

# Atık Akülerin Toplanması İçin Matematiksel Bir Modelin Geliştirilmesi

<sup>1</sup>Fethullah Aydođdu ve <sup>2</sup>Bahar Özyörük

<sup>1</sup>Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliđi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye

<sup>2</sup>Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliđi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye

## Özet

Bu çalışmada çevre için büyük zararlar oluşturan kurşun, plastik, kauçuk, seperatör ve asitli sular bulunduran akülerin toplanma süreci ele alınmıştır. Ülkemizde atık akümülatörlerin toplanması 2005 yılında Avrupa Birliđi uyum yasaları çerçevesinde çıkarılan bir yönetmelikle zorunlu hale getirilmiştir. Atık akümülatörlerin toplanması ile çevre kirliliğinin önüne geçilebilmekte, içerisinde bulunan kurşun, plastik ve kauçuğun geri dönüşümüyle de ülke ekonomisine katkı sağlanabilmektedir. Ancak atık akümülatörlerin toplanma süreci getirdiği mali yükler sebebiyle bir sistematige oturtulamamıştır. Bu çalışmada atık akülerin toplanması ve geri dönüşümünden sağlanan karın maksimize edilmesi için, atık akülerin en verimli şekilde toplanmasını sağlayacak çok depolu bir araç rotalama problemi üzerinde çalışılmıştır. Geliştirilen modelin GAMS (General Algebraic Modeling System) ile çözümü yapılarak ulaşılan sonuçlar değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Atık, Akümülatör, Araç Rotalama, Geri Dönüşüm

## Developing A Mathematical Model For Collection Of Waste Accumulator

<sup>1</sup>Fethullah Aydođdu ve <sup>2</sup>Bahar Özyörük

<sup>1</sup>Faculty Of Engineering, Industrial Engineering, Gazi University, Ankara, Turkey

<sup>2</sup>Faculty Of Engineering, Industrial Engineering, Gazi University, Ankara, Turkey

## Abstract

In this article collection of waste accumulator which contains materials that's harmful for the environment like lead, plastic, rubber, separator and acidic waters is discussed. In Turkey collection of waste accumulator has been made compulsory with a regulation which issued by law of harmonization of the European Union since 2005. The environment pollution can be prevented with collection of waste accumulator. Besides with recycling of lead, plastic, rubber and separators that contained in the accumulator, there would be contribute to the national economy. Because of financial burdens, a systematic process has not been established for collection of waste accumulator in Turkey. As a result multi-depot vehicle routing problem that was studied in this article is about both collection of waste accumulator and maximizing of profit which obtained from recycling. Mathematical Model that developed for collection of waste accumulator is solved by using GAMS(General Algebraic Modeling System) and eventually the results are evaluated.

**Key Words:** Waste, Accumulator, Vehicle Routing, Recycling

## 1. Giriş

Tedarik zinciri yönetimini, ürünlerin üreticiden son müşteriye kadar olan akışının aktarma noktaları ve depolar kullanılarak etkili bir şekilde yönetilmesi olarak tanımlayabiliriz. Bu tanımdan yola çıkarak tedarik zinciri ağ tasarımının gerekliliğini açıklayabiliriz. Tedarik zinciri dağıtım ağının tasarımında doğru ürünün, doğru yerde, doğru miktarda, doğru zamanda, doğru müşteriye, doğru maliyetle teslim edilmesi son derece önemlidir. Bunun içinde tedarik zinciri ağ tasarımı büyük önem arz etmektedir.

Tedarik zinciri ağ tasarımı sayesinde ürünlerin dağıtım politikası belirlenebilmekte, dağıtım noktaları tespit edilebilmekte, depo ya da tesislerin açılıp açılmamasına karar verilebilmekte ve müşteri taleplerinin hangi depo, aktarma noktası ya da fabrikadan karşılanacağı gibi birçok durum için tespitler yapılabilmektedir.

Bu çalışmada, Türkiye genelinde atık akülerin toplanması için bir plan oluşturmak amacıyla farklı lokasyonlarda bulunan bölge bayii/valilik geçici depolarından atık akülerin alınarak, geri dönüşüm tesislerine en düşük maliyetle götürülmesini sağlamak için bir çözüm yaklaşımı üzerinde durulmuştur.

### 1.1.Literatür Araştırması

Tedarik zinciri tasarımında literatürde pek çok çalışma yer almaktadır. Altıparmak ve arkadaşları, çok amaçlı tedarik zinciri ağı tasarımı problemi için genetik algoritmayla Pareto – optimal çözümlerin kümelerini bulan yeni bir yaklaşım önermişlerdir. Çok amaçlı problemlerle ve karar vericinin fazla sayıdaki alternatif çözümlerle başa çıkabilmesi için, önerilen çözüm prosedüründe iki farklı ağırlıklandırma yaklaşımı kullanılmıştır. Deneysel çalışma Türkiye’de plastik üretimi yapan bir firmanın gerçek verileri kullanılarak iki aşamalı olarak yapılmıştır. Birinci aşamada ağırlıklandırma yaklaşımının önerilen çözüm prosedürünün performansı üzerindeki etkileri araştırılmış, ikinci aşamada ise önerilen çözüm prosedürü ve tavlama benzetimi Pareto –optimal çözümlerinin niteliğine göre karşılaştırılmıştır [1].

Farahani ve Elahipanah, tam zamanında dağıtım için bir model geliştirmişler ve bu modeli çözmüşlerdir. Üç aşamalı bir tedarik zinciri dağıtımını için iki amaç fonksiyonlu (çift amaçlı) bir model kurulmuşlardır: tüm dönemlerde maliyet minimizasyonu ile ardismarlama(backorder) ve fazla olan ürünlerinin minimizasyonu. Teslimat zamanı ve kapasite kısıtları çok önemli çok ürünlü ve çok kanallı olarak düşünülmüştür. Gerçek boyuttaki karışık tam sayılı lineer programlama modelini çözme için hibrit genetik algoritma kullanmışlardır[2].

Shi, Zang ve Shia, üretimden siparişe tedarik zinciri ağ tasarımı için Lagranç temelli bir çözüm algoritması geliştirmiştir. Bu problem dağıtım merkezlerinin yerini belirlemekte ve perakende müşterilerinin hangi dağıtım merkezine yada fabrikaya atandığını belirlemektedir.Problemi formüle etmek için tam sayılı programlama kullanmışlardır. Bu tür problemlerde optimal sonucu bulmak çok zor olduğundan, yaklaşık bir sonuç bulmak için lagranç temelli bir çözüm algoritması geliştirmişlerdir[3].

Wang, Lai ve Shi, çevresel faktörlerle ilgili bir tedarik zinciri ağ tasarımı yapmışlardır. Ağ tasarımı esnasındaki çevresel yatırım kararlarıyla ilgilenmişler ve toplam maliyet ile çevresel etkiler arasındaki etkileşimi gösteren çok amaçlı bir model önermişlerdir. Duyarlılık analizinin yöneticilere, firmaları için bazı ilginç sezgisel bilgiler sağladığını görmüşlerdir[4].

Mansouri, çok kriterli bir problem olan, birbirini izleyen iki aşamalı akış tipli bir üretim ile tedarik zincirinin koordine edilmesini sağlamak için gerekli hazırlık zamanlarını içeren bir çok amaçlı tavlama benzetimi yaklaşımı önermiştir. Bu çalışmada toplam hazırlık zamanını minimize etmek ve bu iki aşama arasındaki maksimum hazırlık sayısını minimize etmek üzere iki farklı amaç fonksiyonu kullanmıştır. Önerdiği çok amaçlı tavlama benzetimi modelinin performansını küçük problemlerin Pareto- optimal çözümlerini kullanarak değerlendirmiştir. Önerilen modelin küçük boyutlu problemlerde Pareto –optimal çözümlerinden daha iyi sonuç verdiğini belirlemiş, büyük çaplı problemlerde ise çok amaçlı genetik algoritmalar kadar iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir[5].

Ding, Benyoucef ve Xie, karar vericilerin tedarik zinciri ağları için değerlendirme, tasarım ve geliştirme yapmalarını sağlayacak yeni bir program (ONE - optimization methodologies for networked enterprises) geliştirmişlerdir. Bu program modern kurumsal ağların modellenmesi, simülasyonu ve optimizasyonu ile ilgili yenilikçi ve kullanıcı dostu bir konsept içermektedir. Optimizasyon modülünde çok amaçlı genetik algoritmayı kullanmışlardır. Tekstil ve otomotiv sektörüyle ilgili iki örnek çalışma yaparak sonuçları değerlendirmişlerdir[6].

Altıparmak ve arkadaşları, tek kaynaklı, çok ürünli ve çok aşamalı tedarik zinciri ağlarının tasarımı için yeni bir kodlama yapısına sahip olan ve kararlı haldeki genetik algoritmaları baz alan bir çözüm prosedürü geliştirmişlerdir. Geliştirilen algoritmanın performansını, CPLEX, Lagranç sezgiseli, hibrit genetik algoritma ve tavlama benzetiminin farklı boyutlardaki tedarik zinciri ağı tasarım problemlerine uygulanmasıyla elde edilen sonuçları kullanılarak değerlendirmişlerdir[7].

Park, Lee ve Sung, risk azaltma stratejileri ve dağıtım merkezlerinden tedarikçilere bağlı teslim zamanlarını dikkate alarak, perakendeci, dağıtım merkezleri ve tedarikçileri içeren üç aşamalı bir tedarik zinciri için tek kaynaklı bir ağ tasarım problemini değerlendirmişlerdir. Bu çalışmadaki amaç tedarikçilerin ve dağıtım merkezlerinin yeri ve sayısının belirlenmesi, dağıtım merkezlerinin tedarikçilere, perakendecilerinde dağıtım merkezlerine bütün sistem yerleşimini, taşımayı ve stok maliyetlerini minimize ederek atanmasını sağlamaktır. Problemi doğrusal olmayan tam sayılı programlamayla modelleyip, Lagranç gevşetmesi tabanlı iki aşamalı bir sezgisel model üretmişlerdir [8].

Lee, Kang ve Lee, çok aşamalı bir tedarik zinciriyle ilgili çalışma yapmıştır. Bu çalışmada fabrikada üretilen ürünlerin dağıtım merkezleri ve depolar aracılığıyla müşteri talepleri doğrultusunda dağıtımını hedeflemiştir. Önerilen modelin amaç fonksiyonunu ikmal maliyeti, stokta tutma maliyeti ve taşıma maliyetini içeren lojistik maliyetlerinden oluşturmuşlardır. Problemin çözümü için karışık tam sayılı programlama ve sezgisel bir yaklaşım önermişlerdir. Önerilen sezgisel ayrıştırma ve son iyileştirme prosesi olmak üzere iki aşamanın birleştirilmesiyle oluşturulmuştur. Ayrıştırma sezgiselinde, taşıma rotası ilk olarak minimum maliyetli akış problemi olarak düşünülmüş ve montaj hattı operasyonlarında önerilen maliyet tasarrufundan üretilen ikmal planı uygulanmış ve taşıma planıyla entegre edilerek problemin optimal çözümünü bulmuşlardır. Orijinal modelin dönemlere göre bölüdüğü ve periyodik ilerlemeyi baz alan bir modelin çalıştırıldığı başka bir sezgisel önermişlerdir. Tabu aramasını kullanan son iyileştirme prosesiyle, performans hesaplanmış ve kabul edilebilir bir hesaplama zamanıyla optimal çözüme ortalama %10 aralıklı bir sonuç bulmuşlardır[9].

Syarif, Yun ve Gen, tedarik zinciri ağ problemini 0 -1 karışık tam sayılı programlama modeli olarak düşünmüşlerdir. Bu tasarım probleminde fabrika ve dağıtım merkezlerinin açılıp açılmaması ve minimum maliyetle taleplerin karşılanmasını sağlayan bir ağ tasarımının yapılmasını hedeflemiştir. Çözüm metodu olarak, Prüfer dizisini kullanarak minimum yayılan ağaç bazlı genetik algoritma önermişlerdir. Bu modelde, fizibilite kriterleri ve uygun olmayan Prüfer sayıları için düzeltme prosedürleri geliştirilmiş, böylece büyük çaplı problemlere uygulanabilir hale getirilmiştir. Sonuçlar, geleneksel matris temelli genetik algoritmalar ve profesyonel yazılım paketi LINDO' nun çözümleriyle karşılaştırılmıştır[10]. Literatürde yapılan diğer çalışmalar tablo 1 de sunulmuştur.

## 2. Araç Rotalama Problemi

Araç rotalama problemi (ARP) literatüre ilk olarak 1959 yılında Dantzig ve Ramser tarafından yapılan bir çalışmayla girmiştir. Bu çalışmada benzin istasyonlarına benzin dağıtım problemi için ilk matematiksel programlama modelini kurarak çözmüşlerdir. Bu çalışmadan sonra 1964 yılında Clark ve Wright araç rotalama probleminin çözümü için tasarruf algoritmasını önermiş ve bu algoritmadan sonra literatürde ARP' ye ilgi daha da artmıştır [11].

Kombinatoriyal optimizasyon problemleri içerisinde Gezgin satıcı problemi (GSP) ve ARP en önemli iki problem olarak görülmektedir. Elli yılı aşkın süredir yöntem araştırmasında çözümünü araştırılan bu problemler çözüm için birçok önemli matematiksel modelin ve kesin yada yakın çözümler veren algoritmaların geliştirilmesini sağlamıştır. Bu tip problemlerin çözümü için kesin çözüm yöntemleri, sezgisel çözüm yöntemleri ve meta-sezgisel çözüm yöntemleri geliştirilmiştir [12].

Tablo 1. Ağ tasarımı ile ilgili literatür

YIL	YAZAR	KONU	YÖNTEM
1995	Palmer, Kershenoaum	Ağ tasarımı	Genetik Algoritma [13]
2000	Lo C.C., Chang W.H	Kapasitelendirilmiş çok noktalı ağ tasarımı	Çok amaçlı hibrit genetik algoritma [14]
2003	Jayaraman, Ross	Dağıtım ağı tasarımı ve yönetimi	Tavlama benzetimi [15]
2004	Sim ve ark.	Kapalı döngü tedarik zinciri ağ tasarımı	Genetik Algoritma [16]
2004	Chen ve Lee	Talep ve fiyatın belirsiz olduğu çok aşamalı tedarik zinciri tasarımı için çok amaçlı modelleme	Karışık tam sayılı doğrusal olmayan programlama-bulunak yaklaşım. [17]
2005	Mansouri	İki aşamalı bir tedarik zincirinin aşamaları arasındaki hazırlıkların koordinasyonu	Çok amaçlı genetik algoritma [18]
2006	Gen ve Syarif	Çok zaman periyotlu üretim/dağıtım planları	Hibrit genetik algoritma [19]
2008	Ross ve Jayaraman	Tedarik zinciri ağ tasarımında aktarma noktalarının yerinin belirlenmesi	Tabu Arama Algoritması [20]
2010	Paksoy, Ozceylan, Weber	Yeşil tedarik zinciri optimizasyonu	Çok amaçlı model – meta sezgisel [21]
2011	Martinez ve Zhang	Tedarik zinciri ağ tasarımı	Karınca kolonisi [22]
2012	Sadjady ve Davoudpour	İki aşamalı iki ürünlü stok maliyetli, teslim zamanlı ve mod seçimli tedarik zinciri ağı tasarımı	Lagranç sezgiseli [23]
2013	Pan ve Nagi	Çevik üretimdeki çok aşamalı tedarik zinciri tasarımı	Lagranç sezgiseli [24]
2013	Badri, Bahshiri ve Hejazi	Tedarik zinciri tasarımında stratejik ve taktik planların entegrasyonu	Lagranç gevşetmesi [25]
2013	Subramanian ve ark.	Kapalı döngü tedarik zinciri ağ tasarımı	Öncelik bazlı tavlama benzetimi [26]

Literatürde yapılan bir tanıma göre; “araç rotalama problemi(ARP) taşıma maliyetlerini azaltmak ve müşteri hizmetlerini arttırmak için bir aracın takip etmesi gereken en iyi rotayı bulmaktır” şeklindedir [27].

Diğer bir tanıma göre; ARP, coğrafi olarak farklı yerlerde ve dağıtım halinde bulunan müşterilere bir veya daha fazla depodan hizmet sunabilmek için görevlendirilen araç/ araçların dağıtım ve/veya toplama rotalarının tasarlanması problemidir. Literatürde ARP'nin en basit sekline klasik ARP denir. Klasik ARP'de ilk şehir depo, n-1 adet müşteri olmak üzere n adet şehir ve m adet aracın olduğu problem tipidir. Bu problemde araçların kapasitesi C ve i

düğümünden j düğümüne olan uzaklık dij olarak tanımlanır. ARP ile m adet aracın rotası belirlenirken aşağıdaki temel varsayımlar yapılır [28]:

1. Her bir şehir yalnız bir araç tarafından bir defa ziyaret edilir.
2. Araçların rotası aynı depoda başlar ve sonlanır.
3. Rota sayısının belirlenmesi ve konfigürasyonu ile ilgili kısıtlar kullanılır.

ARP'de birden fazla ve genelde birbiriyle çelişen amaçlar dikkate alınabilmektedir. En bilinen amaçlar şunlardır [29]:

- Araçların toplam katettiği mesafeye (ya da toplam seyahat süresine) ve kullanılan araçların sabit maliyetlerine (ve ilgili sürücüye) bağlı olan toplam taşıma maliyetlerini en küçüklemek
- Tüm müşterilere hizmet etmek için gerekli olan toplam araç sayısını (ya da sürücü sayısını) en küçüklemek
- Rotaları seyahat süresi ve araç yükü açısından dengelemek
- Müşterilere parçalı dağıtım yapılmasından kaynaklanan cezaları en küçüklemek

Yukarıda sayılan amaçların çeşitli kombinasyonları da problemin amaç fonksiyonunu oluşturabilmektedir.

### **2.1.Çok Depolu Araç Rotalama Problemi**

Günlük hayatta birden fazla deposu bulunan işyerlerinde, müşterilerin taleplerinin belirli depolardan karşılanması olağandır. Bu problemin modellemesini birden fazla tek depolu araç rotalama problemi olarak düşünebiliriz. Bu problem tipinde müşterilerin hizmet aldıkları depolar önceden bellidir. Standart bir çok depolu araç rotalama probleminde araçlar rotalarına başladıkları depoya dönerler [30].

ÇDARP her aracın uğrayacağı müşterilerin sırasını belirlemeyi amaçlamaktadır. Bu problem türünde araçların harekete başlayabileceği birden fazla depo bulunmaktadır. Depoların ve müşterilerin konumları önceden bilinmektedir ve her depo tüm müşterilerin toplam taleplerini karşılayabilecek kapasiteye sahiptir. Bu problemde her araç hareket ettiği depoya geri dönmek durumundadır. Birden fazla deposu olan bir dağıtım şirketinin araç rotalaması yapılmakta ise çok depolu olma durumunu yapılan modele ilave etmek gerekecektir. Bu ARP türü de NP-zor bir problemdir ve problem boyutu büyüdükçe en iyi çözümün elde edilebileceği verimli bir yöntem bulunmak zorlaşmaktadır [31].

### **3. Atık Akülerin Toplanması Süreci**

Atık Pil ve Akümülatörlerin Kontrolü (APAK) Yönetmeliği, AB uyum yasaları çerçevesinde Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından 31.08.2004 tarih ve 25569 sayılı Resmî Gazete ile yayımlanarak 01.01.2005 tarihinde yürürlüğe konmuştur.

Atık Pil ve Akümülatörlerin Kontrolü (APAK) Yönetmeliği'nin amacı pil ve akümülatörlerin çevreye ve insan sağlığına zarar vermeden üretilmesini, atık haline geldiğinde toplanmasını, taşınmasını ve geri kazanılmasını sağlamaktır.

Bu bağlamda elinde atık aküsü bulunan nihai kullanıcı / müşteri, atığını perakende akü satışı yapan yerlere veya tali bayilere bedelsiz olarak teslim eder. Perakende akü satışı yapan yerler ve tali bayiler nihai kullanıcı / müşteriden bedelsiz olarak teslim aldığı atık aküyü APAK Yönetmeliği'nin 12. maddesine göre oluşturulmuş geçici depolara (bölge bayileri) ya da aynı Yönetmeliğin 18. maddesine göre oluşturulmuş ve ilgili valilikten geçici depolama izni almış geçici depolara teslim eder. Atık aküleri geçici deposunda maksimum 90 gün tutabilen depolar ise Ulusal Atık

Taşıma Formu (UATF) doldurarak valilikten taşıma lisansı almış atık akü taşıma aracı ile Bakanlıktan çevre lisansı almış atık akü geri kazanım tesisine gönderir.

Atık pil ve akümülatörün kontrolü yönetmeliği madde 15'te belirtildiği gibi atık akümülatörlerin toplandıkları yerden geçici depolama veya bertaraf tesislerine karayolu ile taşınması, Valilikten taşıma lisansı almış gerçek ve tüzel kişilerce, atık türüne göre uygun araçla yapılır.

Çevre Şehircilik ve Orman Bakanlığı'nın verilerine göre Türkiye genelinde toplam 14 adet çevre lisansı almış atık akü geri kazanım tesisi ve 81 ilde geçici depolar (bölge bayileri) vardır. Lisanslı araçlar tarafından toplanan atık aküler geri kazanım tesislerine getirilerek, bu akülerde bulunan kurşun ve plastiklerin ayrıştırma işlemi yapılmaktadır. Ayrıca atık akü içerisinde bulunan asitler nötralize edilerek çevreye olan zararlı etkileri minimize edilmekte ve sektörün ihtiyaç duyduğu su bu geri dönüşümle büyük ölçüde karşılanmaktadır. Yılda yaklaşık 4 milyona yakın otomobil tipi akü piyasaya sunulurken, 100.000 tona yakın atık akü oluşmaktadır. Bu atık akülerin yaklaşık %90'ı geri dönüşüm için piyasadan toplanmaktadır.

Atık akümülatörler literatür bilgilerine göre, genel olarak % 65,6 kurşun içerikli malzemeler (Pb,PbO<sub>2</sub>,PbSO<sub>4</sub>), % 8,9 plastik ve kauçuk malzeme, % 2,4 seperatör ve % 23,1 asitli su içermekle birlikte, teknolojik gelişmelere bağlı olarak bu yüzdeler değişebilmektedir. Ülkemizde kullanım ömrünü tamamlayarak bertaraf tesislerine gönderilen değişik güçteki atık akümülatörler ortalama % 5-9 plastik aksam, % 23-25 asitli su, % 2-2,5 seperatör ve % 65-66 (Pb, PbO<sub>2</sub>, PbSO<sub>4</sub>) kurşun içermektedir [32].

Bu bağlamda yılda ortalama 90.000 tona yakın akünün geri toplandığını düşünürsek; yapılacak olan geri dönüşümle 4.500-8.100 ton arası plastik, 58.500 – 67.500 ton arası kurşun ve bileşenlerinin elde edildiğini görmekteyiz. Bu da bize atık akülerin geri dönüşümlerinin çevresel açıdan önemli olduğu kadar ekonomik açıdan da ne kadar önemli olduğunu göstermektedir.

14.03.2005 tarih ve 25755 sayılı Resmi Gazete 'de yayımlanarak yürürlüğe giren Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği kapsamında, atık akümülatörlerin toplandıkları geri dönüşüm tesislerine karayolu ile taşınması, taşıma lisansı almış gerçek ve tüzel kişilerce uygun araçla yapılır.

24.10.2013 tarih ve 28801 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren Tehlikeli Maddelerin Karayolu İle Taşınması Hakkında Yönetmelik kapsamında tehlikeli atık taşıyan araçlar için Türk Standartları Enstitüsü tarafından atığın tehlikelilik özelliğine göre, aracın sahip olması gereken donanımlara ve özelliklerine sahip olduğunu gösterir Uygunluk Belgesinin alınması gerekmektedir. Araçların Uygunluk Belgesi alabilmesi için en önemli kriterlerden birisi kasaların sızdırmazlık testleridir. Atık akülerin içerisinde bulunan bileşenlerin birbirleriyle etkileşime girerek zehirli gaz çıkarma ihtimali bulunmaktadır. Zehirlenme tehlikesine karşı da araçlarda maske bulunup bulunmadığı hususu da araştırılmaktadır. Bu yüzden aküler toplanırken atık akülerin araç kasalarında çok uzun süre kalmaması gerekmektedir.

### ***3.1.Problemin Modellemesi***

Atık akülerin toplanması için yukarıdaki bilgiler ışığında aşağıdaki varsayımlar yapılmıştır:

#### **Modelin Varsayımları:**

- 1) Bütün araçlar aynı kapasitededir.
- 2) Araçlar ait oldukları Atık Akü Geri Kazanım Tesisinden başlayıp rotasındaki tüm Bölge Bayi/Valilik Geçici Depolama tesislerini dolaşarak yine aynı Atık Akü Geri Kazanım Tesisine gelmektedir.
- 3) Atık akülerin bileşenlerinin tepkimeye girme ihtimali bulunduğu için uzun süre araç kasalarında kalmaması gerekmektedir.

**Kümeler:**

**n:** Tüm Bölge Bayi/Valilik Geçici Depolama Tesisi Sayısı  
**s :** Atık Akü Geri Kazanım Tesisi  
**Vc:** Tüm Bölge Bayi/Valilik Geçici Depolama Tesislerinin kümesi  
**Vd :**Atık Akü Geri Kazanım Tesisi  
**V = Vb U Vd :** Tüm Noktaların Kümesi  
**K:** Rotaların Kümesi

**Parametreler:**

**qj:** Bölge Bayi/Valilik Geçici Depolama Tesisindeki atık akü miktarı (ton)  
**Tj:** Bölge Bayi/Valilik Geçici Depolama Tesisindeki atık akünün yükleme zamanı(saat)  
**tij:** i şehrinden j şehrine seyahat süresi(saat)  
**dij:** i şehrinin j şehrine olan uzaklığı(km)  
**Q:** Aracın kapasitesi (ton)  
**T :** Maksimum rota süresi(saat)  
**tc:** Kilometre başına taşıma maliyeti (TL)  
**hc :** Bir ton aküyü elleçleme maliyeti (TL)

**Karar Değişkenleri:**

**xijk:** 1, Eğer k rotasıyla j bölge bayi/valilik geçici deposundaki atıklar i geri kazanım tesisine götürülüyorsa, 0 D.D.  
**zij:** 1, j bölge bayi/valilik geçici deposundaki atıklar i geri kazanım tesisine götürülüyorsa, 0 D.D.  
**Ulk:** Alt tur oluşmasını engellemek için kullanılan yardımcı değişken

**Matematiksel Model:**

$$\text{Taşıma Maliyeti} = \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} \sum_{k \in K} tc * dij * xijk \quad (1.a)$$

$$\text{Elleçleme Maliyeti} = \sum_{i \in Vd} \sum_{j \in Vc} hc * zij * dj \quad (1.b)$$

Toplam maliyeti gösteren amaç fonksiyonu:

$$\min \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} \sum_{k \in K} tc * dij * xijk + \sum_{i \in Vd} \sum_{j \in Vc} hc * zij * dj \quad (1)$$

Belirlenen Maksimum Rota Süresinin Geçilmemesini Sağlayan Kısıt

$$\sum_{i \in V} \sum_{j \in V} xijk * (tij + Tj) \leq T \quad k \in K \quad (2)$$

Araç Kapasite Kısıtı

$$\sum_{i \in V} \sum_{j \in Vc} xijk * qj \leq Q \quad k \in K \quad (3)$$

Her Bölge Bayi/Valilik Geçici Depolama Tesisinin bir rotaya atanması

$$\sum_{i \in Vd} \sum_{k \in K} xijk = 1 \quad j \in Vc \quad (4)$$

Atık Akü Geri Kazanım Tesislerinin kapasite kısıtları

$$\sum_{j \in J} di * Zij \leq Vi, \quad i \in Vd \quad (5)$$

Eğer ilgili tesisten depoya bir rota varsa Bayi/Valilik Geçici Depolama Tesisinin Atık Akü Geri Kazanım Tesisine atanması kısıtı

$$-Zij + \sum_{u \in V} (xiuk + xujk) \leq 1, \quad i \in Vd, j \in Vc, k \in K \quad (6)$$

Akışın korunmasını sağlayan kısıt

$$\sum_{j \in V} xijk - \sum_{j \in V} xjik = 0, \quad i \in V \text{ ve } k \in K \quad (7)$$

Alt tur oluşmasını engelleyen kısıt

$$Ulk - Ujk + N * xijk \leq N - 1, \quad l, j \in J \text{ ve } k \in K \quad (8)$$

Her rotanın en fazla bir kez kullanılması kısıtı

$$\sum_{i \in V_d} \sum_{j \in V_c} x_{ijk} \leq 1, \quad k \in K \quad (9)$$

Karar Değişkenleri

$$x_{ijk} \in \{0,1\}, \quad i \in V_d, j \in V_c, k \in K \quad (10)$$

$$z_{ij} \in \{0,1\}, \quad i \in V_d, j \in V_c \quad (11)$$

$$U_{lk} > 0, \quad l \in J, k \in K \quad (12)$$

#### 4. Sonuç ve Tartışma

Literature baktığımızda çok depolu araç rotalama problemleri için kesin ve sezgisel çözüm yöntemlerinin kullanıldığını görmekteyiz. Çok depolu araç rotalama problemleri NP-Zor yapıda problemler olduğu için problemin boyutu arttıkça kesin çözümleri bulmakta o kadar zorlaşmaktadır. Bu yüzden modelin kesin sonuç verip vermediğini kontrol etmek için Bölüm 3.1’de belirtilen model GAMS(General Algebraic Modeling System) programı yardımıyla çözülmeye çalışılmıştır. Modellemede gerçek hayata uyarlanabilirliği sağlayabilmek için iller arası gerçek mesafeler ve bir firmaya ait olan geri dönüşüm tesisi ve bayi sayısı kullanılmıştır. Ancak atık akü miktarları, araç ve geri dönüşüm tesis kapasiteleri belli olmadığı için rassal olarak belirlenmiş vemodel GAMS yardımıyla çözülmüştür. Model 2 geri dönüşüm tesisi ve 50 bayi için kesin bir sonuç vermiştir. Deneysel veriler kullanıldığı için elde edilen çözümler bir anlam ifade etmedğinen bu bölümde paylaşılmamıştır. Ancak Gelecekte yapılacak olan çalışmalarda gerçek atık akü miktarlarının ve geri dönüşüm tesislerine ait kapasitelerin kullanılması halinde atık akülerin en düşük maliyetlerle bayilerden toplanarak geri dönüşüm tesislerine götürülmesi sağlanabilecektir. Böylelikle hem atık akülerin hemde atık aküleri toplamak için kullanılan araçların çevreye olan zararları en aza indirilmiş olacak hemde atık akülerin geri dönüşümü ve etkin bir şekilde toplanması nedeniyle ülke ekonomisine katkı sağlanacaktır.

#### Kaynaklar

- 1) Altıparmak F., Gen M., Liu L., Paksoy T. (2006). A genetic algorithm approach for multi-objective optimization of supply chain networks. *Computers And Industrial Engineering*, 51, 196-215.
- 2) Farahani R.Z. ve Elahipanah M. (2008). A genetic algorithm to optimize the total cost and service level for just-in-time distribution in a supply chain. *International Journal Of Production Economics*, 111, 229-243.
- 3) Shi J., Zang G. ve Shia J. (2012). A Lagrangian based solution algorithm for a build-to-order supply chain network design problem. *Advances in Engineering Software*, 49, 21-48.
- 4) Wang F., Lai X. ve Shi N. (2011). A multi-objective optimization for green supply chain network design. *Decision Support Systems*, 51, 262-269.
- 5) Mansouri S.A. (2006). A simulated annealing approach to a bi-criteria sequencing problem in a two-stage supply chain. *Computers And Industrial Engineering*, 50, 105-119.
- 6) Ding H., Benyoucef L. ve Xie X. (2006). A simulation-based multi-objective genetic algorithm approach for networked enterprises optimization. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 19, 609–623.
- 7) Altıparmak F., Gen M., Liu L. ve Karaoğlan İ. (2009). A steady-state genetic algorithm for multi-product supply chain network design. *Computers & Industrial Engineering*, 56, 521–537.
- 8) Park S., Lee T. ve Sung C. S. (2010). A three-level supply chain network design model with risk-pooling and lead times. *Transportation Research Part E*, 46, 563–581.



- 9) Lee B.K., Kang K.H. ve Lee Y.H. (2008). Decomposition heuristic to minimize total cost in a multi-level supply chain network. *Computers & Industrial Engineering*, 54, 945–959.
- 10) Syarif A., Yun Y. ve Gen M. (2002). Study on multi – stage logistic chain work: a spanning tree-based genetic algorithm approach. *Computers & Industrial Engineering*, 43, 299-314.
- 11) Laporte G. (2009). The TSP, the VRP and their impact on combinatorial optimization. *Les Cahiers du GERAD*, 57, s.6
- 12) Shetty, V., Sudit M., Nagi, R. (2008). Priority based assignment and routing of a fleet of unmanned combat aerial vehicles. *Computers & Operations Research*, 35, 1813- 1828.
- 13) Sim, E., Jung, S., Kim, H., Park, J. (2004). A generic network design for a closed-loop supply chain using genetic algorithms. *Lecture Notes in Computer Science*, 3103, 1214–1225.
- 14) Palmer C.C., Kershenaum A. (1995). An approach to a problem in network design using genetic algorithms. *Networks*, 26, 151-163.
- 15) Lo C.C., Chang W.H. (2000). A multi objective hybrid genetic algorithm for the capacitated multipoint network design problem. *IEEE Transaction on System, Man and Cybernetic*, 30(3), 461-470.
- 16) Jayaraman, V., Ross, A. (2003). A simulated annealing methodology to distribution network design and management. *European Journal of Operational Research*, 144, 629–645,
- 17) Sim E., Jung S., Kim H., Park J. (2004). A Generic Network Design for a Closed-Loop Supply Chain Using Genetic Algorithm. *Lecture Notes in Computer Science*, 3103, 1214-1225
- 18) Chen, C., Lee, W. (2004). Multi-objective optimization of multiechelon supply chain networks with uncertain product demands and prices. *Computers & Chemical Engineering*, 28, 1131–1144.
- 19) Mansouri, S. A. (2005). Coordination of setups between two stages of a supply chain using multi-objective genetic algorithm. *International Journal of Production Research*, 43(15), 3163–3180.
- 20) Gen M, Syarif A. (2005). Hybrid genetic algorithm for multi-time period production–distribution planning. *Computers & Industrial Engineering*, 48(4):799–809.
- 21) Ross A. ve Jayaraman V. (2008). An evaluation of new heuristics for the location of cross-docks distribution centers in supply chain network design. *Computers & Industrial Engineering*, 55(1), 64–79.
- 22) Paksoy T., Ozceylan E., Weber G.W. (2010). A multi-objective model for optimization of a green supply chain network. *3rd Global Conference on Power Control and Optimization*, February 2–4.
- 23) Martinez L.A.M. ve Zhang D.Z. (2011). Multi-objective ant colony optimisation: A meta-heuristic approach to supply chain design. *International Journal of Production Economics*, 131(1), 407–420.
- 24) Sadjady, H. ve Davoudpour, H. (2012). Two-echelon, multi-commodity supply chain network design with mode selection, lead-times and inventory costs. *Computers & Operations Research*, 39(7), 1345–1354.
- 25) Pan F. Ve Nagi R. (2013). Multi-echelon supply chain network design in agile manufacturing. *Omega*, Volume 41(6), 969–983.
- 26) Subramanian P., Ramkumar N., Narendran T.T., Ganesh K. (2013). PRISM: PRIority based SIMulated annealing for a closed loop supply chain network design problem. *Applied Soft Computing*, 13 (2), 1121–1135.

- 27) Eryavuz, M., Gencer, C. (2001). Araç rotalama problemine ait bir uygulama. Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 6(1), 139-155.
- 28) Toth, P. and Vigo, D. (2002). The vehicle routing problem. SIAM Monographs on Discrete Mathematics and Applications, 9.
- 29) Şeker Ş., (2007). Araç rotalama problemleri ve zaman pencereci stokastik araç rotalama problemine genetik algoritma yaklaşımı, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 38-55.
- 30) Ho, W., Ho, G. T. S., Ji, P. and Lau, H. C. W. (2008). A hybrid genetic algorithm for the multi-depot vehicle routing problem. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 21(4), 548-557.
- 31) Contardo C., Martinelli R. (2014). A new exact algorithm for the multi-depot vehicle routing problem under capacity and route length constraints. Discrete Optimization,12, 129–146.
- 32) Kurşun Geri Kazanım Tesisi Kapasite Artışı Çevresel Etki Değerlendirme Raporu, Mutlu Akü ve Malzemeleri San. A.Ş., Eskişehir, 27.08.2013, <http://www.csb.gov.tr/db/ced/editordosya/MUTLU%20AKU%20CR.pdf>