

## Bir Lojistik Köyde Yatay Taşıma Araçlarına İş Emirlerinin Atanması ve Çizelgelenmesi

Burak Hatipoğlu<sup>1</sup>, Emrah B. Edis<sup>2\*</sup>, Ece Şenhan<sup>3</sup>, Özlem Uzun Araz<sup>4</sup>, Rahime Sancar Edis<sup>5</sup>

Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Muradiye, Manisa,  
Tel: +90 236 2012200, Faks: 0 236 241 21 43

burakh35@gmail.com<sup>1</sup>, emrah.edis@cbu.edu.tr<sup>2</sup>, ecesenhan@gmail.com<sup>3</sup>,  
ozlem.araz@cbu.edu.tr<sup>4</sup>, rahime.edis@cbu.edu.tr<sup>5</sup>

\*İletişimden sorumlu yazar / Corresponding author

Geliş / Received: 18 Şubat (February) 2016

Kabul / Accepted: 7 Haziran (June) 2016

DOI: 10.18466/cbayarfbe.280665

### Özet

Son yıllarda artan uluslararası ticaretin etkisiyle konteyner taşımacılığı oldukça önem kazanmıştır. Konteyner ile taşınan yükler; zaman, maliyet ve diğer kriterler altında deniz yolu, tren yolu ve karayolu modlarından herhangi birini veya bu modların bir bileşimini (tümleşik taşımacılık) kullanabilirler. Lojistik köyler, konteynerlerle taşınan yüklerin taşıma modunu değiştirdiği ve gerektiğinde geçici depolama sahası olarak kullanılabilen konteyner terminalleri olarak tanımlanabilir. Konteynerler herhangi bir taşıma modundan gelip lojistik köye ulaşmakta, terminal sahasındaki donanımlar ile elleçlenerek müşterinin teslimat tarihine kadar ya da bir sonraki taşıma modu ile hareket edene kadar bekletilmektedir. Sonrasında yine herhangi bir taşıma modu ile yoluna devam etmektedir. Bu çalışmada bir lojistik köyde yatay taşıma yapan araçlara iş emirlerinin atanması ve çizelgelenmesi problemi ele alınmıştır. Bu problem için öncelikle yatay taşıma araçlarının gereksiz yaptığı taşıma hareketlerini en aza indirme amaçlı bir tamsayı programlama modeli geliştirilmiştir. Sonrasında, özellikle büyük boyutlu problemlere hızlı ve pratik çözümler sunabilecek şekilde problem temelli bir çözüm algoritması geliştirilmiştir. Önerilen tamsayı programlama modeli ile sezgisel algoritmanın performansları, türetilen farklı büyüklükteki test problemleri üzerinden değerlendirilmiştir ve tartışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler** – İş emri çizelgeleme, Lojistik köy, Problem temelli sezgisel algoritma, Tam sayılı programlama, Yatay taşıma araçları

## Allocation and Scheduling of Work Orders for Trucks at a Freight Village

### Abstract

In the last years, with growing of international trade, container transportation has become quite important. The freight transported with containers may use either one of the transportation modes of maritime, railways or roadways or a combination of these modes (intermodal transportation) subject to some criteria on time, cost etc. A freight village can be defined as a container terminal in which, a freight transported with a container changes its transportation mode and/or (if necessary) is temporarily stored. Containers may arrive at a freight village with any transportation mode. Containers are then handled with the equipment in the terminal area and subsequently stored until the due date of the customer or until it begins to move with its following transportation mode. Then, it follows its assigned route with the necessary mode. In this study, the trucks that execute horizontal transportations at a freight village are considered. The work orders created in the village should be assigned to these trucks and the sequencing of work orders for each truck should be determined. For this problem, first, an integer

programming model with the aim of minimizing the total redundant distances made by the trucks, is developed. Secondly, especially for providing fast and practical solutions to large-sized problems, a problem-based heuristic algorithm is proposed. Through a set of different problem instances, the performances of the integer programming model and the heuristic algorithm are evaluated and discussed.

**Keywords** –Freight village, Integer programming, Problem based heuristic algorithm, Scheduling of work orders, Transport trucks.

## 1 Giriş

Günümüzde internetin yaygınlaşması, iletişimin ve haberleşmenin kolaylaşması ticaretin küreselleşmesine büyük katkı sağlamıştır. Artan uluslararası ticaret ile birlikte ticari ürünlerin müşteriye/tüketicie süre ve maliyet açısından daha avantajlı ulaştırılabilmesi oldukça önem kazanmıştır.

Konteyner taşımacılığı ticari yükleri taşımının en güvenli ve en çok tercih edilen yollarından birisidir. Konteyner ile taşınan yükler; süre, maliyet ve diğer kriterler altında deniz yolu, tren yolu ve karayolu modlarından herhangi birini veya bu modların bir bileşimini (tümleşik taşımacılık) kullanabilirler. Maliyet açısından avantaj yarattığından gemi ve tren yolu taşımacılığı daha çok tercih edilmektedir. Günümüz konteyner taşımacılığında, yükün ilgili lokasyona ulaştırılması sürecinde taşıma modunu değiştirmesi kaçınılmaz olmuştur. Bu durum, taşıma modu değişimlerinin oldukça sık yaşandığı stratejik noktalarda lojistik köy üslerinin kurulması ihtiyacını doğurmuştur.

Lojistik köyler, konteynerlerle taşınan yüklerin taşıma modunu değiştirdiği ve gerektiğinde geçici depolama sahası olarak kullanılabilen konteyner terminalleri olarak tanımlanabilir [1]. Konteynerler herhangi bir taşıma modundan gelip lojistik köye ulaşmakta, terminal sahasındaki donanımlar ile elleçlenerek müşterinin teslimat tarihine kadar ya da bir sonraki taşıma modu ile hareket edene kadar lojistik köyde bekletilmektedir. Sonrasında yine lojistik köyü herhangi bir taşıma modu ile terk etmektedir.

Bu süreçte, lojistik köye ait yatay taşıma araçları (YTA) lojistik köyün tahliye sahalarından yükü almakta ve ilgili depolama alanlarına ulaştırmakta, ya da yine ilgili depolama alanlarında bekleyen ve tahliye zamanı gelen yükleri alıp tahliye sahalarına götürmektedir. Yüklere ait bu işlemler araçlara

paylaştırılan iş emirleri ile yönetilmektedir. Bu YTA'lar uygulamada çoğu kez gereksiz mesafeler kat etmektedir. Araçların verimsiz kullanılmasına ve maliyet artışına neden olan bu durum, iş emirlerinin araçlara doğru atanması ve araçlardaki iş emri sıralarının doğru belirlenmesi ile çözülebilecektir.

Bu çalışmada bir lojistik köyde YTA'lara iş emirlerinin atanması ve çizelgelenmesi problemi ele alınmıştır. Çalışmanın iki temel amacı bulunmaktadır. Birinci amaç, tanımlanan problem için en iyi (optimum) çözümü veren etkin bir tamsayı programlama modeli geliştirmektir. Böylece, hem küçük ve orta büyüklükteki problemlere en iyi çözümler elde edilebilecek, hem de ileride geliştirilecek olan çözüm yaklaşımlarının performansları (örn. en iyi çözümden sapma oranları) bu model üzerinden değerlendirilebilecektir. İkinci amaç ise, özellikle büyük boyutlu problemlere hızlı ve kolay uygulanabilir çözümler sağlamak üzere problem temelli bir çözüm algoritması geliştirmektir.

Çalışmanın ilerleyen bölümleri şu şekilde düzenlenmiştir. İkinci bölümde yazında yer alan benzer çalışmalara değinilmiştir. Üçüncü bölümde problem kısaca tanımlanmış ve YTA'ların yaptığı gereksiz taşıma hareketlerini en aza indirme amaçlı bir tamsayı programlama modeli geliştirilmiştir. Dördüncü bölümde, büyük boyutlu problemlere hızlı ve pratik çözümler önerebilecek şekilde problem temelli bir çözüm algoritması önerilmiştir. Beşinci bölümde yaratılan test problemleri üzerinden hesaplama sonuçları sunulmuştur. Son bölümde ise çalışma özetlenmiş ve gelecekte ne gibi geliştirmeler yapılabileceğine değinilmiştir.

## 2 Yazın Taraması

Konteyner terminallerinde YTA'ların iş sıralama ve rotalama problemi araç rotalama probleminin bir çeşidi olarak değerlendirilebilir [2]. Konteyner

terminallerindeki taşıma problemleri statik ve dinamik olarak iki temel sınıfa ayrılabilir. Statik problemlerde önceden belirlenmiş bir iş listesi üzerinden araç atama, rotalama ve çizelgeleme problemi üzerinde durulurken; dinamik problemlerde araçların gerçek-zamanlı gelişleri için etkin araç atama ve sıralama kuralları geliştirilmeye çalışılır [2]. Bu çalışmada ele alınan problem statik problemler sınıfına girmektedir.

Bu probleme ilişkin bir dizi yazın tarama çalışması bulunmaktadır. Vis ve Koster [3], konteyner terminallerindeki genel ulaştırma problemlerine ait bir yazın taraması çalışması yapmışlardır. Steenken ve ark. [4], konteyner terminal operasyonlarında yöneylem araştırması uygulamalarını araştıran bir yazın tarama çalışması yapmışlardır. StahlBok ve Vob [5], bu yazın çalışmasının güncellenmiş halini yayınlamışlardır. Carlo ve ark. [2, 6], konteyner terminallerindeki sırasıyla depolama sahası operasyonları ve ulaştırma operasyonları için yazın taraması çalışmaları yapmışlardır.

Steenken ve ark. [7] çift yönlü taşıma araçlarının rotalanması problemi ile ilgilenmiş ve sahada alınan toplam mesafeyi en küçükmeye çalışmışlardır. Çoklu gezgin satıcı problemi için kullanılan sezgisel yöntemleri ve makine çizelgeleme problemi için kullanılan sıralama algoritmalarını bu probleme uygulamışlardır. Kim ve Kim [8] benzer bir problemi ele almış ve konteyner atama problemini ulaştırma problemi olarak formüle etmiş, taşıma aracı rotalama problemini ise demet arama (beam search) algoritması ile çözmüşlerdir. Kim ve Kim [9] taşıma aracı rotalama problemini tamsayı programlama modeli ile ifade etmiş ve dinamik programlama tabanlı bir en iyileme algoritması geliştirmişlerdir. Kim ve Kim [10] yine aynı problem için demet arama algoritması ve genetik algoritma tabanlı bir çözüm yaklaşımı önermiş ve performanslarını karşılaştırmıştır. Koo ve ark. [11], önceden belirlenmiş bir planlama periyodu boyunca gelen araç isteklerini girdi olarak alıp, en son taşımanın tamamlanma zamanını en küçükleyecek şekilde araç rotalarını oluşturmayı amaçlamıştır. Önerilen iki aşamalı çözüm yaklaşımının ilk aşamasında basit bir tamsayı programlama modeli ile minimum araç sayısı için bir alt sınır elde etmişlerdir. İkinci aşamada ise her bir aracın rotasına karar vermek üzere bir tabu-arama algoritması geliştirmişlerdir. Murty ve ark. [12], bir konteyner terminaline ait operasyonların yürütülebileceği bir

karar destek sistemi geliştirmişlerdir. Bu karar destek sistemi içinde taşıma araçlarının rotalanması problemini de ele almışlardır. Nishimura ve ark. [13], alınan toplam mesafeyi en küçükmeye amaçlayan ve dinamik rotalamayı dikkate alan genetik algoritma tabanlı bir sezgisel çözüm yaklaşımı önermiştir. Dinamik rotalama ile sağlanan performans artışını deneysel hesaplama sonuçları üzerinden ortaya koymuşlardır. Vis [14] taşıma araçlarının aldığı yolu en küçükleme problemi üzerinde çalışmış ve otomatik istifleme vinçleri ile normal taşıma araçlarını benzetim modeli uygulaması üzerinden karşılaştırmıştır. Ng ve ark. [15], konteyner terminallerindeki taşıma araçlarının çizelgeleme problemini ele almış ve en son yükün tamamlanma zamanını en küçükmeye amaçlamışlardır. Problem için genetik algoritma tabanlı bir çözüm yaklaşımı önermişlerdir. Ndiaye ve ark. [16] bir adet taşıma aracının birden fazla tur yaparak taşıma isteklerini yerine getirdiği bir problemi ele almıştır. Amaç, aracın toplam kat ettiği yolu en küçükmektir. Bu problemin çözümü için, Kim ve Kim [8]'de verilen matematiksel modeli temel alan, içbükey fonksiyonları farkı programlaması ve kesme düzlemi tekniklerini kullanan bir kesin çözüm yaklaşımı geliştirmişlerdir. Zeng ve ark. [17], taşıma araçlarının birden fazla vinç aracı tarafından paylaşıldığı durumu esas almış ve taşıma araçlarının tek bir gemiye hizmet verdiği ve birden çok gemiye hizmet verebildiği durumlar için sırasıyla Q-öğrenme algoritması ve tabu arama algoritması geliştirmişlerdir. Cao ve ark. [18], taşıma kamyonlarının ve vinçlerin bir arada çizelgelenmesi problemi üzerinde, en son taşımanın tamamlanma zamanını en küçükmeye üzere çalışmışlardır. Problem için öncelikle bir karma-tamsayı programlama modeli önermişler, sonrasında da Benders' ayrıştırması temelli bir çözüm yaklaşımı geliştirerek, bu yaklaşımın etkinliğini test problemleri üzerinden göstermişlerdir. Skinner ve ark. [19], Avustralya'da bir konteyner terminalindeki taşıma isteklerini, modifiye edilmiş genetik algoritma tabanlı bir en iyileme yaklaşımı ile çözüme kavuşturmuşlardır. Araçların yolda geçirdikleri süreler ve bekleme sürelerinin bir arada dikkate alındığı bir amaç fonksiyonunu ele almışlardır. Önerdikleri yaklaşımı canlı veri seti üzerinde uygulayarak, terminalin süre-tabanlı maliyetlerini azaltmayı başarmışlardır. Niu ve ark. [20], farklı geliş zamanlarına ve ardışık-bağımlı hazırlık sürelerine sahip taşıma isteklerinin araçlara atanması ve

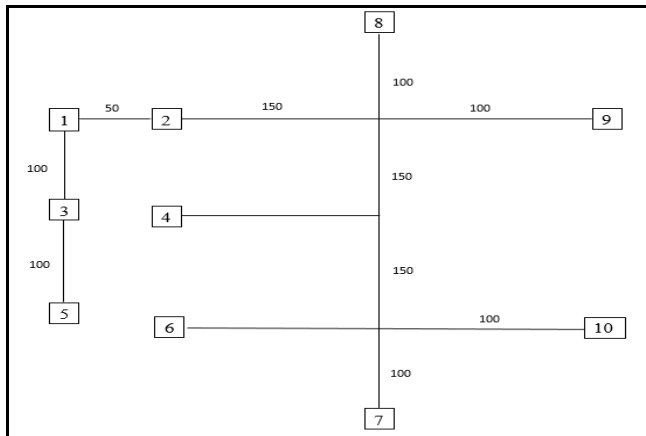
çizelgelenmesi problemi ile ilgilenmişlerdir. Amaç, en son taşımanın tamamlanma zamanını en küçükleme. Problem için parçacık sürü en iyilemesi tabanlı bir çözüm yaklaşımı önermişler ve performansını test etmişlerdir.

Yazında yer alan çalışmalar, amaç fonksiyonları açısından incelendiğinde, en son taşımanın tamamlanma zamanını en küçükleme ve taşıma araçlarının aldıkları yol mesafelerinin (sürelerinin) toplamını en küçükleme öne çıkmaktadır. Çözüm yaklaşımları açısından incelendiğinde ise genellikle matematiksel model tabanlı yaklaşımlar, sezgisel ve meta-sezgisel çözüm yöntemleri önerilmiştir.

Bu çalışmada ise gerçek hayata geçirilmesi planlanan bir lojistik köy tasarımı esas alınarak YTA'lara iş emirlerinin atanması ve sıralarının belirlenmesi problemi YTA'ların kat ettikleri gereksiz mesafeleri en küçükleme amaçlı olarak ele alınmıştır. Problemin çözümü için özgün bir tamsayı programlama modeli ve probleme özgü bir sezgisel çözüm yaklaşımı geliştirilmiştir. Türetilen test problemleri üzerinden çözüm yaklaşımlarının performans değerlendirilmesi yapılmıştır.

### 3 Problem Tanımı ve Önerilen Tamsayı Programlama Modeli

Bu çalışmada, bir lojistik köye gelen ithal konteynerlerin istiflenmesi için YTA'ların en iyi şekilde kullanılması amaçlanmıştır. Şekil 1'de tasarlanan lojistik köye ait gösterim verilmiştir [21]. 1-6 rakamları ile gösterilen bölgeler konteyner istifleme alanlarını, 7 numara karayolu yükleme boşaltma alanını, 8 numara peron yükleme alanını, 9 ve 10 numara tahliye alanlarını göstermektedir.



Şekil 1. Lojistik Köy Şeması

Çalışmada ele alınan lojistik köye gelen konteynerler tren ve tır olmak üzere iki farklı ulaşım modu ile giriş yapmaktadır. Konteynerler lojistik köye geldiğinde buldukları araçlardan vinçler yardımıyla indirilerek istifleme ya da depolama işlemi başlamaktadır. Konteynerler; demiryolu ile gelmişlerse peron bölgelerine, karayoluyla gelmişlerse tahliye sahalarına indirilmektedir. İndirilen konteynerler YTA'lara aktarılmakta ve istif noktaları için belirlenen boşaltma alanlarına götürülmektedir. İstifleneceği alana ulaştıktan sonra vinçler yardımıyla yerleştirilmektedir. Bekleme süresi dolan konteynerler, vinçler yardımıyla YTA'lara yüklenmekte ve bir sonraki taşıma moduna göre peron bölgelerine ya da tahliye sahalarına götürülmektedir. Sonrasında ise konteynerler vinçler yardımıyla YTA'lardan alınıp gideceği araca yüklenmektedir.

Her bir yükün lojistik köy içerisindeki her bir taşıma hareketi için bir iş emri oluşturulur. İş emirlerinin sayısı YTA sayısından fazla olduğu için iş emirlerinin uygun YTA'lara atanması ve YTA'ların iş emirlerini gerçekleştirme sıralarının etkin olarak belirlenmesi önemli bir verim artışı sağlayacaktır. Araçların bir sonraki iş emrini almak için gideceği gereksiz mesafeleri en aza indirme, iş emirlerinin yapılma hızını da artıracaktır.

Çalışmanın amacı YTA'ları en yüksek verimle kullanmak için, iş emirlerine buldukları lokasyona uygun YTA'ların seçilmesi ve YTA'ların gereksiz hareketlerini en aza indirecek şekilde uygun iş emri sıralamasının belirlenmesidir.

Problemde dikkate alınan varsayımlar aşağıda sıralanmıştır [21]:

- 1- Gelen konteynerlerin nereye istifleneceği önceden belirlenmiştir.
- 2- Her bölge için yükleme ve boşaltma noktası tektir.
- 3- Peron bölgeleri, tahliye sahaları ve bölgeler arası mesafeler önceden belirlenmiş olup bu alanların merkez noktaları referans alınmıştır.
- 4- Bütün iş emirlerinin başlangıç ve bitiş noktaları bilinmektedir.
- 5- Tüm YTA'lar taşıma süreleri boyunca aynı performansla çalışmaktadır ve tüm çalışanların verimliliği sabit kabul edilmektedir.
- 6- Lojistik köydeki vinçlerin yükleme ve boşaltma süreleri YTA işlem sürelerinin içine dahil edilmiştir.

7- Peron bölgeleri ve tahliye sahaları, gelen ve giden tüm konteynerleri aynı anda istifleyebilecek kapasiteye sahiptir.

8- İki yükleme boşaltma bölgesi arasında alternatif ve aynı özellikte birden fazla yol olduğu için trafik faktörü olmadığı kabul edilmiştir.

9- YTA'lara yükleme ve boşaltma yapacak vinçlerin istenilen zamanda hazır olduğu varsayılmaktadır.

Ele alınan problem için önerilen tamsayılı programlama modeli aşağıda verilmiştir:

#### Kümeler ve İndisler

$V$	Tüm varış noktaları kümesi	
$v, v'$	Varış noktalarına ait indisler	$v, v' \in V$
$Y$	YTA kümesi	
$y$	YTA'lara ait indis	$y \in Y$
$S$	İş emirlerine ait sıralama kümesi	
$s$	İş emirlerine ait sıra indisi	$s \in S$
$I$	İş emirlerine ait indeks kümesi	
$i$	İş emri indisi	$i \in I$

#### Parametreler

$d_{v,v'}$	$v, v'$ noktaları arasındaki mesafe	
$ba_i$	$i$ . iş emrinin başlangıç noktası	$ba_i \in V$
$bi_i$	$i$ . iş emrinin varış noktası	$bi_i \in V$
$k_y$	$y$ . aracın başlangıçta bulunduğu nokta	$k_y \in V$

#### Karar Değişkenleri

$x_{yis}$	1, eğer $y$ .araç $i$ .iş emrini $s$ . sırada yaparsa 0, aksi halde
$p_{yii'}$	1, eğer $y$ .araçta $i'$ .iş emri $i$ .iş emrini takip ediyorsa 0, aksi halde

#### En küçük

$$Z = \sum_{y \in Y} \sum_{i \in I} x_{yil} d_{ba_i, k_y} + \sum_{y \in Y} \sum_{i \in I} \sum_{i' \in I} p_{yii'} d_{bi_i, ba_{i'}} \quad (3.1)$$

aşağıdaki kısıtlar altında:

$$\sum_{y \in Y} \sum_{s \in S} x_{yis} = 1 \quad i \in I \quad (3.2)$$

$$\sum_{i \in I} x_{yis} \leq 1 \quad y \in Y, s \in S \quad (3.3)$$

$$x_{yis} + x_{y,i',s+1} \leq p_{yii'} + 1 \quad y \in Y, i \in I, i' \in I, i \neq i', s \in S \setminus |S| \quad (3.4)$$

$$\sum_{i \in I} x_{yis} \geq \sum_{\substack{i' \in I \\ i' \neq i}} x_{y,i',s+1} \quad y \in Y, s \in S \setminus |S| \quad (3.5)$$

$$x_{yis} \in \{0,1\} \quad y \in Y, i \in I, s \in S \quad (3.6)$$

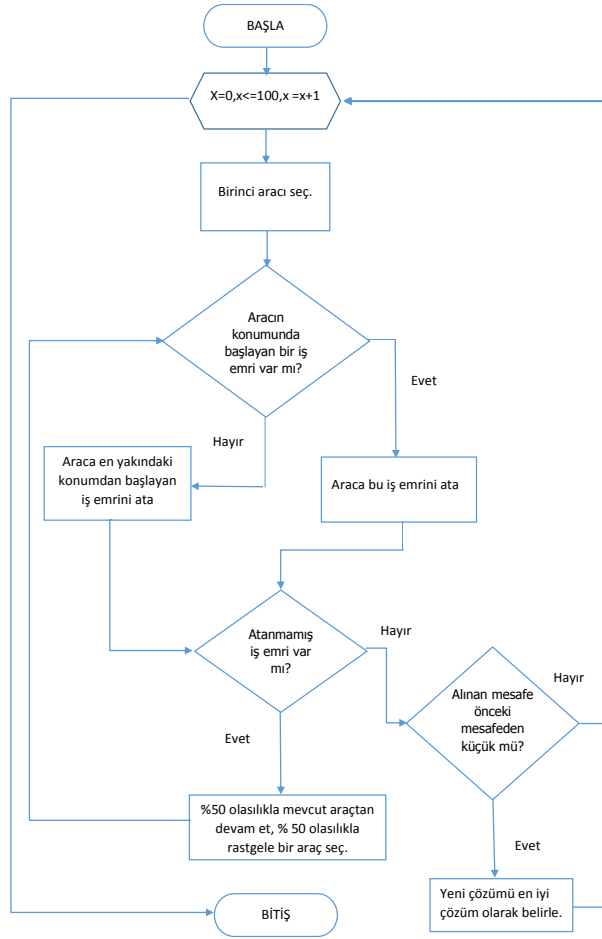
$$p_{yii'} \in \{0,1\} \quad y \in Y, i \in I, i' \in I, i \neq i' \quad (3.7)$$

Amaç fonksiyonu (3.1), YTA'ların iş emirlerini sırası ile yaparken bir iş emrinden diğerine geçişte alınması gereken gereksiz yol mesafelerinin toplamını en küçükmektedir. Kısıt kümesi (3.2), her iş emrinin kesinlikle bir araca ve bu araca ait bir sıraya atanması gerektiğini belirtmektedir. Kısıt kümesi (3.3), herhangi bir aracın bir sırasına birden fazla iş emrinin atanamayacağını vurgulamaktadır. Kısıt kümesi (3.4),  $i$  ve  $i'$  iş emirleri  $y$  aracına sırasıyla atanmışsa  $p_{yii'}$  sıralama karar değişkeninin 1 değerini almasını sağlamaktadır. Kısıt kümesi (3.5) araçlara atanan iş emirleri sıra indislerinin birbirini takip etmesini sağlamaktadır. Son olarak kısıt kümesi (3.6) ve (3.7) karar değişkenlerinin alabileceği değerlerin kümesini ifade etmektedir.

Tamsayılı programlama modeli en iyi çözümü sağlamasına rağmen, özellikle iş emri sayısı arttıkça çözüm süresinde büyük artışlar olabilmektedir. Bu açıdan bir sonraki bölümde pratik ve hızlı çözüm sağlayabilecek bir sezgisel çözüm yöntemi önerilmiştir.

#### 4 Problem Temelli Sezgisel Çözüm Yöntemi

Önerilen sezgisel yonteme ait algoritma akış şeması Şekil 2'de gösterilmiştir. Algoritma, 100 iterasyon sonucunda alınan en iyi çözümü seçmektedir.



Şekil 2. Algoritma Akış Şeması

Genel olarak bakıldığında algoritma, ilk aracı seçerek başlamakta ve bu aracın mevcut konumunda başlayan bir iş emri olup olmadığı kontrol etmektedir. Eğer aracın konumunda başlayan bir iş emri varsa, bu iş araca ilk sıradaki iş olarak atanmaktadır. Aracın konumunda başlayan bir iş emri yoksa aracın bulunduğu konuma en yakın konumdan başlayan iş emri araca atanmaktadır. Herhangi bir araca atanmamış bir iş emri olduğu sürece algoritmanın mevcut iterasyonu devam etmektedir. Her yeni iş emri için; %50 olasılıkla aynı araçtan devam etmekte, %50 olasılıkla ise tekdüze (uniform) dağılım kullanarak rastgele bir araç seçmekte ve bu aracın konumunda veya ona en yakın konumda başlayan bir iş emri seçerek bu iş emrini araçtaki bir sonraki sıraya atamaktadır. Herhangi bir araca atanmamış iş emri kalmadığında ilgili iterasyon sona ermekte ve kat edilen toplam gereksiz mesafe mevcut en iyi mesafeden daha küçükse, bulunan çözüm en iyi çözüm olarak saklanmaktadır. 100 iterasyon sonucu bulunan en iyi çözüm algoritmanın çözümü olarak kaydedilmektedir.

## 5 Hesaplama Sonuçları ve Tartışma

Geliştirilen tamsayı programlama modeli, IBM ILOG CPLEX Optimization Studio 12.6.2 [22] sürümünde kodlanmıştır. Önerilen sezgisel yöntemine ait algoritma ise bir elektronik Çizelge yazılımı eklentisi olan VBA (Visual Basic for Applications) dilinde kodlanmıştır.

Önerilen tamsayı programlama modelini ve sezgisel çözüm yöntemini değerlendirmek için; 6 iş emri – 2 YTA, 10 iş emri – 2 YTA ve 15 iş emri – 3 YTA olmak üzere üç farklı veri kümesi oluşturulmuştur. Her bir veri kümesi için 10 test problemi türetilmiştir. Tamsayı programlama modeli için 300 sn. çözüm süresi limiti verilmiştir.

15 iş emri – 3 YTA veri kümesinin ilk test probleminin tamsayı programlama modeliyle çözümüne ait YTA rotaları ve gereksiz alınan mesafeler, Çizelge 1'de detaylarıyla, Şekil 3'te ise görsel olarak ifade edilmiştir. Çizelge 1'de 3 farklı YTA aracına atanan iş emirleri ( $i$ ), iş emirlerinin başlangıç ( $ba_i$ ) ve bitiş noktaları ( $bi_i$ ) ile gereksiz katedilen yolların mesafeleri ( $Yol$ ) verilmektedir. Aynı sonucun görsel hali olan Şekil 3'te ise her bir YTA ve izlediği rota farklı bir renkle gösterilmiştir.

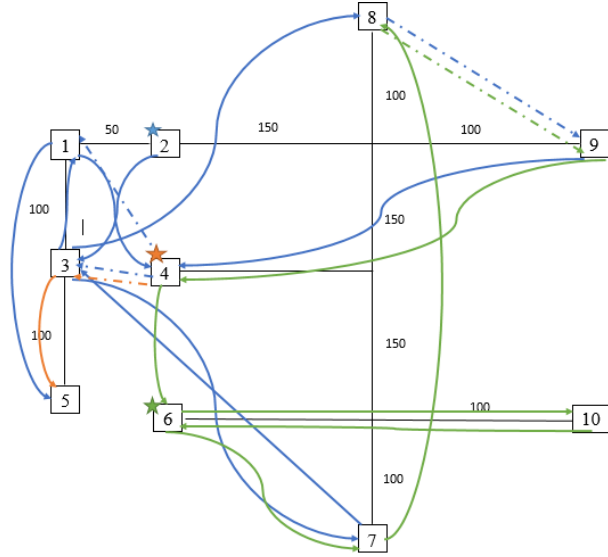
Konumlandırılmış renkli yıldızların rengin ait olduğu YTA'nın başlangıç noktasını ifade etmektedir.

Çizelge 1. 15 iş emri – 3 YTA veri kümesinin ilk test probleminin ait tamsayı programlama modelinin sonucu (300 sn. sonunda)

YTA-1				YTA-2				YTA-3			
$i$	$ba_i$	$bi_i$	$Yol$	$i$	$ba_i$	$bi_i$	$Yol$	$i$	$ba_i$	$bi_i$	$Yol$
-	2	-	-	-	4	-	-	-	6	-	-
1	2	3	-	14	3	5	50	8	6	7	-
9	3	7	-					11	7	8	-
13	7	3	-					6	9	4	200
5	3	1	-					2	4	6	-
7	1	4	-					3	6	10	-
15	3	8	50					12	10	6	-
4	9	4	200								
10	1	5	150								

Örneğin, Şekil 3'te üç farklı YTA, turuncu, mavi ve yeşil renklerle gösterilmiştir. Turuncu YTA (YTA-2) başlangıçta, turuncu yıldız ile gösterilen 4 no'lu istifleme alanındadır. Sonrasında 3 no'lu istifleme

alanında bulunan yükü almak üzere fazladan 50 m'lik bir mesafe kat etmektedir. Gereksiz katedilen mesafeler şekil üzerinde kesikli çizgilerle gösterilmektedir. Turuncu YTA (YTA-2), 14. iş emrini yerine getirmek üzere 3 no'lu alandan ( $ba_{14} = 3$ ) yükü alarak 5 no'lu alana ( $bi_{14} = 5$ ) taşımaktadır. Bu bilgiler aynı zamanda Çizelge 1'de de görülebilmektedir. Bu problem tipi için, tüm YTA'ların gereksiz kat ettiği toplam mesafe Çizelgeden de görülebileceği gibi 650 m ( $=50+200+150+50+200$ ) olarak hesaplanabilir.

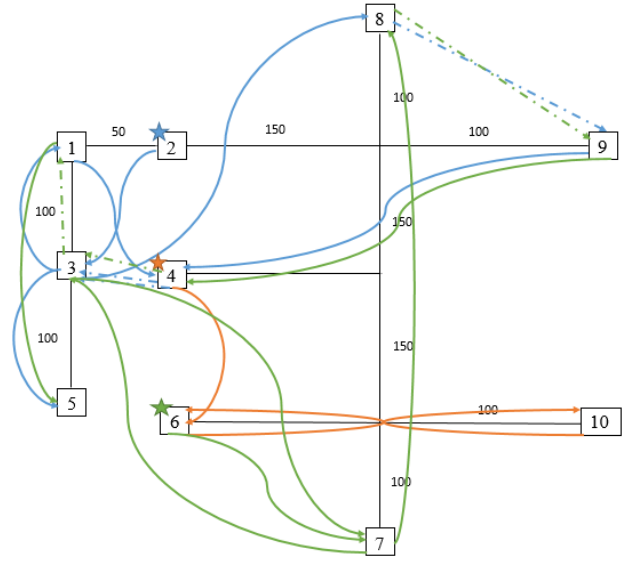


Şekil 3. 15 iş emri - 3 YTA veri kümesinin ilk test problemine ait tamsayı programlama modeli çözümü

Yine 15 iş emri - 3 YTA veri kümesinin ilk test problemi için sezgisel algoritmanın çözümleri ise Çizelge 2 ve Şekil 4'de verilmiştir.

Çizelge 2. 15 iş emri - 3 YTA veri kümesinin ilk test problemine ait sezgisel algoritmanın sonucu

YTA-1				YTA-2				YTA-3			
$i$	$ba_i$	$bi_i$	Yol	$i$	$ba_i$	$bi_i$	Yol	$i$	$ba_i$	$bi_i$	Yol
-	2	-	-	-	4	-	-	-	6	-	-
1	2	3	-	2	4	6	-	8	6	7	-
5	3	1	-	3	6	10	-	11	7	8	-
7	1	4	-	12	10	6	-	4	9	4	200
15	3	8	50					9	3	7	50
6	9	4	200					13	7	3	-
14	3	5	50					10	1	5	100



Şekil 4. 15 iş emri - 3 YTA Veri Kümesinin ilk test problemine ait sezgisel algoritma çözümü

Benzer yorumlar bu çözüm için de yapılabilir. Örneğin, başlangıçta turuncu yıldız ile gösterilen 4 no'lu alanda bulunan YTA-2 aracına sırasıyla 2, 3 ve 12 no'lu iş emirleri atanmıştır (bkz. Çizelge 2). 2 no'lu iş emri 4 no'lu alanda bulunduğu için ( $ba_2 = 4$ ) YTA-2 bu iş emrini gerçekleştirmek üzere ilgili yükü hemen (fazladan mesafe kat etmeden) alıp 6 no'lu alana ( $bi_2 = 6$ ) götürmüştür. Sonrasında 6 no'lu alanda başlayıp ( $ba_3 = 6$ ) 10 no'lu alanda sonlanan ( $bi_3 = 10$ ) 3. iş emrini gerçekleştirmiştir. Son olarak ise 10 no'lu alanda başlayıp ( $ba_{12} = 10$ ) 6 no'lu alanda sonlanan ( $bi_{12} = 6$ ) 12. iş emrini gerçekleştirmiştir. Görüldüğü gibi YTA-2 aracı iş emirlerini gerçekleştirmek üzere fazladan herhangi bir mesafe kat etmemiştir. Ancak YTA-1 aracı 300 m ( $=50+200+50$ ), YTA-3 aracı ise 350 m ( $=200+50+100$ ) fazladan mesafe kat etmiştir. Bu çözümde de tüm YTA'ların fazladan aldığı toplam mesafe tamsayı programlama modelinin çözümünde olduğu gibi 650 m ( $=300 + 350$ ) çıkmıştır.

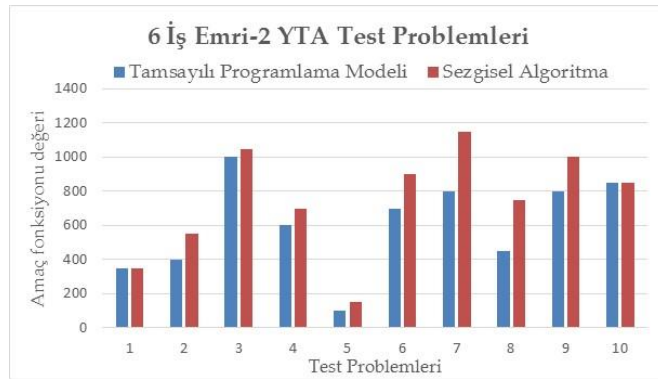
Sonuçların görsel ifadesinin ardından, bu bölümde, tamsayı programlama modeli ile sezgisel algoritmanın test problemleri üzerinden performansları karşılaştırılacaktır. Çizelge 3-5 ve Şekil 5-7 sırasıyla 6 İş emri - 2 YTA, 10 İş emri - 2 YTA ve 15 İş emri - 3 YTA veri kümeleri için tamsayı programlama modeli sonuçları ile sezgisel algoritma sonuçlarını karşılaştırmaktadır.

6 iş emri - 2 YTA test problemlerine ait sonuçlar incelendiğinde tamsayı programlama modeli tüm problemlere 1 sn'nin altında en iyi çözümü

sağlayabilmıştır. Sezgisel algoritma ise 10 problemin ikisinde en iyi çözüme ulaşmış ve en iyi değerden ortalama sapma oranı %27 olarak gerçekleşmiştir. Algoritmanın çözüm süresi tüm test problemleri için ihmal edilebilir düşüklüktedir.

Çizelge 3. 6 iş emri – 2 YTA veri kümesine ait sonuçlar

Test P.	Tamsayılı Prog. Mod.		Sezgisel Alg.	
	Amaç fonk.	CPU	Amaç fonk.	% Sapma
1	350	0,59	350	0,00
2	400	0,27	550	37,50
3	1000	0,53	1050	5,00
4	600	0,28	700	16,67
5	100	0,01	150	50,00
6	700	0,36	900	28,57
7	800	0,98	1150	43,75
8	450	0,45	750	66,67
9	800	0,37	1000	25,00
10	850	0,5	850	0,00
<b>ORT.</b>	-	<b>0,43</b>	-	<b>27,32</b>



Şekil 5. 6 iş emri – 2 YTA veri kümesine ait test problemlerinin amaç fonksiyonu değerlerinin karşılaştırması

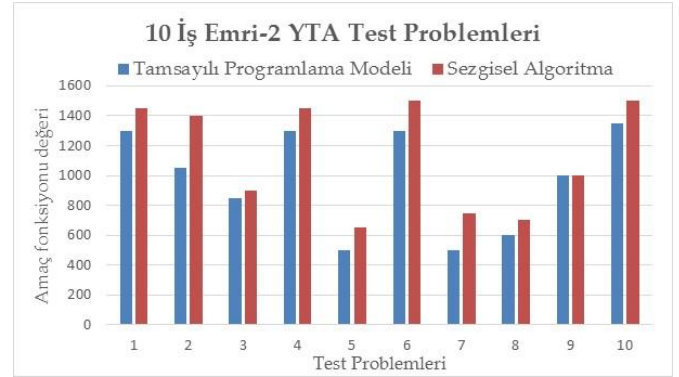
10 iş emri – 2 YTA test problemlerine ait sonuçlar incelendiğinde, tamsayılı programlama modeli 10 test probleminden dokuzuna en iyi çözümü sağlayabilmiş ve ortalama çözüm süresi 106 saniyeye yükselmiştir. Sezgisel algoritma ise bir problemde en iyi çözüme ulaşmış ve tamsayılı programlama modelinin bulunduğu değerlerden ortalama sapma oranı %18,5 olarak gerçekleşmiştir. Algoritmanın çözüm süresi tüm problemler için ihmal edilebilir düşüklüktedir.

Çizelge 4. 10 iş emri – 2 YTA veri kümesine ait sonuçlar

Test	Tamsayılı Prog. Mod.		Sezgisel Alg.	
	Amaç fonk.	CPU (sn)	Amaç fonk.	% Sapma
1	1300	134,49	1450	11,54
2	1050	72,63	1400	33,33
3	850	70,96	900	5,88
4	1300	248,9	1450	11,54
5	500	3,77	650	30,00

6	1300	226,7	1500	15,38
7	500	16,15	750	50,00
8	600	45,66	700	16,67
9	1000	134,64	1000	0,00
10	1350	300,00*	1500	11,11
<b>ORT.</b>	-	<b>105,99</b>	-	<b>18,55</b>

\* 300 sn. sonunda alınan çözüm kaydedilmiştir.



Şekil 6. 10 iş emri – 2 YTA veri kümesine ait test problemlerinin amaç fonksiyonu değerlerinin karşılaştırması

15 iş emri – 3 YTA test problemlerine ait sonuçlar incelendiğinde tamsayılı programlama modelinin test problemlerinin hiç birinde en iyi çözümü garantileyemediği gözlenmiştir. Sezgisel algoritma sonuçlarının, tamsayılı programlama modelinin bulunduğu değerlerden ortalama sapma oranı ise %27,5 olarak gerçekleşmiştir. Sezgisel algoritmanın çözüm süresi tüm test problemleri için 1 sn.'nin altındadır.

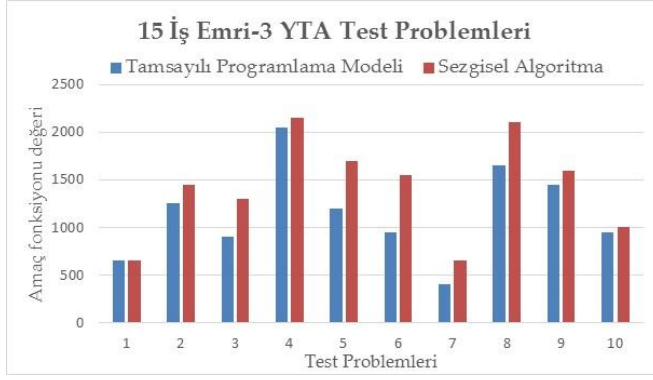
Genel olarak bakıldığında tamsayılı programlama modelinin, problem büyüklüğü arttıkça en iyi çözümü garanti edemediği vurgulanabilir. Sezgisel algoritma ise en iyi çözüme yakın olabilecek pratik çözümleri kısa sürede sağlayabilmektedir.

Çizelge 5. 15 iş emri – 3 YTA veri kümesine ait sonuçlar

Test P.	Tamsayılı Prog. Mod.		Sezgisel Alg.	
	Amaç fonk.	CPU	Amaç fonk.	% Sapma
1	650	300,00*	650	0,00
2	1250	300,00*	1450	16,00
3	900	300,00*	1300	44,44
4	2050	300,00*	2150	4,88
5	1200	300,00*	1700	41,67
6	950	300,00*	1550	63,16
7	400	300,00*	650	62,50
8	1650	300,00*	2100	27,27
9	1450	300,00*	1600	10,34
10	950	300,00*	1000	5,26
<b>ORT.</b>	-	<b>300,00*</b>	-	<b>27,55</b>

\* 300 sn. sonunda alınan çözümler kaydedilmiştir.





Şekil 7. 15 iş emri – 3 YTA veri kümesine ait test problemlerinin amaç fonksiyonu değerlerinin karşılaştırması

## 6 Sonuç

Bu çalışmada, gerçek hayata geçirilmesi planlanan bir lojistik köydeki taşıma araçlarına iş emirlerinin atanması ve araçlara ait iş emri sıralarının belirlenmesi problemi ele alınmıştır. Problemin amacı araçların kat ettiği gereksiz yol mesafelerini en küçükmektir. Problem için bir tamsayı programlama modeli ve bir sezgisel algoritma geliştirilmiştir. Bu iki çözüm yaklaşımı, türetilen farklı veri kümeleri üzerinden değerlendirilmiştir. Tamsayı programlama modelinin küçük boyutlu problemlerde en iyi çözümü bulduğu, problem büyüklüğü arttıkça ise ancak olurlu çözümler verebildiği gözlenmiştir. Sezgisel algoritma ise en iyi değere yakın olabilecek sonuçları hızlı ve pratik şekilde sağlayabilmektedir.

Gelecekteki çalışmalarda, önerilen sezgisel algoritmanın sonucunu başlangıç çözümü olarak alan meta-sezgisel yöntemler geliştirilerek çözüm performansı artırılabilir. İş emirlerinin araçlara atanmasının tamsayı programlama modeli ile yapıldığı, her bir araçtaki rotalarının ise meta-sezgisel yöntemler ile belirlendiği melez bir ayrıştırma algoritması geliştirilebilir. Ayrıca, iş emirlerinin atanması ve takibinde kullanıcılara kolaylık sağlayacak bir ara yüz tasarlanabilir.

## Teşekkür

Makalenin ele aldığı problemin tanımlanmasında yaptığı katkılardan dolayı BİMAR A.Ş.'ye ve BİMAR A.Ş. çalışanlarından Ceyhan Güven'e teşekkür ederiz.

## 7 Referanslar

[1] Aydın, G. T.; Öğüt, K. S. Lojistik Köy Nedir?. <http://web.itu.edu.tr/oguts/Lojistik%20K%F6y%20Nedir.PDF>. 2011

[2] Carlo, H. J.; Vis, I. F.; Roodbergen, K. J. Storage yard operations in container terminals: Literature overview, trends, and research directions. *European Journal of Operational Research*. 2014a; 235(2), 412-430.

[3] Vis, I. F.; De Koster, R. Transshipment of containers at a container terminal: An overview. *European Journal of Operational Research*. 2003; 147(1), 1-16.

[4] Steenken, D.; Vob, S.; Stahlbock, R. Container terminal operation and operations research – a classification and literature review. *OR Spectrum*. 2004; 26, 3-49.

[5] StahlBok, R; Vob, S. Operations research at container terminals: a literature update. *OR Spectrum*. 2008; 30, 1-52.

[6] Carlo, H. J.; Vis, I. F.; Roodbergen, K. J. Transport operations in container terminals: Literature overview, trends, research directions and classification scheme. *European Journal of Operational Research*. 2014b; 236(1), 1-13.

[7] Steenken, D.; Henning, A.; Freigang, S.; Voß, S. Routing of straddle carriers at a container terminal with the special aspect of internal moves. *Operations-Research-Spektrum*. 1993; 15(3), 167-172.

[8] Kim, K. H.; Kim, K. Y. Routing straddle carriers for the loading operation of containers using a beam search algorithm. *Computers & Industrial Engineering*. 1999a; 36(1), 109-136.

[9] Kim, K. Y.; Kim, K. H. A routing algorithm for a single straddle carrier to load export containers onto a containership. *International Journal of Production Economics*. 1999b; 59(1), 425-433.

[10] Kim, K. Y.; Kim, K. H. Heuristic algorithms for routing yard-side equipment for minimizing loading times in container terminals. *Naval Research Logistics (NRL)*. 2003; 50(5), 498-514.

[11] Koo, P. H.; Lee, W. S.; Jang, D. W. Fleet sizing and vehicle routing for container transportation in a static environment. *OR Spectrum*, 2004; 26, 193-209.

[12] Murty, K. G.; Liu, J.; Wan, Y. W.; Linn, R. A decision support system for operations in a container terminal. *Decision Support Systems*. 2005; 39(3), 309-332.

[13] Nishimura, E.; Imai, A.; Papadimitriou, S. Yard trailer routing at a maritime container terminal. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 2005; 41(1), 53-76.

[14] Vis, I. F. A comparative analysis of storage and retrieval equipment at a container terminal. *International Journal of Production Economics*. 2006; 103(2), 680-693.

[15] Ng, W. C.; Mak, K. L.; Zhang, Y. X. Scheduling trucks in container terminals using a genetic algorithm. *Engineering Optimization*. 2007; 39(1), 33-47.

[16] Ndiaye, B. M.; Tao, P. D.; Le Thi, H. A. Single straddle carrier routing problem in port container terminals: Mathematical model and solving approaches. 2008. In *Modelling, Computation and Optimization in Information Systems and Management Sciences* (pp. 21-31). Springer Berlin Heidelberg.

[17] Zeng, Q.; Yang, Z.; Lai, L. Models and algorithms for multi-crane oriented scheduling method in container terminals. *Transport Policy*. 2009; 16(5), 271-278.

[18] Cao, J. X.; Lee, D. H.; Chen, J. H.; Shi, Q. The integrated yard truck and yard crane scheduling problem: Benders' decomposition-based methods. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2010; 46(3), 344-353.

[19] Skinner, B., Y.; Yuan, S.; Huang, S.; Liu, D.; Cai, B.; Dissanayake, G.; Lau, H.; Bott, A.; Pagac, D. Optimisation for job scheduling at automated container terminals using genetic algorithm. *Computers & Industrial Engineering*, 2013; 64(1), 511-523.

[20] Niu, B.; Xie, T.; Chan, F. T.; Tan, L. J.; Wang, Z. X. Particle swarm optimization for the truck scheduling in container terminals. In *Information Science, Electronics and Electrical Engineering (ISEEE), 2014 International Conference on* (Vol. 3, pp. 1392-1396). IEEE.

[21] Senhan E.; Hatipoglu B., Bir Lojistik Köyde Taşıma Araçlarına İş Emirlerinin Atanması ve Çizelgelenmesi, 2015. Celal Bayar Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Lisans Bitirme Tezi (Basılmamış makale)

[22] Anon ILOG, IBM. ILOG CPLEX Optimization Studio, V.12.6.2, 2013.