

**AKÜ GERİ DÖNÜŞÜM SİSTEMİ İÇİN TERSİNE LOJİSTİK AĞ
TASARIMI VE KARMA TAMSAYILI PROGRAMLAMA MODELİ**

Fatma TAŞ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAZİRAN 2009

ANKARA

Fatma TAŞ tarafından hazırlanan “AKÜ GERİ DÖNÜŞÜM SİSTEMİ İÇİN TERSİNE LOJİSTİK AĞ TASARIMI VE KARMA TAMSAYILI PROGRAMLAMA MODELİ” adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Bahar ÖZYÖRÜK

.....

Tez Danışmanı, Endüstri Mühendisliği

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Serpil EROL

.....

Endüstri Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Bahar ÖZYÖRÜK

.....

Endüstri Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. A.Kürşad TÜRKER

.....

Endüstri Mühendisliği, Kırıkkale Üniversitesi

Tarih: 10/07/2009

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nail ÜNSAL

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Fatma Taş

AKÜ GERİ DÖNÜŞÜM SİSTEMİ İÇİN TERSİNE LOJİSTİK AĞ TASARIMI VE KARMA TAMSAYILI PROGRAMLAMA MODELİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Fatma TAŞ

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Haziran 2009

ÖZET

Günümüzde çevresel düzenlemelerin ve yasaların entegrasyonu sayesinde adından sıkça bahsedilmeye başlanan tersine lojistik kavramı, müşteriden kullanım ömrü tamamlanmış olarak geri dönen malların toplanması, depolanması ve üreticiye ulaştırılarak yeniden üretimlerinin sağlanması sonucu değerli hale getirilmesi çabasıdır. Tersine lojistik yeniden üretim, yeniden kullanım, ürün yamyamlaştırma, geri dönüşüm vs. faaliyetleri içermektedir. Bu faaliyetler içinde günümüzde en çok ilgilenilen konulardan birisi olan geri dönüşüm bir ürünün özelliklerini tamamen kaybederek bambaşka bir özelliğe dönüşmesidir. Geri dönüşüm faaliyetlerinin günümüzdeki önemi düşünülerek bu çalışmada geri dönüşüm ağ tasarımı konusu ele alınmıştır. Akü geri dönüşüm sistemi için maliyet minimizasyonunu amaçlayan çok ürünlü karmaşık tamsayılı bir programlama modeli geliştirilerek gerçek sistem modellenmeye çalışılmıştır. Sistem geri dönüşüm ve araç tiplerini ele alacak şekilde iki farklı modelle ifade edilmek istenmiş, her iki modelin çözülmesi ile elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve bu özellikleri taşıyan ağ tasarımı önerileri yapılmıştır.

Bilim Kodu : 906.1.141
Anahtar Kelimeler : Tersine lojistik, geri dönüşüm, ağ tasarımı
Sayfa Adedi : 118
Tez Yöneticisi : Yrd. Doç. Dr. Bahar ÖZYÖRÜK

**REVERSE LOGISTICS NETWORK DESIGN AND A MIXED INTEGER
PROGRAMMING MODEL FOR ACCUMULATOR RECYCLING SYSTEM**

(M. Sc. Thesis)

Fatma TAŞ

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

June 2009

ABSTRACT

At the present time the concept of reverse logistics which is ever increasingly frequently used due to the entegration of environmental regulations and laws stands for the efforts to retake the value of the goods returned from the customer by collecting, storing, deleverint to the producer and recordingly by remanufacturing. Reverse logistics includes activities remanufacturing, reuse, cannibalization and rcycle etc. Recycle which is most interested issue in these activities is the effort of completely lost the characteristics of a product to turn into a different feature. Nowadays the importance of recycling activities under consideration in this thesis has been taken up recycling network design issue. A mixed integer programming model with multi-product aiming at minimazing the cost for accumulator recycling system is developed and the real system tried to modelling. The system were expressed two different models which to address recycle and the types of vehicle, the results which are obtained by solving each of the two models is evaluated and network design with these features recomendations were made.

Science Code : 906.1.141

Key Words : Reverse logistic, recycle, network design

Page Number : 118

Adviser : Assist. Prof. Dr. Bahar ÖZYÖRÜK

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Hocam Yrd. Doç. Dr. Bahar ÖZYÖRÜK'e, yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım Dr. İbrahim AKGÜN, Haluk ELİŞ ve İlker AKGÜN'e, ayrıca babamın çok değerli iş arkadaşı Hüseyin Tevfik ARICAN'a, benden çalışmalarım boyunca desteklerini esirgemeyen TUBİTAK'a, manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan aileme ve çok değerli iş arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ	1
2. TERSİNE LOJİSTİK	3
2.1. Tersine Lojistik Yapısını Belirleyici Unsurlar	7
2.1.1. Ekonomik faktörler	8
2.1.2. Kanunlar	8
2.1.3. Sosyal çevre.....	8
2.1.4. Çevresel konular ve yeşil tedarik konuları	9
2.2. Tersine Lojistiğin Boyutları	9
2.2.1. Müşteri boyutu	9
2.2.2. İçsel süreç boyutu	10
2.2.3. Yenilenme ve öğrenme boyutu	10
2.2.4. Finansal boyut	11
2.3. Tersine Lojistiğin Önemi.....	11
2.4. Tersine Lojistiğin İleri Lojistikten Farkları	13

Sayfa

3. TERSİNE AĞ TASARIMI	15
4. GERİ DÖNÜŞÜM	17
4.1. Geri Dönüşüm Faaliyetleri	17
4.1.1. Ayırma.....	17
4.1.2. Toplama.....	17
4.1.3. Sökme.....	17
4.1.4. Sınıflama	18
4.1.5. Stok ve üretim planlama.....	18
4.1.6. Stok kontrol	18
4.1.7. Değerlendirme	18
4.1.8. Ekonomik kazanım.....	18
4.2. Geri Dönüşüm Hedefleri	19
4.2.1. Doğal kaynaklarımızın korunması	19
4.2.2. Enerji tasarrufunun sağlanması	19
4.2.3. Atık miktarının azalması	19
4.2.4. Geri dönüşümün geleceğe ve ekonomiye yatırım anlamına gelmesi ...	20
4.3. Geri Dönüşümün Sonuçları	20
4.4. Geri Dönüşümü Yapılan Ürünler	20
4.4.1. Cam	20
4.4.2. Kağıt.....	21
4.4.3. Alüminyum	21
4.4.4. Plastik.....	21

Sayfa

4.4.5. Yazıcı tonerleri.....	22
4.4.6. Motor yağı.....	22
4.4.7. Piller	22
4.4.8. Otomobil aküleri	22
4.5. Akü/Pil Geri Dönüşüm sistemi.....	22
4.5.1. Akü	22
4.5.2. Akümülatör tanımı	23
4.5.3. Akü geri dönüşüm sisteminde yükümlülükler.....	23
4.5.4. Atık akümülatörlerin taşınması	25
4.5.5. Atık akümülatör geçici depolama alanlarının kurulması	25
4.5.6. Atık akümülatörlerin geri dönüşüm yapısı.....	26
5. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	28
5.1. Giriş(Tanım, Kapsam ve Örnekler).....	28
5.2. Tersine Lojistiğin Uygulama alanları	34
5.3. Tersine Ağ Tasarımı.....	36
5.4. Literatürde Tersine Lojistik Geri Dönüşüm Çalışmaları	42
6. AKÜ GERİ DÖNÜŞÜM SİSTEMİ İÇİN TERSİNE LOJİSTİK AĞ TASARIMI VE SİSTEM İÇİN OLUŞTURULAN TAMSAYILI PROGRAMLAMA MODELLERİ	45
6.1. Problemin Tanımı	45
6.2. Geri Dönüşümü İçeren Temel Model(MODEL-1)	46
6.2.1. Notasyonlar	46
6.2.2. Amaç fonksiyonu ve kısıtlar.....	48

Sayfa

6.2.3. Geri dönüşümü içeren temel model için uygulama.....	50
6.3. Geri Dönüşümü İçeren ve Araç Tiplerini Dikkate Alan Model(MODEL-2)	58
6.3.1. Problemin tanımı	58
6.3.2. Notasyonlar.....	60
6.3.3. Amaç fonksiyonu ve kısıtlar	63
6.3.4. Geri dönüşümü içeren ve araç tiplerini dikkate alan model için uygulama	67
7. SONUÇ	81
KAYNAKLAR	84
EKLER.....	92
EK-1 MODEL-1 Örnek problemin GAMS modeli	93
EK-2 MODEL-1 Problem verileri	101
EK-3 MODEL-2 Örnek problemin GAMS modeli	103
EK-4 MODEL-2 Problem verileri	116
ÖZGEÇMİŞ	119

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.1. Tersine lojistiğin belirleyici unsurları	33
Çizelge 5.2. Literatürde bulunan mevcut çalışmalar	42
Çizelge 6.1. Müşterilerden merkezlere yapılan taşımalar	54
Çizelge 6.2. Merkezlerden ana bayilere yapılan taşımalar	54
Çizelge 6.3. Ana bayilerden geçici depolara yapılan taşımalar	55
Çizelge 6.4. Geçici depolardan geri kazanım tesislerine yapılan taşımalar	56
Çizelge 6.5. MODEL-1’de kullanılan veriler	57
Çizelge 6.6. MODEL-1’in çözüm sonuçları	58
Çizelge 6.7. Müşterilerden merkezlere yapılan taşımalar(MODEL-2).....	72
Çizelge 6.8. Merkezlerden ana bayilere yapılan taşımalar(MODEL-2)	74
Çizelge 6.9. Merkezlerden geri kazanım tesislerine lisanslı araçlarla direk yapılan taşımalar	75
Çizelge 6.10. Ana bayilerden geçici depolara lisanslı araçlarla yapılan taşımalar	76
Çizelge 6.11. Geçici depolardan geri kazanım tesislerine lisanslı araçlarla yapılan taşımalar	76
Çizelge 6.12. MODEL-2’de kullanılan veriler	79
Çizelge 6.13. MODEL-2’nin çözüm sonuçları	80

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Tersine lojistik aktiviteleri	5
Şekil 6.1. MODEL-1 geri dönüşüm ağ tasarımı şablonu ve optimum sonuçlar	56
Şekil 6.2. Gerçek sistemde mevcut bulunan geri dönüşüm şeması.....	59
Şekil 6.3. MODEL-2'nin genel ağ tasarımı	77

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Kısaltmalar	Açıklama
GAMS	General Algebraic Modeling System
LP	Linear Programming Model
MIGP	Mixed Integer Goal Programming Model
MILP	Mixed Integer Linear Programming Model
MINLP	Mixed Integer Non-Linear Programming Model
NLP	Non-Linear Programming Model
SMINLP	Stochastic Mixed Integer Non-Linear Model
SMIP	Stochastic Mixed Integer Programming Model

1. GİRİŞ

Günümüz dünyasında değişen ve gelişen ekonomik koşullara uyum sağlayabilmek ve düzenli bir rekabet ortamı oluşturarak müşteri odaklı çalışabilmek giderek önemli hale gelmiştir. Bu önemin farkında olan firmalar tarafından pazarda etkin rekabet edebilmek amacıyla; kaliteli, verimli, düşük maliyet gerektiren ve maksimum müşteri memnuniyeti sağlayan çeşitli üretim ve dağıtım sistemi alternatifleri geliştirilmiştir. Firmalar geliştirilen ve halen geliştirilmekte olan bu sistemler içinde “lojistik yönetimi” konusunun en fazla etkiye sahip olduğunu görerek çalışmalarını bu konu üzerinde yoğunlaştırmışlardır.

Lojistiğin öneminin anlaşılması ile birlikte nasıl daha etkin yapılabileceği sorusu gündeme gelmiştir. Ürünlerin minimum maliyet, maksimum kar, minimum risk, maksimum fayda gibi çeşitli amaçlarla başlangıç noktası olan üretim biriminden son kullanıcıya ulaştırılması anlamına gelen lojistik faaliyetlerinde etkinliğin sağlanabilmesi amacıyla bu faaliyetlere tersine akışları içeren faaliyetler de dahil edilmiştir. Böylece ürün hareketlerinin sadece müşteriye ulaşım aşamasında değil, kullanım ömürlerinin bitmesinin ardından müşteriden tekrar dönüşün gerçekleştiği aşamada da izlenmesi sağlanmıştır.

Tersine lojistik faaliyetlerinin gerçekleştirilmesinde çevresel ve kanuni faktörlerin önem derecesinin artmasıyla birlikte geri dönen ürünlerin nasıl çevreye en az zarar verecek şekilde geri kazandırılmasının sağlanabileceği konusunda yapılan çalışmalar günümüzde çok önem arz etmektedir. Bu önemli çalışmalardan bir tanesi de tersine lojistiğin boyutlarından biri olan geri dönüşüm sisteminin ele alınmasıyla tasarlanan geri dönüşüm ağ yapılarıdır. Tasarlanan bu sistemler kanunlara uygun olarak, çevreye zarar vermeyecek şekilde ürünlerin nasıl geri dönüştürülebileceği, geri dönüşü mümkün olmayanlarının nasıl çevre dostu imhasının yapılabileceği gibi önemli hususları içermektedir.

Tersine akışların üretim sistemlerine dahil edilmesiyle birlikte müşterilerden ürünlerin nasıl geri döneceği konusu önemli hale gelmiştir. Bu önemin farkında olan

firmalar ürünlerin hangi bölgelerde, kimler tarafından, hangi şartlar altında, hangi zamanlarda toplanacağı; toplanan ürünlerin hangi noktalara gönderileceği; ürünlerin merkezler arasında nasıl taşınacağı; müşterilerden maksimum geri dönüşleri sağlayabilmek için nasıl bir müşteri politikası izleneceği; tüm bu faaliyetleri gerçekleştirirken maliyetlerin nasıl azaltılabileceği gibi problemlere çözümler aramaya başlamışlardır.

Bu tezde tehlikeli atık sınıfına dahil olan akülerin geri dönüşüm sistemi ağ tasarımı çalışması gerçekleştirilerek akü geri dönüşüm faaliyetlerinin düzenli ve sistemli bir şekilde en az maliyetle nasıl yapılabileceği konusu üzerinde çalışılmıştır. Bu amaç doğrultusunda iki farklı model geliştirilerek farklı boyutlar için test çalışmaları yapılmıştır. Gerçekleştirilen test çalışmaları sonucunda araç tiplerini de içeren modelin gerçek sistemi daha iyi yansıttığı görülerek ağ tasarımı çalışmasının bu modele yönelik gerçekleştirilmesinin daha uygun olacağı yönünde değerlendirme yapılmıştır.

Tezin ikinci bölümünde tersine lojistik kavramı geçmişten günümüze tanımı, belirleyici unsurları, boyutları, önemi v.s. konu başlıkları altında tüm yönleriyle ele alınarak açıklanmıştır. Üçüncü bölümde tersine ağ tasarımı konusu yapılan çalışmalardan örnekler verilerek anlatılmıştır. Dördüncü bölümde geri dönüşüm sistemi anlatılarak, tez çalışmasında ele alınan akü geri dönüşüm sistemi faaliyetlerinin nasıl gerçekleştirildiği sözel olarak anlatılmıştır. Beşinci bölümde konuya ilişkin literatür bilgilerine yer verilmiştir. Altıncı bölümde ise akü geri dönüşüm sisteminin özelliklerini yansıtan iki ayrı model oluşturularak örnek problemlerle test edilerek çözümleri verilmiştir. Altıncı ve yedinci bölümlerde elde edilen sonuçlar yorumlanarak, iki modelin sonuçları karşılaştırılmıştır.

2. TERSİNE LOJİSTİK

CRM (Council of Logistics Management)'in tanımına göre tersine lojistik; “Hammaddelerin, halen süreçte bulunan envanterlerin, bitmiş malların ve bunlar hakkındaki bilginin tüketim noktasından üretim noktasına tekrar değer elde etme veya düzgün bir şekilde elden çıkarma amacıyla verimli ve maliyet avantajlı akışını planlama, yürütme ve kontrol etme sürecidir” şeklinde ifade edilmektedir [Rogers, Tibben-Lembke, 2001].

Tersine lojistiği perakendeciler bir tüketici tarafından geri verilen bir ürünü satıcılara geri götürmenin bir yolu olarak görmektedirler. İmalatçılar ise kusurlu veya tekrar kullanılabilir olan ürünlerin tüketiciden (kullanıcıdan) geri alınması süreci olarak görme eğilimine sahiptir.

1995 yılında Thierry'nin düşüncesine göre geri kazanım opsiyonlarının tümü, ürünlerin toplanması, yeniden işlenmesi ve yeniden dağıtılması aşamalarını içerir. Asıl farklılık yeniden işleme aşamasında kendini gösterir. Buna göre ürün geri kazanım süreçleri aşağıdaki gibi sıralanabilir [Thierry ve ark.,1995];

Tamir: Tamiratın amacı, geri dönmüş kullanılmış ürünü yeniden çalışır veya kullanılabilir hale getirmektir. Tamir edilmiş ürünün kalitesi genellikle yeni ürün kalitesine göre biraz daha düşüktür. Ürünün tamirat işlemi, kırılmış veya bozulmuş parçaların tamiri ve değiştirilmesini içerir. Tamirat genellikle oldukça sınırlı düzeyde demontaj ve montaj gerektirir.

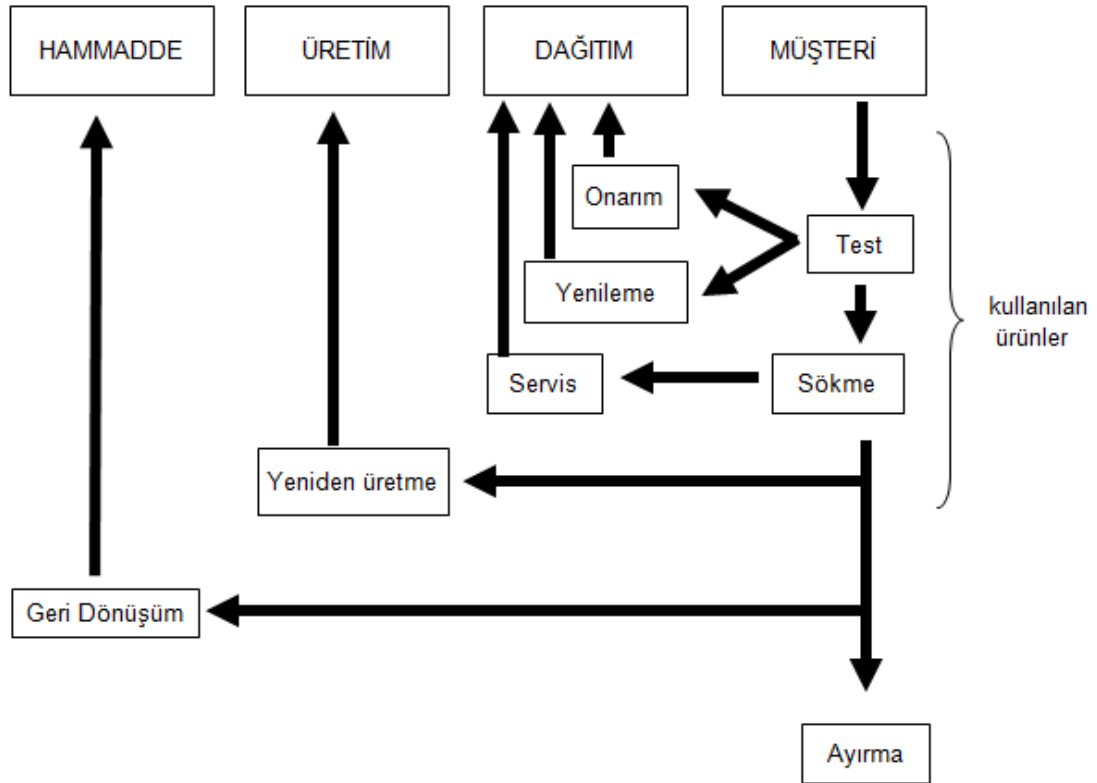
Ürün yenileştirme: Ürün yenileştirmenin amacı, kullanılmış ürünü, belirlenmiş kalite düzeyine getirebilmektir. Kalite standartları, yeni üründe olduğu kadar sıkı değildir. Kullanılmış ürün demontaj ile modüllerine ayrıldıktan sonra kritik modüller kontrol edilir ve modül değişimine ihtiyaç duyuluyorsa değiştirilir. Uygun modüller yenilenmiş ürüne monte edilir. Bazen ürün yenileme sürecinde eski modüller, teknik olarak daha iyi olan modüller ve parçalarla değiştirilerek, ürün geliştirmesi (upgrade) gerçekleştirilir. Askeri ve ticari uçaklar, yenileştirme sürecinden geçen ürünlere

örnek olarak gösterilebilir. Ürün yenileştirme, ürünün kalitesini artırır ve ürünün ömrünü uzatır.

Yeniden üretim: Yeniden üretimin amacı, kullanılmış ürünü yeni ürüne uygulanan kalite standartlarına uygun hale getirmektir. Kullanılmış ürün tamamen demonte edilir, tüm modüller ve parçalar kontrolden geçirilir. Aşınmış, eskimiş veya teknolojik olarak modası geçmiş parça ve modüller yenisi ile değiştirilir. Tamir edilebilir parça ve modüller onarılır ve testlerden geçirilir. Uygun parçalar, alt montajlar ve modüller monte edilir. Yeniden üretim esnasında da üründe geliştirme sağlanabilir.

Ürün yamyamlaştırma: Yukarıda bahsedilen üç tip geri alım opsiyonunda kullanılmış ürünün büyük bir kısmı yeniden kullanılmaktadır. Yamyamlaştırma da ise ürünün sadece ufak bir kısmı yeniden kullanılır. Amaç, kullanılmış ürün veya bileşenden, kullanılabilir sınırlı bir dizi parçanın geri alınmasıdır. Bu parçalar başka ürün veya bileşenlerin tamir, yenilenme veya yeniden üretim aşamalarında yeniden kullanılır.

Geri dönüşüm: Yukarıda bahsedilen ürün geri alım opsiyonlarında amaç, kullanılmış ürünlerin ve bileşenlerin fonksiyonaltelerinin ve özelliklerinin mümkün olduğunca korunmasıdır. Geri dönüşümde ise, ürün ve bileşenlerin özellik ve fonksiyonları kaybolur. Geri dönüşümün amacı, kullanılmış ürün ve bileşenlerin materyallerinin yeniden kullanılabilmesidir. Geri dönüşüm çok sayıda kullanılmış ürüne uygulanmaktadır.



Şekil 2.1. Tersine lojistik aktiviteleri [Ravi ve ark., 2005]

Fleischmann vd.'ne göre, tersine lojistik, kullanıcıya artık gerekmeyen kullanılmış üründen, pazarda yeniden kullanılabilen ürüne kadar gerçekleştirilen tüm lojistik aktivitelerini kapsayan bir süreçtir [Fleischmann ve ark., 1997]. Bu tanıma göre tersine lojistik, dağıtım planlaması açısından, kullanılmış ürünün son kullanıcıdan üreticiye doğru fiziksel nakliyesini içerir. Sonraki adım, geri dönmüş ürünün üretici tarafından yeniden kullanılabilir ürün haline dönüştürülmesidir.

Tersine lojistik, yeniden üretim, geri dönüşüm ya da imha hedefleri ile parça ve ürün akışının etkili yönetimi ve kaynakların etkili kullanımı için yeniden tasarlanan bir tedarik zinciri olarak tanımlanır [Dowlatsahi, 2000].

Tersine akışlar ticari geri dönüş, garantinin geri dönüşü, son kullanım geri dönüşü, kullanılabilir ambalajların geri dönüşü ve diğer geri dönüşümler olarak sınıflandırılabilir [Fleischmann, 2001].

Her bir geri dönüş dönüşümlü ürünlerin toplanması, onarılması ya da tekrar işlenmesi ve yeniden dağıtımının yapılması, aynı zamanda kullanılamayacak durumda olanların imha edilmesi faaliyetlerini içerir.

Etkili bir geri dönüşüm yapısı, müşteri memnuniyetini artırmasının yanı sıra kaynak yatırımlarının ve buna paralel olarak depolama ve dağıtım maliyetlerinin büyük ölçüde azalmasını sağlar.

Tersine lojistik sistemlerinde ana amaçlar müşteri memnuniyeti ve şirket kazancıdır.

Tersine lojistikte bir diğer amaç; müşterinin elinde bulundurduğu kullanım ömrünü tamamlamış tehlikeli atık halinde bulunan eski ürünlerin çevreye zarar vermeyecek şekilde toplanarak kusurlarını giderme ya da bu ürünleri tamamen yok etme faaliyetlerini gerçekleştirmektir [Jayaraman ve ark., 2003].

Tersine lojistik operasyonları, geri dönüşümlü ürün ticaretini gerçekleştiren bir firmada geri dönen malları, kurtarılan malları, aşırı stokları, modası geçmiş ya da çok fazla tercih edilmeyen ürünleri değerlendirme aktiviteleri şeklinde gerçekleştirilir. Bu faaliyetler geri dönüşüm programları, tehlikeli malzeme programları, modası geçmiş ekipmanların elden çıkarılması ve yenilenmesi şeklinde gerçekleştirilebilir. Tersine ürün akışı pek çok noktadan gerçekleştirilebilir ve sadece tek bir hedef noktada birleştirilir. Tersine lojistik aktiviteleri boyunca yapılan çeşitli fonksiyonlar ürünlerin ayıklanması, kısa ayırma çevrim zamanı, yeniden üretim ve yenileme, ürün geri alımı, sözleşme, dış kaynak kullanımı, finans yönetimi ve müşteri servisidir. Sonuç olarak tersine lojistik; malzeme akış yönetimini, bilgiyi, ürünlerin imha edilecek kısımları ile değerli kısımları arasındaki ilişkiyi doğru belirlemeye odaklanmalıdır [Ravi ve ark., 2005].

Tersine lojistik aktivitelerinde kullanılmış ürünlerin yeniden kullanımını sağlamak, ürünleri imha etmekten daha basit ve daha az maliyetli olmaktadır.

Tersine lojistik işletmenin para akışına iyi ya da kötü etkiler yapabilir. Bu etkileri oluşmadan önce tahmin etmek zordur. Bu nedenle perakende geri dönüşümlerden ve bunların likidite tuzaklarından kaçınmak için oluşan beklentiler, risk ve nakit akışıyla ilgili krizleri en aza indirgeyebilmek için Markov zincir yaklaşımı modelleri geliştirilmiştir. Bu riskler zamanlama, kalite, miktar, geri dönüşüm ürün çeşitliliği, geri dönüşüm ağı için fiyat ilişki parametreleri ve gerçekleştirilecek operasyon tahminleri, geri dönüşüm boyunca koordine edilen fiyatlar ve ürün geri dönüşümü için çözüm kararları şeklinde sıralanabilir. Bu durum aynı zamanda müşteri davranışları ve ihtiyaçlarına da bağlı olarak değişkenlik gösterir [Sirivastava, 2008].

Günümüze kadar tersine lojistik aktiviteleri araştırma şeklinde gerçekleştirilirken günümüzde artık uygulama faaliyetlerine geçiş aşamasına gelinmiştir.

Tersine lojistik faaliyetleri pek çok endüstride gerçekleştirilmektedir. Bunlar; fotokopi makinesi, tek kullanımlık kamera, jet motor parçaları, cep telefonu, otomotiv parçaları, tekrar yüklenebilir taşıyıcılar, bilgisayar donanım parçaları, elektronik endüstrisi ve kan dağıtım merkezleridir.

2.1. Tersine Lojistik Yapısını Belirleyici Unsurlar

Ürün, bileşen, ekipman ve materyaller, aşağıda belirtilen sebeplerle tedarik zincirinde tersine lojistiğe konu olabilir [De Brito ve Dekker, 2002]:

Üretim dönüşleri: Üretilen üründe yeterli olmayan kalite, üretim fazlası gibi sebeplerle geri dönüşler olabilir.

Ürün geri çağırma: Bazen hatalı ürünler ancak ürün tedarik zincirine girdikten sonra fark edilebilir ve zincirden geri çağırılır.

Ticari dönüşler: Bazı ticari anlaşmalara dayalı geri gönderimler veya zamanlama ve ürün kalitesi açısından talep ve tedariğin eşleşmemesi durumunda oluşan dönüşlerdir.

Garanti ve servis dönüşleri: Garanti kapsamında ürünler tamir veya eşdeğeri ile değiştirilmek üzere geri dönebilir.

Kullanım sonu (end-of-use) ve ömür sonu (end-of-life) dönüşleri: Ürünün kullanım veya ömrü sonunda yeniden üretim, geri dönüşüm veya uygun şekilde yok edilme amacı ile oluşan dönüşlerdir.

Tersine lojistik yapısını belirleyici unsurlar; Ekonomik faktörler (dolaylı ve dolaysız), kanunlar, toplumsal yapı, çevresellik ve yeşil tedarikle ilgili konular şeklinde sıralanabilir [De Brito ve Dekker, 2002; Rogers, 1999].

2.1.1. Ekonomik faktörler

Tersine lojistik faaliyetlerinin çoğunu belirlemede ekonomik faktörler ön planda düşünülmektedir. Tersine lojistik ekonomik açıdan üretim, onarım, girdi, kaynak azaltımı ve değer artırımını doğrudan etkilerken; müşteri memnuniyetini, yasal ve ekonomik çevreyi dolaylı yoldan etkiler.

2.1.2. Kanunlar

Yasal çevre üreticiyi yeniden alım ya da geri dönen ürünlerin kabul edilmesi konularında zorunlu olarak yetkilendirmek için kurallar koymaktadır. Bu kurallar sayesinde toplama ve ürünlerin hayat çevrimlerinden sonra yeniden kullanımında artış, atık oluşumu hacminde azalma ve geri dönen malzemelerin kullanımında artış sağlanmaktadır.

2.1.3. Sosyal çevre

Tersine lojistik müşteriyle bütünleşme ve ortaklık ilişkilerini artırmıştır. Mesela bir spor firması kullanılan ayakkabıların müşterilerinden geri gelmesini sağlamış ve geri dönen ayakkabıları parçalara ayırarak bu parçaların basketbol sahalarındaki şeritlerde kullanılmasını sağlamıştır.

2.1.4. Çevresel konular ve yeşil tedarik konuları

Tersine lojistik faaliyetleri çevreye büyük ölçüde olumlu kazançlar sağlar. Tersine lojistikte stratejik planlarına ve işletme aktivitelerine merkezi olarak çevresel hedefleri dahil eden firmaların rekabet avantajı sağladığı belirtilmektedir. Çevresel konuların yönetimine çok yüksek derecede önem verilmesi gerekmektedir. Geri dönüşüm sayesinde çevreye dost ürünler üretmenin yanı sıra tüketim ömrü biten ürünlerin de çevreye en az zarar verecek şekilde değerlendirilmesi ya da yok edilmesi bilincinin zamanla tüm iş çevrelerinde önem verilen bir konu haline geleceği düşünülmektedir.

2.2. Tersine Lojistiğin Boyutları

Tersine lojistik ağı tasarımlarında göz önünde bulundurulması gereken dört önemli bakış açısı mevcuttur. Bunlar müşteri, şirket, uyum-öğrenme ve maliyet şeklinde sıralanmaktadır [Ravi ve ark., 2005].

2.2.1. Müşteri boyutu

Bu boyut bir müşterinin tersine lojistik operasyonlarından beklentisini ortaya koyar. Pochampally ve Gupta tersine lojistikten beklenen başarının büyük ölçüde üç önemli grubun ortaklığına bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Bu ortaklar müşteriler, yerel hükümet yetkilisi ve çok yönlü, karmaşık ve sonuca ulaşabilmek için yeterli olmayan hedeflere sahip lojistik ağı yöneticileridir [Pochampally, Gupta, 2004]. Sonuç olarak bu üç grubun bir arada çalışması sağlanarak maksimum fikir birliğine odaklanan bir değer potansiyeli oluşturulmalıdır. Üreticiler müşteriler için en önemlisinin uygunluk olduğunu düşünmektedirler, ama müşteri için önemli olan kendi istedikleri özelliklerin üründe mevcut olmasıdır. Günümüz müşterileri artık üreticilerden en az miktarda atık haline dönüşen ürünler üretmelerini talep etmektedirler. Tedarikçilerden temiz ve enerji tasarrufu sağlayan ürünler sipariş vermektedirler. Önceleri üretimde kullanılan tehlikeli potansiyele sahip malzemelerin yenilenmesi ve müşterilere olan zararının minimum düzeyde tutulması amaçlanırken, günümüzde

doğaya uyumlu bir değer haline getirilmesi amaçlanmaktadır. Günümüz müşterisi yeşil üretim için yüksek meblağlar ödemeye hazırdır. Sonuç olarak tersine lojistik operasyonları müşteri merkezli gerçekleştirilmelidir [Ravi ve ark., 2005].

2.2.2. İçsel süreç boyutu

Tersine lojistik operasyonları hangi alanlar içinde yapılmalıdır sorusu bu boyutu açıklamaktadır. Tersine lojistiğin kritik içsel operasyonları müşteri ihtiyaçlarını karşılayabilmeye imkan veren bir şekilde yapılandırılmalıdır. Bilgi sağlama etkili tersine lojistik operasyonlarını yönetmek amacıyla bağlantılar geliştirmenin bir yoludur [Daugherty ve ark., 2002]. Bu lojistik yöneticilerinin geri dönebilecek ürünleri tahmin edebilmesine olanak sağlayan bilginin doğru ve zamanında elde edilebilmesine bağlıdır. Bunun için de sürekli yeni teknolojilere ihtiyaç duyulmaktadır [Ravi ve ark., 2005].

2.2.3. Yenilenme ve öğrenme boyutu

Üreticiler ve müşteriler son müşterilere en iyi servis imkanlarını sunabilmek için kanal üyelerini sürekli denetlemek yerine kendilerinin sisteme uyum sağlayabilmeleri için yeniden yapılanabilirler. Marien'e göre bu yapılanma çevre bilincine sahip olabilmek açısından rekabet avantajı oluşturabilmek için gereklidir [Dowlathahi, 2005]. İşletmenin çevresel devamlılığı ve çevre performansı tedarikçilerine bağlıdır. Pek çok şirket operasyonel etkilerini geliştirmek amacıyla bir çevre yönetim sistemi kurmaya rehberlik edebilmeleri açısından tedarikçileriyle ortaklık ve danışmanlık yapmaya başlamışlardır [Pochampally, Gupta, 2004]. Bilgi yönetimi de lojistik ağlarda kullanılabilir. Sonuç olarak yenilenme ve öğrenme tersine lojistik operasyonlarının başarılı yönetimi için son derece gereklidir [Ravi ve ark., 2005].

2.2.4. Finansal boyut

Etkili tersine lojistik yeniden kullanılan ürün ve parçaların ya da geri dönüşümü sağlanan malzemelerden elde edilen değerın yeniden kazanımına katkı sağlar, işletme için maliyet tasarrufunun gerçekleşmesine olanak verir [Ravi ve ark., 2005].

Bazı sektörlerde tersine lojistik diğerlerinde olduğundan çok daha büyük bir öneme sahiptir. Ürünün değerinin en fazla olduğu ya da geri dönüşüm oranının en yüksek olduğu sektörlerdeki tersine lojistik faaliyetlerini iyileştirmek için çok daha fazla çaba harcanmıştır. Otomobil sektörü bunun için iyi bir örnektir.

Boş şişelerin kasaların, milkrun sisteminde regallerin, kutuların, ambalajların toplanması, kullanım ömürlerinin sonuna yaklaşan malzemelerin imha edilmek üzere üreticiye geri gönderilmesi, üretim hataları nedeniyle satıştan geri toplanan ürünler, üretim atıklarının hammaddecıye yeniden değerlendirilmek üzere gönderilmesi, hurdacıların topladığı malzemelerin değerlendirilmek üzere geri alınması, plastik, kağıt ve metal atıkların geri getirilmesi tersine lojistik kapsamına girmektedir. Ölçeklerin küçük olduğu işletmelerde geri dönen malzeme miktarı az olduğu için bu konu ekonomik değer taşımamakta ve yok sayılmaktadır. Üretim ölçekleri büyüdükçe düşen kar marjları lojistiği öne çıkarmakta ve tersine lojistik de belli bir değere ulaşmaktadır.

2.3. Tersine Lojistiğin Önemi

Ürün ve materyallerin yeniden kullanılması yeni bir durum değildir. Metal hurda toplama, atık kağıt dönüşümü, cam şişeler için depozito uygulamaları uzun zamandır yapılmaktadır. Bu örneklerde kullanılan ürünlerin geri alınması, yok edilmesine kıyasla ekonomik olarak daha avantajlıdır. Son yıllarda çevresel kaygılar da, yeniden kullanıma olan ilgiyi artırmıştır.

Tersine lojistiğin önemi günümüzde şu sebeplerden dolayı sürekli artış göstermektedir;

- ❖ Geri dönen ürün miktarlarının çok yüksek olması (bazı endüstrilerde bu oran %50 lere varmaktadır).
- ❖ İkinci derece ve global marketlerde satış fırsatları önceden ıskartaya çıkarılan ürünlerin günümüzde değerleri artırılarak tekrar piyasaya sunulmasına imkan vermesi.
- ❖ Ürün geri alımını sağlayan kanunlarda artış.
- ❖ Müşterilerin tehlikeli atık içeren ürünlerinin imhası ya da değerlendirilmesi için sorumluluk alınması gerektiği düşünceleriyle iş çevrelerine yaptıkları baskılar.
- ❖ Atık gömme kapasitesinin limitli ve pahalı olması, yeniden ambalajlama, yeniden üretim ve geri dönüşüm faaliyetlerinin yaygın ve daha uygulanabilir olmasıdır.

Tersine lojistik işlemleri de bir firmanın başarısı ve karlılığı için en az ileri lojistik sistemleri kadar kritik bir öneme sahiptir.

Düzgün üretilmemiş mallar ziyan edilmeyip tekrar üretime gönderilebilmekte ve belki de daha yüksek bir fiyattan satılabilmektedir.

İleri lojistik faaliyetleri esnasında görevi tamamlanan ve artık işe yaramayan (konteynır vs. gibi) bir takım araç, gereç ve teçhizat yeniden kullanılmak üzere kaynağa geri gönderilmek suretiyle firmayı bir çok israftan da kurtarabilmektedir.

Her türlü lojistik faaliyetinde olduğu gibi, tersine lojistik faaliyetinin de optimal faydayı sağlayacak bir şekilde düzenlenmesi ve yalın üretim süreci esnasında meydana gelebilecek olan herhangi bir sorunun çözümü ‘mükemmellik’ ilkesi gereği tedarik zinciri içersinde yer alan tüm elemanları ilgilendirebileceğinden (ilgili herkesin sorunu çözmek için seferber olması ve soruna çözüm üretmesi gerekebileceğinden), bu sorunun çözümü esnasında gerekli olabilecek tüm tersine

lojistik işlemlerinin düzgün bir şekilde ilerlemesini temin etmek; üretimin sağlığı, zaman ve mal tasarrufu açısından kritik bir öneme sahiptir.

E-ticarete malların geri gönderilme olasılıkları normal ticarettekinden daha fazla olduğu için tersine lojistik, internette ticaret yapan firmalar için özellikle önemlidir.

Tersine lojistik, rekabet avantajı yaratmada kullanılabilecek önemli unsurlardan biridir.

Tersine lojistik sistemlerinde yapılan iyileştirmeler sayesinde hem firmaların karlılıkları artmakta, hem de tüketicilerin firmalar hakkındaki düşünceleri olumlu etkilenmekte, bu da yeni ekonominin getirdiği tüketici odaklı yeni pazarlama anlayışı için vazgeçilmez bir kazanç kaynağı olmaktadır. Böylece mamullerden ve/veya yarı mamullerden en yüksek fayda daha kolay sağlanabilmektedir. Çünkü bir tüketicinin gözünde itibar ve güvenilirlik kazanan bir firma, bu itibar sayesinde o müşteri aracılığıyla birçok başka müşteri kazanabilme potansiyeline sahip olmaktadır. Ayrıca, düzgün üretilmemiş mallar ziyan edilmeyip tekrar üretime gönderilebilmekte ve belki de daha yüksek bir fiyattan satılabilmektedir. Ayrıca ileri lojistik faaliyetleri esnasında görevi tamamlanan ve artık işe yaramayan (konteynır vs. gibi) bir takım araç, gereç ve teçhizat yeniden kullanılmak üzere kaynağa geri gönderilmek suretiyle firmayı bir çok israftan da kurtarabilmektedir.

2.4. Tersine Lojistiğin İleri Lojistikten Farkları

- ❖ Lojistikte tahmin ve planlama yapmak kolay, tersine lojistikte zordur.
- ❖ Lojistik bir noktadan çok noktaya dağıtılırken, geri dönüş çok noktadan tek noktaya hareket eder.
- ❖ Standart ve kaliteli ürünler lojistik kapsamı içine girerken, kalitesi değişken ürünler geri dönüş içindedir.
- ❖ Lojistikte paketlemeler düzgünken, geri dönüşte düzensizdir.
- ❖ Lojistikte ürün başına lojistik maliyetleri baştan belirliken, geri dönüşte belirsizdir.

- ❖ Lojistik için hız başta gelen faktörlerdendir. Geri dönüşte hıza daha az önem verilir.
- ❖ Stok yönetimi lojistikte belirgin, ancak geri dönüşte belirsizdir.
- ❖ Lojistik ürün ömrünü yönetirken, geri dönüşte ürün ömrünün önemi kalmamıştır.
- ❖ Lojistikte ürünlerin pazarlaması bilinirken, geri dönüş ürünlerinde belirsizdir.
- ❖ Lojistik süreç şeffaflığını önemser, ancak geri dönüşte önemi azalmıştır.

Tersine lojistiğin olumsuzlukları ise nakliyesinin daha pahalı olması, malzeme toplamasının daha maliyetli olması, stoklama, depolama hizmetlerinin zorluğu, yükleme-boşaltmaların daha maliyetli olması, kayıt sisteminin düzensizliğidir.

3. TERSİNE AĞ TASARIMI

Tedarik zinciri ağı; tedarikçi, nakliyecisi, üretici, dağıtım merkezleri, perakendeci ve tüketici ile ortaya çıkan tedarik zincirini oluşturan sistemler, alt sistemler, operasyonlar, aktiviteler ve bunların birbirleriyle olan ilişkilerini içeren karmaşık bir bütündür. Bu karmaşık bütünün tasarımı, modelinin oluşturulması ve hayata geçirilmesi işletmenin maksimum etkinlik ve verimliliğe sahip olmasında oldukça belirleyici bir rol üstlenecektir [Bakoğlu ve Yılmaz, 2001].

Tersine lojistikte ana aktivite, geri alınacak ürünlerin toplanması ve işlenmiş ürünlerin yeniden dağıtılmasıdır. Bu durum, standart ileri dağıtımdan oldukça farklıdır. Bu nedenle hangi ürünlerin toplanacağı bilinmelidir, ürün paketleri genellikle problemlidir, gönderici ile işbirliği yapılması gereklidir ve ürünler genellikle düşük değerlidir. Bu açıdan bakıldığında, ağdaki katman sayısının belirlenmesi, depolar ve ara geçiş noktalarının sayısı ve yerleşimi, toplama işleminde kaç nokta kullanılacağı, ileri ve geri akışa ait lojistiğin birleştirilmesi, ağın finansmanı konuları değerlendirilmelidir [De Brito ve Dekker, 2002].

Tersine lojistikte tedarik zincirinde, ileri lojistikteki tüm üyelere ek olarak, ikincil pazarlar olarak adlandırılan talep noktaları, atık gömme alanları, dernek ve kurumlar ve daha birçok elemana sahip olarak görev yapan üçüncü parti lojistikler yer almaktadır [Soto ve Lourenço, 2002].

Tersine lojistik ağı, ileri lojistik kadar basitçe ifade edilemez. Bir ürün müşteriden alındıktan veya toplandıktan sonra durumuna göre birçok farklı rotayı takip edebilir. Ayrıca, tüm ürün veya bileşenlerin üretim işletmesine taşınmasına değecek kadar değerli olup olmaması durumuna göre problem daha da karmaşık hale gelecektir.

Tersine ağ tasarımı ileri ağ tasarımından çok daha fazla belirsizlik içeren karmaşık bir yapıdadır [Listeş ve Dekker, 2003].

Tersine lojistikte müşteri servis düzeyi önemli bir konudur. Bu konunun kapsamındaki stratejik faktörler temel lojistik kuralları olan doğru zaman, doğru yer, doğru fiyat ve doğru kalite düşüncelerini yansıtmaktadır. Diğer önemli faktörler ürün özellikleri, piyasa özellikleri ve kaynak özellikleridir [Thierry ve ark., 1995; Fleischmann ve ark., 1997; Dowlatsahi, 2000].

Günümüzde tersine ağ tasarımı çevresel, yasal ve ekonomik sebeplere bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.

4. GERİ DÖNÜŞÜM

Geri dönüşüm kullanılmış ve fonksiyonunu yitirmiş ürünlerin ve malzeme bileşenlerinin yeniden kazanılması performansdır. Bu faaliyetlerin temelini belirleyen ekonomik ve yasal faktörlerdir [Güngör ve Gupta, 1999].

Değerlendirilebilir atıkların çeşitli fiziksel ve/veya kimyasal işlemlerle ikincil hammaddeye dönüştürülerek tekrar üretim sürecine dahil edilmesi tek başına geri dönüşüm olarak adlandırılır ve geri kazanım kapsamında olan bir faaliyettir.

4.1. Geri Dönüşüm Faaliyetleri

4.1.1. Ayırma

Nitelikli, geri dönüşebilir atıklar, henüz kaynaktayken ayrıştırılır.

4.1.2. Toplama

Ürün geri alımı çevresinde önemli olan ana konulardan biri kullanılan ürünlerin ya da ambalajlarının kullanılabilen kısımlarının toplanması faaliyetidir. Burada önemli olan sayıca ve çeşit olarak belirsizlik içeren pek çok ürünün ne şekilde toplanacağı düşüncesidir. Bu karmaşıklığı en aza indirmek için literatürde ileri dağıtımdan bağımsız olarak sadece geri dönüşüm faaliyetlerini içeren modeller geliştirilmeye çalışılmıştır.

4.1.3. Sökme

Sökme; ürünün alt montaj elamanları, bileşenleri, bütünü oluşturan parçalar vs. şeklinde gruplandırılması işlemidir. Sökme işlemi ürünün tamamında da belli kısımlarında da gerçekleştirilebilir. Yapısı karmaşık ve zor olan ürünlerde sökme işlemi maliyetli olmaktadır.

4.1.4. Sınıflama

Atıklar, cam, plastik, metal ve kağıt olarak ayrı gruplarda sınıflandırılır.

4.1.5. Stok ve üretim planlama

Guide ve Srivasatava'ya göre geri dönüşüm ve yeniden üretim yapılarının karmaşık olmasının nedenleri; olasılıklı yeniden kullanım oranlarına sahip parçaların malzeme planlarının yüksek derecede belirsizlik içermeleri nedeniyle çok zor yapılabilmesi, yeniden kullanılacak parçaların kontrol edilmeden üretime nasıl dahil edileceğinin bilinmemesindeki karmaşıklığın uzun hazırlık zamanlarına ve stokastik rotalamalara sebep olması, parça uyum problemleri, yeniden üretim yapısının karmaşıklığı, zincirin merkezi ve talep edilen yeniden üretim miktarı arasındaki ilişkinin tam belirlenememesi, üretime dahil olacak parçaların sayısının ve üretime dahil olma zamanının belirsizliğidir [Guide ve ark., 1999].

4.1.6. Stok kontrol

Geri dönen ürünler, alt montaj ürünleri, bunların sökülen parçaları vs.'nin stok kontrol işlemleri gerçekleştirilir. Yine parçaların sisteme geliş zamanları ve sayıları büyük ölçüde belirsizlik içerdiği için geri dönüşüm sisteminde stok kontrol faaliyetleri zor ve maliyetlidir.

4.1.7. Değerlendirme

Geri dönüştürülebilecek nitelikteki malzemeler, kimyasal ve fiziksel olarak değişime uğratarak, yeni bir malzeme üretilir. Böylece geri dönüşüm malzemelerinin ekonomik olarak geri kazanımı işlemi gerçekleştirilmiş olur.

4.1.8. Ekonomik kazanım

Geri dönüştürülen ürün tekrar kullanıma sunulur.

4.2. Geri Dönüşüm Hedefleri

4.2.1. Doğal kaynaklarımızın korunması hedefi

Doğal kaynaklar dünya nüfusunun artması ve tüketim alışkanlıklarının değişmesi nedeni ile her geçen gün azalmaktadır. Üretimde kullanılan malzeme tüketimini azaltmak için değerlendirilebilir nitelikli atıkları geri dönüştürmek sureti ile doğal kaynaklar verimli kullanılmak zorundadır. Bu nedenle geri dönüşüm doğal kaynakların korunması ve verimli kullanılması için son derece önemli bir işlemdir. Örneğin; kağıdın geri dönüşümü ile ormanlarda ağaçların daha az kesilmesi sağlanır. Benzer şekilde plastik atıklarının geri dönüşümü ile petrolden tasarruf sağlanabilir.

4.2.2. Enerji tasarrufunun sağlanması hedefi

Geri dönüşüm malzeme üretiminde endüstriyel işlem sayısını azaltmak suretiyle enerji tasarrufu sağlar. Örneğin; metal içecek kutularının geri dönüşümü işleminde bu metaller direkt olarak eritilerek yeni ürün haline dönüştürüldüğünde bu metallerin üretimi için kullanılan maden cevheri ve bu cevherin saflaştırılma işlemlerine gerek olmadan üretim gerçekleştirilebilmektedir. Bu şekilde bir alüminyum kutunun geri dönüşümünden % 96 oranında enerji tasarrufu sağlanabilir. Benzer şekilde katı atıklarda ayrılan kağıdın yeniden işleme sokulması için gerekli olan enerji normal işlemler için gerekli olanın % 50'si kadardır. Aynı şekilde cam ve plastik atıkların da geri dönüşümünden önemli oranda enerji tasarrufu sağlanabilir.

4.2.3. Atık miktarının azalması hedefi

Geri dönüşümün uygulanması ile çöplere giden atık miktarında azalma sağlanarak bu atıkların taşınması ve depolanması işlemleri için daha az miktarda alan ve daha az enerji kullanılmış olur. Evsel atıklar için bu azalma ağırlık olarak fazla olmamakla birlikte hacimsel olarak bakıldığında oldukça önemli bir oran teşkil etmektedir.

4.2.4. Geri dönüşümün geleceğe ve ekonomiye yatırım anlamına gelmesi hedefi

Geri dönüşüm uzun vadede verimli bir ekonomik yatırımdır. Hammaddenin azalması ve doğal kaynakların hızla tükenmesi sonucunda ekonomik problemler ortaya çıkabilecek ve işte bu noktada geri dönüşüm ekonomi üzerinde olumlu etki yapacaktır. Yeni iş imkanları sağlayacak ve gelecek kuşaklara doğal kaynaklardan yararlanma olanağı sağlayacaktır.

4.3. Geri Dönüşümün Sonuçları

Tüketilen maddeler yeniden dönüşüm halkası içine katılabildiği zaman öncelikle bunların tekrar ham madde olarak kullanılması sağlanmış olur. Böylece insan nüfusunun artışı ile paralel olarak artan tüketimin doğal dengeyi bozması doğadan alınanların tekrar doğaya verilmesiyle azda olsa engellenmiş olur. Bununla birlikte yeniden dönüştürülebilen maddelerin tekrar ham madde olarak kullanılması büyük miktarda enerji tasarrufunu mümkün kılar. Örneğin yeniden kazanılabilir alüminyumun kullanılması alüminyumun sıfırdan imal edilmesine oranla %35'e varan enerji tasarrufu sağlamaktadır.

4.4. Geri Dönüşümü Yapılan Ürünler

4.4.1. Cam

Cam tamamen yeniden kullanılabilir bir materyaldir. Yeniden kullanılabilir camdan tekrar cam imal edilmesi sıfırdan cam imal edilmesine göre çok daha az enerji tüketir.

Genellikle renksiz camdan renksiz, renkli camdan renkli cam ürünleri üretilir.

4.4.2. Kağıt

Kağıt üretiminde odun yerine atık kağıt kullanılması durumunda üretim için gerekli enerji ihtiyacı daha az olur. Atık kağıt, hammadde olarak kullanılan odundan selüloz üretimine nazaran çok daha az enerji harcanarak hammadde haline getirilebilmektedir. Bu yüzden önemli ölçüde enerji tasarrufu sağlanmaktadır.

Atık kağıdın ülke içinde toplanıp kullanılması sonucunda yurt dışından selüloz ve atık kağıt ithalinin azalması ile önemli ölçüde tasarruf elde edilir.

4.4.3. Alüminyum

Alüminyum ev atık maddeleri en değerli yeniden kazanılabilir maddelerdir. Alüminyum kutuların geri dönüştürülmesi ile enerjiden tasarruf elde edilir.

4.4.4. Plastik

Plastik endüstrisinde plastiğin yeniden dönüşümünde kolaylık sağlanması için bir kodlama sistemi geliştirilmiştir. Kodlar pek çok plastik şişenin altında okunabilir. İki temel plastik çeşidi vardır:

Plastik soda şişeleri: Plastik soda-kola şişelerinin yapımında hammadde olarak poliethilen kullanılır ve bunlar PET şişe olarak adlandırılır. Bu şişelerden %30 oranında geri kazanım mümkündür. Mutfaklardaki plastik çöp konteynırı, uyku tulumu yalıtkanları, alet kutuları ve pek çok ürün PET şişeden elde edilmektedir.

Plastik süt kutuları: Bu kutuların yapımında hammadde olarak yüksek yoğunlukta poliethilen-HDPE kullanılır ve bunlar 2 rakamıyla ve de HDPE harfleriyle kodlanmaktadır.

4.4.5. Yazıcı tonerleri

Boş yazıcı tonerleri de gerek parçalarının tekrar kullanılabilmesi gerekse özel merkezlerde yeniden doldurulabilmeleri nedeniyle yeniden kazanılabilen maddelerdendir.

4.4.6. Motor yağı

Kullanılan ve işlevini yitiren motor yağı tekrar yeni motor yağına, yakıta ve makina yağına dönüştürülebilir.

4.4.7. Piller

Piller yüksek miktarda ağır metal (civa, kadmiyum vb.) içermektedirler. Bu nedenle piller çevreye zarar vermemeleri amacıyla toplanarak geri dönüşüm faaliyetleri ile tekrar değerlendirilmektedir.

4.4.8. Otomobil aküleri

Otomobil aküsü de geri dönüşümlü yapıya sahip ürünler arasındadır.

4.5. Akü/Pil Geri Dönüşüm Sistemi

4.5.1. Akü

Teknolojinin gelişmesini büyük bir hızla sürdürdüğü son yıllarda bütün dünya ülkeleri çevre-teknoloji uyumunu sağlamakta büyük çabalar sarf etmektedir. Tüketilen (atılan) bir teknolojik ürününün çevreye vereceği zararın minimum düzeyde olması için yapılan çalışmalar bazı durumlarda o malzemenin üretim maliyetinden daha fazla harcama gerektirebilmektedir. Bu ürünlerden biri, tüketimlerdeki hızlı artışlarla gündemdeki önemini arttıran akümülatörlerdir. Yüzyıl kadar önce keşfedilen ve günlük hayatta gittikçe daha sık kullanmaya

başladığımız akümülatörler kolay taşınmaları ve pratiklikleri nedeniyle daha fazla miktarlarda tüketilmekte ve üretilmektedir. Hurda aküler içerdikleri zararlı maddeler sebebiyle tehlikeli özellikler taşımakta, su ve toprak kirlenmesinde önemli rol oynamaktadır.

Akü geri dönüşümü nispeten yeni bir iş sahasıdır. Otomobillerde kullanılan kurşun-asit tipi akülerin %90'ı geri dönüştürülmektedir. Eski otomobil akülerindeki kurşun plakalardan kurşun metali üretimi yapılmaktadır. Asitsiz kurşunlu pillerin ise ancak %4'ü geri dönüştürülmektedir. Aralık 2004'te AB yeni akü kanununda portatif (tüketici) pillerde kadmiyum kullanımını yasaklamıştır ve tüm otomobil akülerinin toplanıp geri dönüşümünün sağlanmasını zorunlu kılmıştır. Kanun son üç yılda ortalama yıllık portatif akü satışlarının %25-45'inin toplanmasını hedeflemektedir. Kurşun, Kadmiyum, Nikel-Kadmiyum, Nikel metal hidrit ve Lityum iyon hücre içeren piller kimyasal olarak aktif metaller içerdiğinden çevreye zararlı olabilmektedir. Bu yüzden uygun şekilde yok edilmeleri gerekmektedir.

4.5.2. Akümülatör tanımı

Endüstride ve araçlarda otomatik marş, aydınlatma veya ateşleme gücü için kullanılan, şarj edilebilir sekonder hücrelerde kurşunla sülfürik asit arasındaki kimyasal reaksiyon sonucu kimyasal enerjinin doğrudan dönüşümü ile üretilen elektrik enerjisi kaynağıdır.

4.5.3. Akü geri dönüşüm sisteminde yükümlülükler

Akü tüketicileri

Aracının akümülatörünü değiştirirken eskisini, akümülatör ürünlerinin dağıtım ve satışını yapan işletmeler ve araç bakım-onarım yerlerini işletenlerin oluşturduğu geçici depolama yerlerine ücretsiz teslim etmekle, eskilerini teslim etmeden yeni akümülatör alınması halinde depozito ödemekle, tüketici olan sanayi kuruluşlarının üretim süreçleri sırasında kullanılan tezgah, tesis, forklift, çekici ve diğer taşıt

araçları ile güç kaynakları ve trafolar da kullanılan akümülatörlerin, atık haline geldikten sonra üreticisine teslim edilene kadar fabrika sahası içinde sızdırmaz bir zeminde doksan günden fazla bekletmemekle yükümlüdür.

Akümülatör ürünlerinin dağıtımını ve satışını yapan işletmeler ve araç bakım-onarım yerlerini işletenlerin yükümlülükleri

Akümülatör ürünlerinin dağıtım ve satışını yapan işletmeler ve araç bakım-onarım yerlerini işletenler; Tüketiciler tarafından getirilen atık akümülatörleri almakla, akümülatör üreticilerinin kuracakları sisteme katılmakla ve getirilen atık akümülatörlerin yenisinin alınmaması halinde depozito bedelini tüketiciye ödemekle, tüketicilerin getirdiği atık akümülatörleri, üreticinin öngördüğü şekilde üreticiye veya üreticinin yetkilendirdiği bir kuruluşa dönmesini sağlamakla, İşyerlerinde tüketicilerin kolayca görebilecekleri yerlerde depozito uygulaması, atıkların toplama şekli ve yerleri hakkındaki bilgileri sunmakla, atık akümülatörler için geçici depolama alanı oluşturmakla, atık akümülatörleri bu alanda doksan günden fazla tutmamakla, depolama zemininin sızdırmazlığı için depolama yerinin zeminini beton veya asfalttan oluşturarak aside karşı dayanıklı olmasını sağlamakla, duvarlarının aside karşı dayanıklı boya ile boyanmasını sağlamakla, sızdırma ve akıntı yapmayan akümülatörlerin beş adedinden fazlasını üst üste koymamakla, sızdıran akümülatörleri tek tek onsekiz litrelik sızdırmaz polipropilen kaplarda bulundurmamakla, toplanan atık akümülatörlerin kayıtlarını tutmak, bu kayıtları üreticiye bildirmek ve geçici depolama veya lisanslı taşıyıcılara veya lisanslı geri kazanım tesislerine belgeli olarak teslim etmekle yükümlüdür.

Akümülatör üreticilerinin yükümlülüğü

Akümülatör ürünlerini yönetmelikte belirtilen şekilde etiketlemek ve işaretlemekle, Yönetmeliğin yer alan depozito uygulaması müracaat formunu doldurarak her yıl bakanlığa başvurmakla, atık akümülatörlerin belirtilen hedefler doğrultusunda toplanmasını, geri kazanımını ve bertarafını sağlamak veya sağlatmakla, atık akümülatör ihracatında bakanlıktan onay almakla, ürettikleri veya ithal ettikleri

akümülatörlerde zararlı madde miktarlarını en aza indirecek tedbirleri almakla, atık akümülatör atıklarının zararları ve toplanmaları konusunda tüketicilerin katılım ve katkılarını sağlamak amacıyla eğitimlerini, bilgilendirilmelerini sağlamakla, atık akümülatör taşımacılığında tehlikeli atık taşınımı ile ilgili hususlara uymakla, genel bir toplama ve geri dönüşüm sistemi geliştirerek veya belli bir sisteme katılarak atık akümülatörlerin toplanmasını, geri kazanımını veya bertarafını sağlamakla yükümlüdür.

4.5.4. Atık akümülatörlerin taşınması

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.

4.5.5. Atık akümülatör geçici depolama alanlarının kurulması

Geri kazanım tesisleri ve akümülatör ürünlerinin dağıtımını ve satışını yapan işletmeler ve araç bakım-onarım yerleri dışındaki atık akümülatör geçici depolama alanları, akümülatör üreticileri veya akümülatör üreticilerinin yetkilendireceği kişi veya kuruluşlar tarafından kurulabilir. Geçici depolama alanlarında atık akümülatörler 90 günden fazla tutulamaz.

Atık akümülatör geri kazanım ve geçici depolama alanlarının özellikleri

Atık akümülatör geri kazanım ve geçici depolama tesisleri için aşağıdaki şartlara uyulur:

- ❖ Tesiste giriş bölümü, atık akümülatör kabul ünitesi, atık akümülatör proses sahası ve diğer çalışma bölümleri bulunması,
- ❖ Tesisin atık akümülatör nakliye araçlarının giriş çıkışına uygun olması,

- ❖ Tesisin çevresinin koruma altına alınması, giriş ve çıkışın denetlendiği bir çit veya duvar olması, alana personelden başkasının izinsiz girmesinin yasaklanması,
- ❖ Tesis alanının atık akümülatörle temasta olan kısımlarında zemin geçirimsizliğinin sağlanması, bu amaçla, kalınlığı en az 25cm olan betonarme veya asfalt zeminin yapılması ve duvarların aside karşı dayanıklı malzeme ile kaplanması,
- ❖ Sızdırma ve akıntı yapmayan atık akümülatörlerin en fazla beş adedinin üst üste konulması, sızdıran akümülatörlerin sızdırmaz polipropilen kaplarda muhafaza edilmesi,
- ❖ Atık akümülatörlerin içinde bulunan asitler için asit nötralizasyon ünitesi veya gerekli arıtma üniteleri bulunması,
- ❖ Atık kabul alanı ve işletme alanının yağmura karşı korunması,
- ❖ Tesis içinde meydana gelebilecek döküntü ve sızıntıları önlemek amacıyla gerekli tertibat ve emici malzemelerin bulundurulması ve bu malzemelerin tesis içinde kolay şekilde kullanılabilmesini sağlayacak uygun noktalarda depolanması, zorunludur.

Ülkemizde hem üretilen hem de ithal edilen endüstriyel ve starter akümülatörlerin toplanması, taşınması ve geri kazanılması için “AKÜDER” kurulmuştur. AKÜDER üyeleri adına, atık akümülatörleri toplamak, taşımak/taşıtmak, geri kazanımını sağlamakla yükümlüdür.

4.5.6. Atık akümülatörlerin geri dönüşüm yapısı

Atık akümülatör içerisinde %60 oranında kurşun ve kurşun bileşikleri, %35 oranında sülfirik asit, %5 oranında plastik bulunmaktadır.

Tesiste kullanılacak olan hurda akümülatörler tesise lisanslı araçlar tarafından getirilir, tesis içerisinde paletler üzerinde depolanır. Akümülatörler sulu ve susuz olarak satın alınır ve geçici depolamadan sonra işleme tabii tutulur. Depolanacak

akülerin maksimum 5 tanesi üst üste konulabilir ve akülerin depolama süresi genelde 90 günü geçmez.

Parçalanmış ve delinmiş aküler 18 lt'lik sızdırmaz polipropilen kaplarda depolanmaktadır. Kesim işleminden sonra akü içerisindeki kurşun levhalar ve plastikler ayrılır. Ayırma işlemi ile plastikler ve levhalar farklı alanlarda geçici depolanır. Bir tesiste günde yaklaşık 2 ton akü kesimi yapılabilir ve bunun yaklaşık %5'i plastiktir. Bu bağlamda kesilecek akülerden günlük toplam 100kg plastik çıkacaktır. Bu plastikler parçalama işlemi sonucu geçici depolama (kapalı alanda) alanında biriktirilip, lisanslı firmalara satılarak geri dönüşümü sağlanabilir.

Akülerden çıkacak günlük 1,2 ton kurşun levhalar reverber ocakta eritilir. Tesiste günde bir şarj yapılırsa, bir şarjda 2 ton hurda akü kullanılarak 1,2 ton kurşun külçesi elde edilebilir.

5. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

5.1. Giriş (Tanım, Kapsam ve Örnekler)

Günümüzde çevresel düzenlemelerin ve yasaların entegrasyonu sayesinde adından sıkça bahsedilmeye başlanan tersine lojistik kavramının literatürde çeşitli tanımları bulunmaktadır. 1980’ler boyunca tersine lojistik kavramı, birincil akışa karşıt olarak, müşteriden üreticiye doğru ürünün hareketi ile sınırlı olmuştur.

Tersine lojistik yaşam sürelerini tamamlamaları nedeniyle kullanım olanağı kalmamış ya da kalitesizlik, teknolojik yetersizlik, demode olma, ürün geri çağırma ile garanti ve satış sonrası hizmet gibi nedenlerle iade edilen ürünlerin, tüketim noktalarından toplanması, muayene edilmesi ve o ürünlere değer eklenerek ya da eklenmeden ekonomiye yeniden kazandırılması çalışmalarını kapsamaktadır [Kroon ve Vrijens, 1995; Dowlatshahi, 2000].

Pek çok araştırmacı tersine lojistik sistem planını; değişik özellikleri bakımından kullanım ömürlerini tamamlamış ürünlerin müşterilerden geri dönmesi olarak tanımlar.

Stock 1992 yılında “Toplum ve iş çevresine faydalı bir kavram”, 1998’de ise “ürün dönüşleri, kaynak azaltımı, geri kazanım, materyal ikamesi, materyallerin yeniden kullanımı, atıkların yok edilmesi ve yakılması, tamir ve yeniden üretimde lojistiğin rolü” olarak tanımlamıştır [Rogers, Tibben-Lembke, 2004].

Pohlen ve Farris’in tanımına göre tersine lojistik; “Malların dağıtım kanalı boyunca müşterilerden üreticilere doğru hareketidir.” [Georgiadis, Vlachos, 2004].

Tersine lojistik geleneksel tedarik zinciri yönetiminin tersi bir bilgi ilişkisi ile uygun yok etme ve değer üretimi amacıyla proses planlama, uygulama ve etki kontrolü, etkili girdi akışı ve ikinci ellerin depolanması işlemlerini gerçekleştirmektir. Bu amaçla kapsamlı bir miktar modeli geliştirilmiştir [Fleischmann ve ark., 1997].

Tersine lojistik kullanılmış ürünlerin uygun şekilde yok edilmesi ya da elde bulunmadığı durumlarda değer üretmek amacıyla toplanarak gidilebilecek en son hedef noktadan diğer noktalara taşınması işlemidir [Rogers, 1999].

Fleischmann ve arkadaşları faydası tükenmiş, kullanıcı tarafından artık kullanılmayan ürünün, tekrar kullanılabilen ürüne dönüşünceye kadar kapsadığı tüm lojistik faaliyetleri içeren bir süreç olarak tanımlamışlardır [Fleischmann ve ark., 1997].

Tersine lojistik, tüketici tarafından uzun dönemli talep edilmeyen kullanılmış ürünlerin tekrar işlenerek kullanışlı hale getirilmesi için yapılan her türlü lojistik aktivitedir. Tersine dağıtım aktiviteleri kusurlu ya da çevreye zararlı tehlikeli ürünlerin (kullanılmış,hayat çevrimi sona ermiş) müşterinin elinden çıkmasını ve gerekli yerlere ulaşarak doğru biçimde değerlendirilmesini sağlama çabalarıdır [Jayaraman ve ark., 2003].

Dowlatshahi tersine lojistiği “Bir üretim tesisinin, daha önceden taşınmış ürün ya da parçaları olası geri dönüşüm, yeniden üretim ya da elden çıkarma faaliyetlerinden birini uygulamak amacıyla tüketim noktasından sistematik bir şekilde yeniden elde etmesi süreci” olarak ifade etmiştir [Dowlatshahi, 2005].

Tersine lojistik satış sonrası ürün/servis, orijinal kullanım hayatı sonunda üründen maksimum değer elde etme hedefi, düzenli taleplerin karşılanması, yeşil lojistik düşüncesi ile ilgili tüm lojistik işlemlerini kapsar. Bu bağlamda tersine lojistik geri dönüşüm denge modeli problemi çözümü gerçekleştirilmiştir. Bu problemde mevcut bulunan geri dönüşüm kanalı; geri dönüşüm toplayıcıları, işlemcileri, tesis yerleştiricileri, çoklu basamaklı ağ yapısında bulunan talep noktaları vs arasında kaynak noktasından başlayan geri dönüşüm akışı olarak tanımlanmıştır [Chen ve ark., 2007].

Georgiadis ve Vlachos çevresel değişkenlerin geri akışlara çeşitli etkilerini belirleyebilmek için yeni, kullanılmış ve iyileştirilmiş ürünlerin akış ve envanterlerini içeren genel bir model geliştirmişlerdir [Biehl ve ark., 2007].

1993 yılında Kopicki, Berg, Legg, Dasappa ve Maggioni yeniden kullanım ve geri dönüşüm konuları üzerindeki fırsatlardan bahsetmişler ve dikkatlerin bu alana yönlendirilmesinde önemli katkılarda bulunmuşlardır [Büyükoçkan, Vardaloğlu, 2008].

Tersine lojistik ürünlerin yeniden değerlendirilme şekillerine göre sınıflandırılabilir. Thierry, Salomon, Nunen ve Wassenhove bu sınıflandırmayı yeniden kullanım, yeniden satış, onarım, yenileme, yeniden üretim, yamyamlaşma ve geri dönüşüm şeklinde gerçekleştirmişlerdir [Thierry ve ark., 1995]. Bu sınıflandırmalar zamanla üç kategori altında birleştirilmişlerdir. Bunlar; yeniden kullanım, geri dönüşüm ve yeniden üretim faaliyetleridir. Yeniden kullanım bir defadan fazla kullanılabilen ürünlerin temizlenmesi ya da yeniden işlenmesi sonucu tekrar kullanıma sunulmasıdır. Bu ürünler taşıyıcı, palet, şişe vs olabilir. Diğer taraftan geri dönüşüm, ürün yapısını gözetmeksizin malzemelerin geri alınmasıdır. Bu malzemeler metal, cam, kağıt ya da plastik olabilir. Son olarak yeniden üretim, yıpranmış ürünlerin yeni şartlar altında yeniden tasarlanması ve biçimlendirilmesi şeklinde gerçekleştirilir. Bu şekilde elektronik makineler, yazıcı kartuşu ve otomobil parçaları üretilebilir [Kim ve ark., 2006].

Giuntinu ve Andel, tersine lojistik yönetimini altı kısımda incelemişlerdir. Buna göre tersine lojistik, aşağıda sıralanan temel adımlar ile ifade edilebilir [Karaçay, 2005]:

Kabul: İç veya dış müşteriden geri kazanılacak ürünün alınması. Bu aşamada firmanın sipariş giriş veya muhasebe sistemlerinden faydalanılır (geri kazanılacak ürün güncel varlık, stok kalemi veya müşteride bulunan sabit varlık olarak değerlendirilir).

Geri alım: Ürünün müşteriden fiziksel olarak taşınması aşaması.

Gözden geçirme: Firmanın geri alınmış ürün ile ne yapacağına karar vereceği aşamadır (firma ürünü fiziksel olarak inceler ve kendi yeniden üretilmiş ürün stoğunu da gözden geçirir).

Yenileme: Geri dönen ürünün tamiri/işlenmesidir (firma ürünü yeniden üretmeyi, ürünü tamir etmeyi veya yeniden kullanmayı seçebilir).

Nakil: Ürün, organizasyonun tedarik zincirinden taşınır.

Re-engineering: Yönetimin, dönüş sürecinin daha iyi olması için tersine tedarik zincirini kontrol etmesi aşamasıdır.

Sarkis tersine lojistik yapısının geleneksel tedarik zinciri yapısından farklarını; lojistik sistemlerin çoğu tersine kanalda ürün hareket akışlarını dikkate almaz, tersine dağıtımın maliyeti fabrikadan müşteriye doğru gerçekleşen akış maliyetinden yüksek olabilir, geri dönen malların ulaşımı, depolanması veya stoklanması düzenli bir kanal kullanılarak gerçekleştirilemez, çünkü akışlar her seferinde farklı davranış gösterir şeklinde sıralamaktadır [Jayaraman ve ark., 2003].

Fleischmann ve arkadaşları tersine lojistikle ilgili yapılmış olan kantitatif modelleri dağıtım planlama, envanter kontrolü ve üretim planlama olmak üzere üç kısımda incelemişlerdir. Kullanılmış ürünlerin geri döndüğünde, kaliteleri, miktarları ve çeşitliliklerindeki belirsizliklerin tersine lojistik sürecini daha karmaşık bir yapıya dönüştürdüğü sonucuna varmışlardır. Envanter planlamanın kalite, miktar ve zaman belirsizlikleri altında daha zor olduğunu belirten yazarlar geleneksel malzeme ihtiyaç planlama sistemlerinin tersine lojistik sistemleri için yetersiz olduğunu savunmuşlardır. Yazarlar yeniden imalat ortamında envanter yönetiminin amacının, hem dışarıdan gelen siparişleri hem de geri kazanım sürecinin her aşamasında ortaya çıkan ürün ve parçaları kontrol ve planlamayı yapmak ve istenen servis düzeyini minimum maliyetle sağlamak olduğunu belirtmişlerdir [Fleischmann ve ark., 1997].

Brito ve Dekker, ürünlerin dönüş nedenleri, kanuni baskılar, ticari amaç ve toplum baskısı gibi tersine lojistik uygulamalarını tetikleyen unsurlar, ürünlerin nasıl geri döndüğü, ürünlerin geri döndükleri zamanki durumu ve tersine lojistiğe dahil olan aktörler gibi konuları göz önünde bulunduran tersine lojistik yapısını incelemişlerdir. Son olarak da önemli kararların alınmasında yardımcı olacak bir prosedür geliştirmişlerdir [De Brito ve Dekker, 2002].

Diğer bir çalışmada ürün geri alma aktiviteleri için lojistik ağının fiziksel tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada ürün geri alımı düşüncesiyle oluşturulan tersine lojistik ağının özellikleri belirlenmiş, üretim-dağıtım ağı ve atık imha ağlarıyla bu özellikler karşılaştırılmıştır [Fleischmann ve ark., 2000].

Fleischmann, ters yönlü akış nedenlerini sınıflara ayırmıştır. Bunlar: Hayat çevrimini tamamlayan ürünlerin geri iadesi, alınan borçlar karşılığında kullanılmadan gönderilen ticari dönüşler; garanti kapsamında olan kusurlu ürün geri dönüşü, ıskarta ve yan ürün geri dönüşleri; konteynır, geri dönüşümlü paket ve artıklarını içeren paketleme malzemeleri dönüşleridir [Fleischmann, 2001].

Lee, tersine lojistik sistemleri için taşımaların kontrolü, tesis-ekipman konfigürasyonu, iş akış kontrolü, bilgi sistemleri ve haberleşme ağları gibi önemli elamanları tanımlamış, bunların etkili bir tersine lojistik sistemi oluşturulurken önemli karar parametreleri olduklarını belirtmiştir [Lee, 2002].

Brito ve arkadaşları geri dönen ürünlerin elde edilmesi ve iyileştirilmesindeki belirsizlikleri içeren ürün iyileştirme faaliyetlerinin planlama ve kontrolünü tanımlayan örnek olayları incelemişlerdir [De Brito ve Dekker, 2002].

Lourenço ve Soto tersine lojistiğin belirleyici unsurlarını Çizelge 5.1’de görüldüğü şekilde yorumlamışlardır [Soto ve Lourenço, 2002].

Çizelge 5.1. Tersine lojistiğin belirleyici unsurları

Nedir?	Girdiler	Aktiviteler	Çıktı	Nereden?	Nereye?
*Süreçler *Görevler *Yetenek ve aktiviteler	*Atılmış ürünler *Kullanılmış ürünler *Daha önce gönderilmiş ürün ve parçalar *Zararlı ve zararlı olmayan atıktan ürün ve paketler *Hammadde *Bilgi *Süreç içi stoklar *Nihai ürün	*Etkili ve maliyet etkin akışın planlama, uygulama ve kontrolü *Toplama *Nakliye *Depolama *İşleme *Kabul *Geri kazanım *Paketleme *Gönderme *Azaltma *Yönetme *Yok etme	*Yeniden kullanılabilen ürünler *Geri dönüşüm *Yeniden üretim *Yok etme *Azaltma *Yönetme *Geri alım değeri	*Tüketim noktası	*Üretici merkezi *Toplama noktaları *Orijin noktası

Lu ve Stuart, kullanım ömrü biten elektronik ürünlerin geri dönüştürülmesini içeren bir örnek olay üzerinde çalışmışlardır. Elde edilen ürünlerin net gelirleri, yüksek değerdeki çıktı malzemelerinin satışı, ekipman işleme maliyeti, envanter ve elden çıkarma maliyetlerini dikkate alarak geri dönüştürücünün karını maksimize etmeye çalışan bir model oluşturmuşlardır [Lu ve Stuart, 2003].

Bazı araştırmacılar tersine lojistik tasarımlarını araç rotalama problemi gibi düşünerek çeşitli çözüm teknikleri geliştirmişlerdir [Beullens ve ark., 2003].

Moyer ve Gupta tersine lojistik aktivitelerine çevre bilinci yönetimini ve parça sökme işlemlerinin karmaşıklığını da eklemişlerdir [Ravi ve ark., 2005].

Prahinski ve Kocabaşoğlu tersine lojistik konusunu inceleyen literatürü gözden geçirip bunlardan yola çıkarak elde ettikleri 10 farklı sonucu nedenleri ve detayları ile anlatmışlardır. Bu çalışmanın sonuçlarının yöneticilere yardımcı bir kaynak olacağını düşünmektedirler [Prahinski ve Kocabaşoğlu, 2006].

Min, Ko ve Ko merkezi geri dönüş merkezleri, öncelikli toplama noktaları ve üretim tesislerini içeren optimal tersine lojistik ağı non-lineer karmaşık tamsayılı programlama modeli ve genetik algorithmadan oluşan çözüm prosedürü geliştirmişlerdir [Min ve ark., 2006].

Richey ve arkadaşları, otomobil endüstrisinde etkili tersine lojistik programları geliştirme yolları aramışlar ve ürünlerin geri döndürülme politikası gibi unsurların tersine lojistik sistemlerinin performansına etkisi olduğunu savunmuşlardır [Richey ve ark., 2005].

Almanyada'ki kullanım ömrünü tamamlayan malzeme akışlarının tedarik zincirlerine yeniden etkili bir şekilde entegre olması için farklı kapalı çevrim tedarik zinciri opsiyonlarını değerlendiren bir başka çalışma Schultmann ve arkadaşları tarafından yapılmıştır [Schultmann ve ark., 2006].

Sheu tarafından gerçekleştirilen günümüze yakın bir çalışmada ileri teknoloji kullanarak üretim yapan bir bölgede oluşan zararlı atıkların iyileştirilmesi amacıyla geliştirilen modelde tersine lojistik maliyetleri minimum tutulurken, ceza fonksiyonları kullanılarak oluşabilecek riskler de en azlanmaya çalışılmıştır [Sheu, 2007].

2007 yılında Lu ve Bostel tarafından yeniden üretim aktivitelerini içeren iki aşamalı servis yerleşim tersine ağ modeli geliştirilmiştir [Lu ve Bostel, 2007].

5.2. Tersine Lojistiğin Uygulama Alanları

Tersine lojistik, kullanılmış ürünlerin son kullanıcıdan üreticiye doğru akışını içerir. Ürün, tedarik zincirinde üreticiye döndüğünde bunu tekrar dağıtmak için izlenecek birkaç alternatif yoldan bahsedilebilir [Rengel ve Seydl, 2002]:

Outlet ile satış: Daha çok marka duyarlı firmalar tarafından uygulanır. Üretici ürünleri geri alır ve işlemlerden sonra kendi outlet mağazalarında bu ürünleri satar.

İkincil pazarlara satış: Ürünleri düşük fiyata alan firmalar bu pazarı işletirler. Firmalar ürünleri bu pazarda kendi dükkanlarında veya diğer perakendeciler aracılığı ile satabilirler.

Yeniden üretim veya yenileme: Üretici problemi belirler, tamir eder ve bazen daha düşük kalite düzeyinde de olsa ürünün temel özellikleri korunur.

Kurumlara bağış: Bazı durumlarda ürünü belirli organizasyonlara vermek bir alternatif olacaktır. Bu opsiyon aynı zamanda vergi avantajı da sağlar.

Geri dönüşüm: Geri dönüşümün ardında, ekolojik motivasyonun etkisi vardır. Bazı yasalar ve gruplar üreticileri, çevreye duyarlı programları uygulama konusunda zorlarlar. Üründe kullanılan materyal miktarını azaltmak için yeniden kullanım veya geri dönüşüm uygulanır.

Geri dönmüş ürünün internette açık artırma ile satışı: Bu uygulamanın gittikçe artması beklenmektedir.

Gömmek: Yok etme son seçenek olmalıdır. Ürün yok edilecekse bile, en az maliyetle veya enerji kazanımı ile yok etme (yakma) uygulanmalıdır.

Ürün geri alımının en belirgin örneği, otomotiv endüstrisinde yaşanmaktadır. ABD’de camın %20’si, kağıt ürünlerinin %30’u ve alüminyum kutuların %61’i geri dönüştürülürken, 10 milyon araba ve kamyonun her yıl %95’i geri dönüşüme girmekte ve bu araçların %75’i yeniden kullanım için geri kazandırılabilir [Güngör ve Gupta, 1999]. İşletmeler, değişen koşullar sebebi ile tersine lojistik stratejileri geliştirmekte ve uzun dönemli planlarını buna göre yapmaktadırlar. Örneğin, BMW’nin stratejik amacı, 21. yy.’da tamamıyla geri kazanılabilir otomobiller tasarlamaktır [Dowlatsahi, 2000]. Tersine lojistik, otomotiv endüstrisi dışında, çelik, elektronik, bilgisayar, kimya, ilaç, tıbbi araçları da içeren birçok endüstride kullanılmaktadır. Tersine lojistik uygulayan büyük firmalar arasında BMW, Delphi, DuPont, General Motors, HP sayılabilir. Lojistik maliyetleri ABD

ekonomisinin yaklaşık %9,9'unu oluşturmaktadır. Ancak tersine lojistik aktivitelerinin tutarını tam olarak belirlemek, firmalar tersine lojistik aktivitelerini yeterince takip etmediklerinden, oldukça güçtür. Rogers ve Tibben-Lembke'nin (2001) yaptığı çalışmada görüşülen firmalardan alınan bilgiler sonucunda, tersine lojistik maliyetlerinin, toplam lojistik maliyetlerinin yaklaşık %4'ü kadar olduğu tahmin edilmektedir [Tibben ve Lembke, 2001]. Bu durumda tersine lojistik maliyetlerinin, ABD GSMH'sının yüzde 50'si kadar olduğu söylenebilir. Genel harcama düzeyi, sektöre, firmanın zincirdeki pozisyonuna ve kanal seçimine göre değişse de, tersine lojistik aktivitelerinin ekonomide önemli bir rolü olduğu ve öneminin daha da artacağı söylenebilir.

Tersine lojistik uygulamaları daha çok çelik, uçak, bilgisayar, otomobil, kimyasallar, cihaz ve ilaç sanayinde gerçekleştirilmiştir [Du ve Evans, 2007].

Literatürde bulunan mevcut çalışmalar; tekrar yüklenebilir taşıyıcılar (Kelle& Silver, 1989), otomotiv parçaları (van der Laan, 1997), elektronik endüstrisi (Moyer and Gupta, 1997), jet motor parçaları, cep telefonu (Guide ve ark.,1999), fotokopi makinesi, bilgisayar donanım parçaları, tek kullanıcıli kamera, kan dağıtım merkezleri gibi çeşitli alan ve merkezlerde gerçekleştirilmiştir [Guide ve ark.,1999; Krikke ve ark., 1999; Thierry ve ark., 1995; Fleischmann ve ark., 1997; Alshamrani ve ark., 2007].

5.3. Tersine Ağ Tasarımı

Ağ tasarımı yöneylemde yerleşim modeli olarak gerçekleştirilmiştir [Geoffrion ve Powers, 1995]. Gerçek dünya problemleri üzerinde pek çok optimal çözüm veren algoritma GAMS ya da CPLEX ile sonuçlandırılmıştır [Brooke, 1988; ILOG, 1999]. Ağ yapısındaki belirsizlik durumları tekli ya da çoklu parametrelili duyarlılık analizleri ile belirli yapıya dönüştürülmeye çalışılmıştır [Morgan ve Henrion, 1990; Listes ve Dekker, 2003].

Thierry yeniden kullanım ve tersine akışları(onarım, yenileme, yeniden üretme, geri dönüşüm, vs) göstermek için tedarik zinciri yapısı oluşturmuştur [Du ve Evans, 2007].

De Brito ve Dekker tersine lojistik probleminin stratejik taktik ve operasyonel yönleri için bir karar yapısı oluşturmuşlardır. İlk olarak stratejik yapıyı oluşturma için gerekli olduğunu vurgulamışlardır [De Brito ve Dekker, 2002].

Bazı araştırmacılar tersine bir ağ tasarlanırken ileri stratejik faktörleri de düşünmenin gerekli olduğunu vurgulayarak tersine lojistik faaliyetleri için gerekli stratejik maliyetleri minimum yapacak modeller geliştirmişlerdir. Bunlar; yeniden üretim için gerekli teçhizat, kalifiye işgücü, depo yerleşimi ve ulaşım maliyetleridir [Thierry ve ark., 1995].

Pek çok araştırmacı tersine lojistik ağ tasarımını değişik endüstrilerde ve konularda çelik endüstrisi (Spengler, 1997), halı geri dönüşümü (Ammons, 1997), elektronik aletler (Jayaraman, 1999), kum geri dönüşümü (Barros ve ark., 1998), ambalajların yeniden kullanımı (Kroon ve Vrijens, 1995), dağıtım ağları (Ko ve Evans, 2007) ve genel yeniden kullanım ağları (Fleischmann ve ark., 1997) gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmalarda karmaşık tamsayılı lineer programlama lojistik ağ modeli kullanılarak toplam lojistik maliyetinin minimizasyonu amaçlanmıştır [Spengler, 1997; Ammons, 1997; Jayaraman, 1999; Barros ve ark., 1998; Kroon ve Vrijens, 1995; Ko ve Evans, 2007; Fleischmann ve ark., 1997]. Bazı durumlarda da ikinci bir amaç olarak müşteri servis düzeyinin maksimum olması değerlendirilmeye alınmıştır [Du ve Evans, 2007].

Literatürde karşılaşılan diğer bir çalışmada, müşteriye ulaşım zamanı minimum, kalite maksimum olacak şekilde bir model tasarımı gerçekleştirilmiştir [Dawe, 1995].

Tersine Lojistik ağları üzerine çoklu amaçlı çalışmalar yapılmış, ağ tasarımı kararlarını destekleyici deterministik karmaşık tamsayılı lineer tesis yerleşimi modelleri oluşturulmuştur [Fleischmann ve ark., 1997].

“Ürün ne zaman geri dönecek”, “Ürün nereye gönderilmeli”, “Firma karını maksimize etmek için seçilecek strateji ne olmalı” ve diğer sorular, tersine lojistik ağını tasarlamak için cevaplanması gereken sorulardır [Soto ve Lourenço, 2002]. Tersine lojistik ağı, ileri lojistik kadar basitçe ifade edilemez. Bir ürün müşteriden alındıktan veya toplandıktan sonra durumuna göre birçok farklı rotayı takip edebilir. Ayrıca, tüm ürün veya bileşenlerin üretim işletmesine taşınmasına değecek kadar değerli olup olmaması durumuna göre problem daha da karmaşık hale gelecektir.

Kapalı çevrimli ağ tasarımı için sosyal iki aşamalı stokastik programlama modeli ve ayrıştırma tabanlı bir yaklaşım önerisi sunulmuştur [Listeş, 2007].

Diğer bir çalışmada yatırım, işlem, ulaşım, imha ve ceza maliyetlerini minimum yapan tedarik, talep ve kapasite kısıtlı karmaşık tamsayılı non-lineer programlama modeli gerçekleştirilmiştir [Lieckens ve Vandaele, 2007].

Tersine lojistik ağı bağlamında dağıtım ve planlama faaliyetlerinin ikisi birlikte düşünülerek çok ürünlü, kapasite kısıtlı, belirsiz talep yapısına sahip ve geri akışları da içeren karmaşık tamsayılı lineer programlama modeli geliştirilmiştir [Maria ve ark., 2007].

Onarım tesisleri, depolama merkezleri ve üretim merkezleri arasında optimal tersine lojistik ağı tasarımı için matematiksel bir model ve çözüm prosedürü oluşturulmuştur. Bu modelde tersine ağın ileri ağdan daha karmaşık bir yapıda olduğu vurgulanmıştır [Min ve Ko, 2007].

Tersine dağıtım ağları kullanılmış ürünlerin ve ambalajların toplanması ve taşınmasıdır. Tersine dağıtım ağı ileri dağıtım ağıyla birlikte tasarlanabilir, ya da sadece problemde ters dağıtım ağı tasarımı da gerçekleştirilebilir.

Etkili bir tersine dağıtım ağı oluşturabilmek için şu soruların cevabı çok iyi bilinmelidir [Fleischmann ve ark., 1997];

Ters dağıtım kanalındaki aktörler kimler olmalı?

Aktörler üretici, perakendeci, lojistik servis sağlayıcı ya da daha özel olarak ikinci malzeme satıcısı, malzeme yeniden kullanım tesisi şeklinde belirlenebilir.

Ters dağıtım ağı fonksiyonları neler olacak ve nerelerde gerçekleştirilecek?

Toplama, test, ayıklama, taşıma, işleme vs işlemler ve bu işlemlerin minimum maliyet, maksimum etkinlik, maksimum müşteri memnuniyeti ile gerçekleştirilebilmesi.

Ters ve ileri dağıtım kanallarının ilişki seviyesi ne düzeyde olmalı?

Aradaki farklar, olumlu olumsuz yönler, birbirlerine etkileri, iki yapıda mevcut bulunan aktörlerin farklı faaliyetleri gerçekleştirmesi.

Geri dönüştürme ve diğer iyileştirme opsiyonları için dağıtım sistemlerinin planlanması konusunu araştıran Fleischmann ve arkadaşları, tersine akışı kapsayan şebekelerin ileri akış sistemlerinden belirgin farklılıklara sahip olduğunu belirtmişlerdir. Kullanılmış ürünlerin arzı ve piyasadaki belirsizlikler bu farklardan önemli ikisini oluşturmaktadır [Fleischmann ve ark., 1997].

Nagel ve Meyer geri dönüşüm ağlarının sistematik analizini ve modellenmesini ele almışlardır. Çalışmalarında elektronik parçaların geri dönüşüm ağını iki kısımda incelemişlerdir. Bunlar toplama, taşıma ve depolamayı kapsayan geçiş süreci ile ayrıştırma, geri kazanım ve elden çıkarma faaliyetlerini kapsayan dönüştürme sürecidir. Ayrıca bu modelin farklı ürünler için de kullanılabileceğini belirtmişlerdir [Nagel ve Meyer, 1999].

Dowlatshahi, tersine lojistik sistemlerinin geliştirilmesi konusuyla ilgili kapsamlı bir çalışma yapmıştır. Sistem tasarımı ve bunu etkileyen iki önemli unsur olan stratejik ve operasyonel faktörler üzerinde durarak, stratejik faktörlerin operasyonel faktörlerden daha öncelikli olduğunu savunmuştur. Stratejik maliyetler, toplam kalite, müşteri servis düzeyi, çevre bilinci ve kanunlar gibi konular tersine lojistik sisteminin tasarımını etkileyen stratejik faktörler arasında yer almaktadır. Operasyonel faktörler ise müşteri, fayda-maliyet analizleri, taşıma, depolama, arz yönetimi, yeniden üretim ve geri dönüştürme ile paketlenmeden oluşmaktadır [Dowlatshahi, 2000].

Tersine lojistikte ağ tasarımı üç sınıfta incelenebilir [Fleischmann ve ark., 2000]. İlk sınıf hacim geri dönüşüm ağlarıdır ve göreceli olarak düşük değerli ürünlerden elde edilen malzemelerle ilgilidir. Barros ve ark., Biehl ve ark., Listeş ve Dekker ve Lebreton ve Tuma bu sınıfa örnek olarak verilebilir. Barros vd. iki seviyeli bir hafriyat geri dönüşüm problemi için sezgisel bir teknik önermişlerdir. Biehl vd. tersine lojistik tedarik zincirini simule etmiş ve tersine lojistik sisteminin operasyonel performansını etkileyen sistem tasarım faktörlerinin analizinde deneysel tasarım uygulamışlardır. Listeş ürün geri dönüşüm ağ tasarımı için stokastik bir yaklaşım önermiştir. Lebreton vd. bir araba ve kamyon tekerleği geri dönüşüm sisteminin karlılığını araştırmışlardır. İkinci sınıf, montaj ürünlerinin geri dönüşüm ağlarıyla ilgilidir ve göreceli yüksek değer taşıyan bir ürünün kendisi ya da bir parçasının geri dönüşümü konusunu inceler. Schultmann vd., Franke vd., Shih ve Krikke vd. bu sınıfa örnek olarak gösterilebilir. Schultman vd., kapalı-döngü tedarik zincirleri için ters lojistiği modellemişler ve otomotiv endüstrisinden bir örnek vermişlerdir. Franke vd. cep telefonlarının yeniden imalatıyla ilgili bir makale sunmuşlardır. Shih Tayvan için elektronik araçlar ve bilgisayarların geri dönüşümü için tersine lojistik sistemi tasarlamıştır. Krikke vd. fotokopi makinelerinin yeniden kazanımı için bir tersine lojistik ağı tasarımı metodolojisi önermişlerdir. Son sınıf, yeniden kullanılabilir ürünlerin ağlarıyla ilgilidir ve konteynır, palet vd. ürün tersine lojistik ağlarını inceler. Kroon ve Vrijens bu sınıfa örnek olarak gösterilebilir [Kroon ve Vrijens, 1995]. Bu çalışmada, yeniden kullanılabilir konteynırlarla ilgili bir tersine lojistik ağı incelenmiştir [Fleischmann ve ark., 2000].

Ağ tasarımı hızla bir şekilde, çok çeşitli ürünün, arzulanan fiyat ve kalitede sunumunun sağlanabilmesi için ağ elemanlarının mümkün olduğunca azaltılması ve yapının yalın hale getirilmesi gerekir. TZY’de tasarım boyutu rekabet avantajı ile ilişkili olarak incelendiğinde temelde entegrasyon ve yalınlığın en iyi tek yol olarak önerildiği gözlenmektedir. Bu çabalar gelişmekte olan bir alanda “klasik” olarak nitelendirilebilecek ilkelerin, kuralların ve modellerin oluşturulmasında zorunlu bir başlangıç aşaması olarak değerlendirilebilir.

Lourenço ve Soto’ya göre “Ürün ne zaman geri dönecek”, “Ürün nereye gönderilmeli”, “firma karını maksimize etmek için seçilecek strateji ne olmalı” ve diğer sorular, tersine lojistik ağını tasarlamak için cevaplanması gereken sorulardır [Soto ve Lourenço, 2002].

Salema ve arkadaşları bir tersine lojistik ağı tasarlayarak depo lokasyonunu belirlemeye yönelik bir karma tamsayılı matematiksel model geliştirmişlerdir. Sınırsız kapasite ve tek ürün için geliştirilen model, daha sonra sınırlı kapasiteli ve çok ürünlü hale getirilmiştir [Salema ve ark, 2006].

Literatürde toplam maliyeti ve çevrim zamanını minimum yapacak MIP optimizasyon ağ tasarımı modeli gerçekleştirilmiştir [Ko ve Evans, 2007].

5.4. Literatürde Tersine Lojistik Geri Dönüşüm Çalışmaları

Literatürde bulunan mevcut çalışmalar, yazarları, deterministik/stokastik olma özelliği, amaç fonksiyonu özelliği, örnek olay içerip içermemesi, model özellikleri ve çözüm yöntemine göre gruplandırılarak Çizelge 5.2’de sunulmuştur.

Çizelge 5.2. Literatürde bulunan mevcut çalışmalar

NO	YAZARLAR	DETERMINİSTİK/ STOKASTİK	BÜTÜNLEŞİK/ BAĞIMSIZ	AMAÇ FONKSİYONU	ÖRNEK OLAY	GERİ KAZANIM OPSİYONU	MODEL	ÇÖZÜM YÖNTEMİ
1	Kroon ve Vrijens, 1994	Deterministik	Bütünleşik	Maliyet Minimizasyonu	Var	Yeniden Kullanım	MIP	Optimal
2	Zuluaga ve Lourenço, 2002				Yok	Genel Ağ Tasarımı	MILP	Optimal
3	Ko ve Evans, 2007				Yok	Genel Ağ Tasarımı	MINLP	Sezgisel
4	Lu ve Bostel, 2007				Yok	Genel Ağ Tasarımı, Yeniden Üretim	MIP	Sezgisel
5	Lee ve Dong, 2008				Yok	Genel Ağ Tasarımı	MIP	Sezgisel
6	Lin, Gen ve Wang, 2008				Var	Genel Ağ Tasarımı	MIP	Sezgisel
7	Lee ve Dong, 2009	Deterministik ve Stokastik (Talep)			Yok	Genel Ağ Tasarımı	MINLP	Sezgisel
8	Ammons, Realf ve Newton, 1997	Deterministik		Kar maksimizasyonu	Var	Yeniden Kullanım, Geri Dönüşüm	MIP	Optimal
9	Sharma, Ammons ve Hartman, 2007				Var	Genel Ağ Tasarımı	MILP	Optimal
10	Wang, Yao ve Huang, 2007	Stokastik (Talep)			Var	Yerleşim ve Stok Politikası Belirleme	Çok Aşamalı Tamsayılı Programlama	Sezgisel
11	Listeş, 2007	Stokastik (Talep)			Yok	Yeniden İmalat	MIP	Sezgisel
12	Sayed, Afia ve Kharbotly, 2008	Stokastik			Yok	Genel Ağ Tasarımı	SMILP	Optimal
13	Amaro ve Povo, 2008	Deterministik			Var	Genel Ağ Tasarımı	MILP	Optimal
14	Francas ve Minner, 2009	Stokastik (Talep)			Yok	Yeniden İmalat	SLP	Optimal
15	Nagurney ve Toyasaki, 2005	Deterministik		Maliyet Minimizasyonu ve Kar Maksimizasyonu	Yok	Geri Dönüşüm	LP	Optimal
16	Sheu, 2008				Yok	Genel Ağ Tasarımı	Çok Amaçlı LP	Optimal
17	Du ve Ewans, 2008			Çevrim Zamanı ve Maliyet Minimizasyonu	Yok	Tamir	Çok Amaçlı MIP	Sezgisel
18	Spengler, Püchert, Penkuhn ve Rentz, 1997			Marjinal Gelir Maksimizasyonu, Maliyet Minimizasyonu	Var	Geri Dönüşüm	MIP	Optimal

Çizelge 5.2(Devam). Literatürde bulunan mevcut çalışmalar

NO	YAZARLAR	DETERMINİSTİK/ STOKASTİK	BÜTÜNLEŞİK/ BAĞIMSIZ	AMAÇ FONKSİYONU	ÖRNEK OLAY	GERİ KAZANIM OPSİYONU	MODEL	ÇÖZÜM YÖNTEMİ	
19	Barros, Dekker ve Scholten, 1998	Deterministik	Bağımsız	Maliyet Minimizasyonu	Var	Geri Dönüşüm	MILP	Sezgisel	
20	Hu, Shue ve Huang, 2002				Yok	Geri Dönüşüm	LP	Optimal	
21	Jayaraman, Patterson ve Rolland, 2003				Yok	Yeniden İmalat	MILP	Sezgisel	
22	Pochampally, Gupta ve Kamarthi, 2003				Yok	Genel Ağ Tasarımı	LP	Optimal	
23	Min, Ko ve Ko, 2006				Yok	Tamir	MINLP	Sezgisel	
24	Logozar, Radonjic ve Bastic, 2006				Yok	Geri Dönüşüm	LP	Optimal	
25	Alshamrani, Mathur ve Ballou, 2007				Yok	Ters Dağıtım	LP	Sezgisel	
26	Salema, Pova ve Novais, 2007	Deterministik ve Stokastik (Talep)			Kar maksimizasyonu	Yok	Genel Ağ Tasarımı	MIP SMIP	Optimal ve Sezgisel
27	Figueiredo ve Mayerle, 2008	Deterministik				Var	Geri Dönüşüm	MINLP	Sezgisel
28	Yongsheng ve Shouyang, 2008					Yok	Tamir, Yeniden İmalat	MIP	Sezgisel
29	Lee, Gen ve Rhee, 2008					Yok	Yeniden İmalat	MIP	Sezgisel
30	Cruz-Rivera, Ertel, 2009					Var	Geri Dönüşüm	MIP	Optimal
31	Mutha ve Pokharel, 2009					Yok	Geri Dönüşüm, Yeniden İmalat	LP	Optimal
32	Shih 2001					Var	Geri Dönüşüm	MIP	Optimal
33	Listeş ve Dekker, 2005	Stokastik (Talep)		Var		Geri Dönüşüm	MILP	Optimal	
34	Lebreton ve Tuma, 2006	Deterministik		Var		Yeniden İmalat	LP	Optimal	
35	Wojanowski, Verter ve Boyacı 2007	Stokastik		Yok		Dağıtım Ağı Tasarımı	MIP	Optimal	
36	Lieckens ve Vandaele, 2007	Stokastik (Hazırlık Zamanı)		Yok		Genel Ağ Tasarımı	MINLP	Sezgisel	

Çizelge 5.2(Devam). Literatürde bulunan mevcut çalışmalar

NO	YAZARLAR	DETERMINİSTİK/ STOKASTİK	BÜTÜNLEŞİK/ BAĞIMSIZ	AMAÇ FONKSİYONU	ÖRNEK OLAY	GERİ KAZANIM OPSİYONU	MODEL	ÇÖZÜM YÖNTEMİ
37	Hong, Ammons ve Reallf, 2008	Deterministik	Bağımsız	Kar maksimizasyonu	Yok	Geri Dönüşüm	LP	Optimal
38	Srivastava, 2008				Var	Tersine Lojistik	MILP	Optimal
39	Xanthopoulos ve Lakovou, 2009				Var	Yeniden İmalat	MILP	Sezgisel
40	Walther, Schmid ve Spengler, 2008			Var	Geri Dönüşüm	LP	Sezgisel	
41	Pati, Vrat ve Kumar, 2008			Var	Geri Dönüşüm	MIGP	Optimal	
42	Reallf, Ammons ve Newton, 2000			Var	Geri Dönüşüm	MILP	Optimal	
43	Neto, Walther, Bloemhof, van Nunen ve Spengler, 2009	Stokastik		Kar Maksimizasyonu, Atık ve Kümülatif Enerji Talebi Minimizasyonu	Var	Tersine Lojistik	Çok Amaçlı LP	Optimal
44	Lee ve Chan, 2009			Müşteri Alanı Maksimizasyonu	Yok	Tersine Lojistik	LP	Sezgisel
45	Kim, Song, Kim ve Jeong, 2006			Üretim Verimi Maksimizasyonu	Yok	Yeniden İmalat	MIP	Optimal
46	Min ve Ko, 2008			Depoların Geri Dönüşler İçin Tamirde Kullanım Maksimizasyonu, Maliyet Minimizasyonu	Yok	Geri Dönüşüm	MIP	Sezgisel
47	Sheu, 2007			Maliyet ve Risk Minimizasyonu	Yok	Genel Ağ Tasarımı	Çok Amaçlı LP	Optimal
48	Chakraborty, 2009			Temiz Su Tüketimi Minimizasyonu	Var	Geri Dönüşüm, Yeniden Kullanım	MILP	Sezgisel

6. AKÜ GERİ DÖNÜŞÜM SİSTEMİ İÇİN TERSİNE LOJİSTİK AĞ TASARIMI VE SİSTEM İÇİN OLUŞTURULAN TAMSAYILI PROGRAMLAMA MODELLERİ

6.1. Problemin Tanımı

Çevresel duyarlılığın artmasıyla, yanlış değerlendirilmesi sonucunda çevreye büyük zararlar vereceği düşünülen tehlikeli atıkların geri dönüşümü ve mümkün olduğunca çevre dostu güvenli imhası neredeyse zorunlu hale gelmiştir. Bu nedenle geri dönüşüm çalışmalarının nasıl daha etkin ve verimli gerçekleştirilebileceği sorgulanarak, bu amaç doğrultusunda ağ tasarım çalışmaları yapılmaya başlanmıştır.

Etkin bir geri dönüşüm ağı; aynı zamanda satış noktaları olarak da kullanılan alanların ne kadarlık bir bölümünün geri dönüşler için tahsis edileceği, beklenen geri dönüşüm oranlarının doğru tahmini, geri dönüşüm noktalarının doğru tespiti, imhalarda çevresel risk faktörlerinin mümkün olduğunca en azlanmasına olanak verecek bir tasarım planı oluşturulması için ne tür kararların alınması gerekliliği gibi sorulara cevap verebilecek yapıda olmalıdır.

Bu bölümde geri dönen ürünlerin çıkış noktalarından geri dönüşüm tesislerine akışını içeren bir lojistik ağı için bağımsız bir model konfigürasyonu geliştirilmiştir. Servisler, depolar ve tesisler arasında doğru ürünlerin doğru miktarlarda akışının gerçekleşmesini sağlamak ve belli lokasyonlarda bulunan depo ve geri kazanım tesislerinin geri dönüşlerde kullanılıp kullanılmaması kararlarını verebilmek amacıyla ürünlerin geri dönüşümünü içeren modelin çözülmesiyle taşıma, toplama, işleme, imha maliyetlerinin toplamı minimize edilmeye çalışılmıştır. Literatürde aküler için oluşturulmuş geri dönüşüm ağ tasarımı çalışması bulunmamaktadır.

6.2. Geri Dönüşümü İçeren Temel Model (MODEL-1)

6.2.1. Notasyonlar

İndisler

U: ürün

M: müşteri

T: tali bayii

S: servis

H: hurdacı

AB: ana bayii

G: geçici depo

P: geri kazanım tesisi

Parametreler

F_G : G geçici deposunu kullanmanın maliyeti

F_P : P geri kazanım tesisini işletme maliyeti

CAP_T : T tali bayii kapasitesi

CAP_S : S servis kapasitesi

CAP_H : H hurdacı kapasitesi

CAP_{AB} : AB ana bayii kapasitesi

CAP_G : G geçici depo kapasitesi

CAP_P : P geri kazanım tesislerinin depo kapasitesi

$CAPP_U$: P geri kazanım tesislerinin ürün ayrıştırma kapasitesi

$CUAB_U$: U ürününün AB ana bayii tarafından satın alınma maliyeti

CUG_U : U ürününün G geçici deposu tarafından satın alınma maliyeti

CUP_U : U ürününün geri kazanım tesisi tarafından satın alınma maliyeti

UD_U : U ürününün geri dönüşüm oranı

D_{MT} : M müşterisinin T tali bayine uzaklığı

O_{MS} : M müşterisinin S servisine uzaklığı

N_{MH} : M müşterisinin H hurdacısına uzaklığı
 L_{TAB} : T tali bayiinin AB ana bayiine uzaklığı
 I_{SAB} : S servisinin AB ana bayiine uzaklığı
 Q_{HAB} : H hurdacısının AB ana bayiine uzaklığı
 DS_{ABG} : AB ana bayiinin G geçici deposuna uzaklığı
 R_{GP} : G geçici deposunun P geri kazanım tesisine uzaklığı
 W : toplam hurda akü miktarı
 GD : ürünlerin toplam geri dönüşüm yüzdesi
 E : ürünün P tesisinde islenme yüzdesi
 $İM$: br ürün imha maliyeti
 C : km başına ürün taşıma maliyeti
 V : br üründen elde edilen plastik yüzdesi
 A : br üründen elde edilen kursun yüzdesi
 B : br üründen elde edilen sülfrik asit yüzdesi
 SAM : sülfrik asit ayrıştırma+imha br maliyeti
 PAM : plastik ayrıştırma br maliyeti
 KAM : kursun ayrıştırma br maliyeti

Karar Değişkenleri

X_{UMT} : M müşterisinden T bayisine gelen U ürünü miktarı
 X_{UMS} : M müşterisinden S servisine gelen U ürünü miktarı
 X_{UMH} : M müşterisinden H hurdacısına gelen U ürünü miktarı
 X_{UTAB} : T bayisinden AB ana bayiine taşınan U ürünü miktarı
 X_{USAB} : S servisinden AB ana bayiine taşınan U ürünü miktarı
 X_{UHAB} : H hurdacısından AB ana bayiine taşınan U ürünü miktarı
 X_{ABG} : AB ana bayiinden G geçici deposuna taşınan U ürünü miktarı
 X_{UGP} : G geçici deposundan P geri kazanım tesisine taşınan U ürünü miktarı
 Y_G : G geçici deposunun kullanılıp kullanılmaması ile ilgili 0-1 değişkeni
 Y_P : P geri kazanım tesisinin işletilip işletilmemesi ile ilgili 0-1 değişkeni

6.2.2. Amaç fonksiyonu ve kısıtlar

Min

$$\begin{aligned}
& \sum_U \sum_M \sum_T X_{UMT} * D_{MT} * C + \sum_U \sum_M \sum_S X_{UMS} * O_{MS} * C + \sum_U \sum_M \sum_H X_{UMH} * N_{MH} * C + \\
& \sum_U \sum_T \sum_{AB} X_{UTAB} * L_{TAB} * CUAB_U * C + \sum_U \sum_S \sum_{AB} X_{USAB} * I_{SAB} * CUAB_U * C + \\
& \sum_U \sum_H \sum_{AB} X_{UHAB} * Q_{HAB} * CUAB_U * C + \sum_U \sum_{AB} \sum_G X_{UABG} * DS_{ABG} * CUG_U * C + \\
& \sum_U \sum_G \sum_P X_{UGP} * R_{GP} * CUP_U * C + \sum_U \sum_G \sum_P X_{UGP} * (1 - E) * \dot{I}M + \\
& \sum_U \sum_G \sum_P X_{UGP} * E * V * PAM + \sum_U \sum_G \sum_P X_{UGP} * E * A * KAM + \\
& \sum_U \sum_G \sum_P X_{UGP} * E * B * SAM + \sum_P Y_P * F_P + \sum_G Y_G * F_G \tag{6.1}
\end{aligned}$$

$$\sum_U \sum_M X_{UMT} \leq CAP_T \quad \forall T \tag{6.2}$$

$$\sum_U \sum_M X_{UMS} \leq CAP_S \quad \forall S \tag{6.3}$$

$$\sum_U \sum_M X_{UMH} \leq CAP_H \quad \forall H \tag{6.4}$$

$$\sum_U \sum_T X_{UTAB} + \sum_U \sum_S X_{USAB} + \sum_U \sum_H X_{UHAB} \leq CAP_{AB} \quad \forall AB \tag{6.5}$$

$$\sum_U \sum_{AB} X_{UABG} \leq CAP_G * Y_G \quad \forall G \quad (6.6)$$

$$\sum_U \sum_G X_{UGP} \leq CAP_P * Y_P \quad \forall P \quad (6.7)$$

$$\sum_U \sum_G X_{UGP} * E \leq CAPPU_P * Y_P \quad \forall P \quad (6.8)$$

$$\sum_M \sum_T X_{UMT} + \sum_M \sum_S X_{UMS} + \sum_M \sum_H X_{UMH} = W * GD * UD_U \quad \forall U \quad (6.9)$$

$$\sum_M X_{UMT} = \sum_{AB} X_{UTAB} \quad \begin{matrix} \forall U \\ \forall T \end{matrix} \quad (6.10)$$

$$\sum_M X_{UMS} = \sum_{AB} X_{USAB} \quad \begin{matrix} \forall U \\ \forall S \end{matrix} \quad (6.11)$$

$$\sum_M X_{UMH} = \sum_{AB} X_{UHAB} \quad \begin{matrix} \forall U \\ \forall H \end{matrix} \quad (6.12)$$

$$\sum_T X_{UTAB} + \sum_S X_{USAB} + \sum_H X_{UHAB} = \sum_G X_{UABG} \quad \begin{matrix} \forall U \\ \forall AB \end{matrix} \quad (6.13)$$

$$\sum_{AB} X_{UABG} = \sum_P X_{UGP} \quad \begin{matrix} \forall U \\ \forall G \end{matrix} \quad (6.14)$$

$$X_{UMT}, X_{UMS}, X_{UMH}, X_{UTAB}, X_{USAB}, X_{UHAB}, X_{UABG}, X_{UGP} \geq 0 \text{ ve tamsayı} \quad (6.15)$$

$$Y_P, Y_G \in \{0,1\} \quad (6.16)$$

MODEL-1'in GAMS'te büyükharf yazımı EK-1'de sunulmuştur.

Modelde, Eş. 6.1 tüm maliyetlerden oluşan amaç fonksiyonu değeridir, Eş. 6.2 tali bayiine her M müşterisinden gelen toplam U ürünü miktarının tali bayi kapasitesini aşamayacağını belirten kapasite kısıtını göstermektedir, Eş. 6.3 servise her M müşterisinden gelen toplam U ürünü miktarının servis kapasitesini aşamayacağını belirten kapasite kısıtını göstermektedir, Eş. 6.4 hurdacıya her M müşterisinden gelen toplam U ürünü miktarının hurdacı kapasitesini aşamayacağını belirten kapasite kısıtını göstermektedir, Eş. 6.5 AB ana bayiine tali bayii, hurdacı ve servislerden gelen toplam ürün miktarının ana bayii kapasitesini aşamayacağını belirten kapasite kısıtını göstermektedir, Eş. 6.6 AB ana bayilerinden gelen toplam U ürünü miktarının G geçici depo kapasitesini aşamayacağını belirten kısıttır, Eş. 6.7 G geçici depolarından gelen toplam U ürünü miktarının P tesisi kapasitesini aşamayacağını belirten kapasite kısıtını göstermektedir, Eş. 6.8 P tesisinde işlenebilecek ürün miktarının tesisin kapasitesini aşamayacağını ifade eden kısıttır, Eş. 6.9 müşterilerden dönen ürün miktarları toplamının geri dönen ürün miktarına eşit olmasını sağlayan kısıttır, Eş. 6.10 müşterilerden tali bayiler aracılığıyla ana bayilere ürün akışını sağlayan kısıttır, Eş. 6.11 müşterilerden servisler aracılığıyla ana bayilere ürün akışını sağlayan kısıttır, Eş. 6.12 müşterilerden hurdacılar aracılığıyla ana bayilere ürün akışını sağlayan kısıttır, Eş. 6.13 AB ana bayilerinden G geçici depolarına ürün akışını sağlayan kısıttır, Eş. 6.14 G geçici deposundan P tesisine ürün akışını sağlayan kısıttır, Eş. 6.15 ve Eş. 6.16 negatif olmama, tamsayı ve 0-1 değişkenlere ait kısıtları göstermektedir.

6.2.3. Geri dönüşümü içeren temel model için uygulama

Geri dönüşüm ağı; dört müşteri bölgesi (M1, M2, M3, M4), iki tali bayi (T1, T2), iki servis (S1, S2), iki hurdacı (H1, H2), üç ana bayii (AB1, AB2, AB3), dört aday geçici depo (G1, G2, G3, G4) ve iki aday geri kazanım tesisi (P1, P2) içerecek şekilde müşterilerden akülerin uygun şekilde toplanması, ana bayiler ve geçici depolar tarafından uygun şekilde doğru zamanda geri dönüşümünün yapılabilmesi için depolanması ve geri kazanım tesislerine gönderilerek geri dönüşüm, çevre dostu imha vs. gibi değerlerden oluşan amacı gerçekleştirmek için karma tamsayılı programlama modeli olarak modellenmiştir.

Modelin içerdği varsayımlar;

1. Müşterilerin teslim ettikleri hurda ürünler karşılığında yeni ürün aldıkları varsayılarak depozito maliyetleri ihmal edilmiştir.
2. Müşterilerin kendi aralarında gerçekleştirdikleri taşımlar ihmal edilmiştir.
3. Tali bayi, servis ve hurdacıların kendi aralarında gerçekleştirdikleri taşımlar ihmal edilmiştir.
4. Ana bayilerin kendi aralarında gerçekleştirdikleri taşımlar ihmal edilmiştir.
5. Geçici depolar arasında gerçekleştirilen ürün aktarımları ihmal edilmiştir.

Matematiksel model;

Min

$$\sum_{U=1}^3 \sum_{M=1}^4 \sum_{T=1}^2 X_{UMT} * D_{MT} * C + \sum_{U=1}^3 \sum_{M=1}^4 \sum_{S=1}^2 X_{UMS} * O_{MS} * C + \sum_{U=1}^3 \sum_{M=1}^4 \sum_{H=1}^2 X_{UMH} * N_{MH} * C +$$

$$\sum_{U=1}^3 \sum_{T=1}^2 \sum_{AB=1}^2 X_{UTAB} * L_{TAB} * CU_{AB_U} * C + \sum_{U=1}^3 \sum_{S=1}^2 \sum_{AB=1}^2 X_{USAB} * I_{SAB} * CU_{AB_U} * C +$$

$$\sum_{U=1}^3 \sum_{H=1}^2 \sum_{AB=1}^2 X_{UHAB} * Q_{HAB} * CU_{AB_U} * C + \sum_{U=1}^3 \sum_{AB=1}^2 \sum_{G=1}^4 X_{UABG} * DS_{ABG} * CUG_U * C +$$

$$\sum_{U=1}^3 \sum_{G=1}^4 \sum_{P=1}^2 X_{UGP} * R_{GP} * CUP_U * C + \sum_{U=1}^3 \sum_{G=1}^4 \sum_{P=1}^2 X_{UGP} * (1 - E) * \dot{I}M +$$

$$\sum_{U=1}^3 \sum_{G=1}^4 \sum_{P=1}^2 X_{UGP} * E * V * PAM + \sum_{U=1}^3 \sum_{G=1}^4 \sum_{P=1}^2 X_{UGP} * E * A * KAM +$$

$$\sum_{U=1}^3 \sum_{G=1}^4 \sum_{P=1}^2 X_{UGP} * E * B * SAM + \sum_{P=1}^2 Y_P * F_P + \sum_{G=1}^4 Y_G * F_G \quad (6.17)$$

$$\sum_{U=1}^3 \sum_{M=1}^4 X_{UMT} \leq CAP_T \quad T=1,2 \quad (6.18)$$

$$\sum_{U=1}^3 \sum_{M=1}^4 X_{UMS} \leq CAP_S \quad S=1,2 \quad (6.19)$$

$$\sum_{U=1}^3 \sum_{M=1}^4 X_{UMH} \leq CAP_H \quad H=1,2 \quad (6.20)$$

$$\sum_{U=1}^3 \sum_{T=1}^2 X_{UTAB} + \sum_{U=1}^3 \sum_{S=1}^2 X_{USAB} + \sum_{U=1}^3 \sum_{H=1}^2 X_{UHAB} \leq CAP_{AB} \quad AB=1,2 \quad (6.21)$$

$$\sum_{U=1}^3 \sum_{AB=1}^2 X_{UABG} \leq CAP_G * Y_G \quad G=1,2,3,4 \quad (6.22)$$

$$\sum_{U=1}^3 \sum_{G=1}^4 X_{UGP} \leq CAP_P * Y_P \quad P=1,2 \quad (6.23)$$

$$\sum_{U=1}^3 \sum_{G=1}^4 X_{UGP} * E \leq CAP_{PU} * Y_P \quad P=1,2 \quad (6.24)$$

$$\sum_{M=1}^4 \sum_{T=1}^2 X_{UMT} + \sum_{M=1}^4 \sum_{S=1}^2 X_{UMS} + \sum_{M=1}^4 \sum_{H=1}^2 X_{UMH} = W * GD * UD_U \quad U=1,2,3 \quad (6.25)$$

$$\sum_{M=1}^4 X_{UMT} = \sum_{AB=1}^2 X_{UTAB} \quad \begin{matrix} U=1,2,3 \\ T=1,2 \end{matrix} \quad (6.26)$$

$$\sum_{M=1}^4 X_{UMS} = \sum_{AB=1}^2 X_{USAB} \quad \begin{matrix} U=1,2,3 \\ S=1,2 \end{matrix} \quad (6.27)$$

$$\sum_{M=1}^4 X_{UMH} = \sum_{AB=1}^2 X_{UHAB} \quad \begin{matrix} U = 1, 2, 3 \\ H = 1, 2 \end{matrix} \quad (6.28)$$

$$\sum_{T=1}^2 X_{UTAB} + \sum_{S=1}^2 X_{USAB} + \sum_{H=1}^2 X_{UHAB} = \sum_{G=1}^4 X_{UABG} \quad \begin{matrix} U = 1, 2, 3 \\ AB = 1, 2, \end{matrix} \quad (6.29)$$

$$\sum_{AB=1}^3 X_{UABG} = \sum_{P=1}^2 X_{UGP} \quad \begin{matrix} U = 1, 2, 3 \\ G = 1, 2, 3, 4 \end{matrix} \quad (6.30)$$

$$\begin{matrix} X_{UMT}, X_{UMS}, X_{UMH}, X_{UTAB}, X_{USAB}, \\ X_{UHAB}, X_{UABG}, X_{UGP} \geq 0 \text{ ve tamsayı} \end{matrix} \quad (6.31)$$

$$Y_P, Y_G \in \{0, 1\} \quad (6.32)$$

Şeklinde ifade edilmektedir.

MODEL-1'in oluşturulmasında kullanılan verilerin bazıları ilgili istatistikler incelenerek modele yansıtılmış, elde edilmesi mümkün olmayan (örneğin depo kullanım sabit maliyetleri, geri kazanım tesisi işletme sabit maliyetleri) veriler ise tahmini olarak modele yansıtılmış ve EK-2'de sunulmuştur.

MODEL-1, geri dönüşüm faaliyetinin minimum maliyetle gerçekleştirilmesi sonucunda depolar ve merkezler arasında oluşan ürün akışının miktarının belirlenmesi ve geçici depoların kullanılması ile geri kazanım tesislerinin işletilmesi kararlarının verilebilmesi amacıyla GAMS-CPLEX ile Core 2 Duo, 2.20 Ghz işlemcili ve 4 Gb RAM'e sahip bir bilgisayarda çözülmüştür.

Oluşturulan model, 130 iterasyonda ve 0,1719 saniyede çözülmüştür. Minimum maliyet 956 395 519 680 para birimi olarak bulunmuştur. MODEL-1, G1, G2 geçici

depolarının kullanılmasına ve P1, P2 geri kazanım tesislerinin işletilmesine karar vermiştir.

MODEL-1'in çözümünden elde edilen ilk aşama (müşterilerden-merkezlere yapılan taşımalar) taşıma sonuçlarını içeren Çizelge 6.1 incelendiğinde, minimum taşıma maliyetleri oluşacak şekilde en fazla ürünün müşteri merkezlerine daha yakın bulunan H2 hurdacısı tarafından ($U2 + U3 = 900$) taşındığı, H2 hurdacısını T2 tali bayisi ($U1 + U3 = 650$), S1 servisi ($U1=600$) ve T1 tali bayisinin ($U2=280$) izlediği görülmektedir.

Çizelge 6.1. Müşterilerden merkezlere yapılan taşımalar

	T1			T2			S1			S2			H1			H2		
	U1	U2	U3	U1	U2	U3	U1	U2	U3	U1	U2	U3	U1	U2	U3	U1	U2	U3
M1		280					600											
M2																		
M3																	449	451
M4				615		35												

Tali Bayii, servisler ve hurdacılar tarafından müşterilerden satın alınan ürünlerin ana bayiler tarafından satın alınan miktarlarını içeren Çizelge 6.2 incelendiğinde toplama merkezlerinden, merkezlere daha yakın olması nedeniyle AB2 ana bayisine daha fazla ürün taşımalarının gerçekleştirildiği görülmektedir.

Çizelge 6.2. Merkezlerden ana bayilere yapılan taşımalar

	AB1			AB2			AB3		
	U1	U2	U3	U1	U2	U3	U1	U2	U3
T1					280				
T2				615		35			
S1				600					
S2									
H1									
H2		449	451						

Ana bayilerden geçici depolara taşınan ürün miktarlarını içeren Çizelge 6.3 incelendiğinde; MODEL-1’de AB1 ve AB2 ana bayilerinden geçici depolara taşınan miktarların mesafelere daha az bağımlı kalınarak geçici depoların açılması sonucunda katlanılan maliyetlere göre belirlendiği sonucuna ulaşılmaktadır. Taşımaların G1 geçici deposunun kapasitesi dolana kadar bu depoya yapıldığı ve depo kapasitesinin dolmasının ardından kalan ürünlerin G2 geçici deposuna taşınarak iki deponun kullanılması sonucunda minimum maliyetle taşımının gerçekleştirildiği görülmektedir. Bu nedenle G3 ve G4 geçici depolarının kullanılmasına ihtiyaç duyulmamaktadır.

Çizelge 6.3. Ana bayilerden geçici depolara yapılan taşımalar

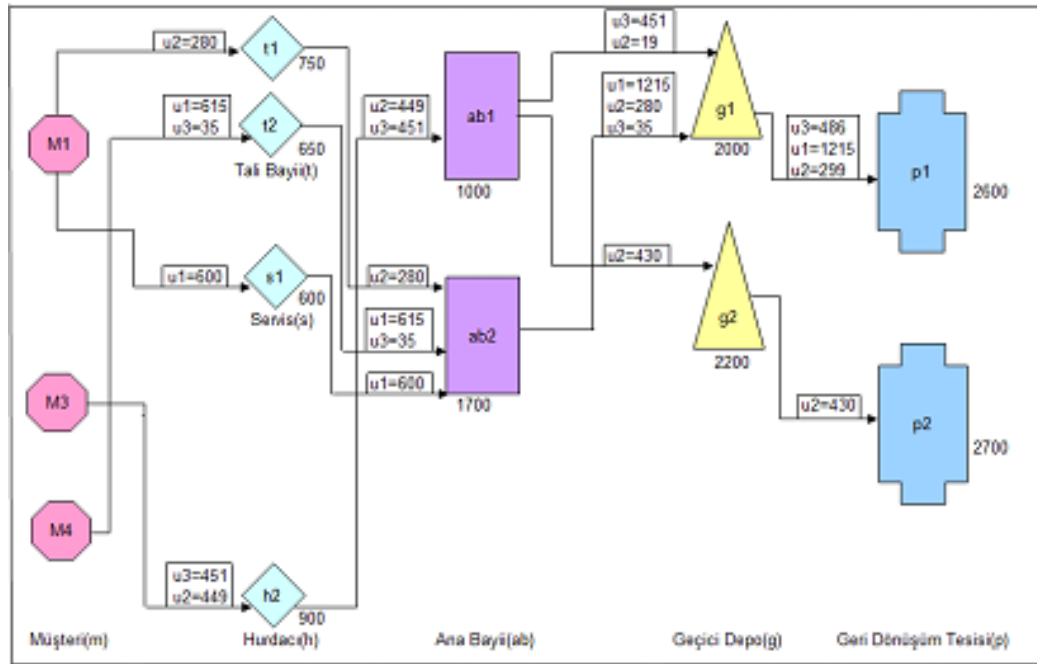
	G1			G2			G3			G4		
	U1	U2	U3	U1	U2	U3	U1	U2	U3	U1	U2	U3
AB1		19	451		430							
AB2	1215	280	35									
AB3												

Geçici depolardan geri kazanım tesislerine yapılan taşımaları içeren Çizelge 6.4 incelendiğinde, P1 geri kazanım tesisinin G1 geçici deposuna daha yakın olması nedeniyle G1 geçici deposunda mevcut bulunan tüm ürünlerin P1 geri kazanım tesisine, aynı şekilde G2 geçici deposunun P2 geri kazanım tesisine daha yakın mesafede bulunması nedeniyle G1 geçici deposunda mevcut bulunan tüm ürünlerin P2 geri kazanım tesisine taşındığı görülmektedir. Sonuç olarak MODEL-1 tesislerin açılış maliyetleri üzerinden değil mesafeler üzerinden taşıma kararlarını vermiştir. Çünkü P1 geri kazanım tesisinin tüm ürünleri alabilecek sayıda yeterli kapasitesi mevcut bulunmasına rağmen, P2 geri kazanım tesisine de bir miktar ürün taşıması yapılmıştır.

Çizelge 6.4. Geçici depolardan geri kazanım tesislerine yapılan taşımalar

	P1			P2		
	U1	U2	U3	U1	U2	U3
G1	1215	299	486			
G2					430	
G3						
G4						

MODEL-1'in, ele alınması ve çözülmesi ile elde edilen sonuçlar dikkate alındığında şekil 6.1 de verilen geri dönüşüm ağ tasarımı yapısı elde edilmiştir.



Şekil 6.1. MODEL-1 geri dönüşüm ağ tasarımı şablonu ve optimum sonuçlar

Şekil 6.1 incelendiğinde M1 müşterisinden T1 bayisine gelen 280 br U2 ürününün, AB2 bayisine, buradan G1 deposuna ve G1 deposundan P1 tesisine taşındığı; yine M1 müşterisinden S1 bayisine gelen 600 br U1 ürününün AB2 bayisine, buradan G1 deposuna ve G1 deposundan P1 tesisine taşındığı; M3 müşterisinden H2 hurdacısına gelen 451 br U3 ve 449 br U2 ürününün AB1 bayisine, buradan 430 br U2 ürününün G2 deposuna ve kalan ürünlerin G1 deposuna, G1 deposuna gelen ürünlerin P1 tesisine ve G2 deposuna gelen ürünlerin P2 tesisine taşındığı; son olarak M4

müşterisinden T2 bayisine gelen 615 br U1 ve 35 br U3 ürününün AB2 bayisine, buradan G1 deposuna ve G1 deposundan P1 tesisine taşındığı ve böylece ağ yapının oluşumunu tamamladığı gözlenmektedir.

Günümüzde elde edilen istatistiklere bağlı olarak akü geri dönüşüm sisteminde yaklaşık 56 000 ton atık akünün geri dönüşümünün yapılabilirdi sonucuna ulaşılmıştır. Bu nedenle MODEL-1 maksimum 100 adet müşteri bölgesi, 12 adet hurdacı, servis, tali bayi ve ana bayi, 13 adet geçici depo ve 11 adet geri kazanım tesisi içerecek ve 54 000 ton atık akünün taşınması yapılabilecek şekilde modellenmiştir. Modelin bu boyuttaki bir problemi çözerek sonuca ulaşabildiği çizelge 6.6’da görülmektedir. Çizelge 6.6 incelendiğinde farklı boyutlardaki problemlerin çözümünün model tarafından kısa zamanda rahatlıkla yapılabildiği gözlenmektedir. Örnek problemler toplam kapasite arttıkça ürün çeşitliliğinin de artacağı düşüncesiyle oluşturulmuştur.

Çizelge 6.5. MODEL-1’de kullanılan veriler

Ürün Çeşiti Sayısı	Müşteri Sayısı	Hurdacı Sayısı	Tali Bayi Sayısı	Servis Sayısı	Ana Bayi Sayısı	Geçici Depo Sayısı	Geri Kazanım Tesisi Sayısı
3	10	4	4	4	3	4	2
3	20	5	5	5	4	5	3
3	30	5	5	5	5	7	5
3	40	6	6	6	6	7	5
4	50	7	7	7	7	8	6
5	60	8	8	8	8	9	7
6	70	9	9	9	9	10	8
7	80	10	10	10	10	11	9
8	90	11	11	11	11	12	10
9	100	12	12	12	12	13	11

Çizelge 6.6. MODEL-1'in çözüm sonuçları

Geri Dönen Toplam Ürün Miktarı(Ton)	CPU Zamanı (sn)	Amaç Fonksiyonu Değeri	Kullanılan	
			Geçici Depo	Geri Kazanım Tesisi
4 500	0,032	1 937 838 012 000	4	2
4 850	0,078	2 000 842 486 200	3	3
9 800	0,078	4 389 849 687 400	6	4
12 600	0,156	5 821 655 682 599	6	5
18 000	0,265	10 649 027 717 999	7	6
24 300	0,390	16 526 838 956 800	9	7
30 600	0,515	15 186 208 315 600	10	8
37 800	0,842	31 455 963 112 800	11	9
46 800	1,014	43 104 330 271 800	12	10
54 000	0,858	52 260 233 459 000	13	11

Yapılan modelleme çalışmasında sadece belli müşteri bölgelerini kapsayacak şekilde bir ağ tasarımı çalışması düşünüldüğü için modelin ne kadar esnek yapıda tasarlandığı bu sonuçlara bağlı olarak görülmektedir. Böylece oluşturulan modelin ilerde oluşabilecek değişikliklere karşı duyarlı olacağı sonucuna ulaşılabilir. Modelin 10 müşteriden 100 müşteriye kadar çözülmesinde kullanılan veriler Çizelge 6.5'de, çözülmesi sonucunda elde edilen değerler Çizelge 6.6'da sunulmuştur.

6.3. Geri Dönüşümü İçeren ve Araç Tiplerini Dikkate Alan Model (MODEL-2)

6.3.1. Problemin tanımı

Günümüzde yasal ve çevresel düzenlemeler sonucunda akü geri dönüşüm sistemine, geçici depolara ve geri kazanım tesislerine yapılan taşımaların lisanslı araçlarla yapılması zorunluluğu getirilmiştir. Yapılan diğer taşımaların da mümkün olduğunca lisanslı araçlarla gerçekleştirilebilmesi için çalışılmaktadır. MODEL-1'de tüm taşımaların araçlar olmadan sadece kapasite ve mesafelere bağlı olarak nasıl gerçekleştirilebileceği gözlenmiş ve taşımaların minimum maliyeti belirlenmiştir. MODEL-1'in akü sistemine getirilen bu yeniliklerle birlikte nasıl bir davranış

MODEL-2’de lisanssız araçlarla yapılacak taşımaların ceza maliyetleri yüksek tutularak lisanssız taşımaların mümkün olduğunca enazlanması sağlanmıştır.

MODEL-1 üzerinde incelenen örnek problem, MODEL-1 ile sonuçları karşılaştırılmak üzere MODEL-2 üzerinde tekrar incelenmiştir.

6.3. 2. Notasyonlar

İndisler

U: ürün

M: müşteri

T: tali bayii

S: servis

H: hurdacı

AB: ana bayii

G: geçici depo

P: geri kazanım tesisi

SY: servis lisanslı araç

TY: tali bayi lisanslı araç

HY: hurdacı lisanslı araç

GY: lisanslı araç

SJ: servis lisanssız araç

TJ: tali bayi lisanssız araç

HJ: hurdacı lisanssız araç

Parametreler

F_G : G geçici deposunu kullanmanın maliyeti

F_P : P geri kazanım tesisini işletme maliyeti

F_{SY} : SY lisanslı aracını satın alma maliyeti

F_{TY} : TY lisanslı aracını satın alma maliyeti

F_{HY} : HY lisanslı aracını satın alma maliyeti
 F_{SJ} : SJ lisanssız aracını satın alma maliyeti
 F_{TJ} : TJ lisanssız aracını satın alma maliyeti
 F_{HJ} : HJ lisanssız aracını satın alma maliyeti
 F_{GY} : GY lisanslı aracını satın alma maliyeti
 CAP_T : T tali bayiinin kapasitesi
 CAP_S : S servisinin kapasitesi
 CAP_H : H hurdacısının kapasitesi
 CAP_{AB} : AB ana bayiinin kapasitesi
 CAP_G : G geçici deposunun kapasitesi
 CAP_P : P geri kazanım tesisinin depo kapasitesi
 $CAPP_U$: P geri kazanım tesisinin ürün ayrıştırma kapasitesi
 $CUAB_U$: U ürününün AB ana bayii tarafından satın alınma maliyeti
 CUG_U : U ürününün G geçici deposu tarafından satın alınma maliyeti
 CUP_U : U ürününün P tesisi tarafından satın alınma maliyeti
 UD_U : U ürününün geri dönüşüm oranı
 D_{MT} : M müşterisinin T tali bayiine uzaklığı
 O_{MS} : M müşterisinin S servisine uzaklığı
 N_{MH} : M müşterisinin H hurdacısına uzaklığı
 L_{TAB} : T tali bayisinin AB ana bayiine uzaklığı
 TP_{TP} : T tali bayisinin P geri kazanım tesisine uzaklığı
 I_{SAB} : S servisinin AB ana bayiine uzaklığı
 SP_{SP} : S servisinin P geri kazanım tesisine uzaklığı
 Q_{HAB} : H hurdacısının AB ana bayiine uzaklığı
 HP_{HP} : H hurdacısının P geri kazanım tesisine uzaklığı
 DS_{ABG} : AB ana bayiinin G geçici deposuna uzaklığı
 R_{GP} : G geçici deposunun P geri kazanım tesisine uzaklığı
 W : toplam hurda akü miktarı
 GD : ürünün geri dönüşüm yüzdesi
 E : ürünün P tesisinde islenme yüzdesi
 $İM$: br ürün imha maliyeti
 LUT : km başına lisanslı br ürün taşıma maliyeti

GYLUT: km başına lisanslı br ürün taşıma maliyeti

LSZ: km başına lisanssız br ürün taşıma maliyeti

V: br üründen elde edilen plastik yüzdesi

A: br üründen elde edilen kursun yüzdesi

B: br üründen elde edilen sülfrik asit yüzdesi

SAM: sülfrik asit ayrıştırma+imha br maliyeti

PAM: plastik ayrıştırma br maliyeti

KAM: kursun ayrıştırma br maliyeti

CAP_{SY}: SY lisanslı aracının kapasitesi

CAP_{TY}: TY lisanslı aracının kapasitesi

CAP_{HY}: HY lisanslı aracının kapasitesi

CAP_{GY}: GY lisanslı aracının kapasitesi

CAP_{SJ}: SJ lisanssız aracının kapasitesi

CAP_{TJ}: TJ lisanssız aracının kapasitesi

CAP_{HJ}: HJ lisanssız aracının kapasitesi

Karar Değişkenleri

X_{UMT}: M müşterisinden T bayisine gelen U ürünü miktarı

X_{UMS}: M müşterisinden S servisine gelen U ürünü miktarı

X_{UMH}: M müşterisinden H hurdacısına gelen U ürünü miktarı

X_{UTTP}: T bayisinden P geri kazanım tesisine TY lisanslı aracı kullanılarak taşınan U ürünü miktarı

X_{UTTJAB}: T bayisinden AB ana bayiine TJ lisanssız aracı kullanılarak taşınan U ürünü miktarı

X_{USSYP}: S servisinden P geri kazanım tesisine SY lisanslı aracı kullanılarak taşınan U ürünü miktarı

X_{USSJAB}: S servisinden AB ana bayiine SJ lisanssız aracı kullanılarak taşınan U ürünü miktarı

X_{UHHYP}: H hurdacısından P geri kazanım tesisine HY lisanslı aracı kullanılarak taşınan U ürünü miktarı

X_{UHHJAB} : H hurdacısından AB ana bayiine HJ lisanssız aracı kullanılarak taşınan U ürünü miktarı

X_{UABGYG} : AB ana bayiinden G geçici deposuna GY lisanslı aracı kullanılarak taşınan U ürünü miktarı

X_{UGGYP} : G geçici deposundan P geri kazanım tesisine GY lisanslı aracı kullanılarak taşınan U ürünü miktarı

Y_G : G geçici deposunun kullanılıp kullanılmaması ile ilgili 0-1 değişkeni

Y_P : P geri kazanım tesisinin işletilip işletilmemesi ile ilgili 0-1 değişkeni

Y_{SY} : SY aracının kullanılıp kullanılmaması ile ilgili 0-1 değişkeni

Y_{TY} : TY aracının kullanılıp kullanılmaması ile ilgili 0-1 değişkeni

Y_{HY} : HY aracının kullanılıp kullanılmaması ile ilgili 0-1 değişkeni

Y_{SJ} : SJ aracının kullanılıp kullanılmaması ile ilgili 0-1 değişkeni

Y_{TJ} : TJ aracının kullanılıp kullanılmaması ile ilgili 0-1 değişkeni

Y_{HJ} : HJ aracının kullanılıp kullanılmaması ile ilgili 0-1 değişkeni

Y_{GY} : GY aracının kullanılıp kullanılmaması ile ilgili 0-1 değişkeni

6.3.3. Amaç fonksiyonu ve kısıtlar

Min

$$\sum_U \sum_M \sum_T X_{UMT} * D_{MT} * LSZ + \sum_U \sum_M \sum_S X_{UMS} * O_{MS} * LSZ + \sum_U \sum_M \sum_H X_{UMH} * N_{MH} * LSZ +$$

$$\sum_U \sum_T \sum_{TY} \sum_P X_{UTTYP} * TP_{TP} * CUP_U * LUT + \sum_U \sum_T \sum_{TJ} \sum_{AB} X_{UTTJAB} * L_{TAB} * CUAB_U * LSZ +$$

$$\sum_U \sum_S \sum_{SY} \sum_P X_{USSYP} * SP_{SP} * CUP_U * LUT + \sum_U \sum_S \sum_{SJ} \sum_{AB} X_{USSJAB} * I_{SAB} * CUAB_U * LSZ +$$

$$\sum_U \sum_H \sum_{HY} \sum_P X_{UHHYP} * HP_{HP} * CUP_U * LUT + \sum_U \sum_H \sum_{HJ} \sum_{AB} X_{UHHJAB} * Q_{HAB} * CUAB_U * LSZ +$$

$$\sum_U \sum_{AB} \sum_{GY} \sum_G X_{UABGYG} * DS_{ABG} * CUG_U * GYLUT + \sum_U \sum_G \sum_{GY} \sum_P X_{UGGYP} * R_{GP} * CUP_U * GYLUT +$$

$$\begin{aligned}
& \sum_U \sum_G \sum_{GY} \sum_P X_{UGGYP} * (1-E) * \dot{I}M + \sum_U \sum_S \sum_{SY} \sum_P X_{USSYP} * (1-E) * \dot{I}M + \\
& \sum_U \sum_T \sum_{TY} \sum_P X_{UTTYP} * (1-E) * \dot{I}M + \sum_U \sum_H \sum_{HY} \sum_P X_{UHHYP} * (1-E) * \dot{I}M + \\
& \sum_U \sum_G \sum_{GY} \sum_P X_{UGGYP} * E * A * KAM + \sum_U \sum_S \sum_{SY} \sum_P X_{USSYP} * E * B * KAM + \\
& \sum_U \sum_H \sum_{HY} \sum_P X_{UHHYP} * E * A * KAM + \sum_U \sum_T \sum_{TY} \sum_P X_{UTTYP} * E * B * KAM + \\
& \sum_U \sum_G \sum_{GY} \sum_P X_{UGGYP} * E * V * \dot{I}M * PAM + \sum_U \sum_S \sum_{SY} \sum_P X_{USSYP} * E * V * \dot{I}M * PAM + \\
& \sum_U \sum_T \sum_{TY} \sum_P X_{UTTYP} * E * V * \dot{I}M * PAM + \sum_U \sum_H \sum_{HY} \sum_P X_{UHHYP} * E * V * \dot{I}M * PAM + \\
& \sum_P Y_P * F_P + \sum_G Y_G * F_G + \sum_{SY} Y_{SY} * F_{SY} + \sum_{TY} Y_{TY} * F_{TY} + \sum_{HY} Y_{HY} * F_{HY} + \sum_{SJ} Y_{SJ} * F_{SJ} + \\
& \sum_{TJ} Y_{TJ} * F_{TJ} + \sum_{HJ} Y_{HJ} * F_{HJ} + \sum_{GY} Y_{GY} * F_{GY}
\end{aligned} \tag{6.33}$$

$$\sum_U \sum_M X_{UMT} \leq CAP_T \quad \forall T \tag{6.34}$$

$$\sum_U \sum_M X_{UMS} \leq CAP_S \quad \forall S \tag{6.35}$$

$$\sum_U \sum_M X_{UMH} \leq CAP_H \quad \forall H \tag{6.36}$$

$$\sum_U \sum_T \sum_{TJ} X_{UTTJAB} + \sum_U \sum_S \sum_{SJ} X_{USSJAB} +$$

$$\sum_U \sum_H \sum_{HJ} X_{UHHJAB} \leq CAP_{AB} \quad \forall AB \tag{6.37}$$

$$\sum_U \sum_{AB} \sum_{GY} X_{UABGYG} \leq CAP_G * Y_G \quad \forall G \quad (6.38)$$

$$\sum_U \sum_S \sum_{SY} X_{USSYP} + \sum_U \sum_T \sum_{TY} X_{UTTYP} + \sum_U \sum_H \sum_{HY} X_{UHHYP} +$$

$$\sum_U \sum_G \sum_{GY} X_{UGGYP} \leq CAP_P * Y_P \quad \forall P \quad (6.39)$$

$$\sum_U \sum_S \sum_{SY} X_{USSYP} * E + \sum_U \sum_T \sum_{TY} X_{UTTYP} * E + \sum_U \sum_H \sum_{HY} X_{UHHYP} * E +$$

$$\sum_U \sum_G \sum_{GY} X_{UGGYP} * E \leq CAPPU_P * Y_P \quad \forall P \quad (6.40)$$

$$\sum_U \sum_S \sum_P X_{USSYP} \leq CAP_{SY} * Y_{SY} \quad \forall SY \quad (6.41)$$

$$\sum_U \sum_T \sum_P X_{UTTYP} \leq CAP_{TY} * Y_{TY} \quad \forall TY \quad (6.42)$$

$$\sum_U \sum_H \sum_P X_{UHHYP} \leq CAP_{HY} * Y_{HY} \quad \forall HY \quad (6.43)$$

$$\sum_U \sum_{AB} \sum_G X_{UABGYG} \leq CAP_{GY} * Y_{GY} \quad \forall GY \quad (6.44)$$

$$\sum_U \sum_G \sum_P X_{UGGYP} \leq CAP_{GY} * Y_{GY} \quad \forall GY \quad (6.45)$$

$$\sum_U \sum_S \sum_{AB} X_{USSJAB} \leq CAP_{SJ} * Y_{SJ} \quad \forall SJ \quad (6.46)$$

$$\sum_U \sum_T \sum_{AB} X_{UTTJAB} \leq CAP_{TJ} * Y_{TJ} \quad \forall TJ \quad (6.47)$$

$$\sum_U \sum_H \sum_{AB} X_{UHHJAB} \leq CAP_{HJ} * Y_{HJ} \quad \forall HJ \quad (6.48)$$

$$\sum_M \sum_T X_{UMT} + \sum_M \sum_S X_{UMS} + \sum_M \sum_H X_{UMH} = W * GD * UD_U \quad \forall U \quad (6.49)$$

$$\sum_M X_{UMT} = \sum_Y \sum_P X_{UTYP} + \sum_J \sum_{AB} X_{UTJAB} \quad \begin{matrix} \forall U \\ \forall T \end{matrix} \quad (6.50)$$

$$\sum_M X_{UMS} = \sum_Y \sum_P X_{USYP} + \sum_J \sum_{AB} X_{USJAB} \quad \begin{matrix} \forall U \\ \forall S \end{matrix} \quad (6.51)$$

$$\sum_M X_{UMH} = \sum_Y \sum_P X_{UHPY} + \sum_J \sum_{AB} X_{UHJAB} \quad \begin{matrix} \forall U \\ \forall H \end{matrix} \quad (6.52)$$

$$\sum_T \sum_J X_{UTJAB} + \sum_S \sum_J X_{USJAB} +$$

$$\sum_H \sum_J X_{UHJAB} = \sum_{GY} \sum_G X_{UABGYG} \quad \begin{matrix} \forall U \\ \forall AB \end{matrix} \quad (6.53)$$

$$\sum_{AB} \sum_{GY} X_{UABGYG} = \sum_{GY} \sum_P X_{UGGYP} \quad \begin{matrix} \forall U \\ \forall G \end{matrix} \quad (6.54)$$

$$X_{UMT}, X_{UMS}, X_{UMH}, X_{UTYG}, X_{UTJAB}, X_{USYG}, X_{USJAB}, X_{UHYG}, \\ X_{UHJAB}, X_{UABGYG}, X_{UGGYP} \geq 0 \text{ ve tamsayı} \quad (6.55)$$

$$Y_P, Y_G, Y_{TJ}, Y_{SJ}, Y_{HJ}, Y_{TY}, Y_{SY}, Y_{HY}, Y_{GY} \in \{0,1\} \quad (6.56)$$

MODEL-2'nin GAMS'te büyükharf yazımı EK-3'te sunulmuştur.

Modelde, Eş. 6.33 tüm maliyetlerden oluşan amaç fonksiyonu değeridir, Eş. 6.34 tali bayiine her M müşterisinden gelen toplam U ürünü miktarının tali bayi kapasitesini aşamayacağını belirten kapasite kısıtını göstermektedir, Eş. 6.35 servise her M müşterisinden gelen toplam U ürünü miktarının servis kapasitesini aşamayacağını belirten kapasite kısıtını göstermektedir, Eş. 6.36 hurdacıya her M müşterisinden

gelen toplam U ürünü miktarının hurdacı kapasitesini aşamayacağını belirten kapasite kısıtını göstermektedir, Eş. 6.37 AB ana bayiine tali bayii, hurdacı ve servislerden lisanssız araçlarla taşınan toplam ürün miktarının ana bayii kapasitesini aşamayacağını belirten kapasite kısıtını göstermektedir, Eş. 6.38 ab ana bayilerinden lisanslı araçlarla gelen toplam U ürünü miktarının G geçici depo kapasitesini aşamayacağını belirten kısıttır, Eş. 6.39 S servislerinden, T tali bayilerinden, H hurdacılarından ve G geçici depolarından lisanslı araçlarla gelen toplam U ürünü miktarının P tesisi kapasitesini aşamayacağını belirten kapasite kısıtını göstermektedir, Eş. 6.40 P tesisinde işlenebilecek ürün miktarının tesisin kapasitesini aşamayacağını ifade eden kısıttır, Eş. 6.41, Eş. 6.42 ve Eş. 6.43 sırasıyla SY, TY, HY lisanslı araçlarının kapasite kısıtlarını göstermektedir, Eş. 6.44 ve Eş. 6.45 GY lisanslı aracının kapasite kısıtlarıdır, Eş. 6.46, Eş. 6.47 ve Eş. 6.48 sırasıyla SJ, TJ ve HJ lisanssız araçlarının kapasite kısıtlarını göstermektedir, Eş. 6.49 müşterilerden dönen ürün miktarları toplamının geri dönen ürün miktarına eşit olmasını sağlayan kısıttır, Eş. 6.50 müşterilerden tali bayiler aracılığıyla lisanslı ya da lisanssız araçlar kullanılarak AB ana bayilere ürün akışını sağlayan kısıttır, Eş. 6.51 müşterilerden servisler aracılığıyla lisanslı araçlar kullanılarak P geri kazanım tesislerine ya da lisanssız araçlar kullanılarak AB ana bayilere ürün akışını sağlayan kısıttır, Eş. 6.52 müşterilerden hurdacılar aracılığıyla lisanslı araçlar kullanılarak P geri kazanım tesislerine ya da lisanssız araçlar kullanılarak ana bayilere ürün akışını sağlayan kısıttır, Eş. 6.53 AB ana bayilerinden G geçici depolarına lisanslı araçlar kullanılarak ürün akışını sağlayan kısıttır, Eş. 6.54 G geçici deposundan P tesisine lisanslı araç kullanılarak ürün akışını sağlayan kısıttır, Eş. 6.55 ve Eş. 6.56 negatif olmama, tamsayı ve 0-1 değişkenlere ait kısıtları göstermektedir.

6.3.4. Geri dönüşümü içeren ve araç tiplerini dikkate alan model için uygulama

Geri dönüşüm ağı dört müşteri bölgesi (M1, M2, M3, M4), iki tali bayi (T1, T2), iki servis (S1, S2), iki hurdacı (H1, H2), üç ana bayii (AB1, AB2, AB3), dört aday geçici depo (G1, G2, G3, G4), iki aday geri kazanım tesisi (P1, P2), tali bayi, servis ve hurdacılar tarafından kullanılan sekiz adet aday lisanslı araç (TY1, TY2, TY3, SY1, SY2, SY3, HY1, HY2), ana bayi ve geçici depolar tarafından kullanılan

on adet aday lisanslı araç (GY1, GY2, GY3, GY4, GY5, GY6, GY7, GY8, GY9, GY10) ve tali bayii, servis ve hurdacılar tarafından kullanılan on adet aday lisanssız araç (TJ1, TJ2, TJ3, SJ1, SJ2, SJ3, HJ1, HJ2,HJ3, HJ4) içerecek şekilde karma tamsayılı programlama modeli olarak modellenmiştir.

Modelin içerdiği varsayımlar;

1. Müşterilerin teslim ettikleri hurda ürünler karşılığında yeni ürün aldıkları varsayılarak depozito maliyetleri ihmal edilmiştir.
2. Müşterilerin kendi aralarında gerçekleştirdikleri taşımalar ihmal edilmiştir.
3. Tali bayi, servis ve hurdacıların kendi aralarında gerçekleştirdikleri taşımalar ihmal edilmiştir.
4. Ana bayilerin kendi aralarında gerçekleştirdikleri taşımalar ihmal edilmiştir.
5. Geçici depolar arasında gerçekleştirilen ürün aktarımları ihmal edilmiştir
6. Hurdacı, tali bayi ve servislerin kendi aralarında aynı araçları kullandıkları varsayılmıştır.

Örneğin matematiksel modeli;

Min

$$\sum_{U=1}^3 \sum_{M=1}^4 \sum_{T=1}^2 X_{UMT} * D_{MT} * LSZ + \sum_{U=1}^3 \sum_{M=1}^4 \sum_{S=1}^2 X_{UMS} * O_{MS} * LSZ +$$

$$\sum_{U=1}^3 \sum_{M=1}^4 \sum_{H=1}^2 X_{UMH} * N_{MH} * LSZ + \sum_{U=1}^3 \sum_{T=1}^2 \sum_{TY=1}^3 \sum_{P=1}^2 X_{UTTYP} * TP_{TP} * CUP_U * LUT +$$

$$\sum_{U=1}^3 \sum_{T=1}^2 \sum_{TJ=1}^3 \sum_{AB=1}^3 X_{UTTJAB} * L_{TAB} * CUAB_U * LSZ + \sum_{U=1}^3 \sum_{S=1}^2 \sum_{SY=1}^3 \sum_{P=1}^2 X_{USSYP} * SP_{SP} * CUP_U * LUT +$$

$$\sum_{U=1}^3 \sum_{S=1}^2 \sum_{SJ=1}^3 \sum_{AB=1}^3 X_{USSJAB} * I_{SAB} * CUAB_U * LSZ + \sum_{U=1}^3 \sum_{H=1}^2 \sum_{HY=1}^2 \sum_{P=1}^2 X_{UHHYP} * HP_{HP} * CUP_U * LUT +$$

$$\sum_{U=1}^3 \sum_{H=1}^2 \sum_{HJ=1}^4 \sum_{AB=1}^3 X_{UHHJAB} * Q_{HAB} * CUAB_U * LSZ + \sum_{U=1}^3 \sum_{AB=1}^3 \sum_{GY=1}^{10} \sum_{G=1}^4 X_{UABGYG} * DS_{ABG} * CUG_U * GYLUT +$$

$$\sum_{U=1}^3 \sum_{G=1}^4 \sum_{GY=1}^{10} \sum_{P=1}^2 X_{UGGYP} * R_{GP} * CUP_U * GYLUT + \sum_{U=1}^3 \sum_{G=1}^4 \sum_{GY=1}^{10} \sum_{P=1}^2 X_{UGGYP} * (1-E) * \dot{IM} +$$

$$\sum_{U=1}^3 \sum_{G=1}^4 \sum_{GY=1}^{10} \sum_{P=1}^2 X_{UGGYP} * E * V * PAM + \sum_{U=1}^3 \sum_{G=1}^4 \sum_{GY=1}^{10} \sum_{P=1}^2 X_{UGGYP} * E * A * KAM +$$

$$\sum_{U=1}^3 \sum_{G=1}^4 \sum_{GY=1}^{10} \sum_{P=1}^2 X_{UGGYP} * E * B * SAM + \sum_{P=1}^2 Y_P * F_P + \sum_{G=1}^4 Y_G * F_G + \sum_{SY=1}^3 Y_{SY} * F_{SY} +$$

$$\sum_{TY=1}^3 Y_{TY} * F_{TY} + \sum_{HY=1}^2 Y_{HY} * F_{HY} + \sum_{SJ=1}^3 Y_{SJ} * F_{SJ} + \sum_{TJ=1}^3 Y_{TJ} * F_{TJ} + \sum_{HJ=1}^4 Y_{HJ} * F_{HJ} +$$

$$\sum_{GY=1}^{10} Y_{GY} * F_{GY} \quad (6.57)$$

$$\sum_{U=1}^3 \sum_{M=1}^4 X_{UMT} \leq CAP_T \quad T=1,2 \quad (6.58)$$

$$\sum_{U=1}^3 \sum_{M=1}^4 X_{UMS} \leq CAP_S \quad S=1,2 \quad (6.59)$$

$$\sum_{U=1}^3 \sum_{M=1}^4 X_{UMH} \leq CAP_H \quad H=1,2 \quad (6.60)$$

$$\sum_{U=1}^3 \sum_{T=1}^2 \sum_{TJ=1}^3 X_{UTTJAB} + \sum_{U=1}^3 \sum_{S=1}^2 \sum_{SJ=1}^3 X_{USSJAB} +$$

$$\sum_{U=1}^3 \sum_{H=1}^2 \sum_{HJ=1}^4 X_{UHHJAB} \leq CAP_{AB} \quad AB=1,2,3 \quad (6.61)$$

$$\sum_{U=1}^3 \sum_{AB=1}^3 \sum_{GY=1}^{10} X_{UABGYG} \leq CAP_G * Y_G \quad G=1,2,3,4 \quad (6.62)$$

$$\sum_{U=1}^3 \sum_{S=1}^2 \sum_{SY=1}^3 X_{USSYP} + \sum_{U=1}^3 \sum_{T=1}^2 \sum_{TY=1}^3 X_{UTTYP} + \sum_{U=1}^3 \sum_{H=1}^2 \sum_{HY=1}^2 X_{UHHYP} +$$

$$\sum_{U=1}^3 \sum_{G=1}^4 \sum_{GY=1}^{10} X_{UGGYP} \leq CAP_P * Y_P \quad P=1,2 \quad (6.63)$$

$$\sum_{U=1}^3 \sum_{S=1}^2 \sum_{SY=1}^3 X_{USSYP} * E + \sum_{U=1}^3 \sum_{T=1}^2 \sum_{TY=1}^3 X_{UTTYP} * E + \sum_{U=1}^3 \sum_{H=1}^2 \sum_{HY=1}^2 X_{UHHYP} * E +$$

$$\sum_{U=1}^3 \sum_{G=1}^4 \sum_{GY=1}^{10} X_{UGGYP} * E \leq CAPPU_P * Y_P \quad P=1,2 \quad (6.64)$$

$$\sum_{U=1}^3 \sum_{S=1}^2 \sum_{P=1}^2 X_{USSYP} \leq CAP_{SY} * Y_{SY} \quad SY=1,2,3 \quad (6.65)$$

$$\sum_{U=1}^3 \sum_{T=1}^2 \sum_{P=1}^2 X_{UTTYP} \leq CAP_{TY} * Y_{TY} \quad TY=1,2,3 \quad (6.66)$$

$$\sum_{U=1}^3 \sum_{H=1}^2 \sum_{P=1}^2 X_{UHHYP} \leq CAP_{HY} * Y_{HY} \quad HY=1,2 \quad (6.67)$$

$$\sum_{U=1}^3 \sum_{AB=1}^3 \sum_{G=1}^4 X_{UABGYG} \leq CAP_{GY} * Y_{GY} \quad GY=1,2,...,10 \quad (6.68)$$

$$\sum_{U=1}^3 \sum_{G=1}^4 \sum_{P=1}^2 X_{UGGYP} \leq CAP_{GY} * Y_{GY} \quad GY=1,2,...,10 \quad (6.69)$$

$$\sum_{U=1}^3 \sum_{S=1}^2 \sum_{AB=1}^3 X_{USSJAB} \leq CAP_{SJ} * Y_{SJ} \quad SJ = 1, 2, 3 \quad (6.70)$$

$$\sum_{U=1}^3 \sum_{T=1}^2 \sum_{AB=1}^3 X_{UTTJAB} \leq CAP_{TJ} * Y_{TJ} \quad TJ = 1, 2, 3 \quad (6.71)$$

$$\sum_{U=1}^3 \sum_{H=1}^2 \sum_{AB=1}^3 X_{UHHJAB} \leq CAP_{HJ} * Y_{HJ} \quad HJ = 1, 2, 3, 4 \quad (6.72)$$

$$\sum_{M=1}^4 \sum_{T=1}^2 X_{UMT} + \sum_{M=1}^4 \sum_{S=1}^2 X_{UMS} +$$

$$\sum_{M=1}^4 \sum_{H=1}^2 X_{UMH} = W * GD * UD_U \quad U = 1, 2, 3 \quad (6.73)$$

$$\sum_{M=1}^4 X_{UMT} = \sum_{TY=1}^3 \sum_{P=1}^2 X_{UTTYP} + \sum_{TJ=1}^3 \sum_{AB=1}^3 X_{UTTJAB} \quad U = 1, 2, 3 \quad (6.74)$$

$$T = 1, 2$$

$$\sum_{M=1}^4 X_{UMS} = \sum_{SY=1}^3 \sum_{P=1}^2 X_{USSYP} + \sum_{SJ=1}^3 \sum_{AB=1}^3 X_{USSJAB} \quad U = 1, 2, 3 \quad (6.75)$$

$$S = 1, 2$$

$$\sum_{M=1}^4 X_{UMH} = \sum_{HY=1}^2 \sum_{P=1}^2 X_{UHHYP} + \sum_{HJ=1}^4 \sum_{AB=1}^3 X_{UHHJAB} \quad U = 1, 2, 3 \quad (6.76)$$

$$H = 1, 2$$

$$\sum_{T=1}^2 \sum_{TJ=1}^3 X_{UTTJAB} + \sum_{S=1}^2 \sum_{SJ=1}^3 X_{USSJAB} +$$

$$\sum_{H=1}^2 \sum_{HJ=1}^4 X_{UHHJAB} = \sum_{GY=1}^{10} \sum_{G=1}^4 X_{UABGYG} \quad U = 1, 2, 3 \quad (6.77)$$

$$AB = 1, 2, 3$$

$$\sum_{AB=1}^3 \sum_{GY=1}^{10} X_{UABGYG} = \sum_{GY=1}^{10} \sum_{P=1}^2 X_{UGGYP} \quad U = 1, 2, 3 \quad (6.78)$$

$$G = 1, 2, 3, 4$$

$$X_{UMT}, X_{UMS}, X_{UMH}, X_{UTTYG}, X_{UTTJAB}, X_{USSYG}, X_{USSJAB}, X_{UHHYG}, \\ X_{UHHJAB}, X_{UABGYG}, X_{UGGYG} \geq 0 \text{ ve tamsayı} \quad (6.79)$$

$$Y_P, Y_G, Y_{SJ}, Y_{HJ}, Y_{TJ}, Y_{SY}, Y_{HY}, Y_{TY}, Y_{GY} \in \{0,1\} \quad (6.80)$$

MODEL-2'nin oluşturulmasında ihtiyaç duyulan problem verilerinin bazıları ilgili istatistiklerden alınmış, elde edilemeyen veriler tahmini olarak modele yansıtılmış ve elde edilen problem verileri EK-4'te sunulmuştur.

Geri dönüşümün, depolar ve merkezler arasında akışın miktarının belirlenmesi ile minimum maliyetle gerçekleştirilmesi ve geçici depolar ile geri kazanım tesislerinin açılma kararları ile lisanslı ve lisanssız araçların satın alınma kararlarının verilebilmesi amacıyla MODEL-2 GAMS-CPLEX ile core 2 duo, 2,2 Ghz işlemcili ve 4 Gb RAM'e sahip bir bilgisayarda çözülmüştür.

MODEL-2, ilgili örnek için 290 iterasyon ve 0,140 saniyede çözüm bulmuştur. MODEL-2 tarafından geri dönüşümün minimum maliyeti 748 116 764 680 para birimi olarak tespit edilmiştir. MODEL-2, G1, G2 geçici deposunun kullanılmasına ve P1, P2 geri kazanım tesisinin işletilmesine, sırasıyla TJ1-TJ2-TJ3-SJ1-SJ2-SJ3-HJ1-HJ2-HJ3-HJ4 lisanssız araçlarının ve SY1-SY2-HY1-HY2-GY1-GY2-GY3-GY4 lisanslı araçlarının satın alınmasına karar vermiştir.

Çizelge 6.7. Müşterilerden merkezlere yapılan taşımalar(MODEL-2)

	T1			T2			S1			S2			H1			H2		
	U1	U2	U3	U1	U2	U3	U1	U2	U3	U1	U2	U3	U1	U2	U3	U1	U2	U3
M1							600											
M2													200	100				
M3											30						414	486
M4				415	185													

MODEL-2'de MODEL-1'den farklı olarak merkezlerden yeterli ve gerekli donanımına sahip araçları olanlar topladıkları hurda ürünleri ana bayilere göndermeden geri kazanım tesislerine kendileri taşıyabilmektedirler. Bu nedenle MODEL-2'de

merkezler ile geri kazanım tesisleri arasında bulunan uzaklıklar da önem arz etmektedir. Ayrıca MODEL-2’de taşıma olanakları mevcut araç sayıları ve bu araçların kapasiteleri ile sınırlandırılmaktadır.

MODEL-2’nin çözülmesinden elde edilen ilk aşama (müşterilerden merkezlere yapılan taşımalar) taşıma sonuçlarını içeren Çizelge 6.7 ve MODEL-1’in çözülmesinden elde edilen ilk aşama taşıma sonuçlarını içeren Çizelge 6.1 birlikte incelendiğinde T1 bayisine MODEL-1’de taşıma gerçekleştirilmesine karşın MODEL-2’de geri kazanım tesislerine uzak olması nedeniyle bu bayiye ürün taşımanın maliyetinin fazla olacağı kararı verilmiş ve bayiye taşıma yapılmamıştır.

Ayrıca MODEL-2’de MODEL-1’den farklı olarak taşımaların T1 bayisine yapılmayarak diğer bayilere yönlendirilmesi nedeniyle bu bayiye uzak olan ama diğer bayilere yakın olan M2 müşterisinin de hurda ürünlerinin satın alınmasına karar verilmiştir.

MODEL-2’nin ikinci aşama(merkezlerden ana bayilere yapılan taşımalar) taşıma sonuçlarını içeren Çizelge 6.8 ve MODEL-1’in ikinci aşama taşıma sonuçlarını içeren Çizelge 6.2 birlikte incelendiğinde, MODEL-2’de taşımaların MODEL-1’e göre daha düzenli gerçekleştiği görülmektedir. Bunun nedeni MODEL-2’de taşımaların araç kapasitelerine bağlı yapılmasıdır.

Çizelge 6.8. Merkezlerden ana bayilere yapılan taşımalar (MODEL-2)

		AB1			AB2			AB3		
		U1	U2	U3	U1	U2	U3	U1	U2	U3
T1	TJ1									
	TJ2									
	TJ3									
T2	TJ1				15	185				
	TJ2				200					
	TJ3				200					
S1	SJ1				120					
	SJ2				150					
	SJ3				150					
S2	SJ1					30				
	SJ2									
	SJ3									
H1	HJ1									
	HJ2									
	HJ3									
	HJ4		100							
H2	HJ1			250						
	HJ2		14	236						
	HJ3		250							
	HJ4		150							

MODEL-2'nin üçüncü aşama(merkezlerden geri kazanım tesislerine yapılan taşımalar) taşıma sonuçlarını içeren Çizelge 6.9 incelendiğinde taşımaların yine düzenli bir şekilde gerçekleştirildiği görülmektedir. Modelde diğer merkezlere göre geri kazanım tesisine daha yakın olan S1 servisi ve H1 hurdacısına ürün taşımalarının yapılması kararı verilmiştir. MODEL-1'de araç bulunmadığı için merkezlerden geri kazanım tesislerine direk yapılan taşımalar dikkate alınmamıştır.

Çizelge 6.9. Merkezlerden geri kazanım tesislerine lisanslı araçlarla direk yapılan taşımalar

		P1			P2		
		U1	U2	U3	U1	U2	U3
T1	TY1						
	TY2						
	TY3						
T2	TY1						
	TY2						
	TY3						
S1	SY1	30					
	SY2	150					
	SY3						
S2	SY1						
	SY2						
	SY3						
H1	HY1	100					
	HY2	100					
H2	HY1						
	HY2						

MODEL-2'nin çözümünden elde edilen üçüncü aşama(ana bayilerden geçici depolara yapılan taşımalar) taşıma sonuçlarını içeren Çizelge 6.10 ve MODEL-1'in çözümünden elde edilen üçüncü aşama taşıma sonuçlarını içeren Çizelge 6.3 birlikte incelendiğinde MODEL-2'de merkezlerden geri kazanım tesislerine taşımalara da müsaade edildiği için ana bayilerden geçici depolara yapılan taşımalarda MODEL-1'e göre azalma görülmüştür.

Çizelge 6.10 MODEL-1'den bağımsız olarak tekrar incelendiğinde ikinci aracı satın almanın maliyeti bir önceki aracı satın almanın maliyetinden fazla olduğu için MODEL-2'de genel olarak taşımaların ilk araçtan başlanarak kapasitelere bağlı, sırasıyla yapıldığı gözlenmektedir.

Çizelge 6.10. Ana bayilerden geçici depolara lisanslı araçlarla yapılan taşımalar

		G1			G2			G3			G4		
		U1	U2	U3	U1	U2	U3	U1	U2	U3	U1	U2	U3
AB1	GY1			486									
	GY2		449			50							
	GY3		15										
	GY4												
AB2	GY1		114										
	GY2		101										
	GY3	235											
	GY4	600											

Çizelge 6.11. Geçici depolardan geri kazanım tesislerine lisanslı araçlarla yapılan taşımalar

		P1			P2		
		U1	U2	U3	U1	U2	U3
G1	GY1			486			
	GY2		600				
	GY3	235	79				
	GY4	600					
G2	GY1					50	
	GY2						
	GY3						
	GY4						
G3	GY1						
	GY2						
	GY3						
	GY4						
G4	GY1						
	GY2						
	GY3						
	GY4						

MODEL-2'nin dördüncü aşama(Geçici depolardan geri kazanım tesislerine yapılan taşımalar) taşıma sonuçlarını içeren Çizelge 6.11 ve MODEL-1'in dördüncü aşama taşıma sonuçlarını içeren Çizelge 6.4 birlikte incelendiğinde, MODEL-2'de

Şekil 6.3 incelendiğinde M1 müşterisinden S1 servisine gelen 600 br U1 ürününün, bu ürünün 120 br'nin SJ1, 150 br'nin SJ2 ve yine 150 br'nin SJ3 lisanssız araçları kullanılarak AB2 bayisine, kalan 180 br ürünün 30 br'nin SY1 ve 150 br'nin SY2 lisanslı araçları kullanılarak P1 geri kazanım tesisine taşındığı; M2 müşterisinden H1 hurdacısına gelen 200 br U1 ve 100 br U2 ürününden, 100 br U2 ürününün HJ4 lisanssız aracıyla AB1 bayisine, U1 ürününün ise 100 br iki parti halinde HY1 ve HY2 lisanslı araçları kullanılarak P1 geri kazanım tesisine taşındığı; M3 müşterisinden S2 servisine gelen 30 br U2 ürününün, SJ1 lisanssız aracıyla AB2 bayisine ve AB2 bayisine gelen diğer U2 ürünleriyle birlikte G1 deposuna ve buradan P1 tesisine taşındığı; yine M3 müşterisinden H2 hurdacısına gelen 414 br U2 ürününün HJ2, HJ3, HJ4 lisanssız araçlarıyla ve 486 br U3 ürününün HJ1 ve HJ2 lisanssız araçlarıyla AB1 bayisine ve buradan partiler halinde G1 deposuna ve G1 deposunun dolması nedeniyle 50 br U2 ürününün G2 deposuna, G1 deposuna gelen ürünlerin P1 tesisine ve G2 deposuna gelen ürünlerin P2 tesisine taşındığı; M4 müşterisinden T2 bayisine gelen 415 br U1 ve 185 br U2 ürününden, U1 ürününün TJ1,TJ2,TJ3 lisanssız araçlarıyla, U2 ürününün ise TJ1 lisanssız aracıyla AB2 bayisine ve buradan diğer bayilerden gelen ürünlerle birleşerek G1 deposuna ve ardından P1 tesisine taşındığı ve böylece ağ yapısının oluşumunu tamamladığı gözlenmektedir.

Şekil 6.2 ve 6.3 birlikte incelendiğinde MODEL-2'nin çözümü sonucunda elde edilen ağ tasarımı tüketicilerden(müşteri) tali bayi, servis ve hurdacılar tarafından mesafelere bağlı alınan atık akülerin, düzenli bir şekilde ana bayilerde toplanması sonucunda ana bayilerden lisanslı araçlarla alınması ve geçici depolara iletilmesi ve yine geçici depolardan aynı araçlar kullanılarak alınan akülerin kapasitelere ve mesafelere bağlı olarak geri kazanım tesislerine aktarılmasının düzenli bir şekilde yapıldığı görülmektedir. Ayrıca Şekil 6.3 incelendiğinde hangi müşteri bölgelerinden, hangi merkezlere, hangi merkezlerden hangi bayilere ve hangi bayilerden hangi depolara taşıma yapıldığı ve hangi depolardan hangi geri kazanım tesisine aktarma yapıldığı gözlenebilmektedir. Bu gözlemlere bağlı olarak geçici depoların yerleri ve hangi bölgenin ne kadar kapasiteye sahip bir geri kazanım tesisine sahip olması gerekliliği tespit edilebilir. Kurulan model sayesinde mesafelere

bağımlı düzenli yerleşim planları oluşturulabilir. Bir önceki sistemde genel anlamda yıllık toplanan akü miktarları belirlenirken, oluşturulan bu sistemde akülerin bulundukları yerlerde takibi rahatça yapılarak en etkin akü geri kazanım planı yapılabilir.

MODEL-2'nin temel alınmasıyla akü geri dönüşüm sistemi ağ tasarımının yapılması ve sürekli geliştirilmesi ile akü geri dönüşüm sistemi rahatlıkla tasarlanabilecek ve kişiler tarafından kaydedilen gerçek verilerle ilgili maliyetler hesaplanarak en az maliyetle geri dönüşüm faaliyetlerinin nasıl gerçekleştirilebileceği öngörülebilecektir. MODEL-2'nin çözülmesinde kullanılan veriler Çizelge 6.12'de, çözülmesinden elde edilen sonuç değerleri ise Çizelge 6.13'de sunulmuştur. Örnek problemler MODEL-1'de olduğu gibi toplam kapasite arttıkça ürün çeşitliliğinin de artacağı düşüncesiyle oluşturulmuştur.

Çizelge 6.12. MODEL-2'de kullanılan veriler

Ürün Çeşiti Sayısı	Müşteri Sayısı	Hurdacı Sayısı	Tali Bayi Sayısı	Servis Sayısı	Ana Bayi Sayısı	Geçici Depo Sayısı	Geri Kazanım Tesisi Sayısı
3	10	4	4	4	3	4	2
3	20	5	5	5	4	5	3
3	30	5	5	5	5	7	5
3	40	6	6	6	6	7	5
4	50	7	7	7	7	8	6
5	60	8	8	8	8	9	7
6	70	9	9	9	9	10	8
7	80	10	10	10	10	11	9
8	90	11	11	11	11	12	10
9	100	12	12	12	12	13	11

Çizelge 6.13. MODEL-2'nin çözüm sonuçları

Amaç Fonksiyonu Değeri	Kullanılan		CPU Zamanı (sn)	Geri Dönen Toplam Ürün Miktarı (Ton)	Kullanılan Araç Miktarları						
	Geçici Depo	Geri Kazanım Tesis			sy	ty	hy	sj	tj	hj	gy
1 529 146 802 000	2	2	0,181	4 500	3	4	4	5	5	6	6
1 523 010 206 199	2	2	0,420	4 850	3	5	5	6	6	6	6
3 098 285 352 400	5	4	4,632	9 800	6	-	8	13	16	13	14
3 916 734 551 600	6	5	4,010	12 600	8	6	18	19	20	10	15
6 126 732 716 000	6	6	454,864	18 000	3	13	26	32	25	17	23
8 505 525 380 800	6	7	165,045	24 300	20	11	16	15	24	22	26
8 488 648 109 600	7	8	123,630	30 600	25	14	21	19	30	28	32
13 641 798 386 800	7	9	468,786	37 800	38	36	41	22	23	16	26
16 599 436 832 800	6	10	420,332	46 800	58	36	75	16	25	13	22
19 605 773 098 000	6	11	2075,232	54 000	56	62	82	22	19	16	24

7. SONUÇ

Günümüz dünyasında giderek önemli hale gelen tersine lojistik aktiviteleri pek çok sektörde yerini almıştır. Çevre bilincinin oluşmasına da önemli katkılar sağlayan bu aktiviteler geri dönüşüm, yeniden kullanım, yeniden üretim vs. olarak sayılabilir. Yasalarla da desteklenmeye ve yapılması zorunlu hale getirilmeye çalışılan bu faaliyetler firmaları kurulu eski sistemi geri kazanımı da içerecek şekilde yenilemeye teşvik etmektedir. Aynı sektöre bağlı firmalar bu faaliyetleri gerçekleştirebilmek için kendi içlerinde bir araya gelerek çeşitli gruplar oluşturmaktadırlar. Bu sayede geri kazanım çok daha bilinçli ve etkin gerçekleştirilebilmektedir. Bu sektörlerden bir tanesi de akü sektörüdür. Akü sektöründe de geri dönüşümün daha uygun ve verimli gerçekleştirilebilmesi amacıyla firmalar bir araya gelerek dernekler kurmuşlardır. Sektördeki firmaların büyük bir çoğunluğu bu derneklere üyedir ve bu derneklerin oluşturduğu kurallara bağlı olarak akü geri dönüşüm faaliyetleri yapılmaktadır.

Bu tez çalışmasında akü sektörüne ciddi kazanımlar getiren ve akünün uygun şekilde imha edilerek çevreye verdiği zararın minimum düzeyde tutulmasını sağlayan akü geri dönüşümü ağ tasarımı sistemi ele alınmıştır. Literatürde geri dönüşüm ağ tasarımı çalışmaları çok fazla olmamakla birlikte akü geri dönüşümünü içeren herhangi bir kavramsal modele rastlanmamıştır.

Oluşturulan karma tamsayılı modellerden MODEL-1’de merkezler arasında yapılan taşımaların minimum düzeyde gerçekleşmesi, geçici depoların hangilerinin kullanılmasının ve geri kazanım tesislerinin hangilerinin işletilmesinin uygun olacağı ve son olarak hangi ürünlerin işlenip hangilerinin imha edileceği kararları verilmekte, sonuçlar bu kararlara bağlı elde edilmektedir.

MODEL-1’e lisanslı ve lisanssız araçlar ile alternatif taşıma seçeneklerinin eklenmesiyle oluşturulan MODEL-2’de ise taşımaların hangi merkezler arasında hangi araçlar kullanılarak (araçların kapasitelerine bağlı olarak), hangi miktarlarda gerçekleştirileceği kararları da verilebilmektedir.

Modellerin oluşturulmasının ardından modeller aynı örnek üzerinde elde edilen sonuçları karşılaştırılarak incelenmiş ve MODEL-2'nin gerçek sistemin özelliklerini daha iyi yansıttığı görülmüştür.

Akü sektöründe kurulan sistemde lisanslı ve lisanssız olmak üzere iki tip araç kullanılmaktadır. Lisanslı araçlarla geri kazanım tesislerine ve geçici depolara taşıma yapılabilmekte, lisanssız araçlarla merkezlere ve ana bayilere taşıma yapılabilmektedir. Bu açıdan bakıldığında MODEL-1 sadece ana bayilere ve geri kazanım tesislerine taşıma imkanlarını yansıtırken, MODEL-2 merkezlerden direk geri kazanım tesislerine lisanslı araçlarla yapılan taşımaları da kapsamaktadır. Bu nedenle MODEL-2'de gerçek sisteme daha yakın sonuçlar elde edilebildiği sonucuna ulaşılmıştır.

İki modelin de birleştiği ortak karar noktası; geri dönüşüm maliyetlerini yeni tesis açılmasından kaynaklanan tesis açılış maliyetinden çok bu tesisin ulaşım noktalarına yakınlık değerinin etkilediği sonucudur.

İki model farklı boyutlar için çözülmüş MODEL-1'in büyük boyutlu problemler için MODEL-2'ye nazaran daha kısa sürede çözüm bulduğu görülmüştür. MODEL-1 100 müşteri içeren örnek problem için bir dakikadan daha kısa sürede çözüm üretirken, MODEL-2'nin çözüm zamanı içerdiği araç tiplerinin lisanslı ve lisanssız olması sonucunda belirlenen alternatiflere bağlı olarak bir saat ile bir gün arasında değişmektedir. Gerçek sistemin günümüzdeki özelliklerine bakıldığında belli bir bölge üzerinde çalışma yapıldığı için küçük ve orta boyutlu problemin sistemin özelliklerini karşıladığı görülmüş ve bu nedenle problemlerin çözümünde kullanılabilecek ağ tasarım modellerinin sistemin günümüz ihtiyaçlarına cevap verebilecek esneklikte olduğu tespit edilmiştir. İleride oluşacak ihtiyaçlara bağlı olarak bölgelerin hepsini içerecek şekilde geniş bir sistemi ele alan bir model çalışması yapıldığında MODEL-2 için büyük boyutlu problemleri çözebilmek amacıyla bir sezgisel çözüm tekniği geliştirilebilir. Çok fazla bölge ve araç içeren modellerin çözümünün zaman alacağı düşünüldüğünde sezgisel yapıda doğru bir çözüm tekniği uygulanmasının bu zamanı kısaltacağı söylenebilir.

Oluşturulan modellerde akülerin geçici depolarda en fazla 90 gün bekletilmesi zorunluluğu kısıt olarak yer almamaktadır. Yapılacak gelecek çalışmalarda bu durum kısıtlara ilave edilmelidir.

Sonuç olarak akü geri dönüşüm sisteminin özelliklerini daha iyi yansıttığı tespit edilen MODEL-2'nin sürekli geliştirilmesiyle gelişen ve değişen sisteme uyumlu akü geri dönüşüm aę tasarımı çalışmaları gerçekleştirilebilir. MODEL-1 ise mevcut araç sayısının yeterli sayıda olduğu ve bunun modeli etkilemeyeceği kararının verilmesi, ayrıca araç özelliklerinin de tamamen aynı olduğunun kabul edilmesi(örneğin kullanılan tüm araçların lisanslı olması) durumunda beklenen optimal sonucu karar vericiye sunacaktır.

KAYNAKLAR

Alshamrani, A., Mathur, K., Ballou, R.H., “Reverse Logistics: Simultaneous Design of Delivery Routes and Returns Strategies”, ***Computers & Operations Research***, 34: 595-619 (2007).

Amaro, A.C.S., Barbosa-Povoa, A.P.F.D., “Planning and Scheduling of Industrial Supply Chains with Reverse Flows: A Real Pharmaceutical Case Study”, ***Computers and Chemical Engineering***, 32: 2606-2625 (2008).

Ammons, J.C., Realff, M.J., Newton, D., “Reverse Production System Design and Operation for Carpet Recycling”, ***European Journal of Operational Research***, 1-24 (1997).

Barros, A.I., Dekker, R., Scholten, V., “A Two-Level Network for Recycling Sand: A Case Study”, ***European Journal of Operational Research***, 110: 199-214 (1998).

Beullens, P., Muyldermans, L., Cattrysse, D., Oudheusden, D.V., “A Guided Local Search Heuristic for the Capacitated Arc Routing Problem”, ***European Journal of Operational Research***, 147: 629-643 (2003).

Biehl, M., Prater, E., Realff, M.J., “Assessing Performance and Uncertainty in Developing Carpet Reverse Logistics Systems”, ***Computers&Operations Research***, 34: 443-463 (2007).

Brito, M.P., Dekker, R., “Reverse Logistics – a framework”, ***Econometric Institute Report***, EI 38 (2002).

Büyüközkan, G., Vardaloğlu, Z., “Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi”, ***Galatasaray Üniversitesi- Endüstri Mühendisliği Bölümü***, 1-15 (2008).

Chakraborty, A., “A Globally Convergent Mathematical Model for Synthesizing Topologically Constrained Water Recycle Networks”, ***Computers and Chemical Engineering***, 1-10 (2009).

Chen, H.K., Chou, H.W., Chio, Y.C., “On The Modeling and Solution Algorithm for The Reverse Logistics Recycling Flow Equilibrium Problem”, ***Transportation Research Part C***, 15: 218-234 (2007).

Cooke, J.A., “Turning Trash into Cash”, ***Traffic Management***, 32 (10): 46-48 (1993).

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).

Daugherty, P.J., Myers, M.B., Richey, R.G., “Information Support for Reverse Logistics: The Influence of Relationship Commitment”, ***Journal of Business Logistics***, 23 (1): 85-106 (2002).

Dawe, R.L., “Reengineer Your Returns”, ***Transportation and Distribution***, 36 (8): 78-80 (1995).

De Figueiredo, J.N., Mayerle, F.S., “Designing Minimum-Cost Recycling Collection Networks with Required Throughput”, ***Transportation Research Part E***, 44: 731-752 (2008).

Demirel, N.Ö., Gökçen, H., “Geri Kazanımlı İmalat Sistemleri İçin Lojistik Ağı Tasarımı: Literatür Araştırması”, ***Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. J. Fac. Eng. Arch.Gazi Univ.***, 23 (4): 903-912, 2008.

Dowlatsahi, S., “Developing A Theory of Reverse Logistics”, ***Interfaces***, 30: 143-155 (2000).

Dowlatsahi, S., “A Strategic Framework for the Design and Implementation of Remanufacturing Operations in Reverse Logistics”, ***International Journal of Production Research***, 43 (16): 3455-3480 (2005).

Du, F., Evans, G.V., “A Bi-Objective Reverse Logistics Network Analysis for Post-Sale Service”, ***Computers & Operations Research***, 35: 2617-2634 (2008).

El-Sayed, M., Afia, N., El-Kharbotly, A., “A Stochastic Model for Forward–Reverse Logistics Network Design Under Risk”, ***Computers & Industrial Engineering***, 1-9 (2008).

Fleischmann, M., Ruwaard, J.M.B., Dekker, R., Laan, E.V.d., Nunen, J.A.E.E.v., Wassenhove, L.N.V., “Quantitative Models for Reverse Logistics”, ***European Journal of Operational Rcsearch***, 103: 1-17 (1997).

Fleischmann, M., “Quantitative Models for Reverse Logistics”, Doktora tezi, ***Erasmus University Rotterdam***, Germany, 1-208 (2000).

Fleischmann, M., Krikke, H.R., Dekker, R., Flapper, S.D.P., “A Characterisation of Logistics Networks for Product Recovery”, ***Omega-The International Journal of Management Science***, 28: 653-666 (2000).

Francas, D., Minner, S., “Manufacturing Network Configuration in Supply Chains with Product Recovery”, ***Omega***, 37: 757-769 (2009).

Georgiadis, P., Vlachos, D., “Decision Making in Reverse Logistics Using System Dynamics”, ***Yugoslav Journal of Operations Research***, 14 (2): 259-272 (2004).

Guide Jr, V.D.R., Jayaraman, V., Srivastava, R., “The Effect Of Lead Time Variation on The Performance of Disassembly Release Mechanisms”, **Computers & Industrial Engineering**, 36: 759-779 (1999).

Guide, V.D.R., Jayaraman, V., Linton, J.D., “Building Contingency Planning for Closed-Loop Supply Chains with Product Recovery”, **Journal of Operations Management**, 21: 259-279 (2003).

Gülsün, B., Tuzkaya, G., Bildik, E., “Tersine Lojistikte Ağ Tasarımı: Bir Tavlama Benzetimi Yaklaşımı”, **Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi**, 26 (1): 68-80 (2007).

Güngör, A., Gupta, S.M., “Issues in Environmentally Conscious Manufacturing and Product Recovery: A Survey”, **Computers&Industrial Engineering**, 36: 811-853 (1999).

Hong, I.H., Ammons, J.C., Realff, M.J., “Decentralized Decision-Making and Protocol Design for Recycled Material Flows”, **Int. J. Production Economics**, 116: 325-337 (2008).

Hu, T.L., Sheu, J.B., Huang, K.H., “A Reverse Logistics Cost Minimization Model for the Treatment of Hazardous Wastes”, **Transportation Research Part E**, 38: 457-473 (2002).

Jayaraman, V., Guide, V.D.R., Srivastava, R., “A Closed-Loop Logistics Model For Remanufacturing”. **Journal Of Operation Research Society**, 50 (5): 497-508 (1999).

Jayaraman, V., Patterson, R.A., Rolland, E., “The Design of Reverse Distribution Networks: Models and Solution Procedures”, **European Journal of Operational Research**, 150: 128-149 (2003).

Karaçay, G., “Tersine Lojistik: Kavram ve İşleyiş”, **Çukurova Üniversitesi İ.İ.B.F. İşletme Bölümü**, Adana, 317-332 (2005).

Kim, K., Song, I., Kim, J., Jeong, B., “Supply Planning Model for Remanufacturing System in Reverse Logistics Environment”, **Computers & Industrial Engineering**, 51: 279-287 (2006).

Ko, H.J., Evans, G.W., “Genetic Algorithm-Based Heuristic for the Dynamic Integrated Forward/Reverse Logistics Network for 3PLs”, **Computers & Operations Research**, 34: 346-366 (2007).

Krikke, H.R., van Harten, A., Schuur, P.C., “Business Case Roteb: Recovery Strategies for Monitors”, **Computers & Industrial Engineering**, 36: 739-757 (1999).

Kroon, L., Vrijens, G., “Returnable Containers: An Example of Reverse Logistics”, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 25 (2): 56-68 (1994).

Lebreton, B., Tuma, A., “A Quantitative Approach to Assessing the Profitability of Car and Truck Tire Remanufacturing”, *Int. J. Production Economics*, 104: 639-652 (2006).

Lee, J., McShane, H., Kozlowski, W., “Critical Issues in Establishing a Viable Supply Chain/Reverse Logistic Management Program”, *IEEE Conference*, San Francisco, 150-156 (2002).

Lee, J.E., Gen, M., Rhee, G.K., “Network Model and Optimization of Reverse Logistics by Hybrid Genetic Algorithm”, *Computers & Industrial Engineering*, 1-14 (2008).

Lee, D.H., Dong, M., “Dynamic Network Design for Reverse Logistics Operations Under Uncertainty”, *Transportation Research Part E*, 45: 61-71 (2009).

Lee, C.K.M., Chan, T.M., “Development of RFID-Based Reverse Logistics System”, *Expert Systems with Applications*, 1-9 (2009).

Lee, D.E., Dong, M., “A Heuristic Approach to Logistics Network Design for End-of-Lease Computer Products Recovery”, *Transportation Research Part E*, 44: 455-474 (2008).

Lieckens, K., Vandaele, N., “Reverse Logistics Network Design with Stochastic Lead Times”, *Computers & Operations Research*, 34: 395-416 (2007).

Lin, L., Gen, M., Wang, X., “Integrated Multistage Logistics Network Design by Using Hybrid Evolutionary Algorithm”, *Computers & Industrial Engineering*, 1-20 (2008).

Listeş O., Dekker, R., “A Stochastic Approach to a Case Study for Product Recovery Network Design”, *European Journal of Operational Research*, 160: 268-287 (2005).

Listeş, O., “A Generic Stochastic Model for Supply-and-Return Network Design”, *Computers & Operations Research*, 34: 417-442 (2007).

Logozar, K., Radonjic, G., Bastic, M., “Incorporation of Reverse Logistics Model into in-Plant Recycling Process: A Case of Aluminium Industry”, *Conservation and Recycling*, 49: 49-67 (2006).

- Lu, Q. And Stuart, J., “An Investigation of Bulk Recycling and Planning for an Electronic Recycling Facility Receiving Industrial Returns Versus Residential Returns”, *IEEE Transaction on Electronic Packaging Manufacturing*, 26 (4): 320-327 (2003).
- Lu, Z., Bostel, N., “A Facility Location Model for Logistics Systems Including Reverse Flows: The Case of Remanufacturing Activities”, *Computers & Operations Research*, 34: 299-323 (2007).
- Min, H., Ko, H.J., Ko, C.S., “A Genetic Algorithm Approach to Developing the Multi-Echelon Reverse Logistics Network for Product Returns”, *Omega*, 34: 56-69 (2006).
- Min, H., Ko, C.S., Ko, H.J., “The Spatial and Temporal Consolidation of Returned Products in A Closed-Loop Supply Chain Network”, *Computers & Industrial Engineering*, 51: 309-320 (2006).
- Min, H., Ko, H.J., “The Dynamic Design of A Reverse Logistics Network from the Perspective of Third-Party Logistics Service Providers”, *Int. J. Production Economics*, 113: 176-192 (2008).
- Mutha, A., Pokharel, S., “Strategic Network Design for Reverse Logistics and Remanufacturing Using New and Old Product Modules”, *Computers & Industrial Engineering*, 56: 334-346 (2009).
- Nagel, C., Meyer, P., “Caught Between Ecology and Economy: End-of-Life Aspects of Environmentally Conscious Manufacturing”, *Computers & Industrial Engineering*, 36 (4): 781-792 (1999).
- Nagurney, A., Toyasaki, F., “Reverse Supply Chain Management and Electronic Waste Recycling: A Multitiered Network Equilibrium Framework for E-Cycling”, *Transportation Research. Part E*, 41: 1-28 (2005).
- Özgün, N., “Yeniden İmalat Sistemleri için Bütünleşik Lojistik Ağı Tasarımı ve Bir Karma Tamsayı Programlama Modeli”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-128 (2007).
- Paksoy, T., “Tedarik Zinciri Yönetiminde Dağıtım Ağlarının Tasarımı ve Optimizasyonu: Malzeme İhtiyaç Kısıtı Altında Stratejik Bir Üretim-Dağıtım Modeli”, *Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi*, Konya, 1-20 (2004).
- Pati, R.K., Vrat, P., Kumar, P., “A Goal Programming Model for Paper Recycling System”, *Omega*, 36: 405-417 (2008).

Pochampally, K.K., Gupta, S.M., Kamarthi, S.V., "Identification of Potential Recovery Facilities for Designing a Reverse Supply Chain Network Using Physical Programming", *Proceedings of the SPIE International Conference on Environmentally Conscious Manufacturing III*, Providence, Rhode adası, 139-146 (2003).

Pochampally, K.K., Gupta, S.M., "A Business-Mapping Approach to Multi-Criteria Group Selection of Collection Centers and Recovery Facilities", *IEEE*, Washington, 249-254 (2004).

Prahinski, C., Kocabaşoğlu, C., "Empirical Research Opportunities in Reverse Supply Chains", *Omega-The International Journal of Management Science*, 519-532 (2006).

Q.F. Neto, J., Walther, G., Bloemhof, J., Van Nunen, J.A.E.E., Spengler, T., "A Methodology for Assessing Eco-Efficiency in Logistics Networks", *European Journal of Operational Research*, 193: 670-682 (2009).

Rengel, P., Seydl, C., "Completing the Supply Chain Model", *School of Business-Stockholm University*, 1-14 (2002).

Ravi, V., Shankar, R., Tiwari, M.K., "Analyzing Alternatives in Reverse Logistics for End-of-Life Computers: ANP and Balanced Scorecard Approach", *Computers & Industrial Engineering*, 48: 327-356 (2005).

Realf, M.J., Ammons, J.C., Newton, D., "Strategic Design of Reverse Production Systems", *Computers and Chemical Engineering*, 24: 991-996 (2000).

Richey, R., Chen, H., Genchev, S.E., Daugherty, P.J., "Developing Effective Reverse Logistics Programs", *Industrial Marketing Management*, 34: 830-840 (2005).

Rogers, D.S., Tibben-Lembke, D., "An Examination Reverse Logistics Practises", *Journal of Business Logistics*, 22 (2): 129 (2001).

Rogers, D.S., Tibben-Lembke, R.S., "Going Backwards:Reverse Logistics Trends and Practices", *Reverse Logistics Executive Council*, 1-281 (1998).

Salema, M.I., Pova, A.P.B., Novais, A.Q., "A Warehouse Based Design Model for Reverse Logistics", *Journal of the Operational Research Society*, 57: 615-629(2006).

Salema, M.I.G., Pova, A.P.V., Novais, A.Q., "An Optimization Model for the Design of a Capacitated Multi-Product Reverse Logistics Network with Uncertainty", *European Journal of Operational Research*, 179: 1063-1077 (2007).

Schultmann, F., Zumkeller, M., Rentz, O., “Modelling Reverse Logistic Tasks Within Closed Loop Supply Chains: An Example From the Automotive Industry”, *European Journal of Operational Research*, 171: 1033-1050 (2006).

Sharma, M., Ammons, C.J., Hartman, C.J., “Asset Management with Reverse Product Flows and Environmental Considerations”, *Computers & Operations Research*, 34: 464-486 (2007).

Sheu, J.B., “A Coordinated Reverse Logistics System for Regional Management of Multi-Source Hazardous Wastes”, *Computers & Operations Research*, 34: 1442-1462 (2007).

Sheu, J.B., “Green Supply Chain Management, Reverse Logistics And Nuclear Power Generation”, *Transportation Research Part E*, 44: 19-46 (2008).

Shih, L.H., “Reverse Logistics System Planning for Recycling Electrical Appliances and Computers in Taiwan”, *Conservation and Recycling*, 32: 55-72 (2001).

Spengler, T., Püchert, H., Penkuhn, T., Rentz, O., “Environmental Integrated Production and Recycling Management”, *European Journal of Operational Research*, 97: 308-326 (1997).

Srivastava, S.K., “Network Design for Reverse Logistics”, *Omega*, 36: 535-548 (2008).

Thierry, M., Salomon, V., Nunen, J., V., Wassenhove, L., V., “Strategic Issues in Product Recovery Management”, *California Management Review*, 37 (2): 114-135 (1995).

Torre, P.L.G., Diaz, B.A., “Reverse Logistics Practices in The Glass Sector in Spain and Belgium”, *International Business Review*, 88: 527-546 (2006).

Walther, G., Schmid, E., Spengler, T.S., “Negotiation-Based Coordination in Product Recovery Networks”, *Int. J. Production Economics*, 111: 334-350 (2008).

Wang, Z., Yao, D.Q., Huang, P., “A New Location-Inventory Policy with Reverse Logistics Applied to B2C E-Markets of China”, *Int. J. Production Economics*, 107: 350-363 (2007).

Witt, C.W., “Reverse Logistics at BMG”, *Transportation and Distribution*, 53 (8): 10-12 (1998).

Wojanowski, R., Verter, V., Boyaci, T., “Retail–Collection Network Design Under Deposit-Refund”, *Computers & Operations Research*, 34: 324-345 (2007).

Xanthopoulos, A., Lakovou, E., “On the Optimal Design of the Disassembly and Recovery Processes”, *Waste Management*, 1-10 (2009).

Yongsheng, Z., Shouyang, W., “Generic Model of Reverse Logistics Network Design”, *Journal Of Transportation Systems Engineering And Information Technology*, 8(3): 71-78 (2008).

Zuluaga, J.P.S., Lourenço, H.R., “A Recoverable Production Planning Model”, *UPF Economics and Business Working Paper*, 636 (2002).

EKLER

EK-1 MODEL-1 örnek problem'in GAMS modeli

Sets

U urunler /U1,U2,U3/

M musteriler /M1,M2,M3,M4/

T tali bayiler/T1,T2/

S servisler/S1,S2/

H hurdacilar/H1,H2/

AB ana bayii/AB1,AB2,AB3/

G gecici depolar/G1,G2,G3,G4/

P geri kazanim tesisleri/P1,P2/;

Parameters

FG(G) G gecici deposunu kullanmanin maliyeti

/ G1 150000

G2 300000

G3 450000

G4 600000 /

FP(P) P geri kazanim tesisini isletme maliyeti

/ P1 2160000

P2 4200000 /

CAPT(T) T tali bayiilerinin kapasitesi

/ T1 750

T2 650/

CAPS(S) S servislerinin kapasitesi

/ S1 600

S2 850 /

EK-1 (Devam) MODEL-1 örnek problem'in GAMS modeli

CAPH(H) H hurdacilarinin kapasitesi

/ H1 750

H2 900/

CAPAB(AB) AB bayilerinin kapasitesi

/ AB1 1000

AB2 1700

AB3 2300/

CAPG(G) G gecici depolarinin kapasitesi

/ G1 2000

G2 2200

G3 2300

G4 2400 /

CAPP(P) P geri kazanim tesislerinin depo kapasitesi

/ P1 2600

P2 2700/

CAPPU(P) P geri kazanim tesislerinin urun ayristirma kapasitesi

/ P1 2000

P2 2500 /

CUAB(U) U urununun ana bayi tarafından satin alinma maliyeti

/ U1 1000

U2 500

U3 600 /

EK-1 (Devam) MODEL-1 örnek problem'in GAMS modeli

CUG(U) U urununun g gecici deposu tarafından satın alınma maliyeti

/ U1 2000

U2 800

U3 900/

CUP(U) U urununun p geri kazanım tesisi tarafından satın alınma maliyeti

/ U1 2800

U2 2300

U3 2400/

UD(U) U urununun geri donusum orani

/ U1 0.5

U2 0.3

U3 0.2 /;

Table D(M,T) musterilerin tali bayiye uzakligi

	T1	T2
M1	30	40
M2	65	35
M3	60	35
M4	45	25 ;

Table O(M,S) musterilerin servislere uzakligi

	S1	S2
M1	35	45
M2	75	35
M3	50	25
M4	35	65 ;

EK-1 (Devam) MODEL-1 örnek problem'in GAMS modeli

Table N(M,H) musterilerin hurdacılara uzakligi

	H1	H2
M1	50	35
M2	30	45
M3	55	20
M4	70	40 ;

Table L(T,AB) tali bayilerin ana bayilere uzakligi

	AB1	AB2	AB3
T1	120	150	160
T2	125	130	130 ;

Table I(S,AB) servislerin ana bayilere uzakligi

	AB1	AB2	AB3
S1	130	130	170
S2	150	160	150 ;

Table Q(H,AB) hurdacilarin ana bayilere uzakligi

	AB1	AB2	AB3
H1	120	170	120
H2	110	150	160 ;

Table DS(AB,G) ana bayilerin gecici depolara uzakligi

	G1	G2	G3	G4
AB1	70	60	45	80
AB2	45	50	65	50
AB3	80	75	70	85 ;

EK-1 (Devam) MODEL-1 örnek problem'in GAMS modeli

Table R(G,P) gecici depolarin geri kazanım tesislerine uzakligi

	P1	P2	
G1	230	250	
G2	420	300	
G3	320	480	
G4	310	520	;

Scalars

W toplam urun miktarı(ton) /2700/

GD urunun geri donusum yuzdesi /0.90/

E urunun P tesisinde islenme yuzdesi /0.80/

IM br urun imha maliyeti(YTL) /1500/

C km basına br urun tasima maliyeti(YTL) /500/

V br urunden elde edilen plastik yuzdesi /0.05/

A br urunden elde edilen kursun yuzdesi /0.60/

B br urunden elde edilen sulfrik asit yuzdesi/0.35/

SAM sulfrik asit ayristirma+imha maliyeti/1500/

PAM plastik ayristirma maliyeti /500/

KAM kursun ayristirma maliyeti /700/

Positive Variables

XUMT(U,M,T) M musterisinden T bayiisine gelen U urunu miktarı

XUMS(U,M,S) M musterisinden S servisine gelen U urunu miktarı

XUMH(U,M,H) M musterisinden H hurdacısına gelen U urunu miktarı

XUTAB(U,T,AB) T bayisinden AB ana bayiine tasınan U urunu miktarı

XUSAB(U,S,AB) S servisinden AB ana bayiine tasınan U urunu miktarı

XUHAB(U,H,AB) H hurdacısından AB ana bayiine tasınan U urunu miktarı

XUABG(U,AB,G) AB ana bayiinden G gecici deposuna tasınan U urunu miktarı

XUGP(U,G,P) G gecici deposundan P geri kazanım tesisine tasınan U urunu miktarı;

EK-1 (Devam) MODEL-1 örnek problem'in GAMS modeli

Free variable

Z min ma ;

Binary variables

YG

YP;

Equations

topkar amac fonksiyonu degeri

Tkapasite(T) T bayisinin kapasite kisiti

Skapasite(S) S servisinin kapasite kisiti

Hkapasite(H) H hurdacisinin kapasite kisiti

ABkapasite(AB) AB ana bayinin kapasite kisiti

Gkapasite(G) G deposunun kapasite kisiti

Pkapasite(P) P tesisine gelen miktar icin kapasite kisiti

PUkapasite(P) P tesisinde urun ayristirma kapasitesi kisiti

Mmusteri(U) M musterisinden gelen toplam urun miktarı

MTgelgit(U,T) T bayiine musteriden gelen miktarın ana bayiye giden miktara esitligi

MSgelgit(U,S) S servisinden gelen miktarın ana bayiye giden miktara esitligi

MHgelgit(U,H) H hurdacisinden gelen miktarın ana bayiye giden miktara esitligi

ABggelgit(U,AB) AB ana bayiinden gelen miktarın gecici depoya giden miktara esitligi

Gdepogelgit(U,G) depoya gelen urun miktarlarının tesise giden miktara esitligi;

topkar.. Z =e= sum((U,M,T),XUMT(U,M,T)*D(M,T)*c)+
sum((U,M,S),XUMS(U,M,S)*O(M,S)*c)+
sum((U,M,H),XUMH(U,M,H)*N(M,H)*c)+
sum((U,T,AB),XUTAB(U,T,AB)*L(T,AB)*CUAB(U)*c)+
sum((U,S,AB),XUSAB(U,S,AB)*I(S,AB)*CUAB(U)*c)+
sum((U,H,AB),XUHAB(U,H,AB)*Q(H,AB)*CUAB(U)*c)+

EK-1 (Devam) MODEL-1 örnek problem'in GAMS modeli

```

sum((U,AB,G),XUABG(U,AB,G)*DS(AB,G)*CUG(U)*c)+
sum((U,G,P),XUGP(U,G,P)*R(G,P)*CUP(U)*c)+
sum((U,G,P),XUGP(U,G,P)*(1-E)*İM)+
sum((U,G,P),XUGP(U,G,P)*E*V*PAM)+
sum((U,G,P),XUGP(U,G,P)*E*A*KAM)+
sum((U,G,P),XUGP(U,G,P)*E*B*SAM)+
sum(P,YP(P)*FP(P))+
sum(G,YG(G)*FG(G));

```

Tkapsite(T).. sum((U,M),XUMT(U,M,T))=l= (CAPT(T));

Skapsite(S).. sum((U,M),XUMS(U,M,S))=l= (CAPS(S));

Hkapsite(H).. sum((U,M),XUMH(U,M,H))=l= (CAPH(H));

```

ABkapsite(AB)..    sum((U,T),XUTAB(U,T,AB))+
                    sum((U,S),XUSAB(U,S,AB))+
                    sum((U,H),XUHAB(U,H,AB))=l= (CAPAB(AB));

```

Gkapsite(G).. sum((U,AB),XUABG(U,AB,G))=l= (CAPG(G)*YG(G));

Pkapsite(P).. sum((U,G),XUGGY(P,U,G,GY,P))=l= (CAPP(P)*YP(P));

PUkapsite(P).. sum((U,G,GY),XUGGY(P,U,G,GY,P))*E=l= (CAPPU(P)*YP(P));

```

Mmusteri(U)..      sum((M,T),XUMT(U,M,T))+
                    sum((M,S),XUMS(U,M,S))+
                    sum((M,H),XUMH(U,M,H)) =e= W*GD*UD(U);

```


EK-1 (Devam) MODEL-1 örnek problem'in GAMS modeli

```
MTgelgit(U,T)..      sum((M),XUMT(U,M,T)) =e=
                      sum((AB),XUTAB(U,T,AB));
```

```
MSgelgit(U,S)..      sum((M),XUMS(U,M,S)) =e=
                      sum((AB),XUSAB(U,S,AB));
```

```
MHgelgit(U,H)..      sum((M),XUMH(U,M,H)) =e=
                      sum((AB),XUHAB(U,H,AB));
```

```
ABGgelgit(U,AB)..    sum((T),XUTAB(U,T,AB))+
                      sum((S),XUSAB(U,S,AB))+
                      sum((H),XUHAB(U,H,AB))=e=
                      sum((G),XUABG(U,AB,G));
```

```
Gdepogelgit(U,G)..   sum((AB),XUABG(U,AB,G))=e=
                      sum((P),XUGP(U,G,P));
```

```
model reverse /all/;
```

```
reverse.optcr=0;
```

```
solve reverse using mip minimizing z;
```

```
display Z.l,YG.l,YP.l;
```

EK-2 MODEL-1 Problem verileri

Çizelge 2.1. Tesis işletme ve geçici depo kullanma maliyetleri

Geçici Depo Açık Tutma Maliyetleri(TL)	G1	150 000
	G2	300 000
	G3	450 000
	G3	600 000
Geri Kazanım Tesisi Açık Tutma Maliyetleri(TL)	P1	2 160 000
	P2	4 220 000

Çizelge 2.2. Kapasite bilgileri

		Kapasiteler(Ton)	
Tali bayiler	T1	750	
	T2	650	
Servisler	S1	600	
	S2	850	
Hurdacılar	H1	750	
	H2	900	
Ana Bayiler	AB1	1 000	
	AB2	1 700	
	AB3	2 300	
Geçici Depolar	G1	2 000	
	G2	2 200	
	G3	2 300	
	G4	2 400	
Geri Kazanım Tesisleri	P1	Depo	Ürün Ayrıştırma
		2 600	2 000
	P2	Depo	Ürün Ayrıştırma
		2 700	2 500

Çizelge 2.3. Ürün bilgileri

Ürünler	Satın Alınma Maliyetleri(TL)			Geri Dönüşüm Yüzdeleri
	Ana Bayi Tarafından	Geçici Depo Tarafından	Geri Kazanım Tesisi Tarafından	
U1	1 000	2 000	2 800	0,5
U2	500	800	2 300	0,3
U3	600	900	2 400	0,2

EK-3 MODEL-2 örnek problem'in GAMS modeli

Sets

U urunler /U1,U2,U3/

M musteriler /M1,M2,M3,M4/

T tali bayiler/T1,T2/

S servisler/S1,S2/

H hurdacilar/H1,H2/

AB ana bayii/AB1,AB2,AB3/

G gecici depolar/G1,G2,G3,G4/

P geri kazanim tesisleri/P1,P2/

SY lisansli arac/SY1,SY2,SY3/

TY lisansli arac/TY1, TY2, TY3/

HY lisansli arac/HY1, HY2/

GY GY lisansli arac/GY1,GY2,GY3,GY4,GY5,GY6,GY7,GY8,GY9,GY10/

SJ lisanssiz arac/SJ1,SJ2,SJ3/

TJ lisanssiz arac/TJ1,TJ2,TJ3/

HJ lisanssiz arac/HJ1,HJ2,HJ3,HJ4/;

Parameters

FG(G) G gecici deposunu kullanmanin maliyeti

/ G1 150000

G2 300000

G3 450000

G4 600000 /

FP(P) P geri kazanim tesisini isletme maliyeti

/ P1 2160000

P2 4200000 /

EK-3 (Devam) MODEL-2 örnek problem'in GAMS modeli

FSY(SY) SY lisansli arac satin alma maliyeti

/SY1 50000
 SY2 100000
 SY3 150000 /

FSJ(SJ) SJ lisanssiz arac satin alma maliyeti

/SJ1 20000
 SJ2 40000
 SJ3 60000 /

FTY(TY) TY lisansli arac satin alma maliyeti

/TY1 50000
 TY2 100000
 TY3 150000 /

FTJ(TJ) TJ lisanssiz arac satin alma maliyeti

/TJ1 20000
 TJ2 40000
 TJ3 60000 /

FHY(HY) HY lisansli arac satin alma maliyeti

/HY1 50000
 HY2 100000 /

FHJ(HJ) HJ lisanssiz arac satin alma maliyeti

/HJ1 20000
 HJ2 40000
 HJ3 60000
 HJ4 80000/

EK-3 (Devam) MODEL-2 örnek problem'in GAMS modeli

FGY(GY) GY lisansli arac satin alma maliyeti

/GY1 30000

GY2 60000

GY3 90000

GY4 120000

GY5 150000

GY6 180000

GY7 210000

GY8 240000

GY9 270000

GY10 300000/

CAPT(T) T tali bayiilerinin kapasitesi

/ T1 750

T2 650/

CAPS(S) S servislerinin kapasitesi

/ S1 600

S2 850 /

CAPH(H) H hurdacilarinin kapasitesi

/ H1 750

H2 900/

CAPAB(AB) AB bayilerinin kapasitesi

/ AB1 1000

AB2 1700

AB3 2300/

EK-3 (Devam) MODEL-2 örnek problem'in GAMS modeli

CAPG(G) G gecici depolarinin kapasitesi

/ G1 2000
G2 2200
G3 2300
G4 2400 /

CAPP(P) P geri kazanım tesislerinin depo kapasitesi

/ P1 2600
P2 2700/

CAPPU(P) P geri kazanım tesislerinin ürün ayrıştırma kapasitesi

/ P1 2000
P2 2500 /

CUAB(U) U ürününün ana bayi tarafından satın alınma maliyeti

/ U1 1000
U2 500
U3 600 /

CUG(U) U ürününün g gecici deposu tarafından satın alınma maliyeti

/ U1 2000
U2 800
U3 900/

CUP(U) U ürününün p geri kazanım tesisi tarafından satın alınma maliyeti

/ U1 2800
U2 2300
U3 2400/

EK-3 (Devam) MODEL-2 örnek problem'in GAMS modeli

UD(U) U urununun geri donusum oranı

/ U1 0.5
 U2 0.3
 U3 0.2 /;

Table D(M,T) musterilerin tali bayiye uzakligi

	T1	T2
M1	30	40
M2	65	35
M3	60	35
M4	45	25 ;

Table O(M,S) musterilerin servislere uzakligi

	S1	S2
M1	35	45
M2	75	35
M3	50	25
M4	35	65 ;

Table N(M,H) musterilerin hurdacılara uzakligi

	H1	H2
M1	50	35
M2	30	45
M3	55	20
M4	70	40 ;

Table L(T,AB) tali bayilerin ana bayilere uzakligi

	AB1	AB2	AB3
T1	120	150	160
T2	125	130	130 ;

EK-3 (Devam) MODEL-2 örnek problem'in GAMS modeli

Table TP(T,P) tali bayilerin geri kazanim tesislerine uzakligi

	P1	P2
T1	520	670
T2	480	580 ;

Table I(S,AB) servislerin ana bayilere uzakligi

	AB1	AB2	AB3
S1	130	130	170
S2	150	160	150 ;

Table SP(S,P) servislerin geri kazanim tesislerine uzakligi

	P1	P2
S1	410	520
S2	670	720 ;

Table Q(H,AB) hurdacilarin ana bayilere uzakligi

	AB1	AB2	AB3
H1	120	170	120
H2	110	150	160 ;

Table HP(H,P) hurdacilarin geri kazanim tesislerine uzakligi

	P1	P2
H1	340	580
H2	650	720 ;

Table DS(AB,G) ana bayilerin gecici depolara uzakligi

	G1	G2	G3	G4
AB1	70	60	45	80
AB2	45	50	65	50
AB3	80	75	70	85 ;

EK-3 (Devam) MODEL-2 örnek problem'in GAMS modeli

Table R(G,P) gecici depolarin geri kazanım tesislerine uzakligi

	P1	P2	
G1	230	250	
G2	420	300	
G3	320	480	
G4	310	520	;

Scalars

W toplam urun miktarı(ton) /2700/

GD urunun geri donusum yuzdesi /0.90/

E urunun P tesisinde islenme yuzdesi /0.80/

IM br urun imha maliyeti(YTL) /1500/

LUT km basina lisansli br urun tasima maliyeti(YTL) /500/

GYLUT km basina lisansli br urun tasima maliyeti (YTL)/300/

LSZ km basina lisanssiz br urun tasima maliyeti(YTL) /800/

V br urunden elde edilen plastik yuzdesi /0.05/

A br urunden elde edilen kursun yuzdesi /0.60/

B br urunden elde edilen sulfrik asit yuzdesi/0.35/

SAM sulfrik asit ayristirma+imha maliyeti/1500/

PAM plastik ayristirma maliyeti /500/

KAM kursun ayristirma maliyeti /700/

CAPSY SY araci kapasitesi/150/

CAPTY TY araci kapasitesi /100/

CAPHY HY araci kapasitesi /100/

CAPGY GY araci kapasitesi/600/

CAPSJ SJ araci kapasitesi/150/

CAPHJ HJ araci kapasitesi/250/

CAPTJ TJ araci kapasitesi/200/;

EK-3 (Devam) MODEL-2 örnek problem'in GAMS modeli

Positive Variables

XUMT(U,M,T) M müşterisinden T bayiisine gelen U urunu miktarı

XUMS(U,M,S) M müşterisinden S servisine gelen U urunu miktarı

XUMH(U,M,H) M müşterisinden H hurdacısına gelen U urunu miktarı

XUTTYP(U,T,TY,P) T bayisinden P geri kazanım tesisine TY lisanslı aracı
kullanılarak tasınan U urunu miktarı

XUTTJAB(U,T,TJ,AB) T bayisinden AB ana bayiine TJ lisanssız aracı kullanılarak
tasınan U urunu miktarı

XUSSYP(U,S,SY,P) S servisinden P geri kazanım tesisine SY lisanslı aracı
kullanılarak tasınan U urunu miktarı

XUSSJAB(U,S,SJ,AB) S servisinden AB ana bayiine SJ lisanssız aracı kullanılarak
tasınan U urunu miktarı

XUHHYP(U,H,HY,P) H hurdacısından P geri kazanım tesisine HY lisanslı aracı
kullanılarak tasınan U urunu miktarı

XUHHJAB(U,H,HJ,AB) H hurdacısından AB ana bayiine HJ lisanssız aracı
kullanılarak tasınan U urunu miktarı

XUABGYG(U,AB,GY,G) AB ana bayiinden G gecici deposuna GY lisanslı aracı
kullanılarak tasınan U urunu miktarı

XUGGYG(U,G,GY,P) G gecici deposundan P geri kazanım tesisine GY lisanslı aracı
kullanılarak tasınan U urunu miktarı ;

Free variable

Z min ma ;

Binary variables

YG

YP

YSY

YHY

YTY

EK-3 (Devam) MODEL-2 örnek problem'in GAMS modeli

YSJ

YHJ

YTJ

YGY;

Equations

topkar amac fonksiyonu degeri

Tkapasite(T) T bayisinin kapasite kisiti

Skapasite(S) S servisinin kapasite kisiti

Hkapasite(H) H hurdacisinin kapasite kisiti

ABkapasite(AB) AB ana bayinin kapasite kisiti

Gkapasite(G) G deposunun kapasite kisiti

Pkapasite(P) P tesisine gelen miktar icin kapasite kisiti

PUkapasite(P) P tesisinde urun ayristirma kapasitesi kisiti

SYarackapasite(SY) SY aracinin kapasite kisiti

TYarackapasite(TY) TY aracinin kapasite kisiti

HYarackapasite(HY) HY aracinin kapasite kisiti

GYarackapasite(GY) GY aracinin kapasite kisiti

GY1arackapasite(GY) GY aracinin kapasite kisiti

SJarackapasite(SJ) SJ aracinin kapasite kisiti

TJarackapasite(TJ) TJ aracinin kapasite kisiti

HJarackapasite(HJ) HJ aracinin kapasite kisiti

Mmusteri(U) M musterisinden gelen toplam urun miktarı

MTgelgit(U,T) T bayiine musteriden gelen miktarın ana bayiye giden miktara esitligi

MSgelgit(U,S) S servisinden gelen miktarın ana bayiye giden miktara esitligi

MHgelgit(U,H) H hurdacisinden gelen miktarın ana bayiye giden miktara esitligi

ABggelgit(U,AB) AB ana bayiinden gelen miktarın gecici depoya giden miktara esitligi

Gdepogelgit(U,G) depoya gelen urun miktarlarının tesise giden miktara esitligi;

EK-3 (Devam) MODEL-2 örnek problem'in GAMS modeli

```

topkar.. Z =e= sum((U,M,T),XUMT(U,M,T)*D(M,T)*LSZ)+
              sum((U,M,S),XUMS(U,M,S)*O(M,S)*LSZ)+
              sum((U,M,H),XUMH(U,M,H)*N(M,H)*LSZ)+
              sum((U,T,TY,P),XUTTYP(U,T,TY,P)*TP(T,P)*CUP(U)*LUT)+
              sum((U,T,TJ,AB),XUTTJAB(U,T,TJ,AB)*L(T,AB)*CUAB(U)*LSZ)+
              sum((U,S,SY,P),XUSSYP(U,S,SY,P)*SP(S,P)*CUP(U)*LUT)+
              sum((U,S,SJ,AB),XUSSJAB(U,S,SJ,AB)*I(S,AB)*CUAB(U)*LSZ)+
              sum((U,H,HY,P),XUHHYP(U,H,HY,P)*HP(H,P)*CUP(U)*LUT)+
              sum((U,H,HJ,AB),XUHHJAB(U,H,HJ,AB)*Q(H,AB)*CUAB(U)*LSZ)+
              sum((U,AB,GY,G),XUABGYG(U,AB,GY,G)*DS(AB,G)*CUG(U)*
              GYLUT)+
              sum((U,G,GY,P),XUGGYP(U,G,GY,P)*R(G,P)*CUP(U)*GYLUT)+
              sum((U,G,GY,P),XUGGYP(U,G,GY,P)*(1-E)*İM)+
              sum((U,S,SY,P),XUSSYP(U,S,SY,P)*(1-E)*İM)+
              sum((U,T,TY,P),XUTTYP(U,T,TY,P)*(1-E)*İM)+
              sum((U,H,HY,P),XUHHYP(U,H,HY,P)*(1-E)*İM)+
              sum((U,G,GY,P),XUGGYP(U,G,GY,P)*E*V*PAM)+
              sum((U,S,SY,P),XUSSYP(U,S,SY,P)*E*V*PAM)+
              sum((U,T,TY,P),XUTTYP(U,T,TY,P)*E*V*PAM)+
              sum((U,H,HY,P),XUHHYP(U,H,HY,P)*E*V*PAM)+
              sum((U,G,GY,P),XUGGYP(U,G,GY,P)*E*A*KAM)+
              sum((U,S,SY,P),XUSSYP(U,S,SY,P)*E*A*KAM)+
              sum((U,T,TY,P),XUTTYP(U,T,TY,P)*E*A*KAM)+
              sum((U,H,HY,P),XUHHYP(U,H,HY,P)*E*A*KAM)+
              sum((U,G,GY,P),XUGGYP(U,G,GY,P)*E*B*SAM)+
              sum((U,S,SY,P),XUSSYP(U,S,SY,P)*E*B*SAM)+
              sum((U,T,TY,P),XUTTYP(U,T,TY,P)*E*B*SAM)+
              sum((U,H,HY,P),XUHHYP(U,H,HY,P)*E*B*SAM)+
              sum(P,YP(P)*FP(P))+

```

EK-3 (Devam) MODEL-2 örnek problem'in GAMS modeli

```

sum(G,YG(G)*FG(G))+
  sum(SY,YSY(SY)*FSY(SY))+
sum(TY,ITY(TY)*FTY(TY))+
sum(HY,YHY(HY)*FHY(HY))+
sum(SJ,YSJ(SJ)*FSJ(SJ))+
sum(HJ,YHJ(HJ)*FHJ(HJ))+
sum(TJ,ITY(TJ)*FTJ(TJ))+
sum(GY,YGY(GY)*FGY(GY));

```

Tkapsite(T).. sum((U,M),XUMT(U,M,T))=l= (CAPT(T));

Skapsite(S).. sum((U,M),XUMS(U,M,S))=l= (CAPS(S));

Hkapsite(H).. sum((U,M),XUMH(U,M,H))=l= (CAPH(H));

```

ABkapsite(AB)..  sum((U,T,TJ),XUTTJAB(U,T,TJ,AB))+
                  sum((U,S,SJ),XUSSJAB(U,S,SJ,AB))+
                  sum((U,H,HJ),XUHHJAB(U,H,HJ,AB))=l= (CAPAB(AB));

```

Gkapsite(G).. sum((U,AB,GY),XUABGYG(U,AB,GY,G))=l= (CAPG(G)*YG(G));

```

Pkapsite(P).. sum((U,G,GY),XUGGYP(U,G,GY,P))+
               sum((U,T,TY),XUTTYP(U,T,TY,P))+
               sum((U,S,SY),XUSSYP(U,S,SY,P))+
               sum((U,H,HY),XUHHYP(U,H,HY,P))=l= (CAPP(P)*YP(P));

```

```

PUkapsite(P).. sum((U,G,GY),XUGGYP(U,G,GY,P))*E+
                sum((U,H,HY),XUHHYP(U,H,HY,P))*E+
                sum((U,T,TY),XUTTYP(U,T,TY,P))*E+
                sum((U,S,SY),XUSSYP(U,S,SY,P))*E =l= (CAPPU(P)*YP(P));

```

SYarackapsite(SY).. sum((U,S,P),XUSSYP(U,S,SY,P)) =l= (CAPSY*YSY(SY)) ;

EK-3 (Devam) MODEL-2 örnek problem'in GAMS modeli

```

TYarackapasite(TY).. sum((U,T,P),XUTTYP(U,T,TY,P)) =l=(CAPTY*YTY(TY)) ;
HYarackapasite(HY).. sum((U,H,P),XUHHYP(U,H,HY,P))
=l=(CAPHY*YHY(HY)) ;
GYarackapasite(GY).. sum((U,AB,G),XUABGYG(U,AB,GY,G)) =l=
(CAPGY*YGY(GY));
GY1arackapasite(GY).. sum((U,G,P),XUGGYP(U,G,GY,P)) =l=
(CAPGY*YGY(GY));
SJarackapasite(SJ).. sum((U,S,AB),XUSSJAB(U,S,SJ,AB))=l=(CAPSJ*YSJ(SJ));
TJarackapasite(TJ).. sum((U,T,AB),XUTTJAB(U,T,TJ,AB)) =l= (CAPTJ*YTJ(TJ));
HJarackapasite(HJ).. sum((U,H,AB),XUHHJAB(U,H,HJ,AB)) =l=
(CAPHJ*YHJ(HJ));

```

```

Mmusteri(U)..      sum((M,T),XUMT(U,M,T))+
                    sum((M,S),XUMS(U,M,S))+
                    sum((M,H),XUMH(U,M,H)) =e= W*GD*UD(U);

```

```

MTgelgit(U,T)..    sum((M),XUMT(U,M,T)) =e=
                    sum((TY,P),XUTTYP(U,T,TY,P))+
                    sum((TJ,AB),XUTTJAB(U,T,TJ,AB));

```

```

MSgelgit(U,S)..    sum((M),XUMS(U,M,S)) =e=
                    sum((SY,P),XUSSYP(U,S,SY,P))+
                    sum((SJ,AB),XUSSJAB(U,S,SJ,AB));

```

```

MHgelgit(U,H)..    sum((M),XUMH(U,M,H)) =e=
                    sum((HY,P),XUHHYP(U,H,HY,P))+
                    sum((HJ,AB),XUHHJAB(U,H,HJ,AB));

```

```

ABGgelgit(U,AB)..  sum((T,TJ),XUTTJAB(U,T,TJ,AB))+
                    sum((S,SJ),XUSSJAB(U,S,SJ,AB))+

```

EK-3 (Devam) MODEL-2 örnek problem'in GAMS modeli

```
sum((H,HJ),XUHHJAB(U,H,HJ,AB))=e=
sum((GY,G),XUABGYG(U,AB,GY,G));
```

```
Gdepogelgit(U,G).. sum((AB,GY),XUABGYG(U,AB,GY,G))=e=
sum((GY,P),XUGGYG(U,G,GY,P));
```

```
model reverse /all/;
```

```
reverse.optcr=0;
```

```
solve reverse using mip minimizing z;
```

```
display Z.l,YG.l,YP.l,YSY.l,YSJ.l,ITY.l,ITY.l,YHY.l,YHJ.l,YGY.l;
```


EK-4 MODEL-2 Problem verileri

Çizelge 4.1. Tesis işletme ve geçici depo kullanma maliyetleri

Geçici Depo Açık Tutma Maliyetleri(TL)	G1	150 000
	G2	300 000
	G3	450 000
	G3	600 000
Geri Kazanım Tesisi Açık Tutma Maliyetleri(TL)	P1	2 160 000
	P2	4 220 000

Çizelge 4.2. Araç satın alma maliyetleri

Lisanslı Araç Satın Alma Maliyetleri(TL)	SY1,TY1,HY1	50 000
	SY2,TY2,HY2	100 000
	SY3,TY3	150 000
	GY1	30 000
	GY2	60 000
	GY3	90 000
	GY4	120 000
	GY5	150 000
	GY6	180 000
	GY7	210 000
	GY8	240 000
	GY9	270 000
	GY10	300 000
Lisanssız Araç Satın Alma Maliyetleri(TL)	SJ1,TJ1,HJ1	20 000
	SJ2,TJ2,HJ2	40 000
	SJ3,TJ3,HJ3	60 000
	HJ4	80 000

EK-4 (Devam) MODEL-2 Problem verileri

Çizelge 4.3. Kapasite bilgileri

		Kapasiteler(Ton)	
Tali bayiler	T1	750	
	T2	650	
Servisler	S1	600	
	S2	850	
Hurdacılar	H1	750	
	H2	900	
Ana Bayiler	AB1	1 000	
	AB2	1 700	
	AB3	2 300	
Geçici Depolar	G1	2 000	
	G2	2 200	
	G3	2 300	
	G4	2 400	
Geri Kazanım Tesisleri	P1	Depo	Ürün Ayrıştırma
		2 600	2 000
	P2	Depo	Ürün Ayrıştırma
		2 700	2 500
Lisanslı Araçlar	SY1,SY2,SY3		150
	TY1,TY2,TY3		100
	HY1,HY2		100
	GY1,...,GY10		600
Lisanssız Araçlar	SJ1,SJ2,SJ3		150
	TJ1,TJ2,TJ3		250
	HJ1,...,HJ4		200

Çizelge 4.4. Ürün bilgileri

Ürünler	Satın Alınma Maliyetleri(TL)			Geri Dönüşüm Yüzdeleri
	Ana Bayi Tarafından	Geçici Depo Tarafından	Geri Kazanım Tesisi Tarafından	
U1	1 000	2 000	2 800	0,5
U2	500	800	2 300	0,3
U3	600	900	2 400	0,2

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : TAŞ, Fatma
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 08.08.1983 Giresun
 Medeni hali : Bekar
 Telefon : 0 (312) 285 55 29
 e-mail : tasfatos@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / Endüstri Mühendisliği Bölümü	2009
Lisans	Kırıkkale Üniversitesi/ Endüstri Mühendisliği Bölümü	2005
Lise	Deneme Süper Lisesi(YDA)	2001

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2003	Armim Mutfak Banyo Aksesuarları A.Ş.	Staj
2004	Arçelik Ankara Bulaşık Makinesi İşletmesi A.Ş.	Staj
2007	Gnkur.BİLKARDEM Bşk.lığı	Endüstri Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Sinema, Tiyatro, Kitap okuma, Müzik dinleme, Spor, Otomotiv ve beyaz eşya sektörüyle ilgili yenilikler (iç yapı, dış görünüş ve kullanım kolaylığı)