

GERİ KAZANIMLI İMALAT SİSTEMLERİ İÇİN LOJİSTİK AĞI TASARIMI: LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Neslihan ÖZGÜN DEMİREL ve Hadi GÖKÇEN

Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Maltepe, Ankara
neslihanozgun@gazi.edu.tr, hgokcen@gazi.edu.tr

(Geliş/Received: 28.02.2008 ; Kabul/Accepted: 12.09.2008)

ÖZET

Son zamanlarda firmalar; ekonomik ve ekolojik sebepler, hükümetlerin koydukları kanunlar, sosyal sorumluluklar gibi nedenlerden dolayı tersine akışı sistemlerine dâhil etmektedirler. Bu firmalar, etkin bir tersine lojistik ağının tasarlanması ve malzeme, parça ve ürünlerin tersine akışının etkin bir şekilde yönetilmesi gibi problemlerle karşı karşıya kalmaktadır. Genel bir tersine lojistik ağı tüketicilerden kullanılmış ürünlerin toplanması, depolanması, yeniden işlenmesi ve geri dağıtılması faaliyetlerini içerir. Bu çalışmada tersine lojistik ağı tasarımı ve modellenmesi konusunda yapılmış olan çalışmalar incelenmiş, sınıflandırılmış ve temel özellikleri analiz edilmeye çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Tersine lojistik, ağ tasarımı, tesis yer seçimi ve atama problemleri, literatür araştırması.

LOGISTICS NETWORK DESIGN FOR RECOVERABLE MANUFACTURING SYSTEMS: LITERATURE SURVEY

ABSTRACT

Nowadays, firms incorporate reverse flow to their systems because of some reasons such as economic and ecologic reasons, regulations from government, social responsibilities. These firms face to some problems such as designing efficient reverse logistics network and managing the reverse flow of materials, components or products. A generic reverse logistics network includes collecting the cores from customers, stocking, reprocessing and redistributing activities. In this paper, studies about logistics network design and modeling for product recovery are reviewed, classified and the main characteristics of them are tried to analyze.

Keywords: Reverse logistics, network design, facility location and allocation problems, literature review.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Pazardaki rakiplerine karşı rekabet gücü kazanmak için müşteri hizmet düzeylerini artırma, imalat temin sürelerini azaltma ve envanter seviyelerini düşürme gibi konulara önem veren firmalar, bu amaçları gerçekleştirebilmek için üretim dağıtım planlama, tedarik zinciri yönetimi, lojistik yönetimi gibi stratejiler uygulamaktadır. Diğer taraftan, doğal kaynakların tükenmesi ve artan çevre bilinci ile birlikte geri kazanımlı imalat sistemleri ve tersine lojistik konularına olan ilgi de artmaktadır. İşletmeler, ekonomik ve ekolojik sebepler, hükümetlerin koydukları kanunlar, sosyal sorumluluklar gibi nedenlerden dolayı tersine akışı sistemlerine dâhil etmektedir. Bir tersine lojistik sistemi; imalat tesisinin daha önceden

taşınmış ürün ya da parçaları tüketim noktasından geri dönüşüm, yeniden imalat ya da yok etme işlemlerinden birini uygulamak üzere sistematik bir şekilde yeniden elde etmesi sürecidir [1].

Günümüzde geri dönen ürünlere büyük önem verilmekte ve hayat çevrimini tamamlamış ürünler için imalatçılara sorumluluklar yüklenmektedir. Atık arazilerinin kapasitelerinin gün geçtikçe daralması atıkların azaltılmasını endüstriyel ülkelerde en önemli ilgi alanlarından biri haline getirmiştir [2]. Pek çok ülkede firmalar, ürettikleri ürünlerin belirli bir kısmını geri toplamakla sorumlu tutulmaktadır. Örneğin Almanya'da 1991 yılında yürürlüğe giren yönetmeliğe göre firmalar sattıkları ürünlere ait paketlerin en az % 60-% 75'ini geri dönüştürmek zorundadırlar [3].

Hollanda'da ise trafik kazalarında zarar görmüş otomobillerin % 90'ının geri kazanımını sağlayacak ulusal bir sistem başarıyla uygulanmaktadır [4]. ABD'de camın % 20'si, kâğıt 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 [5]. İlk olarak Avrupa'da ilgi görmesine rağmen, günümüzün global pazarlarında bu konuya olan ilgi dünya çapında artmaya devam edecektir. Müşteriler gün geçtikçe bilinçlenmekte ve çevre konusunda daha duyarlı hale gelmektedir. Bu yüzden 'çevreci' imajı önemli bir pazarlama aracı olarak kendini göstermektedir. Ayrıca ekonomik unsurlar da ürünlerin iyileştirilmesinde tetikleyici rol oynamaktadır çünkü kullanılmış ürünler yenilerine nazaran daha ucuz kaynak teminine imkân tanımaktadır [2].

İşletmelerin tersine lojistik faaliyetlerini uygulayabilmeleri için mevcut sistemlerinde, süreçlerinde ve karar alma aşamalarında yeniden düzenlemeler yapmaları gerekmektedir. Günümüzde firmalar müşterilerden ürünlerini geri alarak tesislerine, depolarına taşımakla yükümlüdürler. Bu yüzden sadece ileri yönde etkili bir akış sağlayan bir lojistik ağı artık yeterli olmamaktadır. Ürünlerin yeniden kazanımı için kullanılmış ve iyileştirilmiş ürünlerin akışına imkân veren uygun lojistik yapıların oluşturulması gerekmektedir. Ürünlerin kullanıcılarından tesislere taşınması ve buradan da yeniden pazara sunulması için yerleşim yerlerinin tespiti, tesisler ve her bir tesis arasında taşınacak miktarlar alınması gereken önemli kararlar arasındadır [2].

Tersine lojistik zincirinde, ileri lojistik ağında bulunanlardan farklı olarak daha fazla birim yer almaktadır. Tersine akış içeren tedarik zinciri, ileri lojistik ağının tüm elemanlarına ek olarak, talep noktası olarak görev yapan 3. parti lojistik firmaları, ikincil pazarlar, atık arazileri, vakıflar ve daha fazlasından oluşmaktadır. Bu birimler, önceden belirlenmiş bir talep olmadığından ve değişik kısıtlarla sınırlandırılmış kapasitelere sahip olduklarından farklı özelliklere sahiptir. Örneğin atık arazileri ele alınırsa, hükümet firmaların gönderebileceği miktarları sınırlandırmaktadır. Ürün ne zaman geri dönmeli? Nereye taşınmalı? Firmanın kârını maksimize etmesi için en etkili strateji nedir? Soruları tersine lojistik ağı tasarımında araştırmacıları en çok düşündüren sorulardır [6].

Bu çalışmada malzeme, bileşen ve ürünlerin geri akışını içeren tersine lojistik ağı tasarımını ve modellenmesini ele alan literatürdeki çalışmalar incelenmiş, sınıflandırılmış ve temel özellikleri analiz edilmeye çalışılmıştır.

2. TERSİNE LOJİSTİK SİSTEMLERİ (REVERSE LOGISTICS SYSTEMS)

Lojistik faaliyetleri tedarik zincirindeki malzemelerin ileri doğru akışını içerirken, tersine lojistik ürünlerin

yeniden kullanılabilir duruma getirilmesi amacıyla kullanıcılarından başlayan geri akışı konu edinir [3]. Araştırmacıların birçoğu ileri lojistik ile tersine lojistiğin farklı karakteristiklere sahip olduğu, bu yüzden de tersine akış için mevcut ileri doğru işleyen lojistik ağlarının kullanılmayacağını savunmaktadır [7].

Günümüzde ürün, bileşen ve malzemeler çeşitli nedenlerle tedarik zincirine yeniden dâhil olmaktadır. Kalite spesifikasyonlarını sağlamama, kullanıcı tarafından istenmeme, fazla üretim, hayat çevrimini tamamlamış olma ve garanti kapsamında bozulma gibi nedenler bunlar arasında sayılabilir. Ürün, yukarıdaki sebeplerin herhangi birinden dolayı tedarik zincirine döndüğünde tamir etme, ürün yenileme, parça alma, yeniden imalat ve geri dönüştürme işlemlerinden biri ya da birkaçı kullanılarak geri kazandırılabilir. Bu işlemlerden herhangi birinin gerçekleştirilemediği durumlarda kullanılmış ürünler yakılarak ya da gömülerek uygun bir şekilde yok edilir. Bazı dönen ürünler için kurumlara bağış gibi farklı dağıtım alternatiflerinden de bahsetmek mümkündür.

Tersine lojistik sistemlerinin planlanmasında 2 önemli unsurun göz önünde bulundurulması gerekir. Bunlar, ürün tipi ve kullanılan geri kazanım opsiyonudur [8]. Örneğin, geri dönen bir fotokopi makinesi iyi durumda ise bazı kritik modülleri değiştirilerek ikincil bir pazarda satılabilir (Ürün yenileme). Makine eskimişse ve iyi durumda değilse işe yarar belirli parçaları alınarak yedek parça olarak kullanılabilir (Parça alma). Bir diğer opsiyon olarak da makine çok eskimişse malzeme geri dönüşümüne tabi tutulabilir (Geri dönüşüm) [2]. Geri kazanım işlemi teknik açıdan mümkün olsa bile ekonomik açıdan çekici olmayabilir. Bu yüzden toplam geri kazanım maliyetlerinin büyük kısmını oluşturan taşıma maliyetini azaltmak amacıyla etkili bir lojistik ağı tasarlanması gerekmektedir. Ürün tipi ve geri kazanım opsiyonu dikkate alındığında genel olarak dört farklı tersine lojistik ağından bahsedilebilir [8].

1. Direk Olarak Yeniden Kullanım Ağı (Directly Reusable Network): Geri dönen ürünler ve malzemeler yeni ürün üretmek için veya taşıma ekipmanı olarak tekrar kullanılmak için ya direk olarak yeniden kullanılır ya da temizleme, küçük çaplı tamir gibi az bir yeniden işleme operasyonuna tabi tutulur. Paletler, şişeler ve konteynırlar bu tip dönüşlere örnek verilebilir. Geri kazanılan ürün, yeni ürüne nazaran daha düşük kalitede olsa da bu durum genellikle ürün performansını etkilemez.
2. Yeniden İmalat Ağı (Remanufacturing Network): Bu sistemlerin amacı dönen parçaları yeni duruma getirerek üretilecek yeni ürünlerde kullanmak, dönen ürünleri de aynı şekilde yeni konumuna getirerek satmaktır. Dönen ürünler, kullanılmış, hayat çevrim süresini tamamlamış veya geri kazanım için geri gönderilen tüketici malları

olabilir. Yeniden imal edilmiş ürün, yeni ürün ile aynı özellikleri taşır ve aynı kalite standardını sağlar. Otomobil parçaları yeniden imal edilen ürünlere örnek olarak verilebilir.

3. Tamir Servis Ağı (Repair Service Network): Bu sistemler müşterilerin servis ihtiyaçlarını karşılamak ve kusurlu ürünleri tamir etmek amacıyla kurulurlar. Dönen nesnelere, ürünlerin önleyici bakım ya da bozulma nedeniyle değiştirilebilir parçaları olabilir. Tamir opsiyonunda amaç, geri dönen ürünü çalışır ve kullanılabilir duruma getirmektir.

4. Geri Dönüşüm Ağı (Recycling Network): Geri dönüşümde ürün ve bileşenlerin özellik ve fonksiyonları kaybolur. Geri dönüşümün amacı, kullanılmış ürün ve bileşenleri oluşturan malzemelerin yeniden kullanılabilmesidir. Plastik ürünler, geri dönüştürülerek geri kazanılan ürünler arasındadır.

Yukarıda bahsedilen her bir tersine lojistik sistemi kendine özgü özellikler taşıdığından değişik seviyede ayrıştırma, farklı ağ tasarımları ve planlama yaklaşımlarını gerektirmektedir.

2.1. Tersine Lojistik Faaliyetleri (Reverse Logistics Activities)

Bir tersine lojistik sistemi genel olarak toplama, sınıflandırma, ayrıştırma, yeniden işleme ve yeniden dağıtım faaliyetlerini içerir.

Toplama: Kullanılmış ürünlerin (core) müşterilerden geri kazandırılmak üzere toplanmasını ifade etmektedir. Kullanılmış ürünler müşterilerden doğrudan, perakendeciler ya da 3. parti servis sağlayıcılar aracılığıyla toplanabilir.

Sınıflandırma: Planlanan geri kazanım opsiyonuna (yeniden imalat, geri dönüşüm, tamir, parça alma gibi) bağlı olarak ürünlerin kalitelerine ve izleyecekleri rotalara göre tasnif edilmesi işlemidir. Genellikle müşteriye yakın yerlerde gerçekleştirilerek kalite şartlarını sağlamayan ürünlerin taşınması engellenmeye çalışılır.

Ayrıştırma: Sınıflandırılan ürünler, kullanılabilir durumdaki modüllerin alınarak iyileştirilmesi ya da çalışır durumda olmayan modüllerin yenileriyle değiştirilmesi, teknolojik yeniliklerin ilave edilmesi gibi nedenlerle ayrıştırma işlemine tabi tutulur. Ayrıştırmanın miktarı uygulanacak geri kazanım opsiyonuna göre değişmektedir.

Yeniden işleme: Tersine lojistik sistemleri birbirinden ayıran en önemli farklılık bu aşamada meydana gelmektedir. Ürünün yeniden işlenmesi tamir etme, ürün yenileme, parça alma, yeniden imalat, geri dönüştürme gibi pek çok farklı geri kazanım opsiyonu kullanılarak yapılabilir.

Yeniden dağıtım: Geri kazanılan kullanılmış ürünler yeniden ileri akışa dâhil olur.

3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI (LITERATURE REVIEW)

Tersine lojistik ağlarının tasarlanmasının ileri lojistik ağlarının tasarlanması kadar basit olmayacağı açıktır çünkü ürünler müşterilerden toplandığında izleyecekleri rotalar ürünün durumuna göre değişecektir. Diğer taraftan ürünün tüm bileşenleri imalat tesislerine taşınmaya geçecek değerde olmayacaktır. Ürünlerin dönüş zamanları, miktarları ve kalitelerindeki belirsizlikler, geleneksel sistemlerde uygulanan birçok varsayımı tersine sistemler için geçersiz kılmaktadır. Dahası, iyileştirilen ürünler için son pazarların iyi bilinmemesi ağ tasarımını daha belirsiz hale getirmektedir [3].

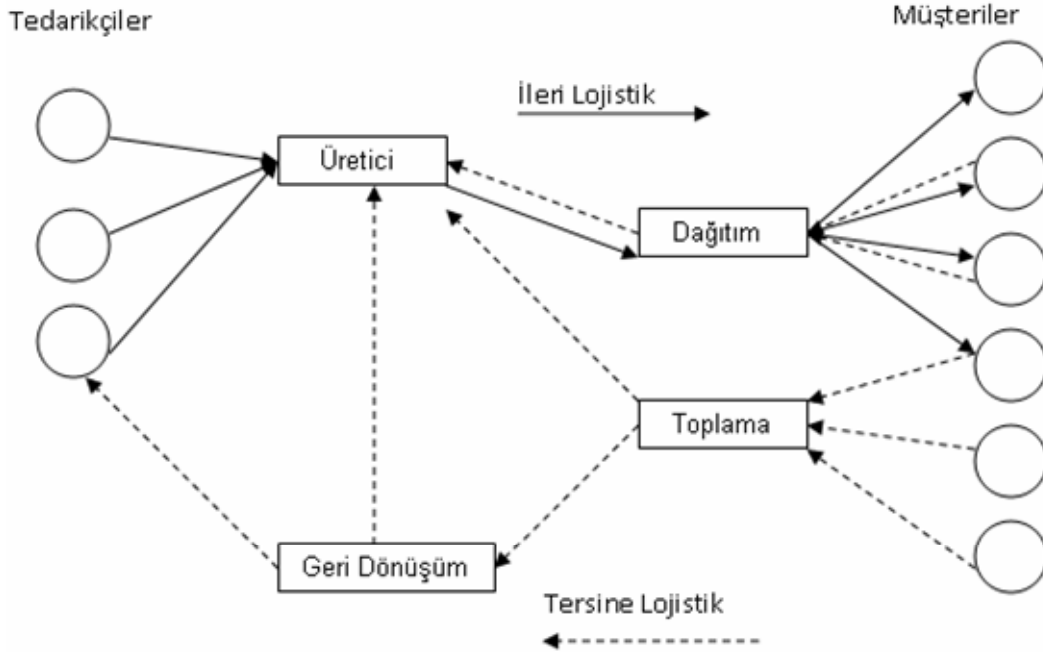
Etkin bir dağıtım ağının oluşturulabilmesi için aşağıda tanımlanan belirli bazı özelliklerin değerlendirilmesi gerekmektedir [3].

Tersine dağıtım kanalında rol alan elemanlar kimlerdir? Elemanlar, ileri lojistikte görev alan bazı üyeler (geleneksel imalatçılar, perakendeciler, lojistik servis sağlayıcıları gibi) olabileceği gibi, tersine lojistiğe özgü görevleri gerçekleştiren yeni üyeler de (ikincil malzeme satıcıları, malzeme geri kazanım tesisleri gibi) olabilirler.

Tersine dağıtım kanalında hangi fonksiyon nerede yerine getirilecektir? Ağ tasarımı aşamasında, olası fonksiyonlar olan ürün testi, sınıflandırma, ayrıştırma, nakliye ve ürün işlemenin nerede yapılacağı belirlenmelidir. Sınıflandırma ve test işlemlerinin gerçekleştirileceği yerlerin belirlenmesi ayrı bir dikkat gerektirir. Bunun nedeni, erken yapılan testlerin kullanılamaz haldeki ürünlerin nakledilmesini engelleme fırsatıdır. Ancak karmaşık testler her noktada bulundurulamayacak türde ekipmanları gerektirebilmektedir. Geri dönüş akışlarını farklı yeniden kullanım oranlarına sınıflandırma işlemi, toplama işlemine yakın bir aşamada daha ucuza mal edilebilir. Bununla birlikte, sonraki taşıma maliyetleri artabilir ve taşıma kapasite kullanımı, erken aşamalarda farklı akışlara bölünmeler nedeniyle azalabilir.

İleri ve tersine dağıtım kanalı arasındaki ilişki nedir? Aynı elemanlar kullanılıyor olsa bile, iki dağıtımda farklı fonksiyonlar gerçekleştirileceğinden bunların entegrasyonunda rotalama düzeyinde karmaşıklıklar olacaktır. İleri ve tersine lojistikte ele alınması gereken konulardan biri de, iki akışın bütünleştirilip bütünleştirilmemesidir. İki akış farklılıklar içereceğinden, tersine dağıtımın ileri dağıtımın simetrik bir yansıması olması her zaman mümkün olmamaktadır.

İleri ve tersine dağıtım içeren genel bir lojistik ağ tasarımı Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. İleri ve tersine dağıtım [3] (Forward and Reverse Distribution)

Tersine lojistikte farklı perspektiflerden ağ tasarımını konu edinen literatür oldukça geniştir. Tersine lojistik ağı tasarımı ve modellenmesiyle ilgili yapılmış olan çalışmalar iki kategoride sınıflandırılabilir. Bunlardan ilki sadece tersine akışın ele alındığı bağımsız modeller ve ileri ve geri akışın birlikte ele alındığı bütünlük modeller olarak karşımıza çıkmaktadır.

Çeşitli opsiyonlar kullanılarak farklı ürünlerin geri kazanımı ele alan tersine lojistik ağlarının etkin bir şekilde tasarlanması ve modellenmesi konu edinen çalışmalar Tablo 1'de verilmiştir. Tablo 1'de çalışmalara konu olan geri kazanım opsiyonu, geliştirilen modelin yapısı, çözüm yöntemi, amaç fonksiyonu yer almaktadır. Çalışmalar ayrıca sadece tersine akışın düşünüldüğü bağımsız modeller ve ileri ve tersine akışın birlikte modellendiği bütünlük modeller olarak sınıflandırılmıştır.

Tablo 1'de verilen çalışmaların genel olarak yer seçimi ve atama problemleri yapısında olduğu ve karma tamsayı matematiksel programlama modeli şeklinde formüle edildiği görülmektedir. Geleneksel yer seçimi ve atama problemlerinden farklı olarak geri kazanımlı sistemler genellikle itme sistemi yapısındadır. Yani malzeme akışını belirlemede talepten çok arz faktörü etkili olmaktadır. Diğer taraftan, geri kazanımlı sistemlerde ürünlerin geri kazandırılması ve yok edilmesi gibi tersine lojistik modellerine özgü durumlar için ve tersine akış ile ileri akış arasında oluşabilecek ilişkileri tanımlamak için geleneksel yer seçimi ve atama problemlerinden farklı bir takım kısıtlar bulunmaktadır. Tablo 1'de tersine akışı optimize etmek üzere bazı çalışmalarda kapasite kısıtsız modeller geliştirildiği gibi [Örn. 2, 9, 10], kapasite kısıtlı modeller içeren çalışmalar da bulunmaktadır [Örn. 11, 12]. Geliştirilen modeller,

genellikle standart yazılımlar kullanılarak çözülmüş ve optimal çözüm elde edilmiştir. Bunların bir kısmı çok dönemli [Örn. 13, 14], bir kısmı ise tek dönemli olarak modellenmiştir [Örn. 12, 15]. Thierry [16] çalışmasında diğer doğrusal modellerden farklı olarak tesis yerlerinin önceden bilindiği ve sabit olduğu bir doğrusal model geliştirmiştir. Louwers vd. [17] ise diğer karma tamsayı doğrusal olmayan modellerden farklı olarak bölgesel geri kazanım tesislerinin ve kapasitelerinin tespit edilmesi için amaç fonksiyonu doğrusal olmayan sürekli bir yer seçimi modeli geliştirmişlerdir.

Geri dönen ürünlerin geri kazandırılması için uygulanacak opsiyon; ürünün yapısı, özellikleri, dönen ürün miktarı, kalitesi, teknolojik ve ekonomik kısıtlar gibi faktörlere bağlıdır. Çalışmalarda firmalar kanunlara uymak, bilinçli müşteri beklentilerine karşılık verebilmek ve kâr elde edebilmek gibi nedenlerle farklı alternatifler (yeniden imalat, geri dönüşüm, yeniden kullanım gibi) uygulamışlardır. Modellerin bir kısmında geri kazanılan ürünlerin satışından elde edilen gelirler de dikkate alınarak amaç fonksiyonu kâr maksimizasyonu şeklinde formüle edilmiştir. Geri kalan kısımda genellikle sabit işletme maliyetleri ile toplama, taşıma, geri kazanım, elde tutma gibi maliyelerin minimizasyonu amaçlanmıştır. Ayrıca bazı çalışmalarda çok amaçlı modeller geliştirilmiştir. Bunlardan Du ve Evans [18] çalışmalarında toplam maliyetlerin minimizasyonu ile birlikte çevrim zamanlarındaki toplam gecikmeleri de minimize etmeye çalışmışlardır. Kusumastuti vd [14], yenilenen ürünlerin satışından kazanılacak gelirden toplam maliyetler çıkarıldığında elde edilen kârı maksimize etmeye çalışırken, enerji tüketimi ve CO₂ yayılımını da minimize etmeye çalışmışlardır. Pati vd.

Tablo 1. Literatürdeki tersine lojistik ağı tasarımı ve modellenmesi konusunu işleyen çalışmalar(Papers in the literature including reverse logistics network design an modeling issue)

No	Yazarlar	Bütünleşik /Bağımsız	Amaç Fonksiyonu	Örnek Olay	Geri Kazanım Opsiyonu	Model	Çözüm Yöntemi	
1	Kroon ve Vrijens, 1995	BÜTÜNLEŞİK	Maliyet Minimizasyonu	Var	Yeniden kullanım	MILP	Optimal	
2	Berger ve Debaille, 1997			Var	Yeniden İmalat	MILP	Optimal	
3	Thierry vd., 1997			Var	Yeniden İmalat	LP	Optimal	
4	Fleischman, 2001			Yok	Genel ağ tasarımı	MILP	Optimal	
5	Fleischmann vd., 2001			Yok	Genel ağ tasarımı	MILP	Optimal	
6	Benita ve Beamon, 2004			Yok	Yeniden İmalat	MILP	Optimal	
7	Lu vd., 2004			Yok	Yeniden Kullanım	MILP	Sezgisel	
8	Lee ve Dong, 2006			Yok	Yeniden İmalat	MILP	Sezgisel	
9	Salema vd., 2006			Var	Yeniden İmalat	MILP	Optimal	
10	Choinard vd., 2007			Yok	Tamir etme/Ürün yenileme/Geri dönüşüm	MILP	Optimal	
11	Ko ve Evans, 2007			Yok	Genel Ağ tasarımı	MINLP	Sezgisel	
12	Lu ve Bostel, 2007			Yok	Yeniden İmalat	MILP	Sezgisel	
13	Min ve Ko, 2007			Yok	Tamir etme	MILP	Sezgisel	
14	Salema vd., 2007			Var	Yeniden İmalat	MILP	Optimal	
15	Demirel ve Gökçen, 2008			Yok	Yeniden İmalat	MILP	Optimal	
16	Du ve Evans, 2008			Maliyet ve çevrim zamanı gecikmeleri minimizasyonu	Yok	Tamir etme	Çok Amaçlı MIP	Sezgisel
17	Fandel ve Stammen, 2003			Kâr Maksimizasyonu	Yok	Geri Dönüşüm	MILP	-
18	Listes, 2007		Var		Yeniden İmalat	MILP	Sezgisel	
1	Wang vd., 1995	BAĞIMSIZ	Maliyet minimizasyonu	Var	Geri dönüşüm	MILP	Optimal	
2	Spengler vd., 1997			Var	Geri dönüşüm	MILP	Optimal	
3	Barros vd., 1998			Var	Geri dönüşüm	MILP	Sezgisel	
4	Jayaraman vd., 1999			Var	Yeniden İmalat	MILP	Optimal	
5	Krikke vd. 1999			Var	Yeniden İmalat	MILP	Optimal	
6	Louwers vd., 1999			Var	Geri dönüşüm	NLP	Optimal	
7	Jayaraman vd., 2003			Yok	Yeniden İmalat	MILP	Sezgisel	
8	Pochampally ve Gupta, 2003			Yok	Yeniden İmalat	MILP	Optimal	
9	Schultmann vd., 2003			Var	Geri dönüşüm	MILP	Optimal	

10	Min vd., 2006		Yok	Tamir etme	MINLP	Sezgisel
11	Tang ve Xie, 2007		Yok	Tamir Etme	MINLP	Sezgisel
12	Ammons vd., 1997	Kâr Maksimi- zasyonu	Var	Geri dönüşüm	MILP	Optimal
13	Shih, 2001		Var	Geri dönüşüm	MILP	Optimal
14	Listeş ve Dekker, 2005		Var	Geri Dönüşüm	MILP	Optimal
15	Assavapoke vd., 2006		Var	Tamir etme/Geri dönüşüm	MILP	Optimal
16	Xanthopoulos ve Iakovou, 2006		Yok	Genel ağ tasarımı	MILP	Optimal
17	Lieckens ve Vandaele, 2007		Yok	Genel ağ tasarımı	MINLP	Sezgisel
18	Aras ve Aksen, 2008		Yok	Genel ağ tasarımı	MINLP	Sezgisel
19	Srivastava, 2008		Var	Yeniden imalat/tamir etme	MILP	Optimal
20	Kusumastuti vd., 2004		Kâr Maksimi- zasyonu, Enerji tüketimi ve CO ₂ emisyonunun minimizasyonu	Yok	Ürün yenileme	Çok Amaçlı MIP
21	Pati vd., 2008	Maliyet ve uygunsuz atık kâğıt miktarının minimizasyonu, geri kazanılan atık kâğıtların maksimizasyonu	Var	Geri dönüşüm	Çok Amaçlı MIP (Amaç Prog.)	Optimal

MILP: Karma Tamsayı Doğrusal Programlama Modeli (Mixed Integer Linear Programming Model)
 LP: Doğrusal Programlama Modeli (Linear Programming Model)
 MINLP: Karma Tamsayı Doğrusal Olmayan Programlama Modeli (Mixed Integer Non-Linear Programming Model)
 NLP: Doğrusal Olmayan Programlama Modeli (Non-Linear Programming Model)

[19] ise toplam sistem maliyeti ile birlikte geri dönüşüm için kalitesi uygun olmayan atık kâğıt miktarını minimize etmeye çalışırken, geri dönüştürülen atık kâğıt miktarının maksimizasyonunu amaçlamışlardır.

Ürünün geri kazanımı teknolojik ve ekonomik açıdan mümkün olmadığında, imalatçılar hükümetlere ve müşterilere karşı sorumluluklarını yerine getirmek üzere ürettikleri ürünün bir kısmını çevreye en az zararı verecek şekilde yok etmek zorunda kalmaktadır. Yukarıdaki çalışmaların bir kısmında yok etme opsiyonu modele dâhil edilmişken [Örn. 20], bazılarında dikkate alınmamıştır [Örn. 21]. Diğer taraftan, bazı çalışmalarda lojistik sistemi, tek ürün için modellenirken [Örn. 15, 22, 23], diğerlerinde ise çok ürünlü bir yapı dikkate alınmıştır [Örn. 12, 13, 20, 24, 25]. Çalışmaların bir büyük çoğunluğunda determi-

nistik yapı söz konusudur [Örn. 26, 27, 28], küçük bir kısmında ise geri kazanım sistemlerinin yapısında var olan geri dönen ürünlerin miktarı, zamanı ve kalitelerindeki belirsizliklerle baş edebilmek için stokastik yapıda modeller geliştirilmiştir [Örn. 29, 30], bazılarında ise simülasyon kullanılmıştır [Örn. 14, 16].

3.1. Bütünleşik Modeller (Integrated Models)

Tablo 1'de verilen çalışmaların ilk 18 tanesi ileri ve tersine akışı birlikte modelleyen makaleler olarak karşımıza çıkmaktadır. Kroon ve Vrijens [9] çalışmalarında ikincil paket malzemelerinin yeniden kullanımını ele almışlar ve yeniden kullanılabilir konteynrlar için tersine lojistik sistemi oluşturmada kullanılacak pek çok yöntem geliştirmişlerdir. Yazarlar Hollanda'da konteynrların geri kazanımıyla

İlgili bir örnek olayı incelemişlerdir. Berger ve Debaillie [31], bir bilgisayar imalatçısının mevcut üretim/dağıtım ağına kullanılmış ürünlerin geri kazandırılması için ayrıştırma tesislerini ekleyerek bütünleşik bir lojistik ağı elde etmişlerdir. Thierry [16], fotokopi makinelerinin yeniden imalatını konu edinen bütünleşik bir ağ tasarlayarak, çeşitli belirsizlikleri sisteme dâhil edebilmek için simülasyon kullanmıştır. Fleischmann [32], geri dönen ürünlerin belirli bir miktarının uygun bir şekilde elden çıkarılmasını sağlayan matematiksel bir model geliştirerek, dönen ürünlerin kalite belirsizliklerini modele dâhil etmek için simülasyon kullanmış ve farklı tersine lojistik konfigürasyonlarını değerlendirmiştir. Fleischmann vd. [2] ise tersine lojistik ağı tasarlamak amacıyla genel bir tesis yer seçimi modeli oluşturarak geleneksel ileri sistemlerle tersine sistemleri karşılaştırmışlardır. Çalışmada yazarlar ayrıca tersine akışın lojistik ağ yapılarına olan etkilerini değerlendirmişlerdir. Beamon ve Fernandes [21], imalatçıların yeni ürün ürettiği ve kullanılmış ürünleri yeniden imal ettiği kapalı döngü bir tedarik zinciri yapısını ele almışlar ve geliştirdikleri çok dönemli tamsayı programlama modeline net şimdiki değer yöntemini katmışlardır. Yazarlar ayrıca model parametreleri için duyarlılık analizi yaparak sonuçları yorumlamışlardır. Lu vd. [33], konteynır, şişe, palet gibi direk olarak yeniden kullanılabilir ürünler için genel bir ağ tasarımı ve tesis yer seçimi problemi için stratejik bir model geliştirmişlerdir. Lee ve Dong [26], hayat çevrimini tamamlamış bilgisayarların geri kazanımı için geliştirdikleri deterministik model ile ileri ve tersine akışı optimize etmeye çalışmışlardır. Modelin çözümü için sezgisel bir yöntem geliştiren yazarlar, sayısal analizlerle önerilen metodun geçerliliğini test etmişlerdir. Salema vd. [25, 34], ilk olarak depo yer seçimi ve atama problemi için bir model geliştirmişlerdir. Kapasite sınırsız, tek ürünlü olarak geliştirilen model daha sonra kapasite sınırlı ve çok ürünlü olacak şekilde genişletilmiştir. İkinci makalelerinde yazarlar Fleischmann vd. tarafından kurulan genel tersine lojistik modelini, çok ürünlü, kapasite sınırlı, ürün talep ve geri dönüşlerini belirsiz olarak geliştirmişler ve örnek bir olay üzerinde çözmüşlerdir. Her iki makalede de aynı örnek olay incelenmiştir. Choinard vd. [28], kullanıcılardan geri dönen ürünlerin toplanması, yeniden işlenmesi ve uygun bir şekilde elden çıkarılmasını konu edinen deterministik bir model geliştirmişlerdir. Ko ve Evans [13], 3. parti servis sağlayıcıları için ileri ve geri akışı aynı anda optimize etmek üzere çok dönemli, iki aşamalı, çok ürünlü, bütünleşik karma tamsayı doğrusal olmayan dinamik bir model geliştirerek, genetik algoritma temelli sezgisel bir yöntem ile çözmüşlerdir. Yöntem, bir problem kümesi üzerinde test edilmiş ve sayısal sonuçlar verilmiştir. Model, 3. Parti servis sağlayıcılarının taşıma ve depolama gibi maliyetlerinin minimize edilmesini amaçlamaktadır. Lu ve Bostel [23], ileri ve geri akışı ve karşılıklı

etkileşimlerini içeren iki aşamalı model geliştirmişler ve Langrangian çarpanlarını temel alan bir algoritma ile çözdükleri modeli çeşitli problemler üzerinde test etmişlerdir. Min ve Ko [35], 3. parti servis sağlayıcılar için tamir tesislerinin yer seçimi ve atamasına çözüm üretmek amacıyla karma tamsayı model geliştirmişler ve modeli genetik algoritma kullanarak örnek bir problem üzerinde çözmüşlerdir. Demirel ve Gökçen [20], kullanılmış ürünlerin toplanarak ayrıştırıldığı, uygun kalitede olan parçaların yeni ürünlerin imalatında kullanıldığı, ileri ve geri akışı içeren bütünleşik bir ağ tasarlamışlardır. Geliştirilen model, büyük çaplı problemler üzerinde test edilmiştir. Du ve Evans [18], tamir görmek için servise dönen ürünlerin geri akışını konu edinen 2 amaçlı bir model geliştirmişlerdir. İmalatçının satış sonrası hizmetleri için dış kaynak kullanımı yoluna gitmesi durumu incelenmiştir. Fandel ve Stammen [36], sabit maliyetler, üretim, taşıma ve işleme maliyetleri yanında geri kazanılan ürünlerin satış gelirlerini de dikkate alan çok dönemli bir model geliştirmiştir. Son olarak Listes [30], çok sayıda alternatif senaryo için belirsizlik içeren tersine lojistik sistemlerinde ileri ve geri akışı optimize etmek üzere genel bir stokastik model geliştirmiştir.

3.2. Bağımsız Modeller (Independent Models)

Wang vd. [37], geri kazanılan kâğıtların taşınmasını ele alan bir model geliştirmişlerdir. Modelin çözülmesiyle taşıma maliyetlerini optimize etmek üzere hangi noktalara işleme tesislerinin açılması gerektiği kararı alınmıştır. Kâğıt geri dönüşümünü ele alan bir diğer çalışma Pati vd. [19] tarafından yapılmıştır. Yazarlar atık kâğıtların geri dönüşümü için amaç programlama yaklaşımı kullanmıştır. Çalışmada çok ürün, çok aşama ve çok tesisli yan yapı dikkate alınmıştır. Spengler vd. [24], endüstriyel yan ürünlerin ve hayat çevrimini tamamlamış ürünlerin geri dönüşümü ve ayrıştırılmasını ele almışlardır. Barros vd. [11], Hollanda'da kumun geri dönüşümünü konu edinen iki aşamalı bir ağ tasarlayarak modellemiş ve modeli sezgisel kullanarak çözmüşlerdir. Diğer taraftan, Listes ve Dekker [29], Barros ve arkadaşlarının yaptıkları ve Hollanda'da kumun geri dönüşümünü konu edindikleri örnek olayı temel almışlardır. Çalışmada geri kazanımlı ağ tasarımı için deterministik tesis yer seçimi problemine belirsizlikleri dâhil etmek üzere stokastik bir yaklaşım uygulanmıştır. Krikke vd. [10], bir fotokopi makinesi modelinin yeniden imalatı için çeşitli senaryolar altında tersine lojistik ağı tasarlamışlardır. Çalışmada ayrıca doğrusal modelleme ile karma tamsayı doğrusal modelleme yaklaşımları kıyaslanmıştır. Pochampally ve Gupta [38], etkin bir tersine tedarik zinciri tasarımı için çeşitli belirsizlikleri dikkate alan üç aşamalı bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Birinci aşamada geri kazanım için ekonomik olan ürünün seçilmesine yönelik bir karma tamsayı programlama modeli geliştirilmiş, ikinci aşamada AHP yöntemi ile

aday geri kazanım tesisleri belirlenmiş ve son olarak üçüncü aşamada, kesikli tesis yer seçimi modeli ile doğru ürünlerin doğru miktarlarda taşınması sağlanmıştır. Schultmann vd. [39], değişik durumlar için optimum tedarik zinciri tasarlamak üzere iki aşamalı tesis yer seçimi problemi geliştirmişlerdir. Min vd. [40], çok aşamalı bir tersine lojistik ağı tasarlamak üzere karma tamsayılı doğrusal olmayan bir programlama modeli geliştirmiş ve genetik algoritma kullanılarak çözmüşlerdir. Model ve çözüm algoritması örnek bir problem üzerinde denenmiştir. Tang ve Xie [41], tesisler, müşteriler, toplama ve tamir merkezlerinden oluşan ve ürünlerin geri kazanımı ele alan bir şebeke tasarlamış ve modellemişlerdir. Operasyonel maliyetlerin minimizasyonunu amaçlayan model, genetik algoritma tabanlı sezgisel yöntem yardımıyla çözülmüştür. Çalışmada ayrıca deney tasarımı ve sayısal sonuçlarına yer verilmiştir. Ammons vd. [42], halı geri dönüşümü için etkin bir tersine ağ tasarlamak üzere bir karma tamsayılı programlama modeli geliştirmişlerdir. Halı geri dönüşümünü ele alan bir diğer çalışma Louwers vd. [17] tarafından yapılmıştır. Yazarlar halı malzemelerinin toplanması, yeniden işlenmesi ve yeniden dağıtımı için bir tesis yer seçimi ve atama problemi geliştirmişler ve modelin Avrupa ve ABD’de olmak üzere iki farklı uygulamasını yapmışlardır. Shih [43], Taiwanda elektrikli aletlerin ve bilgisayarların geri dönüşümünü ele alan bir çalışma yapmıştır. Çalışmada, taşıma, operasyon, elden çıkarma gibi maliyetlerin yanında geri kazanılan ürünlerin satışından elde edilen gelirler de dikkate alınmıştır ve değişik geri dönüş oranları içeren pek çok farklı senaryo geliştirilmiştir. Assavapoke vd. [27], etkin bir tersine lojistik ağı tasarlamak amacıyla bir model geliştirerek, model parametrelerinin tahmini için istatistiksel bir yaklaşım kullanmışlar ve Teksas’da elektronik ürünlerin geri dönüşümünü konu edinen bir örnek olay incelemişlerdir. Jayaraman vd. [12], Kuzey Amerika’da küçük bir elektronik ürünün yeniden imalatını gerçekleştiren firmanın lojistik ağını incelemişler ve firma verilerini geliştirdikleri modelin çözümünde kullanmışlardır. Daha sonra, Jayaraman vd. [22], önceki çalışmalarını zararlı ürünlerin geri kazanımını içeren iki aşamalı hiyerarşik bir yer seçimi modeli şeklinde geliştirmişlerdir. Modeli sezgisel yöntem kullanarak çözen yazarlar yöntemi test etmişlerdir. Elektronik ürünlerin geri kazanımını inceleyen bir diğer çalışma da Xanthopoulos ve Iakovou [44] tarafından yapılmıştır. Yazarlar, etkin bir tersine lojistik ağı tasarlamak üzere elektronik ürünlerin geri kazanımı için 5 aşamalı bir yöntem geliştirmişlerdir. İlk aşama; tersine lojistik ağı tasarımını, ikinci aşama mevcut durum analizini içermektedir. Üçüncü aşamada alternatif ağ tasarımları, dördüncü aşamada ise tesislerin yerleri değerlendirilerek, son aşamada bir uygulama planı geliştirilmiştir. Lieckens ve Vandaele [15], tersine lojistik sistemlerin dinamik yapısını ve bu sistemlerdeki belirsizlikleri ağ tasarımına dâhil etmek

için literatürde bulunan karma tamsayılı doğrusal programlama modelleri ile kuyruk sistemlerini birleştirerek, karma tamsayılı doğrusal olmayan bir programlama modeli sunmuşlardır. Çalışmada genetik algoritma tabanlı bir teknik kullanılarak çok sayıda örnek çözülmüştür. Aras ve Asken [45], toplama merkezlerinin yer seçimi problemini ele almışlardır. Geliştirdikleri karma tamsayılı doğrusal olmayan tesis yer seçimi ve atama modeli ile hem toplama merkezlerinin yerlerine hem de geri dönen ürünler için müşterilere uygulanacak uygun teşvik miktarlarına yönelik kararları almaya çalışmışlardır. Sezgisel bir yöntem kullanarak modeli çözen yazarlar yöntemin performansını deney tasarımı geliştirerek test etmişlerdir. Srivastava [46], tersine lojistik ağı tasarımı için bir karma tamsayılı programlama modeli geliştirmiş, daha sonra hiyerarşik optimizasyon modeli ile çeşitli senaryolar için sistemin kârını maksimize etmeye çalışmıştır. Kusumastuti [14], çok amaçlı, çok dönemli bir karma tamsayılı programlama modeli geliştirerek, genetik algoritma yardımıyla çözmüştür. Tersine lojistikteki çeşitli belirsizliklerin sisteme dâhil edilebilmesi için simulasyon kullanılmış, yöntem bilgisayarların geri kazanımını konu edinen bir örnek üzerine uygulanmıştır.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER (CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS)

Son yıllarda tüketimde meydana gelen artışlar kaynakların azalmasına, atık üretiminin artmasına ve çevrenin büyük ölçüde zarar görmesine neden olmaktadır. Bu konuya hassasiyet gösteren tüketiciler ve hükümetler atıkların azaltılması ve doğal kaynak kullanımı için üreticilere sorumluluklar yüklemektedir. Tüketicilerin ve hükümetlerin imalatçılar üzerindeki baskıları ve firmaların kâr elde etme arzuları onları tedarik zincirleri boyunca ürünlerin ileri yönlü akışına ters yönde bir akışı sistemlerine dâhil etmeye zorlamaktadır. Bu yüzden, artık pek çok firma için aynı zamanda tersine bir lojistik kanalının da yönetilmesi gerekmektedir.

Tersine akışın söz konusu olduğu sistemlerin planlanması ve yönetilmesi; kullanılan ürünlerin müşterilerden geri dönüş zamanının ve miktarların belirsiz olması, dönen ürünlerin farklı rota ve işlem zamanı gereksinimleri, ikincil pazarlardaki talep belirsizlikleri ve daha birçok faktöre bağlı olarak geleneksel sistemlere göre daha karmaşıktır. Bütün bu belirsizlikler, tersine akışın geleneksel ileri yönlü lojistik sistemlerle yönetilmesini imkânsız hâle getirmektedir. Kullanılmış ürünlerin yeniden imalat, geri dönüşüm, tamir gibi yöntemler kullanılarak geri kazandırıldığı tersine lojistik yapılarda, ileri lojistik sistemlerinde var olan tesislerin dışında; toplama, ayrıştırma, geri kazanım gibi faaliyetlerin gerçekleştirildiği farklı tesislere ihtiyaç vardır.

Literatürde tersine lojistik ağı tasarımını konu edinen pek çok çalışma yapılmıştır. Bu makalede, günümüze kadar konuyla ilgili yapılmış olan çalışmalar incelenmiş ve genel özellikleri analiz edilmeye çalışılmıştır. Bu çalışmalar, ileri ve tersine akışı bağımsız ya da bütünlük olarak modellemeleri, amaç fonksiyonu yapıları, örnek olay içerip içermemeleri gibi farklı özellikleri dikkate alınarak sınıflandırılmıştır. Bu çalışmanın, konu ile ilgilenen araştırmacılar için önemli bir doküman olacağı düşünülmektedir.

Literatürdeki bu çalışmalara ek olarak farklı ürün ailelerinin geri kazanımının söz konusu olduğu, farklı görevler ve geri kazanım opsiyonları içeren sistemler modellenerek çözüm yöntemleri geliştirilebilir. Ürün kaliteleri, dönüş zamanları ve miktarlarındaki belirsizliklerle baş edebilmek üzere stokastik yapılar ve hibrit sistemler geliştirilebilir. Ayrıca tersine lojistik ağı yapısını etkileyen farklı unsurları analiz eden çalışmalara yer verilebilir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Dowlatshahi, S., "A strategic framework for the design and implementation of remanufacturing operations in reverse logistics", **International Journal of Production Research**, Cilt 43, No 16, 3455–3480, 2005.
2. Fleischmann M., Beullens, P., Bloemhof-Ruwaard, J.M., van Wassenhove, L.N., "The Impact of Product Recovery on Logistics Network Design", **Production and Operations Management**, Cilt 10, No 2, 156, 2001.
3. Fleischmann, M., Bloemhof-Ruwaard, J.M., Dekker, R., van der Laan, E., van Nunen, J.A.E.E. And van Wassenhove, L.N., "Quantitative models for reverse logistics: a review (Invited Review)", **European Journal of Operational Research**, Cilt 103, No 1, 1-17, 1997.
4. Hillegersberg, J., Zuidwijk, R., Nunen, J., Eijk, D., "Supporting Return Flows in the Supply Chain", **Communications of the ACM**, Cilt 44, No 6, 74-79, 2001.
5. Gungor, A. ve Gupta, S.M., "Issues in environmentally conscious manufacturing and product recovery: A survey", **Computers and Industrial Engineering**, Cilt 36, No 4, 811-853, 1999.
6. Lourenço, H.R., Soto, J.P., Institut D'estudis Territorials, Publications-Document de treball, www.ietcat.org, "Reverse logistics models and applications: A recoverable production planning model", 2002.
7. Tibben-Lemke, R.S. ve Rogers, D.S. "Differences Between Forward and Reverse Logistics in a Retail Environment", **Supply Chain Management: An International Journal**, Cilt 7, No 5, 271-282, 2002.
8. Lu, Z., Bostel, N., Dejax, P., "Simple Plant Location Problem with Reverse Flow", **Supply Chain Optimisation Product/Process Design, Facility Location and Flow Control**, Cilt 94, Panos M. Pardalos, Donald W. Hearn (Editors), 151-166, 2005.
9. Kroon, L. ve Vrijens, G., "Returnable Containers: An Example of Reverse Logistics", **International Journal of Physical Distribution and Logistics Management**, Cilt 25, No 2, 56-68, 1995.
10. Krikke, H.R., van Harten, A., Schuur, P.C., "Business Case Oce: Reverse Logistic Network Redesign for Copiers", **OR Spectrum**, Cilt 21, No 3, 381-409, 1999.
11. Barros A.I., Dekker R., Scholten V.A., "A Two-level Network for Recycling Sand: A Case Study", **European Journal of Operational Research**, Cilt 110, 199–214, 1998.
12. Jayaraman V., Guide Jr. V.D.R., Srivastava R., "A Closedloop Logistics Model for Remanufacturing", **Journal of the Operational Research Society**, Cilt 50, 497–508, 1999.
13. Ko, H.J. ve Evans, G.W., "A Generic Algorithm-based Heuristic for the Dynamic Integrated Forward/Reverse Logistics Network for 3PL's", **Computers and Operations Research**, Cilt 34, 346-366, 2007.
14. Kusumastuti, R.D., Piplani, R., Lim, G.H., "An Approach to Design Reverse Logistics Networks for Product Recovery", **Engineering Management Conference**, 2004 IEEE international, Cilt 3, 1239- 1243, 2004.
15. Lieckens, K. ve Vandaele, N., "Reverse Logistics Network Design with Stochastic Lead Times", **Computers and Operations Research**, Cilt 34, 395-416, 2007.
16. Thierry M.C., **An Analysis of the Impact of Product Recovery Management on Manufacturing Companies**, Doktora Tezi, Erasmus University, Rotterdam, 1997.
17. Louwers, D., Kip, B.J., Peters, E., Souren, F., Flapper, S.D.P., "A Facility Location Allocation Model for Reusing Carpet Material", **Computers and Industrial Engineering**, Cilt 36, No 4, 855–869, 1999.
18. Du, F. ve Evans G.W., "A Bi-objective Reverse Logistics Network Analysis for Post-sale Service", **Computers and Operations Research**, Cilt 35, 2617-2634, 2008.
19. Pati, R.K., Vrat, P., Kumar, P., "A Goal Programming Model for Paper Recycling System", **Omega**, Cilt 36, 405- 417, 2008.
20. Demirel Özgün N. ve Gökçen H., "A Mixed Integer Programming Model for Remanufacturing in Reverse Logistics Environment", **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, baskıda, 2008.

21. Beamon, B.M. ve Fernandes, C., "Supply-Chain Network Configuration For Product Recovery", **Production Planning and Control**, Cilt 15, No 3, 270-281, 2004.
22. Jayaraman, V., Patterson, R.A., Rolland, E., "The Design of Reverse Distribution Networks: Models and Solution Procedures", **European Journal of Operational Research**, Cilt 150, No 2, 128-149, 2003.
23. Lu, Z., Bostel, N., "A Facility Location Model for Logistics Systems Including Reverse Flows: The Case of Remanufacturing Activities", **Computers and Operations Research**, Cilt 34, 299-323, 2007.
24. Spengler T., Püchert H., Penkuhn T., Rentz O., "Environmental Integrated Production and Recycling Management", *European Journal of Operational Research*, Cilt 97, 308-326, 1997.
25. Salema M.I.G., Barbosa-Povoa, A.P., Novais, A.Q., "An Optimization Model for the Design of a Capacitated Multi-product Reverse Logistics Network with Uncertainty", **European Journal of Operational Research**, Cilt 179, 1063-1077, 2007.
26. Lee, D.H. ve Dong, M., "A Heuristic Approach to Logistics Network Design for End-of-lease Computer Products Recovery", **Transportation Research Part E**, baskıda, 2007.
27. Assavapoke, T., Wayuparb, P., Yao, H., "Reverse Logistics Network Design for Electronic Products in the State of Texas", Technical Report at the University of Houston, September 2006.
28. Chouinard, M., D'Amours, S., Ait-Kadi, D., "Design of Reverse Logistics Networks for Multiproducts, Multistates, and Multiprocessing Alternatives", **Trends in Supply Chain Design and Management**, Springer, London, 2007.
29. Listeş, O. ve Dekker, R., "A Stochastic Approach to a Case Study for Product Recovery Network Design", **European Journal of Operational Research**, Cilt 160, 268-287, 2005.
30. Listeş, O., "A Generic Stochastic Model for Supply-and-Return Network Design", **Computers and Operations Research**, Cilt 34, 417-442, 2007.
31. Berger T. ve Debaillie B., **Location of disassembly centres for re-use to extend an existing distribution network**, Master Tezi, University of Leuven, Belgium (in Dutch), 1997.
32. Fleischmann M., **Quantitative Models for Reverse Logistics**. Springer, Berlin, Germany, 2001.
33. Lu Z., Bostel, N., ve Dejax, P., "The Simple Plant Location Problem with Reverse Flows". In: A. Dolgui, J. Soldek, O. Zaikin (eds.), *Supply Chain Optimization*. Kluwer Academic Publishers, In press, 2004.
34. Salema M.I., Povoa, A.P.B., Novais, A.Q., "A Warehouse-based Design Model for Reverse Logistics", **Journal of the Operational Research Society**, Cilt 57, 615-629, 2006.
35. Min H. ve Ko H.J., "The Dynamic Design of a Reverse Logistics Network from the Perspective of Third-party Logistics Service Providers", **International Journal of Production Economics**, baskıda, 2007.
36. Fandel, G., Stammen, M., "A General Model for Extended Strategic Supply Chain Management with Emphasis on Product Life Cycles Including Development and Recycling", **International Journal of Production Economics**, Cilt 89, No 3, 293-308, 2003.
37. Wang, C.H., Even, J.C., Adams, S.K., "A Mixed Integer Linear Model for Optimal Processing and Transport of Secondary Materials", **Resources, Conservation and Recycling**, Cilt 15, 65-78, 1995.
38. Pochampally, K.K. ve Gupta, S.M., "A Multi-phase Mathematical Programming Approach to Strategic Planning of an Efficient Reverse Supply Chain Network", **Proceedings of the IEEE International Symposium on the Electronics and the Environment**, 72-78, 2003.
39. Schultmann, F., Engels, B., Rentz, O., "Closed-loop Supply Chains for Spent Batteries", **Interfaces**, Cilt 33, No 6, 57-71, 2003.
40. Min H., Ko, H.J., Ko, C.S., "A Genetic Algorithm Approach to Developing the Multi-echelon Reverse Logistics Network for Product Returns", **Omega**, Cilt 34, 56-69, 2006.
41. Tang Q., Xie, F., "A Genetic Algorithm for Reverse Logistics Network Design", **Third International Conference on Natural Computation**, Cilt 4, 277-281, 2007.
42. Ammons J.C., Realf, M.J., Newton, D., "Reverse Production System Design and Operation for Carpet Recycling", Work paper, Georgia Institute of Technology, 1997.
43. Shih, L.S., "Reverse Logistics System Planning for Recycling Electrical Appliances and Computers in Taiwan", **Resources, Conservation and Recycling**, Cilt 32, 55-72, 2001.
44. Xanthopoulos, A. ve Iakovou, E., "A Methodological Framework for the Efficient Configuration of a Reverse Logistics Network", in *Protection2006*, 2006.
45. Aras, N. ve Asken, D., "Locating Collection Centers for Distance-and Incentive-dependent Returns", **International Journal of Production Economics**, Cilt 111, 316-333, 2008.
46. Srivastava, S.K., "Network Design for Reverse Logistics", **Omega**, Cilt 36, 535-548, 2008.