

TERMİNAL BAZLI OTOMATİK YÖNLENDİRİCİLİ ARAÇ SİSTEMLERİ VE OPTİMAL AKIŞ YOL TASARIMI

Yeşim KALENDER, Orhan TÜRKBEY

*Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü,
Maltepe- ANKARA*

Geliş Tarihi: 14.08.2001

TERMINAL BASED AUTOMATED GUIDED VEHICLE SYSTEMS AND OPTIMAL FLOW PATH DESIGN

ABSTRACT

Material Handling Systems (MHS) are one of the most critical components of the manufacturing systems. Automated Guided Vehicle systems (AGVs) in the MHS have a considerable importance in terms of both function and cost. Since the material handling is executed automatically on fixed paths in AGVs, layout of the flow network and the direction of the flows permitted in the network play an important role on the operational efficiency of MHS. In the model that we constituted for this purpose, some of the workstations are considered as pick up and delivery (P/D) stations. A station which provides the minimum distance to all workstations and which responds to the calling frequency is chosen as the terminal. In our system, that has a dynamic structure in terms of periods, the constant costs of unidirectional paths and the circulation costs of whole flow network are taken into consideration.

In this study, a mixed integer linear programming model is formulated to determine the terminal based layout and flow directions. A hypothetical problem is solved to demonstrate the validity of the model by using GAMS (General Algebraic Modeling System) program.

Keywords: Facility, Optimal layout, Material handling systems (MHS), Automated guided vehicle systems (AGVs).

ÖZET

Malzeme Taşıma Sistemleri (MTS) üretim sistemlerinin oldukça kritik bir bileşenidir. MTS içinde Otomatik Yönlendiricili Araç (OYA) sistemleri, hem fonksiyon hem de maliyet yönünden önemli bir ağırlığa sahiptir. OYA'da malzeme taşınması sabit yollarda otomatik olarak gerçekleştiğinden, akış şebekesinin düzenlenmesi ve şebekede izin verilen akışın yönü MTS'nin operasyonel etkinliği üzerinde önemli bir rol oynar. Bu amaçla oluşturduğumuz modelde; iş istasyonlarından bazıları toplama / dağıtım (T/D) istasyonu olarak dikkate alınmaktadır. Tüm iş istasyonlarından minimum uzaklığı sağlayacak ve çağırma sıklığına cevap verecek bir istasyon terminal olarak seçilmektedir. Dönemler itibarıyla dinamik bir yapıya sahip olan sistemimizde, yönsüz yolların sabit maliyetleri ve bütün akış şebekesinin dolaşım maliyetleri göz önüne alınmaktadır.

Bu çalışmada, terminal bazlı yerleşim ve akış yönlendirmesini saptamada, bir karışık tamsayılı doğrusal programlama modeli formüle edilmiştir. Bir hipotetik problem, modelin etkinliğini göstermek için GAMS programı yardımıyla çözülmüştür.

Anahtar Sözcükler: Tesis, Optimal düzenleme, Malzeme taşıma sistemleri (MTS), Otomatik yönlendiricili araç (OYA) sistemleri.

1. GİRİŞ

MTS'den biri olan OYA, işletmelerde esneklik, zaman tasarrufu, kontrol kolaylığı, kalitenin artması, işgücü ve enerji maliyetlerinde düşme, ürün hasarlarında azalma, stok kontrol ve rekabet gibi konularda üstünlük sağlamaktadır. OYA'nın en önemli tercih nedeni, sürücüyü ihtiyaç duymaması, otomatik olarak yönlendirilmesi, fabrika ekipmanları ile mekanik ve elektronik etkileşimli olmasıdır. [1]

Malzeme akış yollarını düzenleme tasarımı, bütün sistemin işleyişi ve performansı üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir. Bu tasarımda temel problem, optimal malzeme akış yolunun bulunmasıdır. Söz konusu problemin çözülmesini amaçlayan bu çalışma, günümüzün dinamik yapısına uyum sağlaması açısından değişken talep ortamında ve talebe bağımlı olarak değişen malzeme akış yoğunluğu ile çok dönemli olarak düşünülmektedir. Çalışmada, minimum malzeme akışı ve minimum akış yol uzunluğu sağlanarak, aracın çağırma sıklıklarına cevap verecek şekilde maliyetler minimize edilmektedir. Hipotetik bir problem, önerilen "karışık tamsayı doğrusal programlama modeli" ile modellenerek, GAMS programı ile optimal olarak çözülmektedir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

OYA için akış yol tasarımı kritik olduğundan, birçok araştırmacı bu konu ile ilgilenmiştir. Literatürdeki bu çalışmalardan önemli olan bazıları, aşağıda sıralanmıştır.

Gaskins ve Tanchoco [2], Gaskins vd. [3], Kaspi ve Tanchoco [4], Kim ve Tanchoco [5], Kouvelis vd. [6], Sinriech ve Tanchoco [7], OYA'da "optimal akış yolunun belirlenmesi" üzerinde çalışmışlardır. Goetz ve Egbelu [8], Riopel ve Langevin [9], "optimal yönlendirici yol düzenlenmesini ve T/D istasyonlarının yerleşimini" incelemişlerdir. Egbelu [10], Sinriech ve Tanchoco [11], Sinriech ve Tanchoco [12], "optimal tek döngülü yönlendirici yolu" bulmuşlardır. Kim ve Tanchoco [5], "sabit ve dolaşım maliyetinin minimizasyonu", Goetz ve Egbelu [8], "yükü araçların toplam dolaşımının minimizasyonu", Gaskins ve Tanchoco [2], Gaskins vd. [3], Kaspi ve Tachoco [4], Kim ve Tanchoco [5], Kouvelis vd. [6], Sinriech ve Tanchoco [7], Sun ve Tchernev [13], "yükü ve boş araçların toplam dolaşımının minimizasyonu", Egbelu [10], "boş araçlar için yer durumlarının belirlenmesi", Egbelu ve Tanchoco [14], Özden [15], "yönlü ve yönsüz akış etkileri" ve Majety ve Wang [16], "terminal bazlı OYA'da yönlendirici yol tasarımı" konularında çalışmışlardır.

Literatürde, OYA tasarımı için kullanılan modelleme yaklaşımları; optimizasyon yaklaşımları ve matematiksel sezgisel bazlı yaklaşımlardır [13].

Bu çalışmalardan araştırmamızla ilgili olan bazıları ise şöyledir; Egbelu and Tanchoco [15], OYA sistemlerinde yönsüz akış yol tasarımı için, 0-1 tamsayı doğrusal programlama modeli önermişlerdir. Gaskins ve Tanchoco [2], OYA sistemlerinde optimal yönsüz akış yollarını belirlemek amacıyla, yükü araçların toplam akış yol uzunluğunu minimize etmişlerdir. Kaspi ve Tanchoco [4] optimal yönsüz akış yollarının saptanması için yükü ve boş araçların toplam akış yol uzunluğunun minimizasyonunu hedeflemişlerdir. Guzman vd. [17] en kısa yol ve en kısa döngülü yol problemlerinin NP- completeness olduklarını göstermişlerdir. Rajotia vd. [18], çalışmalarında yönlü/yönsüz karmaşık bir akış yolu düzenlemesi için bir sezgisel geliştirmişlerdir. Hu ve Egbelu [19], boş araç yer yerleşimlerinin seçilmesi için matematiksel model önermişlerdir. Arifin ve Egbelu [20], yaptıkları çalışma ile bir tesis tarafından ihtiyaç duyulan araçların sayısını tahmin etmede bir regresyon tekniği kullanmışlardır. Asef-Vaziri vd. [21] tarafından malzeme akış sistemi tasarlamada tamsayı programlama formülasyonu geliştirilmiştir. Kaspi vd. [22] dengeli bir yönsüz OYA sisteminin akış yol tasarımı problemi için karışık tamsayı doğrusal programlama modeli ve dal sınır tekniği önermişlerdir. Ko ve Egbelu [23], yönsüz OYA şebeke tasarımı için sezgisel bir algoritma önermişlerdir.

3. OYA SİSTEMLERİNDE MALZEME AKIŞ YOLLARININ EKONOMİK TASARIMI

3.1. OYA Tasarımı ve Terminal Yerleşimi

OYA tasarımında iki adım vardır. Birincisi; akış yol ve T/D istasyonlarının yerleşim tasarımı, ikincisi ise; taşıma sistemini yönetecek bir kontrol sisteminin tasarımıdır.

Aracın akış yolunun tasarımına; başlangıç varsayımlarına göre, farklı yönlerden yaklaşılması mümkün olabilmektedir. Bunlar şu şekilde sınıflandırılabilir:

- OYA tasarımında yapılması gerekenler; (Tesis düzenlemesinin, akış yolunun ve T/D istasyonlarının yerleşimlerinin tasarımı; mevcut tesis düzenlemesini esas alan T/D istasyonlarının ve akış yolunun tasarımı; mevcut T/D istasyonları ve bir tesis düzenlemesine dayanan akış yolu tasarımı).
- Modelin amacının belirlenmesi;(Sistemdeki akışın minimize edilmesi; OYA'nın taşıma zamanının veya akış yol uzunluğunun minimize edilmesi).

Burada, araç ve malzeme akışının yönlendirilmesi söz konusu olduğundan “*yönlendirici yol*” yerine “*akış yolu*” terimi kullanılmaktadır. Akış yolları, yönlü ve yönsüz olarak sınıflandırılmaktadır. OYA için literatürde yönsüz akış yolları popülerdir.

Yönsüz akış, akış yolunun verilen bir parçası boyunca sadece bir yönde araç dolaşımı olmasıdır. Yönlü akış ise, her iki yönde de akış meydana geldiği zaman, karşılaşılan akış tipidir. Yönsüz akışlarda; bir araç bir noktadan, diğer bir noktaya hareket ederken, yönlü akışın izin verdiği kadar daha fazla bir uzaklığı dolaşmasına imkan verilmektedir. Yönsüz akışların kullanımı, sistem tasarımına ve kontrolüne uygulamada üstünlük sağlaması nedeniyle avantaj sağlamaktadır. Yönlü akışların kullanımında, araçların dolaşım zamanı azalmakta ve sistemin bütün performansı gelişerek, verimlilik artışı gözlenmektedir. İster yönlü ister yönsüz akış olsun bu yollardaki taşıma zamanı; aracın dolaşım hızına, komşu istasyonların kontrol noktaları arasındaki uzaklığa, yollardaki trafik yoğunluğuna, istasyonların fiziksel yerleşimine ve sistemde varsa terminal yerleşimine bağlıdır. [24]

OYA'da terminal tasarımının mantığı şu şekilde çalışmaktadır; Toplama istasyonu bir OYA hizmetine gereksinim duyar duymaz, toplama istasyonundaki operatör tarafından terminale bir çağırma yapılır. OYA terminali, bu çağırma alır ve gelecek kullanılabilir OYA bu çağrıya cevap verir. OYA, önceden belirlenmiş toplama istasyonundan dağıtım istasyonuna giden akış yolu boyunca dağıtım istasyonuna gelir. OYA, her zaman servisini tamamlayınca bir toplama istasyonundan diğer bir çağrı almadan önce terminale döner. OYA terminali, sisteme göre bağımsız bir istasyon olabileceği gibi toplama veya dağıtım istasyonlarından biri olarak da seçilebilir.

3.2. OYA Ekonomik Tasarımı

MTS'nin amacı, maliyetleri minimize etmektir. OYA'nın taşıma görevini yerine getirirken karşılaştığı maliyetlerden bazıları sabit, bazıları ise değişken maliyettir. Bu nedenle maliyetler; “*ayrık maliyet*” olarak tanımlanmaktadır.

Sabit maliyetler; amortisman, işletme, bakım, yol kuruluş, alan ve yolların kontrol maliyetleri olarak sıralanmaktadır. Sabit maliyetler T/D istasyonları arasındaki akış yollarının oluşturulmasında ve düzenlenmesinde doğrudan etkilidir. Bu nedenle akış yollarının yönü ile sabit maliyetler arasında kuvvetli bir ilişki vardır.

Değişken maliyetler ise; personel, enerji, batarya ve dolaşım maliyetleri olarak sıralanabilir. Değişken maliyetler, T/D istasyonları arasındaki zamana göre değişen malzeme akış yoğunlukları ile bu istasyonlar arasındaki yol uzunluğuna bağlıdır.

4. ÖNERİLEN MATEMATİKSEL MODEL

OYA toplam maliyetini minimize etmek ve terminal bazlı optimal akış yol tasarımı ulaşmak amacıyla geliştirilen karışık tamsayı doğrusal programlama modeli tanımlama, varsayımlar ve formülasyon olarak incelenecektir.

4.1. Problemin Tanımlanması

OYA'da terminal bazlı optimal akış yoluna ulaşılması, sistemin işleyişi için oldukça önemli bir problemdir. Önerilen modelin çok dönemli olması, zamana bağımlı talebin değişmesini sağlamaktadır. Bu değişim modele, literatürden farklı olarak gerçek koşullarla örtüşen bir dinamiklik kazandırmaktadır. Ele alınan modelin amacı; aracın çağırma sıklıklarını ve terminal yerleşimini göz önünde bulundurarak, minimum maliyetli en kısa malzeme akış yolunu bulan ekonomik bir tasarıma ulaşmaktır.

4.2. Modelin Varsayımları

1. Şebekede, yönsüz akışa izin verilmektedir.
2. Tesis düzenlemesinin bilindiği varsayılmaktadır.
3. Malzeme akışı, zamana bağlı değişken bir yapıya sahiptir.
4. Zaman, dinamik koşullara bağlı olarak çok dönemli olarak dikkate alınmaktadır.
5. T/D istasyonları arasındaki uzaklıkların, zigzaglı uzunluk olduğu varsayılmaktadır.
6. Bazı yollardaki malzeme akış yoğunluğu, yolların sabit maliyetine katlanamayacak kadar düşük olduğundan, bu yollar trafiğe kapalıdır yani malzeme akışı yoktur.
7. Yüklü ve boş olan OYA hızları birbirine eşittir.
8. Maliyetler, sabit ve değişken olmak üzere bilindiği varsayılmaktadır.
9. Model şebeke şeklindedir. Düğüm, T/D istasyonlarını, yaylar ise, istasyonlar arasında bağlantı kuran malzeme akış yollarını göstermektedir.
10. Model bir OYA için dikkate alınmıştır.
11. Her istasyona en az bir yolun gelmesi ve en az bir yolun çıkması gerekmektedir.
12. Her dönemde, her istasyona gelen ve çıkan yolların sayısı birbirine eşittir.
13. OYA, görevini tamamladıktan sonra terminale dönmekte, çağırıldığında yeni bir göreve atanabilmektedir.

4.3. Modelde Kullanılan Parametreler

Notasyonlar:

i, j : Malzeme akış yolundaki iş istasyonları ($i = 1, 2, \dots, I$; $j = 1, 2, \dots, J$)

l : Toplama istasyonları ($l = 1, 2, \dots, L$)

m : Dağıtım istasyonları ($m = 1, 2, \dots, M$)

t : Dönemler ($t = 1, 2, \dots, T$)

Girdi parametreleri:

$FFlmt$: t . dönemde, l toplama istasyonundan, m dağıtım istasyonuna olan malzeme akış yoğunluğu (yük sayısı)

$Wlmt$: Her dönemde l toplama istasyonundan m dağıtım istasyonuna olan birim yük ve birim uzaklığa bağlı değişken maliyet (para birimi/yük sayısı-birim uzunluk).

Kij : ($i-j$) yolunun sabit maliyeti (para birimi).

dij : ($i-j$) yolunun uzunluğu (birim uzunluk)

$Clmt$: t . dönemde l toplama istasyonundan m dağıtım istasyonuna malzeme taşımada, OYA'ların terminalden çağırılma sıklıkları.

Karar Değişkenleri:

$$X_{ijlmt} = \begin{cases} 1 & t. \text{ dönemde } l \text{ toplama istasyonundan } m \text{ dağıtım istasyonuna giden malzeme} \\ & \text{akış yolunda } (i-j) \text{ yolu bulunuyorsa,} \\ 0 & \text{Diğer durumlarda.} \end{cases}$$

$$Z_{ijt} = \begin{cases} 1 & t. \text{ dönemde } (i-j) \text{ yolu, } i \text{ istasyonundan } j \text{ istasyonuna doğru yönlü ise} \\ 0 & \text{Diğer durumlarda.} \end{cases}$$

$$A_{jt} = \begin{cases} 1 & t. \text{ dönemde } j \text{ istasyonunda OYA terminali bulunuyor ise,} \\ 0 & \text{Diğer durumlarda.} \end{cases}$$

Y_{lmt} : t . dönemde, l toplama istasyonundan, m dağıtım istasyonuna olan yol uzunluğu

4.4. Formülasyon

Önerilen karışık tamsayılı doğrusal programlama formülasyonu şöyle olacaktır:

Amaç Fonksiyonu:

$$\text{Min } F = \sum_t \sum_{l,m} FF_{lmt} W_{lmt} C_{lmt} Y_{lmt} + \sum_t \sum_{i,j} K_{ij} Z_{ijt}$$

Amaç fonksiyonu, aracın dönemler boyunca değişen malzeme akış yoğunluğuna, akış yol uzunluğuna ve terminalden aracı çağırma sıklığına bağımlı olarak dolaşım maliyetleri ile yolların sabit maliyetlerinin toplamını minimize etmektedir.

Kısıtlar:

$$\sum_{i,j} X_{ijlmt} \text{ dij} = Y_{lmt} \quad \forall l, m, \forall t \text{ için} \quad (1)$$

Kısıt 1, t . dönemde aracın l toplama istasyonundan m dağıtım istasyonuna takip ettiği yol uzunluğunu bulmaktadır.

$$X_{ijlmt} \leq Z_{ijt} \quad \forall l, m, \forall i, j, \forall t \text{ için} \quad (2)$$

Kısıt 2, l toplama istasyonundan, m dağıtım istasyonuna olan malzeme akış yolunun uygunluğunu göstermektedir. Böylece her dönemde, l toplama istasyonundan m dağıtım istasyonuna giden yolda $(i-j)$ yolu bulunduğunda yol, i istasyonundan j istasyonuna doğru yönlendirilmektedir.

$$Z_{ijt} + Z_{jit} \leq 1 \quad \forall i, j, \forall t \text{ için} \quad (3)$$

Kısıt 3 yönsüzlük kısıttır. Yollarda her zaman tek yönlü geçişlere izin verilmektedir.

$$\sum_i Z_{ijt} \geq 1 \quad \forall j, \forall t \text{ için} \quad (4)$$

Kısıt 4, her dönemde en az bir girdinin olması durumunu ifade etmektedir. Bu kısıt; j istasyonuna i istasyonundan en az bir tane yolun girmesi gerektiğini belirtmektedir.

$$\sum_j Z_{ijt} \geq 1 \quad \forall i, \forall t \text{ için} \quad (5)$$

Kısıt 5, her dönemde en az bir çıktının olması durumunu belirtmektedir. Bu durum, i istasyonundan j istasyonuna en az bir tane giden yolun bulunmasını gerektirmektedir.

$$\sum_k X_{klmt} = 1 \quad \forall l, m, \forall t \text{ için} \quad (6)$$

Terminal Bazlı Otomatik Yönlendiricili Araç...

Kısıt 6, l istasyonundan m dağıtım istasyonuna olan malzeme akış yolu kullanılarak, l toplama istasyonundan her dönemde bir çıktı yolunun olmasını sağlamaktadır.

$$\sum_k X_{kmlt} = 1 \quad \forall l, m, \forall t \text{ için} \quad (7)$$

Kısıt 7'de, 6 nolu kısıta benzer olarak, l toplama istasyonundan m dağıtım istasyonuna olan malzeme akış yolu kullanılarak, m dağıtım istasyonuna her dönemde bir girdi yolunun olmasını belirtmektedir.

$$\sum_i X_{ijmlt} = \sum_k X_{jklmt} \quad \forall l, m, \forall j, \forall t \text{ için} \quad (8)$$

Kısıt 8, her dönemde girdi yolları sayısının, çıktı yolları sayısına eşit olması durumunu ifade etmektedir. Böylelikle her dönemde l toplama istasyonundan m dağıtım istasyonuna giden yolda, j 'e giren yollarla j 'den çıkan yollar aynı sayıda olacaktır.

$$\sum_j A_{jt} = 1 \quad \forall t \text{ için} \quad (9)$$

Kısıt 9, her dönemde OYA terminali için tek yerleşimi garanti etmektedir. Bütün aday T/D istasyonlarından sadece biri OYA terminali olarak seçilmektedir.

$$\sum_j A_{jt} \sum_i X_{ijlmt} = 1 \quad \forall l, m, \forall t \text{ için} \quad (10)$$

Kısıt 10, her dağıtım istasyonundan dönüş yollarının hepsinin toplama istasyonuna göre aynı terminal noktasından geçmesini sağlamaktadır. Bu kısıt, görüldüğü gibi doğrusal olmayan bir kısıttır. Bu nedenle 10. kısıt aşağıdaki üç kısıta ayrılarak ve 10 nolu kısıtın yerine bu kısıtlar yazılarak, doğrusallaştırılmıştır. Böylelikle model, karışık tamsayı doğrusal programlama modeli olarak ifade edilebilmiştir.

$$\sum_i X_{ijlmt} = I_{jlmt} \quad \forall j, \forall l, m, \forall t \text{ için} \quad (11)$$

$$\sum_j P_{jlm} = 1 \quad \forall l, m, \forall t \text{ için} \quad (12)$$

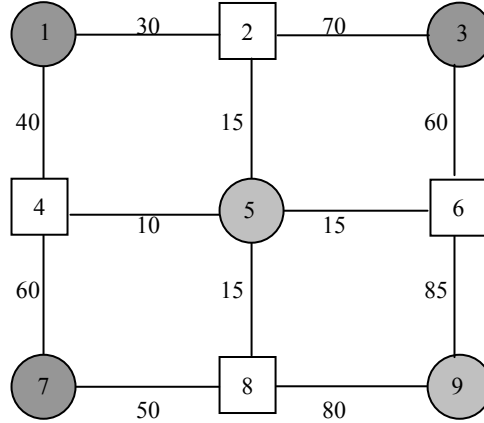
$$A_{jt} + I_{jlmt} - 2P_{jlm} \geq 0 \quad \forall l, m, \forall j, \forall t \text{ için} \quad (13)$$

$$\left. \begin{aligned} X_{ijlmt} &= 0,1 & \forall l, m, \forall i, j, \forall t \text{ için} \\ Z_{ijt} &= 0,1 & \forall i, j, \forall t \text{ için} \\ A_{jt} &= 0,1 & \forall j \text{ için} \\ Y_{lmt} &\geq 0 \text{ ve tamsayı} & \forall l, m, \forall t \text{ için} \\ I_{jlmt} &= 0,1 & \forall j, \forall l, m, \forall t \text{ için} \\ P_{jlm} &= 0,1 & \forall j, \forall l, m, \forall t \text{ için} \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

Kısıt 14, tamamlayıcı kısıt olarak tanımlanmaktadır. Bu kısıtta, X_{ijlmt} , A_j , Z_{ijt} , I_{jlmt} ve P_{jlm} 'nin 0 ya da 1 değerini aldığı, Y_{lmt} 'nin ise pozitif tamsayı olduğu görülmektedir.

5. ÖRNEK PROBLEM

5.1. Sayısal Veriler



Şekil 1. Toplama/ Dağıtım ve iş istasyonları

Yukarıdaki hipotetik sistemde; 1,3,7 toplama istasyonları, 5 ve 9 ise dağıtım istasyonlarıdır. 2, 4, 6 ve 8 ise iş istasyonlarını göstermektedir. Yolların yanındaki ve altındaki değerler, birim uzunluk cinsinden akış yol uzunluklarını (d_{ij}) belirtmektedir. Uygulamada 3 dönemlik ($t=3$) zaman süreci ve bir OYA dikkate alınmıştır.

Tablo 1. Dönemlere göre malzeme akış matrisi

		Dağıtım İstasyonları					
		1. Dönem		2. Dönem		3. Dönem	
		5	9	5	9	5	9
Toplama istasyon	1	20	-	20	10	16	8
	3	40	-	25	15	20	12
	7	30	-	15	15	24	-

Talep verileri, zamana bağımlı olarak değişmektedir. $t = 1,2,3$ dönemlerinde sırasıyla düşük, yüksek ve orta talep seviyelerinde bulunmaktadır. Dönemlere göre talebe bağımlı verilen malzeme akış matrisine bakıldığında (Tablo 1), 1. dönemde talep düşük seviyededir. Talebin düşük olması nedeniyle, yolların maliyetine katlanmamak için 1., 3. ve 7. toplama istasyonlarından 9. dağıtım istasyonuna malzeme akışı oluşmamaktadır. 2. dönemde talep yüksek seviyede seyretmektedir. Talebin artması nedeniyle artan yük sayıları nedeniyle 1., 3. ve 7. toplama istasyonlarından 9. dağıtım istasyonuna da malzeme akışı gerçekleşmektedir. 3. dönemde talebin orta seviyede olduğu gözlenmektedir. Bu seviyedeki malzeme akış yoğunlukları, 2. döneme göre yaklaşık %20 azalmaktadır. Azalan malzeme akışı nedeniyle, 7. toplama istasyonundan 9. dağıtım istasyonuna yük akışı bulunmamaktadır.

Hipotetik sistem için, l toplama istasyonundan m dağıtım istasyonuna OYA'nın çağırılma sıklıkları dönemlere göre aşağıdaki tabloda verilmektedir.

Tablo 2. Dönemlere göre çağırılma sıklıkları

		Dağıtım İstasyonları					
		1. Dönem		2. Dönem		3. Dönem	
		5	9	5	9	5	9
Toplama istasyon	1	2	-	2	1	2	3
	3	4	-	3	2	2	1
	7	3	-	2	2	6	-

l toplama istasyonundan, m dağıtım istasyonuna giden yolların değişken maliyetleri "para birimi/yük sayısı-br.uzunluk" cinsinden dönemler itibariyle Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Dönemlere göre değişken maliyet matrisi

		Dağıtım İstasyonları					
		1. Dönem		2. Dönem		3. Dönem	
		5	9	5	9	5	9
Toplama istasyon	1	1	-	2	2	3	3
	3	1	-	2	2	3	3
	7	1	-	2	2	3	-

l toplama istasyonundan m dağıtım istasyonuna giden rotada bulunan $(i-j)$ yollarının sabit maliyetleri para birimi cinsinden Tablo 4'de verilmektedir. Maliyetler, daha genel ve daha esnek ifade edebilmek için para birimi olarak alınmaktadır.

Tablo 4. $(i-j)$ yollarına göre sabit maliyetler

(i,j) Yolları	Sabit maliyetler	(i,j) Yolları	Sabit maliyetler	(i,j) Yolları	Sabit maliyetler
1-2	420	6-3	460	5-6	400
2-1	420	3-6	460	6-5	400
2-3	520	7-4	850	8-9	450
3-2	520	4-7	850	9-8	450
1-4	540	7-8	950	5-2	500
4-1	540	8-7	950	2-5	500
4-5	330	8-5	300	6-9	900
5-4	330	5-8	300	9-6	900

5.2. Çözüm

Problem, bölüm 4.4'de anlatılan karışık tamsayı doğrusal programlama modeli ile formüle edilmiş ve GAMS programı kullanılarak OSL çözücüsü ile çözülmüştür.

Model çözümünde GAMS programının kullanılma nedeni, büyük ve karmaşık problemlerin modellenmesinin kolay olması ve kurulan model üzerinde problem girdilerinin kolayca değiştirilebilmesidir. Bu sayede her bir kısıt için oldukça fazla sayıda satır yazılmasına gerek kalmamakta ve çok daha kısa sürede problem modellenmektedir.

Örnek problem, GAMS programı ile çözüldüğünde şu sonuçlar elde edilmiştir;
Amaç fonksiyon değeri = 141.160 para birimi.

Tablo 5. Örnek problemin çözüm sonuçları (yolların akış yönleri)

Zijt			Xijmt		
Z121 =1	Z122 =1	Z123 =1	X12151=1	X12152=1	X12153=1
Z231 =1	Z232 =1	Z253 =1	X25151=1	X12192=1	X12193=1
Z251 =1	Z252 =1	Z323 =1	X36351=1	X25152=1	X25153=1
Z361 =1	Z362 =1	Z413 =1	X65351=1	X25192=1	X25193=1
Z411 =1	Z412 =1	Z473 =1	X78751=1	X36352=1	X25353=1
Z471 =1	Z452 =1	Z543 =1	X85751=1	X36392=1	X25393=1
Z541 =1	Z582 =1	Z563 =1		X45752=1	X32353=1
Z651 =1	Z652 =1	Z633 =1		X45792=1	X32393=1
Z781 =1	Z742 =1	Z693 =1		X58192=1	X56193=1
Z851 =1	Z872 =1	Z783 =1		X58792=1	X56393=1
Z891 =1	Z892 =1	Z853 =1		X58392=1	X69193=1
Z961 =1	Z962 =1	Z983 =1		X65352=1	X69393=1
				X65392=1	X78753=1
				X74752=1	X85753=1
				X74792=1	
				X89192=1	
				X89392=1	
				X89792=1	

Tablo 6. Örnek problemin çözüm sonuçları (yolların uzunluğu ve terminal yerleşim seçeneği)

Ylmt ve Ajt		
Y151 = 45	Y152 = 45	Y153 = 45
Y351 = 75	Y192 = 140	Y193 = 145
Y751 = 65	Y792 = 165	Y353 = 85
	Y352 = 75	Y393 = 185
	Y392 = 170	Y753 = 65
	Y752 = 70	
A51 =1	A52 =1	A53 =1

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Malzeme taşınması OYA ile gerçekleştiğinde aracın takip ettiği yolun bulunması ekonomik bir tasarıma ulaşılması açısından kritiktir. Bu çalışma, günümüz teknolojisinin dinamik yapısına uyması açısından değişken talep ortamında buna bağlı olarak değişen malzeme akış yoğunluklarını ve OYA çağırma sıklıklarını dikkate almayı hedeflemektedir. Bir diğer önemli amaç ise, taşıma esnasında kullanılan yolların sabit ve değişken maliyetlerini göz önünde bulundurarak minimum maliyetle en kısa yolu bulan ekonomik bir tasarıma ve terminal bazlı optimal akış yol tasarımına ulaşmaktır.

Bu çalışmada elde edilen en önemli sonuçlar şunlardır: ⁽¹⁾ Toplama ve dağıtım istasyonlarından minimum maliyetli ve çağırılma sıklıklarına cevap verecek istasyon OYA terminali olarak belirlenmektedir. ⁽²⁾ Değişen talep, buna bağlı değişen malzeme akışına ve maliyetlere göre her dönemde optimal akış yol düzenlemesinin, yol uzunluğunun ve terminal yerleşim noktalarının değiştiği gözlenmiştir.

Önerilen model ile literatüre yapılan en büyük katkı bu tip problemler için ilk defa çok dönemli modelleme bakış açısının kazandırılmasıdır. Bunun yanında dinamik ortamda terminal bazlı optimal akış yolu ilk defa bulunmaya çalışılmaktadır.

Modelin performansı test aşamasındadır. Değişik boyutlarda test problemleri üretilerek modelin etkinliği araştırılmaktadır. Ancak çalışmada verilen örnek problemin boyutu literatürdeki bu tip çalışmalar incelendiğinde yeterli bir boyuttur.

Gelecek çalışmalarda T/D istasyonlarının sayısının artırılması ve sistemde birden fazla OYA olması durumu incelenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Castlebarry, G. A., "The AGV handbook: a handbook for the selection of automated guided vehicle", Braun Brunfield, Inc., Ann Arbor, Michigan., 1991.
- [2] Gaskins, R.J. ve Tanchoco, J.M.A., "Flow path design for automatic guided vehicle systems", I. J. of Prod. Res., 25, 5, 667-676, 1987.
- [3] Gaskins, R.J., Tanchoco, J.M.A. Ve Taghabone, E., "Virtual flow paths for free ranging AGVs", I. J. of Prod.Res., 27, 1, 91-100, 1989.
- [4] Kaspi, M. ve Tanchoco, J.M.A., "Optimal flow path design for uni-directional AGV systems", I. J. of Prod. Res., 28, 6, 1023-1030, 1990.
- [5] Kim, K.K. ve Tanchoco, J.M.A., "Economical design of a material flow path", I. J. of Prod. Res., 31, 6, 1387-1467, 1993.
- [6] Kouvelis, P., Gutherrez, G.J. Ve Chian W.C., "Heuristic unidirectional flow path design for an AGV", I. J. of Prod. Res., 30, 6, 1327-1351, 1992.
- [7] Sinriech, D. ve Tanchoco, J.M.A., "Intersection graph method for AGV flow path design", I. J. of Prod. Res., 29, 9, 1725-1732, 1991.
- [8] Goetz, W.G Ve Egbelu, P.J., "Guide path design and location of load pick-up drop-off points for an AGVs", I. J. of Prod. Res., 28, 5, 927-944, 1990.
- [9] Riopel, D. Ve Langevin, A., "Optimizing the location of material transfer stations within layout analysis", European J. of Oper. Res., 22, 2, 169-176, 1991.
- [10] Egbelu, P.J., "Positioning of automated guided vehicles in a loop layout to improve response time", European J. of Oper. Res., 7, 1, 32-44, 1993.
- [11] Sinriech, D. Ve Tanchoco, J.M.A., "Impact of empty vehicle flow on performance of single loop AGV systems", I. J. of Prod. Res., 30, 10, 2237-2252, 1992.
- [12] Sinriech, D. Ve Tanchoco, J.M.A., "Solution methods for the mathematical model of single-loop AGV systems", I. J. of Prod. Res., 31, 3, 705-725, 1993.
- [13] Sun, X.-C.ve Tchernev, N., "Optimal flow path design for uni-directional AGV systems", I. J. of Prod. Res., 34, 10, 2827-2852, 1996.
- [14] Egbelu, P.J. ve Tanchoco, J.M.A., "Potentials for bi-directional guidepaths for automatic guided vehicle based systems", I. J. of Prod. Res., 24, 5, 1075-1097, 1986.
- [15] Özden, M., A simulation study of multiple-load-carrying automated guided vehicles in a flexible manufacturing system, IJ of Prod. Res.,26, 8, 1353-1366, 1988.
- [16] Majety, S.V. ve Wang, M.H., "Terminal location and guide path design in terminal based OYA systems", I. J. of Prod. Res., 33, 7, 1925-1938, 1995.
- [17] Guzman, M.C., Prabhu, N. ve Tanchoco, J.M.A., "Complexity of the AGV shortest path and single-loop guide path layout problems", I.J. of Prod. Res., 35, 8, 2083-2092, 1997.
- [18] Rajotia, S., Shanker, K. ve Batras, J.L., "An heuristic configuring a mixed uni/bidirectional flow path for an AGVs", I.J. of Prod. Res., 36, 4, 1783-1792, 1998.
- [19] HU, C. ve EGBELU P.J., "A frame for the selection of idle vehicle home locations in an automated guided vehicle system", I.J. of Prod. Res., 38, 3, 543-562, 2000.
- [20] Arifin, R. Ve Egbelu, P.J., "Determination of vehicle requirements in automated guided vehicle systems", Prod. Planning Control, 11, 3, 258-270, 2000.
- [21] Asef-Vaziri, A., Dessouky, M. Ve Sriskandrajah, C., "A loop material flow system design for AGV", I. J. of Flexible. Manufacturing Systems, 13, 33-48, 2001.
- [22] Kaspi, M., Kesselman, U. ve Tanchoco, J.M.A., "Optimal solution for the flow path design problem of a balanced unidirectional AGV system", I.J. of Prod. Res., 40, 2, 389-401, 2002.

- [23] Ko, K.C. and Egbelu, P.J., "Unidirectional AGV guidepath network design: a heuristic algorithm", I.J. of Prod. Res., 41, 10, 2325–2343, 2003.
- [24] Egbelu, P.J. ve Tanchoco, J.M.A., "Characterization of automatic guided vehicle dispatching rules", I. J. of Prod. Res., 22, 3, 359-374, 1984.