

## **OTOMATİK YÖNLENDİRİCİLİ ARAÇ SİSTEMLERİNİN YENİDEN TASARIMI İÇİN BİR MATEMATİKSEL MODELLEME YAKLAŞIMI**

**KALENDER, Yeşim, TÜRKBEY, Orhan**

Gazi Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü-ANKARA  
E-Posta: [fyesim@gazi.edu.tr](mailto:fyesim@gazi.edu.tr), [turkbey@gazi.edu.tr](mailto:turkbey@gazi.edu.tr)

### **Özet**

Bilgisayar destekli üretim ortamında otomatik malzeme taşıma fabrikanın her tarafına yayılmış bir şekilde çalışır. Günümüzün hızla değişen ve gelişen teknolojisine bağımlı olarak Otomatik Yönlendiricili Araç (OYA) sistemleri, otomatik malzeme taşımasında artan bir hızla kullanılmaya başlanmıştır. Esnek İmalat Sistemlerinin (EİS), robotların ve diğer bilgisayar kontrollü makinaların geniş çaplı kullanılması, malzeme taşıma sistemi olarak OYA kullanımında büyük bir ihtiyaç oluşturmaktadır. Yaygınlaşan OYA kullanımı ile birlikte, bu sistemlerde karşılaşılan problemlerde giderek artmıştır. Bu problemler sistemin tasarımı veya işleyişi ile ilgilidir. Bu çalışmada sistemin dengeli işleyişi için bir yeniden tasarım matematiksel modeli önerilmektedir. Önerilen modelin amacı, araçların iş istasyonları arasındaki trafik akış yoğunluğuna bağlı olarak dolaştığı uzaklığı minimize etmektedir. Modelin çözülebilir olduğu rassal üretilen test problemleri ile gösterilmektedir.

*Anahtar Kelimeler: Otomatik Malzeme Taşıma (OMT), Otomatik Yönlendiricili Araç (OYA) Sistemleri, Esnek İmalat Sistemleri (EİS), Trafik Akış Yoğunluğu.*

### **Abstract**

Automated material handling operates factory wide in Computer Aided Manufacturing environment. Automated Guided Vehicle (AGV) systems are being utilized more increasingly in automated material handling owing to rapid technological developments. Widespread use of the Flexible Manufacturing Systems (FMS), robotic equipment and general purpose CNC machines create great requirement for the AGVs as a material handling system. Along with the prevalent use of the AGV, the problems encountered in these systems are getting more increased. These problems are related with the design or operation of the system. In this study, a re-design mathematical model for the balanced operation of the system is suggested. The objective of the proposed model is the minimization of travel distance of the vehicles depending on the traffic flow density between the workstations. The solvability of the model is shown on the random generated test problems.

*Key Words: Automated Material Handling (AMT), Automated Guided Vehicle (AGV) Systems, Flexible Manufacturing Systems (FMS), Traffic Flow Density.*

### **1. GİRİŞ**

Otomatik malzeme taşıma (OMT) genel olarak fabrika içindeki her türlü malzemenin stoklanması ve taşınması işlemlerinin tümüne verilen isimdir. Bilgisayar destekli üretim

ortamında Otomatik malzeme taşıma fabrikanın her tarafına yayılmış bir şekilde çalışır. Otomatik Yönlendiricili Araçlar (OYA), otomatik malzeme taşıma araçlarının başında gelen sürücüsüz araçlardır. MTS içinde önemli bir yeri olan OYA tarihçe olarak, önce Amerika Birleşik Devletlerinde keşfedilmesine rağmen, 2. Dünya savaşından sonra ilk defa Avrupa'da "Sürücüsüz Traktörler" olarak kullanılmıştır. Bu araçlar, 1950'li yılların ortalarına doğru ise A.B.D'de yaygın olarak görülmeye başlanmıştır. Aynı zamanda; yol seçiminin, araç yönlendirilmesinin ve yönlü yol değişiminin izlenebilmesi için bu araçlar programlanarak geliştirilmiştir. 1970'li yılların ortalarına doğru, OYA'nın gelişiminde büyük atılımlar sağlanmıştır. Son yıllarda malzeme taşıma görevleri için OYA sistemleri kullanımı, otomatik üretim sistemleri mühendis ve tasarımcıları tarafından artan bir ilgiyle kullanılmaya devam etmektedir.

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Herhangi bir taşıma şebekesindeki sıkışıklık, taşıma şebekesinde araçların serbest dolaşımını etkiler. Sistem sıkışıklığının özel kaynakları şunlardır; akış yolunun bir alanını işgal eden araçların sayısının çok olması, toplama veya dağıtım yerleşimlerinde duran araçların yönlendirici yolu engellemesi, kavşaklar, araç bozulmaları ve iki veya daha fazla araç aynı yolu kullanmada oluşan karşılaşmalardır.

Literatürde ilk kez sıkışıklık indeksi, Kim ve Tanchoco [1] tarafından  $[1.0, \infty)$  arasında sınırlandırılmıştır. Eğer sistemde sıkışıklık yoksa indeks 1.0 alınır. Trafik sıkışıklığının olmaması yani indeksin 0'a yakın bir değer olabilmesi için her yolda dolaşımına izin verilecek OYA sayısı tahmin edilebilir. Bir yolda dolaşımına izin verilen OYA sayısı; akış yolunun tek yönlü veya çift yönlü olmasına göre değişebilmekle beraber çok tipli çok araçlı sistemlerde sıkışıklığın azaltılması için önemlidir.

Trafik faktörü; MTS analizinde sık kullanılır. Fitzgerald [2] ihtiyaç duyulan araçların saptanmasında yönlendirici yol için araç karşılaştırmasını ölçmede bir trafik faktörü (0.85 ve 1 arasında) kullanmıştır.

Literatürde Egbelu [3] tarafından yapılan çalışmada ise araç bozulmaları için araç etkinliği amaçlanmıştır. Araç etkinliği, 0 ve 1.0 arasındadır.

Mevcut toplam zaman; toplam araç zamanı, MTS analizinde genel kullanılan diğer ölçüdür. Literatürde ihtiyaç duyulan araç sayısı, ihtiyaç duyulan toplam araç zamanının mevcut toplam araç zamanına bölünmesi ile bulunur. Bu durumlarda, ihtiyaç duyulan araç zamanı sıkışıklık etkisi içermez [4].

Eğer tek bir OYA kapalı bir döngüde çalışırsa, trafik kontrol problemi basittir ve kontrol bölgeleri, tampon alan ihtiyacı ortadan kalkar. Ancak sistemde dolaşan daha fazla araç olduğunda, trafik akışı, kontrol bölgeleri ve tampon alanlarla ilgili kararlar alınmalıdır. Çok tipli OYA'lar tarafından hizmet verilen sistemlerde toplama/dağıtım (P/D) istasyonu yanı sıra merkezi bir tampon alanı da bulunur. Bu sistemlerde, kontrol bölgeleri ve tampon alanların kullanımı trafik problemlerini çözmeye yardım eder. Bir kontrol bölgesi, karşılaşmalarda araç çarpışmasını önlemek için, yalnız bir aracın geçişine izin verir. İlave olarak, tampon alanlar kontrol bölgelerinin kullanımında araçların beklemesini sağlar. Tampon alanların sayısı ve tipi düşünülen probleme bağlıdır. Bir kontrol bölgesi bir zamanda yalnız bir aracı barındırır. Bu zaman boyunca, bu bölgeyi kullanmaya kalkışan tüm araçlar sağlanan yan hatlarda beklemelidir. Kontrol bölgelerinde ilk gelen ilk servis alır prensibine göre araçların girişine izin verildiği varsayılır. Bir OYA bir kontrol bölgesini 10 sn'de geçer. Ortalama hızının dakikada 30 m olduğu varsayılır. Bir OYA'nın yükleme/boşaltması 30 sn alınır [5].

Trafik kontrolünün zorlukları, araçların dikkatli çizelgelenmesi ile de azaltılabilir. Çizelgeleme stratejilerinden biri, tüm toplama noktalarını ziyaret edecek şekilde önceden

programlanmış bir sırada araçları göndermektir. Eğer araç bir istasyona ulaştığında, bekleyen işler varsa, yükleri toplar ve hedefe ulaştırır. Diğer durumda araç gelecek istasyona devam eder [6].

Bu çalışmada, OYA sistemindeki iş istasyonları arasındaki trafik akışını dengeleme problemini çözmek için bir tamsayı doğrusal programlama modeli önerilmektedir.

### 3. ÖNERİLEN MODEL

#### 3.1. Problemin Tanımı

OYA sisteminde öncelikle araç seçimi ve yol yönlendirmesine karar verilmesi gerekmektedir. Bu karar alındıktan sonra, karşılaşılan en önemli problem, iş istasyonları arasındaki yüklü ve boş araç trafiğinin dengelenmesidir. Bu problemi çözmek amacıyla önerilen model, literatürden farklı olarak çok araç tipini dikkate almıştır. İş istasyonları arasında yüklü ve boş araç trafik akış yoğunluğunun dengelenmesi için akış trafik sıklık faktörü ile sınırlandırılmıştır.

#### 3.2. Sistem Özellikleri

1. Şebekedeki yol tipi yönlü yoldur.
2. Model, düğüm-yay şebekesi şeklinde düşünülmüştür.
3. OYA görevini tamamladıktan sonra, yeni bir göreve atanabilmektedir.
4. Satın alınan tip ve sayıda OYA, seçilen tesis düzenlemesinde saptanan rotalarda dolaşımını yapmaktadır.

#### 3.3. Varsayımlar

1. Tesis düzenlemesi yani iş istasyonları ve P/D istasyonlarının yerleşimleri bilinmektedir.
2. Talep deterministik bir yapıya sahip olup, aylık ortalama bir değer olarak dikkate alınmaktadır.
3. OYA'nın yüklü ve boş hızları birbirine eşit kabul edilmektedir.
4. İş istasyonları arasındaki uzaklıklar ortalama bir değer olarak dikkate alınmakta, bu değer altındaki uzaklıklar kısa, üstündeki uzaklıklar ise uzun olarak varsayılmaktadır.
5. Aracın; bekleme zamanları, batarya değişikliği veya şarj edilmesi, insandan kaynaklanan engelleri, bakım onarım ve trafik durmaları gibi faktörleri temsil etmek üzere etkinlik faktörü dikkate alınmıştır.
6. Araçların yükleme/boşaltma ve dolaşım yapma zamanları, araçların zaman cinsinden kapasitesi, elde edilebilir ve biliniyor kabul edilmektedir.
7. Yeniden tasarım durumunda modelin daha kısa bir zaman periyodunda trafik akış yoğunluğunu dengelemesi gerekliliğinden girdi parametrelerinden zaman kapasitesi bir aylık varsayılmıştır.

#### 3.4. Önerilen Matematiksel Model

##### Notasyonlar

$i$ :	Malzeme akış yolundaki iş istasyonları	( $i = 1,2,3,\dots,I$ )
$j$ :	Malzeme akış yolundaki iş istasyonları	( $j = 1,2,3,\dots,J$ )
$l$ :	Toplama istasyonları	( $l = 1,2,3,\dots,L$ )
$m$ :	Dağıtım istasyonları	( $m = 1,2,3,\dots,M$ )
$k$ :	Sistemde kullanılacak OYA tipi	( $k = 1,2,3,\dots,K$ )
$N$ :	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 istasyonlarının kümesi.  
 $S'$  : Tüm aday dağıtım-toplama istasyonlarının kümesi.  
 $K$  : Tüm aday araç tiplerinin kümesi.  
 $L$  : Tüm aday toplama istasyonlarının kümesi.  
 $M$  : Tüm aday dağıtım istasyonlarının 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.

#### Girdi parametreleri

- $F_{lm}^t$  :  $l$  toplama istasyonundan,  $m$  dağıtım istasyonuna olan aylık ortalama malzeme akış yoğunluğu (lbs/ay).  
 $D_{ij}$  : ( $i-j$ ) istasyonları arasındaki yolun uzunluğu (feet).  
 $C_k^t$  : Sistemde kullanılacak  $k$  tipi aracın kapasitesi.(saniye/ay ).  
 $EF^t$  : Etkinlik faktörü.  
 $LU_{lmk}$  :  $k$  tipi aracın, yükleme ve boşaltma zamanı (saniye).  
 $LUT_{lmk}$  :  $k$  tipi araç için  $l$  toplama istasyonundan  $m$  dağıtım istasyonuna bir tur yapma zamanı (saniye).  
 $QN_k$  :  $k$  tipi araç kullanılarak bir turda taşınabilecek yüklerin miktarı.  
 $NU_k^t$  : Sistemde bulunan  $k$  tipi OYA sayısı.  
 $Y_{lmk}^t$  : Sistemde bulunan  $k$  tipi aracın  $l$  toplama düğümünden  $m$  dağıtım düğümüne olan rota uzunluğu.  
 $Q_{mlk}^t$  : Sistemde bulunan  $k$  tipi aracın  $m$  dağıtım düğümünden  $l$  toplama düğümüne olan rota uzunluğu.  
 $FF^t$  : Talep etkinlik faktörü.  
 $TEF^t$  : Trafik sıkışıklık faktörü.

#### Karar değişkenleri

- $L_{ijlmk}$  :  $l$  toplama istasyonundan  $m$  dağıtım istasyonuna olan akış yolunun ( $i-j$ ) kısmında  $k$  aracına ait yüklü araç trafik yoğunluğu.  
 $E_{ijlmk}$  :  $m$  dağıtım istasyonundan  $l$  toplama istasyonuna olan akış yolunun ( $i-j$ ) kısmında  $k$  aracına ait boş araç trafik yoğunluğu.  
 $NL_{lmk}$  : Sistemde  $l$  toplama istasyonundan  $m$  dağıtım istasyonuna hareket eden yüklü  $k$  tipi OYA sayısı.  
 $NE_{mlk}$  : Sistemde  $m$  dağıtım istasyonundan  $l$  toplama istasyonuna hareket eden boş  $k$  tipi OYA sayısı.  
 $LNN_{lmk}$  :  $l$  toplama istasyonundan  $m$  dağıtım istasyonuna, sistemde kullanılacak  $k$  tipi araç tarafından yapılan turların sayısı

#### Amaç fonksiyonu

$$\text{Min } Z = \sum_{i,j \in A} \sum_{l,m \in S} \sum_{k \in K'} L_{ijlmk} D_{ij} + \sum_{i,j \in A} \sum_{m,l \in S'} \sum_{k \in K'} E_{ijmlk} D_{ij}$$

Amaç fonksiyonu; toplam taşıma ihtiyacını karşılayacak şekilde yüklü ve boş araçların toplam dolaşım uzaklığını minimize etmektedir.

$$\sum_{l,m \in S} \sum_{k \in K'} Y'_{lmk} NL_{lmk} = \sum_{i,j \in A} \sum_{l,m \in S} \sum_{k \in K'} L_{ijlmk} D_{ij} \quad (1)$$

Kısıt (1) yüklü araçlar tarafından dolaşılan toplam uzaklığını göstermektedir. / toplama düğümünden  $m$  dağıtım düğümüne olan akış yol uzunluğu modelin ilk tasarım aşamasından elde edilmiştir.

$$\sum_{m,l \in S'} \sum_{k \in K'} Q'_{mlk} NE_{mlk} = \sum_{i,j \in A} \sum_{m,l \in S'} \sum_{k \in K'} E_{ijmlk} D_{ij} \quad (2)$$

Kısıt (2) boş araçlar tarafından dolaşılan toplam uzaklığını ifade etmektedir.  $m$  dağıtım düğümünden / toplama düğümüne olan dönüş akış yol uzunluğu modelin ilk tasarım aşamasından bulunan değerdir.

$$\sum_{t \in N_l} L_{ltlmk} = NL_{lmk} \quad \forall (l,m) \in S, \forall k \in K' \text{ için} \quad (3)$$

Kısıt (3) / toplama düğümünden çıkan dolu araçların sayısının / toplama düğümünden  $m$  dağıtım düğümüne giden yolda kullanılan toplam araç sayısına eşit olduğunu göstermektedir.

$$\sum_{t \in N_m} L_{tmlmk} = NL_{lmk} \quad \forall (l,m) \in S, \forall k \in K' \text{ için} \quad (4)$$

Kısıt (4)  $m$  dağıtım düğümüne gelen dolu araçların sayısının / toplama düğümünden  $m$  dağıtım düğümüne giden yolda kullanılan toplam araç sayısına eşit olduğunu ifade etmektedir.

$$\sum_{i \in N_j - \{m\}} L_{ijlmk} = \sum_{t \in N_j - \{l\}} L_{jtlmk} \quad \forall (l,m) \in S, \forall j \in N, \forall k \in K' \text{ için} \quad (5)$$

Kısıt (5) dolu araçlar için girdi akış yoğunluğunun çıktı akış yoğunluğuna eşit olduğunu temsil etmektedir.

$$\sum_{t \in N_m} \sum_{l \in L} E_{mtlmk} = \sum_{l \in L} NL_{lmk} \quad \forall (m) \in M, \forall k \in K' \text{ için} \quad (6)$$

Kısıt (6)  $m$  dağıtım düğümünden ayrılan boş araç sayısının bu düğümüne giren toplam araç sayısına eşit olduğunu göstermektedir.

$$\sum_{t \in N_l} \sum_{m \in M} E_{ttmlk} = \sum_{m \in M} NL_{lmk} \quad \forall (l) \in L, \forall k \in K' \text{ için} \quad (7)$$

Kısıt (7) /toplama düğümüne giren boş araç sayısının bu düğümden ayrılan toplam araç sayısına eşit olduğunu ifade etmektedir.

$$\sum_{i \in N_j - \{l\}} E_{ijmlk} = \sum_{t \in N_j - \{m\}} E_{jtmlk} \quad \forall (m,l) \in S', \forall j \in N, \forall k \in K' \text{ için} \quad (8)$$

Kısıt (8) boş araçlar için girdi akış yoğunluğunun çıktı akış yoğunluğuna eşit olduğunu temsil etmektedir.

$$\sum_{k \in K'} LNN_{lmk} QN_k \geq F_{lm} FF^t \quad \forall (l,m) \in S, \quad \forall k \in K' \text{ için} \quad (9)$$

Kısıt (9) toplama ve dağıtım istasyonları arasındaki malzeme taşıma ihtiyaçlarını, sistemde kullanılacak araçların yaptıkları turlarla karşılmasını garanti etmektedir. Talepteki kısa dönemli değişimlere karşı talep etkinlik faktörü dikkate alınmaktadır.

$$(LU_{lmk} + LUT_{lmk}) LNN_{lmk} \leq C_k NL_{lmk} EF \quad \forall (l,m) \in S, \forall k \in K \text{ için} \quad (10)$$

Kısıt (10) sistemde toplama dağıtım istasyonları arasında taşıma yapacak araçların kapasite sınırlandırmalarını sağlamaktadır.

$$NL_{lmk} \leq NU_k^t \quad \forall (l,m) \in S, \forall k \in K \text{ için}, \quad (11)$$

Kısıt (11) sistemde toplama ve dağıtım istasyonları arasında taşıma ihtiyacını karşılayacak her tipten yüklü araç sayısı, en fazla ilk tasarım aşamasında bu tipten satın alınan araç kadar olmasını gerektirmektedir.

$$NE_{mlk} \leq NU_k^t \quad \forall (m,l) \in S', \forall k \in K \text{ için}, \quad (12)$$

Kısıt (12) sistemde dağıtım ve toplama istasyonları arasında boş olarak dolaşan her tipten araç sayısı, en fazla ilk tasarım aşamasında bu tipten satın alınan araç kadar olmasını gerektirmektedir.

$$L_{ijlmk} \leq TEF^t \quad \forall (l,m) \in S, \forall (i,j) \in A, \forall k \in K' \text{ için} \quad (13)$$

Kısıt (13) k tipi aracın yüklü araç trafik yoğunluğunun, en fazla her yolda izin verilen trafik akış yoğunluğu kadar olmasını gerektirerek kısıtlamaktadır.

$$E_{ijmlk} \leq TEF^t \quad \forall (m,l) \in S', \forall (i,j) \in A, \forall k \in K' \text{ için} \quad (14)$$

Kısıt (14) k tipi aracın boş araç trafik yoğunluğunun, en fazla her yolda izin verilen trafik akış yoğunluğu kadar olmasını sağlayarak sınırlandırmaktadır.

$$\left. \begin{aligned} L_{ijlmk} \geq 0 \text{ ve tamsayı} & \quad \forall (l,m) \in S, \forall (i,j) \in A, \forall k \in K' \text{ için} \\ E_{ijmlk} \geq 0 \text{ ve tamsayı} & \quad \forall (m,l) \in S', \forall (i,j) \in A, \forall k \in K' \text{ için} \\ NL_{lmk} \geq 0 \text{ ve tamsayı} & \quad \forall (l,m) \in S, \forall k \in K' \text{ için} \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

$NE_{mlk} \geq 0$  ve tamsayı  $\forall (m,l) \in S', \forall k \in K'$  için

$LNN_{lmk} \geq 0$  ve tamsayı  $\forall l,m \in S, \forall k \in K'$  için

Kısıt (15) karar değişkenlerini tanımlayan tamamlayıcı kısıttır.

### 3.5. Test Problemleri ve Çözüm Sonuçları

Bu bölümde farklı problem boyutları için rassal üretilen test problemlerinin çözümlerinin özeti verilmektedir.

Üretilen test problemleri için seçilen şebeke yapılarının bazıları literatürde yapılan çalışmalardan seçilmiştir. Literatürde bu konu ile ilgili yapılan çalışmalardaki problem boyutları ve bu çalışmada çözülmesi hedeflenen problem boyutu çizelge 1'de görülmektedir.

Çizelge 1. Literatürde yapılan çalışmalardan seçilen bazı problem boyutları

Literatürde Yapılan Çalışma	Problem Boyutu		
	i,j	l,m	k
Kaspi ve Tanchoco, 1990 [7]	5	3	1
Kim ve Tanchoco, 1993 [1]	12	5	1
Majety ve Wang, 1995 [8]	20	6	1
Kaspi vd., 2002 [9]	23	9	1
Ko ve Egbelu, 2003 [10]	23	9	1
Hedeflenen çözülebilir boyutumuz	54	13	3

Tabloda görüldüğü gibi 2003 yılında tek araçlı OYA sisteminde akış yol tasarımı için Ko ve Egbelu tarafından yapılan çalışmada, 23 iş istasyonu ve 9 toplama/dağıtım istasyonuna sahip bir şebeke kullanılmıştır. Bizim hedeflediğimiz çözülebilir problem boyutu ise 54 iş istasyonu ve 13 toplama dağıtım istasyonudur. Çözülebilir problem boyutunun hedefinin bu noktada kesilmesinin nedeni, ileride anlatılacak olan GAMS/Cplex çözücüsüne ait hafıza kullanım kısıtıdır.

Literatürde bu konuda yapılan ve bilinen test problemleri olmadığı için yapılan farklı bir ön çalışma ile parametre değişimlerinin sonuçlarına göre test problemleri rassal olarak üretilmiştir. Farklı 7 problem boyutu modelin çözülebilir olduğunu göstermek amacıyla seçilmiştir. Çizelge 2'de her boyuttaki problemin kısıt ve karar değişken sayılarının sayısı görülmektedir. Daha sonra optimal çözüme ulaşılan ortalama iterasyon sayısı ve ortalama çözüm zamanı sıralanmaktadır.

Çizelge 2. Yeniden tasarım modeli ile çözülen test problemlerinin özeti

Test Problemi	Problem Boyutu			Kısıt Sayısı	Karar Değişken Sayısı	Ortalama İterasyon Sayısı	Ortalama Çözüm Zamanı (sn)
	i-j	l-m	k				
1	9	4	1	206	148	28	0,046
2	9	5	1	319	246	39	0,038
3	12	5	1	411	302	236	0,069
4	12	6	1	668	525	483	0,179
5	16	5	1	547	390	248	0,124
6	30	9	1	3667	2756	1141	0,843
7	54	13	1	14441	10856	3741	4,640

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, otomatik yönlendiricili araç (OYA) sistemlerinde karşılaşılan önemli problemlerden biri olan araç trafik yoğunluğunu azaltmak için bir matematiksel model önerilmiştir. Önerilen tamsayı doğrusal programlama modeli, araçların iş istasyonları arasındaki trafik akış yoğunluğuna bağlı olarak dolaştığı uzaklığı minimize etmektir. Model ile iş istasyonları arasındaki boş ve dolu araç trafik akış yoğunluğu, toplama istasyonundan dağıtım istasyonuna giden dolu araç sayısı, dağıtım istasyonundan toplama istasyonuna giden boş araç sayısı, araçlar tarafından malzeme taşıma ihtiyacını karşılamak için yapılan tur sayısı bulunmaktadır.

Yapılan çalışmada, literatürde ilk defa OYA sistemlerinde bu tip problemler için çok araç tipi dikkate alınmıştır. İş istasyonları arasında yüklü ve boş araç trafik akış yoğunluğu trafik sıkışıklık faktörü ile sınırlandırılmıştır. Bu faktörün trafik dengelemesi için literatürde kullanılması yeniden tasarım modeline ait özgün bir model gelişimidir.

Literatürde incelediğimiz problemler için karşılaştırma problemleri bulunmadığından seçilen parametrelerin farklı seviyeleri rassal olarak alınarak test problemleri üretilmiştir. Modelin çözülebilir olduğunu ispat etmek için üretilen test problemleri uygun zamanlarda çözülmüştür. Çözülebilir problem boyutunun hedefi, 54 iş istasyonu ve 13 toplama/dağıtım istasyonudur. Çalışmanın hedef problem boyutunu belirleyen faktörler; GAMS/Cplex çözücüsünün hafıza kullanım kısıtı ve matematiksel olarak iş istasyonları arasındaki mümkün yolların tanımlanma güçlüğüdür.

#### KAYNAKÇA

- [1] KIM, K. H., TANCHOCO, J. M. A., "Economical design of a material flow path", *International Journal of Production Research*, Vol. 31 (6), 1387-1467, 1993.
- [2] FITZGERALD, K. R., "How to estimate the number of AGVs you need", *Modern Materials Handling*, Vol. 10, 79, 1985.
- [3] EGBELU, P. J., "The use of non-simulation approaches in estimating vehicle requirements in an Automated Guided Vehicle Based transport system", *Material Flow*, Vol. 4, 17-32, 1987.
- [4] BEAMON, B. M., "System reliability and congestion in a material handling systems", *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 36 (3), 673-684, 1999.
- [5] RAJU, K. R., CHETTY, O. V. K., "Design and evaluation of automated guided vehicle systems for flexible manufacturing systems:an extended timed Petri net based approach", *International Journal of Production Research*, Vol. 31(5), 1069-1096, 1993.
- [6] MAHADEVAN B., NARENDRAN T. T., "Design of an automated guided vehicle-based material handling system for an FMS", *International Journal of Production Research*, Vol. 28(9), 1611-1622, 1990.



- [7] KASPI, M., TANCHOCO, J. M. A., "Optimal flow path design for uni-directional AGV systems", *International Journal of Production Research*, Vol. 28 (6), 1023-1030, 1990.
- [8] MAJETY, S. V., WANG, M. H., "Terminal location and guide path design in terminal base AGV systems", *International Journal of Production Research*, Vol. 33(7), 1925-1938, 1995.
- [9] KASPI, M., KESSELMAN, U., TANCHOCO, J. M. A., "Optimal solution for the flow path design problem of a balanced unidirectional AGV system", *International Journal of Production Research*, Vol. 40(2), 389-401, 2002.
- [10] KO, K. C., EGBELU, P. J., "Unidirectional AGV guidepath network design: a heuristic algorithm", *International Journal of Production Research*, Vol. 41(10), 2325-2343, 2003.