

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AĞAÇ BAZLI PANEL ENDÜSTRİSİNDE
YONGA LEVHA ATIKLARININ TERSİNE LOJİSTİĞİ ÜZERİNE
BİR MODEL ÖNERİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Zahide Özden CEYLAN

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2018

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AĞAÇ BAZLI PANEL ENDÜSTRİSİNDE
YONGA LEVHA ATIKLARININ TERSİNE LOJİSTİĞİ ÜZERİNE
BİR MODEL ÖNERİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Zahide Özden CEYLAN
(507151127)**

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç.Dr. Şule İtir SATOĞLU

HAZİRAN 2018

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 507151127 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Zahide Özden CEYLAN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “AĞAÇ BAZLI PANEL ENDÜSTRİSİNDE YONGA LEVHA ATIKLARININ TERSİNE LOJİSTİĞİ ÜZERİNE BİR MODEL ÖNERİSİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Şule İtr SATOĞLU**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Gülfem TUZKAYA**
Marmara Üniversitesi

Doç. Dr. Murat BAŞKAK
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **3 Mayıs 2018**
Savunma Tarihi : **4 Haziran 2018**





Annem ve Babama,



ÖNSÖZ

Yapılan çalışma ile yasalar, ekonomik şartlar, çevresel sorumluluklar ile gün geçtikçe bilinçlenen ve önem kazanan tersine lojistik konusu ahşap bazlı panel endüstrisinde incelenmiş; emisyon, bütçe kısıtlarını gözeterek, toplanacak atık miktarını ençoklayan bir model önerisinde bulunulmuştur.

Tez çalışmasında tecrübe ve bilgisiyle desteklerini esirgemeyen tez danışmanım Doç. Dr. Şule İtir Satoğlu'na, uygulama bölümünde destek aldığım Türkiye'nin önde gelen kuruluşlarından ahşap bazlı panel üretici firmanın tedarik zinciri direktörü Halim Sırçancı'ya, yönlendirmeleri ile Levent Şen ve Hüseyin Metin'e teşekkürlerimi sunarım.

Çalışma dönemi boyunca sabırla, yardımlarıyla yanımda olan Dorukhan Güngör'e, Ertuğrul Ayyıldız'a, tüm dostlarıma, bize komşudan ötesi olan Fidan ailesi ve Ayşe Deniz Fidan'a, ne kadar minnet duysam az gelecek, beni her konuda ve her zaman destekleyen annem Aslı Ceylan, babam Adnan Ceylan, kardeşlerim Özge ve Yavuz Bilge Ceylan'a teşekkür ederim.

Mayıs 2018

Zahide Özden CEYLAN
(Endüstri Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı ve Özgün Yönü.....	2
2. TEDARİK ZİNCİRİ VE LOJİSTİK YÖNETİMİ	3
2.1 Tedarik Zinciri.....	3
2.2 Tedarik Zinciri Yönetimi	3
2.3 Lojistik	5
2.4 Tersine Lojistik	6
2.4.1 Tersine lojistik nedir?.....	6
2.4.2 Tersine ve ileri lojistik	8
2.4.3 Tersine lojistikte süreçler ve aktörler.....	9
2.4.3.1 Üçüncü parti lojistik – Lojistik merkezleri	13
2.4.4 Ürünlerin geri dönüş nedenleri - Tersine lojistik kanalları	14
2.4.5 Neden tersine lojistik?.....	17
2.4.6 Tersine lojistikte karşılaşılan engeller.....	18
2.4.7 Maliyetler ve ekonomik büyüklük	19
2.5 Kapalı Döngü Tedarik Zinciri	21
2.6 Yeşil Lojistik, Atık Yönetimi, Tersine Lojistik İlişkisi	22
2.7 Tedarik Zinciri ve Ömür Devri	23
3. TERSİNE LOJİSTİK KONUSUNDA YAPILAN ÇALIŞMALARA	
YÖNELİK LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	25
3.1 Tersine Lojistikte Konusunda Literatür Çalışması.....	25
3.2 Ağaç Bazlı Panel Endüstrisinde Tersine Lojistik Konusunda Literatür	
Çalışması	32
3.2.1 Karbon ayak izi	34
4. DÜNYADA AĞAÇ ÜRÜNLERİ GERİ DÖNÜŞÜMÜ UYGULAMALARI..	37
4.1 Ağacın Ardışık Kullanımı	39
4.2 AB Projesi HORIZON 2020 ve ECOBULK.....	41
4.3 İtalya'daki Süreç Örneği	42
4.4 Türkiye'de Mevcut Durum.....	46
4.4.1 Türkiye'de sera gazı emisyonu	49
4.5 Rakamlarla Karbon Emisyonu	50
4.5.1 Ağaçlar ve karbon emisyonu.....	51

4.5.2 Taşıma sektöründe karbon emisyonu	51
5. GELİŞTİRİLEN MATEMATİKSEL MODEL	53
5.1 Modelin Varsayımları.....	53
5.2 Modelin Kurulması.....	57
5.2.1 İndisler.....	57
5.2.2 Karar değişkenleri	57
5.2.3 Parametreler	57
5.2.4 Skaler değerler.....	57
5.2.5 Model	58
5.2.5.1 Karbon borsası senaryosu.....	58
5.2.6 Modelin açıklaması	59
5.2.7 Modelin uygulanması.....	60
5.3 Model Sonuçlarının Değerlendirilmesi	61
5.3.1 Birinci modelin sonucu	61
5.3.2 Karbon borsası senaryosu sonucu	62
5.4 Duyarlılık Analizi	63
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	69
KAYNAKLAR.....	71
EKLER	79
ÖZGEÇMİŞ.....	83

KISALTMALAR

3PL	: Third Party Logistics (Üçüncü Parti Lojistik)
APICS	: American Production and Inventory Control Society (Amerikan Üretim ve Stok Kontrol Topluluğu)
AB	: Avrupa Birliği
ASN	: Advanced Shipping Notice (Ön Sevk İhbarı)
CLM	: Council of Logistics Management (Lojistik Yönetimi Konseyi)
DC	: Distribution Center (Dağıtım Merkezi)
FAHP	: Fuzzy Analytical Hierarchy Process (Bulanık Analitik Hiyerarşi Yöntemi)
FIFA	: Fédération Internationale de Football Association (Fransızca: Uluslararası Futbol Federasyonu)
GERT	: Graphical Evaluation and Review Technique (Çizgesel Değerlendirme Tekniği)
JIT	: Just in Time (Tam Zamanında)
LCA	: Life Cycle Assessment (Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi)
MAD	: Mean Absolute Deviation (Ortalama Mutlak Sapma)
MAPE	: Mean Absolute Percent Error (Ortalama Mutlak Yüzde Hata)
MDF	: Medium Density Fibreboard (Orta Yoğunlukta Lif Levha)
MSE	: Mean Square Error (Ortalama Hata Kare)
OSB	: Oriented Strand Board (Yönlendirilmiş Yonga Levha)
REVLOG	: The European Working Group on Reverse Logistics (Avrupa Tersine Lojistik Çalışma Grubu)
RL	: Reverse Logistics (Tersine Lojistik)
RLEC	: Reverse Logistics Executive Council (Tersine Lojistik Yürütme Konseyi)
SC	: Supply Chain (Tedarik Zinciri)
SWOT	: Strengths -Weaknesses -Opportunities -Threats (Güçlü -Zayıf -Fırsat -Tehdit Analizi)
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
UF	: Urea Formaldehyde (Üre Formaldehit)
YL	: Yonga Levha



SEMBOLLER

A_1	: Yıllık bütçe artışı (%)
B_t	: t yılının bütçesi (TL)
d_i	: i şehrinin toplama merkezine mesafesi (km)
D_t	: t yılında yapılan üretim (ton)
E_t	: t yılında tasarruf edilen emisyon (kg)
i	: Şehirler (toplama noktaları)
L_i	: i şehirden toplama merkezine çıkacak olan aracın şoför gideri gibi sabit maliyeti (TL)
p_{it}	: i şehirden t yılında toplanabilecek potansiyel atık (ton)
t	: Yıl
x_{it}	: i şehirden t yılında toplanacak atık miktarı (ton)
y_{it}	: i şehirden t yılda çıkan atık kamyonu sayısı (adet)
Z_1	: Lojistik maliyetlerinin (sabit maliyetler ve mazot) yıllık zammı (%)
Z_2	: Yıllık elektrik zammı (%)
α	: Geri dönüşüm maliyeti katsayısı (ton başına)
β	: Satın alınmayan hammadde maliyeti (ton başına)
ε	: Emisyon kazancı katsayısı (kg/ton)
\mathcal{L}	: Lojistikten doğan karbon emisyonu (kg/km)
U	: Geri dönüşüm sırasında tüketilen elektrikten doğan karbon emisyonu (kg/ton)
γ	: Lojistik maliyeti katsayısı (km başına)
\mathcal{E}	: Emisyon fiyatı (TL/ton)
c	: Kamyon kapasitesi
θ	: Hedeflenen geri kazanım yüzdesi



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Tek satırlı ve Tersine ve ileri lojistik arasındaki farklar (Rogers ve Tibben-Lembke, 2002).....	9
Çizelge 2.2 : RL adaptasyonunda karşılaşılan engeller (Prakash ve diğ., 2015).	19
Çizelge 2.3 : Literatürde çeşitli tersine lojistik uygulamasına yer veren çalışmalar.	31
Çizelge 2.3 (devam): Literatürde çeşitli tersine lojistik uygulamasına yer veren çalışmalar	32
Çizelge 2.4 : Literatürde çeşitli tersine lojistik uygulamasına yer veren çalışmalar.	34
Çizelge 4.1 : Geri dönüşüm süreçlerinde kullanılan enerji.....	46
Çizelge 4.2 : Dünya’da yonga levha üretimi (FAO, 2018).....	46
Çizelge 4.3 : Üretimde kullanılan odun derişimi.	49
Çizelge 5.1 : 1995-2016 yılları arasında yıllık yonga levha üretimi (m ³) (FAO, 2018)	54
Çizelge 5.2 : 5 ilin toplama noktasına mesafeleri.....	56
Çizelge 5.3 : Birinci modelin belirlediği en uygun illerden toplanan atık miktarı (ton).	61
Çizelge 5.4 : Birinci modele göre belirlenen illerden kullanılan kamyon sayısı.	62
Çizelge 5.5 : İkinci modelin belirlediği en uygun illerden toplanan atık miktarı (ton).....	62
Çizelge 5.6 : İkinci modele göre belirlenen illerden çıkarılan kamyon sayısı.....	62
Çizelge 5.7 : Birinci model ile ikinci modelin kıyaslanması.	63
Çizelge 5.8 : Üretimin en az %2,%5 ve%10’unun geri kazanıldığı durum.....	63
Çizelge 5.9 : Bütçeye göre kazanılan atık miktarındaki değişim.	65
Çizelge A.1 : Tüm şehirlerin satış paylarına göre seçilen 13 ile mesafesi.	79
Çizelge A.2 : Tüm illerin, üretim tesisi bulunan şehirlere mesafesi.....	81
Çizelge A.3 : Üretim tesislerinin, satış paylarına göre seçilen 13 ile mesafesi.	82



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Tedarik zinciri yapısı.....	4
Şekil 2.2 : Tersine ve ileri lojistikteki temel akışlar (Agrawal ve diğ., 2015).....	8
Şekil 2.3 : Ters geri kazanım piramidi (de Brito ve Dekker, 2004).....	13
Şekil 2.4 : Üçüncü parti tersine lojistik modeli (Lau ve Wang, 2009).....	14
Şekil 2.5 : Tedarik zinciri içinde tersine akış (Fleischmann, 2000).....	16
Şekil 2.6 : Tersine lojistikte iade kanalları (de Brito ve Dekker, 2001).....	17
Şekil 2.7 : Kapalı döngü tedarik zinciri (Hanafi ve diğ., 2008).....	21
Şekil 2.8 : Kapalı döngü tedarik zinciri ile ilişkilendirilmiş çevresel zincir (Bloemhof Ruwaard ve diğ., 2004).....	22
Şekil 2.9 : Ömür Devri (Keskin, 2012).....	23
Şekil 4.1 : Yonga levhada üretim süreçlerinin sera gazı emilimi dağılımı (m3) (Hussain ve diğ., 2017).....	39
Şekil 4.2 : Atık odun geri kazanımında dairesel ekonomi (Şen, 2017).....	42
Şekil 4.3 : İtalya’da atık odun geri kazanım süreç akışı (Şen, 2017).....	43
Şekil 4.4 : İtalya bölgeler haritası (Url-19).....	44
Şekil 4.5 : Atık hiyerarşisi (European Commission, 2016).....	47
Şekil 5.1 : Satış payına göre 13 ilin tüm satış payı.....	56
Şekil 5.2 : Geri dönüşüm oranı ile bütçe ilişkisi.....	64
Şekil 5.3 : Geri dönüşüm oranı ile bütçe ilişkisi (üretimin en az %2’si).....	66
Şekil 5.4 : Geri dönüşüm oranı ile bütçe ilişkisi (üretimin en az %5’i).....	66
Şekil 5.5 : Geri dönüşüm oranı ile bütçe ilişkisi (üretimin en az %10’u).....	67



AĞAÇ BAZLI PANEL ENDÜSTRİSİNDE YONGA LEVHA ATIKLARININ TERSİNE LOJİSTİĞİ ÜZERİNE BİR MODEL ÖNERİSİ

ÖZET

Çevre kirliliği; dünya nüfusu ve tüketimin artması, ekonominin büyümesi gibi faktörlerle orantılı olarak artış göstermektedir. Çevrenin kirlenmesi ile birlikte kısıtlı olan kaynakların değeri ve sürdürülebilirliği daha fazla önem arz etmektedir. Yasalar tarafından getirilen zorunluluklar, teknolojik yenilikler, ekonomik bir takım sebepler, toplumun farkındalığı, bilinçli tüketiciler, pazardaki rekabet; şirketlerin ve araştırmacıların kaynak kullanımının verimliliği, geri dönüşüm konularında çalışma yapmalarına ivme kazandırmıştır.

Üretim ve üretim sonrası açılarından bakıldığında üretilen ürünlerin müşteriye ulaştırılmasından sonra sona eren zincirin döngü haline getirilmesi hem potansiyel kirliliğin önüne geçilmesini sağlayacak hem de kullanılan kaynakların üzerindeki baskıyı azaltacaktır. Tersine lojistik, kullanım ömrünün sonuna gelmiş ürünlerinin tamamının imha edilmesinin önüne geçerek tekrar sisteme dâhil edilmesini sağlamaktadır, böylece çevre kirliliğinin azalması sağlanarak sürdürülebilir gelişmenin bir parçasını oluşturur. Kapalı döngü tedarik zinciri ise üretilen ürünlerin müşterilerden geri kazanılmasını, kazanılan ürünün tamamının ya da parçalarının değer katılarak tekrar kullanılmasını amaçlayan geliştirilmiş tedarik zinciridir, doğal kaynakların kısıt oluşturduğu üretim koşulları düşünüldüğünde tersine lojistik ve klasik tedarik zinciri yerine kapalı döngü tedarik zinciri tüm sektörlerde değerlendirilmeli ve uygulanabilir olmalıdır.

Birçok ülkede elektronik alet ve bataryalar, kimyasal ürünler, ağır metaller, kâğıt, cam, plastik gibi atıkların geri kazanımı için mevzuat ve literatürde yapılmış çalışma bulunmaktadır, ağaç ürünlerinin geri kazanımına dair bir Türkiye’de yönetmelik mevcut değildir. Bununla birlikte ağaç bazlı panel üretiminde fazla literatür çalışması bulunmamaktadır.

Yapılan tez çalışmasında tedarik zinciri, tedarik zinciri yönetimi, lojistik, tersine lojistik, kapalı döngü tedarik zinciri, karbon emisyonu incelenerek ağaç bazlı panel endüstrisinde tersine lojistik konusu ele alınmış, gerçek bir uygulama incelenmiş ve yıllık toplanacak atıkların maksimize edilmesini amaçlayan doğrusal tamsayı bir model kurulmuştur. Bu amaçla atıkların toplanacağı potansiyel şehirler belirlenerek 5 yıllık bir periyot ele alınmıştır. 5 yıllık geri toplanacak atık miktarı, lojistik, geri dönüşüm maliyetleri ile bütçe kısıtı altında; üretim, lojistik emisyonu ve aynı miktarın hammadde olarak tedarik edilmemesinden doğan emisyon tasarrufu ile emisyon kısıtı altında ençoklanmaya çalışılmıştır. Yıllık üretimin %1’i, mevcut kısıtlarla anlamlı bir sonuç vermiştir, yıllık üretimin %2’si %5 ve %10’unun geri dönüştürülebilmesi amacıyla bütçe kısıtı gevşetilerek duyarlılık analizi yapılmıştır. İlâveten bütçe, %2, %5 ve %10 kısıtını da sağlayacak şekilde arttırılarak kazanılan atık miktarının üzerindeki etkisi gözlemlenmiş, elde edilen sonuçlar paylaşılmıştır.



A PROPOSED MODEL FOR REVERSE LOGISTICS OF WASTE PARTICLEBOARD

SUMMARY

Nowadays, environmental topics, sustainability have been gaining attention due to population increase, ascending environmental problems, consumption growth. Therefore, the academicians, researchers, governments, public, industries pay attention for this topic and trying to revise regulations and applications.

Supply chain controls the relationships between suppliers, vendors, producer, distributor, customer and at that point closed supply chain means collection of products and components to recycle and involve a backward flow. Finally, reverse logistics is a backward flow from customer to producer in order to recover waste. Reverse logistics decrease the amount of waste to be eliminated in company with recycle, re-use and remanufacturing of wastes. When legislation and regulations are combined with consumer awareness; are promoted and companies are obliged to redesign their supply chain and logistics planning.

Wood-based panels are produced by using chips and chemicals with the variable concentration of them. Construction, furniture, decoration is an example of usage areas of wood-based panels. There are types of wood-based panels, which are particleboard, high-density fiberboard and medium density fiberboard. On the other hand, wood-based panels has become even more important in furniture and construction sector since it is an alternative to solid wood and natural resources are restricted.

In the field of automotive, electronics, aircraft industry, household appliances, paper, glass, domestic sewage; there are regulations and targets of recycling and collecting of wastes in many countries, but especially in Turkey, there are restrict study and regulations at this topic.

In this study, supply chain topics are discussed and a model for reverse logistics of waste particleboard is proposed.

At the introduction part, environmental issues, the importance of natural sources, diminishing product life, planned obsolescence topic, returns of goods, general information about reverse logistics and the aim of this study has given.

At second part, literature about supply chain and management of logistics has been reviewed. The definitions of supply chain, supply chain management, logistics, reverse logistics, closed loop supply chain, green logistics, waste management, product life cycle is given. Also, the importance of reverse logistics, the difference between reverse and forward logistics, the relationship of reverse logistics green logistics and waste management, third party reverse logistics providers, logistics centers is clarified. The drivers (economic issues, social awareness, legislation), barriers, processes (collection/retrieval, inspection, re-sale, transportation, re-work, repair, refurbishing, remanufacturing, recycling, diminishing), actors, costs of reverse logistics and the reasons of return goods are mentioned.

Re-sale, re-use and re-distribution has the advantage of direct recovery, while repair, refurbishment, remanufacturing, recycling and diminishing are recovering options in process. For the help of these processes the amount of waste, that will be landfilled, has been decreasing.

At third part, literature works about reverse logistics are examined. The increase of environmental problems, legislation controls and awareness of consumer make reverse logistics activities more important position. In recent years, studies at this topic has an incremental growth. Some of the industries which the studies are focused are mentioned above. And the reasons is for the selection of those industries are expensive spare parts (automotive), high value with low volume (aircraft industry), containing aluminum, copper, gold in parts (electronics), containing iron in parts (household appliances).

At literature works there are studies related with forecasting of returns, conceptual, terminological, historical development of reverse logistics. Provided models for network design, optimal flow of returns with minimizing costs are also founded. And the studies found are classified by conceptual works, model implementation, optimization works, technical methods and proposed models.

On the other hand, literature is examined about reverse logistics of wood-based panels; also the studies are classified by conceptual works, model implementation, optimization works, technical methods and proposed models as before part. Almost 30% of world is recovered by forests and forest industry is an important sector at most countries, while it supplies source of income to 18% of world population. There are studies related with life cycle, carbon footprint, production planning, forecasting, designing model under uncertainty of returns, associated with the limited number of studies. Carbon footprint and measuring instruments are also mentioned at this part.

Wood is natural source that can be re-used, renewable; consequently, if it is used in a sustainable manner the damages to the climate and nature can be minimized. At fourth chapter, a real implementation that use 100% recycled wood is examined. The details about production, processes, types of wood-based panels, their usage life, the ingredients, size of the sector and growth, cascade utilization of wood are mentioned. There are studies of particleboard returns but for the other types of wood-based panels, there is no implementation, therefore this study focuses only reverse logistics particleboard wastes. The projects that promote reverse logistics in Turkey is also referred. The real implementation, evolution and current situation with consortiums of recovering wastes of Italy is examined. The current situation in Turkey is also clarified. There is no regulations of recovering of waste woods; therefore, it is hard to set-up a start-up presently. Annually capacity, amount, acceleration, conditions, processes, wastes of production in Turkey is given. The datum of green gas emission and carbon footprint in turkey is also given to show the situation, effects of trees and logistics activities on carbon emission is clarified.

In the implementation part of the study, a model is proposed to collect waste woods. The assumptions of model is mentioned. Since the study is in progress in Turkey, for one manufacturer (a dominant firm), only its predicted wastes (from the production amount and the life of products) is accounted for the calculations. First of all, cities are selected to collect waste according to their percentage in total sales, then a collection center is chosen, that minimizes the distance with selected cities and effortless in case of constitute a new plant. Aim of the model is specified as collecting maximum waste form the selected cities, under the constraints of budget, target (recovering min 1% of total production) and emission. Decision variables, parameters, scalers, constraints and objective function of proposed model is expressed. Budget is defined as logistics cost, production cost, earned cost as not paying raw materials. Emission constraint is also defined as transportation of wastes and from the processes to recover them, also earned emission from not using fresh wood.

Carbon market makes transactions (buying and selling) of carbon emission possible for a determined fee. Some of the countries for instance Japan, United States of America, New Zealand has begun to use this market. In addition to main model mentioned above, existing

of carbon market is also considered; budget constraint is revised for this situation and recalculated.

As a result, the constraint of recovering at least 1% of annual production amount with other constraints and objective function has given a feasible solution. When minimum 2%, 5% and 10% of annually product can be collect is tried to recover, budget has become low, therefore budget constraint is relaxed to evaluate the results. In addition to annual production effect on total collected waste, increase of budget has been analyzed. According to the results, it is seen that when target amount increase the budget rises excessively. In the current situation absence of regulation in Turkey by comparison with other countries, without any legislation and pressure, firms are going to be unwilling to recover their wastes due to high costs.

For the future works, the effects of existence regulations and legislation, a definite ratio of whole production to recover can be analyzed.





1. GİRİŞ

1750 yılında atmosferde bulunan CO₂ ele alındığında, 2014 yılında bu miktarın yüzde 142'si seviyesinde arttığı, 1984 yılından bu yana atmosferdeki karbondioksit yoğunluğunun en hızlı artışı gösterdiği bilinmektedir (McGrath, 2014). Günümüzde doğal kaynakların hızla azalması ve artan çevre kirliliğinin gözlemlenebilir hale gelmesi toplumun çevreye olan duyarlılığını arttırmaktadır.

Çin Halk Cumhuriyeti küresel talebin %95-97'sini karşılayarak hâkim tedarikçi pozisyonuna gelmiştir. Diğer yandan hammadde kaynaklarının mevcut durumda kısıtlı olması, beraberinde hammadde fiyatlarındaki artışı ve dalgalanmayı getirmektedir. Bu doğrultuda 1980'lerin ortalarında yaygın olan beşikten mezara kaynak yönetimi yerini, günümüzün modern çevre yönetiminin yönlendirmesi ile atık üretiminin önüne geçilmesi, doğal kaynakların kullanımında hassasiyet gösterilerek kaynakların geri kazanımı, geri dönüşüm ve yeniden kullanma algısını destekleyen beşikten beşiğe kaynak yönetimine kaydırılmıştır (Krapp ve arkadaşları, 2013; Kumar ve Putnam, 2008).

İktisatçılara göre doğal türlerin tükenmesinin, toprak yapısının bozulmasının, küresel ısınmanın önüne geçilemezse; ozon tabakası, doğal enerji kaynakları tüketilirse, dolaylı olarak ekonomik büyümenin de sonuna gelmiş olunacaktır (Güleş ve diğ., 2012). Sürdürülebilirlik içeriği ve nasıl yapılabileceği hakkında birçok farklı görüş bulunsa da Rio de Janeiro şehrinde 1992 yılında yapılan zirve ile birlikte ortak bir dil oluşturulmaya çalışılmıştır ve ilk defa Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonunca 1987 yılında yayımlanan Brundtland Raporu'nda resmi olarak tanımına yer verilmiştir. Bu tanıma göre sürdürülebilirlik, gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını sağlayabilmesi ile ödünleşilmeden, mevcut ihtiyaçların karşılanabilmesidir (Url-2). Prakash ve diğ., 2015'de atıfta bulunulduğu gibi sürdürülebilirlik, 21. yüzyıl şirket ve kuruluşları için kritik bir kavramdır ve tersine lojistik uygulamalarının benimsenmesi ile yönetilebilir.

Diğer yandan endüstrileşme ile pazardaki ürün sayısında artış, tasarlanmış eskitilme (planned obsolescence) de göz önünde bulundurulduğunda ürün ömründe ciddi

derecede azalma meydana gelmiştir, bu durum ise özellikle sayısı gittikçe artmakta olan kullanım ömrünü doldurmuş ürünleri, muhteviyatındaki tehlikeli maddelerle ülkeler ve üreticiler için çevre sorunlarını beraberinde getirmektedir. Ürün ömrünü doldurmuş ürünlerle ilgili çalışma yapmak ise birçok açıdan değerlendirilmesi gereken bir konudur.

Üretici firmaların ürünleri herhangi bir sebeple geri çağırması, servis dönüşleri, kullanım ömrü bitmesinden doğan geri dönüşler, garanti dönüşleri gibi dönüşler ile birlikte gittikçe artan bir ürün geri dönüşü ile tersine akış gözlemlenmektedir. Ürün kazanımı, miktar ve kalite belirsizliği içermesine rağmen, ürünün nasıl geri kazanıldığına bakılmaksızın ekonomik önem taşımaktadır. Satılan ürünlerin %15-20'sinin geri kazanıldığı düşünülürse, geri dönüşlerin değerinin yılda ortalama 43 milyar dolar olması beklenmektedir (Genchev, 2009). Ürünleri geri kazanma seçenekleri katma değerli geri kazanım (yeniden üretim), malzeme geri kazanımı (geri dönüşüm), enerji kazanımı (yakma) içermektedir. Ürün kazanımı işlenmemiş malzeme kullanım ihtiyacını, enerji tüketimini ve atık sahası kullanımını azaltmaktadır, işletme bakışı ile ele alınacak olunursa toplam karlılığı doğrudan etkilemektedir (Guide ve diğ. 2003). Tersine lojistikte temel olarak kullanım ömrü dolmuş ürünlerin müşterilerden toplanması, bir takım kalite testlerinden sonra uygun kararın alınması söz konusudur. Toplanan ürünlerin kalite durumlarına göre bir takım minör (tamir, yenileme, demontaj ve teknik servis) ve majör (yeniden üretim, geri dönüşüm) alternatif mevcuttur. Geriye kalan ürünler ise çevre dostu yöntemlerle imha edilir.

1.1 Tezin Amacı ve Özgün Yönü

Yapılan çalışmanın amacı ağaç bazlı panel endüstrisinde üretilen yonga levhanın mobilya, inşaat gibi çeşitli sektörlerde değerlendirilerek, son mamul haline gelip kullanım ömrünü tamamladıktan sonra tersine lojistiğine yönelik bir model oluşturmaktır. Tezin özgün yönü Türkiye'de ilk defa ahşap sektöründe hammaddenin geri dönüştürülmüş atıklardan sağlanmasına yönelik matematiksel model önerilmiş olmasıdır. Literatürde de daha çok elektronik, cam, kâğıt atıklarının geri dönüşümü konusunda optimizasyon çalışması yapılmış olup, ahşap için hemen hemen hiç çalışma bulunmamaktadır. Bu açıdan yapılan çalışma yenilikçidir.

2. TEDARİK ZİNCİRİ VE LOJİSTİK YÖNETİMİ

2.1 Tedarik Zinciri

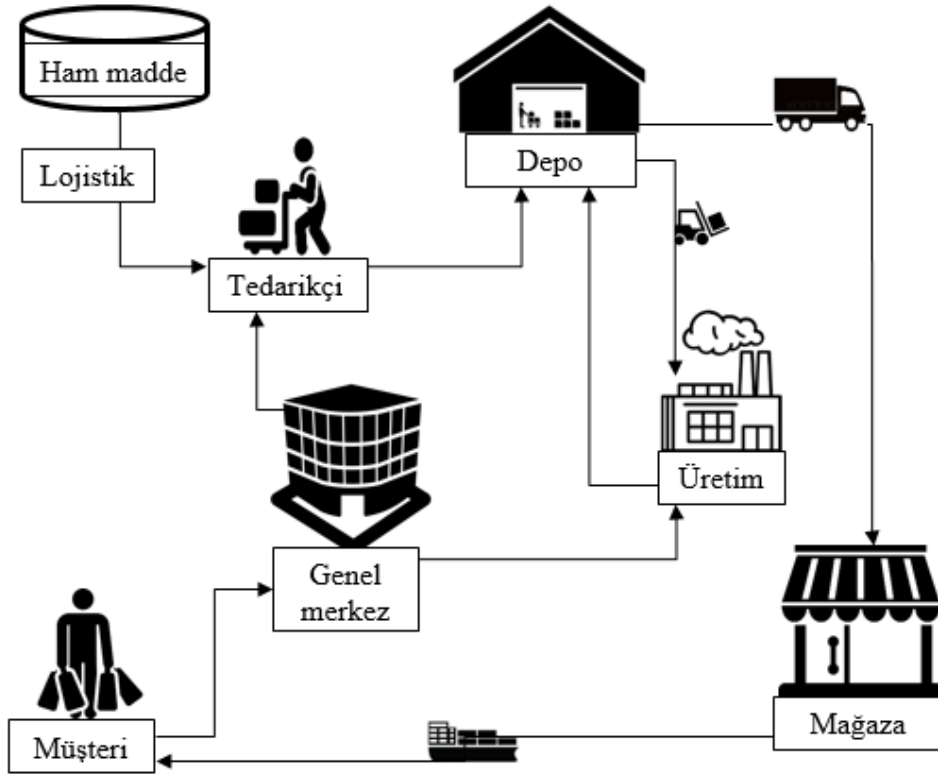
Tedarik zinciri kavramı yaygınlık ve popülerlik kazandıkça; farklı tanım önerileri getirilmiştir. Amerikan Üretim ve Stok Kontrol Topluluğu (APICS) tanımına göre tedarik zinciri: ham maddeden bitmiş ürünün tüketimine kadar tedarikçi ile tüketici arasındaki süreçler ve şirket içi ve dışında ürün üreterek, müşteriye hizmet sağlayarak değer yaratan tüm fonksiyonlardır (Cox ve diğ, 1995).

2014 yılının Nisan ayında APICS ile birleşen Tedarik Zinciri Konseyinin (SCC) 1997 yılında kullandığı tanım ise tedarik zincirinin, lojistik profesyonelleri tarafından kullanımı artan bir kavram olup tedarikçinin tedarikçisinden müşterinin müşterisine, bir ürünün üretiminden son ürünün teslimine kadar her türlü çabayı içerdiği'dir. Dört temel süreç – planlama, kaynak bulma, imal etme, teslim etme- kabaca, tedarik ve talebin yönetimini, ham maddenin ve parçaların tedarik edilmesini, üretim ve montajı, depolama ve envanter takibini, sipariş takibi ve yönetimini, kanallar arası dağıtımı, müşteriye teslim edilmesi süreçlerini kapsamaktadır (Lummus ve Vokurka, 1999).

Literatürde bulunan tanımlara göre ham madde, lojistik, tedarikçiler, depo yönetimi, üretim, talep, müşteri ilişkilerini kapsayan tedarik zincirini Şekil 2.1'deki gibi özetlemek mümkündür.

2.2 Tedarik Zinciri Yönetimi

Hammadde tedariki ile başlayarak ürünün son tüketiciye satış ve dağıtımı ile son bulan lojistik faaliyetlerinde geleneksel olarak tedarik zincirinin temellerini bulmak mümkündür. 1980-1990'lı yıllara gelindiğinde firmaların kendi organizasyonlarının içinde ve dışında işbirlikçi yaklaşımla çalışmanın faydalarını görmesi, müşterilerin satın alma alışkanlıklarındaki ve taleplerdeki değişkenlikler tedarik zinciri yönetimine (TZY) olan ilgi ve bu konuyu içeren çalışmalarda artışı beraberinde getirmiştir. Ellram ve Cooper (1993)'ın tanımına göre TZY, tedarikçiden son tüketiciye olan dağıtım kanallarının toplam akışını yönetmek üzere bütünleşik bir felsefedir.



Şekil 2.1 : Tedarik zinciri yapısı.

Tedarik zinciri; hammaddeden, müşteriye son ürünün teslim edilmesine kadar, hammaddenin ve parçaların tedarik edilmesi, imalat ve montaj, depolama, sipariş yönetimi, kanallar arası dağıtım, müşteriye teslim süreçlerini ve süreçlerin kontrolünü sağlayan bilgi sistemlerini kapsamaktadır. TZY ise tüm bu süreçlerin kusursuz bir biçimde uyum içinde olmasını ve yönetimini sağlamaktadır (Lummus ve Vokurka, 1999). TZY, bünyesindeki bölümleri zincire dâhil ederek organizasyon içindeki ve tedarikçiler, nakliyeciler, 3. Parti şirketler, bilgi sistemi sağlayıcıları gibi organizasyon dışındaki tüm paydaşları birbirine bağlar. TZY’de tüm süreçler tek bir sistem olarak görülmektedir.

TZY bazı yanlış anlaşılmanın aksine lojistik yönetimi, bir bilgisayar sistemi, sevkiyat stratejisi, dağıtım yönetimi, tedarikçi ortaklığı, lojistik kanalı, temin etme stratejisi değildir; tek başına bağımsız bir süreç de değildir, departmanlar arasındaki ve şirket dışındaki müşteri ve tedarikçi süreçlerinin yönetimini destekler. TZY, Tedarik zinciri amaçlarını şirket stratejisi ile birleştirerek firmanın rakipleri üzerinde rekabet kabiliyetini arttıracak sürdürülebilir potansiyeli bünyesinde barındırmaktadır. (Lummus ve Vokurka, 1999).

Herhangi bir tedarik zinciri ağında; uzun vadeli (tasarım, dñzen, kurulum ya da daha yaygın adıyla lokasyon, bulunduğu yer), orta vadeli (planlama ve alokasyon) ve kısa vadeli (operasyonel) olmak üzere 3 seviyede karar alınır (Soleimani ve Govindan, 2014'te atıfta bulunduğu gibi). Tasarım aşamasında, tesis ve olanakların lokasyonları hakkında stratejik kararlar verilir, planlama aşamasında ise tedarik zincirindeki birimler arasındaki akış miktarı belirlenir

Özetlemek gerekirse TZY, şirket amaçları doğrultusunda ürünlerin üretilmesi için gerekli şartları oluşturacak tüm tedariki, kapasite planlamasını, bitmiş ürünün dağıtılması ve pazarda yer bulmasını, talep yönetimini, gerekli bağlantı ve ilişkilerin kurulması süreçlerini yönetir; tedarikçiler, üreticiler, dağıtıcılar ve müşterilerin entegrasyonunu sağlar. Bu doğrultuda TZY, sadece operasyonel süreçler içermeyerek işletmelerin sürdürülebilir rekabetine katkı sağlayan stratejik bir kaynaktır.

Yeşil tedarik zinciri yönetimi ise ürün tasarımı, malzeme seçme satın alma, üretim süreçleri, nihai ürünün müşteriye teslim edilmesi ve ürünün kullanım ömrü bittikten sonra yönetimini içeren tedarik zinciri yönetimine, çevresel faktörlerin eklenmesidir (Entezaminia ve diğ. 2017).

2.3 Lojistik

Literatüre bakıldığında lojistikle ilgili birçok tanım bulunmaktadır ve bu tanımlamalardan bazılarında lojistik, tedarik zinciri sürecinin bir parçası olarak görülürken; bazı tanımlar lojistiği fiziksel olarak silah, erzak gibi malzemelerin bir noktadan başka bir noktaya taşınmasını askeri alanda sınırlandırmaktadır. Esasında lojistik askeri bir terim olarak kullanılırken zamanla iş dünyasının farklı alanlarında da kullanılarak içeriği zenginleştirilmiştir. Lojistiğin uygulanma alanına bakılmaksızın hizmetlerin standart, faaliyetlerin sürdürülebilir, izlenebilir, güvenilir, ekonomik olması gerekmektedir. İncelenen tüm tanımlarda ortak olan durum ise materyallerin hedef bir noktadan başka bir hedef noktaya taşınmasıdır.

Literatürde en çok atıf yapılan tanımın Lojistik Yönetim Konseyi (CLM) tarafından yapılan tanım olduğu görölmüştür. Bu tanıma göre lojistik, müşterilerin ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla üretimden tüketime kadar ilgili bilgi, ürün, hammadde ve hizmetlerin etkin, verimli ve masrafların en aza indirildiği şekilde akışını düzenleyen, planlayan, uygulayan, kontrol eden tedarik zinciri süreçlerinin bir

parçasıdır (CLM, 1999). APICS'in tanımına göre lojistik: endüstriyel çerçevede materyal ve ürünlerin elde etme, üretme ve uygun yer ve miktarda dağıtılması bilimidir (Krumwiede ve Sheu, 2002).

Simpson ve Weiner (1898)'in tanımında lojistiğin, taburların savaş sırasında yer değiştirmesi ve konaklamasını da kapsayan idare stratejisi olduğu görülmektedir.

Lojistik ve tedarik zincirinin birbiri ile ilişkisi, tanım ve kapsamı da literatürde oldukça tartışmalı bir konudur. Bazı görüşler birisinin diğerinin bir unsuru olduğunu savunurken, bir diğer yaklaşım tedarik zincirinin kavram olarak modern lojistik olduğudur.

2.4 Tersine Lojistik

Çevre kirliliği artışının yarattığı problemlerin daha hissedilir olması, tüketici ve kanunların baskısı, firmaların sorumlulukları ile son yıllarda gittikçe önemi artmakta olan bir kavram haline gelen tersine lojistiğin; literatürde farklı isimlerle anıldığını görmek mümkündür, bunlardan bazılarını Şengül (2011); Geri Dönüş Lojistiği (Return Logistics), Tersine Dağıtım (Reverse Distribution), Tersine Lojistik (Reverse Logistics), Tersine Kanal (Reverse Channel), Tersine Akış Lojistiği (Reverse Flow Logistics), Geriye Lojistik (Retro Logistics) şeklinde derlemiştir.

2.4.1 Tersine lojistik nedir?

Tersine lojistik ile ilgili birçok tanım bulunmaktadır ve bazı tanımlar geneli ifade ederken, bir kısmı fonksiyonlarına vurgu yapmaktadır. En sade şekli ile tersine lojistik isminden de anlaşılacağı gibi lojistiğin üreticiden tüketiciye değil, tüketiciden üreticiye ters akışıdır.

Avrupa Tersine Lojistik Çalışma Grubu REVLOG'un tanımına göre "hammadelerin, yarı mamullerin, paketlenmiş ve bitmiş ürünlerin üretim, dağıtım, ya da kullanım noktalarından geri kazanım ya da bertaraf edilme noktasına ters yönde akışının planlanması, uygulanması ve kontrol edilmesi sürecidir." Tersine Lojistik Yürütme Konseyi (RLEC) tarafından verilen daha genel tanım ise tersine lojistiğin malzemelerin tipik son tüketiminden yeniden değer elde edebilmek ya da bertaraf edilmek amacıyla tersine yönde akışı olduğudur. Bu tersine aktiviteler hasarlı ürünlerin geri toplanması, paketlenmiş ürünlerin toplanıp yeniden üretimi ile stok

yenilemesi ve iyileştirilmesi, kutularının yeniden kullanılması, ürünlerin yenilenmesi, kullanım süresi dolmuş cihazların idaresi gibi faaliyetleri içermektedir (Antonyova ve diğ., 2016).

CLM ise tersine lojistiği, lojistik tanımını kullanarak açıklamaktadır: “Ürün, hammadde, yarı mamullerin tekrar değer elde etmek ya da uygun yöntemle imhasını sağlamak amacıyla; etkin, verimli ve masrafların en aza indirildiği tüketim noktasından üretime doğru akışını düzenleyen, planlayan, uygulayan, kontrol eden tedarik zinciri süreçlerinin bir parçasıdır (Krumwiede ve Sheu, 2002). Literatürde geçen Rogers ve Tibben-Lembke (2002)’nin tanımı CLM’nin verdiği tanımının sadeleştirilmiş halidir. Agrawal ve arkadaşlarına (2014) göre ise tersine lojistik, son kullanıcıdan edinilen ürünlerin, parçaların yeniden üretimi, geri dönüşümü ya da imha edilmesi amacıyla gerekli akışları verimli bir biçimde yöneten yeniden tasarlanmış tedarik zinciridir.

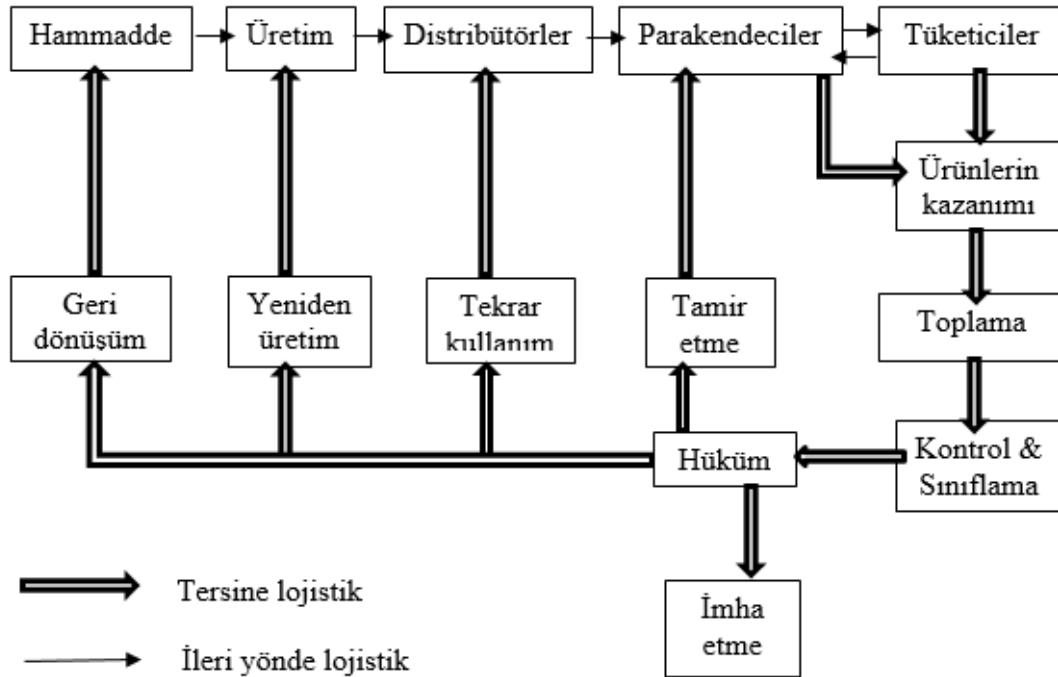
Lojistikte olduğu gibi tersine lojistik de etkili planlama yapıldığı durumda çevreye ve insan sağlığına tehdit unsurun içeren faktörlerin ve maliyetin minimizasyonu konularında önemli bir rol oynamaktadır, yapılan çalışmalara ve literatürdeki yoğunluğa bakılacak olursa son 40 yıldır çevreye duyarlı lojistik sistemlerine ve tedarik zincirinin yönetimine ilgi yoğunlaşmıştır. Yaklaşık son 20-25 yıldır ise tersine lojistik konulu çalışmalar yapılmaktadır.

Birçok kişi, tersine lojistiğin cam ambalajların, kâğıt atıkların geri dönüştürülmesi süreci olduğu görüşündedir; ancak tersine lojistik sadece ambalaj, hammadde, malzemelerin yeniden kullanılması süreçlerinden ibaret değildir. Bunların yanı sıra paketlemede kullanılacak malzemelerin azaltılması amacıyla yeniden tasarlanması, üretim ve ürünlerin dağıtım sırasında tüketilen enerjinin azaltılması gibi lojistiğe ilişkin birçok faaliyeti kapsamaktadır (Güleş ve diğ., 2012). Yeniden üretim, yenileme, ikinci el marketinde değerlendirilme durumu ya da imha kararının verilerek atık alanlarına gönderilmesi tersine lojistik kavramının içinde yer almaktadır ve bu konularda da akademik çalışmalar bulunmaktadır.

2.4.2 Tersine ve ileri lojistik

Ters lojistik kavramı incelenmeden önce lojistiğin içeriğinden bahsedilmiştir. Bu kısımda ise ileri yönlü lojistik ile tersine lojistik arasındaki bazı önemli farklılıklara değinilecektir.

İleri lojistikte, satış tahminleri kullanılarak gelecekteki ihtiyaç planlaması yapılır. Eğer bir ürüne ihtiyaç varsa önce dağıtım merkezlerine (DC), ardından perakende satış mağazalarına gönderilir. Ağdaki her seviyede tahminleme yardımı ile ihtiyaçlar önceden belirlenir, dağıtım merkezlerine ya da perakende seviyesine gerekli sevkiyat yapılır. Her seviyede ön sevki ihbarları (ASN) kullanılarak, gelen ürünün izlenebilirliği sağlanır. Tersine lojistikte ise akış çoğunlukla daha reaktiftir ve daha az izlenebilirdir, bununla birlikte firmalarda tersine lojistik, planlama ve karar verme mekanizması sonucu olarak değil tüketicilerin aksiyonlarına karşılık başlatılmaktadır (Rogers ve Tibben-Lembke, 2002). Şekil 2.2’de temel akış hem tersine hem de ileri lojistik için özetlenmiştir.



Şekil 2.2 : Tersine ve ileri lojistikteki temel akışlar (Agrawal ve diğ., 2015).

Ters lojistik ile ileri yönlü lojistik arasındaki en önemli farklılık, ileri lojistikte yeni bir bitmiş ürünün üretimi ve dağıtım faaliyetleri söz konusu iken, tersine lojistikte kullanılmış ya da üretimden çıkmış ürünlerin ayrıştırılması, geri kazanılması, geri

dönüştürülmesi ve yeniden üretilmesi gibi adımlar sonucu dağıtım söz konusudur. Çizelge 2.1’de ileri ve tersine lojistiğin kıyaslanması bulunmaktadır.

Çizelge 2.1 : Tek satırlı ve Tersine ve ileri lojistik arasındaki farklar (Rogers ve Tibben-Lembke, 2002).

İleri Lojistik	Tersine Lojistik
Tahmin yapmak nispeten daha basittir.	Tahmin yapmak daha meşakkatlidir.
Ürün kalitesi tek tiptir.	Ürün kalitesi değişkendir.
Bir noktadan çok sayıda noktaya taşıma yapılı (1-n).	Çok noktadan bir noktaya taşıma yapılı (n-1).
Ürün paketlemesi tek tiptir.	Ürün paketleri genelde hasarlıdır ve tek tip değildir.
Standartlaştırılmış kanallar mevcuttur.	İstisna odaklıdır.
İmha alternatifleri belirlidir.	İmha biçimleri açık değildir.
Fiyatlandırma nispeten homojendir.	Fiyatlandırma birçok faktöre bağlıdır.
Ürün ömrü yönetilebilir.	Ürün ömrü konuları daha karışıktır.
Pazarlama yöntemleri iyi bilinmektedir.	Pazarlama birçok faktör barındırdığından karmaşıktır.
Hızlı olma önemlidir.	Hız genellikle öncelik olarak görülmez.
Stok yönetimi önemlidir ve kontrol uygulamaları tutarlıdır.	Stok yönetimi tutarlı değildir.
Taraflar arasında uzlaşma daha kolaydır.	İlave değerlendirmeler ile uzlaşma daha zordur.
İleri yönde dağıtım maliyetleri muhasebe sistemleri ile takip edilmektedir.	Tersine maliyetler daha az izlenebilir.
Ürünlerin takibi için gerçek zamanlı bilgi mevcuttur.	Süreçlerin gözlemlenebilirliği daha az şeffaftır.

2.4.3 Tersine lojistikte süreçler ve aktörler

Bir ürünün elden çıkarılmak istenmesi, müşteride memnuniyetsizlik yaratmaya başlaması, işlev görmemesi, ürünle ilgili teknik problemin üretici tarafından fark edilmesi ve benzeri durumlarda ürün için bazı muhtemel hedefler oluşacaktır. Bu hedefler: alınan bayiye iade, yeni ürün gibi satış, outlet mağazalarda satış, yeniden üretim / yenileme, hurdacıya satış, bir yere bağışlanması, geri dönüşüm ya da imha edilme olabilir. Bu doğrultuda yer alan temel süreçler ve bu süreçlerde yer alan aktörler bu bölümde konu alınacaktır. Literatürde yer alan Thierry ve arkadaşlarının 1995 yılındaki, De Brito ve Dekker’in 2004 yılındaki, Potdar ve Rogers’ın 2010 yılındaki

çalışması, 2002 yılında Krumwiede ve Sheu çalışması, Şengül tarafından 2011 yılında yapılan çalışma gibi kaynaklar incelenerek sınıflama yapılmıştır.

1. Toplama (collection/retrieval): Tüketicilerden ellerindeki ürünlerin toplanması, bu ürünlerin geri kazanılması sürecidir. Son tüketiciler ileri yönde tedarik zincirinde tüketimin başladığı nokta olmasından dolayı tersine kanalda ve geri dönüş süreçlerinde başlangıç noktasıdır. Bu aşama toplanan ürünlerin çeşitlerine göre şekillenmekte ve etkilenmektedir. Bu süreçte değişik işlemler mümkündür, bölüm 2.4.4'te detaylandırılacaktır. Müşteri Hizmetleri, son tüketicinin ürünü iade etmek üzere başvurabileceği ve bu doğrultuda hizmet alabileceği noktalardır. Ürünün durumu değerlendirilir, sorun tespiti yapılır, iade mekanizması başlatılır. Perakende bayiler doğrudan müşteri ile iş yaptığından dolayı tedarikçisinden daha çok toplanmış ürünle ilgilenmesi gerekir ve tersine lojistik ağında ürün iadelerini yönetmektedir. İlavenen Hillegersberg ve arkadaşlarının 2001 yılında yaptıkları çalışmada ifade edildiği üzere birçok Avrupa ülkesinde elektronik eşya, otomobil gibi ürünlerin müşterilerden geri toplanması üretici firmalara kaymıştır.

2. İnceleme / Yeniden Satış (Doğrudan Geri Kazanım) / Üreticiye Geri Gönderme: Toplanan ürünler perakendeciye ulaştığında çeşitli muayene ve ayıklama işlemleri ile satılabilecek durumda olup olmadığı ya da üretici firmaya gönderilip gönderilmeyeceği kararı verilmelidir. Eğer ürün tekrar kullanılacaksa, yenilenerek tekrar satışa sunulması gerekmektedir, bu doğrultuda yeni paketleme ve fiyatta revize olacaktır. Ufak tamirlerin gerektiği durumlarda perakendeciye ait olan tamirhanelere gönderilir. Eğer perakendeci büyük tamir gerektirdiğini ya da imha edilmesi gerektiğini düşünüyorsa üretici ya da tedarikçi firmaya gönderir.

İnceleme / muayene aşamasında, dönen ürünlerin test edilmesi, demontajının yapılması, ayrılan küçük parçaların sınıflandırılması ve depolanması işlemleri yapılır. Ekonomik değeri bulunmayan ürünler değersiz atık olarak belirlenerek imhaya gönderilir ve tedarik zincirine dâhil edilmeyerek sevk maliyetleri gibi maliyetlerin önüne geçilmiş olunur.

3. Taşıma / Ulaştırma: Ürünlerin toplanması, toplanan ürünlerin üretici firmaya ulaştırılması gibi tersine lojistik aşamaları taşıma faaliyetleri içermektedir. Bu

doğrultuda şirketler, dışarıdan destek alabileceği gibi kendi bünyelerinde de bu süreci yürütülebilir. Her adımda bulunan taşıma süreçleri destek süreçlerdendir.

4. Yeniden işleme / Tamir, Bazı parçaların kullanımı: Üretici / tedarikçi ileri yönde tedarik zincirinin başlangıç noktası olduğundan, tersine akışta son noktadır. Ürün bu noktaya geldiğinde üretici/tedarikçi firmanın ürün ile ilgili tamir, bazı parçaların kullanılabileceği ya da imha kararı alınır. Üretici/tedarikçi firmanın ürünün durumuna göre verdiği kararlar eğer ürün tamir edilebilir ve tekrar satılabilir ise yeniden işlenerek, küçük parçalarına ayrılıp bu parçaların yenisi ile değiştirilerek ya da yenilenerek perakendeciye geri gönderilir, genellikle tercih edilen bir uygulamadır. Bazen sadece bazı parçaların kullanılması kararı alınır, örneğin yazıcılarda kart okuyucular tekrar kullanılabilir. Geri dönüşüm, yeniden üretim, tekrar kullanım, yenileme, tamir etme işlemleri bu adımda uygulandığından tersine lojistikteki en çok yatırımı gerektirmektedir.

Tamir (Repair): Toplanan ürünlerin yeniden çalışabilir duruma getirilmesi amacıyla bozulmuş parçaların onarılmasını ya da değiştirilmesidir. Tamir edilen ürünlerin genellikle, yeni ürünlere göre kalitesi daha düşüktür.

Yenileme (Refurbishing): Toplanan ürünlerin belirlenmiş kalite seviyesine ulaşması amacıyla parçalarına ayrılması, bu parçaların belirli kontrollerden geçtikten sonra tamiri ya da değişiminin yapılması, kalite olarak yeterli koşullarda olan parçaların bu ürünlere monte edilmesidir.

Yeniden üretim (Remanufacturing): Toplanan ürünlerin, paketi açılmamış ürünlerin kalite seviyesine getirilmesi amacıyla, bu ürünlerin tamamen parçalanması ve tüm parçaların detaylı şekilde incelenmesi, kullanılmayacak ve hasar görmüş parçaların yenilenmesi, tamir edilebilir parçaların gerekli işlemlere tabii tutulması ve uygun görülen parçaların monte edilmesidir.

Hava-uzay makineleri, uçak araba parçaları, tıbbi gereçler, kompresörler, veri iletişim teçhizatları, oyun makinaları, elektrikli ve elektronik aletler, endüstriyel makineler, müzik enstrümanları, robotlar, ofis mobilyaları, kart okuyucular,

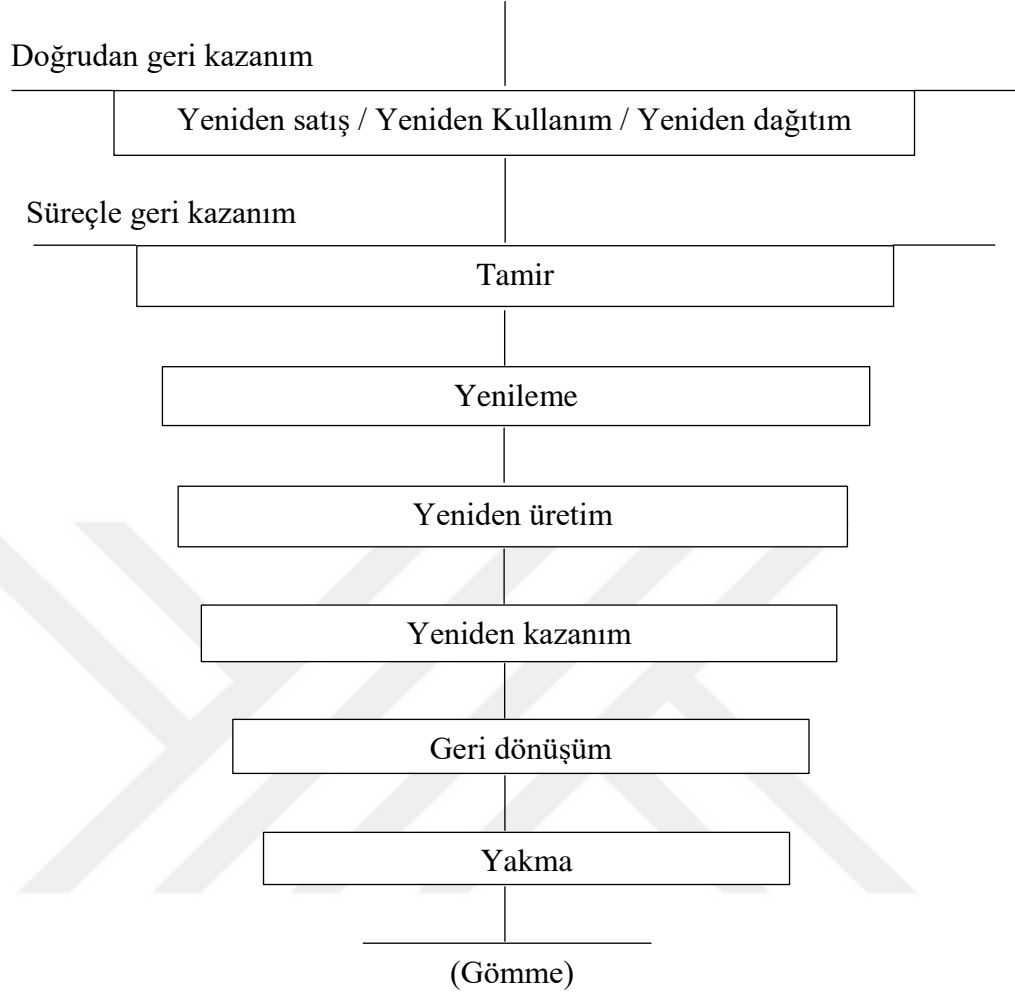
yazıcılar, motor parçaları, fotokopi makinaları, buzdolapları gibi bazı ürünlerin diğerlerine göre daha çok yeniden üretimi yapılmaktadır (Url-1).

Geri Kazanım (Recycling): Geri dönüştürme sırasında, ürün ve parçalarının özellik ve fonksiyonları işlevlerini kaybeder. Ürünlerin parçalarına ayrılması ile başlayan bu süreçte hedeflenen, toplanmış ürünlerin malzemelerindeki faydayı geri kazanabilmektir. Edinilen parçalar kalitelerine göre ve orijinal parça üretiminde ya da yeni parçaların üretiminde kullanılır.

5. İmha/ Elden çıkarma: Eğer yukarıda yer verilen geri dönüşüm alternatiflerinden hiçbiri uygulanamıyorsa, ürünler hurdaya ayrılır ve atık alanlarına imha amacıyla gönderilir. Ekonomik ya da teknik değeri bulunmayan ürün ve parçaların toplanarak toprağa gömme, yakılma (incineration) ve benzeri yöntemlerle elden çıkarılmaktadır.
6. Yeniden Dağıtım: Tekrar kullanılacak ve satılabilecek ürünlerin pazara, kullanılabilir bazı parçaların tedarikçilere dağıtım faaliyetidir. Üretici firmadan müşteriye dağıtılmasına benzer mantıktadır ancak ürün rotalarının bilinmemesi, toplanan ürün miktarlarının belirsizliğinin etkisi gibi farklılıklar bulunmaktadır.

Şekil 2.3'te geri kazanım süreçleri tekrar gerektirdiği işlemlere göre sıralanmış ters bir piramit halinde gösterilmektedir. Şekilde yer verilen ters piramidin Lansink tarafından 1979 yılında sunulan dört aşamalı "atık hiyerarşisi" ile benzerlik gösterdiği düşünülebilir. AB ülkelerinin Atık Yönetim mevzuatına uyarladığı hiyerarşi modelindeki dört aşama: önleme, tekrar kullanım, geri dönüşüm ve uygun bertaraf yollarıdır (de Brito ve Dekker, 2004).

Özetlemek gerekirse tersine lojistik beş ana faaliyet içerir, bunlar: toplama/ürün bulma, test/kontrol etme/inceleme, ayrıştırma, yeniden işleme ve yeniden dağıtımdır. Bu süreçlerde son tüketici, müşteri hizmetleri, perakendeci, toptancı, üretici/tedarikçi firmalar, geri dönüşüm uzmanları ve atık olarak sistemden çıkarılan malzemeleri döngüye kazandıran atık toplayıcılar kilit aktörlerdendir.



Şekil 2.3 : Ters geri kazanım piramidi (de Brito ve Dekker, 2004).

Kullanılmış ürünlerin iadeleri ürün geri kazanım sistemlerinde hem hiç işlenmemiş parçaların hem de iadelerin yeni üretimlerde kaynak olarak kullanılmasıyla iki seçenek sağladığından, üretim planlama ve stok yönetimi, bahsi geçen alternatiflerin beraberinde getirdiği belirsizlik ve birbirine göre ayarlanması ile sistem performansını optimize etmek amacıyla üzerinde uğraşılması gereken birer konu haline gelmektedir (Pan ve diğ., 2015'te atıfta bulunduğu gibi). İade edilen ürün miktarlarının talep planının tutarlı olması, üretim planlama ve stok yönetiminde operasyonel anlamda çok yardımcı olmaktadır (Clottey ve diğ., 2012).

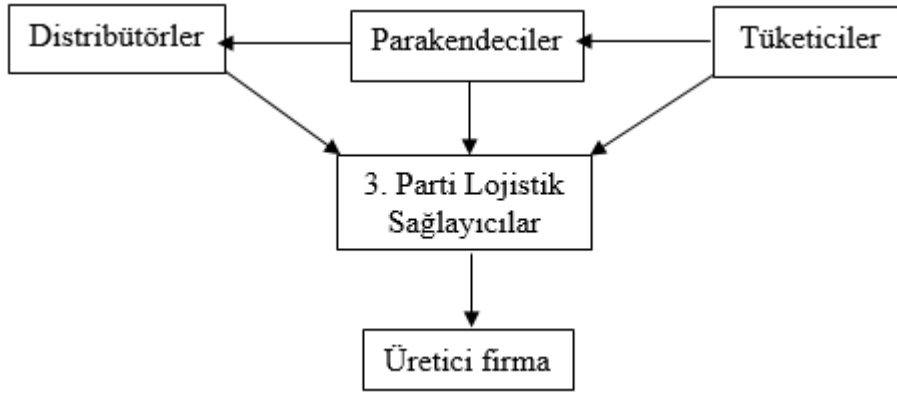
2.4.3.1 Üçüncü parti lojistik – Lojistik merkezleri

Üretici firmalar, tersine lojistik ağında son nokta olmaları sebebiyle taşıma faaliyetlerinin beraberinde getirdiği maliyetleri azaltılma çalışmaları yapmaktadır,

bunlardan birisi dış kaynak kullanımınıdır. Bu noktada üçüncü parti lojistik ve lojistik merkezlerinden destek alınabilmektedir.

Üçüncü parti lojistik (3PL) ürün toplama, taşıma, depolama, paketleme gibi lojistik faaliyetlerini içermektedir. Lojistik merkezleri de yük taşıması, depolama ve lojistik faaliyetlerini kapsamaktadır. Özellikle yerel üretken sistemlere ulaşım anlamında çözüm sunmaktadır. Şekil 2.4'te de görüldüğü gibi 3PL sağlayıcılar ürün geri dönüşlerin sağlandığı tüm kanallarla üretici firma arasında bir kaynak oluşturmaktadır.

ABD'de sektör lideri 20 işletme arasında yapılan çalışmanın sonuçlarından çıkarılan bilgilere göre büyük 3PL sağlayıcılarının ağırlıklı olarak otomotiv, tüketim malları imalatı, elektronik, perakendecilik, sağlık, endüstriyel üretim gibi sektörlerde dikey uzmanlaşma sağlayarak belirgin bir şekilde rekabet gücü sağlayacakları kanısındadır. Entegre tedarik zinciri genişlemesi, daha yoğun bilgi teknolojileri kullanımı, teknoloji yatırımlarının maliyetinin yüksek olması fakat getirisinin düşük olması, güvenlik konularına yoğunlaşılması gibi bulgular da sektörün önemli dinamikleri arasındadır (İTO, 2006).



Şekil 2.4 : Üçüncü parti tersine lojistik modeli (Lau ve Wang, 2009).

2.4.4 Ürünlerin geri dönüş nedenleri - Tersine lojistik kanalları

Literatürde yer alan çalışmalarda, her türlü ürünün satıldıktan sonra tersine lojistik ağına dâhil edilmesi için gereken durumu, aslında ürünlerin iade sebeplerini, tersine lojistik kanalları ya da tersine lojistik akış kanalları olarak görmek mümkündür. Bu başlık altında ürünlerin son tüketiciden üretici firmaya hangi sebepler/kanallar ile geri döndüğü incelenecektir.

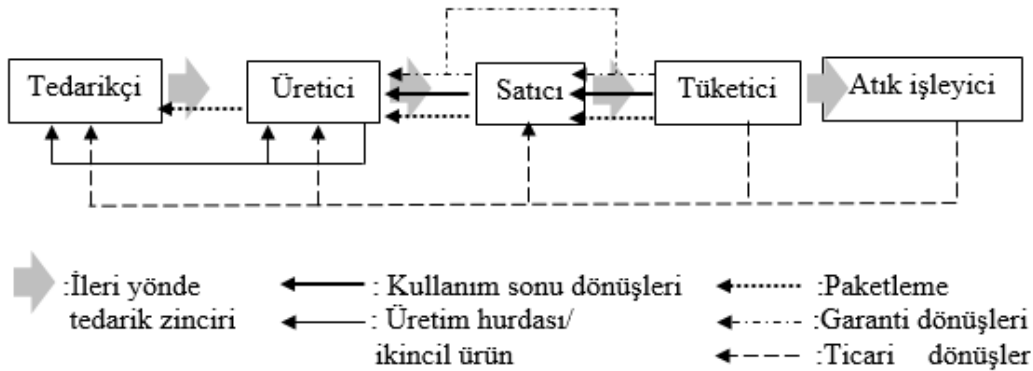
Müşterilerin perspektifinden bakıldığında birçok iade sebebi bulunmaktadır, bunlardan bazıları aşağıdaki gibidir:

- Satıcıya müşteri tarafından, ürünün satın alınması ile başlayan 30 ile 90 günlük süre içinde iade edilmesi “ticari dönüş” olarak adlandırılır (Krapp ve diğ, 2013). Bu durumda olan ürünlerin yeniden kullanımı, yeniden üretimi mümkündür. Dönüş süresi kısa ya da orta sürelidir.
- Bazı müşterilerin ürünü nasıl çalıştıracağını anlamaması ya da fikir değiştirmesi sonucu ürünün düzgün bir şekilde işlev görmediğini iddia ederek iade etmek istemeleri “bir ürünün kusurlu olmadığı halde iadesi” (false failure) olarak adlandırılır (Rogers ve Tibben-Lembke, 2001). Özellikle akıllı telefon, tablet, küçük ev aletleri gibi elektronik cihazlarda kullanım zorluğu, karmaşıklığın yüksek seviyelerde olması sıklıkla karşılaşılan geri dönüş nedenlerindedir (Gheorghe ve Radu, 2014).
- Ürünlerin kullanım ömürlerinin dolması sonrasında teknolojik olarak demode olması, fonksiyonlarının azalması/kaybolması, işlev görmemesi, kullanıcı tarafından işlevsiz görülmesi, yeterli görülmemesi ile ortaya çıkan tersine lojistik kanalı “ürün ömrünün sona ermesi- kullanım sonu iadeleri” olarak adlandırılır. Son yıllarda tersine lojistik kavramına olan ilginin artması ile muhtemelen en yaygın iade sebebi ürün ömrünün dolması ile kaynaklanmaktadır. Uzun dönüş süresi gerektirmektedir, üreticiye geri gelen ürünler yeniden üretim, geri dönüşüm ya da imha ile değerlendirilir (Fleischmann, 2000).
- Kullanım sırasında bozulan ya da taşıma sırasında hasar gören ürünlerin üreticiye iadesi “garanti dönüşleri” olarak adlandırılır. Belirli bir kullanım ve aşınmadan sonra değiştirilmesi gereken parçalar da bu kategoride yer almaktadır. En uygun muamele, kullanıcı tarafından geri gönderilen ürünün tamir edilmesi iken bazı durumlarda imha da gerekebilir, ürünün yenilenerek müşteriye verilmesi ya da bedelinin iadesi de oluşabilecek durumlar arasındadır (Fleischmann, 2000).
- Bir başka tersine kanal da üretimde yer alan kesme, harmanlama gibi işlemlerde ortaya çıkan yan ürün ya da hurdaların, kalite açısından yeterli

olmayan ve yeniden işlem görmesi gereken parçaların oluşturduğu “üretim hurdası/ikincil ürün” olarak adlandırılan dahili geri dönüşlerdir. Bu geri dönüşler kaynakların tasarrufu amacıyla yapılmaktadır ve ekonomik kazanım sağlamaktadır (Fleischmann, 2000; Krapp ve diğ, 2013)

- Son olarak “paketleme” yaygın tersine lojistik kanallarındandır. Kasa ve sandıklar, tekrar doldurulabilir şişeler, paletler, tekrar kullanılabilen kutular en eski ve en bilinen tersine lojistik örneklerindedir. Bu tip ürünlerin tekrar kullanımı temizleme haricinde yüklü bir işlem gerektirmediğinden ekonomik olarak da caziptir. Ürünlerin geri dönüşleri nispeten çabuktur çünkü taşıma sırasında ihtiyaç duyulur ve ürünün teslimatından sonrası geri dönüş için hazırdır (Fleischmann, 2000).

Wang ve arkadaşlarının, 2013 yılında yaptığı elektronik eşyaları içeren anket çalışmasında dönüş nedenlerini çoğunluğa göre Garanti dönüşleri, Ticari dönüşler, Kullanım ömrü bitimi dönüşleri, Paketleme ve Diğer sebepler (neden belirtilmeden alınan iadeler gibi) olarak sıralamışlardır. Şekil 2.5’te tedarik zincirinde malzemelerin tersine akışını tetikleyen bazı noktalara ve tersine lojistik kanallarına değinilmektedir.



Şekil 2.5 : Tedarik zinciri içinde tersine akış (Fleischmann, 2000).

Tersine lojistikte geri dönüşler, de Brito ve Dekker (2001)’in yaptığı çalışmada tedarik zincirinde üretim ile başlayan, dağıtım ile ürünün müşteriye ulaşmasına kadar devam eden hiyerarşiye göre üretim, dağıtım, tüketici geri dönüşleri olmak üzere 3 ana başlıkta sınıflandırılmıştır. Şekil 2.6’da tersine lojistikte hiyerarşik olarak geri dönüş nedenleri özetlenmiştir.



Şekil 2.6 : Tersine lojistikte iade kanalları (de Brito ve Dekker, 2001).

2.4.5 Neden tersine lojistik?

Doğal kaynakların tükenmesi, yeni ham madde arayışına girilmesi, çevreye karşı duyarlılığın artması gibi sebepler tersine lojistik kavramına olan ilgiyi arttırırken, şirketlerin tersine lojistik faaliyetlerine ve gerektiği yerde yatırımlara başlamasının altında yatan nedenler; ekonomik etmenler, yasal zorunluluklar, sosyal sorumluluklar olmak üzere 3 ana başlık altında toplanabilir. Bu unsurlar arasında korelasyon bulunmaktadır.

1. Ekonomik Unsurlar: Kullanılmış ürünlerin toplanılıp kullanılması ucuz hammadde sağlarken, geri kazama değer katmaktadır ve imha maliyetini de azaltır. Tersine lojistik tüm geri kazanım faydalarını kapsadığından ekonomik olarak atık yönetimi, kullanılan kaynakların azaltılması, müşteri ve tedarikçi ilişkilerini iyileştirme maliyetleri gibi maliyetlerin düşürülmesi söz konusudur.

De Brito ve Dekker'in 2004 yılında yaptığı çalışmada ekonomik kazanımların maliyet azaltılması, katma değerli geri kazanım, malzeme girdisi olarak doğrudan; çevreci imaj, pazarın korunması, geliştirilmiş müşteri ve tedarikçi ilişkisi, beklenen ya da engellenen yasalar olarak dolaylı fayda sağladığı ifade edilmektedir.

2. Yasal zorunluluklar: Birçok ülkede ve sektörde yürürlükte olan yasalara göre üretici firmalar ürettikleri ürünleri iade almak ve geri kazanmakla yükümlüdürler. Bu yasal girişimler çoğunlukla Avrupa'da ve kısmen doğu Asya'da uygulanmakla birlikte günümüz küresel pazarlarında ve tüm dünya çapında etkisini gösterecektir (Fleischmann, 2000). Çevreyi korumaya yönelik şartnameler ve ticaret yönetmelikleri doğrultusunda, üretici firmaların karbon ayak izi, enerji tüketim oranları gibi göstergeleri kontrol altında tutma zorunluluğu bulunmaktadır (Dhıb ve diğ., 2013).
3. Sosyal etmenler: Tersine lojistikte kullanılmış ya da iade edilmiş ürünlerin toplanması, tekrar kullanılması, geri kazanımı amaç olduğundan doğrudan çevresel konuları içermektedir. Toplumun çevreye karşı duyarlılığı ve korumacı tutumu geliştikçe geri kazanılan ürün miktarı artacak, böylece işletme maliyetlerini de azaltacaktır, aynı zamanda bu durum atık oluşumu ve zararlı metallerin kullanımının azaltılmasını, çevreye dost ürünlerin piyasaya sürülmesini, yasal düzenlemelerin artması konularını da tetikleyecektir(Lau ve Wang, 2009). Diğer yandan günümüzde şirketler için yeşil imajının olması pazarlama açısından da önem taşımaktadır.

Yukarıda değinilen dinamiklerin yanı sıra, tersine lojistiğin etkilendiği birçok unsur bulunmaktadır. Şirketlerin stratejisi, büyüklüğü, belirlenen garanti süresi, müşterilere verilen bilgi, firmanın ürünlerini tamir edip edememesi, reklam, ürünün geri alınma bedeli firma bazlı faktörlerken; ürünlerin kategorisi, çeşidi, kullanım süresi, ekonomik ömrü, fiyatı, sezonsallık durumu, ürünün modülerliğindeki karmaşıklık, ürün iadesinin kolaylığı, ürünün satış miktarı, hata/arıza/defo oranı ürün bazlı faktörler arasında yer almaktadır. Çevreye yapılan yatırımlar, verilen teşvikler; müşteri segmenti, eğitim seviyesi, nüfus ve nüfus yoğunluğu, gelir gibi faktörler de tersine lojistiğe etki eden etmenler arasındadır (Temur ve diğ, 2014).

2.4.6 Tersine lojistikte karşılaşılan engeller

Gelişmiş ülkelerde, kullanım ömrü bitmiş ürünlere yapılması gereken muameleler, üreticilerin ürünlerini geri toplama zorunluluğu gibi kanun ve düzenlemelerin olması tersine lojistiğin yaygınlaşmasındaki en önemli dinamiklerden biriyken, aynı şekilde gerekli kanun ve yönetmeliklerin olmaması da tersine lojistik konularında henüz yolun çok başında olan ülkeler için zorluk getirmektedir. Toplumsal baskı ve çevre bilincinin

eksik olması, üst yönetimin ilgisizliği/isteksizliği, tersine lojistik kavramın tam olarak anlaşılması, iadelerin miktarı ve kalitesi konularındaki belirsizliğin talep tahmini ve planlamayı zorlaştırması da adaptasyon sürecini olumsuz etkilemektedir. Tersine lojistik süreçlerinde karşılaşılan zorluklara detaylı olarak Çizelge 2.2’de yer verilmiştir.

Çizelge 2.2 : RL adaptasyonunda karşılaşılan engeller (Prakash ve diğ., 2015).

Kriterler	Alt Kriterler
Stratejik engeller	Stratejik plan eksikliği Değişime karşı direnç olması Atık yönetimi uygulamalarının eksikliği Şirket politikaları RL konularında hızlı çözüm oluşturamama Stratejik olarak RL konularının sahiplenilmemesi RL faaliyetlerinin SC iş süreçleri arasında görülmemesi
Ekonomik engeller	RL bilgi sistemlerine yeterince yatırım yapılmaması Ekonomik karlılığın yeterince anlaşılması Yüksek başlangıç/operasyon maliyeti RL ürünlerinin depolarına yeterince yatırım yapılmaması
Politik engeller	Halkın çevresel konulara duyarsız olması Standart ve geri dönüşüm uygulamalarının yetersizliği RL konularında hükümet destekli politikaların eksikliği Kullanım ömrü dolan ürünler ile ilgili yasa ve yönetmeliklerin olmaması Atık elleçleme konularında yasal boşlukların olması Müşterilerin iade süreçleri hakkında bilgilendirilmemesi
Altyapısal engeller	Altyapı faaliyetlerinin (depolama, sevkiyat) eksik olması 3PL sağlayıcılar ile koordinasyon ve işbirliği eksikliği İadelerin izlenebileceği sistem eksiklikleri Sınırlı tahmin/planlama yapabilme durumu
Pazar bazlı engeller	Ürün dönüşlerindeki ve taleplerdeki belirsizlik İade edilen ürünlerdeki kalite/miktar belirsizliği Yeniden üretilmiş ürünlerin pazarlanması SC ortaklarından yeteri miktarda destek alınamaması RL hakkında müşterilerin algısı

2.4.7 Maliyetler ve ekonomik büyüklük

Tersine lojistik maliyetleri belirsizlik taşımaktadır ve çok iyi bir biçimde belirlenmiş ileri yöndeki lojistik maliyetleri ile aynı olmayabilir (Rogers ve Tibben-Lembke, 2002). Stok, yeniden işleme, yedek parça, taşıma, toplama, elleçleme ve sınıflandırma, toplanan ürünlerin yenilenmesi, tamir edilmesi gerektiği koşulda ima edilmesi maliyetleri tersine lojistikte dikkat edilen maliyetlerdendir. Tahmin planlamasının

etkili ve verimli bir biçimde yapılamaması beraberinde maliyet getirmektedir. Bu maliyetlerin yanı sıra iş gücü maliyetlerinin de göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Norman ve Summer 2006 yılında yaptıkları çalışmada gizli işgücü maliyetlerini aşağıdaki gibi yorumlamıştır:

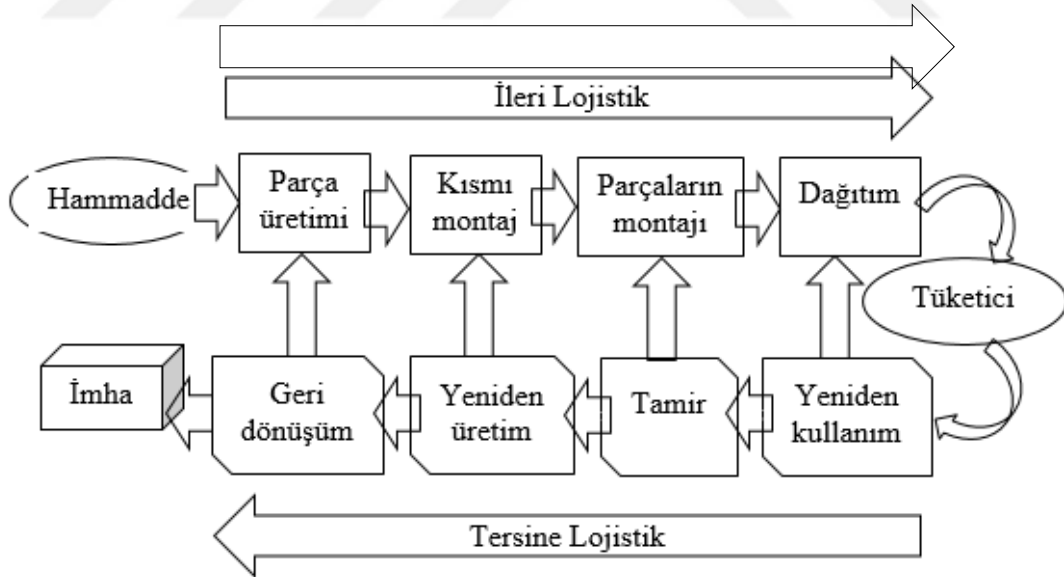
- İadeleri takip eden müşteri ilişkileri,
- İade edilmiş bir ürünün hangi garanti sınıfına alınacağını belirleyen yetkili servisler,
- Müşteriye iadesi karşılığında ödenmesi gereken tutarı belirleyen finans,
- Araştırmalara göre verimli zamanlarının çoğunu yeni satış aktivitelerine ayırmak yerine önceden yapılanlar ile ilgilenen satış,
- İade edilen ürünlerin taşımalarını organize eden birimler
- Yukarıda verilen iş gücünün planlanmasını yapan insan kaynakları

Diğer yandan yakın bir geçmişe dayanan tersine lojistiğin önemli bir ekonomik büyüklüğe eriştiği de düşünülmektedir.

ABD’de bulunan işletmelerce yıllık toplam 950 milyar dolar lojistik için harcanırken, bu harcamaların %4,5’luk kısmını (yaklaşık 43 milyar dolar) tersine lojistik faaliyetleri oluşturmaktadır (Güleş ve diğ., 2012’de atıfta bulunulduğu gibi). Tersine lojistik sektörden sektöre değişken ekonomik büyüklük göstermektedir. Örneğin Amerikan otomotiv endüstrisinde yapılan bir çalışmaya göre yeniden üretilmiş otomotiv parçalarının pazar hacmi 36 milyar dolardır, 12.000 fazla kişinin bu sektörde yeniden üretim yaptığı tahmin edilmektedir. HP 1990 yılından beri uyguladığı lazer jet toner kartuşlarının geri toplanması projesi ile 18 milyon poundluk malzemenin çöpe atılması yerine üretime kazandırılmasını sağlamıştır. Elektronik aletler sektöründe ise hem atıkların doğaya verdiği yüksek zarar hem de bileşenleri içinde demir, altın, bakır gibi değerli metallerin bulunması sebebiyle önem verilmektedir. 1 ton atıktan yaklaşık 9000 dolar kazanç elde edildiği bilinmektedir (Güleş ve diğ., 2012). ABD’de 98 yılında yayınlanan raporda 70.000’den fazla yeniden üretim yapan firma bulunduğu ve bu firmaların toplam satışlarının 53 milyar dolar olduğu, ilaveten bu firmalarda 350.000 kişi çalıştığı verileri mevcuttur (Guide ve diğ., 2003’te atıfta bulunulduğu gibi).

2.5 Kapalı Döngü Tedarik Zinciri

ABD’de 1990’lı yılların başında endüstrisinin büyüklüğünden bağımsız olarak akademik çevre tarafında göz ardı edilen yeniden üretim kavramı, Robert Lund’un 1996 yılında yaptığı analiz ile dikkat çekmeye başlamıştır, Avrupa’daki çalışmalar ise ürün ömrü bitmiş ürünler ile ilgili AB direktiflerinin gelmesi ile hız kazanmıştır. Yeniden üretim, tersine lojistik konularına, ardından tersine lojistik ağına ve kapalı döngü tedarik zinciri kavramlarına duyulan ilgiyi tetiklemiştir (Guide ve van Wassenhove, 2009). Modern tedarik zincirlerinde ileri yönde lojistik (hammaddeden son tüketiciye) ile tersine lojistik (son tüketiciden geri kazanılmak üzere ya da yeni kullanıcıya) arasındaki çizgi tam olarak kesin bir biçimde tanımlanmamıştır. Örneğin kullanılmış ya da geri kazanılmış bir bardak, yeni üretilecek bir bardak için oldukça önemli bir girdidir. İleri ve tersine lojistiğin harmanlandığı bütünleştirici bakış açısı kapalı döngü tedarik zinciri kavramı olarak bilinmektedir (Guide ve van Wassenhove, 2003). Şekil 2.7’de özetlenen kapalı döngü tedarik zincirinde tersine lojistik; sürece yeniden kullanım, yeniden üretim, bileşenlerin farklı malzeme ya da başka ürünlere dönüşümünü katarak, ucu açık ve ileri yönde olan tedarik zincirini kapalı bir döngü haline getirmektedir (Güleş ve diğ., 2012’de atıfta bulunulduğu gibi).



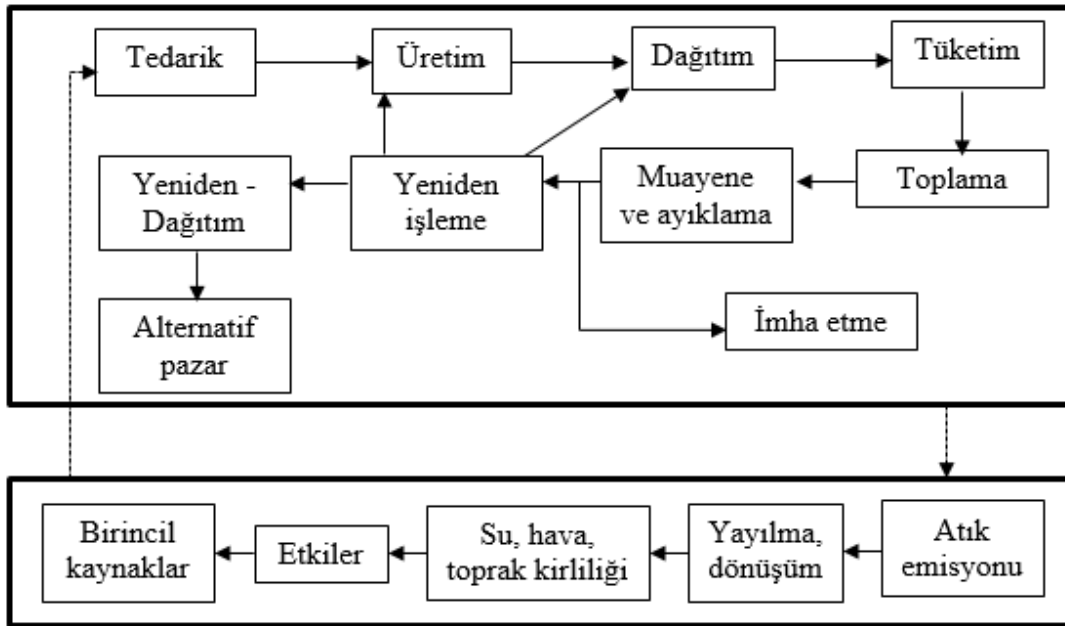
Şekil 2.7 : Kapalı döngü tedarik zinciri (Hanafı ve diğ., 2008).

Kapalı döngü tedarik zincirinde geleneksel tedarik zincirine kıyasla karmaşıklığı arttıran bazı özellikler: iade ve talepteki belirsizlik, dağıtım ve toplama olmak üzere iki tip taşıma operasyonu, kalite ve paketlemenin standart olmayışı, iade ve taleplerdeki fiyatlandırmanın belirsiz olmasıdır (Kaya ve diğ., 2014).

2.6 Yeşil Lojistik, Atık Yönetimi, Tersine Lojistik İlişkisi

Tersine lojistik; atıkların etkin, verimli bir şekilde toplanması ve işlenmesini kapsayan atık yönetiminden ve tüm lojistik faaliyetlerinde, özellikle üreticiden tüketiciye olan ileri lojistik faaliyetlerinde çevresel konuları dikkate alan yeşil lojistikten farklılık göstermektedir (De Brito ve Dekker, 2004). Camm'in 2001 yılındaki raporuna göre lojistikte yenilenemeyen doğal kaynakların tüketimi, gaz emisyonu, gürültü kirliliği, yolların kullanımı ve yoğunluğu, tehlikeli olan ve olmayan atıkların imhası öne çıkan başlıca çevresel konulardır. Tersine lojistik de kavram ve kapsam olarak sürdürülebilir gelişmenin bir parçası olarak görülebilir; ancak atık yönetimi ve yeşil lojistik ile karıştırılmamalıdır.

Şekil 2.8'de geri kazanım operasyonlarını içeren kapalı döngü tedarik zinciri ile çevresel zincirin arasındaki ilişki gösterilmektedir. Tüm tedarik zinciri faaliyetleri emisyon ve atık oluşturmaktadır, son olarak çevresel zincirdeki çeşitli süreçler vasıtasıyla doğal kaynaklara etki etmektedir, diğer yönden de doğal kaynaklar tedarik zinciri için gerekli bir girdidir (Bloemhof-Ruwaard ve diğ., 2004).



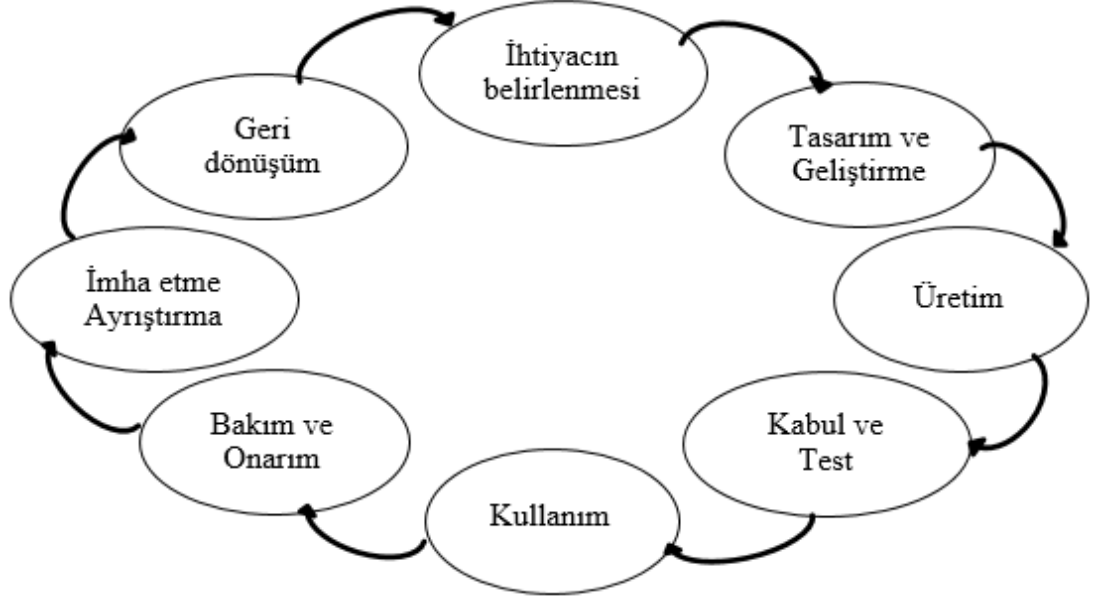
Şekil 2.8 : Kapalı döngü tedarik zinciri ile ilişkilendirilmiş çevresel zincir (Bloemhof-Ruwaard ve diğ., 2004).

Süreçlerin iyileştirilmesi ya da daha az işlem gerektiren, daha az atık oluşturan ürün tasarımı doğrudan çevresel yüklerin azaltılmasını sağlamaktadır. Dolayısıyla, yaşam döngüsü perspektifinin uygulanması, eş zamanlı olarak ürün tasarımının ve (ileri – geri

kazanımlı) tedarik zinciri süreçlerinin optimizasyonunu sağlamaktadır (Bloemhof-Ruwaard ve diğ., 2004).

2.7 Tedarik Zinciri ve Ömür Devri

Ömür devri (life cycle) tek bir ürünün yaşam döngüsünü kapsarken, tedarik zinciri işletmedeki tüm ürün ve hizmetlerin döngülerini kapsamaktadır. Şekil 2.9'da da aktarıldığı üzere ömür devri: ürün ya da sistemin ihtiyaçlarının saptanması, sistem planlamasının yapılması, tasarımı, üretimin yapılması, sistemin eksiklerini bularak geliştirilmesi, üretilen ürünün ya da sistemin kullanılması, kullanımın sonuna gelinmesi, geri dönüştürülmesi ve tekrar kullanım aşamalarını kapsamaktadır (Keskin, 2012).



Şekil 2.9 : Ömür Devri (Keskin, 2012).



3. TERSİNE LOJİSTİK KONUSUNDA YAPILAN ÇALIŞMALARA YÖNELİK LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

3.1 Tersine Lojistikte Konusunda Literatür Çalışması

Çevre kirliliğinin artması, kaynakların azalması, duyarlılığın ve yasaların kontrolünün artması gibi faktörlerle sürdürülebilirlik, geri dönüşüm, tersine lojistik konularında yapılan çalışmalarda artış görülmesine neden olmuştur. Özellikle ürün miktarının ya da geriye dönen ürünün çok fazla olduğu sektörlerde ters lojistik faaliyetleri kritik bir önem kazanmıştır. Son 25-30 yılda akademik ve iş çevrelerinden ilgi gören tersine lojistik kavramının literatürde ters tedarik zinciri olarak kullanımına da rastlanmaktadır.

Tersine lojistik konularında çalışmalar düşük/yüksek katma değerli süreç içermesi, iade hacmine göre de değişkenlik göstermektedir, yoğunlukta olduğu bazı sektörler:

- Yedek parçalarının değerli olması, ekonomik olarak maliyetin geri dönüştürülen parçalarla kıyaslanabilir olması ile otomotiv,
- Yüksek getiri, düşük hacim olması ile uçak parçaları ve lokomotif motoru
- Bileşenleri içinde alüminyum, bakır gibi değerli materyaller bulunması, doğaya atıldığı durumda çevreye verdiği şiddetli zarar ve atık hacminin otomobile nazaran küçük olması ile elektronik eşyalar,
- İçerdiği alüminyum, demir, motor ve kompresörün pazarının olması ile elektrikli eşyalar,
- Kağıt, cam gibi malzemelerdir.

Literatürde ürün dönüşlerinin tahmini konusunda yöntem geliştiren; terim, tarihsel gelişim ve trendlere kavramsal açıdan yaklaşan, tedarik zinciri ağını modellemeyi amaçlayan vb. pek çok çalışma mevcuttur. İncelenen çalışmalar kavramsal çalışma, gerçek uygulama, optimizasyon çalışması, teknik yöntem, kurulan model açılarından ele alınarak Çizelge 2.3'te yer verilmiştir.

Lummus ve Vokurka'nın 1999 yılında yayınladıkları makale, tedarik zincirinin tanımı tarihi, neden önemli olduğu, şirketler için nasıl fark yaratılacağı ile ilgili kapsamlı ve oldukça açıklayıcı, tarihi bakımından da öncü sayılabilecek makalelerdendir. Tersine lojistik ile ilgili makale ve tez çalışmalarında tanımlarına sıklıkla yer verilen Tibben-Lembke ve Rogers'ın 2002 yılında yaptıkları çalışma özellikle perakende sektöründe tersine lojistik ile ileri lojistiğin gösterdiği farklılıklar konu alan bir çalışmadır ve tersine lojistik ile ilgili her türlü detaylı kavramsal bilgiyi sunmaktadır. Kumar ve Putnam beşikten mezara algısını tersine lojistik için uyarlayarak beşikten beşiğe yaklaşımı ile yeniden üretimin avantajları, otomobil, elektronik, küçük ev aletleri sektörlerinde SWOT analizi¹ ve kapalı döngü tedarik zinciri hakkında literatür araştırması ve incelemeler yapmıştır. Lau ve Wang (2009) tersine lojistikte şirketlerin (büyüklüklerine göre vb. sebeplerle değişkenlik gösteren) bakış açılarını anlamlandırmak için elektronik eşya üreticisi 4 şirketi (2'si uluslararası 2'si yerel) incelemiştir. Yapılan görüşmeler ve incelemeler sonucu, ekonomik açıdan; toplam işlem maliyetlerini minimize etmeyi amaçlayan ve kaynak açısından, değerli ve değiştirilemez kaynaklardan fayda elde etmeye çalışan teoriler ile tersine lojistikte itici, engelleyici faktörler, temel aktiviteler gibi noktaları açıklamaya çalışmıştır. Rogers ve arkadaşları tarafından 2012 yılında yapılan çalışma tersine lojistik konusunda model geliştirmek isteyen araştırmacılara oldukça faydalı olacak bir kaynaktır, çalışmada tersine lojistik uygulamalarında karşılaşılabilecek problemlerin anlaşılması ve çözülebilmesi amacıyla literatür araştırmalarına, modelleme metodolojilerine, analitik ve simülasyon modellerine, tersine lojistik ağ tasarımına, rota planlama, çizelgeleme gibi konulara yer verilmiştir. Antonyova ve diğ. (2016) çalışmasında tersine lojistik ile ilgili trendlere, tanımlara, literatür araştırmasına yer vermiştir. Agrawal ve diğ. (2015)'de tersine lojistik konusunda yapılan 242 basılı makale inceleyerek kapsamlı bir literatür taraması yapmıştır. Yaptıkları çalışmada hangi dergide kaçar adette yayın olduğu, farklı kategorilere göre çalışmaların dağılımı, çalışmaların sektörleri, ülkeleri gibi detaylı bilgilere yer verilmiştir. Prakash ve arkadaşları 2015 yılında yaptığı çalışmada literatür taraması ve uzmanların görüşlerine dayanarak elektronik sektöründe tersine lojistik uygulamalarında karşılaşılan 28 bariyerin tespitini yapmış; sistem eksikliği, RL konusunda müşteri algısı gibi 5 alt

¹ SWOT, herhangi bir şirketin durumun güçlü yönlerinin zayıf yönlerinin fırsat ve tehditlerinin analizidir.

kategoriye ayırmıştır, FAHP² ile bu bariyerler önceliklendirilmiş ve duyarlılık analizi ile kriter ağırlıklarına göre sıralandırılmıştır.

Xiaofeng ve Tijun (2009), yaptıkları çalışmada tersine lojistikte iade edilen ürünlerin periyodik özellik göstermesinden dolayı dalga fonksiyonunu kullanarak ürün ömrünü göz önünde bulunduran bir tahmin modeli geliştirmiştir. Numerik analizlerle önerilen metodun verimliliği test edilmiş ve hata analizi kullanarak diğer modellerle kıyaslaması yapılmıştır. Chen ve He 2010 yılında yaptıkları çalışmada zaman serileri tahmin modeli ile –gri-tahmin metodunu birleştirerek iade miktarı, kalitesi ve zamanı konularındaki belirsizlik problemini çözmeye çalışmıştır. Çalışmada uygulama alanı olarak elektronik ev aletlerini seçilmiştir. Potdar ve Rogers (2010), elektronik endüstrisinde ürünlerin geri dönüş neden kodlarını kullanarak tahmin modeli kurmuşlardır, bu modelde verilerin incelenmesi için münferit olarak iki ayrı yaklaşım kullanılmış, sonrasında ise bulunan sonuçlar birleştirilmiştir. Geri dönüş nedenlerine göre sınıflama yapılarak bazı iadeler için ilişkili geliş sırası ile geri dönüş miktarı arasındaki korelasyonu³ tanımlayan lineer regresyon ve merkezi eğilimin saptanması amacıyla geri kalan geri dönüş yüzdelerinin kayar ortalaması kullanılmıştır. Krapp ve arkadaşları (2013), kapalı döngü tedarik zincirinde ürün dönüşleri belirsizliği için tahmin yöntemlerinde jenerik bir Bayes istatistiği⁴ ve ürün dönüşlerinin zamanını belirlemek için Poisson dağılımını⁵ kullanmıştır. MSE⁶, MAD⁷ ve MAPE⁸ kullanarak geliştirilen metot ile geleneksel tahmin metotlarının karşılaştırması yapılmıştır. Temur ve arkadaşları 2014 yılında yaptıkları çalışmada ürünlerin iadelerinde etkili olan faktörleri belirleyip, Boyut fazlalığı analizi (Dimension redundancy analysis) kullanarak doğrusallık (collinearity) içeren faktörler elenmiştir. Seçilen faktörlerle, sistemdeki belirsizlikleri gidererek iade miktarlarının tahmini için bulanık sistem (fuzzy expert system) kurulmuştur. Agrawal ve diğ. (2014) yılında Hindistan'daki telefon üretici firmada dönüş miktar ve zamanını tahmin etmek için GERT⁹ metodu

² FAHP, çok ölçütlü karar vermede kullanılan, öznel ifadelerin de dahil edilebildiği matematiksel bir yöntemdir.

³ Korelasyon, değişkenler arasındaki lineer ilişkiyi gösteren ölçümdür.

⁴ Bayes istatistiği, bir olayın başka bir olaya bağlı olarak gerçekleşme olasılığını verir.

⁵ Poisson dağılımı, belirli zaman dilimlerinde gerçekleşen olaylar için kullanılır.

⁶ MSE ortalama hata kare, çizilen regresyon çizgisine olan uzaklığın karesidir.

⁷ MAD, ortalama mutlak sapma, veri kümesindeki değerler ile ortalamalarının farkını gösterir.

⁸ MAPE, ortalama mutlak yüzde hata, tahmin edilen değer ile gerçekleşen değer arasındaki farkın gerçekleşen değere oranıdır.

⁹ GERT, grafik değerlendirme ve gözden geçirme tekniğidir.

kullanmıştır (ürün iadelerinin stokastik, belirsiz ve rastlantısal gelişigüzel olması sebebiyle tersine tedarik zincirine görsel bir tasvir sağlayan GERT uygun bir metot olarak görülmüştür.), çalışmalarında kültür, kurallar ve düzenlemeler, demografik oluşum, tüketici davranışı gibi faktörleri de dahil etmişlerdir. Zhou ve diğ. (2016), ise yeniden üretim operasyonlarının süreçlerini GERT kullanarak stokastik ağa dönüştürmüştür. Bu stokastik ağda birbirleriyle ilişkili olan aktivitelerin belirme olasılıkları ve aktivite süreleri mevcuttur. GERT metodu çeşitli kurallarla zenginleştirilerek tahmin yaparken belirsiz olan ürün dönüş miktarı, zamanı ve olasılığını belirlemeye çalışmıştır.

Krumwiede ve Sheu (2002) çalışmasında; tersine lojistik süreçleri, mevcut uygulamalar konularında incelemelere, lojistik yöneticileri ile yapılan görüşmelere ve literatür araştırmalarına yer verip tersine lojistik müşterilere yapılan anket sonuçlarına göre üçüncü parti lojistik şirketleri açısından sektöre girip girmeme fizibilitesine dayalı bir karar verme modeli kurmuştur. Autry (2005), seçtiği örnek bir otomobil firmasının performans çıktıları (satışlar, müşteri memnuniyeti vb.) ile geri dönen ürünlerin liberalizasyonu arasında pozitif bir ilişki vardır gibi 3 adet hipotez kurup, anket çalışması yaparak faktör analizi ile değerlendirilmiştir. Hall ve arkadaşları 2013 yılında yaptıkları çalışmada tersine lojistiği gelen (tüketicinin ürünü iade etmesi) ve giden (tedarikçiye ürünün iade edilmesi) olmak üzere iki fonksiyona ayırmıştır. Çeşitli sektörden 84 uzmana 3 adet açık uçlu soru yöneltilerek, hedef belirleme teorisine göre her iki fonksiyon için tersine lojistikte amaçlar; çevrim süresi, verimlilik gibi metrikler ve karşılaşılan zorlukları incelenmiştir. Gheorghe ve Radu (2014) ise büyük ve küçük ölçekli şirketlerde tersine lojistik algısını ölçebilmek adına Romanya’da elektronik sektöründe satış personelleri, mağaza yöneticileri gibi kişilerle anket çalışması yapmıştır. Çıkan sonuçlar doğrultusunda iade sebepleri ve paketleme, iade sıklıkları ve hasar çeşitleri konularında içerik analizi yapmışlardır.

Shih 2001 yılında, Tayvan’da kullanım ömrü bitmiş bilgisayar ve küçük ev aletlerinin geri toplanması için karma tam sayılı programlama kullanarak altyapı ve ters ağ akışını optimize etmeye çalışmıştır. Önerdiği modelde ulaşım maliyeti, operasyon maliyeti, yeni tesis kurma maliyeti, imha maliyeti gibi maliyetlerin azaltılması amaçlanmıştır. Cardosa ve diğ. (2013) talep belirsizliğini göz önünde tutan ve beklenen net gelirin maksimizasyonunu amaçlayan, karma tam sayılı lineer programlama uygulayarak, aynı anda hem üretim hem de tersine akışı olan tedarik zinciri planlaması ve modeli

yapmıştır, tasarlanan model Avrupa'dan bir temsilcide vaka çalışması ile test edilmiştir. Kaya ve diğ. (2014), yeniden üretim sistemini modellemek için geniş ölçekli karma tam sayılı programlama ve iki fazlı stokastik optimizasyon kullanılmıştır. İlk aşamada sistemdeki belirsizliklerden bağımsız olarak kapasiteler göz önünde tutularak uzun vadeli stratejik kararlar, ikinci aşamada ise üretim, stok ve imha oranları gibi kısa vadeli operasyonel kararlar incelenmiştir.

Kılıç ve arkadaşlarının 2015 yılında yaptıkları çalışma Türkiye'de yapılması ve modelleme çalışması olması açısından önemlidir, sektör olarak elektrikli ve elektronik aletler seçilmiştir. Detaylı incelendiğinde tersine lojistik ağ yapısının elektrikli elektronik atık kaynakları, belediyenin atık toplama noktaları, depolama alanları, geri dönüşüm tesisleri ve ikincil malzeme piyasası/nihai imha tesisleri olmak üzere beş ana bileşen içerdiği görülmektedir. Bu bileşenler arasındaki akış sırasında nakliye, elden geçirme ve depolama maliyeti WEEE yönergesinde ayrılan 4 farklı kategoriye göre değişkenlik göstermektedir ve her ürün grubunun bileşen tüketimi de kategorisine göre değişmektedir. Bu ürün kategorileri: Küçük ev aletleri, Televizyonlar (Monitör), Büyük ev aletler ve Soğutucu donduruculardır. Sınıflandırılan elektrikli elektronik atıklar minimum geri dönüşüm oranını sağlayacak şekilde uygun tesislere nakledilir, ürünlerin yeniden işlem görmesi sonucu demir alüminyum gibi kullanılabilir materyaller ikincil malzemeler olarak kullanılırken devre kartı gibi zararlı bileşenler nihai imhaya gönderilir. Kurulan matematiksel modelde akış kısıtları, ürün kategorisine göre değişen geri dönüşüm oranı, geri dönüşüm tesisi çeşidi ve bu tesislerin kapasite kısıtları, depo tesislerinin çeşitliliği ve çeşitlerine göre kapasitesi gibi kısıtlar göz önünde bulundurularak toplam maliyeti en azlayan karma tam sayılı programlama kullanılmıştır. Bu modelle geri dönüşüm tesislerinin ve depolama alanlarının çeşidi, sayısı, yeri; depolama alanlarında ve tesislerde olabilecek en uygun ürün kategorisi miktarına ve tersine lojistik sisteminin toplam maliyeti gibi ana parametreler belirlenmesi amaçlanmıştır. İlaveten iade miktarlarının oranına göre S10'dan S1'e 10 farklı senaryo kullanılmıştır, S10, hedefin %100'ünün toplanması (hedef kişi başı 4 kg), S1 ise %10'unun toplanmasına tekabül etmektedir.

Kim ve Lee 2015 yılında, tersine lojistikte iadelerin toplama merkezini açma ve nakliye sırasında oluşacak maliyetlerinin azaltılması amacıyla, ağ tasarımı, kapasite planlama ve araç rotalamanın olduğu entegre bir yaklaşım öne sürmüşlerdir. Ağ tasarımı ve kapasite planlaması problemleri, planlama döneminde statik olan

yerleşkeleri ve toplama noktalarının kapasiteleri ile değişken talep noktaları ve açılmış toplama merkezleri arasındaki alokasyonu belirleme amaçlıdır. Araç rotalama ise her toplama noktasının yalnızca bir araç tarafından ziyaret edilmesi, toplama noktası ve araçların kapasitesi gibi kısıtlarla araçların sayısını ve rotalarını belirleme amaçlıdır. Problemin karmaşık olmasından dolayı 2 çeşit Tabu arama algoritması¹⁰ kullanılmıştır ve çıkan sonuçlar karşılaştırılmıştır. Hiyerarşik algoritma yerel optimum noktası belirlerken, tümleşik algoritma daha geniş bir çözüm uzayı araştırarak global optimum nokta belirlemektedir. Yanık (2015), dönen ürün miktarları, tehlikeli maddelerin taşınmasının risk modellemesi ve riskli tesis konumu planlamasını yaparak bütünsel bir yaklaşım uygulayarak, tersine lojistik ağ tasarımı çalışması yapmıştır. Amaç maliyetleri minimize etmektir ve ürün dönüşlerinin tahmini için regresyon analizi, taşıma modellemesi için farklı bir model kullanmıştır. Risk faktörünü de ele alması ile incelenen diğer çalışmalardan fark göstermektedir. Jung ve arkadaşları (2016) kurulmuş bir tersine lojistik ağında, 3PL ile kullanılmış ürünleri tedarik ederek yeniden üretim yapan ve JIT stratejisini kullanan bir firmada NP hard problemi çözerek toplam maliyetleri minimize etmeye çalışmıştır. Ağ tasarımı konusunda bir diğer çalışma da Zeballos ve arkadaşları tarafından (2016), risksiz çok aşamalı ve çok amaçlı stokastik yaklaşım ile kapalı döngü tedarik zincirinde maliyetler, gelirler, taşıma kapasiteleri, minimum-maksimum depolama limitleri, CO₂ emisyonu gibi 10 farklı faktör ele alınarak yapılmıştır. Model 91 düğüm, 81 senaryo ile GAMS¹¹'te çözülmüştür. Dhib ve arkadaşları (2013) çalışmalarında elektrikli elektronik eşyalarda ürün dönüşlerinin belirsizliği altında en iyi tersine lojistik ağ seçimi için matematiksel model geliştirmiştir, kullanılmış ürünlerin dağılımı için Bayes ağı kullanılmıştır, Arena¹² kullanılarak farklı senaryolar için simüle edilmiştir.

Besides, Bal ve Satoğlu (2017) elektrik-elektronik atıkların geri dönüşümü operasyonlarını ve lojistiğini planlamaya yönelik bir hedef programlama modeli önermiştir. Burada, ekonomik, yasal geri dönüştürülen ürün miktarı, çevresel (emisyon miktarı) ve sosyal hedefler dört amaç fonksiyonunda göz önüne alınmıştır. Ayrıca Bal vd. (2018), Türkiye'de geri dönüştürülen elektrik-elektronik atıkların miktarına etki

¹⁰ Tabu araması, sezgisel olarak komşu sonuçlardan ilerleme kaydıyla en iyi çözümü bulmayı amaçlar.

¹¹ Gams, optimizasyon modellerini çözme amacıyla kullanılan ticari bir yazılımdır.

¹² Arena Simülasyon yazılımı yeni iş fikirleri, kurallar ya da kararların canlı hayatta uygulanmadan önce etkilerinin incelenmesine yardımcı olan bir programdır.

eden faktörleri Yapay Sinir Ağları ve ANOVA tekniklerini kullanarak incelemiştir. Ürünün kullanım ömrü, kampanya (indirim), bölgesel tüketici tercihleri dikkate alınmıştır. Kampanyalar, ürün ömrü ve bölgesel tüketici tercihlerinin etkisinin istatistiksel bakımdan anlamlı olduğu belirlenmiştir. Ayrıca kampanya döneminde geri getirilen ürün ile aynı markada yeni ürün satın alındığı görülmüştür.

Çizelge 2.3 : Literatürde çeşitli tersine lojistik uygulamasına yer veren çalışmalar.

Referanslar	Çalışma Türü	Kullanılan Yöntem
Lummus ve Vokurka (1999)	Kavramsal	
Tibben-Lembke ve Rogers (2002)	Kavramsal	
Kumar ve Putnam (2008)	Kavramsal	SWOT analizi
Lau ve Wang (2009)	Kavramsal	
Rogers ve diğ. (2012)	Kavramsal	
Antonyova ve diğ (2016)	Kavramsal	
Agrawal ve diğ. (2015)	Literatür	
Prakash ve diğ. (2015)	Literatür	Bulanık Analitik Hiyerarşi Yöntemi (FAHP)
Xiaofeng ve Tijun (2009)	Tahmin	Dalga Fonksiyonu
Chen ve He (2010)	Tahmin	Zaman Serileri
Potdar ve Rogers (2010)	Tahmin	Ekstremum noktası & Merkezi eğilim
Krapp ve diğ. (2013)	Tahmin	Bayes istatistiği
Temur ve diğ. (2014)	Tahmin	Boyut Çokluğu Analizi
Agrawal ve diğ. (2014)	Tahmin	GERT
Zhou ve diğ. (2016)	Tahmin	GERT
Krumwiede ve Sheu (2002)	Anket	Karar verme modeli
Autry (2005)	Anket	Faktör analizi
Hall ve diğ. (2013)	Anket	Vaka çalışması ve içerik analizi metodu
Gheorghe ve Radu (2014)	Anket	İçerik analizi
Shih (2001)	Ağ Tasarımı	Karma tam sayılı programlama
Cardosa ve diğ. (2013)	Ağ Tasarımı	Karma tam sayılı programlama

Çizelge 2. 3 (devam): Literatürde çeşitli tersine lojistik uygulamasına yer veren çalışmalar.

Kaya ve diğ. (2014)	Ağ Tasarımı	Karma tam sayılı programlama 2 aşamalı stokastik yaklaşım
Kılıç ve diğ. (2015)	Ağ Tasarımı	Karma tam sayılı programlama
Kim ve Lee (2015)	Ağ Tasarımı, Kapasite Planlama, Araç Rotalama	Tabu araştırması algoritması
Yanık (2015)	Ağ Tasarımı	Regresyon analizi, Karma tam sayılı programlama
Jung ve diğ. (2016)	Ağ Tasarımı	İki aşamalı tedarik planlama problemi
Zeballos ve diğ. (2016)	Ağ Tasarımı	Çok aşamalı stokastik yaklaşım
Bal ve Satoğlu (2017)	Operasyonel planlama, kapasite planlama,	Hedef Programlama
Dhib ve diğ. (2013)	Ağ Tasarımı & Simülasyon	Bayes

3.2 Ağaç Bazlı Panel Endüstrisinde Tersine Lojistik Konusunda Literatür Çalışması

Dünyanın yaklaşık %30'luk alanı olan 4,03 milyar hektar alan ormanlarla kaplıdır ve orman endüstrisi birçok ülkede önemli bir sektörken, dünya nüfusunun %18'lik bir kısmının gelirin önemli bir katkı sağlamaktadır. Almanya, Avrupa'daki en çok ağaçlı ülkeden birisidir ve yıllık yaklaşık 170 milyar Euro ciro ile 50 milyon m³'ten fazla ağaç tomruğu üretimi ve tedariki yapılmaktadır. (Taskhiri ve diğ., 2012'de atıfta bulunduğu gibi). İspanya'da ise 2009 yılında ekonomik değeri yaklaşık 370 milyon Euro olan 1.563.231 m³ yonga levha üretimi yapılmıştır (Saravia-Cortez ve diğ., 2013'de atıfta bulunduğu gibi). ABD'de 2005 yılında 7.618.167 m³ yonga levha üretimi yapılmıştır (Wilson, 2010'da atıfta bulunduğu gibi). Ağaç esaslı levhalar, masif ağaç kullanımına alternatif oluşturarak gittikçe artan bir önem taşırken diğer yandan doğal kaynaklara olduğu gibi enerji ve ikincil malzeme talebinde artışı beraberinde getirmektedir.

Yakın geçmişte masrafsız malzemelerin erişilebilirliği ve ileri teknolojinin kullanımı ile toplumlar kitlesel tüketim neden olmuştur, bu tüketim sonraki nesilleri etkileyecek atık üretimini ve atık imha konularını beraberinde getirmiştir. 1970'li yılların başına

kadar sürdürülebilirlik ve çevresel etkiler o dönemlerde endişe konusu teşkil etmezken takip eden on yıl içinde meydana gelen doğal afetler, akademisyen, politikacı, medya ve toplumun dikkatini çevre konularına çekmiştir. Tüketici bilinci ve çevre mevzuatları çevreye dost ürünlerin üretimine teşvik ederken, lojistik faaliyetlerinin de hem ileri hem de tersine olarak düzenlenmesini gerektirmektedir (Burnard ve diğ., 2015).

Bu çalışma kapsamında da orman ürünleri endüstrisi ve tersine lojistik konusunda incelenen makaleler Çizelge 2.4'te yer almaktadır. Makaleler bir önceki bölümde olduğu gibi kavramsal çalışma, gerçek uygulama, optimizasyon çalışması, teknik yöntem, kurulan model açılarından ele alınmıştır.

Taskhiri ve diğ. 2016 yılında, enerji sektöründen ahşap palet, malzeme üretiminden yonga levha gibi geri kazanılmış ahşabı ardışık biçimde kullanan (cascade utilisation¹³) çeşitli sektörlerden farklı ağaç ürünlerinin lojistik ağını karma tam sayılı programlama ile modellemeye çalışmış ve Aşağı Saksonya eyaletinde uygulamasını yapmıştır. Amaç lojistik ağındaki toplam sabit maliyetlerin minimize edilmesidir ve sonrasında Umberto ile (sürdürülebilir mühendislik, hayat boyu değerlendirme yazılımı) optimum lojistik ağının çevreye oluşturacağı potansiyel etkilerin incelemesi de yapılmıştır. Çıkan sonuçlarda ardışık kullanım ile taze odun kullanımı kıyaslandığında lojistik maliyetleri açısından fazla bir fark olmadığı, ancak CO₂ emisyonu açısından oldukça azalma sağladığı görülmektedir.

Entezaminia ve arkadaşları 2017 yılında yeşil tedarik zinciri yaklaşımıyla çok bölgeli, çok ürünlü, çok dönemli ve belirsizlik altında potansiyel toplama, geri dönüştürme merkezlerini göz önünde bulundurarak bütünleşik üretim planlama problemini çözmek amacıyla robust (sağlam) optimizasyon¹⁴ yöntemini kullanmıştır. Yapılan bu çalışmada toplam maliyetlerin minimize edilmesi amaçlanırken, talep değişimleri, maliyet parametreleri belirsiz olarak ele alınmış ve atık yönetimi, taşıma modellerine bağlı sera gazı emilimi gibi bazı yeşil yaklaşımlar modele dâhil edilmiştir. Sunulan modelin uygulanabilirliğinin testi için İran'da bulunan Odun ve Kağıt endüstrisinden bir şirkette vaka çalışması yapılmıştır.

¹³ Cascade utilisation: Önceden çeşitli nesnelerin üretiminde kullanılmış kaynakların kalitesinin sıralı bir biçimde kullanımını ile kaynaktan elde edilen faydayı optimize eden bir metottur.

¹⁴ Robust optimizasyon: Belirsizliği ele alma yöntemlerindedir, doğabilecek her türlü senaryodaki belirsizlik parametrelerinin değişim etkisini azaltmayı sağlamaktadır.

Orman endüstrisinden yonga levha üretimi ile ilgili çevresel çalışmalar da bulunmaktadır. Yaşam döngüsü değerlendirmesi (LCA), beşikten mezara (cradle-to-grave) emisyon, kaynak kullanımı, ürünün süreçlerde ya da yaşam evreleri boyunca sağlığa ve çevreye etkilerinin ölçülmesini sağlayan bütünsel, yapılaşdırılmış ve uluslararası standartlaştırılmış bir araçtır, Wilson'un 2010 yılında kaynak kullanımı, emisyon, enerji ve karbon açısından yonga levhanın yaşam döngüsünü değerlendirmesi; Portekiz'de üretilen yonga levhaların çeşitli protokollere göre Garcia ve Freire'nin 2014 yılında, Hussain ve arkadaşlarının ise 2017 yılında Pakistan'da üretilen yonga levhanın karbon ayak izi ölçümü çalışmaları mevcuttur. Bu çalışmalarda geçen yaşam evrelerinden beşik (cradle): kaynağın kullanım aşamasını, kapı (gate): ürünlerin üretimini, mezar (grave) ise kullanım, kazanım, geri dönüşüm ve imha aşamasını kast etmektedir. Saravia-Cortez ve arkadaşlarının (2013) yaptığı çalışma ise İspanya'da üretilen yonga levhaların, geri kazanılan ağaç ürünleri atıklarının yonga levha üretiminde kullanım oranının (%0 - %100 arasında) çevresel sürdürülebilirliğe etkisi incelenmektedir.

Çizelge 2.4 : Literatürde çeşitli tersine lojistik uygulamasına yer veren çalışmalar.

Referanslar	Çalışma Türü	Kullanılan Yöntem
Taskhiri ve diğ. (2016)	Ağ Tasarımı	Karma tam sayılı programlama
Entezaminia ve diğ. (2017)	Robust Bütünleşik Üretim Planlama	Robust optimizasyon
Wilson (2010)	Yaşam döngüsü değerlendirmesi	Kapıdan kapıya (gate-to-gate), Beşikten kapıya (cradle-to-gate)
Garcia ve Freire (2014)	Karbon ayak izi ölçümü	Beşikten kapıya, Beşikten mezara (cradle-to-grave)
Hussain ve diğ. (2017)	Karbon ayak izi ölçümü	Beşikten kapıya (cradle-to-gate)
Saravia-Cortez ve diğ. (2013)	Çevresel sürdürülebilirlik	Ekolojik ayak izi metodolojisi

3.2.1 Karbon ayak izi

Ayak izi insanoğlunun doğadan tahsis ettiği kaynağın sayısal bir ölçümdür, ayak izi ailesini oluşturan, günümüze kadar geliştirilmiş çeşitli ayak izi kategorileri: karbon, ekolojik, su ayak izidir. Karbon ayak izi, şirket, organizasyon, süreç, ürün ya da kişilerin, doğrudan ya da dolaylı olarak sebep olduğu sera gazı salımının toplamıdır,

genellikle kilogram ya da ton cinsinden karbondioksit (CO₂) ve muadilleri (CO₂e: metan, azot oksit, florlu gazlar) ölçülür, ilk defa 2003 yılında bilimsel literatürde N.M. Hogevoold tarafından tanımlanmıştır (Hussain ve diğ. 2017’de atıfta bulunduğu gibi). Türkiye’de sera gazı salımları içinde en büyük payı CO₂ oluşturmaktadır (Tatar 2012’de atıfta bulunduğu gibi). Karbon ayak izini ölçmek için çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bunlardan üçü aşağıdaki gibidir:

- i) ISO/TS 14067: mevcut ISO standartlarına göre karbon ayak izini ölçmek için belirli gereksinim ve yönerge sağlamaktadır.
- ii) Sera Gazı Protokolü Ürün Standardı: Dünya Kaynakları Enstitüsü ve Dünya Sürdürülebilir Kalkınma İş Konseyi tarafından hazırlanmıştır ve karbon ayak izi ölçümü için gerekli yönergeleri sağlamaktadır.
- iii) PAS 2050: Halka açık şartnameler 2050, ürün ve hizmetlerin sera gazı salımını ölçmek için mevcuttaki ISO 14040 ve 14044 standartları üzerine kurulmuştur (Garcia ve Freire, 2014).

Almanya’da ahşap pellet¹⁵ ısıtma sistemlerinde 1 ton CO₂ emisyonunun önüne geçme maliyeti 8 Euro’dur (Bretzke ve Barkawi 2013)

¹⁵ Ahşap pellet: çeşitli odun, odun atığı, orman ürünlerin artıklarından oluşan küçük parçacıklardır, sıkıştırılarak enerji elde etmede kullanılır.



4. DÜNYADA AĞAÇ ÜRÜNLERİ GERİ DÖNÜŞÜMÜ UYGULAMALARI

Ülkemizin yaklaşık %27'sini oluşturan 21.389 milyon hektar alan ormandan oluşmaktadır, bu alanın da yarısı verimli orman niteliğindedir (ÇŞB, 2016'da atıfta bulunulduğu gibi). Ormanlarda küresel ortalama, kilometre kare başına yaklaşık 13.000 ton karbon depolanmaktadır (Bretzke ve Barkawi, 2013). Toplamda 1,162 milyon hektar ormandan, yuvarlak odun ve endüstriyel odunu içererek yıllık, %72'si yumuşak odun, %28'i sert odundan oluşan yaklaşık 4,5 milyon m³ tomruk sağlanmaktadır (Burnard ve diğ., 2015). Türkiye'de orman endüstrisini besleyerek, endüstriyel odun üretimi ile ham madde tedarikini sağlayan 8 milyon m³'lük devlet işletmesi, 3,3 milyon m³'lük özel orman bulunmaktadır (ÇŞB,2016).

Ağaç; doğal, yenilenebilir, yeniden kullanılabilir, geri dönüştürülebilir, sürdürülebilir bir şekilde yönetilen ormanlardan elde edildiği takdirde, çevreye ve iklime verilen zararların minimize edilmesinde, önemli rol oynayabilecek bir ham maddedir. Orman biyokütlesi, en büyük yenilenebilir enerji kaynağıdır ve AB'nin toplam yenilenebilir enerji tüketiminin neredeyse yarısını sağlamaktadır (Burnard ve diğ., 2015).

Ağaç ürünleri ile odun dışı ürünler kıyaslandığında, yenilenebilir kaynak kullanılıyor olması ve karbon depolaması ile birçok çevresel fayda sağlamaktadır, ilaveten üretimleri sırasında odun artığı kullanılmaktadır (Hussain ve diğ. 2017'de atıfta bulunduğu gibi). Ağaç ürünleri endüstrisinde, odun yongası, kesme ünitelerinde oluşan odun tozları (talaş), tipik odun artığı yan ürünler arasında gösterilebilir. Odun, özellikle yaşayan ağaçlar, odun kökenli yakıtlar ve ürünler, bünyesinde biyojenik (üreyen) karbon barındırdığından karbon nötr sayılır; fakat karbon nötr durumu sera gazı nötrlüğü anlamına gelmemekle birlikte, odun işleme, üretim süreçlerinde enerji tüketimi yapıldığından karbon ayak izine katkıda bulunmaktadır (Hussain ve diğ. 2017'de atıfta bulunduğu gibi).

Ağaçlar aktif büyüme dönemindeyken solunumla atmosfere verdiklerinden daha fazla CO₂'yi fotosentezle bağlarlar, böylece atmosferdeki CO₂ miktarını azaltırlar. Ağaçların yıllık karbon dioksit depolama miktarı, büyüme hızlarına, yaşlarına ve

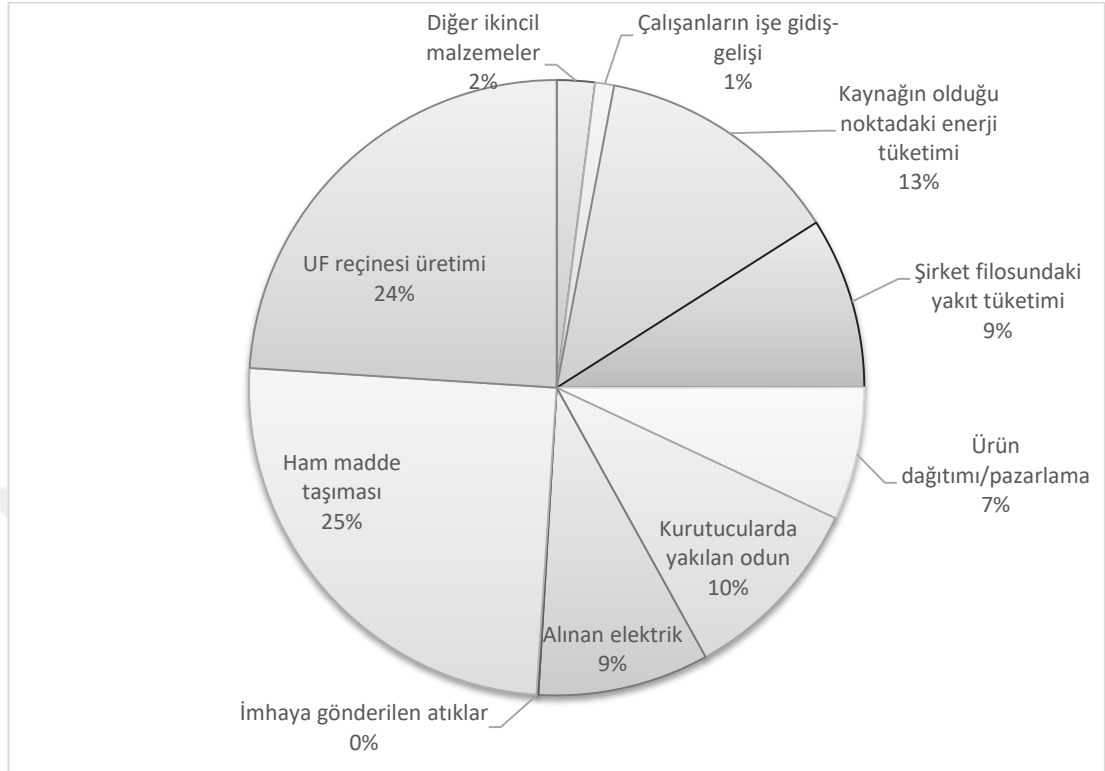
ömürlerine bağlıdır (Görcelioğlu, 1999). Örneğin kavak ağacı 30 yılda yaklaşık 2.460 kg CO₂ bağladığı hesaplanmıştır (Görcelioğlu 1999'da atıfta bulunduğu gibi).

Ülkemizde orman ürünlerinin 1870 yılında sanayi yapılanmasına dâhil edilmesinden sonra 1982 yılında ilk kereste fabrikası kurulmuştur. 2007 yılında yapılan çalışmaya göre ise toplam 29.053 iş yeri ağaç ürünleri sektöründe faaliyet göstermektedir, ilaveten mobilya imalatı alanında en çok işyeri sırası ile İstanbul, Ankara, İzmir ve Bursa'da bulunmaktadır (ÇŞB,2016).

Ağaç panel ürünleri, masif ağaca alternatif oluşturması sebebiyle önem ve talebini arttırmaktadır. Ev ve ofis mobilya üretimi, banyo, mutfak dolapları, yapı sektörü, kapı parçaları, paketleme gibi endüstriyel birçok uygulaması olan ahşap bazlı panel sektörü, 3 ana grupta toplanabilecek çeşitli panel ürünlerini içermektedir, bunlar: lif levha, yonga levha (YL), kontrplak/kaplı levhadır. Lif levha ve yonga levha farklı özellik ve kullanımlarına göre OSB, MDF gibi alt gruplara ayrılmaktadır. Lif levha ve yonga levha odun veya odunlaşmış bitkilerin yongaları ile üretilen yeniden yapılanmış panellerdir (Saravia-Cortez ve diğ. 2013'te atıfta bulunduğu gibi).

Kullanım ömrü 10 ile 80 yıl arasında değişen yonga levha, muhteviyatında karbon barındırmaktadır, karbonun atmosferden alınıp ağaç ya da ağaç ürünlerinin içinde depolanması küresel ısınmayı ötelemektedir (Hussain ve diğ. 2017'de atıfta bulunduğu gibi). Yonga levha üretimine çeşitli ağaçlardan oluşan ham maddelerin fiziksel olarak ufaltılarak yonga haline getirilmesi ile başlanır. Oluşan cipsler (chips) kurutulup, değirmenlerden geçirilerek homojenize edilir. Eleme ünitesinde ayrıştırılan yongalar, karıştırma ünitesinde tutkal, su ve parafin, UF reçine gibi çeşitli kimyasallar ile karıştırılır. Oluşan karışım tek ya da çok katlı pres ünitesinde panel haline getirilmek üzere serilip sıcak presle sıkıştırılır, presleme ile oluşan levha soğutulup ebatlanır (ÇŞB, 2016). Bu noktada, üretilen levha bitmiş mamul olarak satılabilir ya da üzeri kaplanarak kaplı levha haline de getirilebilir. Ham madde olarak (tesisin konumuna göre değişkenlik gösterebilmektedir.) belirli oranlarda yumuşak ve sert odun olmak üzere çam, kavak, çeşitli süreçlerde oluşan atıklar kullanılmaktadır. Hussain ve arkadaşlarının 2017 yılında Pakistanda yaptığı çalışmada 2015-2016 yıllarında üretilen yonga levhaların tüm üretim süreçlerinde sera gazı emilimine ilişkin bulunan sonuçlar Şekil 4.1'de verilmiştir. Burada ikincil malzemeler parafin, amonyum nitrat, amonyum bikarbonat gibi çeşitli kimyasallardır. Süreçlerde sıcak presler ve

kurutucular yüksek miktarda enerji tüketimi gerektirmektedir, bu sebeple bu tesislerde enerji santralleri, elektrik üretimi bulunabilmektedir.



Şekil 4.1 : Yonga levhada üretim süreçlerinin sera gazı emisyonu dağılımı (m³) (Hussain ve diğ., 2017).

UNECA/FAO (2005)'e göre küresel bazda ağaç panel üretiminde 2000'den 2020 yılına kadar yıllık %2.7 büyüme beklenmektedir, bu durum doğal kaynaklara olduğu gibi enerjiye ve ikincil malzemelere artan bir talep meydana getirecektir. Kaynak kullanımını (özellikle tomruk) azaltma ihtiyacı, yonga levha üretiminde alternatif kaynak bulma arayışına sevk etmektedir, bu doğrultuda geri kazanılmış malzemeler, odun atıklarının kullanımı orman kaynaklarının idareli kullanımını sağlayacaktır.

Yonga levha odun yongalarından yapılması sebebiyle geri dönüşümü mümkündür, MDF, odunun liflendirilmesi ile üretilmektedir, geri dönüşümü konusunda çalışmaların bulunması ile birlikte uygulamada yer almamaktadır.

4.1 Ağacın Ardışık Kullanımı

Kaynakların verimli kullanılması konsepti olan ardışık kullanım, belirli bir kaynağın çeşitli amaçlar ile art arda kullanılmasıdır. Hipotetik olarak ağacın ardışık kullanımı aşağıdaki gibi olabilir:

1. Büyük yapılardan iri cisim ya da işlenmiş/tasarlanmış kerestelerin toplama, yeniden üretim, yeniden kullanımı
2. Kazanılmış kerestenin yapısal değeri kalmadığında zemin kaplamada, kaba mobilya, pencere çerçevesi, yapımında kullanılması
3. OSB, YL bileşeni olarak kullanılmak üzere yongalanması ya da ufak parçalar haline getirilmesi
4. Son olarak enerji elde etmek için yakılması (Burnard ve diğ., 2015).

Almanya'nın güneydoğusunda yapılan bir çalışmada bina yıkımlarından elde edilen ağaç ürünlerinin %45'inin yonga ya da lif levha üretiminde kullanma potansiyeli olduğu görülmüştür.

Ahşap, işlenmemiş liften daha kuru olması sebebiyle kurutma ve diğer süreçlerde daha az enerji gerektirir ve dolayısıyla CO₂'yi azaltır. Kullanılan ağaç ürünlerinin yakılması ya da atık imha alanlarına gönderilmesinden geri dönüştürülmesi hammadde kullanımından daha çok fayda sağlar, daha az işlenmemiş lif kullanımı anlamına gelir ve CO₂ bağlamaktadır böylece çevreye fayda sağlanmaktadır. Diğer yandan ahşabın yakılması ile CO₂ salınır, yonga levha üretimi ile kullanım ömrü boyunca ürün karbonu bünyesinde saklar ve ahşaba değer katar. 1961 yılında Avusturya'da kurulan ağaç bazlı panel endüstrisi sektöründe faaliyet gösteren ve üretim kapasitesi yaklaşık 7,9 milyon olan EGGER'in kendi bünyesinde yaptığı çalışmada çıkan sonuçlara göre, ağacın işlenmesiyle oluşan ürünlerinde yıllık 5,1 milyon ton CO₂ depolanmaktadır, geri kazanılmış ahşap kullanımı ile de yıllık 1.56 milyon ton CO₂'in önüne geçilmektedir. (Url-3).

Ağaç malzemelerin akışında ardışık kullanımın en iyi seçenek olarak belirlenmesine rağmen istenmeyen potansiyel olumsuzluklardan, insan ve çevre sağlığına etkilerden kaçınmak amacıyla birçok durum ve kısıtın göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bu sebeple, birinci servis ömürlerinin sonuna gelen ürünlerden ve çeşitli ağaç işleme süreçlerinden elde edilen malzemeler sınıflandırılmalı ve ayıklanmalıdır. Avrupa Komisyonu tarafından tanımlanan (Komisyon Kararı 2000/532/EC) tüm atıkların içerildiği kapsamlı bir tablodan seçilmiş tablo odun, ağaç ürünlerinden kaynaklanan atıkların nasıl sınıflandırıldığını göstermektedir (Burnard ve diğ., 2015). (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü'nün yayınlattığı sektörel atık kılavuzunda Türkçeleştirilen evrensel atık kodları ile birlikte

tehlikeli ve tehlikesiz atıklarla ilgili detaylı bilgi bulunmaktadır.) Tehlikesiz atıklar ve belirli bir limite göre bor, arsenik, flor, bakır, cıva ve klor bulunduran atıklar yonga levha üretiminde geri kullanılabilir. Literatürde MDF üretiminde de geri kazanılmış malzemelerin kullanılması çalışmaları bulunmaktadır; ancak henüz fiiliyatta uygulanmamaktadır.

4.2 AB Projesi HORIZON 2020 ve ECOBULK

2013 yılında Avrupa Birliği Komisyonu'nun kabul ettiği yeni strateji ve Yenilenebilir Enerji Yönergesi ile ardışık kullanım stratejisine öncelik verilerek odun ham maddesinin belirli miktarlarda kullanımı, orman endüstrisine bazı şartları zorlayıcı hale getirmiştir (Taskhiri ve diğ., 2016). AB komisyonunun benimsediği döngüsel ekonomi (circular economy), Avrupa ülkeleri için sıfır atık anlamına gelen bir programdır. Bu doğrultuda geri dönüşüme teşvik yapılırken, değerli materyallerin kaybına engel olunmaktadır; farklı iş kolları oluşturulmakta ve ekonomik büyüme sağlanmaktadır; çevreye duyarlı tasarım, endüstriyel ortak yaşam, gibi yeni iş modellerinin nasıl sıfır atık sağladığını, sera gazı emilimini ve çevresel zararları azalttığını göstermektedir. (Burnard ve diğ., 2015). Yaşam döngüsü değerlendirmesi, beşikten beşiğe gibi kavramlar sürdürülebilir ekonomi için anahtar araçlar haline gelmektedir. Bu doğrultuda oluşturulan HORIZON 2020, atıkların kaynak olarak kullanımına, geri dönüşüm ve tekrar kullanım konularına, rekabetçi düşük karbon enerjisine dikkat çeken, ekolojik yeniliklere teşvik eden bir AB programıdır (European Commission, 2016).

ECOBULK, otomotiv, inşaat, mobilya sektörlerinden çeşitli ürün ve bu ürünlerde kullanılan parça ve malzemelerin daha çok yeniden kullanımı, yenilenmesi, geri kazanımını ve mümkün mertebe en az miktarda atık imhasını teşvik ederek bu ürünler için kapalı döngü oluşturulmasına katkı sağlayan bir projedir. Bu proje kapsamında süreçler, kullanılan teknoloji, malzemeler ve ürünler incelenip geliştirilerek ekonomik ve çevresel anlamda fayda sağlamak amaçlanmaktadır.

Türkiye'de incelenecek olan üretici firma, İtalya'da %100 geri kazanılmış odun kullanan bir tesisi satın almıştır ve HORIZON 2020 tarafından desteklenen Ecobulk projesinden hibe alma hakkı kazanmıştır.

4.3 İtalya'daki Süreç Örneği

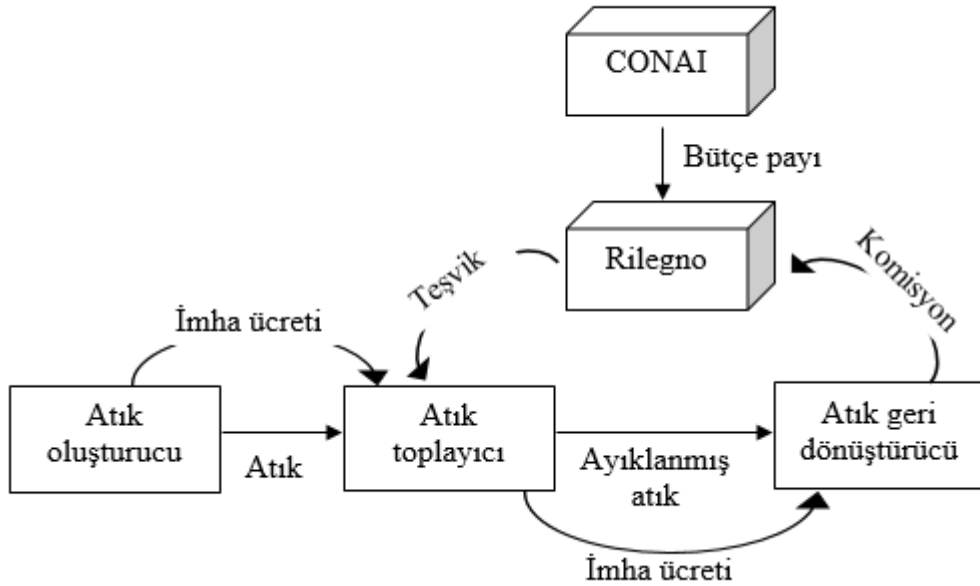
İtalya'da ambalaj atık yönetimi 5 Şubat 1997 tarihinde AB konseyinin yayınladığı ambalaj ve ambalaj atıkları konulu (EU 62/94), 22 numaralı kararname ile radikal bir şekilde değişime girerek tüm ambalaj atıkları için geri dönüşüm hedefleri ve geri kazanım yöntemleri belirlenmiştir. Atıklarla muamelede ilk yol tekrar kullanım, tekrar kullanım sağlanamayacaksa mekanik olarak dönüştürme, en son ihtimal olarak yakma seçeneği bulunmaktadır. Bu doğrultuda hedeflerin sağlanması, takibi gibi konular için CONAI adında özel, kar amacı gütmeyen, zorunlu bir konsorsiyum oluşturulmuştur. CONAI, İtalya'da alüminyum, kâğıt, odun, plastik gibi farklı kategorilerden ambalaj atığının geri dönüştürülmesinde kamu ile şirketler arasında gerekli olan bağlantıyı sağlamaktadır. Rilegno ise CONAI bünyesinde odun atıkları ile ilgilenen oluşumdur (Buclet ve Godard, 2000).

Rilegno, ahşap ambalajın toplanması, geri kazanımı, dönüştürülmesi ile ilgilenen 2,300'den fazla üye firması bulunan konsorsiyumdur (Url-5), orman endüstrisinde tüm tersine lojistik sisteminin çalışmasını gözetirken kar amacı gütmemektedir. Bünyesinde bulundurduğu firmalar ile ağaç ürünleri atıklarının toplayıcısı konumundadır, böylece odunun yakılmadan tekrar kullanımına zemin hazırlayarak lineer ekonomi yerine dögüsel ekonomi sağlanmaktadır (Şekil 4.2). Ağaçtan çeşitli yöntemlerle elde edilen odun, bitmiş mamule dönüşür, bitmiş mamul kullanım ömründen sonra toplanarak geri kazanılır, böylece ham madde atıklardan sağlanmış olur.



Şekil 4.2 : Atık odun geri kazanımında dairesel ekonomi (Şen, 2017).

Mobilyacılar, hane halkı gibi odun atığı oluşturucular, atık toplayıcılara imha ücreti vererek atıklarını verir, Rilegno bünyesindeki atık toplayıcılar, gelen atıkları sınıflandırıp gerekli arıtmayı yaptıktan sonra yine Rilegno'ya kayıtlı olan atık dönüştürücülere yani yonga levha üreticilerine verir (Şekil 4.3). Böylece yonga levha üreten firmalar ham madde tedarikini çevresel hizmet satın alarak karşılamaktadır. Bu ücreti de Rilegno'ya üye olmak için verdiği harç ve ton başına verdiği komisyon ile ödemektedir. Rilegno kendini üye firmalarının verdiği harçlar, toplanması ve kazanılması sağlanan her ton atık odundan elde edilen gelir ve geri dönüşüm faaliyetlerinden sağlanan gelir ile finanse etmektedir, yerel toplama ve taşıma masrafları başlıca işletme maliyetlerini oluşturmaktadır. İlaveten Orta ve Güney İtalya'dan toplanıp Kuzey İtalya'ya (Şekil 3) taşınan atıkların tüm lojistik masrafı Rilegno tarafından karşılanırken, atık toplayıcılar toplanan atıkların derişimine göre ton başına 10 Euro teşvik almaktadır (Şen, 2017).



Şekil 4.3 : İtalya'da atık odun geri kazanım süreç akışı (Şen, 2017).

Şekil 4.4'te yer alan İtalya haritasından görülebileceği gibi İtalya'nın kuzeyinde bulunan Lombardia bölgesinde yer alan Frati grup, Saviola grup, Emilia-Romagna bölgesinde yer alan Trombini grup olmak üzere 3 büyük üretici firma bulunmaktadır ve %100 geri kazanılmış odun kullanılmaktadır (Metin, 2017). Her tesisin toplama, geri dönüştürme, depolama lisanslarının olması ve Rilegno üyeliği gerekmektedir. Toplama merkezleri ile karşılıklı sözleşme imzalanarak atık odun tedariki sağlanmaktadır. Bu işlem için Rilegno'ya komisyon ödenmektedir. Tüm İtalya'da

toplama noktası ve yerleşke sayısı yaklaşık 400 adetken bir toplama merkezi bir firma ile çalışabilmektedir (Şen, 2017).



Şekil 4.4 : İtalya bölgeler haritası (Url-19).

2015 yılında İtalya pazarında açığa çıkan ahşap palet, bobin, şişe mantarı, kasa, sandık gibi paketlemede kullanılan ürün yaklaşık 2,7 milyon tondur. 600.000 tonu ambalaj atığı olmak üzere 1,5 milyon ton ahşap ürün atığı toplanmıştır ve bu rakamın %97'sine yakın kısmı yonga levha üretiminde kullanılarak geri kazanılmıştır. 2015 yılında orman ürünleri endüstrisinde geri dönüşüm hedefleri toplam üretimin Avrupa'da %15, İtalya'da %35'idir (İtalya'da %61 sağlanmıştır). Bu oranların İtalya'da 2025 yılında %60, 2030 yılında %75 olması hedeflenmektedir (Url-4).

İtalya'da atık toplayıcılardan gelen palet, mantar, mobilya gibi ağaç ürünleri atıkları ile %100 geri dönüştürülmüş hammadde kullanarak yonga levha üretimi yapan bir tesiste atıklardan hammadde sağlanması aşamaları aşağıdaki gibidir:

Temel süreçler:

1. Muayene – ayıklama – dilme: Bu aşamada gelen malzemeler sınıflandırılmaktadır. Talaş, odun yongası direkt eleklerle gönderilir. Mekanik süreçlerin kalıntıları kesici bıçaklara gönderilir, geri kazanılmış odun ve yonga levha ise yıkanır, çökertme ile sedimantasyonu yapılır, metal bulunuyorsa metallere ayıklanır. Arta kalan malzemeler yakıt olarak kullanılır.
2. Derin temizleme – arıtma: Bu aşamada eleklerden gelen ağır ve hafif malzemeler belirlenir, odun olmayan malzemeler ayrılır, çekiçli öğütücüler ile inceltirilerek elde edilen karışım silolara gönderilir.
3. Kurutma – inceleme: Yıkanan geri kazanılmış malzemeler kurutularak elektro filtrelerden geçirilir, büyüklüklerine göre silolara gönderilir.

Yardımcı süreçler:

1. Su ile temizleme
2. Yakıt hazırlığı: fabrikadaki proseslerde verimliliğin düşmemesi için kazan sıcaklığının belirlenen sınırın altına düşmemesi gerekmektedir, bu sebeple temel süreçlerden kazanılan malzemeler yakıt hazırlığında kullanılmaktadır.

İtalya'daki bu tesiste toplam 14 iş makinası operatörü, 1 stok sahası yönetiminden sorumlu personel, ayıklama hatlarında 6 operatör çalışmaktadır, çalışan sayısında mevsimsel olarak dalgalanma bulunmamaktadır ve yılda 330.000 ton geri dönüştürülmektedir. M³ başına yonga levha üretim maliyeti yaklaşık 100 Euro'dur ve ton başına sermeye hazır hale getirilen odun yukarıda bahsedilen aşamalarla 20 Euro'ya mal olmaktadır (Şen, 2017).

Dilme, yongalama, temizleme ve silolara taşıma süreçlerinde kullanılan günlük toplam enerji Çizelgede 4.1'de verilmiştir. Buna göre ton başına geri dönüştürülmüş odunun sermeye hazır hale getirilmesi yaklaşık 28 kilovat saattir.

Çizelge 4.1 : Geri dönüşüm süreçlerinde kullanılan enerji.

Bölge	Günlük Çalışma Süresi (saat)	Günlük Toplam Enerji (kwh/ton)
Kırıncı Grup	14-16	17
Beton Siloya Taşıma	16	1,4
Temizleme	16	9,2

4.4 Türkiye’de Mevcut Durum

Türkiye’de ham madde olarak kullanılan odun, yonga-cipsin %30-35’i ithal edilirken, %65-70’i Orman Genel Müdürlüğü aracılığı ile ülkemizdeki ormanlardan (ORSİAD,2013) ve çeşitli boyutlara getirilen ağaç kabuklarından elde edilmektedir. Eleme, kurutma gibi aşamalardan geçen odun yongasının serme maliyeti ton başına İtalya’da 20 Euro iken Türkiye’de yaklaşık 60 Euro’ya denk gelmektedir (75 Dolar, 1 Euro= 4,89 TL; 1 Dolar=3,95 TL). Türkiye’de Avrupa fiyatlarının iki katı gibi bir seviyede olan odun hammaddesi dünya ortalamasının üzerindedir ve %30-35 oranında ithalata bağımlıdır (İstek ve diğ.,2017). İthal edilen ve yerli kaynaklar kullanılarak elde edilen odunların yongalama, kaba depolama, ince yonga yapılması ve tasnif aşamalarında da ton başına ortalama 26 kilovat saat enerji tüketilmektedir. Sanayi için 1 kilovat saat elektrik fiyatı 0,3940 TL’dir, İtalya’da ise ortalama 14 centtir.

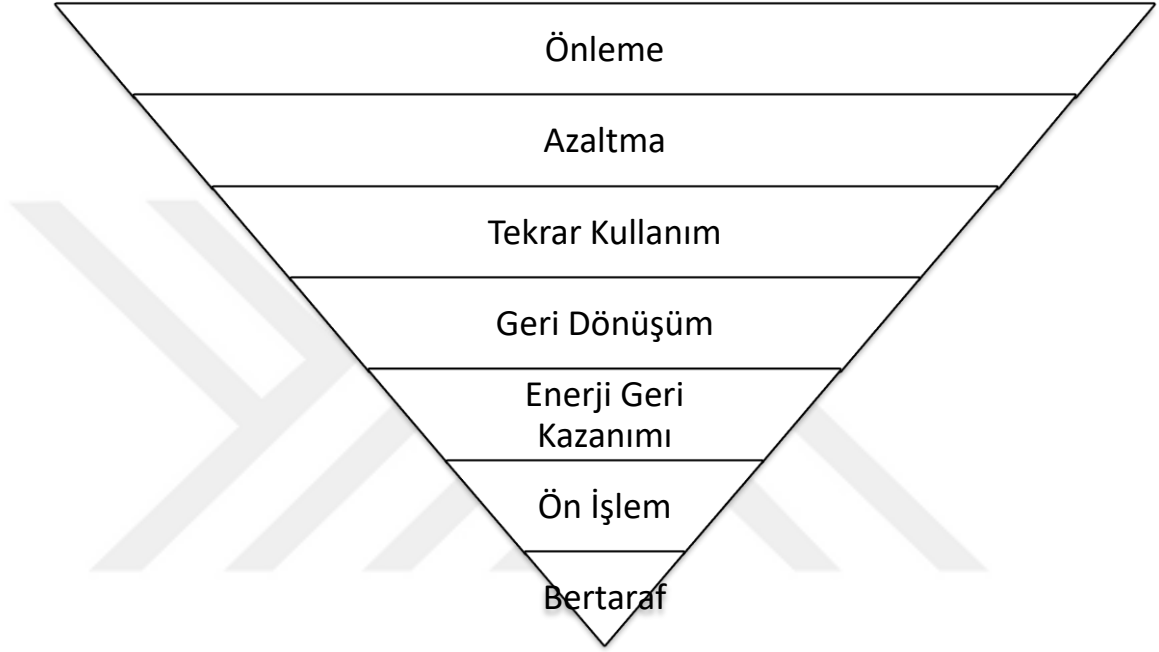
Dünya’da ortalama %1’lik bir büyüme ile 2009-2013 yılları arasında yonga levha üretimi Çizelgede 4.2’deki gibidir:

Çizelge 4.2 : Dünya’da yonga levha üretimi (FAO, 2018).

Üretim (m3/yıl)	2009	2010	2011	2012	2013
Yonga levha	94.410.000	95.771.000	97.928.000	97.062.000	99.281.000

Atık elektrikli ve elektronik eşyaların kontrolü yönetmeliğinde bulunan toplama, geri dönüşüm ve geri kazanım hedefleri gibi hedefler orman ürünleri endüstrisinde bulunmamaktadır. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğünün yayınlattığı sektörel atık kılavuzlarının ağaç, ağaç ürünleri ve mobilya imalatı bölümünde oluşan atıklar için tavsiye edilen atık hiyerarşisi Şekil 4.5’te yer almaktadır. Atık hiyerarşisi ile atık oluşumunun önlenmesi, önlenemiyorsa en aza indirgenmesi, her ikisinin yapılamadığı durumda ortaya çıkan atıkların yeniden

kullanılması ya da geri dönüştürülmesi, yeniden kullanımın/geri dönüşümün olamayacağı durumlarda yakma fırınlarında ya da ön işlem tesislerinde yakılarak atık hacminin düşürülmesi ve kalan atıkların nihai bertarafa gönderilmesi adımlarının izlenmesi gerekmektedir. İlâveten filtre kullanımı, oluşan bazı parçaların yakılması gibi önerilen tekniklerle üretilen atık miktarı düşürülerek oluşacak atık bertaraf masraflarının azaltılması hedeflenmektedir ve oluşan atıkların atık kodları ile birlikte geri kazanıma ne derece/ne şekilde uygun olduğu, bertaraf yolları belirtilmiştir.



Şekil 4.5 : Atık hiyerarşisi (European Commission, 2016).

1 ton biokütlenin yakılması ile ortalama 1,5 ton CO₂ salımı gerçekleşmektedir. İlâveten biokütle kalıntılarının imhası için gömme, farklı amaçlarda tekrar değerlendirme gibi metotlar bulunmaktadır; ancak her durumda çürüme ile sera gazı oluşmaktadır (Lineback ve diğ., 1999). Yonga levha üretiminde kullanılan formaldehit, amonyum sülfat, üre reçinesinin yakılması çok tehlikeli sonuçlar doğurabilir.

Orman ürünleri endüstrisinde sektör kaynaklı atıklar prosese özel, yan proseslerden kaynaklanan ve proses dışı atıklar olmak üzere 3 ana sınıf altında incelenmektedir:

- Ahşap işleme, panel (sunta) ve mobilya üretimi amacıyla ağacın kesilmesi, rendelenmesi, şekil verilmesi, zımparalanması gibi işlemler sonrası oluşan prosese özel atıklar talaş, yonga, kıymık gibi atıklardır.

- Mobilya üretiminin ve orman endüstrisinin ana faaliyet olduğu tesislerde tutkal, kâğıdın emprenyelenmesi, boyama, parlak levha üretimi gibi işlemlerin oluşturduğu atıklar yan süreçlerden kaynaklanan atıkları oluşturur.
- Proses dışı atıklar, tesiste yürütülen süreçlerden bağımsız olarak ortaya çıkan ve genellikle sektörler arası benzerlik gösteren yağ atıkları, filtre malzemeleri, mutfak atıkları, yakıt atıkları gibi atıklardır (ÇŞB, 2016).

Türkiye’de Atık Getirme Merkezi Tebliği çerçevesinde belediyeler 1. Sınıf atık getirme merkezleri kurmak ve geri kazanılabilir atıkların toplanması sağlamak zorundadır. Mevcut durumda bazı belediyelerde (Kadıköy, Pendik, Körfez Belediyeleri) atık getirme merkezlerini kurmuştur ve mobilya atıkları da toplanmaktadır. Fakat belediyeler, toplanan atıkları verecek bir tesis bulamadıklarından, çalışanlara yakacak olarak ya da çimento fabrikalarına bertaraf amacıyla vermektedir. Yonga levha, parke ve MDF üretim tesislerinde oluşan ve bertarafa gönderilen atıklar, atık beyan formu ile Atık Yönetimi Yönetmeliğine uygun atık kodları ve miktarlarına göre listelenmektedir. Üretim proseslerinde oluşan ağaç kabuğu, zımpara tozu, lif, elek altı ve standart dışı ürün gibi atıklar oluşmaktadır ve oluşan bu atıklardan:

- Elek altı, üretimde tekrar kullanılmaktadır.
- Ağaç kabuğu, zımpara tozu ve lif, standart dışı ürünler gibi atıklar kazanlarda ve enerji üretim tesislerinde yakıt olarak kullanılmaktadır. (Bozkurt, 2017)

Kullanılan ham maddenin üretim tesisinin yerine ve üretilen ürüne göre değişkenlik göstermesi ile birlikte ortalama Çizelge 4.3’te odun tüketimi ile ilgili oranlar verilmiştir. Çam, köknar gibi iğne yapraklı ağaçlardan %20-74 arasında, söğütgillerden olan kavaktan %10-14 arasında, aynı familyadan olan kayın ve meşeden %1-28 aralığında üretilen ürüne göre farklı derişimlerde odun tüketilmektedir. Yapraklı odun, kapaklık, şerit talaşı sektörden toplanıp üretimde kullanılan başlıca geri dönüşüm malzemeleridir.

Çizelge 4.3 : Üretimde kullanılan odun derişimi.

Kullanılan odun cinsi	Min.	Max.
Çam, Gök nar	20,62%	73,38%
Kavak	9,92%	13,09%
Kayın	0,06%	27,53%
Meşe	0,15%	22,64%
Çeşitli sektör atıkları	25,94%	41,94%

Yonga levha, yaklaşık olarak %82 mobilya sektöründe, %13 inşaat, %3 kapı ve %2 diğer kullanım alanlarında değerlendirilmektedir (İstek ve diğer. 2017’de atıfta bulunduğu gibi). Türkiye’de mevcut durumda ağaç ürünleri endüstrisinde oluşan atıklara atık hiyerarşisine göre muamele edilmekte ve İtalya örneğinde olduğu gibi son tüketiciden mamullerin toplanarak üretimde kullanılabilceği bir tesis bulunmamaktadır. İtalya’da olduğu gibi geri dönüştürülmüş odun kullanılan tesislerle Türkiye’deki gibi taze odun kullanan tesisler diş istif alanlarının dizaynı, kullanılan makinaların yapısı gibi birçok noktada farklılık göstermektedir ve inceleme yapılması gerekmektedir.

4.4.1 Türkiye’de sera gazı emisyonu

17 Mayıs 2014’te yayınlanan yönetmelik ile Türkiye’de sera gazı emisyonunun takip edilerek düşürülmesi amaçlanmaktadır, ilaveten gelecek dönemlerde yeterli seviyede emisyonunu düşüremeyen firmalar için karbon ticaretinin hayata geçirilmesi de gündemdedir. Karbon (emisyon) ticareti ile birlikte şirketler kendi aralarında kirlilik alışverişi yaparak emisyon seviyesini azaltmayan firmalar ceza almaktan kurtarılmış olacaktır. Dünya bankasının paylaştığı verilere göre 2011 yılı CO₂ bazında sera gazı emisyonu değerleri Almanya için 810 milyon ton, İngiltere için 470 milyon ton, İtalya için 420 milyon ton olarak öngörülürken Türkiye için 422,4 milyon ton ile yüksek bir değerdedir. TÜİK verilerine göre Türkiye’de 1990 yılında 3,42 ton olan kişi başına düşen sera gazı emisyonu, yüzde 124 artışla 2011 yılında kişi başına 7,2’ye yükselmiştir. Sera gazı emisyonu artışı ülkelerin gelişmişlik seviyeleri ile ters orantı göstermektedir; 2011 yılı verilerine göre Hindistan’da kişi başına 1,6 tona yükselen emisyon değerleri, Almanya’da kişi başına 9,9 ton, İngiltere’de 7,5 ton, İtalya’da ise kişi başı 6,7 tona inmiştir. Dünya nüfusunun %5’inin yaşadığı Amerika Birleşik

Devletleri'nin ise küresel kirlilikte payı yaklaşık %25'tir, 2000'li yıllarda kişi başına düşen sera gazı emisyonu 20 ton iken bu rakamın 2014 yılında 17 tona düştüğü bilinmektedir (Url-14).

En son yayınlanan TÜİK bültenine göre 2015 yılında toplam sera gazı emisyonu 475,1 milyon ton CO₂ ile kişi başı 6,07 tona yükselmiştir. 2015 yılı emisyonlarında en büyük payı %71,6 ile enerji sektörü oluştururken, ikinci sırayı %12,8 ile endüstriyel süreçler, üçüncü sırayı %12,1 ile tarımsal faaliyetler ve %3,5 ile atık bertarafı oluşturmaktadır (TÜİK, 2017).

4.5 Rakamlarla Karbon Emisyonu

Karbon salımının daha yakından anlaşılabilmesi için günlük hayattan aşağıdaki örnekler verilebilir:

- Yediğimiz 1 kg somon balığının karbon ayak izi 0,14 kg CO₂, 1 kg sığır etinin 34,6 kg, 1 kg tavuk etinin 4,57 kg, 1 kg patatesin 0,45 kg, içtiğimiz 1 litre süren 1,4 kg CO₂'dir (Url-12).
- Ortalama bir aracın km başına yaklaşık 1 kg CO₂ ayak izi bulunmaktadır, buna karşın Formula 1 araçlarının km başına sahip oldukları ortalama karbon ayak izi 1,74 CO₂'dir (Url-12).
- 2010 FIFA Dünya kupası organizasyonunun karbon ayak izi ise 2.753.251 ton CO₂ olarak ölçülmüştür (Url-12).
- 32 saat bilgisayar kullanmak 1 kg salımına sebep olmaktadır (Url-13). Evimizdeki elektronik aletlerden A sınıfı No Frost Buzdolabının 1 saatlik karbon ayak izi 25 gr CO₂ iken, çamaşır makinesinin 450 gr, bulaşık makinesinin 495 gr CO₂'dir. Saç kurutma makinesinin 1 saatlik karbon ayak izi 774 gr, 2200 watt elektrikli süpürge'nin 1012 gr, ütünün 860 gr'lık karbon ayak izi bulunmaktadır, bu gibi aletlerin kullanımı ile yılda 1 kişi için 1,5 ton CO₂ atmosfere salınmaktadır (Url-11).

Isınma sırasında ev sıcaklığını 1 °C azaltarak yılda minimum 300 kg CO₂ atmosfere salınmasının, gereksiz kullanılan lambaların söndürülmesi ile de yılda 250 kg CO₂ salımının önüne geçilmiş olunur (Url-15).

4.5.1 Ağaçlar ve karbon emisyonu

Dünya üzerinde yeşil canlılarca tutulan karbonun %75'lik kısmı ormanlardaki ağaçların bünyesinde tutulmaktadır (Görücü ve Eker 2009). Kayın (meşe ağacı kayıngiller familyasındandır), huş, kavak, gürgen, ıhlamur gibi kışın yaprağını döken ağaçlar; çam, selvi, ladin gibi iğne yapraklı ve kışın yaprak dökmeyen ağaçlara göre yaklaşık 2 kat daha fazla CO₂ bağlamaktadır ve bir ağaç saatte 2,3 kg CO₂ bağlamaktadır (Url-7). Bir kişi yılda yaklaşık 2300 kg CO₂ üretirken (Url-6) bir kayın ağacı yılda yaklaşık 22 ton CO₂, çam ağacı yaklaşık 10-15 ton CO₂ emmektedir (Url-8). Bir hektar ormanda yıllık 13-30 ton, yaklaşık bir kilogram odun bünyesinde 1,65 kg CO₂ bağlamaktadır. (Görücü ve Eker 2009). Çamgiller familyasından olan ladin ağacının 1 m³'ünde 825 kg CO₂ bulunurken, 1 m³ yonga levha ise 1100 kg CO₂ bulunmaktadır (Url-3).

Görücü ve Eker 2009'da atıfta bulunulduğu gibi 1 hektarlık tropik orman aynı büyüklükte tarım arazisine oranla 44 kat daha fazla karbon depolamaktadır ve ormanlar hızlı nüfus artışının beraberinde getirdiği ihtiyaçları karşılamak amacıyla azaltılmaktadır. Tropik alanların azalma sebepleri sırasıyla %64 tarımsal, %18 ticari amaçlı odun üretimi, %10 yakacak odun üretimi ve %8 çiftçi kullanımı olduğu ifade edilmektedir. Bunlarla birlikte yapılan çalışmalar ve tahmin sonuçları 1860 yılından günümüze kadar tüm dünyada 150-250 milyon ton karbonun atmosfere salındığını göstermektedir.

4.5.2 Taşıma sektöründe karbon emisyonu

2007 yılında yapılan bir çalışmaya göre toplam CO₂ emisyonunun %23'ünün (yaklaşık 29 milyar ton) taşımacılık sektöründen kaynaklandığı hesaplanmıştır. Taşımacılık sektörü hava, deniz, demiryolu, kara taşımacılığını kapsamaktadır ve karbon emisyonunun %73'ü karayolu taşımacılığından oluşmaktadır (Url-9).

Avrupa'da her yıl kamyon ve otomobil sürücüleri tarafından yaklaşık 400 milyar litre yakıt harcanmaktadır. 1 litre benzinin yakılması ile atmosfere 2,33 kg CO₂ gönderilirken (Url-10), 1 lt dizel yakıtın yakılması ile 2,77 kg CO₂ gazı açığa çıkmaktadır (Url-11). 2062 mil uçan bir uçak 1 ton CO₂ salımı yaparken, 10-20 km yolculuk yapan otobüs/tren atmosfere 1 kg CO₂ vermektedir (Url-13). Otomobillerin 100 km için yaklaşık 8 lt yakıt tükettiği düşünülürse, atmosfere salınan ortalama 19 kg karbondioksitle, toplu taşımada otobüs, tren, tramvay gibi hafif raylı sistemler ve

metro karşılaştırıldığında 100 kilometre için 5,3 kg karbondioksit emisyonu ile metronun karbon emisyonu açısından en uygun ulaşım seçeneği olduğu görülmektedir. Ortalama 20 ton alabilen bir kırkayak kamyon ise 100 km’de yaklaşık 25 litre yakıt tüketerek ortalama 64 kg CO₂ gazı açığa çıkarmaktadır (Url-16).

Enerji üretiminde AB’nin verdiği rakama göre nükleer, doğalgaz, kömür, hidroelektrik gibi elektrik enerji karmasında kilovat saat başına 0,443 kg CO₂ salımı düşmektedir. Elektrik enerjisinin bir kilovat saat üretiminde atmosfere yaklaşık 0,5 kg CO₂ salınmaktadır (Url-14).



5. GELİŞTİRİLEN MATEMATİKSEL MODEL

Bu bölümde ağaç ürünleri endüstrisinden yonga levha atıklarının tersine lojistiği, geri kazanımı konusunda önerilen ve geliştirilen modelin varsayımları, matematiksel ifadesi, amaç fonksiyonu ve kısıtları açıklanacaktır.

5.1 Modelin Varsayımları

Ürün olarak sadece yonga levhanın geri kazanımı hedeflenmektedir.

Teknolojik olarak mevcut kurulu kapasitenin darboğazı bulunmamaktadır. Enerji, hammadde gibi kısıtların yeterli ve ucuza sağlanabildiği durumda kalite ve fiyatın küresel rekabette önü açıktır (Salman, 2001)

Yonga levha üretiminde sektörün ana sorunu Türkiye'deki ormanlardan yeterince tedarik edilemeyen hammaddedir, kullanılan odunun fiyatındaki artış maliyetlerde önemli bir yükseliş meydana getirmiştir (Salman, 2001). 2015 yılı ele alınacak olursa maliyetlerin yaklaşık %51'ini oluşturan odun maliyetlerinin %66 artması ve kur zararları sektörde elde edilen karı doğrudan olumsuz yönde etkilemiştir (ORSİAD, 2015). 1 ton odun hammaddesinin ortalama maliyeti 75 dolardır.

TOBB veri tabanına 2015 yılında yonga levha sanayinde faaliyet gösteren 36 kayıtlı işletme bulunmaktadır ve toplam 5.692.336 m³ üretim kapasitesi bulunmaktadır. Ağaç mamulleri imalatında, 2013 yılında yıllık %75,5, 2014 yılında %77,4, 2015 yılında ise %78,7 olan yıllık kapasite kullanım oranı her yıl artış göstermektedir (TOBB, 2015). Çizelge 5.1'de de görülebileceği gibi 1995 yılından 2016 yılına kadar ortalama %5-6 artış göstermiştir (FAO, 2018).

Üretici firma tarafından üretilen yonga levhanın en az %1'inin tersine lojistiği hedeflenmektedir. Ürünleri geri toplanacak olan üretici firmanın pazar payı ortalama %30'dur (Url-17) bu sebeple tüm Türkiye üretiminin %30'u baz alınmıştır.

Çizelge 5.1 : 1995-2016 yılları arasında yıllık yonga levha üretimi (m³) (FAO, 2018).

Üretim (m ³ /yıl)	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Yonga levha	1.243.000	1.193.000	1.728.000	1.525.000	1.643.000	1.884.000
Değişim (%)		-4%	31%	-13%	7%	13%
Üretim (m ³ /yıl)	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Yonga levha	1.664.000	1.999.000	2.264.000	2.700.000	2.890.000	2.750.000
Değişim (%)	-13%	17%	12%	16%	7%	-5%
Üretim (m ³ /yıl)	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Yonga levha	3.047.000	3.181.000	2.320.000	3.060.000	3.580.000	3.875.000
Değişim (%)	10%	4%	-37%	24%	15%	8%
Üretim (m ³ /yıl)	2013	2014	2015	2016		
Yonga levha	4.225.000	4.425.000	4.361.000	4.202.000		
Değişim (%)	8%	5%	-1%	-4%		

Türkiye’de Adana, Balıkesir, Kastamonu, Samsun, Tarsus ve (Gebze) Kocaeli olmak üzere 6 lokasyonda bulunan üretim tesisleri ile faaliyetlerini sürdürmekte olan üretici firmanın son 3 ve 4 yıllık satış verileri incelenerek tüm satışın %80’ini oluşturan şehirler belirlenmiştir. Sevkiyatın %80’ini oluşturan şehirlerden (sırasıyla İstanbul, Kayseri, Ankara, Bursa, İzmir, Konya, Kırıkkale, Samsun, Bolu, Kütahya, Adana, Çanakkale, Kocaeli) yonga levha toplanabileceği öngörülmüştür. Bu illerimizi Çizelge A.1’de gösterilen km bazında mesafe matrisi yaparak diğer illerimizle uzaklıkları incelendiğinde toplam mesafesi en az olan ilk üç il sırasıyla 4.470 km ile Ankara, 4.639 km ile Eskişehir ve 4.708 km ile Bolu’dur. Üretim tesislerinin Çizelge A.2’de gösterilen tüm illerle arasındaki mesafeye bakıldığında ise toplam mesafesi en az olan ilk üç il 2.507 km ile Ankara, 2.526 km ile Kırıkkale ve 2.632 km ile Çankırı’dır. Bu doğrultuda eğer her iki uzaklığı en küçükleyen bir toplama noktası seçilecekse en

uygun il Ankara'dır; ancak aşağıda verilen sebeplerle toplama noktası Gebze/ Kocaeli olarak belirlenmiştir:

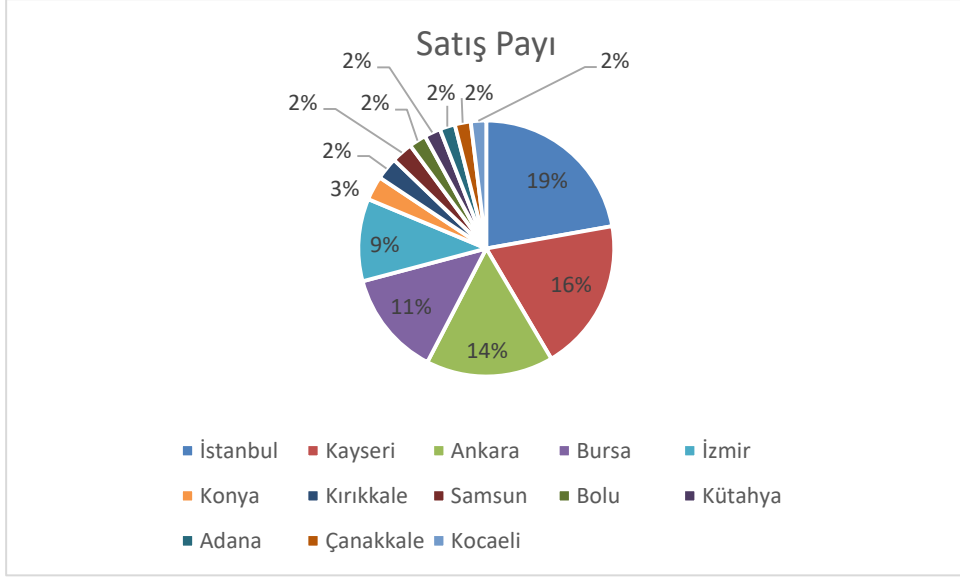
- Üretim kapasitesinin Marmara Bölgesi'nde olması hammaddeye erişim açısından sıkıntı oluşturmaktadır, bu bölgedeki odun kaynaklarının yetersizliği mevcut üretim kapasitesinin ithal hammadde ile beslenmesini zorunlu kılmaktadır (ORSİAD, 2013). Diğer üretim tesislerine kıyasla Gebze hammadde kaynaklarına daha uzak bir konumdadır ve ithal hammadde yerine geri kazanılmış malzemelerden elde edilecek olan hammadde kullanımı tercih edilebilir.
- Sıfırdan yeni bir tesis kurma maliyetinin doğması tercih edilmemiştir.
- Satışın %80'inini oluşturan sevkiyat noktaları tüm illerle kıyaslandığında 4.908 km ile 9. sırada, tüm fabrikalara uzaklığı tüm illerle kıyaslandığında 2.950 km ile 16. Sırada olan ve Çizelge A.3'te gösterildiği gibi sadece fabrikaların bulunduğu illerle sevkiyatların %80'inin oluşturan iller arasındaki mesafe incelendiğinde Kocaeli 1. Sırada gelmektedir.

13 ilin Şekil 5.1'de yer alan tüm satışa oranı incelendiğinde İstanbul, Kayseri, Ankara, Bursa ve İzmir illerinin satış payları sırasıyla %19, %16, %14, %11 ve %9; 5 ilden sonrasının %3 ve %2 olarak dağıldığı görülmektedir. Bu sebeple ilk 5 il potansiyel atık toplama noktaları olarak seçilmiştir. Geri toplanması hedeflenen yılda üretici firma tarafından yapılan toplam üretimi ile belirlenen 5 ilin satış yüzdeleri çarpılarak o illerden toplanabilecek potansiyel atık miktarı hesaplanmıştır.

Yonga levhanın metre küp olarak bileşenleri incelendiğinde %90'ının odun, %9,8 reçine ve geri kalan kısmının parafin, katalizör, üre tutucudan oluştuğu (Wilson, 2010) baz alınmıştır.

Ortalama bir yonga levhanın üretiminde kullanılan odun karışımı: %25 sektörel artıklar, %40 kayın türü, %35 çam türü olarak hesaplama yapılmıştır.

Kayın türü ağaçlar; çam gibi iğne yapraklı ağaçlara göre yaklaşık 2 kat daha fazla CO₂ bağlamaktadır (Url-7) ve yaklaşık bir kilogram çam odunu bünyesinde 1,65 kg CO₂ bağlamaktadır. (Görücü ve Eker 2009). Bu sebeple onda dokuzu ağaçtan oluşan 1 ton yonga levhanın geri dönüştürülmesi ile 34,155 kg CO₂ salımının önüne geçilmektedir.



Şekil 5.1 : Satış payına göre 13 ilin tüm satış payı.

Yonga levhanın kullanım ömrü en az 10 yıldır (Hussain ve diğ. 2017’de atıfta bulunduğu gibi) ve en az 10 yıl önce üretilen ürünlerin geri kazanılması hedeflenmektedir.

Süreçler büyük ölçüde otomatik olduğundan insan gücü maliyeti ihmal edilebilir düzeydedir.

İlk 5 yılın (2018, 2019, 2020, 2021, 2022) tersine lojistik planlaması yapılmaya çalışılmıştır.

Toplama noktası Kocaeli seçilmesi ile atık toplanacak illerin ilçeleri de hesaba katılarak Gebze ile ortalama mesafeleri Çizelge 5.2’de gösterilmektedir. Burada 20 ton yük alan bir kamyonun mevcut tüm hacminin kullanıldığı düşünülmektedir. 20 ton yük alan bir kamyon her 100 kilometrede 25 litre yakıt tüketerek (Url-16) 64 kg CO₂ salımına sebep olmaktadır.

Çizelge 5.2 : 5 ilin toplama noktasına mesafeleri.

İl Adı	Ortalama km
Ankara	439,75
Bursa	227,20
İstanbul	100,09
İzmir	558,63
Kayseri	712,00

Tüketilen yakıtın litre fiyatı ve geri dönüşüm faaliyetlerinde kullanılacak olan elektrik ücreti, lojistik hesaplamasında sabit maliyetler bilinmektedir.

Elektrik maliyetinin her yıl yaklaşık %8 arttığı varsayılmıştır.

Lojistik maliyetlerinin (sabit maliyetler ve mazot) her yıl yaklaşık %11 artacağı öngörülmüştür.

Bütçe, ortalama sektör büyümesine oranla arttırılmıştır (%6).

Ürünün geri dönüşüm aşamaları ve her aşamanın enerji tüketimi ile neden olduğu emisyon miktarı bilinmektedir.

5.2 Modelin Kurulması

5.2.1 İndisler

i : şehir (toplama noktaları)

t : yıl

5.2.2 Karar değişkenleri

x_{it} : i şehrinde t yılında toplanacak atık miktarı (ton)

y_{it} : i şehrinde t yılda çıkan atık kamyonu sayısı (adet)

5.2.3 Parametreler

p_{it} : i şehrinde t yılında toplanabilecek potansiyel atık (ton)

D_t : t yılında yapılan üretim (ton)

d_i : i şehrinin toplama merkezine mesafesi (km)

L_i : i şehrinde toplama merkezine çıkacak olan aracın şoför gideri gibi sabit maliyeti (TL)

E_t : t yılında tasarruf edilen emisyon (kg)

B_t : t yılının bütçesi

5.2.4 Skaler değerler

Z_1 : Lojistik maliyetlerinin (sabit maliyetler ve mazot) yıllık zammı

Z_2 : Yıllık elektrik zammı

A_i : Yıllık bütçe artışı

γ : Lojistik maliyeti katsayısı (km başına)

α : Geri dönüşüm maliyeti katsayısı (ton başına)

β : Satın alınmayan hammadde maliyeti (ton başına)

ε : Emisyon kazancı katsayısı (kg/ton)

\mathcal{L} : Lojistikten doğan karbon emisyonu (kg/km)

U : Geri dönüşüm sırasında tüketilen elektrikten doğan karbon emisyonu (kg/ton)

\mathcal{B} : Emisyon fiyatı (TL/ton)

c : Kamyonun kapasitesi

θ : Hedeflenen geri kazanım yüzdesi

5.2.5 Model

Amaç:

$$Z = \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^m \max x_{it} \quad (5.1)$$

Kısıtlar:

$$x_{it} \leq c \cdot y_{it}, \quad i = 1, \dots, n \quad t = 1, \dots, m; \quad (5.2)$$

$$p_{it} \geq x_{it}, \quad i = 1, \dots, n \quad t = 1, \dots, m \quad (5.3)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{it} \geq \theta \cdot D_{t-10}, \quad t = 1, \dots, m \quad (5.4)$$

$$\sum_{i=1}^n (L_i + d_i \cdot \gamma \cdot y_{it}) \cdot Z_1^{t-1} + \sum_{i=1}^n (\alpha \cdot x_{it}) \cdot Z_2^{t-1} - \sum_{i=1}^n x_{it} \cdot \beta \leq B_t \cdot A_1^{t-1}, \quad t = 1, \dots, m \quad (5.5)$$

$$\sum_{i=1}^n \varepsilon \cdot x_{it} - \sum_{i=1}^n \mathcal{L} \cdot y_{it} \cdot d_i - \sum_{i=1}^n U \cdot x_{it} \geq 0, \quad t = 1, \dots, m \quad (5.6)$$

$$x_{it} \geq 0, \quad i = 1, \dots, n \quad t = 1, \dots, m \quad (5.7)$$

$$y_{it} \in Z^+, \quad i = 1, \dots, n \quad t = 1, \dots, m \quad (5.8)$$

5.2.5.1 Karbon borsası senaryosu

11 Aralık 1997 tarihinde aralarında Türkiye'nin de bulunduğu 191 ülke tarafından imzalanan, 2005 yılında yürürlüğe giren Kyoto Protokolü ile CO₂ salımını kısıtlamak

ve çevreye daha az zarar vermek amacıyla küresel bazda firmalara emisyon kotaları belirlenmiş, hedeflenen sınır değerlere ulaşmak için yapılacak yatırım, alınacak önlemlerin maliyetlerinin düşmesi amacıyla esneklik getirilmiştir. Herhangi bir ülke kotasını aşarsa ton başına belirli bir miktar ödeyerek emisyon satın alabilmektedir; emisyon kotasının altında kalırsa ya da fazla emisyon azaltımı yaparsa, bu azaltımı kotasını aşan ülkelere satabilmektedir. Örneğin gelişmiş bir ülkede çimento fabrikasına yatırım yaparak 10 Euro ile 1 ton CO₂ azaltmak yerine finansal kaynak arayan başka bir tesisten 10 Euro karşılığında 100 ton CO₂ satın alınabilecektir, böylece fayda miktarı artmış olacaktır (Akyürek, 2012). Her ne kadar protokolü imzalamış olsa da henüz bir yaptırım olmadığı için öncü bazı şirketler dışında Türkiye’de karbon ticareti konusunda fazla çalışma yapılmamıştır. Avrupa Birliği’nin oluşturduğu Emisyon Ticaret Sisteminde (ETS) 2008 yılında 72 milyar euro’luk işlem hacmi bulunmaktadır, bu hacmin 2005 yılında 8 milyar Eurolardan yükseldiği tahmin edilmektedir ve Türkiye’den de bazı şirketler yurtdışındaki karbon borsalarında emisyon ticareti yapmaktadır (Nazlı, 2009). AB’nin oluşturduğu ticaret sisteminin yanı sıra ABD’de Chicago İklim Borsası, Japonya’da Tokyo Emisyon Ticaret Sistemi, Avustralya’da New South Wales İklim Borsası, Yeni Zelanda Emisyon Ticaret Sistemi gibi benzer borsalar bulunmaktadır (Türe, 2011). 1 ton karbon satın alma fiyatı AB Emisyon Ticaret sisteminde 13,2 Euro’dur (Url-18). Bu doğrultuda, gelecekte işlevsel olacağı düşünce ile (5.5)’teki bütçe kısıtına emisyon tasarrufundan doğan kazanç eklenerek (5.5.1) kısıtı elde edilmiştir. Böylece elde edilen model şu şekildedir:

(5.1) , (5.2), (5.3), (5.4),

$$\sum_{i=1}^n (L_i + d_i \cdot \gamma \cdot y_{it}) \cdot Z_1^{t-1} + \sum_{i=1}^n (\alpha \cdot x_{it}) \cdot Z_2^{t-1} - \sum_{i=1}^n x_{it} \cdot \beta \leq B_t \cdot A_1^{t-1} - \sum_{i=1}^n E_t \cdot \Phi,$$

$$t = 1, \dots, m \quad (5.5.1),$$

(5.6) , (5.7), (5.8).

5.2.6 Modelin açıklaması

(5.1) i şehrinde t yılı içinde toplanan atığın maksimize edilmesini içeren amaç denklemi.

(5.2) Yüklenen kamyonların en fazla 20 ton yük almasını sağlayan ve toplanan atık miktarı ile çıkan kamyon sayısını ilişkilendiren kamyon kapasitesi kısıtı.

(5.3) Seçilen 5 ilden yıllık toplanabilecek potansiyel atıklarla toplanan atıklarla ilişkisini kuran kısıt.

(5.4) t yılından 10 yıl önceki üretim miktarının en az %1'inin toplanmasını düzenleyen kısıt.

(5.5) t yılı içinde belirlenen i şehirlerinden çıkan kamyon sayısına ve sabit maliyetlere bağlı olan lojistik giderlerinin, toplanan atığın işlenerek kullanılmasını sağlayan süreçlerde elektrik tüketiminden doğan masrafın, toplanan yonga levhayı geri kullanmak yerine %90'luk kısmının kullanılması ile hammadde almamaktan doğan kazancın yıllık zamlar ile belirlenen bütçe altında kalmasını sağlayan kısıttır. Aşağıdaki gibi özetlenebilir:

(Lojistik maliyetleri) + (Geri Dönüşüm maliyeti) – (Hammadde almama maliyeti) ≤ Bütçe

(5.5.1) Karbon piyasasının aktif olması halinde emisyon azaltımının satılması ile elde edilen kazancın dahil edildiği bütçe kısıtı:

(Lojistik maliyetleri) + (Geri Dönüşüm maliyeti) – (Hammadde almama maliyeti) – (Karbon borsası kazancı) ≤ Bütçe

(5.6) Organize edilen kamyonların oluşturduğu lojistik emisyonu ve toplanan atıkların tekrar kullanılmasını sağlayan süreçlerde kullanılan elektrikten kaynaklanan emisyonun, hammadde olarak ağacın kullanılmaması ile önüne geçilen emisyonun küçük olmasını sağlayan emisyon kısıtı.

(Önüne geçilen emisyon) – (Lojistikten doğan emisyon) - (Geri dönüşüm emisyonu) ≥ 0

(5.7) i şehirden t yılında toplanan atık miktarının (x_{it}) pozitif olması kısıtı.

(5.8) i şehirden t yılında çıkan kamyon sayısının (y_{it}) tam sayı olma kısıtı.

5.2.7 Modelin uygulanması

Amaç:

$$Z = \sum_{i=1}^5 \sum_{t=1}^5 \max x_{it} \quad (5.1)$$

Kısıtlar:

$$x_{it} \leq c \cdot y_{it}, \quad i = 1,2,3,4,5 \quad t = 1,2,3,4,5 \quad (5.2)$$

$$p_{it} \geq x_{it}, \quad i = 1,2,3,4,5 \quad t = 1,2,3,4,5 \quad (5.3)$$

$$\sum_{i=1}^5 x_{it} \geq \theta \cdot D_{t-10}, \quad t = 1,2,3,4,5 \quad (5.4)$$

$$\sum_{i=1}^5 (L_i + d_i \cdot \gamma \cdot y_{it}) \cdot Z_1^{t-1} + \sum_{i=1}^5 (\alpha \cdot x_{it}) \cdot Z_2^{t-1} - \sum_{i=1}^5 x_{it} \cdot \beta \leq B_t \cdot A_1^{t-1}, \quad t = 1,2,3,4,5 \quad (5.5)$$

$$\sum_{i=1}^5 \varepsilon \cdot x_{it} - \sum_{i=1}^5 \mathcal{L} \cdot y_{it} \cdot d_i - \sum_{i=1}^5 U \cdot x_{it} \geq 0, \quad t = 1,2,3,4,5 \quad (5.6)$$

$$x_{it} \geq 0, \quad i = 1,2,3,4,5 \quad t = 1,2,3,4,5 \quad (5.7)$$

$$y_{it} \in Z^+, \quad i = 1,2,3,4,5 \quad t = 1,2,3,4,5 \quad (5.8)$$

5.3 Model Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Her iki model Microsoft Excel 15.0 Çözücüsü (Excel Solver) ile çözülmüştür. Modelde verilen kısıtlara göre optimum düzeyde geri toplanacak atık miktarı, şehirler ve organize edilmesi gereken kamyon sayısı belirlenmiştir.

5.3.1 Birinci modelin sonucu

Üretimin en az %1'inin kullanım ömrü bittikten sonra geri kazanılması ve maliyetlerin karşılanabilmesi için belirlenen bütçe ve diğer kısıtlar altında ilk senaryonun modelinin çözümüne göre 81.720 ton atık toplanmıştır, bu atıklar İstanbul, Bursa, Kayseri, Ankara, İzmir olmak üzere potansiyel olarak belirlenen 5 ilin Çizelge 5.3'te detayı verilen 2'sinden toplanarak sağlanmıştır. Yaklaşık 2 saniyede, 12 yineleme ve 254 alt problem ile çözüme ulaşılmıştır. Belirtilen 81.720 ton atık, geri kazanım için Çizelge 5.4'te detayı verilen 5 ilin 2'sinden toplam 4.086 adet kamyon kullanılarak merkez toplama noktasına taşınmıştır.

Çizelge 5.3 : Birinci modelin belirlediği en uygun illerden toplanan atık miktarı (ton).

Yıl/Şehir	İstanbul	Bursa	Toplam
2018	19.800	-	19.800
2019	17.400	340	17.740
2020	15.700	360	16.060
2021	14.480	180	14.660
2022	13.320	140	13.460

Çizelge 5.4 : Birinci modele göre belirlenen illerden kullanılan kamyon sayısı.

Yıl/Şehir	İstanbul	Bursa	Toplam
2018	990	-	990
2019	870	17	887
2020	785	18	803
2021	724	9	733
2022	666	7	673

Modelin sonucuna göre toplanan optimum düzeyde atık miktarı ile kurtarılan emisyon, lojistik ve geri kazanım için salınacak üretim emisyonundan fazladır.

5.3.2 Karbon borsası senaryosu sonucu

Tasarlanan modele aşağıdaki kısıtın eklenmesi ile çözülmüştür.

$$\sum_1^5 (L_i + d_i \cdot \gamma \cdot y_{it}) \cdot Z_1^{t-1} + \sum_1^5 (\alpha \cdot x_{it}) \cdot Z_2^{t-1} - \sum_1^5 x_{it} \cdot \beta \leq B_t \cdot A_1^{t-1} - \sum_1^5 E_t \cdot \Phi, t = 1, \dots, m \quad (5.5.1)$$

Bir önceki modelde belirlenen aynı bütçe kullanılarak Çizelge 5.6’te detayı verilen 4.098 adet kamyonun organize edilmesiyle Çizelge 5.5’te detayı verilen üretimin en az %1’i kısıtını sağlayarak 81.960 ton atık toplanmıştır. Yaklaşık 2 saniyede, 9 yineleme ve 230 alt problem ile çözüme ulaşılmıştır.

Çizelge 5.5 : İkinci modelin belirlediği en uygun illerden toplanan atık miktarı (ton).

Yıl/Şehir	İstanbul	Bursa	Toplam
2018	19.580	260	19.840
2019	17.660	140	17.800
2020	16.040	80	16.120
2021	14.460	240	14.700
2022	13.320	180	13.500

Çizelge 5.6 : İkinci modele göre belirlenen illerden çıkarılan kamyon sayısı.

Yıl/Şehir	İstanbul	Bursa	Toplam
2018	979	13	992
2019	883	7	890
2020	802	4	806
2021	723	12	735
2022	666	9	675

Birinci ve ikinci model sağladığı kısıtlar açısından 5 yılın toplamına bakılarak karşılaştırıldığında Çizelge 5.7’de gösterilen detaylara ulaşılabilir. Toplanan atıklar açısından her iki model karşılaştırıldığında önüne geçilen emisyonun satılması ile elde

edilen gelirin toplam 240 kg daha atık toplanmasının sağladığı görülmektedir. Bu sayede 4.605 kg emisyonun salımının önüne geçilmiştir.

Çizelge 5.7 : Birinci model ile ikinci modelin kıyaslanması.

Kısıt	1. Model	2. Model
Kazanılan Atık (ton)	81.720	81.960
Kamyon Sayısı (adet)	4.086	4.098
Kullanılan Bütçe (TL)	45.092.038	45.092.931
Kurtarılan Emisyon (kg)	1.397.525	1.402.130

Karbon borsasının diğer ülkelerde olduğu gibi Türkiye’de de uygulanabilir olması durumunda aynı bütçe ile daha fazla atığın geri kazanıldığı görülmektedir.

5.4 Duyarlılık Analizi

Belirlenen bütçe tutarı ve hedeflenen minimum geri dönüşüm hedefi, modelin işleyebilirliğini sağlamak amacıyla bulunmaktadır. Bu bölümde iki ayrı duyarlılık analizi sonuçları değerlendirilmiştir.

İlk duyarlılık analizinde üretimin en az %2’si, %5’i ve %10’u geri kazanılması amaçlandığında her iki model için ortaya çıkan sonuçlar karşılaştırılmıştır. Modelin anlamlı sonuç verebilmesi için bütçe kısıtları gevşetilmiştir ve olurlu sonuç veren en düşük başlangıç bütçeleri belirlenmiştir. Her iki modelin Çizelge 5.8’deki değerlerine bakıldığında, hedeflerin değişmesi ile karbon piyasasının varlığının dönüşen atık miktarının toplamı üzerinde yaklaşık %0,3 oranında bir değişiklik oluşturması sebebiyle anlamlı bir değişiklik sağlamadığı görülmektedir.

Çizelge 5.8 : Üretimin en az %2,%5 ve%10’unun geri kazanıldığı durum.

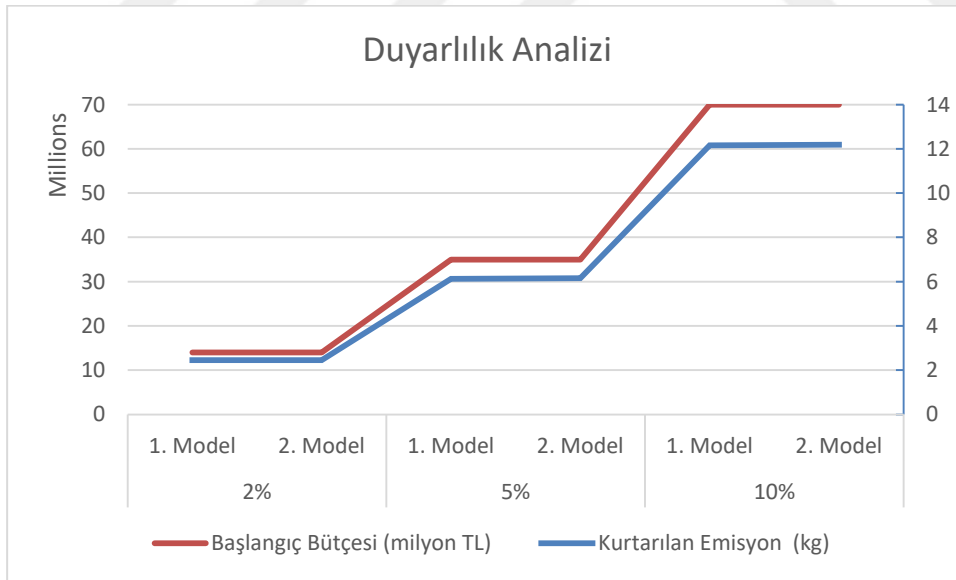
%	Model	Toplanan Atık (ton)	Kamyon Sayısı (adt)	Kullanılan Bütçe (TL)	Kurtarılan Emisyon (kg)	Başlangıç Bütçesi (milyon TL)
%2	1. Model	143.040	7.152	78.916.120	2.447.994	14
	2. Model	143.480	7.174	78.915.477	2.458.144	14
%5	1. Model	357.740	17.887	197.294.736	6.133.165	35
	2. Model	358.760	17.938	197.294.510	6.150.335	35
%10	1. Model	714.360	35.718	394.592.565	12.159.585	70
	2. Model	716.360	35.818	394.592.735	12.191.449	70

Minimum geri dönüştürülme oranları değiştirildiğinde, kazanılan atık (ton) kullanılan kamyon sayısı, kullanılan bütçe ve dolayısıyla kurtarılan emisyonunda anlamlı bir farklılık oluşmaktadır. Üretilen yonga levhanın minimum %2’sini geri dönüştürme

hedefinden %5'e geçildiğinde 200.000 tondan fazla atık kazanımı ile 2,5 katından fazla atık toplanması sağlanmıştır, yakın oranlarda bütçe kullanımı da artış göstermiştir.

Çizelge 5.7 ve Çizelge 5.8'te yer alan model sonuçlarına, üretimin en az %1, %2, %5 ve %10'unu geri kazanımı olarak birlikte bakıldığında; kısıtın %1'den %2'ye çıkarılmasının kazanılan atık miktarına 1,75 oranında; %1'den %5'e çıkarılmasının 4,38 oranında; %1'den %10'a çıkarılmasının ise 8,74 oranında artış sağladığı görülmektedir. Bütçe de hemen hemen aynı oranlarda artış göstermektedir. Bu durum yasal zorunluluk ve hem üretici hem de tüketiciye cezai şartlar olduğu takdirde yapılan çalışmanın uygulanabilir olduğunu göstermektedir.

Başlangıç olarak üretimin en az %1'inin geri kazanılması tüm kısıtları sağlayarak olurlu sonuç vermiştir. Bütçe kısıtı gevşetilerek %2 , %5 ve %10 denendiğinde maliyetlerin çok arttığı görülmüştür. Şekil 5.2'de 1. Model ile 2. Model arasında salımının önüne geçilen karbon emisyon miktarının önemli değişiklik göstermediği, belirlenen başlangıç bütçesi ile orantılı olarak kurtarılan emisyonun arttığı görülmektedir; ancak bütçe çok yüksek seviyelere çıkmaktadır.



Şekil 5.2 : Geri dönüşüm oranı ile bütçe ilişkisi.

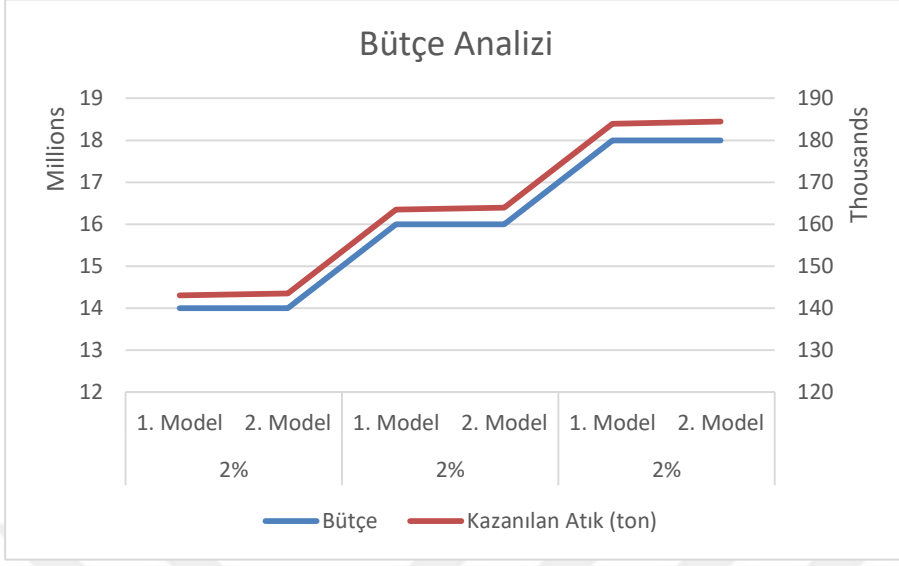
İkinci duyarlılık analizi bütçenin kazanılan atık miktarı üzerindeki etkisini incelemek amacıyla yapılmıştır. Bu doğrultuda üretimin en az %2'sini kazanabilmek için önceki analizde belirlenen başlangıç bütçesi 14 milyon yerine 16 ve 18 milyon olarak alınmıştır. Üretimin %5'ini kazanabilmek amacıyla 35 milyon olarak belirlenen

başlangıç bütçesi 40 ve 45 milyon olarak; %10'unu kazanabilmek amacıyla 70 milyon olarak belirlenen başlangıç bütçesi 80 ve 90 milyon alınarak çıkan sonuçlara bakılmıştır. Çizelge 5.9'da özetlenen sonuçlara göre birinci ve karbon borsasının dahil edildiği ikinci modelde kazanılan atık miktarının ele alınan tüm bütçelerde %0,3 fark ettiği görülmektedir.

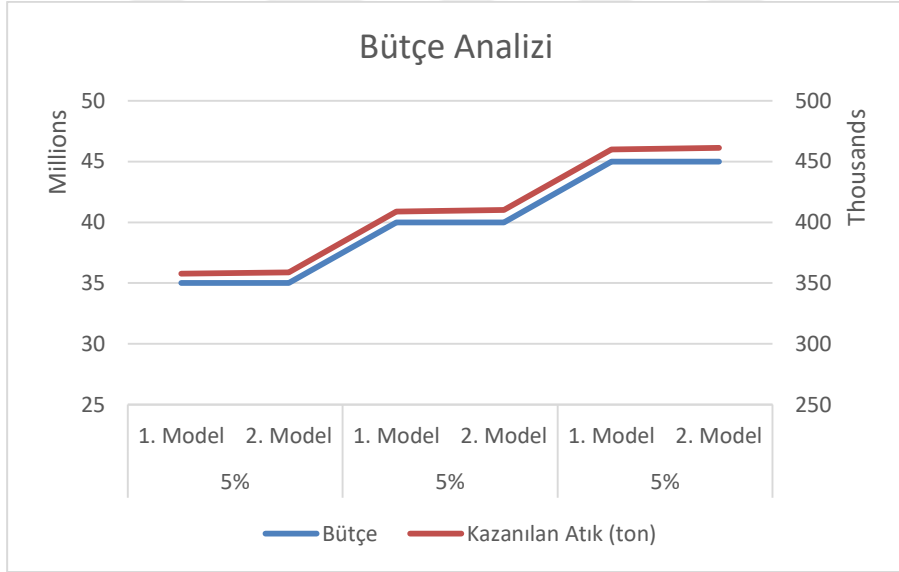
Çizelge 5.9 : Bütçeye göre kazanılan atık miktarındaki değişim.

	2%		2%	
	1. Model	2. Model	1. Model	2. Model
Kazanılan Atık (ton)	163.480	163.960	183.940	184.480
Kamyon Sayısı (adet)	8.174	8.198	9.197	9.224
Kurtarılan Emisyon (kg)	2.798.177	2.807.549	3.150.575	3.160.813
Bütçe (TL)	16.000.000	16.000.000	18.000.000	18.000.000
	5%		5%	
	1. Model	2. Model	1. Model	2. Model
Kazanılan Atık (ton)	408.840	410.040	459.940	461.280
Kamyon Sayısı (adet)	20.442	20.502	22.997	23.064
Kurtarılan Emisyon (kg)	7.008.664	7.031.524	7.884.000	7.909.018
Bütçe (TL)	40.000.000	40.000.000	45.000.000	45.000.000
	10%		10%	
	1. Model	2. Model	1. Model	2. Model
Kazanılan Atık (ton)	814.560	816.800	914.060	916.520
Kamyon Sayısı (adet)	40.728	40.840	45.703	45.826
Kurtarılan Emisyon (kg)	13.725.373	13.759.889	15.224.892	15.261.148
Bütçe (TL)	80.000.000	80.000.000	90.000.000	90.000.000

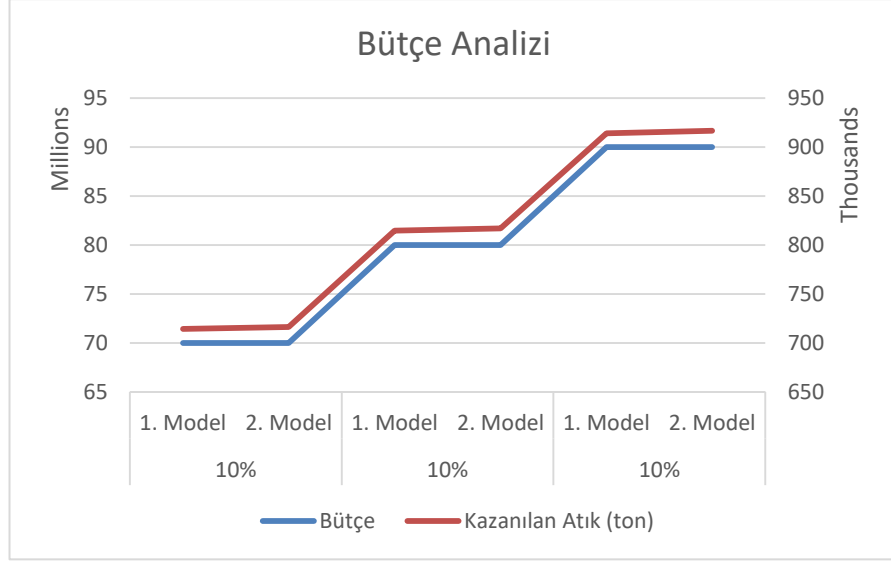
Çizelge 5.9 ve Şekil 5.3,5.4 ve 5.5'te görülebileceği üzere üretimin en az %2'sinin geri kazanımı sağlanarak bütçeyi 14 milyondan %12,5 artışla 16 milyon ve %22,2 artışla 18 milyon yapmak kazanılan toplam atık üzerinde sırasıyla %12,5 ve %22,2 etki yapmaktadır. Üretimin en az %5'inin geri kazanımı sağlanarak bütçeyi 35 milyondan %12,5 artışla 40 milyon ve %22,2 artışla 45 milyon yapılması kazanılan toplam atık üzerinde sırasıyla %12,5 ve %22,2 etki yapmaktadır. Son olarak, üretimin en az %10'unun geri kazanımı sağlanarak bütçeyi 70 milyondan %12,5 artışla 80 milyon ve %22,2 artışla 90 milyon yapmak kazanılan toplam atık üzerinde sırasıyla %12,3 ve %21,8 etki yapmaktadır.



Şekil 5.3 : Geri dönüşüm oranı ile bütçe ilişkisi (üretim en az %2'si)



Şekil 5.4 : Geri dönüşüm oranı ile bütçe ilişkisi (üretim en az %5'i)



Şekil 5.5 : Geri dönüşüm oranı ile bütçe ilişkisi (üretimin en az %10'u)

Yapılan duyarlılık analizlerine göre bütçenin büyüklüğü ile orantılı olarak kazanılan atık miktarının etkilendiği sonucuna ulaşılmaktadır.



6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Dünya nüfusundaki artış diğer faktörler ile birleştiğinde kaynaklar üzerindeki baskı artmaktadır, var olan kaynakların takip eden yıllarda nasıl kullanılacağı planlanması gerekmektedir. Diğer yandan küresel anlamda başarılı şirketler listesine, yapılan kar ve ciroya bakılarak karar verilirken şimdilerde halk, devlet, iç dış müşteri, çevresel ve sosyal sorumluluklar ön planda tutulmaktadır. Bu doğrultuda şirketlerin atık yönetimi, yenilenebilir enerji kullanımı, biyoçeşitliliğin azaltılması, ekolojik ayak izi ölçümü ve azaltma çalışmalarına yönelmesi gerekmektedir. Tersine lojistik, kaynakların etkin kullanımını amaçlarken, kullanım ömrü bitmiş, satılamayan, hasarlı ürünlerin kazanımını sağlamaktadır, doğrudan imha edilecek bitmiş mamul miktarını azaltırken, aynı miktarda bitmiş mamulün büyük bir kısmının tekrar kullanımı sağlanarak hammadde kullanımına pozitif etki yapmaktadır.

Elektronik ürünler gibi endüstrilerde tersine lojistik, üretilen ürünlerin belirli bir kısmının geri toplanması zorunlu olsa da ahşap sektörde henüz zorunluluk bulunmamaktadır. Bu çalışmada yonga levhanın geri dönüştürülmesine yönelik matematiksel model önerilmiştir. Modelin amacı belirlenen yıllar içinde, potansiyel atık toplanacak illerden geri kazanılacak olan atık miktarını maksimize etmektir. Bu amaç sağlanırken, maliyetlerin ve kazançların bütçeyi aşmaması, geri kazanımın oluşturduğu emisyonun önüne geçilen emisyonundan az olması sağlanmaya çalışılmıştır. Alternatif model olarak karbon piyasası durumu göz önünde tutularak, önüne geçilen emisyonun satılarak bütçeye kazanç elde edildiği şekilde ekleme yapılmıştır.

Başlangıç olarak üretimin en az %1'inin geri kazanılması tüm kısıtları sağlayarak olurlu sonuç vermiştir. Bütçe kısıtı gevşetilerek %2 , %5 ve %10 denendiğinde maliyetlerin çok arttığı görülmüştür. İlaveten üretimin en az %2 , %5 ve %10'u geri kazanılarak bütçe artışının toplanan toplam atık miktarı üzerindeki etkisi ölçülmüştür.

Yapılan çalışmada çıkan sonuçlara göre yüksek maliyetlere katlanılmaktadır, gelecek çalışmalarda mevcut maliyet koşullarında bir iyileştirme yapılabilir.

Yasa ve yönetmeliklerle geri kazanım zorunlu hale getirilirse firmalar daha çok ilgi göstereceğinden geri dönüşüm için daha olumlu koşullar sağlanabilir. İncelenen İtalya örneğinde ve Avrupa'nın birçok yerinde halk, atıklarını geri kazandırmakla, üretici firmalar ise geri kazanımı sağlamakla yükümlüdürler, aksi durumda cezai yaptırımlar uygulanmaktadır. Devletin atıkların toplanmasını zorunlu hale getirmesi durumunda çalışmanın sonuçları değişecektir. Bu nedenle, yasal zorunluluk olduğu durumda önerilen model yeni duruma uyumlu hale getirilerek sonuçları gelecek çalışmalarda araştırılabilir.

Tersine lojistik kavramının başlıca bir araştırma ve çalışma konusu olduğu, özel ve detaylı incelemelerle desteklenip geliştirilmesi gereken bir alan olduğu açıktır. Yapılan çalışma sektör açısından Türkiye'de yapılmış ilk çalışma olduğundan geliştirmeye açıktır ve veri gizliliği açısından bazı parametrelerde değişiklik yapılmıştır.

Yapılan tez çalışmasında sadece bir firma ele alınmıştır. Farklı bir firmalar özelinde, tesis yeri değiştirilerek değerlendirme yapılabilir.

Bu çalışmada ağaç bazlı panel sektöründen bir ürün ele alınmıştır, farklı ürünler için geri kazanım modelleri yapılabilir.

Ülke çapında mevcut durum ve koşullar değerlendirilerek tüm üretim yerleri, belirlenecek toplama noktaları ile tersine lojistik ağ tasarımı çalışılabilir.

Mevcut durumda yonga levha atıklarının toplanması yapılmadığından ele alınan modelde tersine lojistikle tek yönlü tedarik zinciri incelenmiştir. Gelecek çalışmalarda toplanacak atık miktarını ençoklayan model kapalı bir döngü olarak ele alınarak hem son ürünün müşteriye ulaştırılması ardından atık toplanması modeli geliştirilebilir.

Daha fazla müşteri sayısı, tesis, toplama noktası gibi girdilerle model genişletilebilir, daha büyük problemleri ele almak için metasezgisel, sezgisel algoritma, genetik algoritma, tabu arama algoritma geliştirilerek çözüm bulunabilir.

KAYNAKLAR

- Agrawal, S., Singh, R., Murtaza, Q.** (2014), Forecasting product returns for recycling in Indian electronics industry, *Journal of Advances in Management Research*, 11(1), 102-114.
- Agrawal, S., Singh, R., Murtaza, Q.** (2015), A literature review and perspectives in reverse logistics, *Resources, Conservation and Recycling* 97 (2015), 76-92.
- Akyürek, Ö.** (2012), Türkiye'de Karbon Ticareti Deneyimi, *İkibin50 Sürdürülebilir Gelecek Dergisi*, 6 Eylül 2012.
- Antonyova, A., Antony, P., Soewito, B.** (2016), Logistics management: New trends in the reverse logistics, *ScieTech 2016, Journal of Physics: Conference Series*, 710. doi:10.1088/1742-6596/710/1/012018
- Autry, C.W.**, (2005), Formalization of reverse logistics programs: A strategy for managing liberalized returns, *Industrial Marketing Management* 34 (2005), 749-757.
- Atık Getirme Merkezi Tebliği.** (2014), *Resmi Gazete*, 31.12.2014, *Resmi Gazete Sayısı: 29222* (4.mükerrer).
- Bal, A., Sarvari, P. A., Satoğlu, S. I.,** (2018). Analyzing the Recycling Operations Data of the White Appliances Industry in the Turkish Market. *Industrial Engineering in the Industry 4.0 Era*, pp 147-157.
- Bal, A., Satoğlu, S. I.,** (2017). A Goal Programming Model for the WEEE Products Recovery Operations Planning, CIE 47- 47th International Conference on Computers & Industrial Engineering, Lizbon, Portekiz.
- Bloemhof-Ruwaard, Jacqueline M., Krikke, H., Van Wassenhove, Luk N.** (2004). Models for Eco-eco Closed-loop Supply Chain Optimization. In Dekker R., Fleischmann M., Inderfurth K., Wassenhove LN van (Eds.), *Reverse Logistics: Quantitative Models for Closed-Loop Supply Chains*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, pp 357 – 380.
- Bozkurt, U.** (2017). Kişisel görüşme. 27 Temmuz, İzmit.
- Bretzke, W.R., Barkawi, K.** (2013). Sustainable Logistic Responses to a Global Challenge. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013, ISBN 978-3-642-34374-2 e-ISBN 978-3-642-34375-9, DOI 10.1007/978-3-642-34375-9.
- Buclet, N., Godard, O. (Eds.)** (2000). Municipal Waste Management in Europe: A Comparative Study in Building Regimes. *Municipal Waste Management in Italia*, Springer Netherlands, Springer Science & Business Media, eBook ISBN 978-94-015-9476-9, DOI 10.1007/978-94-015-9476-9, pp 159-168.
- Burnard, M., Tavzes, Č., Tošić, A., Brodnik, A., Kutnar, A.** (2015). The role of reverse logistics in recycling of wood products, *S.S. Muthu (ed.), Environmental*

Implications of Recycling and Recycled Products, Environmental Footprints and Eco-design of Products and Processes, Hong Kong, sayfa: 1-30. DOI 10.1007/978-981-287-643-0_1

- Camm, F.** (2001), Environmental management in proactive commercial firms. (Rapor) MR-1038-0SD, RAND.
- Cardoso, S. R., Barbosa-Povoa, A. P., Relvas, S.** (2013). Design and planning of supply chains with integration of reverse logistics activities under demand uncertainty, *European Journal of Operational Research* 226, 436-451.
- Chen, H., He, H.** (2010), Reverse logistics demand forecasting under demand uncertainty, *ICLEM 2010: Logistics for Sustained Economic Development*, Chengdu, China, October 8-10, 2010.
- Clotey, T., Benton, W. C. Jr., Srivastava, R.** (2012). Forecasting product returns for remanufacturing operations, *Decision Sciences*, 43 (4), 589-614.
- Council of Logistics Management (CLM)** (1999), *1999 Membership Roster*, Bylaws, Article I, Council of Logistics Management, Oak Brook, (p.506)
- Cox, J.F., Blackstone, J.H. & Spencer, M.S. (Eds)** (1995). *APICS Dictionary* (8th ed.), American Production and Inventory Control Society, Falls Church, VA.
- De Brito, M. P. ve Dekker, R.** (2004). A framework For Reverse Logistics. In Dekker R., Fleischmann M., Inderfurth K., Wassenhove LN van (Eds.), *Reverse Logistics: Quantitative Models for Closed-Loop Supply Chains*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, sayfa: 1 – 27.
- Dekker, R., Fleischmann, M., Inderfurth, K., Van Wassenhove, Luk N.,** (2004). Reverse Logistics Quantitative Models for Closed-Loop Supply Chains, ISBN 978-3-540-24803-3 (eBook) DOI 10.1007/978-3-540-24803-3
- Dhib, S., Loukil, T., Addouche, S., Mhamedi, A.** (2013). Selecting configuration of reverse logistics network using sustainability indicators, *IEEE*, 978-1-4673-5814-9/13/\$31.00
- Ellram, L. and Cooper, M.** (1993). Characteristics of supply chain management and the implications for purchasing and logistics strategy, *International Journal of Logistics Management*, 4 (2), 1-10.
- Entezaminia, A., Heidari, M., Rahmani, D.** (2017). Robust aggregate production planning in a green supply chain under uncertainty considering reverse logistics: a case study, *Int. J. Adv. Manuf. Technology* 90, 1507-1528.
- European Commission, Research & Innovation, Circular Process for Eco-Designed Bulky Products and Internal Car Parts.** (2016). Horizon 2020, Ecobulk. Call: H2020-IND-CE-2016-17 (*Industry 2020 in the Circular Economy*), 06/09/2016, Brussels.
- FAO** (2018). Food and Agriculture Organization of the United Nations, Forestry Production and Trade: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/FO>, erişim tarihi: 03.03.2018
- Fleischmann, M.** (2000). Quantitative models for reverse logistics (Doktora tezi). Erasmus University, Faculty of Business Administration, Rotterdam.

- Garcia, R., Freire, F.** (2014). Carbon footprint of particleboard: a comparison between ISO/TS 14067, GHG Protocol, PAS 2050 and Climate Declaration, *Journal of Cleaner Production* 66, 199-209.
- Genchev, E. S.** (2009). Reverse logistics program design: A company study. *Business Horizons*, 52, 139-148.
- Gheorghe, C., Radu, R.** (2014). Reverse logistics in Romania, a point of view of electrical and electronic products retailers, *Proceedings of the Fourth Review of Management and Economic Engineering International Management Conference*, (pp. 377-384). Romania: Technical University of Cluj-Napoca, September 18-20.
- Gök, Ü., Serin, Z.** (2015). Kastamonu Entegre Ağaç Sanayi Ve Ticaret A. Ş'nin Ahşap Esaslı Levha Üretiminde Türkiye ve Dünya'daki Konumu, *Selçuk-Teknik Dergisi* 14 (2), 530-538.
- Görçeliöglü, E.** (1999). Kent ormanları ve iklim değişmesi, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, Seri B, Cilt: 49, Sayı: 1-2-3-4*.
- Görücü, Ö., Eker, Ö.** (2009). Kahramanmaraş Ayvalı Baraj Havzasında karbon emisyonu ve ekonomisi üzerine araştırmalar, *II. Ormanlıkta Sosyo-Ekonomik Sorunlar Kongresi*, 19-21 Şubat 2009, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- Guide, Jr. V. Daniel R., Teunter, Ruud H., Van Wassenhove Luk N.** (2003). Matching demand and supply to maximize profits from remanufacturing, *Manufacturing & Service Operations Management*, 5 (4), 303-316
- Guide, Jr. V.D.R. and Van Wassenhove, L.N.** (2003). Business Aspects of Closed Loop Supply Chains, Carnegie Bosch Institute International Management Series. Volume 2, Carnegie Mellon University Press, Pittsburgh, PA.
- Guide, Jr. V.D.R. and Van Wassenhove, L.N.** (2009). The evolution of closed-loop supply chain research. *Operations Research*, 57 (1), 10-18.
- Güleş, H.K., Paksoy, T., Bülbül, H., Özceylan, E.** (2012). Tedarik Zinciri Yönetimi Stratejik Planlama, Modelleme, ve Optimizasyon. Genişletilmiş 2. Baskı, Ankara, Gazi Kitabevi. ISBN: 987-605-5804-36-7
- Hall, Dianne J., Huscroft, Joseph R., Hazen, Benjamin T., Hanna, Joe B.** (2013). Reverse logistics goals, metrics, and challenges: perspectives from industry, *The International Journal of Logistics Management*, 43 (9), 768-785.
- Hanafi, J., Kara, S. Kaebernick, H.,** (2008). Reverse logistics strategies for end-of-life products, *The International Journal of Logistics Management*, 19 (3), 367-388.
- Hillegersberg, J., Zuidwijk, R., Van Nunen, J. and Eijk, D.** (2001). Supporting return flows in the supply chain, *Communications of the ACM, June, vol.44, no.6*, 74-79.
- Hussaina, M., Malikb, R. N., Taylor, A.** (2017). Carbon footprint as an environmental sustainability indicator for the particleboard produced in Pakistan, *Environmental Research* 155 (1), 385–393

- İstanbul Ticaret Odası** (2006), *Türkiye Lojistik Sektörü Altyapı Analizi* (Yayın No: 2006-14), İstanbul.
- İstek, A., Özlüsoylu, İ., Kızılkaya, A.** (2017). Türkiye Ahşap Esaslı Levha Sektör Analizi, *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 19(1) 132-138, DOI: 10.24011/barofd.297231.
- Jung, K. S., Dawande, M., Geismar, H. N., Guide V. D. R. Jr, Sriskandarajah, C.** (2016). Supply planning models for a remanufacturer under just-in time manufacturing environment with reverse logistics, *Ann. Oper. Research*, 240, 533-581.
- Kaya, O., Bağcı, F., Türkay, M.** (2014). Planning of capacity, production and inventory decisions in a generic reverse supply chain under uncertain demand and returns, *International Journal of Production Research*, 52 (1), 270-282.
- Keskin, M. H.** (2012). Lojistik ve Tedarik Zinciri Yönetimi. 5. Basım, Ankara, Nobel Yayıncılık. ISBN: 978-605-5426-36-1
- Kılıç, H.S., Cebeci, U., Ayhan, M.B.,** (2015). Reverse logistics system design for the waste of electrical and electronic equipment (WEEE) in Turkey, *Resources, Conservation and Recycling* 95 (2015), 120-132.
- Kim, J., Lee, D.** (2015). An integrated approach for collection network design, capacity planning and vehicle routing in reverse logistics, *Journal of the Operational Research Society* 66, 76-85.
- Krapp, M., Nebel, J., Sahamie, R.** (2013). Forecasting product returns in closed-loop supply chains, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 43 (8), 614-637.
- Kumar, S. and Putnam, V.** (2008). Cradle To cradle: Reverse logistics strategies and opportunities across three industry sectors, *Int. J. Production Economics*, 115, 305-315.
- Krumwiede, D.W., Sheu, C.** (2002). A model of reverse logistics entry by third-party providers, *The International Journal of Management Science, Omega* 30, 325-333.
- Lau, K. H., Wang, Y.** (2009). Reverse logistics in the electronic industry of china: A case study, *Supply Chain Management: An International Journal* 14 (6), 447-465
- Lineback, N, Dellinger, T., Shienvold, L., Witcher, B., Reynolds, A., Brown, L.** (1999). Industrial greenhouse gas emissions: Does CO2 from combustion of biomass residue for energy really matter?, *Climate Research*, Vol. 13: 221–229, 1999.
- Lummus, Rhonda R., Vokurka, Robert J.** (1999). Defining supply chain management: a historical perspective and practical guidelines, *Industrial Management & Data Systems*, 99, 11-17.
- McGrath, M.** (2014). Karbondioksit seviyeleri rekor hızda artıyor, *BBC News Türkçe*, 9 Eylül 2014 http://www.bbc.com/turkce/ozeldosyalar/2014/09/140909_seragazi_bulten, erişim tarihi: 01.11.2017.

- Metin, H.** (2017). Kişisel görüşme. 30 Haziran, İstanbul.
- Nazlı, A.** (2009). Karbon borsası para basabilir, *Turkishtime* (98), Kasım 2009.
- Norman, L., Sumner, W.** (2006, Fall). The six hidden costs of reverse logistics. *Reverse Logistics Magazine*. Erişim <http://www.reverselogisticstrends.com/rlmagazine/edition04p14.php>
- ORSİAD** (2013). Yonga Levha Sanayicileri Derneği Başkanı Ahmet Kahraman Sektör Hakkında Önemli Açıklamalarda Bulundu, *ORSİAD Orman Sanayi İşadamları Gazetesi*, 31.10.2013.
- ORSİAD** (2015). ORSİAD FORUMU 2015: MDF ve Yonga Levha Sanayicileri Derneği adına, Divapan Genel Müdürü, Sn. Hakan Zengin'in Konuşma Dökümü, *ORSİAD Orman Sanayi İşadamları Gazetesi*, 25.10.2015.
- Pan, J., Tao, Y., Lee, L.H., Chew, E.P.** (2015). Production planning and inventory control for a two-product recovery system, *IIE Transactions* (2015) 47, 1242-1362.
- Potdar, A., Rogers, J.** (2010). Methodology to forecast product returns for the consumer electronics industry, *IEEE*, , 978-1-890843-21-0/10/\$26.00
- Prakash, C., Barua, M., Pandya, K.** (2015). Barriers analysis for reverse logistics implementation in Indian electronic industry using fuzzy analytic hierarchy process, *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 189 (2015), 91-102.
- Rogers, D.S. and Tibben-Lembke, R.** (2001). An examination of reverse logistics practices, *Journal of Business Logistics*, 22(2), 129-148.
- Rogers, D.S., Tibben-Lembke, R.S.** (2002). Differences between forward and reverse logistics in a retail environment, *Supply Chain Management: An International Journal*, 7 (5), 271-282.
- Rogers, D.S., Melemed, B., Tibben-Lembke, R.S.** (2012). Modeling and analysis of reverse logistics, *Journal of Business Logistics*, 33(2), 107-117.
- Salman, S.** (2001). Levha Sanayii Sektör Raporu, *T.C. Başbakanlık Dış Ticaret Müsteşarlığı Orta Anadolu İhracatçı Birlikleri Genel Sekreterliği Ar-Ge Şubesi*, Mart, 2001.
- Saravia-Cortez, A.M., Herva, M., García-Diéguez, C., Roca, E.** (2013). Assessing environmental sustainability of particleboard production process by ecological footprint, *Journal of Cleaner Production*, 52 (1), 301-308.
- Şen, L.** (2017). Kişisel görüşme. 09 Eylül, 21 Eylül, 27 Eylül, İstanbul.
- Shih, L.** (2001). Reverse logistics system planning for recycling electrical appliances and computers in Taiwan, *Resources, Conservation and Recycling* 32 (2001), 55-72.
- Simpson JA, Weiner ESC.** (1989). *The Oxford English Dictionary*. Oxford: Clarendon Press.
- Soleimani, H., Govindan, K.** (2014). Reverse logistics network design and planning utilizing conditional value at risk, *European Journal of Operational Research* 237, 487-497.

- Şengül, Ü.** (2011). Tersine lojistik kavramı ve tersine lojistik ağ tasarımı, *Atatürk Üniversitesi, İİBF Dergisi*, 10. Ekonometri ve İstatistik Sempozyumu Özel Sayısı, 407-429
- Taskhiri, M. S., Garbs, M., Geldermann, J.** (2016). Sustainable logistics network for wood flow considering cascade utilization, *Journal of Cleaner Production*, 110, 25-39.
- Tatar, O.** (2012). Karbon ayak izi ve uluslararası karbon ticareti, *Dünya Çevre Günü Etkinlikleri*, Yaşar Üniversitesi sunumu.
- T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (ÇŞB)** (2016). Sektörel Atık Klavuzları: Ağaç, Ağaç Ürünleri ve Mobilya İmalatı, Ankara.
- Temur, G., Balcılar, M., Bolat, B.** (2014). A fuzzy expert system design for forecasting return quantity in reverse logistics network, *Journal of Enterprise Information Management*, 27(3), 316-328.
- Thierry, M., Salomon, M., Nunen, V. J. ve Wassenhove, V. L.** (1995). Strategic issues in product recovery management, *California Management Review*, 37(2), 114-135.
- TOBB** (2015). Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği Türkiye Orman Ürünleri Meclisi Sektör Raporu 2015, <https://www.tobb.org.tr/Documents/yayinlar/2015/T%C3%9CRK%C4%B0YE%20ORMAN%20%C3%9CR%C3%9CNLER%C4%B0%20SEKT%C3%96R%20MECL%C4%B0S%C4%B0%20RAPORU%202015.pdf>, erişim tarihi: 03.03.2018
- TÜİK** (2017). Türkiye İstatistik Kurumu Haber Bülteni, *Seragazi Emisyon İstatistikleri*, 1990-2015, Sayı: 24588, 17 Nisan 2017 <http://www.tuik.gov.tr>, erişim tarihi: 01.10.2017.
- Türe, Cengiz** (2011). Karbon Borsası, *Solar Academy İnternet Sayfası*, 2011, <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S161713811000004X>, erişim tarihi: 01.04.2018.
- UNECE/FAO** (United Nations Economic Commission for Europe/Food and Agriculture Organization), (2005). European Forest Sector Outlook Study 1960e2000e2020 Main Report. United Nations Publications. ECE/TIM/SP/20, Geneva. <http://www.fao.org/docrep/008/ae428e/ae428e00.htm>, erişim tarihi: 10.10.2017.
- Yanık, S.** (2015). Reverse logistics network design under the risk of hazardous materials transportation, *Human and Ecological Risk Assessment*, 21, 1277-1298
- Wang, Y., Yu, J., Wang, Y.** (2013). Reverse logistics practices: A survey in electronic industry in Guangdong province of China, DOI: 10.1007/978-3-642-34651-4_97, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Chapter 97.
- James B. Wilson, J.B.** (2010). Life-cycle inventory of particleboard in terms of resources, emissions, energy and carbon, *Wood and Fiber Science*, 42(CORRIM Special Issue), pp. 90–106.

Xiaofeng, X., Tijun, F. (2009). Forecast for the amount of returned products based on wave function, *2009 Internaitonal Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering*, 26 Dec - 27 Dec 2009, TBD Xi'an, China.

Zeballos, L. J., Mendez, C. A., Barbosa-Povoa, A.P. (2016). Design and planning of closed loop supply chains: A risk averse multistage stochastic approach, *Industrial & Engineering Chemistry Research* 55, 6236-6249.

Zhou, L., Xie, J., Gu, X., Lin, Y., Ieromonachou, P., Zhang, X. (2016). Forecasting return of used products for remanufacturing using Graphical Evaluation and Review Technique (GERT), *Int. J. Production Economics* 181, 315-324.

Url-1 <<https://goo.gl/SF673K>>, erişim tarihi 29.08.2017.

Url-2 <<http://www.globalfootprints.org/sustainability>>, erişim tarihi 12.10.2017.

Url-3 <<https://goo.gl/uaQ8BQ>>, erişim tarihi 03.10.2017.

Url-4 <<http://www.rilegno.org/i-numeri/>>, erişim tarihi 12.11.2017.

Url-5 <<http://www.rilegno.org/filiera-rilegno/consorziati/>>, erişim tarihi 12.11.2017.

Url-6 <<https://goo.gl/T9nYs2>>, erişim tarihi 14.11.2017.

Url-7 <<https://goo.gl/qVxsQy>>, erişim tarihi 14.11.2017.

Url-8 <<https://goo.gl/36XVbT>>, erişim tarihi 14.11.2017.

Url-9 <<https://goo.gl/Fw6XY3>>, erişim tarihi 20.11.2017.

Url-10 <<https://goo.gl/PBUA6T>>, erişim tarihi 20.11.2017.

Url-11 <<https://goo.gl/6cJhLh>>, erişim tarihi 20.11.2017.

Url-12 <<https://goo.gl/IWWkFy>>, erişim tarihi 24.11.2017.

Url-13 <<https://goo.gl/ZGw5PR>>, erişim tarihi 24.11.2017.

Url-14 <<https://goo.gl/XQoT8y>>, *Dünya gazetesi 29 Ağustos 2014*, erişim tarihi 24.11.2017.

Url-15 <<https://goo.gl/J6XuNi>>, *Kadıköy belediyesi Atık yönetimi çevre platformu İklim değişikliği*, erişim tarihi 24.11.2017.

Url-16 <<https://goo.gl/LZJPvY>>, *Çüngüşlü Petrol Ürünleri San. Ve Tic. Ltd. Şti.*, erişim tarihi 25.01.2018.

Url-17 <<https://goo.gl/zcFh4c>>, erişim tarihi 03.03.2018.

Url-18 <<https://vertis.com/en>>, erişim tarihi 01.04.2018.

Url-19 <<https://goo.gl/xEwNzL>>, erişim tarihi 03.04.2018.



EKLER

EK A: Mesafe Matrisleri

Çizelge A.1 : Tüm şehirlerin satış paylarına göre seçilen 13 ile mesafesi.



İl Adı	ADANA	ANKARA	BOLU	BURSA	ÇANAKKALE	İSTANBUL	İZMİR	KAYSERİ	KOCAELİ	KONYA	KÜTAHYA	SAMSUN	KIRIKKALE	Toplam Km
ANKARA	490	-	191	384	655	453	579	318	342	258	311	414	75	4.470
ESKİŞEHİR	686	233	290	151	422	324	411	540	213	336	78	647	308	4.639
BOLU	677	191	-	273	544	262	598	509	151	445	320	472	266	4.708
DÜZCE	722	236	45	228	499	217	553	554	106	490	275	517	311	4.753
SAKARYA	791	305	114	159	430	148	484	623	37	512	206	586	380	4.775
BİLECİK	768	315	213	95	366	247	420	622	136	418	112	685	390	4.787
KIRIKKALE	475	75	266	459	730	528	654	247	417	253	386	339	-	4.829
KÜTAHYA	673	311	320	173	424	354	333	618	243	323	-	725	386	4.883
KOCAELİ	828	342	151	132	399	111	453	660	-	549	243	623	417	4.908
AFYON	573	256	420	273	524	454	327	521	343	223	100	670	331	5.015
BURSA	837	384	273	-	271	243	325	691	132	487	173	745	459	5.020
YALOVA	893	407	216	69	336	176	390	725	65	547	241	688	482	5.235
ÇANKIRI	576	131	235	508	779	497	710	348	386	354	442	328	105	5.399
KONYA	356	258	445	487	747	660	550	304	549	-	323	592	253	5.524
KIRŞEHİR	375	184	375	557	828	637	752	134	526	258	484	392	113	5.615
UŞAK	689	368	459	311	425	493	211	637	382	339	139	782	443	5.678
KARABÜK	701	215	134	407	678	396	732	533	285	469	454	412	290	5.706
ZONGULDAK	754	268	159	342	613	331	667	586	220	522	389	549	343	5.743
AKSARAY	265	225	412	594	865	674	692	156	563	148	465	502	210	5.771
İSTANBUL	939	453	262	243	320	-	564	771	111	660	354	734	528	5.939
YOZGAT	473	216	407	600	871	669	795	175	558	370	527	280	141	6.082
BALIKESİR	897	533	424	151	200	390	176	840	279	547	224	896	608	6.165
NEVŞEHİR	287	275	466	648	919	728	767	81	617	223	540	468	204	6.223
ÇORUM	579	242	352	625	896	614	821	281	503	420	553	172	167	6.225
KASTAMONU	690	245	248	521	792	510	824	462	399	468	556	298	219	6.232
BARTIN	769	283	174	431	702	420	756	601	309	537	478	481	358	6.299
İSPARTA	616	421	561	414	596	595	382	564	484	264	241	801	462	6.401
BURDUR	666	422	562	415	597	596	374	614	485	315	242	836	497	6.621
KARAMAN	289	369	556	600	860	773	663	303	662	119	436	703	364	6.697
KAYSERİ	333	318	509	691	962	771	848	-	660	304	618	453	247	6.714
NİĞDE	205	348	535	717	983	797	786	128	686	242	559	546	286	6.818
MANİSA	884	563	563	290	331	529	35	832	418	534	317	977	638	6.911
DENİZLİ	760	475	605	434	485	639	224	708	528	410	285	889	550	6.992
AMASYA	611	334	409	682	953	671	913	348	560	512	645	131	259	7.028
İZMİR	900	579	598	325	326	564	-	848	453	550	333	993	654	7.123
TEKİRDAĞ	1.071	585	394	375	188	132	506	903	243	792	486	866	660	7.201
ÇANAKKALE	1.097	655	544	271	-	320	326	962	399	747	424	1.016	730	7.491
ANTALYA	558	544	684	537	705	718	444	618	607	322	364	906	567	7.574
TOKAT	499	378	523	762	1.033	785	957	265	674	556	689	230	303	7.654
SAMSUN	729	414	472	745	1.016	734	993	453	623	592	725	-	339	7.835
AYDIN	883	598	718	445	450	684	126	831	573	533	408	1.012	673	7.934
SİNOP	846	414	420	693	964	682	993	548	571	637	725	163	388	8.044
KIRKLARELİ	1.150	664	473	436	233	211	551	982	322	871	565	945	739	8.142
SİVAS	429	440	629	824	1.095	891	1.019	195	780	499	751	338	365	8.255
EDİRNE	1.169	683	492	419	216	230	534	1.001	341	890	584	964	758	8.281
ADANA	-	490	677	837	1.097	939	900	333	828	356	673	729	475	8.334
MERSİN	69	483	670	829	1.089	932	892	326	821	348	665	744	468	8.336
MUĞLA	869	620	750	544	549	783	225	853	672	555	430	1.034	695	8.579
OSMANİYE	87	577	764	924	1.184	1.026	987	375	915	443	760	747	562	9.351
ORDU	718	566	624	897	1.168	886	1.145	484	775	744	877	152	491	9.527
MARAŞ	189	591	782	964	1.235	1.044	1.089	273	933	545	862	645	520	9.672
GİRESUN	727	610	668	941	1.212	930	1.189	493	819	788	921	196	535	10.029
GAZİANTEP	209	671	862	1.044	1.306	1.124	1.109	353	1.013	565	882	725	600	10.463
HATAY	191	681	868	1.028	1.288	1.130	1.091	449	1.019	547	864	821	666	10.643
MALATYA	392	659	850	1.032	1.303	1.112	1.189	341	1.001	645	959	585	588	10.656
ERZİNCAN	677	684	776	1.049	1.320	1.038	1.263	443	927	747	995	446	609	10.974
KİLİS	246	730	921	1.083	1.343	1.183	1.146	412	1.072	602	919	784	659	11.100
ADIYAMAN	333	755	946	1.128	1.399	1.208	1.233	437	1.097	689	1.006	752	684	11.667
GÜMÜŞHANE	786	752	831	1.104	1.375	1.093	1.331	552	982	856	1.063	359	677	11.761
TRABZON	852	747	805	1.078	1.349	1.067	1.326	618	956	922	1.058	333	672	11.783
ELAZIĞ	490	757	948	1.130	1.401	1.210	1.287	439	1.099	743	1.057	665	686	11.912
BAYBURT	808	774	866	1.139	1.410	1.128	1.353	574	1.017	878	1.085	437	699	12.168
ŞANLIURFA	346	808	999	1.181	1.443	1.261	1.246	490	1.150	702	1.019	836	737	12.218
TUNCELİ	626	815	907	1.180	1.451	1.169	1.394	574	1.058	878	1.126	577	740	12.495
RİZE	927	822	880	1.153	1.424	1.142	1.401	693	1.031	997	1.133	408	747	12.758
ERZURUM	808	874	966	1.239	1.510	1.228	1.453	633	1.117	937	1.185	562	799	13.311
BİNGÖL	632	899	1.049	1.272	1.543	1.311	1.429	581	1.200	885	1.199	719	828	13.547
DİYARBAKIR	522	910	1.101	1.283	1.554	1.363	1.422	592	1.252	878	1.195	818	839	13.729
MARDİN	534	996	1.187	1.369	1.631	1.449	1.434	678	1.338	890	1.207	913	925	14.551
ARTVİN	1.034	981	1.039	1.312	1.583	1.301	1.560	851	1.190	1.155	1.292	567	906	14.771
MUŞ	742	1.009	1.159	1.382	1.653	1.421	1.539	691	1.310	995	1.309	825	938	14.973
BATMAN	618	1.010	1.201	1.383	1.654	1.463	1.518	692	1.352	974	1.291	916	939	15.011
AĞRI	965	1.055	1.147	1.420	1.691	1.409	1.634	814	1.298	1.118	1.366	743	980	15.640
ARDAHAN	1.038	1.090	1.148	1.421	1.692	1.410	1.669	855	1.299	1.159	1.401	676	1.015	15.873
KARS	1.011	1.074	1.166	1.439	1.710	1.428	1.653	833	1.317	1.137	1.385	762	999	15.914
BİTLİS	731	1.092	1.242	1.465	1.736	1.504	1.622	774	1.393	1.078	1.392	908	1.021	15.958
SİİRT	705	1.097	1.288	1.470	1.741	1.550	1.605	779	1.439	1.061	1.378	1.003	1.026	16.142
ŞIRNAK	717	1.179	1.370	1.552	1.814	1.632	1.617	861	1.521	1.073	1.390	1.098	1.108	16.932
İĞDIR	1.068	1.165	1.257	1.530	1.801	1.519	1.744	924	1.408	1.228	1.476	853	1.090	17.063
VAN	899	1.232	1.377	1.605	1.876	1.639	1.762	914	1.528	1.218	1.532	973	1.161	17.716
HAKKARİ	906	1.368	1.554	1.741	2.003	1.816	1.806	1.050	1.705	1.262	1.579	1.175	1.297	19.262

Çizelge A.2 : Tüm illerin, üretim tesisi bulunan şehirlere mesafesi.

İl Adı	ADANA	BALIKESİR	MERSİN	KASTAMONU	KOCAELİ	SAMSUN	Toplam Km
ANKARA	490	533	483	245	342	414	2.507
KIRIKKALE	475	608	468	219	417	339	2.526
ÇANKIRI	576	659	569	114	386	328	2.632
BOLU	677	424	670	248	151	472	2.642
KIRŞEHİR	375	706	368	328	526	392	2.695
AKSARAY	265	689	258	425	563	502	2.702
DÜZCE	722	379	715	293	106	517	2.732
KASTAMONU	690	672	683	-	399	298	2.742
KARABÜK	701	558	694	114	285	412	2.764
ÇORUM	579	775	572	195	503	172	2.796
YOZGAT	473	749	466	299	558	280	2.825
NEVŞEHİR	287	764	280	419	617	468	2.835
KONYA	356	547	348	468	549	592	2.860
SAKARYA	791	310	784	362	37	586	2.870
NİĞDE	205	783	198	501	686	546	2.919
KOCAELİ	828	279	821	399	-	623	2.950
AFYONKARAHİSAR	573	324	565	501	343	670	2.976
ESKİŞEHİR	686	300	678	478	213	647	3.002
AMASYA	611	833	639	252	560	131	3.026
ZONGULDAK	754	493	747	272	220	549	3.035
BİLEÇİK	768	246	760	461	136	685	3.056
KAYSERİ	333	840	326	462	660	453	3.074
KÜTAHYA	673	224	665	556	243	725	3.086
BARTIN	769	582	762	183	309	481	3.086
KARAMAN	289	660	235	579	662	703	3.128
MERSİN	69	889	-	683	821	744	3.206
YALOVA	893	216	886	464	65	688	3.212
ADANA	-	897	69	690	828	729	3.213
BURSA	837	151	829	521	132	745	3.215
TOKAT	499	911	568	366	674	230	3.248
SAMSUN	729	896	744	298	623	-	3.290
UŞAK	689	225	681	613	382	782	3.372
SİNOP	846	844	839	183	571	163	3.446
SİVAS	429	973	498	472	780	338	3.490
ISPARTA	616	396	587	666	484	801	3.550
İSTANBUL	939	390	932	510	111	734	3.616
BALIKESİR	897	-	889	672	279	896	3.633
BURDUR	666	397	611	667	485	836	3.662
OSMANIYE	87	984	156	777	915	747	3.666
KAHRAMANMARAŞ	189	1.086	258	735	933	645	3.846
ANTALYA	558	505	489	782	607	906	3.847
DENİZLİ	760	285	709	720	528	889	3.891
ORDU	718	1.048	787	450	775	152	3.930
MANİSA	884	141	876	808	418	977	4.104
GİRESUN	727	1.092	796	494	819	196	4.124
GAZİANTEP	209	1.106	278	815	1013	725	4.146
İZMİR	900	176	892	824	453	993	4.238
HATAY	191	1.088	260	881	1019	821	4.260
TEKİRDAĞ	1.071	380	1.064	642	243	866	4.266
MALATYA	392	1.181	461	719	1001	585	4.339
KİLİS	246	1.143	315	874	1072	784	4.434
AYDIN	883	296	831	843	573	1.012	4.438
ÇANAKKALE	1.097	200	1.089	792	399	1.016	4.593
ERZİNCAN	677	1.200	746	619	927	446	4.615
MUĞLA	869	395	800	865	672	1.034	4.635
ADİYAMAN	333	1.230	402	886	1097	752	4.700
KIRKLARELİ	1.150	425	1.143	721	322	945	4.706
EDİRNE	1.169	408	1.162	740	341	964	4.784
ELAZIĞ	490	1.279	559	799	1099	665	4.891
GÜMÜŞHANE	786	1.255	855	657	982	359	4.894
TRABZON	852	1.229	921	631	956	333	4.922
ŞANLIURFA	346	1.243	415	952	1150	836	4.942
TUNCELİ	626	1.331	695	750	1058	577	5.037
BAYBURT	808	1.290	877	709	1017	437	5.138
RİZE	927	1.304	996	706	1031	408	5.372
DİYARBAKIR	522	1.419	591	952	1252	818	5.554
ERZURUM	808	1.390	877	809	1117	562	5.563
BİNGÖL	632	1.421	701	892	1200	719	5.565
MARDİN	534	1.431	603	1.047	1338	913	5.866
BATMAN	618	1.515	687	1.052	1352	916	6.140
MUŞ	742	1.531	811	1.002	1310	825	6.221
ARTVİN	1.034	1.463	1.103	865	1190	567	6.222
BİTLİS	731	1.614	800	1.085	1393	908	6.531
AĞRI	965	1.571	1.034	990	1298	743	6.601
SİİRT	705	1.602	774	1.139	1439	1.003	6.662
ARDAHAN	1.038	1.572	1.107	974	1299	676	6.666
KARS	1.011	1.590	1.080	1.009	1317	762	6.769
ŞIRNAK	717	1.614	786	1.234	1521	1.098	6.970
İĞDIR	1.068	1.681	1.137	1.100	1408	853	7.247
VAN	899	1.754	968	1.220	1528	973	7.342
HAKKARİ	906	1.803	975	1.397	1705	1.175	7.961

Çizelge A.3 : Üretim tesislerinin, satış paylarına göre seçilen 13 ile mesafesi.

İl Adı	ANKARA	KIRIKKALE	BOLU	KONYA	KOCAELİ	KAYSERİ	KÜTAHYA	ADANA	BURSA	SAMSUN	İSTANBUL	İZMİR	ÇANAKKALE	Toplam Km
KOCAELİ	342	417	151	549	-	660	243	828	132	623	111	453	399	4908
BALIKESİR	533	608	424	547	279	840	224	897	151	896	390	176	200	6165
KASTAMONU	245	219	248	468	399	462	556	690	521	298	510	824	792	6232
SAMSUN	414	339	472	592	623	453	725	729	745	0	734	993	1016	7835
ADANA	490	475	677	356	828	333	673	0	837	729	939	900	1097	8334
MERSİN	483	468	670	348	821	326	665	69	829	744	932	892	1089	8336

ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Zahide Özden CEYLAN
Doğum Tarihi ve Yeri : 12.09.1991 - Bakırköy
E-posta : zahideozdenceylan@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2009-2014, Marmara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği
- **Yüksek Lisans** : 2015- , İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Endüstri Mühendisliği Programı

MESLEKİ DENEYİM:

- 2014-2015 yılları arasında SAP danışmalığı (İnsan Kaynakları & Üretim Planlama).
- 2015 yılında Talep Planlama (Anadolu Cam A.Ş.)
- 2016 yılı itibari ile Üretim Planlama (Kastamonu Entegre Ağaç Sanayii A.Ş.)