

**TERSİNE LOJİSTİK AĞLARINDA TOPLAMA MERKEZLERİ İÇİN
YER SEÇİMİ**

İŞİL BASMACI

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**TOBB EKONOMİ VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MART 2013

ANKARA

Fen Bilimleri Enstitü onayı

Prof. Dr. Ünver KAYNAK

Müdür

Bu tezin Yüksek Lisans derecesinin tüm gereksinimlerini sağladığını onaylarım.

Prof. Dr. Tahir KHANIYEV

Anabilim Dalı Başkanı

IŞIL BASMACI tarafından hazırlanan TERSİNE LOJİSTİK AĞLARINDA TOPLAMA MERKEZLERİ İÇİN YER SEÇİMİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Sibel ALUMUR ALEV

Tez Danışmanı

Tez Jüri Üyeleri

Başkan: Doç. Dr. Bahar YETİŞ KARA

Üye: Yrd. Doç. Dr. Hakan GÜLTEKİN

Üye: Yrd. Doç. Dr. Sibel ALUMUR ALEV

TEZ BİLDİRİMİ

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

İŞİL BASMACI

Üniversitesi : TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi
Enstitüsü : Fen Bilimleri
Anabilim Dalı : Endüstri Mühendisliği
Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Sibel ALUMUR ALEV
Tez Türü ve Tarihi : Yüksek Lisans – Mart 2013

IŞIL BASMACI

TERSİNE LOJİSTİK AĞLARINDA TOPLAMA MERKEZLERİ İÇİN YER SEÇİMİ

ÖZET

Bu çalışmada, tersine lojistik ağlarında belediyelerin sorumluluğunda kurulan toplama merkezleri için yer seçimi problemi ele alınmaktadır. Bu problem kapsamında toplama merkezlerinin hangi dönemlerde ve hangi büyüklüklerde nerelere kurulacağına karar verilmektedir. Bunun yanında, her bir dönemde, her bir tüketim noktasından her bir toplama merkezine ve her bir toplama merkezinden her bir firmaya, ne kadar miktarlarda ürün gönderileceğine de karar verilmektedir. Yapılan çalışmanın üç amacı vardır. Bunlar; toplam maliyeti en küçükmek, firmalar arasında adil bir dağıtım yapabilmek ve firmalara planlama çevreni içerisinde düzenli akış gönderebilmektir. Problem için çok amaçlı bir tamsayılı programlama modeli önerilmektedir. Modelin, elektrikli ve elektronik aletlerin toplanması kapsamında Ankara ilçe ve bucakları üzerinde bir uygulaması sunulmaktadır. Belirlenen parametre değerlerindeki değişimin problemin optimal çözümü üzerine olan etkilerini incelemek için duyarlılık analizleri yapılmıştır. Yapılan analizler arasında sabit tesis kurulum maliyetleri ve kapasite büyüklüklerindeki değişimlerin, arz ve ürün büyüme hızındaki değişimlerin ve planlama çevrenindeki değişimin etkileri bulunmaktadır. Ayrıca, çok dönemli planlamanın avantajı incelenmiş ve modelin çözüm potansiyeli araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Tersine Lojistik, Tesis Yer Seçimi, Çok Amaçlı Model, WEEE, Eşitlik.

University : TOBB University of Economics and Technology
Institute : Institute of Natural and Applied Sciences
Science Programme : Industrial Engineering
Supervisor : Assist. Prof. Sibel ALUMUR ALEV
Degree Awarded and Date : M.Sc. – March 2013

IŞIL BASMACI

**COLLECTION CENTER LOCATION IN REVERSE LOGISTICS
NETWORKS**

ABSTRACT

In this thesis, we study collection center location problem for municipalities within reverse logistics networks. The aim of the problem is to determine the locations and the capacities of the collection centers through the planning horizon. For each time period, the decisions to be made include the location and the capacities of the collection centers, amounts of products to send from each generation point to each collection center and the amounts of products to send from each collection center to each firm. The problem has three objectives. The first one is to minimize total costs, second one is to distribute products fairly among different firms, and the third is to provide steady flow of products to each firm along the planning horizon. The problem is modeled as a multi-objective mixed integer programming formulation. An implementation of the problem is proposed for Ankara municipality within the context of waste of electrical and electronic equipment collection. Sensitivity analyses are presented to observe the effect of changes in the problem parameters on optimal solutions. The analyses include changes in the set-up costs and capacities, changes in the amount of returns and growth rate, and changes in the planning horizon. In addition, the solution potential of the model and the benefits of using a multi-period model as opposed to a static one are investigated.

Keywords: Reverse Logistics, Facility Location, Multiobjective Model, WEEE, Equity.

TEŞEKKÜR

Çalışmamı tamamlamamda gerekli ilgi ve desteklerini esirgemeyen sayın hocalarım Doç. Dr. Bahar YETİŞ KARA'ya ve Yrd. Doç. Dr. Hakan GÜLTEKİN'e çok değerli katkılarından dolayı sonsuz teşekkürü bir borç bilirim.

Tez danışmanlığımı yapan değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Sibel ALUMUR ALEV'e tüm yüksek lisans eğitimim boyunca bana güvenerek her zaman yol gösterdiği ve ilgi duyduğum bir konuda çalışma imkânı verdiği için çok teşekkür ederim. Yoğun ve sıkıntılı geçen tez sürecini Sibel Hoca'nın yardımları ve pozitif enerjisi olmadan tamamlamak çok zor olacaktı. Sibel Hoca'yı tanıdığım günden itibaren her zaman kendimi şanslı olarak hissettim ve bundan sonraki hayatım boyunca da öğrencisi olmaktan gurur duyacağım. Uzun toplantılarımız sonucunda bana ayırdığı vakti hiç düşünmeden, anlaşılmayan konular üzerinde tekrar tekrar açıklama yaparak günlük programını aksatmamak için çoğu zaman öğle yemeklerini bile kaçıran hocama bana olan emekleri, sonsuz anlayışı ve özverisi için çok teşekkür ederim.

Üniversite mezuniyetimden sonra eğitimime devam etmemi isteyen ve yüksek lisans diplomamı da almam için yoğun ısrarlarda bulunan babam Ecz. Murat BASMACI'ya yüksek endüstri mühendisi olarak bu gururu yaşamama imkân verdiği ve para kazanmaktan çok hayat boyu sürekli eğitimin önemli olduğunu belirterek, yoğun iş ortamına girmeden biraz daha öğrencilik hayatı sürdürmemi sağladığı için teşekkürü bir borç bilirim.

İlkokulda hecelemeyi öğrendiğim andan, karmaşık matematiksel modelleri bilgisayarda çözdüğüm ve artık yüksek lisans eğitimimi de tamamladığım bu zamana kadar geçen uzun yıllar ya da hissettiğim göz açıp kapayıncaya kadar hızlıca akan göreceli zaman dilimi içerisinde her zaman yanımda olarak manevi desteğini ve güzel yemeklerini benden esirgemeyen annem F. Ülkü BASMACI'ya çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

1. GİRİŞ	1
2. TERSİNE LOJİSTİK	3
2.1. Tersine Lojistik Neden Uygulanır?.....	5
2.1.1. Kullanılmış Ürün Göndericileri Tarafından.....	5
2.1.2. Kullanılmış Ürün Alıcıları Tarafından	6
2.2. Tersine Lojistik Ağları	8
2.3. Tersine Lojistik Uygulamalarından Örnekler.....	11
2.3.1. Avrupa’da Tersine Lojistik Uygulamaları.....	12
2.3.2. Diğer Dünya Ülkelerindeki Tersine Lojistik Uygulamalarından Örnekler ...	16
2.3.3. Türkiye’deki Tersine Lojistik Uygulamalarından Örnekler	17
3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	19
3.1. Tersine Lojistik Ağı Tasarımında Tesis Yer Seçimi.....	19
3.2. Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Ağı Tasarımında Tesis Yer Seçimi	24
3.3. Tesis Yer Seçiminde Eşitlik Ölçümleri.....	28
4. PROBLEM TANIMI VE MATEMATİKSEL MODEL	31
4.1. Problem Tanımı	31
4.2. Çok Amaçlı Karma Tamsayılı Matematiksel Model.....	34
5. PROBLEMİN UYGULAMASI.....	43
5.1. Problem Parametreleri.....	43
5.2. Çok Amaçlı Çözüm Yöntemi	48
5.3. Problemin Çözümü	52
6. DUYARLILIK ANALİZLERİ.....	59
6.1. Sabit Tesis Kurulum Maliyetleri ve Kapasite Büyüklüklerindeki Değişimler	59

6.2. Arz Miktarlarındaki Değişimin Etkileri	62
6.3. Ürün Büyüme Hızındaki Değişimin Etkileri	64
6.4. Planlama Çevrenindeki Değişimin Etkileri	66
6.4.1. Periyot Süresindeki Değişim.....	66
6.4.2. Planlama Çevreni Uzunluğundaki Değişim.....	68
6.5. Çok Dönemli Planlamanın Avantajı	70
6.6. Modelin Çözüm Potansiyeli	72
7. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE GELECEK ÇALIŞMALAR	75
KAYNAKLAR.....	79
EKLER.....	86
ÖZGEÇMİŞ.....	93

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil 2.1: Tersine lojistik ağı yapısı	9
Şekil 4.1: İki aşamalı tersine lojistik ağı	33
Şekil 4.2: Modelin bazı karar değişkenleri ve parametreleri	38
Şekil 5.1: Ankara'daki 39 tüketim noktası ve potansiyel toplama merkezi yerleri	44
Şekil 5.2: Yöntem 1 ve Yöntem 2 adımları	49
Şekil 5.3: Örnek problem çözümü	53
Şekil 5.4: Kapasite kurulum kararları	54
Şekil 5.5: Tüketim noktalarından toplama merkezlerine gönderilen ürün miktarları	55
Şekil 5.6: Firmalara gönderilen talep fazlası ürün miktarları	56
Şekil 5.7: Firma A'ya gönderilen ürün miktarları	57
Şekil 5.8: Firma B'ye gönderilen ürün miktarları	58
Şekil 6.1: Farklı senaryolar altında Akyurt'ta grup 1 için oluşan atık ürün miktarları	64
Şekil 6.2: Planlama çevreni uzunluğundaki değişimin CPU zamanına etkisi	69
Şekil 6.3: Ankara'nın İç Anadolu Bölgesi'ndeki komşu illeri	72

TABLolarIN LİSTESİ

Tablo 2.1: WEEE Direktifine göre elektronik atıklar	13
Tablo 2.2: Elektrikli ve elektronik atıkların AB ülkelerindeki toplama ve finansal sorumluları	15
Tablo 3.1: Tersine lojistik ağı tasarımı üzerine olan çalışmalar	24
Tablo 3.2: Kapalı döngü tedarik zinciri ağı üzerine olan çalışmalar	27
Tablo 3.3: Eşitlik ölçütleri	30
Tablo 4.1: Firmalar arası eşitlik örneği	36
Tablo 4.2: Firma içi eşitlik örneği	36
Tablo 5.1: Ürün grupları ve atık oranları	45
Tablo 5.2: Atık ürünleri alan firmalar ve pazar payları	46
Tablo 5.3: Planlama çevreni başındaki maliyet parametreleri	47
Tablo 5.4: Toplam maliyetin en küçüklenmesinin sonuçları	50
Tablo 5.5: Yöntem 1 ve Yöntem 2 sonuçları	50
Tablo 5.6: Toplam maliyeti arttırmanın eşitlik amaç fonksiyonları üzerindeki etkisi	52
Tablo 6.1: Sabit kurulum maliyeti ve kapasite büyüklüklerindeki değişimin planlama çevreni sonundaki sonuçları	60
Tablo 6.2: Arz miktarlarının değiştiği on senaryo ile planlama çevreni sonundaki çözümler	63
Tablo 6.3: 400.000 EUR sabit maliyet ile farklı senaryoların sonuçları	65
Tablo 6.4: 2 aylık 6 periyot ve 1 aylık 12 periyot çözümlerinin sonuçları	67
Tablo 6.5: Planlama çevreni uzunluğundaki değişimin sonuçları	69
Tablo 6.6: Statik ve çok dönemli planlamanın kıyaslanması	71
Tablo 6.7: 39 ve 105 düğümlü problemlerin planlama çevreni sonundaki sonuçları	74

EKLERİN LİSTESİ

EK 1: Ankara'nın ilçe ve bucakları	87
EK 2: Konteyner kapasiteleri ve planlama çevreni başındaki maliyetleri	88
EK 3: Toplama merkezlerinden Firma C, D ve E'ye gönderilen ürün miktarları	89
EK 4: Ankara ve Ankara'nın komşu illerinden seçilen 105 tüketim noktası ve potansiyel toplama merkezi yerleri	91

1. GİRİŞ

Tersine lojistik, ürünlerin veya malzemelerin, son tüketiciden tedarikçiye doğru akan lojistik süreçlerinin, uygun maliyetlerle, etkin ve verimli bir şekilde yapılmasını amaçlamaktadır. Tersine lojistik kapsamında ömrünü veya işlevini tamamlamış, fazladan veya hatalı üretilen, garanti kapsamında bozulan, iade edilen veya kullanıcılar tarafından istenmeyen malzeme, parça ve ürünlerin yönetimi ve geri kazanımı ele alınmaktadır. Toplama, muayene/kontrol, sınıflandırma, demonte, yeniden üretim, geri dönüşüm ve bertaraf operasyonları tersine lojistik aktivitelerinden bazılarıdır. Tersine lojistiğin kullanılmış ürün göndericileri ve ürün alıcıları tarafından pek çok farklı uygulama nedenleri vardır. Bu nedenler arasında ekonomik faktörler, yasal zorunluluklar ve çevresel sorumluluklar bulunmaktadır.

Tersine lojistik ağını kurarken karşılaşılan ilk problem bu sistemin ilk adımı olan toplama işleminin nasıl ve kim(ler) tarafından yapılacağıdır. Bu tez kapsamında ele alınan problemde belediyelerin sorumluluğunda kurulan, kullanım ömrünü tamamlamış ya da çeşitli nedenlerden dolayı artık kullanılmayan ürünlerin geçici olarak depolandığı toplama merkezlerinin yerlerine karar verilmektedir. Problem, çok ürünlü, çok periyotlu, kapasite kısıtlı ve envanter tutan çok amaçlı doğrusal karmaşık bir tamsayı programlama modeli olarak geliştirilmiştir. Problemin amaçları arasında toplam maliyeti en küçükleme, toplama merkezlerinden firmalara ürün dağıtımını yaparken adil olmak (firmalar arası eşitlik) ve firmalara periyotlar boyunca düzenli akış göndermek (firma içi eşitlik) bulunmaktadır.

Yapılan tez yedi ana bölümden oluşmaktadır. Bir sonraki bölümde, tersine lojistik kavramı tanıtılmakta, farklı uygulayıcılar tarafından tersine lojistiğin uygulanma nedenleri, tersine lojistik ağları, Avrupa'da, diğer dünya ülkelerinde ve Türkiye'deki uygulama örneklerinden söz edilmektedir. Üçüncü bölümde, tersine lojistik ağı tasarımı, kapalı döngü tedarik zinciri ağı tasarımı ve tesis yer seçiminde eşitlik ölçümleri konularındaki ilgili literatürden bahsedilmektedir. Dördüncü bölümde, problem tanımı yapılmakta ve problemin çözümü için geliştirilen matematiksel model anlatılmaktadır. Beşinci bölümde, problemin Ankara için bir uygulaması

sunulmakta ve çözümler incelenmektedir. Altıncı bölümde, problem parametrelerindeki değişimin optimal sonuçlara olan etkilerini görmek için çeşitli duyarlılık analizleri yapılmakta ve geliştirilen modelin performansı test edilmektedir. Son olarak yedinci bölümde, tez çalışmasının genel bir değerlendirmesi yapıp elde edilen sonuçlardan bahsedilmekte ve yapılabilecek gelecek diğer çalışmalar anlatılmaktadır.

2. Tersine Lojistik

Tedarik zinciri uzun yıllar sadece ileri yönlü, yani ham maddeden son kullanıcıya doğru olan faaliyetlerle ilgilenmiştir. Ancak bugünün gelişmiş pazarlarında ürün çeşitliliğinin artması, üretim maliyetlerinin yükselmesi ve ürün kullanım ömrünün kısılması nedeniyle, tedarik zincirlerinde ürünlerin tüketiciden üreticiye doğru geri dönüş hareketleri, diğer bir deyişle tersine akışları, kaçınılmaz hale getirmiştir. Bu nedenle, ürünlerin veya malzemelerin tüketim noktalarından üreticilere doğru ilerleyişi ve geri kazanımı ile ilgili tüm operasyonları kapsayan tersine lojistik, birçok firma için önem kazanmıştır.

Tersine lojistik literatürde pek çok farklı anlamda kullanılmaktadır. Stock (1992) tersine lojistiği şu şekilde tanımlamıştır:

“... geri dönüşüm, atık bertarafı ve tehlikeli malzeme yönetimi konusunda kullanılan lojistik terimi olup, daha geniş anlamıyla belirli bir kaynaktan toplanan malzemenin azaltılması, geri dönüşümünün yapılması, tekrar kullanılması ve yok edilmesi için gerekli tüm lojistik operasyonlarını içeren bir kavramdır.”

Daha sonra Fleischmann vd. (2001) tersine lojistiği şu şekilde ifade etmiştir:

“Geleneksel tedarik ağı yönünün tersine işleyen, nihai ürünlere yeniden değer katma ya da bertaraf operasyonlarını içeren planlama, uygulama ve kontrol operasyonlarının etkili ve verimli bir şekilde gerçekleştirilmesidir.”

Fleischmann vd. (2001) tersine lojistik süreçlerini aşağıdaki gibi özetlemiştir:

- ◆ Kullanılmış ürünlerin müşterilerden toplanması;
- ◆ sınıflandırma ve ayrıştırma yöntemlerini kullanarak geri toplanan ürünlerin tasnif edilmesi ve yıpranma durumlarının belirlenmesi, muayenelerinin yapılması;
- ◆ ürünlerin geri kazanım operasyonlarından geçerek yeniden değer kazandırılması;
- ◆ ekonomik veya teknolojik nedenlerden dolayı geri kazanımı yapılamayan, hurdaya çıkmış ürünlerin bertaraf edilmesi;
- ◆ geri kazanılan kullanılmış ürünlerin ileri akışa yeniden dâhil edilmesi.

Kullanılmış ürünlerin geri kazanımı birçok yöntemle yapılmaktadır. Theierry vd. (1995) geri kazanım yöntemlerini şu şekilde kategorize etmektedir:

Yeniden kullanım: Ürünün tasarlandığı amacın dışına çıkmayıp, başka herhangi bir işlem görmeden tekrar kullanılmasıdır.

Yenileme: Ürünün temizlenip gerekli işlemlerden geçirildikten sonra yeni gibi olmasını sağlamaktır.

Onarım: Ürünlerin bozulmuş parçalarını yerine koyarak veya tamir ederek ürünün yeniden işlenmesini sağlamaktır.

Yeniden üretim: Ürün ve parçaların yeni mamuller için gerekli koşullara getirilerek tekrar işlenmesidir.

Geri dönüşüm: Kullanım dışı kalan geri dönüştürülebilir atık malzemelerin çeşitli geri dönüşüm yöntemleri ile ham madde olarak tekrar imalat süreçlerine kazandırılmasıdır.

Kapalı döngü tedarik zinciri, ileri lojistik (ham maddeden son kullanıcıya) ve tersine lojistik (son kullanıcıdan geri kazanıma ya da yeni kullanıcıya) faaliyetlerinin birlikte koordine edildiği bütünlük bir sistemdir. Ürünlerin tedarikçilerden müşterilere ulaştırılmasından sonra müşteriler tarafından, ya da tedarik zinciri sürecinin herhangi bir aşamasında, çeşitli nedenler sonucu, iade edilen ürün veya malzemelerin etkili bir şekilde yönetilmesi gerekmektedir. Bu süreçte, tersine lojistik faaliyetleri, üreticiler için, ileri lojistik aktivitelerinden daha maliyetli olabilmektedir. Dolayısı ile dağıtım ağının hem ileri akışları hem de tersine akışları göz önünde bulunduran kapalı döngü tedarik zinciri olarak tasarlanması da mümkündür.

Tersine lojistik sıklıkla “atık yönetimi” ve “yeşil lojistik” kavramlarıyla beraber anılmaktadır. Coyle ve Bardi (1980) atık yönetimini; atığın kaynağından uzaklaştırılması, içeriğine göre ayrıştırılması, toplanması, geçici depolanması, ara depolanması, geri kazanılması, taşınması, bertarafı ve bertaraf işlemleri sonrası

kontrolü ve benzeri işlemleri içeren bir yönetim biçimi olarak tanımlamıştır. Tersine lojistik, atık yönetimindeki tüm lojistik operasyonlarını kapsamaktadır.

Mangan vd. (2008) yeşil lojistiği üreticiden tüketiciye doğru olan verimli taşıma ve dağıtım sistemlerini oluştururken, sera gazı yayılımlarını takip eden, çevreye duyarlı sürdürülebilir lojistik faaliyetleri olarak tanımlamıştır. Bu kapsamda tersine lojistik faaliyetleri de çevreye duyarlı ve sürdürülebilir şekilde yapılırsa yeşil lojistik faaliyetleri olarak adlandırılabilir.

2.1. Tersine Lojistik Neden Uygulanır?

Bu kısımda kullanılmış ürün göndericileri ve kullanılmış ürün alıcıları tarafından tersine lojistik aktivitelerinin neden uygulandığından bahsedilmektedir.

2.1.1. Kullanılmış Ürün Göndericileri Tarafından

Ürünlerin üreticiler, dağıtıcılar ve tüketiciler tarafından geri gönderilmelerinin çeşitli sebepleri vardır. Bu sebeplerden bazıları aşağıda sıralanmaktadır (Brito ve Dekker, 2002).

Üreticiden Geri Dönerler

Ürünlerin üretimi sırasındaki geri dönüşlerdir. Kalite kontrol yapılırken fark edilen hatalı ve kusurlu parçalar, üretim fazlalıkları, fazla ham madde alımından kaynaklı artan parçalar ya da üretim sırasında kalite kontrolden geçememiş yarı mamuller üreticiler tarafından iade edilmektedir

Dağıtııcıdan Geri Dönerler

Ürünlerin dağıtım sırasında geri gönderilen ürün veya parçalardır. Geri çağrılan ürünler, hatalı ve bozuk parçalar, ticari geri dönüşler, satılmayan ürünler, mevsimsel olarak satışı değişim gösteren ürünlerin stok ayarlamaları sırasındaki iadeler ve fonksiyonel iadeler örnek olarak sıralanabilir. Fonksiyonel iadelere örnek olarak taşıma sırasında kullanılan palet, konteyner ve kutular verilebilir.

Tüketiciden Geri Dönerler

Ürünlerin son kullanıcılara ulaştıktan sonra çeşitli nedenlerle geri gönderilmesidir. Örnek olarak, garanti kapsamında olan ürünlerin iadesi, servis için geri dönüşler (yedek parça değişimi), kullanımı sona eren ürünler ve e-ticaret sektöründe yaygın olarak görülen iadeler verilebilir.

2.1.2. Kullanılmış Ürün Alıcıları Tarafından

Günümüzde ekonomik faktörler, yasal zorunluluklar ve çevresel sorumluluklar nedeniyle, tersine lojistik uygulamalarına, kullanılmış ürün alıcıları tarafından gösterilen ilgi giderek artmaktadır. Bu nedenlerin daha detaylı açıklamaları aşağıda anlatılmaktadır.

Ekonomik Faktörler

Dowlatshahi (2000) tersine lojistik uygulamalarının ekonomik nedenleri arasında maliyet giderlerinin azalmasını göstermiştir. Bu araştırmaya göre geri kazanım yöntemlerinden biri olan yeniden üretim operasyonu, birim maliyeti %40-60 oranında azaltabilmektedir. Maliyet azalmasındaki neden ise satın alınan ham madde ihtiyacının geri dönüştürülen ürünlerden elde edilmesidir. Örneğin, yüksek kaliteli yazıcı ve yazıcı yazılımları konularında uzman bir firma olan Xerox, 1997 yılında uygulamaya koyduğu bir programla ömrünü tamamlamış ürünleri müşterilerden geri toplayarak üretim maliyetlerinden 80 milyon dolar tasarruf elde etmiştir (Maslennikova ve Foley, 2000).

Bunun yanında, etkili uygulanan tersine lojistik yönetimi şirketlere dolaylı ve dolaylı olmayan yollarla birçok kazanç sağlamaktadır. Şirketlerin tersine lojistik yönetimini uygularken direkt kazanımları arasında; ham madde ve yatırım maliyetlerinin azaltılması, depolama ve dağıtım giderlerinin düşmesi, parça toplayıcılara ve sektördeki rakiplerine karşı rekabetçi öncelik kazanarak karlılık oranlarını artırmaları gelmektedir. Örneğin, IBM kendi bilgisayar parçalarının tüketiciler tarafından kullanımları bittikten sonra parça toplama işleri yapan komisyonculara satılmasını engellemek için birçok geri kazanım programı uygulamıştır (Ferrer, 1997).

Geri kazanımın şirketlere dolaylı olarak kazandırdığı yararlar arasında ise firmanın doğa dostu imajı geliştirerek müşteri ilişkilerini kuvvetlendirmesi örnek verilebilir. Bu pazarlama stratejisini uygulayan firmalar arasında Canon, Nikon ve Apple gelmektedir (Ferrer, 1997).

Guide ve Van Wassenhove (2003) araştırmasına göre şirketler kadar bağımsız hurda toplayıcıları da metal toplama ve satma işlerinden oldukça yüksek miktarda para kazanmaktadırlar. Kullanılmış ürünlerden toplanan ve işe yaramayan kısımlarından ayıklanan metal parçaları, hurdacılar tarafından satılarak şirketlerin ham madde ihtiyacı karşılanmaktadır.

Yasal Zorunluluklar

Atık arazi kapasitelerinin azalması gibi birçok çevresel faktör, ülkeleri geri kazanım konusunda yasal yaptırımlar uygulamaya zorlamaktadır. Eskiden üreticiler, ürünlerini tüketicilere sattıktan sonra herhangi bir sorumluluk taşımamaktaydılar. Ancak, birçok ülkede hayata geçen yönetmelikler ile üreticiler, kendi atıklarının bertarafından sorumlu tutulmaktadır. Bunun yanında üreticiler, tüketicilerden belirli miktarda kullanılmış ürün toplamak zorunda bırakılmaktadır.

Özellikle Avrupa ülkelerindeki firmalar, ürettikleri ürünlerin belirli bir kısmını geri kazanmakla yasalar gereğince sorumludur. Örneğin, Almanya'da 1991 yılında yürürlüğe giren yönetmeliğe göre firmalar sattıkları ürünlere ait paketlerin en az %60-75'ini geri dönüştürmek zorundadır (Fleischmann vd., 1997). Hollanda da ise trafik kazalarında zarar görmüş araçların %90'ının geri kazanımını sağlayacak bir sistem uygulanmaktadır (Demirel ve Gökçen, 2008).

Avrupa Birliği ülkelerinde tersine lojistik uygulamalarıyla ilgili önemli yasal zorunluluklar arasında Atık Elektrikli ve Elektronik Aletler (WEEE), Ömrünü Tamamlamış Araçlar (ELV) ve Tehlikeli Maddelerin Kullanımının Sınırlandırılması (RoHS) Direktifleri bulunmaktadır. WEEE Direktifi elektrikli ve elektronik alet atıklarının tüketicilerden toplanıp, çeşitli geri kazanım işlemlerinden geçirilerek tekrar kullanımını sağlamak için üreticilerin uygulaması gereken yasal bir zorunluluktur. Bunun yanında ELV Direktifi, tüketiciler tarafından kullanımı

tamamlanmış motorlu araçların parçalarından zararlı atıkların temizlenerek tekrar kazanım işlemine alınmasını sağlamak için tehlikeli maddelerin motorlu araçlarda kullanımının azaltılması konusunda üreticilere sorumluluklar yüklemektedir. RoHS Direktifine göre elektrikli ve elektronik ekipmanların içerdikleri tehlikeli madde içeriklerinin azaltılması gerekmektedir. Bu direktife göre ekipmanların atıkları ayrı toplanmış olsalar dahi içerdikleri tehlikeli maddelerden dolayı risk taşımaktadırlar.

Çevresel Sorumluluklar

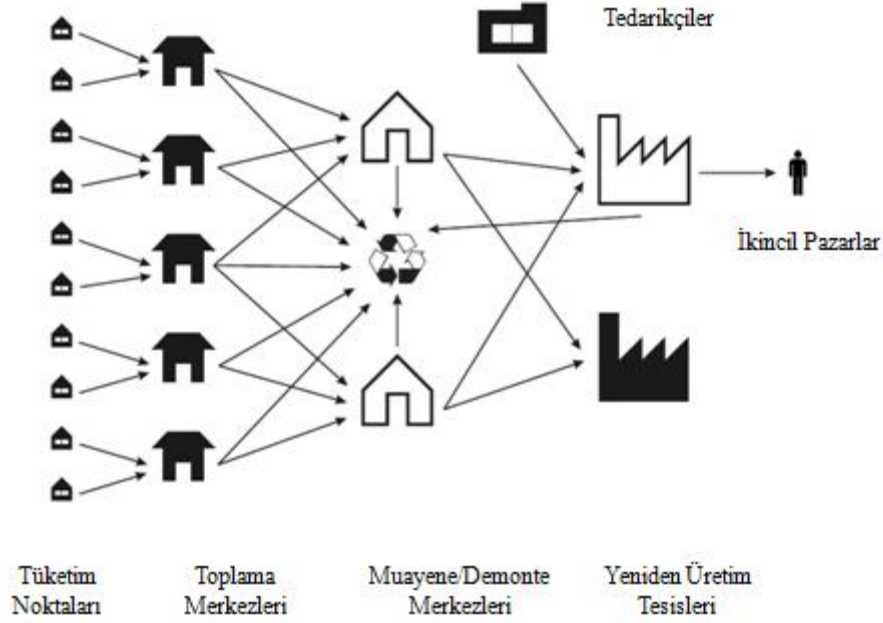
Günümüzde gittikçe artan çevre bilinci tersine lojistik aktivitelerine verilen önemin artmasını sağlamıştır. Müşteriler artık çevresel konularda çok daha bilinçli tercihler yapmaktadırlar. Örneğin, birçok müşteri daha pahalı olduğu halde süpermarketlerde geri dönüşebilir torbaları satın almayı tercih etmektedir. Bilinçli tüketiciler, artık aldıkları ürünün tedarik zinciri boyunca izlediği karbon ayak izini de takip etmek istemektedir. Bir ürün için karbon ayak izi, ürünün tedarikçiden son tüketiciye olan yolunda ne kadar miktarda sera gazı yayılımına sebep olduğu bilgisini vermektedir. Bu bağlamda, “yeşil lojistik” kavramı büyük önem kazanmıştır.

Kısıtlı doğal kaynaklar, ürün veya malzemelerin geri kazanılması gerekliliğini doğurmaktadır. Tüketilen maddelerin geri kazanılması, artan nüfus yoğunluğu nedeniyle azalan kaynak sorununa önemli bir çözüm getirmektedir. Böylece insan nüfusunun çoğalması ile artan tüketimin doğal dengeyi bozmasının ve doğaya verilen zararların önüne geçilmesi amaçlanmaktadır. Atık malzemelerin ham madde olarak kullanılması çevre kirliliğinin engellenmesi açısından da önemlidir. Atık kâğıtların tekrar kâğıt imalatında kullanılması hava kirliliğini %74-94, su kirliliğini %35, su kullanımını ise %45 oranında azaltabilmektedir (Rogers ve Tibben-Lembke, 1998).

2.2. Tersine Lojistik Ağları

Tersine lojistik ağının ilk birimi tüketiciler, müşteriler ya da kullanılmış/atık ürünleri meydana getiren tüketim noktalarıdır. Bu ürünler, müşteriler tarafından toplama merkezlerine bırakılabilir. Bunun yanında ürünler, belediyeler, üreticiler, perakendeciler ya da bu kuruluşların birlikte organize olduğu başka bir örgüt aracılığı ile de tüketicilerden toplanabilir. Toplanan kullanılmış/atık ürünler, toplama

merkezlerinde sınıflandırılır ve depolanır. Daha sonra, ürünler geri dönüşüm merkezlerine ya da muayene/demonte işlemlerinin yapıldığı tesislere iletilir. Muayenesi yapılan ürünler bu tesislerde parçalarına ayrılabilir ya da yeniden üretim tesislerine satılabilir. Yapılan muayene ve kontrol esnasında yeniden üretim işlemine giremeyeceği tespit edilen ürün ve parçalar geri dönüşüme gönderilebilir ya da hurda olarak atılabilir. Eğer üreticiler tarafından yeniden üretim tesisi açılmaya karar verirse, uygun parçalar yeniden ürün üretiminde kullanılabilir. Daha sonra yeniden üretilen ürünler genellikle geri kazanılmış ya da kullanılmış ürünlerin satıldığı ikincil pazarlarda satışa sunulur. Anlatılan bu tersine lojistik ağ yapısı Şekil 1’de yapısal olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.1: Tersine lojistik ağı yapısı (Alumur vd., 2012).

Tersine lojistik ağları tüketim noktalarından üreticilere doğru olan geri kazanım aktivitelerini (toplama, muayene/kontrol, sınıflandırma, demonte, yeniden üretim, geri dönüşüm, bertaraf gibi) ve sadece tersine yöndeki akışları içermektedir. Kapalı döngü tedarik zinciri ağları ise tersine akışların yanı sıra ileri yöndeki akışları da içeren entegre sistemlerdir.

Birçok tersine lojistik ağı kendine özgü işlemler, özellikler ve süreçlere sahiptir. Dolayısı ile ileri yöndeki lojistik ağlarından farklı ağ tasarımları, planlama ve dağıtım süreçleri uygulanabilmektedir.

Tersine lojistik ağını kurarken karşılaşılan ilk problem bu sistemin ilk adımı olan toplama işlemini kimin yapacağıdır. Belediyeler, devlet kuruluşları, perakendeciler, üreticiler ve bireysel kuruluşlar ya kendi başlarına ya da ortak bir organizasyon altında toplama işlemi yapabilmektedir.

KODAK, tek kullanımlık fotoğraf makinelerini müşterilerin mağazalara getirmeleriyle toplamaktadır. Buna benzer olarak HP boş kartuşları toplamak için kendine bağlı perakendecilerle ortak bir sistem uygulamaktadır. Son yıllarda elektronik sektöründeki perakendeciler kendi toplama sistemlerini kurmaktadır. Örneğin, Best Buy firması Greentec ile ortak olup batarya, kartuş, CD ve taşınabilir elektronik aletlerden olan cep telefonu ve mp3 oynatıcılarını kendi mağazalarında toplamaktadır (Bestbuy, 2010). Benzer olarak Japonya'da kullanım ömrünü tamamlamış elektronik aletler perakendeciler aracılığıyla toplanmaktadır.

Bazı durumlarda üreticiler, kullanım ömrünü tamamlanmış ürünleri tüketicilerden kendileri toplamaktadır. HP'nin müşteriler tarafından çeşitli nedenlerle kullanılmayan bilgisayar donanımlarını ücretsiz olarak topladığı bir programı bulunmaktadır. Benzer olarak Xerox da ömrünü veya teknolojik olarak kullanım süresini tamamlamış ürünlerini kendisi toplamaktadır (Savaskan vd., 2004).

Bazı sektörlerde firmalar ürünlerini üçüncü parti lojistik firmaları aracılığı ile toplamaktadır. Örneğin; üçüncü parti lojistik şirketleri otomobil endüstrisinde araç ve araç parçalarını topladıktan sonra geri kazanım tesislerine aktarmaktadır.

Tersine lojistik ağı tasarımındaki karar verme problemleri aşağıda önce stratejik, sonra taktik ve operasyonel problemler olmak üzere iki ana başlıkta anlatılmaktadır (Akçalı vd., 2009).

Stratejik karar verme problemleri: Göreceli olarak uzun vadeli problemlerdir (5-10 sene gibi). Örnek stratejik problemler:

- ◆ Geri kazanım tesislerinin yerlerinin ve sayısının belirlenmesi
- ◆ Geri kazanım aktivitelerinin seçimi
- ◆ Geri kazanım aktivitelerinin tesislere atanması
- ◆ Geri kazanım tesislerinin kapasitelerinin belirlenmesi

Taktik/Operasyonel karar verme problemleri: Bu kararlar göreceli olarak daha kısa vadede verilen kararlardır (günlük, aylık ve yıllık kararlar gibi). Taktik ve operasyonel problemlere örnekler:

- ◆ Yeniden üretimin planlanması ve kontrolü
- ◆ Üretim ile yeniden üretimin entegre edilmesi ve kaynak paylaşımı
- ◆ Kanun ve yönetmelikler çerçevesinde belirlenen geri kazanım hedeflerine ulaşılmasının sağlanması
- ◆ Geri kazanılan ürün ve parçalar için envanter yönetimi

2.3. Tersine Lojistik Uygulamalarından Örnekler

Günümüzde en çok bilinen tersine lojistik uygulamaları arasında geri dönüşüm gelmektedir. Hurdacılar tarafından geri dönüştürülen kâğıt, metal ve karton kutular, cam ve plastik şişeler uzun zamandır uygulanmakta olan geri dönüşüm aktivitelerinden bazılarıdır. Ömrünü tamamlamış ürünlerden elde edilen ham maddeler, hem şirketler tarafından geri kazandırılabilir, hem de ikincil pazarlarda satılabilir.

Evlerimizde biriken evsel atıkların düzenli bir biçimde her gün toplanması ve bertaraf edilmesi de tersine lojistik kapsamındaki faaliyetler arasında sayılmaktadır.

Piller cıva, kurşun ve nikel gibi ağır metaller içerdikleri için Avrupa Birliği'ne üye ülkelerin uyguladığı bir yasaya göre doğaya bırakılmaları yasaktır. Bu nedenle kullanılmış piller, tüketicilerden toplanarak içerdikleri tehlikeli maddeler temizlendikten sonra imha edilirler ya da çeşitli kimyasal süreçlerden geçtikten sonra tekrar kullanılırlar (Schultmann vd., 2003).

HP ve Xerox gibi yazıcı markaları kendi geri kazanım programlarını uygulamaktadır. HP, “Çevre için tasarım” programında daha az ham madde kullanarak maliyet tasarrufu yapmak için lazer yazıcı ve kartuşları geri kazanmaktadır. 1991 yılından beri uygulanan bu program sonunda 92.000 ton yazıcı ve kartuş dünya çapında toplanıp geri kazandırılmıştır. Bunun yanında geri kazanımdan 10 yıl içerisinde 2 trilyon dolar birikim yapan Xerox, 2004 yılında piyasaya sürdüğü ürünlerin %90’ını toplayarak geri kazandırmıştır (Aras vd., 2010).

Belirli bir film kapasitesi olup tekrar doldurulabilen KODAK markasının kullan at fotoğraf makineleri, üretim aşamasında geri kazanıma uygun olacak şekilde tasarlanmaktadır. Bu kameralar 800 milyon adet üzerinde geri kazandırılarak yeniden üretilmişlerdir (Aras vd., 2010).

2.3.1. Avrupa’da Tersine Lojistik Uygulamaları

Kullanılmış/atık elektrikli ve elektronik alet miktarlarının azaltılması ve geri kazanımlarının teşviki amacıyla Avrupa Birliği ülkelerinde Atık Elektrikli ve Elektronik Aletler (WEEE) Direktifi yasal bir zorunluluk olarak uygulanmaktadır. 2002/96/EC numaralı WEEE Direktifine göre üreticiler, sattıkları elektrikli ve elektronik aletlerin belirli bir kısmını tüketicilerden toplayıp geri kazanmakla yasalara gereğince yükümlüdür.

WEEE Direktifine göre elektronik atıklar Tablo 2.1’de görüldüğü gibi beş gruba ayrılmaktadır (ElektroG, 2005).

WEEE Direktifi aşağıda belirtilen dört kurala göre uygulanmaktadır:

- ◆ *Evsel elektrikli ve elektronik atıkların ayrı toplanması:* Bu beş kategori içerisinde yer alan ürünler toplama merkezlerinde hem diğer evsel atıklardan hem de yukarıda belirtilen ürün kategorilerine göre ayrı konteynerlerde depolanmalıdır.
- ◆ *Üretici sorumluluğu:* Ürünlerin toplanması ve geri kazanımı sırasında oluşan maliyetler üreticilere aittir. Üreticilerin toplaması gereken miktarlar her bir ürün kategorisine göre değişiklik göstermektedir.

- ◆ *Etiketleme ve ürün bilgisi:* Üreticiler ürünlerin genel atıklarla karışmasını önlemek için ürün paketleri üzerine geri dönüşümü simgeleyen bir sembol koymak zorundadırlar. Bunun yanında, kullanılmış/atık ürünlerin geri kazanımları hakkında gerekli teknik bilgiler de verilmelidir.
- ◆ *Kayıt altına alma:* Elektrikli ve elektronik ürün üreticilerinin satış miktarları ve toplamaları gereken ürün miktarları kayıt altına alınmalıdır.

Tablo 2.1: WEEE Direktifine göre elektronik atıklar.

Toplama Grubu	Elektrikli ve Elektronik Atık	Örnekler
1	Büyük ev aletleri	Bulaşık makinesi, çamaşır makinesi, çamaşır kurutma makinesi
	Otomatik makineler	Para makinesi, soğuk/sıcak içecek makinesi, yiyecek makinesi
2	Soğutucu özellikleri olan büyük ev aletleri	Büyük dondurucu ve buzdolabı donanımları, buzdolabı, soğutucular
3	Bilgi iletişim araçları	Bilgisayar, bilgisayar ekipmanları, cep telefonu
	Tüketici elektroniği	Radyo sistemleri, televizyon, müzik aletleri
4	Aydınlatma ekipmanları	Florasana lamba, kimyasal içerikli aydınlatma cihazları, ampul
5	Küçük ev aletleri	Dikiş makinesi, ütü, elektrik süpürgesi
	İzleme ve kontrol ekipmanları	Sigara detektörü, termostat, laboratuvar aletleri
	Elektrikli ve elektronik araçlar	Matkap, testere, çim biçme makinesi, kaynak makinesi
	Oyuncak ve spor aletleri	Elektrikli tren, oyun konsolları, video oyunları
	Tıbbi cihazlar	Radyoterapi ekipmanları, diyaliz/kalp makineleri, laboratuvar ekipmanları

Avrupa Birliği ülkeleri için 2007 yılından itibaren toplanması gereken elektrikli ve elektronik ürün miktarı kişi başına yıllık 4 kg'dır. Üreticilerin geri kazanımları ile ilgili olan WEEE Direktifini kendi ülkelerine adapte ederek başarıyla uygulayan ülkeler arasında Almanya, Hollanda, Fransa, Portekiz ve İspanya gelmektedir.

Almanya'da ürünlerin toplanması bölgesel olarak kurulan toplama merkezleri aracılığıyla, müşteriler üzerinde hiçbir maliyet oluşturulmadan gerçekleştirilmektedir. Toplama merkezlerindeki konteynerler ya da toplama kutuları dolmuş ise ürettikleri ürün miktarlarına göre ilgili firmalara haber verilip kullanılan

ürünlerin teslimi 48 saat içerisinde yapılmaktadır. Dolu konteynerlerin yerlerine yeni ve boş konteynerler ya da toplama kutuları konulmaktadır (Fernandez vd., 2008).

Portekiz’de elektronik atıkların toplanması üreticilerin sorumluluğundadır. Elektrikli ve elektronik alet satan 57 üretici Amb3e adlı bir organizasyon şirketi kurup, yerel yönetimlerin ve belediyelerin yardımı ile ürünlerini toplayıp tersine lojistik operasyonlarını gerçekleştirmektedir. Portekiz hükümeti ülke çapında 278 bölgeyi kapsayacak bir atık toplama sistemi kurmuştur (Salema vd., 2010).

İspanya’da toplama merkezlerinin sorumluluğu belediyelere aittir ve atıkların geri toplanması üreticilerin sorumluluğundadır (Queiruga vd., 2008). İspanya’nın nüfus yoğunluğu diğer Avrupa ülkelerine göre daha azdır (75 kişi/km²) ve her bir hane üyesinden senede 4 kg elektrikli ve elektronik atık başarı ile toplanmaktadır.

İngiltere 2005 yılında WEEE Direktifini yasallaştırmış, ancak 2007 yılında uygulamaya başlayabilmiştir. Bu gecikme uygulama sırasındaki aksaklıklardan, altyapı ve çevre bilinci eksikliğinden kaynaklanmaktadır. WEEE Direktifi öncesinde 1994 yılında yürürlüğe giren “Atık Yönetimi Düzenlemeleri” sistemi ile çevresel örgütlenmeler devlet destekli programlarla geri kazanım uygulamaları gerçekleştirilmekteydi. Bu sisteme göre üreticiler, çevresel örgütlere yasal olarak kayıt yaptırıyor ve belirli bir kota ile kullanılmış atık ürün topluyordu. Kotasına ulaşan firmalar, kotasına ulaşamayan diğer firmalara geri toplanan ürünlerden verebiliyordu. WEEE Direktifinde yer alan ürün kategorilerindeki karışıklıklar ve yasal düzenlemelerin bürokratik işlemleri sırasında yaşanan sorunlar, WEEE Direktifinin tam olarak ülkede uygulanmasını geciktirdi (Turner ve Callaghan, 2007).

WEEE Direktifi kapsamında AB ülkelerindeki belediyelerin, dağıtıcıların ve üreticilerin sorumlulukları Tablo 2.2’de sunulmaktadır.

Tablo 2.2: Elektrikli ve elektronik atıkların AB ülkelerindeki toplama ve finansal sorumluları (The producer responsibility principle of the WEEE Directive final report, 2007)

AB'ye üye ülkeler	Atık ürün toplama sorumluluğu	Finansal sorumluluk
Almanya	B	B
Avusturya	D/B/Ü	D/Ü
Belçika	D/B	D
Bulgaristan	Ü	Ü
Çek Cumhuriyeti	D/Ü	D/Ü
Danimarka	B	B
Estonya	D/Ü	D/Ü
Finlandiya	D/Ü	Ü
Fransa	D/B/Ü	D/Ü
Hollanda	D/B	D/B
İngiltere	D/Ü	D/Ü
İrlanda	D/B	D/Ü
İspanya	D/B	Ü
İsveç	Ü	Ü
İtalya	D/B	D/B
Kıbrıs	Ü	Ü
Letonya	Ü	Ü
Litvanya	D/B/Ü	Ü
Lüksemburg	D/Ü	D/B
Macaristan	Ü	Ü
Malta	D/Ü	D/Ü
Polonya	D	D
Portekiz	D/B/Ü	D/Ü
Romanya	B	B
Slovakya	D/Ü	D/Ü
Slovenya	D/B	D/B
Yunanistan	Ü	Ü

D = Dağıtıcı, B = Belediye, Ü = Üretici

Tablo 2.2'de görüldüğü gibi AB üyesi 27 ülkenin 13'ünde atık ürün toplama sorumluları arasında belediyeler bulunmaktadır.

2.3.2. Diğer Dünya Ülkelerindeki Tersine Lojistik Uygulamalarından Örnekler

Avrupa Birliğine üye olmayan ancak WEEE Direktifine benzer yönetmelikler uygulayan birçok ülke bulunmaktadır.

Bu ülkelerden biri İsviçre'dir. İsviçre, elektrikli ve elektronik atıkların geri kazanımını kanunla resmileştiren ve düzenli bir sistemle uygulayan ilk ülkedir. Bu durum İsviçre'nin geri dönüşüm ve atık bertarafı konularındaki hassasiyetini göstermektedir. Geri kazanım sisteminin finanse edilmesi elektronik ürünlerin satışı sırasında geri dönüşüm maliyetleri için önceden ödenen bir vergi ile karşılanmaktadır. 2004 yılından itibaren özel firmaların da bu sisteme katkı sağlaması ile kişi başına 11 kg elektrikli ve elektronik atık toplanmaktadır. Avrupa Birliği WEEE Direktifinde ise kişi başına 4 kg toplanması yeterli bulunmaktadır (Hischier vd., 2005).

Birçok elektronik alet üretiminin yapıldığı Çin'de hem yurtiçi elektronik atıklar hem de ABD gibi gelişmiş ülkelere gelen elektronik atıklar toplanmaktadır. Ülkede elektrikli ve elektronik ürünlerin geri kazanımı ile ilgili yönetmelikler, finansal sorunlar ve toplama sorunları yüzünden amacına uygun olarak uygulanamamaktadır. Örneğin, ülkede pek çok kişi cep telefonlarını para almadan, bedavaya toplama merkezlerine vermek yerine ek gelir kaynağı olarak gördükleri ikinci el ürün pazarlarında satmaktadırlar. Bunun yanında yasal olmayan yollarla, yerel yönetimlerin toplaması gereken elektronik atıkların ülke mafyası tarafından toplanıp yine ikinci el ürün pazarlarında satılması, yönetmeliğin uygulanmasında başarısızlık yaratmaktadır (Hicks vd., 2005).

Brezilya'da elektrikli ve elektronik aletlerin geri kazanımı ile ilgili direktif Almanya sistemine göre düzenlenmiştir. Toplanan ürünlerin geri dönüşüm sorumluluğu üreticiye aittir. Toplama merkezlerinin sorumluluğu ise belediyeler üzerindedir (Figueiredo ve Mayerle, 2008).

2.3.3. Türkiye’deki Tersine Lojistik Uygulamalarından Örnekler

Türkiye’de, diğer bazı dünya ülkelerindeki gibi yönetmelikler olmamasına rağmen, tersine lojistik uygulamaları daha çok ekonomik nedenlerle uzun yıllardır yapılmaktadır. Bu konuda verilebilecek en yaygın örnek metal, karton, cam ve plastik malzemelerin sokak toplayıcıları tarafından toplanmasıdır.

Erol vd., (2010) Türkiye’deki otomotiv, elektrik/elektronik ve beyaz eşya sektörlerinin tersine lojistik faaliyetlerini ve alt yapılarını incelemektedir. Aralarında Ford, Toyota ve Aselsan’ın da bulunduğu 40 şirketin üst düzey yöneticileri ile tersine lojistik uygulamaları üzerine anketler yapılmıştır. Buna göre; elektrik/elektronik ve beyaz eşya sektöründe tersine lojistik uygulama aşamasında olup, otomotiv sektöründe geri dönüşüm sistemleri ve tersine lojistik faaliyetleri yürütülmektedir. Ayrıca elektrik/elektronik sektöründeki firmalar geri kazanım yöntemlerini uyguladıkları zaman müşterilerinin kalitesiz mal sattıklarını düşünüp kurumsal imajlarının bozulacağına inanmaktadırlar. Ayrıca birçok firmada tersine lojistik operasyonları üretim maliyetlerini düşürmesine rağmen (Srivastova ve Srivastova, 2006) pahalı olacağı düşüncesiyle uygulanmamıştır. Bunun yanında, Türkiye’de geri kazanım konusunda yasal zorunlulukların olmaması ve ekonomik teşvik yöntemlerinin uygulanmaması geri kazanım ve tersine lojistik konularının uygulanmasını ve önemini kavranmasını engellemektedir.

Bazı şirketler “Eskisini getir, yenisini götür” kampanyaları yapmaktadır. Bu kampanyaların çoğunun amacı aslında geri kazanım programı uygulamak değil, müşteri ilişkilerini geliştirerek şirketlerin pazar paylarının artırılmasının istenmesinden kaynaklanmaktadır.

Avrupa Birliği’ne başvuru yapan ve kabul görmek için Avrupa Birliği’ne aday olan Türkiye, üyeliğe hak kazandığında Avrupa Birliği WEEE Yönetmeliğini uygulamak zorundadır. Üyeliğe kabulün sağlanması için Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından hazırlanmakta olan WEEE Direktifine benzer bir kanun tasarısı üzerinde halen çalışılmaktadır.

WEEE Direktifinin Türkiye’de kabulünden sonra ortaya çıkabilecek uygulama sorunlarının anlatıldığı Türk Beyaz Eşya Sanayicileri Derneği (TÜRK BESD) sunumuna göre (2009):

- ◆ Elektrikli ve elektronik aletlerin ömürleri tükendikten sonraki değerlendirilme alışkanlığı,
- ◆ Bazı bölgelerdeki coğrafi ve demografik farklılıklar,
- ◆ Geri kazanım alt yapısındaki eksiklikler,
- ◆ “Çevrenin korunması” bilincinin ve eğitiminin eksikliği,
- ◆ Çeşitli lojistik sorunları,
- ◆ Lojistik maliyetlerinin geri dönüşüm maliyetleriyle başa baş olması nedeniyle

WEEE Direktifinin Türkiye’ye adaptasyonu zorlu bir süreç gerektirmektedir.

Ayrıca, toplama merkezlerini üreticilerin kendi başlarına kurmaları mümkün olmadığından, toplama alanı olarak kullanılması için belediyelerin ulaşım imkânlarına ve gerekli altyapıya sahip ücretsiz alanlar tahsis etmeleri gerekmektedir.

Üreticilerin sisteme kayıt yaptırmaları için ayrı bir birimin kurulması ve kayıt işleminin sistematik bir şekilde yürütülmesi için devlet desteği almaları gerekmektedir. Sadece kayıt işlemlerinin yıllık yaklaşık 50 milyon Euro tutacağı tahmin edilmektedir (TÜRK BESD-EEA Sunumu, 2009).

TÜRK BESD’e göre Avrupa Birliği’nde WEEE Direktifi’nin sorunsuz uygulanana kadar beklenmesi, bu zaman içerisinde de elektrikli ve elektronik atıkların toplanması için Türkiye’ye uygun olabilecek yeni sistemlerin araştırılması ve geliştirilmesi önerilmektedir.

3. Literatür Araştırması

Tersine lojistik veya kapalı döngü tedarik zinciri ağlarında tesis yer seçimi üzerine olan çalışmalar ağ tasarımı, arz ve talep miktarları, planlama çevreni uzunluğu, akış varsayımları ve envanter kararları gibi farklı konular içeren problemlere yoğunlaşmıştır (Akçalı vd., 2009). Örneğin, problemin uygulama alanına yönelik olarak geliştirilen ağ yapısı farklı özellikte tesisler içerebilir. Problemlerde, arz ve talep miktarları deterministik olduğu gibi stokastik de olabilir. Parametreler planlama çevreni boyunca sabit kalabilir (statik) ya da dönemsel olarak değişiklikler gösterebilir (dinamik). Tasarlanan ağ üzerinde tekli ya da çoklu ürün akışı yapılabileceği gibi envanter kararları da verilebilir.

Bu tez kapsamında ele alınan tersine lojistik ağlarında toplama merkezleri için yer seçimi probleminin literatür araştırması üç ana başlık altında toplanmıştır. İlk bölümde sadece tersine lojistik ağları tasarımındaki tesis yer seçimi çalışmalarından, ikinci bölümde kapalı döngü tedarik zinciri ağları tasarımındaki tesis yer seçimi çalışmalarından ve son olarak üçüncü bölümde ise tesis yer seçiminde eşitlik ölçümleri konularında yapılmış çalışmalardan bahsedilmektedir.

3.1. Tersine Lojistik Ağı Tasarımında Tesis Yer Seçimi

Tersine lojistik ağlarında toplama merkezleri için tesis yer seçimi kararlarının ve birden fazla ürün akışının ele alındığı çalışmaların başında şu makaleler gelmektedir: Barros vd. (1998), Jayaraman vd. (2003), Schultmann vd. (2003) , De Figueiredo ve Mayerle (2008) , Aras ve Aksen (2008), Aras vd.(2008), Aksen vd. (2009), Salema vd. (2010), Salema vd. (2011), ve Pati vd. (2008).

Barros vd. (1998) çeşitli inşaat atıkları için deterministik, tek dönemli ve iki kademeli ağ tasarımı problemini modellemiştir. Model, sınırlı kapasitedeki toplama merkezlerinin ve yeniden işleme tesislerinin yerlerine karar vermektedir. Problemin amacı, hedeflenen atık miktarının toplanması sırasında oluşacak maliyeti minimize

etmektedir. Model, geçerli eşitsizlikler tanımlandıktan sonra LP gevşetmeleri yapılarak sezgisel olarak çözülmüştür. Problem, vaka analizi yapılarak güncel hayata uygulanmıştır. Yapılan çalışmada herhangi bir taktik/operasyonel karara değinilmemiş, sadece stratejik olarak tesis yer seçimi yapılmıştır.

Jayaraman vd. (1999) tersine lojistik ağında birden fazla ürün için model geliştiren ilk makalelerden biridir. Birden fazla ürünü modelleyen daha güncel makaleler arasında Listeş ve Dekker (2005), Pati vd. (2008) ve Fonseca vd. (2009) gelmektedir. Jayaraman (2003) tersine lojistik ağı içerisinde belediyelerin sorumluluğunda açılan belirli kapasitelere sahip toplama merkezlerinin ve ürün yenileme tesislerinin yerlerine karar vermektedir. Amaç, sistemin toplam maliyetini minimize etmektir. Bu çalışma literatüre iki önemli katkı sağlamaktadır. Bunlardan birincisi, matematiksel modelin çözümünü kolaylaştıracak, modelin zayıf ve güçlü versiyonlarının geliştirilmesidir. İkinci katkı olarak da 100 perakende satış noktası, 40 potansiyel toplama merkezi ve 30 potansiyel ürün yenileme merkezi için geliştirilen üç aşamalı sezgisel yöntemdir.

Schultmann vd. (2003) Almanya’da piller için bir tersine lojistik ağı tasarımı modeli geliştirmiştir. Önerilen model sabit kapasitelere sahip toplama ve yeniden işleme tesislerinin yerlerine iki kademeli olarak karar vermektedir. Pillerin kimyasal içeriklerine göre çok ürünlü ve tek dönemli bir model tasarlanmıştır. Model, pillerin toplanma miktarları, cıva-çinko içerikleri ve yeniden işleme tesisi sayısının farklılıkları üzerine kurulu iki ayrı senaryo altında incelenmiştir.

De Figueiredo ve Mayerle (2008) aynı anda hem stratejik hem de operasyonel olarak iki farklı probleme çözüm aramıştır. Bu problemler, stratejik karar olarak belediyelerin açacağı toplama merkezlerinin yerlerine ve operasyonel olarak da geri dönüşüm için toplanan ürün miktarlarını arttırmak için verilecek teşvik miktarlarının ne kadar olacağına karar vermektir. Model, toplanan ürünlerin sayısını arttırmaya çalışırken bir yandan da devlete olan maliyetin minimizasyonunu gerçekleştirmektedir. Kurulan matematiksel model doğrusal olmayan bir modeldir. Çözümü için “Teitz ve Bart” sezgiseli kullanılmıştır. Güney Brezilya’da kullanılmış

araba lastikleri üzerine yapılan bir çalışma ile güncel hayat verileri kullanılarak modelin uygulaması gerçekleştirilmiştir.

Queiruga vd. (2008) herhangi bir tesis yer seçimi modeli geliştirmemiştir. Ancak, İspanya'daki belediyelerin toplama ve geri dönüşüm merkezlerinin yerlerine karar verme sırasında hangi önceliklere göre yer seçimi yapılması gerektiğini matematiksel bir karar destek formülü ile yapmıştır. Bu metot "Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluations" (PROMETHEE) olarak adlandırılmaktadır. İspanya'da potansiyel olarak toplam 600 toplama merkezi bulunmaktadır. Bu merkezler PROMETHEE karar destek sistemi kullanılarak öncelikli tercihlere göre azaltılmıştır. PROMETHEE karar destek sistemine göre bir toplama merkezinin yerine karar verilirken göz önünde bulundurulacak kriterler arasında arazi, personel ve enerji maliyetleri yanında tesisin yerleşim yerlerine, geri dönüşüm merkezlerine ve atık bertaraf tesislerine yakınlığı bulunmaktadır.

Daha fazla kullanılmış ürünün geri kazanımını yapmak için, müşterilerin toplama merkezlerine gelmelerini sağlayacak yöntemlerden biri toplanan ürün miktarına göre bir teşvik verilmesidir. Aras ve Aksen (2008), Aras (2008) ve Aksen (2009) bu konuda literatürde bulunan çalışmalardan birkaçıdır. Her üç makalede de tersine lojistik ağlarında toplama merkezlerinin yerlerine karar verilmektedir. Aras ve Aksen (2008) literatürdeki araştırmalardan farklı olarak geri toplanan ürünlerin kullanılma seviyelerine göre (az kullanılmış, orta kullanılmış, çok kullanılmış) toplama alanını belirli bölgelere ayırmıştır. Bu modelde farklı ürünleri, gelen parçaların eskime seviyeleri temsil etmektedir. Modelin amacı, toplama operasyonu gerçekleştiren özel bütçeli şirketin tesis yerlerine karar verip, müşterilere verilen teşvik miktarlarını optimize ederek şirketin kârını maksimize etmektir. Doğrusal olmayan bu modelde, toplanan ürünlerin miktarı sabit değil, belirsizdir. Varsayım olarak "Bırakma Stratejisi" yani müşterilerin atık ürünlerini toplama merkezlerine mesafe ve verilecek teşvik miktarına göre bıraktıkları kabul edilmiştir. Tesis yer seçimine karar verirken tabu arama, müşterilere verilecek en uygun ücrete karar verilirken de Fibonacci arama sezgiselleri kullanılmıştır.

Aras (2008) tarafından, Aras ve Aksen (2008) matematiksel modelinin aynısı “Toplama Stratejisi” varsayımıyla çalışılmıştır. Ayrıca, sabit kapasiteli toplama araçlarının rotaları da belirlenmiştir. Toplama stratejisi, bırakma stratejisinin tersine kullanılmış ürünün müşterilerden toplama merkezleri tarafından alınmasıdır. Toplama merkezlerinin yerlerine karar verilirken tavlama benzetimi sezgiseli kullanılmış, verilebilecek en uygun teşvik miktarına karar verilirken de başka bir sezgisel algoritma kullanılmıştır.

Aksen vd. (2009) makalesinde, kullanılmış ürünlerini bırakan müşterilere devlet tarafından verilen teşvik miktarlarına karar verebilmek için bir model geliştirmiştir. Devlet ve özel bütçeli şirketler arasında yapılan anlaşma sonucunda yürütülen sistemin toplama ve geri kazanım operasyonları şirketler tarafından yapılmaktadır. Burada toplama merkezi kurma ve ürünleri toplayan araçların sorumluluğu şirketlere ait olup, devletin sorumluluğu ise bu firmalara ödenek vermektir. Müşteriler, firmaların verdikleri teşvik miktarlarına göre ürünlerini geri kazanmayı istemektedirler. Şirketlerin amacı toplama merkezlerinin yerlerine, toplama araçlarının sayılarına ve devletten alınan ürün yıpranma seviyelerine göre müşterilere verilecek teşvik miktarlarına karar verebilmektir. Şirketler devletten olabildiğince fazla miktarda ödenek payı almak istemektedirler. Devletin amacı ise şirketlere verilecek minimum ödenek tutarını belirleyebilmektir. Bu amaçla, iki aşamalı (bi-level) bir model geliştirilmiştir.

Salema’da vd. (2010) Portekiz’deki toplama merkezlerinin yerlerine karar veren bir model tasarlamıştır. Model, WEEE Direktifi kategorisinde yer alan beş elektrikli ve elektronik alet için üç farklı kapasitedeki taşıma aracı seçeneğiyle ürün toplama hedeflerine ulaşmaya çalışmıştır. Modelin amacı, tersine lojistik operasyon maliyetlerinin minimizasyonudur. Model, GAMS/CPLEX ticari çözümleri ile çözülmüştür.

Salema (2011) belediyelerin kapasiteli toplama merkezleri yerlerine karar verebilmeleri için bir tesis yer seçimi modeli önermiştir. Model, çok ürünli ve çok dönemlidir. Modelde tesis yer seçimine ek olarak, tesisler arasındaki akış miktarları da hesaplanmaktadır. Modelin amacı maliyeti minimize etmektir. Literatürdeki

örneklerden farklı bir zaman dilimi varsayımı yapılmıştır. Buna göre zaman, ürün tasarım ve planlama seviyelerine göre farklı modellenmiştir. Tasarım aşamasında statik zamanlı iken planlama aşamasında makro (bir yıl) ve mikro (aylar) dinamik zaman aralıkları kullanılmaktadır. Örnekleme için Portekiz'deki bir cam firmasının tersine lojistik uygulaması alınmış, model CPLEX ile çözülmüştür. Bu çalışmada sunulan matematiksel model Salema vd., 2010 çalışmasındaki modelle benzerlikler göstermektedir.

Tersine lojistik ağı tasarlayan bir başka makale de Alumur vd. (2012) çalışmasıdır. Burada üreticilerin kârlarını maksimize etmeleri için dinamik, kapasiteli, çok ürünlü, çok dönemli bir matematiksel model geliştirilmiştir. Senaryo bazlı duyarlılık analizleri yapılarak yönetsel sonuçlar elde edilmiştir. Amaç, toplanan ürünler için muayene/demonte ve yeniden üretim tesislerinin yer seçimini yapmak ve tesislerin dinamik ürün taleplerine göre farklı kapasite kurulumlarına karar verebilmektir.

Literatür araştırması sırasında toplama merkezlerinin nerede ve ne kadar sayıda açılmasına karar veren pek çok makale olduğu tespit edilmiştir. Ancak, bu tesisler üreticilerin ya da özel şirketlerin işlettiği yerlerdir. Bazı uygulamalarda toplama merkezlerinin sorumluluğu belediyeler gibi yerel yönetimlere de bırakılabilmektedir. Mesela, WEEE Direktifinde de belirtildiği gibi elektrikli ve elektronik atıkların toplanması aynı zamanda devletin de görevleri arasındadır. Devlet, tersine lojistik operasyonlarını belediyeler aracılığıyla yapmaktadır. Fakat literatürde belediyelerin işlettiği toplama merkezlerinin yerlerine karar veren tesis yer seçimi problemleri nadiren çalışılmıştır. De Figueiredo ve Mayerle (2008), Salema vd. (2011) ve Queiruga vd. (2008) belediyelerin elektronik atık ürün toplama sorumluluğunu inceleyen başlıca çalışmalardır.

Bu bölüm içerisinde anlatılan tersine lojistik ağlarında tesis yer seçimi literatürü Tablo 3.1'de özetlenmektedir.

Tablo 3.1: Tersine lojistik ağı tasarımı üzerine olan çalışmalar.

Makale	Statik/Dinamik	Amaç fonksiyonu	Çözüm yöntemi
Barros vd. (1998)	Statik	Maliyet	Sezgisel
Jayaraman vd. (1999)	Statik	Maliyet	Kesin (CPLEX)
Jayaraman vd. (2003)	Statik	Maliyet	Sezgisel
Schultmann vd. (2003)	Statik	Maliyet	Kesin (CPLEX)
Listeş ve Dekker (2005)	Statik	Kâr	Kesin (CPLEX)
Aras ve Aksent (2008)	Statik	Kâr	Sezgisel (Tabu arama)
Aras vd. (2008)	Statik	Kâr	Sezgisel (Tavlama benzetimi)
De Figueiredo ve Mayerle (2008)	Dinamik	Maliyet	Sezgisel (Teitz ve Bart)
Pati vd. (2008)	Statik	Çoklu Amaç	Kesin (LINDO)
Queiruga vd. (2008)	-	Karar destek sistemi kurmak	PROMETHEE karar verme metodu
Aksent vd. (2009)	Statik	Çoklu Amaç	Sezgisel (Tabu arama)
Fonseca vd. (2009)	Statik	Çoklu Amaç	Domine edilmemiş çözümler (CPLEX)
Salema vd. (2010)	Dinamik	Maliyet	Kesin (CPLEX)
Salema vd. (2011)	Dinamik	Maliyet	Kesin (CPLEX)
Alumur vd. (2012)	Dinamik	Kâr	Kesin (CPLEX)

3.2. Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Ağı Tasarımında Tesis Yer Seçimi

Kapalı döngü tedarik zinciri ağlarında tesis yer seçimi probleminin ele alındığı başlıca çalışmalar arasında Fleischmann vd. (2001), Beamon ve Fernandes (2004), Lee ve Dong (2007), Demirel ve Gökçen (2008), Cruz-Rivera ve Ertel (2009), Verter vd. (2010) bulunmaktadır.

Fleischmann vd. (2001) toplama ve depolama tesislerinin yerlerine karar veren tek dönemli ve tek ürünlü deterministik, kapasitesiz bir model hazırlamıştır. Problemin çözümünde CPLEX ticari çözücü kullanılmıştır. Problemin uygulanabilirliğini

göstermek için yazıcı ve kâğıt endüstrilerinden alınan örnek veriler kullanılarak bir vaka analizi çalışması yapılmıştır. Hedeflenen miktarda kullanılmış ürün toplanamadığı zaman bir ceza katsayısına da sahip olan modelin amacı, toplam maliyeti en küçüklemeştir.

Krikke vd. (2003) ömrünü tamamlamış buzdolapları için ürünün tasarımından başlayıp, toplanmasıyla son bulan bir model geliştirmiştir. Buzdolaplarının farklı form, donanım ve malzeme içeriklerini kapsayan model statik bir yapıya sahiptir. Çoklu amaç fonksiyonu içeren model maliyet, enerji ve atık ürün miktarlarının minimizasyonunu amaçlamaktadır. Çözümü için, çoklu amaç fonksiyonları için çözüm yöntemlerinden biri olan, toplam ağırlıklı amaç fonksiyonu metodu kullanılmıştır. Model iki farklı senaryo altında incelenmiş ve duyarlılık analizleri yapılmıştır.

Fleischmann'ın (2001) çalışması Salema vd. (2007) ve Yongsheng ve Shouyang (2008) tarafından geliştirilerek yeniden modellenmiştir. Salema vd. (2007) Fleischmann vd. (2001) modelini stokastik, çok ürünlü, kapasiteli muayene/üretim/dağıtım tesislerinin yerlerine karar veren bir model olarak geliştirmiştir. Belirsiz müşteri talebi ve ürün toplama miktarlarındaki değişimlere göre maliyetin en küçülenmesi amaçlanmıştır. Oluşabilecek belirsizlikler, bir senaryo kümesi altında toplanmıştır. İspanya'daki hayali bir şirket için sabit dağılım varsayımı altında oluşturulmuş verilerle matematiksel model çalıştırılmıştır. Çözümü için CPLEX ticari çözücü kullanılmıştır. Yongsheng ve Shouyang'ın (2008) makalesi Fleischmann'ın (2001) matematiksel formülünü geliştiren bir diğer araştırmadır. Modelin amacı, kapalı döngü tedarik zincirindeki üretim tesisleri, dağıtım merkezleri ve merkezi geri dönüşüm tesislerinin sistem maliyetlerini en küçükleyerek, tesislerin yerlerine karar vermektedir. Temel alınan Fleischmann'ın (2001) çalışması geri kazanım yöntemlerinden tamir etme ve yeniden üretim seçenekleriyle birlikte tasarlanarak geliştirilmiştir. Model, tek ürün ve kapasitesiz tesisler için tasarlanmıştır. Çözümü için LINGO ticari çözücü kullanılmıştır.

Lee ve Dong (2007) yaptıkları çalışmada kiralama süresini tamamlamış bilgisayarların aynı anda hem ileri hem de tersine akış ağına entegre edildiği bir

problemi modellemiştir. Problemin amacı ileri akışta depo, tersine akışta toplama merkezi olarak kullanılan tesislerin yerlerine karar verip, müşterilere gönderilecek ürün miktarlarını belirlemektir. Tesisler belirli kapasitelere sahip olup, geliştirilen model statik yapıdadır. Problemin daha kolay çözülebilmesi için iki aşamalı bir çözüm yöntemi uygulanmıştır. İlk adımda Tabu arama algoritması ile tesis yer ve kapasitelerine karar verilirken, ikinci adımda Network Simplex ile akış miktarları bulunmuştur.

Demirel ve Gökçen (2008) aynı anda hem üretim hem de geri kazanım tesisi olarak işletilen bir firmanın üretim ve dağıtım miktarlarına karar verebilmek için bir model geliştirmiştir. Tersine akış tesislerinden olan demonte, toplama ve dağıtım merkezlerinin yerlerine de karar veren model, çoklu ürünler için tasarlanmıştır. Problemin amacı sistem maliyetini en küçükmektir. Problemin çözümü için GAMS/CPLEX ticari çözümleri kullanılmıştır. Sistemin farklı senaryolar altındaki çözümlerini incelemek için değişik miktarlarda toplanan ürün varsayımı yapılmıştır. Bunun sonucunda, sistem maliyetinin en küçüklenmesi için daha fazla ürün toplanmasına karar verilmiştir.

Lee ve Dong (2009) ileri akış için depolama, tersine akış için toplama merkezi ve aynı anda hem depolama hem de toplama merkezi olarak kullanılacak tesislerin yerlerine dinamik bir model ile karar vermektedir. Tesislerin ortak kullanılmasının amacı maliyet açısından daha avantajlı olması ve iki farklı tesis için kullanılan malzemelerin tek bir tesiste daha kolay yapılabilmesidir. Problemin amacı sistemin toplam maliyetini en küçükmektir. Model, birinci aşamada deterministik olup doğrusal değildir. İkinci aşamada ise müşteri talepleri ve toplanan ürün miktarları açısından stokastik ve doğrusal olarak incelenmiştir. Tavlama benzetimi sezgiseli kullanılarak problem çözülmüştür.

Cruz-Rivera ve Ertel (2009) ömrünü tamamlamış araçlar için kapalı döngü tedarik zinciri modeli geliştirmişlerdir. Bu model Meksika'daki toplama merkezlerinin yerlerine karar veren, kapasitesiz bir tesis yer seçimi modelidir. Model, toplanan kullanılmış araçların toplama miktarlarının farklılıklarına göre üç senaryo altında incelenmiştir.

Verter vd. (2010) tekli ürün taşımacılığı için ileri akış ve tersine akışın bütünleşik olduğu bir ağ yapısına sahip en uygun dağıtım ve toplama merkezi yerlerine karar veren bir çalışma hazırlamıştır. Bununla birlikte geri kazanım tesislerinin yerlerine de karar verilmektedir. Yatırım maliyetinden dolayı daha önceden kurulan toplama merkezlerinin aynı zamanda geri kazanım tesisleri olarak da kullanılması hedeflenmiştir. Problemin amacı müşteri taleplerini karşılayıp, sistemin toplam maliyetini en küçükmektir. Problem çözümü için geliştirilen model statik yapıda olup, Lagrange sezgiseli ile çözülmüştür.

Bu bölüm içerisinde anlatılan kapalı döngü tedarik zinciri ağlarında tesis yer seçimi literatürü Tablo 3.2’de özetlenmektedir.

Tablo 3.2: Kapalı döngü tedarik zinciri ağı üzerine olan çalışmalar.

Makale	Statik/ Dinamik	Tek ürün/ Çok ürün	Amaç fonksiyonu	Çözüm yöntemi
Fleischmann vd. (2001)	Statik	Tek	Maliyet	Kesin (CPLEX)
Krikke vd. (2003)	Statik	Çok	Çoklu Amaç	Kesin (CPLEX)
Beamon ve Fernandes (2004)	Statik	Tek	Maliyet	Kesin (CPLEX)
Lee ve Dong (2007)	Statik	Çok	Maliyet	Sezgisel (Tabu arama)
Salema vd. (2007)	Statik	Çok	Maliyet	Kesin (CPLEX)
Demirel ve Gökçen (2008)	Statik	Çok	Maliyet	Kesin (CPLEX)
Yongsheng ve Shouyang (2008)	Statik	Tek	Maliyet	Kesin (LINGO)
Cruz-Rivera ve Ertel (2009)	Statik	Tek	Maliyet	Kesin (SITATION)
Lee ve Dong (2009)	Dinamik	Tek	Maliyet	Sezgisel (Tavlama benzetimi)
Verter vd. (2010)	Statik	Tek	Maliyet	Sezgisel (Lagrange gevşetmesi)

3.3. Tesis Yer Seçiminde Eşitlik Ölçümleri

Daha çok sosyal ihtiyaçlarda karşımıza çıkan “adillik, tarafsızlık, eşitlik” kavramı, tesis yer seçimi literatüründe ilk kez 1970’li yılların başında çalışılmaya başlanmıştır.

Marsh ve Schilling (1994) tesis yer seçimi için eşitliği şu şekilde ifade etmiştir:

“Tesisin hizmet ettiği tüm alıcıların, tesis yer seçimi kararlarından aynı seviyede yararlanmasıdır.”

Eşitlik kavramının önem kazandığı yer seçimi problemleri arasında özellikle kamu sektörü içerisindeki yer seçimi problemleri örnek olarak verilebilir. Mesela okul, hastane, itfaiye merkezi yer seçimi problemleri gibi.

Bu tez kapsamında tersine lojistik ağlarında toplama merkezlerinin yerlerine karar verilirken, aynı zamanda da bu tesislerden firmalara gönderilen akış miktarlarının düzenli ve adil bir şekilde gerçekleştirilmesine çalışılmaktadır. Dolayısı ile tesis yer seçimi problemlerinde eşitliğin ne şekilde ele alındığı ve modellendiği ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Eşitlik kavramının matematiksel olarak ifade edilebilmesi için birçok eşitlik ölçütü belirlenmiştir. Aşağıda tesis yer seçimi problemleri literatüründe sıklıkla kullanılan eşitlik kavramları detaylı bir şekilde anlatılmaktadır. Bu eşitlik ölçütleri dışında başka göstergeler de bulunmaktadır. Bu konuda daha geniş kapsamlı bilgi için Marsh ve Schilling (1994) yayın taraması makalesinden yararlanılabilir.

1. Merkez eşitlik ölçütü: Tesis yer seçimi problemleri içerisinde en eski ve en sık kullanılan “Minmax” tarzı bir eşitlik ölçütüdür. P -merkez probleminde, p adet tesisten hizmet alan talep noktalarının en yakın olduğu tesise olan en uzak mesafe minimize edilmektedir. Örnek olarak itfaiye merkezlerinin belirli bir coğrafi alana yerleşimi sırasında, itfaiyenin bölgedeki herhangi bir noktaya ulaşabileceği maksimum zamanın minimize edilmesi verilebilir.

2. Varyansın en küçüklenmesi: Varyans, veri setindeki değerlerin ortalamaya göre dağılımını göstermektedir. Tesis yer seçimi problemlerinde eşitlik ölçümü için müşteriler ve tesisler arasındaki mesafeler ya da servis sürelerindeki varyans değerleri minimize edilerek kullanılabilir. Varyans yerine bu değerlerin karekökü alınarak elde edilen standart sapma değerinden de yararlanılabilir.

3. Ortalamadan sapmanın toplamının en küçüklenmesi: Herhangi bir veri kümesinde ortalamadan değişkenlik gösteren değerlerin toplanmasıyla elde edilen bir ölçüttür. Tesis yer seçimi modellerinde, tesislerden müşterilere olan mesafe veya servis süresi değerlerinin ortalama değerlerden olan farklarının toplamının en küçüklenmesi şeklinde kullanılmaktadır.

4. Ortalamadan sapan en büyük değer en küçüklenmesi: Herhangi bir veri kümesi içerisinde ortalamadan değişkenlik gösteren en büyük değerin minimize edilmesi için kullanılan bir ölçüttür. Ortalamadan sapma değerlerinin toplamı yerine, ortalamadan ya da beklenen değerden sapan en büyük verinin bulunup, minimize edilmesi hedeflenmiştir. Tesis yer seçimi modellerinde tesislerden müşterilere olan mesafe veya servis sürelerinin ortalamadan en uzak olan değerinin en küçüklenmesi hedeflenir.

5. En büyük farkın en küçüklenmesi: Değerler içerisinde en büyük veriyle en küçük verinin farkını ölçen bir eşitlik ölçütüdür. Tesis yer seçimi literatüründe müşteriler ile hizmet aldıkları tesisler ya da iki tesis arasındaki uzaklık farkının en büyüğünün en küçüklenmesi şeklinde kullanılmaktadır. Bu eşitlik kavramı literatürde çoğunlukla tehlikeli madde taşımacılığındaki riskin ölçülmesi ve azaltılması konusunda kullanılmıştır. Bunun yanında bu ölçüt, açılacak olan tesislerin talep noktalarından maliyeti en düşük tutacak şekilde olabildiğince uzak olmasını isteyen problemler için de kullanılmaktadır.

Yukarıda anlatılan eşitlik ölçütleri Tablo 3.3'de matematiksel olarak ifade edilmektedir. Bu tabloda E_i , i elemanı için herhangi bir etkiyi ifade etmektedir. Etki; mesafe, süre ve miktar gibi ölçütler olabilir.

Tablo 3.3: Eşitlik ölçütleri.

Eşitlik ölçütü	Amaç fonksiyonu
1. Merkez eşitlik ölçütü	$Min \max_i E_i$
2. Varyansın en küçüklenmesi	$Min \sum_i (E_i - \bar{E})^2$
3. Ortalamadan sapmanın toplamının en küçüklenmesi	$Min \sum_i E_i - \bar{E} $
4. Ortalamadan sapan en büyük değer en küçüklenmesi	$Min \max_i E_i - \bar{E} $
5. En büyük farkın en küçüklenmesi	$Min \max_{i,h} E_i - E_h $

Bu bölümde anlatıldığı gibi tesis yer seçimi problemlerinde çok çeşitli eşitlik ölçütleri kullanılmıştır. Ancak, tersine lojistik ağı ve kapalı döngü tedarik zinciri ağında tesis yer seçimi yapan çalışmalar arasında, eşitlik ölçütünden yararlanılan herhangi bir makaleye rastlanmamıştır.

4. Problem Tanımı ve Matematiksel Model

Bu bölümde, tezin konusunu oluşturan problem tanımlanmakta ve problemin çözümü için geliştirilen çok amaçlı karma tamsayılı doğrusal programlama modeli anlatılmaktadır. Buna ek olarak, tersine lojistik ağlarında tesis yer seçimi problemlerinde daha önce çalışılmamış olan eşitlik kavramlarının nasıl modellendiği ile ilgili bilgiler verilmektedir.

4.1. Problem Tanımı

Türkiye’de, 2011 yılında 565 bin ton elektrikli ve elektronik alet atığı oluşmuştur (WEEE Direktifi Düzenleyici Etki Analizi Türkiye Raporu, 2012). Yapılan tez, elektrikli ve elektronik alet atıklarının doğaya verdikleri zararı azaltmak amacıyla Avrupa Birliği yasası halinde gelen WEEE Direktifinin Türkiye’de uygulanabilmesi için bir ön çalışma niteliğindedir.

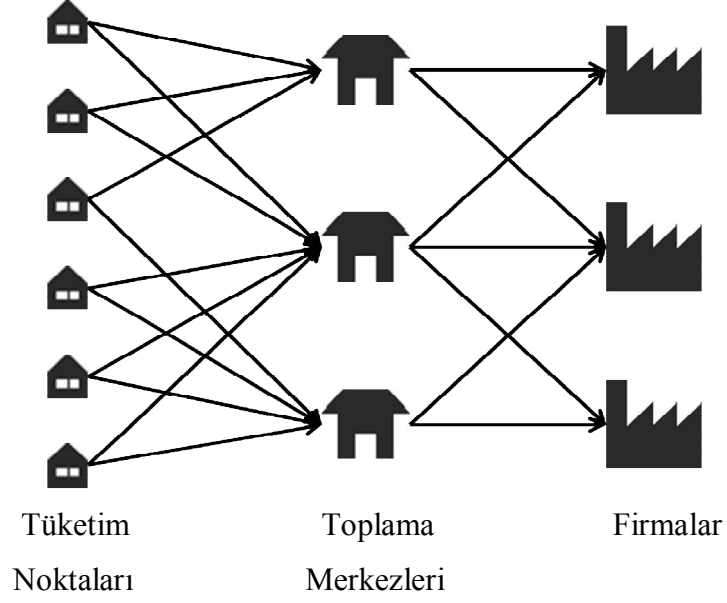
WEEE Direktifine göre kullanılmış elektrikli ve elektronik aletlerin toplanmasının ve geri kazanımının sorumluluğu üreticilere aittir. Ancak, atık ürünlerin toplandığı toplama merkezleri üreticilerin kendi başlarına kurabileceği tesisler değildir. Bu nedenle belediyelerin, ulaşım imkânlarına ve gerekli altyapıya sahip toplama merkezi görevi görebilecek tesisler kurmaları gerekmektedir. Hem üreticilere destek vermek, hem de halkın bu uygulamaya olan teşvikini artırmak amacıyla, Avrupa’daki birçok belediye, toplama merkezlerini kendi sorumluluğu üzerine almıştır. Tablo 2.2’de de görüldüğü gibi Almanya, Fransa ve Danimarka toplama merkezlerinin tüm sorumluluğunu belediyelere yüklemiştir. Bu çalışma, belediyeler için toplama merkezlerini nerelere ve hangi büyüklükte kurmalarına karar vermelerini sağlayacak bir yöntem önermektedir.

Kullanım ömrünü tamamlamış ya da çeşitli nedenlerden dolayı artık kullanılmayan ürünlerin elden çıkarıldıkları noktalar, tüketim noktaları olarak adlandırılmaktadır. Tüketim noktalarında oluşan kullanılmayan elektrikli ve elektronik aletlerin tamamı mutlaka toplanmalıdır.

İlçe belediyelerinin sorumluluğunda oluşturulan toplama merkezleri, tüketim noktalarından gelen ürünleri depolamaktadır. Toplama merkezlerinde gelen ürünleri saklamak için her bir ürün grubu için farklı kapasitelere sahip depolama konteynerleri bulunmaktadır.

Üretici firmalar WEEE Direktifi gereğince, sattıkları ürünleri pazar payları oranında toplamak ve yönetmelikte istenilen koşullara göre geri kazanmak zorundadır. Her bir firmanın toplaması ve geri kazanması gereken miktar, firmanın yıllık sattığı ürün miktarı ile belirlenmektedir. Firmalar yönetmelik gereği toplamaları gereken ürün kotalarını sağladıktan sonra mümkün olduğunca çok ürün toplamak istemektedir. Bunun en önemli nedeni elektrikli ve elektronik atıkların birtakım malzeme ve parçalarını yeniden üretim sistemlerinde kullanarak toplam üretim maliyetlerini azaltmaktır. Diğer bir neden ise atık ürünlerin içerisinde barındırdıkları önemli metalleri ayrıştırıp satarak ekonomik gelir elde etmektir.

Bu çerçevede atık ürünler, tüketicilerden başlayıp toplama merkezlerine, oradan da firmalara iletilen, iki aşamalı bir tersine lojistik ağı üzerinde ilerlemektedir. Bahsedilen ağ, Şekil 4.1’de yapısal olarak gösterilmektedir.



Şekil 4.1: İki aşamalı tersine lojistik ağı.

Yapısal olarak Şekil 4.1’de görülen tersine lojistik ağına amaç, belediyelerin sorumluluğu altında kurulan toplama merkezlerinin yerlerine karar verirken oluşan maliyetleri en küçükmektir. Ancak, aynı zamanda toplama merkezlerinden ürünleri alan firmaların çıkarları da gözetilmelidir. Bunun yanında, hangi dönemlerde, hangi tüketim noktasından hangi toplama merkezlerine ve hangi toplama merkezinden hangi firmalara ne kadar miktarda ürün gönderileceğine de karar verilmelidir. Ayrıca, toplama merkezlerinin kapasitelerine ve planlama çevreninde gerekli olabilecek kapasite artışına da karar verilmelidir.

Tersine lojistik ağlarında toplama merkezi işleten belediyelerin çok çeşitli maliyetleri bulunmaktadır. Oluşan bu maliyetlerden biri tüketim noktalarından toplama merkezlerine gönderilecek olan ürünlerin taşıma maliyetleridir. Ayrıca, toplama merkezlerinde ürünlerin envanter olarak tutulması sırasında oluşan maliyetler de bulunmaktadır. Belediyelerin toplama merkezlerini kurmak için ödedikleri sabit tesis kurulum ücretleri vardır. Bunların dışında toplama merkezlerinde, ürünlerin depolanması için kullanılan farklı kapasitelere sahip konteynerlerin alımı sırasında ortaya çıkan maliyetler de bulunmaktadır. Toplama merkezlerinde herhangi bir operasyonel işlem gerçekleştirilmemektedir. Bu nedenle operasyonel maliyetler oluşmamaktadır.

Ürünlerin toplama merkezlerinden firmalara gönderilmesi sırasında oluşan maliyetler firmalara aittir. Bu nedenle, belediyelerin toplama merkezlerinden firmalara atık ürünleri göndermesi için herhangi bir maliyeti bulunmamaktadır.

Belediyelerin temelde üç amacı vardır. İlk ve en önemli amaç, toplama merkezleri kurulum kararları sonucunda ortaya çıkan toplam maliyeti en küçükmektir. Diğer amaçlar ise, ürünleri toplama merkezlerinden firmalara gönderirken hem firmalar arasında hem de her bir firma içerisinde mümkün olduğunca adil bir dağıtım sağlamaktır.

Belediyeler, ürünlerin firmalara sistemsiz bir şekilde dağıtılmasını önlemek için firmalar arasında ve her bir firma içerisinde adil olmayı istemektedir. Tüm firmalar kota dışı fazla ürün toplamak da istediği için firmalara ürün dağıtımını yapılırken fazla gönderilen ürün miktarlarının tüm firmalar arasında eşit olarak dağıtılmasına dikkat edilmelidir. Ürünlerin gönderileceği firmaların sürekli üretim yaptıkları ve üretim planlarını aksatmamak için düzgün akışa ihtiyaç duydukları varsayılmıştır. Bu nedenle, her bir firma için her bir periyotta ürün talep ortalamalarına yakın miktarlarda ürün göndererek firma içi eşitlik sağlanması hedeflenmektedir.

Bu kısımda anlatılan problem için çok amaçlı karma bir tamsayılı doğrusal programlama modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan model bir sonraki kısımda ayrıntılı olarak anlatılmaktadır.

4.2. Çok Amaçlı Karma Tamsayılı Matematiksel Model

Problem, çok ürünlü, çok periyotlu, kapasite kısıtlı ve envanter tutan çok amaçlı doğrusal karmaşık bir tamsayılı programlama problemi olarak modellenmiştir. Tüm kararlar, çok periyotlu zaman dönemlerine ayrılmış olan sınırlı bir planlama çevreni içerisinde dönem başlarında ya da dönem sonlarında verilmektedir. Her bir periyotta açılacak olan toplama merkezlerinin yerlerine ve kapasitelerine, hangi tüketim noktalarından hangi toplama merkezlerine ve hangi toplama merkezlerinden hangi

firmalara ne kadar miktarda akış gönderileceğine ve toplama merkezlerinde tutulan envanter miktarlarına karar verilmektedir.

Toplama merkezlerinden firmalara ürün dağıtımı yapılırken, firmalar arasında ve her bir firma içerisinde adil bir dağıtım yapılabilmesi için tesis yer seçiminde eşitlik kavramlarının anlatıldığı çalışmalardan yararlanılmış ve iki farklı eşitlik ölçütü kullanılmıştır. Firmalar arasında adil bir dağıtım yapılırken firmalara taleplerinden fazla gönderilebilen ürün miktarlarının en büyüğünün en küçüklenmesi hedeflenmektedir. Bunun için tesis yer seçiminde kullanılan eşitlik ölçümleri arasından en büyük farkın en küçüklenmesi eşitlik ölçütünden yararlanılmıştır. Bunun yanında, toplama merkezlerinin her bir firma için her bir dönemde ürün talep ortalamasından farklı gönderilen miktarların en büyüğünün en küçüklenmesi amaçlanmaktadır. Talep ortalamaları ve gönderilen ürün miktarları arasındaki bu değişikliğin azaltılması için literatürde bahsedilen ortalamadan sapan en büyük değer en küçüklenmesi eşitlik ölçütünden yararlanılmıştır.

Toplama merkezlerinden firmalara taleplerinden fazla ürün gönderilebilir. Firmalara taleplerinden fazla gönderilebilen ürün miktarının firmalar arasında eşit olarak paylaşılmasını sağlamak için en büyük farkın en küçüklenmesi eşitlik ölçütünden yararlanılmış ve firmalar arası eşitlik amaç fonksiyonu elde edilmiştir.

Firmalar arası eşitlik amaç fonksiyonunu daha iyi anlayabilmek için şu örneği ele alalım: Aynı ürün için Firma A, B ve C'nin üç aylık toplam talep miktarları sırasıyla, 400, 250 ve 100 birim olsun. Toplama merkezlerinden firmalara gönderilen toplam ürün miktarları ise 600, 350 ve 500 birim olsun.

Tablo 4.1'de firmalara gönderilen talep fazlası ürün miktarları hesaplanmaktadır. Firmalar arası eşitlik amaç fonksiyonu, firmalar arasında talepten fazla gönderilen miktarlar arasındaki farkı kullanmaktadır. Bu durumda tüm firmalar arasında, talepten fazla gönderilen miktarlar içerisinde en büyük fark Firma B ve Firma C arasında olup 300 birimdir. Firmalar arası eşitlik amaç fonksiyonu, bu değer en küçüklenmesini amaçlamaktadır.

Tablo 4.1: Firmalar arası eşitlik örneği.

Firma	3 aylık toplam talep miktarı	3 aylık toplam gönderilen miktar	Talep fazlası
A	400	600	200
B	250	350	100
C	100	500	400

Firmaların planlama çevreni süresince toplamaları gereken ürün miktarları WEEE Direktifine göre belirlidir. Firmalar, her bir periyotta gelen akışın talep ortalamasına yakın olmasını tercih etmektedirler. Bu nedenle, ortalamadan sapan en büyük değer en küçüklenmesi eşitlik ölçütünden yararlanılmış ve firma içi eşitlik amaç fonksiyonu elde edilmiştir.

Firma içi eşitlik amaç fonksiyonunun işleyişini daha iyi anlayabilmek için şu örneği ele alalım: Bir firmanın belirli bir ürünü için üç aylık toplam talebi 300 birim olsun. Bu miktar birer aylık periyotlarla farklı şekillerde gönderilebilir. Tablo 4.2’de firmanın talebini karşılamak için üç farklı örnek senaryo sunulmaktadır.

Tablo 4.2: Firma içi eşitlik örneği.

	1. ay	2. ay	3. ay	Ortalamadan sapma miktarları	Ortalamadan sapan en büyük değer
Senaryo 1	100	100	100	0, 0, 0	0
Senaryo 2	150	0	150	50, 100, 50	100
Senaryo 3	0	0	300	100, 100, 200	200

Senaryo 1’de, ürünler ortalama aylık ürün miktarı olan 100 birim olarak gönderilmektedir. Senaryo 2’de, birinci ve üçüncü aylarda 150 birim gönderilmekte, ikinci ay ise hiç ürün gönderilmemektedir. Senaryo 3’de ise ilk iki ay hiç gönderilmeyip üçüncü ay 300 birim talebin tamamı gönderilmektedir. Senaryoların her bir dönem için talep ortalamasından sapma değerleri tablonun son sütununda görülmektedir. Firma içi eşitlik amaç fonksiyonu, bu değerlerin en büyüğünün en küçüklenmesini sağlayan senaryoyu belirlemeyi hedeflemiştir. Buna göre, firma içi

eşitlik amaç fonksiyonu Senaryo 1 için 0, Senaryo 2 için 100, Senaryo 3 için 200 değerlerini almaktadır. Bu amaç fonksiyonu minimize edildiğinde anlatılan üç senaryo arasından en küçük amaç fonksiyonu değerine sahip olduğu için Senaryo 1 seçilmelidir.

Problemin çözümü için geliştirilen karma tamsayılı matematiksel modelde kullanılacak olan parametreler aşağıda sunulmaktadır.

Kümeler

P : Ürünler kümesi.

T : Planlama çevrenindeki periyotların kümesi.

G : Tüketim noktaları kümesi.

C : Toplama merkezleri için potansiyel yer kümesi.

K : Toplama merkezlerinde kullanılabilir konteynerlerin kümesi.

F_p : $p \in P$ ürünü toplayan firmaların kümesi.

Kap_{kp} : $p \in P$ ürünü için kullanılabilir, $k \in K$ konteynerinin kapasitesi.

S_{ip}^t : $t \in T$ periyodunda, $i \in G$ tüketim noktasında, $p \in P$ ürünü için oluşan miktar (arz).

D_{fp} : $p \in P$ ürünü için, $f \in F_p$ firmasının toplaması gereken minimum miktar (talep).

Maliyetler

TC_{ijp}^t : $p \in P$ ürünü, $t \in T$ periyodunda, $i \in G$ tüketim noktasından, $j \in C$ toplama merkezine birim taşıma maliyeti.

IC_{jp}^t : $p \in P$ ürününün, $t \in T$ periyodunda, $j \in C$ toplama merkezindeki birim envanter tutma maliyeti.

FC_j^t : $t \in T$ periyodu başında, $j \in C$ toplama merkezinin kurulum maliyeti.

KC_{kp}^t : $t \in T$ periyodunda, $p \in P$ ürünü için, $k \in K$ konteynerinin satın alma maliyeti.

Karar Değişkenleri

x_{ijp}^t : $t \in T$ periyodunda, $i \in G$ tüketim noktasından, $j \in C$ toplama merkezine, $p \in P$ ürününden gönderilen miktar.

w_{jfp}^t : $t \in T$ periyodunda, $j \in C$ toplama merkezinden, $f \in F_p$ firmasına, $p \in P$ ürününden gönderilen miktar.

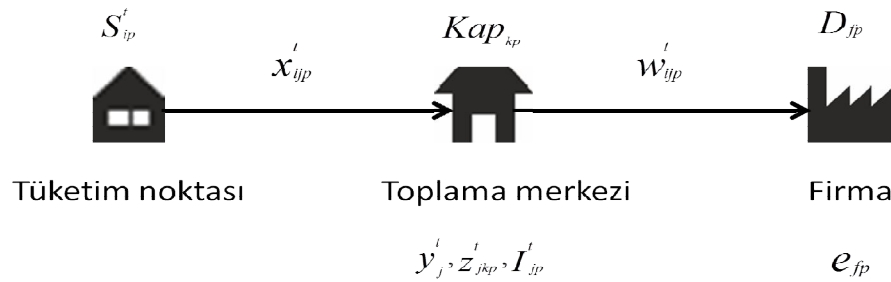
I_{jp}^t : $t \in T$ periyodu sonunda, $j \in C$ toplama merkezinde, $p \in P$ ürününden tutulan envanter miktarı.

e_{fp} : $p \in P$ ürününden, $f \in F_p$ firmasına gönderilen talep fazlası ürün miktarı.

y_j^t : $\begin{cases} 1, \text{ eğer } t \in T \text{ periyodu başında, } j \in C \text{ toplama merkezi açılırsa,} \\ 0, \text{ diğer durumlarda.} \end{cases}$

z_{jkp}^t : $\begin{cases} 1, \text{ eğer } t \in T \text{ periyodu başında, } j \in C \text{ toplama merkezi için,} \\ \quad k \in K \text{ konteyneri, } p \in P \text{ ürünü için satın alınırsa,} \\ 0, \text{ diğer durumlarda.} \end{cases}$

Modelin bazı karar değişkenleri ve parametreleri Şekil 4.2’de yapısal olarak gösterilmektedir. Buna göre, her bir periyotta tüketim noktalarında oluşan ürünler (S_{ip}^t) toplama merkezlerine gönderilir. Bu merkezlerde her bir ürün grubu için farklı kapasitelerde (Kap_{kp}) depolama konteynerleri bulunmaktadır. Depolanan ürünler, toplama merkezlerinden firmaların pazar payları oranında talep edilmektedir (D_{fp}).



Şekil 4.2: Modelin bazı karar değişkenleri ve parametreleri.

Matematiskel Model

$$\begin{aligned} \text{Min} \sum_{t \in T} \left[\sum_{i \in G} \sum_{j \in C} \sum_{p \in P} TC_{ijp}^t x_{ijp}^t + \sum_{j \in C} \sum_{p \in P} IC_{jp}^t I_{jp}^t + \sum_{j \in C} FC_j^t (y_j^t - y_j^{t-1}) \right. \\ \left. + \sum_{j \in C} \sum_{k \in K} \sum_{p \in P} KC_{kp}^t z_{jkp}^t \right] \end{aligned} \quad (4.1)$$

$$\text{Min} \quad \text{Max}_{p \in P, f, f' \in F_p: f \neq f'} |e_{fp} - e_{f'p}| \quad (4.2)$$

$$\text{Min} \quad \text{Max}_{p \in P, f \in F_p, t \in T} \left| \sum_{j \in C} w_{jfp}^t - \frac{D_{fp}}{|T|} \right| \quad (4.3)$$

s. t.

$$S_{ip}^t = \sum_{j \in C} x_{ijp}^t \quad \forall i \in G, p \in P, t \in T \quad (4.4)$$

$$\sum_{i \in G} x_{ijp}^t + I_{jp}^{t-1} = \sum_{f \in F_p} w_{jfp}^t + I_{jp}^t \quad \forall j \in C, p \in P, t \in T \quad (4.5)$$

$$\sum_{t \in T} \sum_{j \in C} w_{jfp}^t = D_{fp} + e_{fp} \quad \forall f \in F_p, p \in P \quad (4.6)$$

$$\sum_{i \in G} x_{ijp}^t + I_{jp}^t \leq \sum_{k \in K} Kap_{kp} \left(\sum_{\tau=1}^t z_{jkp}^\tau \right) \quad \forall j \in C, t \in T, p \in P \quad (4.7)$$

$$\sum_{k \in K} z_{jkp}^t \leq y_j^t \quad \forall j \in C, t \in T, p \in P \quad (4.8)$$

$$y_j^{t-1} \leq y_j^t \quad \forall j \in C, t \in T \quad (4.9)$$

$$y_j^0 = 0 \quad \forall j \in C \quad (4.10)$$

$$I_{jp}^0 = 0 \quad \forall j \in C, p \in P \quad (4.11)$$

$$x_{ijp}^t, w_{jfp}^t, e_{fp}, I_{jp}^t \geq 0 \quad \forall j \in C, t \in T, p \in P, \forall f \in F_p \quad (4.12)$$

$$y_j^t \in \{1,0\} \quad \forall j \in C, t \in T \quad (4.13)$$

$$z_{jkp}^t \in \{1,0\} \quad \forall j \in C, t \in T, k \in K, p \in P \quad (4.14)$$

İlk amaç fonksiyonu (4.1), maliyeti en küçükmektedir. Taşıma, envanter tutma, sabit tesis kurulum ve konteyner satın alma giderlerinin tamamı toplam maliyeti oluşturmaktadır.

İkinci amaç fonksiyonu (4.2), her bir firmanın talebinden fazla gönderilen ürün miktarının firmalar arasında adil olarak dağıtılmasını sağlamaktadır. Amaç, tüm firmalar arasında talepten fazla gönderilen ürün miktarlarının farkının en büyüğünün en küçüklenmesidir.

Son amaç fonksiyonu (4.3), firmalara düzenli akış sağlanabilmesi için her bir firmaya gönderilen ürünlerin periyotlara adil olarak dağıtılmasını sağlamaktadır. Her bir dönemde talep ortalamasından farklı gönderilen ürün miktarının en büyüğünün en küçüklenmesi hedeflenip, firma içi eşitlik sağlanmaya çalışılmaktadır.

Kısıt (4.4), (4.5) ve (4.6) sırasıyla tüketim noktaları, toplama merkezleri ve firmalar için akış dengesi kısıtlarıdır. Kısıt (4.4), tüketim noktalarında oluşan tüm atıkların toplama merkezlerine ulaştırılmasını sağlamaktadır. Kısıt (4.5), toplama merkezlerine gelen akışın giden akışa eşit olmasını sağlamaktadır. Her bir periyotta, toplama merkezlerine gelen akışları, tüketim noktalarından gelen atıklar ve bir önceki periyot sonundaki envanter miktarları oluşturmaktadır. Toplama merkezlerinden giden akışları ise firmalara gönderilen ürün miktarları ve firmalara gönderildikten sonra envantere kalan ürünler oluşturmaktadır. Kısıt (4.6), firmaların toplam ürün taleplerini göstermektedir. Firmalara taleplerinden fazla ürün gönderilmesine izin verilmektedir.

Kısıt (4.7), toplama merkezleri için kapasite büyüklüklerini kontrol etmektedir. Buna göre toplama merkezlerine gönderilen ve envantere tutulan ürün miktarları, bu merkezlerde bulunan depolama konteynerlerinin kapasitelerinden fazla olamaz.

Kısıt (4.8) ve (4.9), toplama merkezleri için oluşturulmuş mantıksal eşitsizliklerdir. Kısıt (4.8), eğer potansiyel bir toplama merkezi açılıyorsa, bu merkeze her bir ürün için bir dönemde tek bir depolama konteynırının açılabilmesine izin vermektedir. Kısıt (4.9), daha önceki periyotlarda kurulan toplama merkezlerinin dönem sonuna kadar açık kalmasını sağlamaktadır.

Planlama çevreni başında hiçbir tesisin açık olmadığı ve hiç envanter bulunmadığı varsayılmaktadır. Bu durum kısıt (4.10) ve (4.11) ile sağlanmaktadır. Ancak, hali hazırda açık olan bir toplama merkezi varsa bu kısıtlar istenildiği şekilde modifiye edilebilir.

Kısıt (4.12)-(4.14) işaret kısıtlarıdır.

Amaç fonksiyonları (4.2) ve (4.3), *MinMax* ve *mutlak değer* fonksiyonları içerdikleri için doğrusal değildir. Mutlak değer fonksiyonunu doğrusallaştırmak için $|x| = \text{Max} \{x, -x\}$ ilişkisi kullanılabilir. Eğer,

$$\text{Firmalar Arası Eşitlik} = \text{Max}_{p \in P, f, f' \in F_p: f \neq f'} \{-e_{fp} + e_{f'p}, e_{fp} - e_{f'p}\}$$

olarak yeni bir karar değişkeni tanımlarsak, (4.2) amaç fonksiyonu şu şekilde doğrusallaştırılır:

$$\text{Min Firmalar Arası Eşitlik} \quad (4.15)$$

s. t.

$$\text{Firmalar Arası Eşitlik} \geq -e_{fp} + e_{f'p} \quad \forall p \in P, f, f' \in F_p: f \neq f' \quad (4.16)$$

$$\text{Firmalar Arası Eşitlik} \geq e_{fp} - e_{f'p} \quad \forall p \in P, f, f' \in F_p: f \neq f' \quad (4.17)$$

Amaç fonksiyonu (4.2)'nin doğrusallaştırılması sonucunda yeni amaç fonksiyonu (4.15) ve yeni kısıtlar (4.16) ve (4.17) elde edilmiştir. Kısıt (4.16) ve (4.17) firmalar arası eşitlik kısıtlarıdır.

Amaç fonksiyonu (4.3) de doğrusal değildir ve benzer şekilde doğrusallaştırılabilir. Eğer,

$$Firma \text{ İçi Eşitlik} = \max_{p \in P, f \in F_p, t \in T} \left\{ - \sum_{j \in C} w_{jfp}^t + \frac{D_{fp}}{|T|}, \sum_{j \in C} w_{jfp}^t - \frac{D_{fp}}{|T|} \right\}$$

olarak yeni bir karar değişkeni tanımlarsak, (4.3) amaç fonksiyonu şu şekilde doğrusallaştırılır:

$$Min \text{ Firma İçi Eşitlik} \tag{4.18}$$

s. t.

$$Firma \text{ İçi Eşitlik} \geq \left(- \sum_{j \in C} w_{jfp}^t + \frac{D_{fp}}{|T|} \right) \quad \forall t \in T, p \in P, f \in F_p \tag{4.19}$$

$$Firma \text{ İçi Eşitlik} \geq \left(\sum_{j \in C} w_{jfp}^t - \frac{D_{fp}}{|T|} \right) \quad \forall t \in T, p \in P, f \in F_p \tag{4.20}$$

Amaç fonksiyonu (4.3)'ün doğrusallaştırılması sonucunda yeni amaç fonksiyonu (4.18) ve yeni kısıtlar (4.19) ve (4.20) elde edilmiştir.

Doğrusal matematiksel model amaç fonksiyonları (4.1), (4.15) ve (4.18)'den ve kısıtlar (4.4)-(4.14), (4.16), (4.17), (4.19) ve (4.20)'den oluşmaktadır.

Çalışmanın bir sonraki kısmında burada verilen matematiksel modelin örnek bir uygulama üzerinde çözümünden bahsedilecektir.

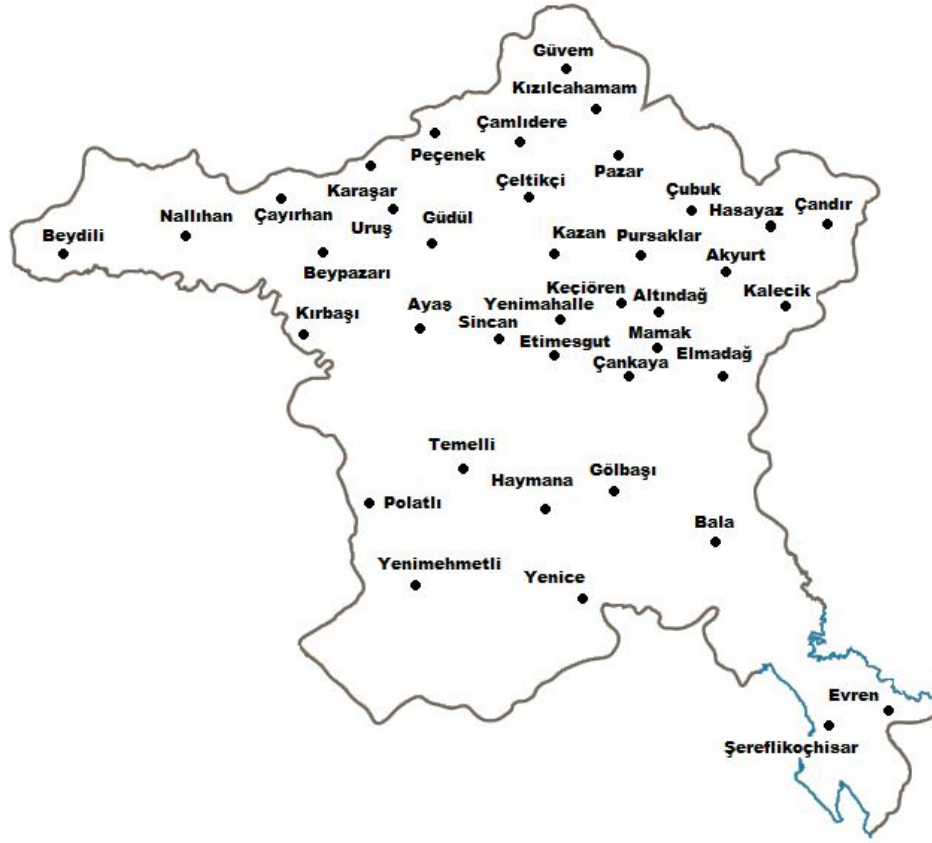
5. Problemin Uygulaması

Bu bölümde, geliştirilen matematiksel modelin gerçek verilere dayanılarak hazırlanan parametre değerleriyle bir uygulaması sunulmaktadır. Problemin uygulanmasının amacı, belediyelerin toplama merkezlerini nerelere ve hangi kapasitelerde kurmalarına, firmaların çıkarlarını da gözeterek, karar vermektir. Uygulamanın bir diğer amacı da, önerilen yöntemin uygun büyüklükte veriler kullanılarak ticari bir çözücüde çözülebildiğini göstermek ve sonuçları incelemektir. Daha önce de bahsedildiği gibi geliştirilen modelin birden fazla amaç fonksiyonu bulunmaktadır. Bu nedenle, çok amaçlı bu problemin çözümünde kullanılan kısıt atma metodundan da bahsedilmektedir.

Sırasıyla, 5.1’de uygulama için kullanılan parametreler anlatılmakta, 5.2’de çok amaçlı çözüm yönteminden söz edilmekte, son olarak 5.3’de ise problemin çözümden elde edilen sonuçlar detaylı bir şekilde incelenmektedir.

5.1. Problem Parametreleri

Ele alınan toplama merkezleri için yer seçimi problemi, belediyeler tarafından çözülmesi gerektiğinden, uygulama bir belediye için yapılmalıdır. Bu çalışma kapsamında ele alınan problemin Ankara Büyükşehir Belediyesi için çözüldüğü varsayılmaktadır. İncelemede Ankara, 25 ilçe ve 14 bucak olmak üzere, toplam 39 tüketim noktasına ayrılmıştır. Tüketim noktaları aynı zamanda belediyelerin kuracakları potansiyel toplama merkezi yerleri olarak belirlenmiştir. Şekil 5.1’de, Ankara haritası üzerinde 39 tüketim noktası ve 39 potansiyel toplama merkezi gösterilmektedir. Ayrıca, tüketim noktaları EK 1’de liste halinde de sunulmaktadır.



Şekil 5.1: Ankara'daki 39 tüketim noktası ve potansiyel toplama merkezi yerleri.

WEEE Direktifine göre elektrikli ve elektronik atıklar Tablo 2.1'de sunulduğu gibi beş ana kategoriye ayrılmaktadır. AB WEEE Direktifi Düzenleyici Etki Analizi Türkiye raporuna (2012) göre 2008 yılında çeşitli nedenlerle artık kullanılmayan atık elektrikli ve elektronik ürünlerin yarısına yakın bir oranını büyük ev aletleri oluşturmaktadır (%47). İkinci en büyük oran, %15 ile bilgi iletişim araçlarına ve üçüncü oran ise %12 ile tüketici elektroniğine aittir. UNU'nun (2011) Almanya'daki atık elektrikli ve elektronik alet yönetimi ile ilgili yayınladığı bir araştırmaya göre, atık ürünler beş ayrı kategoriye göre toplanmaktadır. Ancak, AB WEEE Direktifi Düzenleyici Etki Analizi Türkiye raporuna (2012) göre bu beş kategori içerisinde yer alan soğutucu özellikleri olan büyük ev aletleri "Büyük ev aletleri" kategorisine dâhil edilmiştir. Bu nedenle, Almanya için anlatılan beş atık ürün toplama kategorisi bu çalışmada dörde indirilmiştir. Tablo 5.1'de bahsedilen dört ürün grubu ve her bir gruba ait atık oranları gösterilmektedir.

Tablo 5.1: Ürün grupları ve atık oranları (AB WEEE Direktifi Düzenleyici Etki Analizi Türkiye Raporu, 2012).

Ürün grubu	Ürün kategorileri	Oran (%)	Toplam oran (%)
1	Büyük ev aletleri	47	48
	Otomatik makineler	1	
2	Bilgi iletişim araçları	15	27
	Tüketici elektroniği	12	
3	Küçük ev aletleri	8	18
	Elektrikli ve elektronik araçlar	6	
	Oyuncak ve spor aletleri	2	
	Tıbbi cihazlar	1	
	İzleme ve kontrol ekipmanları	1	
4	Aydınlatma ekipmanları	7	7

Belirlenen ürün gruplarının tüketim noktalarında oluşan atık miktarlarını bulabilmek için AB WEEE Direktifi Düzenleyici Etki Analizi Türkiye Raporu'ndaki (2012) veriler dikkate alınmıştır. Buna göre, 2011 yılında Türkiye'de 12 kg/kişi-yıl elektrikli ve elektronik alet, çeşitli perakendeciler, tekno-marketler ve süpermarketler tarafından piyasada satışa sunulmuştur. Satılan ürünlerin %80'i ise kullanım ömürlerini tamamladıkları ya da farklı nedenlerden dolayı artık istenmedikleri için elden çıkartılmaktadır. Bunun sonucunda, tüketim noktalarında 9.6 kg/kişi-yıl (12 kg/kişi-yıl*0.80) elektrikli ve elektronik alet atığı oluşmaktadır. Bu değer ilçe nüfusları ve atık ürün grup oranları ile çarpılması sonucu elde edilen veri, planlama çevreni başında tüketim noktalarında oluşan atık ürün miktarlarını (arz) göstermektedir. İlçe nüfusları TÜİK Adrese Dayalı Nüfus Veritabanı'ndan (2011) öğrenilmiştir. Nüfusların tüm planlama çevreni boyuca aynı kalacağı varsayılmaktadır. Bölüm 6.2'de arz miktarlarındaki değişimin problemin çözümüne olan etkilerini görmek amacıyla çeşitli senaryolar altında denemeler yapılmıştır.

Elektrikli ve elektronik alet üreticileri WEEE Direktifi gereğince piyasaya sürdükleri ürünlerin atıklarını pazar payları oranında geri kazanmakla yükümlüdür. Uygulamamızda, toplama merkezlerindeki ürünlerin beş ayrı firmaya gönderildikleri kabul edilmiştir. Firmaların toplaması gereken ürün miktarları ve pazar payları Tablo 5.2'de gösterilmektedir.

Tablo 5.2: Atık ürünleri alan firmalar ve pazar payları.

Ürün grubu	Firmalar	Firma pazar payları (%)
1	A, B, C	50, 30, 20
2	A, D, E	50, 30, 20
3	A, B, E	50, 30, 20
4	B, D, C	50, 30, 20

Tablo 5.2’de görüldüğü gibi her bir ürün grubu üç farklı firma tarafından toplanmaktadır. Ayrıca, her bir ürün grubu için %50 pazar payına sahip piyasa lideri bir firma olduğu kabul edilmiştir. Ürünü toplayan diğer iki firmanın pazar paylarının ise sırasıyla, %30 ve %20 olduğu kabul edilmiştir.

Planlama çevreni başında firmaların toplama merkezlerinden talep ettikleri ürün miktarlarını belirlemek için tüketim noktalarında oluşan atık ürünler ile ilgili ürün grubu yüzdesi ve firmanın ilgili ürün grubuna ait pazar payı oranı çarpılmıştır. Elde edilen değer, firmanın her bir ürün grubu için toplaması gereken minimum miktarlardır (talep).

Problemin ilk durumunda planlama çevreni, her bir periyot iki ay olmak üzere, toplam 6 periyot (1 yıl) olarak alınmıştır. Bölüm 6.4’de, matematiksel modelin farklı periyot süresi ve farklı planlama çevreni uzunluklarındaki performansı denenmiştir. Her bir periyot başında oluşan ürün miktarını tahmin edebilmek için, yıllık sabit %2 (iki aylık %0.33) ürün artış miktarı alınmıştır (AB WEEE Direktifi Düzenleyici Etki Analizi Türkiye Raporu, 2012). Bölüm 6.3’de ürün büyüme hızındaki değişimin (artış veya azalış) etkileri incelenmektedir.

Belirlenen 39 tüketim noktası aynı zamanda belediyeler için potansiyel toplama merkezi yerleridir. Nüfus yoğunluğu yüksek olan noktalardaki arsa fiyatlarının nüfusu az yoğun bölgelere göre daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Bölgeler arasındaki bu farklılığı sabit tesis kurulum maliyetine yansıtılabilmek için yeni bir parametre tanımlanmıştır. Her bir aday yer için bu parametre, bölgedeki nüfusun toplam nüfusa bölündükten sonra elde edilen sonuca bir eklenmesi ile hesaplanmıştır.

Ankara'nın toplamda 39 tüketim noktası olarak belirlenen ilçe ve bucaklarının arasındaki uzaklıklar, ilgili kaymakamlıklar arasındaki karayolları mesafelerinin google haritalar kullanılarak hesaplanması ile belirlenmiştir. Tüketim noktaları ve toplama merkezleri arasındaki taşıma maliyeti 0.005 EUR/km-ürün olarak alınmıştır (Alumur vd., 2012).

Toplama merkezlerinde büyük, orta ve küçük kapasiteli olmak üzere üç farklı konteyner çeşidi bulunmaktadır. Her bir konteynerin farklı ürün grupları için farklı kapasiteleri vardır. Ayrıca, geniş, orta ve sıkı olmak üzere üç farklı kapasite kümesi oluşturulmuştur. Her bir küme için konteyner kapasiteleri ve planlama çevreni başındaki maliyetleri EK 2'de sunulmaktadır. Bölüm 6.1'de, farklı kapasite kümeleri ile farklı kurulum maliyetlerinin çözümlere olan etkileri incelenmektedir.

Planlama çevreni başında kullanılan maliyet parametreleri Tablo 5.3'de özetlenmektedir.

Tablo 5.3: Planlama çevreni başındaki maliyet parametreleri.

Açıklama	Parametre	Değer
Taşıma maliyeti	TC_{ijp}^1	0.005 EUR/km-ürün
Envanter tutma maliyetleri	IC_{jp}^1	4 EUR/ürün
Grup 1		3 EUR/ürün
Grup 2		2 EUR/ürün
Grup 3		1 EUR/ürün
Grup 4		
Kurulum maliyeti	FC_j^1	100.000-1.000.000 EUR
Konteyner maliyetleri	KC_{kp}^1	EK 2

Planlama çevreni boyunca kullanılan tüm maliyet parametrelerinin Avrupa İstatistik Kurumu (Eurostat, 2012) enflasyon verilerine göre yıllık %3 (iki aylık %0.5) artış gösterdiği kabul edilmektedir.

Tüm koşullar Intel Core Due 2.4 GHz işlemci, 3 GB RAM ve 32 bit bir bilgisayarda OPL CPLEX 12.4 versiyonu kullanılarak alınmıştır. Matematiksel modelin tüm koşulları optimum olarak çözülmüştür.

5.2. Çok Amaçlı Çözüm Yöntemi

Bölüm 4.1’de, tersine lojistik ağlarında belediyeler için toplama merkezlerinin yerlerine karar verilirken üç ana amaçtan bahsedilmiştir. Bu amaçlar, toplam maliyeti en küçükleme, firmalara taleplerinden fazla gönderilen ürün miktarlarının firmalar arasında adil bir şekilde dağıtılmasını sağlamak (firmalar arası eşitlik) ve firmalara periyotlar boyunca düzenli ürün akışı yapabilmektir (firma içi eşitlik). Bu üç hedef arasında belediyeler için en öncelikli amaç, toplam maliyeti en küçükleme. Dolayısı ile diğer iki amaç fonksiyonunun toplam maliyeti en küçükleyen çözümler arasından ele alınmasına karar verilmiştir. Firmalar arası eşitlik ve firma içi eşitlik amaç fonksiyonlarından hangisinin öncelikli olmasına karar verebilmek amacıyla literatürde “Lexicographic” sıralama olarak bilinen Yöntem 1 ve Yöntem 2 analizleri yapılmıştır. Bu analizler, çok amaçlı problemlerde sıklıkla kullanılan kısıt atma metodu temel alınarak uygulanmıştır.

Yöntem 1’in uygulama prensibi şu şekildedir: İlk adımda, eşitlik amaç fonksiyonları hiç yokmuş gibi, model toplam maliyeti minimize ederek çözülür. Optimum maliyet ve açılan toplama merkezlerinin yerleri bulunur. İkinci adımda, elde edilen optimum maliyet değeri modele kısıt olarak yazılır ve model sadece firmalar arası eşitlik amaç fonksiyonu kullanılarak çözülür. Burada toplam maliyet, model içerisinde bir bütçe kısıtı gibi üst sınır görevi görür. Birinci adımda optimum maliyet değeri ile birlikte bulunan toplama merkezi yerleri de ikinci adımdaki model içerisinde sabitlenir. Bunun amacı, ikinci adımın çözüm süresini kısaltmaktır. Bu işlemler sonunda iki adet amaç fonksiyonu değeri bulunmuştur. Üçüncü adımda, son amaç fonksiyonu olan firma içi eşitlik ele alınmaktadır. Bunun için daha önce bulunan amaç fonksiyonu değerleri yeniden modele kısıt olarak yazılır. İlk amaç fonksiyonunun çözümünden elde edilen toplama merkezi yerleri de modelde tekrar açılması için sabitlendikten sonra çözümler elde edilir.

Yöntem 2’nin uygulama prensibi Yöntem 1 ile aynıdır. Tek fark, ilk amaç fonksiyonu olan toplam maliyeti en küçükleme dışındaki diğer iki amaç fonksiyonunun çözüm sırasının değişmiş olmasıdır. Toplam maliyeti en küçükleme

en önemli amaç olarak kabul edildiği için her iki yöntemde de öncelikli olarak ele alınmaktadır.

Yöntem 2'nin ilk adımında minimum maliyetle açılan toplama merkezi yerleri bulunduktan sonra ikinci adımda, firma içi eşitlik amaç fonksiyonunu en küçükleme için optimum maliyet kısıt olarak yazılır ve açılan toplama merkezi yerleri sabitlenir. Üçüncü adımda, son amaç fonksiyonu olan firmalar arası eşitlik ele alınmaktadır. Bunun için daha önce bulunan iki amaç fonksiyonu değerleri modele kısıt olarak yazılır. İlk amaç fonksiyonunun çözümünden elde edilen toplama merkezi yerleri de modelde açılması için tekrar sabitlendikten sonra çözümler elde edilir.

Şekil 5.2'de anlatılan Yöntem 1 ve Yöntem 2 adımları sırasıyla gösterilmektedir.



Şekil 5.2: Yöntem 1 ve Yöntem 2 adımları.

Tablo 5.4'de farklı sabit kurulum maliyetleri altında, çeşitli kapasite kümeleri kullanılarak, her iki yöntemin ilk adımı olan toplam maliyet amaç fonksiyonunun en küçülenmesi sonucunda elde edilen çözümler gösterilmektedir. Tablo 5.4'ün ilk sütunu tesislerin sabit kurulum maliyetleridir. İkinci sütunu ise kapasite kümeleridir. Üçüncü sütun, ilgili parametre değerleri için optimum toplam maliyet sonuçlarıdır. Dördüncü sütun firmalar arası eşitlik, beşinci sütun ise firma içi eşitlik amaç fonksiyonu değerini listelemektedir. Son sütun ise modelin çözüm sürelerini göstermektedir.

Tablo 5.4: Toplam maliyetin en küçüklenmesinin sonuçları.

Sabit kurulum maliyeti (EUR)	Kapasiteler	Toplam maliyet (EUR)	Firmalar arası eşitlik	Firma içi eşitlik	CPU zamanı (s)
300.000	Küme 1	3.470.255	13	1.478.000	73
	Küme 2	3.464.105	13	1.776.200	82
	Küme 3	3.459.580	13	1.358.700	75
400.000	Küme 1	3.848.689	14	1.997.400	86
	Küme 2	3.872.257	13	2.072.100	113
	Küme 3	3.905.100	14	1.088.300	112
500.000	Küme 1	4.097.517	13	2.598.500	102
	Küme 2	4.130.895	14	2.660.400	131
	Küme 3	4.281.100	13	1.503.000	146

Tablo 5.4'e göre toplam maliyet en küçüklendiğinde firmalar arası eşitlik amaç fonksiyonu 13 veya 14 değerini almaktadır. Firma içi eşitlik amaç fonksiyonu değerleri ise 1.000.000'un üzerindedir. CPU zamanları yüksek sabit kurulum maliyetlerinde artış göstermektedir.

Tablo 5.5'de geliştirilen Yöntem 1 ve Yöntem 2 ile farklı sabit kurulum maliyetleri altında, çeşitli kapasite kümeleri kullanılarak, elde edilen amaç fonksiyonları, toplam çözüm süreleriyle birlikte sunulmaktadır. Yöntem 1 ve Yöntem 2'nin toplam çözüm süreleri hesaplanırken minimum toplam maliyet, firmalar arası ve firma içi eşitlik modellerinin çözüm süreleri birbirine eklenerek elde edilmiştir.

Tablo 5.5: Yöntem 1 ve Yöntem 2 sonuçları.

Sabit kurulum maliyeti (EUR)	Kapasiteler	Toplam maliyet (EUR)	Yöntem 1			Yöntem 2		
			Firmalar arası eşitlik	Firma içi eşitlik	CPU zamanı (s)	Firmalar arası eşitlik	Firma içi eşitlik	CPU zamanı (s)
300.000	Küme 1	3.470.255	0	10.328	109	0	10.328	95
	Küme 2	3.464.105	0	10.328	107	0	10.328	89
	Küme 3	3.459.580	0	10.328	83	0	10.328	88
400.000	Küme 1	3.848.689	0	10.328	104	0	10.328	113
	Küme 2	3.872.257	0	10.328	144	0	10.328	167
	Küme 3	3.905.100	0	10.328	152	0	10.328	167
500.000	Küme 1	4.097.517	0	10.328	115	0	10.328	133
	Küme 2	4.130.895	0	10.328	185	0	10.328	141
	Küme 3	4.281.100	0	10.328	181	0	10.328	156

Tablo 5.5'ün ilk sütunu tesislerin sabit kurulum maliyetleridir. İkinci sütunu ise kapasite kümeleridir. Sonuç tablosundan da anlaşıldığı gibi her iki yöntem için firmalar arası eşitlik ve firma içi eşitlik amaç fonksiyonu değerleri tamamen aynı

çıkıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 5.4’de sunulan minimum toplam maliyet amaç fonksiyonunun çözümünden elde edilen firmalar arası ve firma içi eşitlik amaç fonksiyonlarının ilk değerlerine göre daha düşüktür. Bunun nedeni, bu amaç fonksiyonlarının hedeflendiği gibi en küçüklenmesidir.

Tablo 5.5’in CPU zamanlarını gösteren son sütununa bakılacak olunursa toplam sürenin büyük bir kısmı, toplam maliyeti en küçükleme için harcanmıştır. Firmalar arası ve firma içi eşitlik amaç fonksiyonları ile çözülen modellerin çözüm süreleri ise daha düşüktür. Tablo 5.5’deki CPU zamanları karşılaştırıldığında her iki yöntem için gerekli çözüm sürelerinin birbirinden çok farklı olmadığı görülmektedir.

Sonuç olarak, belediyeler için firmalar arasında adil olmanın tek bir firma için adil olmaktan daha önemli olacağı düşünüldüğünden Yöntem 1’in tercih edilmesine karar verilmiştir.

Eşitlik amaç fonksiyonlarının öncelik sırası belirlendikten sonra toplam maliyeti arttırmanın eşitlik amaç fonksiyonu değerleri üzerinde ne gibi bir etkisi olabileceğini öğrenebilmek amacıyla yeni bir analiz yapılmıştır. Bu analizde, belediyelerin toplama merkezlerinin kurulumuna ayırdıkları bütçedeki artışın, firmalara ürünlerin daha adil bir şekilde dağıtılmasına herhangi bir yararı olup olmadığını görebilmek amaçlanmıştır. Tablo 5.6, geniş kapasiteli (Küme 1) toplama merkezleri için, Yöntem 1 kullanılarak, toplam maliyeti arttırmanın eşitlik amaç fonksiyonları üzerindeki etkisini göstermektedir. Tablo 5.6’de ilk sütun, sabit tesis kurulum maliyetleridir. İkinci sütun ise bütçe kısıtındaki toplam maliyet değerleridir. Her bir sabit tesis kurulum maliyeti için ikinci sütunun ilk satırı Yöntem 1’in ilk adımında elde edilen minimum toplam maliyettir. Toplam maliyet miktarı arttıkça tüm durumlarda açılan toplama merkezi yerleri değişkenlik göstermektedir. Ancak, firmalar arası eşitlik ve firma içi eşitlik amaç fonksiyonu değerlerinde herhangi bir değişiklik olmamıştır. Tablo 5.6’de maliyetin artmasıyla eşitlik sonuçları üzerinde bir iyileşme elde edilmediği görülmektedir.

Tablo 5.6: Toplam maliyeti arttırmanın eşitlik amaç fonksiyonları üzerindeki etkisi.

Sabit kurulum maliyeti (EUR)	Toplam maliyet (EUR)	Firmalar arası eşitlik	Firma içi eşitlik	Açılan toplama merkezi yerleri	CPU zamanı (s)
300.000	3.470.255	0	10.328	11, 24, 33, 37	109
	3.500.000	0	10.328	11, 24, 33, 37	34810
	4.000.000	0	10.328	11, 14, 16, 24, 29, 34	15928
	4.500.000	0	10.328	14, 29, 36, 39	306
400.000	3.848.689	0	10.328	2, 33, 37	104
	4.000.000	0	10.328	11, 33, 37	13465
	4.500.000	0	10.328	11, 37, 39	19805
	5.000.000	0	10.328	24, 37, 39	276
500.000	4.097.517	0	10.328	2, 37	115
	5.000.000	0	10.328	11, 24, 37	8792
	5.500.000	0	10.328	2, 11, 14, 24, 39	520
	6.000.000	0	10.328	2, 11, 14, 24, 29, 37	422

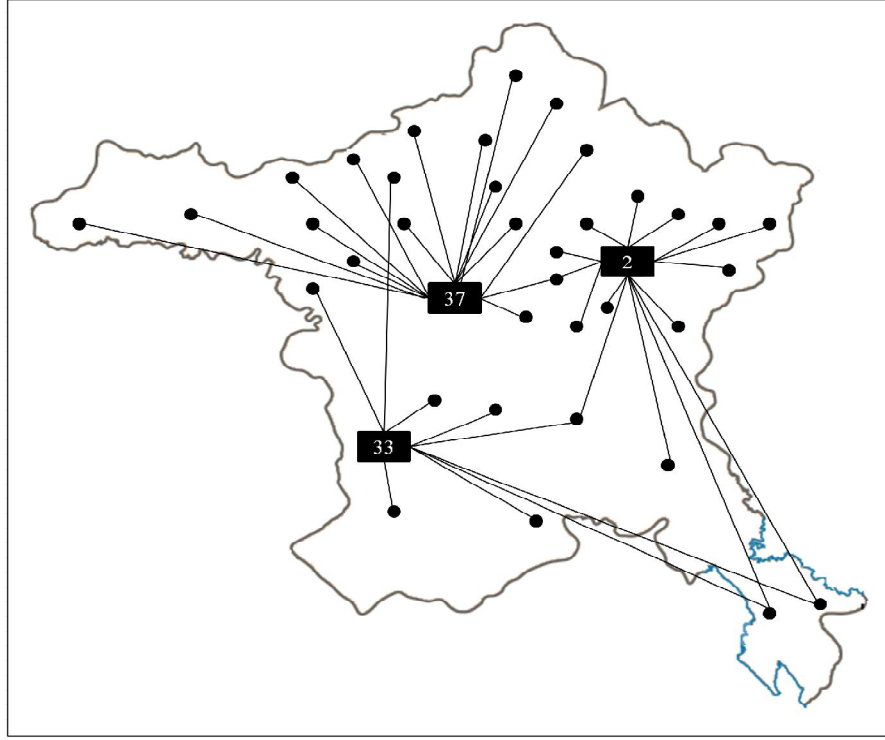
Model, en az 1.7 dakikada, en fazla 9.7 saatte çözülmüştür. Düşük sabit kurulum maliyetlerinde CPU zamanlarının daha yüksek olduğu görülmektedir.

5.3. Problemin Çözümü

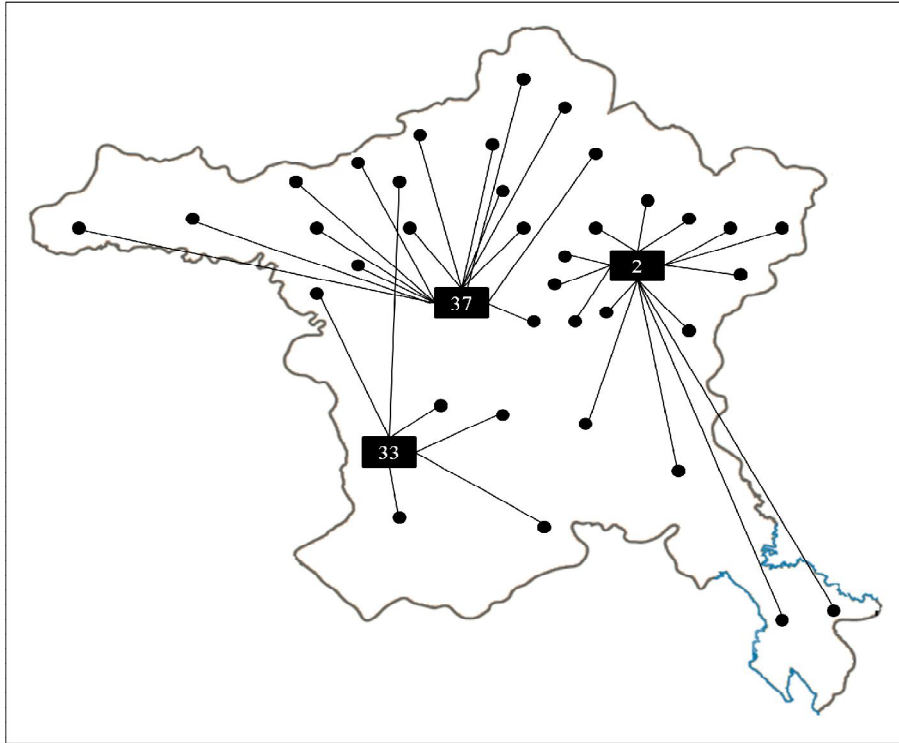
Bölüm 5.1’de sunulan parametre değerleri ile model 3.081 ikili değişken, 40.659 sürekli değişken ve 4.853 kısıt içermektedir. Şekil 5.3’de, sabit kurulum maliyeti 400.000 EUR olan Küme 2 kapasite parametreleri alınan optimal sonuç harita üzerinde sunulmaktadır. Burada Şekil 5.3a problemde 1. periyot sonundaki, Şekil 5.3b de 6. periyot sonundaki tersine lojistik ağ yapısını göstermektedir.

Bu örnek problemde toplama merkezleri Ankara’nın Altındağ (2), Polatlı (33) ve Sincan (37) ilçelerinde açılmıştır. Çözümde, dört ayrı ürün grubu için kurulan konteynerler, ilk iki periyot içerisinde açılmıştır. Şekil 5.4’de ilk iki periyot sonundaki kapasite kurulum kararları gösterilmektedir.

Şekil 5.3a ve 5.3b’de hangi tüketim noktalarının hangi toplama merkezlerine atık ürün gönderdiği gösterilmektedir. Altındağ (2) ve Sincan (37) diğer ilçe merkezlerine Polatlı’dan (33) daha yakın olduğu için daha fazla ilçeden akış toplamaktadır. Dolayısı ile Altındağ (2) ve Sincan’a (37) gelen akışları karşılayabilmek için buralardaki kapasite kurulum miktarları Polatlı’dan (33) daha fazladır.

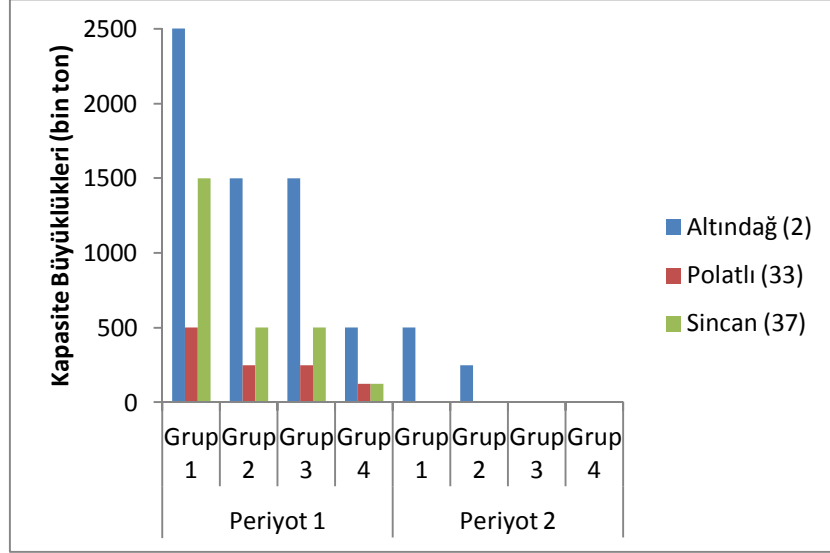


a: 1. periyot sonu



b: 6. periyot sonu

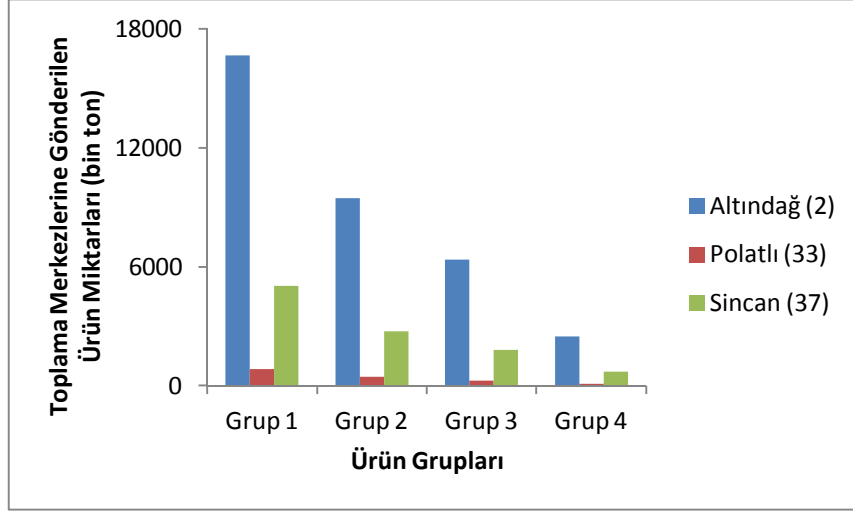
Şekil 5.3: Örnek problem çözümü.



Şekil 5.4: Kapasite kurulum kararları.

Keçiören, Çankaya, Yenimahalle ve Mamak ilçe nüfuslarının göreceli olarak daha fazla olması nedeniyle atık ürün miktarlarının en çok olduğu noktardır. Bu ilçeler sırasıyla toplam elektrikli ve elektronik atığın %17.00, %16.63, %13.67 ve %11.41'ini üretmektedir. İlk periyotta, Keçiören, Çankaya ve Mamak oluşan atık ürünün tamamını Altındağ toplama merkezine gönderirken, Yenimahalle ürünlerini hem Altındağ'a hem de Sincan'a göndermektedir. 6. periyotta ise Yenimahalle tüm ürünlerini sadece Altındağ'a göndermektedir. 6. periyodun sonunda Altındağ'a tüketim noktalarında oluşan tüm ürünlerin %75.31'i gönderilmektedir. Bunun yanında, Polatlı'ya ürünlerin %3.19'u ve Sincan'a ise %21.5'i gönderilmektedir. 6. periyot sonunda tüketim noktalarından toplama merkezlerine gönderilen ürün miktarları Şekil 5.5'te gösterilmektedir.

Şekil 5.5'te görüldüğü gibi en çok Altındağ'a, daha sonra Sincan'a ve en az da Polatlı'ya ürün gönderilmektedir. Açılan kapasite büyüklükleri de bu akışları karşılayacak şekilde verilmiştir.



Şekil 5.5: Tüketim noktalarından toplama merkezlerine gönderilen ürün miktarları.

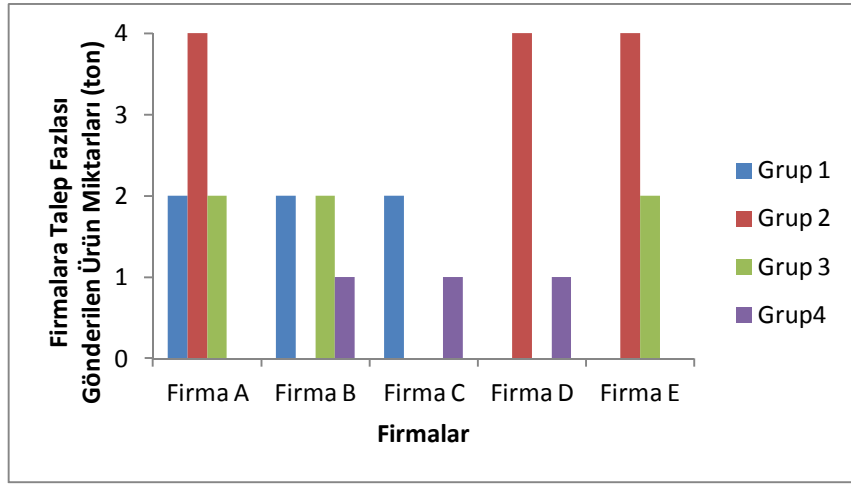
Şekil 5.3a'da gösterildiği gibi ilk periyotta Evren, Gölbaşı ve Şereflikoçhisar hem Altındağ'a hem de Polatlı'ya ürün göndermektedir. Ayrıca, Yenimahalle de ürün akışlarını Altındağ ve Sincan toplama merkezleri arasında paylaşmaktadır. 6. periyot sonundaki atamaları gösteren Şekil 5.3b'ye bakılacak olursa hiçbir tüketim noktası iki farklı toplama merkezine ürün göndermemektedir. Yani Evren, Gölbaşı, Şereflikoçhisar ve Yenimahalle sadece Altındağ'a ürün göndermektedir. Bunun sebebi Altındağ'a ikinci periyodun sonuna açılan yeni konteyner kapasiteleridir. 1. periyodun sonunda Altındağ'da kurulan konteyner kapasiteleri yetersiz olduğu için biraz önce bahsedilen ilçelerin, ürünlerini başka toplama merkezlerine gönderdikleri görülmektedir. Yeni kapasiteler açılınca her bir noktanın tek bir toplama merkezine atandığı Şekil 5.3b'de görülmektedir.

Kurulan toplama merkezlerinin hiç birinde envanter tutulmamıştır. Tüketim noktalarında oluşan ürünler periyotlar boyunca sabit bir değerle artmaktadır. Bu nedenle toplama merkezlerinde, talep dalgalanmalarının ya da mevsimsel talep değişikliklerinin etkilerini yok etmek için, herhangi bir güvenlik stoğu tutma ihtiyacı duyulmamaktadır. Ayrıca, verilen kararlar toplam maliyeti en küçükmeye çalıştığı için envanter maliyetinden mümkün olduğu kadar kaçınılıp stok tutulmamıştır.

Firmalar arası eşitlik amaç fonksiyonu ile talep fazlası gönderilen ürünlerin firmalar arasında adil bir şekilde dağıtılması amaçlanmaktadır. Toplama merkezlerinden

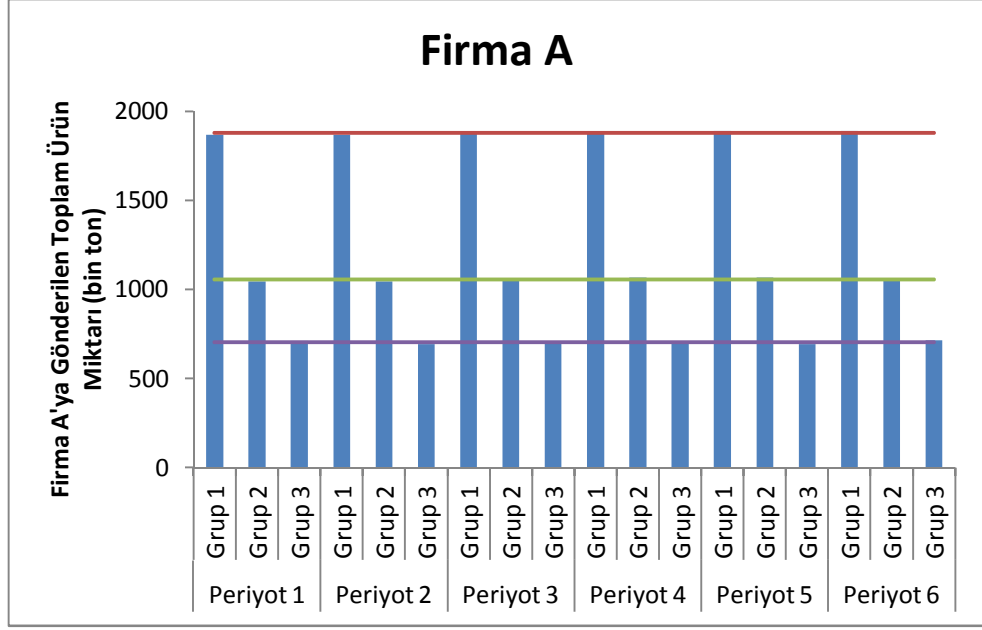
Firma A, B, C, D ve E'ye gönderilen talep fazlası ürün miktarları Şekil 5.6'te görülmektedir.

Ürünlerin firmalara adaletli bir şekilde dağıtıldığı Şekil 5.6'te görülmektedir. Grup 1 ürününü toplayan Firma A, B ve C'ye ikişer ton fazla ürün gönderilmiştir. Grup 2 ürününü toplayan Firma A, D ve E'ye dörder ton fazla ürün gönderilmiştir. Grup 3 ürününü toplayan Firma A, B ve E'ye ikişer ton ve Grup 4 ürününü toplayan Firma B, C ve D'ye ise birer ton fazla ürün gönderilerek adil bir dağıtım yapılmıştır. Bu durumda, her bir ürün için her bir firmaya gönderilen talep fazlası ürün miktarları eşit olduğundan, firmalar arası eşitlik amaç fonksiyonu alabileceği en iyi değer olan 0 değerini almıştır.



Şekil 5.6: Firmalara gönderilen talep fazlası ürün miktarları.

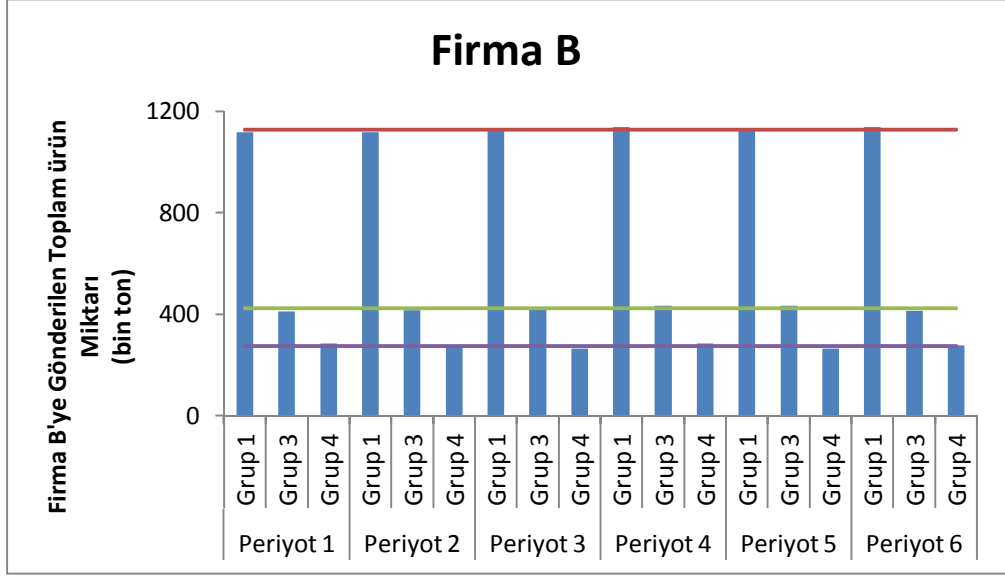
Firma içi eşitlik amaç fonksiyonu ile firmalara periyotlar boyunca düzenli akış gönderilmesi amaçlanmaktadır. Bu çözümde firma içi eşitlik amaç fonksiyonu 10.328 değerini almıştır. Şekil 5.7'de toplama merkezlerinden Firma A'ya planlama çevreni boyunca gönderilen ürün miktarları ve firmanın talep ettiği ürün ortalamaları gösterilmektedir. Firma A, ürün gruplarından 1, 2 ve 3'ü toplamaktadır. Bu ürün grupları için Firma A'nın ortalama talepleri sırasıyla 1.878.099 ton, 1.056.429 ton ve 704.285 ton'dur. Buna göre, Şekil 5.7'de görüldüğü gibi tüm periyotlar boyunca gönderilen akışlar, ortalama talep miktarlarına yakın değerdedir.



Şekil 5.7: Firma A'ya gönderilen ürün miktarları.

Benzer olarak Şekil 5.8'de, Firma B'ye periyotlar boyunca gönderilen ürün miktarları ve firma talep ortalamaları görülmektedir. Firma B, ürün gruplarından 1, 3 ve 4'ü toplamaktadır. Bu ürün grupları için Firma B'nin ortalama talepleri sırasıyla 1.126.858 ton, 422.569 ton ve 273.886 ton'dur. Şekil 5.8'de sunulduğu gibi tüm periyotlar boyunca gönderilen akışlar, ortalama ürün grubu talep miktarlarına yakın değerlerdedir.

Toplama merkezlerinden Firma C, D ve E'ye gönderilen akışlar ve talep ortalamaları ise EK 3'de gösterilmektedir. Buna göre tüm firmalara gönderilen akışların, ürün talep ortalamalarına çok yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 5.8: Firma B'ye gönderilen ürün miktarları.

6. Duyarlılık Analizleri

Bir önceki bölümde, tersine lojistik ağlarında toplama merkezleri yer seçimi için hazırlanan çok amaçlı doğrusal karmaşık tamsayı programlama modelinin örnek bir senaryo üzerindeki çözümü incelenmiştir. Bu kısımda ise oluşturulan model için belirlenen parametre değerlerindeki değişimin, problemin optimal çözümü üzerine olan etkileri incelenmektedir.

6.1. Sabit Tesis Kurulum Maliyetleri ve Kapasite Büyüklüklerindeki Değişimler

Öncelikle, sabit tesis kurulum maliyetleri ve kapasite büyüklüklerindeki değişimlerin toplama merkezi yer seçimi kararlarına olan etkileri incelenmektedir. Bunun için, geliştirilen matematiksel model, farklı tesis kurulum maliyetleri ve farklı büyüklüklerdeki kapasite kümeleri ile çözülmüştür. Elde edilen sonuçlar, Tablo 6.1’de sunulmaktadır.

Tablo 6.1’in ilk sütunu bu analiz için uygulanan farklı senaryo numaralarını listelemektedir. Her bir senaryo için ikinci ve üçüncü sütundaki değerler sırasıyla sabit tesis kurulum maliyetlerini ve farklı kapasite kümelerini göstermektedir. Farklı kümelerdeki kapasite değerleri EK 2’de sunulmaktadır. Kurulum maliyetlerinin 100 bin EUR ile 1 milyon EUR arasında değiştiği varsayılmıştır. Toplamda 30 farklı senaryo ele alınmıştır. 5. bölümde incelenen örnek problem, senaryo 14’e karşılık gelmektedir.

Tablo 6.1’in sonuçlarına bakılacak olursa en çok toplama merkezinin açıldığı senaryolar, kurulum maliyetlerinin düşük olduğu senaryolardır. Örneğin, kurulum maliyetlerinin 100 bin EUR olduğu senaryolarda (Senaryo 1, 11 ve 21) 11 veya 12

Tablo 6.1: Sabit kurulum maliyetleri ve kapasite büyüklüklerindeki değişimin planlama çevreni sonundaki sonuçları.

Senaryo	Kurulum maliyeti (bin EUR)	Kapasiteler	Toplam maliyet (EUR)	Firmalar arası eşitlik	Firma içi eşitlik	CPU zamanı (s)	Açılan toplama merkezi yerleri
1	100	Küme 1 (Geniş)	1.881.509	0	10.328	90	5, 11, 12, 14, 16, 24, 29, 33, 37, 38, 39
2	200		2.923.271	0	10.328	97	5, 11, 24, 33, 37, 38, 39
3	300		3.470.255	0	10.328	109	11, 24, 33, 37
4	400		3.848.689	0	10.328	104	2, 33, 37
5	500		4.097.517	0	10.328	115	2, 37
6	600		4.316.215	0	10.328	145	2, 37
7	700		4.531.623	0	10.328	136	2, 37
8	800		4.748.676	0	10.328	159	2, 37
9	900		4.965.729	0	10.328	143	2, 37
10	1000		5.182.782	0	10.328	180	2, 37
11	100	Küme 2 (Orta)	1.864.790	0	10.328	77	5, 11, 12, 14, 16, 23, 24, 29, 33, 37, 38, 39
12	200		2.913.071	0	10.328	96	5, 11, 24, 33, 37, 38, 39
13	300		3.464.105	0	10.328	107	11, 24, 33, 37
14	400		3.872.257	0	10.328	144	2, 33, 37
15	500		4.130.895	0	10.328	185	2, 37
16	600		4.349.817	0	10.328	171	2, 37
17	700		4.565.001	0	10.328	130	2, 37
18	800		4.782.054	0	10.328	161	2, 37
19	900		4.999.107	0	10.328	168	2, 37
20	1000		5.216.160	0	10.328	280	2, 37
21	100	Küme 3 (Sıkı)	1.855.706	0	10.328	59	5, 11, 12, 14, 16, 23, 24, 29, 33, 37, 38, 39
22	200		2.906.946	0	10.328	89	5, 11, 24, 33, 37, 38, 39
23	300		3.459.580	0	10.328	83	11, 24, 33, 37
24	400		3.905.100	0	10.328	152	11, 24, 33, 37
25	500		4.281.461	0	10.328	181	11, 24, 37
26	600		4.625.787	0	10.328	159	11, 24, 37
27	700		4.948.035	0	10.328	157	2, 33, 37
28	800		5.267.370	0	10.328	155	2, 33, 37
29	900		5.586.706	0	10.328	164	2, 33, 37
30	1000		5.906.041	0	10.328	175	2, 33, 37

toplama merkezi açılmıştır. Maliyetin yanında sıkı kapasiteler ile de (Küme 3) daha fazla toplama merkezi açılmasına ihtiyaç olduğu görülmektedir. Senaryo 10'da ve 20'de, kurulum maliyetleri en yüksekken geniş ve orta kapasitelerle iki tesise, senaryo 30'da sıkı kapasite değerleri ile ise üç tesise ihtiyaç duyulduğu görülmektedir.

Tüm senaryolarda Sincan (37)'a toplama merkezi kurma kararı verilmiştir. Bunun yanında, sırasıyla Altındağ (2), Polatlı (33), Çankaya (11) ve Keçiören (24) de senaryolar içerisinde en çok toplama merkezi kurulan ilçelerdir. Bu bölgelerde daha çok tesis açılmasının nedenleri arasında, bu ilçelerin nüfusunun diğer ilçelere göre daha yüksek olması ve konumlarının mesafe olarak diğer ilçelere daha yakın olması bulunmaktadır.

Tesis kurulum maliyetleri ve toplama merkezlerindeki depolama konteynerlerinin kapasite büyüklükleri arttıkça toplam maliyet değerleri yükselmektedir. Toplama merkezlerindeki kapasitenin yetersiz olduğu durumlarda ek tesisler açılmaktadır. Senaryo 30, tüm senaryolar arasında toplam maliyetin en yüksek olduğu senaryodur. Bu senaryo, en sıkı kapasiteye (Küme 3) sahiptir ve sabit tesis kurulum maliyeti en yüksek değerdedir. Bu senaryoda, Senaryo 10 ve 20'den farklı olarak Polatlı (33)'ya da toplama merkezi kurulmuştur. Toplam maliyetin en düşük olduğu durum ise Senaryo 21'e aittir. Bu senaryoda, 12 farklı toplama merkezi açılmıştır. Daha fazla toplama merkezi açılması ile taşıma maliyetlerinde azalma sağlanmıştır.

Her bir sabit maliyet değeri için farklı kapasite kümeleri ile belirli bir noktaya kadar toplam maliyetler düşmekte, sonrasında ise yükselmektedir. Örneğin, sabit tesis kurulum maliyetlerinin 100-300 bin EUR olduğu senaryolarda orta (Küme 2) ve sıkı (Küme 3) kapasite kümeleri için toplam maliyet değerleri azalırken, sabit tesis kurulum maliyetlerinin 400-1000 bin EUR olduğu senaryolarda artmaktadır. Bunun nedeni, tesis kurma maliyeti ile konteyner satın alma maliyeti arasındaki ödünleşimden kaynaklanmaktadır.

Tüm senaryolarda firmalar arası eşitlik amaç fonksiyonu değeri sıfırdır. Dolayısı ile tüm senaryolar altında firmalar arasında adil bir dağıtım yapıldığı söylenebilir.

Firmalara periyotlar boyunca gönderilen ürünlerin talep ortalamasından sapma değerleri de tüm senaryolarda aynı çıkmıştır (10.328). Buradan da anlaşılacağı gibi sabit kurulum maliyeti ve kapasitelerdeki değişimin firmalar arası veya firma içi eşitlik değerleri üzerinde herhangi bir etkisi bulunmamaktadır.

Tüm senaryolar CPLEX tarafından kısa sürelerde çözülmüştür. En düşük çözüm süresi 59 saniye, en yüksek ise 4.7 dakika sürmüştür. En düşük CPU değeri, en düşük kurulum maliyetleri ve sıkı kapasite kümesi ile elde edilmiştir (Senaryo 21). En yüksek CPU zamanı ise Senaryo 20'ye aittir.

6.2. Arz Miktarlarındaki Değişimin Etkileri

Bu bölümde, toplama merkezlerinin ilçelerden aldığı ürün arz miktarlarındaki değişimin sonuçlar üzerine olan etkileri incelenmektedir. Bölüm 5'te ilçelerde oluşan arz miktarları, AB WEEE Direktifi Düzenleyici Etki Analizi Türkiye (2012) raporu verilerine göre planlama çevreni başında 9.6 kg/kişi-yıl (12 kg/kişi-yıl*0.80) olarak kabul edilmişti. UNU (2008) çalışmasına göre ise Avrupa Birliği'ne yeni üye olmuş ya da yeni üye olacak ülkeler için bu değer 6-12 kg/kişi-yıl arasında öngörülmektedir. Bu bölümde, planlama çevreni başında tüketim noktalarında oluşan toplam atık ürün miktarının her bir ilçe için ayrı ayrı 6-12 arasında düzgün dağılım altında değişim gösterdiği varsayılarak on farklı senaryo oluşturulmuştur. Her bir senaryo CPLEX ile optimal olarak çözülmüştür. Planlama çevreni sonunda elde edilen optimal çözümler Tablo 6.2'de özetlenmektedir.

Her bir senaryo için Tablo 6.2'de planlama çevreni sonundaki toplam maliyet, firmalar arası eşitlik, firma içi eşitlik değerleri, açılan toplama merkezi yerleri ve çözüm süreleri gösterilmektedir. İlk satır, 5. Bölümde anlatılan örnek problem sonuçlarıdır.

Açılan toplama merkezlerinin birçok senaryo altında Altındağ (2), Polatlı (33) ve Sincan (37) ilçelerine açıldığı görülmektedir. Bunun yanında, Çankaya (11) ve Keçiören (24) ilçelerine de bazı senaryolarda toplama merkezi açılmıştır. Sincan (37)

ilçesine tüm senaryolarda toplama merkezi açılmıştır. Keçiören (24) ilçesine ise farklı senaryolarda sadece iki kez tesis kurulmuştur.

Tablo 6.2: Arz miktarlarının değiştiği on senaryo ile planlama çevreni sonundaki çözümler

Senaryolar	Toplam maliyet (EUR)	Firmalar arası eşitlik	Firma içi eşitlik	Açılan toplama merkezi yerleri	CPU zamanı (s)
İlk Durum	3.872.257	0	10.328	2, 33, 37	144
Senaryo 1	3.864.279	0	10.889	11, 24, 33, 37	130
Senaryo 2	3.769.555	0	10.464	2, 11, 33, 37	136
Senaryo 3	3.657.739	0	10.071	2, 37	181
Senaryo 4	3.648.706	0	9.419	2, 33, 37	117
Senaryo 5	3.546.418	0	8.928	2, 33, 37	117
Senaryo 6	3.835.909	0	9.381	2, 33, 37	118
Senaryo 7	3.590.922	0	9.705	2, 33, 37	113
Senaryo 8	3.637.962	0	9.663	2, 33, 37	103
Senaryo 9	3.800.931	0	10.945	11, 24, 37	136
Senaryo 10	3.540.927	0	9.151	2, 37	138

Bu sonuçlardan anlaşıldığı üzere arz miktarlarındaki değişim seçilen toplama merkezi yerlerini çok fazla etkilememektedir. Bazı senaryolarda açılan toplama merkezleri sayısındaki artışın nedeni arz miktarlarının bu senaryolarda göreceli olarak daha fazla olmasından kaynaklanmaktadır. (Senaryo 1 ve 2). Benzer olarak daha az tesise ihtiyaç duyulan senaryolarda (Senaryo 3 ve 10) arz miktarlarının ilk duruma göre daha az olduğu görülmektedir.

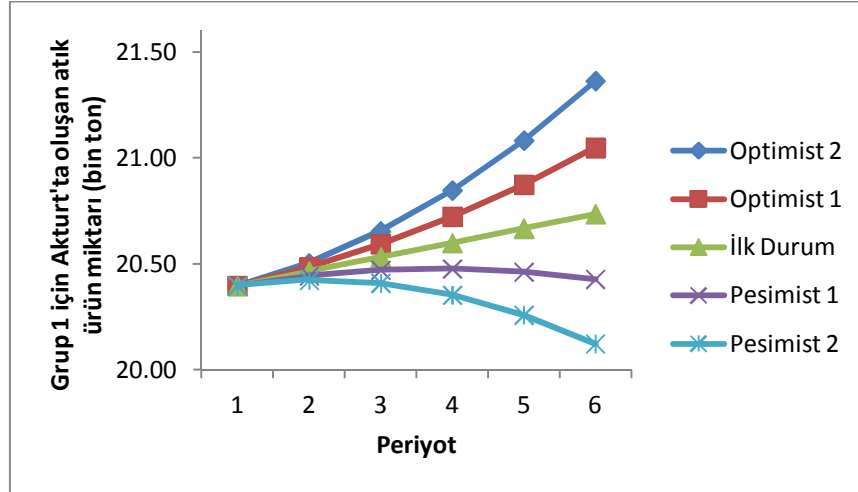
Firmalar arası eşitlik değerleri tüm durumlarda aynı sonucu vermiş ve sıfır değerini almıştır. Yani, firmalara talep fazlası olarak gönderilen ürün miktarları eşittir. Firma içi eşitlik değerleri senaryolarda ilk durumdan farklılık göstermektedir. Bazı senaryolarda daha yüksekken bazılarında ise daha azdır. Arz miktarlarındaki değişimin firma içi eşitlik değerlerini etkilediği görülmektedir.

Tablo 6.2’de sunulan çözümler arasında modelin çözüm süresi en çok yaklaşık olarak 3 dakikadır (Senaryo 3). Tüm senaryolarda ortalama 2.14 dakikada optimal sonuca ulaşılmıştır.

6.3. Ürün Büyüme Hızındaki Değişim

Bu kısımda, tüketim noktalarında oluşan atık ürün miktarlarında planlama çevreni boyunca olan değişiminin (artış ya da azalış) optimal sonuçlar üzerindeki etkileri incelenmektedir. Bölüm 5’te anlatıldığı gibi atık ürünler, yıllık %2 oranında sabit olarak artmaktadır (AB WEEE Direktifi Düzenleyici Etki Analizi Türkiye Raporu, 2012). Bu değer, her bir periyot iki ay olmak üzere, periyot başına %0.33 olarak alınmış ve her bir tüketim noktasında her bir periyotta oluşan atık ürün miktarları bu değere göre hesaplanmıştır. Bu bölümde, ürün miktarları için incelenen ilk duruma ek olarak dört ayrı (iki optimist ve iki pesimist) değişim hızı ele alınmaktadır.

Her iki optimist senaryoda oluşan atık ürün miktarı üssel olarak artarken, optimist 2’deki büyüme, optimist 1’den daha fazladır. Benzer şekilde, iki pesimist senaryodaki atık ürün miktarı üssel olarak azalırken, pesimist 2’deki azalma oranı, pesimist 1’den daha fazladır. Şekil 6.1’de, bu dört senaryo, ürün grubu 1 için Akyurt’ta oluşan atık miktarları üzerinde gösterilmektedir.



Şekil 6.1: Farklı senaryolar altında Akyurt’ta Grup 1 için oluşan atık ürün miktarları.

Parametreler hazırlandıktan sonra dört senaryo da 400.000 EUR sabit maliyet ile Küme 1, 2 ve 3 kapasite büyüklükleriyle test edilmiştir. Sonuçlar Tablo 6.3’de gösterilmektedir.

Tablo 6.3: 400.000 EUR sabit maliyet ile farklı senaryoların sonuçları.

Kapasiteler	Senaryolar	Toplam maliyet (EUR)	Firmalar arası eşitlik	Firma içi eşitlik	CPU zamanı (s)	Açılan toplama merkezi yerleri
Küme 1	İlk durum	3.848.689	0	10.328	104	2, 33, 37
	Optimist 2	3.879.013	0	33.769	119	2, 33, 37
	Optimist 1	3.863.794	0	21.973	109	2, 33, 37
	Pesimist 1	3.833.699	0	3.002	113	2, 33, 37
	Pesimist 2	3.818.816	0	12.468	108	2, 33, 37
Küme 2	İlk durum	3.872.257	0	10.328	144	2, 33, 37
	Optimist 2	3.902.580	0	33.769	129	2, 33, 37
	Optimist 1	3.887.362	0	21.973	151	2, 33, 37
	Pesimist 1	3.857.267	0	3.002	136	2, 33, 37
	Pesimist 2	3.842.384	0	12.468	119	2, 33, 37
Küme 3	İlk durum	3.905.100	0	10.328	152	11, 24, 33, 37
	Optimist 2	3.930.311	0	33.769	139	11, 24, 33, 37
	Optimist 1	3.917.617	0	21.973	143	11, 24, 33, 37
	Pesimist 1	3.892.650	0	3.002	139	11, 24, 33, 37
	Pesimist 2	3.880.329	0	12.468	134	11, 24, 33, 37

Tablo 6.3'ün ilk sütunu, kapasite büyüklük kümeleridir. İkinci sütunu, farklı atık ürün miktarlarındaki değişim hızı için oluşturulan senaryolardır. Her bir senaryo için açılan toplama merkezi yerleri, ilk durumda açılan tesis yerleri ile birebir aynıdır,

Üçüncü sütün, senaryoların toplam maliyet değerleridir. Tüketim noktalarından toplama merkezlerine gönderilen ürün miktarlarının farklı olması nedeniyle toplam maliyet değerleri de ilk durumdan farklıdır. Beklendiği gibi optimist 1 ve optimist 2 senaryolarında toplam maliyet ilk durumdan biraz daha fazla iken, pesimist 1 ve pesimist 2 senaryolarında biraz daha düşüktür.

Benzer olarak toplama merkezlerinin kapasite kurulum kararları da tüm senaryolarda ilk durum ile aynı sonuçları vermiştir. Sadece diğerlerinden farklı olarak optimist 2 senaryosundaki Küme 3 kapasite seçeneğinde, Çankaya (11) toplama merkezine ürün grubu 4 için ek kapasite artırımı yapılmıştır.

Tüm senaryolarda firmalar arası eşitlik amaç fonksiyonu değeri sıfırdır. Dolayısı ile tüm senaryolar altında firmalar arasında adil bir dağıtım yapıldığı söylenebilir. Firmalara periyotlar boyunca gönderilen ürünlerin talep ortalamasından sapma değerleri (firma içi eşitlik) her bir senaryo için farklılık göstermektedir. Ancak, her bir senaryo için farklı kapasite büyüklüklerinde aynı değeri aldığı görülmektedir.

Firma içi eşitlik amaç fonksiyonu değeri, ürün büyüme hızındaki değişimin en fazla olduğu Optimist 2 senaryosunda en yüksek değerini almıştır (33.769). Bunun yanında, atık ürün miktarlarındaki ürün büyüme hızının planlama çevreni boyunca en az değişim gösterdiği Pesimist 1 senaryosunda ise en düşük değerini almıştır (3.002).

6.4. Planlama Çevrenindeki Değişimin Etkileri

Bu bölümde ilk olarak periyot süresindeki değişimin problemin optimal çözümü üzerine olan etkileri incelenmektedir. Daha sonra ise planlama çevreninin uzunluğunun çözüm süreleri üzerine olan etkileri anlatılmaktadır.

6.4.1. Periyot Süresindeki Değişim

Bölüm 5’te, her periyot iki ay olmak üzere toplamda 6 periyot (1 yıl) süresince alınan sonuçlar incelenmiştir. Bu kısımda, planlama çevreninin toplam uzunluğu değişmeden (1 yıl) periyot süresindeki değişimin etkileri incelenmektedir.

Bu analiz için her bir periyotun uzunluğu 1 ay alınıp, toplamda 12 periyotluk (1 yıl) bir planlama çevreni oluşturulmuştur. İlgili parametre değerleri hesaplanırken, her bir periyot başında oluşan ürün miktarlarını tahmin edebilmek için, yıllık sabit %2 (bir aylık %0.165) ürün artış miktarı kullanılmıştır (AB WEEE Direktifi Düzenleyici Etki Analizi Türkiye Raporu, 2012). Planlama çevreni boyunca kullanılan tüm maliyet parametrelerinin Bölüm 5’teki gibi Avrupa İstatistik Kurumu (Eurostat, 2012) enflasyon verilerine göre yıllık %3 (bir aylık %0.2) artış gösterdiği kabul edilmektedir. Yapılan değişiklikler sonucunda elde edilen çözümler Tablo 6.4’te sunulmaktadır.

Tablo 6.4’ün ilk sütunu farklı sabit kurulum maliyetleridir. İkinci sütunu kapasite büyüklük kümeleridir. Bu parametreler altında 2 aylık 6 periyot ve 1 aylık 12 periyot çözümlerinin karşılaştırılması görülmektedir. Buna göre, 12 periyotluk toplam maliyet değerleri, 6 periyotluk toplam maliyet değerlerine çok yakın ancak biraz

Tablo 6.4: 2 aylık 6 periyot ve 1 aylık 12 periyot çözümlerinin sonuçları.

Sabit kurulum maliyeti (EUR)	Kapasiteler	2 Aylık 6 Periyot					1 Aylık 12 Periyot				
		Toplam maliyet (EUR)	Firmalar arası eşitlik	Firma içi eşitlik	CPU zamanı (s)	Açılan toplama merkezi yerleri	Toplam maliyet (EUR)	Firmalar arası eşitlik	Firma içi eşitlik	CPU zamanı (s)	Açılan toplama merkezi yerleri
300.000	Küme 1	3.470.255	0	10.328	109	11,24,33,37	3.463.174	0	5.690	169	11,24,33, 37
	Küme 2	3.464.105	0	10.328	107	11,24,33,37	3.457.874	0	5.690	230	11,24,33, 37
	Küme 3	3.459.580	0	10.328	83	11,24,33,37	3.455.024	0	5.690	263	11,24,33, 37
400.000	Küme 1	3.848.689	0	10.328	104	2,33,37	3.842.848	0	5.690	255	2,33,37
	Küme 2	3.872.257	0	10.328	144	2,33,37	3.836.998	0	5.690	239	2,33,37
	Küme 3	3.905.100	0	10.328	152	11,24,33,37	3.834.273	0	5.690	302	2,33,37
500.000	Küme 1	4.097.517	0	10.328	115	2,37	4.092.251	0	5.690	290	2,37
	Küme 2	4.130.895	0	10.328	185	2,37	4.088.301	0	5.690	303	2,37
	Küme 3	4.281.100	0	10.328	181	11,24,37	4.086.501	0	5.690	306	2,37

daha düşüktür. Bunun nedeni, enflasyon nedeni ile ürünleri birer aylık süreler boyunca taşımanın iki aylık sürelerle taşımaktan daha uygun olmasındandır.

Açılan toplama merkezi yerleri çoğunlukla aynıdır. Ancak, sabit kurulum maliyetinin 400 bin EUR olduğu sıkı kapasite kümesi ile elde edilen (Küme 3) 1 aylık 12 periyot çözümünde açılan toplama merkezlerinin yerleri değişmiştir ve yeni yerler Altındağ (2), Polatlı (33) ve Sincan (37) olmuştur. Benzer olarak sabit kurulum maliyetinin 500 bin EUR olduğu sıkı kapasite kümesi ile elde edilen çözümde de toplama merkezi yerleri değişerek Altındağ (2) ve Sincan (37) olmuştur. Her iki senaryo için de açılan tesis sayıları azalmıştır. Bunun nedeni, birer aylık taşınan ürün miktarlarının daha düşük olmasıdır.

Firmalar arası eşitlik amaç fonksiyonu sonuçları değişmemiş ve sıfır değerini almıştır. Firma içi eşitlik amaç fonksiyonu değerleri de 6 periyot ile kıyaslandığında daha düşüktür. Dolayısı ile bu sonuçlarla periyot süresini 12 periyot almanın, 6 periyot almaya göre daha avantajlı olduğu söylenebilir. Ancak, CPU zamanlarının 12 periyotluk modelde biraz daha uzun olduğu görülmektedir.

6.4.2. Planlama Çevreni Uzunluğundaki Değişim

İkişer aylık sürelerle toplamda 6 periyot olarak alınan planlama çevreni gerekli durumlarda uzatılabilir. Bu analizde, planlama çevreni uzunluğu değiştirilerek alınan sonuçlar incelenmektedir. Her bir periyotun iki ay olan uzunluğu değişmeyecek şekilde 12 (2 yıl), 24 (4 yıl) ve 36 (6 yıl) periyotluk çözümler elde edilmiştir. İlgili parametre değerleri hesaplanırken 2 aylık artışlar aynı alınmıştır. Planlama çevreni uzunluğundaki değişimin etkileri incelenirken Bölüm 5'teki parametre değerleri (400.000 EUR sabit kurulum maliyeti ve Küme2) kullanılmıştır. Alınan sonuçlar Tablo 6.5'de sunulmaktadır.

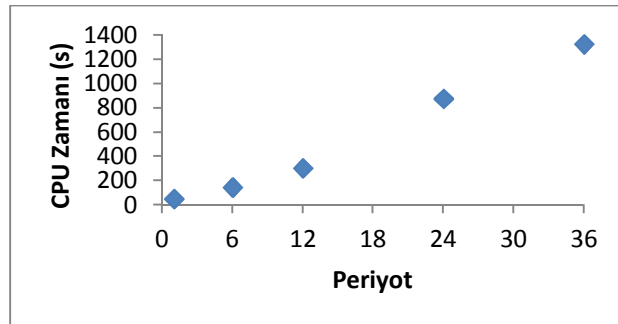
Tablo 6.5: Planlama çevreni uzunluğundaki değişimin sonuçları.

Periyot sayısı	Toplam maliyet (EUR)	Firmalar arası eşitlik	Firma içi eşitlik	Açılan toplama merkezi yerleri	CPU zamanı (s)
1	1.427.865	0	4.637	2, 37	49
6	3.870.638	0	10.328	2, 33, 37	144
12	5.878.824	0	23.026	5, 11, 24, 33, 37, 38, 39	302
24	7.564.284	0	49.441	5, 11, 12, 14, 16, 23, 24, 29, 33, 37, 38, 39	874
36	8.554.265	0	77.260	2, 5, 11, 12, 13, 14, 16, 23, 24, 29, 33, 36, 37, 38, 39	1323

Tablo 6.5'in ilk sütunu farklı planlama çevreni uzunluklarıdır. Planlama çevrenin uzaması toplam maliyette ve açılan toplama merkezlerinin sayısında bir artışa neden olmaktadır. Bunun nedeni, planlama çevreni uzadıkça toplanması gereken ürün miktarlarının artmasıdır.

Firmalar arası eşitlik amaç fonksiyonu her bir planlama çevreni uzunluğu için sıfır değerini almıştır. Ayrıca, planlama çevreni uzadıkça ürün miktarlarındaki artıştan dolayı firma içi eşitlik amaç fonksiyonu değerinin yükseldiği görülmektedir.

Beklendiği gibi planlama çevreni uzadıkça modelin çözüm süresi de artmaktadır. Şekil 6.2'de farklı planlama çevreni uzunlukları için gerekli CPU zamanları görülmektedir. Model, tek periyotluk problemde 49 saniyede çözülürken, 36 periyotluk problemde 22 dakikada çözülmüştür.



Şekil 6.2: Planlama çevreni uzunluğundaki değişimin CPU zamanına etkisi.

6.5. Çok Dönemli Planlamanın Avantajı

Bu bölümde, modelin çok dönemli bir yapıda olmasının, statik bir modele göre daha avantajlı olup olmadığı incelenmektedir. Bunun için farklı sabit kurulum maliyetleri ve farklı kapasite kümeleri için tek periyotlu statik bir modelin çözümü ile 6 periyotlu modelin çözümünden elde edilen toplam maliyet değerleri karşılaştırılmaktadır. Toplamda 18 senaryo incelenmiştir. Tek periyotlu model 6-periyotluk parametrelerin en yüksek değerleri ile çözülmüştür. Buradan elde edilen toplama merkezi ve kapasite kurulumu kararları 6 periyot için sabitlenerek bir toplam maliyet değeri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar modelin 6-periyotlu çözümü ile Tablo 6.6’te kıyaslanmaktadır.

Tablonun birinci sütunu 100 bin EUR’ dan başlayıp 600 bin EUR’ ya kadar olan sabit tesis kurulum maliyetleridir. İkinci sütun ise her bir kurulum maliyeti için alınan farklı kapasite kümeleridir. Üçüncü ve dördüncü sütunlar modelin tek periyot (statik) çözümünün, 6 periyot boyunca uygulanması sonucunda elde edilen toplam maliyet ve açılan toplama merkezi yerleridir. Beşinci ve altıncı sütunlar ise 6 periyotlu çok dönemli modelin çözümünden elde edilen toplam maliyet ve açılan toplama merkezi yerleridir. Son sütun ise statik ve çok dönemli modeller arasındaki toplam maliyet farkını yüzde olarak göstermektedir.

Genellikle, tek periyotlu çözümde açılan tesis sayısı, 6 periyotlu çözümden daha azdır. Bunun sonucunda tek periyotluk çözüm uygulandığında taşıma maliyetleri daha yüksek olmakta ve toplam maliyetler bu nedenle 6-periyotluk çözüme kıyasla çok daha fazla olabilmektedir. Farkların en fazla olduğu durumlar sabit kurulum maliyetinin düşük olduğu ilk altı senaryodur. Belediyelerin toplama merkezi kurma maliyeti 100 bin EUR ve kapasite kümesi orta (Küme 2) alınırsa, problemi çok dönemli olarak 6-periyot çözmek statik olarak tek periyot çözmeye oranla %75 daha avantajlıdır. Bu durumda belediye, önerilen çok dönemli modeli çözerek yaklaşık 1.400.000 EUR kazanç sağlamış olacaktır.

Tablo 6.6: Statik ve çok dönemli planlamanın kıyaslanması.

Sabit maliyet (EUR)	Kapasite	Tek periyot çözümünün 6-periyot boyunca uygulanması		6-periyotlu çözüm		Fark (%)
		Toplam maliyet (EUR)	Açılan toplama merkezi yerleri	Toplam maliyet (EUR)	Açılan toplama merkezi yerleri	
100.000	Küme 1	3.230.950	2, 37	1.881.509	5, 11, 12, 14, 16, 24, 29, 33, 37, 38, 39	71.72
	Küme 2	3.264.552	2, 37	1.864.790	5, 11, 12, 14, 16, 23, 24, 29, 33, 37, 38, 39	75.06
	Küme 3	2.909.949	11, 24, 37	1.855.706	5, 11, 12, 14, 16, 23, 24, 29, 33, 37, 38, 39	56.81
200.000	Küme 1	3.448.003	2, 37	2.923.271	5, 11, 24, 33, 37, 38, 39	17.95
	Küme 2	3.481.605	2, 37	2.913.071	5, 11, 24, 33, 37, 38, 39	19.52
	Küme 3	3.293.740	2, 11, 37	2.906.946	5, 11, 24, 33, 37, 38, 39	13.31
300.000	Küme 1	3.665.056	2, 37	3.470.255	11, 24, 33, 37	5.61
	Küme 2	3.698.658	2, 37	3.464.105	11, 24, 33, 37	6.77
	Küme 3	3.696.008	2, 29, 37	3.459.580	11, 24, 33, 37	6.83
400.000	Küme 1	3.882.108	2, 37	3.848.689	2, 33, 37	0.87
	Küme 2	3.915.711	2, 37	3.872.257	2, 33, 37	1.12
	Küme 3	4.024.474	2, 29, 37	3.905.100	11, 24, 33, 37	3.06
500.000	Küme 1	4.099.162	2, 37	4.097.517	2, 37	0.04
	Küme 2	4.132.764	2, 37	4.130.895	2, 37	0.05
	Küme 3	4.352.941	2, 29, 37	4.281.461	11, 24, 37	1.67
600.000	Küme 1	4.316.215	2, 37	4.316.215	2, 37	0.00
	Küme 2	4.349.817	2, 37	4.349.817	2, 37	0.00
	Küme 3	4.681.408	2, 29, 37	4.625.787	11, 24, 37	1.20

6.6. Modelin Çözüm Potansiyeli

Bundan önceki analizlerde Ankara, ilçe ve bucaklarıyla beraber 39 tüketim noktasına ayrılmış ve aynı yerler potansiyel toplama merkezi olarak kabul edilmiştir. Bu kısımda, modelin CPLEX' teki çözüm potansiyelini anlayabilmek için tüketim noktalarının sayısı artırılmıştır. Bu amaçla Şekil 6.3'te görülen Ankara'nın İç Anadolu Bölgesi'ndeki komşu illerinin ilçeleri de dâhil edilmiş, tüketim noktaları ve potansiyel tesis yerleri sayısı 39'dan 105'e çıkarılmıştır. EK 4'te 105 ilçe listelenmektedir. Ankara, Aksaray, Çankırı, Eskişehir, Kırıkkale, Kırşehir ve Konya'nın 105 merkez ilçesi tüketim noktaları ve potansiyel toplama merkezleri olarak alınmaktadır. 105 nokta içerisinde Ankara'nın bucakları alınmamış, sadece merkez ilçeleri alınmıştır.



Şekil 6.3: Ankara'nın İç Anadolu Bölgesi'ndeki komşu illeri.

İlçe merkezlerinin arasındaki uzaklıklar ilgili kaymakamlıklar arasındaki karayolları mesafelerinin google haritalar kullanılarak hesaplanması ile belirlenmiştir. Diğer tüm parametreler Bölüm 5'te anlatıldığı şekilde alınmıştır.

Tablo 6.6’da alınan sonuçlar özetlenmektedir. İlk sütun, 39 ve 105 olmak üzere kullanılan toplam düğüm sayılarıdır. İkinci sütun, farklı büyüklükteki konteyner kapasiteleridir. Burada 39 düğümlü modelin Küme 2 için çözümü Bölüm 5’te anlatılan ilk durumdur. Altıncı sütun, açılan toplama merkezlerinin yerlerini göstermektedir. 105 düğümlü problemde Küme 1 (Geniş) ve Küme 2 (Orta) kapasite büyüklüklerinde açılan tesis yeri sayısı eşit ve 12’dir. Küme 3 (Sıkı) en düşük kapasite büyüklüğündeki tesisler için fazladan bir tesis yeri daha açılmış ve toplamda 13 adet toplama merkezi kurulmuştur. Ankara’nın nüfusu 4.5 milyondan, Konya’nın nüfusu ise 2 milyondan fazla olup İç Anadolu Bölgesi’nin en kalabalık iki şehridir. Bu nedenle, bu şehirlere daha çok tesis açıldığı görülmektedir.

105 düğümlü problemde 39 düğümlü probleme göre toplam maliyetler beklendiği gibi daha fazladır. Firmalara taleplerinden fazla gönderilen ürün miktarları her iki problemde de 0 değerini almış ve firmalar arası eşitlik sağlanmıştır. Firma içi eşitlik amaç fonksiyonu değerleri, 105 düğümlü problemde daha fazladır. Çünkü arz miktarları bu problem için artan düğüm sayısı ile orantılı olarak yükselmiştir.

Düğüm sayısının artması ile birlikte problemin çözüm süresi de artmıştır. Problem, tüm senaryolar için optimum olarak çözülmüştür. 105 düğüm ile en yüksek CPU değeri, Küme 2 (Orta) kapasiteli problemde yaklaşık 32 dakikadır.

Tablo 6.7: 39 ve 105 düğümlü problemlerin planlama çevreni sonundaki sonuçları.

Düğüm sayısı	Kapasiteler	Toplam maliyet (EUR)	Firmalar arası eşitlik	Firma içi eşitlik	Açılan toplama merkezi yerleri	CPU zamanı (s)
39	Küme 1	3.848.689	0	10.328	Altındağ, Polatlı, Sincan	104
	Küme 2	3.872.257	0	10.328	Altındağ, Polatlı, Sincan	144
	Küme 3	3.905.100	0	10.328	Çankaya, Keçiören Polatlı, Sincan	152
105	Küme 1	10.233.687	0	18.398	Aksaray (merkez), Altındağ, Cihanbeyli, Çankırı (merkez), Ereğli, Ilgın, Kırıkkale (merkez), Kırşehir (merkez), Meram, Seydişehir, Sincan, Sivrihisar	1841
	Küme 2	10.236.778	0	18.398	Aksaray (merkez), Altındağ, Cihanbeyli, Çankırı (merkez), Ereğli, Ilgın, Kırıkkale (merkez), Kırşehir (merkez), Meram, Seydişehir, Sincan, Sivrihisar	1909
	Küme 3	10.226.167	0	18.404	Aksaray (merkez), , Cihanbeyli, Çankaya, Çankırı (merkez), Ereğli, Ilgın, Keçiören, Kırıkkale (merkez), Kırşehir (merkez), Meram, Seydişehir, Sincan, Sivrihisar	1352

7. Sonuçların Değerlendirilmesi ve Gelecek Çalışmalar

Tedarikçiden son tüketiciye doğru akan lojistik süreçlerinin ters yönde akışı olarak tanımlanan tersine lojistiğin önemi günümüzde ekonomik faktörler, yasal zorunluluklar ve çevresel sorumluluklar nedeniyle giderek artmaktadır. Atık miktarlarının giderek artması nedeniyle hem atık ürünler içerisinde çevreye zararlı olabilecek madde kullanımının, hem de atık miktarlarının azaltılması isteği tüm dünyada çeşitli yönetmeliklerin uygulanmasını zorunlu hale getirmiştir. Uygulanan yönetmeliklerden biri, Atık Elektrikli ve Elektronik Aletler (WEEE) Direktifidir. Bu tez kapsamında, Avrupa'daki WEEE Direktifi uygulamalarından esinlenerek kullanılmış elektrikli ve elektronik aletlerin toplanmasına yönelik bir çalışma yapılmıştır.

Bu çalışmada, atık ürünlerin toplandığı toplama merkezleri Avrupa'daki pek çok ülke gibi, belediyelerin gerekli altyapıya ve ulaşım imkânlarına sahip olarak kurdukları tesislerdir. WEEE Direktifi doğrultusunda firmalar, sattıkları elektrikli ve elektronik ürünleri pazar payları oranında toplama merkezlerinden alıp geri kazanmakla yükümlüdürler. Dolayısı ile tüketim noktaları, toplama merkezleri ve firmalar iki kademeli bir tersine lojistik ağı oluşturmaktadır. Bu çalışmada, belediyelerin sorumluluğu altında kurulacak olan toplama merkezlerinin yerlerine karar verilmeye çalışılmaktadır. Bunun yanında, hangi dönemlerde hangi tüketim noktasından hangi toplama merkezlerine ve hangi toplama merkezlerinden hangi firmalara ne kadar ürün gönderileceğine de karar verilmektedir. Ayrıca, toplama merkezlerinin kapasiteleri ve planlama çevreninde gerekli olabilecek kapasite artış kararları da incelenmektedir. Bu problemde, belediyelerin temelde üç amacı vardır. İlk ve en önemli amaç, toplama merkezleri kurulum kararları sonucunda ortaya çıkan toplam maliyeti en küçükmektir. Diğer amaçları ise talepten fazla gönderilebilen ürün miktarları göz önüne alındığında firmalar arasında adil olabilmek (firmalar arası eşitlik) ve firmalara periyotlar boyunca düzenli akış gönderebilmektir (firma içi eşitlik).

Problem çok ürünlü, çok periyotlu, kapasite kısıtlı ve envanter tutan çok amaçlı doğrusal karmaşık bir tamsayı programlama problemi olarak modellenmiştir. Firmalar arası ve firma içi eşitlik amaçlarını gerçekleştirebilmek için tersine lojistik ağı tasarımında daha önce hiç kullanılmamış olan iki ayrı eşitlik ölçütü kullanılmıştır. Firmalara taleplerinden fazla gönderilebilen ürün miktarlarının firmalar arasında eşit olarak paylaşılmasını sağlamak için en büyük farkın en küçüklenmesi eşitlik ölçütünden yararlanılmıştır. Firmalara her periyotta talep ortalamalarına yakın miktarlarda ürün gönderebilmek amacıyla da ortalamadan sapan en büyük değer en küçüklenmesi eşitlik ölçütünden yararlanılmıştır. Önerilen matematiksel modelde, firmalar arası ve firma içi eşitlik amaç fonksiyonlarının doğrusal bir şekilde modellenmesi gerçekleştirilmiştir.

Belediyeler, gerçekleştirmek istedikleri üç amaç arasından öncelikli olarak toplam maliyeti en küçüklemek istemektedirler. Geriye kalan iki amaç arasından hangisinin öncelikli olmasına karar verebilmek için çok amaçlı olarak geliştirilen problemin çözümüne yönelik kısıt atma metodunu temel alan Yöntem 1 ve Yöntem 2 analizleri yapılmıştır. Tüm koşullar OPL CPLEX 12.4 versiyonlu ticari çözücüde uygun sürelerle optimum olarak çözülmüştür. Yöntemler, farklı kurulum maliyetleri ve farklı kapasite büyüklük kümeleriyle birlikte test edilmiş ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırma sonucunda her iki yöntemin de sonuçları tamamen aynı çıkmış ve yöntemler arasında fark olmadığı görüldükten sonra Yöntem 1 seçilmiştir.

Problem, gerçekçi ve uygun büyüklüklerdeki verilerle ticari bir çözücüde birkaç dakikalık sürelerde optimal olarak çözülebilmektedir. Elde edilen sonuçlar sonunda kurulan toplama merkezi yerleri ve kapasite kararları incelenmiştir. İlçe nüfuslarının fazla olduğu ve diğer ilçelere mesafe olarak daha yakın olan tüketim noktalarına, daha sıklıkla toplama merkezi kurulduğu gözlemlenmiştir. Atık ürünlerin olduğu nüfusu kalabalık ilçelerde kurulan ve daha fazla ilçeden akış alan tesislerin kapasite büyüklüklerinin diğerlerine göre daha yüksek olduğu görülmektedir.

Firmalara gönderilen talep fazlası ürün miktarları incelendiğinde firmalar arası eşitlik amaç fonksiyonu tüm çözümlerde alabileceği en iyi değer olan 0 değerini almıştır.

Ayrıca, tüm firmalara periyotlar boyunca ürün talep ortalamalarına yakın miktarlarda ürün gönderildiği ve firma içi eşitlik amaç fonksiyonu için hedeflenen sonuçların elde edildiği görülmüştür.

Parametrelerdeki değişimin optimal sonuçlara olan etkilerini görebilmek için çeşitli senaryolar ile duyarlılık analizleri yapılmıştır. Farklı kapasite ve farklı kurulum maliyetleri altında birçok koşul alınmıştır. En çok sayıda toplama merkezinin açıldığı senaryoların, maliyet ve kapasitelerin en düşük olduğu senaryolar olduğu görülmüştür. Her iki parametrenin artış gösterdiği senaryolarda ise daha az sayıda tesis açılmıştır.

Arz miktarlarındaki değişimin optimal sonuçlara olan etkisini görebilmek için planlama çevreni başında ilçelerde oluşan atık arz miktarları değiştirilerek düzgün dağılım altında değişim gösterdiği varsayılmış ve birbirinden farklı on ayrı senaryo oluşturulmuştur. Bunun sonucunda, toplama merkezlerinin sıklıkla aynı yerlere açıldığı görülmüştür.

Yapılan bir başka analizde ürün büyüme hızındaki (artış veya azalış) değişimin etkileri incelenmiştir. Bunun için iki optimist ve iki pesimist olmak üzere dört senaryo oluşturulmuştur. Tüm senaryolarda toplama merkezleri aynı yerlere açılmıştır.

Planlama çevreninin toplam uzunluğu değişmeden periyot süresindeki değişimin etkileri ve planlama çevreni uzunluğundaki artışın CPU zamanlarına olan etkileri incelenmiştir. Buna göre, periyot süresi arttıkça toplam maliyet değerinin azaldığı ve planlama çevreni uzunluğu arttıkça CPU zamanının da arttığı tespit edilmiştir.

Problemin çok dönemli olarak planlanmasının statik olarak planlanmasına göre daha avantajlı olup olmadığını incelemek için, 6-periyotluk parametrelerin en yüksek değerleri ile, tek periyotlu bir model çözülmüştür. Buradan elde edilen toplama merkezi ve kapasite kurulumu kararları 6 periyot boyunca sabitlenerek 6 periyotluk bir toplam maliyet değeri hesaplanmıştır. Elde edilen bu maliyet değeri problemin 6-periyot olarak çözülmesi sonunda elde edilen toplam maliyet değeri ile

karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda problemi 6-periyot ile çok dönemli olarak çözenin tek periyot ile statik olarak çözmeye oranla daha avantajlı olduğu görülmüştür.

Modelin çözüm potansiyelini görmek için tüketim noktaları Ankara'nın 39 ilçe ve bucağından, Ankara'nın İç Anadolu Bölgesi'ndeki komşu illerini de kapsayan 105 ilçeye çıkarılmıştır. En fazla 32 dakika içerisinde optimal sonuçlara ulaşılmıştır. Toplama merkezlerinin en fazla Ankara ve Konya illerinin ilçelerine açıldığı görülmüştür.

Problemin farklı versiyonları geliştirilerek bu çalışmanın devamı niteliğinde çeşitli araştırmalar yapılabilir. Bunlardan biri, tüketim noktalarında oluşan atık ürün miktarlarının ve ürün kalitelerinin belirsiz olduğu durumdur. Buradaki belirsizlik, ürünlerin farklı eskime seviyelerinden kaynaklanabilir. Problem çözülürken, ürünler farklı yıpranma seviyelerine göre kategorize edilip ilgili kategoriye göre toplam maliyeti en küçükleyecek şekilde müşterilere verilecek uygun teşvik miktarlarına karar verilebilir.

Bu tezde, belediyeler için çözülen toplama merkezi yer seçimi probleminde ürünlerin gönderileceği firmaların yerlerinin belediyeler için önemli olmadığı varsayımı yapılmıştır. Firmalar toplama merkezlerinden ürünleri gelip kendileri alacakları için ilgili taşıma maliyetleri sadece firmaları ilgilendirmektedir. İleriki çalışmalarda bu konunun devamı olarak firma yerlerinin de problem için önemli olduğu kabul edilerek bir matematiksel model geliştirilebilir.

Ele alınabilecek diğer bir durum da toplama merkezlerine gönderilen atıkların belediyelerin kendi araçları ile rotalanarak toplanmasıdır. Bu problem içerisinde araç rotalama problemi çözülmesi de gerekmektedir. Bu gibi farklı varyasyonlar farklı matematiksel modeller ve çözüm yöntemleri geliştirilmesini gerektirecektir. Bu tez kapsamında yapılan çalışma ile tersine lojistik ağlarında karşılaşılan toplama merkezi yer seçimi problemi için etkin bir çözüm yöntemi başarı ile geliştirilmiştir. Geliştirilen matematiksel model bu konuda yapılabilecek ileriki çalışmalara da ışık tutacaktır.

KAYNAKLAR

[1] AB WEEE Direktifi Düzenleyici Etki Analizi Türkiye Raporu. (2012). Erişim adresi: http://www.weee-forum.org/sites/default/files/documents/2012_weee_in_turkey_ria_final.pdf. Erişim tarihi: 29 Eylül 2012.

[2] Akçalı, E., Çetinkaya, S., Üster, H. (2009). Network design for reverse and closed-loop supply chains: An annotated bibliography of models and solution approaches. *Networks*, 53(3), 231–248.

[3] Aksen, D., Aras, N., Karaaslan, G. (2009). Design and analysis of government subsidized collection systems. *International Journal of Production Economics*, 119(2), 308-327.

[4] Alumur, S.A., Nickel, S., Saldanha-da-Gama, F., Verter, V. (2012). Multi-period reverse logistics network design. *European Journal of Operational Research*, 220(1), 67–78.

[5] Aras, N., Aksen, D. (2008). Locating collection centers for distance and incentive dependent returns. *International Journal of Production Economics*. 111(2), 316-333.

[6] Aras, N., Aksen, D., Tanuğur, A.G. (2008). Locating collection centers for incentive-dependent returns under a pick-up policy with capacitated vehicles. *European Journal of Operational Research*, 191(3), 1223–1240.

[7] Aras, N., Boyacı T., Ferguson, M., Souza, G., Verter, V. (2010). Designing the reverse logistics network in closed loop supply chains: New developments to improve the sustainability of business practices, CRC Press.

[8] Aras, N., Büyükozan, G., Çakar, N.D., Erol, İ., Korugan, A., Şerifoğlu, F.S., Velioglu, M.N. (2010). Exploring reverse supply chain management practices in Turkey. *Supply Chain Management: An International Journal*, 15(1), 43-54.

[9] Avrupa İstatistik Kurumu (Eurostat 2012). (2012). Erişim adresi: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/eurostat/home/>. Erişim tarihi: 17 Ekim 2012.

[10] Barros, A.I., Dekker, R., Scholten, V. (1998). A two-level network for recycling sand: A case study. *European Journal of Operational Research*, 110(2), 199–214.

[11] Beamon, B.M., Fernandes, C. (2004). Supply-chain network configuration for product recovery. *Production Planning and Control*, 15(3) 270–281.

[12] Best Buy Low Price Guarantee. (2010). Erişim adresi: <http://www.bestbuy.co/marketing/recycling/EN/>. Erişim tarihi: 08 Eylül 2012.

[13] Coyle, J.J., Bardi, E.J. (1980). *The Management of Business Logistics*, 2.baskı, West Publishing CO, USA.

[14] Cruz-Rivera, R., Ertel, J. (2009). Reverse logistics network design for the collection of end-of-life vehicles in Mexico. *European Journal of Operational Research*, 196(3), 930–939.

[15] De Brito, M.P., Dekker, R. (2002). A framework for reverse logistics. *Econometric Institute Report EI 2002-38*, Erasmus University Rotterdam, the Netherlands.

[16] Demirel, N.O., Gökçen, H. (2008). Logistics network design for recoverable manufacturing system: Literature survey. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23(4), 903-912.

[17] Demirel, Ö.D., Gökçen, H. (2008). A mixed integer programming model for remanufacturing in reverse logistics environment. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 39(11-12), 1197-1206.

[18] Dowlatshahi, S. (2000). Developing a theory of reverse logistics. *Interfaces*, 30(3), 143-155.

- [19] ElektroG (Electrical and Electronic Equipment Act). (2005). Act governing the sale, return and environmentally sound disposal of electrical and electronic equipment. Erişim adresi: http://www.bmu.de/fileadmin/bmuimport/files/pdfs/allgemein/application/pdf/elektrog_uk.pdf. Erişim tarihi: 15 Ekim 2012.
- [20] Fernandez, E., Kalcsics, J., Nickel, S., Rios-Mercado, R.Z. (2010). A novel territory design model arising in the implementation of the WEEE Directive. *Journal of the Operational Research Society*, 61(3), 503–514.
- [21] Ferrer, G. (1997). The economics of PC remanufacturing. *Resources Conservation and Recycling*, 21(2), 79-108.
- [22] Figueiredo, J.N., Mayerle, S.F. (2008). Designing minimum-cost recycling collection networks with required throughput. *Transportation Research*, 44(5), 731-752.
- [23] Fleischmann, M., Beullens, P., Bloemhof-Ruwaard, J.M., Van Wassenhove, L.N. (2001). The impact of product recovery on logistics network design. *Production and Operations Management*, 10(2), 156–173.
- [24] Fleischmann, M., Bloemhof-Ruwaard, J.M., Dekker, R., Van der Laan, E., Van Nunen, J.A.E.E., Van Wassenhove, L.N. (1997). Quantitative models for reverse logistics: A review. *European Journal of Operational Research*, 103(1), 1–17.
- [25] Fonseca, M.C., Garcia-Sanchez, A., Ortega-Mier, M., Saldanha da Gama, F. (2009). A stochastic bi-objective location model for strategic reverse logistics. *TOP*, 18(1), 158-184.
- [26] Guide, D., Van Wassenhove, L.N. (2003). Business Aspects of Closed Loop Supply Chains, *Carnegie Mellon University Press*, 12(3), 320-335.

- [27] Hicks, C., Dietmar, R., Eugster, M. (2005). The recycling and disposal of electrical and electronic waste in China legislative and market responses. *Environmental Impact Assessment Review*, 25(5), 459– 471.
- [28] Hischer, R., Wager, P., Gaughhofer, J. (2005). Does WEEE recycling make sense from an environmental perspective? The environmental impacts of the Swiss take-back and recycling systems for waste electrical and electronic equipment (WEEE). *Environmental Impact Assessment Review*, 25(5), 525– 539.
- [29] Jayaraman, V., Guide Jr., V.D.R., Srivastava, R. (1999). A closed-loop logistics model for remanufacturing. *Journal of the Operational Research Society*, 50(5), 497–508.
- [30] Jayaraman, V., Patterson, R.A., Rolland, E. (2003). The design of reverse distribution networks: Models and solution procedures. *European Journal of Operational Research*, 150(1), 128–149.
- [31] Krikke, H.R., Bloemhof-Ruward, J.M., Van Wassenhove, L.N. (2003). Concurrent product closed-loop supply chain design with an application to refrigerators. *International Journal of Production Research*, 41(16), 3689–3719.
- [32] Lee, D.-H., Dong, M. (2007). A heuristic approach to logistics network design for end-of-lease computer products recovery. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 44(3), 455–474.
- [33] Listes, O., Dekker, R. (2005). A stochastic approach to a case study for product recovery network design. *European Journal of Operational Research*, 160(1), 268–287.
- [34] Mangan, J., Lalwani, C., Butcher, T. (2008). *Global Logistics and Supply Chain Management*, John Wiley&Sons, Ltd, England.

- [35] Marsh, M.T., Schilling, D.A. (1994). Equity measurement in facility location analysis: A review and framework. *European Journal of Operational Research*, 74(1), 1-17.
- [36] Maslennikova, I., Foley, D. (2000). Xerox's approach to sustainability. *Interfaces*, 30(3), 226-233.
- [37] Pati, R.K., Vrat, P., Kumar, P. (2008). A goal programming model for paper recycling system. *Omega*, 36(3), 405–417.
- [38] Queiruga, D., Walther, G., Gonzalez-Benito, J., Spengler, T. (2008). Evaluation of sites for the location of WEEE recycling plants in Spain. *Waste Management*, 28(1), 181-190.
- [39] Queiruga, D., Walther, G., Gonzalez-Benito, J., Spengler, T. (2008). Evaluation of sites for the location of WEEE recycling plants in Spain. *Waste Management*, 28(1), 181-190.
- [40] Rogers, D.S., Tibben-Lembke, R.S. (1999). *Going Backwards: Reverse Logistics Trends and Practices*, Reverse Logistics Executive Council, Pittsburgh, PA.
- [41] Salema, M.I., Barbosa-Povoa, A.P., Novais, A.Q. (2007). An optimization model for the design of a capacitated multi-product reverse logistics network with uncertainty. *European Journal of Operational Research*, 179(3), 1063–1077.
- [42] Salema, M.I., Barbosa-Povoa, A.P., Novais, A.Q. (2010). Modelling a recovery network for WEEE: A case study in Portugal. *International Journal of Production Research*, 31(7), 1645-1660.
- [43] Salema, M.I.G., Barbosa-Povoa, A.P., Novais, A.Q. (2010). Simultaneous design and planning of supply chains with reverse flows: A generic modelling framework. *European Journal of Operational Research*, 203(2), 336–349.

- [44] Salema, M.I.G., Barbosa-Povoa, A.P., Novais, A.Q. (2011). Modelling a recovery network for WEEE: a case study in Portugal. *Waste Management*, 31(7), 1645–1660.
- [45] Savaskan, R., Bhattacharya, C.S., Van Wassenhove, L.N. (2004). Channel choice and coordination in a remanufacturing environment. *Management Science*, 50(2), 239-252.
- [46] Schultmann, F., Engels, B., Rentz, O. (2003). Closed-loop supply chains for spent batteries. *Interfaces*, 33(6), 57–71.
- [47] Srivastava, S.K., Srivastava, R.K. (2006). Managing product returns for reverse logistics. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 36(7), 524 – 546.
- [48] Stock, J.R. (1992). Reverse Logistics. Council of Logistics Management, Oak Brook, IL.
- [49] Temel, D. (2009). “2002/96/EC WEEE Direktifinin Türkiyede Uygulama sorunları”. Türk Beyaz Eşya Sanayicileri Derneği-TÜRK BESD-EEA Sunumu, Marmara Belediyeler Birliği.
- [50] The producer responsibility principle of the WEEE Directive final report. (2007). Erişim adresi: http://ec.europa.eu/environment/waste/weee/pdf/final_report.pdf. Erişim tarihi: 15 Ekim 2012.
- [51] Thierry, M., Salomon, M., Van Nunen, J.A.E.E., Van Wassenhove, L.N. (1995). Strategic issues in product recovery management. *California Management*, 37(2), 114-135.
- [52] Turner, M., Callaghan, D. (2007). UK to finally implement the WEEE Directive. *Computer Law and Security Review*, 23(1), 73–76.
- [53] TÜİK Adrese Dayalı Nüfus Veritabanı. (2011). Erişim adresi: <http://rapor.tuik.gov.tr/reports>. Erişim tarihi : 24 Ekim 2012.

[54] UNU. (2008). Review of directive 2002/96/EC on Waste Electrical and Electronic Equipment. Erişim adresi: http://ec.europa.eu/environment/waste/weee/pdf/final_rep_unu.pdf. Erişim tarihi: 17 Ekim 2012.

[55] UNU. (2011). e-waste management in Germany. Erişim adresi: <http://www.weee-forum.org/sites/default/files/documents/ewaste-management-in-germany1.pdf>. Erişim tarihi: 31 Ekim 2012.

[56] Verter, V., Aras, N., Tombuř, A.C. (2010). Designing distribution systems with reverse flows. alıřma Raporu. Desautels Faculty of Management, McGill University.

[57] Zhou, Y.-S., Wang, S.-Y. (2008). Generic model of reverse logistics network design. *Journal of Transportation Systems and Information Technology*, 8(3), 71-78.

EKLER

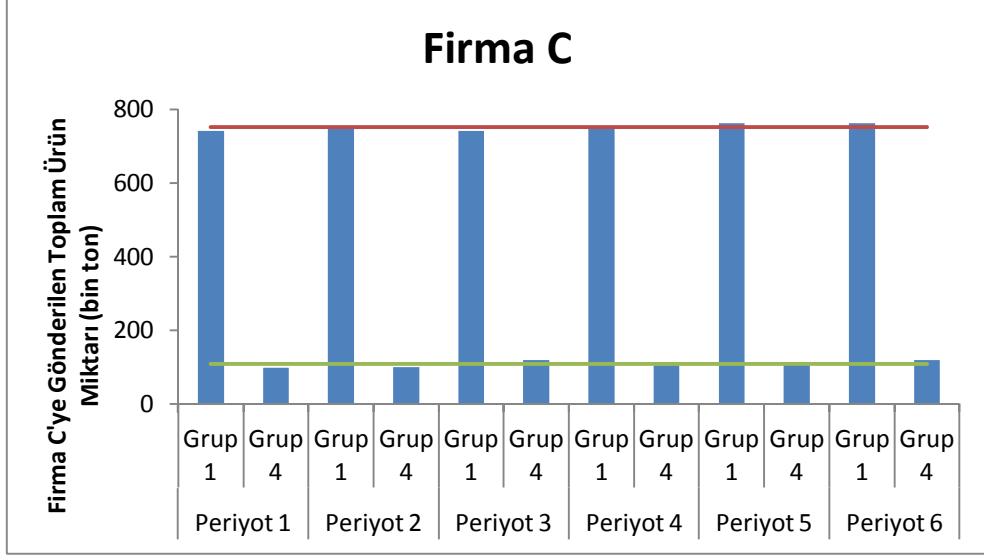
EK 1: Ankara'nın ilçe ve bucakları.

No	İlçe Adı	Bucak
1	Akyurt	Merkez
2	Altındağ	Merkez
3	Ayaş	Merkez
4	Bala	Merkez
5	Beypazarı	Merkez
6		Karaşar
7		Kırbaşı
8		Uruş
9	Çamlıdere	Merkez
10		Peçenek
11	Çankaya	Merkez
12	Çubuk	Merkez
13	Elmadağ	Merkez
14	Etimesgut	Merkez
15	Evren	Merkez
16	Gölbaşı	Merkez
17	Güdül	Merkez
18	Haymana	Merkez
19		Yenice
20	Kalecik	Merkez
21		Çandır
22		Hasayaz
23	Kazan	Merkez
24	Keçiören	Merkez
25	Kızılcahamam	Merkez
26		Çeltikçi
27		Güvem
28		Pazar
29	Mamak	Merkez
30	Nallıhan	Merkez
31		Beydili
32		Çayırhan
33	Polatlı	Merkez
34		Yenimehmetli
35		Temelli
36	Pursaklar	Merkez
37	Sincan	Merkez
38	Şereflikoçhisar	Merkez
39	Yenimahalle	Merkez

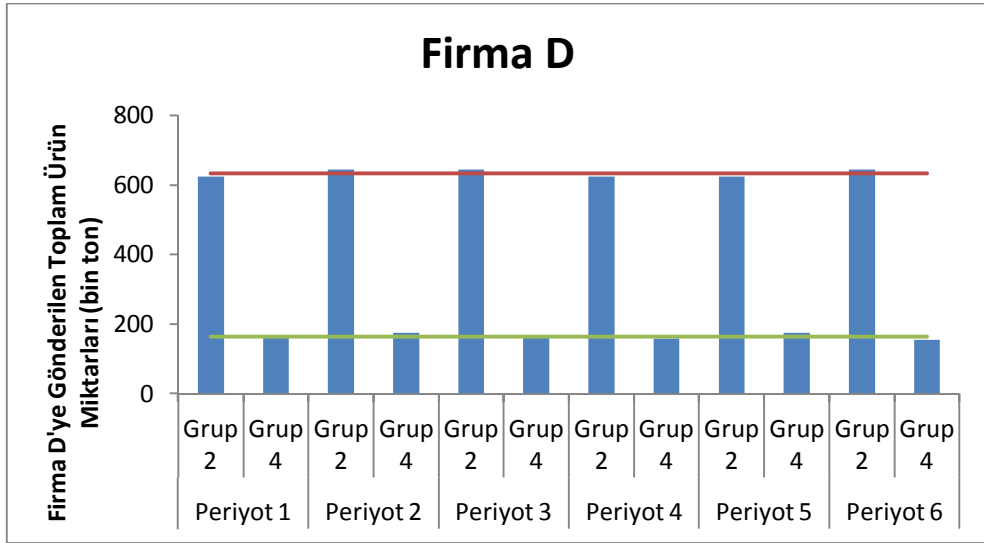
EK 2: Konteyner kapasiteleri ve planlama çevreni başındaki maliyetleri.

Küme	Konteyner	Ürün grubu	Kapasite, (Kap_{kp}) (bin ton)	Toplam kapasite (bin ton)	Maliyet, (KC_{kp}) (EUR)
Küme 1 (Geniş)	Büyük	Grup 1	3000	7.100	3000
		Grup 2	2000		2100
		Grup 3	2000		2100
		Grup 4	100		1200
	Orta	Grup 1	2000	3.600	2100
		Grup 2	1000		1200
		Grup 3	100		1200
		Grup 4	500		800
	Küçük	Grup 1	1000	2.250	1200
		Grup 2	500		800
		Grup 3	500		800
		Grup 4	250		600
Küme 2 (Orta)	Büyük	Grup 1	2500	6.000	1500
		Grup 2	1500		1050
		Grup 3	1500		1050
		Grup 4	500		600
	Orta	Grup 1	1500	2.750	1050
		Grup 2	500		600
		Grup 3	500		600
		Grup 4	250		400
	Küçük	Grup 1	500	1.125	600
		Grup 2	250		400
		Grup 3	250		400
		Grup 4	125		300
Küme 3 (Sıkı)	Büyük	Grup 1	2000	4.250	750
		Grup 2	1000		525
		Grup 3	1000		525
		Grup 4	250		300
	Orta	Grup 1	1000	1.625	525
		Grup 2	250		300
		Grup 3	250		300
		Grup 4	125		200
	Küçük	Grup 1	250	562.5	300
		Grup 2	125		200
		Grup 3	125		200
		Grup 4	62.5		150

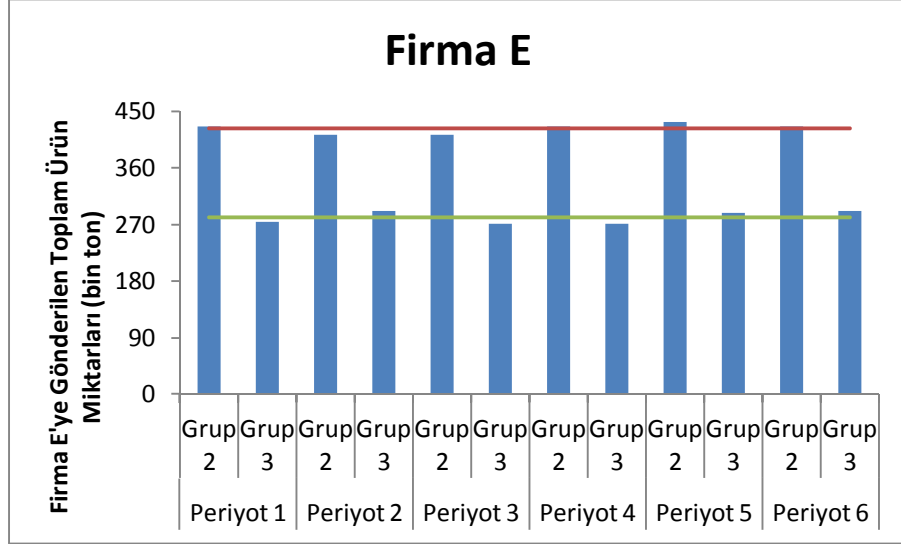
EK 3: Toplama merkezlerinden Firma C, D ve E'ye gönderilen ürün miktarları.



Toplama merkezlerinden Firma C'ye gönderilen toplam ürün miktarları.



Toplama merkezlerinden Firma D'ye gönderilen toplam ürün miktarları.



Toplama merkezlerinden Firma E'ye gönderilen toplam ürün miktarları.

EK 4: Ankara ve Ankara'nın komşu illerinden seçilen 105 tüketim noktası ve potansiyel toplama merkezi yerleri.

İl	No	İlçe Adı
Ankara	1	Akyurt
	2	Altındağ
	3	Ayaş
	4	Bala
	5	Beypazarı
	6	Çamlıdere
	7	Çankaya
	8	Çubuk
	9	Elmadağ
	10	Etimesgut
	11	Evren
	12	Gölbaşı
	13	Güdül
	14	Haymana
	15	Kalecik
	16	Kazan
	17	Keçiören
	18	Kızılcahamam
	19	Mamak
	20	Nallıhan
	21	Polatlı
	22	Pursaklar
	23	Sincan
	24	Şereflikoçhisar
	25	Yenimahalle
Konya	26	Ahırlı
	27	Akören
	28	Akşehir
	29	Altınekin
	30	Beyşehir
	31	Bozkır
	32	Cihanbeyli
	33	Çeltik
	34	Çumra
	35	Derbent
	36	Derebucak
	37	Doğanhisar
	38	Emirgazi
	39	Ereğli
	40	Güneysınır
	41	Hadim
	42	Halkapınar
	43	Hüyük
	44	Ilgın
	45	Kadınhanı
	46	Karapınar
	47	Karatay
	48	Kulu
	49	Meram
	50	Sarayönü
	51	Selçuklu
	52	Seydişehir

	53	Taşkent
	54	Tuzlukçu
	55	Yalıhüyük
	56	Yunak
Eskişehir	57	Alpu
	58	Beylikova
	59	Çifteler
	60	Günyüzü
	61	Han
	62	Inönü
	63	Mahmudiye
	64	Mihalgazi
	65	Mihalıççık
	66	Odunpazarı
	67	Sarıcakaya
	68	Seyitgazi
	69	Sivrihisar
	70	Tepebaşı
Kırıkkale	71	Merkez
	72	Bahşili
	73	Balışeyh
	74	Çelebi
	75	Delice
	76	Karakeçeli
	77	Keskin
	78	Sulakyurt
	79	Yahşihan
Aksaray	80	Merkez
	81	Ağaçören
	82	Eskil
	83	Gülağaç
	84	Güzelyurt
	85	Ortaköy
	86	Sarıyahşi
Kırşehir	87	Merkez
	88	Akçakent
	89	Akpınar
	90	Boztepe
	91	Çiçekdağı
	92	Kaman
	93	Mucur
Çankırı	94	Merkez
	95	Atkaracalar
	96	Bayramören
	97	Çerkeş
	98	Eldivan
	99	Ilgaz
	100	Kızılırmak
	101	Korgun
	102	Kurşunlu
	103	Orta
	104	Şabanözü
	105	Yapraklı

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : BASMACI, Işıl
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 09.05.1987 Erzurum
Medeni hali : Bekar
Telefon : 0554 268 13 27
e-mail : isil.basmaci@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Y. Lisans	TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi/Endüstri Mühendisliği	2013
Lisans	Atılım Üniversitesi/Endüstri Mühendisliği	2010

Yabancı Dil

İngilizce, Japonca