



OTOMATİK YÖNLENDİRMELİ ARAÇ (OYA) SİSTEMLERİ VE DEPO BAKIMINDA ROTALAMA PROBLEMİ

FatihYİĞİT*, Ertan GÜNER**

*901. Hava Aracı Ana Depo ve Fabrika Komutanlığı, Ankara

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

Geliş Tarihi : 29.03.2002

ÖZET

Fabrika otomasyonunun tam otomasyona geçiş aşamasında malzeme taşıma sistemleri oldukça önem taşır. Malzeme taşıma sistemleri arasında en fazla teknolojik gelişmeler otomatik yönlendirmeli araçlar (OYA) üzerinde yoğunlaşmıştır. OYA'lar birim yükü dışarıdan gelen rehber sinyaller vasıtasıyla bir yerden başka bir yere taşıyan sürücüsüz araçlardır. Bu araçlar sahip oldukları esneklik özellikleri ile günümüzde hizmet sektöründen üretim sektörüne bir çok alanda kullanılabilir. Bu çalışmada, hava araçlarına ait parçaların (AH-1W model helikopterin) bakım, onarım ve yenileştirme işlemlerinin yapıldığı depo bakım atölyelerinde (aviyonik atölyeleri) parçaların etkin ve hızlı bir şekilde dağıtılıp toplanması işlemlerinde OYA'ların kullanımı ele alınarak OYA tasarımı ve OYA'ların rotalanması problemi incelenmiştir. OYA'ların rotalanması problemi gezgin satıcı problemi ile benzer bir problemdir. Bu problem 0-1 tamsayılı programlama modeli olarak modellenmiş ve LINGO paket programı kullanılarak çözülmüştür.

Anahtar Kelimeler : OYA, Depo bakımı, OYA sistem tasarımı, En kısa yol

AUTOMATED GUIDED VEHICLE (AGV) SYSTEMS AND ROUTING PROBLEM IN DEPOT MAINTENANCE

ABSTRACT

When full automation is realized in factory automation, material handing systems (MHS) have a fairly important role. The most technological development among MHS's has been concentrated on Automated Guided Vehicle (AGV) systems. An AGV is an unmanned vehicle capable of following an external guidance signal to deliver a unit load from destination to destination. Nowadays, there are a lot of applications lie along service sector to industrial sector because of flexibilities of AGVs. In this study, these subjects have been applied on the Army Aviation Depot Maintenance where aircraft's and aircraft parts can be maintained and overhauled is an application fields of AGV, requiring AGV numbers and AGV routing. The AGV routing problem and traveling sales person (TSP) problems are identical problems; where the AGV routing problem is formulated as a zero one integer programming. Examples are presented to demonstrate the approach and LINGO has been used to solve the example.

Key Words : AGV, Depot maintenance, AGV system design, Shortest path

1. GİRİŞ

Yüksek teknolojiye sahip fabrikaların geniş çeşitlilikte, yüksek kalitede ürünler üretmesi ve

merkezi bir bilgisayardan gelen bir sinyal ile bir üründen başka bir ürünün üretimine geçilmesi endüstrideki son dönem gelişmeleridir. Şirketler arası rekabette otomasyon önemli bir rekabet

stratejisi olup verimlilik ve esnekliğin artırılması, kalitenin yükseltilmesi, maliyetlerin ve teslim tarihlerinin azaltılması ve müşteri servisi imkanlarının geliştirilmesi otomasyon ile daha kolaydır.

Tam otomasyona geçiş aşamasında malzeme taşıma sistemleri (MTS) oldukça önem taşır. Ürünlerin fabrika içerisinde taşınması ve depolanması işlemleri için önemli bir zaman harcanmaktadır. Taşıma ve depolama işlemleri toplam üretim maliyetinin % 10-80'i arasında bir yer tutar. Dolayısıyla toplam üretim maliyetinin azaltılması konusunda MTS'leri potansiyel elemandır. Malzeme taşıma sistemleri içinde ise en fazla teknolojik gelişmeler otomatik yönlendirmeli araçlar (OYA) üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Otomatik yönlendirmeli araçlar, birim yükü dışarıdan gelen rehber bir sinyal vasıtasıyla bir noktadan diğerine taşıyan sürücüsüz araçlar olup, yüksek esneklik, zeka ve çok yönlü kullanım özelliğine sahip MTS sınıfı elemanlardır. OYA'lar uygun malzemenin uygun yerde ve zamanında bulunmasına yardım eden, yani taşımanın otomatikleştirilmesinde kullanılan en önemli araçlar olmuştur. Hacimsel esnekliği, çizelge esnekliği, yazılım esnekliği, telafi esnekliği, donanım esnekliği, gerçek zaman kontrolü, iş gücü maliyetlerini azaltma, insana yaraşır iş çevresi imkanları oluşturma, kalite, ürüne zarar vermeme gibi bir çok faydası sebebiyle fabrikalardan hastahanelere, posta servislerine kadar pek çok alanda kullanılmaktadır. OYA sistemlerinin endüstrideki kullanım alanları, geleneksel kullanımdan, bilgisayar kontrollü montaj sistemleri ile robotik arayüz oluşturmaya kadar gelişmiştir.

Modern imalat ortamlarında artan ilgi gören OYA'lar değişik taleplere karşılık verebilmek için son yıllarda daha karmaşık ve esnek hale gelmiş, sistem tasarımı, rotalama ve çizelgeleme ihtiyaçları da eş zamanlı olarak artmıştır. King ve Wilson (1991), OYA üzerine yapılan çalışmaları sistem tasarımı, rotalama ve çizelgeleme ve sebep-etki olmak üzere üç kısma ayırmıştır.

Sistem tasarımı üzerine yapılan çalışmalar genel olarak gerekli OYA'ların sayısı, kullanılacak OYA tipi ve OYA'ların hareket edeceği çevrenin tasarımı ve tespiti üzerinedir. Gerekli araç sayısının hesaplanması üzerine ilk çalışma Maxwell (1981), Maxwell et al., (1982) tarafından yapılmıştır. Sistem tasarımı üzerine sırasıyla Kuhn and Schmidt (1985), Egbelu (1987), Tanchoco et al., (1987), Majety and Wang, (1995), Xie-Ming (1995), Hwang et al., (1996), Hsieh and Sha (1997), Rajotia et al., (1998a) çeşitli çalışmalar yapmışlardır.

Sebebet-efki üzerine yapılan çalışmalar, OYA sistemlerinin ekonomik olarak ne şekilde uygulanacağı, uygulama sonunda ne gibi sonuçlarla karşılaşılacağını, uygulanan sistem üzerine ne gibi etkiler yapacağını önceden belirleme ile ilgili çalışmalardır. Bu konuda, Dahlstrom (1981), Muller (1981), Burton (1985), Clavette (1986), Knill (1988), Gourgand et al., (1995), Ting and Tanchoco, (1997), çeşitli çalışmalar yapmışlardır.

Rotalama ve çizelgeleme üzerine yapılan çalışmalar; araçların malzeme taşıma esnasında gidecekleri yolun belirlenmesi, araçlara atama yapılması, atanacak aracın seçilmesi, istasyonlara hangi araçların geleceğinin belirlenmesi gibi konuları kapsamaktadır. Psaraftis (1980), tek araçlı durumlar için bir dinamik programlama çözüm metodu geliştirmiştir.

Bir OYA sistemi diğer malzeme taşıma sistemlerinde olduğu gibi malzemenin hareketiyle ilgilidir. Araç sisteminin etkili olması mümkün olduğu kadar malzeme akışının etkili olmasına bağlıdır. Bu amacı karşılamak için Maxwell and Muckstadt (1982), malzeme taşımayı tatmin edecek şekilde araç rotasını ve gerekli araç sayısını minimum yapacak eş zamanlı bir metot geliştirmiştir.

OYA rotalama problemi bir çok özelliği ile araç rotalama problemine benzer. Bodin et al., (1983), çeşitli rotalama problemlerini içeren araç rotalama problemini incelemişler ve bir dizi metot tavsiye etmişlerdir. Bu metotlar; gezgin satıcı, çinli postacı problemi, okul otobüsü rotalama, cadde süpürme ve telefon konuşmaları aktarımı problemlerini içermektedir. Burada telefon konuşmalarını aktarma problemi, OYA rotalama problemi ile ilişkilidir. Çünkü insanların konuşmalarının belli yerlere aktarımının sağlanması, OYA'ların malzemeleri taşımasıyla benzerdir.

Egbelu and Tanchoco (1984), OYA dağıtım kurallarını iki sınıfa ayırmışlardır: İş merkezli atama, ve araç atama. İş merkezli atamada taşınacak tek bir yük bulunduğunda aynı anda boş olan en yakın araca atama yapılmaktadır. Araç atamada ise aynı anda taşınacak birden fazla yük bulunduğunda boş araç yükün bulunduğu en yakın istasyona atanır. Blair (1985), durağan durumlarda OYA rotalama problemlerinin iki tip modellenmesini sunmuştur. Blair et al., (1987), çalışmalarında, araç rotalarını belirlemek için tamsayı programlama tekniklerini kullanmışlardır. Yaklaşımlarının amacı maksimum mesafede bir aracın yolculuğunu minimize yapacak bir araç rotalama çizelgesi geliştirmektir. Hodgson et al., (1987), OYA rotalama için bir kontrol stratejisi geliştirmiştir. OYA rotalama problemi bir Markov

karar prosesi olarak analiz edilmiştir. Solomon (1995), zaman kısıtı altında araç rotalama ve çizelgelemesi üzerine değişik algoritmalar sunmuştur.

Rehber Yol Yerleşim (RYY) tasarımı, bir OYA sisteminin etkinliği için önemli bir tasarım değişikliğidir. Rehber yol yerleşiminin, sistem işletim performansı üzerinde doğrudan bir etkisi vardır. Gaskins and Tanchoco (1987), RYY problemini 0-1 tamsayılı doğrusal programlama problemi olarak ilk kez formüle etmişlerdir. Yaptıkları formülasyonun amacı toplam taşıma mesafesini minimum yapmaktır. Kaspi and Tanchoco (1990), RYY problemlerine alternatif bir formülasyon sundular. Problem, Gaskins and Tanchoco (1987), tarafından yapılan 0-1 tamsayılı doğrusal programlama problemi gibi formüle edilmiş, dal-sınır tekniği ile çözülmüştür. Tunalı (1995), esnek imalat sistemlerinde OYA çizelgeleme kuralları üzerine bir çalışma yapmıştır. Langevin et al., (1996), esnek imalat sistemlerinde dinamik programlama temeline dayalı bir algoritma kurarak bütün görevlerin tamamlanması esnasında harcanan zamanı minimum yapacak bir rota geliştirmişler, değişik sonuçları değerlendirmişlerdir. Malzeme taşıma sistemlerinde OYA'ların çizelgenmesi problemleriyle ilgili olarak bir başka çalışma Bing (1998), tarafından yapılmıştır. Rajotia et al., (1998b), esnek imalat sistemlerinde rota tespitinde statik ve dinamik yaklaşımları incelemişlerdir. Çok yönlü bir araç akışında en hızlı olacak araç rotasının bulunmasında Dijkstra algoritmasını kullanılmış, sistem performansının değerlendirilmesi için (araç bloke olma zamanını azaltma ve sistem potansiyel çıktılarını geliştirme) bir simülasyon deneyi yapılmıştır.

Havacılık depo bakımında OYA'ların kullanılmasına yönelik olarak bir çalışma literatürde bulunmamaktadır. Oysa helikopterin seyir cihazlarının, haberleşme cihazlarının, kendini savunma ve koruma cihazlarının, kontrol cihazlarının, uyarı cihazlarının, saldırı teçhizatlarının kontrolünü sağlayan cihazlardan oluşan ve oldukça pahalı olan aviyonik cihazlarının onarım veya revizyon amacıyla geldiği aviyonik atölyelerinde etkin ve hızlı biçimde taşınması, çok pahalı olan bu parçaların zarar görmemesi oldukça önemlidir. Bu noktada, aviyonik cihazların aviyonik atölyelerine OYA'lar kullanılarak en kısa yoldan taşınması problemiyle karşılaşılmaktadır. Bu çalışmada, örnek olarak AH-1W Süper Kobra helikopteri ve bu helikoptere ait parçalar dikkate alınmış, OYA sistem tasarımı (gerekli OYA sayısı, OYA sistem kategorisi, kontrol sistemi...vb.) ve OYA rotalanması gerçekleştirilmiştir.

2. DEPO BAKIMINDA OYA SİSTEMLERİ

Büyük bir kısmı insan gücüne bağlı olarak çalışan ve taşımanın hiç de etkin ve kolay yapılmadığı havacılık depo bakım yerlerinde genellikle yapıca büyük, karmaşık ve pahalı sistemlerden oluşan araçların (uçak, tank, gemi, helikopter, obüs, uçaksavar, vb.) ve bunlara ait parçaların yenileştirme, modernizasyon, genel revizyon, büyük onarımlar, komple parça değişimleri, montaj, ayar ve tadilat işlemleri gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada daha önceden ele alınmamış havacılık depo bakım atölyelerinde OYA'ların kullanımı ele alınmıştır. Bu kapsamda OYA tasarımı ve rotalama problemi incelenmiştir.

Karmaşık ve pahalı sistemlerden oluşan hava aracı ve parçalarının depo bakımına revizyon ve onarım amacıyla gelmesinden itibaren, yapılacak işleme göre en alt seviyedeki parçasına kadar sökülerek revizyon ve onarım işlemleri gerçekleştirilir ve parçalar sonra tekrar monte edilerek araç hizmete hazır hale getirilir.

Askeri sektör içerisinde OYA uygulamalarına pek rastlanılmamaktadır. Bilinen tek uygulama yeri, kara havacılık depo bakımıyla eşdeğer bir faaliyet gösteren ABD'deki CCAD (Corpus Chirsty Army Depot)'dir. Oysa, havacılık depo bakım yerlerinde yapılacak OYA sistem uygulamaları büyük faydalar sağlayacaktır. Çünkü revizyon veya onarım amacıyla depo bakım atölyelerine gelen bir araç veya sistem aşağıda örnekleri verilen bir çok olumsuz durumla karşı karşıya kalabilmektedir:

Taşınan parçalar çok pahalı ve hassas malzemeler olabilmektedir. Bu tür parçaların manuel olarak taşınması durumunda zarar görme olasılığı çok yüksektir. Özellikleri dolayısıyla OYA'lar taşıma esnasında olabilecek zararları tamamen ortadan kaldırılabirler. Ayrıca parçaların bölümlere dağıtılması ve toplanması esnasında geçen zaman uzundur ve maliyeti yüksektir. OYA'ların çizelge esnekliği, telafi esnekliği, kalite, işgücü maliyeti ve gerçek zaman kontrolü özellikleri ile geçen zamanı azaltmak ve taşıma maliyetini düşürmek mümkündür.

Diğer taraftan, gelen siparişlerin, taşınacak parça boyutlarının ve siparişlerin takip edeceği alt rotaların farklı olması, diğer MTS'lerinin depo bakımında kullanılmasını oldukça güçleştirmektedir. Bu olumsuz durumlar OYA'ların donanım ve yazılım esnekliği, çizelge esnekliği, hacimsel esnekliği, araç esnekliği, alan hacim koruması özellikleriyle ortadan kaldırılabir.

Havacılık depo bakımında OYA'ların kullanılması ile parçaların bölümlere hızlı ve etkin biçimde dağıtılması ve toplanması sağlanacaktır. İşte bu noktada yapılan faaliyetler bakımından kesikli veya sürekli üretim sistemlerine benzemeyen depo bakım faaliyetlerinde en kısa yolun bulunması (yani OYA'ların rotalanması) problemiyle karşılaşmıştır. En kısa akış yolunun belirlenmesi problemi, gezgin satıcı problemi (GSP) ile aynı tip problemdir. Bu nedenle, hava araçları depo bakım atölyelerinde örnek olarak ele aldığımız rotalama problemi, gezgin satıcı problemi yaklaşımı kullanılarak çözümlenmiştir. Problem, 0-1 tamsayı programlama kullanılarak modellenmiş, LINGO paket programı kullanılarak çözülmüştür.

Akış yol yerleşim tasarımı da (AYT), bir OYA sisteminin işletim etkinliği için önemli bir tasarım değişkeni olup, sistem işletim performansı üzerinde direkt bir etkisi vardır. Bu nedenle çalışmada ayrıca, OYA sistem tasarımı yapılarak gerekli OYA sayısı, OYA sistem kategorisi, kontrol sistemi...vb. özellikler belirlenmiştir.

3. AKIŞ YOL TASARIMI VE GEZİN SATICI PROBLEMİ

Akış yol yerleşim tasarımı (AYT), bir OYA sisteminin işletim etkinliği için önemli bir tasarım değişkenidir. AYT sistem işletim performansı üzerinde direkt bir etkisi vardır (Moshe et al., 1990).

OYA'lar büyük veya küçük birim yükleri bir yerden başka bir yere taşımakta kullanılan insansız araçlardır. Bu araçlar rehber yollu veya rehber yolsuz şekilde işletilir ve bir bilgisayarla kontrol edilir. Sistem denetleyicileri bir araçtan fazla aracın sistemde bulunduğu zamanlarda trafik düzeninden sorumludur. Araçlara ve denetleyicilere ek olarak OYA'nın 3 üncü bir ana bileşeni akış yoludur (AY). AY boyunca trafiğin yönü tek yönlü yada iki yönlü olarak tanımlanabilir.

Tek yönlü akış sonuçları verilen bir bölünmüş AY'da yalnızca aracın tek yönde yolculuğuyla sınırlandırılabilir. Diğer yandan iki yönlü akışın yolculuk zamanında azalma avantajına sahiptir. İki yönlü akışın izin verildiği durumlarda tek yönlü yolculukta bir araç bir noktadan diğerine daha büyük bir mesafeyi katederek gider. Diğer yandan tek yönlü akış daha az kontrol gerektirir ve daha ekonomiktir. İster tek yönlü ister iki yönlü olsun her ikisinde de amaç toplam yüklü yolculuğun minimize edilmesidir (Kaspi et al., 1990; Sun and Tchernev, 1996).

Bir AYT probleminde, problem düğüm-ark şebekesi şeklinde formüle edilir. Düğümler, Doldurma/Boşaltma istasyonları (D&B) ve yol kesişim noktaları olarak formüle edilir. Bu formülasyon için amaç fonksiyonu toplam taşıma mesafesinin enazlanmasıdır.

Problemde iki tür kısıt vardır. Biri, düğüme giren arkın aynı düğümden çıkmasını garanti eden birleştiricilik kısıtı, diğeri her düğüme diğer bir düğümden erişilebileceğini garanti eden erişilebilirlik kısıtıdır.

Akış yolunun minimize edilmesini sağlayan bilinen problem türü gezgin satıcı problemi (GSP)'dir. GSP, bir noktadan başlayarak çeşitli noktalara uğrayan, aynı yoldan ikinci bir kez geçmemek kaydıyla başlangıç noktasına en kısa yoldan dönüşmesini sağlayan bir şebeke problemidir. Bu problem tanımında da belirtildiği gibi bir şebekedeki tüm noktalara en kısa yoldan ulaşılması, aynı yoldan ikinci bir kez geçilmemesinin şart koşulduğu problemlere uygulanır. Problem 0-1 tamsayı programlama modelini içerir. GSP probleminde şu bilgiler bulunmalıdır: Bölümlerin bir yerleşimi, ara yollar, yükleme ve boşaltma istasyonları, bu istasyonların yerleşimi ve aralarındaki uzaklıklar (Ahuja et al., 1993; Winston, 1993).

Bu bilgilere göre düğüm-ark şebekesi oluşturulur. Düğümler, köşeleri, kesişim noktalarını, D&B istasyonlarını temsil eder. Arklar ise mümkün koridorlar boyunca yolculuk yönleri yerine kullanılır. Bunları tanımlamak için her düğüme bir numara atanır. Bir ark X_{ij} gibi bir değişkenle tanımlanır. Örneğin düğüm 1'den düğüm 2'ye olan ark X_{12} olarak belirtilir. Bu değişkenlerin değeri 0 veya 1 dir. Şayet $X_{ij} = 1$ ise o zaman bu ark son akış yol tasarımına dahildir. Diğer durumda dahil değildir.

C_{ij} , $i \neq j$ için i atölyesinden j atölyesine mesafeyi ifade eder ve $C_{ii} = M$ olması bizim i atölyesinden ayrılar ayrılmaz i atölyesine geri dönmeyeceğimizi garanti eder.

Amaç fonksiyonu ;

$$\min Z = \sum_i \sum_j C_{ij} X_{ij} \quad (1)$$

bir turdaki arkların toplam uzunluğunu verir. Kısıtlarda her bir atölyeye bir defa uğranmasını ;

$$\sum_{i=1}^{i=N} X_{ij} = 1 \quad (2)$$

kısıtı sağlar. Her atölyeden bir defa ayrılmayı ise ;

$$\sum_{j=1}^{j=N} X_{ij} = 1 \quad (3)$$

kısıtı sağlar.

$$U_i - U_j + NX_{ij} \leq N - 1 \quad (4)$$

kısıtı ise formülün anahtarı olup alt turları ortadan kaldırarak tam bir tur oluşmasını sağlar.

Buna göre GSP problemi aşağıdaki şekilde modellenir (Winston, 1993):

Amaç fonksiyonu :

$$\min Z = \sum_i \sum_j C_{ij} X_{ij} \quad (5)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{i=1}^{i=N} X_{ij} = 1 \quad (j = 1, 2, \dots, N) \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^{j=N} X_{ij} = 1 \quad (i = 1, 2, \dots, N) \quad (7)$$

$$U_i - U_j + NX_{ij} \leq N - 1$$

$$(i = j \text{ için, } i = 2, 3, \dots, N; j = 2, 3, \dots, N) \quad (8)$$

Tüm $X_{ij} = 0$ veya 1, tüm $U_j \geq 0$

4. UYGULAMA

Askeri sektör, kar amacı gözetmeden varolan bir kamu sektörü olup birincil amacı kamu için servis sağlamaktır. Bu amaç askeri sektör bünyesinde, silah araç ve gereçlerinin her zaman göreve hazır biçimde tutulması doğrultusunda birlik, sahra ve depo bakımlarının yapılmasıyla sağlanır. Havacılık birlik bakımı, bakım ile ilgili görevleri genellikle hava aracı ve yer destek teçhizatı üzerinde yapılması gereken onarımlar, ayarlar, komple parça değiştirme, programlı bakımlar, arıza teşhisi, temizleme, yakıt-yağ mühimmat ikmal gibi faaliyetleri yürüterek destekledikleri hava araçlarının azami sayıda tam göreve hazır bulunmaktan sorumludur. Havacılık sahra bakımı, desteklediği birliklerin bütün hava araçlarının, yer destek teçhizatı ve alt sistemlerinin yetki çizelgelerinde belirlenen onarım, kısmi revizyon ve ayarlarını yapar. Yetkisine giren bakım faaliyetleri, komple modül, malzeme ve parçaların

etkin bir şekilde özel ihtisas sahibi personel tarafından onarım ve değiştirilmesi sağlar. Havacılık depo bakımı, hava araçlarının ve teçhizatlarının yenileştirme, genel revizyon, ast kademe yetkilerine girmeyen onarımlar, komple parça değişimleri, montaj, yedek parça ve özel takım imali, ayarlar ve tadilat yapar (Anon., 1997). Havacılık depo bakım yerleri kompleks ve pahalı sistemlerden oluşan, genellikle yapıcı büyük ve pahalı araç veya sistemlerin ve bunlara ait alt sistem ve parçaların yenileştirme, genel revizyon, büyük onarımlar, komple parça değişimleri, montaj, ayar ve tadilat amacıyla geldiği, yedek parça ve takım imal edildiği yerlerdir.

Örnek problem olarak, depo bakımına yenileştirme amacıyla gelen bir AH-1W Süper Kobra helikopterine ait aviyonik cihazlarla ilgili parçaların revizyon ve onarım amacıyla aviyonik atölyelerine dağıtılması ve onarım/revizyon gördükten sonra toplanması ele alınmıştır.

AH-1W Süper Kobra helikopteri bir taaaruz helikopteri modeli olup, aviyonik cihazları sırasıyla şu elemanlardan oluşur:

Haberleşme sistem cihazları, seyrüsefer sistem cihazları, hava radar sistem cihazları, silah sistem cihazları, elektro optik sistemler, karşı tedbir sistemleri, bordo aletleri, kontrol ve uyarıcı cihazlar, kart onarımı ana elemanları.

Helikoptere ait bu aviyonik cihazlar sistem montaj atölyesinde söküldükten sonra yukarıda belirtilen atölyelere OYA vasıtasıyla en kısa rota izlenerek dağıtılacak, revizyon ve onarımı tamamlanan parçalar atölyelerden aynı rota izlenerek toplanıp, tekrar sistem montaj atölyesine getirilip montajı tamamlanacaktır.

Aviyonik Cihaz atölyelerinde bir dizi kriterin değerlendirilmesi, analizi ve bir seri manuel hesaplamadan sonra aşağıdaki OYA sistem tasarım sonuçlarına ulaşılmıştır (Hammond, 1986; Tanchoco et al., 1987; Castleberry, 1991; Hwang et al., 1996; Rajotia et al., 1998; Yiğit, 2002):

Sistem kategorisi olarak araçların uzaktan kontrol edildiği yani aracın otomatik yönlendirildiği kategori 2 seçilmiştir.

Depo bakımında kullanacağımız OYA'lar iş istasyonlarına onarılacak, yenileştirilecek, bakımı yapılacak parçaların getirilmesinde; onarılıp, yenileştirildikten sonra parçaların iş istasyonlarından alınarak ilgili yerlere taşınmasında kullanılacaktır. Burada arayüz, iş istasyonlarıdır.

Taşınacak ürünler hava araçlarına ait hassas, pahalı, onarılabilir, yenileştirilebilir, bakımı yapılabilir, değişik boyutlarda, kompleks yapıda parçalarlardır. Taşınan yüklerin iş istasyonlarına teslimi ve alımı esnasında faaliyetin özelliğine göre özel yaklaşımlar (yani manevralar) gerektireceği tespit edilmiştir.

Seçilecek araç tipinde aranan şartlar ise OYA'ların kullanılacağı depo bakım yerindeki kısımlara göre değiştiği tespit edilmiş ve aviyonik cihazlar atölyelerinde kullanılacak OYA'lara ait şu özelliklere karar verilmiştir:

Operasyon modu olarak "otomatik mod" seçilmiştir. Kullanılacak araçlarda konsol paneli alfanumerik klavye, dijital gösterge, anahtar ve indikatörden oluşacaktır. Tekerlekler % 10'luk eğimi tırmanacak tipte olacaktır. Ayrıca araç akülerinin şarjı zemin ile tekerlek arasında oluşacak temasla sağlanacağından tekerlekler bu özelliği yansıtacak şekilde olacaktır. Araçta kullanılacak anten sayısı 6 adettir. Bunlardan birisi aracı durdurma düzenini kontrol edecek, iki anten araç dümenini kontrol edecek, birisi araçla iletişimi sağlayacak ve diğer iki anten ise özel araç fonksiyonlarını yerine getirecektir. Antenlerin araç üzerindeki yerleşimi önemli değildir. Aracın ileri ve geri hareketi için iki adet sürüş (hareket) tekeri olacaktır. Bunun dışında araçta 4 adet boş tekerlek bulunacaktır. Bu tekerlekler araç üzerindeki yük ağırlığını sürüş tekerlekleriyle birlikte taşıyacaktır. Araçlara yükleme ve boşaltma manuel yapılacağından araçta palet ihtiyacı yoktur. Araçlara yükleme ve boşaltma manuel yapılacağından istasyonlarda araç pozisyonlama noktaları olacak olup, artı/eksi 0.076 metrelik bir toleransa izin verilecektir. Taşınacak yükler boyut olarak küçük ve sayı olarak fazladır. Hassas olan bu yüklerin taşınması için 0.5 kg-100 kg kapasiteli araçlar yeterlidir. Taşınacak birim yük sayısı bir defada 1-150 kalem arası olup bu yüklerin birden fazla araca paylaştırılması gerekmektedir. Çünkü hassas olan bu yüklerin istiflenmesi mümkün değildir.

Belirtilen kısıt tiplerinden sürücüsüz trenler en uygun araç olarak seçilmiştir.

Rehber yol olarak üç boyutlu rehber yol sistemi seçilmiştir. Aviyonik cihazlarla ilgili uygulamada rampalar en fazla % 10 eğime göre tasarlanmıştır. Kapılar ve asansörler, OYA kapı ve asansöre gelmeden önce açılacak, geçişini tamamladıktan sonra kapanacak şekilde bir tasarım oluşturulmuştur. Örnek uygulamada insanların güvenliğini tehlikeye düşürebilecek durumlarda insanları uyaracak, kazaları ve zararları önleyecek standart OYA güvenlik ekipmanları tasarlanmıştır. OYA'ların güç kaynağı olan aküler şarj sistemi otomatik olarak yapılacak şekilde tasarlanmıştır. OYA kontrol felsefesi olarak merkezi kontrol sistemi uygun

görölmüştür. OYA'larla sağlanacak iletişim türü olarak kızıl ötesi iletişim kullanılacaktır.

Uygulamada kullanılacak araç sayısı hesaplamalar sonucunda bir vardiyada 4 araç olarak bulunmuştur.

Depo bakımına gelen belli sınıftaki (aviyonik, motor, güç aktarma, motor aksesuar vb.) parçaların, bunların tümünün veya bir kısmının bölümlere dağıtılması veya tekrar revizyon-onarım işlemi gördükten sonra toplanması rotası farklıdır. Bu uygulamada, AH-1W Süper Kobra helikopterine ait aviyonik cihaz parçaları dikkate alınmıştır. Bu parçalar haberleşme sistem cihazları, seyrüsefer sistem cihazları, hava radar sistem cihazları, silah sistem cihazları, elektro optik sistemler, karşı tedbir sistemleri, bordo aletleri, kontrol ve uyarıcı cihazları ve kart onarım elemanlarından oluşur. Bu parçaların aviyonik atölyelerine dağıtılıp toplanması esnasında ortaya çıkan en kısa yolun (rotanın) belirlenmesi problemi, 0-1 tamsayı programlama modeli olarak modellenmiştir. Modelin kapalı gösterimi aşağıdadır:

$$\min Z = \sum_{i=1}^{i=9} \sum_{j=1}^{j=9} C_{ij} X_{ij} \quad (9)$$

Kısıtlar:

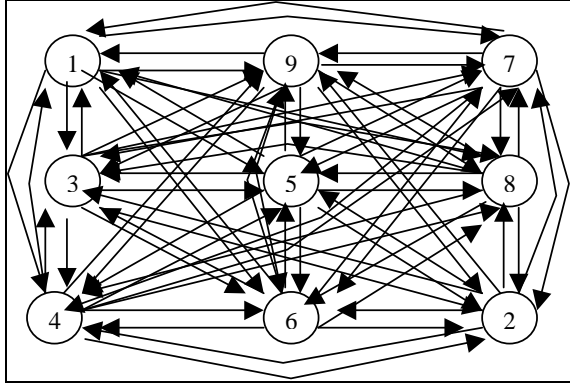
$$\sum_{i=1}^{i=9} X_{ij} = 1 \quad (j = 1, 2, \dots, 9) \quad (10)$$

$$\sum_{j=1}^{j=9} X_{ij} = 1 \quad (i = 1, 2, \dots, 9) \quad (11)$$

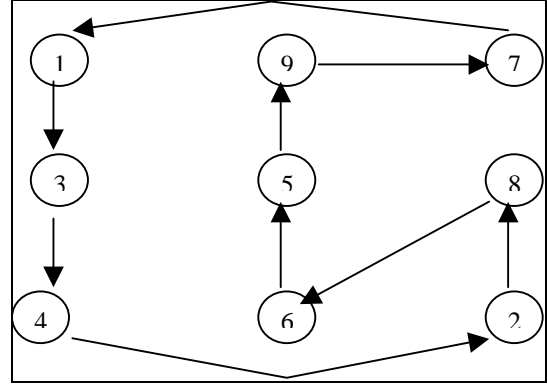
$$U_i - U_j + NX_{ij} \leq N - 1 \quad (i = j \text{ için}, i = 2, 3, \dots, 9, j = 2, 3, \dots, 9) \quad (12)$$

Tüm $X_{ij} = 0$ veya 1, tüm $U_j \geq 0$

Modelde gerekli olan Aviyonik cihaz atölyeleri arasındaki uzaklık değerleri Tablo 1'de verilirken, problemin şebeke gösterimi Şekil 1'de gösterilmektedir. Model LINGO paket programı kullanılarak çözülmüştür. Çözüm sonucuna göre, Depo Bakımında aviyonik cihaz atölyelerinde kullanılacak olan OYA'ların parçaların dağıtılıp toplanması esnasında kullanacağı en kısa yol 93 metre olarak bulunmuştur. Belirlenen en kısa yol sıra ile; haberleşme sistem cihazları-hava radar sistem cihazları-silah sistem cihazları-seyrüsefer sistem cihazları-kontrol ve uyarıcı cihazlar-karşı tedbir sistemleri-elektro optik sistemler-kart onarım-bordo aletleri-haberleşme sistem cihazları rotasını takip edecektir. Bu rota nümerik olarak 1-3-4-2-8-6-5-9-7-1 şeklinde de ifade edilebilir (Şekil 2).



Şekil 1. Aviyonik atölyeleri şebeke yerleşimi



Şekil 2. OYA için en kısa rota

Tablo 1. Atölyeler Arası Mesafe (m)

		1	2	3	4	5	6	7	8	9
		Haber	Seyrüs	Hava Rd.	Slh.Si	Elek.Op	Karşı Ted.	Bordo	Kont.	Kart On
1	Haber.	-	15	8	21	18	9	14	26	15
2	Seyrüs.	15	-	11	7	32	14	18	13	23
3	Hava Rd.	8	11	-	5	10	25	19	21	14
4	Slh sis.	21	7	5	-	6	4	16	17	21
5	Elk. Opt.	18	32	10	6	-	9	24	15	7
6	Karşı ted.	9	14	25	4	9	-	27	13	14
7	Bordo	14	18	19	16	24	27	-	19	17
8	Kontrol	26	13	21	17	15	13	19	-	36
9	Kart on..	15	23	14	21	7	14	17	36	-

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Kara Havacılık depo bakımında AH-1 W model helikopterin aviyonik parçalarının bakım onarım ve yenileştirme işlemlerinin yapıldığı atölyelerde OYA sistem tasarımı ve rotalama problemi ele alınmıştır. AH-1W model helikopteri bir taaruz helikopteri olup aviyonik parçalarının her biri uçuş emniyeti gerektiren hassas ve çok pahalı parçalardır. Bu parçaların manuel taşınması esnasında zarar görme olasılığı çok yüksektir. Ayrıca parçaların bölümlere dağıtılması esnasında geçen zaman da önemlidir. Bu tür depo bakım atölyelerindeki taşıma işlemlerinde OYA sistemleri en uygun seçeneklerden birisidir. Uygulanan yaklaşımda, depo bakımına revizyon veya onarım için gelen araç veya sisteme ait tüm alt sistem ve parçaların ilgili atölyelere OYA tarafından en kısa yoldan dağıtılması amaçlanmıştır. Bu bakımdan problem gezgin satıcı problemi olarak düşünülmüş, 0-1 tam sayılı programlamaya göre problem modellenmiş ve model LINGO paket programı kullanılarak çözülmüştür.

Kullanılan teknikte optimal sonuç elde edilmiştir. Depo seviyesi bakımına gelecek her araç ve sistemin takip edeceği yol farklıdır. Bu farklılık mesafelerde ve atölyelerde meydana gelmektedir. Bu tür bir

değişiklik söz konusu olduğunda modele değişken ilave edilerek ve mesafe değerleri ayarlanarak kolayca uygulanabilir.

Bu uygulama, sadece bir helikopterin aviyonik cihazlarıyla ilgili olarak aviyonik cihaz atölyeleri için yapılmıştır. Yapılan tasarım ve rotalama tüm atölyeler ve hava araçlarının tüm sistemleri için benzer şekilde düşünülerek kolayca genişletilip entegre edilebilir. Bu durumda sağlanacak fayda, etkinlik ve kazanç çok daha büyük olacaktır.

Yurt dışında çok çeşitli uygulamaları bulunan OYA'ların yurt içi imalat endüstrisinde de hızla yaygınlaştırılması gerekliliği düşünülmektedir. Ayrıca endüstri uygulamalarının yanısıra hizmet sektöründe de kullanılabilir. Son yıllarda özellikle yurt dışında hapisane ve hastahane gibi kuruluşlarda pek çok uygulamaları görülen OYA'ların bizim ülkemizde de kullanılması büyük yararlar sağlayacaktır.

6. KAYNAKLAR

Anonim, 1997. KKY 312-4. Kara Kuvvetleri Havacılığı Hava Araçları İkmal ve Bakım Yönergesi, K. K. Basımevi, Ankara.

- Ahuja, R. K., Magnanti, T. L., Orlin, J. B. 1993. Network Flows-Theory, Algorithms, and Applications, Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.
- Bing, W. 1998. Application of Analytic Process of Resource in an AGV Scheduling, *Computer and Industrial Engineering*, 35(1-2), 169-172.
- Blair, E. L. 1985. "Vehicle Routing to Support Automated Manufacturing" Annual International Industrial Engineering Conference Proceedings, 254-256.
- Blair, E. L., Charnsethikul, P. and Vasques, A. 1987. Optimal Routing of Driverless Vehicles in a Flexible Material Handling System, *Material Flow*, 4, 73-83.
- Bodin, L., Colden, B., Assad, A. and Ball, M. 1983. Routing and Scheduling of Vehicles and Crews, *Computers and Operations Research*, 10, 63-201.
- Burton, J. 1985. "So You Want to Buy an AGV System" Proceedings of the 3rd International Conference on AGVs, 57-62.
- Castleberry, G. A. 1991. The AGV Handbook-a Handbook For the Selection of Automated Guided Vehicle System, Braun-Brumfield Inc., Michigan.
- Clavette, D. C. 1986. "Justification of BOC lancing AGV system" Proceedings of the International Conference on AGVs, 1-11.
- Dahlstrom, K. 1981. "Where to use AGV Systems, Manual Forklifts, Traditional Fixed Roller Conveyor Systems, Respectively" Proceedings of the 1st International Conference on AGVs, 173-182.
- Egbelu, P. J. and Tanchoco, J. M. A. 1984. Characteristics of Automated Guided Vehicle Dispatching Rules, *International Journal of Production Research*, 22, 359-374.
- Egbelu, P. J. 1987. The Use of Non-Simulation Approaches in Estimating Vehicle Requirements in an Automated Guided Vehicle Based Transport System, *Material Flow*, 4, 17-32.
- Gaskins, R. J. and Tanchoco, J. M. A. 1987. Flow Path Design for Automated Guided. Vehicle Systems, *International Journal of Production Research*, 25, 667- 676.
- Gourgand, M., Sun, X. C. and Tcheinew, N. 1995. Choice of the Guide Path Layout for an AGV Based Material Handling Systems, *IEEE*, V 2, 475-483.
- Hammond, G. C. 1986. Automated Guided Vehicle Systems, IFS Ltd., Kompston, Bedford.
- Hodgson, T. J., King, R. E., Monteith, S. K. and Schultz, S. K. 1987. Developing Control Rules for an AGVs Using Markov Decision Processes, *Material Flow*, 4, 85-96.
- Hsieh, L. F. and Sha, D.Y. 1997. Heuristic Algorithm for the Design of Facilities Layout and AGV Routes in Tandem AGV Systems, *Industrial Journal of Industrial Engineering*, V. 4, n 1, S. 52-61.
- Hwang, H., Cim, S. V. and Moon, S. W. 1996. Determination of Optimum Unit Load Size of the AGV in Ana Electronics Assembly Production System, *International Journal of Production Research*, 34 (5), 1293-1306.
- Kaspi, M. and Tanchoco, J. M. A. 1990. Optimal Flow Path Design of Unidirectional. AGV Systems, *International Journal of Production Research*, 28, 1023-1030.
- King, R. E. and Wilson, C. 1991. A Review of Automated Guided Vehicle Systems Design and Sheduling, *Production Planning and Control*, 2 (1), 44-51.
- Knill, B. 1988. How to Avoid the Pitfalls of AGVs, *Material Handling Engineering*, 43-78.
- Kuhn, A. and Schmidt, F. 1985. "General EDP-Aided Planning and Realization of AGV Systems" Proceedings of the 3rd International Conference on AGVs, 247-257.
- Langevin, A.C, Lauzan, D. and Riopel, D. 1996. Dispatching, Routing and Scheduling of two Automated Guided Vehicles in a Flexible Manufacturing. System, the *International Journal of Flexible Manufacturing System*, 8, 247-262.
- Majety, S. V. and Wang, M. H. 1995. Terminal Location and Guided Path Design in Terminal Based AGV System, *International Journal of Production Research*, 33 (7), 1925-1938.
- Maxwell, W. L. 1981. Solving Material Handling Design Problems With OR, *Industrial Engineering*, 13, 58-69.
- Maxwell, W. L. and Muckstadt, J. A. 1982. Design of Automatic Guided Vehicle Systems, *I.I.E. Transactions*, 14, 114-124.

Moshe, K. and Tanchoco, J. M. A. 1990. Optimal Flow Path Design of Unidirectional AGV Systems, International Journal of Production Research, 28 (6), 1023-1030.

Muller, T. 1981. "Developments in Guided Vehicle Systems Possibilities and Limitations and the Economics of Their Operation" Proceedings of the 1st International Conference on AGVs, 67-73.

Psaraftis, H. N. 1980. A Dynamic Programming Solution to the Single Vehicle Many-to-many Immediate Request Dial-a-ride Problem, Transportation Science, 14, 130-154.

Rajotia, S., Shanker, K. and Batra, J. L. 1998a. A Semi-Dynamic Time Window Constrained Routing Strategy in a AGV System, International Journal of Production Research, 36 (1), 35-50.

Rajotia, A. S., Shanker, R. K. and Batra, J. L. 1998b. Determination of Optimal AGV Fleet Size for an FMS, International Journal of Production Research, 36 (5), 1177-1198.

Solomon, M. M. 1995. Algorithms for the Vehicle Routing and Scheduling Problems With Time Window Constraints, Operations Research, 35, 245-265.

Sun, X. C. and Tchernev, N. 1996. Impact of Empty Vehicle Flow Pating for Unidirectional AGV

Systems, International Journal of Production Research, 34 (10), 2847-2852.

Tanchoco, J. M. A., Egbelu, P. J. and Tashabon, F. 1987. Determination of Total Number of Vehicles in an AGV-Based Material Transport System, Material Flow, 4, 33-51.

Ting, J. H., Tanchoco, J. M. A. 1997. Comparison of Single and Mixed-Model AGV Systems, American Society of Mechanical Engineers, 119 (4), 849- 854.

Tunali, S. 1995. Simulation for Evaluating Machine and AGV Scheduling Rules in an FMS Environment, IEEE, 433-438.

Winston, W. L. 1993. Operations Research-Applications and Algorithms, Duxbury Press, Belmont, California.

Xie, M. 1995. Trinocular Vision for AGV Guidance: Path Locationization and Obstacle Detection, Computer and Electrical Engineering, 21 (6), 441-452.

Yiğit, F. 2002, Otomatik Yönlendirmeli Araç (OYA) Sistemleri ve Depo Bakımında Rotalama Problemi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.