

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÜÇ BOYUTLU PALET YÜKLEME PROBLEMİNİN
METASEZGİSEL ÇÖZÜM YAKLAŞIMI İLE BİR OTOMOTİV
FABRİKASINDA UYGULAMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Merve Simge USUK

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği Bilim Dalı

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÜÇ BOYUTLU PALET YÜKLEME PROBLEMİNİN
METASEZGİSEL ÇÖZÜM YAKLAŞIMI İLE BİR OTOMOTİV
FABRİKASINDA UYGULAMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Merve Simge USUK

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği Bilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. İhsan Hakan SELVİ

OCAK 2023

Merve Simg'e USUK tarafından hazırlanan “Üç Boyutlu Palet Yükleme Probleminin Metasezgisel Çözüm Yaklaşımı ile Bir Otomotiv Fabrikasında Uygulanması” adlı tez çalışması 06.01.2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim **Dalı** **Endüstri Mühendisliğı** **Bilim** Dalı'nda **Yüksek Lisans tezi** olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Jüri Başkanı : **Dr.Mümtaz İPEK**
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Doç. Dr. İhsan Hakan SELVİ (Danışman)**
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Yrd.Doç.Dr.Tuğba TUNACAN**
Abant İzzet Baysal Üniversitesi

OCAK 2023

İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇİNDEKİLER.....	iv
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	v ii
TEŞEKKÜR.....	v iii
KISALTMALAR	ix
SİMGELER.....	x
TABLO LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ	x ii
ÖZET	6
SUMMARY	7
GİRİŞ	8
1. KAYNAK ARAŞTIRMASI	11
1.1. Tezin Amaç ve Kapsamı	11
1.2. Literatür Tarama.....	11
1.3. Konteyner yükleme problemleri	13
1.4. Konteyner yükleme problemlerinin sınıflandırılması ve ilgili çalışmalar	14
1.4.1. Tekli konteyner yükleme problemleri (TKYP) ile ilgili çalışmalar	14
1.4.2. Çoklu konteyner yükleme problemleri (ÇKYP) ile ilgili çalışmalar	16
1.4.3. Kutulama problemleri ile ilgili çalışmalar	17
1.4.3.1. Bir boyutlu kutulama problemi.....	17
1.4.3.2. İki Boyutlu Kutulama Problemi.....	18
1.4.3.3. Üç Boyutlu Kutulama Problemi.....	19
2. PROBLEMİN TANIMLANMASI.....	16
2.1. Problemin Tanımı.....	16
2.2. Çalışılan 3 Boyutlu Palet Yükleme Probleminin Kısıtları	21
2.3. Seçilen Tedarikçi ve Sevkiyat Ürünleri Hakkında Bilgi.....	24
3. ARAŞTIRMA	28
3.1. Çalışmada Kullanılan Method ve Algoritmaların İncelenmesi.....	28
3.1.1. Matematiksel Model: Chen ve ark. (1995)	29
3.1.2. Metasezgisel Yöntemler	31
4. ÖNERİLEN MODEL VE UYGULAMASI	34
4.1. Çalışmadaki Probleme Ait Matematiksel Modelleme ve Anlamları.....	34
4.2. GA ile Çözüm Önerisi ve Çalışmaya Uygulanması	35
4.2.1. Metasezgiseller	35
4.2.2. Genetik Algoritmalar	36
4.3. Önerilen genetik algoritmanın (GA) probleme uygulanması.....	37
4.3.1. Problemin Modele Tanımlanması.....	37
4.3.2. Genetik Algoritmanın Parametrelerinin Tanımlanması	38
4.3.3. Genetik Algoritmanın Operatörlerinin Tanımlanması.....	41
4.3.4. Rulet Tekerleği Seçimi	42

4.4.Genetik Algoritmanın Çalışma Genel Akış Diyagramı ve Python'daki Uygulaması	46
4.5. Yükleme Sezgiselleri ve Tabu (Search) Arama Çözümlerinin Modele Uygulanması.....	49
4.5.1 Kullanılan Sezgisel Algoritmalar- Yükleme Sezgiseli	49
4.6. Tabu Arama Algoritmasının Uygulanması.....	50
4.7. Problemin Modele Tanımlanması.....	50
4.7.1. Box Class/Yükleme Kural ve Tanımlaması.....	52
4.7.2. Box Class/Kutu Besleme Yönü ile İlgili Döndürme Kısıtının Tanımlanması.....	53
4.7.3. Box & Blok Class/Kutu Yükleme ve Blok Oluşturma Tanımlamaları	55
5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	59
5.1. Modelin Önerilen Çözüm Yolu ile Çalıştırılması ve Sonuçları	61
5.2.Modelin Mevcut Sistemdeki Manuel Çalıştırılması ve Sonuçları.....	64
5.3.Çözüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	66
5.3.1.Manuelden Dijitale Geçiş.....	66
5.3.2.Kutu Lokasyon Bilgilerinin Eklenmesi	67
KAYNAKLAR.....	77
ÖZGEÇMİŞ	79



ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “ÜÇ BOYUTLU PALET YÜKLEME PROBLEMİNİN METASEZGİSEL ÇÖZÜM YAKLAŞIMI İLE BİR OTOMOTİV FABRİKASINDA UYGULANMASI” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kurumuna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermedığimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin aboneliği olduğu inihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığını, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

(07.01/2023).

(imza)

Merve Simgе USUK

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikle beni yönlendiren değerli danışman hocam Doç. Dr. İhsan Hakan SELVİ'ye, her zaman içtenlikle sorularımı yanıtlayan, samimiyetini esirgemeyen ve yaklaşımı ile beni motive eden Arş.Gör. Merve Şişçi'ye, bu süreçte her zaman bana inanmaya ve desteklemeye devam eden aileme ve hem meslektaşım hem de yol arkadaşım olan eşime teşekkürlerimi sunarım.

Merve Simgü USUK

KISALTMALAR

3B-PYP	: Üç boyutlu palet yükleme problemi (The three-dimensional pallet loading problem)
PLP	: Palet yükleme problemi (Pallet loading problem)
KYP	: Konteyner yükleme problemi
TKYP	: Tekli konteyner yükleme problemi
ÇKYP	: Çoklu konteyner yükleme problemi
GA	: Genetik algoritma
ILP	: Tam sayılı doğrusal programlama
HGA	: Hibrit genetik algoritma
A-DÇO	: Akıllı dinamik çaprazlama operatörü
PMX	: Kısmen uyumlu çaprazlama (partially mapped crossover)
TA	: Tabu arama (algoritması)
LCN	: Lojistik lot değişim talebi (logistics change notification)

SİMGELER

m³	: Metreküp [Birim]
cm	: Santimetre [Birim]
cm²	: Santimetrekare [Birim]
kg	: Kilogram [Birim]
W	: En [Birim]
L	: Boy [Birim]
H	: Yükseklik [Birim]



TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1. Seçilen Tedarikçi Kutu Tipi Bilgileri	25
Tablo 2. Tedarikçi Parça, Rota ve Kutu Bazlı Kullanım Oranı Bilgileri	27
Tablo 3. Çalışmadaki Problem için Seçilen Tedarikçiye Ait Veriler (box.py'de Kullanılan)	38
Tablo 4. Rota Bazlı Kullanılan Kutu Tipleri	40
Tablo 5. Örnek Seçilen Bir Rota'daki Kutu Tipleri ve Kullanım Adetleri	41
Tablo 6. Manuel Kutulama 6 Yıl Tecrübeli Elemanın Sonuçları	65
Tablo 7. Manuel Kutulama 1 Yıl Tecrübeli Elemanın Sonuçları	65
Tablo 8. Sonuçların Karşılaştırılması	76

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1. Nesneler ve Bir Boyutlu A tama (İnternet 1).....	17
Şekil 2. Nesneler ve 2 Boyutlu Kutu lama A taması (İnternet 2).....	18
Şekil 3. Nesneler ve 3 Boyutlu Kutu lama A taması.....	19
Şekil 4. Montaj Fabrikası Parça Akış Şeması ve İç Lojistik Birimi Sorumluluk Alanı.....	17
Şekil 5. Örnek Seçilen Aylık Düzgün Paketleme Yapılmaması Kaynaklı Kullanılan Ekstra Sevkiyat Bilgileri.....	19
Şekil 6. Kontrollü Döndürme Kısıtı ve Döndürme Şekilleri.....	22
Şekil 7. Kutuların Palete Yerleştirilmesi ve Nesnelerin Birbiri ile Çakışmaması ve Ortogonal Yerleştirme Kısıtının Görselleştirilmesi.....	24
Şekil 8. Firmaya Ait Lokal Tedarikçilerin Hacimsel Oranı.....	26
Şekil 9. Metasezisel Yöntemlerin Arama Çözüm Sayısına Dayalı Sınıflandırılması.....	33
Şekil 10. Rulet Tekerleği Seçim Yöntemi ile A tamalara Karar Verme ve Kod Tanımlaması.....	42
Şekil 11. K ismen Uyumlu Çaprazlama Durum:1.....	44
Şekil 12. K ismen Uyumlu Çaprazlama Durum:2.....	44
Şekil 13. Çaprazlama Python Kod Tanımlamaları.....	44
Şekil 14. Probleme Ait GA'nın Parametre Tanımları.....	46
Şekil 15. Genetik Algoritmanın Genel Akış Diagramı.....	47
Şekil 16. GA'nın Python'da Uygulanması ve 1 Örnek Palet için Sonuç Sayfası.....	48
Şekil 17. Kutuların Her Bir Palet İçerisindeki Yerleşiminde Kullanılan Tanımlamaların Koordinat Düzenine Göre Gösterimi (Jiamin Liu ve Yong Yue, 2010).....	52
Şekil 18. Yükleme Kısıtlarının Python'da Tanımlanması.....	53
Şekil 19. Kutu Besleme Yönü ile İlgili Döndürme Kısıtının Tanımlanması.....	54
Şekil 20. Blok Oluştururken Kullanılan 4 Kuralın Tanımlanması.....	56
Şekil 21. Blok Oluşturmada Kullanılan İlk 3 Kuralın Tanımlanması.....	56
Şekil 22. Problem Tanımlarının ve Açıklamalarının Oluşturulduğu Veri Dosyası.....	58
Şekil 23. Mevcut Durumda Manuel Paketleme Yapılan Tüm Tedarikçi ve Rotalara Ait Paletlerin İstatistik Bilgisi.....	60
Şekil 24. 1 Palet için Modellemenin Çalıştırılması ve Sonuçlar.....	62
Şekil 25. Sistem Modeli Sonrası Ekstra Tır Kullanım Sayısındaki Azalma.....	68
Şekil 26. Yıllık İşlem Süresi İyileştirilmesi (işgücü kazancı).....	69
Şekil 27. Paletlerin Tam Kapasite Kullanım Oranları.....	71
Şekil 28. Paletlerin 3 Sonuç Bazlı Doğuluk Oranları.....	73
Şekil 29. Ortalama Palet Doğuluk Oranı.....	73
Şekil 30. Toplam Kullanılan Kutu Sayısı ve Boş Kutu Sayısı.....	74





ÜÇ BOYUTLU PALET YÜKLEME PROBLEMİNİN METASEZGİSEL ÇÖZÜM YAKLAŞIMI İLE BİR OTOMOTİV FABRİKASINDA UYGULAMASI

ÖZET

Anahtar kelimeler: Üç boyutlu yükleme, palet yükleme problemi, metasezgisel yaklaşım, genetik algoritma, tabu arama

Bu çalışma, lojistik yönetiminin yakından ilgilendiren iç ve dış lojistik disiplinlerinin her ikisinde de kullanılabilecek olan palet yükleme problem tipini üzerine yoğunlaşan bir çalışmadır. Bu tezin konusu olan üç boyutlu palet yükleme problemi (3B-PYP) sevkîyat zincirinin önemli bir halkasını oluşturur. Çalışmada, literatürde palet yükleme veya konteyner atama problemlerinin önümüze çıktığı bir diğer alt bölüm olan kutu lama problemleri önceliklendirilmiştir.

Bu çalışmanın amacıdır yükleme problemlerinin bir türevi olan 3B-PYP'yi kutu lama başlığında ele alarak, sektörün ihtiyaçları olan bazı özel kısıtlar altında en uygun çözümü üretmek ve sevk edilecek olan ürünlerin en az sayıda palete yüklenerek, kutu lama için tam bir küp yaparken en az sayıda boş kutu kullanılarak sevk edilmesini sağlamaktır. Kutu lama problemleri, yüke dayanım, kırılmalı kutu tipleri (karton) üzerine başka nesne konulmaması ve her bir palete tek bir tedarikçinin tek bir iç rota tasninin ürünlerinin yerleştirilmesi (bağlantılı nesnelerin bir arada olması) kısıtları altında ele alınmıştır. Kutu lama problemleri ve 3B-PYP'leri için Türkiye'nin sayılı büyük otomotiv üretim tesislerinden montaj bölümü iç lojistik birimine bu çalışma ile çözüm önerisi sunulmaktadır. Farklı kutu tipinin en verimli nasıl küp lenip sevk edileceği mevcutta ilgili birimde sadece manuel olarak kutu tiplerinin tanınması ve tecrübeye dayalı şekilde planlanıyordu. Diğer taraftan tedarikçiler ise gelen siparişleri karmaşa ve tecrübeye dayalı el yordamıyla bu lunan çözümler ile sevkîyata hazırlıyorlardı.

Günümüzde teknolojinin gelişmesi ve küreselleşme ile artan ticaret hacmi, lojistik operasyonların optimizasyonunu zorunlu hale getirmiştir. Bu operasyonları yüksek hızda, yüksek doğrulukta ve düşük maliyetle yürütmek için matematiksel optimizasyon araç ve modelleri kullanılarak bu çalışma ile optimum çözüm sunmak amaçlanmıştır. Sevkîyatta kullanılan kutuların en boy ve yükseklik ölçülerinden bir boyutu aynı olacak şekilde kabul edilip 3 boyutlu palet yükleme problemi 2 boyutlu palet yükleme problemine indirgenerek şirketteki kutu çeşitliliği ve kısıtların %90'ı uygulanmaya çalışılmıştır.

Çalışma sonucunda, tabu arama sezgiselleri ile genetik algoritma kullanılarak firmaya 3B-PYP'leri çözümleri sunulmuştur. Bu çalışmadaki sonuçlar doğrultusunda firmada manuel yöntemlerden otomasyona geçiş ve boş kutu ile toplam palet kullanım oranında azaltma sağlanmaya çalışılmıştır. Paletlerin doluluk kullanım hacmi artırılarak verimli paletleme yapılması ile maliyet azaltılması önerilmiştir.

THE APPLICATION OF THE THREE-DIMENSIONAL PALLET LOADING PROBLEM IN AN AUTOMOTIVE FACTORY WITH A METAHEURISTIC SOLUTION APPROACH

SUMMARY

Keywords: Pallet loading problem (PLP), 3-dimensional loading, metaheuristic approach, genetic algorithm

This study focuses on the type of pallet loading problem that can be used in both internal and external logistics disciplines, which are closely related to logistics management. The three-dimensional pallet loading problem (3D-PYP), which is the subject of this thesis, constitutes an important link in the shipping chain.

In this study, boxing problems, another subsection where pallet loading or container assignment problems are encountered in the literature, are prioritized. The purpose of this study is to handle 3D-PYP, which is a derivative of truck loading problems, under the title of boxing, to produce the most suitable solution under some special constraints that the industry needs, to load the products to be shipped. Also, another purpose is the minimum number of pallets, and to produce a complete cube for boxing, with the least number of It is to be shipped using an empty box. Boxing problems are handled under the constraints of load resistance, no other objects placed on fragile box types (carton), and placing products of a single supplier's single internal route on each pallet (linked objects together).

With this study, a solution proposal is presented for boxing problems and 3D-PYPs to the assembly division's internal logistics department, which is one of the largest automotive production facilities in Turkey. Currently, in this department, it is planned manually how different types of boxes will be loaded and shipped in the most efficient way, based on the recognition of box types and experience.

Nowadays, the development of technology and the increasing trade volume with globalization have made the optimization of logistics operations mandatory. In this study, it is aimed to provide an optimum solution with mathematical optimization tools and models to carry out these operations at high speed, high accuracy and low cost. By accepting one dimension of the boxes same and 3D pallet loading problem was reduced to the 2D pallet loading problem and 90% of the box diversity and restrictions in the company were tried to be applied.

As a result of the study, 3D-PYPs solutions were presented to the company by using tabu search heuristics and genetic algorithm. In line with the results of this study, it was tried to switch from manual methods to automation in the company and to reduce the use of empty boxes and total pallets. It has been proposed to reduce the cost by increasing the full usage volume of the pallets and making efficient palletizing.

GİRİŞ

Günümüzde teknolojinin gelişmesi ile Endüstri 4.0'ın etkileri görülmeye başlamıştır. Bu durum birçok sektörde ve işletmede çevik işletme kavramlarını ön plana çıkarmıştır. Çevik işletme veya alın üretim prensibine göre şirketlerin tüm mudalardan (israflardan) kaçınırken, esneklik ve optimizasyonunun en yüksek seviyede olması gerekliğin ortaya çıkarmıştır. Bu koşulları sağlayan işletme yapılarının sektördeki yaşam savaşında hayatta kalabilmeleri ancak mümkün olmuştur. Gelişen bu teknoloji ve sistemler diğer tüm sektörlerde olduğu gibi lojistik sektöründe de dönüşümüne neden olmuştur. Özellikle son yıllarda önemi artan ve hacimce genişleyen e-ticaret sektörü lojistik sektöründe meydana gelen dönüşümleri doğrudan etkilemektedir. Tüm bunların yanı sıra son yıllarda artan küresel salgınların tüm dünyayı kökten bazı değişikliklere zorladığına tanık olmaktaız. Özellikle 2019 yılı sonbaharında Çin'in Wuhan bölgesinde çıkan Covid-19 lojistik sektörü açısından ciddi sonuçlar ortaya çıkarmıştır. Hem şirketlerin hem de insanların yaşam savaşı verdiği bu dönemde lojistiğin ve Endüstri 4.0'ın lojistik uygulamalarındaki önemi ciddi oranda artmıştır. Dünya'nın izole olduğu ve içine kapanmış bir süreçte bir mal ve hizmetin bir yerden bir yere ulaştırılması eylemi çok hayati bir konuma gelmiştir bu nedenle küresel salgın sürecinde ve sonrasında büyük görevler üstlenen lojistik firmaları ve tedarik zincirleri kısıtlamaların yaşandığı bir dönemde en önemli araçlar olmuşlardır (Çelik, 2020). Bu noktada şirketlerin ayakta kalmalarını sağlayan en önemli etken ise teknoloji sistemleri ve otomasyonu bünyelerinde ne kadar barındırdıkları olmuştur. Lojistiğin temel bölümleri olan taşıma, depolama, paketleme alanlarındaki çalışmalarda yakın gelecekte otomasyon ile robotik uygulamaları artış sağlayarak insan teması azaltılacaktır. Yenilikçiliği ve gelişimi kendine hedef belirleyen şirketler lojistik uygulamalarında optimizasyon ve değişen pazar koşullarını hafifletmek için bu bölümlerin geliştirilmeye odaklanacaklardır.

Lojistik sektöründeki bu gelişmeler beraberinde birçok problemi de ortaya çıkarmaktadır. Her türlü depolama, yerleştirme ve taşıma maliyetleri en küçülenmesi gereken kalemlerdir (Song vd., 2019). Bu iyileştirmelerin sağlanabilmesi ve yüksek hızda düşük maliyetle gerçekleştirilmesi için matematiksel optimizasyon modelleri kullanılmaktadır. Bu modeller kullanıldığı takdirde gelecekte lojistikte insan temasını azaltma yöntemlerinden otomasyon ve robotik sistemlerinde de aynı zamanda

entegrasyonu yapılabilir olacaktır. Taşıma ve yerleştirme problemleri ele alındığında kutuların palet üzerinde verimli ve düzenli bir şekilde yerleştirilmesi problemi yani palet yükleme problemleri sevkiyat zincirinde özelliklerle pratikte büyük öneme sahiptir. Literatürde bu problemler konteyner yükleme problemleri olarak da karşımıza çıkmaktadır. Bu problemin en önemli özelliklerinden biride çok çeşitli gerçek yaşam kullanımına sahip olmasıdır.

Konteyner yükleme veya kutulama problemleri temelde 3 boyutlu bir yerleştirme problemidir. Kutular paletin kenarlarına paralel bir şekilde yerleştirilir ve üst katmanlarda da aynı şekilde devam edilir. Bu nedenle problem 2 boyutlu yerleştirme problemine indirgenmiş olur. Diğer bir ifade ile palet yükleme problemleri veya konteyner yükleme problemleri farklı ve/veya aynı en, boy ve yükseklikteki kutuların belirlenen amaç fonksiyonunu en küçükleyecek şekilde kapasite kısıtları belirli paletlere yerleştirilmesini konu alan bir problemdir. Palet yükleme problemleri üretici palet yükleme problemleri ve dağıtıcı palet yükleme problemleri olmak üzere 2'ye ayrılır. Üretici palet yükleme problemlerinde genellikle ürün en ve boy ları aynı olup palet içinde taşınacak miktarı en büyüklemeye odaklanılır. Dağıtıcı palet yükleme problemlerinde ise tam tersi durum söz konusudur.

Bu çalışmada Sakarya'da bulunan bir otomotiv fabrikasında gerçek hayat problemi üzerine çalışılmıştır. Problem, montaj bölümü iç lojistik biriminde ait olmasının etkisi ile üretici ve dağıtıcı palet yükleme problemlerinin hibrit bir versiyonu olma özelliğinde sahiptir. İç lojistik birimi, tedarikçilerin yapmış oldukları paletleri teslim alan ve anı hatta bunların dağıtımını yapan birimdir. Bu nedenle sadece paletlere yerleştirilmesi sırasında kullanılan kutuların ebatlarının farklı olması dışında kısıtlarda ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmadaki paletleme problemi yüke dayanım, kırılmalı kutu tipleri (karton) üzerinde başka nesne konulmaması ve her bir palete tek bir tedarikçinin tek bir iç rotasının ürünlerinin yerleştirilmesi (bağlantılı nesnelerin bir arada olması) kısıtları altında ele alınmıştır.

Çalışmanın hedefi, kutuların paletlere yerleştirilmesindeki verimliliğin artırılmasıdır. En az boş kutu kullanımı ile en düzenli küplemenin yapılması ve rota başına paletlerin 0.5 metre küp ile 1 metre küp arasında ideal paletleme kısıtını sağlayarak en optimum sayıda paletlemenin yapılması hedeflenmiştir. Her biri farklı boyutlardaki 25 kutu tipinin 16 farklı iç rota içerisinde 85 farklı yerli tedarikçide

oluşturulan paletlerin içine aylık değişken üretim sayısına bağlı siparişleri de göz önüne alarak nasıl yerleştirileceğine çalışıldı. Çalışmanın devamında şirketin lokal(yerli) parçaları içinde %90 sipariş hacminin oluşturduğu en fazla kutu tipine sahip olan tedarikçi iç planlaması başlangıç olarak seçilmiştir.

Her bir kutu tipi ve paletleme kısıtları tanımlanmıştır. Bu tanımlamalar doğrultusunda en iyi yerleşim planının belirlenmesi için matematiksel model ile çalışmaya başlanılmış fakat gerçek hayat problemindeki kısıt ve girdi yoğunluğu nedeniyle makul süre ve sonuçlar alınmadığı için, sezgisel model ve tabu araması metodu ile genetik algoritma kullanılarak en iyi yerleşim elde edilerek manuel yapılan planlama ile sonuçları karşılaştırılmıştır.

Şirkette ilgili birimde iç planlama yapılırken mevcut tamamen manuel ve tecrübeye dayalı olan ve seçilen tedarikçi de aynı şekilde tamamen tecrübeye ve el yordamına dayanan paletleme sisteminin iyileştirilmesi olarak şirkete önerilmiştir.

Özellikle Covid-19 sürecinde lojistiğin dönüşümü ve etkilerinin de göz önüne alırsak, çalışma yapılan şirkete gelecekte pazarda üstün rekabet sağlayacaktır. Yapılan optimizasyon çalışması otomasyon ve robotik düzenlenegrasyona uyumlu olması ile de öneri yapılan şirkete getiriyi artırmaktadır. Lojistiğin paketleme ve yükleme problemlerinin Endüstri 4.0 çözüm yollarından en önemli ve en yaygın olacak metodunun robotik kollar olduğu düşünüldüğünde yapılan çalışma gelecekte hizmet etmektedir.

1. KAYNAK ARAŞTIRMASI

1.1. Tezin Amaç ve Kapsamı

Bu çalışmanın amacı KYP'lerin bir türevi olan 3B-PYP'ni ele alarak, her gün yüzlerce kamyonu yükleyen ve sevk eden bir lojistik şirketinin ve bunları kullanan iç lojistik tekerar rota bazlı ayırıştırma iç lojistik biriminin karşılaştığı probleme çözüm geliştirerek günümüz sürecinde lojistiğin dönüşümüne gerçek hayatta ve literatürde katkı sağlamak tır. Kapsam olarak probleme ve çözüm yöntemlerini bakıldığında, kontrollü döndürme, yüke dayanım ve yığlama kısıtları, kırılabilir nesnelerin başka nesne üzerine konulmaması ve her bir palet/konteyner tek bir hattın veya tek bir rotanın ürünlerinin yerleştirilmesi (bağılantılı nesnelerin bir arada olması) kısıtları altında ele alınan kutulama problemi veya 3B-PYP'leridir.

1.2.Literatür Tarama

Üç boyutlu konteyner yükleme problemi (3B-PYP) tipik bir NP-zor problemdir yani polinomial zamanda en iyi çözüme ulaştırmak mümkün olmadığı için NP-zor sınıfındaki problemlerden biri olarak tanımlanmaktadır. Bugüne kadar, birçok araştırmacı 3B-PYP için de birçok çalışma yapmış olmasına rağmen, bu tür bir problemi çözmek için etkili bir yöntem bulunamamıştır. Geleneksel yöntemler halinde almış tüm yöntemler ise ;

kesin algoritmalar, sezgisel yöntemler ve meta sezgisel yöntemler olarak ayrılabilir. Ayrıca NP-zor problemler için sıkça kullanılan genetik algoritmalar da vardır.

Bunların çıkışı incelendiğinde ise kesin algoritmalar ile optimum çözüm elde edilebilir, fakat optimum çözümü makul bir sürede elde edemediği için sezgisel algoritmalar ve genetik optimizasyon algoritmaları 3B-PYP'leri çözmek için daha çok tercih edilen seçenek haline gelmiştir.

Bunların yanısıra literatürde aslında kapsam oldukça geniştir. Fakat temel olarak bakıldığında 3B-PYP veya KY problemi, birçok farklı türü olan ama esas olarak “kesme ve paketleme” (cutting and packing) problemleri kümesinde bulunan bir problemdir.

Literatür araştırılması yapıldığında stok kesimi veya kesim hurdası (cutting stock or trim loss) problemleri, kutu veya şerit paketleme (bin or strip packing) problemleri, yerleştirme problemleri, sırt çantası problemleri vs. gibi isimlerle ifade edilmiş olan çok çeşitli problemlerin de aslında kesme ve paketleme (cutting and packing) problemlerinin farklı isimleri olduğu fakat aynı problemi ifade ettiği görülmektedir.

Bu nedenle bu çalışmada literatür taraması yapılırken, karmaşıklık olmaması adına ve araştırma kitlesini belirli düzeyde doğru yönlendirme de tutabilmek için konteyner yükleme problemi ve kutulama problemi olarak 2 başlık altında sınırlı tutulmuştur. Konteyner yükleme problemlerinin alt sınıfında olan 3B-PYP’i de bu çalışmada ana konu olarak incelenmiş ve yer verilmiştir.

Bir diğer bakış açısı olarak ise literatür çalışmaları matematiksel programlama modellerine göre de sınıflandırılıp incelenebilir.

Amaç fonksiyonunun modellenmesine göre bakacak olursak girdinin enküçüklenmesi ve girdinin enbüyüklenmesi olarak 2 başlık altında değerlendirildiği görülmüştür. Bir başka şekilde ifade edecek olursak, gerçek yaşam problemlerinin literatürde kutulama problemi olarak ele alınan başlığı KYP için “girdinin enküçüklenmesi”, genelde gerçek yaşam problemlerinden biri olan ve literatüre yansıyan ismi ile sırt çantası problemi olarak adlandırılan problem KYP’deki karşılığı ise “çıkının enbüyüklenmesi” olarak ifade edilmektedir.

Girdinin enküçüklenmesinde karşımıza genelde temel iki konu olan konteyner yükleme ve kutulama problemlerinin çıktığını görürüz. Burada bir kutu kümesi vardır ve tüm kutuların konteynerlere en az sayıda konteyner kullanarak veya hacim kaybını enküçükleyecek şekilde yerleştirilmesi amaçlanmaktadır.

Çıktı enbüyüklenmesinde ise bir veya birden fazla belirli sayıda konteynere, belirli kutulardan yükleme yapılarak maksimum sayıda parça yüklemek veya hacimce maksimum doluluğa ulaşmak amaçlanır (Özsüt2015).

Literatür taraması bölümünü takip eden alt bölümde genel 2 başlık altında toplanarak konteyner yükleme problemi ve kutulama problemleriyle ilgili yapılan çalışmalaraya yer verilmiştir.

1.3.Konteyner yükleme problemleri

Palet yükleme problemleri üretici palet yükleme problemleri ve dağıtıcı palet yükleme problemleri olmak üzere 2'ye ayrılır. Üretici palet yükleme problemlerinde genellikle ürün en ve boy ları aynı olup palet içinde taşınacak miktarı en büyüklemeye odaklanılır. Dağıtıcı palet yükleme problemlerinde ise tam tersi durum söz konusudur.

Konteyner yükleme problemleri ayrıca yükün boyutuna göre üç boyutlu, iki boyutlu atama veya yukarıda da bahsedilen modelleme çeşidine göre çıktı en büyüklemesi ve girdi en küçüklemesi türleri olarak da sınıflarıda bulunmaktadır.

KYP'nin bu kadar çok çeşidinin ve farklı yapılarının olmasının sebebi, lojistik sektörünün öneminin son yıllarda artması nedeniyle gerçek hayata çok yakın olan bu probleme daha çok çalışılmış olmasıdır. Gerçek hayattaki problemin temelini oluşturan, lojistik firmaları tarafından kullanılan kutu veya konteyner çeşitliliğinin fazla olması sonucunda farklı yapılar da kısıtlar ortaya çıkmıştır. Bu da literatürde her çalışmayı kendine özgü ve farklı kılmıştır.

Temel olarak bakıldığında ise Chen ve Sen (1995), KYP'lerin en genel formunu ilk olarak matematiksel programlama ile modellemişlerdir.

Westerlund ve ark. (1993), N boyutlu atama problemleri için bir tamsayılı doğrusal programlama modeli önermişlerdir.

Tarnowski vd. (1994) 2-boyutlu giyotin kesme stok problemleri için polinomial zamanlı bir algoritma üzerine çalışmıştır.

Nelissen (1995) çalışmasında 1995 yılına dek literatürde bulunan sezgisel algoritmaları önerdiği yeni üst sınır metodu ile optimal sonuç verip vermediklerini doğrulamıştır.

Bischoff (1995) dağıtıcı palet yükleme problemleri üzerine çalışmışlardır. Yeni bir sezgisel algoritma önerilerek etkin bir yükleme yapılmasını sağlamışlardır.

Martins ve Dell (2008) çalışmalarında yeni sınırlar, sezgiseller ve kesin algoritma geliştirmişlerdir.

Ahn (2015) geometrik özellikler yönünden oldukça kullanışlı olan merdiven yapısında düzen üreten bir algoritma geliştirmiştir.

Kır ve Yazgan (2019) çalışmasında Karışık tam sayılı programlama ile modellemesi yapılan çalışma hibrid genetik algoritma ile gerçek hayattaki bir probleme çözüm sağlamışlardır.

1.4.Konteyner yükleme problemlerinin sınıflandırılması ve ilgili çalışmalar

Literatür taramasının ilk bölümünde de bahsedilen farklı yönlerden ele alınan edenlerle birçok sınıfı bulunan KYP'lerin bu bölümde konteyner yükleme kısıtlarına göre 3 boyutlu veya 2 boyutlu KYP olarak sınıflandırılması ve amaç fonksiyonunun atama çeşidine göre sınıflandırılması ile ilgili yapılan çalışmalar üzerinde durulmuştur.

1.4.1.Tekli konteyner yükleme problemleri (TKYP)ile ilgili çalışmalar

TKYP'lerde genellikle amaç fonksiyonu, tek bir konteynere mümkün olan en fazla sayıda nesnenin yerleştirilmesi olarak belirlenir. Bir başka şekilde ifade edersek yani girdinin en küçükleme olarak; en fazla sayıda nesnenin minimum sayıda özdeş konteynerlere yüklenmesi anlamına gelmektedir.

Chen ve Sen (1995), konteyner yükleme problemleri için analitik model geliştirmişlerdir. Literatürde çok sayıda sezgisel yöntem mevcut olsa da matematiksel modeller daha sınırlıdır. Chen ve Sen çalışmalarında matematiksel model ortaya koymuşlardır. Bu modelde kutu ve konteyner boyutlarının farklı olmasına izin verilmiştir. Kutuların tümünün yüklenmesi için uygun konteyner hacminin en küçükleme hedeflenerek seçilmiştir. Ayrıca parçalar analitik düzleme birimleri ile çakışmama ve konteynerin boyutunu aşmama temel kısıtları ile yerleştirilmiştir. Önsoldip köşe atamasına ait koordinatlar kullanılmıştır. Orijini soldüköşe temsil edecek şekilde koordinat düzlemi belirlenerek yerleştirme işlemi yapılmıştır.

Kutular yerleştirilirken kullanılmayan alanı azaltmak amaçlanmıştır.

Fakat bu yöntem incelendiğinde çözülmüş büyük boyutlu veya gerçek hayat problemleri olmadığı görülmektedir. Bunun sebebi ise büyük boyutlu gerçek hayat problemlerinde karar değişkeni ve ısıt sayısı çok fazla olduğu için bu tarz modellerin çözümünde uzun çözüm süreleri gerektirmektedir. Fakat bu çözüm metodundaki modelleme de kutu ve konteyner çeşitliliğine izin verildiği için çok boyutlu konteyner yükleme problemleri (ÇKYP) nde de kullanılabilmektedir.

Lin ve ark. (1993):

Tüm nesnelerin döndürülmeden yerleştirildiği TKYP'lerin çözümü için tavlama benzetimi algoritması ile katman oluşturma yaklaşımı olan SMILE algoritması ile genetik algoritmayı (GA) hibritlemiştir (Kır, 2019). Farklı bir blok yapısı ile katman oluşturarak 'L' yapısını baz alarak yerleştirme yapmışlardır.

Bischoff ve Ratcliff (1995)

Denge kısıtlı problemlerin çözümü için duvar oluşturma yaklaşımı ile çalışmanın sonucunda yeni bir sezgisel algoritma önerülerek etkin bir yükleme yapılmasını sağlamanın yanı sıra prosedürel farklı yöntem önererek paletlemelerdeki dengenin de kurulmasını olanak sağlamışlardır.

Bischoff ve Ratcliff duvar oluşturma yaklaşımı ile George ve Robinson'ın (1980) geliştirdiği yöntemle temelde aynı özellikleri barındırmakla beraber, bazı noktalarda ayrılmaktadır.

İki çalışmanın birbirinden ayrılan yönleri ise, katların oluşturulmasında George ve Robinson (1980) farklı tip birimlerin aynı katta bulunmasına izin vermiştir.

Bischoff ve Ratcliff ise katları sadece tek tip birimlerden oluşturmayı tercih etmişlerdir.

Ayrıca her katı oluştururken iki boyutlu yükleme problemi olarak ele almışlardır.

Lin ve ark. (2005):

TKYP'lerin nesnenin seçimi, alanın seçimi, nesnelerin döndürülmesi ve alt problemler için tanımlama yapılması şeklinde dört farklı parçaya ayırarak ele almışlardır. Yerleştirilecek nesne çeşitliliğini gözeterek problemlerin çözümü için de farklı sezgisel yaklaşımlar kullanmışlardır.

Martins ve Dell (2008):

Çalışmalarında yeni sınırlar, sezgiseller ve kesin algoritma geliştirmiştir. Önerilen G5-sezgiseli ele alınan problem sınıfının yaklaşık %99,7'sini optimum olarak, kalan %

0,3' lük kısmını ise en iyi çözümden sadece bir kutu farklı olacak şekilde sonucu bulmuştur (Ünal,2019).

1.4.2.Çoklu konteyner yükleme problemleri (ÇKYP) ile ilgili çalışmalar

ÇKYP daha önceki bölümlerde yapılan açıklamalarda olduğu gibi, amaç fonksiyonu verilen tüm nesnelerin en az sayıda, fakat özdeş olmayan konteynerlere yüklenmesi olan KYP'lerini ele alan sınıflandırılmış çalışma birimidir. ÇKYP'lerin kutuluma problemlerinden tek farkı genellikle konteynerlerin özdeş değil, çeşitli olmasıdır.

Dereli ve Daş (2010):

Çoklu konteyner yükleme problemi için hibrit tavlama benzetimi önerilmiştir. Maksimum hacim doluluğu ve ağırlıkla yükleme amaçları olarak belirlenmiştir.

Che ve ark. (2011):

Eley (2003) tarafından sunulan tam sayılı doğrusal programlama (ILP) modelini geliştirerek paketlenen kutuların yüzdesini kontrol eden yeni bir parametre eklenmiştir. Ayrıca modele hız kazandırmak için sezgisel method da eklenmiştir.

Li ve Zang (2015):

Che ve ark.nın sunduğu TKYP'nin çözümü için önerdikleri methodta değişiklikler yaparak ÇKYP'nin çözümündeki kullanılmaya uygun yeni bir method oluşturmuşlardır.

Feng ve ark. (2015):

ÇKYP'lerin çözümü için, en geniş boş alana ilk sıradaki nesnenin atanması ve en dip alt solda durma algoritması ile hibritlenmiş iki HGA geliştirmişlerdir.

2017 yılında Toffo b ve arkadaşları tarafından kontrollü döndürme kısıtları altında ÇKYP'leri ele almışlar ve bir gerçek hayat örneğinin çözümü için ayrıştırma yaklaşımı içeren çok fazlı sezgisel bir algoritma geliştirilmiştir (Kır,2019).

Paquay ve ark. (2018) :

Konteyner yükleme problemini esas alarak havacılık sektöründe kullanılan kesik paralel yüzölçümlü şekilli olan farklı ebatlardaki konteynerlere uyarlamıştır. Bu konuda geliştirilen matematiksel model ve karma tam sayılı doğrusal programlama gerçek dünya verileri ile test edilmiştir. Konteynerleri döndürme kısıtı, ağırlık ve ağırlık dengesi kısıtları altında geliştirilen algoritmanın denemesi yapılmıştır. Gerçek dünya

verileri kullanıldığı için NP-zor tipindeki bu probleme dair makul zamanda sonuç alabilmek adına ayrıca iki fazlı sezgisel bir algoritma önermişlerdir.

1.4.3. Kutulama problemleri ile ilgili çalışmalar

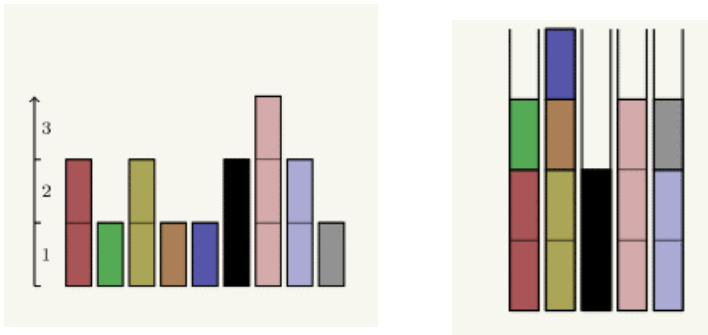
Kutulama problemleri basitçe; kutuların içinde en az boş alan bırakarak veya verilen tüm nesnelerin en az sayıda özdeş konteynera yerleştirilmesi olan konteyner yükleme problemlerini ele alan amaç fonksiyonunu en küçükleyen çalışmalardır.

Kutulama problemi bilgisayar bilimi ve mühendisliği, ulaşım, lojistik ve iletişim gibi birçok alanda kullanılmıştır (Hashim ve diğ. 2014).

Kutulama probleminin boyutlarına göre incelendiğinde bir boyutlu, iki boyutlu ve üç boyutlu olmak üzere sınıflandırılır.

1.4.3.1. Bir boyutlu kutulama problemi

Bir boyutlu kutulama problemi yüklemesi yapılacak olan nesnelerin sadece tek boyutları ele alınmaktadır. Bir boyutlu kutulama probleminde, farklı hacimlerdeki nesneler kullanılan kutuların sayısını en aza indirecek şekilde eşit boyutlardaki kutulara yerleştirilmelidir. Bu problemde yapılan yüklemelerin maksimize edilmesinin yanı sıra kullanılan kutu sayısını azaltmak amaçlanmıştır (Hashim ve ark. 2014)



Şekil 1. Nesneler ve Bir Boyutlu A tama (İnternet 1).

Bir boyutlu kutulama probleminin yapısı ve uygulamaları 1930'lu yıllardan beri çalışılmıştır. Bu problemin çözümü için ilk olarak matematiksel yöntemler önerilmiştir (Kantorovich 1960).

Gilmore ve Gomory(1961):

Bu problem sınıfı için, Dantzig-Wolfe (1960) ve Ford-Fulkerson (1961) tarafından geliştirilen yöntemlerden yararlanarak, sütun oluşturma kavramını yöntemi geliştirmişlerdir.

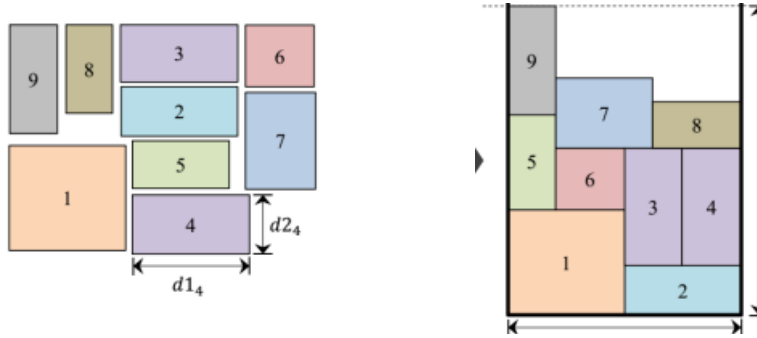
Martello ve Toth (1987):

Dalve-sınır algoritmasını oluşturarak bir boyutlu kutulama problemi için kullanılan en eski yöntemlerden birini bulmuşlardır.

Bu yöntem pek çok çalışmada karşılaştırmayı yapmak için referans olarak kullanılmıştır.

1.4.3.2 İki Boyutlu Kutulama Problemi

İki boyutlu kutulama probleminde nesnenin iki boyutu (en ve boy) ele alınmaktadır. Bu problemlerde yine amaç en az sayıda kutu kullanmak ve boş alanları minimum seviyeye indirmektir.



Şekil 2. Nesneler ve 2 Boyutlu Kutulama Aşaması (İnternet 2).

Pimpawat ve Chaiyaratana (2001):

Kutulama problemlerini ele alarak çözümü için yükleme sırasını daha küçük dizilere ayırarak sıralayan sezgisel bir kuralla birlikte kullanılan bir yardımcı eş-evrimsel genetik algoritma sunmuşlardır.

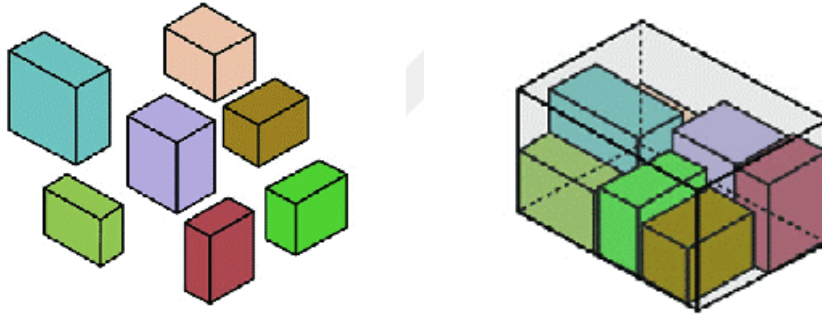
Almeida ve Figueiredo (2010):

Kutu için köşe noktaları ve köşe noktası için kutu olarak adlandırıldıkları iki sezgisel yaklaşım önermişlerdir. Bunun yanı sıra, nesnelerin döndürülmesine müsaade edilmeyen heterojen problemler için bir matematiksel programlama modeli de önermişlerdir.

1.4.3.3 Üç Boyutlu Kutulama Problemi

Üç boyutlu kutulama problemi en zor kutulama problemi olarak tanımlanır. Bu problemde şeklin x, y ve z boyutları ele alınır. Konteyner yükleme problemlerinin amaç fonksiyonunu enküçükleyen olarak karşımıza çıkmaktadır.

Konteyner palet yerleştirme sırasında cismin genişlik, yükseklik ve derinliği baz alınmaktadır. Bu tip problemlerde döndürme kısıtının da etkin olup olmayacağı problemin zorluğu açısından önemlidir. 1 ve 2 boyutlu kutulama problemleri ile ilgili çok sayıda araştırma olmasına rağmen, 3 boyutlu kutulama problemlerindeki araştırma ve çözüm metodlarının ispeten daha azdır.



Şekil 3. Nesneler ve 3 Boyutlu Kutulama A taması.

Gonçalves ve Resende (2013):

2012'deki çalışmalarında kontrollü döndürme ve (opsiyonel olmayan) denge kısıtları altındaki TKYP'lerin çözümü için sundukları yerleştirme prosedürünü özgün bir eğilimli rassal anahtar GA ile hibritleştirip iki ve üç boyutlu kutulama problemlerini çözmüşlerdir(Kır,2019).

Delorme, Iori ve Martello (2016):

Kutulama probleminin tam olarak çözümü için geliştirilen en önemli matematiksel modeller ve algoritmalar ve mevcut yeni yazılım araçlarının performansını en son teknoloji bilgisayarlarda deneysel olarak değerlendirmek amacıyla bir çalışma yapmışlardır.

Özcan (2016):

Özcan ve arkadaşları da yaptıkları bir çalışmada CUDA kullanarak grafik işlem biriminin gücünden yararlanan gruplamagenetik algoritmasını önermişlerdir.

Kır (2019):

Kontrollü döndürme kısıtı, kırılabilirlik kısıtı, yüke dayanım kısıtı ve bağlantılı nesnelerin bir arada olması kısıtı gibi ek yükleme kısıtlarını da ele alarak karışık tam sayılı doğrusal programlama modeli geliştirmiştir. Geliştirilen modelin gerçek hayat problemlerinde de kullanılabilmesi için bir yığın oluşturma tabanlı, diğeryatay katman oluşturma tabanlı olmak üzere iki farklı sezgisel yaklaşım ile hibritlenmiş bir hibritgenetik algoritma (HGA) geliştirilmiştir. Akıllı dinamik çaprazlama operatörü (A-DÇO) adı verilen bir çaprazlama operatörü de geliştirilmiştir.

2. PROBLEMİN TANIMLANMASI

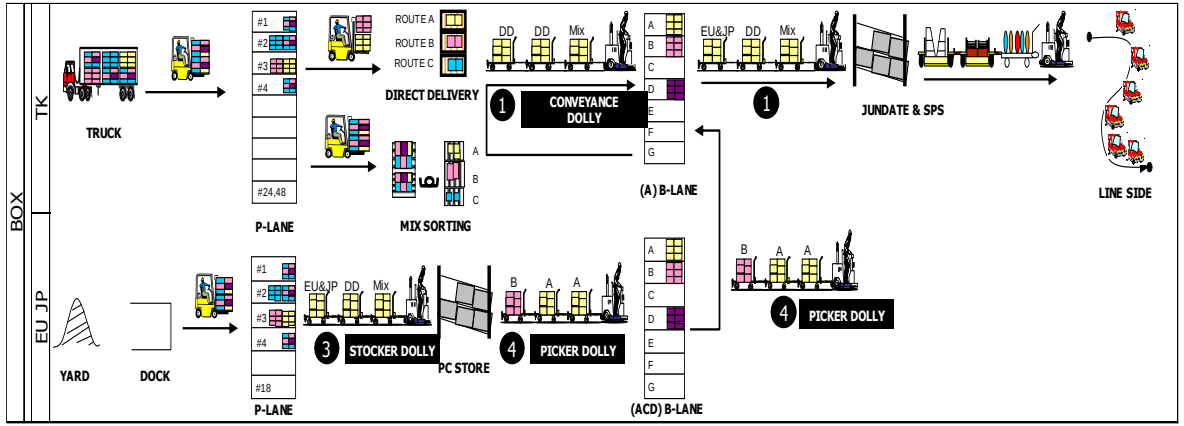
2.1. Problemin Tanımı

Çalışma uygulama sahası bir otomotiv firmasının Montaj Fabrikası Lojistik birimidir. Boyanmış gövdeler montaj fabrikasına girerken, gerekli diğer parçalar da “tam zamanında” prensibine uygun olarak montaj istasyonlarına ulaşır. Farklı modellerin aynı hatta üretilmesi sırasında dengeli üretime büyük önem verilmektedir. Araçlar montaj fabrikasına girer girmez “manifast” adı verilen ve araç ile ilgili tüm özellikleri anlatan, operatörlerin hat kenarından ilgili aracın özelliğine göre parça seçimine ve kontroline yardımcı olan bilgileri bu lunduran bir kağıt üzerlerine yerleştirilir. Araçlar ana hatlara ilerlerken alt parçaların üretildiği yan hatlardan parça üretiminin başlamaktadır. Alt parçalar gövde ile zamanında ve doğru adreste buluşmalıdır. Tedarikçilerden gelen parçalar da ana hat üzerinde tanımlı adres ve raflarına “tam zamanında” prensibine göre minimum stok ile ulaşmalıdır. Bu noktada montaj iç lojistik departmanı, montaj üretim hatlarında kullanılan parçaların tedarikçilerden mal kabulü, tır boşaltılması ve ilgili kullanım alanı olan ana hatlara sevkiyatına kadar olan kapıdan kapıya lojistik zincir sistemindeki parça akışından sorumludur.

Bu parça akışı ve montaj iç lojistik biriminin sorumluluk alanının celdiğinde; firmaya tüm tedarikçilerden gelen ürünler paketleme türlerine ve tedarikçi menşelerine göre sınıflandırılmıştır. Tedarikçilerden gelen ürünlerin sevkiyat ve mal kabulünün yapıldığı kapılar Türkiye’den tedarik edilen lokal parçalara ve Avrupa/Japonya’dan gelen parçalara göre ayrılmıştır. Lokal parça mal kabulü ve sevkiyat operasyon akışları ise paketleme türlerine göre belirlenmiştir. Metal paketleme türü ve kutulardan oluşan palet türlerine göre parça akış operasyonu da ikkiye ayrılmıştır.

Çalışmanın yapıldığı alan kutulama ve konteyner yükleme problemlerini içeren kutu parçaların paletlenmesi ve ana hatlara dağıtımının yapıldığı proseslerden oluşmaktadır.

Aşağıdaki Şekil:4’te tüm montaj fabrikası ana parça akışını ve çalışmanın kapsamı olan sorumluluk alanlarını görebilirsiniz.



Şekil 4. Montaj Fabrikası Parça Akış Şeması ve İç Lojistik Birim Sorumluluk Alanı.

Firmanın üretim hacminin %80 oranındaki parçaları lokal tedarikçilerden sağlanmaktadır. Toplamda 85 lokal tedarikçi den parça tedariği yapan montaj fabrikası milkrun metodu ile parçaların sevkîyatını gerçekleştirmektedir.

Her ay üretim kontrol departmanından alınan üretim sayıları, araç model ve özelliklerine bağlı değişkenlik gösteren tedarikçi bazlı parça kullanım oranları ile birlikte ana hatta tüm parçaların zamanında teslimatı için iç rotaların planlamalarını yapmakta dırlar.

Yapılan bu planlamalar aynı zamanda dış lojistik ile ilgili olan tedarikçilerden minimum kutu lama yapılmış paletlerin maksimum şekilde tıra yüklenmesine de etki etmektedır. Şekil 4’te de görülebileceğın iz üzere tırlardan indirilen her paletin ana hatta sevkîyatı sırasında kullanılan taşıma araçları ve rotaları mevcuttur. Bu rotalarda aynı şekilde minimum araç kullanılarak maksimum sayıda tek seferde parça sevkîyatı yapılması gerekmektedir. Bu paletlemelerin planlanması ve küp olacak şekilde tabanlara yerleştirilmesi işlemi ise manuel olarak hesaplanıp, otomatik olarak sistem üzerinden firmalara gönderilmektedir. Plan ile gerçekleşen arasında çıkan üretim hacmi değışikliği kaynaklı farklar ise el yordamı ile en verimli küp olacak şekilde tedarikçiler tarafından yerleştirilmeye çalışılmaktadır.

Üretim kontrol departmanından gelen bilgiler doğrultusunda montaj iç lojistik birimi ilgili tedarikçilerin ilgili parçalarının ana hatta teslimatı için optimum küplemeyi planlamaya çalışmaktadır. Sadece lokal kutu parça sayısına bakıldığında 2555 adet

farklı parça türünün 25 farklı kutu tipi kullanılarak paketlenildiği tedarikçilerden ilgili kutuları en verimli küpleme yaparak, en az boş kutu kullanarak sevkiyatını gerçekleştirmeye çalışmaktadır. 85 firma, 2555 parça türü, 25 farklı kutu tipinin 1'er metre küplük paketleri oluşturacak şekilde plastik paletlere yerleştirilmesi ve 16 rotdan oluşan iç rotalar ile ana hatta dağıtımının planlanması işleminin her ay firmav e parça-parça olacak şekilde palet üzerindeki diziliminin manuel olarak yapmay a çalışmaktadır. Çalışmanın yapıldığı birimde sistem otomatik olarak kendi kısıtları doğrultusunda bir küpleme önerisi getirmektedir fakat bu sistem kutuların diziliminin ve dengeli küpleme olması için kullanılması gereken boş kutu tipi ve adetini hesaplamalarına dahil etmemektedir. Bu nedenle gerçek hayatta sistem çıktısı doğrudan tedarikçiler ile paylaşıldığından küplemelerle ilgili oldukça fazla problem ile karşılaşılmalıdır. Birbiri üzerine setlenemeyen paket tiplerinin kullanımı ve dengesiz küpleme kaynaklı iş güvenliği problemleri ve verimsizlikler meydana gelmektedir. Ayrıca tedarikçi ile ilgili birimde çalışanların deneyiminde dayalı bir boş kutu kullanma durumu oluşmaktadır. Bu da sevkiyatı yapılan ürünlerde fazla boş kutu kullanma, verimsizlik ve iç lojistik birimine bağlı rotalarda ana hatta parça taşıyan ve dağıtım yapan operatörlerin gereksiz çok sayıda elleçleme yapmasına yol açmaktadır. Ayrıca ilgili birimde yapılan aylık raporlamalardaki küp verimliliği boş kutuların kullanım bilgisini veren bir sistem olmaması kaynaklı, boş kutular dikkate alınmaksızın hesaplanmaktadır.

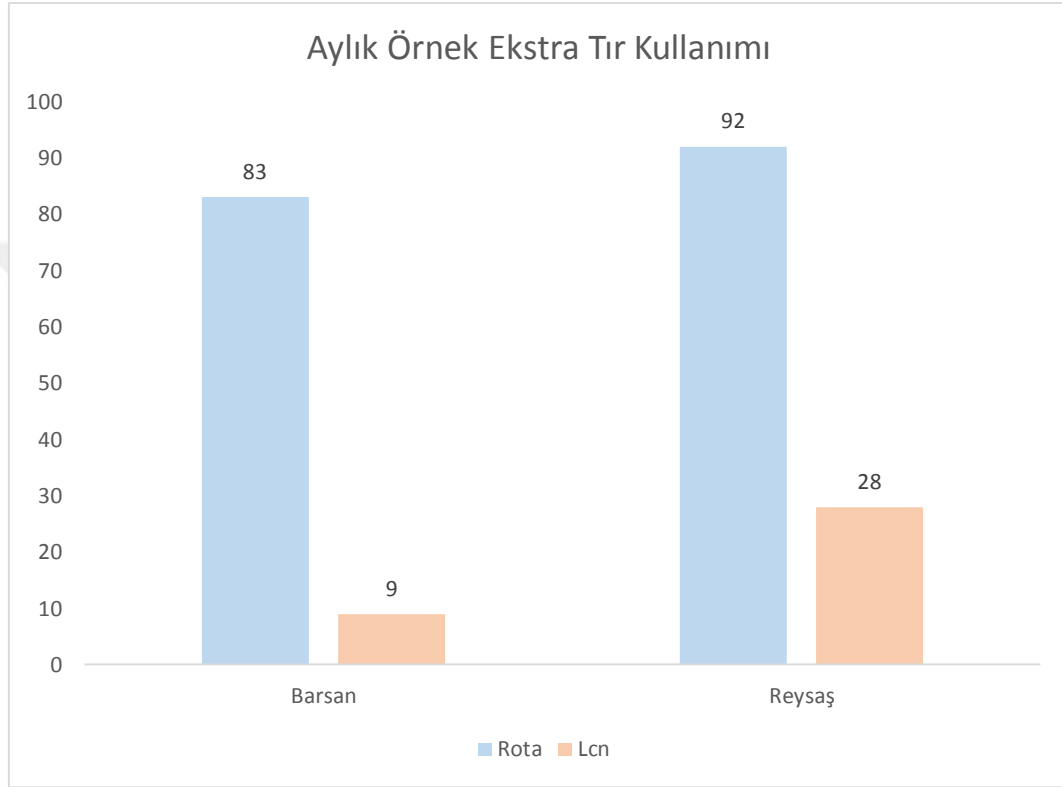
Bu nedenle iç lojistik biriminde sistem çıktıları ilgili çalışan tarafından her ay yaklaşık 1 haftalık işgücü harcanarak manuel olarak firma bazlı ve kutu tipi bazlı deneyiminde dayalı şekilde manuel olarak küpleme simülasyonu yapılarak planlanmaktadır. Fakat bu işlem çalışana bağlı olarak yapıldığı için en verimli şekilde küpleme yapılp yapılmadığı k yaslaması da yapılamamaktadır.

Tüm bunların yanı sıra manuel olarak boş kutu ve kutuların palet içerisinde yerleşiminin planlanması kaynaklı zaman zaman 0.5 metre küplük hacmin altında kalan ve firma tarafından verimsiz paletleme olarak değerlendirilen küplerde oluşmaktadır.

Toplamda en az kutu ile en fazla parçanın sevkiyatının sağlanması ve en verimli küplerden oluşan maksimum paletin minimum sayıda tır ile sevkiyatının gerçekleştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu noktada yapılan küpleme çalışması

sonucunda dış lojistikte kullanılan tır sayısı ve lojistik maliyetleri de doğrudan etkilenmektedir.

Manuel ve deneyime dayalı yapılan bu küplleme simülasyonu işlemi aylık planlamalarda kullanılan boş kutu sayısının artması ve verimsiz paketlemeler nedeniyle ekstra tır kullanımına da neden olmaktadır (Şekil:5). Her bir ek rota veya Lcn maliyeti işletmeye 200 Euro/day olarak yansımaktadır.



Şekil 5. Örnek Seçilen Aylık Düzgün Paketleme Yapılmaması Kaynaklı Kullanılan Ekstra Sevkiyat Bilgileri.

Bunların yanı sıra her saat diliminde hatta sevkiyatı yapılması gereken parçaların ayrı ayrı ve fazla sayıda kutu ile küplenmesi kaynaklı anahatta parça yetişmemesi, üretim duruşları, operasyon verimsizlikleri ve takım lideri iş yükünün artışına neden olmaktadır.

Özetleyecek olursak temelde iki ana tip problem ortaya çıkmaktadır.

Birincisi talep edilen ürünlerin en az sayıda palet ile sevk edilmesi, ikincisi de ürünlerin yerleştirildiği paletlerin, önceden belirlenen rotaya bağlı olarak ilk teslim edilecek paletin en son yüklenmesi gibi birtakım kurallarla araçlara yüklenmesi problemidir.

Araç yükleme sonrası ise ilk dağıtım yapılacak adrese göre dağıtım araçlarındaki kapasiteye bağlı rota bazlı paletlerin yerleştirilmesi işlemi vardır. Literatürdeki örneklerle de bu iki tip problemi incelediğimizde biri üç boyutlu, diğeri iki boyutlu olan iki farklı konteyner yükleme ve kapasite kısıtlı araç yerleştirme problemi ile karşı karşıya olduğumuzu görmekteyiz. Bu problemler ne kadar doğru/gerçekçi kısıtlar altında ele alınırsa, elde edilen çözümlerin de pratikte yansması o kadar uygun olabilir ve değerli olacaktır. Fakat örnek kütesinin 85 tedarikçi, 2555 parça türü, yaklaşık 2000 palet ve 16 rotaya dağıtım göz önüne alındığında yapılacak çözüm önerisinin problemin NP-zor problem sınıfında yer alması ile birlikte makul sürelerde sonuç vermeyeceği görülmektedir.

Bu nedenle örnek küteyi en iyi temsili sağlama adına en büyük parça hacmi, en fazla kutu tipi ve en fazla rotaya ait parça bulunduran 1 tedarikçi ile çalışılma kararı alınmıştır.

Önerilen çözümün tale etkisi ve yararı gözlemlendikten sonra diğer firmalara da çalışmanın yaygınlaştırılması planlanmaktadır.

Bu tezde ele alınan problem, temelde KYP'lerin bir türevi olan 3B-PYP'dir. Fakat paletlere kutuların yüklenme işlemi gerçekleştirildikten sonra yapılan küplemeler dış lojistik birimine ait olan tırlara yüklenmesi işlemi de etkileyeceği için aynı zamanda KYP olarak da değerlendirilebilir. Sevkiyat yapılan tüm tırların özdeşi ve 80 m³ dorselerden oluştuğu 32 taban ve 3 kat ideale 1'er metreküp paletlerden aldığı kabul edilerek çoklu palet yükleme problemi olarak tanımlanabilir.

En (W), boy (L) ve yüksekliği (H) bilinen bir tıra, tırın kasa boyutlarını aşmayacak ve birbirleriyle çakışmayacak şekilde, en (wi), boy (li) ve yüksekliği (hi) bilinen en fazla sayıda paletin yerleştirildiği, ya da bir tır kasaındaki hacimsel kullanım oranının en büyük olduğu üç boyutlu ortogonal yerleştirme/paketleme problemi de etkisi olan her bir palet üzerine yüklenerek kutu sayısını ve palet doluluk verimliliğini en büyükleyen problem üzerine çalışılmaktadır.

2.2. Çalışılan 3 Boyutlu Palet Yükleme Probleminin Kısıtları

Problemın tanımlanması adımımda da bahsedildiği gibi büyük hacimde üretim gerçekleştirilen otomotiv firması montaj fabrikasında tedarikçi sayısı ve kullanılan parça özellikleriyle bağlantılı olarak kutu türleride çok çeşitlilik göstermektedir.

Ana hatlara dağılımı yapılması gereken parçalara ait kutuların bir palet üzerine küp lenerek oluşturuldukları paketlenmeler firmabazlı ayrıştırılmış olarak gelmektedir.

Aynı şekilde rota bazlı ve montaj noktası adresine göre de aynı küp içinde paketlenmiş olması gerekmektedir. Örneğin, en büyük kütle i temsil etmesi fakat aynı zamanda çözüm getirilecek methodun testi sırasında makul sürelerde çalıştırılabilmesi için, sipariş hacmi en büyük olan tek bir tedarikçi firma seçilmiştir.

Bu firmadan montaj hattına gelen parçalar 10 farklı iç rota ile farklı adreslere dağıtılmaktadır. Firmaya ait 120 parça türü veya yaklaşık günlük 137 m^3 hacimde parça kullanılmaktadır. Tüm bu parçaların paketlenmesinde 16 farklı kutu tipi kullanılmaktadır.

Tüm bu çeşitlilik gözönünde bulundurularak genişliği W , derinliği D ve yüksekliği H olan bir tır dorsesine yine genişlikleri w , derinlikleri d ve yükseklikleri h i olan n adet birim ikarımaksimize edecek şekilde, başka bir deyişle boş alanların minimize edecek biçimde konumlandırılmaya çalışılmaktadır. Tır dorsesi öncesinde ise gene genişliği $W=120 \text{ cm}$, derinliği $D=80 \text{ cm}$ ve yüksekliği maksimum 110 cm olacak şekilde küpler halinde minimum boş kutu kullanılarak optimum paletleme yapılmaya çalışılmaktadır. Bu paletleme işlemi için ise kısıtlar ve koşullar bu lunmaktadır.

Bağılantılı nesnelerin bir arada olması kısıtı:

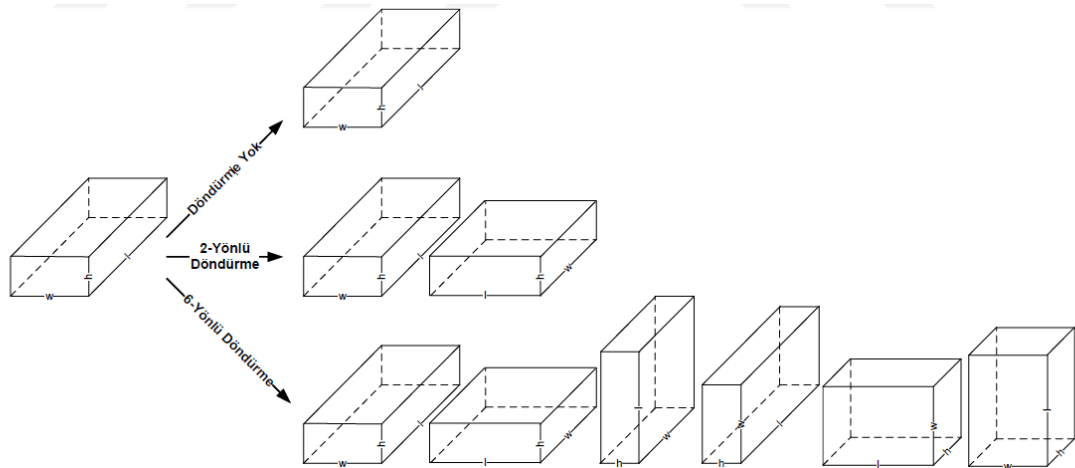
Ele alınan problemde göz önüne alınan her palete tek bir rotaya ait ürünlerin yüklenmesi olarak tanımlayabiliriz. Her bir palete sadece tek bir rotaya ait ürünler ve aynı kutu tiplerinin bir arada paketlenmesi esasına dayalı olarak önceliklendirilerek yerleştirilir. Bu kısıtın ele alınmasının sebebi; gerçek hayatta tedarik edilen parçalar müşteriye yani ilgili fabrikaya gittiğinde eğer farklı rotalara ait parçalarla aynı paketlenme içinde bulunursa ekstra fabrika içinde elleçleme yapılarak parçaların rota

bazı ayrıştırılması ve bu işlemin yapılabilmesi için de işgücü ve alan ihtiyacı ortaya çıkacaktır. Bunların yanı sıra elleçlemelerden kaynaklı parçalarda kalite problemleri de meydana gelme riski artacaktır.

Aynı rota ya ait farklı parçaların kullanım oranına bağlı olarak o saat dilimine ait veya günlük siparişleri bir paleti doldurmasa bile, bir sonraki sipariş bekletilmeksizin sevkiyatın yapılması gerekmektedir. Bu noktada zaman zaman verimsiz paletlemeler oluşabilmektedir. Bu durumun önüne geçebilmek için ise parça sevkiyat sıklığı düşük olan ve kullanım oranı düşük olan farklı rotalara ait kutuların birleştirildiği ve adna mix denilen paletler yapılarak sevk edilmektedir. Toplamda optimizasyonu sağlayarak verimliliği artırmak için mix adı verilen bu paletlerin oranlarının düşürülmesi hedeflenmektedir.

Kontrollü döndürme kısıtı:

Bu tezde ele alınan 3B-PYP’de paletlere yerleştirilecek bazı ürünler, X, Y ve Z eksenleri etrafında döndürülebilmektedir. Fakat seçilen tedarikçiye ait parçalar elektronik cihazlar ve hassas içerikli araç parçaları olmaları nedeniyle sadece XY düzleminde 2 yönlü döndürülebilmektedir.



Şekil 6. Kontrollü Döndürme Kısıtı ve Döndürme Şekilleri.

Kırılgenlik kısıtı:

Kırılgan olarak tanımlanan parçaların üzerine başka kutu konulmayacak şekilde ya da en üste yerleştirilmesi kısıttır. Firmanın total parçaları içerisinde karton kutu ile yapılan paketlemeler için bu kısıt geçerlidir. Standart kutu tanımı olan karton kutu üretiminde kullanımı bu kısıt nedeniyle paletlemeleri zorlaştırdığı ve parça kalitesine zarar geldiği için iptal edilmeye çalışılmaktadır. Bu nedenle seçilen tedarikçi firmaya ait 16 kutu tipi içerisinde karton kutu bulunmamaktadır. Fakat yapılan verimsiz paletlemeler sonucu dengeli bir küp oluşturulabilmek için çok sayıda boş kutu kullanıldığında döngüdeki gelen ve giden boş kutu dengesi bozulmaktadır. Bu durumda firma elinde sevk iyat zamanı gelen parçaları geçici paketleme olarak karton kutu ile sevk edebilmektedir. Bu gibi durumlarda kırılganlık kısıtı başlığı altında ilgili paketlerin paletin en üst katına konulması zorunluluğu vardır.

Yüke dayanım veya yığılma kısıtı:

İlgili paletleme işlemi bittikten sonra yapılan ara sevk iyatlarda fork lift operasyonları kullanılmaktadır. Bu operasyonlar sırasında eğer firmaya ait aynı rota da ağırlık farkı olan farklı tür parçalar varsa ağır parçaların alt katlara yerleştirilmesi kısıtı vardır. Üst katlara ağır parçaların yerleştirilmesi denge problemine ve devrilme riskine neden olacaktır. Bu durumda işgüvenliği ve parça hasar maliyeti açısından istenmemektedir. Ayrıca sağlamlık ve dengeden dolayı tüm kutuların birbirine tam yerleşmesi ve alt yüzlerinin üst yüzünden birine muhakkak değmesi gerekliliği vardır. Seçilen tedarikçi de kutu alt yapısı ve boyutu gereği yığınlamak kısıtı olan kutu tipleri bulunmamaktadır.

Ağırlık ve palet içi ağırlık dağılım kısıtı:

Hazırlanacak paletlerin yüklenmesi sırasında devrilmemesi, küplerin elleçlenmesi sırasında ergonomik zorluklara neden olmaması adına ve konteynerin nihai yükleme yapılırken de konteynerin ağırlık merkezinin konteynerin tabanının geometrik orta noktası olacak şekilde planlanması gereken kısıtlardandır.

Temel Kısıtlar:

Yukarıda tanımlamaları yapılan kısıtlar dışında her 3 B-PYP 'lerinin doğası gereği kullanılan kısıtlamalar da vardır.

Temel kısıt olan siparişi çıkan tüm parça ve kutuların yerleştirilmesi kısıtı, nesnelerin birbirine çakıştırılmadan yerleştirilmesi kısıtı ve kutuların verilen palet boyutundan

taşmayacak şekilde ortogonal yerleştirme kısıtı ile birlikte paletin her bir eksenine paralel olacak şekilde yerleştirilmesi işlemi bu çalışmadaki kısıtlardandır.

Fakat 3B-PYP'nin de tanımlanan temeldeki kısıtlar ve amaç fonksiyonu aşağıdaki gibi olacaktır.

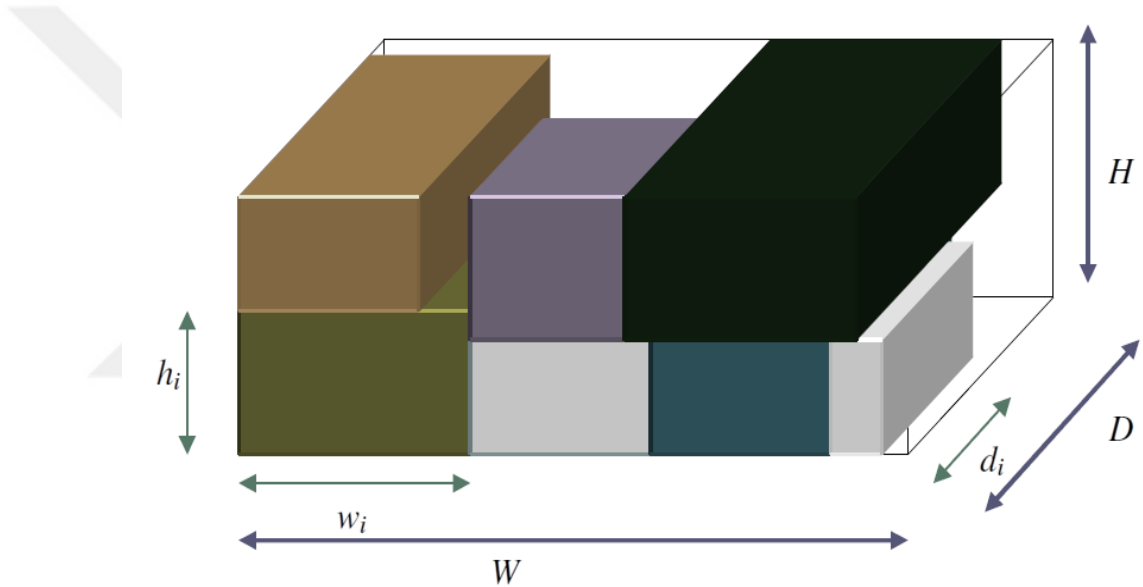
$$Z_{max} = \sum (w_i \times d_i \times h_i)$$

$$\sum w_i \leq W$$

$$\sum d_i \leq D$$

$$\sum h_i \leq H$$

$$w_i, d_i, h_i \geq 0$$



Şekil 7. Kutuların Palete Yerleştirilmesi ve Nesnelerin Birbiri ile Çakışmaması ve Ortogonal Yerleştirme Kısıtının Görselleştirilmesi.

2.3 Seçilen Tedarikçi ve Sevkiyat Ürünleri Hakkında Bilgi

Lokal kutu parçaların 3 boyutlu paketlenme ve paletlere yükleme problemlerinde iyi yerleştirme sağlamak için yapılacak çalışmada parça hacmi en yüksek olan plastik ve elektronik parça ağırlıklı tedarikçi seçilmiştir (Şekil 8).

Tedarikçiye ait parça bilgileri, kullanılan kutu tipleri, rota bilgileri ve rota bazlı yapılan küplemelerdeki palet kodları, parça bazlı kullanım bilgileri, toplam palet ağırlığı ve kutu ağırlıkları Tablo 1'de gösterilmiştir. İlgili tedarikçi ile yapılan çalışmada

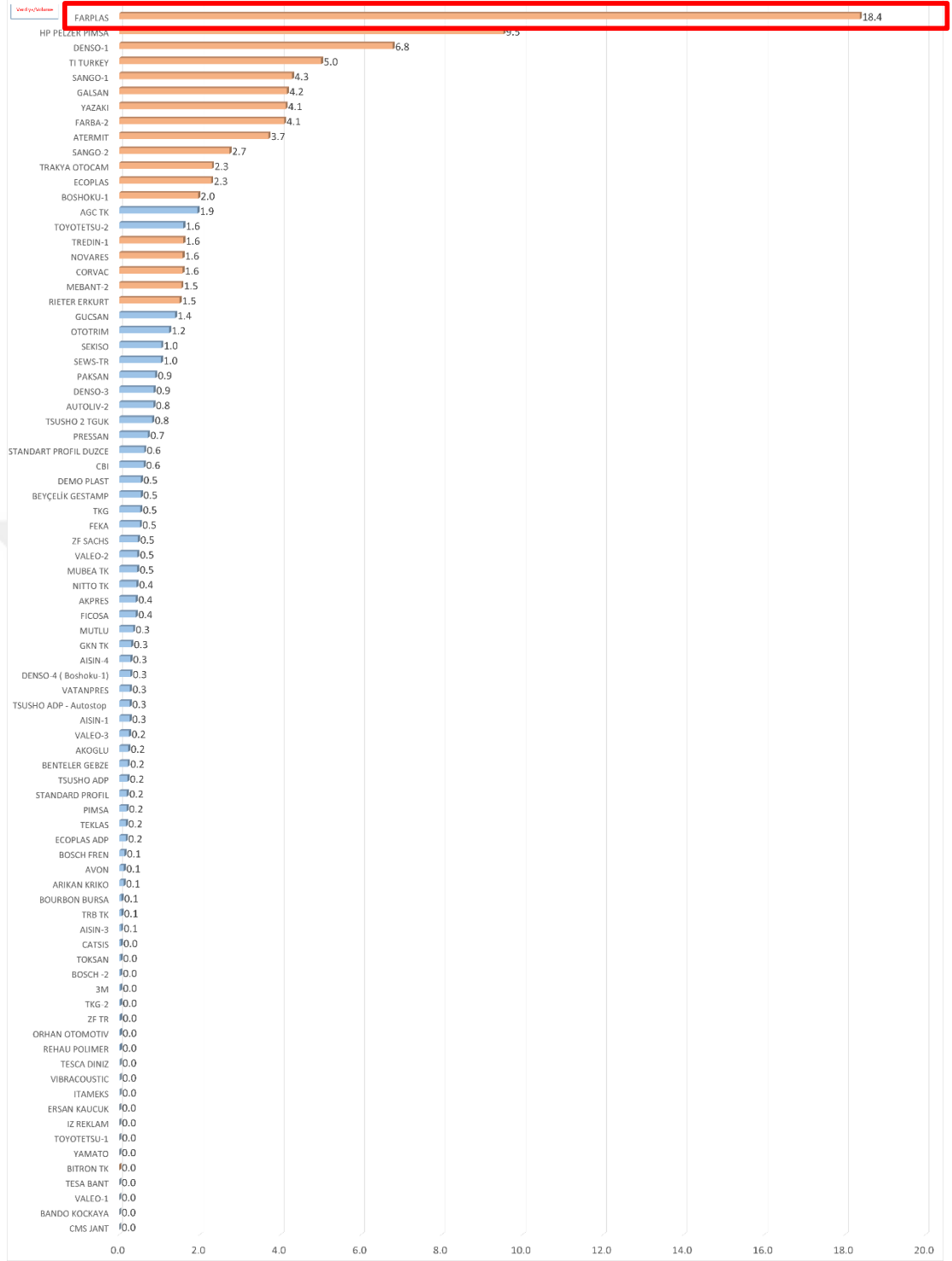
120 parça türü, 16 farklı kutu tipi ve 10 iç ro taya dağıtım ve pak etleme kapsam ında veri iç ermek ted ir.

Örnek lem kü tles i gere ğ i ç a lış m an ın verimlili ğ in i test ed ilmesi ad ın a 1 test p roblem i tan ımlamas ı ile ilk etap ta s ın ırlı tu tlu m u ş tur. Ç a lış mada k ullan ılan genetik algoritma ile sezgisel yük leme ve yerleş tirme metodunun sonucu ve yarar ı den end ik ten sonra aynı tedarikçi firman ın tüm rotaları için ön erilen ve geli ş tirilen yön temin den enmesi ilk in ci etap o larak p lan lanmak tad ır.

Tab lo 1 'den ç a lış ma için seç ilen ve algoritmalarda veri o larak k ullan ılan tedarikç iye ait kutu tip ler in i ölçü bilg iler i ver ilmiş tir.

Tablo 1. Seçilen Tedarikçi Kutu Tipi Bilgileri.

Kutu Tipi	Kutu Ölçüleri (li)cm	Kutu Ölçüleri(wi)cm	Kutu Ölçüleri (hi)cm
4122	120	40	22
4133	120	40	33
4144	120	40	44
4311	40	30	11
4611	60	40	11
4616	60	40	16
4622	60	40	22
4633	60	40	33
4644	60	40	44
4655	60	40	55
4822	80	40	22
4833	80	40	33
4855	80	40	55
8622	80	40	22
8633	80	40	33
8644	80	40	44



Şekil 8. Firmaya Ait Lokal Tedarikçilerin Hacimsel Oranı.

Tablo 2. Tedarikçi Parça, Rota ve Kutu Bazlı Kullanım Oranı Bilgileri.

Tedarikçi	İç Değirm Rotası	Değirm Adresi	Kutuban Numarası	Parça Adı	Kutu Tipi	Kutu Ölçüleri (W)	Kutu Ölçüleri (D)	Kutu Ölçüleri (H)	Günlük Hacim	Merced Prime Gölüt Sipariş Fiyatları	Parçanın Kodu	Parçanın Kodu	Parçanın Kodu	Satış Sayısı	Kutu/Paket	Hacim/Paket (m3)	Paket Ağırlığı (kg)	
0115	A	RE05- 05	2526	DOOR ASSY 8633		800	600	330	0	24	A1	24	24	1	6.11	0.65	30.91	
0115	A	RE05- 03	8281	DOOR ASSY 8633		800	600	330	0	24	A1	24	24	1	6.11	0.65	30.91	
0115	A	RE16- 02	6113	GARNISH AS 4833		800	400	330	5.72	24	A1	24	24	1	6.11	0.65	30.91	
0115	A	PE15- 02	6272	GARNISH AS 4833		800	400	330	0.04	24	A1	24	24	1	6.11	0.65	30.91	
0115	A	RE16- 01	1111	GARNISH AS 4833		800	400	330	0.05	24	A1	24	24	1	6.11	0.65	30.91	
0115	A	RE16- 03	3233	GARNISH AS 4833		800	400	330	1.93	24	A1	24	24	1	6.11	0.65	30.91	
0115	A	RE15- 03	7320	GARNISH AS 4833		800	400	330	0.01	24	A1	24	24	1	6.11	0.65	30.91	
0115	A	PE16- 04	9530	GARNISH AS 4833		800	400	330	0	24	A1	24	24	1	6.11	0.65	30.91	
0115	A	RE16- 02	7081	GARNISH AS 4833		800	400	330	5.72	24	A1	24	24	1	6.11	0.65	30.91	
0115	A	PE15- 02	1010	GARNISH AS 4833		800	400	330	0.04	24	A1	24	24	1	6.11	0.65	30.91	
0115	A	RE16- 01	5112	GARNISH AS 4833		800	400	330	0.05	24	A1	24	24	1	6.11	0.65	30.91	
0115	A	RE16- 03	4197	GARNISH AS 4833		800	400	330	1.93	24	A1	24	24	1	6.11	0.65	30.91	
0115	A	RE15- 03	2176	GARNISH AS 4833		800	400	330	0.01	24	A1	24	24	1	6.11	0.65	30.91	
0115	A	RE17- 01	2534	GARNISH AS 4833		800	400	330	0	24	A1	24	24	1	6.11	0.65	30.91	
0115	B	FWD - 22	9193	CAP SUB-AS 4644		600	400	440	4.48	24	B1	12	12	1	10.91	0.79	62.84	
0115	B	FWD - 22	8697	CAP SUB-AS 4655		600	400	440	550	0	24	B1	12	12	1	10.91	0.79	62.84
0115	B	FWD - 12	9581	COVER FR 4644		600	400	440	3.57	24	B1	12	12	1	10.91	0.79	62.84	
0115	B	FWD - 07	4287	MOULDING 4611		600	400	110	0	24	B1	12	12	1	10.91	0.79	62.84	
0115	B	FWD - 07	4307	MOULDING 4611		600	400	110	0	24	B1	12	12	1	10.91	0.79	62.84	
0115	B	FWD - 06	4360	MOULDING 4611		600	400	110	24	B1	12	12	12	1	10.91	0.79	62.84	
0115	B	FWD - 06	4409	MOULDING 4611		600	400	110	0	24	B1	12	12	1	10.91	0.79	62.84	
0115	B	FWD - 07	2686	MOULDING 4611		600	400	110	0.72	24	B1	12	12	1	10.91	0.79	62.84	
0115	B	FWD - 06	3337	MOULDING 4611		600	400	110	0.72	24	B1	12	12	1	10.91	0.79	62.84	
0115	C	BEC - 08	3096	COVER ENK 8622		800	600	220	2.18	24	C1	4	4	1	5.50	0.58	50.05	
0115	C	BEC - 08	2260	COVER ENK 8622		800	600	220	0.14	24	C1	4	4	1	5.50	0.58	50.05	
0115	C	BEC - 08	3317	COVER ENK 8622		800	600	220	0	24	C1	4	4	1	5.50	0.58	50.05	
0115	C	BEC - 06	2436	COVER FLC 4633		600	400	330	0	24	C1	4	4	1	5.50	0.58	50.05	
0115	C	BEC - 06	2037	COVER FLC 8633		800	600	330	0	24	C1	4	4	1	5.50	0.58	50.05	
0115	C	BEC - 06	8239	COVER FLC 8633		800	600	330	0	24	C1	4	4	1	5.50	0.58	50.05	
0115	C	BEC - 19	9511	GARNISH AS 4633		600	400	330	0	24	C1	4	4	1	5.50	0.58	50.05	
0115	C	BEC - 19	7759	GARNISH AS 4633		600	400	330	0	24	C1	4	4	1	5.50	0.58	50.05	
0115	D	CWC - 09	9366	COVER ENK 8622		800	600	220	2.32	24	D1	24	24	1	3.97	0.74	29.50	
0115	D	CWC - 09	3301	COVER ENK 8622		800	600	220	0	24	D1	24	24	1	3.97	0.74	29.50	
0115	D	DWJ26- 01	7927	GARNISH AS 4122		1200	400	220	0	24	D1	24	24	1	3.97	0.74	29.50	
0115	D	DWJ25- 01	1874	GARNISH AS 4122		1200	400	220	0	24	D1	24	24	1	3.97	0.74	29.50	
0115	D	DWJ26- 01	5428	GARNISH AS 4122		1200	400	220	0	24	D1	24	24	1	3.97	0.74	29.50	
0115	D	DWJ25- 03	2288	GARNISH AS 4122		1200	400	220	0	24	D1	24	24	1	3.97	0.74	29.50	
0115	D	DWJ26- 01	3968	GARNISH AS 4122		1200	400	220	0	24	D1	24	24	1	3.97	0.74	29.50	
0115	D	DWJ24- 03	3462	GARNISH AS 4122		1200	400	220	0	24	D1	24	24	1	3.97	0.74	29.50	
0115	D	DWJ25- 04	1548	GARNISH AS 4122		1200	400	220	0	24	D1	24	24	1	3.97	0.74	29.50	
0115	D	CEJ25- 03	4245	GARNISH AS 4122		1200	400	220	0	24	D1	24	24	1	3.97	0.74	29.50	
0115	D	DWJ25- 04	3426	GARNISH AS 4122		1200	400	220	0	24	D1	24	24	1	3.97	0.74	29.50	
0115	D	CEJ25- 03	5533	GARNISH AS 4122		1200	400	220	0	24	D1	24	24	1	3.97	0.74	29.50	
0115	D	DWJ25- 04	5837	GARNISH AS 4122		1200	400	220	0	24	D1	24	24	1	3.97	0.74	29.50	
0115	D	CEJ25- 04	6427	GARNISH AS 4122		1200	400	220	0	24	D1	24	24	1	3.97	0.74	29.50	
0115	D	DWJ25- 01	9528	GARNISH AS 4655		600	400	550	5.28	24	D2	12	12	1	6.67	0.88	57.47	
0115	D	DWJ25- 02	7171	GARNISH AS 4655		600	400	550	0	24	D2	12	12	1	6.67	0.88	57.47	
0115	D	DWJ25- 01	2533	GARNISH AS 4655		600	400	550	5.28	24	D2	12	12	1	6.67	0.88	57.47	
0115	D	CEJ25- 02	3509	GARNISH AS 4655		600	400	550	0	24	D2	12	12	1	6.67	0.88	57.47	
0115	D	CWC - 16	4441	GARNISH AS 4633		600	400	330	0	24	D2	12	12	1	6.67	0.88	57.47	
0115	D	CWC - 15	5387	GARNISH AS 4633		600	400	330	0	24	D2	12	12	1	6.67	0.88	57.47	
0115	D	DWJ30- 01	2015	JAR & PUMP 8644		800	600	440	3.43	24	D1	24	24	1	3.97	0.74	29.50	
0115	D	DWJ31- 01	3480	JAR & PUMP 8644		800	600	440	10.93	24	D1	24	24	1	3.97	0.74	29.50	
0115	D	DWJ31- 01	9258	JAR & PUMP 8644		800	600	440	0.71	24	D1	24	24	1	3.97	0.74	29.50	
0115	D	DWJ30- 01	1286	JAR & PUMP 8644		800	600	440	0.30	24	D1	24	24	1	3.97	0.74	29.50	
0115	D	DWJ31- 01	1890	JAR & PUMP 8644		800	600	440	0.12	24	D1	24	24	1	3.97	0.74	29.50	
0115	E	EW F - 19	2299	COVER RAE 4133		1200	400	330	20.62	24	E1	24	24	1	5.43	0.86	31.63	
0115	E	EW F - 18	9395	COVER RAE 4133		1200	400	330	14.22	24	E2	24	24	1	3.74	0.59	21.81	
0115	E	EW F - 14	3209	COVER SUB 4622		600	400	230	0.64	24	E3	3	3	1	7.81	0.43	30.69	
0115	E	EW F - 14	9521	COVER SUB 4622		600	400	230	0.01	24	E3	3	3	1	7.81	0.43	30.69	
0115	E	EW F - 16	4183	COVER SUB 4622		600	400	230	0.64	24	E3	3	3	1	7.81	0.43	30.69	
0115	E	EW F - 16	2484	COVER SUB 4622		600	400	230	0.01	24	E3	3	3	1	7.81	0.43	30.69	
0115	E	EW F - 13	6601	PANEL ASS 4822		800	400	220	0	24	E3	3	3	1	7.81	0.43	30.69	
0115	E	EW F - 09	4402	PANEL RR 4616		600	400	175	0	24	E3	3	3	1	7.81	0.43	30.69	
0115	E	EW F - 12	5504	PANEL RR 4616		600	400	175	0	24	E3	3	3	1	7.81	0.43	30.69	
0115	F	DEF04- 02	3237	MOULDING 4622		600	400	230	0.75	24	F1	4	4	1	10.02	0.63	72.61	
0115	F	DEF01- 02	9531	MOULDING 4622		600	400	230	0.01	24	F1	4	4	1	10.02	0.63	72.61	
0115	F	DEF04- 02	2240	COVER SUB 4616		600	400	175	0	24	F1	4	4	1	10.02	0.63	72.61	
0115	F	DEF12- 01	4198	MOULDING 4622		600	400	230	0.75	24	F1	4	4	1	10.02	0.63	72.61	
0115	F	DEF12- 01	2538	MOULDING 4622		600	400	230	0.01	24	F1	4	4	1	10.02	0.63	72.61	
0115	F	DEF12- 01	5456	COVER SUB 4616		600	400	175	0	24	F1	4	4	1	10.02	0.63	72.61	
0115	F	DEF20- 03	9556	BOX LUGA 4633		600	400	330	0.99	24	F1	4	4	1	10.02	0.63	72.61	
0115	G	AET - 18	1427	PANEL RS 8644		800	600	440	0	24	M1	0	0	0	0	0	0	
0115	G	BWT - 18	2346	PANEL RS 8644		800	600	440	0	24	M1	0	0	0	0	0	0	
0115	S	OW19- 03	1232	PANEL ASS 4622		600	400	230	0	24	M1	0	0	0	0	0	0	
0115	S	OE19- 01	1141	PANEL ASS 4622		600	400	230	0	24	M1	0	0	0	0	0	0	
0115	S	OE17- 01	1327	PANEL ASS 4622		600	400	230	0	24	M1	0	0	0	0	0	0	
0115	S	OE16- 04	3533	PANEL ASS 4622		600	400	230	0	24	M1	0	0	0	0	0	0	
0115	S	OE17- 01	4658	PANEL ASS 4622		600	400	230	0	24	M1	0	0	0	0	0	0	
0115	S	OE16- 04	7848	PANEL ASS 4622		600	400	230	0	24	M1	0	0	0	0	0	0	
0115	S	OE16- 04	1711	PANEL ASS 4622		600	400	230	0	24	M1	0	0	0	0	0	0	
0115	T	CEJ15- 03	2505	BOX CONSC 4633		600	400	330	0	24	T1	12	12	1	12.21	0.51	60.3	

3.ARAŞTIRMA

3.1. Çalışmada Kullanılan Method ve Algoritmaların İncelenmesi

Problem in yaşıandığı üretim birimi dikkate alındığında üretici firmalar ile ana hat üretim i arasında akordeon görev i gören iç lojistik birim i o lmas ık ayn ak lı problem hem bir üretici palet yükleme problemi hem de dağıtıcı palet yükleme problemi o lma özelliğ i göstermek ted ir. İç lojistik birim inde yapılan tüm plan lamalar ve kısıtlar ted arık ç io lan üretici firmalarda o lu ştu ru lacak paletleri belirlemek ted ir. Bu neden le de konteynıra yükleme yapılacak milkrun toplamalarına da etki etmek ted ir. Tek bir problem bünyesinde hem konteynır yükleme hem palet yükleme hem de kutu lama problemi o lma özelliğ i göstermek ted ir. 3 B-PYP'ler KYP'lerin bir çeşid i o lduğ u için , KYP'ler de dikkate alın an hemen hemen bütün kısıtlar 3 B-PYP'lerde de dikkate alın ab ilir. Yapılan literatür araştırması sonucunda matematik sel programlama modeli sunu lan çalışmalar ın birçoğ unda, önerilen modellere ek o larak büyük ölçek li problemlerin ç özü mü için sezgisel, meta-sezgisel veya hibrit yöntemler de sunu lmu ştur.

Bunun en büyük sebebi ise literatür araştırması sonrasında an laş ıld ığ ı ü zere, bu konuda matematik sel modeller ile çeşitli yak laş ım lar ve çeşitli teknik ler gelişt irilm iş , optimum ç özü me ulaş ılmaya çalış ılm ıştır. Ne var ki günümü z bilgisayarları kull an ılarak bile gelişt irilen optimum ç özü me ulaş ma yöntemleri pratik hayatta kull an ılmaya uygun ç özü m zaman ları sun amamak tad ır. Bu da yapılacak o lan çalış man ın gerçek hayat problemin e etkin ç özü m sun ab ilmesi için çalış mada sezgisel yöntemler kull an ım ıda zorun lu k ılmış tır. Örneğ in Ballew (2000) optimum ç özü me ulaş mak amacıyla bir genetik algoritma gelişt irmiş fakat yalnızca 11 adet birimi yüklemek için bile 45 dak ık a g ibi bir zaman ı sunmu ştur.

Yukarıda açık lan an sebep , yükleme problemin e optimum ç özü m önerisi getirirken meta-sezgisel yöntemlerin de ek len ilmesine yönel tm ıştır. Bu yöntemlerin içerisinde ise hem meta-sezgisel hem sezgisel method lar ile uyumlu çalış ab ild iğ i için genetik algoritma n (GA) sıklık la tercih ed ild iğ i ve kull an ıld ığ ı görü lmu ştür.

Bu tezde de ayn ı yak laş ım ile iler len mi ştir.

KYP ve 3B-PYP ile ilgili matematiksel programlama çalışmalarından ‘Kaynak Araştırması’ başlığı altında bahsedilmiştir. Bu çalışmalarda önerilen matematiksel modellerde farklı farklı kısıtlar göz önüne alınmıştır.

Bu tez çalışmasında ‘Çalışılan 3 Boyutlu Palet Yükleme Probleminin Kısıtları’ bölümünde detaylıca bahsedilen temel üç boyutlu fiziksel yükleme kısıtları (Chen ve ark., 1995, Li ve Zang 2015) ve kontrollü döndürme, bağlantılı nesnelerin bir arada olması, yük dengesi, kırılma, toplam ağırlık limiti ve dağılımı vb. kısıtlar göz önüne alınmıştır. Bu koşullar altında ilgili tedarikçi parçaları palet yükleme problemi için literatürde mevcut olan bazı matematiksel modelleme yöntemlerinden kullanılanlar aşağıda açıklanmıştır.

Matematiksel modelleme kurduktan sonra gerçek hayat problemi olarak seçilen tedarikçiye ait paketleme problemi büyük ölçekli olduğu için GA kullanılarak çözüm önerisi getirilmeye çalışılmıştır.

Bu tez çalışmasında seçilen, GA’nın bir yığın oluşturma ve bir katman oluşturma tabanlı yükleme sezgisel algoritmaları ile en iyi blokları oluşturmaya dayanan tabu arama algoritmasının hibrit çözümünü sunan çalışma ve uygulaması olarak gerçek hayat probleminin göre uyarlanarak denenmiştir. Bölüm 4’te uygulama detayları yer verilmiştir.

3.1.1. Matematiksel Model: Chen ve ark. (1995)

Chen ve arkadaşları konteynır yükleme problemini, belli sayıda ve boyutları birbirinden farklı olacak konteynırlara yine boyutları birbirinden farklı olacak belli sayıda birimlerin yüklenmesi olarak ele almışlardır. Birimlerin ve konteynırların en uzun boyutları derinlik olarak, ikinci uzun boyut genişlik ve en kısa boyut da yükseklik olarak ele alınmıştır.

Bu tezde yapılan çalışmada konteynır yerine idealde boyutları maksimum 1 m³ olacak paletler düşünülmüştür. Konteynır içine yüklenecek boyutları birbirinden farklı birimler olarak ta tedarikçi de rota bazlı paketleme yapılacak farklı kutu tiplerindeki farklı parçalar baz alınmıştır. Konteynırların yerini paletler aldığı için problem 3 boyutlu palet yükleme problemine dönüşmüştür.

Paletlerin ölçüleri 120 cm (L), 80 cm (W) ve H_{max} (110 cm) olarak belirlenmiştir. Chen ve arkadaşlarının modelinde kullanılan parametreler ve değişkenler bu çalışmadaki probleme uyarlandığında aşağıdaki gibidir:

- N :Yüklenecek olan birimlerin(kutuların) toplam sayısı.
- P :Toplam palet sayısı.
- M :Çok büyük bir sayı.
- s_{ij} :İki değer alabilen (0 ve 1) bir değişken. Eğer i . Birim(kutu) j . palete yüklenmiş ise 1, aksi durumda 0 değerini alacaktır.
- n_j :İki değer alabilen (0 ve 1) bir değişken. Eğer j . palet kullanılmış ise 1, kullanılmamış ise 0 değerini alır.
- (p_i, q_i, r_i) : i . birimin derinlik, genişlik ve yükseklik boyutlarını temsil eden değişken.
- (L_j, W_j, H_j) : j . paletin derinlik, genişlik ve yüksekliklerini temsil eden değişken.
- (x_i, y_i, z_i) : i . birimin sol alt köşelerinin koordinatlarını gösteren parametreler.
- $(l x_i, l y_i, l z_i)$: i . birimin derinliğinin x, y ve z eksenlerine paralel olup olmadığını gösteren ikili değişkenler. Paralel ise 1, değilse 0 değerini alırlar.
- $(w x_i, w y_i, w z_i)$: i . birimin genişliğinin x, y ve z eksenlerine paralel olup olmadığını gösteren ikili değişkenler. Paralel ise 1, değilse 0 değerini alırlar.
- $(h x_i, h y_i, h z_i)$: i . birimin yüksekliğinin x, y ve z eksenlerine paralel olup olmadığını gösteren ikili değişkenler. Paralel ise 1, değilse 0 değerini alırlar.

Bunların dışında a_{ik} , b_{ik} , c_{ik} , d_{ik} , e_{ik} , f_{ik} değişkenleri birimlerin birbirlerine komşuluklarını belirtirler. a_{ik} değişkeni i . birim k . birimin solunda olduğu durumda 1, tersi durumda ise 0 değerini alır. Benzer şekilde b_{ik} , c_{ik} , d_{ik} , e_{ik} , f_{ik} değişkenleri i . birim k . birimin sırasıyla sağında, arkasında, önünde, altında ve üstünde yer aldığı durumlarda 1 değerini alacaktır. Bu değişkenler sadece $i < k$ durumları için tanımlanmıştır.

Yukarıda açıklanan değişkenler ifade edilen lineer tamsayılı modelin amaç fonksiyonu ve kısıtları şöyledir;

Amaç Fonksiyonu:

$$\min \left(\sum_{j=1}^m L_j xW_j xH_j x n_j - \sum_{i=1}^N p_i xq_i x r_i \right)$$

Modelin amaç fonksiyonu konteynerların veya paletlerin toplam kullanılmayan alanlarını en küçüklemektedir.

Chen ve ark.(1995)'i nesnelerin birbirleri ile çalışmama kısıtı ve her birimin tek konteynera yüklenmesini ve yüklemeyapılan konteynerı kullanılmış olarak ele alarak kısıtları tanımlamışlardır. Yapılan tanımlamaları örneklem kütesinin küçük tutarak üç farklı boyutlara sahip konteynerlara 6 adet farklı boyutlardaki birimleri kullanarak örnek bir problem oluşturularak LINGO paket programında çözümlenmiştir.

Bu kadar küçük boyutlarda tutulan örneklem kütesi ile bile çözüm zamanı 15 dakikayı bulmuştur.

Chen ve ark.'nın modeli çalışmadaki probleme uygulandığında örnek kütesi onların denediğine göre oldukça büyük ölçekli olduğu için çözüme makul sürelerde ulaşılamamıştır.

Yapılan çalışmada manuel yapılan işlemlerden daha hızlı ve optimum sonuç elde edilememiştir. Bu nedenle yeni bir matematiksel model kurmaya çalışılmıştır ve büyük ölçekli gerçek hayatlı problemlerde makul çözüm seçeneklerine makul sürelerde ulaşabilmek için matematiksel modellemeye Bölüm 4'te detayları verilen sezgisel ve metasezgisel metodlardan oluşan genetik algoritma ile devam edilmiştir.

3.1.2. Metasezgisel Yöntemler

Bölüm 4'ün 1. Kısımının 2 başlığında probleme uygulanmaya çalışılan matematiksel modellerin detayından bahsedilmiştir. Fakat yukarıda da açıklandığı gibi örneklem kütesi büyük olan bir gerçek hayat problemi bu çalışmanın konusu olduğu için

istenilen sürelerde verimli sonuçlar alınmadığından metasezgisel yöntemlere çözüm olarak başvurulmuştur.

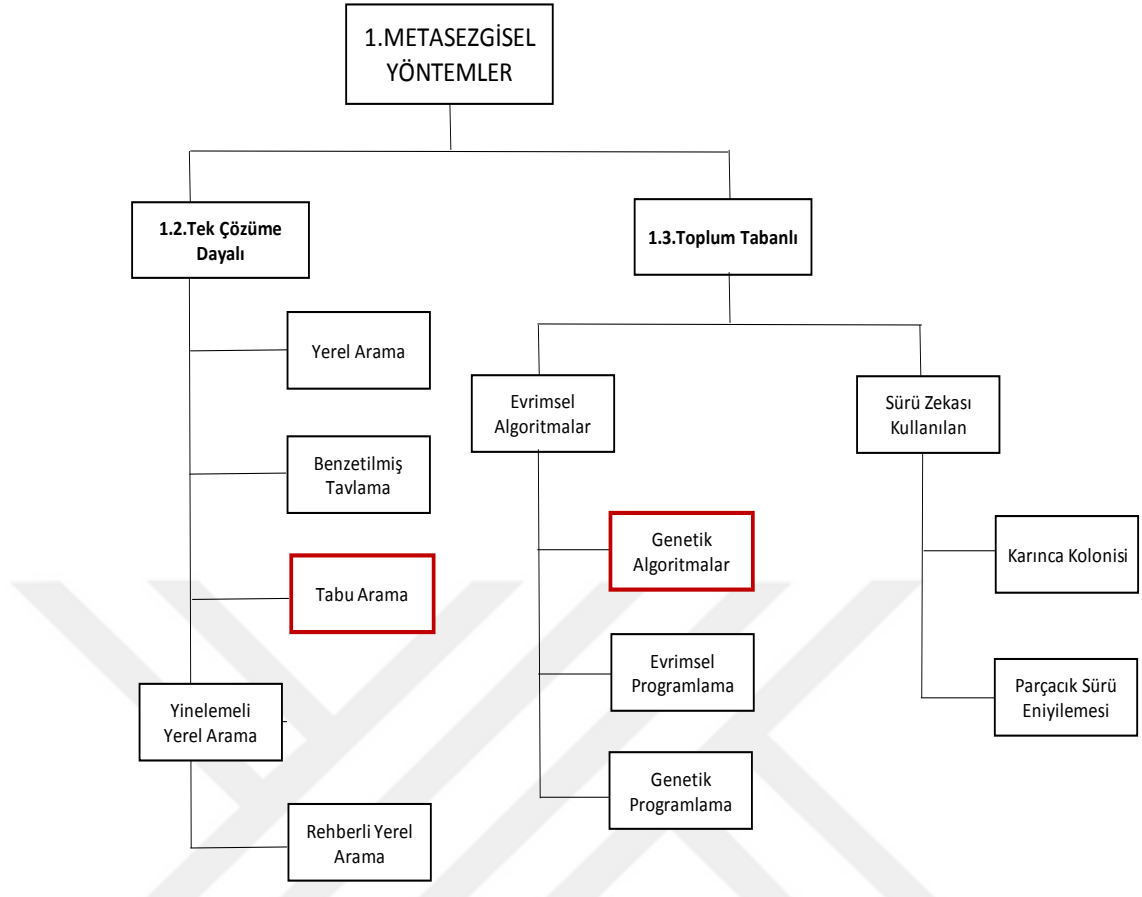
Metasezgisel yöntemler, karmaşık eniyileme problemlerine etkin çözümler üretebilmek için kullanılan yaklaşık algoritmalarıdır.

Sezgisel yöntemleri üst seviyede birleştirerek, arama uzayını etkin ve verimli bir şekilde incelemeyi amaçlar.

Metasezgisel yöntemler, yerel arama, benzetilmiş tavlama, tabu arama, genetik algoritmalar, evrimsel hesaplama, karınca kolonisi eniyilemesi gibi birçok farklı yöntemden oluşmaktadır. Bu yöntemler, farklı yönler göz önünde bulundurularak çeşitli şekillerde sınıflandırılabilir.

Temel olarak bakıldığında, doğadan esinlenen ve doğadan esinlenmeyen yöntemler, dinamik ve statik amaç fonksiyonuna sahip yöntemler, bir komşuluk yapısına ve değişken komşuluk yapısına sahip yöntemler, hafıza kullanan ve kullanmayan yöntemler ve tek çözüme dayalı ya da toplum tabanlı metasezgisel yöntemler olarak sınıflandırılabilir (Blum ve Roli, 2003).

Metasezgisel yöntemlere ilişkin bir diğer sınıflandırma da, hafıza kullanıp kullanmalarına bakılarak gerçekleştirilmektedir. Tabu arama, karınca kolonisi eniyilemesi, genetik algoritma gibi bazı metasezgisel yöntemlerde hafıza kullanılarak arama sürecinde elde edilen uygun sonuçların daha sonraki aramalarda kullanılması sağlanabilmektedir.



Şekil 9. Metasezgisel Yöntemlerin Arama Çözüm Sayısına Dayalı Sınıflandırılması.

Tek çözüme dayalı metasezgisel yöntemler, arama sürecini tek bir çözüm üzerinden gerçekleştirirken, toplum tabanlı metasezgisel yöntemlerde, algoritmanın her bir yinelemesinde bir çözüm kümesi üzerinden ilerlenir. Şekil 9’da temel metasezgisel yöntemlerin arama çözüm sayısına dayalı olarak sınıflandırılması sunulmuştur.

Tek çözüme dayalı metasezgisel yöntemler, komşuluklar arasında yürüyüş gerçekleştirilerek, belirli bir çözümünden komşuluğunda yer alan başka bir çözüme geçilmesi ile çözüme ulaşmaktadır (Crainic ve Toulouse, 2003).

Bu çalışmada metasezgisel yöntemlerden tek çözüme dayalı ve toplum tabanlı çözüme dayalı olan iki farklı türde kullanılarak hibrit bir çözüm ortaya konulmaya çalışılmıştır.

4. ÖNERİLEN MODEL VE UYGULAMASI

4.1. Çalışmadaki Probleme Ait Matematiksel Modelleme ve Anlamları

Ele alınan 3B-PYP'nin çözümü için, Bölüm 3 'Araştırma' kısmında anlatıldığı gibi ilk önce temel 3B-PYP'nin kısıtlarını kapsayan Chen ve arkadaşlarının matematiksel modelleme metodu ile problem çözülmeye çalışılmıştır. Oluşturulan matematiksel modellemeye ait denklemler LİNGO paket programı ile çalıştırılmaya çalışılmıştır.

Fakat kısıt ve kutu tipi, kutu sayısı, parça sayısı ve dağıtım rotalarının büyük ölçekli olması nedeniyle sistem ve paket program makul sürelerde sonuca ulaşamamıştır.

Gerçek hayatta ilgili planlamaya yapılırken üretim kanadına olan büyük etkileri ve diğer siparişleme süreçleri ile bu prosesin bağlantılı olması kaynaklı zamanla yarışılmak tadır.

Yapılan ilk uygulama sonuçları manuel yapılan işlem sırasından daha yavaş olması kaynaklı tercih edilmemiştir.

3B-PYP'nin temel kısıtlarına ek olarak; kontrollü döndürme, yüke dayanım, kırılabilirlik, bağlantılı nesnelerin bir arada olması kısıtları altında bu çalışmadaki problem için uygulanmıştır.

Fakat daha önceki (Chen ve ark.) modellemelerden edinilen deneyimden öğrenildiği üzere (Bölüm 3'de detayları ve matematiksel modeli verilen çözümün) sadece matematiksel modellemeler ile büyük ölçekli problemlerin çözüm süreleri kabul edilebilir olmamak tadır.

Bu nedenle problemin çözümü için;

2010 yılında Jiamin Liu, Yong Yue'nun konteyner yükleme problemi çözümü için önerdiği ve geliştirdiği yığın ve katman oluşturma tabanlı yükleme sezgiselini farklı kısıt ve kurallar tanımlayarak elde ettiği tabu search ve genetik algoritma, bu çalışmadaki probleme göre değiştirilerek ve uyarlanarak yeni bir çözüm geliştirilmiştir.

Bu çalışma, tüm bu sezgiselleri hibritlemiş ve uyarlamış olması yönü ile, ağırlık limitleri ve bunların dağılımlarını da gözönünde tutarak atık boşlukları birleştirip tabu

arama ile yükleme sezgisellerini kullanarak atık boşluklardan verimli boşluk elde etmesi yönü ile literatürde kutu yerleştirme problemlerine farklı bir çözüm sunmaya çalışmaktadır.

4.2.GA ile Çözüm Önerisi ve Çalışmaya Uygulanması

4.2.1 Metasezgiseller

Metasezgiseller, kompleks yapıda olan ve çözümü matematiksel modellerde uzun süre gerektiren problemler için kabul edilebilir bir sürede sonuçlar veren fakat kesin olmayan çözüm yöntemleridir.

Metasezgisel yöntemler, birçok farklı şekilde sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırma şekillerinden ve özelliklerinden Bölüm 3’de detaylıca bahsedilmiştir.

Doğadan esinlenen metasezgisel yöntemler arasında en yaygın olarak bilinenlerden bazıları karınca kolonisi benzeri, benzetilmiş tavlama ve genetik algoritmalar.

Bu çalışmada yukarıdaki sınıflandırma çeşitlerinden de anlaşılabileceği gibi birçok probleme uyarlanabileceği için doğadan esinlenen ve aynı zamanda hafıza kullanan toplumsal temelli metasezgisel yöntemlerden biri olan genetik algoritmalarından yararlanılmıştır.

Toplum tabanlı methodlardan GA kullanılarak, algoritmanın her bir yinlemesinde, tek bir çözüm yerine, bir çözüm kümesi üzerinden ilerleyerek arama uzayının doğal ve gerçekçi bir biçimde araştırılmasını sağlamayı amaçlamıştır.

Bu yöntemi uygularken ise oluşturduğu çözüm havuzundan en iyi çözümü skorlayarak elde edip tek çözüme dayalı metasezgisel bir yöntem olan TA (tabu arama) algoritmasını kullanarak mevcut iyi çözümün geliştirilerek hafızaya alınmasını amaçlamaktadır. Bu nedenle metasezgisel yöntemlerin dallarından olan çözüm sayısına dayalı sınıflandırmaları gösteren Şekil.9’da çalışma için seçilen yöntemler kırmızı ile işaretlenmiştir. Devam eden bölümlerde bu seçilen yöntemlerin probleme uygulanması açıklanmıştır.

4.2.2. Genetik Algoritmalar

Genetik algoritmalar, Darwin'in evrim teorisinden esinlenen ve yapay zekânın hızla gelişen alanlarından biri olan evrimsel hesaplamanın bir alt dalıdır. Genetik algoritmalar 1970'li yıllarda John Holland tarafından icat edilmiş ve 1975 yılında "Adaptation in Natural and Artificial Systems" adlı kitapta yayınlanmıştır (Obitko, 1998).

Darwin'in evrim teorisinde de bulunan temel ilke adaptasyonu en yüksek bireyin hayatta kalarak bu özelliklerini bir sonraki nesile aktarabilirken, adaptasyon sağlayamayan bireylere ait genlerin ise zamanla aktarılamadıkları için gen havuzundan silinmesine dayanmaktadır.

Genetik algoritmalarındaki temel çalışma ilkesi de bu ilkeye paraleldir. Genetik algortimada, çözümlerin herbiri bir kromozom ile temsil edilmektedir. Uygunluk değeri daha iyi olan kromozomlar seçilerek sonuca uygunluk değeri iyi olan kromozomların çoğalması yolu ile ulaşılmaya çalışılır.

Genetik algoritmalar ile bir problemin çözülmesinde ilk belirlenmesi gereken faktör, kromozomların nasıl kodlanacağıdır. Genetik algoritmalarda, ikili kodlama, sıralı kodlama, değer kodlama ve ağaç kodlama gibi farklı kodlama çeşitleri kullanılmaktadır (Onan, 2013).

Kodlama yönteminin nasıl yapılacağına karar verildikten sonra ikinci belirlenmesi gereken faktör ise, seçim yönteminin karar verilmesidir.

Seçim yöntemleri genellikle eğer bireyin uygunluk değerine bakılıyorsa orana dayalı seçim, eğer uygunluk değerine bakılmıyor sıralarına bakılıyorsa sıraya dayalı seçim yapılmaktadır.

Bu iki seçim yöntemi türleri incelendiğinde, orana dayalı seçimde uygunluk değeri yüksek olan kromozomların seçilme ve çoğalması olasılığı daha yüksekken sıraya dayalı seçimde ise çeşitlilik daha fazladır.

Genetik algoritmaların kullanıldığı problem çözümlerinde bu iki faktör sonrasında uygulanan diğer süreçler ise çaprazlama ve mutasyon olarak devam edilmektedir.

Bunun ardından yapılması gerekenlerden biri de algoritmanın parametrelerinin belirlenmesi adımdır.

4.3. Önerilen genetik algoritmanın (GA) probleme uygulanması

Bu tezde yapılan çalışmada Jiamin Liu ve Yong Yue ‘nun 2010 yılında önerdiği genetik algoritmayla ait kodlamayı yapı, çaprazlama operatörü , seçim metodu referans alınmıştır. Jiamin Liu ve Yong Yue çalışmalarında tek konteyner olan genel bir 3 Boyutlu Yükleme Problemine kısıt ve kural tanımlamaları yaparak örnek test problemleri üzerinden denemeler yapmışlardır.

Bu çalışmada ise ilgili genetik algoritma birden fazla konteyner veya palet yükleme için kullanılabılır yapıya getirilmiştir. Bunun yanı sıra elde yüklenmesi gereken tüm kutuların yükleme kısıtlarında paletin veya konteynerinde total yük dengesi dikkate alınarak yüklenmesinin verimlilik ile ilgili rapor sunması amaçlanmıştır.

4.3.1.Problemin Modele Tanımlanması

- Genetik algoritma, başlangıç kromozom toplumunun oluşturulması ile başlamak tadır. Başlangıç toplumunun, genetik malzeme bakımından çeşitlilik sunması gerekmektedir. Başlangıç toplumu genellikle rastgele oluşturulmak tadır. Tanımlanan ve temel kısıtlar bölümünde paylaşmış olduğum ilgili palet taban boyutların yerleştirilmek üzere seçilecek ilk çözüm kümesi rastsal olarak seçilir.
- Süreç temel olarak, **seçim, üreme, değerlendirme ve yerine koyma** aşamalarından oluşmak tadır (Sivanandam ve Deepa, 2008).
- Genetik algoritmalar ile bir problemin çözülmesinde ilk belirlenmesi gereken faktör, kromozomların nasıl kodlanacağıdır.
- Genetik algoritmalarda, ikili kodlama, sıralı kodlama, değer kodlama ve ağaç kodlama gibi farklı kodlama çeşitleri kullanılmak tadır.

4.3.2.Genetik Algoritmanın Parametrelerinin Tanımlanması

Gen: Yapısal bir problem ile ilgili en küçük bilgiyi barındıran birim olarak adlandırılır. Bu çalışmada kullanılan kodlama dosyasında gen olarak data sınıfına yüklenen txt dosyalarındaki kutu tipleri ve boyut bilgileri ile ilgili tanımlamalar vardır. (**box.py**)

Üretim hattında kullanılacak parçalara ait tedarikçi, kutu ve kullanım oranı verileri Tablo 1’de görülmektedir. Tablo 3’de ise gen olarak data sınıfına yüklenen txt dosyasındaki tanımlamaları besleyen kutu tipleri ve bilgileri bulunmaktadır. Kutuların yerleştirileceği standart paletlerin boyutları da 80x120x120 cm ve hacmi maksimum (üst ve alt taban yükseklikleri ile birlikte) 12 m³’dür.

Tablo 3. Çalışmadaki Problem için Seçilen Tedarikçiye Ait Veriler (box.py’de Kullanılan).

Nesne No	Kutu Tipi	Kutu Ölçüleri (W)cm	Kutu Ölçüleri (D)cm	Kutu Ölçüleri (H)cm	Kontrollü Döndürme
1	4122	1200	400	220	2 yönlü
2	4133	1200	400	330	2 yönlü
3	4144	1200	400	440	2 yönlü
4	4311	400	300	110	2 yönlü
5	4611	600	400	110	2 yönlü
6	4616	600	400	160	2 yönlü
7	4622	600	400	220	2 yönlü
8	4633	600	400	330	2 yönlü
9	4644	600	400	440	2 yönlü
10	4655	600	400	550	2 yönlü
11	4822	800	400	220	2 yönlü
12	4833	800	400	330	2 yönlü
13	4855	800	400	550	2 yönlü
14	8622	800	400	220	2 yönlü
15	8633	800	400	330	2 yönlü
16	8644	800	400	440	2 yönlü

Kromozom: Bir veya daha fazla genin yapısının birleşmesiyle, problem çözümü ile ilgili bilgilerin bir bölümünü oluşturan diziler kromozom olarak tanımlanır. Bu çalışmada kullanılan yapılarda ve kodlama dosyalarında seçilen kutulardan oluşturulan bloklar kromozomları oluşturmaktadır. GA'da kullanılacak olan kromozomlar en önemli parametre olduğu için , blok oluşturma sırasındaki ısıtlar ve blok kuralları uygulamada ayrı bir class yapısı oluşturularak **Blok.py**'de tanımlanmıştır.

Populasyon: Doğal yaşamda popülasyonlar bireylerin bir arada bulunmasıyla oluşur. Olası çözüm bilgilerini içeren bireylerin bir araya gelerek oluşturdukları topluluğa popülasyon denir. Popülasyonda bulunan bireylerin sayısı ilgili problemi tanımlayan kişi tarafından belirlenir. Bu çalışmada popülasyon olarak **Farplas firmasının T rotası** seçilmiş ve tanımlanmıştır.

Bunun yanı sıra ilgili tedarikçinin rota bazlı kullandığı parçaların yapısı nedeniyle tanımlanan kutu tipleri farklılık göstermektedir. Toplamda firmanın kullandığı 16 kutu tipi vardır fakat her rotada bu 16 kutu tipinin tamamı kullanılmamaktadır. Problem için seçilen tedarikçiye ait rota bazlı kullanılan kutu tipleri Tablo 4'de görülmektedir.

Üretim planına bağlı olarak her ay bu rotalarda kullanılan kutu tipleri ve parça kullanım oranları dolayısıyla her kutu tipinden ve parçadan kaç adet kullanılacağı bilgisi değişkenlik göstermektedir. Yapılan uygulamada da her kutu tipinden 1 adet olarak yerleştirme yapılmamıştır. Gerçek kullanım değerleri yansıtılmaya çalışılmıştır. Aylık ortalama bu tedarikçiden 10 rota toplamda 292 kutunun paletleme yapılması gerekmektedir.

Sistemde 120 palet kullanılarak tüm bu kutuların yerleştirildiği planlanmıştır. Fakat gerçekleşen 150 palet kullanımı olarak kayıt altına alınmıştır. Yapılan çözüm uygulanması sonucunda bu sayının düşürülmesi hedeflenmektedir. Çözüm sonuçlarının sistemde uygulanması ve gerçek hayatta kullanılması durumunda ise ; daha önce yapılan manuel planlama nedeniyle planlanan ve gerçekleşen arasında fark çıkması beklenmektedir.

Böylece iç rotalardaki taşmalar kaynaklı hat zamanında parça görülmemesi, anahat duruşları, takım lider desteği ve anormallik rotasının devreye girmesi, trafik problemi, ekstra işgücü gibi problemler ortadan kalkacaktır.

Tablo 4. Rota Bazlı Kullanılan Kutu Tipleri.

Kutu Tipleri	Rotalar									
	A	B	C	D	E	F	G	S	T	V
4122				X						
4133					X				X	
4144									X	
4311									X	
4611		X								X
4616					X	X			X	
4622					X	X		X	X	
4633			X	X		X			X	
4644		X								X
4655		X		X						
4822					X					
4833	X									
4855									X	
8622			X	X						
8633	X		X							
8644				X			X		X	

Çalışmanın etkinliğini hızlı ölçebilmek ve devamının uygulanmasına karar vermek için tedarikçinin müşterisi konumunda olan 10 rotadan Tablo 5’de verilen T rotası örnek alt uygulama birimi olarak seçilmiştir.

Tablo 5. Örnek Seçilen Bir Rotadaki Kutu Tipleri ve Kullanım Adetleri.

T Rotası	
Kutu Tipleri	Kullanılacak Kutu Adetleri
4133	6
4144	1
4311	2
4616	14
4622	9
4633	4
4855	6
8644	4
Total	46

4.3.3.Genetik Algoritmanın Operatörlerinin Tanımlanması

GA'nın temel birimlerini oluştururlar ve algoritmanın temel işleyişi sırasında mevcut popülasyonda gerçekleştirilen uygulamalardır. Standart olarak kullanılan 3 operatör vardır.

Seçim(selection):

Genetik algoritmalarda seçim planları temelde orana dayalı seçim ve sıraya dayalı seçim olmak üzere ikiye ayrılabilir. Orana dayalı seçimde, toplamdaki bireyler uygunluk değerlerine göre seçilmektedir.

Sıraya dayalı seçimde ise bireylerin, uygunluk değerlerine göre değil, sıralarına göre seçime uğramaktadır (Sivanandam ve Deepa, 2008).

Genetik algoritmalarda, rulet tekerleği seçimi, rastgele seçim, sıralama seçimi ve turnuva seçimi gibi birçok farklı seçim çeşidi bulunmaktadır.

Bu çalışmada ve kodlamalarda rulet tekerleği seçimi tercih edilmiştir.

4.3.4. Rulet Tekerleği Seçimi

Genetik algoritmalarda en çok kullanılan seçim yöntemlerinden biridir.

Rulet tekerleği seçiminde, atalar uygunluk değerlerine göre seçilmektedir. Kromozomların daha iyi olmaları, seçilme şanslarını artırmaktadır. Bu yaklaşımda, toplumdaki tüm kromozomlar uygunluk değerlerine göre rulet tekerleğine yerleştirilmektedir.

Bir birey atılmakta ve bireyin durduğu yerdeki kromozom seçilmektedir.

Uygunluk değeri yüksek olan kromozomlar tekerlekte daha büyük bir alana sahip olduğu için seçilme şansları da daha yüksek olmaktadır.

```
def evolve(cls,Data,TotalNoSolution):
    nPop=cls.nPop
    sp=1.8 # parameter in parents selection
    parents_length = int(nPop/1.5) # number of the parents
    pv=[]
    ##### parents #####
    # calculate the parents selection probability
    for r,individual in enumerate(cls.pop):
        rank=float(nPop-r-1)
        pv.append(round((2-sp)/nPop+2*rank*(sp-1)/(nPop*(nPop-1)),5))
    pv = np.array(pv)
    pv /= pv.sum()
    # selecting the parents |
    parents= roulette_wheel_pop(cls.pop, pv, parents_length)
    ##### mutate some individuals#####
    Mutation_number=math.ceil(Chromo.mutation_rate*nPop)
```

Şekil 10. Rulet Tekerleği Seçim Yöntemi ile Atamalara Karar Verme ve Kod Tanımlaması.

Süreç, toplumdaki tüm kromozomların uygunlukları toplamının hesaplanması, rastgele bir sayı üretilmesi ve toplum üzerinden gidilerek sıfırdan itibaren tüm uygunluk değerlerinin toplamının alınması ve toplam, rastgele üretilen sayıdan büyük olduğu zaman durularak, bulunulan yerdeki kromozomun döndürülmesi şeklinde devam etmektedir (Obitko, 1998).

Genetik algoritma operatörlerinden ve tanımlamalardan olan aile üyelerinin yani çaprazlamada kullanılacak ata seçimleri için pythonda yapılan tanımlamaları yukarıdaki kod sayfası verilen Şekil:10’da görebilirsiniz.

Çaprazlama (Crossover): İki ata çözümden yavrunun oluşturulması sürecidir. Genetik algoritmalarda, tek noktadan çaprazlama, iki noktadan çaprazlama, çok noktadan çaprazlama, tekdüze çaprazlama ve kısmen uyumlu çaprazlama gibi çaprazlama çeşitleri kullanılmaktadır.

Mevcut en iyi kromozomların özelliklerini birleştirerek daha iyi özelliklere sahip kromozomlar elde etmek için yapılan çaprazlama operatörünün en temel parametresi çaprazlama olasılığıdır. Çaprazlama olasılığı parametresi, çaprazlamanın hangi sıklıkla yapılacağını belirler.

Bu çalışmada ise yerleştirilen kutular arasında tekrarın olmaması ve en iyi opsiyonlar arasında seçim yapılırken tekrara girerek döngünün uzamaması için kısmen uyumlu çaprazlama parametresi kullanılmıştır.

Kısmen Uyumlu Çaprazlama (PMX- partially mapped crossover)

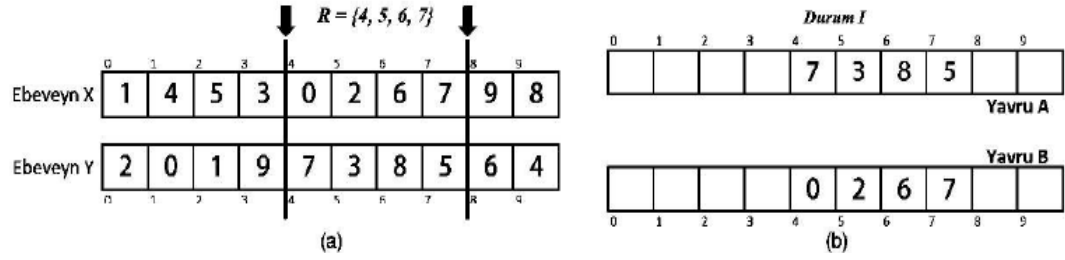
Goldberg ve Lingle tarafından 1985 yılında geliştirilen bu yöntem genetik algoritmaların kullanıldığı birçok alan araştırmaları için uygunluğundan dolayı en fazla ilgiyi gören yöntemler arasında yer almaktadır.

Gerçek hayattaki problemlimize ait kısıtlar ve parametreler dikkate alındığında en uygun çaprazlama metodu olarak kısmen uyumlu çaprazlama seçilmeye karar verilmiştir.

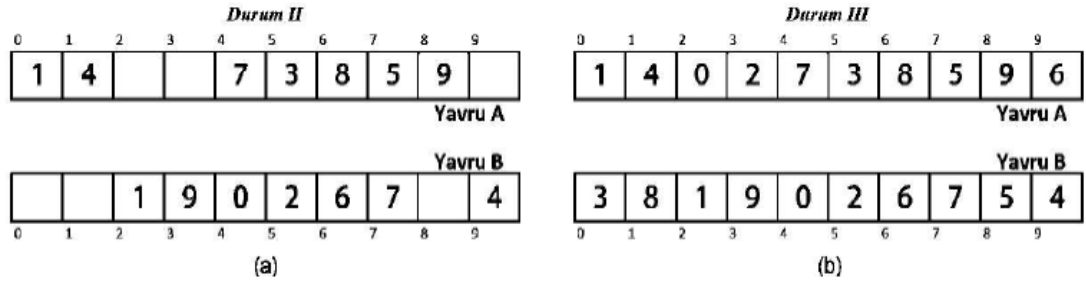
- Bu tip problemlerde diziler oluşturulan genlerin aynı dizide tekrar etmemesi gerekir (kullanılan kutuların tekrar kullanılmaması kısıtı).
- Ayrıca bu yöntemle seçilen bir alt dizi korunarak yavru dizisiyle aynı şekilde korunması sağlanır (en iyi blok yapısı oluşturulduktan sonra bu bloklar kullanılarak paleti minimum boşluk ve maksimum verim ile doldurmanın yapılabilmesi için gerekli olan tanımlama).
- İki noktalı çaprazlama metodunda olduğu gibi PMX’de de rastgele olarak r_{min} ve r_{max} aralığında olacak şekilde ortak bir aralık seçilir (program her çalıştırıldığında rastgele olarak seçimler ve yerleştirme başlamakta).
- Bu seçili aralıkta genler karşılıklı olarak yer değiştirilerek yavru genlere aynı konumda olacak şekilde transfer edilir.

- Bir sonraki aşamada ise (durum 2) her bir yavru için kendi içinde tekrarlı olmayan genler transfer edilir. Kalan tüm eksik genler sırayla eklenir.

Aşağıda Şekil 11’de literatürde kısmen uyumlu çaprazlamayı anlatan örnek yapı temsili olarak verilmiştir. Rassal olarak seçilen her bir 46 kulu aşağıdaki örnekte sıralı olan gen tanımlamasındaki adaylardır.



Şekil 11. Kısmen Uyumlu Çaprazlama Durum 1.



Şekil 12. Kısmen Uyumlu Çaprazlama Durum 2.

```
def crossover(cls, Dad_value, Mom_value):

    """partially mapped crossover"""
    child_Val_1=[]
    child_Val_2=[]

    (x,y)=np.random.choice(cls.Varsize,2,False)
    if x > y: x,y = y,x

    dadParts = Dad_value[x:y+1]
    momParts = Mom_value[x:y+1]
    dadPartMap = dict(zip(dadParts, momParts))
    momPartMap = dict(zip(momParts, dadParts))
```

Şekil 13. Çaprazlama Python Kod Tanımlamaları.

Çalışmada seçilen probleme göre modellenen ve genetik algoritma da tanımladığımız class'a ait pythondaki kodlama Şekil:13'deki gibidir.

Mutasyon (Mutation): Var olan bireylerin genlerinin bir veya birkaçının değiştirilmesi ile gerçekleşmektedir.

Çaprazlamanın ardından, mutasyon gerçekleşebilmektedir. Mutasyon algoritmanın yerel en iyiyetaki tılamaktan kurtulmasını ve toplumdaki çeşitliliğin sürdürülmesini sağlar. Temsil çeşitlerine bağlı olarak, mutasyonun birden fazla çeşidi bulunmaktadırlar.

Mutasyon oranı, kromozomun parçalarının hangi sıklıkla mutasyona uğrayacağını belirleyen parametredir. Mutasyon olmaması durumunda, yavrular, çaprazlama sonrası doğrudan oluşturulurlar. Mutasyon olması durumunda ise, kromozomun bir yadada daha fazla kısmı değişime uğrar.

Çözüm havuzunu ve kutuların parça parça yerleştirilmesi ile oluşan en iyi blok yapılarının elde edilebilmesi ve blokların yerleştirilerek boş alanların yeniden hesaplanabilmesi için bu çalışmada da mutasyon olması durumu tercih edilmiştir.

Buna bağlı olarak kodlama içerisine belirlenen mutasyon oranına göre mutasyon olması tanımlamaları yapılmıştır.

Mutasyon oranı ve seçilen değerler; Jiamin Liu, YongYue'nun makalesinde yer alan değerler tanımlanarak kullanılmıştır.

Genetik algoritmanın en temel parametreleri, toplum büyüklüğü (population size), çaprazlama oranı (crossover_rate) ve mutasyon oranıdır (mutation percentage ve mu).

Genetik algoritmaların performansı, parametrelerin değişimine bağlıdır. Parametreler, genellikle birbirleriyle doğrusal olmayan ilişkiye sahiptir. Bu çalışmada ilgili parametre tanımları aşağıdaki gibidir;

- Maksimum iterasyon sayısı : 80
- 25 kez iterasyona girip iyileşme göstermediğinde çözüm bulmayı yani iterasyonu durduruyor.
- Çaprazlama oranı: %70
- %30 mutasyona uğruyor.
- Mutasyon oranı: 0.15

Parametre tanımlamaların python classlarındaki tanımlamalara Şekil:14'den ulaşılabılır.

```
nPop=3*int(VarSize ) #Population Size
if nPop>=TotalNoSolution: nPop=TotalNoSolution
MaxIt=80 # Maximum Number of Iterations
Max_noimprove=25 # Maximum number of iterations without improvement before termination
crossover_rate=0.7 #
mutation_rate=0.3 # Mutation Percentage
mu=0.15 # Mutation Rate

start=time.time()

iterationNO=1
Chromo.initialpop(Data,nPop,Varsize,crossover_rate,mu) # generate intial solution
Chromo.pop_sort() #

current bestsol=Chromo.pop[0][1]
```

Şekil 14. Probleme A it GA'nın Parametre Tanımları

4.4.Genetik Algoritmanın Çalışma Genel Akış Diyagramı ve Python'daki Uygulaması

Yukarıdaki 3 bölümde anlatılan GA'a ait tüm parametre ve operatörlerin tanımlamaları yapıldıktan sonra genetik algoritmanın genel çalışma prensibine uygun gerekli döngü ve komutlar eklenerek pythonda classlar hazır hale getirilmiştir.

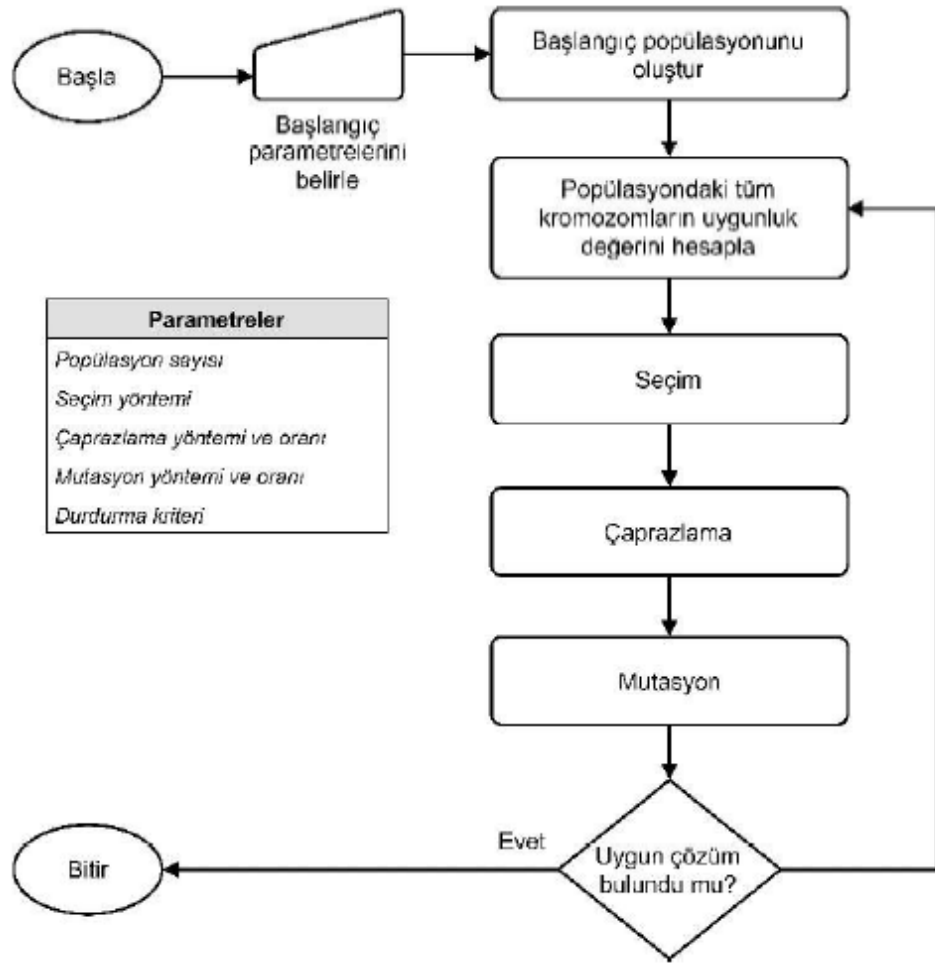
Çalışmanın ana çözüm temellerinden bir değerini oluşturan Tabu Arama algoritması ile çalışma birleştirilerek kodlar çalıştırıldığında GA'nın her çalışmada rassal seçimler yaparak oluşturduğu paletlere ve bu paletlerin doluluk oranına ait veri sonuçlarına ulaşıldı.

Sistemde tanımlanan başlangıç parametrelerini ve box.py classında input görevi görecektir. kutu bilgilerini içeren txt.dosyası aktif edildiikten sonra başlangıç popülasyonu oluşturulmaktadır.

Popülasyondaki tüm kromozomların (blok ve kutuların) uygunluk değerleri hesaplandıktan sonra ilgili skor puanlarına göre hafızada tutulmaktadır.

Bu skor puanlamaları sonucunda değerlendirilerek seçim yapılır ve kromozomlar arası çaprazlama ve tanımlanan mutasyon oranına göre mutasyon gerçekleştirir.

Maksimum 80 iterasyon olarak iterasyon sınırına ve tabu arama sınırlandırılan sonuçlar 25 kez iterasyonda daha iyi bir sonuç elde etmediğinde çözüm aramayı durdurur.



Şekil 15. Genetik Algoritmanın Genel Akış Diagramı.

Şekil 15’de yukarıda anlatımı yapılan çalışmanın prensibinin akış algoritması verilmiştir.

Tüm class tanımlamaları ve kutuların çözüm havuzu sonrası tabu arama ile olan kutu yerleştirme kısıt ve tanımlamaları da uygulandıktan sonra pythonda program çalıştırılmıştır. Yaklaşık her bir palet için ortalama 0.16 ile 0.1 saniye aralığında kutu adedinin ve çözüm havuzu iterasyon olasılığına göre çözüm sonuçları elde edilmiştir.

Bölüm 5’de, Bölüm 4’de tanımlaması yapılan gerçek hayat örneğinden alınan 8 farklı kutu tipine 46 adet kutunun yerleşimini içeren 1 test problemli çalışmanın pythondaki otomatik çözümü ile aynı test probleminin şirkette manuel olarak yapılan sonucu karşılaştırılmıştır.

```

216 start=time.time()
217
218 iterationNO=1
219 Chromo.initialpop(Data,nPop,Varsize,crossover_rate,mutation_rate,mu) # generate initial solution
220 Chromo.pop_sort() #
221
222 current_bestsol=Chromo.pop[0][1]
223
224 noimprove=0
225 while iterationNO<=MaxIt and noimprove<Max_noimprove and time.time()-start<MaxRunTime and len(Chromo.Listofsolutions)<TotalNoSolution:
226     Chromo.evolve(Data,TotalNoSolution)
227     last_bestsol=current_bestsol
228     current_bestsol=Chromo.pop[0][1]
229     if current_bestsol.h_score==last_bestsol.h_score:
230         noimprove+=1
231     else: noimprove=0
232     print("iteration%s" % iterationNO + "--#searched solutions= %s" % len(Chromo.Listofsolutions))
233     print("Best objective: %s" %(current_bestsol.h_score) )
234
235     iterationNO+=1
236
237 return current_bestsol, start
238
239
240
241 times=[3,5,10,15,30,60]
242 filenumbers=[9]
243 instances=[0]
244 Final_results=np.zeros((6,7))
245 for t,T in enumerate(times):
246     for f,FN in enumerate(filenumbers):
247
248         VU=[]
249         for PN in instances:
250
251             Data=Input(FN,PN)
252             #Data.RandomData(40)
253             MaxRunTime=T
254             Best_Sol, start=GA(Data)
255             Chromo.reset()
256
257             VU.append(Best_Sol.VU)
258             Final_results[t,f]=np.mean(VU)
259
260
261
262 Runtime=time.time()-start
263 print('Volume Utilization = %f' %Best_Sol.VU)
264 print('Wiegth distribution measure= %f' %Best_Sol.WCG)
265 print('Distance from back measure= %f where the maximum is %f' %(Best_Sol.DFF,Solution.max_DFF()))
266 print('Run Time = %f sec' %Runtime)
267 print('Total number of loaded boxes = %f' %Best_Sol.Total_Box_Number(Data))
268 #print('Total Box volume = %f Container volume = %f' % (sum(Data.bboxes[:,7]*Data.bboxes[:,6]),reduce(operator.mul,Data.contdim)))
269 Write2Excel(Best_Sol.Loading_Results)
270

```

```

Hala var
kalan: 0
0.0
3.0
Hala var
kalan: 0
0.0
6.0
Hala var
kalan: 0
0.0
4.0
Hala var
kalan: 0
0.0
1.0
Hala var
iteration25--#searched solutions= 641
Best objective: 100.0
Volume Utilization = 100.000000
Wiegth distribution measure= 100.000000
Distance from back measure= 50.000000 where the maximum is 75.000000
Run Time = 0.166354 sec
kalan: 0
0.0
4.0
Hala var
Total number of loaded boxes = 6.000000
In [104]:

```

Şekil 16. GA’nın Python da Uygulaması ve 1 Örnek Palet için Sonuç Sayfası.

4.5. Yükleme Sezgiselleri ve Tabu (Search) Arama Çözümlerinin Modele Uygulanması

Genetik algoritma ile kutuların en iyi yerleşim seçeneklerini oluşturarak , çözüm havuzunun bulunması ve genişletilmesi sağlandı.

Bu noktadan sonra ise hibrit bir çalışma ortaya sunulmuştur. Yükleme için kullanılan sezgisel tabu arama yöntemi ile pythonda problemimize uygulanarak oluşturulan en iyi bloklar (best block) ve en iyi çözümler arasından seçim yapılmıştır.

4.5.1 Kullanılan Sezgisel Algoritmalar- Yükleme Sezgiseli

Çalışmada kullanılacak olan sezgisel algoritmalar karar verilirken ilgili firmada paletleme ve paket yükleme işlemleri yapılırken kullanılan manuel hesaplama yöntemlerine en yakın olan algoritmalar tercih edilmiştir.

İlgili birimdeki çalışanlar literatür olarak bu algoritmaları bilmeseler de yıllar sonucunda edindikleri deneyime göre en iyi sonuç veren palet yükleme ve küp oluşturma metodunu belirlemişlerdir. Literatürde bu kullandıkları yönteme en yakın sezgisel yöntemler ‘Yığın Oluşturma Yaklaşımı’ ve ‘En Dış Sol Alt Yerleştirme Algoritması’ olarak adlandırılmaktadır.

Yapılan çalışmada yığın oluşturma yaklaşımı sezgisel algoritma genetik algoritmanın çaprazlama ve mutasyon operasyon adımlarından sonra çalışmaktadır. Bu operasyonlar çalıştıktan sonra ortaya çıkan iki komşu gene ait uygunluk değeri büyük olan genlerin temsil ettikleri kutular aynı olan en boy ve yükseklikleri paylaşacak şekilde üst üste veya yan yana yerleştirilir. Birleştirilen bu kutuların oluşturduğu yeni nesnenin boyutları tanımlanır. Bu işlem kırılabilirlik kısıtı ile belirlenen kırılabilirlik özelliği olan parçalara ait kutularda kullanılamaz. Fakat seçilen tedarikçinin parça ve kutu tipleri daha önceki bölümlerde incelediğimizde kırılabilirlik kısıtından kaynaklı üst üste veya yan yana konulmama koşulu olan parçasının olmadığı belirlenmiştir. Daha sonra diğer katların yerleştirilmesi veya yeni yerleşim düzeni sağlanırken boyutları yeni tanımlanmış ve oluşturulmuş nesne döndürme kısıtının el verdiği yönlerde döndürme işlemi de yapılabilir.

Yığın oluşturma yaklaşımı ile birleştirilen nesneler en dış sol alt yerleştirme algoritması ile her kutuyu en dış teki alt sol konuma yerleştirilerek devam edilir. İlk yerleştirilen kutu veya birleştirilmiş nesne en dış teki alt sol nokta (0,0,0)

koordinatların yerleştirilmiş kabul edilir. Sonrasında ise sağa ve geriye doğru devam edilir. Böylece öncelikle alt tabanlar doldurulmuş daha sonra diğer katlara çıkılarak denge ısıtların da uygun bir palet yükleme gerçekleştirilmiştir.

4.6. Tabu Arama Algoritmasının Uygulanması

Tabu Arama Algoritması, optimizasyon problemlerinin çözümü için geliştirilen iteratif bir araştırma algoritmasıdır. Tabu aramada temel yaklaşım, son çözüme götüren adımın döngüde devamlı aynı noktaları tekrar etmesini önlemek için bir sonraki döngüde belirli puanlamalar konularak skorlamaya yapılması ve burada çıkan sonuçlara göre tekrarın cezalandırılmasıdır. Böylece döngüde tekrar etmeyen yeni çözümlerin incelenmesiyle bloklardaki en iyi çözümün daha ilerisinde bulunan çözümlerin araştırılabilmesi için kullanılan bir sezgisel yöntemdir. Buradaki temel prensip, değerlendirme fonksiyonu

tarafından her iterasyonda en yüksek değerlendirme değerine sahip hareketin bir sonraki çözümü oluşturmak amacıyla seçilmesinde dayanmaktadır. Bu nedenle bir tabu listesi oluşturur ve kronolojik ve esnek bir hafıza yapısı kullanır.

Bu algoritma ve çıkan optimum sonuçların iterasyonunu durdurmak için çeşitli koşullar vardır. TA algoritması, bir veya birden fazla bu koşulları sağlayınca kadar aramasını devam ettirmektedir.

Belirli bir iterasyon sayısına ulaşma, belirli bir çözüm değerine ulaşma, algoritmanın tükünmesi ve daha iyi sonuç üretememe gibi koşullar bunlardan bazılarıdır.

Bu çalışmada daygın ve katman oluşturma temelli yükleme sezgiselleri ile elde edilen en iyi çözümler (best block) tabu araması ile tekrar iterasyona sokularak yeni çözümler elde edilmiştir. Bu iki çalışma çözümleri hibritlenerek bir önceki bölümde anlatımı yapılan genetik algoritma tanımlamaları yapılarak en hızlı şekilde en optimum sonuca ulaşmaya çalışılmıştır.

4.7. Problemin Modele Tanımlanması

Daha önce problemin tanımı bölümünde verilen kısıtlar ve probleme özgü tanımlamalar bu bölümde modellenmiştir.

Kutu tanımlamaları;

n tip ,küçük ,dikdörtgen şeklindeki öğeler : $B = \{b_1, b_2, \dots, b_n\}$

Kutu tipleri ve kutu boyut özellikleri:

length l_i , width w_i , height h_i

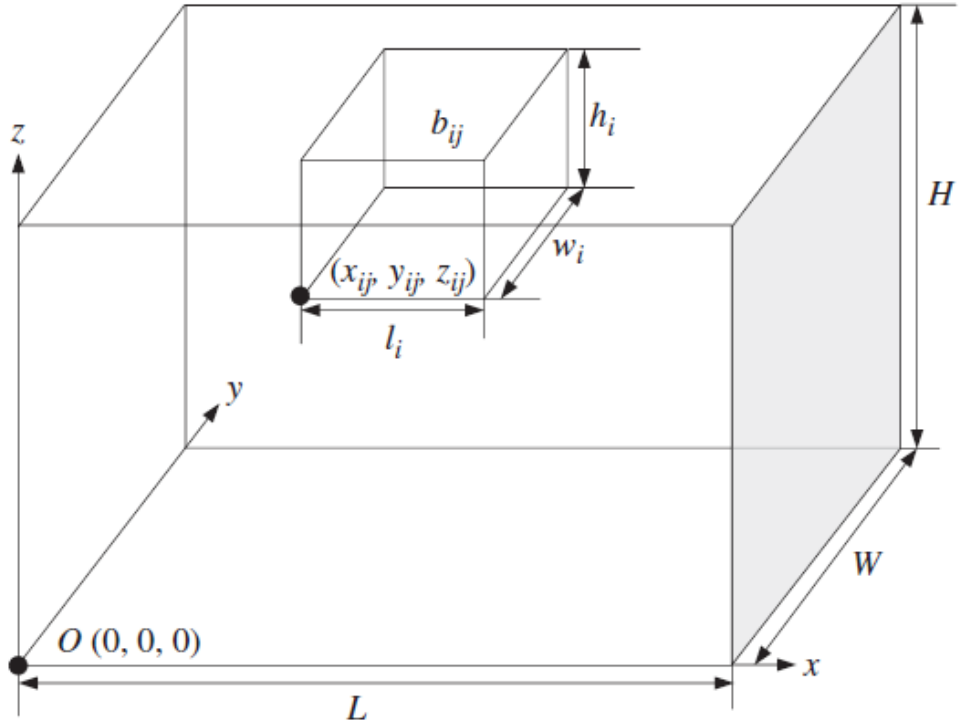
Her kutu tipinden kullanılacak kaç adet olduğu bilgisi: $m_i, i = \{1, 2, \dots, n\}$

Bu kutuların yükleneceği ana taban olan palet boyutları: length L , width W and height H .

Problem tanımı bölümünde anlatılan kısıtlar göz önüne alınmıştır. Bunlar;

- Kontrolü Döndürme Kısıtı
- Bağlantılı Nesnelerin Bir arada Olma Kısıtı
- Kırılabilirlik Kısıtı
- Yüke Dayanım ve Yığınlama Kısıtı

Ardından yerleştirmede kullanılabilmesi için “Boşluk” kavramının tanımı yapılmıştır. Konteynere herhangi bir kutu yüklenmeden önce, ilk kalan alan, yani yükleme için dikkate alınan boş bir alan diğer kutular için temel olan kalan paletin tüm alanıdır. Boşluk olarak tanımlanan bu alan, bir kutu yüklendikten sonra, dikdörtgen olmayan bir şekile olur.



Şekil 17. Kutuların Her Bir Palet İçerisindeki Yerleşiminde Kullanılan Tanımlamaların Koordinat Düzleminde Göre Gösterimi (Jiamin Liu ve Yong Yue, 2010).

4.7.1. Box Class/Yükleme Kural ve Tanımlaması

Kalan boşluğun geometrisi ne kadar çok kutu yüklenirse, o kadar karmaşık olur. Yüklemeyi kontrol etmek ve verimli hale getirmek için kalan alan üzerinde işlem yapılır. Dikdörtgen olmayan kalan boşluk birkaç dikdörtgen kalana bölünebilir.

Her bir konumu ve özellikleri ile temsil edilebilen boşluklar uzunluk, genişlik ve yükseklik, sol alt köşe koordinatlarına göre temsil edilir ($S_{re}=(x_{re}, y_{re}, z_{re})$). Uzunluğu L_{re} , genişliği W_{re} ve yüksekliği H_{re} ,

Notasyonlu kalan alan için tanımlama: $S_{re}=(x_{re}, y_{re}, z_{re}, L_{re}, W_{re}, H_{re})$.

Eğer kalan diğer dikdörtgenel boşluğa herhangi bir kutu yüklenemezse buna da atık boşluk (waste Space) Sw diye tanımlama yapılır. Atık alanlar, birbirleri ile birleştirildiğinde kullanılabılır.

$Sw, Sw=(x_w, y_w, z_w, L_w, W_w, H_w)$.

```

20 ✓ def Can_Load(self,Data,S):
21     # check if the volume of one box is less than or equal to the current remaining space volume
22     check=0
23     if S.volume>= self.l*self.w*self.h :
24         if S.lowerBox_type==[]:
25             if sum(map(lambda x: x[0] , self.Possible_Orientation(S) ))>=1:
26                 check=1
27         elif np.all(Data.Top_Bot[self.type,S.lowerBox_type]==1) :
28             # box should fit in the space at least in one orientation
29             if sum(map(lambda x: x[0] , self.Possible_Orientation(S) ))>=1:
30                 check=1
31     return check
32

```

Şekil 18. Yükleme Kısıtlarının Python'da Tanımlanması

4.7.2. Box Class/Kutu Besleme Yönü ile İlgili Döndürme Kısıtının Tanımlanması

Problemi tanımlarken döndürme kısıtları ile ilgili paylaşılan bilgi doğrultusunda Şekil:6'da da görsel olarak döndürme opsiyonları bu lunan 2'li döndürme firmada gerçekleştirmektedir. Bunun nedeni parça ve yükleme sevkiyatı dikkate alındığında problemimizde tedarikçilerden üst kısmı açık olan kutularda parça sevkiyatı yapılmaktadır. Fakat daha sonra problemin genişletilebilmesi adına istinaden tüm 6 yönlü döndürme tanımlamaları ve potansiyel yerleştirme blokları için gerekli olan tanımlamalar yapılmıştır.

İlgili tanımlamaların satır satır detayları Şekil:19'deki kod sayfasında verilmiştir.

“Possible Orientation” tanımlaması ile 6 yönde döndürülmeyede air tanımlama olan #Ori1 2,...,6'yakad ar açıklaması yapılan yönlerde döndürüldükten sonra mevcut kalan boşluğa sığma veya sığmama durumlarının kontrolleri yapılmaktadır.

Amaç fonksiyonu olarak yapılan tanımlama ile tüm bu her yönü döndürülerek denenen kutu opsiyonları yerleştirildikçe oluşturulan bloklar amaç fonksiyonunun temel sınırlarını oluşturan ana tabanımız olan palet ölçülerini taşıp taşımadığının kontrolü yapıldıktan sonra çözüm olarak kabul edilir.

Amaç fonksiyonuna ait denklem olarak ;

$$f(i) = L_{re} \times W_{re} \times H_{re} - l_i \times w_i \times h_i \times k_i$$

subject to

$$l_i \leq L_{re}, w_i \leq W_{re} \text{ and } h_i \leq H_{re}$$

yüklencek kutunun boş kalan alana yerleştirilmesinde yukarıdaki fonksiyon değerlendirilir. Döndürme opsiyonlarının her biri denenerek kaç blok oluşturulduğuna bakılır.

Bu bloklar oluşturulurken yukarıda belirtilen amaç fonksiyonunda bazı kurallar dikkate alınarak değerlendirme yapılır. Bu kural tanımlamaları devam eden bölümde açıklanmıştır.

```
33 ✓ def Possible_Oriatation(self,S):
34     ori=[[0] for _ in range(6)]
35     #Ori #1 y lenght x width
36     #Ori #2 y lenght x hight
37     if self.l <= S.W:
38         if self.w <= S.L and self.h<=S.H and self.orientatation[2]==1:
39             ori[0]=[1,self.l,self.h,self.w] #(w,h,l)
40
41         if self.h <= S.L and self.w<=S.H and self.orientatation[1]==1:
42             ori[1]=[1,self.l,self.w,self.h]
43
44     #Ori #3 y width x lenght
45     #Ori #4 y width x hight
46     if self.w <= S.W:
47
48         if self.l <= S.L and self.h<=S.H and self.orientatation[2]==1:
49             ori[2]=[1,self.w,self.h,self.l]
50
51         if self.h <= S.L and self.l<=S.H and self.orientatation[0]==1:
52             ori[3]=[1,self.w,self.l,self.h]
53
54     #Ori #5 y hight x lenght
55     #Ori #6 y hight x width
56     if self.l <= S.H:
```

Şekil 19. Kutu Besleme Yönü ile İlgili Döndürme Kısıtının Tanımlanması.

4.7.3. Box & Blok Class/Kutu Yükleme ve Blok Oluşturma Tanımlamaları

Kural:1

Eğer $f(i) = 0$ ise $k(i)$ 'si (adeti) Sre yani kalan boşluk uzayını doldurmak için birleştirilir.

Kural:2

Eğer $f(i) \neq 0$ $f(i)$ fonksiyonuna göre $k(i)$ tipindeki kutular 2 yönlü birleştirilerek yeni blok oluşturarak yüklemeyapılır.

Kural:3

Kutu tipi 1 veya 2 kurala göre uygun bir şekilde yüklemeyapılamıyorsa, $f(i)$ boşlukla birleştirilir yeni bir atık boşluk tanımlaması Sre yapılır.

Kural:4

İkiveyadaha fazla blok aynı $f(i)$ değerine sahipse Kural 3'e göre elde edilir ve her birinde birleştirilen kutu miktarı aynıdır. Fakat kural 4 farklı yönlerde, iki farklı yerleştirme ile blok kullanılarak daha fazla değerlendirilir.

Doluluk oranını artırmak ve minimum boşluk yani kalan atık alan bırakmak için tanımlanan değerlendirme kriteri 4 kural olarak verilmiştir.

Aşağıda Şekil:20 ve Şekil:21'de yukarıda tanımlamaları yapılan 4 kuralın pythonda sınıflarda yazılmış kod görüntüleri paylaşılmıştır.

```

101         #rule 1
102         minvol=min(f)
103         if minvol==0:
104             bestblok=f.index(minvol)
105             self.quantity-= Ks[bestblok]
106             return B[bestblok]
107
108         # rule 2
109         for j,b in enumerate(B):
110             if sum([S.L==b.L,S.W==b.W,S.H==b.H])==2:
111                 bestblok=j
112                 self.quantity-= Ks[bestblok]
113                 return B[bestblok]
114
115         minimal_indecs=[i for i, x in enumerate(f) if x == minvol]
116         if len(minimal_indecs)==1:
117             # Rule 3
118             bestblok=minimal_indecs[0]
119             self.quantity-= Ks[bestblok]
120             return B[bestblok]
121
122         else:

```

Şekil 21. Blok Oluşturmada Kullanılan İlk 3 Kuralın Tanımlanması.

```

66         def Best_Blok(self,S):
121
122             else:
123                 # Rule 4 select the one with maximum surface among minimal volume Bloks
124                 surface=[]
125                 for inx in minimal_indecs:
126                     surface.append(B[inx].L*B[inx].W)
127                 bestblok=minimal_indecs[surface.index(max(surface))]
128
129                 self.quantity-= Ks[bestblok]
130                 return B[bestblok]
131
132             @classmethod
133             def reset(cls):
134                 cls.AllBoxes=[]
135             @classmethod
136             def Is_unloaded_BOX(cls):
137                 check=0
138                 for box in cls.AllBoxes:
139                     if box.quantity!=0:
140                         check=1
141                         break
142                 return check

```

Şekil 20. Blok Oluştururken Kullanılan 4 Kuralın Tanımlanması.

Tüm tabu ve genetik algoritma ile ilgili fonksiyonların denklemlerin ve kod tanımlamalarının yapılmasının ardından, ana problemimiz olarak tanımladığımız 1 test probleminin txt. Formatına dönüştürülmesi gerekmektedir. Örnek olarak seçilen tedarikçinin T rotasında bulunan 8 kutu tipi, üretim oranına göre kullanım adetleri doğrultusunda belirlenen 46 adet kutunun en verimli şekilde palet oluşturulması için gerekli olan dosya oluşturulmuştur.

Aşağıda dosyanın içerik bilgisi ve her bir satırın açıklaması verilmiştir.

120	80	110	skid length, width, height (in cm)		
8	107.4832847	no. of box types n, total volume of cargo (m3)			
40	0	30	0	11	0 2 13 20 0.18693 0.04799 0.07563
120	0	40	0	44	0 1 211 20 0.24457 0.05778 0.07791
120	0	40	0	33	0 6 158.40 0.02704 0.09708 0.04789
40	0	60	0	16	0 14 38.40 0.17226 0.14992 0.12736
40	0	60	0	22	0 9 52.8 0.09380 0.19036 0.18716
40	0	60	0	33	0 4 79.2 0.04887 0.08016 0.19979
40	0	80	0	55	0 6 176.0 0.19222 0.15786 0.16840
80	0	60	0	44	0 4 211.2 0.09390 0.23031 0.24145

Satırlarda tanımlaması yapılan her kutu tipine ait 11 numara:

Kutunun uzunluğu (cm) ve 0/1 uzun kenardan döndürülebilirlik ısıtı,

Kutunun genişliği (cm), 0/1 kısa kenardan döndürülebilirlik ısıtı,

Kutunun yüksekliği (cm), 0/1 yükseklik noktasından h'dan döndürülebilirlik ısıtı,

Her satırdaki tanımlanan kutu tipine ait kaç adet kutu olduğu bilgisi

Kutunun ağırlığı (kg) (kutunun 3 boyutunun çarpımından elde edilen)

Yük taşıma kabiliyeti (kg/cm²) kutu l yönünden (uzunluğu) dik yerleştirilirse

Yük taşıma kabiliyeti (kg/cm²) kutu w yönünden dik yerleştirilirse

Yük taşıma kabiliyeti (kg/cm²) kutu h yönünden dik yerleştirilirse

Her kutu tipinden sonraki kullanılan 0/1 indikatörü kutunun dik oryantasyonuna izin verilip verilmediğini temsil etmektedir.

Kutu dik döndürülebiliyorsa=1 döndürülemiyorsa=0 olarak tanımlanmaktadır.

Yukarıdaki tanımlamalara göre hazırlanan ve programa test problemi girişi olarak yüklenen dosya Şekil 22’de verilmiştir.

11 numara olarak tüm özellikleri belirlenen bu kutu tiplerinin ve probleme ait nesnelerin kodlamada rassal değer atarken kullandıkları 0 dan başlayarak yapılan değer atamaları vardır.

```
File Edit Format View Help
120 80 110 skid length, width, height (in cm)
8 107.4832847 no. of box types n, total volume of cargo (m3)
40 0 30 0 11 0 2 13.20 0.18693 0.04799 0.07563
120 0 40 0 44 0 1 211.20 0.24457 0.05778 0.07791
120 0 40 0 33 0 6 158.40 0.02704 0.09708 0.04789
40 0 60 0 16 0 14 38.40 0.17226 0.14992 0.12736
40 0 60 0 22 0 9 52.8 0.09380 0.19036 0.18716
40 0 60 0 33 0 4 79.2 0.04887 0.08016 0.19979
40 0 80 0 55 0 6 176.0 0.19222 0.15786 0.16840
80 0 60 0 44 0 4 211.2 0.09390 0.23031 0.24145

The line for each box type contains 11 numbers:
box length (cm), 0/1 indicator
box width (cm), 0/1 indicator
box height (cm), 0/1 indicator
number of boxes of this type
weight of box (kg) (which is derived from the product of the 3 dimensions)
load bearing ability (kg/cm2) if box length placed upright
load bearing ability (kg/cm2) if box width placed upright
load bearing ability (kg/cm2) if box height placed upright.

The 0/1 after each box dimension indicates whether placement in the
vertical orientation is permissible (=1) or not (=0).
```

Şekil 22. Problem Tanımlarının ve Açıklamalarının Olduğu Veri Dosyası.

5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Son zamanlarda yaşanan salgın hastalıkların insan yaşamına ve işletmelerin yapılarının değişmesine büyük oranda etkisi olmuştur. Mobilitenin arttığı, lojistik operasyonların önemi kazandığı bu süreçte bu tezde yapılan çalışmada lojistiğin en yaygın ve büyük çaplı problemlerinden birisi olan taşımacılık adımı öncesindeki yükleme problemleridir.

Konteyner yükleme problemleri ve onların bir alt birimi olan 3B-PYP birçok işletmenin operasyon verimsizliği kaynaklı giderlerini artıran bir kalemdir.

Bu süreç birçok firmada manuel olarak deneyim dayalı yöntemlerle yapılmaktadır.

Üstelik işletmelerdeki bu süreç, karar mekanizması insana dayalı bir sistem olduğu için en iyi sonucu kıyaslama yapılabilecek bir araçta mevcut değildir. Fakat günümüz koşulları ile teknolojinin gelişmesi ve giderek globalleşmenin artışı kaynaklı bu elleçleme işlemleri otomatik olarak yapılabilmektedir.

Robot kollar ile yükleme veya AGV denilen akıllı sürücüsüz araçlarla stok noktalarından alınarak dağıtım noktalarına götürülmesi gibi insansız ve elleçleme azaltılarak operasyonlar gerçekleştirilebilmektedir. Bu tezde kurulan modelleme ve önerilen çözüm yöntemi aynı zamanda otomasyon ile de uygunluk göstereceği için şirketin gelecek planlarında destekleyici bir çözüm sunmuştur.

Ayrıca ilgili algoritmaların çalışması sonrası kutuların palet içindeki konum bilgileri de olduğu için tedarikçi firmaya bir yönlendirme yapılabilmektedir. Hem optimum yerleşim seçenekleri ortaya çıktığı için hem de öncesinde kullanılması gereken boş kutu miktarı belirlenebildiğinden döngüde yetersiz kutu olması durumunda erken önlem alınabilmektedir. Geçici paketleme nedeniyle oluşan parçalarda kalite hatası, hasar kaynaklı maliyet artışı ve ekstra işgüçleri ortadan kaldırılmış olacaktır.

Firmaya önerilen bu methodun kullanıma başlaması ile palet sayısında azalma olacağı için firma içinde alan kazancı da sağlanmış olacaktır.

Mevcut durum incelendiğinde ; insan beyni ile manuel olarak yerleştirme işlemi yapılan paletleme operasyonunda bir kişinin 2555 parça ve 85 tedarikçiye ait 16 rotadaki kutuları yani aylık ortalama kullanımı olan 30000 kutuyu her kutu için yüzlerce farklı iterasyon yaparak en iyi sonucu seçmesi mümkün değildir.

Fakat bu çalışmada kurulan GA ve TA algoritması ve çözüm yöntemleri ile her bir kutuyu yerleştirirken ortalama 640 ile 450 arasında değişen çözüm seçenekleri oluşturulup verilen skrolama sonuçlarına göre en iyi çözüm seçilerek doluluk oranlarını maksimize etmesi sanjyeler içinde tamamlanmaktadır.

0.5m³ hacimden az olan palet sayısı yani firma tarafından belirlenen tanımlamalara dayalı olarak verimsiz paletleme oranının da düşmesi beklenmektedir.

<Statistics of Skid>

	Number of Skid (Num)	Average per Skid		
		Volume (m3)	Number of Boxes (Num)	Number of Part No
Separate (Palletizing)	2426	0.68	9.28	0.74
Separate	0	0	0	0
Mix (Palletizing)	259	0.70	20.40	2.90
Mix	0	0	0	0
Total (Skid)	2685	0.68	10.35	0.95
Number of less than 0.5 m3	246			

Şekil 23. Mevcut Durumda Manuel Paketleme Yapılan Tüm Tedarikçi ve Rotalara Ait Paletlerin İstatistik Bilgisi.

Mevcut durumda firmanın toplam 85 tedarikçisi ve her tedarikçiye ait 16 rotaya dağıtılan ve 16 farklı kutu tipi ile yapılan paketlemelere ait planlamanın istatistik sonuçlarını Şekil:23'den görebilirsiniz.

Tanımlama yapılan ve istatistik değerleri sunulan bu verilerde kullanılan boş kutu sayısı veya boş kutuların hacim hesabına etkisi yoktur.

Boş kutu kullanımı, gerçekte kullanılan kutuların gelmesi gereken palet içindeki konumları bilinmediği için ve bu operasyon tedarikçiler tarafından tamamen kişiye bağlı olarak el yordamı ile paketlenildiği için gerçekte sevkiyatı yapılan paletlerin hacimleri bilinmemektedir. Bu durum da sistem üzerinde firmanın lojistik sistem ekibi tarafından hesaplanan toplam palet sayısı ile gerçekte sevkiyatı yapılan palet sayısı arasında farklara neden olmaktadır. Paketlemede 1 m³'ü geçen paletler için yavru palet adı verilen 0.5 m³'ün altındaki verimsiz paletler oluşmaktadır.

Paketlemesi yapılan paletlerin idealk e 1 m^3 'e yakın olması beklenmektedir. Fakat gelmesi planlanan 2685 paletin ortalama 0.68 m^3 'lük bir hacimde olduğu görülmektedir.

Yapılan çalışmada tek bir tedarikçinin tek 1 rota planında bile palet sayısında ve iş süresinde iyileşme sağlayabilmektedir. Hazırlanan çözüm metodu ve python üzerinden denemesi yapılan test problemi 16 farklı kutu tipi ve 100 örnek test problemi ile de çalışabildiğini göstermiştir. Bu nedenle firma tüm tedarikçileri için bu paletleme çözüm yönteminin kullanıldığı anda, 0.5 m^3 altındaverimsiz gelen paletlerde de azalma ile toplamda kullanılan paletlerin hacimsel ortalaması ise 0.68 m^3 'den daha yüksek olacak şekilde artış göstermesi beklenmektedir. Yapılan çalışma şirkete kişiye bağlı olma durumunu ortadan kaldırarak, iyileştirilmeye açık ve yeni durumlara esnek cevap verebilecek en önemlisi ise manuel operasyondan algoritmaya dayalı bir sisteme geçişi sunmuştur.

5.1. Modelin Önerilen Çözüm Yolu ile Çalıştırılması ve Sonuçları

8 farklı kutu tipinin ve toplam 46 adet olan kutunun maksimum verim, minimum boşluk olacak şekilde paletlere yerleştirilmesi için python'da input olarak Bölüm 4'de gösterilen txt dosyası yüklenmiş ve program çalıştırılmıştır. Programın yerleştirmeye ilk başlayacağı ve çaprazlama için ata seçimi rulet tekerleği yöntemi ile tanımlandığından rassal olarak seçip, yerleştirmeye başlamıştır.

Modelin her seferinde makul sonuçlar verip vermediğini denemek adına 15 kez deneme amaçlı yeniden çalıştırılmış ve tüm sonuçlar kontrol edilmiştir. Yapılan tüm bu deneme model sonuçları mantıklı ve ortalama aynı sürelerde sonuçları sunabilmektedir.

Literatürdeki diğer çalışmalara göre, bu çalışma ile farklı olarak, aynı algoritmalar kullanılarak hem firmanın üretim hattındaki kullanılan kutuların paletlenmesi hem de bu yeni oluşturulan bu paletlerin tekli veya çoklu konteynerlere yerleştirilmesi gibi dış lojistik alanında da kullanıma uygun olan tek bir çözüm yöntemi sunulmuştur.

Birinci palet için model çalışması 640 çözüm içerisinde 25 kez daha iyi çözüm bulunamayan iterasyona gelmesi sonucu durmuştur. Kutu ağırlık denged dağılımı da dikkate alınarak kutular yerleştirilmiş ve aşağıdaki verilen starting point olarak adlandırılan satırda kutuların yerleşim planı da sunulmuştur.

46 kutu içerisinde toplamda 8 kutu ilk palete yerleştirilmiş ve 0 boş kutu kullanımı ile birlik te hacim doluluk oranı 100% olacak bir sonucu 0.16 saniyede vermiştir.

8644 kutu tipinden 4 adet, 4622 kutu tipinden 4 adet kullanarak ilk paletlemeyi tamamlamıştır.

Algoritma parametrelerindeki bazı kural ve tanımlamalar Jiamin Liu ve YongYue'nun 2010 yılında yazdıkları makaleden uyarılma olarak baz alınmasına rağmen program geliştirilerek kullanılan kutuları tekrar kullanmama ve iterasyonu tekrar çalıştırarak tekli sonuç yerine eldeki tüm kutular yerleşene kadar çalışan çoklu yerleştirme ve raporlama yapan bir çözüm metodu geliştirilmiştir.

```
iteration25--#searched solutions= 640
Best objective: 100.0
Volume Utilization = 100.000000
Wieght distrbution measure= 100.000000
Distance from back measure= 50.000000 where the maximum is 75.000000
Run Time = 0.160072 sec
Total number of loaded boxes = 8.000000
```

	Box Type	Box Oriantation in Blok	Box quantity in Blok	Box priority	Starting p	lenght	Width	Hight	box type		
0	7	0	4	2	[0, 0.0, 0]	120	80	88	80	60	44
1	2	0	4	0	[0, 0.0, 88.	120	80	22	40	60	22

Şekil 24.1 Palet için Modellemenin Çalıştırılması ve Sonuçlar.

Kalan 38 kutu için modelleme çalıştığı anda; 2 paletleme sonuçları;

462 çözüm sonuçları 25 kez daha iyi yeni bir sonuç vermeyince durdurulmuştur. Doluluk oranı 100% olacak şekilde 6 adet kutuyu 0.11 saniyede yerleştirmiş ve sonucu sunmuştur.

iteration25--#searched solutions= 462

Best objective: 100.0

Volume Utilization = 100.000000

Wiegth distrbution measure= 100.000000

Distance from back measure= 50.000000 where the maximum is 75.000000

Run Time = 0.110646 sec

Total number of loaded boxes = 6.000000

Kalan 32 adet ku tu için modelleme çalışmaya devam etmiş ve 353 farklı çözüm deneyerek toplam 13 adetku tuyu 100%do lu luk oran ı ile 0.15 saniyede yerleştirmiştir.

iteration30--#searched solutions= 353

Best objective: 100.0

Volume Utilization = 100.000000

Wiegth distrbution measure= 100.000000

Distance from back measure= 52.500000 where the maximum is 75.000000

Run Time = 0.153015 sec

Total number of loaded boxes = 13.000000

Kalan 19 adetku tu için modelleme çalışmaya devam etmiş ve 4. Paleti hazırlamıştır.

11 ku tu kullanarak %99.8 do lu luk oran ı ile 0.0 saniyede ilgili sonucu sunmuştur.

Wiegth distrbution measure= 99.872774

Distance from back measure= 28.571429 where the maximum is 75.000000

Run Time = 0.000000 sec

Total number of loaded boxes = 11.000000

Geriye yerleşmeyen sadece 8 ku tu kalması nedeniyle son palet olan 5 paletin do lu luk oran ı yani hacimsel kullanım oran ı %29 olarak kalmıştır. Yerleşecek ku tu olması durumunda program gene maksimum do lu luk oran ına ulaşmaya çalışarak maksimum sayıda ku tuyu yerleştirmeye çalışacaktır.

Volume Utilization = 29.090909

Wiegth distrbution measure= 0.000000

Distance from back measure= nan where the maximum is 75.000000

Run Time = 0.000000 sec

Total number of loaded boxes = 8.000000

Fakat yerleştirilen kutuların yükseklik ve yerleşim durumları dikkate alındığında firmanın kullandığı hacim hesabına göre bu doluluk oranı %32 olarak ifade edilmektedir (h:160 cm ve 2 kat yükleme yapılmıştır.).

Özetle ;

Modelleme çalıştırıldığında tek 1 tedarikçinin 1 rotasına ait olan 8 farklı kutu tipi ve 46 adet kutunun maksimum verimle yerleştirilmesi problemi, sunulan bu çalışma ile toplam 5 palete sığdırılmıştır. Bu paletin 4 adeti %100, 1 adeti %32 oranında doluluk hacmine sahiptir.

Tüm bu sonuçlar tek seferde çalıştırıldığında ortalama 0.10 saniyede çözüm sunabilmektedir. Kullanılan kutuların elenerek programın ayrı ayrı yeniden çalıştırılması ile ise toplamda 0.42 saniyede çözüme ulaşılmıştır.

5.2.Modelin Mevcut Sistemdeki Manuel Çalıştırılması ve Sonuçları

Bu planlama işlemi işletmede her ay düzenli olarak yapılmakta ve ortalama tecrübe yılı baz alındığında minimumda 2 gün sürmektedir.

2 tam işgünü (20 saat) ve işletmede sistem operatörü olarak tanımlanan 1 kişi işgücü olarak bu işe ayrılmıştır.

Bu örneklem kütesi için tüm kutuların yerleştirilmesi işlemi manuele d ataların hazırlık işlem süresi de dahil edildiğinde 32 dakıka sürmektedir.

Problem için seçilen kutular mevcut durumda daha öncede bahsedildiği gibi manuel olarak operatör tecrübesine bağlı olarak planlanmaktadır. Bu çalışmakapsamında aynı problem 6 yıllık tecrübeli eleman ile 1 yıllık tecrübeli elemana ayrı ayrı çözdürülmüştür. Bu durumda 6 yıllık tecrübeli eleman tüm kutuları toplamda 6 palete sığdırabilmiş ve doluluk oranları da aşağıdaki Tablo 6.'daki gibi olmuştur. 1 yıl

tecrübeye sahip eleman ise toplamda 7 palete sığdırabilmış ve doluluk oranları Tablo 7.'deki gibidir. 7 paletin doluluk oranı %32 seviyesinde yararlanılan 4 adet boş 4616 kutusu ile sağlanmıştır. Palet sayısındaki artışın yanı sıra sisteme göre tecrübeli elemanın ve tecrübesi az olan elemanın yapmış olduğu paletleme çözümünde düzgün ve dengeli paketleme yapılabilmesi adına boş kutu kullanımında artış ortaya çıkmıştır.

Tablo 6. Manuel Kutulama 6 Yıl Tecrübeli Elemanın Sonuçları

Manuel Kutulama ve Palet Yükleme Planı			
Yerleşen Kutu Tipi	Yerleştirilen Adet	Doluluk Oranı	Oluşturulan Paletler
4633	4	81%	K1-1.Palet
4616	12		
8644	4	88%	K2-2.Palet
4133	6	100%	K3-3.Palet
4144	1	44%	K4-4.Palet
4311	2	77%	K5-5.Palet
4616	2		
4622	9		
4855	6	100%	K6-6.Palet
TOPLAM	46 dolu kutu + 3 boş kutu	Ort. %81	6 palet

Tablo 7. Manuel Kutulama 1 Yıl Tecrübeli Elemanın Sonuçları

Manuel Kutulama ve Palet Yükleme Planı			
Yerleşen Kutu Tipi	Yerleştirilen Adet	Doluluk Oranı	Oluşturulan Paletler
4633	4	65%	K1-1.Palet
4616	8		
8644	4	88%	K2-2.Palet
4855	6	100%	K3-3.Palet
4144	1	44%	K4-4.Palet
4133	6	100%	K5-5.Palet
4622	8	60%	K6-6.Palet
4616	4		
4616	2	32%	K7-7.Palet
4622	1		
4311	2		
TOPLAM	46 dolu kutu + 5 boş kutu	Ort. %69.8	7 palet

5.3.Çözüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi

5.3.1.Manuelden Dijitale Geçiş

Son zamanlarda yaşanan salgın hastalıkların insan yaşamına ve işletmelerin yapılarının değişmesine büyük oranda etkisi olmuştur. Mobilitenin arttığı, lojistik operasyonların öneme kazandığı bu süreçte bu tezde yapılan çalışmada lojistiğin en yaygın ve büyük çaplı problemlerinden birisi olan taşımacılık adımı öncesindeki yükleme problemleridir.

Bu süreç birçok firmada manuel olarak deneyime dayalı yöntemlerle yapılmaktadır.

Bu tezde kurulan modelleme ve önerilen çözüm yöntemi aynı zamanda otomasyon ile de uygunluk göstereceği için şirketin gelecek planlarında bunun “insansız ve elleçlemesiz lojistik” vizyon ve misyonuna uyum sağlayarak insan gücü olmaksızın yapılacak lojistiğe en tegre edilebilir yapıdadır.

Japonya’da 12, dünyada 11 bağılı kuruluşu ve 26 ülkede 46 üretim tesisinde de manuel olarak hesaplanan bu küpeme ve palet yükleme işlemi binlerce sayıda tedarikçi ile çalışılan bu süreçte globalde yenilikçi bir yaklaşım ve totalde uygulamaya alındığında milyolarca kazanç sağlayacağı öngörülmüştür.

Manuel ve insana dayalı gerçekleştirilen operasyonun en iyi yöntem noktasında kıyaslanabileceği ve veriminin ölçülebilirliği bir araçta bulunmamaktadır.

Fakat bu çalışma ile önerilen çözüm sonuçlarında her paletle ait sunulan raporlama ile programı birkaç kez çalıştırarak farklı küpeme seçenekleri de görülebilmektedir. Fakat tüm verilen sonuçlarda toplam paletleme sayısında fark görülmektedir. Mevcut sistemde ise, tecrübeli ve tecrübe yılı az olan iki operatör arasında yapılan planlama da ise total palet sayısında fark olduğu görülmüştür. Bunların yanı sıra dijitalle geçiş ile zaman kazancı elde edilmiş ve

insan beyni ile aynı zaman diliminde hesaplanarak, kıyaslanması mümkün olmayan yaklaşık 600 sonuç değerlendirmesi gerçekleştirilebilmektedir.

5.3.2.Kutu Lokasyon Bilgilerinin Eklenmesi

Ayrıca ilgili algoritmaların çalışması sonrası kutuların palet içindeki konum bilgileri de olduğu için tedarikçi firmaya bir yönlendirme yapılabilmektedir. Hem optimum yerleşim seçenekleri ortaya çıktığı için hem de öncesinde kullanılması gereken boş kutu miktarı belirlenbildiğinden döngüde yetersiz kutu olması durumunda erken önlem alınabilmektedir. Geçici paketleme nedeniyle oluşan parçalarda kalite hatası, hasar kaynaklı maliyet artışı ve ekstra işgüçleri ortadan kaldırılmaktadır.

5.3.3. Plan Dışı Sevkiyat için Ek Kullanılan Tır Maliyetlerinin Azalması

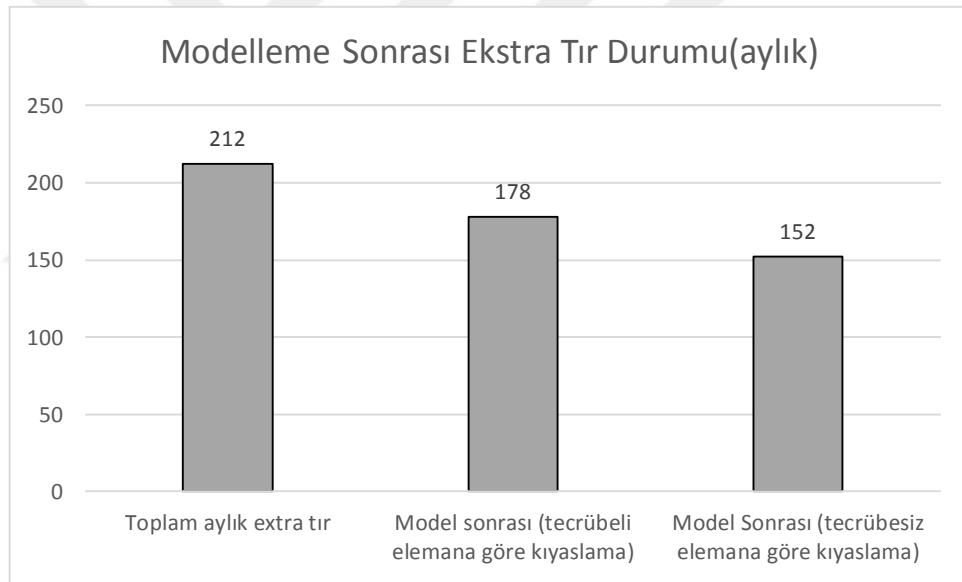
Seçilen alt problem olarak 1 firmalı 8 kutu tipli problem havuzunda yerleştirilen 46 kutu için, yapılan manuel planlama sonucundaki palet sayıları ve bu çalışma ile önerilen sistemin verdiği sonuçlar dikkate alındığında tecrübeli elemanın planlamasında 6 palet, tecrübesi az olan bir elemanın planlamasında ise 7 palet kullanıldığı görülmüştür.

Tecrübesi 1 yıl olan elemanın palet sayısı ile sistem sonucundaki palet sayısı farkının 2 palet olduğu göz önüne alındığında, bu çalışma ile 7 paletlik bir sonuçta 2 paletlik azaltma sunularak %28.6'lık iyileştirme elde edilmiştir. Tecrübesi 6 yıl olan elemanın paletleme sonuçlarına bakıldığında ise, 6 paletlik bir sonuçta 1 paletlik azaltma ile %16.6'lık iyileştirme ortaya konulmuştur.

Problem tanımı bölümünde detayları açıklanan, Şekil:5 de gösterilen ekstra tır kullanımının nedeni, tüm bu paletleme işlemlerinin manuel yapılması ve kişiye bağlı olması kaynaklı, planlanandan fazla kutu kullanımı sonucunda ortaya çıkan toplam palet sayısındaki artış nedeniyle boş kutuların sevk edilebilmesi için ekstra tır kullanımları ortaya çıkmaktadır. Tablo 6 ve Tablo 7'de de görülebileceği üzere manuel işlemlerde 6 palet kullanırken 3 boş kutu, 7 palet

kullanırken 5 boş kutu fazladan kullanımı gerçekleşmiştir. Fakat bu çalışmanın sonucunda çalıştırılan model 5 palet kullanılırken boş kutu kullanımında 0'dır.

Bu iyileşmeler göz önüne alındığında, aylık ekstra kullanılan tır sayısı diğer anormallikler hariç tutulduğunda tecrübeli bir elemanın manuel işlemine göre yaklaşık 34 tır, tecrübesi 1 yıl olan elemana göre ise 60 tırlık azalma olması beklenmektedir. Firmada aylık lojistik planlama işlemleri, minimum tecrübesi 1 yıl olacak operatörlerden seçilen sistem operatörü adı verilen operasyon görevlileri tarafından yapılmaktadır. Bu durumun maliyet olarak etkisini bakacak olursak, çalışma firmada devreye alındığında, 200 euro/gün olan 1 tırın maliyetine göre, tecrübeli 1 yıl olan mevcutta firmada bu görevi yapan sistem operatörünün palet çıkışları baz alındığında aylık 60 tırlık iyileşme sonucunda 12000 euro/ay lojistik maliyeti azaltılmış olacaktır.



Şekil 25. Sistem Modeli Sonrası Ekstra Tır Kullanım Sayısındaki Azalma.

5.3.4. İşgücü Maliyetleri ve Verimlilik Sonuçlarının Karşılaştırılması

Yapılan çalışma sonucunda palet sayısındaki azalmalar, kullanılan boş kutu sayısındaki azalmalar ve bu nedenlerle palet tam kapasite kullanımı oranı ile palet doluluk oranındaki artışlara bağlı olarak işletmede yapılan palet yükleme ve boşaltma, kutuların hat kenarına dağıtılması gibi operasyonlarda işgücü kazancı elde edilmiştir. Aşağıda Tablo 8'de tüm bu sonuçların detayları ve karşılaştırmalarına ait özet tablo verilmiştir. Bu tablodan ayrıca her palette

kullanılan kutu tipleri, kutu adetleri, boş kutu bilgileri ve hacimsel doluluk oranlarının detaylarına ulaşılabilmektedir.

Sistem işleri için ayrılan operatörler daha öncede belirtildiği üzere minimum 1 yıl veya üzeri tecrübeli elemanlardan tercih edilmektedir. Mevcut durumun tanımlanması yapılırken ilgili operasyonun 1 sistem operatörü olarak tanımlanan kişi tarafından her ay 2 gün toplam 20 saatlik işgücü harcanmakta olduğu bilgisi paylaşılmıştır. Program sonuçlarından gözlemlendiği üzere, 8 kutu tipli 46 adet kutunun yerleştirilmesi işlemi ortalama her bir test problemi için maksimum 0.16 saniye ve kutular yerleştikçe bu çözüm süresi parabolik olarak 0.0 saniyelere kadar düşmektedir. Dataların hazırlanması ve sisteme yüklenme süresi de maksimum 5 dakika olarak ölçüldüğünde toplam çözüm süresi maksimum süre baz alınarak hesaplandığında dahi yaklaşık 5.1 dakika da sonuçlanmaktadır. Tecrübeli elemanın yıllık maliyeti 18000 Euro olarak hesaplanmaktadır. Her ay yapılan bu planlama 2 iş günü sürdüğü düşünüldüğünde toplam iş durumuna forklift operasyonlarından gelen elleçlemedeki azalma kaynaklı kazançlar da eklendiğinde işletmeye 1 operatör/proses kazanç sağlanmaktadır.



Şekil 26. Yıllık İşlem Süresi İyileştirilmesi (işgücü kazanıcı).

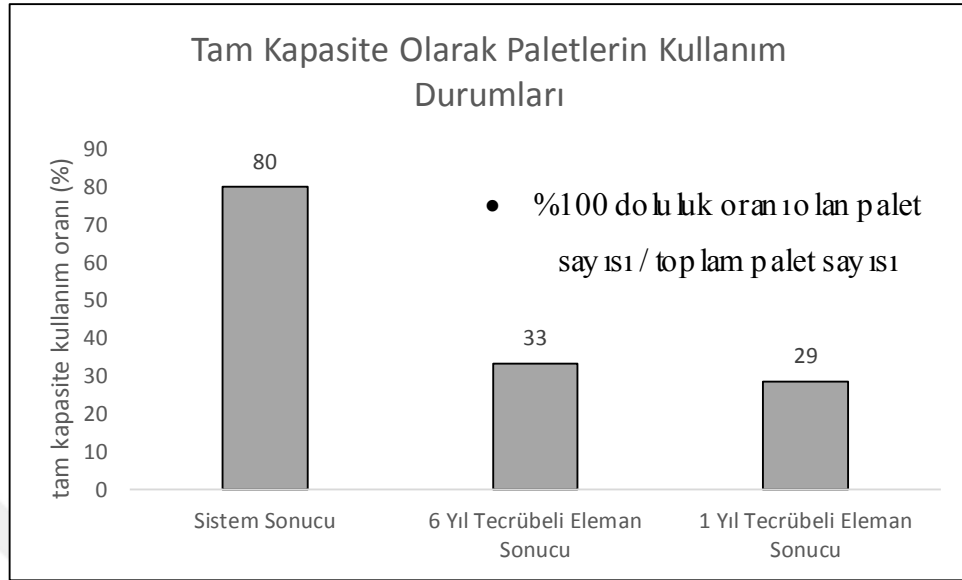
5.3.4.1 Paletlerin tam kapasite kullanım oranlarının karşılaştırılması

Sonuç bölümünde de bahsedildiği gibi modelleme sonucunda çalışma ile sunulan ve manuel operasyondan sisteme geçişi sağlayan GA'nın sunduğu iyileştirme sonucunda sadece palet sayısında azalma olmamıştır. Aynı zamanda paletleri tam kapasite kullanabilecek şekilde yapılması gereken iterasyonlar toplam 640'a yakın çözüm havuzu içinden karşılaştırılarak elde edilmiştir. Bu modelin çalışma algoritması olan her bir paleti do durarak giden iterasyona sahipken kalan tüm alternatif çözümleri de denemektedir. Her bir palet için elde ettiği en iyi blok yapısını da amaç fonksiyonunda tüm paletlerin kombinasyonları ile birlikte karşılaştırma yapısına sokması ve doluluk oranlarını karşılaştırarak döngüyü durdurması yönü ile paletlerin tam kapasite kullanım oranlarını artıran sonuçlar elde etmektedir.

Çalışmadaki modelleme sonucunda aldığımız toplam palet sayıları ve 100% doluluk oranı bilgilerini kullanarak tam kapasite kullanım durumu hesaplanmıştır. Manuel paletleme ile yapılan planlamanın vermiş olduğu sonuçlar ile sistem sonuçlarının karşılaştırması aşağıda Şekil:27'de verilmiştir. Sistem çıktılarından elde edilen sonuçlara göre toplamda 5 palet kullanılmış ve bu paletlerin 4 tanesi 100% doluluk oranına sahiptir. Bu durumda sistemin verdiği çözümde tam kapasite kullanım oranı, $4/5$ yani 80%'dir.

Tecrübeli 6 olan elemanın çözüm sonucunda 6 palet kullanılmış, 2 palet 100% doluluk oranına sahiptir. Tam kapasite kullanım durumu %33.3 ve tecrübeli 1

yıl olan operatörün çözüm sonucuna göre tam kapasite kullanım durumu ise, %28.6'dır.



Şekil 27. Paletlerin Tam Kapasite Kullanım Oranları.

5.3.4.2 Sistem ve manuel hesaplama sonuçlarından paletlerin doluluk oranlarının karşılaştırılması

Şekil 28'de üç farklı sonuca ait toplam palet sayısı ve sıralı olarak yerleştirilen paletlerdeki doluluk oranlarına ait karşılaştırma verilmiştir. Şekilde verilen grafikteki doluluk oranı sıfır olan değerler palet kullanılmadığı ve daha az palete yerleştirilerek 46 kutunun paketlenmesinin tamamlandığı anlamına gelmektedir.

Şekil 29'da ise çözümlerin verdiği toplam palet sayıları da dikkate alınarak ortalama palet başına düşen doluluk oranları yani paletlerin hacimlerine ait bilgi verilmiştir. Manuel olarak yapılan planlamada tüm tedarikçi ve rotalara ait sonuçların verildiği istatistik sonucu olan Şekil 23'den de görüldüğü üzere ortalama palet hacmi 0.68'dir. Sistem sonucunda ortalama palet hacminde de iyileştirilme sağlanmıştır. Bu örnek problem kütesi için yapılan karşılaştırma

sonucu ise Şekil:29'dan görüleceği üzere %86.4 sistemin ortaya koyduğu ortalama palet doluluk oranıdır.

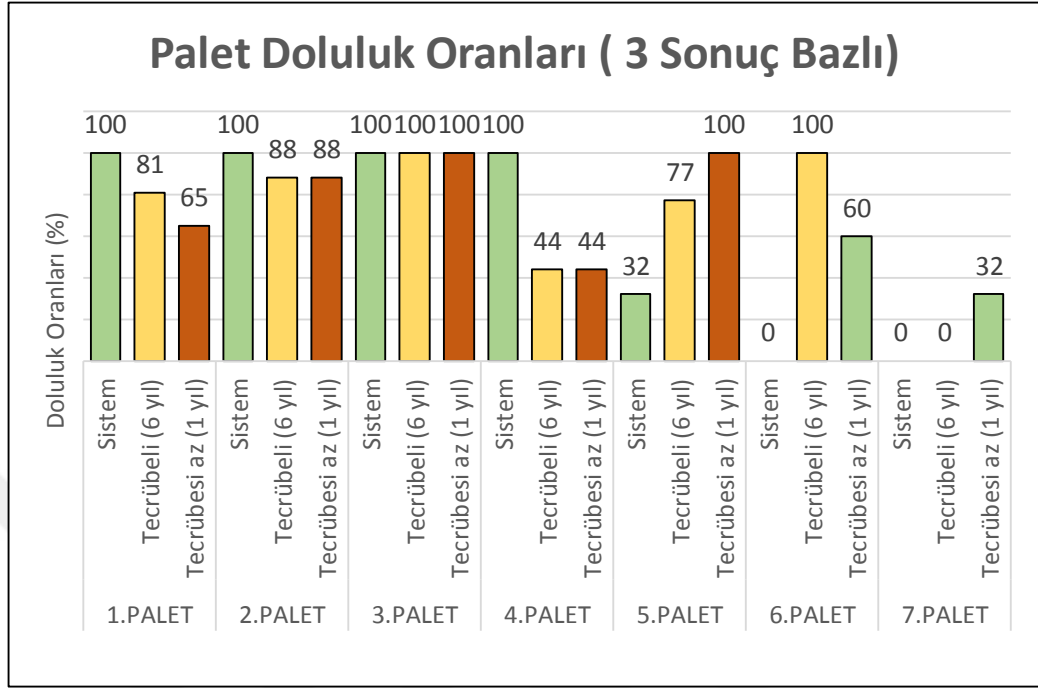
5.3.4.3. Boş kutu kullanım durumları ve işgücüne olan etkileri

Tablo 8'de verilen sistem, tecrübeli eleman ve tecrübesi az olan elemanın yapmış olduğu paletleme sonuçlarına göre, paketlemelerin yüke dayanım ve dengeli paletleme kısıtlarını sağlayabilmesi adına boş kutu kullanıma durumlarına ait bilgiler verilmiştir. Sistemde oluşturulan ve daha önce de tanımlamalarda aktarıldığı gibi amaç fonksiyonu minimum boşluk kalacak ve maksimum dolu kutu yerleşimi yapılıırken minimum boş kutu kullanacak sonuçları elde etmek için modellenmiştir. Örnek problem için çalıştırılan program 4 paleti %100 doludurken aynı zamanda 5 palet içinde 0 boş kutu kullanmıştır.

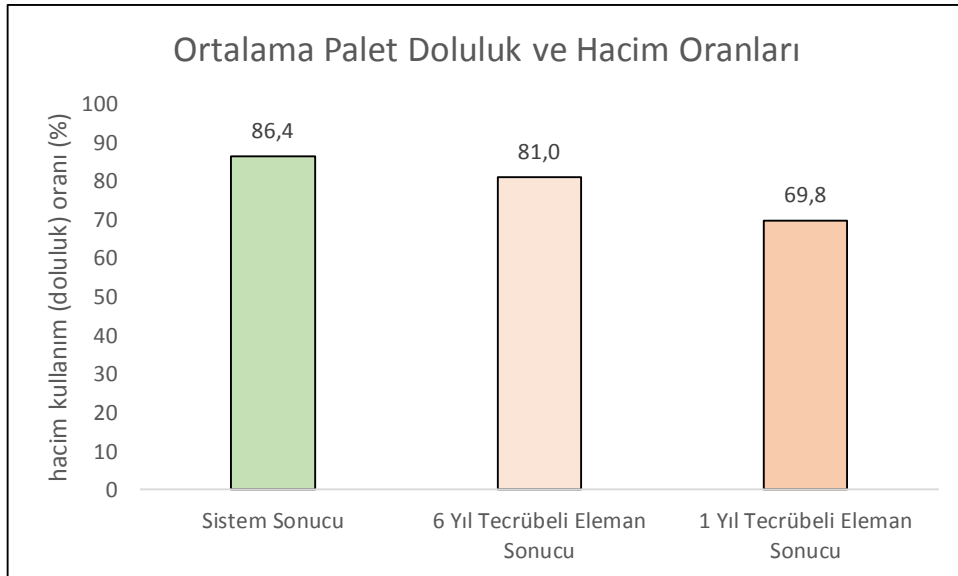
Manuel işlem sonuçlarında kullanılan boş kutu sayılarına Şekil:30'dan ulaşılabilmektedir. Bu boş kutu kullanımının hem tedarikçi hem de işletme açısından elleçlemeleri artırması nedeniyle işgücü etkisi de bulunmaktadır. Kutuların palet haline getirilerek paketlenmesi sırasında tedarikçi tarafından elleçlenecek daha sonra işletmede ana hatta parça dağıtımını yapılıırken paletleme açıldığında boş kutular elleçlenecek ve tedarikçiye geri gönderilecektir. Geri gönderilen boş kutulara ait paletler tekrar tedarikçi tarafından tırdan indirilecek ve ilgili proseslere dağıtımları yapılmak için elleçlenecektir. Bu durumda sistem operatörlerinin minimum 1 yıllık tecrübe ile çalışan elemanlar olduğu dikkate alındığında, 46 kutuluk paletleme probleminde 5 kutu boş kutu kullanarak paletleme operasyonu tamamlanmıştır. Fakat yapılan sistem modellemesi sonucunda ise 0 boş kutu kullanılmıştır. Her bir boş kutunun elleçleme süresi işletmede 4 sn/kutu olarak tanımlanmıştır. Toplam kazanç düşünüldüğünde; 5 kutunun 3 kez elleçlenmesi 1 dakıkadır.

Toplam palet sayısına göre en elleme yapacak olduğumuzda, kazanılan elleçleme süresi 0.89 adam/vardiya'dır. Bu da tedarikçi ve işletmeden toplamda 1 adam/vardiya'lık kazanca eşittir. Yapılan çalışmanın sadece işletmeye değil tedarikçilere de kazanç sağladığını buradan da görebilmek teyiz. Yapılan boş kutu

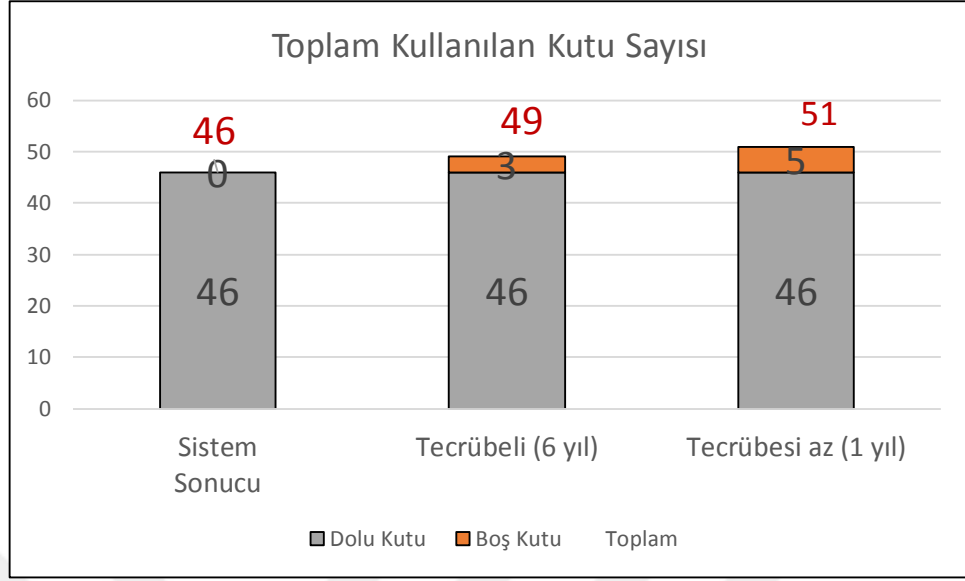
elleçlemelerin in işyükü dağılımına bakıldığında %66.6'sı tedarikçilerde, %33.3'ü de işletmede olmak tadır.



Şekil 28. Paletlerin 3 Sonuç Bazlı Doluluk Oranları.



Şekil 29. Ortalama Palet Doluluk Oranı



Şekil 30. Top lam Ku llan ılan Ku tu Say ısı v e Bo ş Ku tu Say ısı.

5.3.5 Diğer Kazançlar

Tüm bun lar ın yan ısıra to plam da 26 ü lk ed e 46 ü re tim tes isi bu lu nan bu iş let me de ya p ılan kı ya sla ma ç a l ı ş m a s ı n d a g lo b a l d e bu iş lem in m a n u e l o l a r a k ya p ı l d ı ğ ı a n a l i z e d i l m i ş t i r .

Ya p ılan i y i le ş t i r m e g ö b l ü k a i z e n o l a r a k t ü m iş let me z i n c i r l e r i n d e d e u y g u l a n m a s ı i ç i n ö n e r i s u n u l m a s ı p l a n l a n m a k t a d ır .

Bun la ra e k o l a r a k e l d e e d i l e n t ü m i y i le ş m e l e r s a d e c e iş let me b a k ı ş a ç ı s ı n d a n h e s a p l a n m ı ş t ır f a k a t b o ş k u t u l a r ı n e l l e ç l e m e s i n i n o r t a d a n k a l d ır ı l m a s ı s o n u c u n d a d a g ö r ü l d ü ğ ü ü z e r e t e d a r ık ç i t a r a f ı i ç i n d e iş g ü c ü , e l l e ç l e m e v e v e r i m l i l i k n o k t a s ı n d a , y e n i p r o j e d ö n e m i n d e k u t u v e p a l e t y a t ı r ı m ı n d a k a z a n ç l a r s a ğ l a n m a k t a d ır .

Ya p ılan ç a l ı ş m a n ı n l i t e r a t ü r e o l a n g e n e l k a t k ı s ı v e f a r k l ı l ı ğ ı , b u k a d a r b ü y ü k k ü t l e l e r e s a h ı p ya p ı l d a b i r g e r ç e k h a y a t p r o b l e m i n e s u n d u ğ u h ız l ı v e y ü k s e k v e r i m l i ç ö z ü m d i ş i n d e , g e n e l l i k l e k u t u l a m a v e y a k o n t e y n ır p r o b l e m l e r i n d e d i ş l o j i s t i k b ö l ü m l e r i n e o d a k l a n ı l r k e n i ç l o j i s t i k g i b i k u t u d a ğ ı t ı m ı n ı n ya p ı l d ı ğ ı ü r e t c i v e d a ğ ı t ı c ı p r e n s i p l e r i n i n i k i s i n i d e b ü n y e s i n d e b u l u n d u r a n b ö l ü m l e r i ç i n d e

özüm önerisi getirilebileceği ve çalışma konusu olarak ele alınabileceği gösterilmiştir.

Ek olarak, önerilen GA'nın ileriye dönük Endüstri 4.0 kapsamında yapılacak olan firmanın gelecek projelerinden olan insansız ve temassız otomatik paletleme projelerinde de kullanımı düşünülmektedir.



Tablo 8. Sonuçların Karşılaştırılması.

SONUÇ KARŞILAŞTIRMA TABLOSU			
Toplam Palet Sayıları	SİSTEM 5 Palet	TECRÜBELİ (6 YIL) 6 Palet	AZ TECRÜBELİ (1 YIL) 7 Palet
1.PALET			
Doluluk Oranı	%100 0 boş kutu + 8 dolu kutu	%81 0 boş kutu + 16 dolu kutu	%65 0 boş kutu + 12 dolu kutu
Kutu Kullanımı			
2.PALET			
Doluluk Oranı	%100 0 boş kutu + 6 dolu kutu	%88 0 boş kutu + 4 dolu kutu	%88 0 boş kutu + 4 dolu kutu
Kutu Kullanımı			
3.PALET			
Doluluk Oranı	%100 0 boş kutu + 13 dolu kutu	%100 0 boş kutu + 6 dolu kutu	%100 0 boş kutu + 6 dolu kutu
Kutu Kullanımı			
4.PALET			
Doluluk Oranı	%100 0 boş kutu + 11 dolu kutu	%44 1 boş kutu + 1 dolu kutu	%44 1 boş kutu + 1 dolu kutu
Kutu Kullanımı			
5.PALET			
Doluluk Oranı	%100 0 boş kutu + 8 dolu kutu	%77 2 boş kutu + 13 dolu kutu	%100 0 boş kutu + 6 dolu kutu
Kutu Kullanımı			
6.PALET			
Doluluk Oranı	Kullanılmıyor.	%100 0 boş kutu + 6 dolu kutu	%60 0 boş kutu + 12 dolu kutu
Kutu Kullanımı			
7.PALET			
Doluluk Oranı	Kullanılmıyor.	Kullanılmıyor.	%32 4 boş kutu + 5 dolu kutu
Kutu Kullanımı			
Toplam Kutu Sayıları	46 dolu kutu + 0 boş kutu	46 dolu kutu + 3 boş kutu	46 dolu kutu + 5 boş kutu

KAYNAKLAR

- Ballew B.P. (2000). *The distributor's three dimensional pallet packing problem: mathematical formulation and heuristic solution approach*. Air force Inst. of Tech. Wright-Patterson School of Engineering, Msc Thesis, 1-48.
- Bischoff, E. E., Janetz, F., Ratcliff, M. S. W. (1995). Loading pallets with non identical items. *European Journal of Operational Research*. 84(3):681-692.
- Bischoff, E. E., Ratcliff, M. S. W. (1995a). Issues in the development of approaches to container loading. *Omega*. 23:377-390.
- Bischoff, E. E., Ratcliff, M. S. W. (1995b). Loading multiple pallets. *Journal of Operational Research Society*. 46:1322-1336.
- Blum, C. ve Roli, A. (2003). Metaheuristics in Combinatorial Optimization: Overview and Conceptual Comparison. *ACM Computing Surveys*. 35(3)268-308.
- Che, C. H., Huang, W., Lim, A., Zhu, W. (2011). The multiple container loading cost minimization problem. *European Journal of Operational Research*. 214(3): 501-511.
- Chen, C. S., Lee, S. M. Shen, Q. S. (1995). An analytical model for the container loading problem. *European Journal of Operational Research*. 80(1):68-79.
- Crainic, T.G. ve Toubuse, M. (2003). Parallel Strategies for Meta-heuristics. *Glover et al. (eds) Handbook of Metaheuristics*. Kluwer Academic Publishers.
- Çelik, R. (2020, Haziran). Lojistik Sektöründe Kullanılan Yeni Bilişim Sistemleri: Lojistik 4.0 Örneği. *Balkan ve Yakın Doğu Sosyal Bilimler Dergisi*. 4-85.
- Dereli, T., Das, G. S. (2010a). A hybrid simulated annealing algorithm for solving multi-objective container-loading problems. *Applied Artificial Intelligence*. 24(5): 463-486.
- Dereli, T., Das, G. S. (2010b). Development of a decision support system for solving container loading problems. *Transport*. 25(2): 138-147.
- Hashim, N. A., Zulkipli, F., Januri, S. S., and Shariff, S. S. R. (2014). An alternative heuristics for bin packing problem. *Proceedings of the International Conference on Industrial Engine*. 1560.
- Kantorovich, L. V. (1960). Mathematical methods of organizing and planning production. *Management Science, (English Translation of a 1939 Paper Written in Russian)*. 6(4), 366-422.
- Kır, S., & Yazgan, H. R. (2019). A novel hierarchical approach for a heterogeneous 3D pallet loading problem subject to factual loading and delivery constraints. *European Journal of Industrial Engineering*. 13(5), 627-650.
- Liu Jiamin, Yong Yue. (2011). A novel hybrid tabu search approach to container loading. *Computers & Operations Research*. 38 (2011) 797-807
- Sivanandam, S.N. ve Deepa, S.N. (2008). *Introduction to Genetic Algorithms*. Springer.

Song, X., Jones, D., Asgari, N., & Pigden, T. (2019). Multi-objective vehicle routing and loading with time window constraints: a real-life application. *Annals of Operations Research*. 1-27

Ünal, İ., Görgün, H., & Bu kan, S. (2019). İki Boyutlu Palet Yerleştirme Problemi İçin Metasezgisel Çözüm Yaklaşımı. *Journal of Transportation and Logistics*. 4(2), 79-90. doi: 10.26650/JTL.2019.04.02.03

Obitko, M. (1998). Introduction to Genetic Algorithms with Java Applets. <http://www.obitko.com/tutorials/genetic-algorithms/index.php>. (11 Mayıs 2023 tarihinde alınmıştır).

Onan, A. (2013). *Kümeleme Analizinde Melez Evrimsel Algoritmalar Üzerine Bir Çalışma*. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Ozcan, S.O., Dokeroglu, T., Cosar, A., and Yazici, A., (2016). A novel grouping genetic algorithm for the one-dimensional bin packing problem on GPU. *Computer and Information Sciences*. 52-60.

Özsüt, Z. (2015), *Konteyner Yükleme Problemleri İçin Matematiksel Modeller Ve Çözüm Yöntemleri*. (Yüksek Lisans Tezi), Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Solving Constraint Integer Programs. Şekil 1 alınmıştır. <https://www.scipopt.org/doc-3.2.1/examples/Binpacking/PROBLEM.php>. (12 Ocak 2023 tarihinde alınmıştır).

Şekil 2 Internet 2:

Junior 2017. Şekil 2 alınmıştır.

file:///C:/Users/mt16094/Downloads/Alvaro_Neuenfeldt_Junior.pdf (15 Ocak 2023 tarihinde alınmıştır).

ÖZGEÇMİŞ

Merve Simg e USUK

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2016, Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü
- **Yükseklisans** : 2023, Sakarya Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Endüstri Mühendisliği Programı

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2016-2022 yılları arasında Toyota Otomotiv A.Ş.'de iç lojistik mühendisi olarak çalıştı.
- 2022-2023 yılında Japonya Tsutsumi ve Motomachi Plant Toyota Motor Corporation'da montaj mühendislik departmanında çalıştı.
- 2023 yılında kıdemli mühendis ünvanını kazandı.
- 2015 ve 2016 yıllarında Sakarya Üniversitesi Dönemsel Başarı Ödülü'nü kazandı.
- 2018 yılında Japonya Uluslararası Kalite Çemberleri Yarışmasında ekibi ile 1.lik ödülünü kazandı.

DİĞER ESERLER:

- Mayıs 2016'da World of Academy of Science Engineering and Technology Konferansında sunum yapılmış ve makale olarak 'The Lean Manufacturing Practices in An Automotive Company Using Value Stream Mapping Technique' çalışması kabul edilmiş ve yayımlanmıştır.
- Ekim 2017'de 4th International Management Information Konferansında Fabrika İçi Lojistik Sürecinde Kablosuz Acil Parça İstek Sistemi Otomasyonu: Bir Otomotiv Fabrikası Uygulaması adlı çalışması sunulmuştur. (Yayın No:167)
- Ekim 2017 Fabrika İçi Lojistik Sürecinde Kablosuz Acil Parça İstek Sistemi Otomasyonu: Bir Otomotiv Fabrikası Uygulaması adlı çalışma Acta Info Logica dergisinde ISSN 2602-3563 numaralı yayımlanmıştır.