Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi
9(2), 544 – 553, 2021
e-ISSN: 1308-6693

Journal of Engineering Sciences and Design
DOI: 10.21923/jesd.672823

Araştırma Makalesi

Research Article

TESİS YERİ SEÇİMİ PROBLEMİNDE MİNİMUM KARBON EMİSYONU YAKLAŞIMI: BİR ÜNİVERSİTENİN GERİ DÖNÜŞÜM YÖNETİMİ İÇİN UYGULAMA

Fatma Talya SUDABAŞ[1*], Selin Soner KARA[2]

[1] İstanbul Bilgi Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Yüksekokulu, Lojistik Yönetimi Bölümü, İstanbul, Türkiye
[2] Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Yeşil Tedarik Zinciri, Tersine Lojistik, Ağ Tasarımı, P-Medya Problemi, Çok Amaçlı Optimizasyon.

Öz

Sosyal sorumluluklar, çevresel ve yasal sebepler ve ekonomik getiriler tedarik zincirinde tersine döngü kavramını yaratmıştır. Tersine lojistik; lojistik süreçler boyunca ürünlerin varış noktasından çıkış noktasına doğru gerçekleşen geri dönüşlerdir. Bu geri dönüş sürecinin tıpkı geleneksel lojistik yönetimi gibi verimli ve etkili biçimde planlanması, yönetilmesi ve kontrol edilmesi gerekmektedir. Yeşil lojistik, yeşil tedarik zinciri, kapalı çevrim tedarik zinciri ve tersine lojistik kavramları, amaçları ve uygulama alanları açısından oldukça benzerlikler göstermektedir. Bu çalışma, kentsel ve bölgesel planlamada en sık kullanılan lokasyon modellerinden biri olan p-medyan problemine odaklanmaktadır. Çalışmada bir üniversitenin kâğıt ve plastik gibi geri dönüştürülebilir atıklarını zincire geri kazandırmak için kurmak istediği geri dönüşüm merkezlerinin konumlarını belirleyen ve aynı zamanda kampüsler ile geri dönüşüm merkezleri arasındaki nakliyede oluşan karbon dioksit salınımını en aza indirgeyen iki amaçlı karma tam sayılı doğrusal olmayan bir matematiksel model geliştirilmiştir. Çalışmada klasik P-medyan problemine karbon salınımı minimizasyonu eklenip literatüre yeni bir çalışma olarak sunulmak istenmiştir.

FACILITY LOCATION PROBLEM WITH CARBON EMMISION CONSIDERATION: AN APPLICATION FOR A UNIVERSITY'S RECYCLING STRATEGY

Keywords

Green Supply Chain, Reverse Logistics, Network Design, P-Median Problem, Multi-Objective Optimization.

Abstract

Social responsibilities, legal enforcements, and economic returns have created the concept of a backward cycle to the supply chain. Reverse logistics can be explained as the returns from the point of departure to the origin of the products during the logistic processes. This return process needs to be planned, managed and controlled efficiently and effectively, just like traditional logistics. The concepts of green logistics, green supply chain, closed-loop supply chain and reverse logistics show similarities for their purposes. In this study, a bi-objective mixed integer non-linear programming problem (MINLP) developed that identifies the locations of recycling centers that a university requires to establish to recycle its recyclable waste such as paper, and plastic after use, to the chain and also minimizes carbon dioxide emissions generated during transportation between campuses and recycling centers. This study aims to present a new approach to the literature by adding carbon release consideration to the classical P-median problem.

Alıntı / Cite

Sudabaş, F. T., Kara, S. S., (2021). Tesis Yeri Seçimi Probleminde Minimum Karbon Emisyonu Yaklaşımı: Bir Üniversitenin Geri Dönüşüm Yönetimi İçin Uygulama, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(1), 544-553.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)
F. T. Sudabaş, 0000-0001-6384-3177
S. S. Kara, 0000-0002-0894-0772

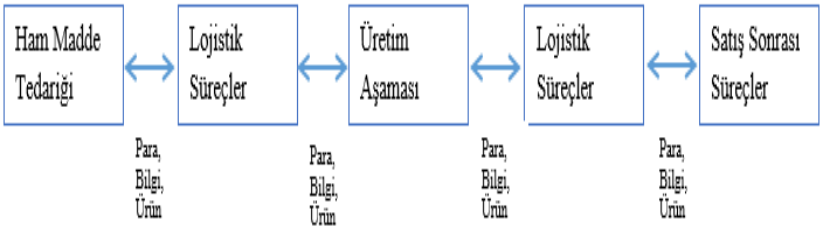
Makale Süreci / Article Process	
Başvuru Tarihi / Submission Date	09.01.2020
Revizyon Tarihi / Revision Date	08.05.2021
Kabul Tarihi / Accepted Date	09.05.2021
Yayım Tarihi / Published Date	20.06.2021

[*] İlgili yazar / Corresponding author: talya.temizceri@bilgi.edu.tr, +90-212-311-5066

1. Giriş (Introduction)

Organizasyonların üretim kapasitelerini arttırma, piyasaya karşı duyarlılığı geliştirme, tedarikçiden son kullanıcıya kadar olan ilişkileri iyileştirme amacıyla çalışmalarını yürütmesi tedarik zinciri yönetimi olarak tanımlanabilir. Bir başka deyişle tedarik zinciri yönetimi, tedarikçiden son kullanıcıya kadar olan zinciri daha az üretim, taşıma, depolama maliyeti ile az sayıda stokla ve tam müşteri memnuniyeti ile etkin ve verimli bir şekilde ele alabilmektir. Buradaki yönetim tüm hizmet ve ürün üreticileri için geçerlidir.

Tedarikçi, üretici, taşıyıcı (nakliyeci), dağıtım merkezleri ve perakendeciler gibi aracı kuruluşlar ve tüketici arasında oluşum gösteren tüm süreç ve operasyonlar tedarik zinciri ağıdır. Bu ağ, zinciri oluşturan tüm elementlerin arasındaki ilişkileri içermektedir. İşletmelerin maksimum düzeyde etkinliğe ve verimliliğe sahip olmaları, bu ilişkiler bütünün doğru ve geçerli bir modelle kurulması ve uygulanabilirliği önemli rol oynamaktadır. Zincirin tüm halkaları arasında para, bilgi ve ürün akışı gözlemlenir. Genel olarak tedarik zinciri Şekil 1'deki gibi tasvir edilebilir.



Şekil 1. Tedarik Zinciri Yapısı (Structure of a Supply Chain)

Üretim ve taşıma esnasında çevreye salınan zararlı gazlar ve çeşitli kimyasallar ile operasyonlar sonucu oluşan atıklar çevreye büyük ölçüde zarar vermiş ve bu nedenle özellikle son 20 yılda doğaya duyarlılık ve çevre bilinci yükselmiştir. İşletmelerin çevreye duyarlı işlemler geliştirmeleri rekabet ortamını farklı bir boyuta taşımıştır. Sadece rakip firmalar arasından sıyrılma sebebiyle değil aynı zamanda devletin bazı yaptırımları sonucunda da yeşil politikalar ve uygulamalar geliştirilmiştir. Devlet teşviki ve yaptırımları ve/veya çevre bilinci ne kadar önemli olsa da özellikle ülkemizdeki çoğu hizmet ve ürün sağlayıcı firma çevreye duyarlı uygulamaların maliyet arttırıcı bir etken olduğu düşüncesindedir. Bu düşünce veya bilgi eksikliği çevreye duyarlı tedarik zinciri oluşumunda eksikliğe neden olmaktadır.

Sosyal sorumluluklar, çevresel ve yasal sebepler ile ekonomik getiriler tedarik zincirine tersine döngü kavramını yaratmıştır. Geri kazanım amacı ile oluşan tersine akış tersine lojistik olgusunu doğurmuş ve bu olguya uygun ağ tasarımı modelleri geliştirilmiştir. Kısaca tersine lojistik; lojistik süreçler boyunca ürünlerin çıkış noktasından varış noktasına doğru gerçekleşen geri dönüşlerdir. Bu geri dönüş sürecinin tıpkı ileri yönlü (geleneksel) lojistik gibi etkin bir biçimde planlanması, yönetilmesi ve kontrol edilmesi gerekmektedir. Aslında hem tersine hem de yeşil lojistiğin eşit olarak uygulanabileceği birçok faaliyet alanı bulunmaktadır. Paketlemelerde yeniden kullanılabilir kapların kullanılması hem ters hem de yeşil lojistik olarak sınıflandırılabilir. Ancak ambalaj kullanımının azaltılması gibi bir faaliyet yeşil lojistiğe dahil edilebilirken, tersine lojistiğe dahil edilemez. Tersine ve yeşil lojistiğin ortak alanları geri dönüşüm, yeniden üretim, tekrar kullanılabilir materyaller olarak örneklendirilebilir. (Rogers ve Tibben-Lembke, 2001) Yeşil lojistik, yeşil tedarik zinciri, kapalı çevrim tedarik zinciri ve tersine lojistik kavramları amaçları açısından oldukça benzerlikler göstermektedir.

Bu çalışmada, bir üniversitenin kâğıt ve plastik gibi geri dönüştürülebilir atıklarını kullanıma geri kazandırmak için kurmak istediği geri dönüşüm merkezlerinin konumlarını belirleyen ve aynı zamanda kampüsler ve geri dönüşüm merkezleri arasındaki nakliyede oluşan karbon dioksit salınımını en aza indirgeyen iki amaçlı karma tam sayılı doğrusal olmayan bir matematiksel model geliştirilmiştir.

Basit olarak kurgulanan bu vakada geri kazanım aşamasındaki üretim esnasında salınan karbon miktarı göz ardı edilmiştir. Bu çalışmanın ilerletilip diğer kurum ve kuruluşlara yol gösterecek örnek teşkil etmesi amaçlanmıştır. Çalışmanın ikinci bölümünde literatürdeki yaklaşımlara değinilmiştir. Üçüncü bölümde problem tanımı yapılmıştır. Dördüncü bölümde materyal ve metoda değinilmiştir. Beşinci ve altıncı bölümde sayısal sonuçlar sunulmuş ve sonuç ve öneriler tartışılmıştır.

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Hızla artan tüketim nedeni ile azalan ve tahrip edilen doğal kaynaklar ve küresel ısınma işletmelerde çevreye karşı sorumluluk hissetme ve doğaya duyarlı sistemler geliştirme bilincini kazandırmıştır. Son zamanlarda yeşil üretim, enerji tüketimi, gaz emisyonları (CO_2) ve küresel ısınma gibi olumsuz çevresel etkiler nedeniyle imalat sektörü

için önemli bir konu haline gelmiştir. Aynı zamanda tüketicilerin dikkatini daha çok çekmek isteyen işletmeler için çevreye duyarlı üretim ve hizmet yeni bir rekabet alanı oluşturmakla birlikte devletlerin oluşturdukları yeni yasalar çevreye duyarlılığı zorunlu kılmıştır. Bu nedenle Bilimsel Yazın Taraması başlığı altında tersine lojistikte tesis yerleşimi problemleri için yayınlanan ulusal ve uluslararası çalışmalara kısaca yer verilmiştir.

Tersine lojistik ile geri kazanım kavramları ortak süreçleri kapsamaktadır. Bu süreçler, toplama, muayene ve ayıklama yeniden işleme, elden çıkarma, yeniden dağıtım gibi süreçleri içermektedir. Birçok işletmenin tersine lojistiğin ekonomik ve çevresel önemini fark etmesi ve bunu işletme hedeflerine taşıması tersine lojistik faaliyetlerine olan ilgiyi de arttırmıştır. Tersine lojistik ağ yapısı ile tasarımı detaylıca incelenmiş, ürün geri dönüşleri, geri kazanım süreçleri, ağ tasarımında karar verme aşamaları ve çeşitli ağ yapıları tanımlanmıştır. (Şengül, 2011) Özellikle son yirmi yıla ait çalışmaların amaçları, model yapıları, çözüm yaklaşım ve teknikleri irdelenmiş ve Tablo 1'de tarih sırasına göre özetlenmiştir.

Tablo 1. Teknik Yazın Taraması (Literature Survey)

Yıl	Referans	Amaç	Teknik	Yıl	Referans	Amaç	Teknik
1998	Carter ve Ellram	Tersine lojistik kavramları üzerine	-	2007	Lieckens ve Vandaele	Maks yeniden üretilen ürün sayısı	Genetik Algoritma
1998	Kirkke	Min maliyet ve çevreye olan etkiler	Çok kriterli karma tam sayılı model ve hedef programlama	2008	Demir vd.	Geri kazanımlı imalat sistemleri için lojistik ağı tasarımı üzerine literatür araştırması	-
2000	Murphy ve Poist	Yeşil Lojistik Stratejileri üzerine literatür araştırması	-	2008	Gülsün vd.	Min toplam maliyet	Karma tam sayılı programlama ve tavlama benzetimi
2000	Goldsby ve Dtank	Çevreye karşı duyarlı lojistik stratejileri ve uygulamaları	-	2010	Wang vd.	Min toplam maliyet Min CO_2 emisyonu	İki amaçlı d.o.o.p.p ve Pareto sınırı ile kıyaslama
2000	Flesihman vd.	Farklı endüstrilerde ürün geri kazanımı için lojistik ağ tasarımına ilişkin son vaka çalışmaları üzerine bir inceleme	-	2010	Paksoy vd.	Min toplam taşıma maliyeti (ileri yönde) Min toplam taşıma maliyeti (tersine yönde) Min CO_2 emisyonu Min satış fiyatı	Çok amaçlı karma tam sayılı doğrusal programlama ve genetik algoritma
2001	Rogers ve Tibben-Lembke	Tersine lojistik performansını ölçme yolları üzerine literatür araştırması	-	2011	Şengül	Tersine lojistik kavramları üzerine literatür araştırması	-
2011	Demirel vd.	Min tesis açma maliyeti Min üretim maliyeti Min taşıma maliyeti Min toplama maliyeti Mn yeniden işleme maliyeti Min atık maliyeti	Kapasite kısıtlı çok amaçlı çok aşamalı tam sayılı doğrusal programlama ve Genetik Algoritma	2017	Kaya ve Alev	Maks kar	Karma tam sayılı doğrusal programlama ve GAMS ile çözüm
2012	Güner ve Alaykıran	Maks elde edilen gelir	Karma tam sayılı doğrusal programlama ve GAMS ile çözüm	2019	Chan vd.	Min toplam maliyet	Dışbükey olmayan karışık tamsayı doğrusal olmayan programlama ve genetik algoritma
2012	Sarıkaya vd.	Min taşıma maliyeti Min tesis açma maliyeti	Çok amaçlı karma tamsayılı doğrusal programlama ve bulanık hedef programlama	2020	Engelean vd.	Tersine atık tedarik zincirinde stratejik ağ optimizasyonu üzerine literatür araştırması	-
2014	Ayvaz vd.	Stokastik süreçlerde ağ tasarımı üzerine literatür araştırması	-	2020	Gao v Cao	Maks kar Min beklenen CO_2 emisyonu	Çok amaçlı senaryo bazlı optimizasyon ve epsilon kısıt yöntemi
2016	Ene ve Öztürk	Yeşil Tedarik Zinciri Yönteminde Ağ Optimizasyonu Problemine Meta-Sezgisel Yaklaşımlar	Genetik algoritma ve parçacık sürü optimizasyonu	2020	Mu ve Tong	P-medyan Problemi	BIRCH algoritması

Çalışmalar çok amaçlı modellerde çevresel, sosyal ve performans göstergelerinin önemine, farklı atık ters tedarik zinciri paydaşlarını ağ tasarım modeline dâhil etme potansiyeli, döngüsel ekonomi ve zorlukları gibi gelecekteki atık ters tedarik zinciri gelişmelerinin dikkate alınması ve giderek karmaşıklaşan ağ tasarım modelleriyle başa çıkmak için oluşturulan yöntemler özetlenmiştir. (Engeland vd., 2020) Tüketicilerin geri dönen ürünlere dikkatini yoğunlaştırması ile yeşil üretim/hizmet bilinci tersine lojistik kavramını ve beraberinde getirdiği sorumlulukları işletmelere yüklemiştir. (Carter ve Ellram, 1998; Murphy ve Poist, 2000) Bu sorumlulukla 1990'ların sonunda yeşil yaklaşımlar geliştirilmiştir. Geleneksel, temel modeller, karma tamsayı doğrusal programlar (MILP modeli) olarak formüle edilmiş ve arz, talep ve kapasite kısıtlamaları karşılanırken yatırım, işleme, nakliye, bertaraf ve ceza

maliyetlerini en aza indiren hangi tesislerin açılacağını belirlemiştir. (Kirkke, 1998) Geri kazanımlı tesisler için tesis yeri seçimi konusunda daha önce yapılan çalışmalarda ya maliyet veya çevrim zamanı/mesafesi minimizasyonu ya da geri dönen ürünlerden elde edilen karın maksimizasyonu problemlerine rastlamak mümkündür. (Goldsby ve Stank, 2000)

Bu problemler için kurulan matematiksel modeller büyük çoğunlukla karışık tam sayılı doğrusal programlama olarak tek amaç fonksiyonludur. Bununla birlikte doğrusal olmayan modellerle nadiren karşılaşılmaktadır. Optimal sonuca ulaşabilen modellerin yanında sezgisel ve meta-sezgisel yöntemler geliştiren ve kullanan çalışmalar çok sık görülmektedir. (Ferreira vd., 2020) Gerçek hayat problemlerini daha çok yansıtması nedeni ile stokastik modeller de geliştirilmiş ancak çözüm zorluğu nedeni ile bu çalışmalar sığ kalmıştır. 2000li yılların başında ise çok amaçlı problemler geliştirilmeye başlanmıştır. (Lin vd., 2014) Tersine lojistik ağların analizi için matematiksel modellerin geleneksel tesis yeri problemlerine çok yakın olduğunu belirtilmiştir. Ürün kurtarma ağlarının genel özelliklerini tespit edilmiş ve bunların geleneksel lojistik yapılarla karşılaştırılması yapılmıştır. (Fleischmann vd., 2000)

Hâlihazırda literatürde bulunan modellerin genişletilmiş bir versiyonu kullanılarak tersine lojistik ağının verimli tasarımıyla ilgilenilmiştir. Teslim süresi ve envanter pozisyonları gibi bazı dinamik unsurları ve lojistiği tersine çevirmek için doğasında olan daha yüksek belirsizlik derecesini hesaba katmayı mümkün kılan bir kuyruk modeliyle problemin iyileştirilebileceği gösterilmiştir. Bu uzantı doğrusal olmayan ilişkiler ortaya çıkardığı için, problem karma tam sayılı doğrusal olmayan programlama (KTDOOP modeli) olarak tanımlanmıştır. Bu ek karmaşıklık nedeniyle, KTDOOP modeli tek bir ürün-tek seviyeli ağ için sunulmuştur. Farklı evrim tekniğine dayalı bir genetik algoritma ile birkaç örnek çözülmüştür. (Lieckens ve Vandaele, 2007)

Geri kazanımlı tesisler için hazırlanan bir başka çalışmada tersine lojistik ağ tasarımı ve modellenmesi konusu detaylıca incelenmiş, literatüre sunulan tersine lojistik ağ tasarımı ve modelleme yöntemlerini özetleyen bir yayın sunulmuştur. Tersine akışın söz konusu olduğu sistemlerde planlamanın ve yönetimin, zamanda ve miktarda oluşan belirsizlikler ve işlem gereksinimleri gibi birçok farklı faktöre bağlı olarak geleneksel lojistik sistemlerinin planlama ve yönetimine göre daha karmaşık olduğu vurgulanmıştır. (Demirel vd., 2008)

Tersine lojistik ağlarında geri dönüşüm merkezleri için uygun tesis yeri seçimi amacıyla daha önce literatürde bulunmayan tavlama benzetimi kullanan bir yaklaşım öne sürülmüştür. Ayrıca tavlama benzetimi algoritmasında başlangıç çözümünü doğru belirleme kriteri ve çözüm uzayının genişlemesiyle çözüme ulaşma süresinin artması nedeniyle çalışmada tavlama benzetimi için evrimsel algoritmalarla melez kullanım önerilmiştir. (Gülsün ve diğerleri, 2008)

Yeşil tedarik zinciri ağ tasarımı için çok amaçlı karışık tam sayılı matematiksel model sunulmuştur. Çevresel kaygılarla oluşturulan matematiksel modelin amaç fonksiyonları toplam maliyet ve çevresel etkilerin minimizasyonudur. Bu iki amaç fonksiyonu arasındaki ödünleşim incelenmiştir. (Wang vd., 2010)

Tedarikçilerle başlayan ve ayrıştırma merkezleri ile geri dönüşüm sağlayan bir kapalı döngü tedarik zinciri (CLSC) ağı modeli geliştirilmiştir. Geleneksel bir ağ tasarımı olarak, tüm nakliye maliyetlerini ve hammadde satın alma maliyetlerini en aza indirmenin yanı sıra yeşil duyarlılıkla CO2 emisyonlarına göre farklı taşıma seçenekleri sunulmuştur. Bu makalenin odak noktaları, toplam CO2 emisyonlarını en aza indirmektir. Bu amaç ile sayısal bir örnek sunularak çok amaçlı bir doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir. (Paksoy vd., 2010)

Çok aşamalı bütünleşik lojistik ağ optimizasyonu problemi ele alınmış ve bu problemin çözümü için melez genetik algoritma geliştirilmiştir. Öncelikle kapasite kısıtlı, çok aşamalı ve çok ürünlü bir sistem için karmaşık tam sayılı doğrusal programlama modeli önerilmiştir. Problemin karmaşık yapısı yazarları genetik algoritma tabanlı bir sezgisel yöntemle çözüm geliştirmeye itmiştir. (Demirel vd., 2011)

Birden çok malzeme için çok ürünlü geri dönüşüm ağı tasarlanmıştır. Ortaya koyulan problem için karma tam sayılı matematiksel model önerilmiştir. Büyük boyutlu örnekler için zaman kısıtlı optimizasyon uygulanarak en iyiye yakın sonuçları elde edebilmek hedeflenmiştir. (Alaykıran ve Güner, 2012)

Aynı yıl içerisinde hazırlanan bir başka çalışmada ekonomik üretim miktarı modeline göre maliyetleri ile aynı zamanda mesafeye bağlı taşıma maliyetini minimize eden çok amaçlı doğrusal olmayan programlama modeli ile çözüm yöntemi olarak bulanık hedef programlama yöntemi ele alınmıştır. Geliştirilen çok amaçlı bulanık modelde problemin doğası gereği amaç fonksiyonları birbirleri ile çatışmaktadır. Ayrıca ikinci amaç fonksiyonu ekonomik üretim miktarı yaklaşımından geldiği için probleme doğrusal olmayan programlama niteliğini getirmiştir. Tedarik zincirin pek çok unsurunu kapsadığı için, geliştirilen model bulanık hedef programlama yaklaşımı ile çözümlere ulaşmaya imkân tanımıştır. (Sarıkaya vd., 2012)

Daha önceki çalışmalardan farklı olarak tersine lojistik ağ tasarımı yaklaşımlarını belirsizlikler altında inceleyen bir literatür taraması sunulmuştur. Çalışmaları incelendiğinde stokastik tedarik zinciri ağ tasarımı alanındaki çalışmaların azlığına dikkat çekilmiştir. Çalışmalarının sonucu olarak belirsizlik gösteren parametreler, amaç fonksiyonu sayısındaki farklılıklar gibi birçok başlık için daha önce yapılan çalışmalar bulunabilir. (Ayvaz vd., 2014)

Yeşil tedarik zincirinde ağ optimizasyonu problemine bir diğer meta-sezgisel yaklaşım önerilmiştir. Önerilen meta-sezgisel algoritmalar Parçacık sürü optimizasyonu ve genetik algoritmadır. Bu iki algoritma 3 tedarikçi, 4 alternatif üretim tesisi, 6 alternatif dağıtım merkezi ve 10 perakendeci içeren çok aşamalı ve çok dönemli yeşil tedarik zinciri ağ optimizasyonu problemine uygulanmış ve sonuçlar kıyaslanmıştır. Farklı boyutlar geliştirilerek de denenen algoritmalar sonucunda parçacık sürü optimizasyonunun genetik algoritmaya kıyasla daha iyi ve hızlı sonuçlar ürettiği saptanmıştır. (Ene ve Öztürk, 2016)

Üretim ve geri kazanım kararlarını kapsayan stratejik planlama ile üretim aşamasından müşteriye doğru ileri akışı içeren taktiksel planlamayı içerisinde barındıran bir kapalı döngü tedarik zinciri için ağ tasarımı önerisinde karmaşık tam sayılı matematiksel model geliştirilmiştir. Amaç fonksiyonu kar maksimizasyonudur. Burada belirtilen kar, yeni üretilen ve geri dönüşümden elde edilen gelirlerden tesis açma/kapatma, işletme, satın alma ve karşılanmayan talep için ödenen ceza maliyetlerinin çıkarılması ile hesaplanmaktadır. (Kaya ve Alev, 2017)
En son çıkan çalışmalardan birinde üretici aynı zamanda geri dönüşüm faaliyetlerini gerçekleştiren birim olarak düşünülmüştür. Tek bir üretici ile çok sayıda müşterisi olan bir sistem göz önüne alınmış; üretim, yeniden üretim, stok tutma ve taşıma maliyetlerini minimize edecek bir yaklaşım genetik algoritma ile sunulmuştur. (Chan vd., 2019)

E-ticaret pazarında ve çevrimiçi alışverişte yakın zamanda yaşanan bir artışla birlikte, maliyet, çevresel ve sosyal faktörleri de hesaba katarak daha verimli, sürdürülebilir ve güvenilir bir tersine lojistik tasarıma ihtiyaç doğmuştur. Hindistan E-ticaret pazarına ilişkin iade ürünleri için çok amaçlı bir lojistik ağ modeli önerilmiştir. Önerilen çok amaçlı optimizasyon modeli, üç amaç içermektedir; ekonomik, çevresel, işteki zararlar nedeniyle yaratılan ve kaybedilen iş günleri. Ağırlıklı hedef programlama (WGP) tekniği, maliyeti, çevre etkisini en aza indirmek ve sosyal sorumluluğu en üst düzeye çıkarmak için farklı hedefler tartılarak kullanılmıştır. Son olarak, -model çevrimiçi perakende satış kıyafetlerine dayalı sayısal bir örnekle doğrulanmıştır. (Dutta vd., 2020)

Geri dönüşüm için, mevcut tesisleri karma işleme tesislerine dönüştürerek yeni bir sürdürülebilir ters lojistik tedarik zinciri ağını yeniden tasarlamak amacı ile çok amaçlı senaryo tabanlı bir optimizasyon modeli önerilmiştir. Amaç fonksiyonları; beklenen toplam parasal karı maksimize etmeyi, beklenen toplam karbon emisyon maliyetlerini en aza indirmeyi ve beklenen toplam yaratılan iş fırsatlarını maksimize etmeyi belirtmektedir. Önerilen modele ağırlıklı toplam yöntemi uygulanmıştır. Ağırlıklı toplam yöntemine ek olarak, bir dizi verimli Pareto-optimal çözüm elde etmek için artırılmış bir kısıtlama yöntemi kullanılır ve birbiriyle çelişen üç hedef arasındaki ödünleşim sunulmuştur. Son olarak, önerilen modeli doğrulamak için bir lastik tedarik zincirinden çeşitli sayısal uygulamalar gerçekleştirilir ve bazı yönetimsel çıkarımlar da sonuçlandırılmıştır. (Gao ve Cao, 2020)

Veri toplama teknolojisinin gelişmesi ile veri hacmini de arttırmıştır. Bu verilerin kentsel dinamikleri göz önünde bulundurarak şehir planlaması için kullanılıp ve modellenebilmesinin potansiyeli literatür çalışmaları içerisinde oldukça fazladır. P-medyan probleminin kombinatoryal NP-zor optimizasyon problemi olduğu 1970lerin sonundaki çalışmalarda ispatlanmıştır. (Cornuejols vd., 1977; Kariv ve Hakimi, 1979) Buna ek olarak büyük verinin de modele dahil edilmesi, problem çözümleri için yeni zorluklar ortaya çıkaracaktır. Bir büyük boyutlu p-medyan problemi için yüksek performanslı ve hesaplama tabanlı algoritma önerilmiştir. Doğrudan büyük bir p-medyan problemini çözmek yerine, paralel olarak verimli bir şekilde çözülebilen daha küçük p-medyan alt problemleri rastgele bir örnekleme yardımı ile yaratılmıştır. Veri kümesinde Hiyerarşi Kullanan Dengeli Yinelemeli Azaltma ve Kümeleme (BIRCH) ile yapılan testler, rastgele örneklemenin yüksek kaliteli çözümler sağladığını ve hesaplama süresini önemli ölçüde azalttığını göstermiştir. (Mu ve Tong, 2020)

Literatürdeki birçok tek amaçlı p-medyan problemlerinin yanı sıra son yıllarda iki amaçlı modeller de geliştirilmiştir. Müşteriler ile tesisler arasındaki mesafelerin toplamı ve tesislerin açılması için toplam sabit maliyet önemli ve birbirleri ile çelişen konulardır. Bunun bir örneği olan çalışmada uzlaşımlı yaklaşım kullanarak iki amaçlı bir model kapasiteli p-medyan problemi için önerilmiştir. Optimal kapasiteleriyle açık tesislerin en iyi konumunu belirlemek için tam sayılı doğrusal programlama kullanarak matematiksel bir model geliştirilmiş, bu model değişken komşuluk arama (VNS-variable neighborhood search) tabanlı çözüm yaklaşımları tasarlanmıştır. Önerilen yaklaşımların performansını değerlendirmek için örnek kümeler kullanılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. (Irawan vd., 2020)

Yapılan yazın taraması sonucunda çok amaçlı doğrusal olmayan matematiksel modeller için epsilon-kısıt yöntemi nadiren kullanılmış, doğrusal olan modeller için çözüm yöntemi olarak daha çok meta-sezgisel yöntemler tercih edilmiştir. (Caramia ve Dell'Olma, 2020)

Bilinen bir akaryakıt firmasının hazırladığı rapora göre karbon emisyonu ile aracın kullandığı yakıt doğru orantılıdır. Bu nedenle araçların yakıt tüketimini azaltmak karbon emisyonunu da azaltacaktır. Tablo 2'de taşımacılıkta kullanılan bazı ticari araçların 100 km başına tükettikleri ortalama yakıt miktarı gösterilmektedir.

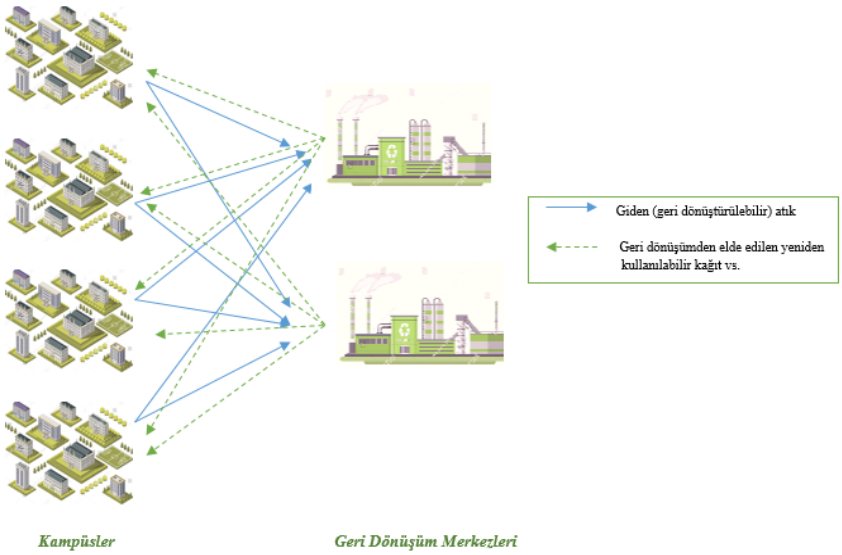
Tablo 2. Bazı Ticari Araçların (dizel) Ortalama Yakıt Tüketimi (Shell Petrol A.Ş., Yakıt Harcamaları ve Emisyon Oranları) (Average Fuel Consumption of Different Vehicle Types)

ARAÇ	YAKIT TÜKETİMİ (lt / 100 km)
Hafif Van	10
Orta Boy Kamyon	25
Büyük Boy Kamyon	35

Bir litre dizel yakıtın özgül ağırlığının yaklaşık %86'sının karbon olduğu bilinmektedir. Yakıt içerisindeki atomik birim ağırlıklarına göre bir litre dizel yakıtın yanması ile oluşan CO2 miktarı hesaplanabilir. (Shell Petrol A. Ş.)

3. Problem Tanımı (Problem Definition)

Bu çalışmada dört farklı kampüsü bulunan bir üniversitenin kullanım sonrası oluşan ve yeniden kullanım için geri kazanılması gereken ürünler için iki farklı geri dönüşüm tesisi açma problemi ele alınmaktadır. Kağıt ve plastik için geri dönüşüm merkezlerinin 4 adet düğümden oluşan şebeke üzerinde minimum maliyet oluşacak şekilde yerleştirilmesi ve yerleştirilen bu merkezlerden hizmet alacak kampüslerin belirlenmesi gerekmektedir. Ayrıca üniversitenin sahip olduğu çevreci yaklaşım nedeni ile geri dönüşüm merkezlerinden kampüslere ve tam tersi yönde gelişen taşımalarda ortaya çıkan karbon salınımını en aza indirgemek istenmektedir. Çevreye duyarlı geri dönüşüm merkezi içeren tedarik zinciri yapısı Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Önerilen Zincirin Yapısı (Proposed Chain)

3.1. Varsayımlar (Assumptions)

- A, B, C ve D olmak üzere 4 farklı kampüs bulunmaktadır.
- Kâğıt geri dönüşümü için Kuzey, Güney, Doğu ve Batı olmak üzere 4 aday tesisten 2, plastik geri dönüşümü için Kuzeybatı, Güneydoğu ve Güneybatı olmak üzere 3 aday tesisten 1 adet tesis açılacaktır.
- Geri dönüşüm merkezleri için kapasite kısıtı bulunmamaktadır.
- Orta boy ve büyük boy olmak üzere iki tip araç kullanılacaktır. Boyutları nedeni ile araç kapasiteleri birbirinden farklıdır.
- Araç filosunda 3 adet orta boy kamyon ve 2 adet büyük boy kamyon bulunmaktadır.
- Üniversitenin tesis yeri açması için bütçesi sınırsızdır.
- Zaman sınırı yoktur.
- Geri kazanım için üretimden kaynaklanan karbon salınımı ve etkileri göz ardı edilmiştir. Sadece nakliye

esnasında oluşan karbon salınımı dikkate alınmıştır.

- Kampüsler ve alternatif geri dönüşüm merkezleri arasındaki mesafe birimi kilometredir.
- Kampüslerden çıkan aylık atık ile geri dönmesi beklenen ürün miktarı eşdeğer ağırlıktadır ve birimi kilogram olarak alınmıştır.
- Mesafeye bağlı karbon emisyon miktarı aylık emisyon faktörü ile çarpılarak hesaplanır.
- Karbon salınımı ve mesafe arasında doğrusal bir ilişki vardır.
- Araçlar dizel motorludur.
- 1 litre dizel yakıt 2.63 kg CO_2 tüketmektedir.
- Orta boy bir kamyonun 1 kilometrede tükettiği yakıt 0.25 litredir. Bu nedenle 1 km'de oluşan karbon emisyonu 0,6575 kg'dır. Bu hesap büyük boy kamyon için yapıldığında 1 km'de oluşan karbon emisyonu 0,9205 kg'dır.

4. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Kampüsler ve açılacak geri dönüşüm merkezleri arası mesafeler kilometre cinsinden Tablo 3'de gösterilmiştir.

Tablo 3. Kampüsler ve Aday Geri Dönüşüm Merkezleri Arası Mesafe (km) (Distance between Campus and Recycling Centres in km)

Kampüsleri ve aday merkezler arası mesafe (km)	A	B	C	D
KUZEY	5	5	7,7	9
GÜNEY	5	3,4	6,9	13,1
DOĞU	7,7	6,9	11	9,3
BATI	9	13,1	12,7	16,9
KUZEYBATI	5	3,4	7	11
GÜNEYBATI	3,4	4,2	6	14
GÜNEYDOĞU	6,9	5	9,2	21,8

Aylık olarak her kampüsten toplanan ve her birine eşit miktarda geri kazanılmış ürün gönderilmesi beklenen miktarlar kilogram bazında Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4. Geri Dönüştürülmesi Beklenen Aylık Atık Miktarı (kg) (Expected Recycling Item Amount per month in kg)

	EYÜP	KAĞITHANE	BEYOĞLU	ŞİŞLİ
Kağıt (kg)	834	278	167	501
Plastik (kg)	278	92,7	55.7	167

Tablo 5 problemin matematiksel modelinde kullanacağımız karar değişkenlerini ve parametreleri belirtmektedir.

Tablo 5. Notasyon (Notation)

İNDİSLER	
i	Kampüsler ($i \in I = \{1,2,3,4\}$)
j	Aday Kağıt Geri Dönüşüm Merkezleri ($j \in J = \{1,2,3,4\}$)
t	Aday Plastik Geri Dönüşüm Merkezleri ($t \in T = \{1,2,3\}$)
v	Araç Tipi ($v \in V = \{1,2\}$)
PARAMETRELER	
d_{ij}	i kampüsünden j geri dönüşüm merkezine olan mesafe (km)
d_{it}	i kampüsünden t geri dönüşüm merkezine olan mesafe (km)
k_i	i kampüsünün aylık kağıt atık miktarı
pi_i	i kampüsünün aylık plastik atık miktarı
$P_Kağıt$	Kağıt geri dönüşümü için açılacak geri dönüşüm merkezi sayısı
$P_Plastik$	Plastik geri dönüşümü için açılacak geri dönüşüm merkezi sayısı
q_v	Araç Kapasiteleri
N_v	Araç Sayısı
EF_v	Araç tipine göre karbon emisyon faktörü
KARAR DEĞİŞKENLERİ	
y_{ij}	$\begin{cases}1, & j \text{ geri dönüşüm merkezinden i kampüsüne geri kazanılmış ürün gönderilirse}\\ 0, & \text{dd.}\end{cases}$
x_j	$\begin{cases}1, & j \text{ lokasyonunda geri dönüşüm merkezi açılırsa}\\ 0, & \text{dd.}\end{cases}$
g_{it}	$\begin{cases}1, & t \text{ geri dönüşüm merkezinden i kampüsüne geri kazanılmış ürün gönderilirse}\\ 0, & \text{dd.}\end{cases}$
z_t	$\begin{cases}1, & t \text{ lokasyonunda geri dönüşüm merkezi açılırsa}\\ 0, & \text{dd.}\end{cases}$
a_v	v tipinde kullanılan araç sayısı

4.1. Matematiksel Model (Mathematical Model)

Açılacak tesis adedi belli olduğundan probleme en uygun çözüm yaklaşımı P-Medyan problemidir. Belirtilen en az karbon emisyonu ile taşıma amacı da probleme eklenince iki amaçlı bir matematiksel model geliştirilmiştir.

$$min \sum_{i\in I}\sum_{j\in J} k_i . d_{ij} . y_{ij} + \sum_{i\in I}\sum_{t\in T} pi_i . d_{it} . g_{it} \quad (1)$$

$$min \quad 2 * (\sum_{i\in I}\sum_{j\in J}\sum_{v} EF_v a_v \, d_{ij} y_{ij} + \sum_{i\in I}\sum_{j\in J}\sum_{v} EF_v a_v \, d_{it} g_{it}) \quad (2)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{j\in J} x_j = P_Kağıt \quad (3)$$

$$\sum_{t\in T} z_t = P_Plastik \quad (4)$$

$$\sum_{j\in J} y_{ij} = 1 \;\; \forall_i \in I \quad (5)$$

$$\sum_{t\in T} g_{it} = 1 \;\; \forall_i \in I \quad (6)$$

$$y_{ij} \le x_j \quad \forall_i \in I, \quad \forall_j \in J \quad (7)$$

$$g_{it} \le z_t \quad \forall_i \in I, \quad \forall_t \in T \quad (8)$$

$$\sum_{i\in I} k_i y_{ij} \le q_v a_v \quad \forall_j \in J, \forall_v \in V \quad (9)$$

$$\sum_{i\in I} pi_i g_{it} \le q_v a_v \;\; \forall_t \in T, \forall_v \in V \quad (10)$$

$$\sum_{i\in I}\sum_{j\in J} a_v \, y_{ij} \ge 1 \quad \forall_v \in V \quad (11)$$

$$\sum_{i\in I}\sum_{t\in T} a_v \, g_{it} \ge 1 \quad \forall_v \in V \quad (12)$$

$$\sum_{i\in I}\sum_{j\in J} a_v \, y_{ij} + \sum_{i\in I}\sum_{t\in T} a_v \, g_{it} \le N_v \quad \forall_v \in V \quad (13)$$

$$x_j, \quad z_t, \quad y_{ij}, \quad g_{it} \in \{0,1\} \quad (14)$$

$$a_v \in \text{tam sayı} \quad (15)$$

Modelde Eş. (1) açılacak geri dönüşüm merkezleri için ağırlıklı mesafeyi minimize edebilen en iyi konumları belirleyen birinci amaç fonksiyonudur. Eş. (2) geri dönüşüm öncesi ve sonrasında nakliye kaynaklı oluşan karbon emisyonunu minimize eden ikinci amaç fonksiyonu değeridir. Gidiş ve dönüş yönlü hesaplandığı için 2 ile

çarpılmıştır. Eş. (3)ve (4) açılacak geri dönüşüm merkezi sayısını P adet ile sınırlandırır. Eş. (5)ve (6)'da her bir kampüsün tüm taleplerinin sadece bir geri dönüşüm merkezinden karşılanması kısıtı verilmiştir. Eş. (7) ve (8) açılmamış geri dönüşüm merkezine talep noktası ataması yapılmamasını garanti ederek tutarlılığı sağlamaktadır. Eş. (9) ve (10) kapasite kısıtlarıdır. Eş. (11) ve (12) tesis ve kampüs arasına en az bir araç atanmasını belirtir. Eş. (13) filo kapasite kısıtıdır. Eş. (14) ve (15) 0-1 sırasıyla değişkenlere ait ve tamsayı kısıtıdır.

3.2. Önerilen Yöntem (Proposed Method)

Problem Core i7, 2.60 GHz, 8 GB RAM bilgisayarda GAMS optimizasyon programında iki amaçlı karışık tamsayılı doğrusal olmayan matematiksel model olarak kodlanmıştır. Model ikinci amaç fonksiyonunda kullanılacak araç tipi ve sayısı kararı geri dönüşüm merkezinden hizmet alacak kampüs seçimlerine bağlı olduğu için konkav bir probleme dönüşmüştür. Çalışmadaki iki amaçlı matematiksel problemin çözüm yöntemi için epsilon-kısıt yöntemi denenmiştir. Epsilon-kısıt yönteminde bir amaç fonksiyonunu değerinin, kısıt olarak yazılan diğer amaç fonksiyonuna ait alt ve üst sınırı arasındaki değerlere göre, değişim göstermesi beklenir. Birinci amaç fonksiyonu kriter amaç fonksiyonu olarak seçilirken diğer amaç fonksiyonu kriteri için alt-sınır koyan kısıtlar eklenmektedir. Amaç fonksiyonları birbirlerine kısıtmış gibi modele yazılarak her bir amaç fonksiyonu değeri için alt ve üst sınır hesaplanır.

4. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

Epsilon – kısıt yöntemine göre bulunan alt ve üst sınırlar Tablo 6'da verilmiştir. Bu problem için alt ve üst sınırlar değişim göstermemektedir. Bu problemde tüm karar değişkenleri ikili değişken olduğu için iki amaç fonksiyonunun da alt ve üst sınırları değişim göstermemektedir. Bir orta ve bir büyük boyda araç ile birlikte Kuzey, Güney ve Kuzeybatı konumlarında tesisler açılmalıdır.

Tablo 6. Amaç Fonksiyonlarının Alt ve Üst Sınır Değerleri (Upper and Lower Limit of Objective Functions)

	AĞIRLIKLI MESAFE	TOPLAM CO_2 SALINIMI	TESİS AÇILACAK KONUM	AÇILAN TESİSTEN HİZMET ALAN KAMPÜS	ARAÇ SAYISI VE TİPİ
Üst Limit	14654,58	40,002	Kuzey Güney Kuzeybatı	A ve D B ve C A, B, C, D	1 orta ve 1 büyük boy
Alt Limit	14564,58	40,002			

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Bu çalışmada İstanbul'da bulunan bir üniversitenin atık yönetimi için tesisi yeri seçimi ile geri dönüşüm öncesi ve sonrasında nakliye kaynaklı oluşan karbon emisyonunu minimize etmeyi amaçlayan karma tamsayılı doğrusal olmayan bir matematiksel model geliştirilmiştir. Problemde açılacak tesis sayısı bellidir. Tüm kampüslerin talebini karşılayabilecek geri dönüşüm merkezleri kurma şartı ile ağırlıklı mesafe minimize edilirken aynı zamanda da konumlar arası taşıma kaynaklı karbon emisyonu da azaltılmak istenmektedir. Bu nedenle iki amaç fonksiyonu arasında bir ödünleşim söz konusudur. Gelecek çalışmalarda açılacak tesis sayısı artışına göre modelin duyarlılığı ölçülebilir, probleme maliyetler ve üretim esnasında oluşan karbon salınımları da eklenebilir. Farklı sezgisel yaklaşımlar daha büyük boyutlu problemler için geliştirilebilir. Yerleşim-rotalama modeli gibi farklı versiyonların geliştirilmesi literatüre fayda sağlayacaktır.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

Alaykıran, K., & Güner, E. (2013). Çok Ürünlü Geri Dönüşüm Ağ Tasarımı için Bir Matematiksel Model. Gazi Üni. Müh. Mim. Fak. Der., 28(1), 151–159.

Ayvaz, B., Kaçtıoğlu, S., & Varol, K. (2014). Belirsizlikler Altında Tersine Lojistik Ağ Tasarımı Literatür Taraması. İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 12(24), 1–15.

Carter, G. R., & Ellram, L. M. (1998). Reverse Logistics: A Review of the Literature and Framework for Future Investigation [Abstract]. Journal of Business Logistics, 19(1), 85.

Caramia, M., & Dell'Olmo, P. (2020). Multi-objective optimization. In Multi-objective management in freight logistics (pp. 21-51). Springer, Cham.

Chan, C. K., Man, N., Fang, F., & Campbell, J. (2019). Supply chain coordination with reverse logistics: A vendor/recycler-buyer synchronized cycles model. Omega, 102090. doi: 10.1016/j.omega.2019.07.006

Cornuejols, G., Fisher, M.L., Nemhauser, G.L. (1977). Location of Bank Accounts to Optimise Float: an Analytic Study of Exact and Approximate Algorithms. Management Science, 23, 789–810.

Demirel, N. Ö., & Gökçen, H. (2008). Geri Kazanımlı İmalat Sistemleri için Lojistik Ağı Tasarımı: Literatür Araştırması. Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Der., 23(4), 903–912.

Demirel, N., Gökçen, H., Akçayol, M. A., & Demirel, E. (2011). Çok Amaçlı Bütünleşik Lojistik Ağı Optimizasyonu Probleminin Melez Genetik Algoritma ile Çözümü. Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., 26(4), 989–936.

Dutta, P., Mishra, A., Khandelwal, S., & Katthawala, I. (2020). A multiobjective optimization model for sustainable reverse logistics in Indian E-commerce market. Journal of Cleaner Production, 249, 119348. doi:10.1016/j.jclepro.2019.119348

Ene, S., & Öztürk, N. (2016). Yeşil Tedarik Zinciri Yönteminde Ağ Optimizasyonu Problemine Meta-Sezgisel Yaklaşım. CBU Fen Bilimleri Dergisi, 12(3), 449–457.

Engeland, J. V., Beliën, J., Boeck, L. D., & Jaeger, S. D. (2020). Literature review: Strategic network optimization models in waste reverse supply chains. Omega, 91, 102012. doi:10.1016/j.omega.2018.12.001

Ferreira, J. C., Steiner, M. T. A., & Junior, O. C. (2020). Guide to multi-objective optimization for the green vehicle routing problem. Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería, 36(1).

Fleischmann, M., Krikke, H. R., Dekker, R., & Flapper, S. D. P. (2000). A characterisation of logistics networks for product recovery. Omega, 28(6), 653-666.

Gao, X., & Cao, C. (2020). A novel multi-objective scenario-based optimization model for sustainable reverse logistics supply chain network redesign considering facility reconstruction. Journal of Cleaner Production, 270, 122405. doi:10.1016/j.jclepro.2020.122405

Goldsby, T. J., & Stank, T. P. (2000). World Class Logistics Performance and Environmentally Responsible Logistics PracticiesThomas [Abstract]. Journal of Business Logistics, 21(2), 187.

Gülsün, B., Tuzkaya, G., & Bildik, E. (2008). Tersine Lojistikte Ağ Tasaromı: Bir Tavlama Benzetimi Yaklaşımı. Sigma, Journal of Engineering and Natural Sciences, 26(1), 68–80.

Irawan, C. A., Imran, A., & Luis, M. (2020). Solving the bi-objective capacitated p-median problem with multilevel capacities using compromise programming and VNS. International Transactions in Operational Research, 27(1), 361-380.

Kariv, O., Hakimi, S.L. (1979). An Algorithmic Approach to Network Location Problems. II: The p-medians. SIAM Journal on Applied Mathematics, 37, 3, 539–560.

Kaya, A., & Alev, S. A. (2017). Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Ağı Tasarımı. Endüstri Mühendisliği Dergisi, 28(2), 2–18.

Krikke HR. (1998) Recovery strategies and reverse logistic network design. Disertation, University of Twente, The Netherlands.

Lieckens, K., & Vandaele, N. (2007). Reverse logistics network design with stochastic lead times. Computers & Operations Research, 34(2), 395-416. doi:10.1016/j.cor.2005.03.006

Lin, C., Choy, K. L., Ho, G. T., Chung, S. H., & Lam, H. Y. (2014). Survey of green vehicle routing problem: past and future trends. Expert systems with applications, 41(4), 1118-1138.

Mu, W., & Tong, D. (2020). On solving large p-median problems. Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science, 47(6), 981–996. https://doi.org/10.1177/2399808319892598.

Murphy, P. R., & POIST, R. F. (2000). Green Logistics Strategies: An Analysis of Usage Patterns. Transportation Journal, WINTER 2000, 40(2), 5-16. https://www.jstor.org/stable/20713450

Rogers, D. S., & Tibben-Lembke, R. (2001). An Examination of Reverse Logistics Practices. Journal of Business Logistics, 22(2), 129-148. doi:10.1002/j.2158-1592.2001.tb00007.x

Paksoy, T., Özceylan, E., Weber, G., Barsoum, N., Weber, G. W., & Vasant, P. (2010). A Multi Objective Model For Optimization Of A Green Supply Chain Network. doi:10.1063/1.3459765

Sarıkaya, H. A., Çalışkan, E., & Türkbey, O. (2013). Bütünleşik Tedarik Zinciri Ağında Tesis Yeri Seçimi için Bulanık Çok Amaçlı Progralama Modeli. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 20(5), 150–161.

Şengül, Ü. (2011). Tersine Lojistik Kavramı ve Tersine Lojistik Ağ Tasarımı. Atatürk Ü. İİBF Dergisi, 10. Ekonometri Ve İstatistik Sempozyumu Özel Sayısı, 407–429.

Wang, F., Lai, X., & Shi, N. (2011). A multi-objective optimization for green supply chain network design. Decision Support Systems, 51(2), 262–269. doi: 10.1016/j.dss.2010.11.020.

www.cunguslupetrol.com.tr › download › dosya=13012014-171837-cunguslupetrol.pdf. (n.d.).