

OTOMATİK YÖNLENDİRİCİLİ ARAÇ SİSTEMLERİNİN TASARIM PROBLEMLERİ İÇİN BİR MATEMATİKSEL PROGRAMLAMA MODELİ

F. Yeşim KALENDER ve Orhan TÜRKBEY

Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Maltepe, 06570, Ankara,
fyessim@gazi.edu.tr, turkbey@gazi.edu.tr

(Geliş/Received: 31.10.2006; Kabul/Accepted: 09.02.2007)

ÖZET

Otomatik yönlendiricili araç (OYA) sistemleri, otomatik malzeme taşıma sistemlerinde, esnek imalat sistemlerinde ve hatta limanlarda kullanımı ile oldukça yaygın hale gelmiştir. Yaygınlaşan OYA kullanımına bağlı olarak, bu sistemlerde karşılaşılan problemler de giderek artmıştır. Bu çalışmada OYA sisteminin kurulması için bir matematiksel programlama modeli önerilmektedir. Bir OYA sistemi kurulacağı zaman, akış yol tasarımı ile ihtiyaç duyulan araçların sayısına ve tipine karar verilmesi sistem etkinliği için önemli konulardır. Literatürde bu problemleri eş zamanlı çözen modeller bulunmamaktadır. Bu nedenle, çalışmada başlangıç tasarımı için bu problemlere çözüm arayan bir bütünleşik karışık tamsayı doğrusal programlama modeli önerilmektedir. Modelin çözülebilir olduğu rassal üretilen test problemleri ile gösterilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Malzeme taşıma sistemi (MTS), otomatik yönlendiricili araç (OYA) sistemleri, matematiksel model, akış yol tasarımı.

A MATHEMATICAL PROGRAMMING MODEL FOR DESIGN PROBLEMS OF AUTOMATED GUIDED VEHICLE SYSTEMS

ABSTRACT

Automated guided vehicles (AGVs) have become quite popular with their applications in automatic materials handling systems, in flexible manufacturing systems and even in seaports. In consequence of their widespread employment, the problems in these systems have emerged increasingly. In this study, a mathematical programming model is proposed for setting up an AGV system. When an AGV system is to be set up, flow path design and determination of the numbers and types of the required vehicles are crucial decisions for the system efficiency. In the literature, no model is present that solve these problems simultaneously. Therefore here an integrated mixed integer linear programming model is proposed to solve the foregoing problems for the preliminary design. The solvability of the model is shown on the randomly generated test problems.

Keywords: Material handling system (MHS), automated guided vehicle (AGV) systems, mathematical model, flow path design.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Malzeme Taşıma Sistemleri (MTS) arasında önemli bir yeri olan OYA, önce Amerika Birleşik Devletlerinde keşfedilmesine rağmen, 2. Dünya savaşından sonra ilk defa Avrupa'da "Sürücüsüz Traktörler" olarak kullanılmıştır. OYA'nın ilk tanıtımı 1953 yılında depodaki bir hat üzerinde yapılmış, 1959'dan itibaren fabrika ve depolarda yoğun olarak kullanılmaya başlanmıştır [1]. Esnek

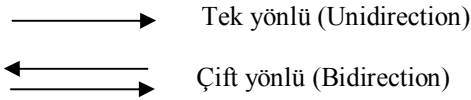
İmalat Sistemlerinin yaygınlaşması, robotların ve diğer bilgisayar kontrollü makinelerin geniş çaplı kullanılması, MTS olarak OYA kullanımında büyük bir talep oluşturmaktadır.

OYA sistemi ile ilgili bazı problemler, sistemin kuruluşuyla bazıları ise işleyişi ile ilişkilidir. Sistem düzenlemelerinde büyük bir değişiklik olmazsa, sistem kurulumu için kararlar bir defa alınır. Bu kararlara ilişkin problemlere "tasarım problemleri" adı verilir. Kurulan bir sistemde OYA'nın işleyişi ile

İlgili konularda kontrol kararları alınır. Bu kararların alındığı problemler ise "işletme problemleri" olarak adlandırılır. Tasarım problemleri; akış yol tasarımı ile ihtiyaç duyulan araç sayısının ve tipinin bulunmasıdır. İşletme problemleri ise araç gönderme kararları, çizelgeleme ve rotalama kararlarıdır.

Tasarım problemlerinden akış yol tasarımı, doğru rota izlenerek verilen bir dağıtım noktasına araçları ulaştırmayı garanti eder. Akış yol tasarımında sıkça kullanılan iş istasyonları terimi, tesis içerisinde taşıma işlemleri boyunca malzeme taşıma araçlarının uğradıkları istasyonları ifade etmektedir. Bu iş istasyonlarından bazıları toplama, bazıları dağıtım istasyonu olarak seçilmektedir. Toplama istasyonları (P), malzeme taşıma araçlarının yükleri aldıkları iş istasyonlarıdır. Malzeme taşıma araçları toplama istasyonundan malzeme akış rotasını izleyerek dağıtım istasyonuna ulaşır. Dağıtım istasyonları (D), malzeme taşıma aracının rotasını takip ederek, alınan bu yükleri bıraktıkları istasyonlardır [2].

Akış yol tasarımında akış yönü şekil 1'de görüldüğü gibi, tek yönlü veya çift yönlü olabilir. Daha basit kontrol yapısı için genellikle tek yönlü yollar tercih edilir. Çift yönlü yol, daha az sayıda araca ihtiyaç duyar ve tek yönlü düzenlemeden daha başarılıdır [3].



Şekil 1. Akış yönleri (Flow directions)

Bu çalışmada, OYA sistemleri için, sistemin kurulması aşamasında karşılaşılan tasarım problemlerini eş zamanlı çözmeye yönelik bir matematiksel önerilmektedir. Önerilen modelde amaç, malzeme taşıma maliyetlerini en küçükmektedir. Önerilen matematiksel modelin literatürdeki çalışmalardan en önemli farkı; bu iki temel ve zor problemi tek bir modelde bütünleştirerek çözüm bulmasıdır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI (LITERATURE REVIEW)

Bu çalışmada, literatürde incelenen araştırmalar OYA sistemlerinde karşılaşılan problem tipine göre sınıflandırılmaktadır. Literatürde sık olarak karşılaştığımız akış yol tasarımı ile ilgili yapılan çalışmaların karşılaştırılması tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1'de görüldüğü gibi, OYA akış yol düzenleme problemi, ilk defa Gaskins ve Tanchoco tarafından 0/1 tamsayılı doğrusal programlama modeli olarak düşünülmüştür. Modelde; düğümlerin P/D istasyonlarını, yayların ise düğümler arasında bağlantı kuran yönlü yolları gösterdiği bir düğüm yay şebekesi üzerinde, optimal akış yolunu saptayan bir yaklaşım hedeflenmiştir. Bu modelde amaç, tek yönlü

düzenleme probleminde yüklü araçların toplam dolaşımını en azlayan akış yolunu bulmaktır [4].

Tasarım problemlerinden bir diğeri olan ihtiyaç duyulan araç sayısının ve tipinin saptanmasında, en uygun sayının belirlenmesi ve en verimli tipin seçilmesi gerekmektedir. Araç sayısının saptanmasında pek çok faktör etkindir. Bunlar; çalışma zamanı, boş zaman, yükleme/boşaltma zamanı, araç akülerini şarj etme zamanı, ortalama hız, enerji, bakım maliyetleri ve sabit maliyetlerdir. İhtiyaç duyulan araç sayısının ve tipinin bulunması ile ilgili literatürde yapılan çalışmaların karşılaştırılması ise tablo 2'de görülmektedir.

3. ÖNERİLEN MATEMATİKSEL MODEL (THE PROPOSED MATHEMATICAL MODEL)

Bir OYA sistemi ilk defa kurulurken çözülmesi gereken iki önemli tasarım probleminden birincisi, sistemde malzeme taşımını gerçekleştirecek hangi tip ve kaç tane araca ihtiyaç duyulduğudur. İkincisi literatürde şimdiye kadar çok çalışmaya konu olmuş akış yollarının tasarımı yani araçların taşıma görevini yapacağı rotaların belirlenmesidir. Bu iki tasarım probleminin ortak çözümünün sağlanması için geliştirilen karışık tamsayı doğrusal programlama modelinde, her tip aracın taşıma görevini yerine getirirken geçtiği yollar, bu yolların yönleri, toplama istasyonundan dağıtım istasyonuna ve dağıtım istasyonundan toplama istasyonuna olan rotaların uzunluğu, her aracın P/D istasyonları arasında yaptığı turların sayısı ve her tip araçtan sisteme kaç tane alınması gerektiği bulunmaktadır.

3.1. Sistem Özellikleri (System Characteristics)

1. Şebekedeki yol tipi çift yönlü yoldur.
2. Model, düğüm-yay şebekesi şeklinde düşünülmüştür. Düğümler, P/D istasyonlarını, yaylar ise istasyonlar arasında bağlantı kuran malzeme akış yollarını göstermektedir.
3. Her istasyona, en az bir akış yolunun gelmesi ve en az bir akış yolunun çıkması gerekmektedir.
4. Her tip araç için, her istasyona gelen yollar ile çıkan yolların sayısı birbirine eşittir.

3.2. Varsayımlar (Assumptions)

1. Tesis düzenlemesi yani iş istasyonları ve P/D istasyonlarının yerleşimleri bilinmektedir.
2. Talep deterministik bir yapıya sahip olup, yıllık ortalama bir değer olarak alınmaktadır.
3. OYA'nın yüklü ve boş hızları birbirine eşit kabul edilmektedir.
4. İş istasyonları arasındaki uzaklıklar ortalama bir değer olarak dikkate alınmaktadır.
5. Aracın; bekleme zamanları, batarya değişikliği veya şarj edilmesi, insandan kaynaklanan

Tablo 1. Akış yol tasarımı ile ilgili yapılan araştırmaların karşılaştırılması (Comparison of previous researches associated with flow path design)

Yazarlar	Çalışmanın Amacı	Çözüm Yaklaşımı	Araç Tipi	Akış Yönü
Gaskins ve Tanchoco, 1987 [4]	Yüklü araçların toplam dolaşımının en küçüklenmesi.	0/1 tamsayılı doğrusal programlama modeli.	Tek araç	Tek yönlü
Gaskins vd., 1989 [5]	Yüklü ve boş araçların toplam dolaşımının en küçüklenmesi.	Karışık doğrusal programlama modeli.	Tek araç	Çift yönlü
Goetz ve Egbelu, 1990 [6]	Yüklü araçların toplam dolaşımının en küçüklenmesi	0/1 tamsayılı doğrusal olmayan programlama modeli.	Tek araç	Tek yönlü
Kaspi ve Tanchoco, 1990 [7]	Yüklü araçların toplam dolaşım uzaklığının en küçüklenmesi.	Dal sınır metodu	Tek araç	Tek yönlü
Sinriech ve Tanchoco, 1991 [8]	Yüklü ve boş araçların toplam dolaşımının en küçüklenmesi.	Dal sınır metodu	Tek araç	Tek yönlü
Venkataramanan ve Wilson, 1991 [9]	Yüklü ve boş araçların toplam dolaşımının en küçüklenmesi .	Dal sınır metodu	Tek araç	Tek yönlü
Kouvelis vd., 1992 [10]	Yüklü ve boş araçların toplam dolaşımının en küçüklenmesi.	Tavlama benzetimi sezgiseli	Tek araç	Tek yönlü
Tanchoco ve Sinriech, 1992 [11]	Toplam dolaşım uzaklığının en küçüklenmesi.	Optimal tek döngü sezgiseli (OSL)	Tek araç	Tek yönlü
Kim ve Tanchoco, 1993 [12]	Araçların toplam dolaşım maliyetinin en küçüklenmesi.	0/1 tamsayılı doğrusal programlama modeli.	Tek araç	Tek yönlü
Majety ve Wang, 1995 [13]	Terminal seçimini sağlayacak şekilde toplam dolaşım zamanının en küçüklenmesi.	Tamsayılı doğrusal programlama modeli	Tek araç	Tek yönlü
Chen, 1996 [14]	Taşıma, araç ve stok maliyetlerinin en küçüklenmesi.	Lagrange gevşetmeli karışık tamsayılı model	Çok araç	Tek yönlü
Kaspi vd., 2002 [15]	Yüklü ve boş araçların toplam dolaşımının en küçüklenmesi.	Dal sınır metodu	Tek araç	Çift yönlü
Lim vd., 2003 [16]	Araçların toplam dolaşım zamanının en küçüklenmesi.	Q-öğrenme tekniği	Tek araç	Tek yönlü
Ko ve Egbelu, 2003 [17]	Ürün karışımının değiştiği ortamda araçların dolaşım uzaklığının en küçüklenmesi.	Sezgisel yaklaşım	Tek araç	Tek yönlü
Asef-Vaziri vd., 2007 [18]	Otomatik malzeme taşıma araçları için yüklü ve boş araç tur uzunluklarının toplamının en küçüklenmesi.	En iyileme ve sezgisel yaklaşım	Tek araç	Tek yönlü

engeller, bakım, onarım ve trafik durmaları etkinlik faktörü içinde dikkate alınmıştır.

- İş istasyonları arasındaki uzaklıklar, yolların sayısı, araçların yükleme/boşaltma ve dolaşım yapma zamanları, araçların zaman cinsinden kapasitesi, maliyet değerleri elde edilebilir ve biliniyor kabul edilmektedir.
- Başlangıç tasarımında modelin uzun bir zaman periyodunu kapsamaması gerekliliğinden girdi parametrelerinden zaman kapasitesi bir yıllık varsayılmıştır.
- Sistemde bulunan toplama ve dağıtım istasyonları, iş istasyonları arasında seçilmekte ve birbirinden farklı istasyonlar belirlenmektedir.
- Sistemde araçların karşılaşmalarında çarpışmalarını önlemek için, yalnız bir aracın geçişine izin veren kontrol bölgeleri ve kontrol bölgelerinin kullanımında araçların beklemesini sağlayan bir tampon alanın bulunduğu varsayılmaktadır.
- Sistemde bulunacak OYA tipinin en fazla üç olduğu varsayılmaktadır.

3.3. Model Gelişimi (Model Development)

3.3.1. Notasyon (Notation)

- i : Malzeme akış yolundaki iş istasyonları
 j : Malzeme akış yolundaki iş istasyonları
 l : Toplama istasyonları
 m : Dağıtım istasyonları
 k : Satın alınacak OYA tipi
 N : Tüm aday iş istasyonlarının kümesi.
 A : Tüm aday yolların kümesi;
 $A = \{(i,j) \mid i \neq j; i \in N, j \in N\}$.
 S : Tüm aday toplama-dağıtım istasyonu çiftlerinin kümesi.
 S' : Tüm aday dağıtım-toplama istasyonu çiftlerinin kümesi.
 K : Tüm aday araç tiplerinin kümesi.
 L : Tüm aday toplama istasyonlarının kümesi.
 M : Tüm aday dağıtım istasyonlarının kümesi.
 $\bar{N}_{l,i}$: l ve i istasyonları dışındaki tüm istasyonların kümesi; $\bar{N}_{l,i} = N - \{l\} - \{i\}$.
 $\bar{N}_{m,j}$: m ve j istasyonları dışındaki tüm istasyonların kümesi; $\bar{N}_{m,j} = N - \{m\} - \{j\}$.

Tablo 2. İhtiyaç duyulan araç sayısının bulunması ile ilgili yapılan araştırmaların karşılaştırılması (Comparison of previous researches associated with determination the number of required vehicles)

Yazarlar	Çalışmanın Amacı	Çözüm Yaklaşımı
Maxwell ve Muckstadt, 1982 [19]	Minimum araç sayısının bulunması	Elle hesaplama
Egbelu, 1987 [20]	İhtiyaç duyulan araçların sayısının tahmini	Farklı varsayımlar altında çalışan 4 analitik yaklaşım
Tanchoco vd., 1987 [21]	Toplam araç sayısının en küçüklenmesi	CAN_Q analizi
Lin, 1990 [22]	Tüm sistemin talebini karşılayacak şekilde araç sayısının belirlenmesi	Fortran temelli bilgisayar programı
Mahadevan ve Narendran, 1990 [23]	Boş dolaşım zamanını dikkate almadan ihtiyaç duyulan araç sayısının tahmini	Analitik model ve sezgisel yaklaşım
Kasilingam, 1991 [24]	Araçların yıllık ve dolaşım maliyetlerini en küçüklemek	Tamsayı doğrusal programlama modeli
Johnson ve Brandeau, 1993 [25]	Sistemde ortalama bekleme zamanını aşmayacak şekilde ihtiyaç duyulan araç sayısının saptanması	0/1 tamsayı doğrusal programlama modeli
Mahadevan ve Narendran, 1993 [26]	Boş dolaşım zamanını düşünerek tahmin edilen araç sayısının azaltılması	Analitik model
Mahadevan ve Narendran, 1994 [27]	Araç ihtiyaçlarının tahmini ve gönderme kurallarının etkisini test etme	2 basamaklı melez modelleme yaklaşımı
Rajotia vd., 1998 [28]	Esnek imalat sistemi için optimal OYA büyüklüğünün saptanması	Analitik ve benzetim modelleme
Arifin ve Egbelu, 2000 [29]	Tesis tarafından ihtiyaç duyulan araçların sayısını tahmin etme	Regresyon tekniği
Vis vd., 2001 [30]	Yarı otomatik terminalde ihtiyaç duyulan araç sayısının tahmini	Şebeke akış modeli
Talbot, 2003 [31]	İstenen doluluk oranında araçların sayısının tahmini	Kuyruk modeli

$\bar{N}_{m,i}$: m ve i istasyonları dışındaki tüm istasyonların kümesi; $\bar{N}_{m,i} = N - \{m\} - \{i\}$.

$\bar{N}_{l,j}$: l ve j istasyonları dışındaki tüm istasyonların kümesi; $\bar{N}_{l,j} = N - \{l\} - \{j\}$.

N_i : i iş istasyonuna komşu (bitişik) olan istasyonların kümesi.

N_j : j iş istasyonuna komşu (bitişik) olan istasyonların kümesi.

N_l : l toplama istasyonuna komşu (bitişik) olan istasyonların kümesi.

N_m : m dağıtım istasyonuna komşu (bitişik) olan istasyonların kümesi.

3.3.2. Parametreler (Parameters)

F_{lm} : l toplama istasyonundan, m dağıtım istasyonuna olan yıllık ortalama malzeme akış yoğunluğu (kg).

VC_{lmk} : Satın alınacak k tipi aracın l toplama istasyonundan m dağıtım istasyonuna giderken değişken (dolaşım) maliyeti (YTL/m).

VC_{mlk} : Satın alınacak k tipi aracın m dağıtım istasyonundan l toplama istasyonuna giderken değişken (dolaşım) maliyeti (YTL/m).

D_{ij} : $(i-j)$ istasyonları arasındaki yolun uzunluğu (m).

FC : Bir $(i-j)$ yolunun sabit maliyeti (YTL).

YS : Geçiş olan $(i-j)$ yolların sayısı.

BC_k : k tipi aracın satın alma maliyeti (YTL).

PC_k : Satın alınacak k tipi aracın işletme maliyeti (YTL).

LC_{lmk} : k tipi araç için l toplama istasyonundan m dağıtım istasyonuna bir tur yapma maliyeti (YTL/tur).

C_k : Satın alınacak k tipi aracın kapasitesi (s/yıl).

EF : Etkinlik faktörü.

FF : Talep etkinlik faktörü.

LU_{lmk} : k tipi aracın, yükleme ve boşaltma zamanı (s).

LUT_{lmk} : l toplama istasyonundan m dağıtım istasyonuna bir tur yapma zamanı (s).

QN_k : k tipi araç kullanılarak bir turda taşınabilecek yüklerin miktarı (kg).

M : Çok büyük bir sayı.

3.3.3. Karar değişkenleri (Decision variables)

$$X_{ijlmk} = \begin{cases} 1 & \text{Eğer } (i-j) \text{ yolu, } k \text{ tipi araç için } l \\ & \text{toplama istasyonundan } m \text{ dağıtım} \\ & \text{istasyonuna olan malzeme akış} \\ & \text{yolunda bulunuyorsa,} \\ 0 & \text{Diğer durumlarda.} \end{cases}$$

$$W_{ijmlk} = \begin{cases} 1 & \text{Eğer } (i-j) \text{ yolu, } k \text{ tipi araç için } m \\ & \text{dağıtım istasyonundan } l \text{ toplama} \\ & \text{istasyonuna olan malzeme akış} \\ & \text{yolunda bulunuyorsa,} \\ 0 & \text{Diğer durumlarda.} \end{cases}$$

$$Z_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{Eğer (i-j) yolu, k tipi araç için i} \\ & \text{istasyonundan j istasyonuna doğru} \\ & \text{yönlü ise,} \\ 0 & \text{Diğer durumlarda.} \end{cases}$$

$$V_k = \begin{cases} 1 & \text{Eğer, k tipi araç satın alınıyorsa,} \\ 0 & \text{Diğer durumlarda.} \end{cases}$$

N_k : Satın alınacak k tipi OYA sayısı.

LN_{lmk} : l toplama istasyonundan m dağıtım istasyonuna, alınacak k tipi araç tarafından yapılan turların sayısı.

Y_{lmk} : Sisteme alınacak k tipi araç için, l toplama istasyonundan, m dağıtım istasyonuna olan rotanın uzunluğu (m).

Q_{mlk} : Sisteme alınacak k tipi araç için, m dağıtım istasyonundan l toplama istasyonuna olan rotanın uzunluğu (m).

3.3.4. Problemin modellenmesi (Modelling of the problem)

$$\begin{aligned} \text{Min } z = & \sum_{k \in K} \sum_{l, m \in S} VC_{lmk} Y_{lmk} + \\ & \sum_{k \in K} \sum_{m, l \in S'} VC_{mlk} Q_{mlk} + \\ & \sum_{k \in K} 2FC_{YS} V_k + \sum_{k \in K} BC_k N_k + \\ & \sum_{k \in K} PC_k N_k + \sum_{k \in K} \sum_{l, m \in S} LC_{lmk} LN_{lmk} \end{aligned}$$

Amaç fonksiyonu; maliyetleri en küçüklemektedir. Bu maliyet kalemleri; satın alınan her tip aracın P/D istasyonları arasındaki dolaşım uzunluğuna bağlı değişken maliyeti, satın alınan araç tipleri için yolların sayısına bağlı sabit maliyet, araçların satın alma maliyeti, işletme maliyeti ve P/D istasyonları arasındaki tur yapma maliyetidir.

$$\sum_{j \in N_{l,i}} \sum_{i \in N_{m,j}} X_{ijlmk} D_{ij} = Y_{lmk} \quad \forall (l,m) \in S, \quad \forall k \in K \text{ için} \quad [1]$$

Kısıt [1] satın alınacak k tipi aracın dolaştığı l toplama istasyonundan m dağıtım istasyonuna olan rota uzunluğunu ifade etmektedir.

$$\sum_{j \in N_{m,i}} \sum_{i \in N_{l,j}} W_{ijmlk} D_{ij} = Q_{mlk} \quad \forall (m,l) \in S', \quad \forall k \in K \text{ için} \quad [2]$$

Kısıt [2] satın alınacak k tipi aracın m dağıtım istasyonundan l toplama istasyonuna olan dönüş rota uzunluğunu ifade etmektedir.

$$X_{ijlmk} \leq Z_{ijk} \quad \forall (l,m) \in S, \quad \forall (i,j) \in A, \quad \forall k \in K \text{ için} \quad [3]$$

Kısıt [3] l toplama istasyonundan, m dağıtım istasyonuna olan malzeme akış yolunun uygunluğunu göstermektedir. Böylece sisteme alınacak her tip aracın l toplama istasyonundan m dağıtım istasyonuna gittiği yolda (i-j) yolu bulunduğu, yol i istasyonundan j istasyonuna doğru yönlendirilmektedir.

$$W_{ijmlk} \leq Z_{ijk} \quad \forall (m,l) \in S', \quad \forall (i,j) \in A, \quad \forall k \in K \text{ için} \quad [4]$$

Kısıt [4] kısıt, m dağıtım istasyonundan l toplama istasyonuna dönüş yolunun uygunluğunu göstermektedir.

$$Z_{ijk} = Z_{jik} = V_k \quad \forall (i,j) \in A, \quad \forall k \in K \text{ için} \quad [5]$$

Kısıt [5] yolların çift yönlü olduğunu gösteren yönlülük kısıtıdır. Yani, sisteme alınacak her araç tipi için yollarda çift yönlü geçişlere izin verilmektedir.

$$\sum_{i \in N_j} Z_{ijk} \geq V_k \quad \forall j \in N, \quad \forall k \in K \text{ için} \quad [6]$$

Kısıt [6] satın alınacak her araç tipi için, j istasyonuna i istasyonundan gelen en az bir tane yolun bulunmasını gerektirmektedir.

$$\sum_{j \in N_i} Z_{ijk} \geq V_k \quad \forall i \in N, \quad \forall k \in K \text{ için} \quad [7]$$

Kısıt [7] satın alınacak her araç tipi için i istasyonundan j istasyonuna en az bir tane giden yolun bulunmasını gerektirmektedir.

$$\sum_{i \in N_l} X_{lilmk} = V_k \quad \forall (l,m) \in S, \quad \forall k \in K \text{ için} \quad [8]$$

Kısıt [8] l istasyonundan m dağıtım istasyonuna olan malzeme akış yolu kullanılarak, l toplama istasyonundan sisteme alınacak her araç için bir yolun çıkmasını sağlamaktadır.

$$\sum_{i \in N_m} X_{imlmk} = V_k \quad \forall (l,m) \in S, \quad \forall k \in K \text{ için} \quad [9]$$

Kısıt [9] 8 nolu kısıta benzer olarak, l toplama istasyonundan m istasyonuna olan malzeme akış yolu kullanılarak, m dağıtım istasyonuna sisteme alınacak her araç için bir yolun gelmesini gerektirmektedir.

$$\sum_{i \in N_m} Q_{mimlk} = V_k \quad \forall (m,l) \in S', \quad \forall k \in K \text{ için} \quad [10]$$

Kısıt [10] m istasyonundan l toplama istasyonuna olan malzeme akış yolu kullanılarak, m dağıtım istasyonundan sisteme alınacak her araç için bir çıktı yolun çıkmasını sağlamaktadır.

$$\sum_{i \in N_l} Q_{tlmk} = V_k \quad \forall (m,l) \in S', \forall k \in K \text{ için} \quad [11]$$

Kısıt [11] de; 10 nolu kısıta benzer olarak, m dağıtım istasyonundan l istasyonuna olan malzeme akış yolu kullanılarak, l toplama istasyonuna sisteme alınacak her araç için bir yolun gelmesini gerektirmektedir.

$$\sum_{i \in N_{j-\{m\}}} X_{ijlmk} = \sum_{i \in N_{j-\{l\}}} X_{jtlmk} \quad \forall (l,m) \in S, \forall j \in N, \forall k \in K \text{ için} \quad [12]$$

Kısıt [12] girdi yolları sayısının çıktı yolları sayısına eşit olması durumunu temsil etmektedir.

$$\sum_{i \in N_{j-\{l\}}} Q_{ijmlk} = \sum_{i \in N_{j-\{m\}}} Q_{jtlmk} \quad \forall (m,l) \in S', \forall j \in N, \forall k \in K \text{ için} \quad [13]$$

Kısıt [13] sisteme alınacak her tip aracın m dağıtım istasyonundan l toplama istasyonuna gittiği yolda, j istasyonuna giren yollarla j istasyonundan çıkan yolların aynı sayıda olmasını sağlamaktadır.

$$\sum_{k \in K} LN_{lmk} QN_k \geq F_{lm} FF \quad \forall (l,m) \in S, \quad \forall k \in K \text{ için} \quad [14]$$

Kısıt [14] toplama ve dağıtım istasyonları arasındaki malzeme akış ihtiyaçlarını karşılamada her tip araca atanan turları garanti etmektedir.

$$\sum_{l,m \in S} (LU_{lmk} + LUT_{lmk}) LN_{lmk} \leq C_k N_k EF \quad \forall k \in K \text{ için} \quad [15]$$

Kısıt [15] satın alınacak araçların kapasite sınırlandırmalarını sağlamaktadır. Kısıtın sol tarafı P/D istasyonları arasında parçaların taşınma zamanını ve bu istasyonlarda yükleme ve boşaltma sırasında harcanan zamanı ifade etmektedir.

$$N_k - M V_k \leq 0 \quad \forall k \in K \text{ için} \quad [16]$$

Kısıt [16] eğer sistemde k tipi araçtan ihtiyaç duyuluyorsa, bu tip aracın sisteme alınmasını ve bu araç için rota uzunluklarının bulunmasını sağlamaktadır.

$$\left. \begin{aligned} X_{ijlmk} &= 0,1 && \forall (l,m) \in S, \\ &&& \forall (i,j) \in A, \forall k \in K \text{ için} \\ W_{ijmlk} &= 0,1 && \forall (m,l) \in S^l, \\ &&& \forall (i,j) \in A, \forall k \in K \text{ için} \\ Z_{ijk} &= 0,1 && \forall (i,j) \in A, \forall k \in K \text{ için} \\ V_k &= 0,1 && \forall k \in K \text{ için} \\ Y_{lmk} &\geq 0 && \forall l,m \in S, \forall k \in K \text{ için} \\ Q_{mlk} &\geq 0 && \forall m,l \in S^l, \forall k \in K \text{ için} \\ N_k &\geq 0 \text{ ve tamsayı} && \forall k \in K \text{ için} \\ LN_{lmk} &\geq 0 \text{ ve tamsayı} && \forall l,m \in S, \forall k \in K \text{ için} \end{aligned} \right\} [17]$$

Kısıt [17] tamamlayıcı kısıt olarak tanımlanmaktadır [32].

4. MODELİN KISIT VE KARAR DEĞİŞKEN SAYILARI (NUMBER OF CONSTRAINTS AND DECISION VARIABLES IN THE MODEL)

Bu bölümde önerilen matematiksel modellerin zorluğunu ortaya koymak için modellerin kısıt ve karar değişkenlerinin sayıları genel olarak belirtilecektir.

4.1. Notasyon (Notation)

- n_l : l toplama istasyonunun sayısı
- n_m : m dağıtım istasyonunun sayısı
- n_k : k araç tipinin sayısı
- nk_l : l toplama düğümüne komşu olan istasyon sayısı
- nk_m : m dağıtım istasyonuna komşu olan istasyon sayısı
- n_{ij} : i ve j iş istasyonları aralarında bulunan yolların sayısı
- n_i : i iş istasyonlarının sayısı

4.2. Modelin Kısıt Sayıları (Number of Constraints in the Model)

Önerilen model için kısıt küme sayısı 16'dır. Her bir kısıt kümesinin hangi parametrelere bağlı olduğunu ve problem boyutuna göre nasıl bir artış gösterdiğini bulmak için tablo 3.'deki kısıt sayı formülleri çıkarılmıştır.

Önerilen matematiksel modelin kısıt yapılarına bakıldığında, en fazla hesaplama karmaşıklığına sahip kısıtlar [3] ve [4] nolu kısıtlar olduğu görülmektedir. Bu sonuç bize akış yollarının yönlendirilmesinin yani optimal akış yoluna ulaşılmasında takip edilecek yolların yönlerinin belirlenmesinin zor ve kritik olduğunu göstermektedir.

4.3. Modelin Karar Değişken Sayıları (Number of Decision Variables in the Model)

Önerilen model için karar değişken sayılarının genel formülleri tablo 4’de görülmektedir.

Tablo 3. Önerilen model için kısıt sayılarının formülleri (Formulas of constraint numbers for the proposed model)

Kısıt No	Kısıt Sayısının Formülü
[1]	$n_1 \times n_m \times n_k$
[2]	$n_m \times n_1 \times n_k$
[3]	$[nk_1 \times ((n_1 \times n_m) - n_1) \times n_k] + [nk_m \times ((n_1 \times n_m) - n_m) \times n_k] + [n_{ij} \times (n_1 \times n_m) \times n_k]$
[4]	$[nk_m \times ((n_1 \times n_m) - n_m) \times n_k] + [nk_1 \times ((n_1 \times n_m) - n_1) \times n_k] + [n_{ij} \times (n_1 \times n_m) \times n_k]$
[5]	$n_{ij} \times n_k$
[6]	$n_1 \times n_k$
[7]	$n_1 \times n_k$
[8]	$n_1 \times n_m \times n_k$
[9]	$n_1 \times n_m \times n_k$
[10]	$n_m \times n_1 \times n_k$
[11]	$n_m \times n_1 \times n_k$
[12]	$n_1 \times n_m \times n_k \times [n_i - (n_i + n_m)]$
[13]	$n_m \times n_1 \times n_k \times [n_i - (n_i + n_m)]$
[14]	$n_1 \times n_m$
[15]	n_k
[16]	n_k

Tablo 4. Önerilen model için karar değişken sayılarının formülleri (Formulas of decision variable numbers for the proposed model)

Değişken Adı	Değişken Sayısının Formülü
X_{ijlmk}	$[nk_1 \times ((n_1 \times n_m) - n_1) \times n_k] + [nk_m \times ((n_1 \times n_m) - n_m) \times n_k] + [n_{ij} \times (n_1 \times n_m) \times n_k]$
W_{ijlmk}	$[nk_m \times ((n_1 \times n_m) - n_m) \times n_k] + [nk_1 \times ((n_1 \times n_m) - n_1) \times n_k] + [n_{ij} \times (n_1 \times n_m) \times n_k]$
Z_{ijk}	$2 \times n_{ij} \times n_k$
V_k	n_k
N_k	n_k
LN_{lmk}	$n_1 \times n_m \times n_k$
Y_{lmk}	$n_1 \times n_m \times n_k$
Q_{mlk}	$n_m \times n_1 \times n_k$

Önerilen modelin karar değişken sayılarına bakıldığında en fazla karar değişken sayısı X_{ijlmk} ve

W_{ijlmk} değişkenlerine aittir. Bu sonuç, araçların toplama istasyonundan dağıtım istasyonuna veya dağıtım istasyonundan toplama istasyonuna giderken

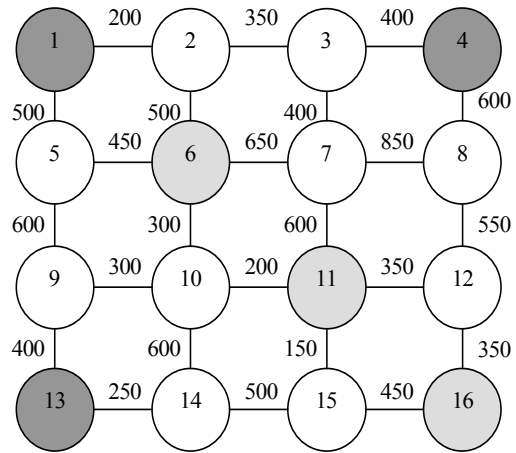
hangi yolları takip edeceğine karar vermenin zor bir karar olduğunu vurgulamaktadır.

5. TEST PROBLEMLERİ (TEST PROBLEMS)

Literatürde bilinen karşılaştırma problemleri olmadığı için parametre değişimlerinin analizi ile model üzerinde etken olan girdi parametrelerine karar verildikten sonra, girdi parametrelerinin alabileceği değerler sınırlandırılarak test problemleri üretilmiştir. Üretilen test problemleri GAMS programında matematiksel kodlanarak Cplex 8.1 çözücüsü ile çözülmüştür. Yapılan deneysel çalışmalarda, Pentium IV 2.4 GHz işlemci, 256 MB RAM kapasiteli kişisel bilgisayar kullanılmıştır.

5.1. Sayısal Bir Örnek (A Numerical Example)

Matematiksel modelin parametrelerinin ve çözüm sonuçlarının daha iyi açıklanabilmesi için örnek bir test problemi seçilmiştir. Seçilen örnek problemin şebeke gösterimi ve iş istasyonları arasındaki uzaklık verileri şekil 2’de verilmektedir. Şebekede 16 tane iş istasyonu (i, j) görülmektedir. Bu istasyonlardan {1, 4, 13} toplama istasyonu (l); {6, 11, 16} dağıtım istasyonudur (m). Sisteme alınacak 3 tip araç ($k=3$) düşünülmektedir.



Şekil 2. İş istasyonları arası uzaklıklar (D_{ij}) (Distance between workstations)

Sistemde kullanılan girdi parametrelerinin mümkün olduğu kadar gerçekçi olması hedeflendiğinden, gerçek hayat verileri dikkate alınmaya çalışılmıştır. Tablo 5’de üretilen test problemlerinde kullanılan parametrelerin değişim aralıkları verilmektedir.

Modelin uygunluğunu göstermek için çözülen örnek problemde yukarıdaki tabloda verilen aralıklarda parametreler üretilmiştir. Satın alma maliyetleri (BC_k) sıra ile 3 araç tipi için 80000, 70000 ve 60000 YTL’dir. OYA’ların yıllık işletme maliyetleri (PC_k) araç başına 6000 YTL olduğu düşünülmüştür. Birim uzunluğa bağlı değişken maliyetler (VC_{lmk}, VC_{mlk}) 3 araç tipi için 10 YTL/m alınmıştır. Tur yapma

Tablo 5. Girdi parametrelerinin değişim aralıkları (Variation ranges of input parameters)

Girdi Parametreleri	Değerleri
BC_k	50000-100000 YTL
PC_k	5000-12000 YTL
VC_{lmk} , VC_{mlk}	5-10 YTL/m
LC_{lmk}	0.1-1 YTL/tur
FC	1000 YTL
F_{lm}	50×10^6 - 100×10^7 kg
D_{ij}	100-1000 m
LUT_{lmk}	200-500 s
LU_{lmk}	60 s
QN_k	6000-15000 kg
YS	n_{ij}
C_k	8 veya 12 s/yıl
EF	0.9
FF	1.2
M	1×10^6

maliyetleri (LC_{lmk}) sıra ile 3 araç için tur başına 0.6, 0.4, 0.1 YTL olarak seçilmiştir. Her bir yolun ortalama sabit maliyeti (FC) 1000 YTL olarak alınmıştır. Yol sayısı (YS), iş istasyonları arasında dolaşım yapılan, araçların geçtikleri yol sayısıdır. Şebekede görüldüğü gibi iş istasyonları arasında 24 yol vardır.

Talep (F_{lm}) tablo 6'da görüldüğü gibi rassal yıllık ortalama olarak bir değer olarak dikkate alınmaktadır. Yıl içerisinde talepte meydana gelebilecek dalgalanmalara karşı sistemi koruyabilmek için talep etkinlik faktörü (FF) modele ilave edilmiştir. Test problemlerinde talep etkinlik faktörü 1.2'dir. Yani mevcut ortalama yıllık talebin %20'sini aşabildiği durumlarda, sisteme yetecek sayıda araç alınmaktadır. Talebin daha az geldiği dönemlerde bu araçlar park alanında uyku modunda tutulmaktadır.

Tablo 6. Yıllık ortalama talep (Average annual demand)

Toplama İstasyonları (I)	Dağıtım İstasyonları (m)		
	6	11	16
1	3×10^8	1×10^8	2×10^8
4	1×10^8	2×10^8	3×10^8
13	2×10^8	1×10^8	2×10^8

OYA'lar için yükleme ve boşaltma zamanı (LU_{lmk}) 60 saniye olarak modelde kullanılmıştır. Araçların dolaşım zamanları (LUT_{lmk}); 300 saniyedir. Çalışma

zamanı (C_k) vardiyada 8 saat olarak düşünülmüştür. Etkinlik faktörü (EF) % 90 olarak alınmıştır.

Parametreleri verilen örnek problem, önerilen model ile formüle edilip, GAMS programının Cplex çözücüsü ile çözülmüştür. Çözüm sonucunda optimal araç planı 1. tip araçtan 9 tane alınması olarak bulunmuştur.

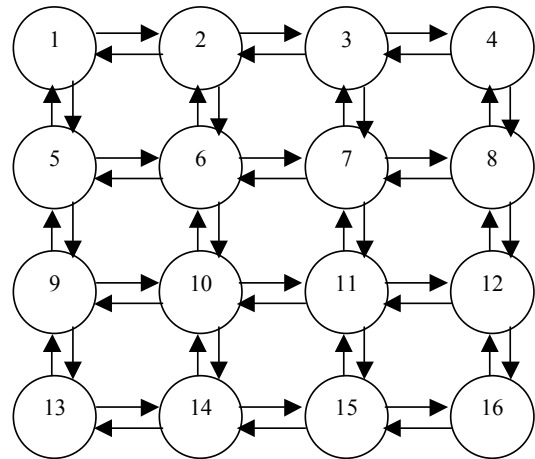
$$N_1=9, V_1=1$$

Çözüm sonucunda verilen bir diğer karar, araçların geçtiği yolların yönlendirilmesinin yapılmasıdır. Tablo 7'de Z_{ijk} karar değişkeninin aldığı optimal değerler görülmektedir. Burada Z_{121} değişkeninin 1 değerini alması, 1. tip araç için 1-2 yolunun 1'den 2'ye yönlü olduğunu göstermektedir.

Tablo 7. Optimal Z_{ijk} Değerleri (Optimal Z_{ijk} values)

$Z_{121} = 1$	$Z_{6101} = 1$	$Z_{11101} = 1$
$Z_{151} = 1$	$Z_{731} = 1$	$Z_{11121} = 1$
$Z_{211} = 1$	$Z_{761} = 1$	$Z_{11151} = 1$
$Z_{231} = 1$	$Z_{781} = 1$	$Z_{1281} = 1$
$Z_{261} = 1$	$Z_{7111} = 1$	$Z_{12111} = 1$
$Z_{321} = 1$	$Z_{841} = 1$	$Z_{12161} = 1$
$Z_{341} = 1$	$Z_{871} = 1$	$Z_{1391} = 1$
$Z_{371} = 1$	$Z_{8121} = 1$	$Z_{13141} = 1$
$Z_{431} = 1$	$Z_{951} = 1$	$Z_{14101} = 1$
$Z_{581} = 1$	$Z_{9101} = 1$	$Z_{14131} = 1$
$Z_{511} = 1$	$Z_{9131} = 1$	$Z_{14151} = 1$
$Z_{561} = 1$	$Z_{1061} = 1$	$Z_{15111} = 1$
$Z_{591} = 1$	$Z_{1091} = 1$	$Z_{15141} = 1$
$Z_{621} = 1$	$Z_{10111} = 1$	$Z_{15161} = 1$
$Z_{651} = 1$	$Z_{10141} = 1$	$Z_{16121} = 1$
$Z_{671} = 1$	$Z_{1171} = 1$	$Z_{16151} = 1$

Z_{ijk} değerlerinin şebeke üzerinde gösterimi ise şekil 3'de görülmektedir.

**Şekil 3.** Yönlendirilmiş şebeke (Directed network)

Sisteme alınması gereken 1. tip araç için, toplama istasyonundan dağıtım istasyonuna gidiş (Y_{lmk}) ve dağıtım istasyonundan toplama istasyonuna dönüş (Q_{mlk}) rota uzunluklarının optimal değerleri tablo 8’de sıralanmıştır.

Tablo 8. Optimal rota uzunlukları (Optimal route lengths)

Y_{lmk}	Q_{mlk}
$Y_{161} = 700$	$Q_{611} = 700$
$Y_{1111} = 1200$	$Q_{641} = 1250$
$Y_{1161} = 1800$	$Q_{6131} = 1000$
$Y_{461} = 1250$	$Q_{1111} = 1200$
$Y_{4111} = 1400$	$Q_{1141} = 1400$
$Y_{4161} = 1500$	$Q_{11131} = 900$
$Y_{1361} = 1000$	$Q_{1611} = 1800$
$Y_{13111} = 900$	$Q_{1641} = 1500$
$Y_{13161} = 1200$	$Q_{16131} = 1200$

Sisteme alınan aracın toplama istasyonundan dağıtım istasyonuna giderken (X_{ijlmk}) veya dağıtım istasyonundan toplama istasyonuna dönerken (W_{ijlmk}) hangi yolları kullandığı ile yaptığı tur sayılarının (LN_{lmk}) optimal sonuçlarını vermek çok uzun olacağı için sadece bir tane örnek üzerinde gösterilmiştir.

1. toplama düğümünden 16. dağıtım düğümüne 1.tip araç giderken (1-2-6-10-11-15-16) yolunu kullanmaktadır. Bu sonuç, aşağıda sıralanan X_{ijlmk} değerlerinden bulunmaktadır.

$$X_{121161} = 1 \quad X_{261161} = 1 \quad X_{6101161} = 1$$

$$X_{10111161} = 1 \quad X_{11151161} = 1 \quad X_{15161161} = 1$$

Tablo 8’de görüldüğü gibi 1 nolu toplama istasyonundan 16 nolu dağıtım istasyonuna olan rotanın uzunluğu 1800 m’dir. ($Y_{1161} = 1800$) Araç hedeflenen yükü taşımak için bu istasyonlar arasında toplam 20000 tur yapmıştır ($LN_{1161} = 20000$).

Örneğin araç 16. dağıtım düğümünden 4. toplama düğümüne dönerse, oluşacak rotanın uzunluğu tablo

8’de verildiği gibi 1500m’dir. ($Q_{1641} = 1500$) Araç (16-12-8-4) yolunu takip etmektedir. Aracın bu rotada uğradığı iş istasyonlarının hangileri olduğu aşağıdaki Q_{ijlmk} değerlerinden çıkarılmaktadır.

$$Q_{16121641} = 1 \quad Q_{1281641} = 1 \quad Q_{841641} = 1$$

5.2. Hesaplama Sonuçları (Computational Results)

Önerilen model üzerinde etken parametre sayısı 4’dür (Talep, kapasite, yol uzunluğu ve tur yapma zamanı). Her problem boyutu için 2^4 (16) tane test problemi üretilmiştir. Modelin çözülebilir olduğunu göstermek için, 7 farklı boyutta şebeke için her problem boyutundan 16 tane üretilen toplam 112 (16x7) problem GAMS programının Cplex çözücüsü ile çözülmüştür. Çözülen problemlerin kısa bir değerlendirmesi tablo 9’da görülmektedir. Bu tabloda her problem boyutu için kısıt ve karar değişken sayıları verilmekte, optimal çözüme ulaşılan ortalama iterasyon sayısı ve ortalama çözüm zamanı görülmektedir.

Tablo 10’da önerilen matematiksel modelin girdi parametre ve karar değişken sayılarının literatürde incelenen çalışmalar içindeki yeri görülmektedir.

Test problem boyutlarının ilk 5 tanesi literatürde daha önce başka modeller için seçilen şebeke yapılarıdır. Literatürde bu konu ile ilgili yapılan çalışmalarda problem boyutları ve bu çalışmada çözülmesi hedeflenen problem boyutunun karşılaştırılması tablo 11’de gösterilmektedir.

Tablo 11’de görüldüğü gibi çözülebilir problem boyutunun hedefi 54 iş istasyonunda kesilmiştir. Bunun nedeni öncelikle modelin GAMS/Cplex çözücüsü ile matematiksel olarak kodlanmasındaki zorluktur. Programa tüm toplama ve dağıtım istasyonları arasındaki rotalar için araçların kullanabileceği yolların tanıtılması oldukça güç ve zaman alan bir işlemdir. Bu nedenle bu tip problemlerin çözümünde geniş ölçekli tamsayı programlama modellerinin kullanımı oldukça zordur.

Tablo 9. Çözülen test problemlerinin boyutlarına göre kısıt ve karar değişken sayıları, ortalama iterasyon sayıları ve ortalama çözüm zamanları (Number of constraints and decision variables, average iteration numbers and average solution times of the solved test problems with respect to their sizes)

Test Problemi	Problem Boyutu			Kısıt Sayısı	Karar Değişken Sayısı	Ortalama İterasyon Sayısı	Ortalama Çözüm Zamanı (s)
	i-j	l-m	k				
1	9	4	3	700	522	123	0,126
2	9	5	3	1038	816	201	0,222
3	12	5	3	1347	1014	258	0,768
4	12	6	3	2118	1683	330	1,378
5	16	6	3	1800	1320	448	2,458
6	30	9	3	11321	8568	1564	29,187
7	54	13	3	43929	33132	3108	185,755

Tablo 10. Literatürdeki geçmiş çalışmaların ve önerilen modelin parametre ve karar değişken küme sayıları (Number of parameter and decision variable sets of the previous studies in the literature and the proposed model)

Literatürde Yapılan Çalışma	Parametre Küme Sayısı	Karar Değişken Küme Sayısı
Gaskins ve Tanchoco, 1987 [4]	2	3
Kaspi ve Tanchoco, 1990 [7]	2	3
Kasilingam, 1991 [25]	9	3
Kim ve Tanchoco, 1993 [12]	4	2
Chen, 1996 [14]	7	4
Liu ve Chen, 1999 [15]	4	2
Kaspi vd., 2002 [16]	4	4
Önerilen model	16	8

Tablo 11. Literatürdeki geçmiş çalışmaların ve önerilen modelin problem boyutları (Problem sizes of the previous studies in the literature and the proposed model)

Literatürde Yapılan Çalışma	Problem Boyutu	
	i,j	k
Kaspi ve Tanchoco, 1990 [7]	5	1
Kim ve Tanchoco, 1993 [12]	12	1
Johnson ve Brandeau, 1993 [25]	25	1
Majety ve Wang, 1995 [13]	20	1
Kaspi vd., 2002 [16]	23	1
Ko ve Egbelu, 2003 [18]	23	1
Asef-Vaziri vd., 2007	20	1
Hedeflenen çözülebilir boyutumuz	54	3

Problem çözümlerinde karşılaşılan bir diğer dar boğaz, problemlerin matematiksel kodlaması sırasında GAMS programının satır sınır kısıtıdır. Önerilen modeller için 54 iş istasyonlu şebeke yaklaşık olarak bu sınırın altında kalan son problem boyutudur. Bu sorun GAMS/Cplex çözücüsünün hafıza kullanım kısıtından kaynaklanmaktadır.

6. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, OYA sisteminin tasarım problemlerini eş zamanlı çözmek için bir karışık tamsayı doğrusal programlama modeli önerilmiştir. Önerilen model ile literatüre yapılan en önemli katkı, akış yol tasarımı ve araç seçimi problemlerine bütünlük çözüm bulmasıdır. Sistemin başlangıç tasarımında literatürde önerilen modeller sadece araç rotalamasını yapmaktadır. Önerilen bu model sayesinde ilk defa farklı araç tiplerinin satın alınması ve sadece alınan araçlar için akış yol yönlendirmelerinin yapılması sağlanırken, toplama istasyonundan dağıtım istasyonuna gidiş ve

dağıtım istasyonundan toplama istasyonuna dönüş rota uzunlukları da bulunmaktadır.

Gerçek yaşam problemlerinde karşılaşılan sürekli çalışmama durumlarını temsil etmek üzere, modellerde varsayılan etkinlik faktörü ilk defa bu tip problemlerde kullanılmıştır. Talepte meydana gelecek dalgalanmalara karşı sistemi korumak amacıyla talep etkinlik faktörü, önerilen modellere ilave edilmiştir. Böylelikle değişen talebe karşı sistem korunmaktadır. Etkinlik ve talep etkinlik faktörünün önerilen modellerde dikkate alınması modele esneklik kazandırabilmesi açısından önem taşımaktadır.

Önerilen modelin kısıt ve karar değişkenlerine olan duyarlılığına bakıldığında, toplama istasyonundan dağıtım istasyonuna veya dağıtım istasyonundan toplama istasyonuna giderken araçların geçtikleri yolların yönlendirilmesinin yapılmasının hesaplama açısından karmaşık bir yapıya sahip olduğu görülmüştür.

Çalışmada önerilen model literatürde şimdiye kadar ele alınan problem boyutlarından daha büyük problemleri çözebildiği rassal olarak geliştirilen test problemleri üzerinde gösterilmiştir. Belirtilen problemler şimdiye kadar literatürde birbirinden bağımsız olarak tartışıldığından, bunları bütünleştirmeye yönelik olan bu çalışma OYA problemleri ile ilgili literatüre yenilik getirmektedir.

Yeni bir uygulama alanı olan liman tipi işletmelere önerilen modelin uygulanabilirliği araştırılacak ileriki çalışmalar arasında düşünülmektedir. Liman tipi işletmelerde karşılaşılan yüksek dolaşım uzunluğu ve büyük hacimli yük taşımaların modele nasıl adapte edilebileceği, amaç fonksiyonu ve kısıtlarda hangi değişikliklerin yapılması gerektiği incelenecektir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Castleberry, G.A., **The AGV Handbook: A Handbook for the Selection of Automated Guided Vehicle**, Braun Brunfield Inc., Ann Arbor, Michigan, 1991.
2. Miller, K.R. ve Walker, T.C., "Survey on Automated Guided Vehicle Systems", **IFS Conferences Ltd.**, Bedford, England, 1989.
3. Egbelu, P.J. ve Tanchoco, J.M.A., "Potentials for bi-directional guidepaths for automatic guided vehicle based systems", **International Journal of Production Research**, Cilt 24, No 5, 1075-1097, 1986.
4. Gaskins, R.J. ve Tanchoco, J.M.A., "Flow path design for automatic guided vehicle systems", **International Journal of Production Research**, Cilt 25, No 5, 667-676, 1987.
5. Gaskins, R.J., Tanchoco, J.M.A. ve Taghaboni, F., "Virtual flow paths for free ranging automatic guided

- vehicle systems”, **International Journal of Production Research**, Cilt 27, No 1, 91-100, 1989.
6. Goetz, W.G. ve Egbelu, P.J., “Guide path design and location of load pick-up drop-off points for an automated guided vehicle system”, **International Journal of Production Research**, Cilt 28, No 5, 927-944, 1990.
 7. Kaspi, M. ve Tanchoco, J.M.A., “Optimal flow path design for uni-directional AGV systems”, **International Journal of Production Research**, Cilt 28, No 6, 1023-1030, 1990.
 8. Sinriech, D. ve Tanchoco, J.M.A., “Intersection graph metod for AGV flow path design”, **International Journal of Production Research**, Cilt 29, No 9, 1725-1732, 1991.
 9. Venkataramanan, M.A. ve Wilson, K.A., “A branch-and bound algorithm for flow-path design of automated guided vehicle systems”, **Naval Research Logistics**, Cilt 38, 431-445, 1991.
 10. Kouvelis, P., Gutherrez, G.J. ve Chian, W.C., “Heuristic unidirectional flow path design for an automated guided vehicle system”, **International Journal of Production Research**, Cilt 30, No 6, 1327-1351, 1992.
 11. Tanchoco, J.M.A. ve Sinriech, D., “OSL-optimal single loop guide paths for AGVs”, **International Journal of Production Research**, Cilt 30, No 3, 665-681, 1992.
 12. Kim, K.H. ve Tanchoco, J.M.A., “Economical design of a material flow path”, **International Journal of Production Research**, Cilt 31, No 6, 1387-1467, 1993.
 13. Majety, S.V. ve Wang, M.H., “Terminal location and guide path design in terminal base AGV systems”, **International Journal of Production Research**, Cilt 33, No 7, 1925-1938, 1995.
 14. Chen, M., “A Mathematical programming model for AGVs planning and control in manufacturing systems”, **Computers Industrial Engineering**, Cilt 30, No 4, 647-658 1996.
 15. Kaspi, M., Kesselman, U. ve Tanchoco, J.M.A., “Optimal solution for the flow path design problem of a balanced unidirectional AGV system”, **International Journal of Production Research**, Cilt 40, No 2, 389-401, 2002.
 16. Lim, J.K., Lim, J.M., Yoshimoto, K., Kim, K.H. ve Takahashi, T., “Designing guide-path networks for automated guided vehicle system by using the Q-learning technique”, **Computers and Industrial Engineering**, Cilt 44, No 1, 1-17, 2003.
 17. Ko, K.C. ve Egbelu, P.J., “Unidirectional AGV guidepath network design: a heuristic algorithm”, **International Journal of Production Research**, Cilt 41, No 10, 2325-2343, 2003.
 18. Asef-Vaziri A., Laporte G. ve Ortiz, R., “Exact and heuristic procedures for the material handling circular flow path design problem”, **European Journal of Operational Research**, Cilt 176, 707-726, 2007.
 19. Maxwell, W.L. ve Muckstadt, J.A., “Design of automated guided vehicle systems”, **IIE Transactions**, Cilt 14, No 2, 114-124, 1982.
 20. Egbelu, P. J., “The use of non-simulation approaches in estimating vehicle requirements in an Automated Guided Vehicle Based transport system”, **Material Flow**, Cilt 4, 17-32, 1987.
 21. Tanchoco, J. M. A., Egbelu, P.J., ve Taghaboni, F., “Determination of the total number of vehicles in an AGV-based material transport system”, **Material Flow**, Cilt 4, 33-51, 1987.
 22. Lin, J., “Determine how many AGV’s are needed”, **International Journal of Production Research**, Cilt 53, No 4, 22, 1990.
 23. Mahadevan B. ve Narendran T.T., “Design of an automated guided vehicle-based material handling system for an FMS”, **International Journal of Production Research**, Cilt 28, No 9, 1611-1622, 1990.
 24. Kasilingam, R. G., “Mathematical modeling of the AGVs capacity requirements planning problem”, **Engineering Cost and Production Economy**, Cilt 21, 171-175, 1991.
 25. Johnson, M.E. ve Brandeau, M.L., “An analytic model for design of a multivehicle automated guided vehicle system”, **Management Science**, Cilt 39, No 12, 1477-1489, 1993.
 26. Mahadevan B. ve Narendran T.T., “Estimation of number of AGVs for an FMS an analytical model”, **International Journal of Production Research**, Cilt 31, No 7, 1655-1670, 1993.
 27. Mahadevan B. ve Narendran T.T., “A hybrid modelling approach to the design of an AGVs-based material handling system for an FMS”, **International Journal of Production Research**, Cilt 32, No 9, 2015-2030, 1994.
 28. Rajotia, S., Shanker, K. ve Batras, J.L., “An heuristic configuring a mixed uni/bidirectional flow path for an AGV system”, **International Journal of Production Research**, Cilt 36, No 4, 1783-1792, 1998.
 29. Arifin, R. ve Egbelu, P.J., “Determination of vehicle requirements in automated guided vehicle systems: a statistical approach”, **Production Planning and Control**, Cilt 11, No 3, 258-270, 2000.
 30. Vis, I.F.A., De Koster, R., Roodbergen, K.J. ve Peeters, L.W.P., “Determination of the number of automated guided vehicles required at a semi-automated container terminal”, **Journal of Operational Research Society**, Cilt 52, No 4, 409-417, 2001.
 31. Talbot, L., **Design and performance analysis of multistation automated guided vehicle systems**, PhD thesis, Universite Catholique de Louvain, 2003.
 32. Kalender, F.Y., **Otomatik Yönlendiricili Araç Sistemlerinde Optimal Yol Tasarımı ve Araç Planlaması**, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2005.