.25 FLSIP modelinin önemli eksiklerini gidermek amacıyla geliştirilmiştir. MODFLSIP (Modified FLSIP) modelinin 0.25 FLSIP modelinden farkı, sigorta malzemelerini değerlendirme biçimidir. Bu modele göre, *IMEC* koduna göre bir malzemenin, geminin asli görevleri açısından kritik öneme sahip olması yeterli değil, aynı zamanda son 10 yıl içerisinde en az 1 defa talep görmüş olma şartı da aranmaktadır. 10 yıl içerisinde 1 arıza 0,10 kullanım oranı veya 90 günlük kullanım oranı karşılığı olan 0,025 olarak belirtildiğine göre, bir malzemenin sigorta malzemesi olarak gemide yedek olarak bulundurulabilmesi için, kullanım oranının 0,025'ten büyük olması gerekmektedir. Bu durumda, 1 *MRU* kadar; yıllık talep miktarı 2-4 arası ise 2 *MRU* kadar malzeme gemi üzeri yedek olarak belirlenir. *IMEC*

kodu görece daha düşük olan malzemeler için tıpkı 0.25 FLSIP modelinde olduğu gibi 0,0625 kullanım oranı esas alınır. Diğer tüm hesaplamalar 0.25 FLSIP modeli ile aynıdır.

1.3.3. 0.5 FLSIP modeli

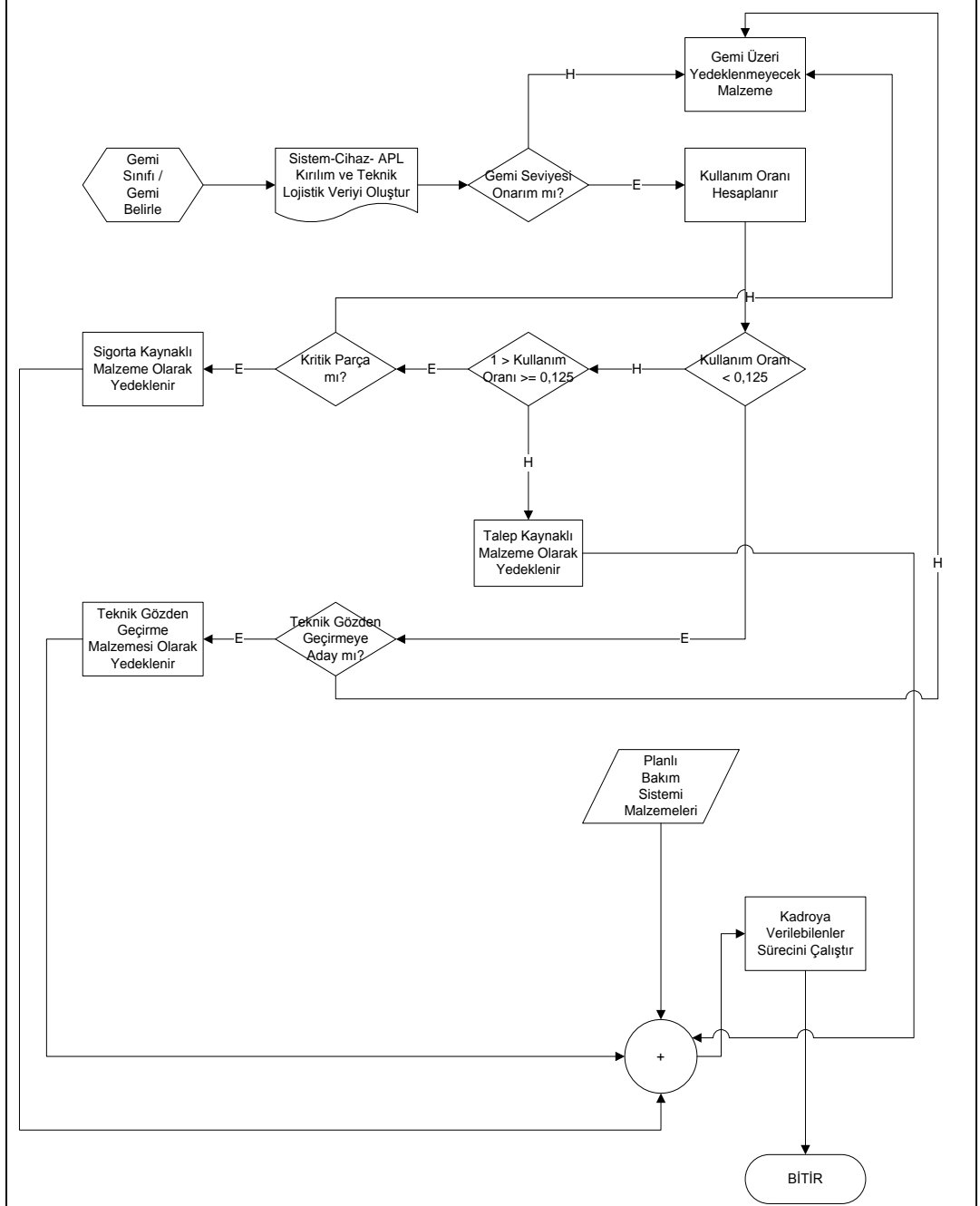
1991 yılında geliştirilmiş bir modeldir. Önceki modellerin en büyük eksikliği, çok fazla malzemenin gemi üzerinde yedeklenmesi gerektiği, dolayısı ile yüksek maliyetleridir. Bu problemden yola çıkılarak, savaş gemileri için mevcut harbe hazırlık seviyesinin korunarak, malzeme miktarında yaklaşık %10, maliyetlerde ise yaklaşık %20 oranında azaltma sağlayacak bir model geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Bu model, 0.25 FLSIP modelinden farklı olarak, 4 yıl yerine 2 yıl içerisinde en az 1 defa talep görme esasına dayandırılmıştır. 2 yıl içerisinde minimum 1 talebin anlamı, yaklaşık olarak yıllık minimum 0,5 talep miktarına sahip olmasıdır. Bu nedenle modelin ismi, yıllık *UR* oranından esinlenilerek 0.5 FLSIP olarak belirlenmiştir. Bu modele ait süreç Şekil 1.3'de gösterilmektedir.

0.25 FLSIP modelinde belirtildiği üzere, gemi üzeri yedek parça miktarı hesaplanırken, yıl değil, 90 güne tekabül eden yılın dörtte biri oranı esas alınmaktadır. Bu durumda $0,50 / 4 = 0,125$ eşik değeri elde edilir. Bu eşik değerine göre olası 3 durum şunlardır;

- $UR < 0,125$ durumu: Bu durumdaki malzemeler, yani talep miktarı çok az olan malzemeler, gemi üzerinde stoklanacak yedek parça listesinin dışında kalmaktadır.
- $0,125 < UR \leq 1$ durumu: Bu durumdaki malzemeler, sigorta malzemesi olmaya adaydırlar ve *UR* dışındaki diğer özelliklerine bakılır. Bu özellikler, 0.25 FLSIP modelinde de belirtildiği üzere *MEC* kodu ve *IMEC* kodlarıdır. Burada, *MEC* kodu bir sistem içerisindeki parçanın sistemin genel işleyişine etkisini gösterirken, *IMEC* kodu malzeme ile geminin asli görevleri arasındaki ilişkiyi tanımlar. *MEC* ve *IMEC* incelemesi sonucunda sigorta malzemesi olarak belirlenen malzemelerden *MRU* kadar malzeme gemi üzerinde yedeklenir.

- $UR \geq 1$ durumu: Bu durumdaki malzemeler, talebe dayalı malzeme (demand based item) olarak tanımlanır. Gemi üzerinde ne kadar yedekleneceği sorusunun cevabı ise, yıllık talep miktarının dörtte biridir.



Şekil 1.3. 0.5 FLSIP modeline ait süreç [47]

Penrose [3] yapmış olduğu çalışmada, 0.5 FLSIP ile MODFLSIP modellerini, ABD donanmasına ait Roberts gemisini esas alarak karşılaştırmayı amaçlamıştır. Gemiye ait COSAL dokümanlarında bulunan yaklaşık 125.000 gemi üzeri potansiyel yedek

parça adayı, MODFLSIP modeli kullanılarak Tablo 1.3'te verildiği gibi 12.045 adede indirilmiştir. Aynı gemi verisi üzerinde 0.5 FLSIP modeli kullanıldığında ise malzeme kalem sayısı Tablo 1.4'te verildiği gibi 8.450'ye inmiştir.

Tablo 1.3. Roberts gemisinin MODFLSIP modeline göre yedek parçaları [1]

Malzeme sınıfı	Gemi üzeri miktar	Mali değeri (\$)
AOI	841	124.000
TOR	2.077	2.759.000
SRI	9.127	3.279.000
Toplam	12.045	6.162.000

Tablo 1.4. Roberts gemisinin 0.5 FLSIP modeline göre yedek parçaları [1]

Malzeme sınıfı	Gemi üzeri miktar	Mali değeri (\$)
AOI	841	124.000
TOR	2.077	2.759.000
SRI	5.532	1.037.000
Toplam	8.450	3.920.000

Yeni geliştirilen bir envanter modeli, gemi üzeri yedeklenecek miktarın ve maliyetlerin azaltılmasını, savaş gemilerinin hazırlık düzeyinin ve etkinliğinin artırılmasını sağlamalıdır. Etkinlik ölçülebilir bir kavram olup, savaş gemileri için iki tip ana etkinlik ölçümü mümkündür. Bunlar, Eşitlik (1.3) ve Eşitlik (1.4) ile sırasıyla verilen net etkinlik ve brüt etkinlik kavramlarıdır.

$$\text{Net Etkinlik} = \frac{\text{Gemi üzeri stoklardan karşılananlar}}{\text{Toplam yedek parça talepleri}} \quad (1.3)$$

$$\text{Brüt Etkinlik} = \frac{\text{Gemi üzeri stoklardan karşılananlar}}{\text{Toplam malzeme talepleri}} \quad (1.4)$$

Yukarıda verilen denklemlerden de anlaşılacağı üzere, net etkinlik kavramı, sadece yedek parça taleplerinin ne kadarının gemi üzeri stoklardan karşılandığı ile ilgilenirken; brüt etkinlik, sadece yedek parça değil, her tip malzeme taleplerinden ne kadarının gemi üzeri stoklardan karşılandığı ile ilgilenmektedir. Roberts gemisinin 4 çeyrek dönem, yani 1 yıllık verisine göre MODFLSIP ve 0.5FLSIP modellerinin karşılaştırılması Tablo 1.5'te verilmektedir.

Tablo 1.5. MODFLSIP ve 0.5 FLSIP modellerinin etkinlikleri [1]

Model adı	Toplam malzeme talep miktarı	Gemi üzeri stoklardan karşılanan miktar	Brüt model etkinliği	Gemi üzeri stoklarının değeri (Milyon \$)
MODFLSIP	1.765	1.092	%61,8	6,16
0.5 FLSIP	1.765	725	%41,1	3,92

1.3.4. 0.5 FLSIP+ modeli

Amerikan Roberts gemisi verisi üzerinde yapılan analizler incelendiğinde, 0.5 FLSIP modelinin, yedeklenen parça miktar ve maliyetini ciddi oranda düşürdüğü görüldüğü de, modelin etkinliğinin de benzer ölçüde düştüğü görülmektedir. Bu sonuç son derece doğaldır, çünkü 0.5 FLSIP modelindeki malzemeler, MODFLSIP modelindeki malzemelerin tam bir alt kümesidir. Yani, 0.5 FLSIP modelinde olup, MODFLSIP modelinde bulunmayan herhangi bir malzeme yoktur. Bu durumda, brüt model etkinliğinin daha da iyileşmesi imkansız, aynı kalması ise imkansız olmasa da pek rasyonel değildir.

0.5 FLSIP modelinin MODFLSIP modeline göre daha iyi brüt etkinliğe sahip olabilmesi için, MODFLSIP modeli haricindeki malzemeleri de içeriyor olması gerekmektedir. Bu noktada, 0.5 FLSIP modeline “+” özelliğini veren bir iyileştirme devreye girmektedir. 0.5 FLSIP+ modeli, etkinliği artırmak için, üzerinde aynı cihazlar bulunan benzer sınıf gemilerin verisini de hesaba katmaktadır. Roberts gemisi örneğine dönülecek olursa, üzerinde aynı cihazların olduğu ve Roberts gemisiyle aynı sınıfta olan 14 gemi daha vardır. Roberts gemisi dahil 15 geminin 4 yıllık verisi alınarak, toplamda 60 gemi-yıllık veri oluşturulmuştur. Genel mantık olarak, 0.5 FLSIP modelinden gelen tüm malzemelerin yanında aynı sınıf gemilerin verisi incelenerek belirli kuralı karşılayan malzemeler de bu listeye eklenecektir. İlave malzeme seçimi için belirlenen kural ise, tüm sınıf gemiler için yani 15 gemi için 4 yıl içerisinde toplam 8 defa talep gören malzemelerin de 0.5 FLSIP+ modeli listesine eklenmesidir. 15 geminin 4 yıllık verisi incelendiğinde, 640.758\$ değerindeki 998 farklı malzemenin bu şartı sağladığı görülmüştür.

0.5 FLSIP+ modeline yapılan eklentiler yukarıdaki 998 kalem malzeme ile sınırlı değildir. Bu malzemelerin yanında 344.000\$ değerinde 74 farklı arıza raporu (ARZRAP) malzemesi de bu modele eklenmiştir. ARZRAP talepleri, geminin duruş

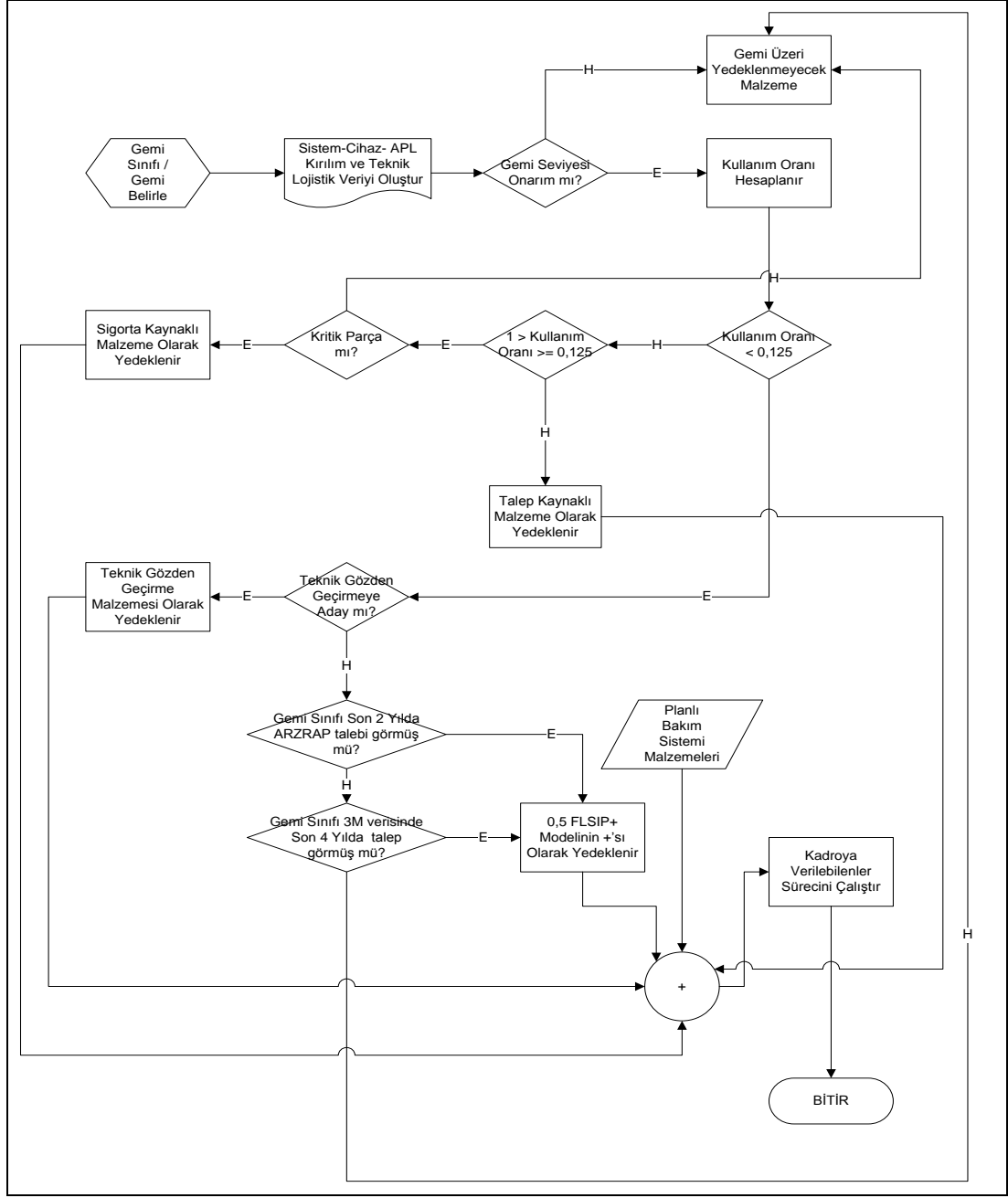
ve vuruş gücüne birebir etki eden kritik malzemelerdir. Geminin duruş gücünden kasıt, geminin hareketini sağlayan makineleri, vuruş gücünden kasıt ise silah sistemleridir. Yani makine ve silah sistemlerinin düzgün olarak çalışmasına engel arızalar ARZRAP kapsamındadır. Bu talepler, en yüksek önem derecesine sahip olup, acil işlem görmektedir. Bu taleplerdeki malzemeler, geminin hazırlık derecesini doğrudan etkilediği için 0.5 FLSIP+ modeline eklenmiştir. İyi bir model, bir geminin hazırlık durumunu ve etkinliğini de artırmalıdır. ARZRAP malzemelerinin eklenmesi ile hazırlık durumu, 15 geminin verisinden elde edilen ve talep bazlı olan yeni malzemelerin eklenmesi ile etkinlik durumu artırılmıştır. 0.5 FLSIP+ modeli ile oluşturulan son malzeme listesi Tablo 1.6'da verilmektedir. 0.5 FLSIP+ modelinin oldukça etkileyici bir model olduğu Tablo 1.7'de görülebilmektedir. Bu modele ait süreç ise Şekil 1.4'de gösterilmektedir.

Tablo 1.6. Roberts gemisinin 0.5 FLSIP+ modeline göre yedek parçaları [1]

Malzeme sınıfı	Gemi üzeri miktar	Mali değeri (\$)
AOI	841	124.000
TOR	2.077	2.759.000
0.5 FLSIP	5.532	1.037.000
Talep Bazlı	998	640.000
ARZRAP Bazlı	74	344.000
Toplam	9.522	4.903.000

Tablo 1.7. 0.5 FLSIP+ modelinin diğer modellere göre etkinliği [1]

Model adı	Toplam malzeme talep miktarı	Gemi üzeri stoklardan karşılanan miktar	Brüt model etkinliği	Gemi üzeri stoklarının değeri (Milyon \$)
MODFLSIP	1.765	1.092	% 61,8	6,16
0.5 FLSIP	1.765	725	% 41,1	3,92
0.5 FLSIP+	1.765	1.298	% 73,5	4,90



Şekil 1.4. 0.5 FLSIP+ modeline ait süreç [47]

1.3.5. Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modeli

Ticari kuruluşlar ile devlet kuruluşları gibi ticari olmayan kuruluşlar arasındaki lojistik anlayış farkı her geçen gün azalmakta ve her ikisinin iş yapış yöntemleri birbirlerine giderek benzemektedir. Bunun bir göstergesi de, maliyetlerin ticari kuruluşlar kadar silahlı kuvvetler için de çok daha fazla önem kazanmasıdır. 2004 yılında, Amerikan Donanmasındaki gemilerin üzerinde bulundurulacak malzemeler,

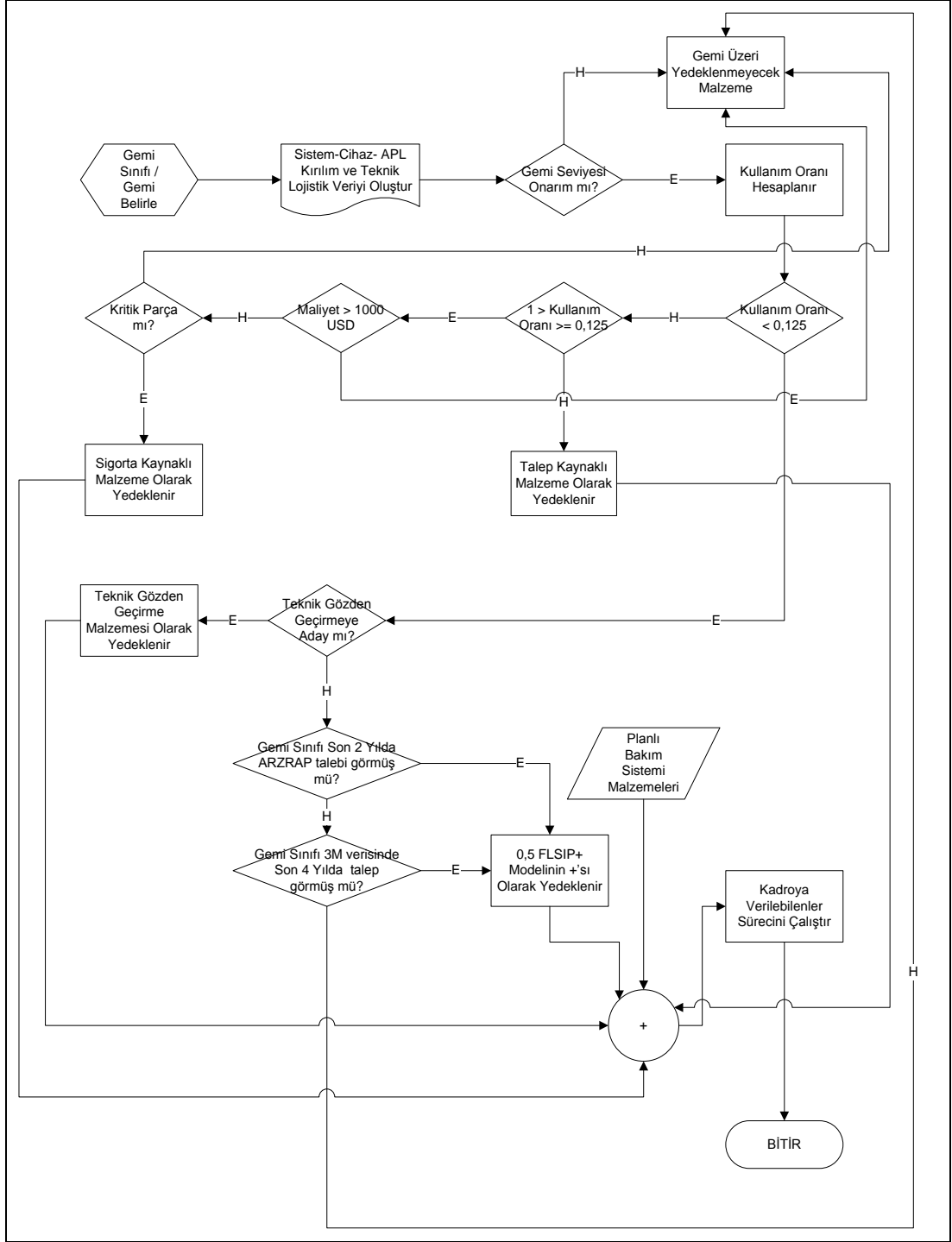
fiyata duyarlı hale getirilmiştir. Bu modelin 0.5 FLSIP+ modelinden farkları şunlardır [47]:

0.5 FLSIP+ modelinde genel yaklaşım, bir malzemenin gemi üzeri yedek listesine girebilmesi için son 2 yılda en az 1 kez talep edilmesi yeterli iken, maliyet duyarlı sistemde bu gerek şart sadece 1000\$ üzerinde maliyete sahip malzemeler için son 1 yılda 4 taleptir. Yani, 0.5 FLSIP+ modeli ile yedek parça listesi belirlendikten sonra, aralarından 1000\$ üzerinde değere sahip olanlar ilave değerlendirmelerden geçirilir ve *UR* değeri 4'ten küçük olanlar bu listeden silinir. Ya da, daha ilk malzeme listesi belirlenirken ilk önce malzemenin fiyatına bakılır ve fiyat 1000\$'ın üzerindeyse *UR* ≥ 4 , 1000\$'ın altındaysa *UR* $\geq 0,5$ durumuna göre değerlendirme yapılır.

Şekil 1.5'te, Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modeline ait süreç gösterilmektedir. RBS, PMS, SO ve OSI malzemeleri, diğer mevcut modellerde olduğu gibi gemi üzeri yedek parça stok optimizasyonu hesaplamasının dışında tutulmuştur.

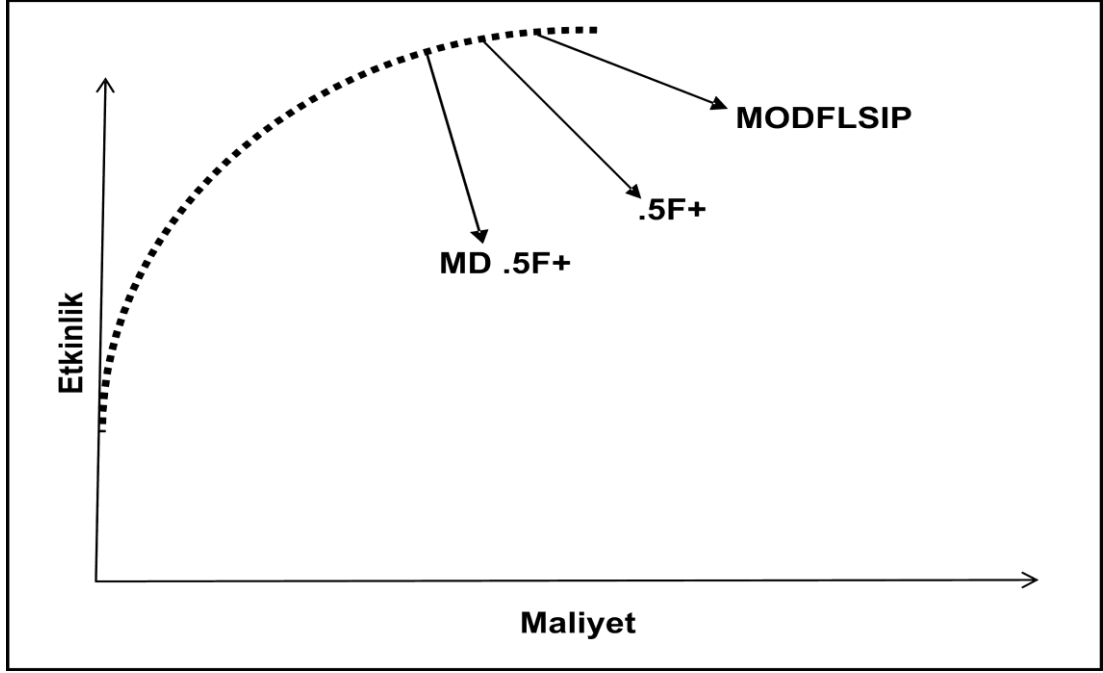
0.5 FLSIP+ modelinin "+" kısmı ise, 1000\$'ın üzerinde fiyata sahip C2 seviyesi ARZRAP ile 3M malzemelerini gemi üzeri yedek malzeme listesinin dışında tutmaktadır. Yine bu modelin "+" kısmından kaynaklanan ve arıza raporları ile ilgili olan bir diğer kural ise, aynı tip/sınıf gemilerin toplam son 2 yıl içerisinde C3/C4 seviyesinde en az 1 talep görenlerden 10.000\$ altındakiler için yedek listesine 1 MRU kadar eklenmesi kuralıdır. Bu sayede 10.000\$ altındaki malzemelerin de gemi yedek parça listesinde yer alması olasılığı sağlanmıştır.

MODFLSIP, 0.5 FLSIP+ ve Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modellerinin maliyet/etkinlik karşılaştırmaları Şekil 1.6'da gösterilmektedir. Şekilde, modellerin temsil ettiği noktalar üzerinde eğrinin yatay eksenle çok küçük bir açı yaptığı görülmektedir. Bunun anlamı, etkinlikte yapılan çok az bir azaltma ile yüksek miktarlarda maliyet düşümü sağlandığıdır. Buradan da sonuç olarak, her geliştirilen yeni modelin etkinlikte çok küçük oranda düşümlere neden olmasına rağmen, maliyetlerde kayda değer düşüşler gerçekleştirdiği söylenebilir.

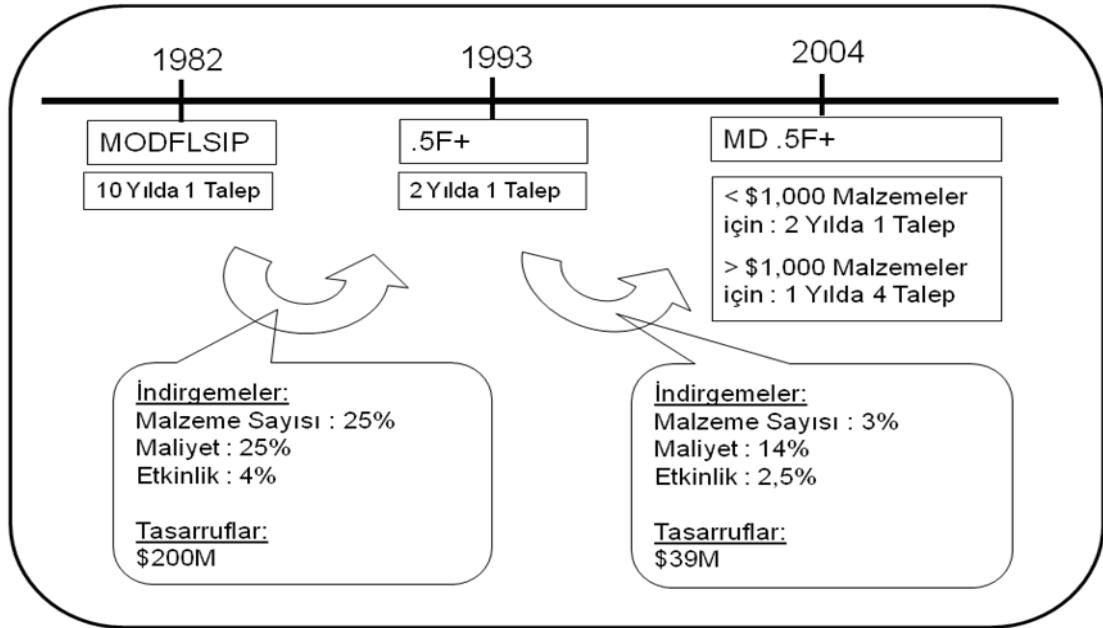


Şekil 1.5. Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modeline ait süreç [47]

Yukarıda açıklanan modellerin tarihsel gelişimini özetleyen yapı, Şekil 1.7’de gösterilmektedir.



Şekil 1.6. Talebe dayalı stok modellerinin etkinlik karşılaştırması [41]



Şekil 1.7. Stok modellerinin tarihsel gelişimi [41]

1.3.6. 0.5 FLSIP+ ve Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modelleri ile yedek parçaların hesaplanması

0.5 FLSIP+ ve Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modelleri kullanılarak, Microsoft Excel ortamında yapılan yedek parça hesaplaması Tablo 1.7'de gösterilmektedir. 0.5 FLSIP+ ile Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modelleri arasındaki tek fark, " $x > 1.000\$$

mi?" satırı ile belirtilen, malzemenin birim fiyatının 1.000\$'dan daha büyük olup olmama durumudur. Eğer malzeme 1.000\$'dan pahalı ise sigorta kaynaklı malzeme kapsamına alınmaz, şartları uygunsa yani yıllık talep miktarı 4 ve üzeri ise, talep kaynaklı malzeme kapsamına alınabilir.

Tablo 1.8. Yedek parça hesaplaması

	Örnek-1	Örnek-2	Örnek-3	Örnek-4	Örnek-5
ID	13481	16731	17829	98856	40274
BRF	0,23	0,32	0,96	0,13	0,9
Malzeme birim fiyatı	759,22	2,81	15,82	1770,00	0,76
MRU	1	1	2	1	1
Toplam mevcudiyet	4	4	4	5	60
Yıllık talep miktarı	0,92	1,28	3,84	0,65	54
Yıllık maliyeti	698	4	61	1150	41
Talep kriteri	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	TRUE
Talep kaynaklı miktar	1	1	1	1	13
X > 1.000\$ mi?	FALSE	FALSE	FALSE	TRUE	FALSE
Sigorta Malzemesi mi?	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE
Önem derecesi =1, 5, 7 mi?	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	TRUE
Sigorta kaynaklı miktar	1	1	2	1	1
Stoklanacak miktar	1	1	2	1	13
Talep maliyeti (\$)	0,00	0,00	0,00	0,00	9,88
Sigorta maliyeti (\$)	759,22	2,81	31,64	1770,00	0,00
Stok maliyeti (\$)	759,22	2,81	31,64	1770,00	9,88

Hesaplama adımları aşağıda olduğu gibidir:

- ID: Her bir malzemeyi tanıtan ve diğerlerinden ayıran tanımlamadır.
- BRF: Yıllık talep sayısının, toplam mevcuda bölünmesi ile elde edilir ve her yıl yeniden hesaplanır. Detayı Bölüm 1.2'de açıklanmıştır.
- Malzeme birim fiyatı: Her bir malzemenin 1 tanesinin fiyatını \$ olarak gösterir.
- MRU: Bir parçanın yenisi ile değiştirilmesi gerektiğinde en az kaç adet değiştirilebileceğini gösterir. Örneğin, arabaların bujilerinin dördünün birden değiştirilmesi gerektiği gibi.
- Toplam mevcudiyet: Her bir cihaz içerisindeki miktar ile gemide bulunan toplam cihaz miktarının çarpımı ile elde edilir.
- Yıllık talep miktarı: Toplam gemi mevcudu ile BRF'nin çarpımı ile elde edilir. Tahmini olarak yıllık talep miktarı elde edilmiş olur.
- Yıllık maliyeti: Malzemenin birim fiyatı ile gemi üzeri toplam mevcudunun çarpımı ile elde edilir.

- Talep kriteri : Tahmini yıllık talep miktarı 4'ten büyükse, yani yıllık en az 4 kez talep edilmiş ise "TRUE", aksi halde "FALSE" döndürür.
- Talep kaynaklı miktar: UR'nin 1 ve üstü olması durumunda elde edilen miktardır.
- $X > 1.000\$$ mi?: Sadece Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modelinde kullanılmaktadır. 1.000\$ ve üstü maliyete sahip malzemeler sigorta kaynaklı malzeme kapsamına alınmaz. Yıllık talep miktarı 4 ve üzeri ise talep kaynaklı malzeme olarak belirlenir.
- Sigorta malzemesi mi?: Tahmini yıllık talep miktarı 0,5 değerinin üstündeysen "TRUE", aksi halde "FALSE" döndürür.
- Önem derecesi= 1, 5, 7 mi?: Parçanın içinde bulunduğu cihaz açısından önemli olduğunu gösteren 1, 5 veya 7 değerlerinden herhangi bir tanesi ise "TRUE", aksi halde "FALSE" döndürür.
- Sigorta kaynaklı miktar: Eğer sigorta kriteri ve PartMec=1, 5, 7 alanlarının her ikisi "TRUE" ise minimum yenileme miktarı kadardır.
- Stoklanacak miktar: Eğer talep kriteri "TRUE" ise talep kaynaklı miktar, eğer talep kriteri "FALSE" fakat sigorta kriteri "TRUE" ise sigorta kaynaklı miktardır. Her ikisi de "FALSE" ise sıfırdır.
- Talep maliyeti (\$): Talep kaynaklı miktar ile birim fiyatın çarpımı sonucu elde edilen değer Amerikan Doları cinsinden karşılığıdır.
- Sigorta maliyeti (\$): Sigorta kaynaklı miktar ile birim fiyatın çarpımı sonucu elde edilen değer Amerikan Doları cinsinden karşılığıdır.
- Stok maliyeti (\$): Gemi üzeri yedek parça listesi miktarı ile birim fiyatın çarpımı sonucu elde edilen değerdir.

Yukarıda detayları verilen tüm işlemlerde, 490 borda numaralı Perry Sınıfı geminin verisi kullanılmıştır. GX1 tablosundaki toplam kayıt miktarı 74.701'dir.

0.5 FLSIP+ modeline göre yapılan hesaplamalar ile elde edilen sonuçlar Tablo 1.9'da verilmektedir. Hesaplama sonucuna göre, sigorta kaynaklı malzemelerin miktarı 1.714 ve toplam maliyeti 915.443\$ iken, talep kaynaklı malzemelerin miktarı 4.191 ve toplam maliyeti 1.570.668\$'dir. Toplamda 5.905 malzeme için 2.486.131\$'lık bir toplam maliyet bulunmuştur.

Tablo 1.9. 0.5 FLSIP+ modeline göre yedek parça miktar ve maliyetleri

Malzeme tipi	Miktar	Maliyet (\$)
Talep kaynaklı malzemeler	1.714	915.443
Sigorta kaynaklı malzemeler	4.191	1.570.688
Toplam	5.905	2.486.131

Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modeline göre yapılan hesaplamalar ile elde edilen sonuçlar Tablo 1.10'da verilmektedir. Hesaplama sonucuna göre, sigorta kaynaklı malzemelerin miktarı, tıpkı 0.5 FLSIP+ modelinde elde edildiği üzere 1.714 ve toplam maliyeti 915.443\$ iken, talep kaynaklı malzemelerin miktarı 4.037 ve toplam maliyeti 202.771\$'dır. Toplamda 5.751 malzeme için 1.118.214\$'lık bir toplam maliyet bulunmuştur.

0.5 FLSIP+ ve Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modelleri karşılaştırıldığında;

- Talep kaynaklı malzeme miktar ve tutarının her iki yöntemde de aynı olduğu,
- Sigorta kaynaklı malzemelerde ise Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modelinin miktar olarak 154 kalem, maliyet olarak ise 1.367.917\$ daha az olduğu görülmüştür.

Tablo 1.10. Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modeline göre yedek parça miktar ve maliyetleri

Malzeme tipi	Miktar	Maliyet (\$)
Talep kaynaklı malzemeler	1.714	915.443
Sigorta kaynaklı malzemeler	4.037	202.771
Toplam	5.751	1.118.214

2. GENETİK ALGORİTMALAR

Bu bölümde, tez çalışmasında kullanılan ve bir optimizasyon metodu olan genetik algoritmalar hakkında detaylı bilgi verilmektedir. GA, temel ilkeleri John Holland tarafından ortaya atılan ve Darwin'in evrim teorisini esas alan sezgisel bir arama ve optimizasyon yöntemidir.

2.1. Genetik Algoritmaların Temeli

Basit bir optimizasyon probleminde amaç, bilinen tüm muhtemel çözümler içerisinde en iyi çözümün bulunmasıdır. Bir problemin çözümüne ait bilinen tüm muhtemel çözümler, arama uzayı olarak adlandırılır. Arama uzayının küçük olması durumunda tüm sonuçlar kolaylıkla değerlendirilebilir. Ancak arama uzayı büyüdükçe değerlendirme işlemi zaman alır. Bu nedenle büyük arama uzayına sahip problemlerde, optimum çözümü bulacak bir yöntem gereklidir [37].

Genetik algoritmalar, türlerin kökenini açıklayan doğal seçilim teorisini esas alır. Doğal seçilim teorisine göre, zayıf ve sağlıklı bireyler doğal seçilim kanunu gereği kaybolma tehlikesi içerisinde iken, güçlü olanlar yeniden üretim yoluyla kendi genlerini gelecek jenerasyonlara aktarmada daha şanslıdır. Genlerinde doğru kombinasyona sahip türler, uzun zaman sürecinde nüfus içerisinde baskın hale gelirler [38].

GA terminolojisine göre kromozom, gen adı verilen ayrı birimlerden oluşur. Her gen, kromozomun bir veya birden fazla özellik bileşenini taşır. Normal olarak bir kromozom arama uzayındaki özgün bir çözüme karşılık gelir. Bu durum kromozomlar ve arama uzayı arasında bir haritalama mekanizmasını gerektirir. Bu haritalama, kodlama olarak adlandırılır. Esas itibarıyla GA problemin kendisiyle değil bu problemin kodlanmasıyla çalışır. Kromozomların bir arada olması ile nüfus oluşur. Normal şartlarda, başlangıçta nüfus rastgele kromozomlardan oluşturulur. Arama sürdükçe, bunların yerini daha iyi kromozomlar yani çözümler alır ve son durumda, yakınsama olduğunda, tek bir çözüm bulunur [39].

GA; türev bilgisi ve çözüm uzayı hakkında başlangıç bilgisi gerektirmeyen, rastlantısal yapısı gereği çözüm uzayının tamamında arama yapabilen bir algoritmadır. Klasik yöntemlerin aksine genetik algoritmalar gürültülü, süreksiz ve zamanla değişen fonksiyonları da optimize edebilirler. Hesaba dayalı yöntemlerin kullanıldığı matematiksel ve iteratif yöntemleri kullanmazlar. Bir jenerasyondan diğer jenerasyona çözümü geliştirerek optimumu belirlemeye çalışan algoritmalarıdır. Tek bir çözüm yerine paralel çözümü esas alan GA, bu nedenle yerel minimuma takılıp kalmazlar [40].

Emel ve Taşkın [26] tarafından, GA için yapılan değerlendirme şöyledir: “Günümüzün karmaşık ve zor koşulları problemlere hızlı ve kolay çözüm veren yeni çözüm yöntemleri arayışına neden olmuştur. Özellikle sert (hard) optimizasyon teknikleri yerine, yumuşak hesaplama (soft computing) ve evrimsel algoritma (evolutionary algorithm) kullanımı ön plana çıkmıştır. Evrimsel yaklaşımlardan olan genetik algoritmalar da, bu arayışlar içinde önemli bir yer tutmaya başlamıştır. Uygulama başarıları artan ve sürekli geliştirilmeye çalışılan genetik algoritmalar diğer yumuşak hesaplama yöntemleri ile birlikte kullanılarak hibrit (hybrid) çözümler geliştirilmesine çalışılmaktadır.”

Genetik algoritmaların diğer yöntemlerinden farkını ortaya koyan kaynaklardan birinde [27], “Genetik algoritmaları diğer araştırma yöntemlerinden ayıran özellik, bir çözüm kümesi ile çözüme başlandıktan sonra, çözümü geliştirmek için evrim teorisini esas alan işlemlerin kullanılmasıdır. Bu işlemler sonucunda da en iyi çözüme ulaşma amaçlanmaktadır” denilmektedir. Bir diğer kaynakta ise Goldberg [28], “Geleneksel optimizasyon yöntemlerine göre farklılıkları olan genetik algoritmalar, parametre kümesini değil kodlanmış biçimlerini kullanırlar. Olasılık kurallarına göre çalışan genetik algoritmalar, yalnızca amaç fonksiyonuna gereksinim duyar. Çözüm uzayının tamamını değil belirli bir kısmını tararlar. Böylece, etkin arama yaparak çok daha kısa bir sürede çözüme ulaşırlar” demiştir.

Herhangi bir problemin nasıl çözüleceğinin bilinmediği bir durumda hareket tarzı nasıl olmalı sorusunun çözümü için bilgisayardan faydalanarak bir algoritma oluşturmak iyi bir seçenektir. Bunu başarmak için oluşturulmuş basit bir “rastgele oluştur ve test et” algoritması Şekil 2.1’de verilmektedir. Şekil 2.2’de ise genetik

algoritmanın temelini oluşturan ve "rastgele oluştur ve test et" algoritmasından daha zeki bir algoritmanın yapısı verilmiştir [30].

Tekrarla
Olası bir rastgele çözüm oluştur,
Çözümü test et ve sorunu ne kadar iyi çözebildiğini gözlemler,
Ta ki, çözüm yeterince iyi olana kadar.

Şekil 2.1. Rastgele oluştur ve test et algoritması [42]

Rastgele çözümlerden oluşan bir küme oluştur,
Tekrarla
Kümedeki her çözümü test et ve derecelendir,
Kötü çözümlerden bazılarını kümeden çıkart,
İyi çözümlerde küçük değişiklikler yaparak çoğalt,
Ta ki, çözüm yeterince iyi olana kadar.

Şekil 2.2. Zeki rastgele oluştur ve test et algoritması [42]

2.2. Genetik Algoritmaların Akış Diyagramı

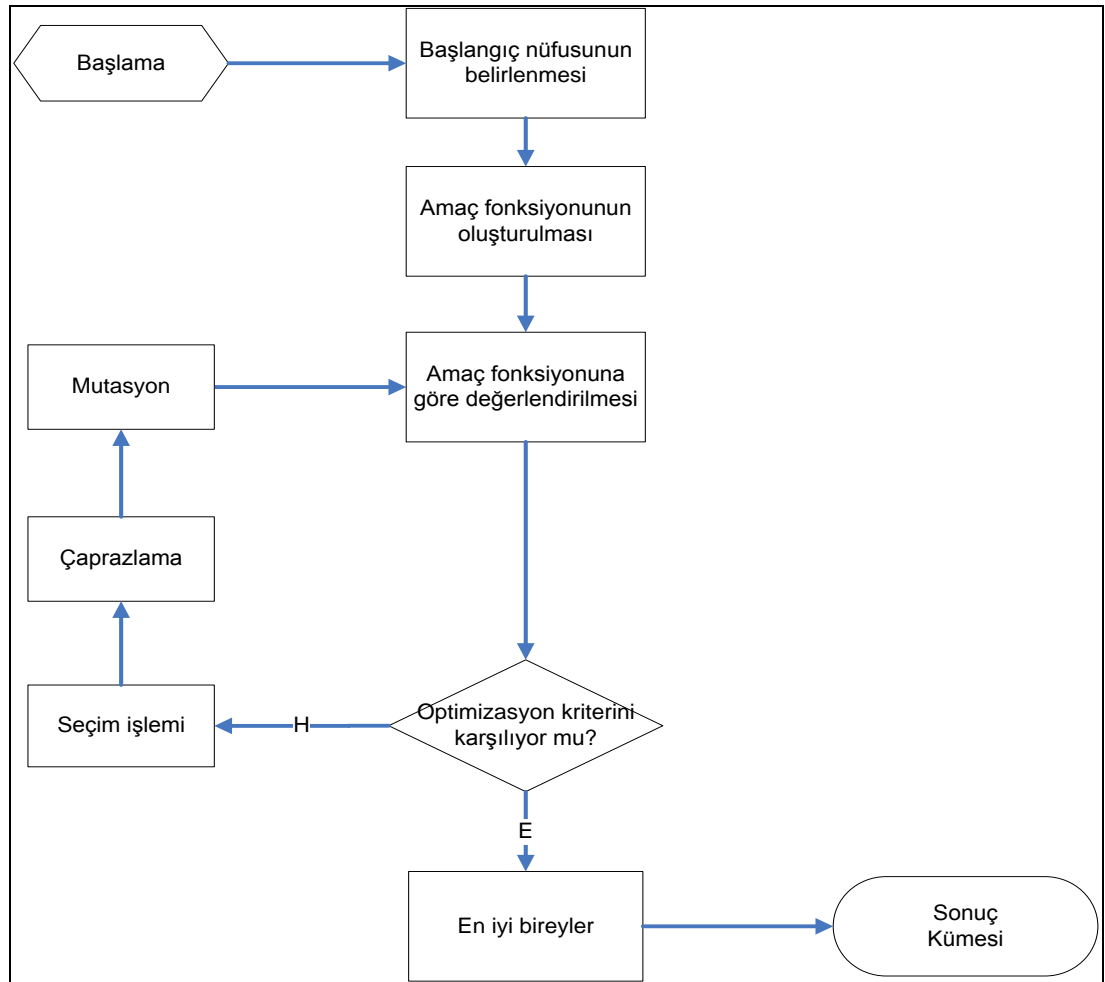
Şekil 2.2 ile temel prensibi verilek istenen genetik algoritmaların akış diyagramı Şekil 2.3'te gösterilmektedir. Şekilde de görüldüğü üzere, ilk olarak başlangıç nüfusunun oluşturulması ile işe başlanmaktadır. Nüfus, her biri muhtemel bir çözümü oluşturan kromozomları içermektedir. Başlangıç nüfusu rastgele oluşturulmaktadır ve mümkün olduğu kadar büyük olmalıdır. Başlangıç nüfusunun oluşturulmasından hemen sonra, yeni jenerasyon üretimi başlar ve nüfus evrim sürecine girer. Her bir jenerasyonda aşağıdaki işlemler gerçekleştirilir:

İlk adım, eşleştirmede kullanılacak ebeveyn kromozomların seçim yoluyla belirlenmesidir. Bu seçim, nüfus içerisindeki ebeveynlerin amaç fonksiyon değerleri esas alınarak üretilen seçilme olasılıklarına göre ve rastgele olarak gerçekleştirilir.

Bir sonraki adımda, seçilen ebeveyn kromozomlardan yeni bir jenerasyon üretilir. Yeni kromozomların üretiminde çaprazlama ve mutasyon operatörleri kullanılır. Çaprazlama, iki iyi ebeveynin eşleştirilerek daha iyi çocuk kromozom üretimini

amaçlar ve sonuca hızlı bir şekilde ulaşmayı sağlar. Mutasyon, çaprazlama ile hızlı bir şekilde sonuca doğru ilerlerken yerel minimuma takılmayı önleyen bir operatördür. Kromozomların genleri üzerinde rastgele değişiklikler yapılması esasına dayanır.

Çaprazlama ve mutasyondan sonra, yeni jenerasyonu oluşturan çocuk kromozomların sırası ile amaç fonksiyon ve uygunluk değerleri belirlenir. Uygunluk değeri, bir sonraki jenerasyonda ebeveyn olacak olan çocuk kromozomların seçiminde kullanılır ve kromozomların çözüme ne kadar katkı sağladıklarının bir göstergesidir.



Şekil 2.3. Genetik algoritmaların akış diyagramı

En son adımda, yeni çocuk kromozomlar ile varsa çocuklardan daha iyi eski ebeveyn kromozomlar birbirlerine katılarak yeni jenerasyon oluşturulur. Bu işlemler, durdurma kriteri yerine getirilene kadar bir döngü şeklinde devam etmektedir.

Nüfusun optimum çözüme yakınsaması ve çözüm kalitesinin jenerasyondan jenerasyona artması iki nedene bağlanmaktadır [30]: Birincisi, başarısız olan kromozomların üreme şansları azaltıldığı için kötüye gidiş zorlaşmaktadır. İkincisi, genetik algoritmaların yapısı kötüye gidişi engellemekle kalmamakta, genetik algoritmaların temel teoremi uyarınca, zaman içinde hızlı bir iyiye gidiş de sağlayabilmektedir.

2.3. Kodlama

Kodlama işleminden kasıt, problemin aday bir çözümünü temsil eden kromozomun, problem parametrelerini veya değişkenlerini nasıl temsil edileceğidir. Genel olarak, kullanılan temsil şekli ikili kodlama düzenindedir (110110, 100100, 000111 gibi). Gerçel (reel) sayılar da son zamanlarda oldukça yoğun olarak kullanılmaktadır. Bunun en büyük nedeni ise, gerçek hayat problemlerinin bitler şeklinde değil gerçel sayılar şeklinde olmasıdır. Yine de, kodlama için kullanılacak yöntem belirlenirken en önemli kriter problemin kendisidir. Yani, kodlama işlemi problemin yapısına göre değişiklik göstermektedir. İkili ve gerçel sayılar haricinde permutasyon kodlama, şekiller, sekizli veya on altılı sayı sistemleri gibi sistemler de kullanılabilir.

Kodlama işlemi genler üzerinde yapılmaktadır. Bu nedenle, öncelikle gen, kromozom ve popülasyon tanımlarının yapılması uygun olacaktır [45].

- Gen: Kalıtsal molekülde bulunan ve organizmanın karakterlerinin tayininde rol oynayan kalıtsal birimlere denir.
- Kromozom (Birey): Birden fazla genin bir araya gelerek oluşturduğu diziye denir. Genlerin kromozom içindeki sıraları da önemli olabilmektedir.
- Nüfus (Popülasyon): Kromozomlardan oluşan topluluğa denir. Nüfustaki kromozom sayısı arttıkça çözüme ulaşma süresini ifade eden iterasyon sayısı azalmaktadır.

İyi bir kodlama, genetik algoritmanın performansını etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Aşağıda ikili kodlama, gerçel kodlama, permutasyon kodlama ve diğer kodlamalara ilişkin örnekler verilmektedir.

- İkili Kodlama:

Kromozom 1	1 1 0 1 1 0 0 1 0 1 0 1 0 1
------------	-----------------------------

- Gerçel Kodlama:

Kromozom 2	1.2324 5.3243 0.4556 2.3293 2.4545
------------	------------------------------------

- Permutasyon Kodlama:

Kromozom 3	1 5 3 2 6 4 7 9 8
------------	-------------------

- Diğer Kodlamalar:

Kromozom 4	ABDJE IFJ DHD IER JFDL DFLF
Kromozom 5	(back), (back), (right), (forward), (left)

2.4. Seçim

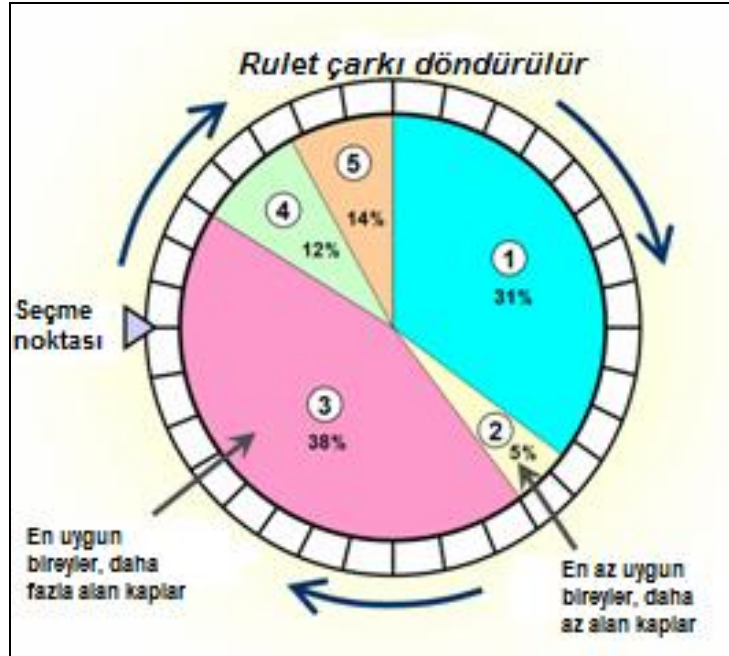
Seçim, nüfus içerisindeki ebeveynlerden eşleştirmede hangilerinin kullanılacağına karar verme işlemidir. Kromozomların hangi yöntemle seçileceği ve kaç adet kromozom seçileceği önceden belirlenmesi gereken parametrelerdir. Seçimde dikkat edilmesi gereken husus, çözüme en çok katkı yapan kromozomların öncelikle seçilmesi, yani seçilme olasılıklarının yüksek tutulmasıdır. Bu da, seçime girecek olan kromozomlara uygunluk değeri atanmasıyla mümkündür.

Seçim işlemi birkaç adımda gerçekleştirilir. Öncelikle, nüfus içerisindeki tüm kromozomların amaç fonksiyon değerleri bulunmaktadır. Amaç fonksiyon değeri, kromozomun çözümü ne kadar karşıladığının ölçüsünü gösteren bir sayıdır. Genetik algoritma ile problem arasındaki tek bağıntıdır. İkinci aşamada, kromozomlara uygunluk değeri atanması yapılmaktadır. Uygunluk değeri atanmasında, kromozomun kendisinin ve diğer kromozomların amaç fonksiyon değerleri birlikte kullanılır. Yaygın olarak kullanılan uygunluk değeri atama yöntemleri arasında orantısal uygunluk atama ve sıra tabanlı uygunluk atama yöntemleri yer almaktadır. Üçüncü ve son aşamada, nüfustaki toplam kromozom sayısı kadar kromozom, uygunluk değerlerine göre belirlenen olasılıklar dahilinde, rastgele seçilerek yeni kromozom üretmek için eşleştirmeye alınırlar. Uygunluk değeri büyük olan kromozomun

seçilme olasılığı diğer kromozomlara göre daha yüksektir. Seçim işlemi için en çok kullanılan iki yöntem rulet çarkı ve turnuva yöntemleridir.

2.4.1. Rulet çarkı yöntemi

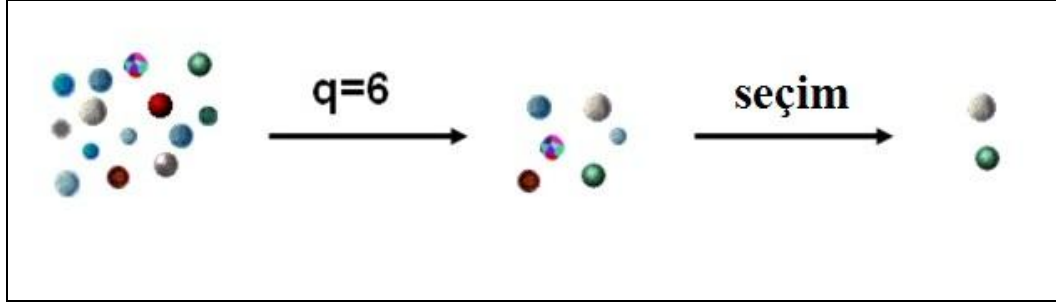
Her bir çözüm, rulet çarkı üzerinde, uygunluk değeriyle doğru orantılı bir büyüklükte bir alanı temsil eder. Rulet döndürülür ve rulet seçim noktasının gösterdiği değer seçilir. Yüksek uygunluk değerine sahip kromozomların, sonraki jenerasyonların oluşmasını sağlayacak eşleşme havuzuna seçilme olasılıkları daha fazladır. Şekil 2.4'te rulet çarkının çalışma mantığı gösterilmektedir.



Şekil 2.4. Rulet çarkı [45]

2.4.2. Turnuva yöntemi

Bir diğer seçim yöntemi ise turnuva metodudur. Turnuva metodunda, mevcut nüfustan rastgele seçilen q adet kromozom arasında yarışma yapılır. Bu yarışmanın tek kriteri uygunluk değeridir. Yani, rastgele seçilen kromozomlar arasından en yüksek uygunluk değerine sahip olan iki kromozom yarışmayı kazanarak eşleşme havuzuna girmeye hak kazanırlar. Şekil 2.5'te turnuva metoduna bir örnek gösterilmektedir.



Şekil 2.5. Turnuva metodu [31]

2.4.3. Elitizm

Elitizm uygulamasında, nüfus içerisindeki kromozomlardan uygunluk değeri en iyi olan bir veya birkaç kromozom hiçbir işleme tabi tutulmadan bir sonraki jenerasyona aktarılır [45]. Nüfustaki kromozomların çaprazlama ve mutasyon gibi operatörlerle değiştirildiği göz önünde bulundurulursa, iyi kromozomların da bu yolla kaybolabilme ihtimali söz konusudur. Bunu önlemek için elitizm uygulamak gerekir ve böylece bir sonraki jenerasyondaki en iyi kromozomun bir önceki jenerasyondaki en iyi kromozomdan kötü olma ihtimali engellenmiş olur.

Elitizm uygulandığında, her bir jenerasyonda ebeveyn kromozomlar içerisinde, önceden belirlenmiş sayıda en iyi kromozom, en kötü çocuk kromozomlarla yer değiştirilerek yeni nüfusa katılmaktadır. Böylece, iyi kromozomların bir jenerasyon yerine, birkaç jenerasyon veya daha iyi kromozomlar üretilene kadar yaşamaları sağlanmış olmaktadır [38].

2.5. Çaprazlama

Çaprazlamada amaç, iki ebeveyn kromozomun genlerini karşılıklı olarak yer değiştirilerek, çocuk kromozomlar üretmektir. Böylece, zaten uygunluk değeri yüksek olan ebeveyn kromozomlardan daha yüksek uygunluk değerine sahip çocuk kromozomlar üretilmektedir.

Mevcut gen havuzunun potansiyelini artırmak üzere, bir önceki jenerasyondan daha iyi nitelikler içeren yeni kromozomlar üretmek için çaprazlama operatörü kullanılmaktadır. Çaprazlama genellikle, önceden belirlenen bir çaprazlama oranına eşit bir olasılıkla, rastgele seçilen ebeveynlere uygulanmaktadır [32]. Genel olarak kullanılan çaprazlama yöntemleri şunlardır;

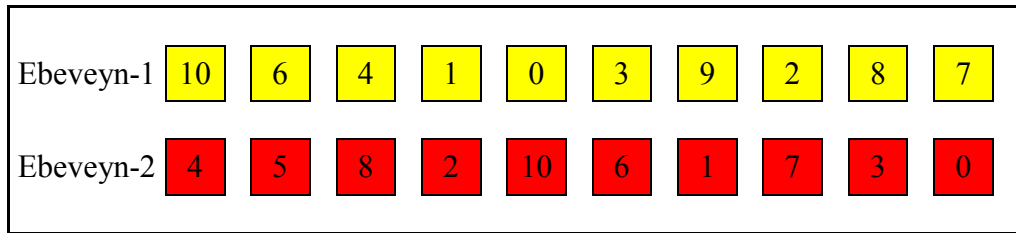
- Tek noktalı çaprazlama
- Çok noktalı çaprazlama
- Uniform çaprazlama

Bu yöntemlerden tek noktalı çaprazlama, çok noktalı çaprazlama ve uniform çaprazlamaya ait detaylar aşağıda verilmektedir [43].

2.5.1. Tek noktalı çaprazlama

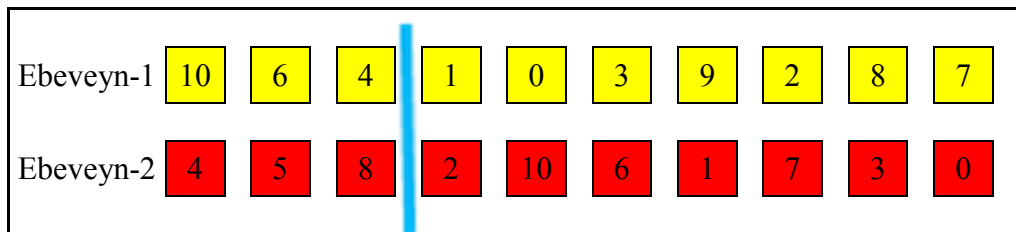
Genetik algoritmanın performansını etkileyen önemli parametrelerden biri olan çaprazlama operatörü, doğal nüfuslardaki çaprazlamaya karşılık gelmektedir. Nüfus içerisinde rastgele olarak iki kromozom seçilmekte ve karşılıklı çaprazlama işlemine tabi tutularak çoğaltma işlemi gerçekleştirilmekte ve sonucunda yeni nüfus elde edilmektedir. Çaprazlama işleminde, kromozom uzunluğu L olmak üzere, $1 \leq k \leq L-1$ aralığında bir k tamsayısı seçilmektedir. Bu tamsayının değeri çaprazlama noktasının konumunu belirlemektedir. En basit çaprazlama yöntemi olan tek noktalı çaprazlama yönteminin yapılabilmesi için her iki ebeveyn kromozomun da aynı kromozom uzunluğunda olması gerekir. Tek noktalı çaprazlama işlemi adım adım aşağıdaki şekillerle gösterilmektedir.

- Adım-1: İki ebeveyn kromozom seçilir (bakınız Şekil 2.6).



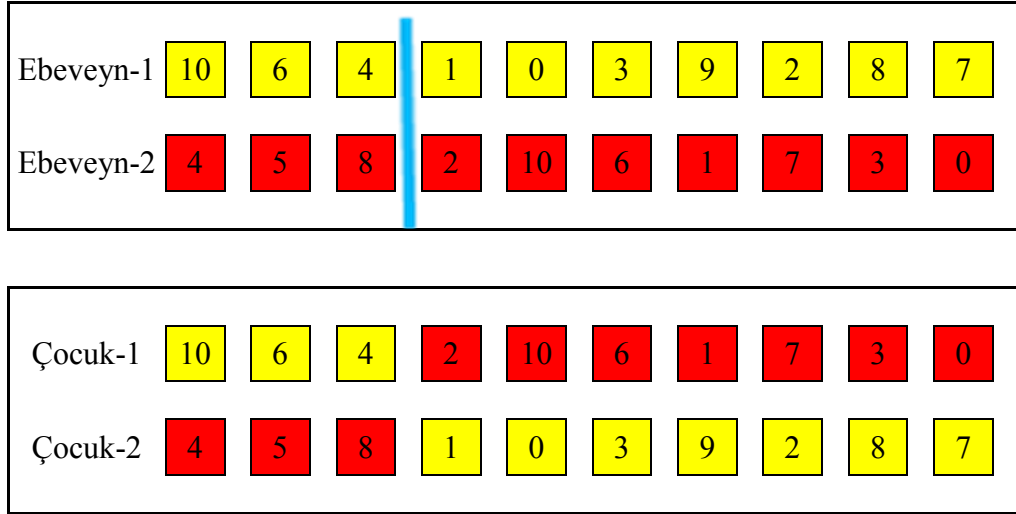
Şekil 2.6. Tek noktalı çaprazlama Adım-1

- Adım-2: Rastgele bir k çaprazlama noktası seçilir (bakınız Şekil 2.7).



Şekil 2.7. Tek noktalı çaprazlama Adım-2

- Adım-3: Yeni üretilecek çocuk kromozomlar belirlenir (bakınız Şekil 2.8).

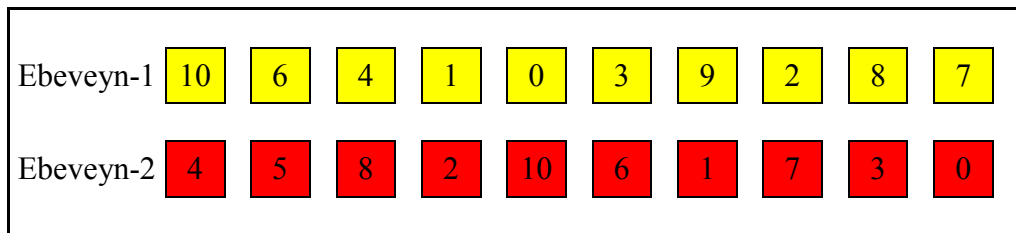


Şekil 2.8. Tek noktalı çaprazlama Adım-3

2.5.2. Çok noktalı çaprazlama

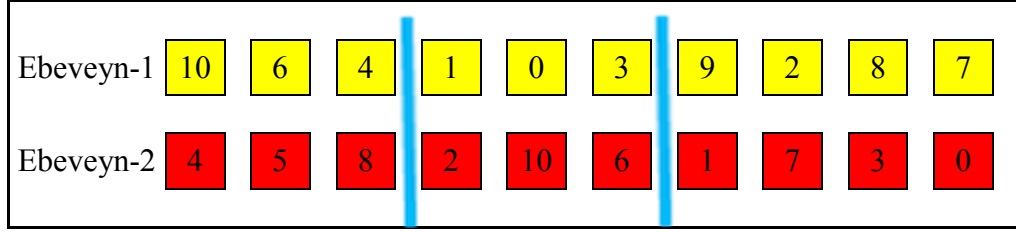
Çok noktalı çaprazlama işleminde, kromozom uzunluğu L olmak üzere, $1 \leq k_1, \dots, k_n \leq L-1$ aralığında bir n tane k tamsayısı seçilmektedir. Bu tamsayıların değeri çaprazlama noktalarının konumlarını belirlemektedir. Çok noktalı çaprazlama yapılabilmesi için ebeveynlerin kromozom uzunlukları aynı olmalıdır. Çok noktalı çaprazlamada, kromozomların iki nokta arasında kalan genleri karşılıklı olarak yer değiştirilir [33]. Çok noktalı çaprazlama işlemi adım adım aşağıdaki şekillerle gösterilmektedir.

- Adım 1: İki ebeveyn kromozom seçilir (bakınız Şekil 2.9).



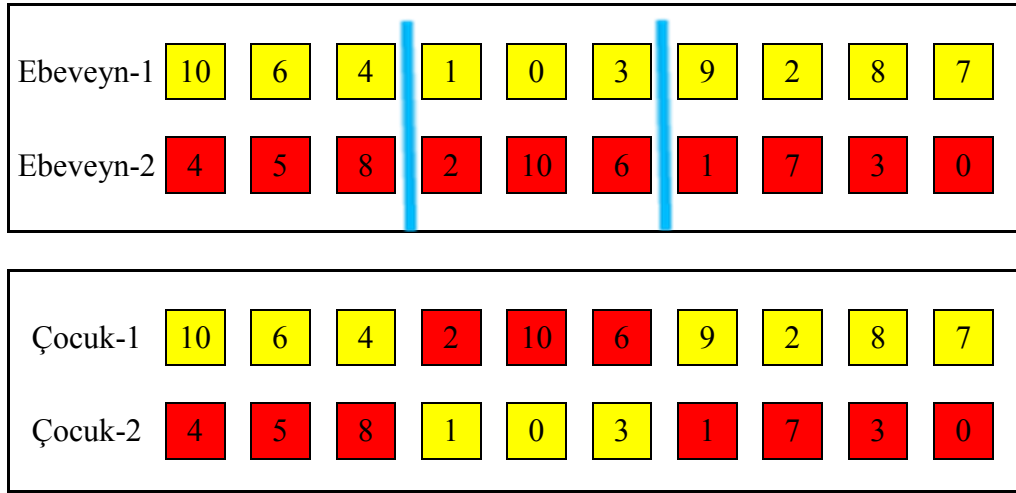
Şekil 2.9. Çok noktalı çaprazlama Adım-1

- Adım 2: Rastgele k_n çaprazlama noktaları seçilir (bakınız Şekil 2.10).



Şekil 2.10. Çok noktalı çaprazlama Adım-2

- Adım 3: Yeni üretilecek çocuk kromozomlar belirlenir (bakınız Şekil 2.11).

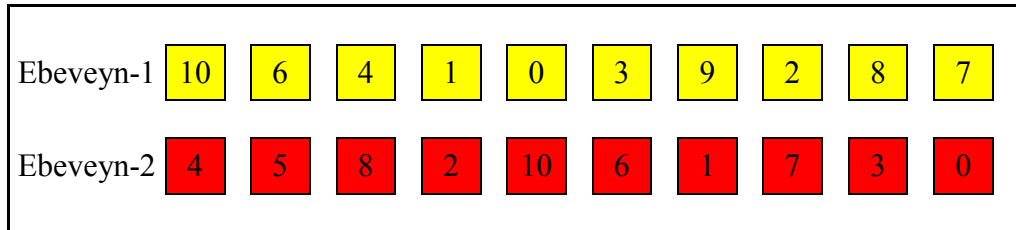


Şekil 2.11. Çok noktalı çaprazlama Adım-3

2.5.3. Uniform çaprazlama

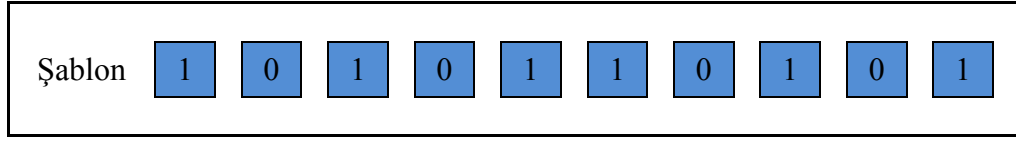
Uniform çaprazlamada, oluşturulan bir şablonun ikili değerine göre ebeveynler seçilerek çocukların genleri üretilir. Birinci çocuk için, şablon değeri 1 ise ilk ebeveynden, 0 ise ikinci ebeveyninden genler alınır. İkinci çocuk için de tam tersi, şablon değeri 1 ise ikinci ebeveyninden, 0 ise ilk ebeveyninden genler alınır. Uniform çaprazlama işlemi adım adım aşağıdaki şekillerle gösterilmektedir.

- Adım 1: İki ebeveyn kromozom seçilir (bakınız Şekil 2.12).



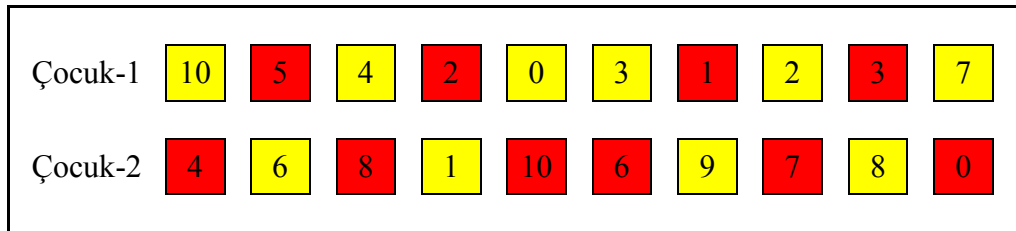
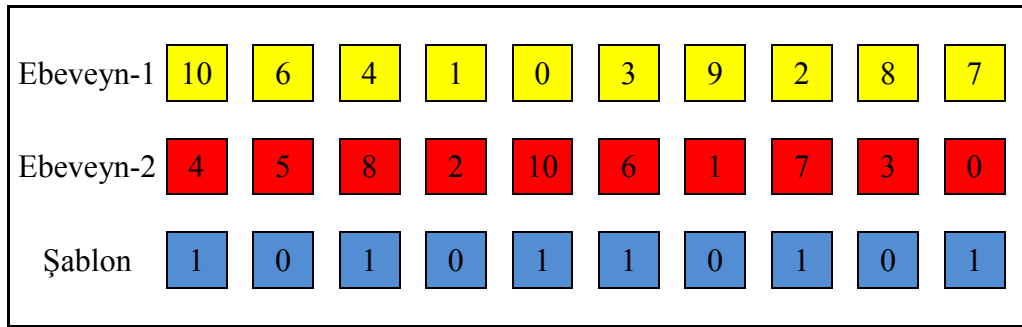
Şekil 2.12. Uniform çaprazlama Adım-1

- Adım 2: Rastgele bir şablon belirlenir (bakınız Şekil 2.13).



Şekil 2.13. Uniform çaprazlama Adım-2

- Adım 3: Şablona uygun olarak, önce ilk çocuk oluşturulur. Şablon değeri 1 ise ilk ebeveynden, 0 ise ikinci ebeveynden seçilir. Sonra, yine şablona uygun olarak ikinci çocuk oluşturulur. Şablon değeri 1 ise ikinci ebeveynden, 0 ise ilk ebeveynden seçilir (bakınız Şekil 2.14).



Şekil 2.14. Uniform çaprazlama Adım-3

2.6. Mutasyon

Genetik algoritmalarda diğer önemli operatör, mutasyondur. Mutasyon doğada olduğu gibi genetik algoritma uygulamalarında da geri planda kalan bir operatördür [29]. Genetik algoritmanın çalışmasında ikinci dereceden rol oynar. Genetik algoritmalarda mutasyon operatörü, küçük bir olasılıkla bir kromozom içindeki bir veya birkaç geni rastgele değiştirerek, arama uzayında yeni çözüm noktalarının elde edilmesini sağlar [28].

Mutasyon, nüfustaki ebeveynlerden çocuk kromozomların üretimi tamamlandıktan sonra, çocuk kromozomların herhangi birisinin herhangi bir geninin değiştirilmesi ile gerçekleştirilmektedir. İkili kodlamada, seçilen herhangi bir bit 1 ise 0 veya 0 ise 1 olarak değiştirilmektedir. Tamsayı kodlamada ise, seçilen tamsayı yerine başka bir tamsayı yazılarak gerçekleştirilmektedir. Farklı mutasyon operatörleri aşağıda örneklerle açıklanmaktadır.

2.6.1. İkili kodlamada mutasyon

İkili mutasyonda, mutasyona uğratılacak geninin değeri o genin tümleyeni ile değiştirilir. Hangi genin mutasyona uğratılacağı mutasyon oranı ile belirlenir. Nüfus içerisindeki her bir kromozomun her bir geni için 0 ile 1 arasında rastgele mutasyon olasılığı atanır. Bu mutasyon olasılığı, önceden belirlenen mutasyon oranından küçük ise o gen mutasyona uğratılır.

Mutasyon öncesi	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0
Mutasyon sonrası	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0

Şekil 2.15. İkili kodlama mutasyonu örneği

2.6.2. Tamsayı kodlamada rastgele mutasyon

Tamsayı kodlamalarda en çok kullanılan mutasyon şeklidir. Mutasyona uğratılacak olan gen, ikili mutasyonda olduğu gibi, mutasyon olasılığı ve mutasyon oranı kullanılarak belirlenir. Mutasyona uğratılacak olan genin değeri rastgele olarak bir tamsayı ile değiştirilir.

Mutasyon öncesi	10	6	4	1	0	3	9	2	8	7
Mutasyon sonrası	10	6	4	1	0	3	5	2	8	7

Şekil 2.16. Rastgele mutasyon örneği

2.6.3. Tamsayı kodlamada ters çevirme mutasyonu

Ters çevirme mutasyonunda, rastgele seçilen ardışık gen grubunun simetrisi alınarak yeni kromozom oluşturulmaktadır. Mutasyona uğratılacak olan gen grubunun pozisyonu ve uzunluğu rastgele seçilmektedir.

Mutasyon öncesi	10	6	4	1	0	3	9	2	8	7
Mutasyon sonrası	10	6	4	1	9	3	0	2	8	7

Şekil 2.17. Ters çevirme mutasyonu örneği

2.6.4. Karşılıklı değişim mutasyonu

Karşılıklı değişim mutasyonunda, kromozom içerisinde rastgele seçilen iki genin değerleri değiştirilmektedir. Mutasyona uğratılacak olan kromozom ve bu kromozom içerisinde iki gen rastgele seçilmektedir.

Mutasyon öncesi	10	6	4	1	0	3	9	2	8	7
Mutasyon sonrası	10	6	4	1	7	3	9	2	8	0

Şekil 2.18. Karşılıklı değişim mutasyonu örneği

2.7. Yeni Nüfus ve Durdurma Kriteri

Eski nüfusun kromozomlarının seçim, çaprazlama ve mutasyon işlemlerinden geçirilmesinden sonra, üretilen yeni kromozomlar uygunluk değerlerine göre yeni nüfusa eklenirler. Yeni nüfusun oluşturulmasında ana kriter, nüfus büyüklüğünün eski nüfus büyüklüğüne eşit olmasıdır. Kromozomlar nüfusa eklenirken farklı yöntemler kullanılabilir.

Bunlardan bir tanesinde, ebeveyn kromozom sayısı kadar çocuk kromozom üretilir ve çocuk kromozomlar ebeveyn kromozomların yerlerini alırlar. Çaprazlama için

seçilememişlerse, iyi kromozomların genlerini gelecek jenerasyona aktarmadan nüfustan çıkarılma riski bulunur. Başka bir yöntemde, ebeveyn kromozom sayısından daha az sayıda çocuk kromozom üretilir ve elitizm uygulanarak, en kötü ebeveyn kromozomların yerlerini çocuk kromozomlar alırlar. Böylece iyi ebeveynler bir sonraki nüfusa aktarılmış olurlar. Bir başka yöntemde ise, ebeveyn kromozom sayısından daha fazla çocuk kromozom üretilir ve en iyi çocuk kromozomlar ebeveynlerin yerlerini alırlar.

Yeni nüfusun oluşturulmasından sonra bir jenerasyon döngüsü tamamlanmış olur. Bu süreç, önceden belirlenen bir jenerasyon sayısı kadar, amaç fonksiyon değerinin önceden belirlenen bir eşik değerine ulaşıldığında veya başka bir durdurma kriteri sağlanana kadar devam eder [34].

2.8. Genetik Algoritmalarda Parametre Seçimi

Parametreler, genetik algoritmaların performansı üzerinde önemli etkiye sahiptir. Kontrol parametreleri; nüfus büyüklüğü, çaprazlama olasılığı, mutasyon olasılığı, jenerasyon aralığı, seçim stratejisi ve fonksiyon ölçeklemesi olarak sayılabilir. Optimum kontrol parametrelerini bulmak için bir çok çalışma yapılmıştır, fakat tüm problemler için genel olarak kullanılacak parametreler bulunamamıştır [35]. Bu parametreler aşağıda açıklanmaktadır [29];

- Nüfus Büyüklüğü: Genetik algoritma kullanıcısı tarafından verilen en önemli kararlardan birisidir. Bu değer çok küçük olduğunda, genetik algoritma yerel bir optimuma takılabilmektedir. Nüfusun çok büyük olması ise çözüme ulaşma zamanını arttırmaktadır. Bu konuda Goldberg 1985’de, yalnızca kromozom uzunluğuna bağlı bir nüfus büyüklüğü hesaplama yöntemi önermiştir. Genelde nüfus büyüklüğü olarak, farklı çalışmalarda 20-150 arası farklı değerler alındığı görülmüştür.
- Çaprazlama oranı: Çaprazlamanın amacı, mevcut iyi kromozomların özelliklerini birleştirerek daha iyi kromozomlar üretmektir. Kromozom çiftleri, P_c olasılığı ile çaprazlamaya uğramak üzere seçilirler. Çaprazlama oranı $[0,1]$ aralığında 1’e yakın bir sayı olarak belirlenir. Herhangi bir kromozomun P_c çaprazlama olasılığı, çaprazlama oranından küçükse, o kromozom çaprazlamaya girebilir sonucu çıkmaktadır. Çaprazlama oranının yüksek

olması, optimuma gidişi hızlandırmakta, fakat aynı zamanda bazı iyi kromozomların da bozulma olasılığını arttırmaktadır.

- Mutasyon oranı: Mutasyonun amacı nüfustaki genetik çeşitliliği korumaktır. Mutasyon, P_m olasılığı ile bir kromozomdaki bir gende meydana gelebilir. Mutasyon oranı $[0,1]$ aralığında 0'a yakın bir sayı olarak belirlenir. Kromozomların genlerinin P_m mutasyon olasılıkları, mutasyon oranından küçükse, o genler mutasyona uğrayacaktır sonucu çıkmaktadır. Eğer mutasyon oranı çok büyük ise, genetik arama rastsal bir aramaya dönüşür. Fakat, bu aynı zamanda kayıp genetik özelliklerin tekrar bulunmasına yardımcı olabilmektedir.
- Jenerasyon Aralığı: Her jenerasyondaki yeni kromozom sayısının eskisine oranına jenerasyon aralığı denmektedir. Genetik operatörler için kaç tane kromozomun seçildiğini gösterir. Yüksek bir değer bir çok kromozomun yer değiştirdiği anlamına gelmektedir.
- Seçim Stratejisi: Eski jenerasyonu yenilemenin çeşitli yöntemleri mevcuttur. Üretilen çocuk sayısının ebeveyn sayısına göre az mı yoksa çok mu olacağı, elitizm kullanılıp kullanılmayacağı gibi stratejiler yer alır.

2.9. Genetik Algoritmaların Avantaj ve Dezavantajları

Genel olarak genetik algoritmaların avantajları şunlardır;

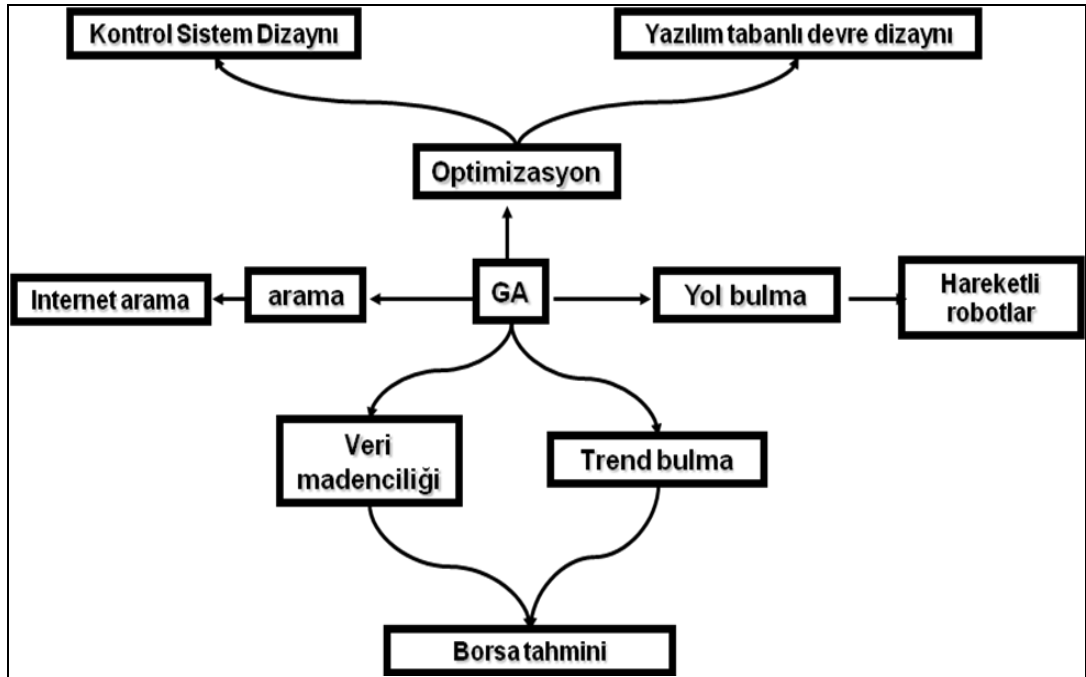
- Anlaşılması kolay bir konsepttir,
- İnsan girdisi minimum düzeydedir,
- Bilgisayar, mevcut çözümler için değil, yeni çözümler üretmek için kullanılır,
- Modüler yapıdadır ve uygulamadan bağımsızdır,
- Çok amaçlı optimizasyonu destekler,
- Her zaman bir çözüm üretir, üretilen çözümler daha fazla zaman ayrılarak daha da iyileşebilir,
- Paralel yapıdadır, işlemler kolayca dağıtılabilir,
- Genetik algoritma tabanlı uygulama, problem sahası hakkında bilgi edinildikçe daha da hızlandırılabilir ve geliştirilebilir,
- Daha önceki veya alternatif çözümlerden faydalanmak kolaydır.

Genetik algoritmaların dezavantajları ise şunlardır;

- Tüm diğer sezgisel algoritmalar gibi en iyi çözümü bulmayı garanti etmez,
- Hesaplamalar için yüksek bilgisayar donanımı gerektirir,
- Problemi genetik algoritmaya adapte etmek zor olabilir, örneğin uygun kodlama yöntemi bulmak gibi,
- Arama, lokal optimuma takılabilir.

2.10. Genetik Algoritmaların Uygulama Alanları

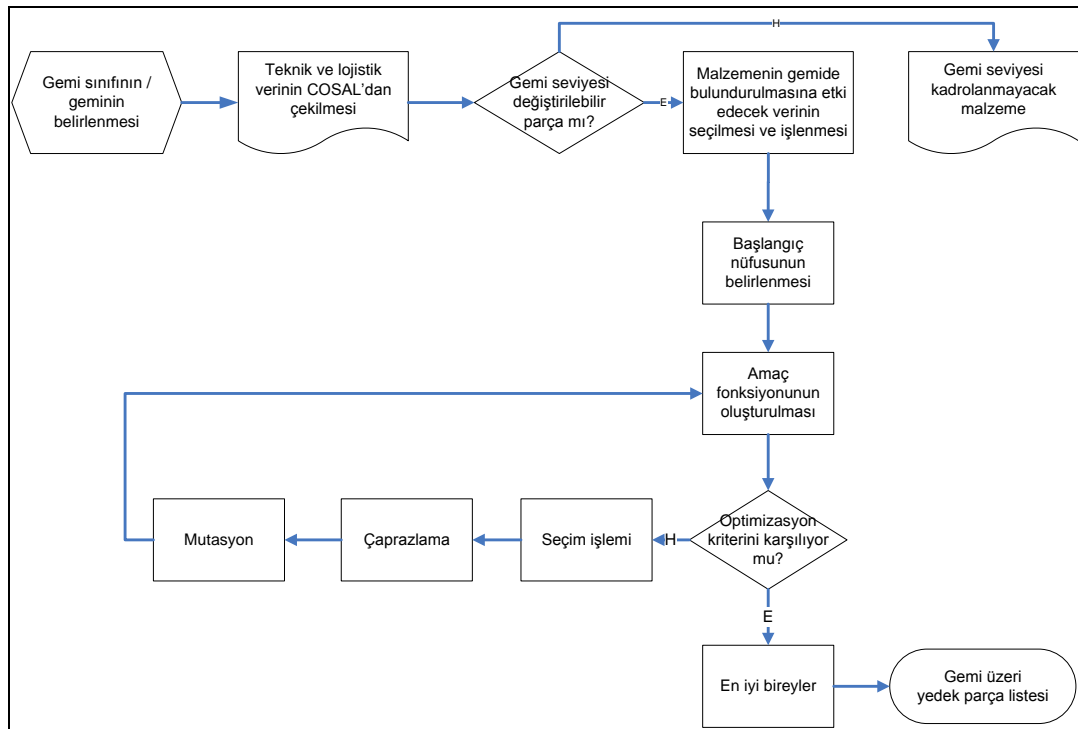
Günümüzde, genetik algoritmalar hemen hemen her alanda uygulama olanağı bulabilmektedir. Aynı zamanda, sezgisel arama ve optimizasyon algoritmaları içerisinde de en çok bilinen ve kullanılanıdır. Şekil 2.19’da uygulama alanlarından bazıları gösterilmektedir.



Şekil 2.19. Genetik algoritmaların uygulama alanları [44]

3. GENETİK ALGORİTMA VERİ ve PARAMETRELERİNİN TESPİTİ

Bu tez çalışması hazırlanırken, tıpkı 0.5 FLSIP+ ve Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modellerinde olduğu gibi ambarlarda saklanan gemi üzeri yedek parça malzemelerinin optimizasyonu üzerinde durulmuştur. Yine, ambarlarda saklanan TOR, AOI, NSRI OSI, MAM ve RSS türü malzemeler yedek parça optimizasyonu işleminin dışında tutulmuştur. Tez çalışması kapsamında yapılanlar; optimizasyon işleminde kullanılacak olan verilerin elde edilmesini kapsayan hazırlık evresi ve bu verilerin genetik algoritmalarda kullanılarak optimizasyonun gerçekleştirilmesi evresi, Şekil 3.1’de akış diyagramı olarak verilmektedir.



Şekil 3.1. Çalışma planı

3.1. Optimizasyonda Kullanılacak Verilerin Hazırlanması

3.1.1. Gemi sınıfının ve geminin belirlenmesi

Şekil 3.1’de akış diyagramı verilen çalışma planına uygun olarak, öncelikle yedek parça optimizasyonu yapılacak olan gemi sınıfı ve gemi belirlenmiştir. Bu işlem için

en önemli kıstas, mümkün olduğu kadar en kaliteli veriye sahip geminin belirlenmesi olmuştur. Ayrıca, Amerikan yapımı bir gemi seçilerek, Amerikan gemileri tarafından genel olarak kullanılan 0.5 FLSIP+ ve Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ yedek parça modelleri ile kıyaslama yapılabilme imkanı da düşünülmüştür. Bu tez çalışmasında, önerilen yöntemin geçerliliğinin tam olarak tespit edilebilmesi için, Amerikan PERRY sınıfı bir savaş gemisi olan ve borda numarası 490 olan savaş gemisine ait tüm sistem ve parçalarına ait bilgileri içeren COSAL verisi kullanılmıştır. Teknik ve lojistik verinin COSAL'dan çekilmesi çalışmaları Bölüm 1'de detaylı olarak anlatılmıştır.

3.1.2. Onarım seviyesinin belirlenmesi

Bu çalışmada hedeflenen, arıza oluşması durumunda gemi personeli tarafından onarım işleminin yapılabilmesi için, gemi üzerinde bulundurulması gereken yedek parçaların belirlenmesidir. Bu nedenle, COSAL sisteminden çekilen yedek parçaların gemi seviyesinde değiştirilebilir yedek parçalar olması bir zorunluluktur. Bir parçanın gemi seviyesi olup olmadığını belirten SMR kodudur.

Gemi seviyesi değiştirilebilir olmayan parçalar, bu çalışma ile optimizasyonu hedeflenen gemi üzerinde stoklanacak yedek parça listesinin dışında kalacaktır. Bunu sağlayacak şekilde, PERRY sınıfı gemiye ait veri SMR kodu yönünden incelenmiş ve bu inceleme sonucunda onarım düzeyi gemi seviyesi olmayan malzemeler liste dışında bırakılmıştır. Bu işlem sonucunda, 74.601 adet farklı yedek parçanın gemi seviyesi bakım/onarım etiketine sahip olduğu görülmüştür.

3.1.3. Malzemenin gemide bulundurulmasına etki edecek verinin seçilmesi ve işlenmesi

Bu aşamada, genetik algoritma yönteminin optimizasyonda kullanacağı parametreler belirlenmiştir. Bu işlem, genel olarak tecrübe ve mantıksal çıkarımlar yoluyla yapılmaktadır. Bu sayede, tüm veri uzayını kullanmak yerine, sadece etkili parametreler dikkate alınarak, algoritmanın kısa süre içerisinde doğru sonuçlar üretebilmesi sağlanacaktır. Gemi üzeri yedek parçaların belirlenmesinde ihtiyaç duyulacağı değerlendirilen veri kümesi aşağıda verilmektedir.

- Parça numarası - *ID*: Her bir malzemeyi tanımlayan özel numaradır. Genel olarak stok numarası kullanılmaktadır.
- Birim fiyat - *P*: Malzemeye ait birim fiyat bilgisidir. Birim fiyat bilgisi olarak, çeşitli zamanlarda yapılan tedarik fiyatlarının, sarf ortalamasına benzer bir şekilde, son yıllar ağırlıklı olarak ortalamasının alınması ile bulunur.
- Gemi üzeri toplam mevcut - *TP*: Gemi üzerinde bulunan sistem sayısı ile sistem içerisinde bulunan parça sayısının çarpımı ile elde edilir.
- Önem derecesi - *MEC*: Parçanın içinde bulunduğu sistem için ve sistemin içinde bulunduğu gemi için ne kadar kritik olduğu bilgilerinin beraber değerlendirilmesi ile elde edilen ve parçanın gemi için önemini veren kritiklik değeridir.
- En iyi değişim çarpanı - *BRF*: Genel anlamda, yıllara göre değişen talep miktarı bilgisinin hesaplanması için kullanılmaktadır. Bu değer, gemi toplam mevcudiyeti ile çarpılarak talep miktarı bilgisi elde edilir.
- Minimum değişim miktarı - *MRU*: Yedek parçalar değiştirilirken, bazı durumlarda, bir kerede birden fazla parça beraber değiştirilmek zorundadır. MRU miktarı, bir kerede değiştirilmesi gereken minimum parça sayısını vermektedir.

Bu tez çalışmasında kullanılan ve 490 borda numaralı savaş gemisine ait gemi seviyesi bakım etiketine sahip yedek parça sayısı 74.601 kayıttır. Her bir kayıta ait *ID*, *P*, *TP*, *MEC*, *BRF* ve *MRU* bilgileri mevcuttur. Gemi üzeri toplam mevcut *TP* ile en iyi değişim çarpanı *BRF*'nin çarpımından, yıllık tahmini talep miktarı elde edilmektedir. 0.5 FLSIP+ modelinde, yıllık tahmini talep miktarı 0,5 değerinden küçük olanlar, hiç bir şekilde gemi üzeri stoklanacak yedek parça hesaplamasında dikkate alınmamıştır. Bu durumda 0,49 değeri hesaplamaya katılmazken, 0,51 değeri hesaplamaya katılmaktadır.

Bu tez çalışmasında ise, yıllık tahmini talep miktarı eşik değeri 0,1 olarak belirlenmiştir. Bu eşik değerinin sonucunda, işlem görecekt kayıt sayısı 74.601 kayıttan 16.186 kayıta düşmektedir. Böyle bir varsayım ile hareket etmenin en büyük nedeni, yıllık tahmini talep miktarı 0,1 değerinden küçük bir parçanın gemi üzerinde yedeklenme ihtimalinin 0'a yakın olmasıdır. Diğer yandan, genetik algoritma ile

74.601 kayıtla uğraşırken çok fazla zaman kaybedilmesinden ve algoritmanın çalıştırılacağı donanımın kilitlenme olasılığından kurtulunması sağlanmıştır.

3.2. Genetik Algoritmanın Probleme Uyarlanması

3.2.1. Başlangıç nüfusunun belirlenmesi

Genetik algoritmanın ilk aşaması olan başlangıç nüfusu, yaygın kullanım şekliyle, rastgele olarak belirlenmiştir.

3.2.2. Amaç fonksiyonunun belirlenmesi

Genetik algoritmanın en önemli unsurlarından belki de ilk sırada olanı, probleme uygun amaç fonksiyonunun belirlenmesi işlemidir. Özet olarak, çözülmek istenen problem, gemi üzerinde yedeklenecek parçaların belirlenmesi işlemidir. Yedek parçalar belirlenirken en az maliyetli, en çok talep gören ve gemi için en kritik öneme haiz parçalar seçilmelidir. Bunun anlamı, yukarıda belirtilen parça parametreleri tek bir denklem içerisinde kullanılarak, belirtilen üç kriter aynı anda sağlanmalıdır. Tez çalışmasında, bunun için özgün bir amaç fonksiyon denklemi oluşturulmuştur.

Tablo 3.1. Parçanın gemi için önem dereceleri

Önem derecesi	Açıklaması
1	Personel güvenliği için ihtiyaç duyulan parçaları temsil ettiğinden en önemli parça gurubudur.
3	Bu parçanın arızalanması, parçanın içinde bulunduğu cihazın çalışmaz hale gelmesine neden olur.
5	Bu parçanın arızalanması, parçanın içinde bulunduğu cihazın verimliliğini etkiler.
7	Bu parçanın arızalanması, parçanın içinde bulunduğu cihazın çalışmaz hale gelmesine neden olmaz.

Amaç fonksiyon için öncelikle iki noktanın belirlenmesi gerekmektedir. Bunlardan ilki, parçanın gemi için öneminin amaç fonksiyonda nasıl tanımlanacağıdır. Veritabanından çekilen veride, parçanın gemi için önemi bilgisi olarak dört farklı değer mevcuttur. Tablo 3.1’de görüldüğü üzere, önem derecesi ne kadar küçükse, parçanın gemi için önemi o kadar büyüktür, yani amaç ile ters orantılıdır. Bu

nedenle, amaç fonksiyon oluşturulurken bu değerin paydada yer alması gerekmektedir.

Önem derecesini gösteren değerler her ne kadar rakamlardan oluşmuş olsalar da sayısal bir ifade değildirler. Bu değerlerin, amaç fonksiyonda kullanılabilmesi için öncelikle sayısallaştırılmaları gerekmektedir. Önem derecesini gösteren rakamların doğrudan sayısal değerleri kullanılsa bile, bu kodlar olduğu gibi kullanılamazlar. Öncelikle normalleştirilmeleri gerekir. Kullanılması durumunda, en önemli parça ile en önemsiz parça arasında 7 kat değer farkı oluşacaktır. Bu durumda, karar verirken, aynı denklem içerisinde yer alacak olan birim fiyat ve yıllık talep miktarı bilgilerinin pek bir etkisi kalmayacak, 1 önem derecesine sahip yedek parçaların büyük çoğunluğu diğer parametrelere bakmaksızın gemi üzerinde stoklanacaktır. Bu sorunu aşabilmek ve önem derecesi değerlerini normalleştirmek için, en iyi olan 1 kodlu ve en kötü olan 7 kodlu öneme sahip malzemeler için [1,2] gibi bir değer aralığı sağlayacak yapı araştırılmıştır. Bu araştırma sonucunda; $\sqrt[3]{x}$ yapısının en uygun yapı olduğu belirlenmiştir. Bu durumda; $\sqrt[3]{1} = 1$ ve $\sqrt[3]{7} = 1,91$ olduğundan, en gerekli parça ile en gereksiz parça arasında oluşacak fark yaklaşık olarak 1,91 kattır. Sonuç olarak, i parçasının gemi için önemi (MEC_i) bilgisi amaç fonksiyonda Eşitlik (3.1)'de verildiği gibi kullanılabilir.

$$\frac{1}{\sqrt[3]{MEC_i}} \quad (3.1)$$

Amaç fonksiyonun belirlenmesindeki ikinci nokta ise, parçaya olan yıllık talep miktarı TP ile MRU arasındaki ilişkidir. Parçaya olan yıllık talep miktarı; parçanın gemi üzerindeki toplam miktarı ile parçanın BRF_i 'sinin çarpımı ile Eşitlik (3.2)'deki gibi elde edilir.

$$Yıllık Talep Miktarı = TP_i \cdot BRF_i \quad (3.2)$$

Bu değer yalnız başına kullanılamaz, çünkü bazı parçaların minimum değiştirme miktarları vardır. Örneğin, 4 silindirli motora sahip arabalarda, buji değişimi yapılırken 4 tane birden değiştirilmelidir. Yani, $MRU=4$ 'tür. Gemi üzerinde yedeklenecek miktar, MRU veya katları kadar olmak zorundadır. Bunu formüle

etmek için; yıllık talep miktarı olan $TP_i \cdot BRF_i$ çarpımı, Eşitlik (3.3)'deki gibi, minimum değiştirme miktarına bölümü sonucu elde edilen değer bir üst tam sayıya tamamlanmış ve tamamlanan bu değer, minimum değiştirme miktarı MRU_i ile çarpılmıştır.

$$\left(\left\lfloor \frac{TP_i \cdot BRF_i}{MRU_i} \right\rfloor \cdot MRU_i \right) \quad (3.3)$$

Son olarak, parçanın birim fiyatı bilgisi de amaç fonksiyon ile doğru orantılı olduğundan, doğrudan çarpıma pay olarak sokulmuştur. Bu tez çalışmasının katkılarında biri olan amaç fonksiyonunun son hali Eşitlik (3.4) ile verilmektedir.

$$Z = \sum_{i=1}^n \left(\frac{P_i}{\sqrt[3]{MEC_i}} \right) \cdot \left(\left\lfloor \frac{TP_i \cdot BRF_i}{MRU_i} \right\rfloor \cdot MRU_i \right) \quad (3.4)$$

3.2.3. Mutasyon oranının belirlenmesi

Genetik algoritmanın performansı; mutasyon ve çaprazlama oranları, türleri, nüfus ve kromozom büyüklükleri, seçim metodu, elitizm kullanılıp kullanılmaması ile doğrudan ilişkilidir. Diğer taraftan, amaç fonksiyonun özelliği ve içeriği ile hiçbir ilişkisi yoktur. Mutasyon oranının belirlenmesi için, öncelikli olarak 0,01, 0,001 ve 0,0001 değerleri için denemeler yapılmıştır. Denemeler yapılırken kullanılan genetik algoritma parametreleri Tablo 3.2'de verilmektedir.

Tablo 3.2. Mutasyon oranını belirlemek için kullanılan GA parametreleri

Parametre Adı	Parametre Değeri
Kromozom büyüklüğü	300
Nüfus büyüklüğü	100
Çaprazlama oranı	1,00
Çaprazlama yöntemi	2-noktalı

Her bir mutasyon oranı için genetik algoritma ayrı ayrı çalıştırılmış ve sonuçta elde edilen üç farklı maliyet değeri ve bu maliyet değerlerinin ortalamaları Tablo 3.3'te verilmiştir. Tabloda da görüldüğü üzere, 0,001 mutasyon oranı, 0,01 ve 0,0001 oranlarına göre daha iyi sonuç vermiştir.

Tablo 3.3. 0,01, 0,001 ve 0,0001 mutasyon oranları için deneme sonuçları

Deneme No	Mutasyon = 0,01	Mutasyon = 0,001	Mutasyon = 0,0001
1	149,6492	12,5071	92,3660
2	174,7886	50,9525	77,6103
3	140,4567	27,0529	60,1838
Ortalama	154,9648	30,1708	76,7200

Bir sonraki aşamada, daha iyi bir mutasyon oranı elde edebilmek için genetik algoritma, ara değerler olan 0,005 ve 0,0005 mutasyon oranları kullanılarak tekrar üçer kez çalıştırılmıştır. Sonuçta elde edilen maliyet değerleri Tablo 3.4'te verilmiştir.

Tablo 3.4. 0,005 ve 0,0005 mutasyon oranları için deneme sonuçları

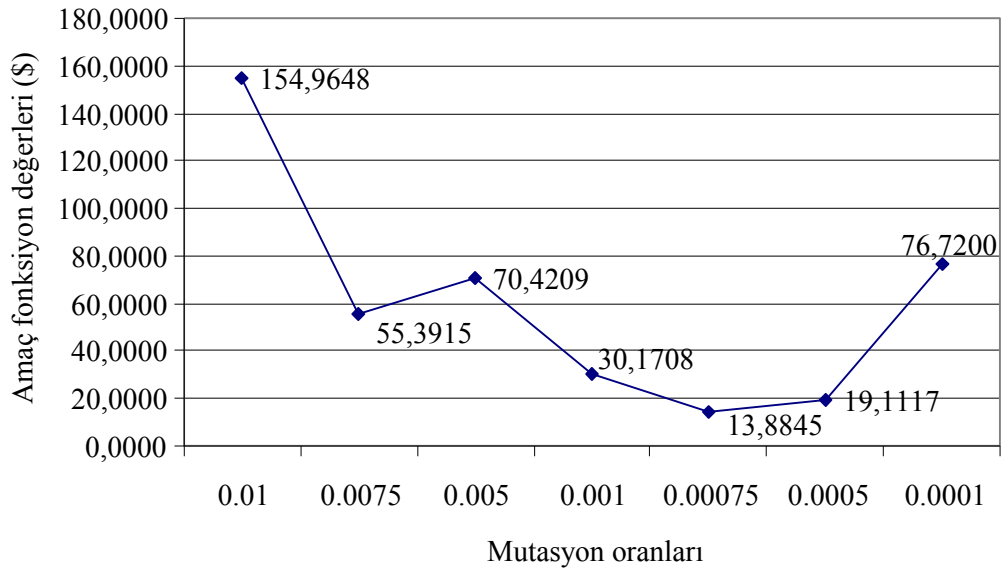
Deneme No	Mutasyon = 0,005	Mutasyon = 0,0005
1	117,8042	21,3419
2	47,2130	17,5959
3	46,2456	18,3972
Ortalama	70,4209	19,1117

Her ne kadar mutasyon oranının 0,0005 ile 0,001 arasında olacağı Tablo 3.4'te görülmekteyse de, kesinlik için sonraki aşamada 0,00075 ile 0,0075 ara değerleri denenmiştir. Tablo 3.5'te de görüldüğü üzere, 0,00075 mutasyon oranının maliyet değerini diğer oranlara göre çok daha düşük düzeyde tuttuğu görülmüştür.

Tablo 3.5. 0,0075 ve 0,00075 mutasyon oranları için deneme sonuçları

Deneme No	Mutasyon = 0,0075	Mutasyon = 0,00075
1	50,9237	14,7989
2	57,1425	14,1150
3	58,1084	12,7547
Ortalama	55,3915	13,8895

Mutasyon oranları ile yapılan tüm denemelere ait ortalama maliyet değerleri grafik olarak Şekil 3.2'de gösterilmektedir. Çalışmanın ilerleyen bölümlerinde kullanmak üzere mutasyon oranı 0,00075 olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.2. Mutasyon oranları deneme sonuçları

3.2.4. Çaprazlama yönteminin ve nüfus büyüklüğünün belirlenmesi

Optimizasyonda kullanılacak olan çaprazlama yöntemi ve nüfus büyüklüğü değerleri beraber belirlenmeye çalışılmıştır. Bunu sağlamak için, her bir çaprazlama yöntemi için farklı nüfus büyüklüklerine göre üç farklı deneme yapılmış ve deneme sonucunda elde edilen maliyet değerleri ile denemenin aldığı sürenin saniye cinsinden değerleri elde edilmiştir. Çaprazlama türleri ve nüfus büyüklüklerine göre ortalama maliyet ve zaman değerleri Tablo 3.6’da verilmektedir.

Tablo 3.6. Çaprazlama türü ve nüfus büyüklüklerine göre deneme sonuçları

Çaprazlama türü	Nüfus = 100		Nüfus = 300		Nüfus = 500	
	Maliyet	Zaman(s)	Maliyet	Zaman(s)	Maliyet	Zaman(s)
1-noktalı	4,6190	72,42	0,9220	216,04	0,3572	364,26
2-noktalı	16,1665	74,43	1,3649	222,36	0,3605	372,10
3-noktalı	1,8461	72,47	0,4119	216,51	0,2094	370,08
4-noktalı	1,6488	71,99	0,3587	219,09	0,5373	363,18
6-noktalı	1,1241	72,90	0,5554	220,22	0,3088	364,54

Tablo incelendiğinde, nüfus büyüklüğü 500 için daha düşük maliyet değerlerine ulaşıldığı görülmektedir. En iyi sonucu veren çaprazlama yönteminin üç noktalı çaprazlama yöntemi olduğu tespit edilmiştir.

500'den daha büyük nüfus büyüklüğü ile yapılan denemelerde daha kötü sonuçlar elde edilmiştir. Tablo 3.11'de nüfus büyüklüğü 600 için yapılan çalışmaya ait sonuçlar görülmektedir. Bu nedenle, bu çalışmada ele alınan problem için en uygun çaprazlama yöntemi olarak üç noktalı çaprazlama ve en iyi nüfus büyüklüğünün de 500 olduğu sonucuna varılmıştır.

Tablo 3.7. Nüfus büyüklüğü 600 için sonuçlar

	Tek noktalı	2-noktalı	3-noktalı	4-noktalı	6-noktalı
Maliyet	86,5470	57,1278	51,8239	52,8645	45,1331
Zaman (s)	18.048	11.357	11.379	11.329	11.415

3.2.5. Diğer genetik algoritma parametreleri

Kullanılan kayıt sayısının görece fazla olduğu durumlarda, hem zaman hem de etkinlik açısından ikili sayı sistemi yerine tamsayı veya reel sayıları kullanmak çok daha avantajlıdır. Bu nedenle, kromozomun genleri yedek parça numaralarını içeren tamsayılardan oluştuğu için tamsayı kodlama tercih edilmiştir.

Çiftleşme havuzuna ebeveyn seçimi için rulet çarkı kullanılmıştır. Ayrıca, uygunluk değeri en yüksek bireylerin bir sonraki jenerasyona doğrudan geçişini sağlama üzere elitizm kullanılmıştır. Böylece, her yeni jenerasyondaki en iyi maliyet değerinin bir önceki jenerasyondan daha düşük veya aynı değerde kalması garantilenmiştir.

Çaprazlama oranı olarak 1,0 belirlenmiştir. Çaprazlama yönteminin belirlenmesi için yukarıda anlatılan denemeler yapılmıştır. Bu denemeler sonucunda üç noktalı çaprazlama yöntemi en uygun yöntem olarak belirlenmiştir.

Durma kriteri olarak, maksimum jenerasyon sayısı kullanılmasına karar verilmiştir. İlk etapta, jenerasyon veya döngü sayısı olarak 1000 döngü kullanılmıştır. Genetik algoritma, her biri 1000 döngülü olmak üzere 200 defa çalıştırılmıştır.

4. GENETİK ALGORİTMALAR ile GEMİ ÜZERİ YEDEK PARÇA OPTİMİZASYONU ve SONUÇLARI

Genetik algoritmalarda ilk nüfusun belirlenmesinde, genel olarak iki farklı yaklaşım kullanılmaktadır. Bunlardan ilki, tamamen rastgele bir biçimde ilk nüfusun belirlenmesidir. İkinci yaklaşım ise, seçilmiş ve sonuca yakın ilk değerlerin kullanılmasıdır. İkinci yaklaşım kullanılarak daha kısa sürede daha iyi sonuçlara ulaşabilmek mümkün olmaktadır. Fakat bu yaklaşımı kullanmak her problem için uygun olmayabilir.

Bu tez çalışmasında ele alınan, gemi üzerinde bulundurulması gereken yedek parçaların belirlenmesi probleminin çözümü oldukça zordur. Zor olmasına neden olan en büyük etken, probleme ait kromozom uzunluğunun aşırı büyüklüğüdür. Kromozom uzunluğunun 300, nüfus büyüklüğünün 500 ve döngü sayısının 1000 olarak alınması durumunda, genetik algoritmanın çalışma süresi ortalama 51 dakika sürmektedir. Kromozom uzunluğunun 500, nüfusun büyüklüğünün 500 ve döngü sayısının 1000 olarak alınması durumunda ise, genetik algoritma çalışma süresi ortalama 5 saattir. Kromozom uzunluğunun 1000, nüfusun 300 ve döngü sayısının 10000 olarak alınması durumunda, genetik algoritma çalışma süresi ortalama 58 saattir. Tüm bu denemelerde üç noktalı çaprazlama yöntemi kullanılmış olup, denemeler sonucu elde edilen performans bilgileri Tablo 4.1 ile verilmektedir. Genetik algoritmanın koşturulduğu bilgisayarın özellikleri şunlardır: Intel i7 işlemci, 2,2 Ghz işlemci hızı, 8 GB RAM ve 1 GB ekran kartı.

Tablo 4.1. Farklı parametrelere göre genetik algoritmanın çalışma süreleri

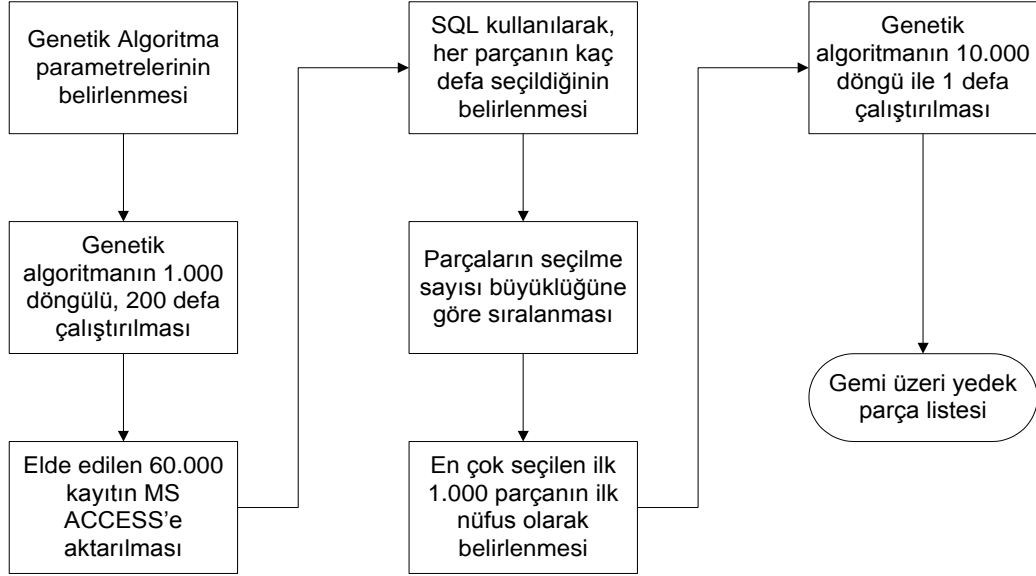
Kromozom uzunluğu	Nüfus büyüklüğü	Döngü sayısı	Harcanan süre (saniye)
300	100	1.000	623
300	200	1.000	1.228
300	300	1.000	1.845
300	500	1.000	3.030
500	500	1.000	11.415
1.000	300	10.000	206.090

Tabloda görüldüğü üzere kromozom uzunluğu, nüfus büyüklüğü veya döngü sayısının artırılması, genetik algoritma çalışma süresini doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle, çok büyük parametrelerin kullanılması, genetik algoritmanın çalışma süresi dikkate alındığında pek etkin bir çözüm olmayacaktır.

Kromozom uzunluğunun aşırı uzun olmasının bir diğer sonucu da genetik algoritma ile elde edilen çözümün optimum çözüme yakınsamamasıdır. Bunun anlamı, algoritma her çalıştırıldığında elde edilen sonucun, kabul edilebilir (feasible) bir sonuç olması, ancak her seferinde farklı bir sonuç üretilmesidir. Sonuçta elde edilen çözümün, bir kromozom uzunluğu kadar parça içeren bir yedek parça listesi olduğu düşünüldüğünde, her çalıştırmada üretilen listenin farklı olması hem listeye duyulan güvenin sorgulanmasına hem de nihai listenin üretilmediği kanısına yol açacaktır.

Yakınsamanın gerçekleşmesi için ya kromozom uzunluğu kısa olacaktır, ya da uzun kromozom kullanılmışsa döngü sayısı yüz binler veya milyonlar mertebesinde olacaktır. Birinci seçenek, yedek parça sayısının çok fazla olması nedeniyle, problemin doğası gereği mümkün gözükmemektedir. İkinci seçenekte ise, çok uzun süreli çalıştırma gerekmektedir.

Bu tez çalışmasında, hem çalışma süresini kısaltacak hem de yakınsamayı sağlayacak bir yöntem önerilmektedir. Çalışmanın en önemli katkısı olan bu yöntem şöyle çalışmaktadır. Kromozom uzunluğu kısa ve döngü sayısı düşük tutularak, genetik algoritma bir çok kez çalıştırılmaktadır. Her çalıştırmada farklı yedek parça listesi üretileceği için, parçaların listelerde yer alma frekansları da farklı olacaktır. Çok önemli, çok ucuz ve çok talep edilen parçalar farklı çalıştırmalarda daha yüksek sıklıkla seçilmiş olacaklardır. Bunun tersine, önem derecesi az, ucuz olmayan ve çok talep edilmeyen parçalar daha düşük sıklıkla seçilmiş olacaklardır. Bu özellikten yararlanarak, her çalıştırmada üretilen parçalar birleştirilerek, seçilme sıklıklarına göre sıraya konulduğunda, yakınsamış veya kararlı bir liste elde edilmiş olacaktır. Yakınsamayı artırmak için, elde edilen liste genetik algoritmanın başlangıç nüfusu olarak kabul edilip, son bir kez uzun bir döngü sayısı ile çalıştırıldığında daha kararlı, yakınsamış bir nihai listeye ulaşılabilecektir. Önerilen yöntemin akış diyagramı Şekil 4.1'de verilmektedir.



Şekil 4.1. Önerilen yöntemin akış şeması

Tez çalışmasında, Şekil 4.1 ile verilen algoritma kullanılarak çözüm elde edilmeye çalışılmıştır. Genetik algoritma parametreleri olarak, Bölüm 3.2’de belirlenen amaç fonksiyon, mutasyon oranı, çaprazlama türü ve oranı, seçim yöntemi ve durdurma kriteri kullanılmıştır. Başlangıçta, rastgele üretilmiş nüfus kullanan, kromozom uzunluğu 300, nüfus büyüklüğü 500 ve döngü sayısı 1000 olan bir genetik algoritma 200 kez çalıştırılmıştır. Tüm bu çalıştırmalar, 160 saatin üzerinde zaman almıştır. Her bir çalıştırmaya ait sonuçlar farklı bir dosyaya kaydedilmiştir. Bu dosyalarda, her bir döngü sonucunda gerçekleşen maliyet değerleri ve 1000 döngü sonucunda elde edilen ve 300 parçadan oluşan yedek parça listesi kaydedilmiştir.

Oluşturulan 200 farklı kayıt içerisindeki kromozom bilgileri, Microsoft Access ortamına alınmış ve 200 çalıştırma sonucunda hangi yedek parçanın kaç defa seçildiği bilgisi SQL kullanılarak Access ortamında elde edilmiştir. Bu şekilde toplam 1 veya 1’den fazla kez seçilen 1.761 kayıttın olduğu görülmüştür. Bu kayıtlar seçilme sırasına göre büyükten küçüğe doğru sıralanmıştır. Bunlardan ilk 30 ve son 30 tanesi ve seçilme sayıları Tablo 4.2’de verilmiştir.

Genetik algoritma modelinin 200’den fazla çalıştırılmasına ihtiyaç duyulmamıştır. Bunun en büyük nedeni, 100 çalıştırma sonucunda 1 veya 1’den fazla kez seçilen kayıt sayısının 1.664 olmasıdır. Daha net bir ifade ile, 100 çalıştırmanın üzerine bir 100 çalıştırma daha yapılması ile sadece 97 ilave parça seçilebilmiştir. Genetik algoritmanın 200 yerine 1000 defa çalıştırılması, elde edilecek kayıt sayısını son

derece küçük miktarda etkileyeceğinden, 200 çalıştırmanın yeterli olacağı sonucuna varılmıştır.

Tablo 4.2. 200 çalıştırma ile seçilen parçaların seçilme sıklıkları

Sıra no	Malzeme no	Seçilme sayısı	Sıra no	Malzeme no	Seçilme sayısı
1	5924	120	1732	13027	1
2	13813	116	1733	13288	1
3	5950	114	1734	13325	1
4	13401	114	1735	13812	1
5	6706	112	1736	13946	1
6	6391	111	1737	13980	1
7	14543	111	1738	13982	1
8	15817	110	1739	14044	1
9	14777	109	1740	14098	1
10	8651	108	1741	14309	1
11	14976	108	1742	14399	1
12	14977	108	1743	14442	1
13	5919	107	1744	14600	1
14	6466	107	1745	14656	1
15	14620	107	1746	14671	1
16	8019	106	1747	14746	1
17	13407	106	1748	14763	1
18	14224	106	1749	14794	1
19	14894	106	1750	14891	1
20	2018	105	1751	14915	1
21	14014	105	1752	15253	1
22	14226	105	1753	15367	1
23	14706	105	1754	15373	1
24	5936	104	1755	15573	1
25	5947	104	1756	15596	1
26	14446	104	1757	15597	1
27	14705	104	1758	15713	1
28	14917	104	1759	15790	1
29	15366	104	1760	15913	1
30	4848	103	1761	16125	1

Elde edilen 1.761 yedek parça; Şekil 4.1’de verilen modele uygun olarak, 10.000 döngü sayısı, 1000 kromozom büyüklüğü ve 300 nüfus büyüklüğü parametreleriyle çalıştırılacak genetik algoritma için başlangıç nüfusunu oluşturacak şekilde planlanmıştır. Bu şekilde, en iyi çözüme çok yakın bir başlangıç nüfusu ile başlatılan genetik algoritmanın, 10.000 gibi büyük bir döngü içerisinde, olası en iyi 1000 yedek parçalı sonuca yakınsama sağlayacağı değerlendirilmiştir. İlk etapta, genetik algoritmanın başlangıç nüfusunu oluşturan alt fonksiyon biraz değiştirilerek, 1.761 parça arasından seçim yapması sağlanmıştır. Bu şekilde revize edilen genetik algoritmanın, 69 saat süren uzun süreli çalışmasının ardından 1.000 parçalı listeye ulaşılmıştır. İnce ayar olarak değerlendirilebilecek bu işlem sonrasında, toplam 13 kalem yedek parça, gemi üzeri yedek parça listesinden çıkartılarak yerine amaç fonksiyon ile belirlenen amaca daha uygun özellikleri olan yeni bir 13 kalem yedek parça eklenmiştir. Burada elde edilen 1000 adetlik yedek parça, gemi üzerinde stoklanması mantıklı olan en iyi 1000 adetlik yedek parça paketini oluşturmaktadır.

4.1. Mevcut Modeller ve GA ile Seçilen Yedek Parçalar

Seçilen yedek parçaları analiz etmek için, öncelikli olarak mevcut modeller ve önerilen yöntem ile elde edilen sonuç verisinin değerlendirilmesi faydalı olacaktır. Bu bölümde, aşağıdaki yöntemlerle elde edilen sonuçlar verilmiştir.

- 0.5 FLSIP+ modeliyle seçilen yedek parçalar,
- Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modeliyle seçilen yedek parçalar,
- Genetik algoritmanın 100 kez çalışması sonucunda seçilen yedek parçalar,
- Genetik algoritmanın 200 kez çalışması sonucunda seçilen yedek parçalar,
- Genetik algoritmanın önce 200 kez kısa çalıştırılması, sonra da bir kez uzun süreli çalıştırılması ile seçilen yedek parçalar.

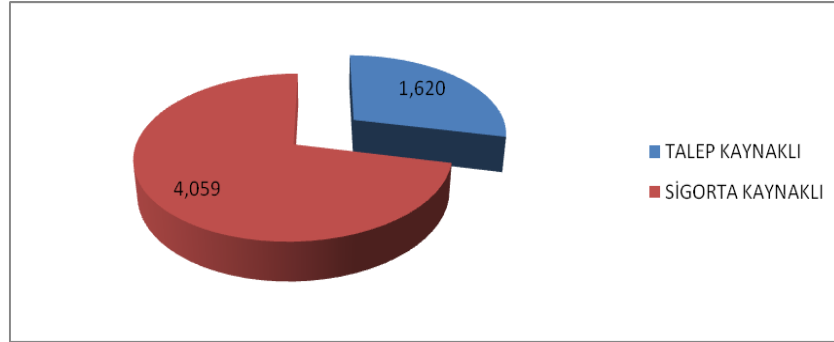
4.1.1. 0.5 FLSIP+ modeliyle seçilen yedek parçalar

0.5 FLSIP+ modeliyle; 1.619 adedi talep kaynaklı ve 4.058 adedi sigorta kaynaklı olmak üzere toplam 5.677 kalem yedek parça seçilmiştir. Bu malzemelerin maliyetleri ise, talep kaynaklı maliyet 745.516,30 \$ ve sigorta kaynaklı maliyet 1.382.632,37 \$ olmak üzere toplam 2.128.148,67 \$’dır (Tablo 4.3). Şekil 4.2 ve Şekil

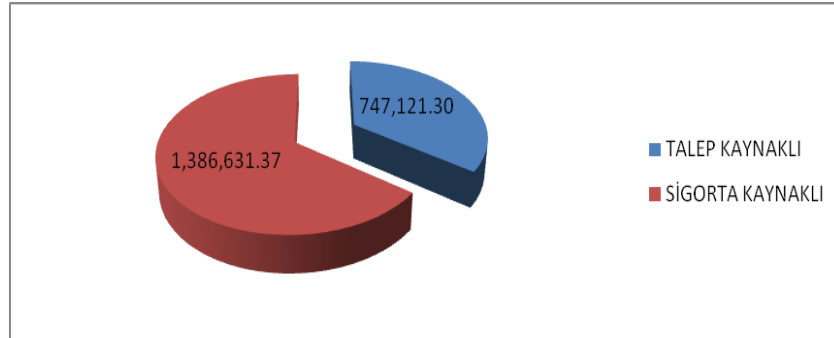
4.3'de, sırasıyla 0.5 FLSIP+ modelinin miktar ve maliyetin dağılımları gösterilmektedir.

Tablo 4.3. 0.5 FLSIP+ modeli ile elde edilen maliyet ve miktarlar

	Talep Kaynaklı	Sigorta Kaynaklı	Toplam
Maliyet (\$)	745.516,30	1.382.632,37	2.128.148,67
Miktar (Adet)	1.619	4.058	5.677



Şekil 4.2. 0.5 FLSIP+ modeli sonuçlarına göre miktar dağılımı



Şekil 4.3. 0.5 FLSIP+ modeline göre maliyet (\$) dağılımı

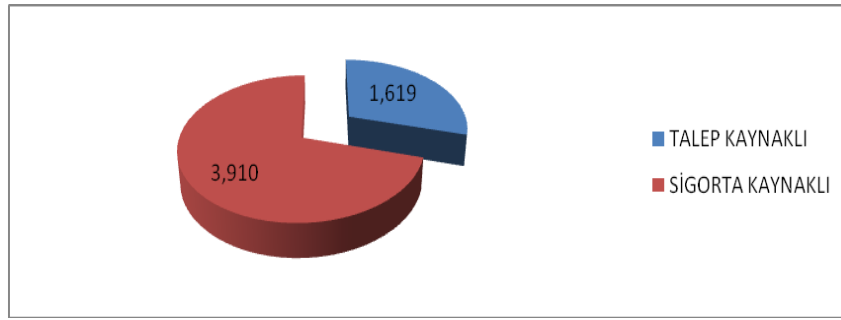
4.1.2. Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modeliyle seçilen yedek parçalar

Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modeliyle; 1.619 adedi talep kaynaklı ve 3.910 adedi sigorta kaynaklı olmak üzere toplam 5.529 kalem yedek parça seçilmiştir. Bu malzemelerin maliyetleri ise, talep kaynaklı maliyet 745.516,30 \$ ve sigorta kaynaklı maliyet 207.035,04 \$ olmak üzere toplam 952.551,34 \$'dır (Tablo 4.4).

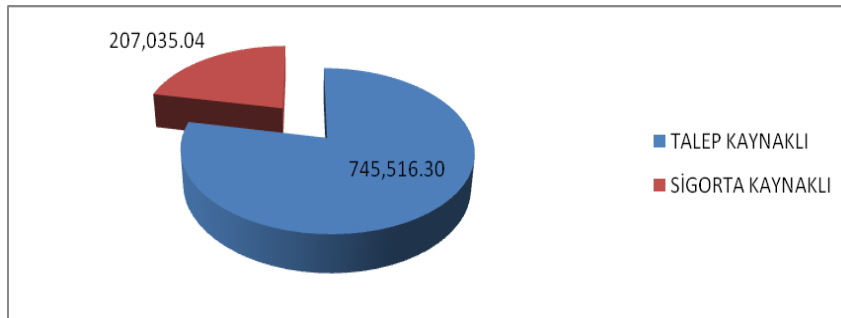
Tablo 4.4. Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modeli ile elde edilen maliyet ve miktarlar

	Talep Kaynaklı	Sigorta Kaynaklı	Toplam
Maliyet (\$)	745.516,30	207.035,04	952.551,34
Miktar (Adet)	1.619	3.910	5.529

Şekil 4.4 ve Şekil 4.5’de, sırasıyla Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modelinin miktar ve maliyetin dağılımları gösterilmektedir.



Şekil 4.4. Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modeli sonuçlarına göre miktar dağılımı



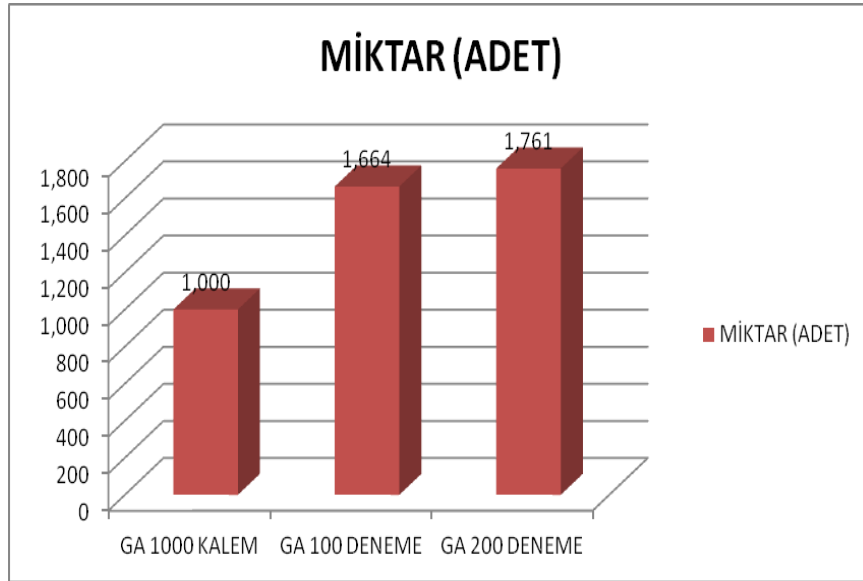
Şekil 4.5. Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modeline göre maliyet (\$) dağılımı

Tablo 4.3 ve Tablo 4.4 incelendiğinde, hem 0.5 FLSIP+, hem de Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modellerinde talep kaynaklı olarak seçilen yedek parçaları aynı olduğu görülmektedir. Bu doğal bir sonuçtur, çünkü fiyat duyarlı model, sadece sigorta kaynaklı yedek parçaları etkilemektedir. Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modelinde 1.000 \$ üzeri maliyete sahip sigorta kaynaklı yedek parça bulunmamaktadır. Bunun sonucu olarak, 1.000 \$ üzeri değere sahip 134 çeşit yedek parça, 0.5 FLSIP+ modelinde seçildiği halde Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modelinde seçilmemiş ve böylelikle 148 kalem yedek parça seçim dışı kalarak toplam maliyet 1.175.597,33 \$ azalmıştır.

4.1.3. GA ile seçilen yedek parçalar

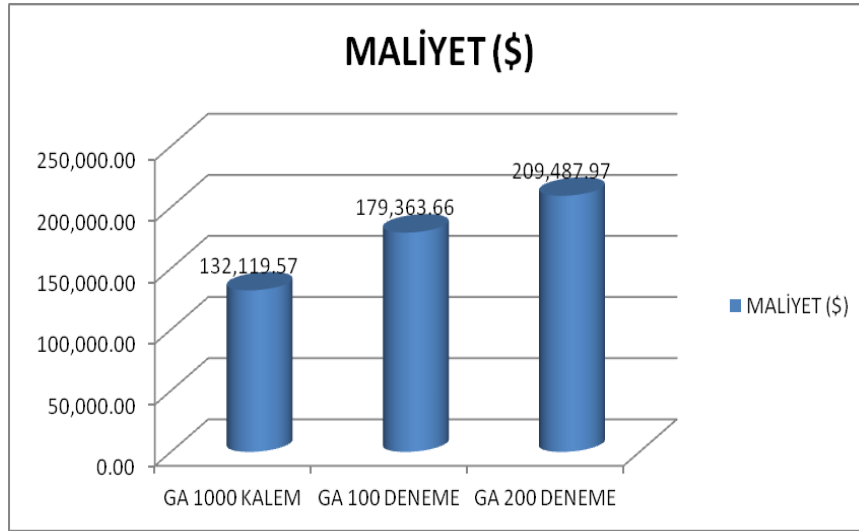
Genetik algoritma ile yapılması planlanan işlem, 16.186 yedek parça arasından en uygun parçaları seçmektir. Genetik algoritma ile seçim yaparken istenilen sonuç kümesi, kromozom büyüklüğü parametresi ile ayarlanmaktadır. Örneğin, 16.186 parça içerisinde 1.000 adet parça seçmek için kromozom büyüklüğünün 1.000 olarak seçilmesi gerekmektedir. Ancak, kromozom büyüklüğünü 1.000 olarak seçmek, nüfus büyüklüğü de dikkate alındığında olağanüstü ve kabul edilebilirlik sınırlarının dışında bir zaman alacaktır. Bunun yerine, yukarıda önerilen yöntem kullanılarak, genetik algoritmanın üç farklı çalıştırma durumuna göre farklı sonuçlar elde edilmiş olup sonuçlar aşağıda verilmektedir. Sonuçlara ait miktar dağılımı Şekil 4.6.'da, maliyet dağılımı ise Şekil 4.7'de verilmektedir. Şekillerdeki;

- GA 100 deneme: Genetik algoritmanın 100 kez çalıştırılması sonrasında elde edilen sonuçlardır,
- GA 200 deneme: Genetik algoritmanın 200 kez çalıştırılması sonrasında elde edilen sonuçlardır,
- GA 1000 Kalem: Genetik algoritmanın 200 kez çalıştırılması sonucunda en çok seçilen ilk 1.000 parçanın başlangıç nüfusu olarak kullanılması ile elde edilen 1.000 parçalık genetik algoritma sonucudur.



Şekil 4.6. Genetik algoritma sonuçlarına göre miktar dağılımı

Şekil 4.6’da görüldüğü üzere, ilk 100 çalıştırma sonrasında 1.664 kalem malzeme seçilmiştir. Genetik algoritmanın bir 100 kez daha çalıştırılması sonrasında seçilen ilave malzeme sayısı 97 gibi çok az bir artış göstermiş ve 1.761 olmuştur. Benzer durum maliyetlerin dağılımının verildiği Şekil 4.7’de de görülmektedir. Ancak, 200 denemedeki maliyet artışının sebebi, ilave 97 parçanın eklenmesinden kaynaklanmaktadır. 200 çalıştırma sonrasında, genetik algoritmanın çalıştırılmaya devam edilmesi durumunda, seçilen malzeme sayısı ve maliyetlerde çok fazla bir kazanım sağlanamayacağı açıktır. Bu nedenle genetik algoritmanın çalıştırılma sayısı 200’de bırakılmıştır.



Şekil 4.7. Genetik algoritma sonuçlarına göre maliyet dağılımı

4.2. Mevcut Modeller ve GA ile Seçilen Yedek Parçaların Analizi

Test ve analiz işlemlerini sağlıklı olarak yapabilmek için, yedek parçalar seçilme durumuna göre aşağıda verilen başlıklar altında sınıflandırılmıştır.

- Sadece GA tarafından seçilen yedek parçalar,
- Hem GA, hem de mevcut modeller (0.5 FLSIP+ ve Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+) tarafından seçilen yedek parçalar,
- Mevcut modeller tarafından seçilen, fakat GA tarafından seçilmeyen yedek parçalar,
- Ne GA, ne de mevcut modeller tarafından seçilen yedek parçalar.

4.2.1. GA'nın 200 çalıştırma sonucu ile 0.5 FLSIP+ modeli sonuçlarının karşılaştırılması

4.2.1.1. Seçilen yedek parça sayılarına göre karşılaştırma

Genetik algoritmanın 200 kez çalıştırılması sonucunda elde edilen 1.761 yedek parça ile 0.5 FLSIP+ modeli ile elde edilen 5.677 yedek parça miktarlarının, talep oranı aralıkları dikkate alınarak yapılan karşılaştırması Tablo 4.5'de verilmektedir. Tablodan elde edilen dikkat çekici hususlar aşağıda açıklanmaktadır:

- 0.5 FLSIP+ modeli sadece 0,5 ve üstü talep oranına sahip malzemeler ile ilgilendiğinden, talep oranı 0,1 ile 0,5 arasında olan malzemelerden seçilme işlemi sadece genetik algoritma ile gerçekleşmiştir ve seçilen malzeme sayısı 575'tir.
- Yine 0.5 FLSIP+ modelinin bir özelliği olarak, 4 ve üstü talep oranına sahip malzemelerden seçilmeyen yoktur.
- 0.5 FLSIP+ modeline göre sigorta malzemesi olan 0,5-4,0 arası talep oranına sahip malzemelerden 129 tanesi, 0.5 FLSIP+ modeli tarafından seçilmediği halde genetik algoritma tarafından seçilmiştir. Genetik algoritmanın seçme kriteri, amaç fonksiyonunda da belirtildiği üzere; fiyatının düşük olması, talep oranının yüksek olması veya önem derecesinin yüksek olmasıdır. Dolayısıyla, bu 129 kalem malzemenin genetik algoritma tarafından seçilme nedeni bu özelliklerden bir veya birkaçına uygun olmasıdır.
- Talep oranı 4,0 ve üstü olan malzemelere bakıldığında, genetik algoritmanın en çok bu aralıktaki malzemelerden seçtiği görülmektedir. Genetik algoritma ile seçilen malzemelerin toplamı 1.761 olup, bunun 655 tanesinin talep oranı 4,0 veya üstüdür. Yüzdesel anlamda %37'nin (655/1761) üzerindedir. 0.5 FLSIP+ modelinde ise 4,0 ve üstü talep oranına sahip tüm malzemeler seçildiği halde bu oran ancak %28 (1619/5677) civarındadır. Bu durum, genetik algoritmanın talep oranlarını dikkate almada başarılı olduğunu göstermektedir. Talep oranı 0,5 - 4,0 arası olan malzemeler incelendiğinde bu oranlar genetik algoritma için %30 (531/1761) civarı ve 0.5 FLSIP+ modeli için %71 (4058/5677) civarındadır. 0.5 FLSIP+ modeli çoğunluk, talep oranı 0,5 - 4,0 arası olan sigorta malzemelerinden oluşmaktadır.

- Tabloda verilen toplam rakamlar, her iki yöntem tarafından seçilmeyen malzemeleri kapsamamaktadır.

Tablo 4.5. Seçilen yedek parça sayılarının karşılaştırması

Seçildiği yöntem	Talep miktarı			Toplam
	0,1 - 0,5 arası	0,5 - 4,0 arası	4,0 - ∞ arası	
Sadece GA	575	129	0	704
Hem GA, hem 0.5F+	0	402	655	1.057
Sadece 0.5F+	0	3.656	964	4.620
Ne GA, ne de 0.5F+	9.036	769	0	9.805
Toplam Seçilen	575	4.187	1.619	6.381

4.2.1.2. Ortalama birim fiyatlarına göre karşılaştırma

Genetik algoritmanın 200 kez çalıştırılması ve 0.5 FLSIP+ modeli ile elde edilen yedek parçaların ortalama birim fiyatlarının, talep oranı aralıkları dikkate alınarak yapılan karşılaştırması Tablo 4.6'da verilmektedir. Tablodan elde edilen dikkat çekici hususlar aşağıda açıklanmaktadır:

- 0.5 FLSIP+ modelinde kesin olarak seçilmeyen 0,1-0,5 arası talep oranına sahip malzemelerden genetik algoritma ile seçilen 575 kalem malzemenin ortalama birim fiyatı sadece 0,14 \$'dır. Son derece küçük bu değer, bu aralıktaki malzemelerin 0.5 FLSIP+ modeli tarafından seçilmediği halde genetik algoritma tarafından neden seçildiğini kanıtlamaktadır.
- Talep oranı 0,5 ile 4,0 arası olanlara bakıldığında sadece genetik algoritma tarafından seçilen malzemelerin ortalama birim fiyatlarının 0,19 \$ iken hem 0.5 FLSIP+ modeli, hem de genetik algoritma tarafından ortak olarak seçilen malzemelerin ortalama birim fiyatlarının 0,22 \$ olduğu görülmektedir. Genetik algoritma ile 0.5 FLSIP+ modeli birbiri ile hemen hemen aynı sonucu vermektedir. Genetik algoritma tarafından seçilmeyen ama 0.5 FLSIP+ modeli tarafından seçilen malzemelerin ortalama birim fiyatı olan 365,48 \$ ise, genetik algoritmanın karar verirken fiyat unsurunu çok daha fazla biçimde dikkate aldığını göstermektedir.

Tablo 4.6. Seçilen yedek parçaların ortalama birim fiyatlarının karşılaştırması

Seçildiği yöntem	Talep miktarı		
	0,1-0,5 arası	0,5-4,0 arası	4,0-∞ arası
Sadece GA	0,14	0,19	0,00
Hem GA, hem 0.5F+	0,00	0,22	1,54
Sadece 0.5F+	0,00	365,48	36,17
Ne GA, ne de 0.5F+	554,77	109,13	0,00

4.2.1.3. Talep miktarlarına göre karşılaştırma

Talep miktarına göre elde edilen veri Tablo 4.7’de verilmiş olup, genel olarak parça miktarına göre karşılaştırmanın daha detaylı halidir. Burada amaçlanan, seçilen malzemelerin talep oranlarının 0-1, 1-3, 3-7 ve 7 üstü aralıklarından hangisine sahip olduğunu görmek ve buna göre yorum yapabilmektir. Tablodan elde edilen dikkat çekici hususlar aşağıda açıklanmaktadır:

- Talep oranı 0,5-1 arasında olan malzemelerden 156 tanesi genetik algoritma tarafından, 1.919 tanesi ise 0.5 FLSIP+ modeli tarafından seçilmiştir. Genetik algoritma kendi içinde seçilme oranı %9 (156/1761) civarında iken bu oran 0.5 FLSIP+ modelinde %34’tür (1919/5677). Düşük talep oranlarında seçilme olasılığı genetik algoritmada çok düşükken, 0.5 FLSIP+ modelinde oldukça yüksektir.
- Talep oranı 1-3 aralığında olan malzemelerden 296 tanesi genetik algoritma tarafından, 1.830 tanesi ise 0.5 FLSIP+ modeli tarafından seçilmiştir. Genetik algoritma kendi içinde seçilme oranı %17 (296/1761) civarında iken bu oran 0.5 FLSIP+ modelinde %32’dir (1830/5677).
- Toplam 16.186 kalem olan malzeme talep oranına göre sınıflandırıldığında, 12.008 kalemin 0-1 talep oranı aralığında, 2.204 kalemin 1-3 talep oranı aralığında , 893 kalemin 3-7 talep oranı aralığında ve geriye kalan 1.081 kalemin 7 üstü talep oranı aralığında olduğu görülmektedir.
- Talep oranı 7 ve üstü olan malzemelere bakıldığında toplam 1.081 kalem malzemenin tamamının 0.5 FLSIP+ modeli tarafından doğal olarak seçildiği görülürken, genetik algoritma daha seçici davranmış ve aralarından 532 kalemi seçmiştir.

- 1-3 talep oranı aralığında olan toplam 2.204 kalem malzemeden, genetik algoritma tarafından seçilmediği halde sadece 0.5 FLSIP+ modeli tarafından seçilen malzeme miktarı 1.611'dir (yaklaşık %73). Benzer şekilde, 3-7 talep oranı aralığında olan toplam 893 kalem malzemeden, genetik algoritma tarafından seçilmediği halde sadece 0.5 FLSIP+ modeli tarafından seçilen malzeme miktarı 665'tir (yaklaşık %74). Bu değerler, 1-7 talep oranı aralığında bulunan malzemelerin yaklaşık %74 olasılıkla sadece 0.5 FLSIP+ modeli tarafından seçildiğini, maliyet ve önem derecesi gibi diğer önemli faktörlerin 0.5 FLSIP+ modeli tarafından göz ardı edilebildiğini göstermektedir.

Tablo 4.7. Seçilen yedek parçaların talep miktarlarının karşılaştırması

Seçildiği yöntem	Talep Miktar Aralığı	Talep miktarı				Genel toplam			
		0,1-0,5 arası	Toplam	0,5-4,0 arası	Toplam		4,0-∞ arası	Toplam	
Sadece GA	0 - 1	575		32		0		607	
	1 - 3	0	575	77	129	0	0	77	704
	3 - 7	0		20		0		20	
	7 - ∞	0		0		0		0	
Hem GA, hem 0.5F+	0 - 1	0		124		0		124	
	1 - 3	0	0	219	402	0	655	219	1.057
	3 - 7	0		59		123		182	
	7 - ∞	0		0		532		532	
Sadece 0.5F+	0 - 1	0		1.795		0		1.795	
	1 - 3	0	0	1.611	3.656	0	964	1.611	4.620
	3 - 7	0		250		415		665	
	7 - ∞	0		0		549		549	
Ne GA, ne de 0.5F+	0 - 1	9.036		446		0		9.482	
	1 - 3	0	9.036	297	769	0	0	297	9.805
	3 - 7	0		26		0		26	
	7 - ∞	0		0		0		0	
Toplam seçilen	0 - 1	575		1.951		0		2.526	
	1 - 3	0	575	1.907	4187	0	1619	1.907	6381
	3 - 7	0		329		538		867	
	7 - ∞	0		0		1.081		1.081	

4.2.1.4. Önem derecesine göre karşılaştırma

Önem derecesine göre elde edilen veri Tablo 4.8'de verilmiş olup, önem derecesine göre detaylı karşılaştırma yapılabilmesine olanak sağlamaktadır. Burada amaçlanan, seçilen malzemelerin önem derecelerinin 1, 3, 5 ve 7 önem derecelerinden hangisine

sahip olduğunu görmek ve bu duruma göre yorum yapabilmektir. Tablodan elde edilen dikkat çekici hususlar aşağıda açıklanmaktadır:

- Talep oranı 0,1 ile 0,5 arasında olan malzemeler incelendiğinde, genetik algoritma tarafından seçilen 575 malzemedan 396 tanesinin (yaklaşık %69) önem derecesinin 1, yani en yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum, amaç fonksiyonunda olduğu üzere beklenen bir sonuçtur.

Tablo 4.8. Seçilen yedek parçaların önem derecelerinin karşılaştırması

Seçildiği yöntem	Önem derecesi	Talep miktarı				Genel toplam
		0,1-0,5 arası	Toplam	0,5-4,0 arası	Toplam	
Sadece GA	1	396		1		397
	3	146		126		272
	5	1	575	1	129	2
	7	32		1		33
Hem GA, hem 0.5F+	1	0		370		861
	3	0		0		143
	5	0	0	2	402	4
	7	0		30		49
Sadece 0.5F+	1	0		3.565		4.405
	3	0		0		112
	5	0	0	24	3.656	25
	7	0		67		78
Ne GA, ne de 0.5F+	1	7.512		88		7.600
	3	1.285		680		1.965
	5	53	9.036	0	769	53
	7	186		1		187
Toplam seçilen	1	396		3.936		5.663
	3	146		126		527
	5	1	575	27	4.187	31
	7	32		98		160

- Talep oranı 0,5 ile 4,0 arasında olan malzemeler incelendiğinde, önem derecesi 7 olan ve bu nedenle en önemsiz grubu oluşturan malzemelerden toplam 98 adet seçilmiş olup, bunlardan sadece 1 tanesi sadece genetik algoritma tarafından seçilmiştir. Geri kalan 97 malzemedan 30 tanesi genetik algoritma

ve 0.5 FLSIP+ modeli tarafından, 67 tanesi ise sadece 0.5 FLSIP+ modeli tarafından seçilmiştir. Genetik algoritma ile seçilen 1 adet malzemeye (2849 ID'li malzeme) bakıldığında, talep oranının 0,5 ve yıllık maliyetinin 0,04 \$ gibi çok düşük bir rakam olduğu görülmüştür. Bu malzeme, özellikle fiyatının düşük olması nedeniyle genetik algoritma tarafından seçilmiştir.

- Yine, talep oranı 0,5 ile 4,0 arasında olan malzemeler incelendiğinde, önem derecesi 3 olan malzemelerden toplam 126 tane seçildiği ve bu 126 malzemenin tümünün genetik algoritma tarafından seçildiği görülmektedir. Önem derecesi 3 olması nedeniyle büyük öneme sahip olan bu malzemelerin 0.5 FLSIP+ modeli tarafından hiç seçilmemiş olması, bu modelin eksikliğidir.
- 0.5 FLSIP+ modeli tarafından seçilmeyen fakat genetik algoritma tarafından seçilen tüm malzemelere bakıldığında, toplam 704 malzemenin seçildiği görülmektedir. Bu 704 kalem malzemenin 669 tanesinin önem derecesi 1 veya 3 gibi yüksek önem derecelidir. Bunların oranı yaklaşık %95'tir (669/704).

4.2.2. GA'nın 200 çalıştırma sonucu ile Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modeli sonuçlarının karşılaştırılması

4.2.2.1. Seçilen yedek parça sayılarına göre karşılaştırma

Genetik algoritmanın 200 kez çalıştırılması sonucunda elde edilen 1.761 yedek parça ile Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modeli ile elde edilen 5.529 yedek parça miktarlarının, talep oranı aralıkları dikkate alınarak yapılan karşılaştırması Tablo 4.9'da verilmektedir. Tablodan elde edilen dikkat çekici hususlar aşağıda açıklanmaktadır:

- Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modeli sadece 0,5 ve üstü talep oranına sahip malzemeler ile ilgilendiğinden, talep oranı 0,1 ile 0,5 arasında olan malzemelerden seçilme işlemi sadece genetik algoritma ile olmuştur ve seçilen malzeme sayısı 575'tir.
- Yine Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modelinin bir özelliği olarak 4 ve üstü talep oranına sahip malzemelerden seçilmeyen yoktur.
- Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modelinde sigorta malzemesi olan 0,5-4,0 arası talep oranına sahip malzemelerden 129 tanesi, Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+

modeli tarafından seçilmediği halde genetik algoritma tarafından seçilmiştir. Genetik algoritmanın seçilme kriteri, amaç fonksiyonda da belirtildiği üzere fiyatının düşük olması, talep oranının yüksek olması veya önem derecesinin yüksek olmasıdır. Bu nedenle, bu 129 kalem malzeme sadece genetik algoritma tarafından seçilme şansı bulmuştur.

- Talep oranı 4,0 ve üstü olan malzemelere bakıldığında, genetik algoritma tarafından seçilen malzemelerin çokluğu görülmektedir. Genetik algoritma ile seçilen malzemelerin toplamı 1.761 olup, bunun 655 tanesinin talep oranı 4,0 veya üstüdür. Yüzdesel anlamda %37'nin (655/1761) üzerindedir. Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modelinde ise, 4,0 ve üstü talep oranına sahip tüm malzemeler seçildiği halde bu oran ancak %29 (1619/5529) civarındadır. Talep oranı 0,5 - 4,0 arası olan malzemeler incelendiğinde bu oranlar genetik algoritma için %30 (531/1761) civarı ve Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modeli için %71 (3910/5529) civarındadır. Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modeli çoğunluk, talep oranı 0,5 - 4,0 arası olan sigorta malzemelerinden oluşmaktadır.
- Tabloda, toplam olarak verilen rakamlar, her iki yöntem tarafından seçilmeyen malzemeleri kapsamamaktadır.

Tablo 4.9. Seçilen yedek parça sayılarının karşılaştırması

Seçildiği yöntem	Talep miktarı			Toplam
	0,1 - 0,5 arası	0,5 - 4,0 arası	4,0 - ∞ arası	
Sadece GA	575	129	0	704
Hem GA, hem MD 0.5F+	0	402	655	1.057
Sadece MD 0.5F+	0	3.508	964	4.472
Ne GA, ne de MD 0.5F+	9.036	917	0	9.953
Toplam	575	4.039	1.619	6.233

4.2.2.2. Ortalama birim fiyatlarına göre karşılaştırma

Genetik algoritmanın 200 kez çalıştırılması ve Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modeli ile elde edilen yedek parçaların ortalama birim fiyatlarının, talep oranı aralıkları dikkate alınarak yapılan karşılaştırması Tablo 4.10'da verilmektedir. Tablodan elde edilen dikkat çekici hususlar aşağıda açıklanmaktadır:

- Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modelinde kesin olarak seçilmeyen 0,1-0,5 arası talep oranına sahip malzemelerden genetik algoritma ile seçilen 575 kalem malzemenin ortalama birim fiyatı sadece 0,14 \$'dır. Son derece küçük olan bu değer, Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modeli tarafından seçilmediği halde genetik algoritma tarafından neden seçildiğini kanıtlamaktadır. Bu 575 kalem malzemenin, genetik algoritma tarafından en önemli seçilme nedeni fiyatlarının ucuz olmasıdır.
- Talep oranı 0,5 ile 4,0 arası olanlara bakıldığında sadece genetik algoritma tarafından seçilen malzemelerin ortalama birim fiyatlarının 0,19 \$ iken hem Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modeli, hem de genetik algoritma tarafından ortak olarak seçilen malzemelerin ortalama birim fiyatlarının 0,22 \$ olduğu görülmektedir. Genetik algoritma ile Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modeli birbiri ile yaklaşık aynı sonucu vermiştir. Genetik algoritma tarafından seçilmeyen ama Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modeli tarafından seçilen malzemelerin ortalama birim fiyatı olan 46,01 \$ ise, genetik algoritmanın seçim yaparken fiyat unsurunu çok daha fazla dikkate aldığını göstermektedir.

Tablo 4.10. Seçilen yedek parçaların ortalama birim fiyatlarının karşılaştırması

Seçildiği yöntem	Talep miktarı		
	0,1 - 0,5 arası	0,5 - 4,0 arası	4,0 - ∞ arası
Sadece GA	0,14	0,19	0,00
Hem GA, hem MD 0.5F+	0,00	0,22	1,54
Sadece MD 0.5F+	0,00	46,01	36,17
Ne GA, ne de MD 0.5F+	554,77	1.372,65	0,00

4.2.2.3. Talep miktarlarına göre karşılaştırma

Her iki yöntemle elde edilen talep miktarları verisi Tablo 4.11'de verilmiş olup, genel olarak parça miktarına göre karşılaştırmanın daha detaylı halidir. Burada amaçlanan, seçilen malzemelerin talep oranlarının 0-1, 1-3, 3-7 ve 7 üstü aralıklarından hangisine sahip olduğunu görmektir. Tablodan elde edilen dikkat çekici hususlar aşağıda açıklanmaktadır:

- Talep oranı 0,5 ile 1 arasında olan malzemelerden 156 tanesi genetik algoritma tarafından, 1.835 tanesi ise Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modeli tarafından

seçilmiştir. Genetik algoritma kendi içinde seçilme oranı %9 (156/1761) civarında iken bu oran Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modelinde %33'tür (1835/5529). Düşük talep oranlarında seçilme olasılığı genetik algorithmada çok düşükken, Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modelinde oldukça yüksektir.

- Talep oranı 1 ile 3 aralığında olan malzemelerden 296 tanesi genetik algoritma tarafından, 1.774 tanesi ise Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modeli tarafından seçilmiştir. Genetik algoritma kendi içinde seçilme oranı %17 (296/1761) civarında iken bu oran Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modelinde %32'dir (1774/5529).

Tablo 4.11. Seçilen yedek parçaların talep miktarlarının karşılaştırması

Seçildiği yöntem	Talep Miktar Aralığı	Talep miktarı				Genel toplam
		0,1-0,5 arası	Toplam	0,5-4,0 arası	Toplam	
Sadece GA	0 - 1	575		32		607
	1 - 3	0	575	77	129	77
	3 - 7	0		20		20
	7 - ∞	0		0		0
Hem GA, hem MD 0.5F+	0 - 1	0		124		124
	1 - 3	0	0	219	402	219
	3 - 7	0		59	123	182
	7 - ∞	0		0	532	532
Sadece MD 0.5F+	0 - 1	0		1.711		1.711
	1 - 3	0	0	1.555	3.508	1.555
	3 - 7	0		242	415	657
	7 - ∞	0		0	549	549
Ne GA, ne de MD 0.5F+	0 - 1	9.036		530		9.566
	1 - 3	0	9.036	353	917	353
	3 - 7	0		34		34
	7 - ∞	0		0		0
Toplam seçilen	0 - 1	575		1.867		2.442
	1 - 3	0	575	1.851	4039	1.851
	3 - 7	0		321	538	859
	7 - ∞	0		0	1.081	1.081

- Talep oranı 7 ve üstü olan malzemelere bakıldığında toplam 1.081 kalem malzemenin tamamının Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ sistemi tarafından doğal olarak seçildiği görülürken, genetik algoritma daha seçici davranmış ve aralarından 532 kalemi seçmiştir.
- Toplam 16.186 kalem malzeme talep oranına göre sınıflandırıldığında, 12.008 kalemin 0-1 talep oranı aralığında, 2.204 kalemin 1-3 talep oranı aralığında,

893 kalemin 3-7 talep oranı aralığında ve geriye kalan 1.081 kalemin 7 üstü talep oranı aralığında olduğu görülmektedir.

- 1-3 talep oranı aralığındaki toplam 2.204 kalem malzemedan, genetik algoritma tarafından seçilmediği halde sadece Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modeli tarafından seçilen malzeme miktarı 1.555'tir (yaklaşık %71). Benzer şekilde, 3-7 talep oranı aralığında olan toplam 893 kalem malzemedan, genetik algoritma tarafından seçilmediği halde sadece Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modeli tarafından seçilen malzeme miktarı 657'dir (yaklaşık %74). Bu değerler, 1-7 talep oranı aralığında bulunan malzemelerin yaklaşık %73 olasılıkla sadece Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modeli tarafından seçildiğini, maliyet ve önem derecesi gibi diğer önemli faktörlerin Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modeli tarafından göz ardı edilebildiğini göstermektedir.

4.2.2.4. Önem derecesine göre karşılaştırma

Önem derecesine göre elde edilen veri Tablo 4.12'de verilmiş olup, önem derecesine göre detaylı karşılaştırma yapılabilmesine olanak sağlamaktadır. Burada amaçlanan, seçilen malzemelerin önem derecelerinin 1, 3, 5 ve 7 önem derecelerinden hangisine sahip olduğunu görmek ve bu duruma göre yorum yapabilmektir. Tablodan elde edilen dikkat çekici hususlar aşağıda açıklanmaktadır:

- Talep oranı 0,1 ile 0,5 arasında olan malzemeler incelendiğinde, genetik algoritma tarafından seçilen 575 malzemedan 396 tanesinin (yaklaşık %69) önem derecesinin 1, yani en yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum, amaç fonksiyonda olduğu üzere beklenen bir sonuçtur.
- Talep oranı 0,5 ile 4,0 arasında olan malzemeler incelendiğinde, önem derecesi 7 olan ve bu nedenle en önemsiz grubu oluşturan malzemelerden toplam 97 adet seçilmiş olup, bunlardan sadece 1 tanesi sadece genetik algoritma tarafından seçilmiştir. Geri kalan 96 malzemedan 30 tanesi genetik algoritma ve Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modeli tarafından, 66 tanesi ise sadece Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modeli tarafından seçilmiştir. Genetik algoritma ile seçilen 1 adet malzemeye (2849 ID'li malzeme) bakıldığında, talep oranının 0,5 ve yıllık maliyetinin 0,04 \$ gibi çok düşük bir rakam olduğu görülmüştür. Bu

malzeme özellikle fiyatının uygunluğu nedeniyle genetik algoritma tarafından seçilmiştir.

Tablo 4.12. Seçilen yedek parçaların önem derecelerinin karşılaştırması

Seçildiği yöntem	Önem derecesi	Talep miktarı				Genel toplam			
		0,1-0,5 arası	Toplam	0,5-4,0 arası	Toplam		4,0-∞ arası	Toplam	
Sadece GA	1	396		1		0	397	704	
	3	146		126		0	272		
	5	1	575	1	129	0	0		2
	7	32		1		0	33		
Hem GA, hem MD 0.5F+	1	0		370		491	861	1.057	
	3	0		0		143	143		
	5	0	0	2	402	2	655		4
	7	0		30		19	49		
Sadece MD 0.5F+	1	0		3.418		840	4.258	4.472	
	3	0		0		112	112		
	5	0	0	24	3.508	1	964		25
	7	0		66		11	77		
Ne GA, ne de MD 0.5F+	1	7.512		235		0	7.747	9.953	
	3	1.285		680		0	1.965		
	5	53	9.036	0	917	0	0		53
	7	186		2		0	188		
Toplam seçilen	1	396		3.789		1.331	5.516	6.233	
	3	146		126		255	527		
	5	1	575	27	4.039	3	1.619		31
	7	32		97		30	159		

- Talep oranı 0,5 ile 4,0 arasında olan malzemeler incelendiğinde, önem derecesi 3 olan malzemelerden toplam 126 tane seçildiği ve bu 126 malzemenin tümünün genetik algoritma tarafından seçildiği görülmektedir. Önem derecesi 3 olması nedeniyle büyük öneme sahip olan bu malzemelerin Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modeli tarafından hiç seçilmemiş olması, bu modelin eksikliğidir.
- Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modeli tarafından seçilmeyen fakat genetik algoritma tarafından seçilen tüm malzemelere bakıldığında toplam 704 malzemenin seçildiği görülmektedir. Bu 704 kalem malzemenin 669 tanesinin önem derecesi 1 veya 3 gibi yüksek önem derecelidir. Bunların oranı yaklaşık %95'tir (669/704).

4.2.3. GA'nın 1000 yedek parçalı başlangıç nüfusuyla çalıştırılması ile 0.5 FLSIP+ modeli sonuçlarının karşılaştırılması

4.2.3.1. Seçilen yedek parça sayılarına göre karşılaştırma

Genetik algoritmanın 200 kez çalıştırılması sonucunda elde edilen 1.761 yedek parça içinden en çok seçilen ilk 1.000 parça, yeni bir genetik algoritmanın ilk nüfusu olarak belirlenmiş ve genetik algoritma 10.000 jenerasyon gibi uzunca bir süre çalıştırılmıştır. Diğer parametreler, 200 kez çalıştırılan genetik algoritma parametreleri ile aynı alınmıştır. Sonuçta, 1.000 yedek parçalı bir çözüm elde edilmiştir. Bu 1.000 parçalı çözüm ile 0.5 FLSIP+ modeli ile elde edilen çözümün yedek parça miktarlarının, talep oranı aralıkları dikkate alınarak yapılan karşılaştırması Tablo 4.13'de verilmektedir. Tablodan elde edilen dikkat çekici hususlar aşağıda açıklanmaktadır:

- 0.5 FLSIP+ modeli sadece 0,5 ve üstü talep oranına sahip malzemeler ile ilgilendiğinden, talep oranı 0,1 ile 0,5 arasında olan malzemelerden seçilme işlemi sadece genetik algoritma ile olmuştur ve seçilen malzeme sayısı 267'dir.
- Yine 0.5 FLSIP+ modelinin bir özelliği olarak 4 ve üstü talep oranına sahip malzemelerden seçilmeyen yoktur.
- 0.5 FLSIP+ modelinde sigorta malzemesi olan 0,5-4,0 arası talep oranına sahip malzemelerden 69 tanesi, 0.5 FLSIP+ modeli tarafından seçilmediği halde genetik algoritma tarafından seçilmiştir. Bu 69 kalem malzemenin genetik algoritma tarafından seçilme nedeni fiyatının düşük olması veya önem derecesinin yüksek olmasıdır.
- Talep oranı 4,0 ve üstü olan malzemelere bakıldığında, genetik algoritma tarafından seçilen malzemelerin çokluğu görülmektedir. Genetik algoritma ile seçilen malzemelerin toplamı 1.000 olup, bunun 482 tanesinin talep oranı 4,0 veya üstüdür. Yüzdesel anlamda %48'in (482/1000) üzerindedir. 0.5 FLSIP+ modelinde ise 4,0 ve üstü talep oranına sahip tüm malzemeler seçildiği halde bu oran ancak %29 (1619/5677) civarındadır. Bu durum, genetik algoritma yaklaşımının mantıklı bir yaklaşım olduğunu göstermektedir. Talep oranı 0,5 - 4,0 arası olan malzemeler incelendiğinde bu oranlar genetik algoritma için %25 (251/1000) civarı ve 0.5 FLSIP+ modeli için %71 (4058/5677) civarındadır. 0.5

FLSIP+ modeli çoğunlukla talep oranı 0,5 - 4,0 arası olan sigorta malzemelerinden seçim yapmıştır.

- Tabloda verilen toplam rakamlar, her iki yöntem tarafından seçilmeyen malzemeleri kapsamamaktadır.

Tablo 4.13. Seçilen yedek parça sayılarının karşılaştırması

Seçildiği yöntem	Talep miktarı			Toplam
	0,1 - 0,5 arası	0,5 - 4,0 arası	4,0 - ∞ arası	
Sadece GA	267	69	0	336
Hem GA, hem 0.5F+	0	182	482	664
Sadece 0.5F+	0	3.876	1.137	5.013
Ne GA, ne de 0.5F+	9.344	829	0	10.173
Toplam	267	4.127	1.619	6.013

4.2.3.2. Ortalama birim fiyatlarına göre karşılaştırma

Genetik algoritmanın 1000 parçalı çözümü ve 0.5 FLSIP+ modeli ile elde edilen yedek parçaların ortalama birim fiyatlarının, talep oranı aralıkları dikkate alınarak yapılan karşılaştırması Tablo 4.14’de verilmektedir. Tablodan elde edilen dikkat çekici hususlar aşağıda açıklanmaktadır:

- 0.5 FLSIP+ modelinde kesin olarak seçilmeyen 0,1-0,5 arası talep oranına sahip malzemelerden genetik algoritma ile seçilen 267 kalem malzemenin ortalama birim fiyatı sadece 0,05 \$’dır. Son derece küçük olan bu değer, bu malzemelerin 0.5 FLSIP+ modeli tarafından seçilmediği halde genetik algoritma tarafından niçin seçildiğini kanıtlamaktadır.
- Talep oranı 0,5 ile 4,0 arası olanlara bakıldığında sadece genetik algoritma tarafından seçilen malzemelerin ortalama maliyetlerinin 0,09 \$ iken hem 0.5 FLSIP+ hem de genetik algoritma tarafından ortak olarak seçilen malzemelerin ortalama birim fiyatlarının 0,11 \$ olduğu görülmektedir. Genetik algoritma ile 0.5 FLSIP+ modeli birbiri ile yaklaşık aynı sonucu vermiştir. Genetik algoritma tarafından seçilmeyen ama 0.5 FLSIP+ modeli tarafından seçilen malzemelerin ortalama birim fiyatı olan 344,75 \$ ise genetik algoritmanın fiyat unsurunu çok daha fazla dikkate aldığını göstermektedir.

Tablo 4.14. Seçilen yedek parçaların ortalama birim fiyatlarının karşılaştırması

Seçildiği yöntem	Talep miktarı		
	0,1 - 0,5 arası	0,5 - 4,0 arası	4,0 - ∞ arası
Sadece GA	0,05	0,09	0,00
Hem GA, hem 0.5F+	0,00	0,11	0,84
Sadece 0.5F+	0,00	344,75	31,19
Ne GA, ne de 0.5F+	536,49	101,25	0,00

4.2.3.3. Talep miktarlarına göre karşılaştırma

Talep miktarına göre elde edilen veri Tablo 4.15'te verilmiş olup, genel olarak parça miktarına göre karşılaştırmanın daha detaylı halidir. Burada amaçlanan, seçilen malzemelerin talep oranlarının 0-1, 1-3, 3-7 ve 7 üstü aralıklarından hangisine sahip olduğunu görmek ve bu duruma göre yorum yapabilmektir. Tablodan elde edilen dikkat çekici hususlar aşağıda verilmektedir:

- Talep oranı 0,5 ile 1,0 arasında olan malzemelerden 67 tanesi genetik algoritma tarafından, 1.919 tanesi ise 0.5 FLSIP+ modeli tarafından seçilmiştir. Genetik algoritma kendi içinde seçilme oranı %7 (67/1000) civarında iken bu oran 0.5 FLSIP+ modelinde %34'tür (1919/5677). Düşük talep oranlı malzemelerin seçilme olasılığı genetik algoritmada çok düşükken, 0.5 FLSIP+ modelinde oldukça yüksektir.
- Talep oranı 1 ile 3 aralığında olan malzemelerden 138 tanesi genetik algoritma tarafından, 1.830 tanesi ise 0.5 FLSIP+ modeli tarafından seçilmiştir. Genetik algoritma kendi içinde seçilme oranı %14 (138/1000) civarında iken bu oran 0.5 FLSIP+ modelinde %32'dir (1830/5677).
- Talep oranı 7 ve üstü olan malzemelere bakıldığında toplam 1.081 kalem malzemenin tamamının 0.5 FLSIP+ modeli tarafından doğal olarak seçildiği görülürken, genetik algoritma daha seçici davranmış ve aralarından 396 kalemi seçmiştir.
- Toplam 16.186 kalem olan malzemeler talep oranına göre sınıflandırıldığında, 12.008 kalemin 0-1 talep oranı aralığında, 2.204 kalemin 1-3 talep oranı aralığında, 893 kalemin 3-7 talep oranı aralığında ve geriye kalan 1.081 kalemin 7 üstü talep oranı aralığında olduğu görülmektedir.

- 1-3 talep oranı aralığında olan toplam 2.204 kalem malzemeden, genetik algoritma tarafından seçilmediği halde sadece 0.5 FLSIP+ modeli tarafından seçilen malzeme miktarı 1.734'tür (yaklaşık %79). Benzer şekilde, 3-7 talep oranı aralığında olan toplam 893 kalem malzemeden, genetik algoritma tarafından seçilmediği halde sadece 0.5 FLSIP+ modeli tarafından seçilen malzeme miktarı 732'dir (yaklaşık %82). Bu değerler, 1-7 talep oranı aralığında bulunan malzemelerin yaklaşık %80 olasılıkla sadece 0.5 FLSIP+ modeli tarafından seçildiğini, maliyet ve önem derecesi gibi diğer önemli faktörlerin 0.5 FLSIP+ modeli tarafından göz ardı edilebildiğini göstermektedir.

Tablo 4.15. Seçilen yedek parçaların talep miktarlarının karşılaştırması

Seçildiği yöntem	Talep Miktar Aralığı	Talep miktarı				Genel toplam		
		0,1-0,5 arası	Toplam	0,5-4,0 arası	Toplam		4,0-∞ arası	Toplam
Sadece GA	0 - 1	267		10		0	277	336
	1 - 3	0	267	42	69	0	42	
	3 - 7	0		17		0	17	
	7 - ∞	0		0		0	0	
Hem GA, hem 0.5F+	0 - 1	0		57		0	57	664
	1 - 3	0	0	96	182	0	96	
	3 - 7	0		29		86	115	
	7 - ∞	0		0		396	396	
Sadece 0.5F+	0 - 1	0		1.862		0	1.862	5.013
	1 - 3	0	0	1.734	3.876	0	1.734	
	3 - 7	0		280		452	732	
	7 - ∞	0		0		685	685	
Ne GA, ne de 0.5F+	0 - 1	9.344		468		0	9.812	10.173
	1 - 3	0	9.344	332	829	0	332	
	3 - 7	0		29		0	29	
	7 - ∞	0		0		0	0	
Toplam seçilen	0 - 1	267		1.929		0	2.196	6013
	1 - 3	0	267	1.872	4127	0	1.872	
	3 - 7	0		326		538	864	
	7 - ∞	0		0		1.081	1.081	

4.2.3.4. Önem derecesine göre karşılaştırma

Önem derecesine göre elde edilen veri Tablo 4.16’da verilmiş olup, önem derecesine göre detaylı karşılaştırma yapılabilmesine olanak sağlamaktadır. Burada amaçlanan, seçilen malzemelerin önem derecelerinin 1, 3, 5 ve 7 önem derecelerinden hangisine sahip olduğunu görmek ve bu duruma göre yorum yapabilmektir. Tablodan elde edilen dikkat çekici hususlar aşağıda açıklanmaktadır:

- Talep oranı 0,1 ile 0,5 arasında olan malzemeler incelendiğinde, genetik algoritma tarafından seçilen 267 malzemedan 197 tanesinin (yaklaşık %74) önem derecesinin 1, yani en yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum, amaç fonksiyonda olduğu üzere beklenen bir sonuçtur.

Tablo 4.16. Seçilen yedek parçaların önem derecelerinin karşılaştırması

Seçildiği yöntem	Önem derecesi	Talep miktarı				Genel toplam		
		0,1-0,5 arası	Toplam	0,5-4,0 arası	Toplam		4,0-∞ arası	Toplam
Sadece GA	1	197		0		0	197	336
	3	56	267	69	69	0	125	
	5	0		0		0	0	
	7	14		0		0	14	
Hem GA, hem 0.5F+	1	0		165		351	516	664
	3	0	0	0	182	113	113	
	5	0		1		0	1	
	7	0		16		18	34	
Sadece 0.5F+	1	0		3.770		980	4.750	5.013
	3	0	0	0	3.876	142	142	
	5	0		25		3	28	
	7	0		81		12	93	
Ne GA, ne de 0.5F+	1	7.711		89		0	7.800	10.173
	3	1.375	9.344	737	829	0	2.112	
	5	54		1		0	55	
	7	204		2		0	206	
Toplam seçilen	1	197		3.935		1.331	5.463	6.013
	3	56	267	69	4.127	255	380	
	5	0		26		3	29	
	7	14		97		30	141	

- Talep oranı 0,5 ile 4,0 arasında olan malzemeler incelendiğinde, önem derecesi 7 olan ve bu nedenle en önemsiz grubu oluşturan malzemelerden toplam 97 adet seçilmiş olup, bunlardan sadece genetik algoritma tarafından seçilen

yoktur. 97 malzemeden 16 tanesi genetik algoritma ve 0.5 FLSIP+ modeli tarafından, 81 tanesi ise sadece 0.5 FLSIP+ modeli tarafından seçilmiştir.

- Talep oranı 0,5 ile 4,0 arasında olan malzemeler incelendiğinde, önem derecesi 3 olan malzemelerden toplam 69 tane seçildiği ve bu 69 malzemenin tümünün genetik algoritma tarafından seçildiği görülmektedir. Önem derecesi 3 olması nedeniyle büyük öneme sahip olan bu malzemelerin 0.5 FLSIP+ modeli tarafından hiç seçilmemiş olması, bu modelin eksikliğidir.
- 0.5 FLSIP+ modeli tarafından seçilmeyen fakat genetik algoritma tarafından seçilen tüm malzemelere bakıldığında, toplam 336 malzemenin seçildiği görülmektedir. Bu 336 kalem malzemenin 322 tanesinin önem derecesi 1 veya 3 gibi yüksek önem derecesindedir. Bunların oranı yaklaşık %96'dır (322/337).

4.2.4. GA'nın 1000 yedek parçalı başlangıç nüfusuyla çalıştırılması ile Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modeli sonuçlarının karşılaştırılması

4.2.4.1. Seçilen yedek parça sayılarına göre karşılaştırma

Genetik algoritma ile elde edilen 1.000 yedek parçalı çözüm ile Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modeli ile elde edilen çözümün yedek parça miktarlarının, talep oranı aralıkları dikkate alınarak yapılan karşılaştırması Tablo 4.17'de verilmektedir. Tablodan elde edilen dikkat çekici hususlar aşağıda açıklanmaktadır:

- Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modeli sadece 0,5 ve üstü talep oranına sahip malzemeler ile ilgilendiğinden, talep oranı 0,1 ile 0,5 arasında olan malzemelerden seçilme işlemi sadece genetik algoritma ile olmuştur ve seçilen malzeme sayısı 267'dir.
- Yine Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modelinin bir özelliği olarak 4 ve üstü talep oranına sahip malzemelerden seçilmeyen yoktur.
- Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modelinde sigorta malzemesi olan 0,5-4,0 arası talep oranına sahip malzemelerden 69 tanesi, Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modeli tarafından seçilmediği halde genetik algoritma tarafından seçilmiştir. Bu 69 kalem malzemenin genetik algoritma tarafından seçilme nedeni fiyatının düşük olması veya önem derecesinin yüksek olmasıdır.

- Talep oranı 4,0 ve üstü olan malzemelere bakıldığında, genetik algoritma tarafından seçilen malzemelerin çokluğu görülmektedir. Genetik algoritma ile seçilen malzemelerin toplamı 1.000 olup, bunun 482 tanesinin talep oranı 4,0 veya üstüdür. Yüzdesel anlamda %48'in (482/1000) üzerindedir. Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modelinde ise 4,0 ve üstü talep oranına sahip tüm malzemeler seçildiği halde bu oran ancak %29 (1619/5529) civarındadır. Talep oranı 0,5-4,0 arası olan malzemeler incelendiğinde bu oranlar genetik algoritma için %25 (251/1000) civarı ve 0.5 FLSIP+ modeli için %70 (3910/5529) civarındadır. Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modeli, çoğunlukla talep oranı 0,5 - 4,0 arası olan sigorta malzemelerinden oluşmaktadır.
- Tablodaki verilen toplam rakamlar, her iki yöntem tarafından seçilmeyen malzemeleri kapsamamaktadır.

Tablo 4.17. Seçilen yedek parça sayılarının karşılaştırması

Seçildiği yöntem	Talep miktarı			Toplam
	0,1 - 0,5 arası	0,5 - 4,0 arası	4,0 - ∞ arası	
Sadece GA	267	69	0	336
Hem GA, hem MD 0.5F+	0	182	482	664
Sadece MD 0.5F+	0	3.728	1.137	4.865
Ne GA, ne de MD 0.5F+	9.344	977	0	10.321
Toplam	267	3.979	1.619	5.865

4.2.4.2. Ortalama birim fiyatlarına göre karşılaştırma

Genetik algoritmanın 1000 parçalı çalıştırılması ve Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modeli ile elde edilen yedek parçaların ortalama birim fiyatlarının, talep oranı aralıkları dikkate alınarak yapılan karşılaştırması Tablo 4.18'de verilmektedir. Tablodan elde edilen dikkat çekici hususlar aşağıda açıklanmaktadır:

- Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modelinde kesin olarak seçilmeyen 0,1-0,5 arası talep oranına sahip malzemelerden genetik algoritma ile seçilen 267 kalem malzemenin ortalama birim fiyatı sadece 0,05 \$'dır. Bu 267 malzemenin son derece küçük ortalama değeri, Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modeli tarafından seçilmediği halde genetik algoritma tarafından niçin seçildiklerinin kanıtıdır.

- Talep oranı 0,5 ile 4,0 arası olanlara bakıldığında, sadece genetik algoritma tarafından seçilen malzemelerin ortalama birim fiyatlarının 0,09 \$ iken hem Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modeli, hem de genetik algoritma tarafından ortak olarak seçilen malzemelerin ortalama birim fiyatlarının 0,11 \$ olduğu görülmektedir. Genetik algoritma ile Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modeli birbiri ile yaklaşık aynıdır. Genetik algoritma tarafından seçilmeyen ama Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modeli tarafından seçilen malzemelerin ortalama birim fiyatı olan 43,31 \$ ise genetik algoritmanın seçim yaparken fiyat unsurunu çok daha fazla dikkate aldığını göstermektedir.

Tablo 4.18. Seçilen yedek parçaların ortalama birim fiyatlarının karşılaştırması

Seçildiği yöntem	Talep miktarı		
	0,1 - 0,5 arası	0,5 - 4,0 arası	4,0 - ∞ arası
Sadece GA	0,05	0,09	0,00
Hem GA, hem MD 0.5F+	0,00	0,11	0,84
Sadece MD 0.5F+	0,00	43,31	31,19
Ne GA, ne de MD 0.5F+	536,49	1.288,37	0,00

4.2.4.3. Talep miktarlarına göre karşılaştırma

Talep miktarına göre elde edilen veri Tablo 4.19’da verilmiş olup, genel olarak parça miktarına göre karşılaştırmanın daha detaylı halidir. Burada amaçlanan, seçilen malzemelerin talep oranlarının 0-1, 1-3, 3-7 ve 7 üstü aralıklarından hangisine sahip olduğunu görmek ve bu duruma göre yorum yapabilmektir. Tablodan elde edilen dikkat çekici hususlar aşağıda verilmektedir:

- Talep oranı 0,5 ile 1 arasında olan malzemelerden 67 tanesi genetik algoritma tarafından, 1.835 tanesi ise Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modeli tarafından seçilmiştir. Genetik algoritma kendi içinde seçilme oranı %7 (67/1000) civarında iken bu oran Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modelinde %33’tür (1835/5529). Düşük talep oranlarında seçilme olasılığı genetik algoritmada çok düşükken, Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modelinde oldukça yüksektir.
- Talep oranı 1 ile 3 aralığında olan malzemelerden 138 tanesi genetik algoritma tarafından, 1.774 tanesi ise Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modeli tarafından seçilmiştir. Genetik algoritma kendi içinde seçilme oranı %14 (138/1000)

civarında iken bu oran Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modelinde %32'dir (1774/5529).

- Talep oranı 7 ve üstü olan malzemelere bakıldığında toplam 1.081 kalem malzemenin tamamının Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modeli tarafından doğal olarak seçildiği görülürken, genetik algoritma daha seçici davranmış ve aralarından 396 kalemi seçmiştir.
- Toplam 16.186 kalem olan malzemeler talep oranına göre sınıflandırıldığında, 12.008 kalemin 0-1 talep oranı aralığında, 2.204 kalemin 1-3 talep oranı aralığında , 893 kalemin 3-7 talep oranı aralığında ve geriye kalan 1.081 kalemin 7 üstü talep oranı aralığında olduğu görülmektedir.

Tablo 4.19. Seçilen yedek parçaların talep miktarlarının karşılaştırması

Seçildiği yöntem	Talep Miktar Aralığı	Talep miktarı				Genel toplam
		0,1-0,5 arası	Toplam	0,5-4,0 arası	Toplam	
Sadece GA	0 - 1	267		10		277
	1 - 3	0	267	42	69	42
	3 - 7	0		17		17
	7 - ∞	0		0		0
Hem GA, hem MD 0.5F+	0 - 1	0		57		57
	1 - 3	0	0	96	182	96
	3 - 7	0		29	86	115
	7 - ∞	0		0	396	396
Sadece MD 0.5F+	0 - 1	0		1.778		1.778
	1 - 3	0	0	1.678	3.728	1.678
	3 - 7	0		272	452	724
	7 - ∞	0		0	685	685
Ne GA, ne de MD 0.5F+	0 - 1	9.344		552		9.896
	1 - 3	0	9.344	388	977	388
	3 - 7	0		37		37
	7 - ∞	0		0		0
Toplam seçilen	0 - 1	267		1.845		2.112
	1 - 3	0	267	1.816	3979	1.816
	3 - 7	0		318	538	856
	7 - ∞	0		0	1.081	1.081

- 1-3 talep oranı aralığında olan toplam 2.204 kalem malzemenin, genetik algoritma tarafından seçilmediği halde sadece Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modeli tarafından seçilen malzeme miktarı 1.678'dir (yaklaşık %76). Benzer şekilde, 3-7 talep oranı aralığında olan toplam 893 kalem malzemenin, genetik

algoritma tarafından seçilmediği halde sadece Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modeli tarafından seçilen malzeme miktarı 724'tür (yaklaşık %81). Bu değerler, 1-7 talep oranı aralığında bulunan malzemelerin yaklaşık %79 olasılıkla sadece Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modeli tarafından seçildiğini, maliyet ve önem derecesi gibi diğer önemli faktörlerin Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modeli tarafından göz ardı edilebildiğini göstermektedir.

4.2.4.4. Önem derecesine göre karşılaştırma

Önem derecesine göre elde edilen veri Tablo 4.20'de verilmiş olup, önem derecesine göre detaylı karşılaştırma yapılabilmesine olanak sağlamaktadır. Burada amaçlanan, seçilen malzemelerin önem derecelerinin 1, 3, 5 ve 7 önem derecelerinden hangisine sahip olduğunu görmek ve bu duruma göre yorum yapabilmektir. Tablodan elde edilen dikkat çekici hususlar aşağıda açıklanmaktadır:

- Talep oranı 0,1 ile 0,5 arasında olan malzemeler incelendiğinde, genetik algoritma tarafından seçilen 267 malzemedan 196 tanesinin (yaklaşık %73) önem derecesinin 1, yani en yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum, amaç fonksiyonunda olduğu üzere beklenen bir sonuçtur.
- Talep oranı 0,5 ile 4,0 arasında olan malzemeler incelendiğinde, önem derecesi 7 olan ve bu nedenle en önemsiz grubu oluşturan malzemelerden toplam 96 adet seçilmiş olup, bunlardan sadece genetik algoritma tarafından seçilen yoktur. 96 malzemedan 16 tanesi genetik algoritma ve Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modeli tarafından, 80 tanesi ise sadece Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modeli tarafından seçilmiştir.
- Talep oranı 0,5 ile 4,0 arasında olan malzemeler incelendiğinde, önem derecesi 3 olan malzemelerden toplam 69 tane seçildiği ve bu 69 malzemenin tümünün genetik algoritma tarafından seçildiği görülmektedir. Önem derecesi 3 olması nedeniyle büyük öneme sahip olan bu malzemelerin Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modeli tarafından hiç seçilmemiş olması, bu modelin eksikliğidir.
- Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modeli tarafından seçilmeyen fakat genetik algoritma tarafından seçilen tüm malzemelere bakıldığında, toplam 336 malzemenin seçildiği görülmektedir. Bu 336 kalem malzemenin 322 tanesinin

önem derecesi 1 veya 3 gibi yüksek önem derecelidir. Bunların oranı yaklaşık %96'dır (322/336).

Tablo 4.20. Seçilen yedek parçaların önem derecelerinin karşılaştırması

Seçildiği yöntem	Önem derecesi	Talep miktarı				Genel toplam	
		0,1-0,5 arası	Toplam	0,5-4,0 arası	Toplam		
Sadece GA	1	197		0	0	197	
	3	56	267	69	69	0	
	5	0		0		0	
	7	14		0		0	
				0			
Hem GA, hem MD 0.5F+	1	0		165		351	
	3	0	0	0	182	113	
	5	0		1		0	482
	7	0		16		18	34
Sadece MD 0.5F+	1	0		3.623		980	
	3	0	0	0	3.728	142	
	5	0		25		3	1.137
	7	0		80		12	92
Ne GA, ne de MD 0.5F+	1	7.711		236		0	
	3	1.375	9.344	737	977	0	
	5	54		1		0	0
	7	204		3		0	207
Toplam	1	197		3.788		1.331	
	3	56	267	69	3.979	255	
	5	0		26		3	1.619
	7	14		96		30	140

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Savaş gemileri görevlerini icra ederken, gemi üzerinde bulunan cihazlardan herhangi birisinin arızalanması halinde, arızalanan cihazın önem derecesine göre, verilen görevi yerine getirememeye ihtimali bulunmaktadır. Böyle bir durumla karşı karşıya kalındığında, yapılabilecek olası hareket tarzlarından bir tanesi, gemi üzerindeki personelden istifade ederek arızaların giderilmesidir. Bunu sağlamak için, arızanın onarımında kullanılacak, sistem ve cihazlara ait yedek parçaların gemi üzerinde bulundurulması gerekmektedir.

Diğer taraftan, depolamaya yetecek kadar yer bulunmaması ve tüm yedek parçaların toplam maliyetinin yüksek olması, ihtiyaç duyulan tüm yedek parçanın gemi üzerinde bulundurulmasını imkansız kılmaktadır. Buradan hareketle, bu tez çalışmasında, gemi üzerinde bulundurulması gereken yedek parçaların belirlenmesi için genetik algoritmalar kullanılarak bir optimizasyon çalışması yapılmıştır.

Tez çalışması kapsamında, dünya donanmalarında sıklıkla kullanılan, gemi üzeri yedek parça depolama modelleri; 0.25 FLSIP, 0.5 FLSIP, 0.5 FLSIP+ ve Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ ile ilgili bilgiler verilmiştir. Sezgisel optimizasyon algoritmalarından biri olan genetik algoritmalar açıklanmış, genetik algoritmalarda kullanılan operatörler tanıtılmıştır. Genetik algoritmaların gemi üzeri yedek parça depolama problemlerinde kullanılabilmesi için yeni bir uygulama metodu önerilmiştir.

Uygulama aşamasında, öncelikle yedek parça optimizasyonu yapılacak olan gemi sınıfı ve gemi belirlenmiştir. Belirlenen geminin tüm sistem ve parçalarına ait veri COSAL dokümanından alınmıştır. Dokümanda yer alan tüm veri uzayını kullanmak yerine, genetik algoritmalar ile gemi üzeri yedek parçaların belirlenmesinde ihtiyaç duyulacağı değerlendirilen; parça numarası, birim fiyat, gemi üzeri toplam mevcut, önem derecesi, en iyi değişim çarpanı ve minimum değişim miktarı verileri kullanılmıştır.

Genetik algoritmanın en önemli unsurlarından biri, probleme uygun bir amaç fonksiyonun belirlenmesidir. Yedek parçalar belirlenirken en az maliyetli, en çok talep gören ve gemi için en kritik öneme haiz parçalar seçilmelidir. Bunun anlamı, yedek parçalarla ilgili bahsi geçen parametreler, tek bir denklem içerisinde kullanılarak üç kriter aynı anda sağlanmalıdır. Tez çalışmasında, bunun için özgün bir amaç fonksiyon denklemi oluşturulmuştur.

Genetik algoritmanın performansı; mutasyon ve çaprazlama oranları, türleri, nüfus ve kromozom büyüklükleri, seçim metodu, elitizm kullanılıp kullanılmaması ile doğrudan ilişkilidir. Kromozom genleri için tamsayı kodlama tercih edilmiştir. Mutasyon oranı 0,00075, çaprazlama oranı 1,0 ve çaprazlama yöntemi olarak üç noktalı çaprazlama ön denemeler sonucunda belirlenmiştir. Çiftleşme havuzuna ebeveyn seçimi için rulet çarkı kullanılmıştır. Ayrıca, uygunluk değeri en yüksek bireylerin bir sonraki jenerasyona doğrudan geçişini sağlama üzere elitizm kullanılmıştır.

Bu tez çalışmasında ele alınan problemin çözümü, kromozom uzunluğunun aşırı büyüklüğü nedeniyle oldukça zordur. Bu nedenle, çok uzun kromozom kullanılması, genetik algoritmanın çalışma süresi dikkate alındığında pek etkin bir çözüm değildir. Kromozom uzunluğunun aşırı uzun olmasının bir diğer sonucu da genetik algoritma ile elde edilen çözümün optimum çözüme yakınsamamasıdır.

Tez çalışmasında, hem çalışma süresini kısaltacak hem de yakınsamayı sağlayacak bir yöntem önerilmiştir. Kromozom uzunluğu kısa ve döngü sayısı düşük tutularak, genetik algorithmada bir çok kez çalıştırılmıştır. Başlangıçta, rastgele üretilmiş nüfus kullanan, kromozom uzunluğu 300, nüfus büyüklüğü 500 ve döngü sayısı 1000 olan bir genetik algoritma 200 kez çalıştırılmıştır. Çok önemli, çok ucuz ve çok talep edilen parçalar farklı çalıştırmalarda daha yüksek sıklıkla seçilmiştir. Bunun tersine, önem derecesi az, ucuz olmayan ve çok talep edilmeyen parçalar daha düşük sıklıkla seçilmiştir. Her çalıştırmada seçilen parçalar birleştirilip, seçilme sıklıklarına göre sıraya konularak, yakınsamış veya kararlı bir liste elde edilmiştir. Yakınsamayı artırmak için, elde edilen liste genetik algoritmanın başlangıç nüfusu olarak kabul edilmiş, son bir kez uzun bir döngü sayısı ile çalıştırılıp daha kararlı, yakınsamış bir nihai listeye ulaşılmıştır.

Seçilen yedek parçaları analiz etmek için, öncelikli olarak mevcut modeller ve önerilen yöntem ile elde edilen sonuç verisi karşılaştırılmıştır. 0.5 FLSIP+ modeliyle seçilen yedek parçalar incelendiğinde, toplam 5.677 kalem yedek parça seçilmiştir. Bu malzemelerin toplam maliyeti 2.128.148,67 \$ bulunmuştur. Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+ modeliyle seçilen yedek parçalar incelendiğinde, toplam 5.529 kalem yedek parça seçilmiştir. Bu malzemelerin toplam maliyeti ise 952.551,34 \$ olarak bulunmuştur.

Test ve analiz işlemlerini sağlıklı olarak yapabilmek için, yedek parçalar seçilme durumuna göre; sadece GA tarafından seçilen yedek parçalar, hem GA, hem de mevcut modeller (0.5 FLSIP+ ve Maliyet Duyarlı 0.5 FLSIP+) tarafından seçilen yedek parçalar, mevcut modeller tarafından seçilen fakat GA tarafından seçilmeyen yedek parçalar, ne GA ne de mevcut modeller tarafından seçilen yedek parçalar olarak sınıflandırılmıştır. Her bir sınıfta seçilen malzeme sayıları; talep oranı, ortalama birim fiyat ve önem derecelerine göre analiz edilmiş ve aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Genetik algoritma talep miktarı yüksek malzemeleri ağırlıklı olarak seçmiştir. Düşük talep miktarlarında seçilme olasılığı genetik algoritmada çok düşükken, mevcut modellerde oldukça yüksek çıkmıştır. Talep miktarı çok yüksek olan malzemeler mevcut modeller tarafından doğal olarak seçilirken, genetik algoritma daha seçici davranmış ve kritik ve / veya ucuz olanlarını seçmiştir.
- Genetik algoritmanın amaç fonksiyonunda yer alan kriterlerden birisi de malzeme birim fiyatı olduğu için, genetik algoritma tarafından seçilen malzemelerin ortalama birim fiyatları, mevcut modellerinkine oranla oldukça düşük çıkmıştır.
- Talep miktarı çok düşük olan malzemeler mevcut modeller tarafından hiç seçilmez iken, bunlardan yüksek önem derecesine sahip olanlar genetik algoritma tarafından seçilebilmiştir. Orta yükseklikte (0,5-4) talep miktarına sahip fakat çok önemsiz parçalar mevcut modeller tarafından seçilirken, genetik algoritma tarafından ya hiç seçilmemiş ya da 1 tane seçilmiştir. Mevcut modeller tarafından seçilmeyip, sadece genetik algoritma tarafından seçilen malzemeler incelendiğinde, %95'in üzerinde çok önemli malzemeler olduğu görülmektedir.

Sonuç olarak, mevcut modeller karar sürecinde sadece talep miktarlarını dikkate alırken, önerilen amaç fonksiyon yedek parça seçimi yaparken daha ucuz, daha önemli ve talep miktarı yüksek parçaları öncelikli olarak seçmektedir. Seçilecek yedek parça sayısı çok ise, bir başka ifade ile kromozom uzunluğu çok fazla ise, önerilen genetik algoritma uygulama metodu oldukça kullanışlıdır.

KAYNAKLAR

- [1] Pawley M. D., A comparative efficiency analysis of the point five FLSIP plus COSAL inventory model, MBA Thesis, Naval Postgraduate School, Master of Science in Management, Monterey, California, USA, 1995.
- [2] Eggenberger M. A., Implementation of reduced shipboard allowance levels reapplication savings analysis, MBA Thesis, Naval Postgraduate School, Master of Science in Management, Monterey, California, USA, 1994.
- [3] Penrose C. B., Data requirements for availability based sparing in the US Marine Corps, MBA Thesis, Naval Postgraduate School, Master of Science in Information Technology Management, Monterey, California, USA, 1998.
- [4] Moreira A. L. S., Cuquel G., An improved inventory control model for the Brazilian navy supply system, MBA Thesis, Naval Postgraduate School, Master of Science in Management, Monterey, California, USA, 2001.
- [5] Pekari G., Chivers K. M., Erickson B. G., Belcher R. C., Kartashov V., Pacific fleet regional inventory stocking model (PRISM), MBA Professional Report, Naval Postgraduate School, Master of Business Administration, Monterey, California, USA, 2005.
- [6] Rustenburg W. D., Van Houtum G. J., Zijm W. H. M., Spare parts management at complex technology based organizations: an agenda for research, *International Journal of Production Economics*, 2001, **71**, 177-193.
- [7] Hnaien F., Delorme X., Dolgui A., Multi-objective optimization for inventory control in two-level assembly systems under uncertainty of leadtimes, *Computers & Operations Research*, 2009, **37**, 1835-1843.
- [8] Taosheng W., Changchen L., Research on inventory optimization model of spare parts under zero-out-of-stock constraint, *ICOIP2010 - International Conference on Optoelectronics and Image Processing*, Haikou, China, 11-12 November 2010.
- [9] Sherbrooke C., Optimal inventory modeling of systems: multiechelon techniques, *Operations Research*, 1968, **16**, 122-141.
- [10] Haksever C., Moussourakis J., A model for optimizing multi-product inventory systems with multiple constraints, *International Journal of Production Economics*, 2005, **97**, 18-30.

- [11] Stribosch L. W. G., Heuts M. J., Van der Schoot E. H. M., Improved spare parts inventory management: a case study, *Tilburg University Center for Economic Research Discussion Paper Series*, 1998, **135**, 1-24.
- [12] Kun J., Xian-li J., De-zhen Y., The optimization model of spare parts and support equipment at peacetime, *PHM2011 - Prognostics & System Health Management Conference*, Shenzhen, China, 20-23 June 2011.
- [13] Louit D., Pascuali R., Optimization models for critical spare parts inventories - a reliability approach, *Journal of the Operational Research Society*, 2011, **62**, 992–1004.
- [14] Goshorn J. A., Deegan Jr. E. M., Layton B. E., Spare part storage optimization onboard deployable military support assets, *Naval Engineers Journal*, 2010, **1**, 137-147.
- [15] Pasandideh S. H. R., Niaki S. T. A., Tokhmehchi N., A parameter-tuned genetic algorithm to optimize two-echelon continuous review inventory systems, *International Journal of Expert Systems with Applications*, 2011, **38**, 11708–11714.
- [16] Roy A., Pal S., Maiti M. S., A production inventory model with stock dependent demand incorporating learning and inflationary effect in a random planning horizon: A fuzzy genetic algorithm with varying population size approach, *Computers & Industrial Engineering*, 2009, **57**, 1324–1335.
- [17] Adams C. M., Inventory optimization techniques, system vs. item level inventory analysis, *RAMS2004 - Reliability and Maintainability Annual Symposium*, Los Angeles, California, 26-29 Ocak 2004.
- [18] Daniel J. S. R., Rajendran C., A simulation-based genetic algorithm for inventory optimization in a serial supply chain, *International Transactions in Operational Research*, 2005, **12**, 101–127.
- [19] Fanggeng Z., Jiangsheng S., Lianwu Z., Zhenshu M., Genetic algorithm for the multi-echelon inventory problem of weapon equipment repairable spare parts, *ICCSIT - International Conference on Computer Science and Information Technology*, Chengdu, China, 09-11 July 2010.
- [20] Jiangsheng S., Fanggeng Z., Lianwu Z., An improved genetic algorithm for the multi-echelon inventory problem of repairable spare parts, *ICCSIT - International Conference on Computer Science and Information Technology*, Chengdu, China, 09-11 July 2010.
- [21] Mak K. L., Wong Y. S., Huang G. Q., Optimal inventory control of lumpy demand items using genetic algorithms, *Computers & Industrial Engineering*, 1999, **37**, 273-276.
- [22] Guvenir H. A., Erel E., Multicriteria inventory classification using a genetic algorithm, *European Journal of Operational Research*, 1998, **105**, 29-37.

- [23] Bona K., Optimisation of inventory control systems with genetic algorithms, *Transportation Engineering*, 2005, **33**, 89–102.
- [24] Özdemir A. İ., Seçme G., Tedarik zinciri ulaştırma problemi için bir sezgisel Çözüm: genetik algoritma yaklaşımı, *Erciyes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 2009, **27**, 43-64.
- [25] Ilgin M. A., Tunali S., Joint optimization of spare parts inventory and maintenance policies using genetic algorithms, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technolog*, 2007, **34**, 594-604.
- [26] Emel G. G., Taşkın Ç., Genetik Algoritmalar ve Uygulama Alanları, *Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 2002, **21**, 129-152.
- [27] Cheng R., Gen M., Tosawa T., Genetic Algorithms for Designing Loop Layout Manufacturing Systems, *Computers & Industrial Engineering*, 1995, **31**, 687-691.
- [28] Goldberg D. E., Genetic Algorithms in Search, *Optimization and Machine Learning*, 1st ed., Addison-Wesley, USA, 1989.
- [29] Yeniay Ö., An overview of genetic algorithms, *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 2001, **2**, 37-49.
- [30] İşlier A. A., Üretim hücrelerinin bir genetik algoritma kullanılarak oluşturulması, *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 2001, **2**, 137-157.
- [31] Knabe J. F., Wegner K., Schilstra M. J., Genetic algorithms and their application to in silico evolution of genetic regulatory networks, *Computational Biology*, 2010, **673**, 297-321.
- [32] Jang J. S. R., *Neuro-fuzzy and soft computing: a computational approach to learning and machine intelligence*, Prentice-Hall, New Jersey, 173-196, 1997.
- [33] Fırlalı A. Engin O., Genetik algoritmalarla akış tipi çizelgelemede üreme yöntemi optimizasyonu, *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 2002, **6**, 27-35.
- [34] Yeo M. F., Agyel E. O., Optimising engineering problems using genetic algorithms, *Engineering Computations*, 1996, **15**, 268-280.
- [35] Fung R. Y. K., Tang J., Wang D., Extension Of A Hybrid Genetic Algorithm For Nonlinear Programming Problems With Equality And Inequality Constraints, *Computers & Operations Research*, 2001, **29**, 261-274.
- [36] Altıparmak F., Dengiz B., Smith A.E., An Evolutionary Approach For Reliability Optimization in Fixed Topology Computer Networks, *Transactions On Operational Research*, 2000, **12**, 57-75.
- [37] Sivanandam S. N., Deepa S. N., *Introduction to genetic algorithms*, 1st ed., Springer, Heidelberg, 2007.

- [38] Özcan M., Türkiye elektrik enerjisi üretim genişletme planlamasında yenilenebilir enerji kaynaklarının etkileri, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2013.
- [39] Konak A., Coit D. W., Smith A. E., Multi-objective optimization using genetic algorithms: a tutorial, *Reliability Engineering & System Safety*, 2006, **91**, 992-1007.
- [40] Yıldırım M., Genetik algoritmalar ve benzetilmiş tavlama ile uzun dönem üretim genişletme planlaması, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2003.
- [41] Fabish M., Navy Sparing, <http://www.slideserve.com/Rita/navy-sparing>, (Ziyaret tarihi: 13 Ekim 2012).
- [42] Hales D., Introduction to genetic algorithms. guest lecture, <http://cfpm.org/~david/talks/ga2006/ga-pres6.pdf>, (Ziyaret tarihi: 18 Ekim 2012).
- [43] Kendall G., Artificial intelligence methods course notes, <http://www.cs.nott.ac.uk/~gxx/aim/>, (Ziyaret tarihi: 23 Eylül 2012).
- [44] Popovic A., Jankovic A., Tosic D., Milutinovic V., Genetic Algorithms, <http://galeb.etf.bg.ac.yu/~vm/GenAlgo.ppt>, (Ziyaret tarihi: 23 Eylül 2012).
- [45] Yalçın N., Genetik algoritmalar, http://bm.bilecik.edu.tr/Dosya/Arsiv/duyuru/genetik_algoritmalar.pdf, (Ziyaret tarihi: 5 Kasım 2012).
- [46] URL-1: <http://www.edc.ncl.ac.uk/highlight/rhjanuary2007g02.php>, (Ziyaret tarihi: 15 Ekim 2012).
- [47] URL-2: www.force-rsupply.com/SPCCINST%204441_170A.pdf, (Ziyaret tarihi: 08 Aralık 2012).

EKLER

Ek-A: PROGRAM LİSTELERİ

Bu ekte, gemi üzerinde bulundurulması gereken yedek parça optimizasyonu için, MATLAB programlama dilinde yazılmış, genetik algoritmaların program listesi yer almaktadır.

Ana program

```
clear all;
clc;
veri_usa_5677; % veri tabanının adı
veri_usa_detay_5677; % veri tabanı özneliklerini gösterir
bank_size=16186; % toplam malzeme sayısı
chrom_size=5677; % malzeme sayısı
pop_size=300; % nüfus büyüklüğü
max_gener=1000; % maksimum jenerasyon
mut_rate=0.00075; % mutasyon oranı
% ilk nüfus
[pop_decimal]=f_initpop_usa2(pop_size,chrom_size,veri_usa_detay_5677)
% amaç fonksiyonu
cost=f_objective(pop_decimal,veri);
% uygunluk fonksiyonu
fitness=f_fitness(cost,pop_size);
% zamanı başlatma;
start_time=clock
% jenerasyonu sağlayan döngü
for generation=1:max_gener,
    %elitizm
    [p r]=max(fitness);
    elitist(1,:)=pop_decimal(r,:);
    % rulet tekerleği modeli seçim işlemi
    [selected]=f_select(fitness,pop_size);
    [parent_group1,parent_group2]=f_parents(pop_decimal,selected,pop_size);
    % çaprazlama
    [pop_crossover]=f_crossover3(parent_group1,parent_group2,pop_size,chrom_size);
    % mutasyon
    [pop_mutation]=f_mutation(pop_crossover,bank_size,mut_rate);
    % elitizm
    cost=f_objective(pop_mutation,veri);
    fitness=f_fitness(cost,pop_size);
    [p r]=min(fitness);
    pop_mutation(r,:)=elitist(1,:);
    % yeni kuşak oluşumu
    pop_decimal=pop_mutation;
    cost=f_objective(pop_decimal,veri);
    fitness=f_fitness(cost,pop_size);
    [p r]=max(fitness);
    % her jenerasyondaki minimum maliyet değerini gösterir
    minimum_cost(generation,1)=generation;
```

```

    minimum_cost(generation,2)=min(cost(:,1));
    minimum_cost(generation,1)
    minimum_cost(generation,2)
end
% zamanı durdurma;
end_time=etime(clock,start_time)
% yedek parça listesi;
yedek_parca_liste=sort(pop_decimal(r,:))
%result_cr1_mt001_ps50 kaydedilecek olan mat dosyası adı.
%cr1: crossover1 mt001: mutasyon=0.01 ps50: pop_size=50
save USA_5677_result_cr3_mt000075_ps300_chr5677_maxgen1000_v1 pop_size
end_time pop_decimal minimum_cost yedek_parca_liste;
*****

ilk nüfus
*****
function [pop_decimal]=f_initpop_usa2(pop_size,chrom_size,veri_usa_detay)
pop_decimal=zeros(pop_size,chrom_size);
for i=1:pop_size,
    for j=1:chrom_size,
        malzeme_no=ceil((rand(1,1)*pop_size)+eps);
        while ismember(question_no,pop_decimal(i,:))>0,
            malzeme_no=ceil((rand(1,1)*pop_size)+eps);
        end;
        pop_decimal(i,j)=veri_usa_detay(malzeme_no,1);
    end;
end;
*****

amaç fonksiyonu
*****
function [cost]=f_objective(pop_decimal,veri)
[x,y]=size(pop_decimal);
toplam_maliyet=zeros(x,1);
for i=1:x,
    for j=1:y,
        toplam_maliyet(i,1) = toplam_maliyet(i,1) + (veri(pop_decimal(i,j),3) .*
        veri(pop_decimal(i,j),7)^(1/3)^(-1) .* ((ceil ((veri(pop_decimal(i,j),4) .*
        veri(pop_decimal(i,j),6))/veri(pop_decimal(i,j),5))))* veri(pop_decimal(i,j),5))^(1));
    end;
end;
cost=toplam_maliyet;
*****

uygunluk fonksiyonu
*****
function [fitness]=f_fitness(cost,pop_size)
[Y Z]=sort(cost);
[K L]=sort(Y);
fitness1(Z(:))=((pop_size-L(:))./(pop_size-1))+eps;
fitness=fitness1';
*****

```

rulet tekerleği modeli seçim işlemi

```
function [selected]=f_select(fitness,pop_size)
```

```
rullet=sum(fitness)*rand(pop_size,1);
```

```
for j=1:pop_size,
```

```
    slice=0;i=0;
```

```
    while slice<rullet(j,1),
```

```
        i=i+1;
```

```
        slice=slice+fitness(i,1);
```

```
    end,
```

```
selected(j,1)=i;
```

```
end,
```

çaprazlama

```
function
```

```
[pop_crossover]=f_crossover3(parent_group1,parent_group2,pop_size,chrom_size)
```

```
    nokta=ceil(rand((pop_size/2),3)*(chrom_size-1));
```

```
    nokta1=(sort(nokta'))';
```

```
    nokta=nokta1;
```

```
for i=1:(pop_size/2),
```

```
    child1(i,1:nokta(i,1))=parent_group1(i,1:nokta(i,1));
```

```
    child1(i,nokta(i,1)+1:nokta(i,2))=parent_group2(i,nokta(i,1)+1:nokta(i,2));
```

```
    child1(i,nokta(i,2)+1:nokta(i,3))=parent_group1(i,nokta(i,2)+1:nokta(i,3));
```

```
    child1(i,nokta(i,3)+1:chrom_size)=parent_group2(i,nokta(i,3)+1:chrom_size);
```

```
    child2(i,1:nokta(i,1))=parent_group2(i,1:nokta(i,1));
```

```
    child2(i,nokta(i,1)+1:nokta(i,2))=parent_group1(i,nokta(i,1)+1:nokta(i,2));
```

```
    child2(i,nokta(i,2)+1:nokta(i,3))=parent_group2(i,nokta(i,2)+1:nokta(i,3));
```

```
    child2(i,nokta(i,3)+1:chrom_size)=parent_group1(i,nokta(i,3)+1:chrom_size);
```

```
end,
```

```
pop_crossover=cat(1,child1,child2);
```

mutasyon

```
function [pop_mutation]=f_mutation(pop_crossover,bank_size,mut_rate)
```

```
pop_mutation=pop_crossover;
```

```
[x,y]=size(pop_crossover);
```

```
random_numbers=rand(x,y);
```

```
for j=1:x,
```

```
    for i=1:y,
```

```
        for k=i+1:y,
```

```
            if (pop_crossover(j,i)==pop_crossover(j,k))|(random_numbers(j,i)<mut_rate)
```

```
                item_no=ceil((rand(1,1)*bank_size)+eps);
```

```
                while ismember(item_no,pop_crossover(j,:))>0,
```

```
                    item_no=ceil((rand(1,1)*bank_size)+eps);
```

```
                end;
```

```
                pop_mutation(j,i)=item_no;
```

```
            end;
```

```
        end; end; end;
```

Ek-B: DOSYA YAPILARI
GX1 DOSYA YAPISI

KARAKTER POZISYONU	AÇIKLAMA KODU	VERİ ADI	KARAKTER SAYISI
01-09	D046/C002B	NIIN/ACN	9
10-11	C003B	SPECIAL MATERIAL ID CODE (SMC)	2
12	----	(BLANK)	1
13	D017	DEMIL CODE	1
14-17	C042	FEDERAL SUPPLY CLASS	4
18-19	C003	COG	2
20	C003A	MATERIAL CONTROL CODE	1
21	D011C	SPALT QTY ADJ	1
22	E006	ALLOW NOTES CODE	1
23	----	OSI DESIGNATOR (O=OSI;b=SRI)	1
24	C028	SHELF LIFE CODE	1
25	D015	SPECIAL MATERIAL CONTENT	1
26-49	C004C/C004	ITEM NAME NAVY/ITEM NAME	24
50	E020	EQUIP CUSTODY CODE	1
51-61	D008	REPARABLE ID CODE (RIC)	11
62	----	SORT CODE	1
63-64	C005	UNIT OF ISSUE	2
65	C017	SECURITY CLASS CODE	1
66-71	A002	UNIT ID CODE (UIC)	6
72-73	D029	AINAC (FOR RIC)	2
74-75	C029	SHELF LIFE ACTION CODE	2
76-84	D036B	SHIP TYPE AND HULL NUMBER	9
85	C027	TYPE STORAGE SPACE	1
86-94	B053	UNIT PRICE (2 DEC)	9
95-100	C023/C023A	GROSS WEIGHT/NET WEIGHT (2 DEC)	6
101-107	C024A	NET CUBE (4 DEC)	7
108-110	C007A	ALLOW OVERRIDE QTY	3
111	----	LONG LEAD TIME (*=LONG LEAD TIME)	1
112-115	D011	NUMBER COMPONENTS INSTALLED (QPA)	4
116-120	D011	QUANTITY PER PART OR UNIT (QPC)	5
121-126	F027	BEST REPLACEMENT FACTOR (BRF) (4 DEC)	6
127-132	F001A	APPLICATION REPLACEMENT FACTOR (ARF)(3 DEC)	6
133-136	C007	MINIMUM REPLACEMENT UNIT QTY (MRU)	4
137-140	D011A	UNIT OF ISSUE TO UNIT OF INSTALLATION CONVERSION FACTOR	4
141	D011B	DECIMAL LOCATOR FOR D011B	1
142-144	E058	FBM MEC	3
145-150	----	(BLANK)	6
151	----	COMPUTATION METHOD	1
152-153	----	COSAL TYPE	2
154	C008D	MEC	1
155	C007B	ALLOW OVERRIDE DESIGNATOR	1
156	E013A	FACTOR CODE	1
157-160	E013A	"L" FACTOR QUANTITY (FOR SRI)	4
161	E013B	FACTOR CODE	1
162-165	E013B	"M" FACTOR QUANTITY (FOR OSI)	4
166	C008E	MEC PART TO COMPONENT	1
167	C008A	MEC PART TO COMPONENT FBM	1
168-169	----	TABLE NO. FOR ELECT CONVERSION COMP	2
170	----	ORDNANCE INDICATOR (O=ORDNANCE; b=NON-ORDNANCE)	1
171	----	SNSL DRC	1
172	----	TRANSACTION CODE (NOTE 1)	1
173	D044	TECH COG CODE	1
174	C003Y	MAINTENANCE CRITICALITY CODE	1
175-180	----	(BLANK)	6

PX1 DOSYA YAPISI

CHAR. POS.	DEN	DATA NAME	POS.
01-10	D008	RIC APL/AEL	10
11-12	D029	AINAC	2
13-14	----	RECORD TYPE 50	2
15	----	APL/AEL IND 1/3	1
16	----	ORDNANCE INDICATOR E/O/S	1
17-21	C035	FSCM	5
22-51	D001W	REFERENCE NUMBER	30
52-76	C004/C004C	ITEM NAME/NAVY	25
77-78	C003	COG	2
79	C003A	MCC	1
80-83	C042	FSC	4
84-92	D046/C002	NIIN/ACN	9
93-94	C003B	SMIC	2
95	C008E	NON-FBM PART MEC	1
96-97	D012	SOURCE CODE	2
98-99	D013	MAINTENANCE CODE	2
100	D013C	RECOVER ABILITY CODE	1
101	E006	NOTES CODE	1
102	D011C	ORDALT SPALT QTY CODE	1
103-104	C005	UNITS OF ISSUE	2
105	E020	CUSTODY CODE	1
106-109	D011	QUANTITY PER APPLICATION	4
110-113	C007A	ALLOWANCE OVERRIDE QTY	4
114	C007B	ALLOWANCE OVERRIDE CODE	1
115	C017	SECURITY CLASS	1
116-121	F027	BEST REPL FAC (4 DEC)	6
122-127	F001A	APPLI FAC (3 DEC)	6
128	C008A	FBM PART MEC	1
129-145	----	(BLANK)	17
146-170	E007	AEL COLUMN QUANTITIES [146-148 COL 1, 149-151 COL 2, 152-154 COL 3, 155-157 COL 4, 158-160 COL 5, 161-163 COL 6, 164-166 COL 7, 167-170 COL 8]	25

NX1, NX12 VE NX13 DOSYA YAPISI

CHAR. POS.	DEN	DATA NAME	POS.
01-06	A002	UIC	6
7	----	OSI SPLIT INDICATOR	1
8	----	OSI CERTIFICATION CODE	1
9	----	OSI DESIGNATOR (NOTE 1)	1
10-18	D046D/C002B	NIIN/ACN	9
19	----	SORT CODE	1
20-30	D008	RIC	11
31-32	D029	AINAC	2
33-34	C003	COG	2
35	C003A	MCC	1
36-39	C042	FSC	4
40	C017	SECURITY	1
41-64	C004/C004C	ITEM NAME/ITEM NAME NAVY	24
65	E020	CUST CODE	1
66-67	C003B	SMIC	2
68-69	C005	U/I	2
70	D015	SMC	1
71-79	B053	UNIT PRICE (2 DEC)	9
80-85	C023/C023A	GROSS WGT/NET WGT (2 DEC)	6
86-92	C024A	NET CUBE (4 DEC)	7
93	C028	SL	1
94-95	C029	SLAC	2
96	C027	TSS	1
97	----	LONG LEAD TIME	1
98	D011C	NEG IND (NOTE 2)	1
99	E006	NOTE CODE	1
100	D017	DEMIL	1
101	C008D/C003Y	COMP MEC/MCC	1
102-110	D011	QTY OF COMPS INSTALL.	9
111	C008E	PART MEC	1
112-115	C007	MRU	4
116	C008A	FBM PART MEC	1
117	C007B	O/R CODE	1
118-120	C007A	O/R QUANTITY	3
121-126	F027	BEST REPLACEMENT FACTOR (4 DEC)	6
127	----	ORD INDICATOR (NOTE 7)	1
128	D013M	ACT MAINT.	1
129-130	----	TABLE NBR. FOR ELECTRONICS COMPUT.	2
131	E013A	FACTOR CODE	1
132-135	E013A	"L" FACTOR QTY (SRI)	4
136	E013B	FACTOR CODE	1
137-140	E013B	"M" FACTOR QTY (OSI)	4
141-144	D011A	UNIT OF INSTALL. TO UNIT OF ISSUE CONV. FACTOR	4
145	D011B	DEC LOC	1
146-154	D036B	SHIP TYPE/HULL NUMBER	9
155-157	C008B	FBM MEC COMP	3
158-160	C008B	FBM MEC EQUIP	3
161	----	COMPUTATION METHOD (NOTE 3)	1
162	----	(BLANK)	1

163-164	----	COSAL TYPE	2
165-170	----	(BLANK)	6
171-179	----	ANNUAL DEMAND FORECAST (4 DEC)	9
180	----	DROP LIST CODE (NOTE 4)	1
181-185	----	TOTAL NIIN/SHIP POP. ROUNDED	5
186-190	C007	ADJUSTED MRU	5
191	C007B	SELECTED O/R CODE	1
192-195	C007A	COMPUTED O/R QTY	4
196	C008D/C003Y	HIGH COMP MEC/MCC	1
197	C008A/	HIGH FBM MEC/C008E HIGH PART MEC	1
198-200	----	HIGH FBM MEC	3
201-205	E024A/E024B	ALLOWANCE QTY	5
206	----	(BLANK)	1
207	----	MA CODE (NOTE 8)	1
208	----	A/T CODE	1
209	----	SOURCE CODE	1
210	----	DROP A/R CODE	1
211-212	----	(BLANK)	2
213	----	STAT CODE	1
214	----	(BLANK)	1
215	----	SHF CTRL	1
216	----	M/N CODE (NOTE 5)	1
217	----	(BLANK)	1
218-225	----	COSAL DATE (NOTE 6)	8
226-230	----	RIC/NIIN/SHIP POP. ROUNDED	5
231-240	----	(BLANK)	10

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

- [1] **Kıyak E.**, Özkan G., Timuş O. Envanter yönetiminde genetik algoritmaların kullanılması, *Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği 31. Ulusal Kongresi*, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, 05-07 Temmuz 2011

ÖZGEÇMİŞ

1972 yılında İzmir’de doğdu. İlk ve orta öğrenimini Denizli ve Uşak’ta tamamladı. Lise öğrenimini İstanbul Deniz Lisesi’nde ve üniversite öğrenimini Deniz Harp Okulu Kontrol ve Bilgisayar Mühendisliği bölümünde tamamlayarak 1994 yılında subay olarak mezun oldu. 1997 yılında Boğaziçi Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği bölümünde 1 yıllık bilgisayar eğitimi aldı. 2000-2003 yılları arasında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans öğrenimini tamamladı. 1994 yılından bugüne Deniz Kuvvetleri Komutanlığı’nda lojistik ve bilgisayar ile ilgili görevlerde bulunmuştur. Evli ve 1 çocuk babasıdır. İngilizce bilmektedir.