

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ



UÇAKLARDAKİ YÜK VE DENGE HESABININ YAPAY ZEKA
ALGORİTMALARI KULLANILARAK OPTİMİZASYONU VE UYGULAMASI

Bünyamin ATAK

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK - ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZİRAN 2019

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ



UÇAKLARDAKİ YÜK VE DENGE HESABININ YAPAY ZEKA
ALGORİTMALARI KULLANILARAK OPTİMİZASYONU VE UYGULAMASI

Bünyamin ATAK
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK – ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZİRAN 2019

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

UÇAKLARDAKİ YÜK VE DENGE HESABININ YAPAY ZEKA
ALGORİTMALARI KULLANILARAK OPTİMİZASYONU VE UYGULAMASI

Bünyamin ATAK
ELEKTRİK – ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez 26/06/2019 tarihinde jüri tarafından Oybirliği / Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi Yavuz ÜSER (Danışman)
Doç. Dr. Selim BÖREKÇİ
Dr. Öğr. Üyesi Tuna GÖKSU



ÖZET

UÇAKLARDAKİ YÜK VE DENGE HESABININ YAPAY ZEKA ALGORİTMALARI KULLANILARAK OPTİMİZASYONU VE UYGULAMASI

Bünyamin ATAK

Yüksek Lisans Tezi, Elektrik – Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Yavuz ÜSER

Haziran 2019 ; 50 Sayfa

Yolcu uçaklarındaki Weight And Balance hesaplaması temel olarak uçağın ağırlık merkezinin hesaplanması işlemidir. Ağırlık merkezinin istenen konumda olması demek uçak için güvenlik ve yakıt tasarrufunun maksimum noktaya çıkması demektir.

Bir uçağın ağırlık merkezi (CG Center of Gravity), uçağın dengeleneceği noktadır. Uçağın ağırlık merkezi, uçaktaki farklı birimlerin ağırlık merkezlerinin hesaplanması ve DOI (DRY OPERATING INDEX) eklenmesi ile bulunur. Bu birimler temel olarak; kokpit, kabin, yakıt ve kargodur. Operasyonel olarak kokpit, kabin ve yakıt yüklemelerinde uçuş öncesi değişiklik yapma esnekliği bulunmamaktadır. Bu nedenle ideal CG'yi elde etmek için geriye kargonun düzenlenmesi kalmaktadır. Özellikle kargo uçaklarındaki çok bölümlü yapı, buradaki ideal yük dağılımını çözülmesi gereken bir optimizasyon problemine çevirmektedir.

Bu çalışmada, üç farklı optimizasyon algoritması yöntemi kullanılarak Airbus A330 tipi bir kargo uçağında yük dağılımının optimize edilmesi işlemi ve uygulaması yapılmıştır.

ANAHTAR KELİMELELER: Weight and Balance Hesaplaması (W&B), Optimizasyon, Ağırlıklı Süperpozisyon Çekimi Optimizasyonu (WSA), Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO), Genetik Algoritma, MATLAB

JÜRİ: Doç. Dr. Selim BÖREKÇİ

Dr. Öğr. Üyesi Yavuz ÜSER

Dr. Öğr. Üyesi Tuna GÖKSU

ABSTRACT

OPTIMIZATION OF WEIGHT AND BALANCE APPLICATIONS IN AIRCRAFT USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE ALGORITHMS

Bünyamin ATAK

MSc Thesis in Electrical and Electronics Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Yavuz ÜSER

June 2019 ; 50 Pages

Weight and Balance calculation in passenger aircraft is mainly the calculation of the center of gravity of the aircraft. The fact that the center of gravity is in the desired position means that the safety and fuel savings for the aircraft are maximized.

The CG Center of Gravity is the point where the aircraft will be balanced. The center of gravity of the aircraft is calculated by calculating the center of gravity of the different units in the aircraft and by adding the DOI (DRY OPERATING INDEX). These units are basically; cockpit, cabin, fuel and cargo. Operationally, cockpit, cabin and fuel loads do not have the flexibility to change before flight. Therefore, only the positions of the cargo can be changed to achieve the ideal CG. In particular, the multi-part structure in cargo planes transforms the ideal load distribution into an optimization problem that needs to be solved.

In this study, by using three different optimization algorithm method, load distribution of Airbus A330 type cargo plane has been optimized and applied.

KEYWORDS: Weight and Balance Calculation (W&B), Optimization, Weighted Superposition Attraction (WSA), Particle Swarm Optimization (PSO), Genetic Algorithm (GA), MATLAB

COMMITTEE: Assoc. Prof. Dr. Selim BÖREKÇİ

Asst. Prof. Dr. Yavuz ÜSER

Asst. Prof. Dr. Tuna GÖKSU

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik – Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak yapılmıştır. Çalışma konusunun belirlenmesinde ve çalışmanın hazırlanma sürecinin her aşamasında bilgilerini, tecrübelerini ve değerli zamanlarını esirgemeyerek bana her fırsatta yardımcı olan değerli hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Yavuz ÜSER’e teşekkürü bir borç bilirim.

Bu tez çalışmasında yer alan bilgi ve teknikleri edinme doğrultusunda bana gösterdikleri doğru yol ve yöntemler nedeniyle tüm Akdeniz Üniversitesi Öğretim kadrosuna teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimim boyunca benden desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, onlara ayırmam gereken zamanlarımda bile yüksek lisans çalışmalarım ile uğraşmama anlayış gösterdikleri için öncelikle sevgili eşim Gaye Atak ve kızım Nil Atak olmak üzere tüm aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
AKADEMİK BEYAN.....	v
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK TARAMASI.....	3
3. MATERYAL VE METOT.....	6
3.1. Yük ve Denge (Weight and Balance).....	6
3.1.1. Terminoloji.....	6
3.1.2. Weight and balance hesaplaması.....	8
3.1.3. CG %MAC ilişkisi.....	9
3.1.4. Ağırlık merkezinin (CG) yakıt tüketimine etkisi.....	11
3.2. Kargo Yük Dağılımı.....	12
3.2.1. Serbest yük dağıtımı.....	13
3.2.2. Konteyner dağılımı.....	15
3.2.3. İdeal kargo indexinin belirlenmesi.....	17
3.2.4. Optimizasyon algoritmaları ile kargo yükü dağılımı.....	18
3.3. Sezgisel Algoritmalar.....	18
3.3.1. Genetik algoritma.....	18
3.3.2. Ağırlıklı süperpozisyon çekimi (WSA).....	21
3.3.3. Parçacık sürü optimizasyonu.....	24
4. BULGULAR.....	29
4.1. GA, WSA, PSO ile Serbest Yük Dağılımı Uygulaması.....	29
4.2. WSA ile Konteyner Dağıtımı.....	31
5. TARTIŞMA.....	35
6. SONUÇLAR.....	38
7. KAYNAKLAR.....	39
8. EKLER.....	40
ÖZGEÇMİŞ.....	

AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Uçaklardaki Yük ve Denge Hesabının Yapay Zeka Algoritmaları Kullanılarak Optimizasyonu ve Uygulaması” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

26/06/2019

Bünyamin ATAĞ



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

AAc	: Ağırlıklı süperpozisyon çekim algoritmasının kullanılan yapay çözüm sayısı
C	: Moment değerlerini indeks değerlerine dönüştürmek için payda olarak kullanılan sabit
CI	: Uçağa yüklenen toplam kargonun yerleştirilmesi sonucunda elde edilen index
CI _{OPT}	: İdeal CG indexini elde edebilmek için gerekli kargo indexi
CrI	: Uçakta bulunan toplam ekip ağırlığına karşılık gelen Index
CrW	: Uçakta bulunan toplam ekip ağırlığı
CW	: Uçağa yüklenen toplam kargo ağırlığı
DOI	: Uçak için belirlenmiş boş operasyon indexi, Dry Operating Index
DOW	: Uçak için belirlenmiş boş operasyon ağırlığı, Dry Operating Weight
f _{best}	: Parçacık sürü optimizasyonu en iyi sürü uygunluk değeri
FI	: Uçaktan yüklü toplam yakıt ağırlığına karşılık gelen index
f _i	: Ağırlıklı süperpozisyon çekim algoritmasının kullanıcı tanımlı adım mesafesi sabit parametresi
F _{msv}	: Ağırlıklı süperpozisyon çekim algoritmasının küme vektörü uygunluk değeri
F _v	: Optimize edilen fonksiyonun uygunluk değerleri
FW	: Uçakta yüklü toplam yakıt ağırlığı
g _{best}	: Parçacık sürü optimizasyonu en iyi sürü elemanı
I	: İlgili ağırlığa karşılık gelen index değeri
I _{CG}	: Uçağın ağırlık merkezinin konumunu gösteren toplam index değeri
I _{OPTCG}	: İdeal %MAC değerini elde edebilmek için gerekli CG Index değeri
K	: Negatif endeks rakamlarından kaçınmak için artı değer olarak kullanılan sabit.

MaxL	: Ağırlıklı süperpozisyon çekim algoritmasının çözüm değişkenlerinin maksimum değerleri.
MinL	: Ağırlıklı süperpozisyon çekim algoritmasının çözüm değişkenlerinin minimum değerleri.
MsV	: Ağırlıklı süperpozisyon çekim algoritmasının küme vektörü
pbest	: Parçacık sürü optimizasyonu en iyi sürü
Rwgt	: Ağırlıklı süperpozisyon çekim algoritmasının satır ağırlıkları
sl	: Ağırlıklı süperpozisyon çekim algoritmasının kullanıcı tanımlı adım mesafesi başlangıç parametresi
Vc	: Ağırlıklı süperpozisyon çekim algoritmasının optimize edilecek fonksiyonun değişken sayısı
v	: Parçacık sürü optimizasyonu sürü elemanı hızları
W	: Uçaktaki her birimdeki ağırlıkların toplamı olan toplam operasyon ağırlığı
τ	: Ağırlıklı süperpozisyon çekim algoritmasının kullanıcı tanımlı satır ağırlık parametresi
%MAC	: Uçağın CG konumunun MAC uzunluğuna oranı
%MAC _{OPT}	: Uçağın maksimum yakıt tasarrufu için üreticisi tarafından belirlenen %MAC değeri

Kısaltmalar

AHM	: Uçak yükleme kılavuzu, Aircraft Handling Manual
CG	: Ağırlık Merkezi
GA	: Genetik Algoritma (Genetic Algorithm)
LeMAC	: Sıfır noktasından inç veya metre cinsinden, MAC'in ön sınırının bulunduğu yere kadar olan yatay mesafe.
MAC	: Ortalama Aerodinamik Kirişin inç veya metre cinsinden uzunluğu
PSO	: Parçacık Sürü Optimizasyonu (Particle Swarm Optimization)
Ref.Sta	: Tüm indeks değerlerinin hesaplandığı seçili konum.
Station	: Sıfır noktasından metre ya da inç olarak konum uzaklığı

WSA : Ağırlıklı Süperpozisyon Çekim (Weighted Superposition Attraction)
W&B : Yük Ve Denge hesaplaması (Weight And Balance)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. W&B ilişkili kazaların uçuş fazı dağılımı	4
Şekil 2.2. W&B ilişkili kazalardaki faktörlerin dağılımı (uçuş tipi başına tüm faktörlerin yüzdesi)	4
Şekil 3.1. Referans datum	7
Şekil 3.2. Mean aerodynamic chord (MAC).....	7
Şekil 3.3. Yüklerin oluşturduğu moment.....	8
Şekil 3.4. CG MAC ilişkisinin üç boyutlu gösterimi.....	10
Şekil 3.5. CG MAC ilişkisi	10
Şekil 3.6. Operasyonel limitlerle sınırlandırılmış CG MAC ilişkisi.....	11
Şekil 3.7. CG pozisyonun yakıt tüketimine etkisi.....	11
Şekil 3.8. Kargo yükleme konumlarının uçak üzerinde gösterimi.....	13
Şekil 3.9. a) CG index maksimum ve minimum olacak şekilde yükleme durumu; b) Maksimum ve minimum yüklemeye oluşan fark.....	15
Şekil 3.10. GA algoritması	19
Şekil 3.11. WSA Algoritması	21
Şekil 3.12. PSO sürü yönelimi.....	25
Şekil 3.13. PSO algoritması.....	26
Şekil 4.1. Manuel hesaplanan ve optimizasyon ile hesaplanan Cg index ve MAC.....	30
Şekil 4.2. Manuel hesaplanan ve optimizasyon ile hesaplanan CG index ve MAC.....	33
Şekil 5.1. WSA algoritması ile yapılan kargo index hesabı	35
Şekil 5.2. PSO algoritması ile yapılan kargo index hesabı	36
Şekil 5.3. GA algoritması ile yapılan kargo index hesabı.....	36
Şekil 5.4. WSA algoritması ile yapılan konteyner index hesabı.....	37
Şekil 8.1. Örnek Load Sheet Sayfa 1	40
Şekil 8.2. Örnek Load Sheet sayfa 2.....	41

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Örnek A330 Ekip konum ve index bilgileri	9
Çizelge 3.2. Airbus A300 serisi uçakların Ön ve Arka CG için SR SR değerleri	12
Çizelge 3.3. SINGLE ROW 88” x 125” konum ve index değerleri	14
Çizelge 3.4. A330 Kargo alan konumları ve Index influence değerleri	16
Çizelge 3.5. WSA Sabitleri ve Parametreleri.....	22
Çizelge 3.6. PSO sabitleri ve parametreleri	26
Çizelge 4.1. Serbest yük dağılımı uygulaması operasyon verileri.....	29
Çizelge 4.2. Uygulama optimizasyon çıktıları.....	31
Çizelge 4.3. Manuel yapılmış konteyner dağılımı	32
Çizelge 4.4. Konteyner dağıtım uygulaması operasyon verileri.....	32
Çizelge 4.5. WSA Konteyner konum optimizasyonu çıktıları	34
Çizelge 8.1. Rastgele oluşturulan başlangıç kargo dağılımı ($x_{(i,j)}$)	42
Çizelge 8.2. Başlangıç kargo dağılımının uygunluk değeri sıralaması.....	42
Çizelge 8.3. 250. İterasyon sonucunda oluşan Kargo dağılımı ($x_{(i,j)}$).....	43
Çizelge 8.4. 250. İterasyon sonucunda oluşan kargo dağılımının uygunluk değeri sıralaması.....	43
Çizelge 8.5. Rastgele oluşturulan başlangıç sürüsü ve kargo dağılımı ($x_{(i,j)}$)	44
Çizelge 8.6. 250. İterasyon Sonucunda oluşan sürü ve kargo dağılımı ($x_{(i,j)}$)	44
Çizelge 8.7. Genetik algoritma (80-110) iterasyon çıktıları	45
Çizelge 8.8. Genetik algoritma (970-1000) iterasyon çıktıları	46

1. GİRİŞ

Yük ve Denge hesabı havacılık literatüründe Weight and Balance (W&B) olarak adlandırılmaktadır. Bu nedenle çalışma içerisinde de Yük ve Denge hesabından Weight and Balance olarak bahsedilecektir. Weight and Balance hesabı birçok hava taşıtında yapılmakla birlikte sivil havacılık taşımacılığında yasal bir zorunluluktur. Weight and Balance hesabının yapılma amacı, uçuş operasyonundaki yüklerin miktarının uçak limitleri dahilinde olduğunun ve bu yüklerin uçağın ağırlık merkezinde oluşturulduğu değişimin uçuş için bir risk taşımadığının gösterilmesidir.

Weight and Balance hesaplamaları için uçağın ideal ağırlık merkezi (CG), uçağın bu noktadan askıya alındığı varsayılırsa burun ve kuyruk tarafından yukarı ya da aşağı dönme eğiliminin olmayacağı hayali bir noktadır. Bir uçağın ağırlık merkezi tipine göre uçuş testi sırasında belirlenen sınırlar içerisinde ileri ve geri hareket ettirilebilir. Bu sınırlar, uçağın yetkili sivil havacılık kurumlarının gerektirdiği performans ve uçuş özelliklerini karşıladığı en ileri ve geri yüklü ağırlık merkezi konumlarıdır.

Sivil havacılıkta her uçak için üreticisi tarafından hazırlanan ve daha sonra kullanıcı tarafından özelleştirilen AHM (Aircraft Handling Manual) adından bir uçak yükleme dokümanı bulunmaktadır. Uçağın Weight and Balance hesabıyla ilgili tüm sabitler, limitler ve uzunluklar bu dokümanda belirtilir. Uçağın ağırlık merkezinin belirlenmiş limitlerin dışına çıktığı bir yükleme, pilotun uçağı kontrol etme yeteneğini ciddi şekilde bozar. Örneğin, burun-ağır bir uçakta kalkış ve rakım almak daha zordur. Pilot gazı azalttığında uçak burnunu düşürme eğilimindedir. Uçaklarda CG konumu referans noktasından belirli bir inç ya da metre mesafesi olarak tanımlanır. Her boyutta özel ticari jetlerden Jumbo jetlere kadar, ağırlık merkezi tipik olarak kanat genişliğine göre belirlenir.

Ağırlık merkezi konumun güvenlik etkisinin yanında bir de yakıt etkisi bilinmektedir. Ağırlık merkezi konumu ideal bir konumda yapılan uçuşun yakıt tasarrufu sağladığı Airbus un yayınladığı fuel economy dokümanlarında gösterilmektedir.

Yapılan literatür taramasında yakıt tasarrufu ve uçuş güvenliği için ihtiyaç duyulan en ideal ağırlık merkezi konumunun hesaplanmasında kullanılabilecek bir matematiksel model olmadığı görülmüştür. Bu çalışma farklı optimizasyon yöntemleri ile kargo uçaklarındaki kargo yükünün konumunu değiştirerek, uçak ağırlık merkezini istenilen konuma getirmek ve uçağın yakıt tasarrufunu olabilecek en iyi seviyeye çıkarmak için bir matematiksel model oluşturmuş ve önermiştir.

Günümüzde yük dağılımı hesabı Load Sheet denilen yükleme grafikleri kullanılarak ya da yardımcı bilgisayar yazılımları ile yapılmaktadır. Bu hesapta sadece ağırlık merkezinin güvenli bölgede olup olmadığına bakılmaktadır. Ağırlık merkezini tam istenilen noktaya taşımak için uçaklardaki yüklerin konumları tahmini olarak değiştirilerek istenilen ağırlık merkezi noktasına yaklaştırılmaya çalışılmaktadır. Bu yöntem genellikle 2-6 ya kadar yükleme bölümü olan yolcu uçaklarında kullanılabilir olsa da istenilen noktaya sifıra yakın bir hata ile yaklaşılmaz. Yine bu yöntemin sifıra yakın hata ile 15-20 farklı yükleme bölümüne sahip olan kargo uçaklarında kullanılması mümkün değildir.

Önerilen matematiksel model 2 farklı uçak yükleme senaryosuna göre test edilmiştir. Birinci senaryoda mevcut toplam yükün istenilen şekilde dağıtılabileceği düşünülmüş ve optimizasyon yöntemlerinin başarısı değerlendirilmiştir. İkinci senaryonda ise uçağa yüklenecek konteynerlerin ağırlıklarının değiştirilemeyeceği sadece konumlarının değiştirilebileceği bir durum düşünülmüş ve ilk senaryo uygulamasından elde edilen optimizasyon kazanımları ikinci senaryo için kullanılmıştır.

Çalışmada optimizasyon yöntemi olarak Genetik algoritma, Ağırlıklı süperpozisyon çekimi algoritması ve Parçacık sürü optimizasyon algoritması kullanılmıştır. Bu algoritmaların ortak özelliği sezgisel algoritmalar olmalarıdır.

Sezgisel algoritmalar herhangi bir amacı gerçekleştirmek veya hedefe varmak için çeşitli alternatif hareketlerden en etkili olana karar veren kriter veya bilgisayar ispat metotlarıdır. Bu algoritmalar çözüm kümesinde optimum çözüme yakınsamasından dolayı ispat edilemeyen algoritmalar olarak da adlandırılabilir. Bu tür algoritmalar yakınsama özelliğine sahiptir ama kesin çözümü garanti edemezler ve sadece kesin çözüm yakınındaki bir çözümü garanti ederler. Bu çalışmada istenilen index değerine ulaşmak için 3 farklı algoritma kullanılmıştır. Öncelikle genetik algoritma ile ideal kargo index' e ulaşılmaya çalışılmış fakat tamsayı olmayan kargo değerlerinde istenilen neticeye ulaşılamamıştır. Bu sorunun çözümü için Ağırlıklı süperpozisyon çekim ve Parçacık sürü optimizasyon algoritmaları denenmiştir. Fakat Ağırlıklı süperpozisyon çekim ve Parçacık sürü optimizasyon algoritmalarında sınırlayıcı koşullar olmadığı için algoritma yapısında değişiklik yapılarak ideal kargo index' ine ulaşılmıştır.

2. KAYNAK TARAMASI

Airbus, "Getting to grips with fuel economy" (2004) dokümanında CG konumunun yakıt tüketimine etkileri uçak türlerine göre verilmiştir. CG si ideal konumda olmayan bir uçuşun yakıt sarfiyatına etkileri detaylı bir şekilde bu dokümanda görülmektedir.

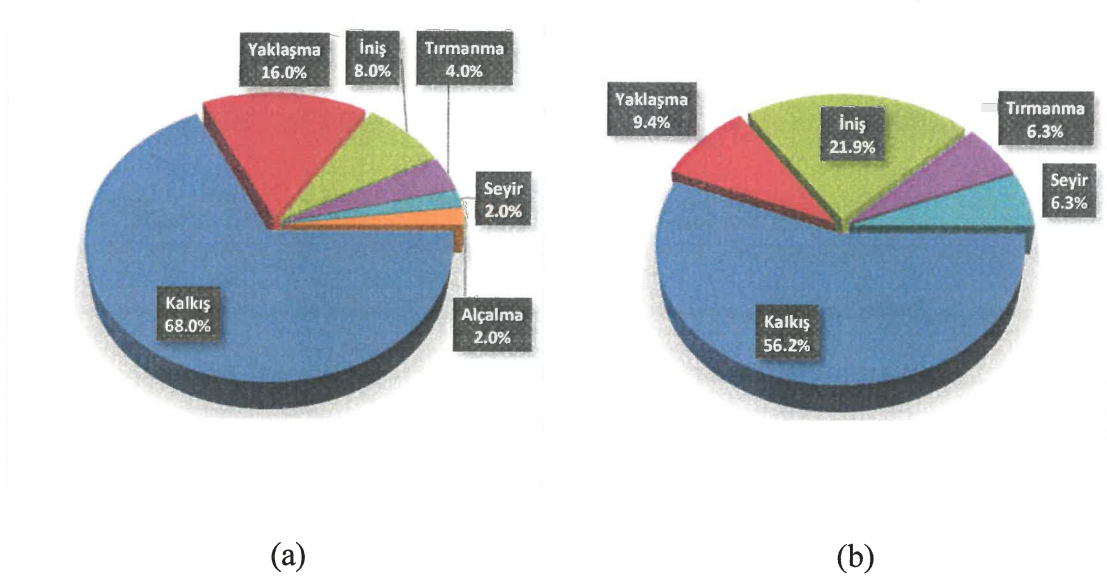
FAA, "Aircraft Weight and Balance Handbook" (2007) Dokümanında sivil havacılıkta kullanılacak W&B hesaplama metotlarını belirlemiştir.

Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü Yayınları Yayın No: HAD/T-22 (2015) yayınında Yapısal Yük Limitleri, Yükleme Prensipleri, Yük Planlama ve Yükleme, Yükleme Planı Hazırlanması, Load and Trimsheet Hazırlanması hakkındaki gereklilikler belirlenmiştir.

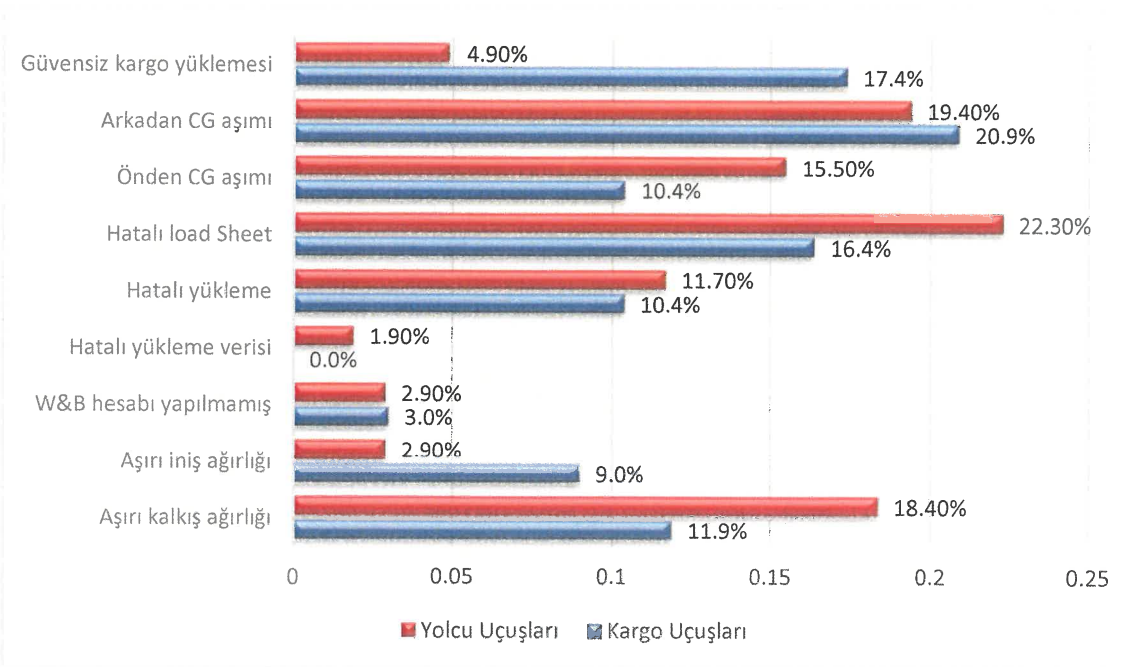
Tiago Gabriel, José M. Silva, Pedro Gamboa, Jorge Silva, José Viegas, Nuno Leal yaptıkları An Optimized Approach to Reduced Fuel Costs in the Operational Procedures of an Airline (2009), çalışmasında, uçak ağırlık merkezi konumunun yakıt tüketimini nasıl etkileyebileceğini ve uçağın yakıt tüketimini en aza indiren konumunu ve dolayısıyla havayolu maliyetlerini ve uçuş başına motor emisyonlarını incelemiştir. Yapılan çalışmada iki farklı yöntem kullanılmıştır: bir ITL (Ideal Trim Line) yöntemi ve gerçek uçuş verileri ile bir Hardy multiquadric değişkenli fonksiyon yaklaşımı. Yakıt gereksinimlerini azaltmak için yeni bir ITL önerilmiş ancak ITL optimum pozisyon uygulaması, mevcut hava yolu operasyonlarındaki kısıtlardan dolayı uygulanabilmesinin çok efektif olmadığı söylenmiştir. Gerçek uçuş verilerine dayanan Hardy multiquadric fonksiyon uygulaması, çok daha az hatayla birlikte iyi bir yaklaşım olduğunu göstermiştir. Bu yöntem, havayolu şirketinin mevcut programına alternatif olarak kullanılabileceği bir bilgisayar programına kolayca uygulanabilir olduğu söylenmiştir.

A. Paul Davies , Eberhard E. Bischo yaptıkları Weight distribution considerations in container loading (1999) çalışmasında konteynır yükleme konusundaki mevcut literatürün önemli bir dezavantajının, birçok pratik konunun dikkate alınmaması olduğundan bahsedilmiştir. Kargonun ağırlık dağılımı, büyük ölçüde göz ardı edilen bir özelliktir. Çalışmada, bu sorunun üstesinden gelmek için post-processing yaklaşımları ele almaktadır. Bu bağlamda yeni bir konteyner yükleme sezgisi ortaya atılmıştır ve mevcut çeşitli yaklaşımlara karşı değerlendirilmiştir. Önerilen prosedürün, yüksek alan kullanımını yükün eşit ağırlık dağılımı ile birleştiren yükleme düzenlemeleri üretme yeteneğine sahip olduğu görülmüştür.

National Aerospace Laboratory NLR tarafından sunulan Analysis of aircraft weight and balance related safety occurrences (2007) raporda uçaklarda yaşanan havacılık güvenlik olaylarının (safety occurrences) Weight and Balance hesaplamaları ile arasındaki ilişki incelenmiştir. Çalışmada, kargo uçuşlarında weight and balance ile ilgili kaza yapma riskinin, yolcu uçuşlarına göre 8,5 kat fazla olması bulgusuna vurgu yapılmıştır. Weight and Balance ile ilgili kazalarda etkili faktörlerin, yük tablosundaki hatalar, yükün kayması, hatalı yükleme vb. gibi durumlar olduğundan bahsedilmiştir.



Şekil 2.1. W&B ilişkili kazaların uçuş fazı dağılımı



Şekil 2.2. W&B ilişkili kazalardaki faktörlerin dağılımı (uçuş tipi başına tüm faktörlerin yüzdesi)

Şekillerden de görülebileceği üzere kargo uçaklarında (1970-2005) arasında yaşanan kazaların %31.3 de (%10.4 cg exceeded forward limit, %20.9 cg exceeded aft limit) CG noktasının etkili olduğu görülmüştür.

Felix T.S. Chan , Rajat Bhagwat , N. Kumar a, M.K. Tiwari , Philip Lam yaptıkları Development of a decision support system for air-cargo pallets loading problem: A case

study (2006) çalışmasında, aynı olmayan şekilli çok parçalı yükleme için önerilen algoritma, ACLP'yi (Air-Cargo Loading Problem) çözmek için bir DSS (Decision Support System) algoritması başarıyla geliştirilmiş ve uygulandığı görülmektedir. Algoritma, çoklu paletlerdeki boş alanların izlenmesi için bireysel paletin şeklini göz önüne alarak yeni bir yaklaşıma katkıda bulunur. Ayrıca, kargo kutularının sıralanması için bir yeni öncelik yaklaşımı daha tanımlanmıştır. Önerilen sistem yalnızca belirli bir kargo kutusunu yüklemek için geliştirilmiş palet seçimini sağlamakla kalmaz, aynı zamanda her palet için yükleme planını oluşturur. Çalışmada dağıtılan yüklerin CG ye etkisiyle ilgili bir değerlendirme yapılmamıştır.

Adil Baykasoglu , Şener Akpınar Weighted Superposition Attraction (WSA): A swarm intelligence algorithm for optimization problems (2017) çalışmasında birçok sistemde gözlemlenebilen “üst üste binme” ve “ajanların çektiği hareketler” olmak üzere iki temel mekanizmaya dayanan Ağırlıklı Süper pozisyon Çekim (WSA) adında yeni bir sürü tabanlı arama algoritması tanıtılmıştır.

James Kennedy ve Russell Eberhart Particle Swarm Optimization (1995) çalışmalarında doğrusal olmayan fonksiyonlarla çalışan parçacık sürüsü metodolojisinin optimizasyonu için bir konsept geliştirdi. Parçacık sürüsü optimizasyonu ile yapay yaşam ve genetik algoritmalar arasındaki ilişkiler açıklanmıştır.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Yük ve Denge (Weight and Balance)

W&B Hesabı Sivil havacılık kurumları tarafından zorunlu kılınan ve bir uçuş operasyonundaki yük limitlerinin ve uçağa ekli yüklerin uçağın genelinde oluşturduğu ağırlık merkezi değişiminin hesaplamalarının bütünüdür. Bu hesaplama sunularının uçuş güvenliği için ilgili uçağın AHM dokümanında belirlenmiş limitler içerisinde olması gerekmektedir.

Bu hesaplamanın ikinci bir önemi ise operasyondaki yakıt etkisidir. Sonuçlar AHM dokümanlarındaki limitler içerisinde olsa dahi uçaktaki yük miktarını değiştirmeden uçağın sadece ağırlık merkezi konumunda değişiklik yaparak yakıt kazancı sağlamak mümkündür.

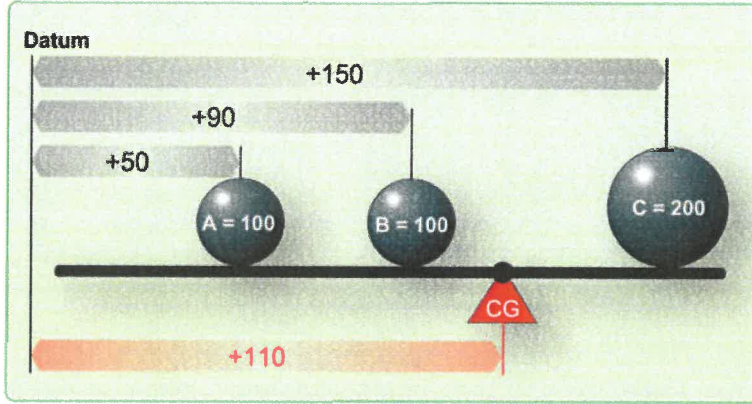
3.1.1. Terminoloji

Ağırlık merkezi (Center of Gravity CG): Bir uçağın ağırlık merkezi (CG), uçağın üzerinde dengeleneceği noktadır. CG'nin konumu, uçağı en az iki tartı terazisi veya yük hücresi kümesi üzerinde destekledikten sonra her bir terazi veya yük hücresi kümesinin ağırlığı dikkate alınarak hesaplanır. Ağırlık merkezi uçağın dengesini etkiler. Uçağın kolayca uçabilmesini sağlamak için ağırlık merkezinin uçak üreticisinin belirlediği sınırlar dâhilinde olması gerekir. Ağırlık merkezi sınırları, uçak uçuş kılavuzunda belirtilen uçağın yüksüz ağırlık merkezinin boyuna (ileri ve geri) ve / veya yan (sol ve sağ) sınırları içerisinde olarak belirlenmiştir. CG sınırları uçak uçuş kılavuzunda belirtilmiştir. Limitler arasındaki alana uçağın CG aralığı denir.

Index (Moment index): Her bir bileşenin ağırlığının kolu ile çarpılmasıyla belirlenen momentler, hesaplanması zordur ve birçok matematiksel hataya neden olabilirler. Bu büyük sayıları ortadan kaldırmak için moment indeksleri kullanılır. Moment indeksini elde etmek için moment, 100 veya 1.000 gibi bir azaltma faktörü ile bölünür. Yükleme grafiği, matematiksel hesaplamaları önlemek için her bileşen için moment indeksini gösterir. CG zarfında kollar ve momentler yerine moment indeksleri kullanılır.

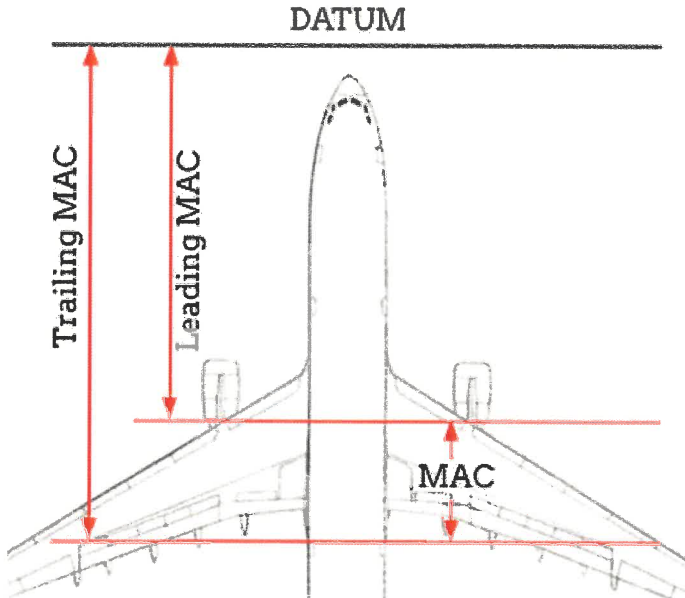
Index influence: Uçaktaki belli bir konum için hesaplanmış 1 birim (kg ya da lb) yükün uçağın genelinde oluşturduğu index değişikliğidir.

Referans datum: Referans datum noktası, uçaktaki herhangi bir yük konumuna doğru ve düzgün ölçümler yapılabilen belirlenmiş bir konumdur. Konumu için sabit bir kural yoktur ve uçağın burnunun önüne yerleştirilebilir. Referans verilerinin yeri üretici tarafından belirlenir ve AHM de tanımlanır. Yatay referans verileri, yük noktalarının referans datum noktasına olan mesafeleridir.



Şekil 3.1. Referans datum

Mean aerodynamic chord (MAC): MAC konik bir kanadın belirli bir kiriş hattıdır. MAC, kanatların herhangi bir noktasındaki basıncı, aerodinamik kuvvet merkezi olarak, bir kiriş üzerinde tanımlamamızı sağlar. MAC, verilen koşullarda eşdeğer bir dikdörtgen kanadın genişliğini temsil eder. Bazı uçaklarda ağırlık merkezi, MAC uzunluğunun yüzdesi olarak ifade edilir. Böyle bir hesaplama yapmak için trailing MAC (TeMAC) önceden bilinmelidir. MAC referans noktasına bir mesafe olarak tanımlanmıştır ve uçağın AHM dokümanında ve ayrıca uçağın tip sertifikası veri sayfasında bulunur. Genel bir MAC verilmez ancak bir Leading MAC (LeMAC) ön kenar ortalama aerodinamik kiriş ve bir TeMAC arka kenar ortalama aerodinamik kiriş verirse (her ikisi de datum çizgisinden ölçülen bir kol olarak belirtilir) MAC, LeMAC ile TeMAC arasındaki fark bulunarak Şekil 3.2’de gösterildiği gibi hesaplanabilir.



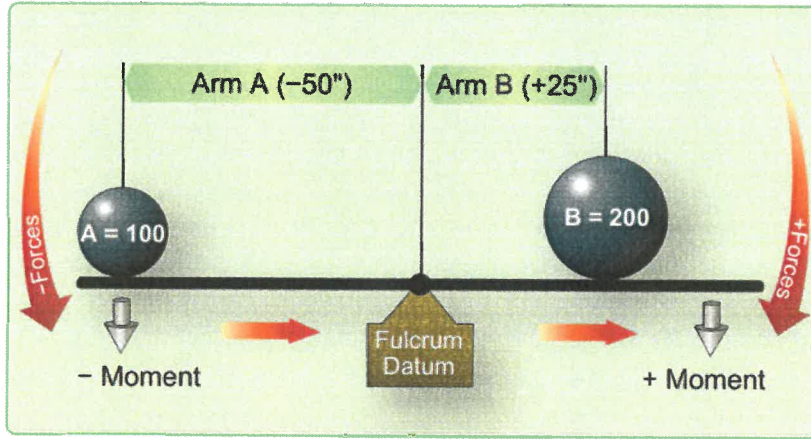
Şekil 3.2. Mean aerodynamic chord (MAC)

%MAC (Percent MAC): Uçağın CG konumunun MAC uzunluğuna oranıdır. Eşitlik (3-1)'deki gibi hesaplanır.

$$\%MAC = \frac{(CG - LEMAC) * 100}{MAC} \quad (3-1)$$

3.1.2. Weight and balance hesaplaması

W&B hesabı en temel moment prensibi olan $Yük \times Yük \text{ Kolu} = Kuvvet \times Kuvvet \text{ Kolu}$ prensibine dayanır.



Şekil 3.3. Yüklerin oluşturduğu moment

- Uçaktaki tüm yükler ve yük kolları belirlenir.
- Momentleri hesaplamak için tüm yükler yük kolu mesafesi ile çarpılır.
- Tüm yük momentleri toplanır.
- Toplam yük kolu uçağın toplam kütesine bölünür.

Uçak ağırlık merkezi hesaplamaları, sadece uçağın boylamasına eksenini temsil eden boyutta yapılır. Diğer eksenlerde ağırlık merkezine dair herhangi bir hesaplama yapılmaz.

Uçaktaki sabit parçaların (yani motorlar, kanatlar, elektronik bileşenler) ağırlık, moment ve kol değerleri değişmez ve uçak donanımı listesinde üretici tarafından sağlanır. Üretici aynı zamanda yakıt yükü momentlerinin hesaplanmasını kolaylaştıracak bilgiler sağlar. Çıkarılabilir ağırlık öğeleri (mürettebat üyeleri, yolcular, bagajlar), uçak operatörü tarafından ağırlık ve CG hesaplamasında uygun şekilde hesaba katılmalıdır.

Çalışmada kullanılan A330 uçağı için üretici tarafından belirlenmiş Moment Index formülü (3-2)'deki gibidir. Birimi yoktur.

$$Index\ influence = \frac{W \times (Station - Ref.Sta)}{C} + K \quad (3-2)$$

A330 uçağı için AHM dokümanında kokpit için verilen değerler Çizelge 3.1'deki gibidir.

Çizelge 3.1. Örnek A330 Ekip konum ve index bilgileri

Maximum number of cockpit seats	Length of arm from Reference station. Meter(s)	Index influence per 1 kg
1.&2. Seats	-24.2836	-0.00971
3. Seats	-23.3556	-0.00934
4. Seats	-23.3056	-0.00930

Çizelge 3.1'de verilen Length of arm from reference station değerleri (Station-Ref.Sta) hesaplanmış yük kolu mesafesidir. Buradan yola çıkarak kokpit içerisindeki 1. ve 2. koltuklarındaki 1 kilogramın uçağın genelinde oluşturduğu index değişikliği (3-3)'deki gibi hesaplanmıştır.

$$Index\ Influence = \frac{1 \times (-24.2836)}{2500} = -0.00971344 \quad (3-3)$$

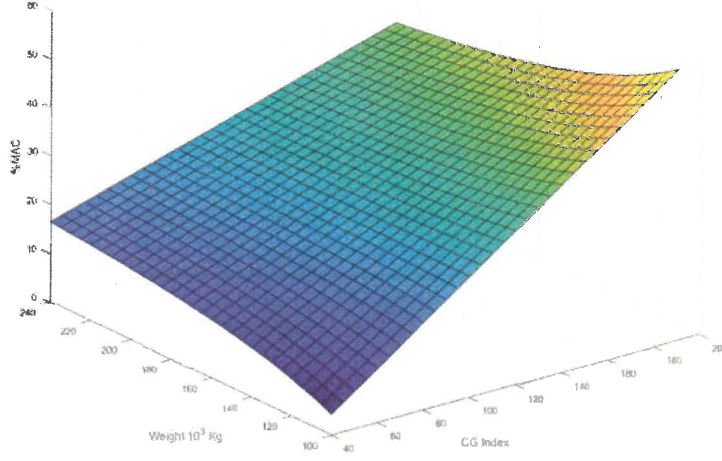
Burada index değişikliği hesaplandığı için K sabiti kullanılmamıştır. K sabiti uçağın envelop grafiğini pozitif eksene kaydırmak için kullanılan bir değerdir. Uçağın her birimindeki 1 kg yükün uçağın genelinde oluşturduğu index değişikliği, ilgili uçağın AHM dokümanında belirtilir. Hesaplamalarda moment yerine bu değerlerler kullanılarak hesaplama daha pratik hale getirilir.

3.1.3. CG %MAC ilişkisi

% MAC, Ortalama Aerodinamik Kiriş uzunluğu üzerinde ağırlık merkezinin kanat üzerinde nerede olduğunu yüzdesel olarak gösteren matematiksel bir hesaplamadır. Hesaplama formülü genel olarak farklı uçaklarda benzerlik gösterir, sadece sabitler farklıdır. %MAC (3-4)'deki Formül ile Hesaplanır.

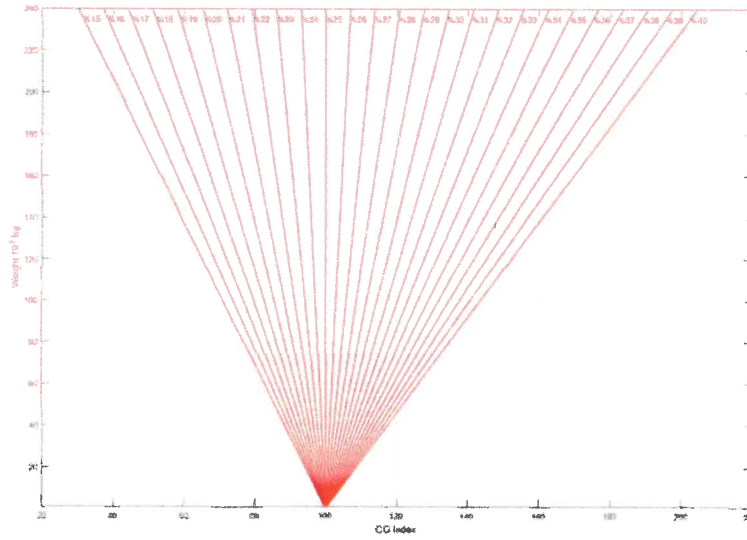
$$\%MAC = \frac{\frac{Cx(I - K)}{W} + Ref.Sta - LeMAC}{\frac{MAC}{100}} \quad (3-4)$$

Bu çalışmada kullanılacak olan A330 uçağı için sabitler MAC, LeMAC ve C,K, Ref.Sta ve diğer değişkenler %MAC, I, W yerlerine yazıldığı zaman %MAC, Index(I) ve Ağırlık(W) arasındaki ilişki Şekil 3.4'deki gibi olacaktır.

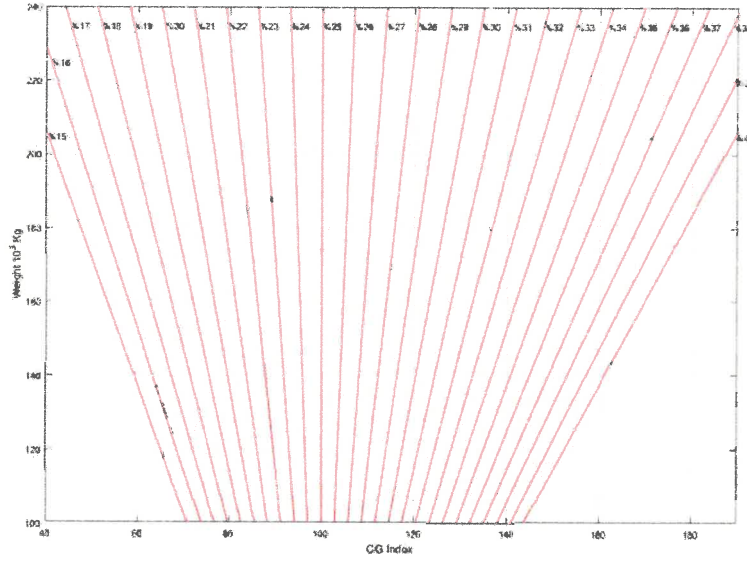


Şekil 3.4. CG MAC ilişkisinin üç boyutlu gösterimi

Şekil 3.4 iki boyutlu düzlemde gösterilirse Şekil 3.5 ve ardından eksen limitlerini operasyonel kullanılabilir limitlerle sınırlandırılır ise Şekil 3.6'deki grafik elde edilebilir.



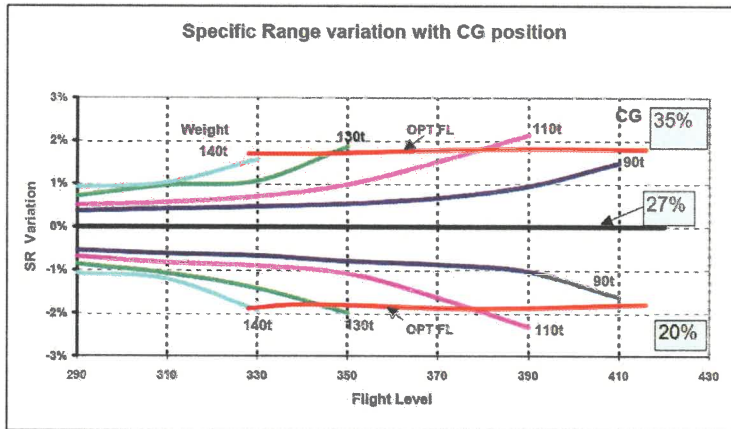
Şekil 3.5. CG MAC ilişkisi



Şekil 3.6. Operasyonel limitlerle sınırlanmış CG MAC ilişkisi

3.1.4. Ağırlık merkezinin (CG) yakıt tüketimine etkisi

Şekil 3.7, % 27'lik bir orta CG pozisyonu ile %20 ileri, % 35 geri CG pozisyonu için SR(specific range) yani kg başına nautical miles cinsinden ifade edilen yakıt tüketimindeki değişimi göstermektedir (Airbus Customer Services 2004).



Şekil 3.7. CG pozisyonunun yakıt tüketimine etkisi

Şekil 3.7 A310-203 tipi uçaklar için Airbus Fuel Economy dokümanından alınmıştır. CG'nin kış taraf olması durumunda yakıt tüketimi olarak daha avantajlı olacağını anlatır. Ayrıca Şekil 3.7 de kırmızı çizgi ile gösterilen optimum irtifa çizgileri

de gösterilmektedir. CG bu çizgiler arasında kaldığında yakıt tüketimine etkisi, 140t, 130t ve 110t sabit uçak ağırlığında gösterilmektedir. Benzer özelliklerdeki uçaklar için (A320 ailesi hariç) CG'nin yakıt tüketimine etkisi Çizelge 3.2'de gösterilmektedir (Airbus Costumer Services 2004).

Çizelge 3.2. Airbus A300 serisi uçakların Ön ve Arka CG için SR SR değerleri

Aircraft Type	Aft CG (35-37%)	Fwd CG (20%)
A300	+1.7%	-0.9%
A310	+1.8%	-1.8%
A330	+0.5%	-1.3%
A340	+0.6%	-0.9%

Şekil 3.7'de A310-203 tipi uçaklar için olan grafik ve Çizelge 3.2'de referans alınarak; A300 / A310 için CG referans %27 ve arka CG %35, A330 / A340 için CG referans %28 ve arka CG %37 olduğu Airbus'ın fuel economy kitapçığından bulunur.

Maksimum irtifada yakıt tüketimi %1' e kadar artmaktadır. Bununla birlikte, maksimum irtifada, Çizelge 3.2'de verilen yakıt tüketimindeki değişiklik %1'e kadar daha büyüktür ve SR'nin (specific range) optimum noktadan aşağı olmasının (%27' den aşağı) yakıt tüketimine olumlu bir etkisi yoktur (Airbus Costumer Services 2004).

3.2. Kargo Yük Dağılımı

Bir uçağın ağırlık merkezi (CG), uçağın dengeleneceği noktadır. Büyük uçaklar için CG noktası iki nedenle önemlidir. Birincisi güvenlik nedeniyledir. Uçak hem yerdeyken hem de havadayken CG noktasının konumunun belirlenmiş olması ve bu noktanın dayanak noktaları arasında olması gerekmektedir. İkinci olarak CG noktası güvenli bölgede olsa bile yakıt tasarrufu ve performans katkısı nedeniyle önceden belirlenmiş kesin bir noktada olması istenmektedir. Böylece maksimum yakıt tasarrufu ve uçuş güvenliği sağlanmış olur. İncelediğimiz Airbus A330 tipi kargo uçağının belirlenmiş İdeal %MAC değeri Şekil 3.7 ve Çizelge 3.2 referans alınırca MAC %28 e denk gelmektedir.

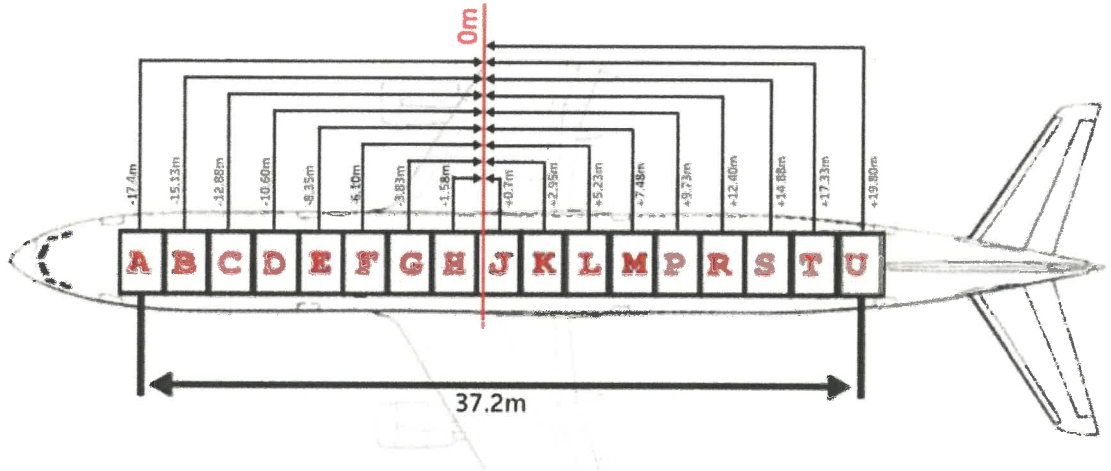
Günümüzde yük dağılımı hesabı Load Sheet denilen yükleme grafikleri kullanılarak ya da yardımcı bilgisayar yazılımları ile yapılmaktadır. Bu hesapta sadece CG'nin güvenli bölgede olup olmadığına bakılmaktadır. CG'yi tam istenilen noktaya taşımak için uçaklardaki yüklerin konumları tahmini olarak değiştirilerek istenilen CG noktasına yaklaştırılmaya çalışılmaktadır. Bu yöntem genellikle 2-6 ya kadar yükleme bölümü olan yolcu uçaklarında kullanılabilir olsa da istenilen noktaya sifıra yakın bir hata ile yaklaşılmaz. Yine bu yöntemin sifıra yakın hata ile 15-20 farklı yükleme bölümüne sahip olan kargo uçaklarında kullanılması mümkün değildir.

Her bir uçak için üreticisi tarafından oluşturulmuş ve sonrasında kullanım şartlarına göre özelleştirilmiş bir AHM (Aircraft Handling Manual) doküman bulunmaktadır. Yük dağılımı hesaplarında kullanılması gereken tüm parametreler ve sabitler bu dokümandan temin edilir.

Kargo uçaklarındaki yük dağılımı iki farklı duruma göre yapılabilir. Birincisi kargo yükünün henüz konteynerlere yüklenmediği veya konteynerler arasında yük transferinin problem olmayacağı durumlarda kullanılabilir, toplam yükün ve kullanılacak kargo bölümlerinin belli olduğu durumdur. İkincisi ise konteynerlerin yüklü olduğu ve aralarında yük transferinin mümkün olmadığı durumdur.

3.2.1. Serbest yük dağıtımı

Bu senaryoda kargo için dağıtılacak toplam yük bellidir, konteyner tipinin ya da konumunun fazla bir önemi yoktur. Önemli olan hangi bölümde ne kadar ağırlık olduğudur. Toplam yük önceden belirlenmiş bölümlere serbest bir şekilde dağıtılabilir. Burada dikkat edilecek iki nokta vardır. Birincisi dağıtılan yük toplam yükten fazla ya da eksik olamaz. İkincisi ise herhangi bir kargo bölümüne yüklenecek ağırlık o bölümün maksimum kapasitesinden fazla olamaz.



Şekil 3.8. Kargo yükleme konumlarının uçak üzerinde gösterimi

Şekil 3.8 de çalışmada kullanılan A330 tipi kargo uçağının bölümleri harfler ile ifade edilmiştir. AHM dokümanından alınan aşağıdaki Çizelge 3.3 ise her kargo bölümü için maksimum yük kapasitesi ve içerisindeki her bir kilogram için index influence değişim miktarı verilmiştir.

Çizelge 3.3. SINGLE ROW 88" x 125" konum ve index değerleri

Kargo Bölümü		Station-Ref.Sta (m)	Maksimum Kapasite (Kg)	1 kg için index influence
K1	A	-17.400	2826	-0.00696
K2	B	-15.125	3123	-0.00605
K3	C	-12.875	3391	-0.00515
K4	D	-10.600	3391	-0.00424
K5	E	-8.350	4687	-0.00334
K6	F	-6.100	6033	-0.00244
K7	G	-3.825	6033	-0.00153
K8	H	-1.575	6033	-0.00063
K9	J	0.700	6033	0.00028
K10	K	2.950	5945	0.00118
K11	L	5.225	4037	0.00209
K12	M	7.475	4037	0.00299
K13	P	9.725	3725	0.00389
K14	R	12.400	3714	0.00496
K15	S	14.875	3714	0.00595
K16	T	17.325	3059	0.00693
K17	U	19.800	2541	0.00792

Bu şartlarda her bir bölümün yüklenen ağırlığı L_n , her bir bölümün birim index influence'i I_n , maksimum kapasitesi M_n ile ifade edersek ve maksimum kargo kapasitesine CM , yüklenen ağırlığa CL dersek, kargo index (CI) hesaplama formülü (3-5)'deki gibi olacaktır.

$$CI = \sum_{n=1}^{17} L_n * I_n \quad (3-5)$$

Bu şartlarda denklem (3-6) uçağa yüklenen yükün uçağın maksimum yük kapasitesinden fazla olamayacağını, eşitlik (3-7) uçağın herhangi kargo birimine yüklenen yükün o birimin maksimum kapasitesinden fazla olamayacağını göstermektedir.

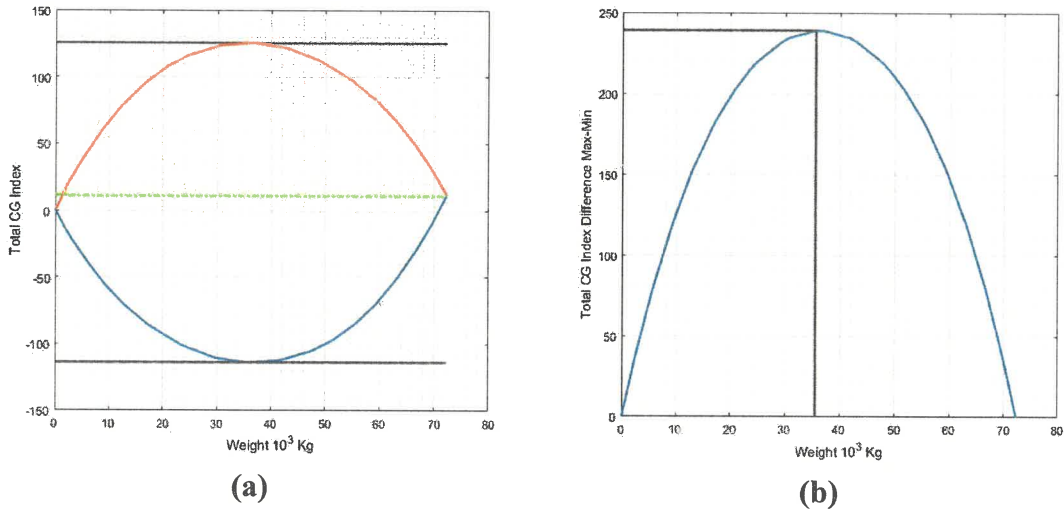
$$\sum_{n=1}^{17} M_n \geq \sum_{n=1}^{17} L_n \quad (3-6)$$

$$CM \geq CL$$

$$M_n \geq L_n \quad (3-7)$$

Bu da birinci dereceden 17 bilinmeyenli bir denklem ve iki ayrı sınırlayıcı fonksiyon demektir. Şekil 3.9'da A330 uçağı için dağıtılacak yükün CI değerinin

maksimum olacak şekilde dağıtılması durumunda (kırmızı çizgi) ya da dağıtılacak yükün CI değerinin minimum olacak şekilde dağıtılması durumunda (mavi çizgi) oluşan grafik çizilmiştir. Grafikte maksimum ağırlıkta elde edilebilecek CI değerleri (yeşil çizgi:11.73) aynı olmasına rağmen, ara ağırlıklarda maksimum ve minimum arasındaki fark artmaktadır. İncelediğimiz A330 uçağı için bu fark Şekil 3.1 da gösterildiği gibi; 35518 kg' da 238.99 (max:125.18, min:-113.81) birime ulaşmaktadır. Bu fark bize 35518 kg kargo yükü için, uçağın CI sini +125.18 ile -113.81 birim arasında değiştirme imkanı vermektedir. Kargo yükünün daha fazla ya da daha az olduğu durumlarda bu esneklik azalmaktadır.



Şekil 3.9. a) CG index maksimum ve minimum olacak şekilde yükleme durumu; b) Maksimum ve minimum yüklemede oluşan fark

3.2.2. Konteyner dağılımı

Bu senaryoda uçağı yüklenecek yükün konteynerler ile geldiği ve aralarında yük transferinin operasyonel nedenlerle mümkün olmadığı düşünülmektedir. Bu durumda uçağı yüklenecek konteyner sayısı, her birinin tipi, her birinin ağırlığı bilinir. Buradaki problem hangi konteynerin hangi kargo bölüme konulacağıdır. Burada dikkat edilecek noktalar şunlardır.

- Kargo bölümlerine yüklenebilecek konteyner tipleri belirlenmiştir. Her konteyner kendi tipine uygun bir kargo bölümüne yüklenebilir.
- İleride bahsedileceği üzere uçakta kullanılan bir kargo bölümü AHM dokümanında görünen kendisiyle ilişkili başka bölümleri kullanılamaz kılar. Konteynerler çakışan bölümlere yüklenemezler.

İncelediğimiz Airbus A330 tipi kargo uçağı için farklı bölümlerden oluşan 4 farklı yükleme seçeneği belirlenmiştir. Bu seçeneklerden sadece birinin kullanılacağı gibi birbirini etkilemediği sürece yükleme tiplerinin kombinasyonları da kullanılabilir.

AHM Dokümanında kullanılan konteynerler ve bölümler aşağıdaki koşullarla belirlenmiştir.

Konteynerler

- PAG 88"x125" boyutlarında 10m³ hacminde palet
- PMC 96"x125" boyutlarında 10.9m³ hacminde palet

Yükleme bölümleri

- **SINGLE ROW 88" x 125"** 17 Bölümden (A,B,C,D,E,F,G,H,J,K,L,M,P,R,S,T,U) oluşan PAG tipi konteynerlerin uzun kenar doğrultusunda yan yana tek sıra halinde yerleştirildiği yükleme şeklidir.
- **SINGLE ROW 96" x 125"** 16 Bölümden (AA,BB,CC,DD,EE,FF,GG,HH,JJ,KK,LL,MM,PP,RR,SS,TT) oluşan PMC tipi konteynerlerin uzun kenar doğrultusunda yan yana tek sıra halinde yerleştirildiği yükleme şeklidir.
- **SINGLE ROW 125" x 96"** 9 Bölümden (AB,BC,CE,EF,FH,HJ,JK,KM,MP) oluşan PMC ve PAG tipi konteynerlerin kısa kenar doğrultusunda yan yana tek sıra halinde yerleştirildiği yükleme şeklidir.
- **SIDE BY SIDE 125" x 96", 25" x 96", 10X2** Bölümden (ABR,BCR,CER,EFR,FHR,HJR,JKR,KMR,MPR,PRR,ABL,BCL,CEL,EFL,FHL,HJL,JKL,KML,MPL,PRL) oluşan PMC ve PAG tipi konteynerlerin uzun kenardan yan yana getirilerek, kısa kenar doğrultusunda 2'li sıra halinde yerleştirildiği yükleme şeklidir.

Çizelge 3.4. A330 Kargo alan konumları ve Index influence değerleri

ZONE	START (m)	END (m)	CENTER (m)	INDEX	ZONE	START (m)	END (m)	CENTER (m)	INDEX
A	-18.52	-16.28	-17.4	-0.007	AA	-18.52	-16.08	-17.3	-0.007
B	-16.24	-14.01	-15.13	-0.006	BB	-16.04	-13.61	-14.83	-0.006
C	-13.99	-11.76	-12.88	-0.005	CC	-13.59	-11.16	-12.38	-0.005
D	-11.72	-9.48	-10.6	-0.004	DD	-11.12	-8.68	-9.9	-0.004
E	-9.47	-7.23	-8.35	-0.003	EE	-8.64	-6.21	-7.43	-0.003
F	-7.22	-4.98	-6.1	-0.002	FF	-6.19	-3.76	-4.98	-0.002
G	-4.94	-2.71	-3.82	-0.002	GG	-3.72	-1.28	-2.5	-0.001
H	-2.69	-0.46	-1.58	-0.001	HH	-1.27	1.17	-0.05	-0
J	-0.42	1.82	0.7	0	JJ	1.21	3.64	2.43	0.001
K	1.83	4.07	2.95	0.001	KK	3.68	6.12	4.9	0.002
L	4.11	6.34	5.23	0.002	LL	6.16	8.59	7.38	0.003
M	6.36	8.59	7.48	0.003	MM	8.61	11.04	9.83	0.004
P	8.61	10.84	9.73	0.004	PP	11.08	13.52	12.3	0.005
R	11.28	13.52	12.4	0.005	RR	13.56	15.99	14.78	0.006
S	13.76	15.99	14.88	0.006	SS	16.01	18.44	17.23	0.007
T	16.21	18.44	17.33	0.007	TT	18.48	20.92	19.7	0.008
U	18.68	20.92	19.8	0.008	ABR/ABL	-18.51	-15.34	-16.93	-0.007
AB	-18.51	-15.34	-16.93	-0.007	BCR/BCL	-15.31	-12.14	-13.73	-0.005
BC	-15.31	-12.14	-13.73	-0.005	CER/CEL	-12.11	-8.94	-10.53	-0.004
CE	-12.11	-8.94	-10.53	-0.004	EFR/EFL	-8.91	-5.74	-7.32	-0.003
EF	-8.91	-5.74	-7.32	-0.003	FHR/FHL	-5.71	-2.54	-4.13	-0.002
FH	-5.71	-2.54	-4.13	-0.002	HJR/HJL	-2.51	0.66	-0.92	-0
HJ	-2.51	0.66	-0.92	-0	JKR/JKL	0.69	3.86	2.28	0.001
JK	0.69	3.86	2.28	0.001	KMR/KML	3.89	7.06	5.48	0.002
KM	3.89	7.06	5.48	0.002	MPR/MPL	7.11	10.29	8.7	0.003
MP	7.11	10.29	8.7	0.003	PRR/PRL	10.34	13.51	11.93	0.005

Yükleme alanlarının çakışması

Bahsi geçen bu 4 farklı yüklemeye tipinden herhangi biri tek başına kullanılabilirdiği gibi birbirinin kombinasyonu şeklinde de kullanılabilir. Burada dikkat edilmesi gereken konu yüklemeye alanlarının çakışmaması gerektirir. Çizelge 3.4’de her bir alanın 0 noktasına göre başlangıç ve bitiş konumu verilmiştir. Örneğin BB alanını incelediğimizde çizelgeye göre başlangıç konumunun -16.04m de bitiş konumunun -13.61m de olduğu görülmektedir. Bu şartlarda BB alanına bir yük yerleştirildiğinde uçağın 0 noktasına göre -16.04m ile -13.61m arasında kalan bölümü başka bir yük tarafından kullanılmaz demektir. Bu nedenle başlangıç ve bitiş noktası arasındaki alanın herhangi bir bölümü BB alanı ile çakışan alanlar BB ile aynı anda kullanılmazlar.

3.2.3. İdeal kargo indexinin belirlenmesi

İdea kargo indexi uçağın CG indexinin ideal konumda olması için kargo dağılımı sonucunda elde edilmesi gereken kargo indexidir. Airbus’ın fuel ekonomi dokümanında A330 tipi uçaklar için belirlenmiş olan ideal %MAC değerli %28 olarak belirlenmiştir. Buradan yola çıkarak önce İdeal CG index bulunabilir buradan da elde edilmek istenilen ideal kargo indexi hesaplanabilmektedir.

Dry Operating Weight (DOW): Uçak için belirlenmiş boş operasyon ağırlığıdır.

Dry Operating Index (DOI): Uçak için belirlenmiş boş operasyon Index değeridir.

Fuel Weight (FW): Uçakta yüklü toplam yakıt ağırlığıdır.

Fuel Index (FI): Uçakta yüklü toplam yakıt ağırlığına karşılık gelen Index değeridir.

Crew Weight (CrW): Uçakta bulunan toplam ekip ağırlığıdır.

Crew Index (CrI): Uçakta bulunan toplam ekip ağırlığına karşılık gelen Index değeridir.

Cargo Weight (CW): Uçağa yüklenen toplam kargo ağırlığıdır.

Cargo Index (CI): Uçağa yüklenen toplam kargonun yerleştirilmesi sonucunda elde edilen index değeridir.

Operasyon Weight (W): Uçaktaki her birimdeki ağırlıkların toplamı olan toplam operasyon ağırlığıdır.

CG Index (ICG): Uçaktaki her birimin indexlerinin toplanması ile elde edilen ve uçağın ağırlık merkezinin envelop üzerindeki konumunu gösteren toplam index değeridir.

İdeal %MAC (%MAC_{OPT}): Uçağın maksimum yakıt tasarrufu için üreticisi tarafından belirlenen %MAC değeridir.

İdeal CG Index (I_{OPTCG}): İdeal %MAC değerini elde edebilmek için gerekli CG Index değeridir.

İdeal Cargo indexi (CI_{OPT}): İdeal CG Indexini elde edebilmek için gerekli Cargo Index değeridir.

ICG ve %MAC arasındaki ilişki önceki bölümde denklem (3-8) ile verilmiştir. Buradan yola çıkarak İdeal %MAC için gerekli I_{OPTCG} aşağıdaki denklem ile elde edilebilir.

$$I_{OPTCG} = \left(\frac{\%MAC_{opt} * MAC}{100} + LeMAC - Ref.Sta \right) * \frac{W}{C} + K \quad (3-8)$$

Maksimum yakıt tasarrufu için gerekli Cargo indexi formül (3-9) ile hesaplanabilir.

$$CI_{OPT} = I_{OPTCG} - (DOI + FI + CrI) \quad (3-9)$$

3.2.4. Optimizasyon algoritmaları ile kargo yükü dağılımı

Bir fonksiyonun belirli sınırlamaları sağlayacak şekilde bilinmeyen parametrelerinin belirlenmesi işlemi optimizasyon olarak adlandırılır. Optimizasyon algoritmaları genellikle bir fonksiyonu maksimize ya da minimize yapacak şekilde algoritma adımlarına sahiptir. Bu çalışmadaki amaç kargo index fonksiyonun maksimize ya da minimize edilmesi değil, istenilen değere yaklaştırılmasıdır. Bu nedenle literatürdeki W&B hesaplama algoritmasındaki kargo index hesaplama fonksiyonu, minimizasyon algoritmasında kullanılabilir şekilde değiştirilmelidir. Burada ulaşmak istenilen index değerine (Target index) TI dersek denklem (3-10) deki formül F(x) fonksiyonu sıfıra yaklaşacak şekilde optimizasyon yapılacaktır.

$$F(x) = |TI - CI| = \left| TI - \left(\sum_{n=1}^{17} L_n * I_n \right) \right| \quad (3-10)$$

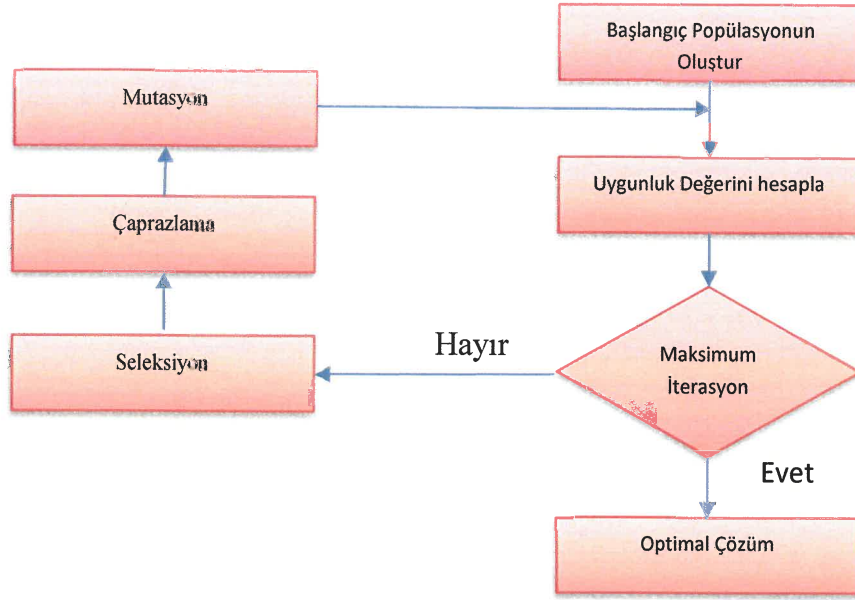
3.3. Sezgisel Algoritmalar

3.3.1. Genetik algoritma

Genetik algoritmalar, doğada gözlemlenen evrimsel sürece benzer bir şekilde çalışan arama ve eniyileme yöntemidir. Karmaşık çok boyutlu arama uzayında en iyinin hayatta kalması ilkesine göre bütünsel en iyi çözümü arar (Karaboğa 2018).

Genetik algoritmalar problemlere tek bir çözüm üretmek yerine farklı çözümlerden oluşan bir çözüm kümesi üretir. Böylelikle, arama uzayında aynı anda birçok nokta değerlendirilmekte ve sonuçta bütünsel çözüme ulaşma olasılığı yükselmektedir. Çözüm kümesindeki çözümler birbirinden tamamen bağımsızdır. Her biri çok boyutlu uzay üzerinde bir vektördür (Karaboğa 2018).

Genetik algoritmalar problemlerin çözümü için evrimsel süreci bilgisayar ortamında taklit ederler. Diğer eniyileme yöntemlerinde olduğu gibi çözüm için tek bir yapının geliştirilmesi yerine, böyle yapılardan meydana gelen bir küme oluştururlar. Problem için olası pek çok çözümü temsil eden bu küme genetik algoritma terminolojisinde nüfus adını alır. Nüfuslar vektör, kromozom veya birey adı verilen sayı dizilerinden oluşur. Birey içindeki her bir elemana gen adı verilir. Nüfustaki bireyler evrimsel süreç içinde genetik algoritma işlemcileri tarafından belirlenirler (Karaboğa 2018).



Şekil 3.10. GA algoritması

Genetik algoritmada kullanılan kavramlar, biyolojideki evrim teorisine benzer anlamda kullanılmaktadır. Doğal yaşamda popülasyonlar bireylerin bir arada bulunmasıyla oluşmaktadır. GA algoritması için oluşturulan popülasyon da çok sayıda bireyin bir araya gelmesiyle, başka bir deyişle çok sayıda olası çözüm adaylarının bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. Aday çözümler, probleme uygun şekilde kodlanmış diziler halinde tutulurlar. Bu diziyi oluşturan her bir elemana birey denir ve her bir birey arama uzayında belirli bir bölgeyi temsil eder (Karaboğa 2018).

Genetik algoritmada başlangıç bireyleri genellikle rastgele olarak üretilirler fakat bu bir zorunluluk değildir. Özellikle çok kısıtlı optimizasyon problemlerinde, başlangıç bireylerini oluşturmak için, tanımlanan kısıtlamaların bir kısmına dikkat edilerek daha iyi adaylar oluşturulabilir. Bireylerin, uygunluk fonksiyonu işlemine tabi tutulması sonucunda, çözümün optimal çözüme ne kadar yaklaştığını değerlendiren uygunluk değeri belirlenir. Başlangıç popülasyonu oluşturulmuş genetik algoritma üç evrim operatörüyle çalışır. Bunlar; seçim, çaprazlama ve mutasyon operatörleridir. Genel olarak bu operatörlerin her biri, yeni nesilde oluşacak olan popülasyonun her bireyine uygulanır (Karaboğa 2018).

Seçim işlemi, popülasyondaki bireyleri uygunluk değerlerine bağlı olarak, yeni bireyleri oluşturmak için, ebeveyn birey seçmesi işlemidir. Çaprazlama operatörü, seçim işleminden sonra uygulanır ve ebeveyn bireylere ait kromozomların belirli kısımlarının karşılıklı yer değiştirmesini ve böylece yeni özellikte bireylerin oluşmasını ifade eder. Mutasyon işlemi ise yeni oluşan bireyin kromozomlarından herhangi birinin içindeki bir geni mutasyon olasılığına bağlı olarak değiştirme işlemidir (Karaboğa 2018).

Genetik algoritma işlemini sonlandırmak için çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemler; algoritmanın çalışması esnasında istenen çözüm bulunduğunda, GA'nın başlangıcında tanımlanan toplam iterasyon sayısına ulaşıldığında veya uygunluk değeri sürekli olarak sabit kaldığında, bulunan en iyi bireyin temsil ettiği çözüm, problem için bulunmuş en uygun çözüm olarak sunulur (Karaboğa 2018).

Başlangıç popülasyonun oluşturulması: Belirli kriterlere göre rastgele bireylerden oluşan bir popülasyon oluşturulur. Popülasyondaki bireylerin sayısı az seçildiğinde daha hızlı sonuç elde edilebilir ancak algoritmanın sonuca ulaşma şansı düşer. Birey sayısının çok fazla olması ise çözümün doğruluğunu artırır ancak algoritmanın adımları daha uzun sürer.

Çaprazlama: Çaprazlama, genetik algoritmanın önemli parametrelerinden biridir. Çaprazlama, ana bireylerin genlerinden yeni bireyler üretilmesini sağlar.

İki bit çaprazlama örneği

Ebeveyn 1	10100101 01010101
Ebeveyn 2	10010101 11101010
Birey 1	1010010111101010
Birey 2	1001010101010101

Mutasyon: Mevcut kromozomlar kodlanmış bütün bir bilgiyi içermiyorsa çaprazlama yöntemi çözüme ulaşmak için yeterli olmamaktadır. Bu nedenle mevcut popülasyondaki kromozomlardan yeni kromozomlar üretilmesi gerekmektedir. Bu işlem mutasyon yaparak gerçekleştirilir.

İki bit mutasyon örneği

Birey	10100101 01010101
Mutasyona uğramış birey	10100101 00110101

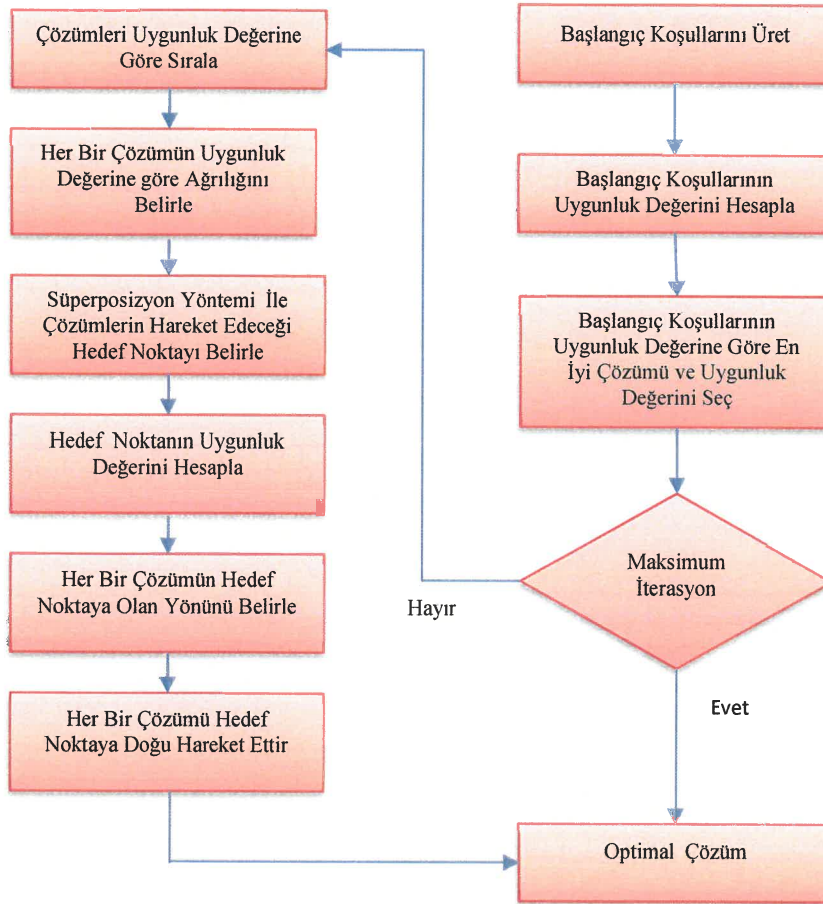
Seleksiyon: Bir sonraki iterasyon için mevcut popülasyondaki bireylerden hangilerinin çaprazlama ve mutasyon işlemine tabi tutacağına karar verilmesi gerekir. Bu işleme Seleksiyon (Seçilim) denir. Uygunluk değeri iyi olan bireyler yaşamını sürdürmeli ve yeni bireyler üretmelidir.

İdeal kargo index hesaplamasında genetik algoritmanın avantajı optimizasyon algoritmasında sınırlayıcı fonksiyonların (constrains functions) kullanılabilmesidir. Ayrıca kargo bölümlerine dağıtılan ağırlıkların tam sayı olarak belirlendiği koşullarda

algoritma hızlı olsa da, tam sayı olarak belirlenmediği durumlarda optimizasyon işlemi aşırı uzun sürmektedir.

3.3.2. Ağırlıklı süperpozisyon çekimi (WSA)

Birçok sistemde gözlemlenebilir olan iki temel mekanizmaya, maddelerin süper pozisyonuna ve hareketlerine dayanan yeni bir sürü tabanlı optimizasyon algoritmasıdır. Sürü tabanlı algoritmaların çoğunda, bir etken elemanın popülasyondaki en iyi etken elemanı belirleyebileceği ve yönünü ona doğru ayarlayabileceği varsayılmaktadır. Ancak, gerçekte birçok müdahaleden dolayı en iyi kaynağın doğru bir şekilde tanımlanmasının imkânsız olmaması, diğer yandan da etken elemanların süperpozisyon tanımlayabilmeleri kolay değildir. Bu temel mekanizma, WSA da bir optimizasyon algoritması olarak başarıyla uygulanmaktadır. Bu çerçevede, WSA algoritması, süperpozisyon prensibiyle arama alanındaki bir hedef noktayı belirler ve sürünün ajanlarını bu noktaya yönlendirir. Yani, hedef nokta, sürünün ajanları tarafından arama alanının mevcut keşfedilen noktalarının üst üste gelmesidir. Hedef nokta belirlendikten sonra, araçlar hedef noktaya veya rastgele seçilmiş bir yöne doğru hareket edip etmediklerini araştırır (Baykasoglu ve Akpınar 2017).



Şekil 3.11. WSA Algoritması

Çizelge 3.5. WSA Sabitleri ve Parametreleri

<i>Parametre</i>	Tanım
<i>Sl</i>	Kullanıcı tanımlı adım mesafesi başlangıç parametresi
<i>Fi</i>	Kullanıcı tanımlı adım mesafesi sabit parametresi
<i>T</i>	Kullanıcı tanımlı satır ağırlık parametresi
<i>AAc</i>	Kullanılacak yapay çözüm sayısı
<i>Vc</i>	Optimize edilecek fonksiyonun değişken sayısı
<i>x(i,j)</i>	Yapay çözümlerin değişkenleri. Başlangıç için rastgele seçilir.
<i>Fv(i)</i>	Her bir çözümün uygunluk değeri
<i>MsV(j), Fmsv</i>	Küme vektörü, Küme vektörünün uygunluk değeri
<i>MinL(j), MaxL(j)</i>	Değişkenlerin minimum ve maksimum limitleri
<i>Rwgt(i)</i>	Her bir çözümün sırasının ağırlığı
<i>MaxIter, C Iter</i>	Maksimum İterasyon sayısı, Aktif İterasyon numarası

Başlangıç parametrelerinin oluşturulması: Algoritmada öncelikle ideal çözüm için başlangıç parametreleri oluşturulur.

Sıra ağırlıklarının belirlenmesi:

$$(Sıra\ No)^{\tau} \quad (3-11)$$

$$Rwgt_i = i^{\tau} \quad (3-12)$$

Çözümlerin uygunluk değerlerinin hesaplanması:

$$Fv_{(i)} = f(x_{(i,:)}) \quad (3-13)$$

Çözümlerin uygunluk değerlerine göre sıralanması: Çözümler uygunluk değerlerine göre küçükten büyüğe (maksimizasyon) ya da büyükten küçüğe (minimizasyon) olacak şekilde sıralanır.

Küme vektörünün hesaplanması:

$$MsV_j = \sum_{n=1}^{Vc} x_{(n,j)} * Rwgt_n \quad (3-14)$$

Küme vektörünün uygunluk değerlerinin hesaplanması:

$$Fmsv = f(MsV) \quad (3-15)$$

Her bir çözümün her bir elemanı için yönlerin belirlenmesi:

Eğer $Fv_{(i)} \geq Fmsv$ ise;

$$D_{(i,j)} = sign(MsV_{(i)} - x_{(i,j)}) \quad (3-16)$$

Eğer $Fv_{(i)} < Fmsv$ ve $rand() < e^{(Fv_i - Fmsv)}$ ise;

$$D_{(i,j)} = sign(MsV_{(i)} - x_{(i,j)}) \quad (3-17)$$

Eğer $Fv_{(i)} < Fmsv$ ve $rand() \geq e^{(Fv_i - Fmsv)}$ ise;

$$D_{(i,j)} = sign((2 * rand()) - 1); \quad (3-18)$$

Adım mesafesinin hesaplanması:

Eğer $rand() \leq 0.95$ ise;

$$sl_{(C_Iter)} = sl_{(C_Iter-1)} - e^{\frac{-C_Iter}{C_Iter+1}} * fi * sl_{(C_Iter-1)} \quad (3-19)$$

Eğer $rand() > 0.95$ ise;

$$sl_{(C_Iter)} = sl_{(C_Iter-1)} + e^{\frac{-C_Iter}{C_Iter+1}} * fi * sl_{(C_Iter-1)} \quad (3-20)$$

Çözümlerin değişkenlerinin güncellenmesi:

$$\Delta x_{(i,j)} = sl * D_{(i,j)} * |x_{(i,j)}| \quad (3-21)$$

$$x_{(i,j)} = x_{(i,j)} + \Delta x_{(i,j)} \quad (3-22)$$

Klasik WSA MATLAB kodu EK-5 de verilmiştir.

Ağırlıklı Süperpozisyon Çekim (WSA) yönteminin avantajı yapı olarak basit olması ve süper pozisyon yönteminin kargo index hesaplamasında başarılı olmasıdır. Standart WSA algoritmasında kargo ağırlık merkezi hesaplamaları yapılırken optimizasyon sonucunda oluşan yeni çözümlerin hesaplanmasında, limitleyici kriterler yoktur. Bu GA'nın yapısında vardır. Bu noktada WSA algoritmasında adım mesafesi (step lenght) yani değişkenlerin değişim miktarının toplamı sıfır olacak şekilde algoritma yeniden oluşturulmuştur.

WSA'da çözümlerin yeni değerleri hesaplanırken hedef noktaya doğru yön ($D_{(i,j)}$, +1 ya da -1) ve sl (step lenght) adım mesafesinden faydalanır. İterasyon sonunda değişkenlerin alacağı değişim miktarları;

$$\Delta x_{(i,j)} = sl * D_{(i,j)} * |x_{(i,j)}| \quad (3-23)$$

Değişim miktarlarının eski değerlere eklenmesiyle oluşan yeni değerler;

$$x_{(i,j)}' = x_{(i,j)} + \Delta x_{(i,j)} \quad (3-24)$$

Şeklinde olacaktır. Kargo için dağıtılacak toplam yükün sabit olması gerektiğinden eşitlik (3-25) sağlanmalıdır.

$$\sum_{n=1}^{Vc} x_{(i,n)} = \sum_{n=1}^{Vc} x_{(i,n)}' \quad (3-25)$$

Eşitlik (3-24), eşitlik (3-25)'de yerine konulursa eşitlik (3-26) elde edilir.

$$\sum_{n=1}^{Vc} x_{(i,n)} = \sum_{n=1}^{Vc} x_{(i,n)} + \sum_{n=1}^{Vc} \Delta x_{(i,n)} \quad (3-26)$$

Eşitlik sadeleştirilir ve eşitlik (3-23) yerine konulursa eşitlik (3-27) elde edilir.

$$0 = \sum_{n=1}^{Vc} sl * D_{(i,n)} * |x_{(i,n)}| = \Delta x_{(i,j)} \quad (3-27)$$

Eşitlik (3-27) garanti edilemeyeceği için kargo fonksiyonun parametreleri değişirken toplam yük de değişmektedir. Bu nedenle çalışmamızda algoritmanın yapısı, Δx elamanlarının her bir iterasyondaki toplamı 0 olacak şekilde değiştirilmiştir.

$$Sum\Delta x_{(i)} = \sum_{n=1}^{Vc} \Delta x_{(i,n)} \quad (3-28)$$

$$AbsSum\Delta x_{(i)} = \sum_{n=1}^{Vc} |\Delta x_{(i,n)}| \quad (3-29)$$

$$\Delta x_{(i,j)}' = \Delta x_{(i,j)} - \left(\frac{Sum\Delta x_{(i)}}{AbsSum\Delta x_{(i)}} * |\Delta x_{(i,j)}| \right) \quad (3-30)$$

İle yeni Δx değerleri hesaplanabilir.

$$\sum_{n=1}^{Vc} \Delta x_{(i,n)}' = 0 \quad (3-31)$$

Eşitlik (3-31) garanti edilmiş olur. Bu sayede toplam kargo yükümüz sabitlenmiş olur. Standart WSA algoritmasındaki problem bu şekilde giderildiği için iterasyon sayısı sonsuza götürülse bile toplam kargo yük miktarı değişmeyecektir.

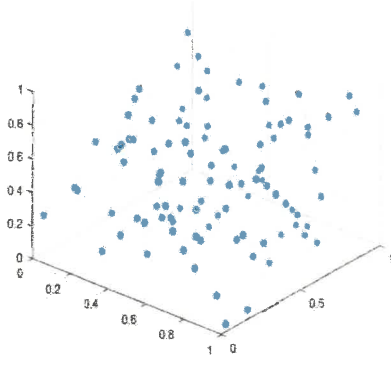
Algoritmanın çözümlerin değişkenlerinin güncellenmesi adımı aşağıdaki şekilde değişecektir.

WSA algoritmasının değiştirilen MATLAB kodu EK-6 da verilmiştir.

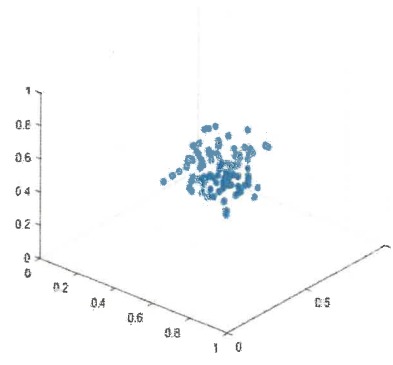
3.3.3. Parçacık sürü optimizasyonu

Parçacık sürü optimizasyonu temelde sürüdeki bireylerin birbirlerini geliştirmesine dayanan bir algoritmadır. Bu algoritma sürü halinde hareket eden balıklar ve böceklerden esinlenerek Dr. Kennedy ve Dr. Eberhart 1995 yılında geliştirilmiştir. Sürü halinde hareket eden hayvanların yiyecek ve güvenlik gibi hayati ihtiyaçlarını

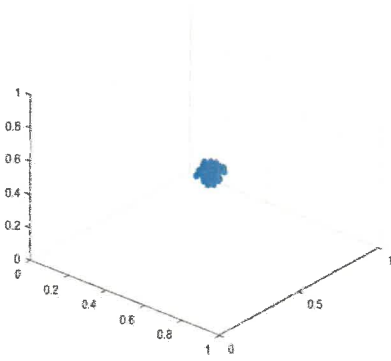
giderirken rastgele sergiledikleri hareketlerin, sürüdeki diğer bireyleri etkilediğini ve sürünün amacına daha kolay ulaşmalarını sağladığı görülmüştür. Her bireye parçacık denir ve bu parçacıkların oluşturduğu popülasyona da sürü denir (Kennedy ve Eberhart 1995).



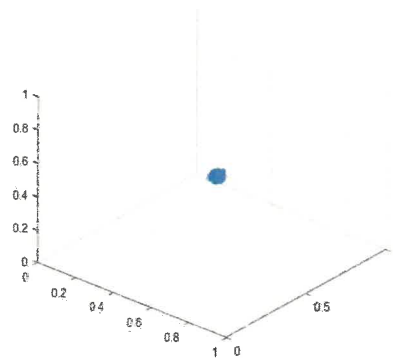
1. iterasyon



n. iterasyon



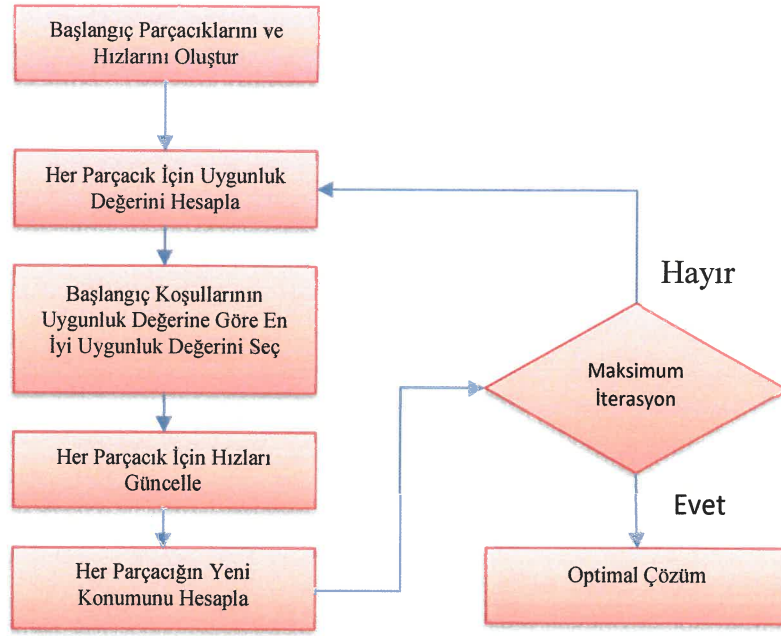
2n. iterasyon



3n. iterasyon

Şekil 3.12. PSO sürü yönelimi

Amaç sürüdeki en iyi konuma sahip parçacığın yerinin tespit edilip diğer parçacıkların da o yöne hareketinin sağlanmasıdır. Parçacıklar bir sonraki konumunu geçmiş tecrübelerine ve sürüdeki en iyi pozisyona sahip bireye dayanarak iyileştirmeyi hedefler.



Şekil 3.13. PSO algoritması

Çizelge 3.6. PSO sabitleri ve parametreleri

Parametre	Tanım
$Fv(i)$	Her sürü elemanının uygunluk değeri
$pbest(i,j)$	En iyi sürü
$fbest(i)$	En iyi sürü uygunluk değerleri
$gbest(j)$	En iyi sürü elemanı
$v(i,j)$	Sürü elemanı hızları
$MaxIter, C Iter$	Maksimum İterasyon sayısı, Aktif İterasyon numarası
$c1, c2$	Hızlanma sabiti
$Wmax, wmin$	Minimum ve maksimum durağanlık
Vc	Değişken sabiti
m	Popülasyon boyutu

Başlangıç parçacıklarını ve hızlarını oluşturulması: Belirlenen sürü boyutuna göre sürünün başlangıç konumları ve hızları rastgele oluşturulur.

Her parçacık için uygunluk değerini hesaplanması:

$$Fv(i) = f(x_{(i,:)}) \quad (3-32)$$

Başlangıç koşullarının uygunluk değerine göre en iyi uygunluk değerini seçilmesi:

Eğer $f_{best(i)} > Fv_{(i)}$

$$pbest_{(i,:)} = x_{(i,:)} \quad (3-33)$$

Eğer $f(gbest) > Fv_{(i)}$

$$gbest = x_{(i,:)} \quad (3-34)$$

Her parçacık için hızları güncellenmesi:

$$w = wMax - \left[(wMax - wMin) * \frac{C_Iter}{MaxIter} \right] \quad (3-35)$$

$$v_{(i,j)} = w * v_{(i,j)} + c_1 * rand * (pbest_{(i,j)} - x_{(i,j)}) + c_2 * rand * (gbest_{(i,j)} - x_{(i,j)}) \quad (3-36)$$

Her parçacığın yeni konumunu hesaplanması:

$$x_{(i,j)}' = x_{(i,j)} + v_{(i,j)} \quad (3-37)$$

Klasik PSO MATLAB kodu EK-7' verilmiştir.

Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) yapısı itibarı ile WSA'ya oldukça benzemektedir. Bu nedenle PSO, benzer şekilde WSA'nın avantajlarına ve dezavantajlarına sahiptir. PSO'daki fark, hız miktarının ($v_{(i,j)}$) her eleman için sürü yönelimine göre hesaplanmasıdır. İterasyon sonunda değişkenlerin alacağı değer eşitlik (3-38)'deki gibi olur

$$x_{(i,j)}' = x_{(i,j)} + v_{(i,j)} \quad (3-38)$$

Eşitlik (3-39)'de gösterildiği gibi hesaplanan yeni değerlerin toplamı, eski değerlerin toplamına eşit olması gerekmektedir.

$$\sum_{n=1}^{Vc} x_{(i,n)} = \sum_{n=1}^{Vc} x_{(i,n)}' + \sum_{n=1}^{Vc} v_{(i,n)} \quad (3-39)$$

Kargo için dağıtılacak toplam yükün sabit olması gerektiğinden WSA'da olduğu gibi toplam hız miktarının eşitlik (3-40)'deki gibi sıfır olması gerekmektedir.

$$0 = \sum_{n=1}^{Vc} v_{(i,n)} \quad (3-40)$$

Fakat bu klasik algoritmada $v_{(i,n)}$ ler toplamı 0 olması garanti edilemeyeceği için kargo fonksiyonun parametreleri değişirken toplam yük de değişmektedir. Bu nedenle

algoritmanın yapısı da bu çalışma için hızlar ($v_{(i,j)}$) yeniden hesaplanacak şekilde değiştirilmiştir.

Mevcut hızların toplamı eşitlik (3-41)'deki gibidir.

$$SumV_{(i)} = \sum_{n=1}^{Vc} v_{(i,n)} \quad (3-41)$$

Mevcut hızların mutlak değerlerinin toplamı eşitlik (3-42)'deki gibidir.

$$AbsSumV_{(i)} = \sum_{n=1}^{Vc} |v_{(i,n)}| \quad (3-42)$$

Eşitlik (3-43) ile hızlar yeniden hesaplanır.

$$v_{(i,j)}' = v_{(i,j)} - \left(\frac{SumV_{(i)}}{AbsSumV_{(i)}} * |v_{(i,j)}| \right) \quad (3-43)$$

$$\sum_{n=1}^{Vc} v_{(i,n)}' = 0 \quad (3-44)$$

Eşitlik (3-44) ile yeni hızların toplamı sıfır olur.

$$\sum_{n=1}^{Vc} x_{(i,n)} = \sum_{n=1}^{Vc} x_{(i,n)}' + \sum_{n=1}^{Vc} v_{(i,n)}' \quad (3-45)$$

Eşitlik (3-45)'teki gibi toplam kargo yükümüz sabitlenmiş olur. Standart PSO algoritmasındaki problem bu şekilde giderildiği için iterasyon sayısı sonsuza götürülse bile toplam kargo yük miktarı değişmeyecektir.

Algoritmanın hızların güncellenmesi adımı aşağıdaki şekilde değişecektir.

PSO algoritmasının MATLAB kodunun değiştirilen kısmı EK-8'de verilmiştir.

4. BULGULAR

4.1. GA, WSA, PSO ile Serbest Yük Dağılımı Uygulaması

Çizelge 4.1'deki değerler gerçek bir operasyondan alınmış değerlerdir. Bu çalışmada ekip (crew) ve yakıt (fuel) index hesaplamaları yapılmış olarak çizelgeye eklenmiştir. Dry Operating Weight uçağın boş ağırlığı ve Dry Operating index uçağın boş ağırlığındaki indeksidir.

Manuel yapılmış kargo dağılımı şu şekildedir.

$$Y_{1..17} = [1781, 2585, 1933, 1352, 376, 2931, 3412, 4626, \\ 5948, 4206, 2882, 3632, 3346, 3530, 3584, 2430, 2394]$$

Her bir kargo biriminin 1 Kg indexi Çizelge 3.3'de belirtilmiştir.

$$I_{1..17} = [-0.0070, -0.0060, -0.0052, -0.0042, -0.0033, -0.0024, -0.0015, -0.0006, \\ 0.0003, 0.0012, 0.0021, 0.0030, 0.0039, 0.0050, 0.0060, 0.0069, 0.0079]$$

$$CI = \sum_{n=1}^{17} L_n * I_n = 50.9 \quad (4-1)$$

Kargo index 50.9 hesaplanmıştır.

Çizelge 4.1. Serbest yük dağılımı uygulaması operasyon verileri

	Weight(W)	CG Index
Dry Operating (DO)	109648	74.8000
Crew (2+1)	255	-2.6250
Fuel	23700	4
Kargo	50948	50.9000
Total	184551	127.075

$$\%MAC = \frac{\frac{Cx(I - K)}{W} + Ref.Sta - LeMAC}{\frac{MAC}{100}} \quad (4-2)$$

Eşitlik (4-2)'e göre bu operasyondaki hesaplanan %MAC

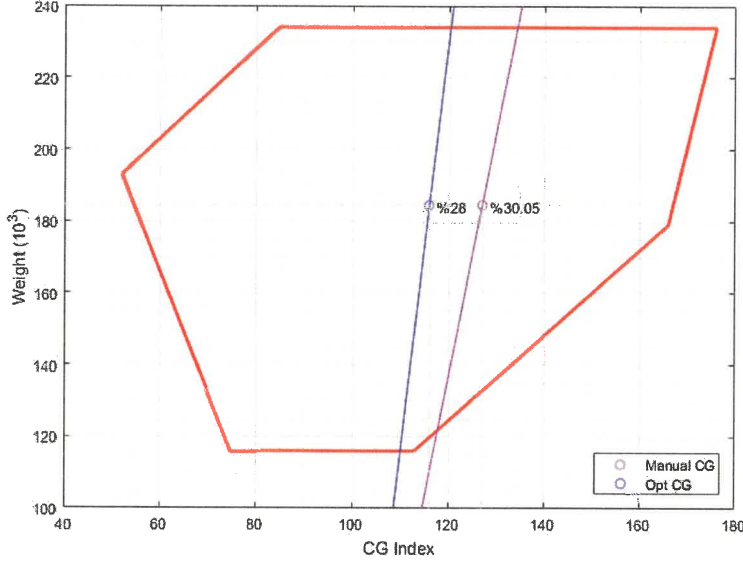
$$\%MAC = \frac{\frac{2500x(127.07 - 100)}{184551} + 33.156 - 31.3380}{\frac{7.27}{100}} = 30.05 \quad (4-3)$$

Yakıt tüketiminin ideal CG olan %28' e düştüğünde, Airbus A330 verilerine göre nm/kg (deniz mili / kilogram) bazında %0.43 azaltılabileceği yukarıdaki hesaplama ile gösterilmektedir. İdeal CG sağlayan %28 sağlayan index değerini bulmak için ilgili

ağırlığa karşılık gelen endeks değeri I 'yı çekersek ve sabitler ve değişkenler yerine yazarak ihtiyacımız olan ideal indexi eşitlik (4-4)'teki gibi bulabiliriz.

$$I = \left(\frac{\%MAC * MAC}{100} + LeMAC - Ref.Sta \right) * \frac{W}{C} + K \quad (4-4)$$

$$I = \left(\frac{28 * 7.27}{100} + 31.3380 - 33.156 \right) * \frac{184551}{2500} + 100 = 116.0633 \quad (4-5)$$



Şekil 4.1. Manuel hesaplanan ve optimizasyon ine hesaplanan Cg index ve MAC

Elle yapılan hesaptan elde edilen index ideal olan indexten (127.075-116.063) 11.01 birim fazladır. İdeal indexi elde etmek için kargo dağılımından elde edilecek indexin (4-6) gibi olması gerekmektedir.

CI= İlgili ağırlığa karşılık gelen endeks (I)-Dry Operintg Index (DOI)-Crew Index (CRWI)-Fuel Index (FI)

$$CI = 116.0633 - 74.80 - (-2.6250) - 4 = 39.8883 \quad (4-6)$$

Optimizasyonlar burada CI'nın 39.8883 olması gerekli ağırlık dağılımını bulacaktır. Bu index değerini elde edebilmek için 3 farklı optimizasyon yöntemi test edilmiştir. Sonuçlar aşağıda verilmiştir. Üç optimizasyon yönteminin de farklı dağılımlar yapmalarına rağmen çok küçük hata payı ile başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir. En hızlı sonuç WSA, en doğru sonuç PSO ile elde edilmiştir.

Çizelge 4.2'de görülen WSA Orijinal ve PSO Orijinal sütunları, WSA ve PSO optimizasyonlarının değiştirilmeden uygulanan sonuçlarını göstermektedir. Bu sonuçlarda elde edilmek istenen kargo indexi sağlansa da dağıtılan yük miktarı değiştiğinden sonuçlar kullanılabilir değildir.

Çizelge 4.2. Uygulama optimizasyon çıktıları

Total load to be distributed	50948				
Target Index	39.8883				
*****	GA Optimization	WSA Optimization	PSO Optimization	WSA Orjinal	PSO Orjinal
Time	7.90124	0.01790	1.35397	0.01621	1.0212
Load	50948	50948	50948	46783.5	49254.2
C.Index	39.88852	39.88834	39.88830	39.88828	39.88830
Error	0.00022	0.00004	0.00000	0.00002	0.00000
Cargo 1	1154.00	1161.65	2826	2034.00	30.84
Cargo 2	312.00	1909.8	309.122	312.64	3123.00
Cargo 3	2128.00	2829.16	2661.51	3065.68	3391.00
Cargo 4	3240.00	2710.53	1526.49	2687.48	3391.00
Cargo 5	4434.00	3047.19	812.419	3890.10	0.00
Cargo 6	1833.00	2094	6033	2812.77	8.79
Cargo 7	4245.00	2224.64	143.449	1535.59	6033.00
Cargo 8	5179.00	5103.88	6033	5093.83	6033.00
Cargo 9	5602.00	5087.36	6033	2396.49	531.54
Cargo 10	2442.00	4770.24	5945	958.15	5097.47
Cargo 11	2612.00	3239.6	2397.09	3571.92	4037.00
Cargo 12	3393.00	1773.65	925.998	2672.38	4037.00
Cargo 13	3037.00	2342.66	3626.25	3379.43	3725.00
Cargo 14	3389.00	3691.44	3714	3436.61	3714.00
Cargo 15	2676.00	3664.31	3714	3427.81	501.55
Cargo 16	2838.00	2843.42	1706.67	2968.18	3059.00
Cargo 17	2434.00	2454.45	2541	2540.43	2541.00

4.2. WSA ile Konteyner Dağıtımı

Çizelge 4.3'deki değerler gerçek bir operasyondan alınmış değerlerdir. Bu çalışmada ekip (crew) ve yakıt (fuel) index hesaplamaları yapılmış olarak çizelgeye eklenmiştir. Dry Operating Weight uçağın boş ağırlığı ve Dry Operating index uçağın boş ağırlığındaki indeksidir.

Çizelge 4.3. Manuel yapılmış konteyner dağılımı

Konum	Yük Tipi	Yük Ağırlığı (L _{1..15})	Konum indexi (I _{1..15})	Hesaplanan L _n *I _n
A	PAG	1781	-0.00696	-12.396
BCL	PAG	3346	-0.00549	-18.370
BCR	PAG	376	-0.00549	-2.064
EE	PMC	1933	-0.00297	-5.741
FF	PMC	3584	-0.00199	-7.132
GG	PMC	2585	-0.00100	-2.585
HH	PMC	3632	-0.00002	-0.072
JJ	PMC	3530	0.00097	3.424
L	PAG	2430	0.00209	5.078
M	PAG	1352	0.00299	4.042
MM	PMC	3412	0.00393	13.409
PP	PMC	2882	0.00492	14.179
RR	PMC	3206	0.00591	18.947
T	PAG	2931	0.00693	20.312
U	PAG	2394	0.00792	18.960
Toplam		39374 kg		49.99

Çizelge 4.4. Konteyner dağıtım uygulaması operasyon verileri

$$CI = \sum_{n=1}^{17} L_n * I_n = 49.99 \quad (4-7)$$

	Weight(W)	CG Index
Dry Operating (DO)	109648	74.8000
Crew (2+1)	255	-2.6250
Fuel	23700	4
Kargo	39374	49.99
Total	172977	126.16

$$\%MAC = \frac{\frac{Cx(I - K)}{W} + Ref.Sta - LeMAC}{\frac{MAC}{100}} \quad (4-8)$$

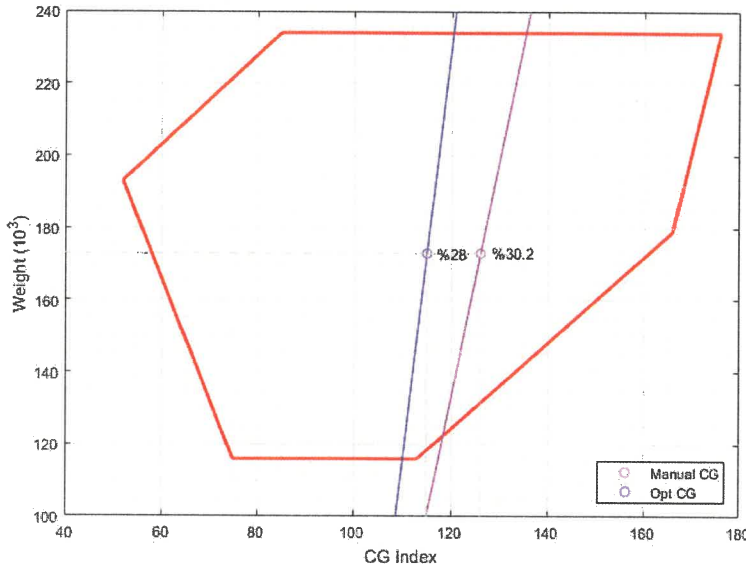
Eşitlik (4-8)'e göre bu operasyondaki hesaplanan %MAC

$$\%MAC = \frac{\frac{2500x(126.16 - 100)}{172977} + 33.156 - 31.3380}{\frac{7.27}{100}} = 30.20 \quad (4-9)$$

Çalışmada kullanılan Airbus A330 tipi uçakta yakıt tüketiminin ideal %MAC olan %28 olduğu düşüldüğünde, Airbus A330 verilerine göre nm/kg (deniz mili / kilogram) bazında azaltılabileceği yukarıdaki hesaplamalar ile gösterilmektedir. İdeal I_{CG}'yi sağlayan %MAC=28 değerini bulmak için eşitlik (4-11)'deki gibi, ilgili ağırlığa karşılık gelen index değeri I_{CG}'yi çekerek ve sabitler ile değişkenleri yerine yazarak ihtiyacımız olan ideal %MAC=28' i elde etmek için gerekli I_{CG} indexini bulabiliriz.

$$I_{CGOPT} = \left(\frac{\%MAC_{OPT} * MAC}{100} + LeMAC - Ref.Sta \right) * \frac{W}{C} + K \quad (4-10)$$

$$I = \left(\frac{28 * 7.27}{100} + 31.3380 - 33.156 \right) * \frac{172977}{2500} + 100 = 115.056 \quad (4-11)$$



Şekil 4.2. Manuel hesaplanan ve optimizasyon ile hesaplanan CG index ve MAC

Elle yapılan hesaptan elde edilen index ideal olan indexten (126.16-115.056) 11.1 birim fazladır. İdeal index i elde etmek için kargo dağılımından elde edilecek kargo indexinin

CI = İlgili ağırlığa karşılık gelen endeks (I)-Dry Operintg Index (DOI)-Crew Index (CRWI)-Fuel Index (FI)

$$CI_{OPT} = 115.056 - 74.80 - (-2.6250) - 4 = 38.81 \quad (4-12)$$

olması gerekmektedir. Bu çalışmada CI_{OPT} 'nin 38.81 olması gerektiğinden, optimizasyon algoritmalarında ağırlık dağılımı buna göre yapılacaktır.

Optimizasyon sonucu

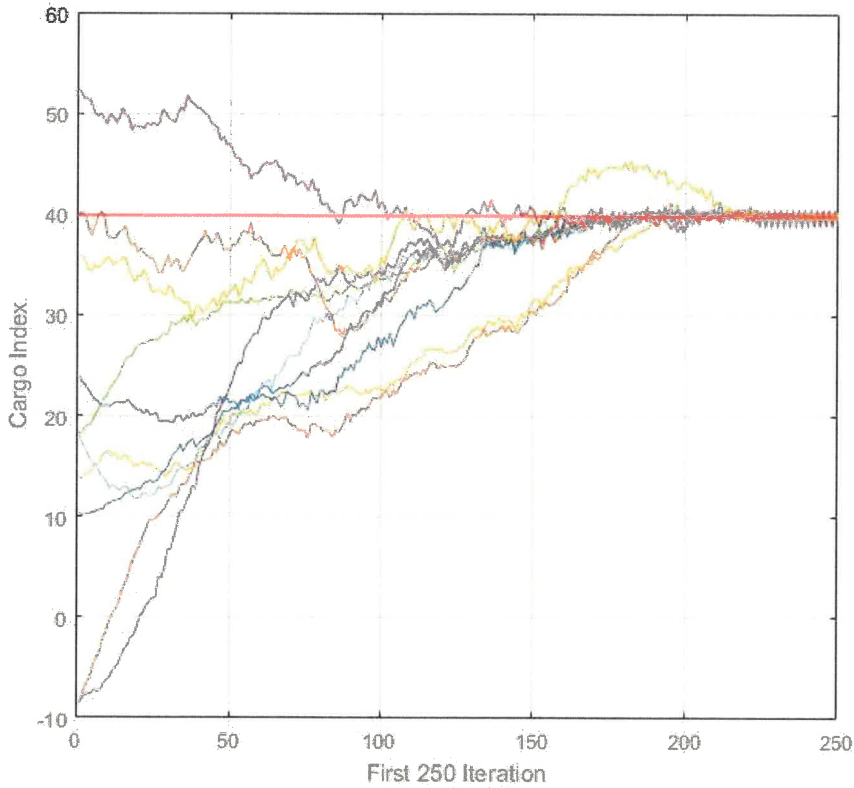
Çizelge 4.5. WSA Konteyner konum optimizasyonu çıktıları

Konum	Yük Tipi	Yük Ağırlığı (L _{1..15})	Konum indexi (I _{1..15})	Hesaplanan L _n *I _n
AB	PMC	2882 kg	-0.00495	-14.2659
C	PAG	1781 kg	0.00693	12.3423
DD	PMC	3412 kg	0.00097	3.30964
EE	PMC	1933 kg	-0.00593	-11.4627
FHL	PMC	3206 kg	0.00196	6.28376
FHR	PAG	2430 kg	0.00299	7.2657
HH	PMC	3632 kg	-0.00002	-0.07264
JJ	PMC	3530 kg	-0.001	-3.53
KML	PMC	3584 kg	0.00492	17.6333
KMR	PAG	3346 kg	0.00595	19.9087
MP	PAG	376 kg	-0.00696	-2.61696
PRR	PAG	2394 kg	0.00389	9.31266
S	PAG	1352 kg	0.00792	10.7078
T	PAG	2931 kg	-0.00334	-9.78954
TT	PMC	2585 kg	-0.00199	-5.14415
Toplam		39374 kg		39.882

5. TARTIŞMA

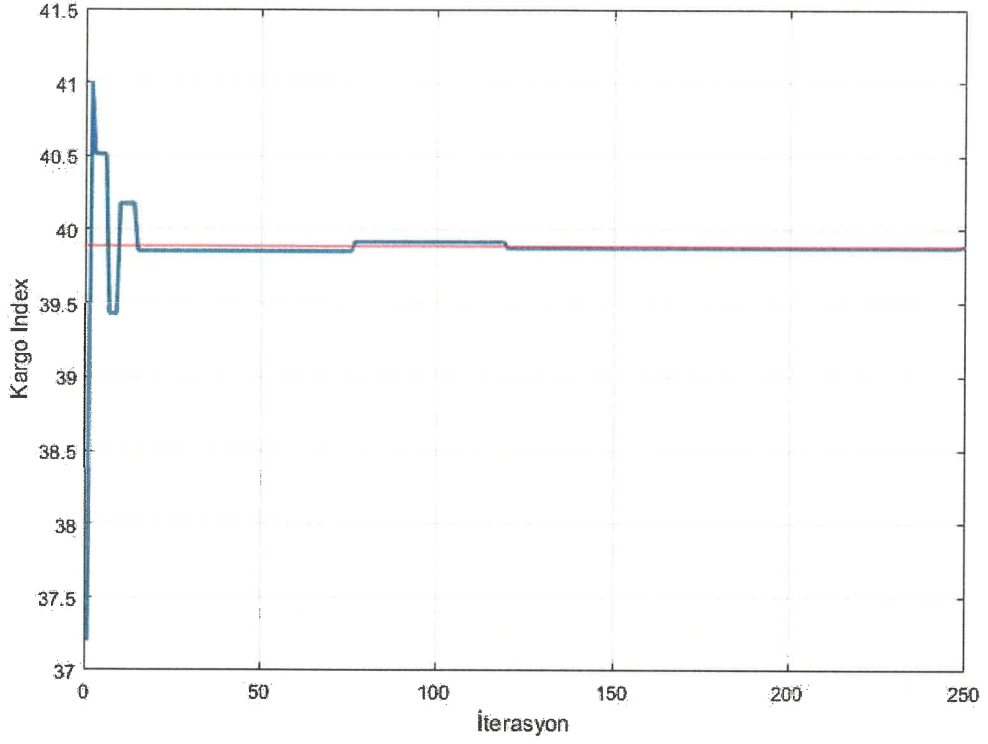
Bölüm 4.1’de uygulaması yapılan serbest yük dağıtım teorik olarak optimizasyonları geliştirmek test etmek için kullanılmıştır. Kargo uçaklarının operasyonlarda kullanımı fazla görülmemektedir. Bu senaryoda mevcut toplam yük istenildiği şekilde ve istenildiği miktarda dağıtılabileceği düşünülmüştür.

Şekil 5.1’ de Bölüm 4.1’deki uygulamanın WSA ilk 250 iterasyon MATLAB çıktısı görülmektedir. Optimizasyon için kullanılan 10 adet yapay elemanın her iterasyon için sonuca yaklaştığı açıkça görülmektedir.



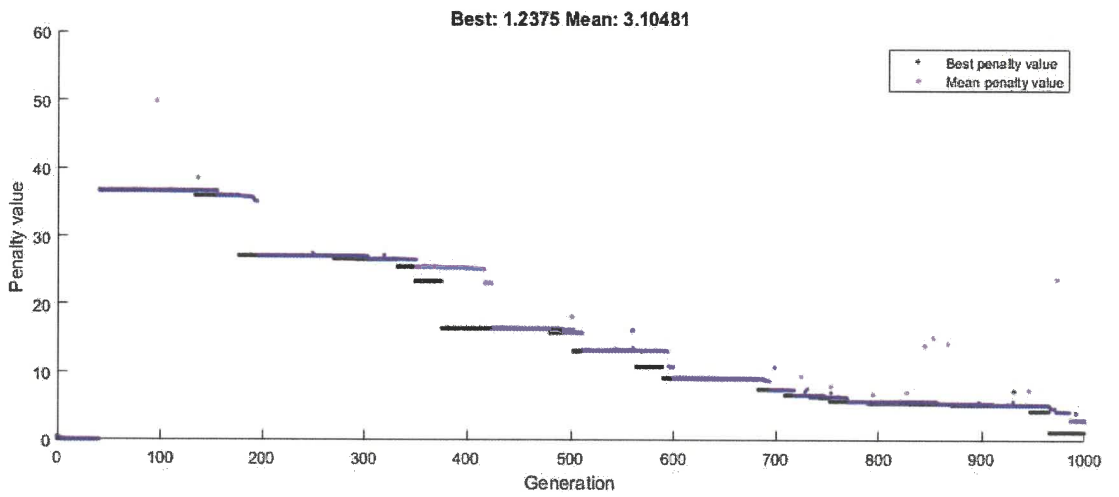
Şekil 5.1. WSA algoritması ile yapılan kargo index hesabı

Şekil 5.2 de Bölüm 4.1’deki uygulamanın WSA ilk 250 iterasyon MATLAB çıktısı görülmektedir. Grafikte en iyi sürü elemanını talep edilen index değerine yaklaşımı görülmektedir.



Şekil 5.2. PSO algoritması ile yapılan kargo index hesabı

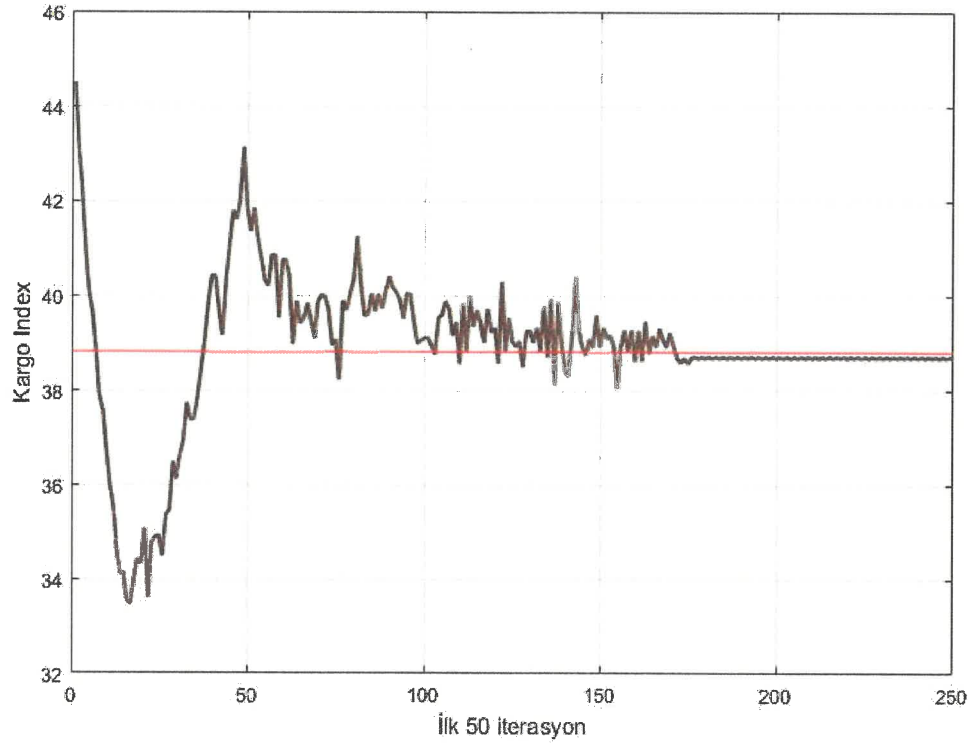
Şekil 5.3’de Bölüm 4.1’deki uygulamanın genetik algoritma ile hesaplanan ilk 100 iterasyon MATLAB çıktısı görülmektedir. Grafikte en iyi sonuçtan alınan hata payının iterasyon sayısı arttıkça düştüğü görülmektedir.



Şekil 5.3. GA algoritması ile yapılan kargo index hesabı

Şekil 5.1, Şekil 5.2 ve Şekil 5.3’de bölüm 4.1 de yapılan uygulamanın grafiksel çıktıları verilmiştir. Bu grafiklerde görülebileceği üzere kullanılan 3 optimizasyon yöntemi farklı sonuçlar vermiştir. Buradaki ortak nokta her optimizasyon yönteminin iterasyon sayısı artıkça sonuca yaklaşmasıdır. Kullanılan yöntemlerden genetik algoritmanın problemin çözümünde aşırı yavaş kalması bu nedenle çözüm kümesinin tam sayılar ile sınırlandırılması uygulama açısından olumsuz bulunmuştur. WSA ve PSO optimizasyonları bu uygulama için ihtiyaç doğrultusunda değiştirilmiş ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Bölüm 4.2’deki uygulama kargo uçakları için daha gerçekçi bir senaryo olan yüklerin dağılımı değil konteynerlerin konumunu hesaplayacak şekilde sadece WSA algoritması kullanılarak yapılmıştır. Bu uygulamada WSA seçilmesinin nedeni Bölüm 4.1’deki uygulamadan WSA ile başarılı sonuçlar alınmasıdır.



Şekil 5.4. WSA algoritması ile yapılan konteyner index hesabı

Şekil 5.4’ de görülen grafikte WSA optimizasyonu ile başarılı bir konteyner dağılımı yapıldığı görülmektedir. Kargo yükü dağılımı için oluşturulan bu matematiksel modeller operasyonel açıdan kullanıma uygundur.

6. SONUÇLAR

W&B hesaplaması, uçuş güvenliği için sivil havacılık kurumları tarafından zorunlu tutulan bir hesaplamadır. Mevcut sistemlerde W&B hesaplaması EK 1'de görülebileceği üzere Load Sheet denilen çizelgelerle ya da yardımcı bilgisayar uygulamaları ile yapılabilmektedir. Piyasadaki yazılımlarda dahi bu hesaplamanın yapılış amacı sadece sonuçların uçak için güvenli limitler dahilinde olup olmadığını kontrol etmektir. Herhangi bir en iyi sonuç önermemektedirler. Bu çalışmada W&B hesaplaması sonuçlarının bir operasyondaki yakıt sarfiyatına etkileri, uçak üreticisi Airbus'ın kendi yayınlamış olduğu kılavuzlardan faydalanarak gösterilmiştir.

Yapılan incelemede EK 1 de görülen örnek Load Sheet grafiğinin yaklaşık 25-30 dk gibi bir sürede doldurulabildiği görülmüş ve alınan sonuçların ideal sonuçlardan uzak olduğu tespit edilmiştir.

Bu çalışmada üç farklı optimizasyon yöntemi kullanılarak kargo uçakları için kargo yük dağılımı optimizasyonu yapılmış ve uygulamalarda görülebileceği gibi başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Yapılan araştırmada bir kargo uçağının yılda 1000'in üzerinde uçuş yaptığı her operasyondan %0,5 tasarruf sağlansa bile yılda en az 5 uçuşun tüm yakıtının tasarruf edilebileceği görülmüştür

Optimizasyon işlemlerinin uygulama örnekleri için ara iterasyon sonuçları eklerde verilmiştir.

Her ne kadar bu çalışmada Airbus A330 tipi bir uçak örnek olarak seçilse de kullanılan teknikler ve yöntemler her türlü kargo uçağı için uygundur.

7. KAYNAKLAR

- Airbus Customer Services. 2004. Getting to Grips With Fuel Economy. Blagnac: Airbus.
- Baykasoglu, A., ve Akpınar, Ş. 2017. Weighted Superposition Attraction (WSA): A swarm intelligence algorithm for optimization problems – Part 1: Unconstrained optimization. *Applied Soft Computing*, 520–540.
- Chan, F., Bhagwat, R., Kumar, N., Tiwari, M., & Lam, P. (2006). Development of a decision support system for air-cargo pallets loading problem: A case study. *Expert Systems with Applications*, 472–485.
- Davies, A., and Bischo, E. 1999. Weight distribution considerations in container loading. *European Journal of Operational Research*, 509–527.
- Federal Aviation Administration. (2016). Aircraft Weight and Balance Handbook. Oklahoma City: FAA.
- Karaboğa, D. 2018. Yapay Zeka Optimizasyon Algoritmaları. Ankara: NOBEL Akademik Yayıncılık.
- Kennedy, J., and Eberhart, R. 1995. Particle Swarm Optimization. *IEEE*, 1942.
- National Aerospace Laboratory. 2007. *Analysis of aircraft weight and balance related safety*. Amsterdam: NLR.
- Silva, J. M., Gamboa, P., Silva, J., Viegas, J., & Leal, N. 2009. An Optimized Approach to Reduced Fuel Costs in the Operational Procedures of an Airline. *8th World Congress on Structural and Multidisciplinary Optimization*. Lisbon.
- THY. 2018 Flight Planning Performance Management. THY AHM560. <https://ahm.thy.com/> [Son erişim tarihi: 01.06.2019]
- Verstiche, J., Vancroonenburg, W., Souffriau, W., & Berghe, G. V. (2011). A mixed integer programming approach to the aircraft weight and balance problem. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 1051–1059.

8. EKLER

EK-1: Örnek Load Sheet

INDEX FORWARD = $W \times (\text{Perm} + 33,155) - 100$
2500

	Weight	Index
Basic Empty Weight	109668	2418
CREW 2-1	255	21
Operating Costs	109803	272
Oil Weight (empty)	8012	169
Oil Weight (filled)	10968	192
RAM Section	27952	11101
FFM (MU) Empty	160851	1239
Corrected Empty Weight		
Oil Weight (filled)		
Center Tank	6000	120
Star Tank	16800	160
Center Tank	600	60
Trip Tank	800	80
Taxi Fuel	23200	60
WACR Weight	184581	1239
Operating Weight		
Taxi Fuel	12100	60
Operating Weight	162481	1129

ALL loading weight limits (MTOW/MLW/MZFW) used on Loadsheet must be identical with the weight limits shown on the placard on the pedestal. Mark the checkbox below:

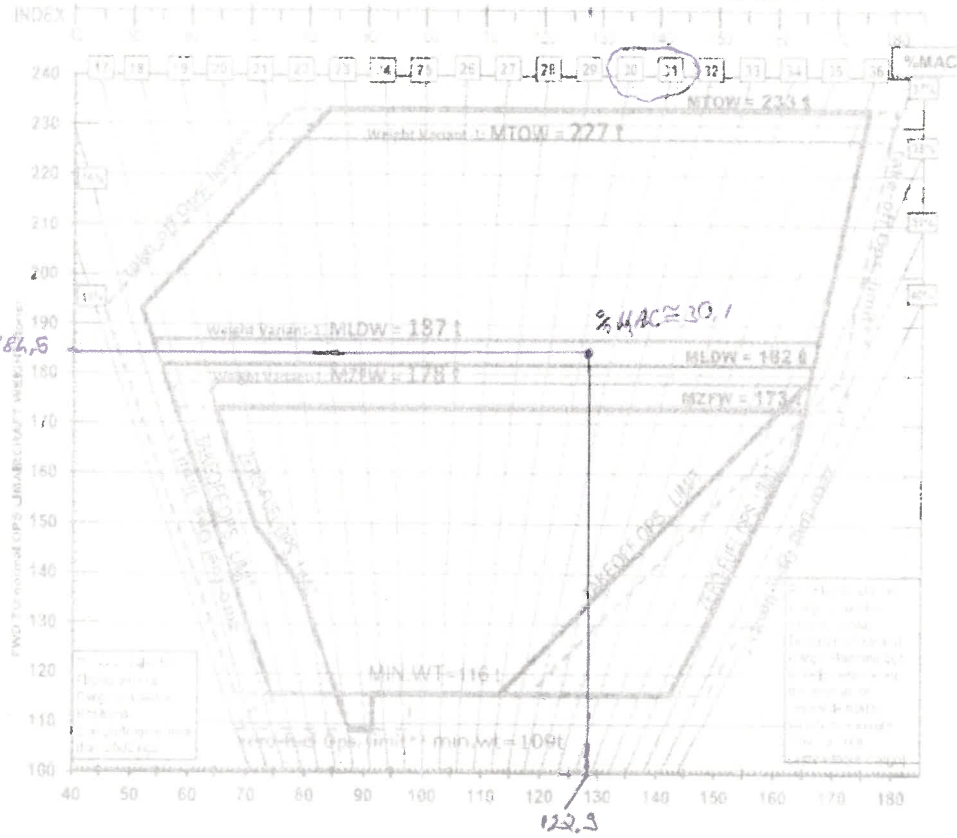
Range Mode (MTOW 23200/MLW 18000/MZFW 18000)

Payload Mode (MTOW 23200/MLW 18000/MZFW 18000)

	ZERO FUEL	TAKE OFF	LANDING
MAXIMUM WEIGHT FOR	138000	182000	182000
TAKE OFF FUEL	23200		18100
ALLOWED WEIGHT FOR TAKE OFF (Sum of 1,2)	201200	222000	201100
OPERATING WEIGHT (DOM + Takeoff fuel)	133368		
ALLOWED LOAD	68288		
TOTAL LOAD	50968		
UNLOAD BEFORE LMC	12840		

LAST WEIGHT CHANGES

SPECIFICATION	CRF	WEIGHT	INDEX
LMC TOTAL			



Şekil 8.1. Örnek Load Sheet Sayfa 1

FORWARD SECTION				REVERSE SECTION			
Zone A	Max	Loading					
Upper	1204 14 3000 1804 4000						
Zone A Total	7287	723	7227				
Zone B	Max	Loading					
Upper	9 3 23 86 3428						
Zone B Total	2585	786	4316				
Zone C	Max	Loading					
Upper	C 1391 100 3890 80 3911						
Zone C Total	7833	919	6253				
Zone D	Max	Loading					
Upper	D 1291 80 3890 80 3911						
Zone D Total	7352	337	2657				
Zone E	Max	Loading					
Upper	E 6647 80 3890 80 3911						
Zone E Total	3226	712	4643				
TOTAL FORWARD SECTION				4463	2012		
Zone F	Max	Loading					
Upper	F 6037 10 3070 100 3890 100 3911						
Zone F Total	2927	121	3107				
Zone G	Max	Loading					
Upper	G 4824 10 3070 100 3890 100 3911						
Zone G Total	3212	250	4363				
Zone H	Max	Loading					
Upper	H 4073 10 3070 100 3890 100 3911						
Zone H Total	4626	228	752				
TOTAL REVERSE SECTION				752	7873		
Zone I	Max	Loading					
Upper	I 1391 100 3890 80 3911						
Zone I Total	2585	786	4316				
Zone J	Max	Loading					
Upper	J 1291 80 3890 80 3911						
Zone J Total	7352	337	2657				
Zone K	Max	Loading					
Upper	K 6647 80 3890 80 3911						
Zone K Total	3226	712	4643				
Zone L	Max	Loading					
Upper	L 6037 10 3070 100 3890 100 3911						
Zone L Total	2927	121	3107				
Zone M	Max	Loading					
Upper	M 4824 10 3070 100 3890 100 3911						
Zone M Total	3212	250	4363				
Zone N	Max	Loading					
Upper	N 4073 10 3070 100 3890 100 3911						
Zone N Total	4626	228	752				
TOTAL REVERSE SECTION				752	7873		
Zone O	Max	Loading					
Upper	O 1391 100 3890 80 3911						
Zone O Total	2585	786	4316				
Zone P	Max	Loading					
Upper	P 1291 80 3890 80 3911						
Zone P Total	7352	337	2657				
Zone Q	Max	Loading					
Upper	Q 6647 80 3890 80 3911						
Zone Q Total	3226	712	4643				
Zone R	Max	Loading					
Upper	R 6037 10 3070 100 3890 100 3911						
Zone R Total	2927	121	3107				
Zone S	Max	Loading					
Upper	S 4824 10 3070 100 3890 100 3911						
Zone S Total	3212	250	4363				
Zone T	Max	Loading					
Upper	T 4073 10 3070 100 3890 100 3911						
Zone T Total	4626	228	752				
TOTAL REVERSE SECTION				752	7873		
Zone U	Max	Loading					
Upper	U 1391 100 3890 80 3911						
Zone U Total	2585	786	4316				
Zone V	Max	Loading					
Upper	V 1291 80 3890 80 3911						
Zone V Total	7352	337	2657				
Zone W	Max	Loading					
Upper	W 6647 80 3890 80 3911						
Zone W Total	3226	712	4643				
Zone X	Max	Loading					
Upper	X 6037 10 3070 100 3890 100 3911						
Zone X Total	2927	121	3107				
Zone Y	Max	Loading					
Upper	Y 4824 10 3070 100 3890 100 3911						
Zone Y Total	3212	250	4363				
Zone Z	Max	Loading					
Upper	Z 4073 10 3070 100 3890 100 3911						
Zone Z Total	4626	228	752				
TOTAL REVERSE SECTION				752	7873		

Şekil 8.2. Örnek Load Sheet sayfa 2

EK-2: WSA Uygulama Çıktısı

Çizelge 8.1. Rastgele oluşturulan başlangıç kargo dağılımı ($x_{(i,j)}$)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
C1	2826	2224.54	2712.14	2646.43	2145.06	1431.44	2386.61	2826	874.147	253.859
C2	230.581	1895.61	2346.53	2618.04	3123	155.68	1822.57	1718.04	1370.78	2004.11
C3	1964.77	3391	2684.42	2122.02	2191.72	1547.67	2391.09	2907.31	2612.47	1969.66
C4	2867.76	3391	1251.94	3391	3391	3388.29	3391	1070.4	2234.51	3391
C5	2971.94	1789.29	4687	4463.76	4687	2771.89	3372.49	273.203	4687	1814.33
C6	3789.15	5813.14	2550.65	5679.86	1775.64	5773.47	586.288	6033	1819.61	1618.63
C7	6008.8	5984.22	6033	5651.46	66.2414	4518.16	383.947	4356.17	6033	4744.96
C8	4278.44	3302.91	2889.37	3446.04	4727.58	6033	2106.28	5689.97	2774.5	6033
C8	1303.64	3183.77	5117.96	3523.61	4302.18	6032.93	6033	6033	6033	6033
C10	5707.16	4355.52	1480.07	1052.94	5795.43	3961.18	4212.48	5945	2971.93	4231.43
C11	4037	2129.5	4037	646.391	4037	2315.5	4037	2788.61	1549.29	1986.55
C12	3260.13	4037	14.9298	2325	986.048	3412.77	4037	869.949	1234.76	4037
C13	2088.24	31.189	3725	3043.8	2229.35	258.19	3160.23	137.335	3725	3725
C14	300.38	3714	3172.77	1046.93	3714	472.446	3714	1171.51	3714	2755.82
C15	3714	1535.18	2645.22	3714	2176.75	3275.39	3714	3528.51	3714	2318.27
C16	3059	1629.15	3059	3035.72	3059	3059	3059	3059	3059	1490.39
C17	2541	2541	2541	2541	2541	2541	2541	2541	2541	2541

Çizelge 8.2. Başlangıç kargo dağılımının uygunluk değeri sıralaması

	Kargo Index	TI- Kargo Index
9	40.081	0.192657
10	35.8276	4.06074
7	52.3661	12.4778
1	23.9171	15.9712
6	18.2663	21.622
5	18.2419	21.6464
3	13.8164	26.0719
8	10.3399	29.5484
4	-8.32461	48.2129
2	-8.54563	48.4339

Küme vektörü = 1617.31, 1602.91, 2343.44, 2768.17, 3389.99, 2760.3, 4539.14, 3961.35, 5177.46, 3876.35, 2560.5, 2437.73, 2751.56, 2696.76, 3182.44, 2741.6, 2541

Küme vektörü uygunluk değeri = 11.3433

Çizelge 8.3. 250. İterasyon sonucunda oluşan Kargo dağılımı ($x_{(i,j)}$)

	1	5	7	8	6	3	10	9	2	4
C1	1146.07	1147.72	1152.53	1136.15	1152.05	1139.76	1133.1	1156.54	1155.91	1138.93
C2	1922.94	1938.66	1910.89	1908.06	1909.21	1901.58	1894.01	1923.91	1900.63	1928.48
C3	2799.4	2791.38	2826.93	2780.38	2794.04	2848.78	2831.16	2801.91	2840.7	2847.22
C4	2686.5	2674.39	2726.27	2673.13	2723.4	2729.87	2678.54	2702.75	2677.11	2734.27
C5	3139.02	3089.01	3139.06	3138.66	3099.17	3081.55	3120.01	3146.58	3080.59	3098.95
C6	2070.51	2069.14	2036.24	2087.28	2069.51	2069.48	2065.03	2073.06	2047.38	2041.05
C7	2161.58	2136.39	2146.89	2159.66	2185.68	2183.69	2129.86	2143.79	2172.03	2158.06
C8	5091.32	5181.05	5112.35	5124.95	5147.4	5105.49	5158.03	5100.93	5193.1	5212.33
C8	5148.05	5164.23	5070.2	5121.4	5150.29	5120.47	5112.71	5058.29	5163.19	5177.48
C10	4739.32	4707.22	4690.23	4749.21	4697.57	4760.64	4785.27	4700.94	4776.97	4683.04
C11	3353.17	3379.02	3383.73	3388.2	3387.33	3371.1	3314.95	3307.26	3348.02	3339.42
C12	1783.41	1749.96	1762.93	1763.9	1753.18	1785.9	1796.29	1787.94	1753.39	1768.62
C13	2414.7	2374.86	2386.72	2397.62	2420.33	2377.9	2399.91	2421.39	2391.55	2383.61
C14	3613.85	3647.09	3672.19	3662.51	3616.02	3595.65	3581.94	3669.22	3605.1	3616.42
C15	3477.57	3523.69	3527.23	3477.04	3446.92	3463.94	3536.92	3546.91	3459.55	3477.8
C16	2863.99	2885.99	2906.13	2838.86	2854.92	2879.44	2887.28	2865.59	2888.06	2842.36
C17	2536.62	2488.17	2497.49	2540.99	2540.99	2532.74	2522.99	2540.98	2494.73	2499.98

Çizelge 8.4. 250. İterasyon sonucunda oluşan kargo dağılımının uygunluk değeri sıralaması

	Kargo Index	TI- Kargo Index
1	39.8521	0.0362306
5	39.9642	0.0759407
7	40.0433	0.155034
8	40.159	0.270656
6	39.5825	0.305818
3	39.5629	0.325378
10	40.2646	0.376315
9	40.2872	0.398916
2	39.4597	0.428603
4	38.8763	1.01204

Küme vektörü = 1146.16, 1917.71, 2808.58, 2695.76, 3118.68, 2065.08, 2156.51, 5131.38, 5132.63, 4727.54, 3362.42, 1770.55, 2398.4, 3630.2, 3493.79, 2872.11, 2520.51

Küme vektörü uygunluk değeri = 0.0225314

EK-3: PSO Uygulama Çıktısı

Çizelge 8.5. Rastgele oluşturulan başlangıç sürüsü ve kargo dağılımı ($x_{(i,j)}$)

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
C1	2826	841.249	1029.01	1815.17	2611.32	837.619	1072.69	492.963	1215.65	2154.19
C2	1106.53	1941.81	568.049	3123	3123	2717.56	3123	3123	1403.68	3123
C3	1508.44	1229.02	3201.44	1775.98	1222.21	3337.04	3277.41	2043.91	3391	2174.44
C3	2094.88	1486.16	2569.87	3391	2919.52	2131.59	1951.5	2728.99	613.918	2605.41
C5	2526.16	4416.18	3255.24	4335.12	4687	3287.19	2670.21	1501.7	4687	2286.69
C6	6033	6033	4349.98	2844.78	1831.74	2050.32	3391.25	4953.76	1764.99	1330
C7	2063.6	3660.91	4723.43	6033	6033	1347.77	6033	3170.28	2830.19	3753.04
C8	5512.95	6033	6033	5644.12	4764.48	5908.36	2057.13	2517.17	6033	5789.82
C9	4516	3504.75	6033	5473.98	6033	6033	6033	5975.67	3038.84	2761.59
C10	1860.7	2992.36	3003.69	1269.87	2123.34	2971.97	4625.12	5945	5945	4901.83
C11	3136.99	4037	4037	2274.49	3379.97	4037	4037	3291.86	3807.61	4037
C12	2138.7	4037	1928.46	3505.86	2270.73	3434.84	3853.01	1026.54	4037	4037
C13	3725	1472.33	3180.5	527.132	1288.38	1304.37	254.24	2776.92	3215.44	3698.14
C14	3714	1835.09	2061.3	1586.42	2668.95	3714	3714	3539.07	3413.24	1907.83
C15	3313	3714	2052.16	3475.09	2334.53	3714	1744.51	3714	526.319	788.005
C16	2331.05	2386.91	1472.93	2449.66	3059	2630.43	1875.88	2579.54	2776.13	3059
C17	2541	1327.24	1448.94	1423.33	597.822	1490.94	1235.05	1567.64	2248.98	2541
TI-CI	7.37685	19.9937	34.4582	52.0347	51.8643	10.6149	39.4445	8.46587	7.48589	19.3672
	BEST P.									

Çizelge 8.6. 250. İterasyon Sonucunda oluşan sürü ve kargo dağılımı ($x_{(i,j)}$)

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
C1	2826	2826	2826	2826	2826	2719.32	2826	2821.2	2772.11	2826
C2	350.23	650.937	142.765	235.078	86.3489	731.415	287.828	0	372.895	377.689
C3	2457.6	1455.01	2505.57	3332.81	2466.46	2287.02	2514	2910.22	2364.91	2890.77
C3	1724.73	2283.15	1932.38	681.5	1269.21	2306.03	2668.65	2058.18	1637.46	1160.19
C5	525.625	431.525	794.848	691.227	1129.68	713.54	237.465	0	682.457	110.754
C6	6033	6033	6033	6033	6033	5805.25	6033	6022.76	5917.96	6033
C7	676.573	1088.45	1053.12	638.555	1289.88	0	305.659	1011.33	1396.24	628.442
C8	6033	6033	6033	6033	6033	5805.25	6033	6022.76	5917.96	6033
C9	6033	5911.95	5945.33	5832.21	6033	5805.25	6033	6022.76	5917.96	6033
C10	5494.75	5764.54	4833.13	5547.73	4839.44	5720.57	5166.06	3902.44	5356.03	5945
C11	3359.18	3051.52	3222.52	4037	2923.24	3438.03	2692.22	4030.14	3620.07	4037
C12	452.731	313.984	1142.81	419.183	882.73	0	204.533	1511.09	0	447.247
C13	2950.97	3223.69	1682.61	2639.57	3351.78	3516.77	3552.99	2942.48	2702.86	2788.05
C14	3714	3714	3714	3714	3714	3573.79	3714	3707.69	3576.38	3714
C15	3714	3714	3714	3714	3714	3573.79	3714	3707.69	3643.18	3714
C16	2061.61	1912.24	2831.92	2032.13	1815.23	2506.9	2424.61	1740.57	2577	1668.85
C17	2541	2541	2541	2541	2541	2445.07	2541	2536.69	2492.55	2541
TI-CI	0.00036	0.0868	0.029587	0.025041	0.020185	0.031502	0.05129	0.0069437	0.071537	0.03235
	BEST P.									

EK-4: GA Uygulama Çıktısı**Çizelge 8.7.** Genetik algoritma (80-110) iterasyon çıktıları

Generation	Func-count	Best Penalty	Mean Penalty	Stall Generations
80	8100	30.61	30.66	41
81	8200	30.61	30.66	42
82	8300	30.61	30.65	43
83	8400	30.61	30.65	44
84	8500	30.61	30.65	45
85	8600	30.61	30.66	46
86	8700	30.61	30.66	47
87	8800	30.61	30.66	48
88	8900	30.61	30.65	49
89	9000	30.61	30.65	50
90	9100	30.61	30.64	51
91	9200	29.18	30.64	0
92	9300	29.18	30.63	1
93	9400	29.18	30.62	2
94	9500	29.18	30.62	3
95	9600	29.18	30.62	4
96	9700	29.18	30.62	5
97	9800	29.18	30.63	6
98	9900	29.18	30.63	7
99	10000	29.18	30.63	8
100	10100	29.18	30.64	9
101	10200	29.18	38.07	10
102	10300	29.18	30.63	11
103	10400	29.18	30.62	12
104	10500	29.18	30.63	13
105	10600	29.18	30.63	14
106	10700	29.18	30.63	15
107	10800	29.18	30.63	16
108	10900	29.18	30.63	17
109	11000	29.18	30.6	18
110	11100	29.18	30.61	19

Çizelge 8.8. Genetik algoritma (970-1000) iterasyon çıktıları

Generation	Func-count	Best Penalty	Mean Penalty	Stall Generations
970	97100	1.494	1.536	28
971	97200	1.494	1.538	29
972	97300	1.494	2.362	30
973	97400	1.494	1.53	31
974	97500	1.494	1.54	32
975	97600	1.494	1.536	33
976	97700	1.494	1.528	34
977	97800	1.494	1.524	35
978	97900	1.494	1.696	36
979	98000	1.494	1.526	37
980	98100	1.494	1.53	38
981	98200	1.494	1.528	39
982	98300	1.494	1.79	40
983	98400	1.494	1.53	41
984	98500	1.494	1.533	42
985	98600	1.494	1.516	43
986	98700	1.494	1.515	44
987	98800	1.494	1.519	45
988	98900	1.494	1.514	46
989	99000	1.494	1.896	47
990	99100	1.494	1.518	48
991	99200	1.494	1.514	49
992	99300	1.494	1.52	50
993	99400	1.494	1.517	51
994	99500	1.494	1.515	52
995	99600	1.494	1.513	53
996	99700	1.491	1.505	0
997	99800	0.5625	1.499	0
998	99900	0.5625	1.505	1
999	100000	0.5625	1.494	2
1000	100100	0.5625	1.499	3

EK-5: Klasik WSA MATLAB kodu

```

% Sıra Ağırlıklarının Belirlenmesi
for i=1:AAC
    Rwgt(i) = i^t ;
end

%Çözümlerin Uygunluk Değerlerinin Hesaplanması
for i=1:AAC
    Fv(i)=EvulateFitnessValue(x(i,:));
end

%Çözümleri Uygunluk değerlerine göre sırala
[Fv,x] = SortByFitnessValue(Fv,x);

%Küme Vektörünün Hesaplanması
for j = 1: Vc
    MsV(j) = 0;
    for i=1: AAC
        MsV(j) = MsV(j) + (x(i,j) * Rwgt(i));
    end
end

% Küme Vektörünün Uygunluk Değerlerinin Hesaplanması
Fmsv = EvulateFitnessValue(MsV(j));

%Herbir çözümün her bir elemanı için yönlerin belirlenmesi
for i=1: AAC
    if ( Fv(i) >= Fmsv )
        for j=1: Vc
            D(i,j) =sign( MsV(j) - x(i,j));
        end
    else ( Fv(i) < Fmsv )
        if (rand() < exp( Fv(i) - Fmsv ))
            for j=1: Vc
                D(i,j) =sign( MsV(j) - x(i,j));
            end
        else
            D(i,j) =sign(( 2* rand() ) -1 );
        end
    end
end

% Adım mesafesinin hesaplanması
r=rand();
if r<=0.95
    sl=sl- exp((-1* C_Iter)/(C_Iter+1)) *fi*sl;
else
    sl=sl+ exp((-1* C_Iter)/(C_Iter+1)) *fi*sl;
end

%Çözümlerin Değişkenlerinin Güncellenmesi
for i=1:AAC
    for j=1: Vc
        delx(i,j)=sl*D(i,j)*abs(x(i,j));
        x(i,j) = x(i,j)+ delx(i,j);
    end
end

%Sonuca Ulaşılması

```

EK-6: Değiştirilen WSA MATLAB kodu

```
%Çözümlerin Değişkenlerinin Güncellenmesi
for i=1:Aac
    for j=1: Vc
        delx(i,j)=s1*D(i,j)*abs(x(i,j));
    end

    SumDelx(i) = sum(delx(i,:));
    AbsSumDelx(i) = sum(abs(delx(i,:)));

    for j=1: Vc
        delx(i,j) = delx(i,j) - (SumDelx(i) / AbsSumDelx(i)) * abs(delx(i,j));
        x(i,j) = x(i,j)+ delx(i,j);
    end
end
```

EK-7: Klasik WSA MATLAB kodu

```
% Her parçacık için uygunluk değerini hesapla
for i=1:n
    Fv(i)=EvulateFitnessValue(x(i,:));
end
%Başlangıç koşullarının uygunluk değerine göre en iyi uygunluk değerini seç
for i=1:n
    if Fv(i)<fbest(i)
        pbest(i,:)=x(i,:);
    end
    if Fv(i)<fitt_gbest
        gbest = x(i,:);
        fitt_gbest =EvulateFitnessValue(gbest);
    end
end
% Her parçacık için hızları güncelle
w=wmax-(wmax-wmin)*C_Iter/MaxIter;
for i=1:Vc
    for j=1:m
        v(i,j)=w*v(i,j)+c1*rand()*(pbest(i,j)-x(i,j))+c2*rand()*(gbest(1,j)-x(i,j));
    end
end
%Her parçacığın yeni konumunu hesapla
for i=1:n
    for j=1:m
        x(i,j)=x(i,j)+v(i,j);
    end
end
end
```

EK-6: Değiştirilen PSO MATLAB kodu

```
% Her parçacık için hızları güncelle
for i=1:n
    for j=1:Vc
        v(i,j)=w*v(i,j)+c1*rand()*(pbest(i,j)-x(i,j))+c2*rand()*(gbest(1,j)-x(i,j));
    end
    SumV(i) = sum(v(i,:));
    AbsSumV(i) = sum(abs(v(i,:)));
    for j=1: Vc
        v(i,j) = v(i,j) - ( (SumV(i) / AbsSumV(i)) * abs(v(i,j)) );
    end
end
```

ÖZGEÇMİŞ

BÜNYAMİN ATAK

bunyamin.atak@hotmail.com



ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans 2017-2019	Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Antalya
Lisans 2015-2017	Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim dalı, Antalya
Lisans 2000-2005	Kocaeli Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Elektronik Öğretmenliği Bölümü, Kocaeli

MESLEKİ VE İDARİ GÖREVLER

Yazılım Müdürü 2007-Devam Ediyor	Uçuşdünyası LTD ŞTİ Antalya
Destek ve Eğitim Uzmanı 2006-2007	Sentez Yazılım Antalya
Bilgi İşlem Uzmanı 2006-2006	Club Nena Hotel Antalya