



## Ömrünü Tamamlamış Araçların Geri Dönüşümünde Yükseltilmiş Yönetmelik Hedeflerini Karşılama İçin Ağ Tasarımı ve Modellenmesi

Neslihan DEMİREL

*Erciyes Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Yüksekokulu, Uluslararası Ticaret ve Lojistik Bölümü, 38039, Melikgazi/KAYSERİ*

### Öz

Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde gömülecek atık miktarını sınırlayan yasal düzenlemeler, ömrünü tamamlamış ürünlerin geri kazanımıyla elde edilecek ekonomik ve ekolojik faydalar ve çevreye duyarlı müşterilerin beklentilerinin artması nedeniyle uygun geri dönüşüm ağlarının tasarımı önemli bir konu haline gelmiştir. Otomotiv endüstrisi, imalatçıların sorumluluklarının yönetmeliklerle belirlendiği sektörlerden birisidir. Türkiye’de, otomobil imalatçıları ömrünü tamamlamış araçları (ÖTA) ücretsiz geri almak, araç ağırlığının belirli bir yüzdesini geri dönüştürmek ve geri kazanmakla yükümlüdür. Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından 30.12.2009 tarihinde resmi gazetede yayımlanan Ömrünü Tamamlamış Araçların Kontrolü Hakkında Yönetmelik, ÖTA’ların ağırlığının %85’inin yeniden kullanımı ve geri kazanımını zorunlu kılarken, bu değer 2020 yılı ve sonrası için %95’e yükseltilmiştir. Avrupa Birliği’nin (AB) ÖTA’ların geri kazanımıyla ilgili 2000/53/EC sayılı yönetmeliğine göre %95 hedefi AB ülkelerinde 2015 yılından itibaren zorunlu hale getirilmiştir. Bu çalışmada, 2015 yılından itibaren AB’de uygulanan, 2020 yılından itibaren de ülkemizde uygulanacak olan artan ÖTA geri kazanım hedeflerinin ÖTA geri dönüşüm ağ yapısına olan etkilerinin analiz edilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla, yükseltilmiş hedeflerin sağlanması için ileri işleme teknolojilerini de içeren genel bir ÖTA geri dönüşüm ağı tasarlanmış ve karma tamsayı programlama modeli formüle edilmiştir. Geliştirilen model, Türkiye örneği için çözülmüş ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

### Makale Bilgisi

*Başvuru: 04/08/2017*  
*Düzeltilme: 12/09/2017*  
*Kabul: 12/09/2017*

### Anahtar Kelimeler

*Ömrünü Tamamlamış araç*  
*Ağ Tasarımı*  
*Matematiksel model*  
*İşleme sonrası atık*

### Keywords

*End-of-life vehicle*  
*Network design*  
*Mathematical model*  
*Shredder residue*

## End-of-Life Vehicle Reverse Logistics Network Design and Modeling for Meeting Higher Targets of Legislation

### Abstract

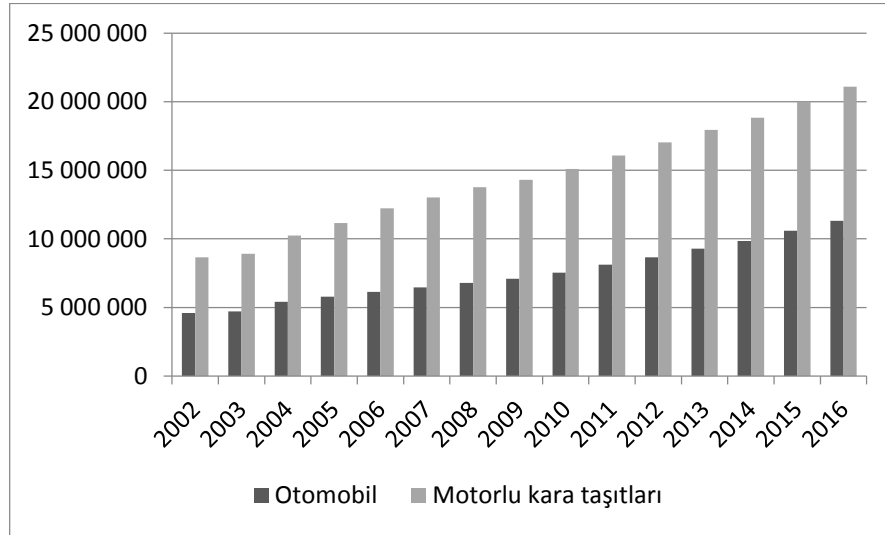
Proper design of recycling networks has become an important issue both in developed and developing countries because of governmental regulations limiting the amount of waste buried, economic and ecological benefits and increasing expectation of environmentally conscious customers. Automotive industry is one of the sectors that manufacturers must fulfill the requirements of related regulations. In Turkey, automobile manufacturers are responsible for free take-back of End-of-life vehicles (ELVs), recycling and recovering a certain percentage of weight of vehicles at the end of their operational lives. ELVs regulation issued in official gazette in 30.12.2009 by Republic of Turkey Ministry of Environment and Urbanization currently states that 85% of an ELV must be reused and recovered. However, the ratio must reach 95% by 2020. On the other hand, in European Union (EU) 95% of ELV material by weight must go for re-use and recovery since 2015 according to ELVs Directive (2000/52/EC).

This study aims to analyze the effects of increasing recovery targets to ELVs recycling network design that is implementing in EU since 2015 and will be implemented in 2020 in Turkey. To address this task, a general recycling network for ELVs incorporating Post-Shredding Technologies (PSTs) for meeting the higher targets is designed and a mixed integer programming model is formulated. Proposed model is solved for Turkey case and the results are interpreted.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Dünyada olduğu gibi Türkiye’de de motorlu kara taşıtları ve otomobil sayısı gün geçtikçe belirgin bir biçimde artmaktadır (Şekil 1). Ülkemizde 2020 yılında 1000 kişiye düşen araç sahiplik oranının 236’ya yükselmesi beklenmektedir. Artan araç sayılarının; özellikle nüfus yoğunluğu yüksek illerde getirdiği trafik

probleminin yanı sıra, ÖTA sayısını ve buna bağlı olarak da insanoğlunun çevreye verdiği zararları artırması gibi sakıncaları da bulunmaktadır. Pek çok ülkede artan ÖTA'larla baş edebilmek ve bunların uygun bir şekilde geri kazanımını ve bertarafını düzenleyebilmek için yönetmelikler çıkarılmıştır. Türkiye'de konuyla ilgili yönetmeliğin ana amacı yeniden kullanım, geri dönüşüm ve geri kazanım oranlarını artırırken, ÖTA'lardan kaynaklanan atıkları en aza indirmektir [1]. ÖTA'ların geri kazanımıyla ilgili AB yönetmeliği ve ülkemizdeki yönetmelik aynı amaçla çıkarılmış olup, imalatçılara benzer sorumlulukları yüklemektedirler. Yönetmelikler arasındaki en belirgin fark, %95 yeniden kullanım ve geri kazanım hedefinin AB'de 2015 yılından itibaren zorunlu tutulurken, Türkiye'de 2020 yılından itibaren zorunlu tutulacak olmasıdır.



Şekil 1. Türkiye'deki motorlu kara taşıtı ve otomobil sayılarının yıllar içindeki değişimi [2]

Genel bir ÖTA geri dönüşüm ağı; arındırma, sökülme, işleme, geri dönüşüm ve bertaraf etme işlemlerinin gerçekleştirildiği birimler ve bunlar arasındaki akışlardan oluşmaktadır. Bu işlemlerin her biri bakanlık tarafından lisanslı işletmeler tarafından gerçekleştirilmelidir. Sökme tesislerinde, araçtaki tehlikeli maddeler alınmakta, sıvılar boşaltılmakta, yeniden kullanılabilir değeri olan parçalar sökülüp ikincil pazarlara satılmaktadır. Geri kalan preslenmiş araç işleme tesislerine gönderilmekte, burada demirli ve demir dışı metaller araçtan ayrıştırılarak geri dönüşüm tesislerine satılmaktadır. ÖTA'ların işleme tesislerinde parçalanması sonucu kalan atıklar (ASR -Automotive shredder residue) pek çok ülkede atık alanlarında gömülerek bertaraf edilmektedir. ASR kompleks ve heterojen bir yapıya sahip olduğundan, geri kazanımı işletmelere ekonomik açıdan çekici gelmemektedir. Ancak yönetmelikler tarafından zorunlu kılınan yeniden kullanım/geri dönüşüm/geri kazanım oranları arttıkça ÖTA geri dönüşüm ağlarının yapılandırılmasında ileri işleme teknolojilerinin (Post shredder Technologies-PSTs) de yer alması kaçınılmaz olmaktadır. Bu çalışmada [3] tarafından geliştirilen ağ yapısı ve matematiksel modeli yönetmeliğin imalatçılara zorunlu kıldığı daha yüksek geri kazanım hedeflerinin sağlanması için gerekli olan ileri işleme teknolojilerini de içerecek şekilde geliştirilmiş ve Türkiye örneği üzerinde sonuçlar değerlendirilmiştir. Çalışmada ele alınan ağ yapısı genel bir ÖTA geri dönüşüm ağında yer alan ÖTA kaynakları, toplama merkezleri, sökme tesisleri, işleme tesisleri, geri dönüşüm tesisleri, ikincil pazarlar, düzenli depolama alanları gibi temel aktörlerin yanı sıra işleme tesislerine entegre edilen ileri işleme teknolojilerini içermektedir. Çalışmada, yükseltilmiş ÖTA yeniden kullanım/geri dönüşüm/geri kazanım hedeflerinin sağlanması için ÖTA geri dönüşüm ağının tasarlanması ve yönetilmesi maliyetlerinin, hangi ileri işleme teknolojilerinin hangi işleme tesislerine entegre edilmesiyle minimize edileceğini belirlemek üzere bir karma tamsayı programlama modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen model GAMS-CPLEX ile çözülmüştür. Böylece yükseltilmiş hedeflerin imalatçılara yükleyeceği ilave sorumlulukların minimum maliyetle nasıl karşılanacağı analiz edilmiş ve ÖTA kaynaklı çevresel etkilerin azaltılması hedeflenmiştir.

Çalışmanın geri kalan kısmı şu şekilde organize edilmiştir. 2. bölümde, ÖTA'ların geri dönüşümü için ağ tasarımını konu edinen çalışmaları içeren literatür araştırmasına yer verilmiştir. 3. bölümde, gerek ÖTA'ların gerekse ömrünü tamamlamış beyaz eşyaların işleme tesislerinde işlenmesi sonrası oluşan atıklar

ve bu atıkların ayrıştırılmasında kullanılan teknolojiler hakkında bilgi verilmiştir. 4. bölüm, çalışmada ele alınan ÖTA geri dönüşüm ağını ve matematiksel modelini içerirken, 5. bölümde önerilen model Türkiye örneği için çözülmüş, sonuçlar değerlendirilmiştir. Son olarak, sonuç bölümünde çalışmaya ilişkin sonuçlara ve değerlendirmelere yer verilmiştir.

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI (LITERATURE SURVEY)

Literatürde tersine lojistik ağlarının tasarımı ve modellenmesiyle ilgili pek çok çalışma yer almasına rağmen, bunların sadece bir kısmı ömrünü tamamlamış örnek bir ürünü temel almıştır. Ömrünü tamamlamış halılar, beyaz eşyalar, pil ve akümülatörler, lastikler, fotokopi makineleri gibi farklı ürün grupları için yapılan ağ tasarımı ve modellenmesi çalışmaları bulunmakla birlikte, içerdiği ekonomik değer ve çevresel etkileri düşünüldüğünde oldukça önemli bir ömrünü tamamlamış ürün olan ÖTA'larla ilgili literatürde sınırlı sayıda çalışma yer almaktadır. Mansour ve Zarei [4] ve Zarei vd. [5], çalışmalarında çok dönemli bir ÖTA geri kazanım ağı için matematiksel model geliştirmişler ve AB yönetmeliğinin imalatçılara yüklediği sorumlulukların minimum maliyetle nasıl yerine getirileceği sorusuna cevap aramışlardır. Cruz-Rivera ve Ertel [6], Meksika'da ÖTA toplama ağı için kapasitelendirilmemiş tesis yer seçimi problemi yapısında bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Guranowska [7], toplama, sökme, işleme ve malzeme geri dönüşümünü içeren genel bir ÖTA geri kazanım ağı tasarlamıştır. Farel vd. [8], ÖTA'ların içerdiği camların geri kazanımını konu edinen ağın karının maksimizasyonu için doğrusal bir programlama modeli geliştirmişlerdir. Ene ve Öztürk [9] çok dönemli, çok aşamalı, kapasite kısıtlı bir model geliştirerek toplam karı maksimize etmeyi ve ÖTA kaynaklı toplam çevresel etkiyi minimize etmeyi hedeflemişlerdir. Demirel vd. [3], ÖTA geri dönüşümü için karma tamsayı doğrusal programlama modeli geliştirerek uzun dönemde kişi başı araç parkı miktarlarını tahmin etmiş ve bir örnek üzerinde gelecek senaryolarını değerlendirmişlerdir. Phuc vd. [10] ÖTA geri dönüşümünü bulanıklığı da hesaba katarak ele almışlardır. Özceylan vd. [1] ise sıfır araçların üretimi ve son kullanıcıya ulaştırılmasını konu edinen ileri tedarik zinciri ile ÖTA'ların geri dönüşümünü konu edinen tersine tedarik zincirini birlikte ele alan kapalı döngü bir ağ için matematiksel model geliştirmişler ve Türkiye örneği için çözmüşlerdir.

Literatürdeki ÖTA geri dönüşümü için ağ tasarımı ve modellemesini konu edinen çalışmalar incelendiğinde, gerek AB, gerek ülkemizde yönetmelikle zorunlu tutulan yükseltilmiş geri kazanım hedeflerinin ÖTA geri dönüşüm ağına olan etkisini analiz eden ve akışların optimizasyonu ile ilgili bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmada, yakıt tüketiminin düşürülmesi için daha fazla ASR üretimine neden olan güncel araç kompozisyonlarıyla birlikte, mevcut ağ yapılarıyla sağlanması mümkün olmayan yükseltilmiş yeniden kullanım/ geri dönüşüm/geri kazanım yönetmelik hedeflerinin genel ÖTA geri dönüşüm ağ yapısında meydana getireceği değişiklikler dikkate alınmış, atığa gönderilen ASR miktarlarının azaltılmasının minimum maliyetlerle nasıl sağlanacağı belirlenmesi için bir karma tamsayı matematiksel programlama modeli geliştirilmiş ve çözülmüştür. ÖTA geri dönüşüm ağlarının yeniden düzenlenmesi ihtiyacının iki temel nedeni bulunmaktadır: (1) yakıt tüketimini azaltmak için yeni otomobil tasarımlarında geri dönüşümü mümkün ve karlı olan demirli malzemelerin yerini plastik malzemeler almaktadır. Araç ağırlıklarını azaltmaya yönelik bu tutum, araçta geri dönüştürülebilir malzemelerin oranlarını azaltmakta, ASR miktarlarını artırmaktadır. (2) Yönetmeliğin zorunlu kıldığı yeniden kullanım/geri dönüşüm/geri kazanım oranlarının yükselmesi; araç ağırlıklarının daha büyük bir miktarının geri kazanılmasını ve atığa gönderilen ASR miktarlarının azaltılmasını gerektirmektedir. Bu çalışmada, güncel araç kompozisyonları kullanılarak yükseltilmiş hedeflerin sağlanmasını mümkün kılacak ÖTA geri kazanım ağının ve akışların optimizasyonu hedeflenmiştir.

## 3. İŞLEME SONRASI ATIKLAR ve İLERİ İŞLEME TEKNOLOJİLERİ (SHREDDER RESIDUE and POST-SHREDDER TECHNOLOGIES)

Sökme tesislerinde arındırılma ve söküm işlemleri tamamlanan ÖTA'lar preslenmiş bir şekilde işleme tesislerine gönderilirler. İşleme tesisleri, ÖTA'larla birlikte beyaz eşyaların da parçalandığı ve malzeme sınıflarına göre ayrıştırıldığı işletmelerdir. Parçalama işlemi sonrası bu tesislerde atıklar meydana gelmektedir (SR-shredder residue). Bu atıkların yoğunluğu, içerdiği nem miktarı ve kompozisyonu işletmeden işletmeye ve hattın beslenmesinde ne kadar beyaz eşya ya da araç kullanıldığına bağlı olarak

değiştirdiğinden, işleme sonrası atıkların geri dönüştürülmesi zor ve maliyetli bir iştir [11]. İşleme tesislerindeki toplam parçalayıcı atıklarının yaklaşık %50'sini ÖTA kaynaklı atıklar (ASR) oluşturmaktadır [12]. ASR'yi ağır ve hafif olarak iki kısımda değerlendirmek mümkündür. Hafif kısım, ASR'nin büyük bir kısmını oluşturmaktadır (%75) ve daha çok plastik, tekstil, kauçuk gibi hafif malzemelerden meydana gelmektedir. Ağır kısım (%25) ise içeriğinde cam, kum ve metal kırıntılarını daha çok barındırmaktadır [13].

Mevcut geri kazanım teknolojileri ÖTA bileşenlerinin %75-80'inin geri dönüştürülebilmesini sağlamaktadır. ÖTA ağırlığının kalan %20-25'lik kısmı homojen olmayan malzeme bileşimine sahip ASR'yi oluşturmaktadır [11, 14]. ASR, zararlı atık kapsamında ele alınmaktadır. Avrupa'da yılda üretilen zararlı atıkların yaklaşık %10'unu ASR oluşturmaktadır [15-16]. Pek çok ülkede ASR'lerin gömülmesi heterojen yapısından dolayı en yaygın karşılaşılan uygulamadır [13-14,17]. Yapısında plastik, tekstil ürünleri, kauçuk, cam gibi pek çok farklı yapıda malzeme barındıran ASR'nin ayrıştırılması, geleneksel ÖTA geri kazanım alanında yer alan aktörler tarafından mümkün olmamakta ve ilave teknolojiler gerektirmektedir. ASR'nin ayrıştırılmasında temel olarak mekanik ayrıştırma ve termal iyileştirme olmak üzere 2 farklı teknolojiye bahsetmek mümkündür. İleri işleme teknolojileri Tablo 1'de toplu şekilde verilmiştir.

**Tablo 1. İleri işleme teknolojileri [18]**

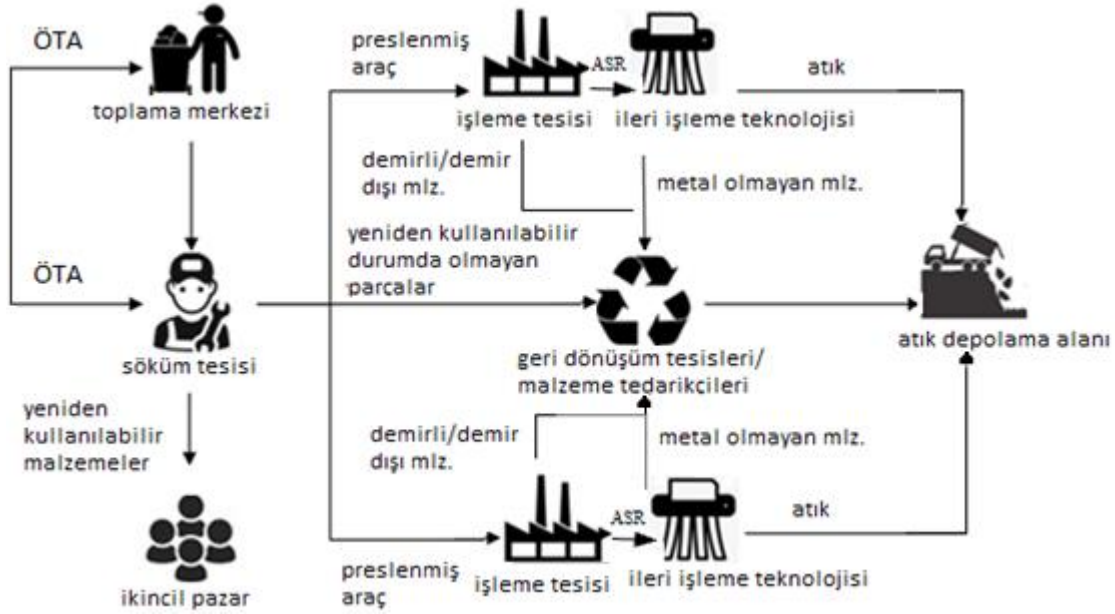
Teknoloji	Teknoloji türü	Toplam geri dönüşüm/geri kazanım oranı %	Geri dönüşüm oranı%
VW-Sicon	Mekanik ayrıştırma	95	95
Galloo	Mekanik ayrıştırma	90	88
Suit	Mekanik ayrıştırma	100	96
R-Plus	Mekanik ayrıştırma	100	100
Citron	Termal İyileştirme	100	90
TwinRec	Termal İyileştirme	97	87
SVZ Schwarze Pumpe	Termal İyileştirme	97	82

ÖTA'ların geri kazanımıyla ilgili gerek AB, gerekse Türkiye yönetmelikleri gömülen ASR miktarlarını sınırlamaktadır. AB'de 2006 yılı itibariyle, ömrünü tamamlamış araçlarda yeniden kullanım ve geri dönüşüm oranları ortalama araç ağırlığının en az % 80'i; yeniden kullanım ve geri kazanım oranları ise ortalama araç ağırlığının en az % 85'i olmalıdır. 2015 yılı itibariyle bu hedefler; yeniden kullanım ve geri dönüşüm için araç ağırlığının en az %85'ine, yeniden kullanım ve geri kazanım için ise araç ağırlığının en az %95'ine yükseltilmiştir. Yükseltilmiş hedefler ülkemizde 2020 yılı itibariyle aynı oranlarda zorunlu tutulmuştur. Mevcut teknolojilerle geri dönüştürülmesi mümkün olmayan araç ağırlığının %15-%20'lik kısmının geri dönüştürülerek yükseltilmiş hedeflere ulaşabilmek için Tablo 1'de verilen ileri işleme teknolojilerinin ÖTA geri dönüşümünde kullanılması gerekmektedir.

#### 4. AĞ TASARIMI (NETWORK DESIGN)

ÖTA'ların geri kazanımı için ileri işleme teknolojilerini de içeren genel bir ağ yapısı Şekil 2' de verilmiştir. Son kullanıcılar ÖTA'larını bakanlık tarafından lisanslandırılmış toplama merkezleri ya da söküm tesislerinden birine bir bedel ödemeksizin teslim etmekle yükümlüdürler. ÖTA'yı sahibinden teslim alan işletme yönetmeliğe uygun olarak çeşitli belgeleri düzenlemekte ve ÖTA'yı sahibinin üzerinden düşmektedir. Toplama merkezlerinde toplanan ÖTA'lar söküm tesislerine gönderilmekte burada arındırma işlemi uygulandıktan sonra, değerli parçalar doğrudan ikincil pazarlarda satılmak üzere sökülmemektedir. Geriye kalan araç preslenerek yine bakanlık tarafından lisanslandırılmış olan işleme tesislerine gönderilmektedir. İşleme tesislerinde çeşitli işlemler sonrası elde edilen demirli ve demirli olmayan

malzemeler geri dönüşüm tesislerine gönderilmekte, geriye kalan ASR ise işleme tesislerine ilave yatırımlar gerektiren ileri işleme teknolojileri sayesinde ayrıştırılmaktadır.



Şekil 2. ÖTA geri dönüşüm ağı

Yukarıdaki ağ yapısında ASR doğrudan düzenli depolama alanlarına gönderilmek yerine, ileri işleme teknolojileri kullanılarak ayrıştırılmakta, geriye kalan geri dönüştürülebilir durumda olmayan atıklar düzenli depolama alanına gönderilmektedir.

#### 4.1. Matematiksel Model (Mathematical Model)

##### 4.1.1. Notasyonlar (Notations)

###### İndeksler (Indexes):

i ÖTA kaynakları,  $i=1,2,..,I$

p bileşenler/malzemeler  $p$ =demirli malzemeler, demir dışı malzemeler, lastik, akü, sıvılar, diğer

j toplama merkezleri  $j=1,2,..,J$

k söküm tesisleri  $k=1,2,..,K$

l işleme tesisleri  $l=1,2,..,L$

m ikincil pazarlar  $m=1,2,..,M$

r geri dönüşüm tesisleri/malzeme tedarikçileri  $r=1,2,..,R$

u düzenli depolama alanları  $u=1,2,..,U$

v ileri işleme tesisleri  $v=1,2,..,V$

n teknoloji tipleri  $n=1,2,..,N$

t dönemler  $t=1,2,..,T$

###### Parametreler (Parameters):

$R_{it}$ : i. ÖTA kaynağında t döneminde kaydı silinen araç miktarı

$dc_{kt}$ : k. söküm tesisinde t döneminde birim sökme maliyeti (TL/ton)

$sc_{lt}$ : l. işleme tesisinde t döneminde birim işleme maliyeti (TL/ton)

$lc_{ut}$ : u. düzenli depolama alanında t döneminde birim bertaraf etme maliyeti (TL/ton)

$rc_{rt}$ : r. geri dönüşüm tesisi/malzeme tedarikçisinde t döneminde birim geri dönüşüm maliyeti (TL/ton)

$psc_{vnt}$ : v. ileri işleme tesisinde n teknolojisi kullanılarak t döneminde birim ASR ayrıştırma maliyeti (TL/ton)

$s_{pt}$ : p. bileşen/malzemenin yeniden kullanım ve yeniden imalat için söküm tesisinden t döneminde birim satış fiyatı (TL/ton)

$z_{pt}$ : p. bileşen/malzemenin işleme tesisinden geri dönüştürülmek üzere t döneminde birim satış fiyatı (TL/ton)

$h_t$ : ileri işleme teknolojisi kullanılarak elde edilen metal dışı malzemelerin t döneminde birim satış fiyatı (TL/ton)

$t_{ijt}$ : i. ÖTA kaynağı ile j. toplama merkezi arasında t döneminde birim taşıma maliyeti (TL/ton\*km)

$t_{ikt}$ : i. ÖTA kaynağı ile k. söküm tesisi arasında t döneminde birim taşıma maliyeti (TL/ton\*km)

$t_{jkt}$ : j. toplama merkezi ile k. söküm tesisi arasında t döneminde birim taşıma maliyeti (TL/ton\*km)

$t_{kit}$ : k. söküm tesisi ile l. işleme tesisi arasında t döneminde birim taşıma maliyeti (TL/ton\*km)

$t_{vut}$ : v. ileri işleme tesisi ile u. düzenli depolama alanı arasında t döneminde birim taşıma maliyeti (TL/ton\*km)

$t_{krt}$ : k. söküm tesisi ile r. geri dönüşüm tesisi/malzeme tedarikçisi arasında t döneminde birim taşıma maliyeti (TL/ton\*km)

$F_{vn}$ : n teknolojisine sahip v ileri işleme tesisi kurma maliyeti (TL)

$d_{ij}$ : i. ÖTA kaynağı ile j. toplama merkezi arasındaki uzaklık (km)

$d_{ik}$ : i. ÖTA kaynağı ile k. söküm tesisi arasındaki uzaklık (km)

$d_{jk}$ : j. toplama merkezi ile k. söküm tesisi arasındaki uzaklık (km)

$d_{kl}$ : k. söküm tesisi ile l. işleme tesisi arasındaki uzaklık (km)

$d_{kr}$ : k. söküm tesisi ile r. geri dönüşüm tesisi/malzeme tedarikçisi arasındaki uzaklık (km)

$d_{vu}$ : v. ileri işleme tesisi ile u. düzenli depolama alanı arasındaki uzaklık (km)

$cap_{jt}$ : j. toplama merkezinin t dönemi kapasitesi (ton)

$cap_{kt}$ : k. söküm tesisinin t dönemi kapasitesi (ton)

$cap_{lt}$ : l. işleme tesisinin t dönemi kapasitesi (ton)

$cap_{ut}$ : u. düzenli depolama alanının t dönemi kapasitesi (ton)

$cap_{vnt}$ : v. ileri işleme tesisinin n teknolojisi için t dönemi kapasitesi (ton)

$\alpha$ : ÖTA içerisindeki preslenmiş araç ağırlık oranı

$\beta$ : Preslenmiş araç içerisindeki ASR ağırlık oranı

$\mu_p$ : ÖTA içerisindeki yeniden kullanılabilir/yeniden imal edilebilir p. bileşen/malzeme ağırlık oranı

$\lambda_p$ : ÖTA içerisindeki yeniden kullanılabilir durumda olmayan bileşen/malzeme ağırlık oranı

$\gamma_p$ : Preslenmiş araç içerisindeki geri dönüştürülebilir p. bileşen/malzeme oranı

$\eta$ : ASR içinde yer alan ve düzenli depolama alanına gönderilen atık oranı

Karar değişkenleri (Decision Variables):

$A_{ijt}$ : i. ÖTA kaynağından j. toplama merkezine t döneminde taşınan ÖTA miktarı

$B_{ikt}$ : i. ÖTA kaynağından k. sökülme tesisine t döneminde taşınan ÖTA miktarı

$X_{jkt}$ : j. toplama merkezinden k. sökülme tesisine t döneminde taşınan ÖTA miktarı

$Y_{klt}$ : k. sökülme tesisinden l. işleme tesisine t döneminde taşınan preslenmiş araç miktarı

$C_{lvt}$ : l. işleme tesisinden v. ileri işleme tesisine t döneminde taşınan ASR miktarı

$Z_{vut}$ : v. ileri işleme tesisinden u. düzenli depolama alanına t döneminde taşınan atık miktarı

$W_{pkr}$ : k. sökülme tesisinden r. geri dönüşüm tesisi/malzeme tedarikçisine t döneminde taşınan yeniden kullanılabilir durumda olmayan p. bileşen/malzeme miktarı

$P_{prt}$ : l. işleme tesisinden r. geri dönüşüm tesisi/malzeme tedarikçisine t döneminde taşınan p. bileşen/malzeme miktarı

$Q_{pkm}$ : k. sökülme tesisinden m. ikincil pazara t döneminde taşınan yeniden kullanılabilir/yeniden imal edilebilir durumda olan p. bileşen/malzeme miktarı

$G_{vrt}$ : v. ileri işleme tesisinden r. geri dönüşüm tesisi/malzeme tedarikçisine t döneminde taşınan metal olmayan malzeme miktarı

$O_{vnt}$ : v. ileri işleme tesisinde n teknoloji ile ayrıştırılan ASR miktarı

$E_{vn}$ : n teknolojiyle v. ileri işleme tesisi kurulursa 1; diğer durumda 0.

#### 4.1.2. Formülasyon (Formulation)

##### Amaç fonksiyonu (Objective Function):

Min.

$$\begin{aligned} & \sum_v \sum_n F_{vn} \cdot E_{vn} + \sum_i \sum_j \sum_t A_{ijt} \cdot t_{ijt} \cdot d_{ij} + \sum_i \sum_k \sum_t B_{ikt} \cdot t_{ikt} \cdot d_{ik} + \sum_j \sum_k \sum_t X_{jkt} \cdot t_{jkt} \cdot d_{jk} + \\ & \sum_k \sum_l \sum_t Y_{klt} \cdot t_{klt} \cdot d_{kl} + \sum_p \sum_k \sum_r \sum_t W_{pkr} \cdot t_{pkr} \cdot d_{kr} + \sum_v \sum_u \sum_t Z_{vut} \cdot t_{vut} \cdot d_{vu} + \\ & \sum_l \sum_v \sum_t C_{lvt} \cdot t_{lvt} \cdot d_{lv} + \sum_i \sum_k \sum_t B_{ikt} \cdot dc_{kt} + \sum_j \sum_k \sum_t X_{jkt} \cdot dc_{kt} + \sum_k \sum_l \sum_t Y_{klt} \cdot sc_{lt} + \\ & \sum_p \sum_k \sum_r \sum_t W_{pkr} \cdot rc_{rt} + \sum_v \sum_u \sum_t Z_{vut} \cdot lc_{ut} + \sum_v \sum_n \sum_t psc_{vnt} \cdot O_{vnt} - \\ & \sum_p \sum_k \sum_m \sum_t s_{pt} \cdot Q_{pkm} - \sum_p \sum_l \sum_r \sum_t z_{prt} \cdot P_{prt} - \sum_v \sum_r \sum_t h_t \cdot G_{vrt} \end{aligned} \quad (1)$$

##### Kısıtlar (Constraints):

$$\sum_j A_{ijt} + \sum_k B_{ikt} = R_{it} \quad \forall i, t \quad (2)$$

$$\sum_i A_{ijt} = \sum_k X_{jkt} \quad \forall j, t \quad (3)$$

$$\sum_l Y_{klt} = \alpha \cdot \left( \sum_j X_{jkt} + \sum_i B_{ikt} \right) \quad \forall k, t \quad (4)$$

$$\sum_m Q_{pkmt} = \mu_p \cdot \left( \sum_j X_{jkt} + \sum_i B_{ikt} \right) \quad \forall k, t, p = 1, 2, 4, 5, 6 \quad (5)$$

$$\sum_r W_{pkrt} = \lambda_p \cdot \left( \sum_j X_{jkt} + \sum_i B_{ikt} \right) \quad \forall k, t, p = 3, 4, 5 \quad (6)$$

$$\sum_v C_{lvt} = \beta \cdot \sum_k Y_{klt} \quad \forall l, t \quad (7)$$

$$\sum_u Z_{vut} = \eta \cdot \sum_l C_{lvt} \quad \forall v, t \quad (8)$$

$$\sum_r P_{plrt} = \gamma_p \cdot \sum_k Y_{klt} \quad \forall l, t, p = 1, 2 \quad (9)$$

$$\sum_r G_{vrt} = (1 - \eta) \cdot \sum_l C_{lvt} \quad \forall v, t \quad (10)$$

$$\sum_l C_{lvt} = \sum_n O_{vnt} \quad \forall v, t \quad (11)$$

$$\sum_i A_{ijt} \leq \text{cap}_{jt} \quad \forall j, t \quad (12)$$

$$\sum_i B_{ikt} + \sum_j X_{jkt} \leq \text{cap}_{kt} \quad \forall k, t \quad (13)$$

$$\sum_k Y_{klt} \leq \text{cap}_{lt} \quad \forall l, t \quad (14)$$

$$O_{vnt} \leq \text{cap}_{vnt} \cdot E_{vn} \quad \forall v, n, t \quad (15)$$

$$\sum_k W_{pkrt} \leq \text{cap}_{prt} \quad \forall r, t, p = 3, 4, 5 \quad (16)$$

$$\sum_v Z_{vut} \leq \text{cap}_{ut} \quad \forall u, t \quad (17)$$

$$\sum_n E_{vn} \leq 1 \quad \forall v \quad (18)$$

$$A_{ijt}, B_{ikt}, C_{lvt}, O_{vnt}, G_{vrt}, X_{jkt}, Y_{klt}, Z_{vut}, W_{pkrt}, P_{plrt}, Q_{pkmt} \geq 0 \quad \forall i, j, k, l, m, n, p, r, u, v, t \quad (19)$$

$$E_{vn} = \{0, 1\} \quad \forall v, n \quad (20)$$

Amaç fonksiyonu, toplam ağ maliyetini minimize etmektedir. Amacın birinci parçası ileri işleme tesislerinden kaynaklı kurulum maliyetini göstermektedir. Sonraki 7 kısım, ağda yer alan aşamalar arası gerçekleşen taşıma maliyetleridir. Taşıma maliyetlerini izleyen kısımlar sırasıyla sökme, işleme, geri dönüşüm, bertaraf etme ve ileri işleme maliyetlerini göstermektedir. Son 3 bileşen ise malzeme ve parçaların satışından elde edilen gelirleri ifade etmektedir. Kısıt (2), ÖTA kaynaklarından toplama merkezlerine ve söküm tesislerine dönen ÖTA miktarlarını belirtmektedir. Kısıt (3) toplama merkezlerine giren ve çıkan ÖTA miktarını eşitlemektedir. (4-6) numaralı kısıtlar, söküm tesislerinden işleme tesislerine, ikincil pazarlara ve geri dönüşüm tesisleri/malzeme tedarikçilerine yapılan taşımaları dengelerken, (7-10) numaralı kısıtlar ise; işleme tesislerinden ileri işleme tesislerine, ileri işleme tesislerinden atık alanlarına, işleme tesisleri ile ileri işleme tesislerinden geri dönüşüm tesisleri/malzeme tedarikçilerine yapılan



taşımaları dengelemektedir. Kısıt (11), ileri işleme teknolojilerine tabi tutulan ASR miktarını ifade etmektedir. (12-17) numaralı kısıtlar sırasıyla toplama merkezleri, söküm tesisleri, işleme tesisleri, ileri işleme tesisleri, geri dönüşüm tesisleri/malzeme tedarikçileri ve atık alanlarının dönemler itibarıyla kapasitelerini sınırlandırmaktadır. Kısıt (18) her bir ileri işleme tesisine en fazla 1 ileri işleme teknolojisinin kurulmasına izin vermektedir. Kısıt (19) karar değişkenlerinin negatif değerler almasını önlerken, kısıt (20) ikili değişkenleri göstermektedir.

## 5. ÖRNEK PROBLEM (5. CASE STUDY)

2014 yılı verilerine göre ülkemizde trafikteki yaklaşık 19 milyon aracın %20,3'ü 21 yaşın üzerindedir [19]. Bu bölümde Türkiye'de ÖTA'ların geri dönüşüm ağının toplam maliyetlerini minimize etmek üzere [3] tarafından geliştirilen ağ yapısı ve matematiksel modeli; yönetmelikte zorunlu tutulan yeniden kullanım/geri kazanım oranlarının %85'ten %95'e çıkması durumunda mevcut sistemlerle bu hedefler karşılanamayacağı için yeni duruma adapte edilmeye çalışılmıştır.

Artan hedeflerin ağ yapısına, maliyetlere ve ağdaki geri akışlara olan etkisini analiz etmek üzere [1] ve [3] tarafından Türkiye örneği için kullanılan aynı veri yapısı dikkate alınmıştır (uzaklıklar, kaydı silinen otomobil miktarları, maliyetler, gelirler, kapasiteler). Bu çalışmalardan farklı olarak, geçmişten günümüze araç ağırlıklarıyla ilgili gelişmeleri modele dahil edebilmek için plastik oranlarının yüksek, kolay geri dönüştürülebilir demirli malzeme oranlarının ise eskiye göre daha düşük olduğu güncel ÖTA bileşimleri modele dahil edilmiştir (Tablo 2, 2015 yılı verileri). Tablo 2'de verilen ağırlıklar 1 ton ÖTA için kg cinsinden ifade edilmektedir.

**Tablo 2. ÖTA bileşimi [18]**

Malzeme	2002	2006	2015
Demirli metal	680	680	650
Demir dışı metal	80	80	90
Plastik	100	100	120
Lastik	30	30	30
Cam	30	30	30
Akü	13	13	13
Sıvılar	17	17	17
Tekstil	10	10	10
Kauçuk	20	20	20
Diğer	20	20	20
Toplam	1000	1000	1000

Önerilen ağ yapısında [1] ve [3]'den farklı olarak yönetmeliğin zorunlu kıldığı yüksek hedefleri karşılayabilmek için mekanik ayrıştırma (VW-Sicon), termal iyileştirme (TwinRec) ve hem mekanik ayrıştırma hem de termal iyileştirme teknolojisi (Reshment) kullanarak ASR'yi ayrıştıran ileri işleme tesisleri dikkate alınmıştır. VW-Sicon teknolojisi için kurulum maliyeti 46.160.000TL, TwinRec teknolojisi için 417.480.000TL, son olarak da Reshment teknolojisi için 206.270.900TL olarak belirlenmiştir. Bu değerler [12] tarafından avro olarak verilen maliyetlerin (1€=4TL) kabul edilerek TL'ye çevrilmesiyle elde edilmiştir. İlave teknolojiler için kapasiteler sırasıyla 100.000 ton, 300.000ton ve 150.000 ton olarak kabul edilmiştir [12]. Birim ileri işleme maliyetleri ise kurulum maliyetlerinin elde edilmesinde kullanılan aynı yaklaşım ile sırasıyla 120TL, 356TL ve 292TL olarak modele dahil edilmiştir [12]. ASR'nin ayrıştırılmasıyla elde edilen metal olmayan malzemelerin tüm dönemlerde birim satış fiyatı 100TL/ton olarak kabul edilmiştir.

### 5.1. Problem Sonuçları (Results of the Problem)

Örnek problem GAMS-CPLEX ile, 460.296 adet sürekli değişken, 27 adet ikili değişken ve 8197 kısıt için 3.00 GHz işlemcili, 2 GB RAM'e sahip bir bilgisayarda 125 CPU saniyeden daha kısa sürede çözülmüştür. Sistemin toplam maliyeti 90.913.563TL olarak elde edilmiştir. Optimum çözümde mekanik ayrıştırılmaya dayalı olarak ASR'yi ayrıştıran VW-Sicon teknolojisi kurulmuş, diğer teknolojilerin kullanılmasına gerek duyulmamıştır. VW-Sicon teknolojisini kullanan ileri işleme tesisi, Kocaeli'nde yer alan 8 numaralı işleme tesisinde entegre edilmiştir. Diğer 8 işleme tesisi kendi bünyelerinde ileri işleme tesisi kurmak yerine, ürettikleri ASR'leri Kocaeli'nde kurulan tesise göndermiştir. Her 3 dönem için karar değişkenlerinin optimum değerleri Tablo (3-5)'de verilmiştir.

**Tablo 3.** Birinci dönem için karar değişkenlerinin GAMS-CPLEX ile elde edilen optimum değerleri

K.D.	Değ.	K.D.	Değ.	K.D.	Değ.	K.D.	Değ.	K.D.	Değ.	K.D.	Değ.	K.D.	Değ.	K.D.	Değ.	K.D.	Değ.
A <sub>1,2,1</sub>	534	A <sub>34,303,1</sub>	191	A <sub>49,523,1</sub>	15	B <sub>25,76,1</sub>	175	X <sub>256,41,1</sub>	209	X <sub>401,33,1</sub>	7	X <sub>649,60,1</sub>	12	Y <sub>61,8,1</sub>	577	P <sub>1,8,54,1</sub>	5319
A <sub>2,2,1</sub>	52	A <sub>34,304,1</sub>	1000	A <sub>50,525,1</sub>	82	B <sub>34,23,1</sub>	2000	X <sub>268,35,1</sub>	288	X <sub>402,33,1</sub>	11	X <sub>653,20,1</sub>	30	Y <sub>68,9,1</sub>	147	P <sub>1,9,35,1</sub>	551
A <sub>3,28,1</sub>	129	A <sub>34,309,1</sub>	1000	A <sub>51,530,1</sub>	47	B <sub>54,61,1</sub>	206	X <sub>272,27,1</sub>	53	X <sub>407,84,1</sub>	80	X <sub>662,86,1</sub>	83	Y <sub>69,3,1</sub>	117	P <sub>2,1,55,1</sub>	930
A <sub>5,47,1</sub>	74	A <sub>34,312,1</sub>	1000	A <sub>52,540,1</sub>	66	B <sub>80,87,1</sub>	101	X <sub>278,87,1</sub>	268	X <sub>420,22,1</sub>	607	X <sub>671,61,1</sub>	143	Y <sub>71,3,1</sub>	44	P <sub>2,3,30,1</sub>	78
A <sub>6,73,1</sub>	824	A <sub>34,314,1</sub>	1000	A <sub>53,551,1</sub>	54	X <sub>2,28,1</sub>	534	X <sub>288,44,1</sub>	25	X <sub>425,13,1</sub>	80	Y <sub>1,1,1</sub>	4050	Y <sub>73,4,1</sub>	220	P <sub>2,4,108,1</sub>	37
A <sub>6,75,1</sub>	1000	A <sub>34,318,1</sub>	1000	A <sub>55,567,1</sub>	174	X <sub>21,53,1</sub>	52	X <sub>295,77,1</sub>	165	X <sub>426,47,1</sub>	114	Y <sub>3,8,1</sub>	298	Y <sub>76,3,1</sub>	142	P <sub>2,5,62,1</sub>	46
A <sub>7,88,1</sub>	601	A <sub>34,319,1</sub>	1000	A <sub>56,579,1</sub>	20	X <sub>28,41,1</sub>	129	X <sub>301,14,1</sub>	1000	X <sub>431,46,1</sub>	87	Y <sub>13,8,1</sub>	1563	Y <sub>77,8,1</sub>	339	P <sub>2,6,31,1</sub>	101
A <sub>8,107,1</sub>	35	A <sub>34,320,1</sub>	1000	A <sub>57,580,1</sub>	68	X <sub>45,78,1</sub>	84	X <sub>302,23,1</sub>	1000	X <sub>436,35,1</sub>	10	Y <sub>14,1,1</sub>	2489	Y <sub>78,8,1</sub>	426	P <sub>2,7,100,1</sub>	16
A <sub>9,115,1</sub>	199	A <sub>34,321,1</sub>	1000	A <sub>58,584,1</sub>	106	X <sub>47,73,1</sub>	74	X <sub>303,1,1</sub>	191	X <sub>443,85,1</sub>	280	Y <sub>14,8,1</sub>	1561	Y <sub>79,3,1</sub>	88	P <sub>2,8,54,1</sub>	453
A <sub>11,139,1</sub>	48	A <sub>34,323,1</sub>	1000	A <sub>59,607,1</sub>	176	X <sub>73,13,1</sub>	824	X <sub>304,38,1</sub>	1000	X <sub>454,78,1</sub>	413	Y <sub>15,8,1</sub>	965	Y <sub>81,6,1</sub>	1470	P <sub>2,9,35,1</sub>	47
A <sub>12,228,1</sub>	16	A <sub>34,324,1</sub>	1000	A <sub>60,617,1</sub>	91	X <sub>75,13,1</sub>	1000	X <sub>309,14,1</sub>	809	X <sub>469,77,1</sub>	198	Y <sub>19,3,1</sub>	66	Y <sub>82,4,1</sub>	138		
A <sub>13,144,1</sub>	25	A <sub>34,330,1</sub>	1000	A <sub>61,624,1</sub>	134	X <sub>88,52,1</sub>	601	X <sub>309,15,1</sub>	191	X <sub>475,54,1</sub>	160	Y <sub>20,8,1</sub>	24	Y <sub>83,4,1</sub>	141		
A <sub>14,150,1</sub>	132	A <sub>34,333,1</sub>	1000	A <sub>62,633,1</sub>	5	X <sub>107,33,1</sub>	35	X <sub>312,38,1</sub>	1000	X <sub>488,40,1</sub>	195	Y <sub>22,3,1</sub>	492	Y <sub>84,8,1</sub>	65		
A <sub>15,154,1</sub>	56	A <sub>34,343,1</sub>	1000	A <sub>63,592,1</sub>	182	X <sub>115,81,1</sub>	199	X <sub>314,15,1</sub>	1000	X <sub>497,60,1</sub>	37	Y <sub>23,1,1</sub>	4050	Y <sub>85,8,1</sub>	227		
A <sub>16,164,1</sub>	368	A <sub>34,345,1</sub>	1000	A <sub>64,642,1</sub>	105	X <sub>126,61,1</sub>	39	X <sub>318,38,1</sub>	1000	X <sub>499,43,1</sub>	333	Y <sub>27,4,1</sub>	104	Y <sub>86,8,1</sub>	67		
A <sub>17,180,1</sub>	90	A <sub>34,349,1</sub>	1000	A <sub>65,648,1</sub>	78	X <sub>131,60,1</sub>	21	X <sub>319,14,1</sub>	1000	X <sub>517,81,1</sub>	182	Y <sub>28,5,1</sub>	433	Y <sub>87,9,1</sub>	369		
A <sub>18,184,1</sub>	25	A <sub>34,350,1</sub>	1000	A <sub>66,662,1</sub>	83	X <sub>135,27,1</sub>	10	X <sub>320,1,1</sub>	809	X <sub>523,79,1</sub>	15	Y <sub>33,3,1</sub>	43	C <sub>1,8,1</sub>	3150		
A <sub>19,198,1</sub>	102	A <sub>34,354,1</sub>	1000	A <sub>67,671,1</sub>	143	X <sub>137,69,1</sub>	11	X <sub>320,14,1</sub>	191	X <sub>525,19,1</sub>	82	Y <sub>35,9,1</sub>	241	C <sub>3,8,1</sub>	264		
A <sub>20,204,1</sub>	221	A <sub>35,365,1</sub>	1000	A <sub>68,45,1</sub>	84	X <sub>139,61,1</sub>	48	X <sub>321,38,1</sub>	1000	X <sub>530,43,1</sub>	47	Y <sub>37,3,1</sub>	38	C <sub>4,8,1</sub>	127		
A <sub>21,215,1</sub>	112	A <sub>35,376,1</sub>	213	A <sub>69,135,1</sub>	10	X <sub>144,60,1</sub>	25	X <sub>323,23,1</sub>	1000	X <sub>540,27,1</sub>	66	Y <sub>38,1,1</sub>	4050	C <sub>5,8,1</sub>	156		
A <sub>22,225,1</sub>	156	A <sub>36,402,1</sub>	11	A <sub>70,397,1</sub>	29	X <sub>150,61,1</sub>	132	X <sub>324,14,1</sub>	1000	X <sub>551,71,1</sub>	54	Y <sub>40,6,1</sub>	158	C <sub>6,8,1</sub>	342		
A <sub>23,229,1</sub>	73	A <sub>37,407,1</sub>	80	A <sub>71,425,1</sub>	80	X <sub>154,77,1</sub>	56	X <sub>330,1,1</sub>	1000	X <sub>567,83,1</sub>	174	Y <sub>41,8,1</sub>	274	C <sub>7,8,1</sub>	54		
A <sub>24,242,1</sub>	47	A <sub>38,420,1</sub>	607	A <sub>72,131,1</sub>	21	X <sub>164,3,1</sub>	368	X <sub>333,1,1</sub>	1000	X <sub>579,60,1</sub>	20	Y <sub>43,5,1</sub>	308	C <sub>8,8,1</sub>	1534		
A <sub>26,256,1</sub>	209	A <sub>39,426,1</sub>	114	A <sub>73,603,1</sub>	13	X <sub>180,59,1</sub>	90	X <sub>343,23,1</sub>	1000	X <sub>580,82,1</sub>	68	Y <sub>44,3,1</sub>	53	C <sub>9,8,1</sub>	159		
A <sub>27,268,1</sub>	288	A <sub>40,431,1</sub>	87	A <sub>74,126,1</sub>	39	X <sub>184,13,1</sub>	25	X <sub>345,1,1</sub>	1000	X <sub>584,73,1</sub>	106	Y <sub>46,8,1</sub>	70	Z <sub>8,3,1</sub>	1701		
A <sub>28,272,1</sub>	53	A <sub>41,443,1</sub>	280	A <sub>75,401,1</sub>	7	X <sub>198,82,1</sub>	102	X <sub>349,1,1</sub>	1000	X <sub>592,68,1</sub>	182	Y <sub>47,1,1</sub>	361	G <sub>8,63,1</sub>	4084		
A <sub>29,137,1</sub>	11	A <sub>42,454,1</sub>	413	A <sub>76,288,1</sub>	25	X <sub>204,81,1</sub>	221	X <sub>350,14,1</sub>	1000	X <sub>603,60,1</sub>	13	Y <sub>48,8,1</sub>	85	O <sub>8,1,1</sub>	5785		
A <sub>30,649,1</sub>	12	A <sub>43,469,1</sub>	198	A <sub>77,653,1</sub>	30	X <sub>215,60,1</sub>	112	X <sub>354,38,1</sub>	1000	X <sub>607,47,1</sub>	176	Y <sub>52,8,1</sub>	487	P <sub>1,1,103,1</sub>	10920		
A <sub>31,278,1</sub>	268	A <sub>44,475,1</sub>	160	A <sub>78,391,1</sub>	39	X <sub>219,61,1</sub>	105	X <sub>365,81,1</sub>	1000	X <sub>617,73,1</sub>	91	Y <sub>53,3,1</sub>	42	P <sub>1,3,60,1</sub>	913		
A <sub>32,295,1</sub>	165	A <sub>45,488,1</sub>	195	A <sub>79,436,1</sub>	10	X <sub>225,47,1</sub>	156	X <sub>376,81,1</sub>	213	X <sub>624,69,1</sub>	134	Y <sub>54,3,1</sub>	130	P <sub>1,4,94,1</sub>	439		
A <sub>33,499,1</sub>	333	A <sub>46,380,1</sub>	86	A <sub>81,219,1</sub>	105	X <sub>228,79,1</sub>	16	X <sub>380,87,1</sub>	86	X <sub>633,79,1</sub>	5	Y <sub>57,8,1</sub>	205	P <sub>1,5,62,1</sub>	539		
A <sub>34,301,1</sub>	1000	A <sub>47,497,1</sub>	37	B <sub>4,44,1</sub>	40	X <sub>229,79,1</sub>	73	X <sub>391,61,1</sub>	39	X <sub>642,48,1</sub>	105	Y <sub>59,8,1</sub>	73	P <sub>1,6,31,1</sub>	1185		
A <sub>34,302,1</sub>	1000	A <sub>48,517,1</sub>	182	B <sub>10,57,1</sub>	253	X <sub>242,37,1</sub>	47	X <sub>397,78,1</sub>	29	X <sub>648,60,1</sub>	78	Y <sub>60,7,1</sub>	258	P <sub>1,7,100,1</sub>	188		

K.D. Karar değişkeni, Değ. Değer

**Tablo 4.** İkinci dönem için karar değişkenlerinin GAMS-CPLEX ile elde edilen optimum değerleri

K.D.	Değ.	K.D.	Değ.	K.D.	Değ.	K.D.	Değ.	K.D.	Değ.	K.D.	Değ.	K.D.	Değ.	K.D.	Değ.	K.D.	Değ.
A <sub>1,2,2</sub>	207	A <sub>34,304,2</sub>	1000	A <sub>51,530,2</sub>	23	B <sub>54,61,2</sub>	150	X <sub>272,27,2</sub>	32	X <sub>431,46,2</sub>	69	Y <sub>13,8,2</sub>	1652	Y <sub>77,8,2</sub>	190	P <sub>2,5,41,2</sub>	20
A <sub>2,21,2</sub>	22	A <sub>34,309,2</sub>	1000	A <sub>52,540,2</sub>	61	B <sub>80,87,2</sub>	67	X <sub>278,87,2</sub>	114	X <sub>436,35,2</sub>	10	Y <sub>14,1,2</sub>	3075	Y <sub>78,8,2</sub>	273	P <sub>2,6,75,2</sub>	63
A <sub>3,28,1</sub>	66	A <sub>34,312,2</sub>	1000	A <sub>53,551,2</sub>	46	X <sub>2,28,2</sub>	207	X <sub>288,44,2</sub>	22	X <sub>443,85,2</sub>	194	Y <sub>14,8,2</sub>	975	Y <sub>79,3,2</sub>	96	P <sub>2,7,37,2</sub>	12
A <sub>5,47,2</sub>	63	A <sub>34,314,2</sub>	1000	A <sub>55,567,2</sub>	193	X <sub>21,53,2</sub>	22	X <sub>295,77,2</sub>	55	X <sub>454,78,2</sub>	257	Y <sub>15,8,2</sub>	810	Y <sub>81,6,2</sub>	908	P <sub>2,8,75,2</sub>	349
A <sub>6,73,2</sub>	957	A <sub>34,318,2</sub>	1000	A <sub>56,579,2</sub>	11	X <sub>28,41,2</sub>	66	X <sub>301,14,2</sub>	1000	X <sub>469,77,2</sub>	142	Y <sub>19,3,2</sub>	60	Y <sub>82,4,2</sub>	83	P <sub>2,9,29,2</sub>	36
A <sub>6,75,2</sub>	1000	A <sub>34,319,2</sub>	1000	A <sub>57,580,2</sub>	19	X <sub>45,78,2</sub>	53	X <sub>302,23,2</sub>	1000	X <sub>475,54,2</sub>	177	Y <sub>20,8,2</sub>	16	Y <sub>83,4,2</sub>	156		
A <sub>7,88,2</sub>	436	A <sub>34,320,2</sub>	1000	A <sub>58,584,2</sub>	64	X <sub>47,73,2</sub>	63	X <sub>304,14,2</sub>	1000	X <sub>488,40,2</sub>	138	Y <sub>22,3,2</sub>	446	Y <sub>84,8,2</sub>	24		
A <sub>8,107,2</sub>	15	A <sub>34,321,2</sub>	1000	A <sub>59,607,2</sub>	130	X <sub>73,13,2</sub>	957	X <sub>309,14,2</sub>	1000	X <sub>497,60,2</sub>	33	Y <sub>23,1,2</sub>	3639	Y <sub>85,8,2</sub>	157		
A <sub>9,115,2</sub>	129	A <sub>34,323,2</sub>	1000	A <sub>60,617,2</sub>	45	X <sub>75,13,2</sub>	1000	X <sub>312,38,2</sub>	1000	X <sub>499,43,2</sub>	159	Y <sub>27,4,2</sub>	80	Y <sub>86,8,2</sub>	50		
A <sub>11,139,2</sub>	35	A <sub>34,324,2</sub>	1000	A <sub>61,624,2</sub>	107	X <sub>88,52,2</sub>	436	X <sub>314,38,2</sub>	1000	X <sub>517,81,2</sub>	98	Y <sub>28,5,2</sub>	168	Y <sub>87,9,2</sub>	194		
A <sub>12,228,2</sub>	11	A <sub>34,330,2</sub>	1000	A <sub>62,633,2</sub>	4	X <sub>107,33,2</sub>	15	X <sub>318,1,2</sub>	1000	X <sub>523,79,2</sub>	9	Y <sub>33,3,2</sub>	28	C <sub>1,8,2</sub>	3150		
A <sub>13,144,2</sub>	28	A <sub>34,333,2</sub>	1000	A <sub>63,592,2</sub>	246	X <sub>115,81,2</sub>	129	X <sub>319,38,2</sub>	1000	X <sub>525,19,2</sub>	74	Y <sub>35,9,2</sub>	194	C <sub>3,8,2</sub>	238		
A <sub>14,150,2</sub>	67	A <sub>34,343,2</sub>	1000	A <sub>64,642,2</sub>	74	X <sub>126,61,2</sub>	17	X <sub>320,1,2</sub>	1000	X <sub>530,43,2</sub>	23	Y <sub>37,3,2</sub>	24	C <sub>4,8,2</sub>	96		
A <sub>15,154,2</sub>	38	A <sub>34,345,2</sub>	1000	A <sub>65,648,2</sub>	53	X <sub>131,60,2</sub>	14	X <sub>321,38,2</sub>	1000	X <sub>540,27,2</sub>	61	Y <sub>38,1,2</sub>	4050	C <sub>5,8,2</sub>	66		
A <sub>16,164,2</sub>	294	A <sub>34,349,2</sub>	1000	A <sub>66,662,2</sub>	62	X <sub>135,27,2</sub>	6	X <sub>323,23,2</sub>	1000	X <sub>551,71,2</sub>	46	Y <sub>40,6,2</sub>	112	C <sub>6,8,2</sub>	214		
A <sub>17,180,2</sub>	53	A <sub>34,350,2</sub>	1000	A <sub>67,671,2</sub>	54	X <sub>137,69,2</sub>	7	X <sub>324,1,2</sub>	1000	X <sub>567,83,2</sub>	193	Y <sub>41,8,2</sub>	222	C <sub>7,8,2</sub>	39		
A <sub>18,184,2</sub>	22	A <sub>34,354,2</sub>	1000	A <sub>68,45,2</sub>	53	X <sub>139,61,2</sub>	35	X <sub>330,14,2</sub>	1000	X <sub>579,60,2</sub>	11	Y <sub>43,5,2</sub>	147	C <sub>8,8,2</sub>	1181		
A <sub>19,198,2</sub>	83	A <sub>35,365,2</sub>	775	A <sub>69,135,2</sub>	6	X <sub>144,60,2</sub>	28	X <sub>333,14,2</sub>	1000	X <sub>580,82,2</sub>	19	Y <sub>44,3,2</sub>	44	C <sub>9,8,2</sub>	123		
A <sub>20,204,2</sub>	119	A <sub>36,402,2</sub>	10	A <sub>70,397,2</sub>	27	X <sub>150,61,2</sub>	67	X <sub>343,23,2</sub>	1000	X <sub>584,73,2</sub>	64	Y <sub>46,8,2</sub>	56	Z <sub>8,3,2</sub>	1502		
A <sub>21,215,2</sub>	77	A <sub>37,407,2</sub>	30	A <sub>71,425,2</sub>	60	X <sub>154,77,2</sub>	38	X <sub>345,1,2</sub>	1000	X <sub>592,68,2</sub>	246	Y <sub>47,1,2</sub>	186	G <sub>8,68,2</sub>	3606		
A <sub>22,225,2</sub>	57	A <sub>38,420,2</sub>	550	A <sub>72,131,2</sub>	14	X <sub>164,3,2</sub>	294	X <sub>349,1,2</sub>	1000	X <sub>603,60,2</sub>	5	Y <sub>48,8,2</sub>	60	O <sub>8,1,2</sub>	5108		
A <sub>23,229,2</sub>	95	A <sub>39,426,2</sub>	43	A <sub>73,603,2</sub>	5	X <sub>180,59,2</sub>	53	X <sub>350,38,2</sub>	1000	X <sub>607,47,2</sub>	130	Y <sub>52,8,2</sub>	353	P <sub>1,1,96,2</sub>	10920		
A <sub>24,242,2</sub>	30	A <sub>40,431,2</sub>	69	A <sub>74,126,2</sub>	17	X <sub>184,13,2</sub>	22	X <sub>354,15,2</sub>	1000	X <sub>617,73,2</sub>	45	Y <sub>53,3,2</sub>	18	P <sub>1,3,93,2</sub>	824		
A <sub>26,256,2</sub>	208	A <sub>41,443,2</sub>	194	A <sub>75,401,2</sub>	10	X <sub>198,82,2</sub>	83	X <sub>365,81,2</sub>	775	X <sub>624,69,2</sub>	107	Y <sub>54,3,2</sub>	143	P <sub>1,4,42,2</sub>	334		
A <sub>27,268,2</sub>	229	A <sub>42,454,2</sub>	257	A <sub>76,288,2</sub>	22	X <sub>204,81,2</sub>	119	X <sub>380,87,2</sub>	58	X <sub>633,79,2</sub>	4	Y <sub>57,8,2</sub>	128	P <sub>1,5,41,2</sub>	229		
A <sub>28,272,2</sub>	32	A <sub>43,469,2</sub>	142	A <sub>77,653,2</sub>	20	X <sub>215,60,2</sub>	77	X <sub>391,61,2</sub>	43	X <sub>642,48,2</sub>	74	Y <sub>59,8,2</sub>	43	P <sub>1,5,110,2</sub>	260		
A <sub>29,137,2</sub>	7	A <sub>44,475,2</sub>	177	A <sub>78,391,2</sub>	43	X <sub>219,61,2</sub>	99	X <sub>397,78,2</sub>	27	X <sub>648,60,2</sub>	53	Y <sub>60,7,2</sub>	186	P <sub>1,6,75,2</sub>	742		
A <sub>30,649,2</sub>	9	A <sub>45,488,2</sub>	138	A <sub>79,436,2</sub>	10	X <sub>225,47,2</sub>	57	X <sub>401,33,2</sub>	10	X <sub>649,60,2</sub>	9	Y <sub>61,8,2</sub>	377	P <sub>1,7,37,2</sub>	136		
A <sub>31,278,2</sub>	114	A <sub>46,380,2</sub>	58	A <sub>81,219,2</sub>	99	X <sub>228,79,2</sub>	11	X <sub>402,33,2</sub>	10	X <sub>653,20,2</sub>	20	Y <sub>68,9,2</sub>	199	P <sub>1,8,75,2</sub>	4094		
A <sub>32,295,2</sub>	55	A <sub>47,497,2</sub>	33	B <sub>4,44,2</sub>	32	X <sub>229,79,2</sub>	95	X <sub>407,84,2</sub>	30	X <sub>662,86,2</sub>	62	Y <sub>69,3,2</sub>	92	P <sub>1,9,29,2</sub>	427		
A <sub>33,499,2</sub>	159	A <sub>48,517,2</sub>	98	B <sub>10,57,2</sub>	158	X <sub>242,37,2</sub>	30	X <sub>420,22,2</sub>	550	X <sub>671,61,2</sub>	54	Y <sub>71,3,2</sub>	37	P <sub>2,1,98,2</sub>	930		
A <sub>34,301,2</sub>	1000	A <sub>49,523,2</sub>	9	B <sub>25,76,2</sub>	176	X <sub>256,41,2</sub>	208	X <sub>425,13,2</sub>	60	Y <sub>1,1,2</sub>	4050	Y <sub>73,4,2</sub>	139	P <sub>2,3,105,2</sub>	70		
A <sub>34,302,2</sub>	1000	A <sub>50,525,2</sub>	74	B <sub>34,23,2</sub>	1492	X <sub>268,35,2</sub>	229	X <sub>426,47,2</sub>	43	Y <sub>3,8,2</sub>	238	Y <sub>76,3,2</sub>	143	P <sub>2,4,107,2</sub>	28		

K.D. Karar değişkeni, Değ. Değer

**Tablo 5.** Üçüncü dönem için karar değişkenlerinin GAMS-CPLEX ile elde edilen optimum değerleri

K.D.	Değ.	K.D.	Değ.	K.D.	Değ.	K.D.	Değ.	K.D.	Değ.	K.D.	Değ.	K.D.	Değ.	K.D.	Değ.	K.D.	Değ.
A <sub>1,2,3</sub>	218	A <sub>34,304,3</sub>	1000	A <sub>51,530,3</sub>	35	B <sub>54,61,3</sub>	146	X <sub>272,27,3</sub>	36	X <sub>431,46,3</sub>	52	Y <sub>13,8,3</sub>	1605	Y <sub>77,8,3</sub>	257	P <sub>2,7,76,3</sub>	12
A <sub>2,21,3</sub>	65	A <sub>34,309,3</sub>	1000	A <sub>52,540,3</sub>	67	B <sub>80,87,3</sub>	56	X <sub>278,87,3</sub>	155	X <sub>436,35,3</sub>	9	Y <sub>14,1,3</sub>	3840	Y <sub>78,8,3</sub>	372	P <sub>2,8,105,3</sub>	327
A <sub>3,28,3</sub>	79	A <sub>34,312,3</sub>	1000	A <sub>53,551,3</sub>	73	X <sub>2,28,3</sub>	218	X <sub>288,44,3</sub>	17	X <sub>443,85,3</sub>	232	Y <sub>14,8,3</sub>	210	Y <sub>79,3,3</sub>	69	P <sub>2,9,104,3</sub>	39
A <sub>5,47,3</sub>	52	A <sub>34,314,3</sub>	1000	A <sub>55,567,3</sub>	154	X <sub>21,53,3</sub>	65	X <sub>295,77,3</sub>	102	X <sub>454,78,3</sub>	350	Y <sub>15,8,3</sub>	810	Y <sub>81,6,3</sub>	974		
A <sub>6,73,3</sub>	883	A <sub>34,318,3</sub>	1000	A <sub>56,579,3</sub>	12	X <sub>28,41,3</sub>	79	X <sub>301,38,3</sub>	1000	X <sub>469,77,3</sub>	171	Y <sub>19,3,3</sub>	47	Y <sub>82,4,3</sub>	94		
A <sub>6,75,3</sub>	1000	A <sub>34,319,3</sub>	1000	A <sub>57,580,3</sub>	37	X <sub>45,78,3</sub>	77	X <sub>302,23,3</sub>	1000	X <sub>475,54,3</sub>	132	Y <sub>20,8,3</sub>	17	Y <sub>83,4,3</sub>	125		
A <sub>7,88,3</sub>	540	A <sub>34,320,3</sub>	1000	A <sub>58,584,3</sub>	94	X <sub>47,73,3</sub>	81	X <sub>304,38,3</sub>	1000	X <sub>488,40,3</sub>	130	Y <sub>22,3,3</sub>	382	Y <sub>84,8,3</sub>	43		
A <sub>8,107,3</sub>	28	A <sub>34,321,3</sub>	1000	A <sub>59,607,3</sub>	146	X <sub>73,13,3</sub>	883	X <sub>309,14,3</sub>	1000	X <sub>497,60,3</sub>	27	Y <sub>23,1,3</sub>	2848	Y <sub>85,8,3</sub>	188		
A <sub>9,115,3</sub>	197	A <sub>34,323,3</sub>	1000	A <sub>60,617,3</sub>	74	X <sub>75,13,3</sub>	1000	X <sub>312,38,3</sub>	1000	X <sub>499,43,3</sub>	187	Y <sub>27,4,3</sub>	86	Y <sub>86,8,3</sub>	74		
A <sub>11,139,3</sub>	33	A <sub>34,324,3</sub>	1000	A <sub>61,624,3</sub>	126	X <sub>88,52,3</sub>	540	X <sub>314,38,3</sub>	1000	X <sub>517,81,3</sub>	136	Y <sub>28,5,3</sub>	177	Y <sub>87,9,3</sub>	253		
A <sub>12,228,3</sub>	6	A <sub>34,330,3</sub>	1000	A <sub>62,633,3</sub>	3	X <sub>107,33,3</sub>	28	X <sub>318,14,3</sub>	1000	X <sub>523,79,3</sub>	6	Y <sub>33,3,3</sub>	37	C <sub>1,8,3</sub>	3150		
A <sub>13,144,3</sub>	8	A <sub>34,333,3</sub>	1000	A <sub>63,592,3</sub>	234	X <sub>115,81,3</sub>	197	X <sub>319,14,3</sub>	1000	X <sub>525,19,3</sub>	58	Y <sub>35,9,3</sub>	185	C <sub>3,8,3</sub>	217		
A <sub>14,150,3</sub>	50	A <sub>34,343,3</sub>	1000	A <sub>64,642,3</sub>	67	X <sub>126,61,3</sub>	26	X <sub>320,14,3</sub>	1000	X <sub>530,43,3</sub>	35	Y <sub>37,3,3</sub>	31	C <sub>4,8,3</sub>	106		
A <sub>15,154,3</sub>	44	A <sub>34,345,3</sub>	1000	A <sub>65,648,3</sub>	49	X <sub>131,60,3</sub>	31	X <sub>321,13,3</sub>	1000	X <sub>540,27,3</sub>	67	Y <sub>38,1,3</sub>	4050	C <sub>5,8,3</sub>	75		

A <sub>16,164,3</sub>	337	A <sub>34,349,3</sub>	1000	A <sub>66,662,3</sub>	91	X <sub>135,27,3</sub>	3	X <sub>323,23,3</sub>	1000	X <sub>551,71,3</sub>	73	Y <sub>40,6,3</sub>	105	C <sub>6,8,3</sub>	227
A <sub>17,180,3</sub>	82	A <sub>34,350,3</sub>	1000	A <sub>67,671,3</sub>	93	X <sub>137,69,3</sub>	7	X <sub>324,38,3</sub>	1000	X <sub>567,83,3</sub>	154	Y <sub>41,8,3</sub>	271	C <sub>7,8,3</sub>	39
A <sub>18,184,3</sub>	32	A <sub>34,354,3</sub>	1000	A <sub>68,45,3</sub>	77	X <sub>139,61,3</sub>	33	X <sub>330,1,3</sub>	1000	X <sub>579,60,3</sub>	12	Y <sub>43,5,3</sub>	180	C <sub>8,8,3</sub>	1108
A <sub>19,198,3</sub>	79	A <sub>35,365,3</sub>	741	A <sub>69,135,3</sub>	3	X <sub>144,60,3</sub>	8	X <sub>333,15,3</sub>	1000	X <sub>580,82,3</sub>	37	Y <sub>44,3,3</sub>	42	C <sub>9,8,3</sub>	132
A <sub>20,204,3</sub>	129	A <sub>36,402,3</sub>	13	A <sub>70,397,3</sub>	32	X <sub>150,61,3</sub>	50	X <sub>343,23,3</sub>	1000	X <sub>584,73,3</sub>	94	Y <sub>46,8,3</sub>	42	Z <sub>8,3,3</sub>	1486
A <sub>21,215,3</sub>	88	A <sub>37,407,3</sub>	53	A <sub>71,425,3</sub>	66	X <sub>154,77,3</sub>	44	X <sub>345,14,3</sub>	1000	X <sub>592,68,3</sub>	234	Y <sub>47,1,3</sub>	212	G <sub>8,63,3</sub>	3568
A <sub>22,225,3</sub>	63	A <sub>38,420,3</sub>	472	A <sub>72,131,3</sub>	31	X <sub>164,3,3</sub>	337	X <sub>349,1,3</sub>	1000	X <sub>603,60,3</sub>	9	Y <sub>48,8,3</sub>	54	O <sub>8,1,3</sub>	5054
A <sub>23,229,3</sub>	70	A <sub>39,426,3</sub>	53	A <sub>73,603,3</sub>	9	X <sub>180,59,3</sub>	82	X <sub>350,1,3</sub>	1000	X <sub>607,47,3</sub>	146	Y <sub>52,8,3</sub>	437	P <sub>1,1,33,3</sub>	10920
A <sub>24,242,3</sub>	38	A <sub>40,431,3</sub>	52	A <sub>74,126,3</sub>	26	X <sub>184,13,3</sub>	32	X <sub>354,1,3</sub>	1000	X <sub>617,73,3</sub>	74	Y <sub>53,3,3</sub>	53	P <sub>1,3,44,3</sub>	754
A <sub>26,256,3</sub>	256	A <sub>41,443,3</sub>	232	A <sub>75,401,3</sub>	5	X <sub>198,82,3</sub>	79	X <sub>365,81,3</sub>	741	X <sub>624,69,3</sub>	126	Y <sub>54,3,3</sub>	107	P <sub>1,4,37,3</sub>	369
A <sub>27,268,3</sub>	219	A <sub>42,454,3</sub>	350	A <sub>76,288,3</sub>	17	X <sub>204,81,3</sub>	129	X <sub>380,87,3</sub>	101	X <sub>633,79,3</sub>	3	Y <sub>57,8,3</sub>	188	P <sub>1,6,46,3</sub>	786
A <sub>28,272,3</sub>	36	A <sub>43,469,3</sub>	171	A <sub>77,653,3</sub>	21	X <sub>215,60,3</sub>	88	X <sub>391,61,3</sub>	38	X <sub>642,48,3</sub>	67	Y <sub>59,8,3</sub>	66	P <sub>1,7,76,3</sub>	136
A <sub>29,137,3</sub>	7	A <sub>44,475,3</sub>	132	A <sub>78,391,3</sub>	38	X <sub>219,61,3</sub>	70	X <sub>397,78,3</sub>	32	X <sub>648,60,3</sub>	49	Y <sub>60,7,3</sub>	186	P <sub>1,8,105,3</sub>	3842
A <sub>30,649,3</sub>	6	A <sub>45,488,3</sub>	130	A <sub>79,436,3</sub>	9	X <sub>225,47,3</sub>	63	X <sub>401,33,3</sub>	5	X <sub>649,60,3</sub>	6	Y <sub>61,8,3</sub>	369	P <sub>1,9,104,3</sub>	456
A <sub>31,278,3</sub>	155	A <sub>46,380,3</sub>	101	A <sub>81,219,3</sub>	70	X <sub>228,79,3</sub>	6	X <sub>402,33,3</sub>	13	X <sub>653,20,3</sub>	21	Y <sub>68,9,3</sub>	190	P <sub>2,1,101,3</sub>	930
A <sub>32,295,3</sub>	102	A <sub>47,497,3</sub>	27	B <sub>4,44,3</sub>	35	X <sub>229,79,3</sub>	70	X <sub>407,84,3</sub>	53	X <sub>662,86,3</sub>	91	Y <sub>69,3,3</sub>	108	P <sub>2,3,111,3</sub>	64
A <sub>33,499,3</sub>	187	A <sub>48,517,3</sub>	136	B <sub>10,57,3</sub>	232	X <sub>242,37,3</sub>	38	X <sub>420,22,3</sub>	472	X <sub>671,61,3</sub>	93	Y <sub>71,3,3</sub>	59	P <sub>2,4,73,3</sub>	31
A <sub>34,301,3</sub>	1000	A <sub>49,523,3</sub>	6	B <sub>25,76,3</sub>	124	X <sub>256,41,3</sub>	256	X <sub>425,13,3</sub>	66	Y <sub>1,1,3</sub>	4050	Y <sub>73,4,3</sub>	202	P <sub>2,5,110,3</sub>	22
A <sub>34,302,3</sub>	1000	A <sub>50,525,3</sub>	58	B <sub>34,23,3</sub>	516	X <sub>268,35,3</sub>	219	X <sub>426,47,3</sub>	53	Y <sub>3,8,3</sub>	273	Y <sub>76,3,3</sub>	100	P <sub>2,6,46,3</sub>	67

**K.D.** Karar değişkeni, **Değ.** Değer

Optimum çözümde karar değişkenlerinin elde edilen ondalıklı değerleri tam sayıya yuvarlanarak Tablo (3-5)'de verilmiştir. Ağrı, Balıkesir, Erzurum, Sakarya ve Osmaniye illerinde kaydı silinen otomobiller toplama merkezine uğramadan doğrudan sökülme tesislerine getirilmiştir. Diğer bütün illerde kaydı silinen otomobillerin ağa girişi toplama merkezleri aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Sadece İstanbul'da ÖTA sayısının fazla olması nedeniyle otomobiller hem toplama merkezleri, hem de sökülme tesisleri aracılığıyla geri dönüşüm ağına dahil edilmiştir. Optimum çözümde dikkat çeken bir nokta Osmaniye'de bulunan 2 numaralı işleme tesisine sökülme tesislerinden bir taşıma yapılmamış olmasıdır. Sonuçlar incelendiğinde, birinci dönem toplam 5786 ton, ikinci dönem 5107 ton, üçüncü dönem ise 5054 ton ASR'nin ayrıştırılmak üzere 8. işleme tesisinde kurulan ve VW-Sicon teknolojisini kullanan ileri işleme tesisine gönderildiği gözlemlenmiştir. Bu miktarların ilk dönem %26.5'ini, ikinci dönem %23.1'ini, üçüncü dönem ise %21.9'unu aynı lokasyonda (Kocaeli) yer alan işleme tesisinin ürettiği ASR oluşturmaktadır ve bu miktarlar için taşıma maliyetine katlanılmamıştır. Tüm dönemlerde, ileri işleme sonrası bertaraf edilecek atıklar 3 numaralı ve yine Kocaeli ilinde yer alan düzenli depolama alanına gönderilmiştir. En fazla gönderilen atık miktarı 1. dönemde ve 1701 ton olarak gerçekleşmiştir. Optimum çözümde, tüm dönemler boyunca gerçekleşen maliyetler ve gelirler Tablo 6'da toplu halde verilmiştir.

**Tablo 6.** Optimum maliyet ve gelir değerleri

No.	Tanım	Değer (*10 <sup>7</sup> )
1	Amaç fonksiyonu	9.0914
2	Toplam sabit maliyet	4.6160
3	Toplam taşıma maliyeti	0.48338
4	Toplam sökülme maliyeti	9.1873
5	Toplam işleme maliyeti	1.0251
6	Toplam geri dönüşüm maliyeti	0.25312
7	Toplam bertaraf maliyeti	0.11721
8	Toplam ileri işleme maliyeti	0.19136
9	Sökülme tesisleri satış geliri	4.9344
10	İşleme tesisleri satış geliri	1.7351
11	İleri işleme tesisleri satış geliri	0.11258
12	Toplam sistem maliyeti	15.8735
13	Toplam sistem geliri	6.7821

Tablo 6'da verilen sonuçlarla ilgili aşağıdaki analizler yapılabilir:

- Toplam gelirlerin en büyük kısmını %72.8 pay oranı ile sökülme tesislerinden ikincil pazarlara yapılan yeniden kullanılabilir/yeniden imal edilebilir durumda olan parça satışlarından elde edilen gelirler oluşturmuştur. Gelirler içerisindeki en düşük payı ise %1.66 ile ileri işleme sonrası yapılan metal dışı malzeme satışları oluşturmuştur.
- Maliyetlerin büyük bir kısmını sökülme tesisleri içerisinde gerçekleştirilen arındırma ve sökülme maliyetleri oluşturmuş, bu kalemi ileri işleme tesisi kurulum maliyetleri izlemiştir. Yeni bir ileri işleme tesisi kurulum maliyeti toplam maliyetin %29.1'ini oluşturmuştur.
- Toplam ileri işleme maliyeti, toplam atık maliyetinden daha fazla gerçekleşmiştir.
- Toplam taşıma maliyeti, maliyet kalemleri arasında %3.05 ile dördüncü sırada yer almıştır.

## 6. SONUÇ (CONCLUSION)

Günümüzde atık alanlarının kapasitelerinin azalmasıyla birlikte atıklarla ilgili vergiler yükselirken, diğer taraftan da otomobil imalatçılarının düşük yakıt tüketimini bir pazarlama aracı olarak kullanmaları, otomobillerde kolay geri dönüştürülebilir demirli malzemelerin yerini plastik malzemelere bırakmasına neden olmaktadır. Her iki gelişme de, ÖTA'ların işlenmesi sonrası oluşan atıkları önemli hale getirmiştir. Pek çok ülkede, ÖTA'ların ağırlıklarının belirli bir kısmının düzgün şekilde geri dönüşümünü zorunlu kılan ve gömülerek bertaraf edilecek atık miktarlarını sınırlayan yönetmelikler çıkarılmıştır. Ülkemizde ÖTA'ların geri dönüşümü, "Ömrünü Tamamlamış Araçların Kontrolü Hakkında Yönetmelik" ile düzenlenmektedir. Yönetmelik günümüz koşullarında araç ağırlığının %85 oranında yeniden kullanımı/geri kazanımını zorunlu kılarken, 1/1/2020 yılından itibaren bu oran araç ağırlığının en az %95'ine çıkarılmıştır. Bu çalışmada; AB'de halihazırda 2015 yılından itibaren uygulanmakta olan, ülkemizde de 2020 yılı itibarıyla uygulanacak olan yükseltilmiş hedeflerin ÖTA geri dönüşüm ağ yapısına olan etkileri analiz edilmiştir. Yeni duruma adapte edilen ağ yapısı için karma tamsayılı doğrusal programlama modeli geliştirilmiş ve Türkiye örneği için çözülmüştür. Elde edilen çözüm sonuçları incelendiğinde, Türkiye genelinde faaliyet gösteren 9 lisanslı işleme tesisinden Kocaeli ilinde yer alan ASR'yi mekanik olarak ayrıştıran VW-Sicon teknoloji ile ileri işleme tesisi kurulduğu gözlemlenmiştir. Diğer işleme tesisleri optimum çözümde kurulum maliyetlerine katlanmak yerine ÖTA'ların işlenmesi sonucu ortaya çıkan ASR'yi taşıma maliyetine katlanarak Kocaeli ilinde açılan ileri işleme tesisine yollamıştır. ÖTA'ların geri dönüşümü için katlanılan toplam sistem maliyeti  $15.8735 \cdot 10^7$  TL. iken, ÖTA'ların sökülme ve işlenmesi ile elde edilen yeniden kullanılabilir durumdaki parça ve malzemelerin satışından elde edilen gelirler  $6.782 \cdot 10^7$  TL. olarak gerçekleşmiştir.

Tesis kapasiteleri, ÖTA'ların geri dönüşümü için katlanılan maliyetler ve satış gelirleri gibi parametrelerin farklı değerlerinin ağ yapısına olan etkisini inceleyebilmek için duyarlılık analizlerinin yapılması, ileri işleme teknolojisi seçiminde ekonomik ve çevresel faktörlerin birlikte değerlendirilmesi gelecekte yapılması planlanan çalışmalar arasındadır.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Özceylan E., Demirel N., Çetinkaya C., Demirel E., A Closed-Loop Supply Chain Network Design for Automotive Industry in Turkey, Computers & Industrial Engineering, 1, 1-27, 2017.
- [2] Türkiye İstatistik Kurumu, Motorlu Kara Taşıtları İstatistikleri, URL: <http://www.turkstat.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=24596>, Ocak 2017.
- [3] Demirel E., Demirel N., Gokcen H., A Mixed Integer Linear Programming Model to Optimize Reverse Logistics Activities of End-of-Life Vehicles in Turkey, Journal of Cleaner Production, 112, 2101-2113, 2016.
- [4] Mansour, S., Zarei, M., A Multi-Period Reverse Logistics Optimisation Model For End-Of-Life Vehicles Recovery Based On EU Directive, International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 21, 7, 764-777, 2008.

- [5] Zarei, M., Mansour, S., Kahsan, A. H., Karimi, B., Designing a Reverse Logistics Network for End-of-Life Vehicles Recovery, *Mathematical Problems in Engineering*, 2010, 1-17, 2010.
- [6] Cruz-Rivera, R., Ertel, J., Reverse Logistics Network Design For The Collection Of End-Of-Life Vehicles In Mexico, *European Journal of Operational Research*, 196, 930-939, 2009.
- [7] Guranowska, A. M., End-Of-Life Vehicles Recycling Network Design, *Journal of KONES Powertrain and Transport*, 18(3), 261-268, 2011.
- [8] Farel, R., Yannou, B., Bertoluci, G., Finding Best Practices For Automotive Glazing Recycling: A Network Optimization Model, *Journal of Cleaner Production*, 52 (2013), 446-461, 2013.
- [9] Ene, S., Öztürk, N., Network Modeling For Reverse Flows Of End-Of-Life Vehicles, *Waste Management*, 38, 284–296, 2015.
- [10] Phuc, P. N. K., Yu, V. F., Tsao, Y. C., Optimizing Fuzzy Reverse Supply Chain For End Of Life Vehicles, *Computers and Industrial Engineering*, doi: 10.1016/j.cie.2016.11.007, 2016.
- [11] Nourreddine, M., Recycling of auto shredder residue, *Journal of Hazardous Materials*, A139 (2007), 481-490, 2007.
- [12] GHK in association with Bio Intelligence Service, A Study to Examine the Costs and Benefits of the ELV Directive – Final Report Annexes, Annex 3: Post-shredder technologies – review of the technologies and costs, Final Report to DG Environment, 2006b.
- [13] Cossu, R., Lai, T., Automotive Shredders Residue (ASR) Management: An Overview, *Waste Management*, 45(2015), 143-151, 2015.
- [14] Cossu, R., Fiore, S., Lai, T., Luciano, A., Mancini, G., Ruffino, B., Viotti, P., Zanetti, M. C., Review of Italian Experience on Automotive Shredder Residue Characterization and Management, *Waste Management*, 34 (10), 1752–1762, 2014.
- [15] Ruffino, B., Fiore, S., Zanetti, M. C., Strategies For The Enhancement Of Automobile Shredder Residues (Asrs) Recycling: Results And Cost Assessment, *Waste Management*, 34 (2014), 148-155, 2014.
- [16] Inglezakis, V. J., Zorpas, A. A., Automotive Shredder Residue (ASR): A Rapidly Increasing Waste Stream Waiting For A Sustainable Response, *Sustainable Development and Planning IV*, 120, 835-843, 2009.
- [17] Kurose, K., Okuda, T., Nishijima, W., Okada, M., Heavy Metals Removal from Automobile Shredder Residues (ASR), *Journal of Hazardous Material*, 137 (3), 1618–1623, 2006.
- [18] GHK in association with Bio Intelligence Service, A Study to Examine the Benefits of the End of Life Vehicles Directive and the Costs and Benefits of a Revision of the 2015 Targets for Recycling, Reuse and Recovery under the ELV Directive, Final report to DG Environment, Birmingham, USA., 2006a.
- [19] Türkiye İstatistik Kurumu, Motorlu Kara Taşıtları İstatistikleri, URL: <http://tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=18762>, Aralık 2014.