



T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

NESNELERİN İNTERNETİ İLE KAPALI DÖNGÜ TEDARİK ZİNCİRİ OPTİMİZASYONU: YENİ BİR MODEL ÖNERİSİ

Belkız TORĞUL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Aralık-2015
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

NESNELERİN İNTERNETİ İLE KAPALI DÖNGÜ TEDARİK ZİNCİRİ OPTİMİZASYONU: YENİ BİR MODEL ÖNERİSİ

Belkız TORĞUL

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Turan PAKSOY

2015, 65 Sayfa

Jüri
Prof. Dr. Turan PAKSOY
Prof. Dr. Ahmet PEKER
Yrd. Doç. Dr. Kemal ALAYKIRAN

Üretim ve dağıtım işlemlerinin gerçekleştirildiği ileri lojistik zinciri ile tersine lojistik faaliyetlerinin bütünleşmesi sonucu oluşan yapılar kapalı döngü tedarik zinciri (KDTZ) olarak bilinmektedir. Son yıllarda giderek artan çevresel-finansal sorunlar, kısıtlı enerji kaynakları ve yasal mevzuatlar doğrultusunda kapalı döngü tedarik zinciri yönetiminin önemi artmaktadır. Ancak, KDTZ'nin tersine lojistik kısmı, içerdiği belirsizlikler sebebi ile tahminler, planlamalar ve kontroller yapılması daha zor bir akış türüdür. Bu aşamada nesnelerin interneti sistemi geri dönen ürünlerin tüm yaşam bilgilerini sağlayarak ilgili belirsizlikleri azaltır ve tersine akış faaliyetlerinin planlanmasını büyük ölçüde hafifletir. Bu çalışmada satış ve toplama merkezi taleplerini sıfır, tamir edilmiş ve yeniden üretilmiş ürünlerle karşılayan kapalı döngü bir tedarik zinciri ele alınmıştır. İmalatçı, geri dönüşleri değerlendirmek üzerine tamir (repair), komple demontaj (disassembly) ve bertaraf (disposal) olmak üzere üç seçeneğe sahiptir. Tamamen modüler olan tek tip bir ürün (otomobil, bilgisayar, telefon vb) için müşterinin dönem bazında ürün ve bileşen taleplerini karşılayan, satış gelirleri ile toplam üretim, satın alma, taşıma ve atık giderlerinin farkından oluşan karı maksimize eden ve tüm geri dönüşlerin nasıl değerlendirileceğini belirleyen bir karma tamsayılı doğrusal programlama modeli önerilmiştir. Önerilen model sayısal bir örnek yardımıyla GAMS paket programında çözülerek doğrulanmış ve yapılan test problemlerinden elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Geri dönen ürün yönetimi, Kapalı döngü tedarik zinciri optimizasyonu, Karma tamsayılı doğrusal programlama, Nesnelerin interneti.

ABSTRACT

MS THESIS

CLOSED LOOP SUPPLY CHAIN OPTIMIZATION WITH INTERNET OF THINGS: A NEW MODEL PROPOSAL

Belkız TORĞUL

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN INDUSTRIAL ENGINEERING

Advisor: Prof. Dr. Turan PAKSOY

2015, 65 Pages

Jury
Prof. Dr. Turan PAKSOY
Prof. Dr. Ahmet PEKER
Asst. Prof. Dr. Kemal ALAYKIRAN

Closed loop supply chain (CLSC) optimization is known as structures resulting from the integration of forward and reverse logistics activities which the production and distribution process is carried. The importance of the closed loop supply chain management is increasing by legal regulations, limited energy resources and environmental- financial problems that growing in recent years. However, reverse logistics part of the CLSC is a flow type which is more difficult to made predictions, planning and controls by reason contained uncertainties. This stage, Internet of Things system reduces related uncertainties by providing all the life information of the returned product and substantially attenuate the planning of reverse flow activities. In this study, a CLSC is considered that meets demands of the sales&collection center both new and the remanufactured product. Manufacturer has three options (refurbishing, disassembly and disposal) to assessing returned products. A mixed integer linear programming model is proposed for a single type of product is completely modular (automobile, computer, telephone, etc.). The model meets customer's products and components demands based period, maximizes profit consist of different sales revenues and total cost (total production, purchase, transportation and disposal costs) and determines how to evaluate all returned products. The proposed model has been verified with the aid of a numerical example by solving in GAMS software and its performance reviewed with test problems.

Keywords: Closed loop supply chain optimization, Internet of Things, Mixed integer linear programming, Returned product management.

ÖNSÖZ

Çalışmam boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren danışman hocam Prof. Dr. Turan PAKSOY'a ve sayın hocam Doç. Dr. İsmail KARAOĞLAN'a teşekkürü bir borç bilirim.

Belkız TORĞUL
KONYA-2015

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

ÖNSÖZ ..... **vi**

İÇİNDEKİLER ..... **vii**

KISALTMALAR ..... **viii**

1. GİRİŞ **1**

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI **3**

2.1. Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Problemlerine İlişkin Literatür Taraması 3
2.2. Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Problemlerine Nesnelerin İnterneti Sistemi Yaklaşımı 8

3. MATERYAL VE YÖNTEM **11**

3.1. Kapalı Döngü Tedarik Zinciri 11
3.1.1. Kapalı Döngü Tedarik Zincirinin Önemi: 14
3.1.2. TTZ ve KDTZ Ağlarının İTZ Ağlarına Göre Farklılıkları 18
3.1.3. Kapalı Döngü Tedarik Zincirinin Temel İşlemleri 18
3.1.4. TTZ ve KDTZ Ürün Değerlendirme Faaliyetleri 19
3.2. Nesnelerin İnterneti 22
3.2.1. Nesnelerin İnterneti Sistemi 23
3.2.2. Nesnelerin İnterneti Kullanım Alanları 25
3.2.2. Nesnelerin İnterneti Avantaj ve Dezavantajları 31
3.3. Problemin Tanımı 32
3.3.1. Matematiksel Model 34

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA **42**

4.1. Sayısal Örnek 42
4.2. Çözüm 44
4.3. Test Problemleri 46

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER **50**

KAYNAKLAR **52**

ÖZGEÇMİŞ **57**

KISALTMALAR

AB Avrupa Birliği

BA Benders Ayrıştırma

BÇAKTDP Bulanık Çok Amaçlı Karma Tam Sayılı Doğrusal Programlama

BKTDP Bulanık Karma Tam Sayılı Doğrusal Programlama

ÇVSB Çevre ve Şehircilik Bakanlığı

DIOT Device of Internet of Things

Din. P. Dinamik Programlama

DP Doğrusal Programlama

IoT Internet of Things (Nesnelerin İnterneti)

İTZ İleri Tedarik Zinciri

KDTZ Kapalı Döngü Tedarik Zinciri

KTHP Karma Tamsayılı Hedef Programlama

LPP Doğrusal Fiziksel Programlama

RFID Radyo Frekansı Tanımlama

SP Stokastik Programlama

TDP Tam Sayılı Doğrusal Programlama

TTZ Tersine Tedarik Zinciri

TZ Tedarik Zinciri

USO/ISO Uluslararası Standartlar Organizasyonu

1. GİRİŞ

Tedarik zinciri, ürün veya hizmetlerin ürün yaşam döngü süreçlerini kapsayan ve hammaddeden yola çıkıp son müşterinin eline ulaşana kadar geçen operasyonların, bilgi akışının, fiziksel dağıtımının ve alışverişin bütününü içeren bir sistemdir (Lojistik dünyası, 2011). Uzun yıllar, tedarik zinciri yönetiminin ilgilendiği, akış yönünün hammadde kaynağından nihai kullanıcılara doğru olduğu yapılar, ileri tedarik zinciri (İTZ) olarak adlandırılır (Salema ve ark., 2009). Ancak, devlet düzenlemeleri ve müşterilerin çevre bilinci nedeniyle üreticiye geri dönen ürün akışının artması etkili bir ürün kurtarma ağı tasarımını gerekli kılmıştır. Bu ürün kurtarma ağı, kapalı döngü tedarik zinciri (KDTZ) ağı olarak bilinen ileri ve geri akışın bir entegrasyonu ile sağlanmalıdır (Özceylan ve Paksoy 2013). Şekil.1 hem ileri hem de tersine lojistik için genel tedarik zincirini göstermektedir. İleri ve tersine akışlar sırasıyla, düz ve kesikli çizgiler ile gösterilmektedir. Bir diğer genel KDTZ, A. Gupta ve G. W. Evans (2009) verilmiştir.

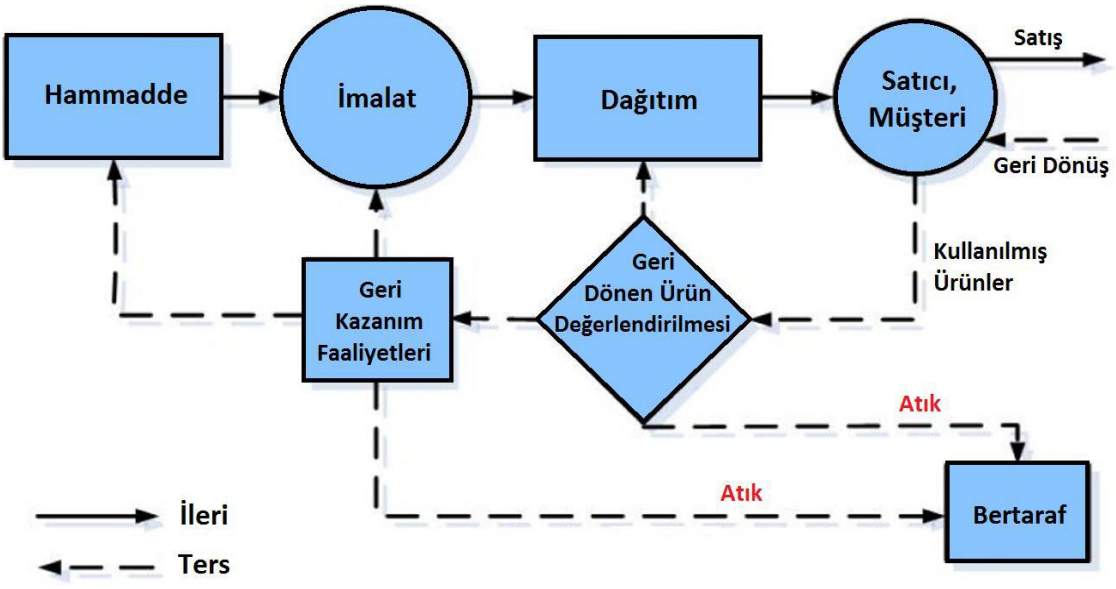
KDTZ ağlarında, ürünlerin sadece üreticiden tüketiciye (montaj süreci) giden doğrusal bir yol izlemesi değil, tüketiciden üreticiye doğru olan bir yolu da (demontaj süreci) kat ederek, döngüyü tamamlaması söz konusudur. Dolayısıyla, tersine tedarik zinciri (TTZ) ve KDTZ'lerin hammadde kaynağı İTZ'lerde olduğu gibi tedarikçiler değil, aksine nihai kullanıcılar veya müşterilerdir (Özceylan, 2013). Kullanılan ürünlerin yeniden üretimi ve piyasaya geri kazandırılması, sadece çevresel ve müşteri yararlarını değil aynı zamanda imalatçının kendi üretim maliyetini de azaltır. Normal üretim ile karşılaştırıldığında üreticiler imalattaki çabanın sadece %20'sini harcarken maliyetten yaklaşık %40-60 oranında tasarruf eder. Kim, Raichur ve Skerlos (2008), yeniden üretilmiş bir ürünün materyalden % 20, enerjiden % 16 daha az kullandığını ve yeni bir ürün üretme sürecinde salınan sera gazı emisyonunun sadece % 35'ini salıverdiğini göstermiştir (A. Jindal ve K. S. Sangwan 2014).

KDTZ'ndeki imalatçı, dış tedarikçilerden satın aldığı yeni parçalar ile geri dönen ürünlerden kurtarılan parçaları kullanarak hem üretim hem de yeniden üretim faaliyetlerini gerçekleştirir. Fakat geri dönen ürünlerin miktarı, kalitesi ve zamanı oldukça belirsiz olduğundan yeniden kullanım, yenileme, yeniden imalat, geri dönüşüm ve bertaraf gibi farklı ürün kurtarma seçeneklerinin uygulama oranları sürekli değişmektedir. Tersine akıştaki bu belirsizlikler ileri akışı da etkileyerek tüm zincirin planlanmasını zorlaştırır.

Bu çalışmada yukarıda bahsedilen belirsizliklerle başa çıkmak üzere KDTZ'inde nesnelerin interneti sistemi incelenmiştir. Ağdaki benzersiz şekilde tanımlanabilen nesneleri (şeyleri) ifade eden bu sistem sayesinde tüm nesneler izlenebilmekte ve etkili bir şekilde değerlendirilebilmektedir.

Tez çalışmasında müşterinin dönem bazındaki taleplerini karşılamak, karı maksimize etmek ve tüm geri dönüşleri değerlendirmek için uygun bir model tasarlanmıştır. Önerilen modelde, geri dönen ürünlerin nasıl işleneceği nesnelerin interneti sistemi ile sağlanan ürün yaşam döngüsü bilgileri kullanılarak karar verilmiştir. Amaç, KDTZ'lerindeki belirsizliklerle başa çıkmak üzere nesnelerin interneti sistemini uygulamak ve bu sisitem tarafından sağlanan bilgilerle hem pahalı ön muayene ve demontaj işlemlerini ortadan kaldırmak hem de geri dönen her ürünü etkili bir şekilde değerlendirebilmek ve kullanabilmektir.

Tezin giriş bölümünden sonra ikinci bölümde TTZ/KDTZ ağ tasarım problemlerine ilişkin bir literatür taraması verilmiştir. Üçüncü bölümde, kapalı döngü tedarik zinciri kavramı, İTZ ağlarına göre farklılıkları ve ürün değerlendirme faaliyetleri açıklanmış, nesnelerin interneti kavramı tanımlanarak sitemin gelişimi ve işleyişi hakkında bilgi verilmiştir. Ardından ele alınan problem tanımlanarak geliştirilen matematiksel model formülasyonları ile beraber sunulmuştur. Dördüncü bölümde, önerilen model sayısal bir örnek ile test edilmiş ve senaryo analizleri yardımıyla sonuçlar yorumlanmıştır. Beşinci bölüm yani sonuç kısmı ile de çalışma sonlandırılmıştır.



Şekil 1. İleri / geri lojistiğin genel bir şekli (Govindan ve ark. 2014).

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu bölümde ilk olarak TTZ ve KDTZ ağ tasarımı problemlerine ilişkin bir literatür taraması sunulmuş, daha sonra KDTZ problemlerindeki nesnelerin interneti sistemi yaklaşımına yer verilmiştir.

2.1. Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Problemlerine İlişkin Literatür Taraması

Başlangıçta kamu bilinciyle ortaya çıkan TTZ ve KDTZ'ne olan ilgi büyüyerek yasal mevzuatlarla üreticilerin kullanım ömrü bitmiş ürünlerine dikkat çekmesi sağlanmıştır. Daha sonra geri dönüşümün popülerlik kazanması gerek TTZ gerekse KDTZ ağ tasarımına ilişkin akademik çalışmalarda ciddi bir artış göstermiş ve üreticilerin maliyet minimizasyonu yaklaşımı yerini gelir fırsatı yaklaşımına bırakmıştır.

TTZ ve KDTZ ağlarına ilişkin kapsamlı ilk çalışmalar Fleischmann ve ark. (1997) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmalarda lojistik faaliyetlerindeki geri dönüşüm konusuna ilişkin kantitatif modeller incelenmiş ve araştırmacılara genel bir çerçeve sunulmuştur. Sunulan çerçevede geri dönüşüm içeren ağ tasarımlarında dağıtım planlama (ileri ve ters yönde), stok kontrolü (sıfır ve kullanılmış ürün) ve üretim planlama (montaj ve demontaj) olmak üzere 3 ana başlığın yer alması gerektiği vurgulanmıştır. Bir sonraki çalışmasında Fleischmann ve ark. (2001) sanayiden gerçek bir uygulamayı ele almışlar, ileri ve tersine zincirlerin entegre edildiği fotokopi makinası yeniden üretimi ve kağıt geri dönüşümü konularını çalışmışlardır. Çalışmaları, ileri ve tersine zincirlerin entegre edilmesinin sıralı olarak ele alınmasına göre ciddi oranda maliyet avantajı sağladığını göstermiştir (Özceylan, 2013).

Krikke ve ark. (2001), bir KTDP modeli kullanarak çeşitli ürün tasarımları ve KDTZ'ne dikkat çekmek için entegre bir yaklaşım sunmuştur. Guide ve ark.(2003), İTZ'ne ek olarak ürün iadelerindeki geri kazanım işlemlerini içeren KDTZ tasarımını vurgulamıştır. Beamon ve Fernandes (2004), hem yeni hem de yeniden üretilmiş ürünler üretilen çok dönemli bir kapalı döngü tedarik zinciri geliştirerek depo ve toplama merkezlerinin açılıp açılmama kararını sorgulamışlardır. Sheu ve ark. (2005), hem ileri hemde tersine tedarik zincirine dayalı net kârı maksimize eden çok amaçlı bir optimizasyon modeli sunmuş ve sayısal örneklerle modelin ağdaki net karda %21'lik bir artış sağladığını göstermişlerdir. Min ve ark. (2006) Geri dönen ürünlerin hem mekansal hem de zamansal konsolidasyonunu içeren tersine lojistik problemlerinin çözümü için

bir karma-tamsayı doğrusal olmayan programlama modeli ve genetik algoritma önermiştir. Jayaraman (2006), ürün geri kazanımı ve yeniden kullanımını içeren KDTZ için üretim planlama ve kontroline yönelik bir analitik yaklaşım önermiştir. Kumar ve Craig (2007), Dell'in kapalı döngü tedarik zinciri üzerine çalışmıştır. Pagell ve ark. (2007) dört genel geri dönüşüm seçenekleri ve bunların etkilerini incelemiştir. Jun ve ark. (2007),üç ana aşama aracılığıyla ürün yaşam döngüsü yönetimi incelenmiştir. Tasarım ve üretimi içeren ürün yaşam başlangıcı; dağıtım, kullanım, bakım ve onarımı içeren ürün yaşam ortası; toplama, yeniden üretim, yeniden kullanım, geri dönüşüm ve bertarafı içeren ürün yaşam sonu. Salema ve ark. (2007) ürün talebi ve geri dönüşlerdeki belirsizliklerle başa çıkmak için kapasite limitli, tek dönem planlama ufku olan, birden çok ürünün yer aldığı bir tersine lojistik ağ tasarımı için bir karışık tamsayı doğrusal programlama modeli önermiştir. Guide ve Van Wassenhove (2009), kapalı döngü tedarik zincirine özgü karmaşıklığı gözlemleyerek güçlü bir iş bakış açısıyla okuyucuya tanıtmıştır. KDTZ ağının bu evrimsel sürecini de beş aşamada incelemiştir. Yang ve ark. (2009) hammadde tedarikçileri, üreticiler, perakendeciler, müşteriler ve kurtarma merkezlerini içeren genel bir KDTZ ağ modeli geliştirmiştir. Çalışmanın amacı varyasyonel eşitsizlikler teorisini kullanarak ağın denge durumunu optimize etmektir.

Pishvaee ve diğ. (2009) değişken maliyetler, talep miktarı, geri dönen ürün miktar ve kalitesi belirsizlikleri altında tek periyot, tek ürün, çok aşamalı bütünleşik ileri ve ters lojistik ağ tasarımı için iki aşamalı stokastik programlama modeli önermiştir. Çalışmada ilk olarak deterministik bir model geliştirilmiş daha sonra bu model belirsizlikleri içerecek şekilde genişletilerek senaryo tabanlı stokastik programlama modeli elde edilmiştir. Francas ve Minner (2009) üretim ve yeniden üretim işlemlerinin gerçekleştirildiği kapalı döngü bir tedarik zincirinin ağ tasarım problemini ele almışlardır. Bu problem için talep ve geri dönen ürün miktarı belirsizlikleri altında çok ürünlü iki aşamalı stokastik programlama modeli önermişlerdir. Çalışmada iki farklı genel ağ modeli ve iki farklı pazar yapısı olduğu düşünülmüştür. Birincisinde üretim ve yeniden üretim aynı tesiste, diğer modelde ise farklı tesislerde yapılmaktadır. El-Sayed ve diğ. (2010), çok periyotlu, çok kademeli, tek ürün ve tek amaç için ileri ve TL ağ tasarımını aynı anda dikkate alan, talep ve geri dönüş oranları belirsizliği altında stokastik karışık tamsayılı doğrusal programlama modeli geliştirmiştir. Modelde toplam beklenen karın maksimize edilmesi amaçlanmıştır. Kara ve Önüt (2010) talep ve geri dönen ürün miktarı belirsizliklerini içeren ters lojistiği de bünyesinde bulunduran kapalı tedarik zinciri ağ tasarım problemini ele almıştır. Çalışmada ele alınan problem için iki

aşamalı, tek ürünlü, kapasite ve tesis sayısı kısıtlı, iki aşamalı stokastik programlama modeli önerilmiştir. İlk aşama değişkenleri tesis açılıp kapanma kararları ikinci aşama değişkenleri ise tesisler arası ürün akış miktarlarını temsil etmektedir (Ayvaz ve Bolat, 2013).

Paksoy ve ark. (2011), tek dönem, çok ürünlü bir KDTZ ağındaki taşıma maliyetinin yanında taşıma faaliyetlerinde salınan CO2 emisyonu maliyetini de minimize eden doğrusal bir model sunmuştur. Akçalı ve Çetinkaya (2011), deterministik ve stokastik model ve problemlerdeki mevcut çalışmaları kategorize ederek KDTZ için envanter ve üretim planlaması üzerine çeşitli makaleleri değerlendirmiştir. Zeballos ve ark. (2012), belirsizlik altında çok dönemli, çok ürünlü KDTZ'lerindeki tasarım ve planlama kararlarıyla başa çıkmak için iki aşamalı bir senaryo tabanlı modelleme yaklaşımı tanıtmıştır. Mehrbod ve ark. (2012) çok ürünlü, çok dönemli ve farklı tesisleri olan bir KDTZ ağ tasarımı problemini bulanık hedef programlama yöntemini kullanarak modellemişlerdir. Çalışmanın amacı müsteri memnuniyeti ve maliyeti dengelemektir. Geliştirmiş oldukları çok amaçlı modelde amaçların önem dereceleri bulanık yaklaşımla belirlemişlerdir. Özkır (2012) çok ürünlü, çok aşamalı bir genel KDTZ ağ tasarımı problemi için KTDPM yöntemi kullanmışlardır. Optimizasyon probleminin amacı karı maksimize etmektir. Önerilen modelde geri dönüş oranının ve geri dönen ürün kalitesinin kara olan etkisi değerlendirilmiş ve geri dönüş oranının kara etkisinin daha önemli olduğu tespit edilmiştir (Özmen, 2013).

Özceylan ve Paksoy (2013a), çok dönemli ve çok parçalı hem ileri hem de geri akışı içeren KDTZ ağı için bir karma tamsayı matematiksel model önermiştir. Önerilen model fabrika ve parakendecilerin yerini belirlerken KDTZ'nde üretilen ve demontaj edilen ürünlerin optimal değerini verir. Amin ve Zhang (2013), Birden çok tesis, toplama merkezi ve talep pazarı içeren tek dönemli, çok ürünlü bir KDTZ problemi için bir stokastik karma tamsayılı doğrusal programlama modeli önermiştir. Çevresel faktörler ile talep ve geri dönen ürün belirsizliklerini dikkate alan model toplam maliyeti minimize etmeyi amaçlar. Zeballos ve ark. (2014), belirsiz hammadde temini ve müşteri talepleri olan 10 katmanlı (5 ileri,5 geri akış) bir ağ olarak yapılandırılmış çok dönemli, çok ürünlü bir KDTZ ele almıştır. Ağın tasarımı ve planlanması için önerilen MILP modeli, satın alma, depolama, taşıma ve emisyon faaliyetlerinin maliyetleri ile geri dönen ürünlerden elde edilen gelir farkını minimize etmeyi amaçlamaktadır. Jindal ve Sangwan (2014), yeniden kullanım, yenileme, geri dönüşüm

ve bertarafın olduğu belirsiz bir ortamda çok ürünlü, çok tesisli bir KDTZ ağı önermiştir. İşletmenin karını maksimize etmek üzere her tesisteki ürünlerin en uygun dağılımına ve tedarikçiden satın alınacak optimum parça sayısına karar veren bir bulanık karma tamsayılı doğrusal programlama modeli önermişlerdir. Ramezani ve ark.(2014), bulanık ortamda stratejik ve taktiksel kararları içeren bir KDTZ tasarlamıştır. Model, kar maksimizasyonu, zaman minimizasyonu ve tedarikçiden temin edilen kusurlu parçaların minimizasyonu olmak üzere üç amaç fonksiyonundan oluşmaktadır. Özceylan ve ark.(2014), bir kapalı döngü tedarik zincirinin hem stratejik hem de taktiksel kararlarını optimize eden entegre bir model tanımlamışlardır. Önerilen doğrusal olmayan karışık tamsayılı programlama modeli taşıma, satın alma, yenileme ve demontaj iş istasyonlarını işletme maliyetlerini minimize etmeyi amaçlamaktadır. Govindan ve ark.(2014), tersine lojistik ve kapalı döngü tedarik zinciri üzerine Ocak 2007-Mart 2013 tarihleri arasında yayınlanan 382 makaleyi inceleyerek kategorize etmiştir.

Çizelge 2.1. TTZ ve KDTZ ağ tasarımı problemlerine ilişkin literatür özeti (Özceylan, 2013; Özmen, 2013)

Çalışma	Uygulama	Ağ Yapısı	Amaç Fonksiyonu	Çözüm Yöntemi	Geri Kazanım Faaliyeti
Fleischmann ve ark. (2001)	Gerçek	Kapalı Döngü	Maliyet min.	KTDP	Demontaj, Bertaraf
Krikke ve ark. (2001)	Gerçek	Tersine	Maliyet min.	KTDP	Bertaraf, Geri Dönüşüm
Beamon ve Fernandes (2004)	Teorik	Tersine	Maliyet min.	KTDP	Stok
Sheu ve ark. (2005)	Gerçek	Kapalı Döngü	Kar max.	DP	Geri Dönüşüm, Demontaj, Bertaraf
Min ve ark. (2006)	Teorik	Kapalı Döngü	Maliyet min.	KTDOP-GA	Yeniden İmalat
Jayaraman (2006)	Gerçek	Kapalı Döngü	Maliyet min.	DP	Demontaj, Yeniden Üretim, Bertaraf
Salema ve ark. (2007)	Gerçek	Tersine	Maliyet min.	KTDP	Yeniden İmalat, Yenileme, Geri Dönüşüm
Demirel ve Gökçen (2008a)	Teorik	Tersine	Maliyet min.	KTDP	Yeniden İmalat, Demontaj
Kusumastuti (2008)	Gerçek	Kapalı Döngü	Maliyet min.	KTDP	Yenileme
Yang ve ark. (2009)	Teorik	Kapalı Döngü	Maliyet min.	Din. P.	Stok, Yeniden İmalat, Bertaraf, Geri Dönüşüm
Easwaran ve Üster(2010)	Teorik	Kapalı Döngü	Maliyet min.	KTDP-BA	Yeniden İmalat
Paksoy ve ark. (2011)	Teorik	Kapalı Döngü	Maliyet min.	DP	Stok, Bertaraf, Yenileme
Rangvani ve ark. (2011)	Teorik	Kapalı Döngü	Maliyet min.	TDP	Geri Dönüşüm, Bertaraf
Alumur ve ark. (2012)	Gerçek	Tersine	Maliyet min.	KTDP	Yeniden İmalat, Demontaj
Zeballos ve ark. (2012)	Gerçek	Kapalı Döngü	Kar max.	KTDP	Geri Dönüşüm, Bertaraf, Yeniden İmalat
Ondemir ve ark. (2012)	Teorik	Tersine	Maliyet min.	KTDP	Tamir, Demontaj, Geri Dönüşüm, Bertaraf
Özceylan ve Paksoy (2013a)	Teorik	Kapalı Döngü	Maliyet min.	KTDP	Demontaj, Bertaraf, Bertaraf, Yenileme
Amin and Zhang (2013)	Teorik	Kapalı Döngü	Maliyet min.	KTDP-SP	Yeniden İmalat
Zeballos ve ark. (2014)	Teorik	Kapalı Döngü	Maliyet min.	KTDP	Tamir, Demontaj, Geri Dönüşüm, Bertaraf
Jindal ve Sangwan (2014)	Teorik	Kapalı Döngü	Kar max.	BKTDP	Yeniden Kullanım, Yenileme, Geri Dönüşüm, Bertaraf
Ramezani ve ark.(2014)	Teorik	Kapalı Döngü	Kar max. Zaman min. Kusurluparça min.	BÇAKTDP	Yeniden Kullanım, Yenileme, Geri Dönüşüm, Bertaraf
Ondemir ve Gupta. (2014a)	Teorik	Kapalı Döngü	Maliyet min. Atık miktarı min. Müşteri mem. max.	LPP	Tamir, Demontaj, Geri Dönüşüm, Bertaraf
Ondemir ve Gupta, (2014b)	Teorik	Kapalı Döngü	Maliyet min. Atık miktarı min. Satış geliri max. T. kalite düzeyi max	KTHP	Yeniden İmalat, Demontaj, Stok, Geri Dönüşüm, Bertaraf

Çizelge 2.2. TTZ ve KDTZ'ne ilişkin inceleme çalışmalarının özellikleri (Govindan ve ark. 2014)

Çalışma	Alan	Kapsam	Yıl	İncelenen çalışma sayısı
Meade, Sarkis ve Presley (2007)	TTZ	Tanımlar, araştırma ve araştırma fırsatları	2006'ya kadar	-
Sasikumar ve Kannan (2008b)	TTZ	Ürün geri kazanımı ve envanter yönetimi	2008'e kadar	-
Sasikumar ve Kannan (2008a)	TTZ	Tersine dağıtım	2009'a kadar	170
Rubio ve ark. (2008)	TTZ	Üretim ve operasyon yönetimi	1995–2005	186
Pokharel ve Mutha (2009)	TTZ	Tersine lojistikteki tüm alan	1971–2008	151
Akçalı, Çetinkaya ve Üster (2009)	TTZ ve KDTZ	Şebeke tasarım modelleri	2008'e kadar	22
Sasikumar ve Kannan (2009)	TTZ	Tersine lojistikteki tüm alan	1967–2008	543
Chanintrakul ve ark. (2009)	TTZ	Şebeke tasarım çalışmaları	2000–2008	-
Ilgin ve Gupta (2010)	TTZ ve KDTZ	Çevreye duyarlı imalat ve ürün geri kazanımı	1998–2009	540
Chan ve ark. (2010)	TTZ	Just-in-time (JIT) ve tersine lojistik	2009'a kadar	125
Akçalı ve Cetinkaya (2011)	KDTZ	Envanter ve üretim planlaması için kantitatif modeller	2009'a kadar	-
Jayant, Gupta ve Garg (2012)	TTZ	Neredeyse bütün alan	1990–2009	113
Carrasco-Gallego, Ponce-Cueto ve Dekker (2012)	KDTZ	Vaka çalışmaları	2010'a kadar	10
Govindan ve ark. (2014)	TTZ ve KDTZ	Tersine lojistik ve KDTZ' ndeki tüm alan	2007–2013	382

2.2. Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Problemlerine Nesnelerin İnterneti Sistemi Yaklaşımı

1991 yılında, Cambridge Üniversitesindeki akademisyenler onlarca merdiveni çıkıp binadaki tek kahve makinesini boş bulmaktan rahatsız olur ve kahve makinesinin her bir dakikada, üç adet görüntüsünü yakalayarak bilgisayarlarına aktaran bir sistem tasarlarlar. Bir video kamerayla, görüntü yakalama yazılımı ve protokollerin yazılmasından sonra her akademisyen ekranında kahve demliğindeki kahve miktarını çevrimiçi ve gerçek zamanlı olarak görebilmiştir. 1993 yılına gelindiğinde internet ortamına taşınan bu uygulama günde milyonlarca kez izlenmeye başlanmış. Bu kahve makinesi "Nesnelerin İnterneti" ve bağlı nesnelerin varlığının ilk ispatı ile birlikte örneğini oluşturmuştur.



Şekil 2. Cambridge Üniversitesindeki kahve makinesinin anlık bir görüntüsü (Kutup, 2011).

"Nesnelerin İnterneti" (Internet of Things) kavramı ilk kez 1999 yılında Kevin Ashton tarafından Procter & Gamble şirketi için hazırlanan bir sunumda kullanılarak şirketin tedarik zincirinde RFID teknolojisi uygulamasının firmaya faydaları sıralanmış ve kullanımı önerilmiştir (Kutup, 2011).

RFID'nin tedarik zinciri yönetiminde kullanılmasıyla birlikte, birçok kolaylık ve yenilikte ortaya çıkmıştır. 2003 yılında, Wal-Mart, tarafından RFID teknolojisi tersine lojistik ağında kullanmaya başlanmıştır. Elektronik ürün atıklarını elektronik kod yardımıyla iyileştirme seçenekleri için yeni bir bilgi platform sistemi geliştirmiştir (Zhiduan, 2005). Visich vd. (2007) KDTZ' de RFID'nin geri dönüş sürecinde karar vermeye yardımcı olmak ve geri kazanım değerini arttırmak için etkili bir şekilde kullanılabileceğini önermiştir. Kiritsis ve ark. (2008), kapalı döngü tedarik zincirlerindeki bilgi açığını kapatmak için modeller ve RFID uygulamaları önermiştir. Xu ve ark. (2009) PROMISE (PROduct lifecycle Management and Information tracking using Smart Embedded systems) projesinden bir vaka çalışması ile kapalı döngü tederik zincirinde ürün yaşam döngüsünün izlenmesi için gömülü cihazların kullanımını göstermişlerdir. Jun ve ark. (2009) ürüne gömülü bir bilgi cihazını tanımlayarak ürün yaşam döngüsü yönetiminde RFID uygulamaları için genel bir çerçeve sunmuşlardır. Gonnuru (2010) bir entegre RFID bulanık tabanlı demontaj planlama ve sıralama modeli önerdi ve optimal demontaj kararları için yaşam döngüsü bilgisinin kullanımını göstermiştir (Ondemir ve Gupta, 2014b).

Kiritsis (2011), ürün yaşam yönetimini başlangıç aşaması (BOL) ,orta yaşam döngüsü (MOL) ve en son yaşam döngüsü (EOL), olarak üç bölümde değerlendirmiş ve bilgi sisteminin bütün aşamalarda kullanıldığını ve zeki yazılımlar ile desteklendiğini

belirtmiştir. Ilgın ve Gupta (2011), kanban kontrolünde bulunan de montaj hatlarında performans değerlerini ölçmek için sensör kullanmış, sensörün toplam maliyet azaltmada ve gelirde artışa neden olduğu sonucuna varmıştır.

Ondemir vd. (2012), Ürün, bileşen ve materyal talebini karşılamak üzere geri dönen ürünleri nasıl işleyeceğine RFID etiketi ve sensörler aracılığıyla elde edilen statik ve dinamik verileri kullanarak karar veren ve toplam maliyeti minimize eden bir karma tamsayılı doğrusal programlama modeli önermiştir. Gu ve Liu (2013), Nesnelerin İnterneti uygulamasını, tersine lojistikte bilgi yönetimine uyarlamıştır. Sonuçta, kesin ve zamanında yapılan bilginin, tersine lojistik yönetiminin başarısında önemli bir gereç olduğunu önermiştir. Ondemir ve Gupta (2014b), Talep odaklı bir ortamdaki yeniden imalat, demontaj, geri dönüşüm, bertaraf ve depolama maliyetlerini minimize etmek için nesnelerin internetini kullanan bir karma tamsayılı hedef programlama modeli önermiştir. Sistemin amacı birbiri ile çelişen finansal, çevresel ve kalite bazlı hedeflere ulaşmaktır. Ondemir ve Gupta, (2014a), kalan yaşam ömürlerine dayalı ürün-bileşen ve materyal talebini karşılamak için geri dönen ürünleri nasıl işleyeceğine RFID etiketleri ve sensörlerle sağlanan ürün yaşam döngüsü bilgilerini kullanarak karar veren bir doğrusal fiziksel programlama (LPP) modeli geliştirmiştir. Dört amacın optimizasyonu şeklinde modellenen problemde ilk amaç; demontaj, yenileme, satın alma, atık, geri dönüşüm, elde tutma maliyetlerinden oluşan toplam maliyeti minimize etmek; ikinci amaç, toplam atık miktarını minimize etmek; üçüncü amaç, toplam mataryel satış gelirini maksimize etmek; dördüncü amaç ise müşteri memnuniyetini maksimize etmektir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde kapalı döngü tedarik zinciri kavramı, İTZ ağlarına göre farklılıkları ve ürün değerlendirme faaliyetleri açıklanmıştır. Ardından nesnelerin interneti kavramı tanımlanarak KDTZ ağı üzerine uyguladığımız bu sitemin gelişimi ve işleyişi hakkında bilgi verilmiştir. Son olarak tez kapsamında ele alınan problem tanımlanarak geliştirilen matematiksel model formülasyonları ile beraber sunulmuştur.

3.1. Kapalı Döngü Tedarik Zinciri

Tedarik zinciri yönetimi literatüründe ileri tedarik zinciri; ürünlerin tedarikçiden üreticiye, üreticiden dağıtıcıya, dağıtıcıdan perakendeciye ve son olarak tüketiciye iletilmesini sağlayan işlemler olarak ele alınır.1990 yılından bu yana çalışmalar yapılan tersine lojistik ise hammaddelerin, halen süreçte bulunan envanterin, bitmiş malların ve bunlar hakkındaki bilginin tüketim noktasına tekrar değer elde etme veya düzgün bir şekilde elden çıkarma amacıyla verimli ve maliyet avantajlı akışını planlama, yürütme ve kontrol etme sürecidir (Şengül, 2009).

KDTZ ile ilgili araştırmaların yaklaşık 20 yıllık bir geçmişi bulunmaktadır. KDTZ kavramının doğuşu tersine lojistik literatüründen kaynaklanmaktadır. Ürün geri dönüşlerinin yönetimi klasik tedarik zinciri yapısından farklı bir isleyiş gerektirmesi nedeniyle tersine lojistik sistemi gelişmeye başlamıştır. Bu süreçte ürünlere artı değer eklenmesi ile tersine lojistik sisteminin etkililiğinin klasik tedarik zinciri sitemi ile bütünleşmiş biçimde çalışması ile birlikte daha verimli olduğu ortaya çıkmıştır. Bu iki farklı yapının bütünleşik çalıştığı sistemlere KDTZ adı verilmektedir (Özmen, 2013).

KDTZ kavramı ilk olarak Thierry vd. tarafından 1995 yılında yapılan “ürün geri kazanımı ile ilgili stratejik konular” isimli çalışmada “bütünleşik sistemler” olarak ifade edilmiştir. Ürün geri kazanımının ekonomik ve çevresel açıdan değer ifade ettiği ve önem kazanmaya başladığı süreçte ortaya çıkan bir kavramdır.

Kapalı devre tedarik zincirleri, hammadde tedarikçilerinden başlamak üzere ürünlerin üretim tesislerinde üretilip çeşitli dağıtım kanalları ile müşterilere ulaştırılması ve müşteriler tarafından kullanılan ürünlerin toplama kanalları ile geri dönüşüm, demontaj, toplama merkezi vb. gibi tesislerde yeniden kazanımı ile üretim sürecine dâhil olmasını sağlayan ileri ve tersine lojistik faaliyetlerinin bir bütünü olarak düşünülebilir. KDTZ, klasik TZ’ nin sağladığı faydaların yanında kullanılmış ürünleri

yeniden şebekeye dâhil etmeyi sağlayan tersine lojistik faaliyetleri ile hızla kirlenen dünyamıza çevreci bir değer sağlamaktadır (Budak, 2012).

Kapalı döngü tedarik zinciri aşağıdaki öğeleri içerir.

- **İleri lojistik ve Doğrudan tedarik zinciri yönetimi;** Bu, merkezi dağıtım ve depolama sistemindeki son ürünleri, parçaları ve malzeme akışını içeren doğrudan lojistik akışının kontrolünü, koordinasyonunu ve üst yönetimini içerir. Yani bölgesel ve yerel tedarik noktalarından son kullanıcıya ya da satın alıcıya doğru aşağı yönlü bir fiziksel akıştır.
- **Tersine lojistik;** Bu sistem ya kapalı döngü sisteminin bir alt yapısı ya da bağımsız bir sistem olarak kurulur. Bu sistem tam bir koordinasyon ve kontrol toplama ve malzeme, Tersine lojistik hammadde, yarı mamul, nihai ürün ve ilgili bilgilerin tüketim noktasından üretim noktasına doğru, değer kazanımı veya uygun şekilde yok edilmesini amaçlayan planlama, uygulama ve kontrol aktivitesidir.
- **Depo onarımı, işleme, tanımlama, elden çıkarma;** Bu tersine lojistik işlemleri aracılığı ile geri dönüşleri kabul etmeyle ilişkili hizmetlerdir. Bu işlemler tanımlama, değerlendirme, tamir etme, parçaları, ürünleri, alt montajları ve malzemeleri elden çıkarmayı içerir. Bu parçalar ya doğrudan ileri yönlü tedarik zincirine aktarılır ya da ikincil pazarlara satışa sunulur (Şengül, 2009).

Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Ağ Tasarımı

Tedarik zinciri ağ tasarımı tedarik zinciri yönetimindeki en önemli stratejik kararlardan biridir. Genel olarak ağ tasarımı kararları açılacak tesis sayısını, yerini, kapasitesini ve bu merkezler arasındaki akış miktarlarını belirlemeyi içermektedir. Tesis açma kararı uzun vadeli ve çok maliyetli bir karardır bu nedenle kısa sürede tesisin yeri ile ilgili bir değişiklik yapmak olası değildir. KDTZ ağ sistemleri iki farklı bileşenden oluşmaktadır: 1.bileseni ileri tedarik zinciri yapısını temsil eden hammadde tedarikçileri, üretim merkezi, dağıtım merkezleri ve müşteri merkezlerinden, 2.bileseni tersine tedarik zinciri yapısını temsil eden müşteri merkezleri, depolar ve geri kazanım merkezlerinden (yeniden üretim, geri dönüşüm, ayrıştırma..vb.) oluşmaktadır. Müşteri merkezleri bu sistemin kesişim ve bağlayıcı noktasıdır. Aşağıda (bknz. Şekil 3.1, 3.2) ileri ve tersine tedarik zinciri faaliyetleri gösterilmektedir. Bu iki tedarik zinciri akışının bütünleşik olarak aynı sistemde yer aldığı yapıya KDTZ adı verilmektedir. (bknz. Sekil 3.3)

KDTZ kararının arkasındaki önemli iki motivasyon çevre ile ilgili yasal düzenlemeler ve is süreçleri ile ilgili performans kazanımlarından kaynaklanmaktadır.

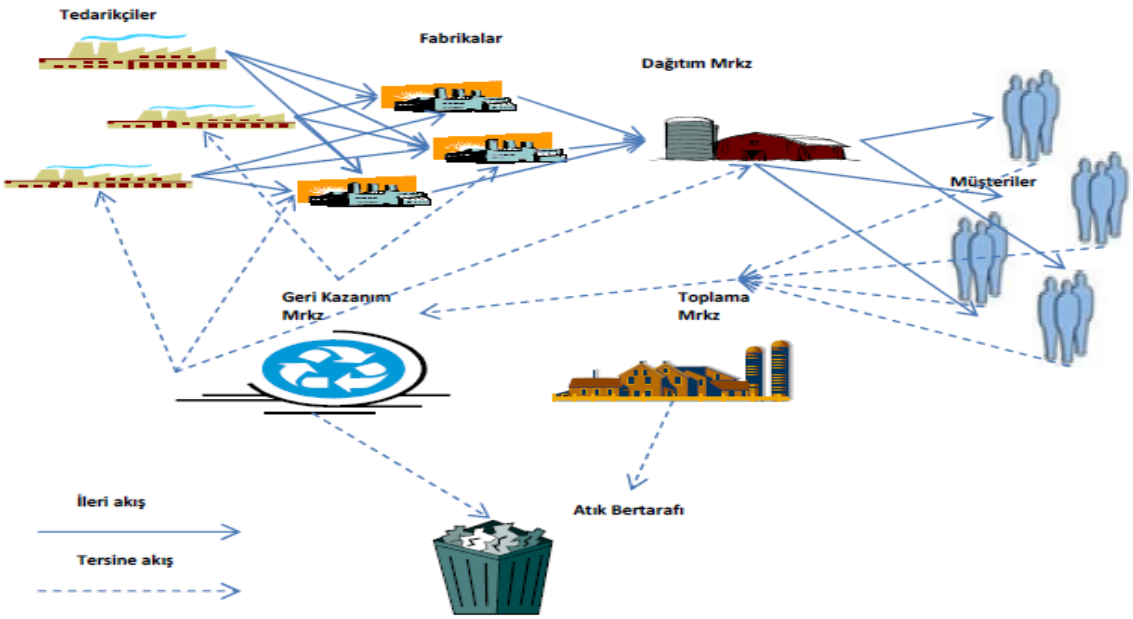


Şekil 3.1. İleri tedarik zinciri (Özmen, 2013).



Şekil 3.2. Tersine tedarik zinciri (Özmen, 2013).

KDTZ ağ tasarımı ile ilgili genel kapsamlı literatür tarama çalışması Akçalı & Üster (2009) tarafından yapılmıştır. Çalışmada ağ tasarımı problemlerinde kullanılan matematiksel modelleme yöntemleri, ağ yapısının aşamalarına göre sınıflandırmalar yapılmıştır. Genel olarak KDTZ ağ tasarımı çalışmalarının ürün ya da sektöre özgü olarak yapılan çalışmalara oranla sayıca fazla olduğu gözlenmiştir (Özmen, 2013).



Şekil 3.3. Kapalı döngü tedarik zinciri (Özmen, 2013).

3.1.1. Kapalı Döngü Tedarik Zincirinin Önemi:

Kapalı döngü tedarik zinciri yeniden üretimi ve tersine lojistiği bütünleştiren, ortak sosyal sorumlulukların büyüyen taleplerini ve ekonomik ömrü süresince öz kaynak yoğunluğunu azaltma gibi daha geniş sosyal amaçları karşılamak için işletmelere imkân sağlayan önemli bir yapıdır. Kapalı döngü toplum, işletme ve çevre arasındaki üçlü ağın kurulmasında işletmeye imkân sağlar.

Yeni ekonomik anlayış modelinde tüketicinin ürünün geliştirilmesi sürecinde etkinliği artmaktadır. Tüketiciler almak istedikleri ürünü kolay bir şekilde rakip ürünlerle karşılaştırır ve satın alır. Firmaların tüketicileri memnun etmek için ise daha aktif çalışmaları gerekir. KDTZ yapısı işletmeler için yeşil imaj oluşturarak daha fazla değer ve kar sağlayabilir (Şengül, 2009).

Çizelge 3.1. Kapalı döngü tedarik zincirinin işletmelere faydaları ve değer yaratma fırsatları (Şengül, 2009).

Hizmet/Pazar
Geri dönüş hizmetleri tüketici memnuniyetini arttırır Araştırma-Geliştirme ve Pazara sürüm süresinin azalması Yedek parça miktarının artması Yeniden yapılandırma ile geliştirilen ürün kalitesi İleriye dönük tamir işlemleri Yeşil imaj
Çevre/Güven
Azalan çevre etkisi Kanunlara uyma Hatalı ürünleri daha uygun geri çağırma
Değer yaratma fırsatları
Azalan risk sorumluluğu Malzeme ve parçalardan geri kazanılan değer Emeğin geri kazanım değeri Elden çıkarma maliyetlerini azaltma Geri dönüşlerin uygun zamanlanması ile modası geçme riskini azaltma Yedek parçaların yeni üretiminde azalma Geri dönüşleri azaltma

İşletmelerin TTZ ve KDTZ ağlarına ihtiyaç duymalarının en temel sebebi ürün geri dönüşümleridir. Ürün geri dönüşümlerinin veya işletmelerin geri dönüşüme gösterdikleri bu ilgilinin artmasının temelinde ise 3 belirgin faktör yatmaktadır. Bunlar kullanılmış ürünlerin içindeki tehlikeli maddelerden kaynaklı çevre kirliliğine yol açabilme potansiyelleri; bir takım sebeplerden dolayı nihai kullanıcılardan ürünlerin geri dönmesi ve son olarak yasal yaptırımlardır.

Sürekli artan nüfusla paralellik gösteren tüketim seviyesi, kaynakların sınırlı olduğu günümüz dünyasında ciddi bir çevresel problem olan atığa sebep olmaktadır (Özceylan, 2013). AB ülkelerinde, giderek artan atık miktarını en aza indirgemek için üreticilerin, sattıkları ürünlerin kullanım ömrü sonundaki sorumluluğunu üstlenmeleri beklenmektedir. Örnek olarak otomotiv sektöründe hali hazırda kullanılmış ürünlerin geri dönüşüm oranı yüzde 25 olarak belirlenmişken, bu oranın 2008'e kadar yüzde 55'e, 2015'e kadarsa yüzde 100'e çıkarılması öngörülmektedir. Benzer şekilde elektronik sektöründeki üreticilerin de satmış oldukları ürünlerin geri dönüşüm sorumluluğunu üstlenmeleri gerekmektedir (Tersine Tedarik Zinciri Yönetimi, 2015). Avrupa'da birçok ürünün -örneğin otomobil, elektronik gibi- toplanması sorumluluğu üreticilere verilmiş durumdadır. Yasal baskılar ile birçok ülkede ulusal toplama ve geri kazanım sistemleri kurulmaktadır. Örneğin Hollanda'da otomotiv sektöründe, trafik kazalarında zarar görmüş otomobillerin %90'ında işleyecek bir sistem başarıyla uygulanmaktadır (Karaçay, 2005). Bugün, IBM, Xerox, L'Oreal, HP, Ocè, Kodak, Volkswagen gibi birçok şirket ürün geri dönüşlerindeki değeri fark etmiş ve çeşitli yollarla yeniden kullanmaya başlamıştır. Örneğin HP, perakendecilerden dönen satılmamış yazıcıları yeniden imal etmekte ve kaliteli bileşenleri yedek parça olarak veya yeniden imal edilen ürünlerde kullanmaktadır. Arızalı bileşenler ise hammadde için geri dönüştürülmektedir (Koppius ve ark., 2014). Dünyanın önde gelen fotokopi makineleri üreticisi Xerox 1990'lı yılların başından beri ekipman yeniden imâlatı ve parça tekrar kullanımı/geri dönüşümü programları uygulamaktadır. Bu sayede 1.5 milyar poundluk atığın–bu da 2.3 milyon makineye karşılık gelmektedir–oluşması önlenmiştir. Bu da New York'taki ünlü Empire State Binası'nı yaklaşık 4 defa dolduracak miktarda malzemeye eşittir. Xerox'ın kullanılmış ürünlerdeki parçaların yeniden kullanımı konusunda elde ettiği başarının nedenlerinden biri modüler ürün mimarisi, diğeri de aynı ürün ailelerinde bulunan farklı makine modellerinde kullanılan ortak modülerdir. Bu şekilde geri dönen bir makine yine aynı model makine olarak yeniden imâl edilebileceği gibi sonraki ömrünü aynı

ailede yer alan farklı bir model olarak da sürdürebilmektedir (Tersine Tedarik Zinciri Yönetimi, 2015).

Ürünün Geri Dönüş Sebepleri (Nakıboğlu, 2007)

Üretici Dönüşleri

− Ürünün hammadde fazlası olması,
− Ürünün kalite kontrolde başarısız olması,
− Üretim fazlası olması,

Dağıtıcı Dönüşleri

− Yanlış veya hasarlı teslimat yapılması,
− Kullanım süresi geçmiş ürünler,
− Stok fazlası/satılmamış ürünler,
− Mevsimsel dalgalanmalar, stok ayarlamaları,

Müşteri Dönüşleri

− Garanti kapsamındaki dönüşler,
− Ürünlerin tamir edilerek yeniden kullanılması,
− Değer kazanımı (hurda değeri ve diğer kazanım opsiyonlarını değerlendirme),
− Kullanım sonu dönüşleri (ikinci el olarak satılması),
− Yaşam sonu dönüşleri,
− Zararlı materyaller ile ilgili yasal düzenlemeler.
− Ürünün hasarlı olması veya kullanıcının ürünün hasarlı/hatalı olduğunu düşünmesi,

Fonksiyonel Dönüşler

− Paketleme materyalleri, konteynır, palet, paket, kutu gibi ürünlerin yeniden kullanılabilir olması,

Üreticinin Ürünleri Geri Çağırması

− Üründeki hata, güvenlik veya sağlık problemleri ile üreticinin ürünü geri çağırması.

1980'lerin sonlarına kadar kontrol edilmeyen geri dönüşler, daha sonra perakendecilerin bunu bir rekabet avantajı aracı olarak görmeleri ile birlikte ayrı bir yönetim alanı haline gelmiştir. Perakendecilerin rekabet avantajı yaratmak amacı ile ürün geri dönüşlerini desteklemesinin de etkisi ile geri dönüşler özellikle son zamanlarda, oldukça artmıştır. Meyer (1999) bazı durumlarda ve ürünlerde bu oranın %30-50'ye çıktığı görüşündedir (Nakıboğlu, 2007).

Çizelge 3.2. Geri dönüş oranları örneği (Nakıboğlu, 2007)

Endüstri	*Yüzdesi*
Dergi basımı	%50
Kitap basımı	%20-30
Kitap dağıtımı	%10-20
Katalog perakende satışları	%18-35
Elektronik dağıtımı	%10-12
Bilgisayar üreticileri	%10-20
CD-ROM	%18-25
Yazıcı	%4-8
Otomobil endüstrisi (parça)	%4-6
Tüketici elektroniği	%4-5
Ev kimyasalları	%2-3

İşletmelerin geri dönüşüm faaliyetlerine gösterdikleri önemin bir diğer nedeni de yasal düzenlemelere uyma mecburiyetindendir. Uluslararası Standartlar Organizasyonu (USO/ISO), çıkarttığı ISO 14000 çevre yönetimi standardizasyonu serisi ile işletmelerin üretim süreçlerindeki zararlı atıkların bertaraf edilmesi ve çevreyi kirletmeyecek şekilde yeniden yapılandırılmasını sağlayacak standartları belirtmiştir (Giudice ve ark. 2006). AB'de uygulanan yönetmeliklerden bazıları 2005/32/EC enerji verimli ürünler tasarımı, 2003/108/EC elektronik atıklar 2002/95/EC belirli hammadde ve metallerin üretimde kullanılmasına ilişkin kısıtlamalar, 2000/53/EC direktifte ömrünü tamamlayan motorlu taşıtlar ile ilgili düzenlemeleri konu almaktadır. Avrupa Birliği müzakereleri kapsamında çevre faslının açılması ile birlikte Türkiye'de katı atık yönetimi ile ilgili mevzuat güncellenmekte, yeni yönetmelik taslakları gündeme gelmektedir. Türkiye de katı atık alanındaki düzenlemeler genel olarak Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (14 Mart 1991 tarih ve 20814 sayılı Resmi Gazete ile yayınlanan) kapsamında ele alınmaktadır. Mevcut düzenlemeleri incelediğimizde; Ambalaj Atıkları, Atık Pil ve Akümülatörler, Lastikler, Hafriyat Artıkları yer almaktadır. (ÇVSB, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı) Mayıs 2012 tarihinde Atık Elektrikli ve Elektronik Eşyalar (AEEE) yönetmeliğinin yürürlüğe girdiğini ve 2013 Mayıs ayından itibaren uygulanmaya başlandığını görüyoruz. Bu yönetmelikle elde edilmesi düşünülen temel amaç atık oluşumunun ve çevreye olan olumsuz etkilerin azaltılması, yeniden üretim, yeniden kullanım, geri dönüşüm gibi geri kazanım faaliyetlerinin teşvik edilmesidir (Özmen, 2013).

3.1.2. TTZ ve KDTZ Ağlarının İTZ Ağlarına Göre Farklılıkları

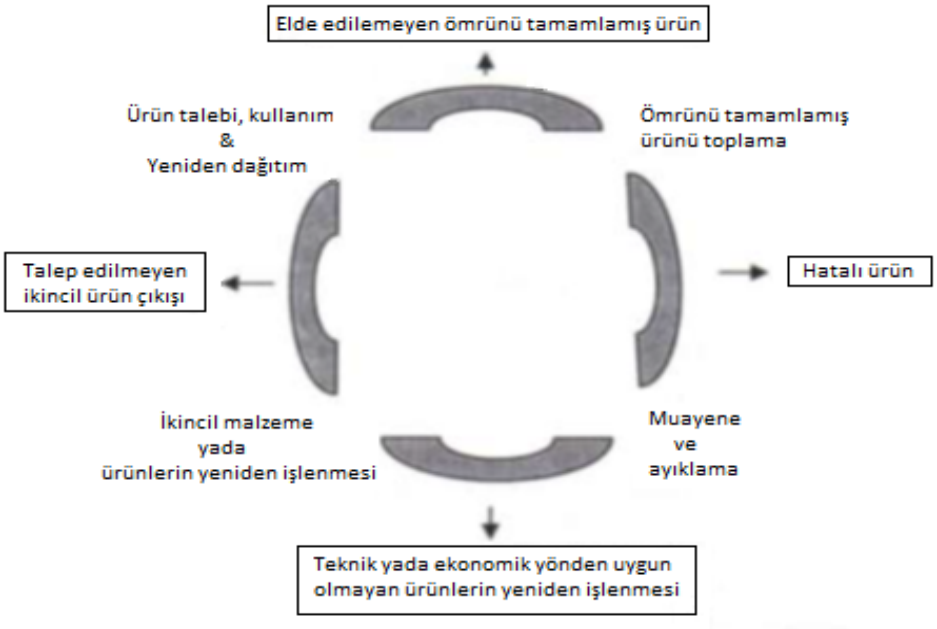
TTZ ile İTZ ağları arasında önemli ölçüde farklılıklar bulunmaktadır. Bu, TTZ'ndeki belirsizliklerden dolayı kaynaklanmakta ve dolayısıyla dâhil olduğu KDTZ ağlarını da aynı şekilde etkilemektedir. İleri ve tersine akıştan kaynaklanan bu farklılıkların önemli bir kısmı Çizelge 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3.3. İTZ ve TTZ/KDTZ ağları arasındaki farklar (Wang ve Hsu, 2010)

İTZ	TTZ/KDTZ
Tahminler kolaydır.	Tahminler çok daha zordur.
Kar-fayda odaklıdır.	Çevreye duyarlı ürün odaklıdır.
Dağıtım tek kaynaktan çok kaynağa doğrudur.	Dağıtım çok kaynaktan tek kaynağa doğrudur.
Ürün kalitesi standarttır	Ürün kalitesi standart değildir.
Ürün paketleme stabildir.	Ürün paketleme stabil değildir.
Ürün yapısı standarttır.	Ürün yapısı standart değildir.
Dağıtım rotası belirlidir.	Dağıtım rotası belirsizdir.
Dağıtım kanalları belirlidir.	Dağıtım kanalları belirsizdir.
Ürünün temel özellikleri bilinir.	Ürünün temel özellikleri bilinmez.
Ürün/ücret fiyatlandırması standarttır.	Ürün/ücret fiyatlandırması standart değildir.
Hız önemlidir.	Hız önemli bir faktör değildir.
Maliyeti belirlemek kolaydır.	Maliyeti belirlemek zordur.
Stok yönetimi kolaydır.	Stok yönetimi zordur.
Ürün yaşam döngüsü kolay yönetilir.	Ürün yaşam döngüsü karmaşıktır.
Pazarlama teknikleri iyi bilinir.	Pazarlama teknikleri karmaşıktır.
Süreçler açıkça izlenebilir ve kontrol edilebilir.	Süreçlerin izlenebilirliği ve kontrol edilebilirliği zordur.

3.1.3. Kapalı Döngü Tedarik Zincirinin Temel İşlemleri

Genel bir KDTZ Şekil 5 de gösterilen beş grup işlemi kapsar. Bunlar;



Şekil 3.4. Kapalı döngü tedarik zinciri; Ana işlemler ve kısıtlar (Şengül, 2009).

Toplama(Collection): Kullanılmış ürünlerin bazı alanlara fiziksel hareketini içerir. Toplama işlemlerinde; kullanılmış ürün elde edilmesi, nakliyesi ve depolanması işlemleri yapılır.

Muayene ve Ayıklama(Inspection and Separation): Toplanan ürünlerin üreticinin eline geçmeden önce hangi şartlarda olduğunun kontrol edilip en karlı geri kazanım faaliyeti için yönlendirilmesi işlemidir. İlk önce tedarik zincirine girmemesi gereken ürünler ayıklanır. Böylece değer elde edilemeyecek ürünler için gereksiz sevk, idare, yükleme ve boşaltma giderleri önlenmiş olur. Bu aşamada geri gelen ürünlere, test etme, demontajlama, küçük parçalara ayırma, sınıflandırma ve depolama işlemleri yapılır.

Yeniden İşleme (Re-processing): Bu aşamada tekrar kullanılabilecek düzeydeki ürün uygun işlemlere (demontaj, küçük parçalara ayırma, yenisi ile değiştirme, geri dönüşüm, tamir) tabi tutularak yeniden kullanılabilir duruma getirilir.

Elden Çıkarma(Disposal): Teknik ya da ekonomik nedenlerden dolayı yeniden kullanılamayan ürünler veya zararlı maddelerin uygun bir biçimde (gömme, yakma gibi), çevreye zarar vermeden ortadan kaldırılmasıdır.

Yeniden Dağıtım (Re-Distribution): Yeniden kullanılabilir malzemelerin pazarlara nakliyesi işlemleridir. Yeniden dağıtma aşaması satış, nakliye, depolama ve kiralama işlemlerini içerir (Şengül, 2009).

3.1.4. TTZ ve KDTZ Ürün Değerlendirme Faaliyetleri

Yeniden kullanım (reuse): Kullanılmış ürünün herhangi bir iyileştirici işleme tutulmadan yeniden kullanılmasıdır. Yeniden kullanım, ürünün aynı amaçla kullanılmasının yanında farklı bir alanda kullanılabilmesini de ifade eder.



Şekil 3.5. Yeniden kullanıma örnekler (http://moddreport.com/yeniden-kullanima-yeni-boyut-getiren-tasarimlar/-2015)

***Tamir (repair)**:* Geri dönen ürünün yeniden çalışır veya kullanılabilir hale getirilmesi işlemidir. Genellikle ürün garantisi kapsamında dönen ürünlere uygulanır. Ürünün tamiratında kırılmış veya bozulmuş parçaların tamir edilir veya yenileriyle değiştirilir. Bu yüzden tamirat sınırlı düzeyde demontaj ve montaj gerektirebilmektedir. Tamir edilmiş ürün kalitesi genellikle yeni ürün kalitesine göre biraz daha düşüktür.



Şekil 3.6. Ekran tamiri (http://screenrepairuzelki.blogspot.com.tr/2015/01/ipad-screen-repair-4th-generation.html)

Yenileme (refurbishing): Kullanılmış ürünü, belirli kalite düzeyine getirmektir. Burada ürünün sadece hasarlı olan kısmı iyileştirilmez aynı zamanda kalan parçalar da kontrol edilerek genel bir bakım yapılır. Bazen ürün yenileme sürecinde eski modüller, teknik olarak daha iyi olan modüllerle değiştirilerek, ürün geliştirmesi (upgrade) gerçekleştirilebilmektedir.



Şekil 3.7. Ürün yenileme (http://foto.mahmure.com/dekorasyon/en-guzel-mobilya-yenileme-ornekleri_38286-http://www.dynesystems.com/dynamometer-repair.htm-2015)

Yeniden imalat (remanufacturing): Kullanılmış ürünün yeni ürünle aynı kalite standartlarına getirilmesidir. Kullanılmış ürün tamamıyla demonte edilir, tüm parçalar kontrol edilir. Tamir edilebilir parçalar onarılır, eskimiş veya teknolojik olarak modası geçmiş parçalar yenisi ile değiştirilir. Yeniden imal edilen ürünler, sıfır ürünlerle aynı özelliklere sahiptir.

Ürün yamyamlaştırma-üründen parça alma (cannibalization): Yukarıda bahsedilen işlemlerde kullanılmış ürünün büyük bir kısmı yeniden kullanılırken yamyamlaştırmada ürünün sadece ufak bir kısmı yeniden kullanılır. Amaç, kullanılmış üründen kullanılabilir parçaların alınarak başka ürünün tamir, yenilenme veya yeniden üretim faliyetlerinde değerlendirilmek üzere yeniden kullanılmasıdır.

Geri dönüşüm (Recycling): Kullanılmış ürün veya bileşenlerin kimyasal bir takım işlemler sonrasında hammadde haline dönüştürülerek yeniden kullanılabilmesidir. Yukarıda bahsedilen işlemlerin aksine geri dönüşümde ürün ve bileşenlerin özellik ve fonksiyonları kaybolur.



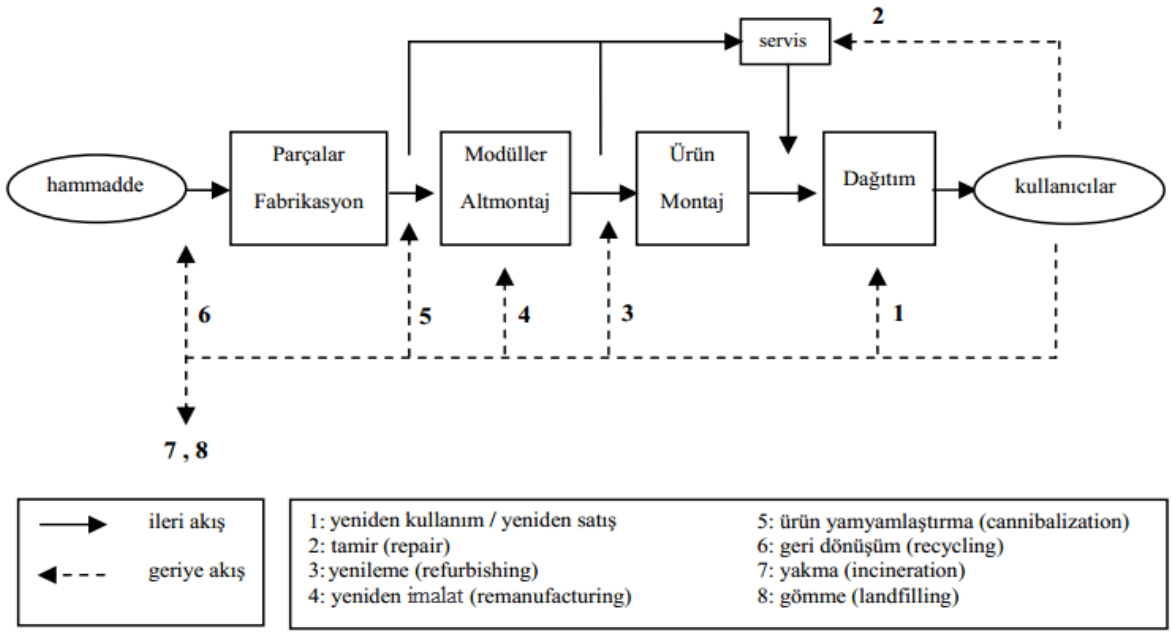
Şekil 3.8. Plastik geri dönüşümü(http://www.myfikirler.org/geri-donusume-yonelik-is-fikirleri.html-2015)

Bertaraf etme (disposal) : Kullanılmıs ürünlerin içinde bulunan teknik ve ekonomik açıdan kullanılamayan parçaların veya çevreye zararlı maddelerin uygun bir biçimde (yakma, gömme gibi işlemler ile), ortadan kaldırılması olarak ifade edilmektedir.



Şekil 3.9. Tıbbi atıkların bertaraf işlemi (http://www.ilketibbiatik.net/denizli-tesisimiz/351/bertaraf-islemi-2015)

Yukarıdaki ürün değerlendirme faaliyetlerinin tümü, ürünlerin toplanması, yeniden işlenmesi ve yeniden dağıtılması aşamalarını içerir. Asıl farklılık yeniden işleme aşamasında kendini gösterir. Şekil 3.10'da her bir ürün değerlendirme faaliyetinin, üretimin hangi aşamasında sürece nasıl katıldığı gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Ürün değerlendirme faaliyetlerinin sistemdeki yeri (Thierry ve ark., 1995)

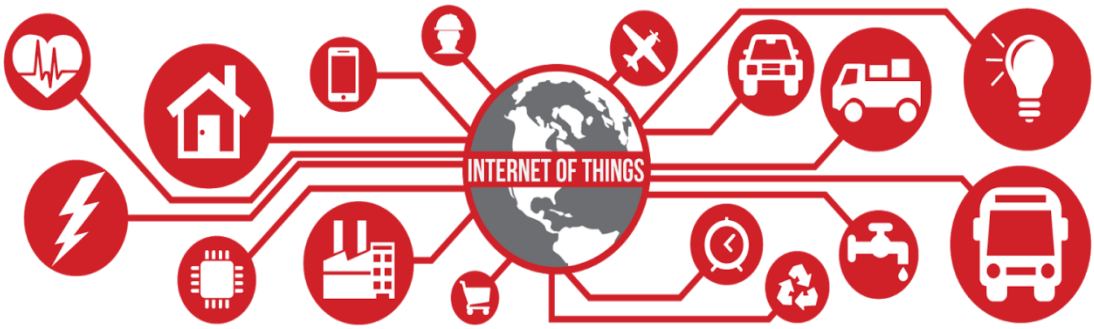
3.2. Nesnelerin İnterneti

Nesnelerin İnterneti; "Benzersiz bir şekilde adreslenebilir şeylerin/nesnelerin kendi aralarında oluşturduğu, dünya çapında yaygın bir ağ ve bu ağdaki nesnelerin belirli bir protokol ile birbirleriyle iletişim içinde olmaları"

"Fiziksel ve sanal nesneleri birbirine bağlayan, veri üretmeleri ve bu verilerin paylaşımını sağlayan dünya çapında küresel bir altyapı. Bu yapı var olan ve genişleyen interneti ve bağlı ağları da içine almaktadır."

"Akıllı nesnelerin çoğalması sayesinde internet üzerinden bilgi transferi ve karar almaya yönelik işlemlerin gerçekleştirilebileceği ortam"

"Fiziksel ve sanal özellikleri olan, aynı zamanda önceden tanımlı işlevlere sahip olan ve akıllı ortamlarda çalışan şeylerin/nesnelerin aralarında kurdukları ortak bir ağ. Bu ağın, diğer ağlar ve kullanıcılar ile bilgi alış verişine girmesi" şeklinde tanımlanabilmektedir (Kutup, 2011).



Şekil 3.11. Nesnelerin İnterneti-1 (http://www.yavuzgedik.com/2014/12/iot1.html)

3.2.1. Nesnelerin İnterneti Sistemi

Nesneler, algılayıcılar ve elektronik devreler ile donatıldığında, "düşünme", "hissetme" ve "konuşma" özellikleri elde etmeye başlarlar. Böylelikle, bizlerle iletişime geçerek durum bilgilerini güncelleyebilecek yetiye erişirler (Kutup, 2011).

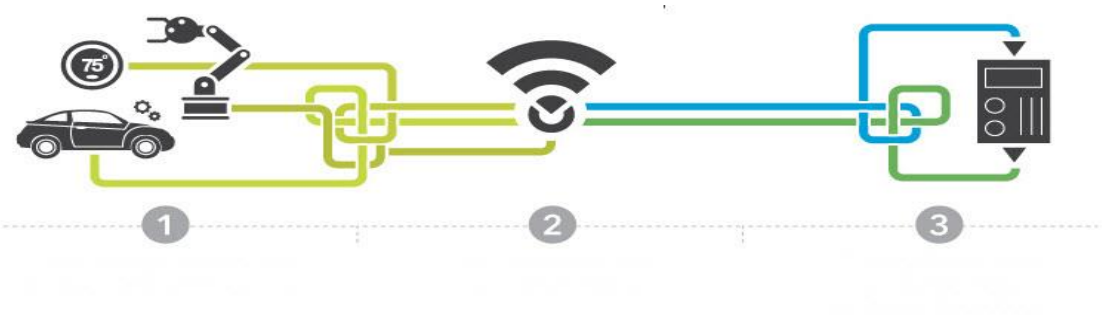
Standart ve birlikte çalışabilir iletişim protokollerine dayalı nesnelerin interneti sistemi, akıllı iletişim ara yüzleri kullanarak akıllı alanlarda çalışan, benzersiz kimliklere sahip nesneler tarafından oluşturulmaktadır (Kadlec ve ark., 2014).

Nesnelerin interneti aygıtı gömülü akıllı nesneler;

1. Benzersiz bir kimliğe sahiptir.
2. Çevresi ile etkili iletişim yeteneğine sahiptir.
3. Kendisi ile ilgili veri elde etme ve depolama özelliğine sahiptir.
4. Özelliklerini, üretim taleplerini vb. göstermek için bir dil konuşlandırır.
5. Kendi kaderi ile ilgili karar verme yeteneğine sahiptir (McFarlane ve ark., 2012).

Nesnelerin İnterneti üç ana bileşenden oluşmaktadır. Bunlar;

1. Nesnelerin İnterneti kavramının "nesneler" kısmını ifade eden varlıklar,
2. Bu nesneleri birbirine bağlayan iletişim ağları,
3. Nesnelerden gelen verileri kullanan bilgisayar sistemleri (Yılmaz, 2015).



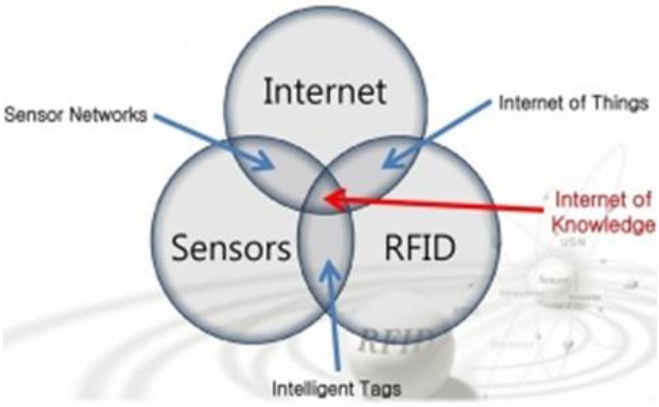
Şekil 3.12. Nesnelerin İnterneti üç ana bileşen (https://burkanylmz.wordpress.com/2015/10/12/internet-of-things-iot-nedir/)

Radyo frekansı tanımlama (RFID) etiketleri ve sensör gibi bir takım algılayıcı cihaz yerleştirilmiş nesneler birbirleri ve çevreleriyle internet üzerinden iletişim kurarak nesnelerin interneti sistemini oluşturur. RFID bu sistemin temel bileşeni ve etkinleştiricisi olarak kabul edilir.

Çizelge 3.4. RFID ve IoT arasındaki farklar (He ve ark., 2010)

	RFID	**IoT**
Güncellik	İnternet ve okuyucular mevcut olduğunda	Gerçek zamanda
İşlevsellik	Tanımlama, adresleme ve veri depolama	Tanımlama, adresleme, veri depolama ve bilgi değişikliğini aktif algılama
Zekâ	Az	Uygun seviyede

Pasif RFID etiketleri ürünü izleme için yeterli olsa da sensör gömülü aktif RFID etiketleri her nesnenin kullanımı/durumu hakkında çok daha fazla bilgi sağlayabilir (Ondemir ve Gupta, 2014b). Sensör, sıcaklık, basınç, titreşim, nem gibi değerlerdeki değişimleri saptar ve kaydedilmesi için sinyallere dönüştür. Ürünün seri numarası, modeli, malzeme listesi, üretim tarihi, satış tarihi gibi statik bilgileri içeren RFID etiketi ürüne bağlanır ve her bakım, iyileştirme gibi işlemlerden sonra güncellenebilir. Ürünün kullanımı sırasında oluşan çevresel koşullar, ürünün çalışma süresi ve sıklığı gibi dinamik bilgiler ise sensörler yardımıyla kaydedilir.



Şekil 3.13. Nesnelerin İnterneti-2(http://www.smallcapnetwork.com/Small-Cap-Atmel-Corporation-ATML-Has-the-Internet-of-Things-Covered-AMBA-FLEX-CSCO/s/via/3414/article/view/p/mid/1/id/1803/)

Böylece nesnelerin interneti tarafından sağlanan bu bilgiler sayesinde hem pahalı ön muayene ve demontaj işlemleri ortadan kalkar hem de geri dönen her ürün etkili bir şekilde değerlendirilebilir ve kullanılabilir.

3.2.2. Nesnelerin İnterneti Kullanım Alanları

Bugün internete 10-11 milyar cihazın bağlı olduğu tahmin edilmektedir. 2020 yılına gelindiğinde, bu rakamın 50 milyar seviyesine çıkacağı tahmin edilmekte, bazı diğer tahminler ise 100 milyar rakamlarını öngörmektedir (Kutup, 2011). Milyonlarca sensörün ve çeşitli cihazların oluşturduğu sürekli akış halindeki verilerden beslenen Nesnelerin İnterneti, pek çok kullanım alanıyla yaşantımızı kolaylaştırmayı ve iş süreçlerini geliştirmeyi sağlayan bir teknolojidir. Son yıllarda dünya çapında araştırmacılar ve uygulayıcılar tarafından büyük ilgi görmüş ve çeşitli alanlarda kullanılmıştır.

Çevre

Nesnelerin İnterneti; temiz su, hava kirliliği, katı atık depolama sahası ve orman kaybı gibi problemlere çözüm üretmek için eşsiz fırsatlar sunmaktadır.

Örnek Kullanım:

- Air Quality Egg adında bir cihaz ile ofis ve yaşam alanlarındaki hava kalitesi ölçümlenebilmektedir.
- Güneş panelleri ile çalışan BigBelly adlı bir çöp konteynırı dolduğu zaman temizlik görevlilerine haber göndermekte ve konteynırın boyutunun/kapasitesinin değiştirilmesi gibi işlemler; çöp kutularının hareketlilik seviyesini kontrol ederek gerçekleştirilmektedir.



Şekil 3.14. Air Quality Egg ve BigBelly (http://www.teknolo.com/nesnelerin-interneti-kullanim-alanlari/)

Tarım

Nesnelerin İnterneti, tarımsal üretimi arttırmak için her adımın gözlemlenebildiği akıllı tarlalar kurulmasına olanak sağlar. Buna ek olarak, gıda güvenliği açısından Nesnelerin İnternetinin sunduğu veri tabanlı çözümler tüketicilere yedikleri yemeğin dahi takibini yapabilme seçeneği sunmaktadır.

Örnek Kullanım:

- Waterbee adıyla geliştirilen akıllı sulama sistemi, sensörler yardımıyla su tüketimini azaltma ve toprağın durumu hakkında bilgi verme konusunda kolaylık sağlar. Sistem, topladığı veriyi analiz edip, sulama sisteminin kurulduğu alandaki toprağın ihtiyacına göre sulama işlemini gerçekleştirmektedir.
- Smartbob depolardaki tahıl ve diğer yemek çeşitleri hakkında raporlama ve ölçümleme işlemini görüyor.



Şekil 3.15. Waterbee ve Smartbob (http://www.teknolo.com/nesnelerin-interneti-kullanim-alanlari/)

Enerji

Nesnelerin İnterneti, global enerji sorununa; temiz enerji teknolojileri üreterek ve hali hazırdaki ürünlerin verimliliğini optimize ederek katkıda bulunmaktadır.

Örnek Kullanım:

- Ev ve ofis ortamında kullanabileceğiniz termostat (Nest), aydınlatma sistemleri (Philips Hue), kuru temizleme makineleri (Whirlool) gibi hali hazırda enerji tüketimini optimize eden cihazlar.



Şekil 3.16. Nest ve Philips Hue (http://www.teknolo.com/nesnelerin-interneti-kullanim-alanlari/)

Kamu Düzeni ve Güvenliği

Nesnelerin interneti, kamu güvenliğini artırmak amacıyla devlet kurumlarına yardımcı olabiliyor. Örneğin; ani kalp durması gibi bir rahatsızlık geçiren birinin durumunda; müdahale yapılmadan geçen her dakika kurtulma oranını düşürür. İster doğal afet, isterse de medikal öncelik gerektiren bir durum olsun; birbirleri arasında çabucak bilgi transferi yapan cihazlar, acil durumlarda yardımcı olmaktadır.

Örnek Kullanım:

- Köprülerde zamana bağlı olarak oluşan yapısal değişiklikleri ve buna bağlı olarak köprünün sağlık durumunu, çeşitli sensörler yardımıyla gözlemlemek mümkün. Aşağıdaki resimde gördüğünüz Jindo köprüsü (Kuzey Kore) üzerinde bulunan 600 'den fazla sensör ile dünyanın tam otomatik ilk köprülerinden biridir. Bu tarz sistemler tehlike anında, köprü mühendislerine mail yada mesaj gönderebilmektedir.
- Deprem sonrasında binalarda bazı çatlaklar oluşur ve bu doğrultuda o binanın boşaltılması istenir ama durum her zaman böyle olmayabiliyor. Bir bina da çatlak gözükmüyor olması, yıkılma tehlikesi taşımadığı anlamına gelmez. Bu sensörler, deprem sonrasında binanın kayıp kaymadığını hesaplayabilmektedir. Bazı hastanaler böyle sistemler kurmuş ve hastane yöneticileri verilere dayanarak çalışanların ve hastaların boşaltılmasını sağlamaktadır.



Şekil 3.17. Jindo köprüsü ve Hastane (http://www.teknolo.com/nesnelerin-interneti-kullanim-alanlari/)

Ulaşım

Sensörler yardımıyla yol üzerindeki araçları sayan, yolculuk süresini hesaplayan, çukurları tespit eden ve park yerlerinin kullanılma süresini hesaplayan akıllı ulaşım sistemleri kurulabilir. Dahası böyle bir sistemden elde edilen veri ile daha iyi bir trafik yönetimi gerçekleştirmek mümkün.

Örnek Kullanım:

- HikoB hava sıcaklığı, nem oranı trafik hacmi gibi değişkenleri hesaplayabilen küçük bir sensör. Bu sensör yol bakım onarım çalışmalarının, hava koşullarına göre öncelik belirlemesine yardımcı olmakta ve sürücüleri de yoldaki potansiyel tehlikelere karşı uyarmaktadır.
- Parksight adında küçük bir cihaz bireysel park etme alanlarının ne kadar süreyle kullanıldığını hesaplayarak sürücülerin boş park alanlarını arama zahmetinden kurtarabilmektedir.



Şekil 3.18. HikoB ve Parksight (http://www.teknolo.com/nesnelerin-interneti-kullanim-alanlari/)

Sağlık

Nesnelerin interneti, sağlık durumuna bağlı olarak önlem alma, görüntüleme ve teşhis koyma aşamasında çeşitli çözümler sunuyor. Cihazlar, bireylerin kilo, gövde kitle, uyku düzeni ve günlük aktivite oranı gibi kendi sağlık durumlarını denetlemelerinde yardımcı olmaktadır.

Örnek Kullanım:

- Bebeklerin uyku düzenini, yemek saatlerini takip edebilen ürünler –Mimo Baby– ve aynı şekilde Lively gibi yaşlıların günlük hareketlerini takip edenler.
- Vitality GlowCaps adlı bir ilaç şişesi, kullanıcıları ilaç alma zamanı geldiğinde uyarır. Kapağın açılıp kapanma hareketini algılayan şişe, ilaç alınana kadar her türlü hatırlatıcıya -sms, telefon çağrısı, sesli hatırlatma, ikaz ışığı- başvurmaktadır (Atakul, 2015).



Şekil 3.19. Mimo Baby ve Vitality GlowCaps (http://www.teknolo.com/nesnelerin-interneti-kullanim-alanlari/)

Nesnelerin internetinin kişisel yaşamlara sağlayacağı, yukarıdaki faydalar gibi şüphesiz işletmelere ve özellikle tedarik zincirlerine sağlayacağı faydalar da mevcuttur. Nesnelerin interneti tedarik zinciri için, üreticiden son kullanıcıya ağındaki tüm taraflar için zengin veri ve daha derin zekâ anlamına gelir. Nesnelerin internetinin tedarik zincirleri ile ilgili önemli bazı faydaları şu şekilde sıralanabilir:

- Daha iyi depo yönetimi: Nesnelerin interneti sayesinde depo gerçek zamanda gözlemlenebilir. Gereğinden fazla üretim ve depolama önlenerek hem depolanan ürün adedi hem de maliyetler düşürülebilir. Ayrıca dönüş süresi kısaltılabilir, gereksiz elleçleme, kayıp ve çalınma önlenebilir.

- Gerçek zamanda tedarik zinciri yönetimi: Nesnelerin interneti, her türlü bilginin (örn. üretim tarihi, son kullanma tarihi, garanti süresi, satış sonrası detayları) nesnelerde saklanması ve gerçek zamanda tedarik zinciri paydaşlarınca paylaşılmasını mümkün kılarak bilginin bozulmasını önler.

- Artan lojistik şeffaflık: Zincir paydaşları taşınan akıllı nesnelerden, tedarik zinciri boyunca nakliye hakkında tüm bilgileri (örn. güzergah, nakliye koşulları, nakledilen yükün durumu) gerçek zamanda öğrenebilir. Nesnelerin interneti sayesinde nakliye sırasında oluşmuş zararların öğrenilmesi ile geri dönüş maliyetleri, hasarlı ürünü değiştirme ve tekrar gönderme maliyetleri azaltılabilir. Müşterinin nakledilen ürün hakkında gerçek zamanda bilgilendirilmesi, eline hasarlı ürünün ulaşımın önlenmesi müşteri memnuniyeti için önemli hususlardır.

- İş süreci optimizasyonu: İş süreçleri çerçevesinde kullanılan akıllı nesneler olası problemlerin tespitini hızlandırır, kolaylaştırır ve olası bir süreç optimizasyonu tespitini destekler.

- Kaynak tasarrufu: Akıllı ölçeklerden gelen otomatik geri bildirimler temelinde kısıtlı kaynakların (örn. su, elektrik) tüketimi hususunda kullanıcıların daha dikkatli olması temin edilebilir.

- Karbon ayak izi kaydı: Nesnelerin interneti, bir ürünün her akıllı bileşeninin kendi karbon ayak izini kaydetmesini sağlar. Böylece çevresel düzenlemelere uyumu sağlayan karbon kredi ticari tarihi (carbon credit trade history) kaydını mümkün kılar. Bu, yeşil bir tedarik zinciri oluşturmak adına önemlidir (Bayrak Meydanoğlu, 2013).

3.2.2. Nesnelerin İnterneti Avantaj ve Dezavantajları

Milyonlarca sensörün ve çeşitli cihazların oluşturduğu sürekli akış halindeki verilerden beslenen Nesnelerin İnterneti, birçok yoldan yaşantımızı kolaylaştırmayı ve iş süreçlerini geliştirmeyi sağlayan bir teknolojidir (Yılmaz, 2015). Bilgi kullana bilirliği, sürekli izleme yeteneği, zaman (para) tasarrufu sistemin başlıca avantajları arasındadır. Fakat bu sistemin bize sunduğu fırsatların yanında zorlukları da bulunmaktadır. Bu teknolojinin benimsenmesi sonucu yavaş yavaş ortadan kalkacağı inanılan dezavantajlar;

Karmaşıklık: Milyarlarca nesnenin bu sisteme bağlanmasıyla ortaya çıkacak veri miktarı inanılmaz derecede artacak ve bu büyük verilerin çözümlenerek işlenmesi zor ve karmaşık bir iş haline gelecektir.

Gizlilik ve güvenlik: Sistemin büyük bir ağ üzerine kurulması siber güvenlik riskini beraberinde getirmektedir. Bu durum Nesnelerin internetinin kullanılmasını ve yaygınlaşmasını engelleyecek en önemli sorundur. Bu yüzden müşterilerin gizlilik ve güvenliğini sağlamak üzere teknik açıdan mantıklı çözümler bulunmalıdır.

Uygunluk: Nesnelerin İnterneti için bir diğer endişe ise uygunluk sorunudur. Şu anda Nesnelerin İnterneti, fikir ve gelişimin başlangıç aşamasında olduğundan etiketleme, ekipmanların izlenmesi, veri tanımlama, yakalama ve değişimini sağlamak, özel yazılımlar, uçtan uca güvenlik ve bireysel yönetim vb. için henüz hiç bir uygunluk standardı bulunmamaktadır (He ve ark., 2010; Machado ve Shah, 2014; Yılmaz, 2015).

3.3. Problemin Tanımı

Problem, satış ve toplama merkezi taleplerini sıfır, tamir edilmiş ve yeniden üretilmiş ürünlerle karşılayan bir imalatçı ile ilgilidir. Buradaki imalatçı, KDTZ'ndeki fabrika, dağıtım merkezi ve tamir merkezini kapsamaktadır. Ele alınan probleme dayalı KDTZ ağı Şekil 3.20'de verilmiştir. Satış ve toplama merkezi, imalatçıdan temin etiği ürünleri müşterilere satarken aynı zamanda müşterilerden kullanılmayan ürünleri toplamaktadır. Ancak, satış ve toplama merkezi ile müşteriler arasındaki alış veriş ele aldığımız KDTZ ağ tasarımı ve modellenmesinde dikkate alınmamıştır. Satış ve toplama merkezindeki kullanım ömrü bitmiş ürünler sahip oldukları değer seviyelerine göre belirlenen bir fiyat üzerinden satın alınır. Bu çalışmada, geri dönüşleri değerlendirmek üzerine tamir (repair), komple demontaj (disassembly) ve bertaraf (disposal) olmak üzere üç seçenek bulunmaktadır. Tamir seçeneğinde ürünün hasarlı bileşenleri değiştirilir (tamir merkezinde) ardından satış ve toplama merkezi talebini karşılamak üzere dağıtım merkezine yollanır. Demontaj seçeneği, ürünün komple demontaj edilmesidir. Demontajdan çıkan parçalar değer seviyelerine göre talebi karşılamak üzere satış ve toplama merkezine, yeniden kullanılmak üzere fabrikaya veya bertaraf edilmek üzere atık merkezine gönderilir. Atık seçeneği ise ürünün, tamir veya demontaj etmek için yeterli değer seviyesine sahip olmaması durumunda herhangi bir satın alma maliyetine katlanılmadan ve herhangi bir işleme tutulmadan doğrudan atılmasıdır. Yeniden üretilmiş ürünler kullanılmış bileşenlerin yanı sıra, parçaların eksik olması durumunda sıfır bileşenleri de içerebilmektedir. İmalatçı, ürün ve bileşen talebinin karşılanması ve toplam üretim giderini optimize etmek için dışardan yeni bileşenler temin etmeye veya her bir geri dönüş için doğru geri kazanım kararı almaya ihtiyaç duyar.

Bu aşamada, Internet of Things (IoT) yani nesnelerin interneti sistemi ürün bilgilerini sağlamak için kullanılır. Firma farklı değer seviyesindeki geri dönüş ürünlerini toplarken ürün yaşam döngüsü bilgileri de IoT yoluyla toplanır, işlenir ve paylaşılır. Kapalı döngü tedarik zincirindeki imalatçı tarafından yapılan ürün DIOT (Device of Internet of Things) yerleştirilen akıllı bir üründür, böylece DIOT deki sensörler ürünün tüm yaşam döngüsü boyunca ürünü izlemede ve incelemede tutar. Bu arada ürün statüsündeki değişimler DIOT ile izlenebilir ve depolanabilir. RFID etiketinde her ürüne yazılan kendine özgü elektronik ürün kodu ile böyle bilgiler okuyucu cihazların birkaç türü ile alınabilir ve her IoT kullanıcısı ihtiyaç duyulduğunda

onu elde edebilir. Böylece, geri dönen her ürünün kalan değeri etkili bir şekilde değerlendirilebilir ve kullanılabilir.

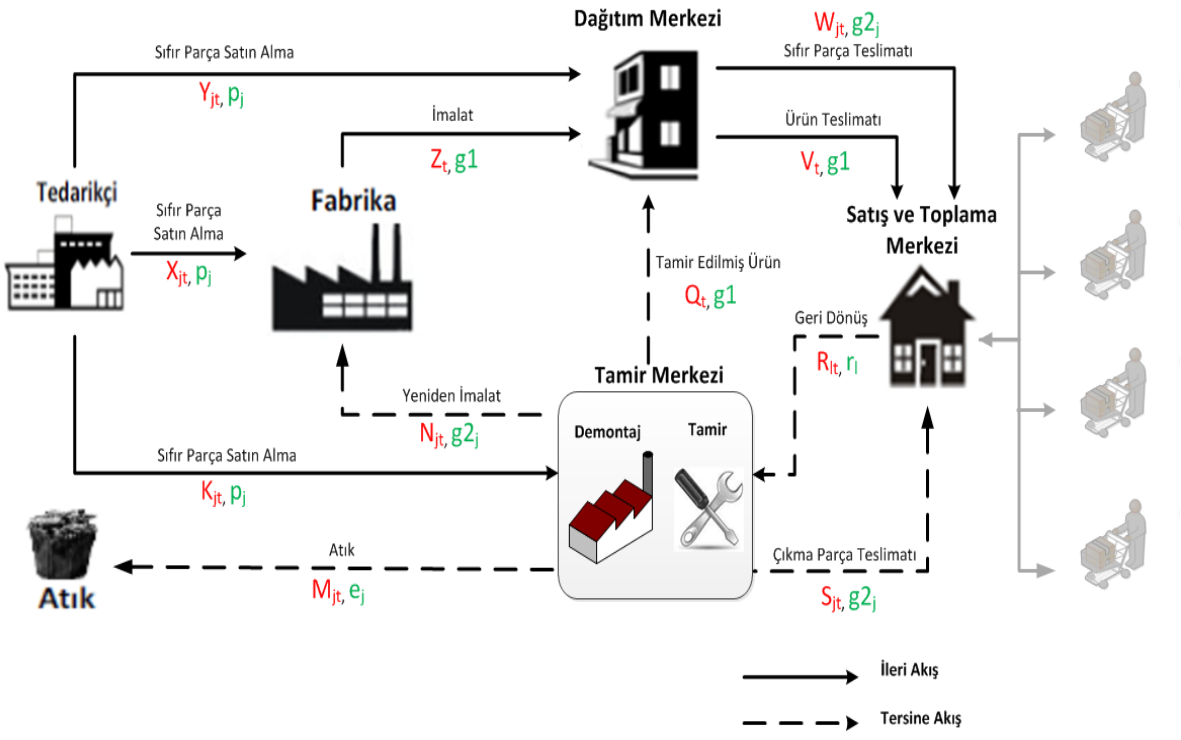
Her zaman periyodu için aşağıdaki sorulara cevap verilmelidir.

1) Her birim zamanda dış tedarikçiden kaç bileşen temin edilmelidir?
2) Geri dönen ürün tamir edilmeli, demontaj edilmeli yoksa atılmalı mı?
3) Demontaj edilecek ürünlerin hangi bileşenleri yeniden kullanılmalı hangi bileşenleri talebi karşılamak üzere satılmalı veya hangi bileşenleri atılmalıdır?

Bu kararlar nesnelerin internetinin ilgili teknikleri tarafından izlenen ve toplanan geri dönen ürün yaşam döngüsü bilgisine dayanarak verilir.

Probleme ilişkin bazı varsayımlar:

1) Ürün tamamen modülerdir ve gerekli yaşam döngüsü bilgisi mevcuttur.
2) Yeni bir ürün ile iyileştirilmiş bir ürün arasında hiçbir fark yoktur ve aynı fiyatla talebi karşılayabilmektedir.
3) Üretim kapasitesi tüm ürün gereksinimi için yeterlidir.
4) Tüm maliyet ve satış fiyatı bilgileri bilinmektedir.
5) Her bir dönem için satış ve toplama merkezi talepleri kesin olup tümüyle karşılanmaktadır.
6) Geri dönen ürünler işe yaramayan bileşenleri de dâhil tüm bileşenlerini içermektedir.
7) Ürünü oluşturan bileşenlerin, toplamı 1 olacak şekilde 0-1 arasında değişen bileşen önem ağırlıkları vardır.
8) Stok ve yok satma olmadığı varsayılmıştır.



Şekil 3.20. Temsili Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Ağı

3.3.1. Matematiksel Model

Yukarıdaki varsayımlara dayanarak, tamamen modüler olan tek tip bir ürün (otomobil, bilgisayar, telefon vb.) belirlenmiştir. Model, talebi karşılamak üzere karı en büyüklemek için tüm geri dönüşlerin nasıl işleneceğini belirlemektedir.

İndisler

$\boldsymbol{i}$ **:** *Geri dönen ürünler* $(i = 1, 2, \dots, I)$

$\boldsymbol{j}$ **:** *Bileşenler* $(j = 1, 2, \dots, J)$

$\boldsymbol{t}$ **:** *Periyod* $(t = 1, 2, \dots, T)$

$\boldsymbol{l}$ **:** *Geri dönen ürün değer aralığı* $(l = 1, 2, \dots, L)$

Parametreler

$\boldsymbol{a_j}$**:** *j bileşeninin montaj maliyeti*

$\boldsymbol{d_j}$ **:** *j bileşeninin demontaj maliyeti*

$\boldsymbol{e_j}$**:** *j bileşeninin atık maliyeti*

$\boldsymbol{f_j}$ **:** *j bileşeninin yenileme maliyeti*

$\boldsymbol{g1}$ **:** *Birim ürün taşıma maliyeti*

$\boldsymbol{g2_j}$ **:** *j. bileşeni taşıma maliyeti*

$\boldsymbol{p_j}$ **:** *Tedarikçiden j bileşenini temin etme maliyeti*

$\boldsymbol{r_l}$**:** *Satış ve toplama merkezinden l seviyesinde ürün satın alma maliyeti*

$\boldsymbol{h1}$ **:** *Ürün satış fiyatı*

$\boldsymbol{h2_j}$ **:** *j. sıfır parçanın satış fiyatı*

$\boldsymbol{h3_j}$ **:** *j. çıkma parçanın satış fiyatı*

$\boldsymbol{rc_j}$ **:** *Bir ürün içinde bulunan j. bileşen sayısı*

$\boldsymbol{rfc_{jt}}$ **:** *t periyodunda yenilenen j. bileşen miktarı*

$\boldsymbol{bro_{ijt}}$ **:** *Eğer t periyodunda geri dönen i deki j bileşeni yetersiz seviyedeyse 1, aksi halde 0*

$\boldsymbol{\bar{a}_{it}}$ **:** *i geri dönen ürünü t periyodunda satın alınmışsa 1 aksi halde 0*

$\boldsymbol{R_{lt}}$ **:** *t periyodunda satış ve toplama merkezinden satın alınan l. seviye kullanılmış ürün miktarı*

$\boldsymbol{C_i}$ **:** *i geri dönen ürünün değer seviyesi*

$\boldsymbol{dm_t}$ **:** *Satış ve toplama merkezinin t periyodundaki ürün talebi*

$\boldsymbol{dms_{jt}}$ *: Satış ve toplama merkezinin t periyodundaki j.sıfır parça talebi*

$\boldsymbol{dmc_{jt}}$ *: Satış ve toplama merkezinin t periyodundaki j.çıkma parça talebi*

$\boldsymbol{dem_{it}}$ *: t periyodunda geri dönen ürün demontaj edilecekse 1, aksi halde 0*

$\boldsymbol{rep_{it}}$ *: t periyodunda geri dönen ürün tamir edilecekse 1, aksi halde 0*

$\boldsymbol{Q_t}$ *: t periyodunda tamir merkezinden dağıtım merkezine gönderilen tamir edilmiş ürün miktarı*

$\boldsymbol{M_{jt}}$ *: t periyodunda tamir merkezinden atığa gönderilen j. bileşen miktarı*

$\boldsymbol{K_{jt}}$*: t periyodunda tedarikçiden tamir merkezine temin edilen j. sıfır bileşen miktarı*

Burada; bileşenlerin nasıl işleneceği değer seviyelerine göre belirlenir. Bu da bro_{ijt} ikili değişkeni ile sağlanmaktadır. Buna göre değer seviyesi yeterli olan bileşenler demonte edildikten sonra yenilenerek yeniden kullanılır, değer seviyesi yeterli olmayan bileşenler ise doğrudan atılır. Buradaki n, bileşenlerin yenilenmesi için belirlenen eşik değerdir.

$$\text{bro}_{\text{ijt}} = \begin{cases} 1 & j\ komponenti\ yetersiz\ değer\ seviyesinde(Atık) \quad 0 \le diot_j < n \\ 0 & j\ komponenti\ yeterli\ değer\ seviyesinde(Yeniden\ kullanılır) \quad diot_j \ge n \end{cases} \quad \forall i \ \ ve\ 0< n$$

Geri dönen tüm ürün bileşenlerinin değer seviyesi $(diot_j)$ ve önem ağırlıkları bilinmektedir. Bu bilgilere göre hesaplanan ürün değer seviyeleri $(diot_i)$ için 3 sınıf (değer aralığı) tanımlanmıştır. C_i ürün değer aralığı aşağıdaki gibi belirlenmektedir. Burada, n_1 ve n_2 değer aralığı sınırlarını ifade etmektedir. Buna göre geri dönen her ürünün hangi geri kazanım işlemine (tamir, demontaj, atık) tabi tutulacağı bilgisi elde edilir.

$$C_i = \begin{cases} \mathbf{1} & (Atık) \quad 0 \le diot_i < n_1 \\ \mathbf{2} & (Demontaj) \quad n_1 \le diot_i < n_2 \\ \mathbf{3} & (Tamir) \quad diot_i \ge n_2 \end{cases} \qquad \forall i \quad ve \quad 0< n_1 < n_2$$

(Ondemir ve Gupta, 2014b)

Geri dönen ürünler *t* periyodunda satın alınmış ve 3. değer aralığında ise tamir edilir. Dolayısıyla;

$C_i \,.\, \bar{a}_{it} = 3$ *ise* $\boldsymbol{rep_{it} = 1}$ *olur.*

Geri dönen ürünler *t* periyodunda satın alınmış ve 2. değer aralığında ise demonte edilir. Dolayısıyla;

$C_i \,.\, \bar{a}_{it} = 2$ *ise* $\boldsymbol{dem_{it} = 1}$ *olur.*

Geri dönen ürünler 1. değer aralığında ise doğrudan atılır. Dolayısıyla;

$C_i = 1$ *ise* $\boldsymbol{\sum_t dem_{it} + rep_{it} = 0}$ *olur.*

Demontajdan sonra yenilenen toplam bileşen miktarı $\boldsymbol{(rfc_{jt})}$ aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$\boldsymbol{rfc_{jt} = \sum_{\{i \epsilon I | \bar{a}_{it}=1\}} dem_{it}.(1 - bro_{ijt})}$$

Tamir merkezinde tamir edilen ürün miktarı, ürün talebini karşılamak üzere tamir merkezinden dağıtım merkezine gönderilen tamir edilmiş ürün miktarı kadar olmalıdır.

$$\boldsymbol{Q_t = \sum_i rep_{it}} \qquad \forall t$$

Tamir edilen ürünler, geri dönen ürünlerdeki yeterli seviyede olmayan bileşenlerin tedarikçiden temin edilen sıfır parçalarla değiştirilmesi ile elde edilir. Dolayısıyla, tedarikçiden tamir merkezine, tamirde sökülen yetersiz seviyedeki bileşen miktarı kadar sıfır parça temin edilmelidir.

$$\boldsymbol{K_{jt} = \sum_i bro_{ijt}.rep_{it}} \qquad \forall j, t$$

Tamir ve demontaj süreçleri sırasında ortaya çıkan yetersiz seviyedeki bileşenler atık merkezine gönderilir. Dolayısıyla, atık merkezine gönderilen toplam atık miktarı yetersiz seviyedeki bileşen miktarına eşit olmalıdır.

$$\boldsymbol{M_{jt} = \sum_i bro_{ijt}.(dem_{it} + rep_{it})} \qquad \forall j, t$$

Mevcut bileşen değer seviyelerine göre ürün değer seviyesinin aşağıdaki gibi hesaplandığı varsayılmıştır.

$$\text{Ürün } \boldsymbol{değer\ seviyesi(diot_i) = \sum Bileşen\ değer\ seviyesi(diotj)\ x\ Bileşen}\ \text{önem ağırlığı}$$

Karar Değişkenleri

$\boldsymbol{X_{jt}}$ **:** *t periyodunda tedarikçiden fabrikaya temin edilen j. sıfır bileşen miktarı*

$\boldsymbol{Y_{jt}}$ **:** *t periyodunda tedarikçiden dağıtım merkezine temin edilen j. sıfır bileşen miktarı*

$\boldsymbol{Z_t}$ **:** *t periyodunda fabrikadan dağıtım merkezine gönderilen ürün miktarı*

$\boldsymbol{W_{jt}}$ **:** *t periyodunda dağıtım merkezinden satış ve toplama merkezine teslim edilen j. sıfır bileşen miktarı*

$\boldsymbol{V_t}$ **:** *t periyodunda dağıtım merkezinden satış ve toplama merkezine teslim edilen ürün miktarı*

$\boldsymbol{S_{jt}}$ **:** *t periyodunda tamir merkezinden satış ve toplama merkezine teslim edilen j. çıkma parça miktarı*

$\boldsymbol{N_{jt}}$ **:** *t periyodunda tamir merkezinden fabrikaya gönderilen yenilenmiş j. bileşen miktarı*

$\boldsymbol{b_{jt}}$ **:** S_{jt} *değerini net belirleyebilmek için kullanılan yardımcı karar değişkeni (0 veya 1 değerini alır)*

Amaç Fonksiyonu

Amaç fonksiyonu, toplam karı maksimize etmektir. Yani model, toplam geliri maksimize ederken toplam gideri minimize eder. Bu nedenle amaç fonksiyonu toplam gelirin (TR), toplam gidere (TC) olan farkı şeklinde hesaplanmaktadır. İki kısımdan oluşan amaç fonksiyonu aşağıdaki gibidir:

$$\mathbf{Z = TR\text{-}TC} \qquad \mathbf{(1)}$$

1) **Toplam Gelir (TR):** Firma, nihai ürün, sıfır parça ve çıkma parça olmak üzere üç farklı satış gerçekleştirebilmektedir. Ayrıca demontajdan sonra yenilenen parçaların bir kısmı yeniden üretim için fabrikaya gönderilir. Sıfır parça yerine kullanılabilen bu parçalar tedarikçiden temin edilmediğinden bu kısımda bir gelir kalemi olarak alınmaktadır. Bu yüzden TR aşağıdaki gibi dört kısımdan oluşmaktadır.

$$\mathbf{TR} = \sum_t \boldsymbol{V_t}.\boldsymbol{h1} + \sum_t \sum_j \left(\boldsymbol{W_{jt}}.\boldsymbol{h2_j} + \boldsymbol{S_{jt}}.\boldsymbol{h3_j} + \boldsymbol{N_{jt}}.\boldsymbol{P_j}\right) \qquad \mathbf{(2)}$$

2) Toplam Gider (TC): Firma, toplam satın alma gideri (TPC), toplam üretim gideri (TMC), toplam taşıma gideri (TTC) ve toplam atık gideri (TDC) olmak üzere dört farklı gidere katlanmaktadır. Bu yüzden TM aşağıdaki gibi formülize edilmiştir.

$$\mathbf{TC = TPC + TMC + TTC+TDC} \quad \mathbf{(3)}$$

2.1) Toplam satın alma gideri (TPC): TPC'nin ilk kısmı, fabrika ile satış ve toplama merkezinin sıfır bileşen talebini karşılamak üzere yapılan satın alma maliyetini, ikinci kısım ise satış ve toplama merkezinden kullanılmış ürünleri satın alma maliyetini göstermektedir.

$$\mathbf{TPC}= \sum_j \boldsymbol{P_j}\left(\sum_t (\boldsymbol{X_{jt}} + \boldsymbol{Y_{jt}})\right) + \sum_l \boldsymbol{r_l}(\sum_t \boldsymbol{R_{lt}}) \quad \mathbf{(4)}$$

2.2) Toplam üretim gideri (TMC): Üretim süreci; fabrika içindeki imalat gideri (TMC1), tamir gideri (TMC2) ve demontaj gideri (TMC3) olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır.

$$\mathbf{TMC = TMC1 + TMC2 + TMC3} \quad \mathbf{(5)}$$

Demontajdan sonra yenilenen parçaların bir kısmı fabrikaya gönderilir. Burada varsa eksik parçalar tedarikçiden temin edilerek yeniden imalat gerçekleştirilir. Tamir ve yeniden imalat ile üretilen nihai ürünlerin satış ve toplama merkezi talebini tümüyle karşılamaması durumunda ise kalan talebi karşılamak üzere tedarikçiden sıfır parça temin edilerek sıfır ürün imal edilir.

Fabrika içindeki imalat, sıfır ürün ve yeniden üretilmiş ürün imalatından oluşur. Burada oluşan gider ise üretilen ürünlerin içerdiği tüm bileşenlerin montaj maliyetleri toplamıdır.

$$\mathbf{TMC1}= \sum_j \boldsymbol{a_j}.\boldsymbol{rc_j}(\sum_t \boldsymbol{Z_t}) \quad \mathbf{(6)}$$

Tamir, örneğin; bir otomobil için düşünüldüğünde sadece hasarlı olan dikiz aynasının değiştirilmesi gibi basit işlemler gerektiren, değer seviyesi iyi durumda olan geri dönüş ürünlerine uygulanmaktadır. Buradaki gider ise tamir merkezinde hasarlı bileşenlerin değiştirilme maliyetidir (hasarlı parça için demontaj maliyeti, sıfır parça için satın alma ve montaj maliyeti).

$$\textbf{TMC2}= \sum_i \sum_j \sum_t (d_j + a_j + p_j) bro_{ijt}.rep_{it} \quad \textbf{(7)}$$

Komple demontaj, tamir için yeterli değer seviyesinde olmayan fakat bileşenleri değerlendirilebilen geri dönüş ürünlerine uygulanmaktadır. Komple demontaj edilen iyi durumdaki parçalar yenilenir ve önce değer seviyelerine göre talebi karşılamak üzere satış ve toplama merkezine gönderilir. Satış ve toplama merkezi talebi karşılandıktan sonra kalan parçalar yeniden kullanılmak üzere fabrikaya gönderilir. Kötü durumdaki işe yaramayan parçalar ise bertaraf edilmek üzere atık merkezine gönderilir. Buradaki gider ise ürünü oluşturan tüm parçaların demontaj maliyetleri ve iyi durumdaki parçaların yenileme maliyetleri toplamından oluşmaktadır.

$$\textbf{TMC3}= \sum_i dem_{it} (\sum_j d_j + \sum_t f_j . (1 - bro_{ijt})) \quad \textbf{(8)}$$

2.3) Toplam taşıma gideri (TTC): Modelde taşıma ürün ve parça bazında ele alınmıştır. Fabrikadan dağıtım merkezine, tamir merkezinden dağıtım merkezine ve dağıtım merkezinden satış ve toplama merkezine yapılan nihai ürün taşıma maliyetleri eşit kabul edilmiştir. Ayrıca, tamir merkezinden fabrikaya, tamir merkezinden satış ve toplama merkezine ve dağıtım merkezinden satış ve toplama merkezine olan parça taşıma maliyetlerinin de eşit olduğu kabul edilmiştir. Buna göre toplam taşıma gideri aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$\textbf{TTC}= \sum_t g1(Z_t + Q_t + V_t) + \sum_j \sum_t g2_j(N_{jt} + W_{jt} + S_{jt}) \quad \textbf{(9)}$$

2.4) Toplam atık gideri (TDC): İşe yaramaz bileşenler tamir ve demontaj süreçlerinde ortaya çıkmaktadır. Tamirde değiştirilecek olan, demontajda ise yenilenmeyecek olan yetersiz seviyedeki parçalar atık olarak kabul edilir ve gideri aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\textbf{TDC}= \sum_j \sum_t e_j M_{jt} \quad \textbf{(10)}$$

Kısıtlar

Fabrikadan dağıtım merkezine gelen sıfır bileşen miktarı ile dağıtım merkezinden satış ve toplama merkezine giden sıfır bileşen miktarı eşit olmalıdır. Dolayısıyla;

$$\boldsymbol{Y_{jt} - W_{jt} = 0} \qquad \forall j,t \qquad \textbf{(11)}$$

Fabrika ve tamir merkezinden dağıtım merkezine gelen ürünler, dağıtım merkezinden satış ve toplama merkezine giden ürün miktarına eşit olmalıdır. Dolayısıyla;

$$\boldsymbol{Z_t + Q_t - V_t = 0} \qquad \forall t \qquad \textbf{(12)}$$

Demontajdan sonra yeniden kullanılmak üzere yenilenen bileşenlerin bir kısmı çıkma parça talebini karşılamak üzere satış ve toplama merkezine, bir kısmı da yeniden imalatta kullanılmak üzere fabrikaya gönderilir. Dolayısıyla, demontajdan sonra yenilenen bileşen miktarı, tamir merkezinden fabrika ile satış ve toplama merkezine giden bileşen miktarına eşit olmalıdır.

$$\boldsymbol{rfc_{jt} - (N_{jt} + S_{jt}) = 0} \qquad \forall j,t \qquad \textbf{(13)}$$

Fabrika içi imalatta kullanılan bileşenlerin bir kısmı kendi bünyesindeki tamir merkezinden, bir kısmı da tedarikçiden karşılanmaktadır. Dolayısıyla, gelen bileşenlerin toplamı fabrikanın bileşen gereksinimini karşılamalıdır.

$$\boldsymbol{(X_{jt} + N_{jt}) - rc_j . Z_t = 0} \qquad \forall j,t \qquad \textbf{(14)}$$

Satış ve toplama merkezinin ürün talebi, dağıtım merkezindeki nihai ürünlerle sağlanmaktadır. Dolayısıyla, dağıtım merkezinden satış ve toplama merkezine giden ürün miktarı satış ve toplama merkezinin ürün talebine eşit olmalıdır.

$$\boldsymbol{V_t = dm_t} \qquad \forall t \qquad \textbf{(15)}$$

Satış ve toplama merkezinin sıfır parça ve çıkma parça olmak üzere iki farklı bileşen talebi bulunmaktadır. Dağıtım merkezinden satış ve toplama merkezine giden sıfır parça miktarı en az sıfır parça talebi kadar olmalıdır. Firma çıkma parça talebini tamamen karşılayamadığı durumda ise kalan kısım sıfır parça ile tamamlanabilmektedir. Dolayısıyla, ilgili kısıtlar aşağıdaki gibi formüle edilmiştir.

$$\boldsymbol{W_{jt} \geq dms_{jt}} \qquad \forall j,t \qquad \textbf{(16)}$$

$$\boldsymbol{S_{jt} + W_{jt} = dms_{jt} + dmc_{jt}} \qquad \forall j,t \qquad \textbf{(17)}$$

Demontajdan sonra yenilenen bileşenlerin bir kısmı çıkma parça talebini karşılamak üzere satış ve toplama merkezine bir kısmı da yeniden imalat için fabrikaya gönderilir. Aşağıdaki kısıt yenilenen bileşenlerin dağılımında önceliğin çıkma parça talebini karşılamaya yönelik olarak satış ve toplama merkezine gönderilen çıkma parça miktarına ($\boldsymbol{S_{jt}}$) verilmesini sağlar. Dolayısıyla, çıkma parça miktarı ya demontajdan sonra yenilenen toplam bileşen miktarı ya da çıkma parça talebi kadar olmalıdır.

$$\boldsymbol{S_{jt} = rfc_{jt}.\bar{b}_{jt} + dmc_{jt}.\left(1 - \bar{b}_{jt}\right)} \qquad \forall j, t \qquad \textbf{(18)}$$

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde, bir önceki bölümde verilen matematiksel model sayısal bir örnek ile GAMS paket programında test edilerek geçerliliği gösterilmiştir. Daha sonra önemli parametre değerlerinin sistem üzerindeki etkilerinin ölçülmesi için test problemleri oluşturulmuş ve çözüm sonuçları yorumlanmıştır.

4.1. Sayısal Örnek

Modelin planlaması 2 periyot üzerinden yapılmıştır. Her zaman periyodunda 6 geri dönüş ürününün (i) geldiği varsayılmıştır. Her bir ürün 5 bileşenden (j) oluşmaktadır. Birim ürün taşıma maliyeti ($g1$) 0,5 pb ve ürün satış fiyatı ($h1$) 100 pb olarak ele alınmıştır. Ürün talebi her zaman birimi için 7 adettir. Ürün ve bileşenler hakkındaki bilgiler IoT sistemi tarafından sağlanmaktadır. Diğer parametreler aşağıda verilmiştir (Çizelge 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 ve 4.5).

Çizelge 4.1. Sayısal örneğe ilişkin diğer parametreler

Bileşenler	A	B	C	D	E
a_j	1	5	3	2	4
d_j	0.5	1.5	1	0.3	0.8
e_j	0.6	0.2	1	1.5	2
f_j	1.5	2	0.5	1	2
$g2_j$	0.1	0.1	0.2	0.1	0.3
p_j	10	10	5	5	10
$h2_j$	12	12	7	7	12
$h3_j$	6	6	2	3	5
rc_j	1	1	4	2	1

Çizelge 4. 2. Bileşenlere ilişkin talep değerleri

	Sıfır parça talebi (dms_{jt})		Çıkma parça talebi (dmc_{jt})	
Bileşen	**1.Dönem**	**2.Dönem**	**1.Dönem**	**2.Dönem**
A	5	1	3	2
B	4	2	1	3
C	8	4	0	4
D	1	3	1	2
E	6	3	8	3

Çizelge 4.3. Bileşen değer seviyeleri ile önem ağırlıkları

Dönem (t)	Ürün (i)	Bileşen değer seviyesi ($diot_j$)				
		A	**B**	**C**	**D**	**E**
1	**1**	10	5	3	6	3
	2	10	9	7	8	3
	3	8	1	4	1	0
	4	3	4	1	0	6
	5	2	0	3	3	9
	6	10	7	3	9	8
2	**7**	2	7	10	3	9
	8	10	3	4	1	7
	9	9	10	5	8	4
	10	2	10	5	10	4
	11	7	8	10	1	3
	12	5	0	10	4	4
Bileşen önem ağırlığı		**0.2**	**0.26**	**0.08**	**0.16**	**0.3**

Çizelge 4.4. Ürün değer aralığına göre satın alma fiyatları (r_l) ile dönemlere ilişkin satın alınan ürün miktarları (R_{lt})

		Ürün değer aralığı (l)		
	Dönem (t)	**1**	**2**	**3**
R_{lt}	**1**	3	1	2
	2	1	5	0
	r_l	0	20	50

Çizelge 4.5. Ürün değer seviyeleri ($diot_i$) ve değer aralıkları (l)

i	$diot_i$	l
1	5.4	2
2	7.08	3
3	2.34	1
4	3.52	1
5	3.82	1
6	7.9	3
7	6.2	2
8	5.02	2
9	6	2
10	6.2	2
11	5.34	2
12	3.64	1

Çizelge 4.5'deki veriler, Çizelge 4.3'de bulunan bileşen değer seviyeleri ile önem ağırlıkları kullanılarak elde edilmiştir. Burada ürünün değer aralık sınırları olan $n_1 = 4$, $n_2 = 7$, bileşen yenileme eşik değeri olan $n = 4$ kabul edilmiştir.

4.2. Çözüm

Geliştirilen karma tamsayılı doğrusal programlama modeli bu veriler doğrultusunda GAMS/CPLEX 23.3 paket programında 1 saniyeden az bir sürede çözülmüş, aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 4.6. Optimal amaç fonksiyonu değeri

Amaç Fonksiyonu	Değeri
TR	1993
TC	1725.50
TPC	1295
TMC	389.90
TMC1	312
TMC2	23.80
TMC3	54.10
TTC	26.70
TDC	13.90
Z	**267.50**

Çizelge 4.7. Geri dönen ürünlerin işlem detayı

	Zaman periyodu	
İşlem	**1**	**2**
Tamir (repair)	2 (2, 6)	0
Komple demontaj (disassembly)	1(1)	5(7, 8, 9, 10,11)
Bertaraf (disposal)	3(3, 4, 5)	1(12)

Çizelge 4.8. Ürün akış detayı

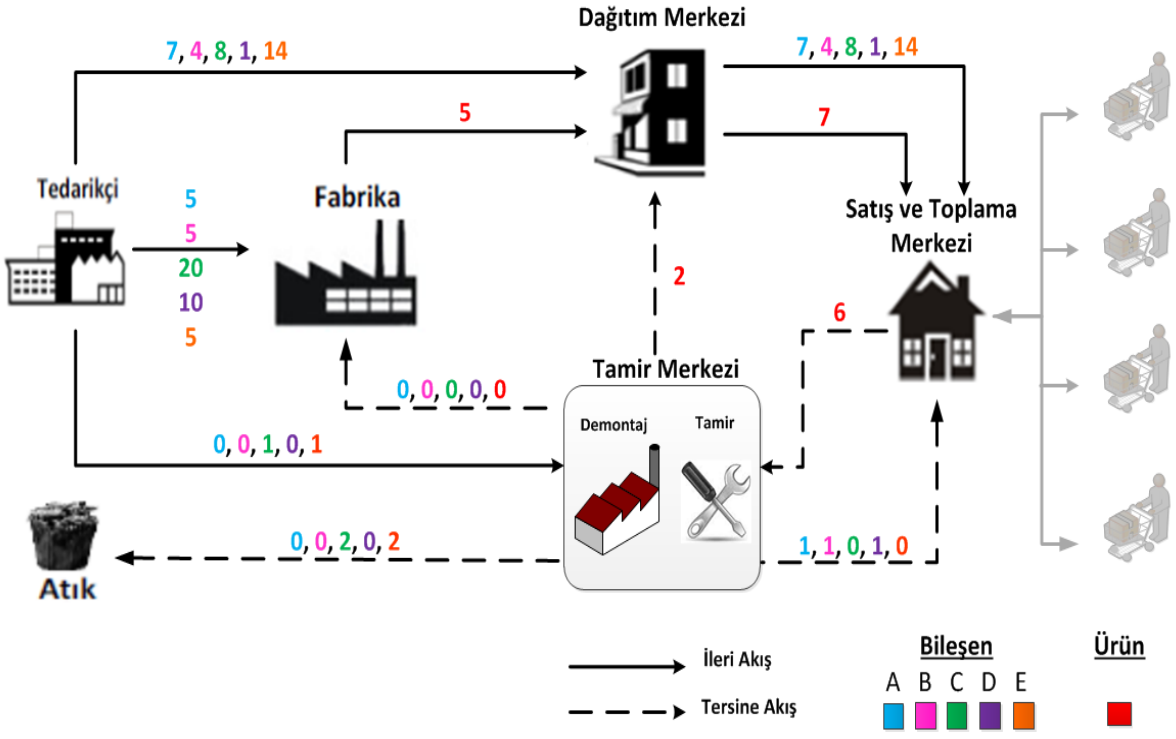
Zaman periyodu	Z_t	V_t	Q_t
1	5	7	2
2	7	7	0

Çizelge 4.6'da verilen çözüm sonuçlarına göre toplam gelir 1993 pb, toplam gider 1725.50 pb, karı maksimize eden optimum amaç fonksiyonu değeri ise 267.50 pb 'dir. Çizelge 4.7, gelen ürünlere uygulanan işlem detaylarını vermektedir. Buna göre ilk dönem 2. ve 6. ürünler tamir edilmiş, 1. ürün ise demontaj edilmiştir. 3,4 ve 5. ürünler ise yeniden kullanılabilecek durumda olmadığından bertaraf edilmiştir.

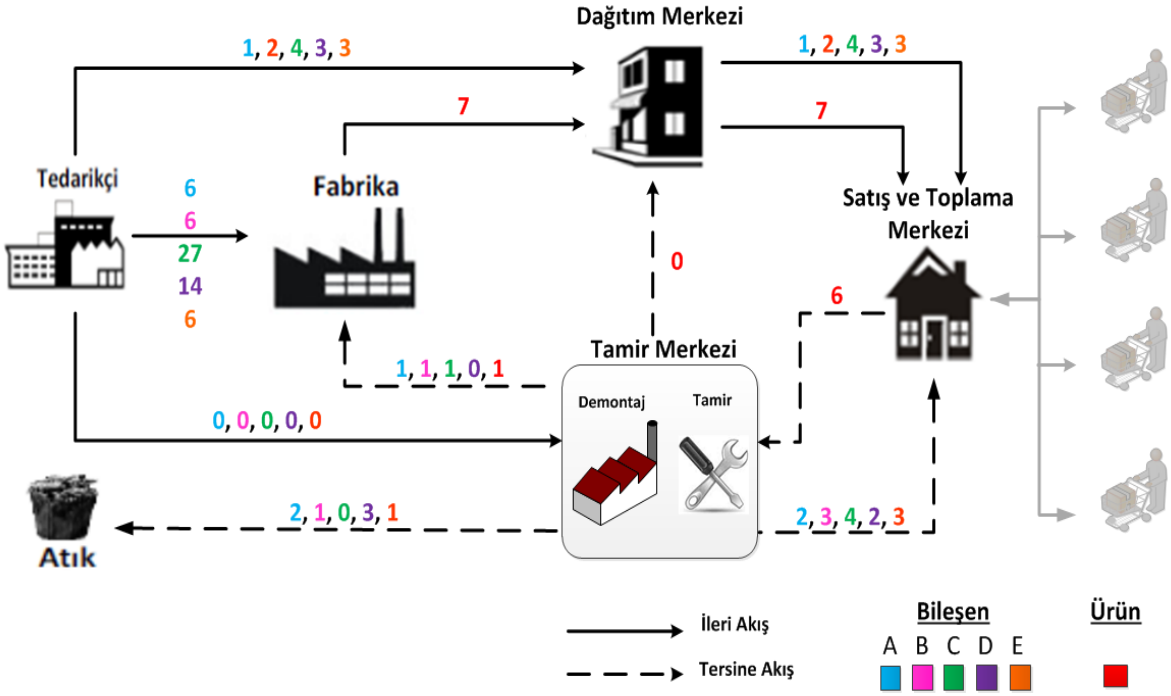
Çizelge 4. 9. Bileşen işlem detayı

	Periyod 1							Periyod 2						
Bileşen	X_{jt}	Y_{jt}	W_{jt}	S_{jt}	N_{jt}	M_{jt}	K_{jt}	X_{jt}	Y_{jt}	W_{jt}	S_{jt}	N_{jt}	M_{jt}	K_{jt}
A	5	7	7	1	0	0	0	6	1	1	2	1	2	0
B	5	4	4	1	0	0	0	6	2	2	3	1	1	0
C	20	8	8	0	0	2	1	27	4	4	4	1	0	0
D	10	1	1	1	0	0	0	14	3	3	2	0	3	0
E	5	14	14	0	0	2	1	6	3	3	3	1	1	0

İlk dönem 7 olan ürün talebinin 2'si tamir edilmiş, 5'i de sıfır ürünle karşılanmıştır. İkinci dönem hiçbir ürün tamir edilmediğinden talebin tamamı sıfır ürün ile karşılanmıştır (Çizelge 4.8). Çizelge 4.9'a göre ilk dönem tedarikçiden fabrikaya 5, tedarikçiden dağıtım merkezine 7 olmak üzere toplam 12 A bileşeni temin edilmiştir. Tedarikçiden dağıtım merkezine gönderilen 7 bileşenin 5'i sıfır parça talebini, 2'si ise yeterli miktarda çıkma parçanın bulunmaması sebebiyle kalan çıkma parça talebini karşılamıştır. Aşağıda birinci ve ikinci dönemlere ait optimal dağıtım ağları sırasıyla Şekil 4.1 ve 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Birinci döneme ilişkin optimal dağıtım ağı



Şekil 4.2. İkinci döneme ilişkin optimal dağıtım ağı

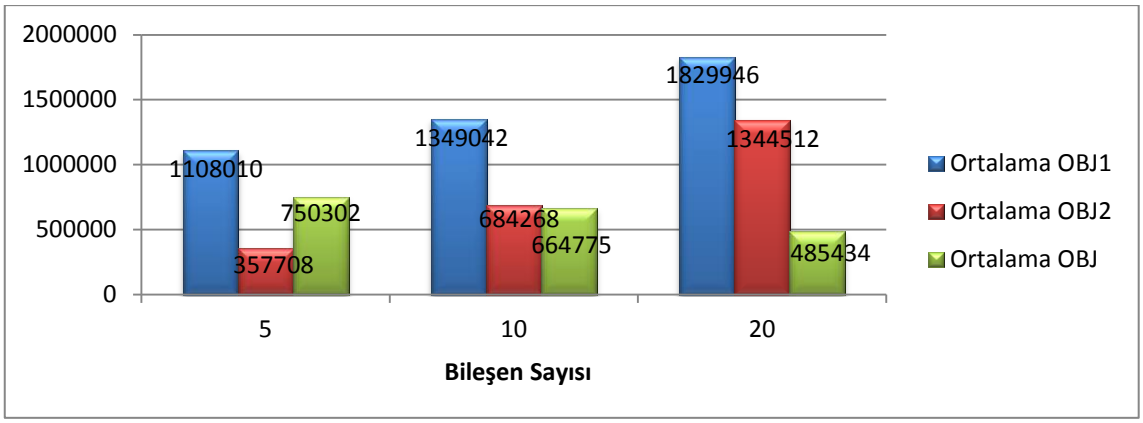
4.3.Test Problemleri

Bu bölümde, önerilen matematiksel modelin çalışabilirliğini test etmek ve bazı parametre değişikliklerinin model üzerindeki etkisini görmek amaçlanmıştır. Bunun için bileşen ve periyot sayıları 5-10-20, geri dönen ürünlerdeki bileşenlerin değer seviyesi ($\boldsymbol{diot_j}$) , binom dağılıma göre 2-4-6-8 (B($10, p$), p(0.2-0.4-0.6-0.8)) ağırlıklı olacak şekilde 36 kombinasyon dikkate alınmıştır. Her bir kombinasyondan 10'ar örnek olacak şekilde toplam 360 test problemi üretilmiş ve GAMS paket programında çözülerek sonuçları yorumlanmıştır.

360 test probleminin çözüm sonuçları, belirlenen her bir bileşen, periyot ve diot seviyelerine göre ortalama amaç fonksiyonu, gelir, gider değerleri ve çözüm süreleri şeklinde aşağıdaki çizelgelerde özetlenmiştir (Çizelge 4.10, 4.11 ve 4.12).

Çizelge 4.10. Bileşen sayısına göre amaç foksiyonu, gelir, gider ve çözüm süreleri

Bileşen Sayısı	OBJ(Kar)	OBJ1(Gelir)	OBJ2(Gider)	CPU Süresi
5	750301.74	1108009.61	357707.87	0.039
10	664774.58	1349042.17	684267.59	0.041
20	485434.29	1829945.98	1344511.69	0.045

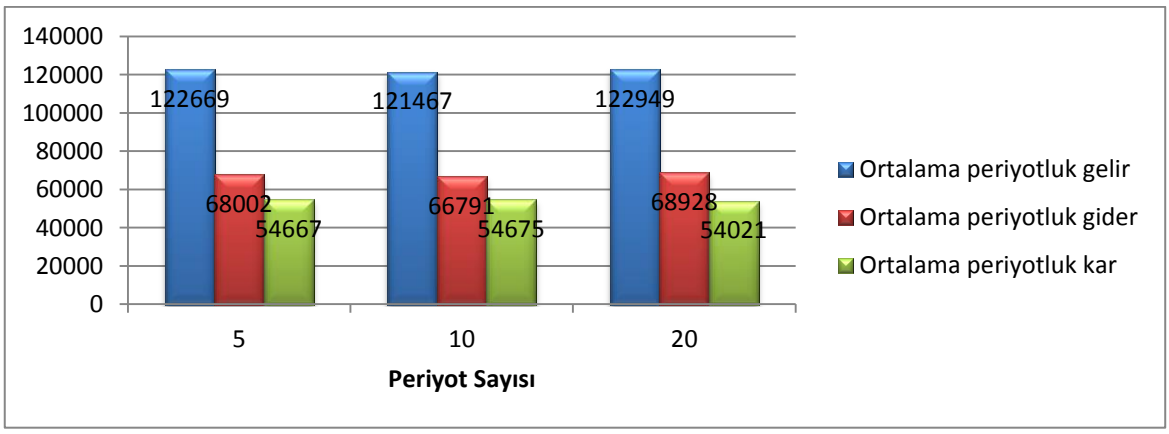


Şekil 4.3. Bileşen sayısının amaç foksiyonları üzerine etkisi

Şekil 4.3'de bileşen sayısı arttıkça toplam gelir ve toplam giderin de arttığı görülmektedir. Fakat gider artış oranı daha fazla olduğu için toplam kar düşmüştür. Bu durum KDTZ' de ürün kompleksi arttıkça geri dönüşüm giderlerinin artacağı ve dolayısıyla karın azalacağı sonucunu vermektedir.

Çizelge 4.11. Periyot sayısına göre amaç foksiyonu, gelir, gider ve çözüm süreleri

Periyot Sayısı	Periyotluk Kar	Periyotluk Gelir	Periyotluk Gider	Ortalama CPU Süresi
5	54666.573	122668.782	68002.2082	0.039
10	54675.384	121466.869	66791.48556	0.041
20	54021.196	122949.258	68928.06238	0.045

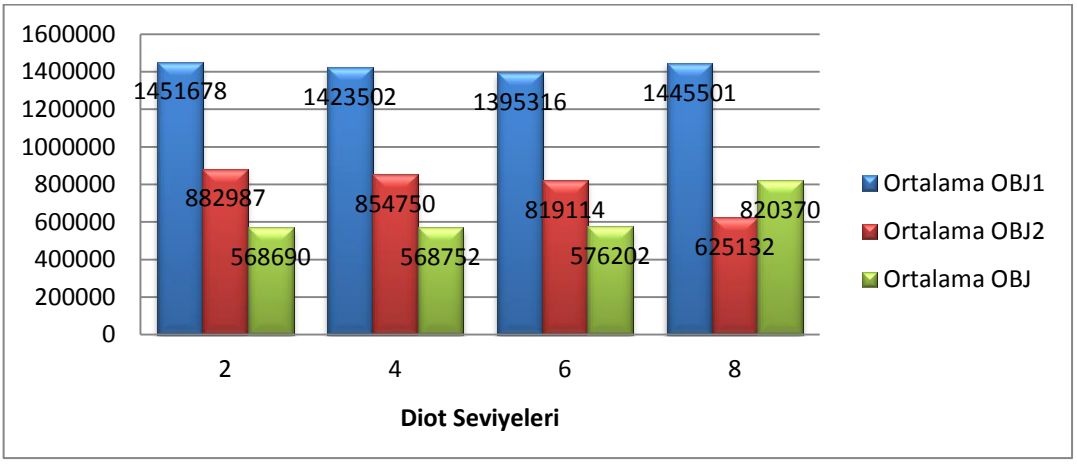


Şekil 4.4. Periyot sayısının amaç foksiyonları üzerine etkisi

Şekil 4.4'te periyot sayısındaki değişimin periyot bazında kar, gelir ve gider üzerinde hiçbir etkiye sahip olmadığı görülmüştür. Bu durum sistemin stabilize olduğunu göstermektedir.

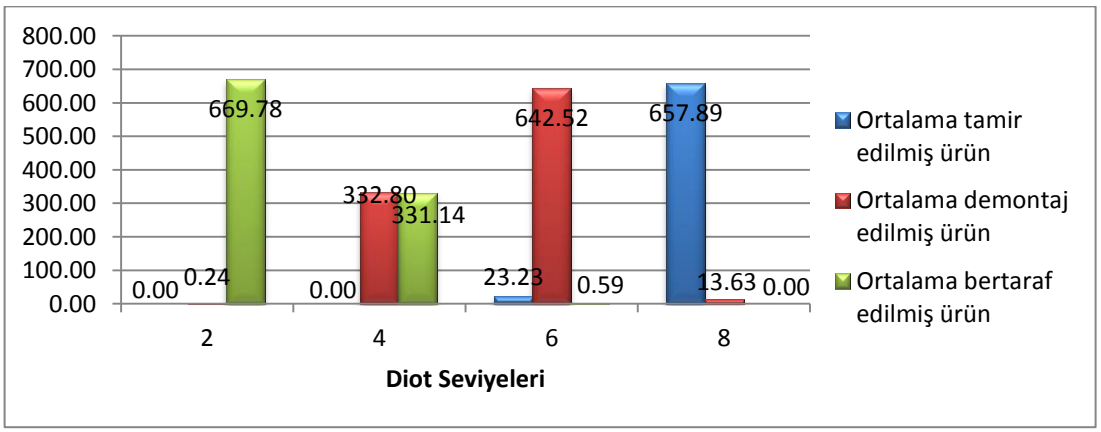
Çizelge 4.12. Bileşen diot seviyelerine göre amaç fonksiyonu, gelir, gider ve çözüm süreleri

Diot Seviyesi	OBJ(Kar)	OBJ1(Gelir)	OBJ2(Gider)	CPU Süresi
0.2	568690.420	1451677.544	882987.1241	0.041
0.4	568752.095	1423502.122	854750.0269	0.043
0.6	576201.770	1395315.933	819114.1633	0.042
0.8	820369.867	1445501.411	625131.5444	0.042



Şekil 4.5. Bileşen diot seviyelerinin amaç foksiyonları üzerine etkisi

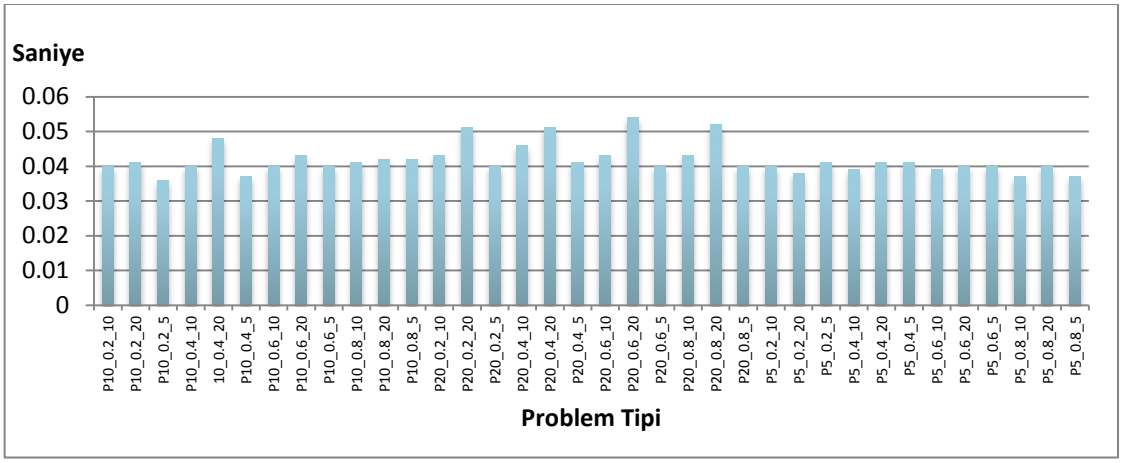
Şekil 4.5'te bileşen diot seviyesi arttıkça geri dönen ürünler daha düşük giderle yeniden kullanılabildiğinden, kar üzerinde beklenildiği gibi bir artış gözlemlenmiştir.



Şekil 4.6. Bileşen diot seviyesine göre işlem detayı

Şekil 4.6'da bileşen diot seviyelerine göre değişen ürün işlem detayları gösterilmiştir. Buna göre; bileşen diot seviyeleri ortalama 2 olan ürünlerin tamamına yakınının bertaraf edildiği bileşen diot seviyeleri ortalama 4 olan ürünlerin yaklaşık %50'sinin demontaj, %50'sinin de bertaraf edildiği, bileşen diot seviyeleri ortalama 6

olan ürünlerin yaklaşık %4'ünün tamir, %96'sının da demontaj edildiği ve bileşen diot seviyeleri ortalama 8 olan ürünlerin ise yaklaşık % 98'inin tamir, %2 sinin ise demontaj edildiği görülmektedir. Bu da modelin beklenen şekilde çalıştığını kanıtlamaktadır.



Şekil 4.7. Ortalama işlem süreleri

Şekil 4.7'de her problem tipi için ortalama CPU süreleri verilmiştir. Görüldüğü gibi bütün test problemleri 1 saniyenin altında çözülmüş ve problem büyüklüğü çözüm süreleri üzerinde çok büyük farklılıklar oluşturmamıştır. Bu durum da, modelin farklı boyuttaki test problemlerini rahatlıkla çözebilme yeteneğine sahip olduğunu göstermektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Değişen yaşam koşullarına ayak uydurmaya çalışan işletmeler, gün geçtikçe kirlenen çevre, azalan doğal kaynaklar ve devlet düzenlemelerini göz önünde bulundurarak müşterilerine en etkin hizmeti sunmak için TZ'lerini iyileştirmeye başvurmaktadırlar. Aynı zamanda sosyal ve ekonomik düzeyde kazanımlar da elde eden işletmeler için bu bağlamda, KDTZ'i tasarımının gerekliliği hızla artmaktadır. Fakat KDTZ ağlarının tasarımı geleneksel tedarik zinciri ağlarına göre daha karmaşıktır. Ürünlerin müşterilere ulaştırılmasına ek olarak, ürünlerin müşterilerden ne miktarda toplanacağının belirlenmesi, üründeki deformasyon oranının neye göre sınıflandırılacağı, ürünü geri kazandırmak üzere en uygun iyileştirme işleminin belirlenmesi gibi kararların belirsizliklere bağlı olması tasarım aşamasını oldukça zorlaştırmaktadır. Bu aşamada nesnelerin interneti sistemi geri dönen ürünlerin tüm yaşam bilgilerini sağlayarak ilgili belirsizlikleri azaltır ve tersine akış faaliyetlerinin planlanmasını büyük ölçüde hafifletir. Böylece kendi kendilerine verilerini üreten şeylerin/nesnelerin artması daha güvenilir bilgi birikimini beraberinde getirecek, kayıpları azaltacak, atıkları önleyecek ve bunun peşinden giderleri de düşürecektir.

Bu çalışmada satış ve toplama merkezi taleplerini sıfır, tamir edilmiş ve yeniden üretilmiş ürünlerle karşılayan kapalı döngü bir tedarik zinciri ağı ele alınmıştır. Ağdaki İmalatçı, DIOT yerleştirilen akıllı bir ürün imal etmekte ve bu sayede ürünü tüm yaşam döngüsü boyunca izleyebilmektedir. Sistem, geri dönüşleri değerlendirmek üzerine tamir (repair), komple demontaj (disassembly) ve bertaraf (disposal) olmak üzere üç farklı kurtarma seçeneğinin uygulanabileceği şekilde düzenlenmiştir.

Tamamen modüler olan tek tip bir ürün (otomobil, bilgisayar, telefon vb) için müşterinin dönem bazında ürün ve bileşen taleplerini karşılayan, satış gelirleri ile toplam üretim, satın alma, taşıma ve atık giderlerinin farkından oluşan karı maksimize eden ve tüm geri dönüşlerin nasıl değerlendirileceğini belirleyen bir karma tamsayılı doğrusal programlama modeli sunulmuştur. Önerilen model sayısal bir örnek yardımıyla Windows işletim sistemi üzerinde çalışan 4 GB RAM'li 2.13 GHz Intel® Core™ i3 CPU İşlemci üzerinde GAMS 23.3/CPLEX kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen modelin çalışabilirliğini test etmek ve bazı parametre değişikliklerinin model üzerindeki etkisini görmek için test problemleri üretilerek çözüm sonuçlarından elde edilen çıkarımlar yorumlanmıştır.

Önerilen model kuramsal verilere dayalı sayısal örnekler üzerinden test edilmiştir. İleri çalışmalarda, modelin daha gerçekçi olması için KDTZ faaliyetlerinin gerçekleştirildiği işletmelerde uygulanabilir ve çok ürünlü, sabit (açma kapama) maliyetleri olan, daha fazla ürün geri kazanım seçeneği olan ağlar üzerinde geliştirilebilir. Ayrıca ürün dönüşlerindeki belirsizlikler ağ yapısına fuzzy olarak eklenebilir.

KAYNAKLAR

Akçalı, E. and Çetinkaya, S., 2011, Quantitative models for inventory and production planning in closed-loop supply chains, *International Journal of Production Research*, 49 (8), 2373–2407.

Amin, S. H., Zhang, G., 2013, A multi-objective facility location model for closed-loop supply chain network under uncertain demand and return, *Applied Mathematical Modelling*, 37 (2013) 4165–4176.

Atakul, B., 2015, Nesnelerin İnterneti ve Kullanım Alanları [online], http://www.teknolo.com/nesnelerin-interneti-kullanim-alanlari/, [Ziyaret Tarihi: 3 Kasım 2015].

Ayvaz, B., ve Bolat, B., 2013, Kalite ve miktar belirsizlikleri altında geri dönüşüm ağ tasarımı.

Bayrak Meydanoğlu, E.S., 2013, IoT ve tedarik zinciri, *Lojistürk Dergisi*, 34, 28.

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

Budak, E., 2012, Kapalı Devre Tedarik Zinciri Problemine Bulanık Karar Verme Yaklaşımı, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

Fleischmann, M., Beullens, P., Bloemhof-Ruwaard, J.M. and Van Wassenhove, L.N., 2001, The impact of product recovery on logistics network design, *Production and Operations Management*, 10 (2), 156–173.

Fleischmann, M., Bloemhof-Ruwaard, J.M., Dekker, R., Van Der Laan, E., Van Nunen, J.A.E.E. and Van Wassenhove, L.N., 1997, Quantitative models for reverse logistics: a review, *European Journal of Operational Research*, 103 (1), 1–17.

Giudice, F., La Rosa, G. and Risitano, A., 2006, Product design for the environment: a life cycle approach, *CRC Press*, U.S.A.

Govindan, K., Soleimani, H., Kannan, D., 2014 , Reverse logistics and closed-loop supply chain: A comprehensive review to explore the future, *European Journal of Operational Research*, xxx(2014) xxx–xxx.

Gu, Y., & Liu, Q., 2013, Research on the application of the internet of things in Reverse Logistics Information Management, *Journal of Industrial Engineering Management*, 6(4), 963-973.

Guide, V. D. R., Van Wassenhove, L. N., 2009, The evolution of closed-loop supply chain research, *Operations Research*, 57(1), 10–18.

Guide, V. D. R.,, Jayaraman V., Linton J. D., 2003, Building contingency planning for closed-loop supply chains with product recovery, *Journal of Operations Management,* 21 (2003) 259–279.

Gupta, A., Evans, G.W., 2009, A goal programming model for the operation of closed-loop supply chains, *Engineering Optimization*, 41:8, 713-735.

He, M., Ren, C., Wang, Q., Shao, B., and Dong, J., 2010, The Internet of Things as an enabler to supply chain innovation, *In e-Business Engineering (ICEBE), 2010 IEEE 7th International Conference on IEEE*, 326-331.

Ilgin, M. A., & Gupta, S. M., 2011, Performance improvement potential of sensor embedded products in environmental supply chains, *Resources, Conservation and Recycling*, 55, 580–592.

Jayaraman, V., 2006, Production planning for closed-loop supply chains with product recovery and reuse: an analytical Approach, *International Journal of Production Research*, 44 (5), 981–998.

Jindal, A., Sangwan, K.S., 2014, Closed loop supply chain network design and optimisation using fuzzy mixed integer linear programming model, *International Journal of Production Research*, Vol. 52, No. 14, 4156–4173, http://dx.doi.org/10.1080/00207543.2013.861948.

Jun, H. B., Kiritsis, D., Xirouchakis, P., 2007, Research issues on closed-loop PLM, *Computers in Industry*, 58(8), 855–868.

Kadlec, J., Kuchta, R., Novotný, R. and Cožík, O., 2014, RFID Modular System for the Internet of Things (IoT). *Industrial Engineering & Management*, 3(134), doi:10.4172/2169-0316.1000134

Karaçay, G., 2005, Tersine lojistik: kavram ve işleyiş, *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 14 (1), 317–332.

Kiritsis, D., 2011, Closed- loop PLM for intelligent products in the era of the Internet of things, *Computer Aided Design* , 479-501.

Koppius, O., Özdemir Akyıldırım, Ö. and Laan, E. V. D., 2015, Business Value from Closed-loop Supply Chains, *International Journal of Supply Chain Management*, *3*(4).

Krikke, H., Bloemhof-Ruwaard, J.M., and VanWassenhove, L.N., 2001, Design of closed-loop supply chains: A production and return network for refrigerators.Working paper, *ERIM Report Series Research in Management*, ERS-2001-45-LIS.

Kumar, S., & Craig, S., 2007, Dell, Inc'.s closed loop supply chain for computer assembly plants, *Information, Knowledge, Systems Management*, 6(3), 197–214.

Kutup, N., 2011, Nesnelerin Interneti; 4H, Her yerden, Herkesle, Her zaman, Her nesne ile bağlantı, *16. Türkiye'de İnternet Konferansı inet-tr'11*.

Lojistik Dünyası Sitesi, Tedarik Zinciri, 11 Temmuz 2011, http://www.lojistikdunyasi.com/tedarik-zinciri-nedir.html, [Ziyaret Tarihi: 7 Ocak 2015].

Machado, H., Shah, K., 2014, Internet of Things (IoT) impacts on Supply Chain [online], http://apicsterragrande.org/images/articles/Machado__Internet_of_Things_impacts_on_Supply_Chain_Shah_Machado_Second_Place_Grad.pdf, [Ziyaret Tarihi: 3 Kasım 2015].

McFarlane, D. C., Giannikas, V., Wong, A., and Harrison, M. G., 2012, Intelligent products in the supply chain-10 years on, In *Information Control Problems in Manufacturing*, 14(1), 655-660.

Min, H., Ko, C.S., and Ko, H.J., 2006, The spatial and temporal consolidation of returned products in a closed-loop supply chain network, *Computers & Industrial Engineering*, 51 (2), 309–320.

Nakıboğlu, G., 2007, Tersine lojistik: önemi ve dünyadaki uygulamaları, *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 9 (2), 181–196.

Ondemir, O., Gupta, S.M., 2014a, A multi-criteria decision making model for advanced repair-to-order and disassembly-to-order system, *European Journal of Operational Research*, 233 (2014) 408–419.

Ondemir, O., Gupta, S.M., 2014b, Quality management in product recovery using the Internet of Things: An optimization approach, *Computers in Industry* 65 (2014) 491–504.

Ondemir, O., Ilgin, M.A., Gupta, S.M., 2012, Optimal End-of-Life Management in Closed-Loop Supply Chains Using RFID and Sensors, *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 8(3), 719-728.

Özceylan, E., 2013, Demontaj Hattı Dengeleme Problemi İçeren Kapalı Çevrim Tedarik Zincirlerinin Bulanık Ortamda Modellenmesi ve Optimizasyonu, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.

Özceylan, E., Paksoy, T., 2013a, A mixed integer programming model for a closed-loop supply chain network, *International Journal of Production Research*, 51 (3), 718–734.

Özceylan, E., Paksoy, T., 2013b, Fuzzy multi-objective linear programming approach for optimising a closed-loop supply chain network, *International Journal of Production Research*, 51:8, 2443-2461, DOI: 10.1080/00207543.2012.740579.

Özceylan, E., Paksoy, T., ve Bektaş, T., 2014, Modeling and optimizing the integrated problem of closed-loop supply chain network design and disassembly line

balancing, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 61, 142-164.

Özmen, A., 2013, Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Ağ Tasarımı: Türkiye Cep Telefonu Yeniden Üretimi Karma Tamsayılı Model Önerisi, Doktora Tezi, *Abant İzzet Baysal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Bolu.

Pagell, M., Wu, Z. and Murthy, N.N., 2007, The supply chain implications of recycling, *Business Horizons*, 50 (2), 133–143.

Paksoy, T., Bektas, T., Özceylan, E., 2011, Operational and environmental performance measures in a multi-product closed-loop supply chain, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 47(4), 532–546.

Ramezani, M., Kimiagari, A. M., Karimi, B., Hejazi, T.H., 2014, Closed-loop supply chain network design under a fuzzy environment, *Knowledge-Based Systems*, 59 (2014) 108–120.

Salema, M.I.G., Povoa, A.P.B. and Novais, A.Q., 2007, An optimization model for the design of a capacitated multi-product reverse logistics network with uncertainty, *European Journal of Operational Research*, 179 (3), 1063–1077.

Salema, M.I.G., Póvoa, A.P.B. ve Novais, A.Q., 2009, A strategic and tactical model for closed-loop supply chains, *OR Spectrum*, 31 (3), 573–599.

Sheu, J.B., Chou, Y.H. and Hu, C.C., 2005, An integrated logistics operational model for green supply chain management, *Transportation Research Part E*, 41 (4), 287–313.

Şengül, Ü., 2009, Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Kavramı İşleyişi ve İşletme Modelleri, *Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, Kars, 4(2009), 125-139.

Tersine Tedarik Zinciri Yönetimi, 2015, http://www.ttzy.ibu.edu.tr/, [Ziyaret Tarihi: 12 Ocak 2015].

Thierry, M., Salomon, M. and Van Wassenhove L., 1995, Strategic issues in product recovery management, *California Management Review*, 37 (2), 114–135.

Visich, J.K., Li, S., and Khumawala, B.M., 2007, Enhancing Product Recovery Value in Closed-loop Supply Chains with RFID, *Journal of Management Issues*, 19(3), pp. 436–452.

Wang, H.-F. and Hsu, H.-W., 2010, Resolution of an uncertain closed-loop logistics model: an application to fuzzy linear programs with risk analysis, *Journal of Environmental Management*, 91 (11), 2148–2162.

Yang, G.-F., Wang, Z.-P. and Li, X.-Q., 2009, The optimization of the closed-loop supply chain network, *Transportation Research Part E*, 45 (1), 16–28.

Yılmaz, B., 2015, Internet Of Things (IoT) Nedir? [online], https://burkanylmz.wordpress.com/2015/10/12/internet-of-things-iot-nedir/, [Ziyaret Tarihi: 3 Kasım 2015].

Zeballos, L. J., Méndez, C. A., Barbosa-Povoa, A.P. and Novais, A. Q., 2014, Multi-period design and planning of closed-loop supply chains withuncertain supply and demand, *Computers and Chemical Engineering*, 66 (2014), 151–164.

Zeballos, L., Gomes, M., Barbosa-Povoa, A. P. and Novais, A. Q., 2012, Addressing the uncertain quality and quantity of returns in closed-loop supply chains, *Computers and Chemical Engineering*, 47, 237–247.

Zhiduan, X., 2005, Research on the Flexibility in Logistic Systems, *Chinese Journal of Management*, 4, 441-4.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	**:**	Belkız TORĞUL
Uyruğu	**:**	T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi	**:**	Çınar-30.09.1988
Telefon	**:**	+90 506 508 27 64
Faks	**:**	+90 332 241 06 35
e-mail	**:**	belkistorgul@gmail.com

EĞİTİM

Derece		**Adı, İlçe, İl**	**Bitirme Yılı**
Lise	:	Çınar Lisesi, Çınar, Diyarbakır	2005
Üniversite	:	Selçuk Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği, Konya	2013
Yüksek Lisans	:	Selçuk Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği, Konya	Devam

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	**Kurum**	**Görevi**
2014-devam	Fırat Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü	Arş. Gör.

UZMANLIK ALANI

Lojistik ve Tedarik Zinciri Yönetimi

YABANCI DİLLER

İngilizce

YAYINLAR

PAKSOY, T., KARAOĞLAN, I., GÖKÇEN, H., TORĞUL, B., 2015, Nesnelerin İnterneti İle Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Optimizasyonu, *IV. Ulusal Lojistik Kongresi, Bildiriler Kitabı*, pp 365-376, 21-23 Mayıs, Gümüşhane.

PAKSOY, T., KARAOĞLAN, I., GÖKÇEN, H., TORĞUL, B., 2015, Closed Loop Supply Chain Optimization with Internet of Things, *XIII. International Logistics and Supply Chain Congress*, pp 89-102, 22-23 October, Izmir, Turkey.