

KARADENİZ BÖLGESİ İÇİN TERSİNE LOJİSTİK*

REVERSE LOGISTICS FOR BLACK SEA REGION

Araştırma Makalesi
Research Paper

Muhlis ÖZDEMİR**

Öz:

Lojistik endüstrisi, artan maliyetlerin düşürülmesi, taşıma faaliyetlerinin planlanması gibi problemlerin yanında son dönemde pandemi nedeniyle yaşanan yoğunluktan kaynaklanan zorluklarla da mücadele etmek durumundadır. Firmaların, tersine lojistik faaliyet boyutunda da sorumlulukları bulunmaktadır. Çevresel sorumluluk bağlamında, tersine lojistik sürecine dahil edilmek üzere, geri dönüştürülebilir ürünlerin belirli merkezlerde toplanabilmesi için toplama noktalarının belirlenmesi son derece önemlidir. Bu çalışmada, Karadeniz bölgesinde yer alan 19 şehir için geri dönüştürülebilir ürünlere ait toplama noktalarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Karadeniz bölgesinin coğrafi koşulları nedeniyle doğu, orta ve batı Karadeniz olmak üzere 3 bölge dikkate alınarak analiz gerçekleştirilmiştir. Geri dönüşüm toplama noktalarının belirlenmesinde, sürekli optimizasyon problemleri için geliştirilmiş sezgisel tekniklerden biri olan tavlama benzetimi yöntemi kullanılmış ve Karadeniz bölgesi için 3 adet tersine lojistik geri dönüşüm toplama noktası önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tersine Lojistik, Tavlama Benzetimi, Sezgisel Teknik, Sürekli Optimizasyon, Karadeniz.

Abstract:

The logistics industry has to deal with the difficulties arising from the intensity of the pandemic recently, as well as the problems such as reducing the increasing costs and planning transportation activities. Firms also have responsibilities in the reverse logistics activities. In the context of environmental responsibility, it is extremely important to determine collection points so that recyclable products can be collected in specific centers to be included in the reverse logistics process. In this study, it was aimed to determine the collection points of recyclable products for 19 cities in the Black Sea region. Due to the geographical conditions of the Black Sea region, the analysis was carried out by considering 3 regions, namely the eastern, central and western Black Sea. To determine recycling collection points, simulated annealing method, one of the heuristic technique developed for continuous optimization problems were used and 3 reverse logistics recycling collection points were proposed for the Black Sea region.

Keywords: Reverse Logistics, Simulated Annealing, Heuristic Technique, Continuous Optimization, Black Sea.

* Makale Geliş Tarihi: 13.12.2020

Makale Kabul Tarihi: 16.05.2021

** Dr. Öğr. Üyesi, Gazi Üniversitesi, Fen Fakültesi, İstatistik Bölümü, muhliozdemir@gazi.edu.tr, orcid.org/0000-0002-4921-8209

GİRİŞ

Elektronik ticaret hacminin ve buna imkân tanıyan platform sitelerin son on yılda hızla yükselmiş olması nedeniyle ve son dönemde yaşanan pandemi süreci ile birlikte, insan ihtiyaçları hiç olmadığı kadar dijital mecralar vasıtasıyla karşılanmaya başlamıştır. Lojistik endüstrisi, maliyetlerin düşürülmesi, taşıma faaliyetlerinin planlanması, zamanında ve hasarsız teslimat gibi uğraşların yanında son dönemde yaşanan yoğunluktan kaynaklanan zorluklarla da mücadele etmek durumundadır. Firmalar, ürünlerini nihai tüketicilere ulaştırmak amacıyla ya lojistik endüstrisinden faydalanmakta ya da kendi lojistik ağlarını kurmaktadır.

Geleneksel anlamda, üreticiden tüketiciye doğru bir akış şeklinde tanımlanan lojistik kavramı, günümüz ihtiyaçlarını tam anlamıyla karşılayamamaktadır. Üreticiler ya da firmalar, marka olmanın getirdiği imaj kaygısı, ekonomik etkenler, yasal zorunluluk, çevresel sorumluluk gibi nedenlerle akışın tersi yönünde bir faaliyeti de gerçekleştirmek durumundadır. Geleneksel anlamda ürünün nihai tüketici ile buluşmasıyla sona eren lojistik süreci artık günümüzde tersi yönde bir süreci de kapsamakta ve bu süreç tersine lojistik olarak adlandırılmaktadır (Fleischmann vd., 2001).

Firmaların, tersine lojistik faaliyeti boyutunda da birtakım sorumlulukları bulunmaktadır. Beş başlık altında toplanan tersine lojistik faaliyeti; geri dönüşüm, onarım, yenileme, yeniden üretim ve yeniden kullanım şeklindedir (Theierry vd., 1995). Nihai tüketici ile buluşturulan ürünün, ayıplı mal olması, tüketici tarafından beğenilmemesi ya da yanlış beden seçimi nedeniyle iadesi, arızalanan ürünlerin yasal yükümlülük gereği tamiratlarının yapılması, nadir de olsa periyodik bakım amaçlı gönderimler, distribütörlerin elde kalan ürünleri iade etmesi, geri dönüştürülebilir ürünlerin toplanıp geri dönüşüm merkezlerine ulaştırılması vb. örnekler tersine lojistik faaliyetinin konusuna girmekte ve etkili bir biçimde yönetilmesi gerekmektedir. Bu durumun üstesinden gelmek adına, kimi firmalar lojistik endüstrisinde faaliyet gösteren iş yürütücülerle antlaşmalar vasıtasıyla iş birliği yapmakta ve daha ucuza tedarik ihtiyacını karşılayıp ürün gönderimi gerçekleştirmekte, kimi firmalar ise kendi lojistik ağlarını kurma yolunu izlemektedirler. Firmalar tarafından bu faaliyetlerin gerçekleştirilmesi, müşteri memnuniyeti ve firmanın ekonomik ömrünü sürdürmesi açısından son derece önem arz etmektedir. Bu öneme ek olarak tersine lojistik faaliyetinin firmaya olan katkıları da yadsınmaz.

Tersine lojistik faaliyetine konu olan ürün ile firmalar müşterilerinden, distribütörlerinden geri dönüşler almakta, arızalanan ürünleri ile ilgili sıklıkla hangi şikayetlerin oluştuğunu tespit edip, ilgili sorunu düzeltme imkânı bulabilmektedirler. Distribütörlerden gelen iadeler kapsamında ürünlerin satış trendi ile ilgili bilgi edinmek ve buna göre üretim planlamak pek tabii mümkündür. Bu sayede; depolama, ürün sevkiyat maliyetleri, tersine lojistik maliyetleri, işgücü maliyetleri gibi alanlarda maliyet iyileşmeleri söz konusu olacaktır. Ayrıca daha kaliteli ve az sorunlu ürünlerin piyasaya sürülmesi firmanın prestiji açısından da son derece önemlidir. İlgili iyileştirmelerin gerçekleşmesi tersine lojistik faaliyetine konu

olan ürünlerin azalmasına ve bu alanda oluşan maliyetlerin düşmesine neden olacaktır. Bu durum, bir döngü şeklinde hem lojistik hem de tersine lojistik faaliyetlerini etkileyecektir.

Tersine lojistik ağının ilk birimini, geleneksel lojistik ağlarından farklı olarak, tüketiciler ya da son kullanıcılar oluşturmaktadır. Bu nedenle tersine lojistik ağının ilk aşaması olan toplama işlemini kimin başlatacağı ya da gerçekleştirenin kim olacağı oldukça önemli bir sorundur. Bu işlem, firma tarafından, firmanın müşterileri tarafından ya da devlet tarafından gerçekleştirilebilmektedir. Firmalar tarafından eskiyi getir, yeniyi götür kampanyaları sıklıkla karşılaşılan durumlardır. Bu durumda firma tersine lojistik faaliyetini başlatmak için müşterilerinden yararlanmaktadır. Bazı durumlarda firmalar lojistik firmaları ile anlaşarak geri dönüştürülebilir ürünlerini başka lojistik firmaları vasıtası ile toplamaktadır. Verilebilecek bir başka örnek ise geri dönüştürülebilir ürünlerin belediyeler tarafından toplandığı, AB projelerince desteklenen faaliyetlerdir. Çevresel sorumluluk bilincinin yeterince oluşmasına paralel olarak nihai kullanıcılar yeniden ekonomiye kazandırılacak ürünleri önceden belirlenen toplama noktalarına bırakabilirler ya da firmalar ve belediyeler tarafından bu faaliyeti gerçekleştirmek üzere birimlerin kurulması sağlanabilir.

Ülkemizde geri dönüşüm bilinci yeterince oluşmadığından genellikle kâğıt toplayıcılar vasıtasıyla kâğıt, plastik ve cam ürünleri, hurdacılar tarafından ise metal ürünler toplanarak ülke ekonomisine yeniden kazandırılmaktadır. Evlerde kullanılan ağır metal içeren ürünler doğaya son derece zararlıdır. Benzer şekilde kullanılmış pillerin de tersine lojistik faaliyeti kapsamında değerlendirilmesi gerektiği bir gerçektir. Bu noktada, geri kazanım için Akçalı vd.'nin 2009 yılında gerçekleştirdikleri çalışmalarında çeşitli öneriler yer almaktadır (Akçalı vd., 2009).

Tersine lojistik sürecine dahil edilmek üzere, geri dönüştürülebilir ürünlerin belirli merkezlerde toplanabilmesi için toplama noktalarının belirlenmesi son derece önemlidir. Bu çalışmada, Karadeniz bölgesinde yer alan Karabük, Ardahan, Düzce, Amasya, Artvin, Bartın, Bayburt, Bolu, Gümüşhane, Samsun, Trabzon, Sinop, Zonguldak, Tokat, Rize, Ordu, Çorum, Kastamonu, Giresun illeri için geri dönüştürülebilir ürünlerin toplama noktalarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Karadeniz bölgesinin enine geniş, boyuna dar bir alana yayılmış coğrafi koşulları nedeniyle doğu, orta ve batı Karadeniz olmak üzere 3 bölge dikkate alınarak analiz gerçekleştirilmiştir. Bu üç bölge için geri dönüşüm toplama lokasyonlarının belirlenmesinde sezgisel tekniklerden biri olan tavlama benzetimi yöntemi kullanılmış ve Karadeniz bölgesi için 3 adet tersine lojistik için geri dönüşüm toplama noktaları önerilmiştir. Gerek ekonomik etkenler gerek yasal zorunluluklar ya da çevresel sorumluluklar nedeniyle, tersine lojistik faaliyetinde bulunacak belediyeler, firmalar ya da lojistik endüstrisi için önerilen bu noktaların son derece yararlı olacağı düşünülmektedir.

Çalışmanın ikinci bölümünde tersine lojistik ile ilgili literatür taramasına yer verilmiş olup, üçüncü bölümde tavlama benzetimine değinilmiştir. Dördüncü bölümde ise bu çalışmada kullanılan verilere, analiz sonuçları ve bulgulara yer verilmiştir. Son bölümde ise sonuç ve önerilere değinilmiştir.

1. LİTERATÜR TARAMASI

Literatürde araştırmacılar tarafından lojistik ve tersine lojistik konusu sıklıkla çalışılmış olup lokasyon önerilerinin yapıldığı çalışma sayısı oldukça sınırlı sayıdadır. Bu çalışmanın kapsamına giren lojistik ve tersine lojistik yer seçimi ile ilgili gerçekleştirilen çalışmalar şu şekildedir;

Barros vd. Hollanda’da inşaat atıkları için ağ tasarımı modellemesinin yapıldığı bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada, karma tam sayılı doğrusal programlama kullanılmış, kapasite sınırı bulunan toplama ve yeniden işleme tesislerinin lokasyonlarına karar verilerek maliyet minimizasyonunun sağlanması amaçlanmıştır (Barros vd., 1998).

Jayaraman vd. tarafından 1999 yılında gerçekleştirilen çalışmada, yeni bir ürüne kıyasla, geri dönüşüm ile yeniden üretilmiş ya da tamir edilerek yeniden kazanılmış daha az maliyetli ürünlerin Kuzey Amerika’da yeniden üretim tesislerinin konumu 0-1 karma tamsayılı programlama ile önerilmiştir (Jayaraman vd., 1999).

Fleischmann vd. tesis konumu için model önerisinde buldukları çalışmalarında ürün iade akışlarının lojistik ağlar üzerindeki etkisini analiz etmişlerdir. Ürün geri kazanım etkisinin büyük ölçüde ürün muhteviyatına bağlı olduğunu ortaya koydukları çalışmalarında bir şirketin lojistik ağını bütünsel bir şekilde yeniden tasarlamak için kendi önerdikleri modelden daha kapsamlı bir yaklaşımın kullanılması gerektiğini belirtmişlerdir (Fleischmann vd., 2001).

Krikke vd. çevresel, ekonomik ve ekolojik hassasiyetler nedeniyle tedarik zincirlerinin yeni teknikler ile tasarlanması gerektiğine vurgunun yapıldığı çalışmada, hem bir ürünün tasarım yapısı, yani modülerlik, onarılabilirlik ve geri dönüştürülebilirlik hem de lojistik ağı tasarım yapısı ile ilgili karar vermeyi desteklemek için nicel modelleme geliştirmişlerdir. Bir Japon firma için geliştirilen model, merkezi ve merkezi olmayan işleme, alternatif ürün tasarımları, değişen getiri kalitesi ve miktarı, üretici sorumluluğuna dayalı potansiyel çevre mevzuatı gibi farklı parametre ayarları kullanılarak farklı senaryolar için çalıştırılmıştır (Krikke vd., 2003).

Jayaraman vd. tarafından 2003 yılında gerçekleştirilen çalışmada ise tersine dağıtım modeli için “*heuristic concentration*” adlı sezgisel tersine lojistik test problemlerine uygulanmış, sonuçları karşılaştırmalı olarak paylaşmışlardır (Jayaraman vd., 2003).

Schultmann vd. tarafından 2003 yılında gerçekleştirilen çalışmada geri dönüşüm ürünlerinden piller için tersine lojistik toplama ve yeniden işleme tesis yer seçimi çalışması yapılmıştır. Pillerin kategorize edilerek ayrıldığı bu çalışma, Almanya’da senaryo analizi yöntemi ile gerçekleştirilmiştir (Schultmann vd., 2003).

Baemon ve Fernandes ürünlerin yeniden kazanımı için tedarik zinciri ağı yapılandırması önerisinde bulunmuşlardır. Çalışmada çeşitli senaryolara göre problem; deterministik, statik, çok dönemli, karışık tamsayı doğrusal bir program (MILP) olarak formüle edilmiştir (Baemon ve Fernandes, 2004).

Listeş ve Dekker, geri dönüşüm ağ tasarımı için deterministik bir konum modelinin belirsizliklerini açık bir şekilde ortaya koymak adına, stokastik programlama tabanlı bir model önerisinde bulunmuşlardır. Geliştirdikleri modeli alanında uzman kişilerden edindikleri alternatif senaryolar üzerine uygulamışlardır. Çalışmanın, Hollanda’da yıkım atığının geri dönüşümü için gerçek bir vaka çalışması olduğu belirtilmiştir (Listeş ve Dekker, 2005).

Queiruga vd. PROMETHEE yöntemi ile İspanyol belediyeleri için geri dönüşüm merkezlerinin konumlarına karar verilmesinde kullanılan kriterleri dikkate alarak yer seçim modeli önerisinde bulunmuşlardır. Ayrıca önerdikleri yöntemin geri dönüşüm sistemi için optimal bir çözüm sunmadığını ancak mevcut durumlar için iyi bir alternatif olduğu çalışmalarında belirtilmiştir (Queiruga vd., 2008).

Gülsün vd. tersine lojistik ağ tasarımında tavlama benzetimi yöntemini kullandıkları çalışmalarında uygun miktar ve toplama merkezi-müşteri, dönüş merkezi-toplama merkezi için uygun yerlerin belirlenmesini konu edinmişlerdir (Gülsün vd., 2008).

Aras ve Aksent çalışmalarında test problemlerinden yararlanmış ve toplama merkezlerinin seçimi için kâr maksimizasyonu sağlamak adına karmaşık tamsayı doğrusal olmayan programlama, daha büyük problemler için ise Fibonacci araması ve tabu aramayı birlikte kullandıkları bir çalışma gerçekleştirmişlerdir (Aras ve Aksent, 2008).

Aras vd. kapasite kısıtlı araçlar ile teslim alma politikası kapsamında teşviğe bağlı iadeler için ürünlerin müşterilerden toplama merkezleri vasıtasıyla alındığı toplama merkezlerinin konumlarının belirlenmesi için Nelder-Mead simpleks arama ve tabu arama sezgiselinin kullanıldığı bir çalışma gerçekleştirmişlerdir (Aras vd., 2008).

Figueiredo ve Mayerle Brezilya’daki belediyelerce açılması planlanan toplama merkezlerinin belirlenmesi üzerine doğrusal olmayan programlamanın ve “*Fibonacci search algorithm*”, “*Teitz and Bart algorithm*” ve “*the bisection algorithm*” adındaki üç aşamalı algoritmik yöntemin kullanıldığı bir çalışma yürütmüşlerdir (Figueiredo ve Mayerle, 2008).

Pati vd. Hindistan’da tersine lojistik ağ tasarımı kâğıt geri dönüşüm sistemi yer seçimi için bir karma tam sayılı hedef programlama önerisinde bulunmuşlardır. Çalışmada, tersine lojistik maliyetlerinin azaltılması, ürün kalitesinin artırılması ve çevresel faydalar gibi unsurlar dikkate alınmıştır. Önerilen modelin ayrıca, çok parçalı, çok kademeli ve çok tesisli karar verme çerçevesinde farklı geri dönüştürülebilir atık kâğıt türlerinin tesis yeri, yolu ve akışının belirlenmesine yardımcı olduğu belirtilmiştir. Modelin kullanımı, Hindistan’da bir kâğıt geri dönüşümü sorunu ile örneklenmiştir (Pati vd., 2008).

Demirel ve Gökçen, çalışmalarında hem ileri hem de ters akışları içeren bir yeniden üretim sistemi için yeni bir karma tam sayı matematiksel model önermiş ve sayısal bir örnek üzerindeki sonuçlarını paylaşmışlardır. Önerilen model, demontaj, toplama ve dağıtım tesislerinin nereye kurulacağı problemini çözerken, üretilen ve yeniden üretilen ürünlerin üretim ve nakliye miktarlarının optimal değerlerini de sağlamaktadır. Model, pratik iş durumunu yansıtan bir dizi deneysel veri kullanılarak doğrulanmış ve modelin duyarlılık analizi de çalışmada sunulmuştur (Demirel ve Gökçen, 2008).

Lee ve Dong, çalışmalarında Asya Pasifik'te bulunan uluslararası bir elektronik firmasının bilgisayar parçalarının hem ileri hem de ters akışlarını içeren bir sistem için iki aşamalı, ağ simpleks algoritması ve tabu arama sezgiselinin kullanıldığı bir model önerisinde bulunmuşlardır (Lee ve Dong, 2008).

Cruz-Rivere ve Ertel, çalışmalarında Meksika'da ekonomik ömrünü tamamlamış araçların toplanması için kapalı döngü bir tedarik zinciri kurmanın özelliklerini açıklamışlardır. Kapasitesiz tesis yerleşim problemi olarak ele aldıkları çalışmada senaryo analizi altında kullanılmış araç miktarlarını tespit etmeye çalışmışlardır (Cruz-Rivere ve Ertel, 2009).

Aksen vd. hükümet ile bir şirket arasındaki sübvansiyon anlaşmasına istinaden her iki tarafın da çıkarını gözetken bir çift düzeyli programlama (BP) modeli önerisinde bulunmuşlardır. Toplama ve geri dönüşüm faaliyetinde bulunan şirket, devletten alacağı destekleme tutarını maksimize etmeye çalışırken, ödenek tutarını minimize etmeye çalışan hükümet arasındaki ödeme tutarının belirlenmesine çalışılmıştır. Çalışmada Brent methodu ve tabu arama sezgiseli kullanılmıştır (Aksen vd., 2009).

Salema vd. çalışmalarında ters akışlı tedarik zincirlerinin eşzamanlı tasarımı ve planlanması için çok dönemli ve çok ürünlü bir ağ modeli önermişlerdir. Önerilen Modelin gerçek dünya problemlerine hem uygulanabilirliğini hem de yeterliliğini doğrulamak için Portekiz endüstri vakasına dayalı bir örnek incelenmiş, çalışmada bir cam firması için tesis yeri seçimi önerilmiştir (Salema vd., 2010).

Gomes vd. tarafından toplama ve ayırma merkezleri için en iyi lokasyonların taktik bir ağ planlaması tanımıyla eş zamanlı olarak seçildiği genel bir karma tam sayılı doğrusal programlama modeli önerilmiştir. Tesis yerlerinin seçiminde, çok sayıda merkezin açılması için şirketin stratejik genişleme planlarına bağlı olduğu ve başlıca WEEE kaynaklarına yakın konumlarda olması gerektiği çalışmanın sonuçlarına göre elde edilen bulgular arasındadır (Gomes vd., 2011).

Elgün tarafından gerçekleştirilen çalışmada, lojistik köyleri ile ilgili kapsamlı bir araştırma paylaşılmış olup, "Delphi uzmanlık uygulamalarıyla" yürütülen "Çok kriterli ağırlıklılandırma" tekniği ile Mersin, Konya, Bilecik-Bozüyük ve Eskişehir'in lojistik kriterleri açısından uygun merkezler olduğu belirtilmiştir (Elgün, 2011).

Yılmaz vd. tesis sayısı ve tesis yerinin belirlenmesinde genetik algoritma kullandıkları çalışmalarında en kısa mesafeyi kat ederek taşıma ve teslimatı gerçekleştirebilmek adına hızlı tüketim malları için dört bölgeyi belirleyerek depo yeri seçimi problemini ele almışlardır (Yılmaz vd., 2011).

Alamur vd. tersine lojistik ağ tasarımı problemleri için bir kar maksimizasyonu modelleme çerçevesi önerdikleri çalışmada karma tam sayılı doğrusal programlama kullanmışlardır. Önerilen model, Almanya'daki çamaşır ve kurutma makineleri için ters lojistik ağ tasarımı bağlamında bir vaka çalışmasıyla gerekçelendirilmiştir. Statik yerine dinamik bir model kullanmanın potansiyel faydalarını göstermek ve ayrıca bir dizi yönetsel içgörü elde etmek için kapsamlı bir parametrik ve senaryo analizi gerçekleştirmişlerdir (Alamur vd., 2012).

Aydın, TCDD tarafından inşa edilmesi planlanan üç lojistik merkezi için Bulanık AHP yöntemi ile 4 kriter 13 alt kriterin yer aldığı bir model ile bu lojistik merkezlerden hangisinin inşa edilmesi gerektiğini ortaya koyan bir analiz gerçekleştirmiştir (Aydın, 2016).

Uysal ve Özcan, merkezi olmayan lojistik merkezlerine örnek teşkil eden süpermarketlerin sayısının ve yerlerinin belirlenebilmesi amacı ile geliştirdikleri tavlama benzetimini test problemleri üzerinde sınadıkları bir çalışma gerçekleştirmişlerdir (Uysal ve Özcan, 2019).

Görgülü vd. kapalı döngü tedarik zincirinde yer seçimi için taşıma maliyeti ve karbondioksit emisyon maliyeti arasındaki ilişkiyi ele aldıkları karma tamsayılı programlama modeli önerisinde bulunmuşlardır. Önerdikleri modelin başarısını ortaya koymak adına sayısal bir örnek üzerinde durarak analiz gerçekleştirmişlerdir (Görgülü vd., 2020).

Yalçiner tarafından gerçekleştirilen çalışmada, lojistik sektöründe faaliyet gösteren işletmeler için araç sayısı ve kat edilen mesafenin minimizasyonunun amaçlandığı, Karadeniz’de yer alan illere İstanbul merkezli bir depodan dağıtım gerçekleştirildiği senaryosu ile tavlama benzetimi algoritmasının başarısı sınanmıştır (Yalçiner, 2021)

Yapılan yazın taramasında lojistik, tedarik zinciri, tersine lojistik konularında araştırmacıların çokça çalıştığı görülmüştür. Bu alanda doğrudan tesis/depo yeri seçim önerisinde bulunan çalışmalar dikkate alınmış, alandaki diğer çalışmalar dikkate alınmamıştır. Elde edilen bulgulara göre literatürde Karadeniz Bölgesi için tersine lojistik toplama noktalarının önerilmediği görülmüştür.

2. TAVLAMA BENZETİMİ

Literatürde benzetilmiş tavlama olarak da bilinen Tavlama benzetimi (TB) yöntemi, fiziksel olarak bir metalin belirli bir süre boyunca belirli bir sıcaklığa kadar ısıtılması ve soğutulması işleminden esinlenilerek geliştirilmiş meta-sezgisel tekniklerden bir yöntemdir. Rastgele bir çözüm noktası ile başlayıp çözüm uzayında stokastik arama esasına dayanan TB, 1983 yılında Kirkpatrick ve arkadaşları tarafından geliştirilmiştir (Kirkpatrick vd., 1983). Grafik bölüntüleme ve gezgin satıcı problemlerine tekniğin uygulandığı ikinci bir makale 1984 yılında Kirkpatrick tarafından kaleme alınmış ve yöntemin gelişmesi hız kazanmıştır (Kirkpatrick, 1984).

Yerel komşuluk arama yöntemine dayalı bir teknik olan TB’de, belirli bir başlangıç noktası seçilerek çözüm uzayında arama yapılır (Blum ve Andrea, 2003). Uygun olmayan çözüm değerlerinin de tesadüfi olarak kabul ediliyor olması, yöntemin yerel minimumda ya da maksimumda takılmasına engel olmaktadır. Uygun olmayan çözümün kabul edilmesi soğuma katsayısı değerine bağlıdır. Uygun olmayan bu çözüm değerlerinin kabul edilme olasılığı algoritmanın ilk iterasyonlarında daha yüksektir. Tekniğin temel bileşenlerinden olan başlangıç sıcaklığının, soğutma katsayısının ve komşuluk fonksiyon tipinin belirlenmesi oldukça önemlidir (Aarts vd., 1997). Fonksiyon tipinin belirlenmesinde sıklıkla üstel, logaritmik, geometrik, aritmetik fonksiyonlar tercih edilmektedir.

Belirli bir sıcaklığa kadar ısıtılan ve soğuma sürecine bırakılan metal için ortaya çıkan enerji, bu enerjiye göre çözümün kabul edilip edilmeyeceği, hangi durumlarda çözüm kalitesini artırmayan çözümlerin kabul edileceği ile ilgili matematiksel gösterimler şu şekildedir (Metropolis vd., 1953);

Isıtılan bir metal için x_i metalin mevcut durum sıcaklığı, x_j metalin ısıtıldıktan sonraki durum sıcaklığı, E_i mevcut durum enerjisi, E_j ısıtıldıktan sonraki enerjisi olmak üzere enerji değişimi denklem (1)'deki gibi olacaktır.

$$DE = E_j - E_i \quad (1)$$

Eğer enerjide meydana gelen değişim sıfırdan büyükse, metal halen ısındığından x_j çözümü ya yeni çözüm olarak kabul edilmeyecektir ya da belirli bir olasılığa göre kabul edilecektir. K_B Boltzmann sabitini ve T sıcaklığı temsil etmek üzere bu olasılık değeri denklem (2)'de yer alan formül ile hesaplanmaktadır.

$$e^{-\left(\frac{DE}{K_B T}\right)} \quad (2)$$

TB'nin, komşu arama tabanlı bir algoritma olmasından dolayı, rastgele bir başlangıç çözüm noktası ile çözüm değeri aranmaya başlanır. Algoritmanın ilk iterasyonlarında çözümü iyileştiren yeni komşu çözüm değerleri kabul edilir. Bu kabul etme durumu iniş algoritması (gradient descent algorithm) olarak da adlandırılır ve yerel minimuma ulaşıncaya kadar devam eder. Belirli bir süre boyunca çözüm değerini daha fazla iyileştiremeyen noktaya ulaşıldığında iniş algoritması sonlandırılır ve rastgele bir çözüm değeri kabul edilip bu çözüm değerine ait komşu çözüm değerleri araştırılmaya başlanır. Böylelikle yerel minimumda takılıp kalma riskine engel olunmaya çalışılır.

Algoritma sayesinde mevcut yerel minimumlar tespit edilir ve bu yerel minimumların arasından global minimum tespit edilmeye çalışılır (Ingber vd., 2012). Rastgele seçilen başlangıç çözüm noktası ve bu noktaya karşılık gelen çözüm değeri oldukça önemlidir. Hangi rastgele çözüm noktası ve değeri ile algoritmaya başlanırsa başlansın, iyi bir sezgisel tekniğin, başlangıç çözümünden bağımsız olarak en iyi çözümü üretmesi beklenir. Bunu sağlayabilmek adına, kötü çözüm değerlerinin kabulüne bu nedenden dolayı da izin verilir. Bu noktada, çözüm değerini kötüleştiren hangi hareketlerin kabul edileceğine x_j ile x_i arasındaki farkın bir başka ifade ile D 'nin, sıcaklığa oranının negatifi irrasyonel bir sayı olan, Euler sabiti olarak da bilinen e sayısının üssü olarak alınır. Bir başka ifade ile denklem (3)'teki gibi hesaplanır. Bu fonksiyon, aynı zamanda literatürde kabul fonksiyonu olarak da bilinmektedir.

$$e^{-\left(\frac{D}{T}\right)} \quad (3)$$

Sıcaklık değeri ne kadar yüksek olursa, elde edilen çözüm değerlerinin büyük bir çoğunluğu uygun çözüm olarak kabul edilecektir. Daha önce de belirttiği üzere algoritmanın ilk iterasyonlarında uygun olmayan çözüm değerlerinin kabul edilme olasılığının yüksek

olma nedeni budur. Bu sebepten ötürü, TB’de çözüm uzayında arama yapılırken yeterince yüksek sıcaklık değeri ile algoritmaya başlanması daha uygun olacaktır. Uygun olmayan çözüm değerlerinin kabul olasılığının düşürülmesi için ise sıcaklık değerinin kontrollü bir şekilde düşürülmesi gerekir. Sıcaklığın düşmesi ile birlikte, kabul edilen uygun olmayan çözüm değerleri sayısı azalacağından arama uzayında yapılan arama da zamanla azalacaktır. Böylelikle algoritmanın hem sonsuz döngüye girmesi engellenmiş hem de soğutma katsayısına paralel olarak daha az iterasyonla algoritmanın sonlanması sağlanacaktır.

TB’nin ne kadar süreceği, algoritmanın durdurma kriterine bağlıdır (Ingber vd., 2012). Durdurma kriterinin belirlenmesinde bazı yöntemler tercih edilmektedir. Önceden belirlenen iterasyon adedince, optimum sonucu bilinen problemlerde optimum değer elde edilinceye ya da optimum sonuca yakın değerlere ulaşıncaya kadar algoritma çalıştırılabilir.

TB algoritması ile ilgili kaba kod aşağıdaki gibidir;

- **Adım 1:** başla.
- **Adım 2:** durdurma koşulu, sıcaklık, soğutma katsayısı, popülasyon büyüklüğü, hareket sayısı ve mutasyon oranı değerlerini belirle.
- **Adım 3:** tesadüfi çözüm noktası oluştur.
- **Adım 4:** tesadüfi çözüm noktasının çözüm değerini hesapla.
- **Adım 5:** en iyi çözüm değerini belleğe kaydet.
- **Adım 6:** sıcaklık güncellenmeyecekse adım 3’e dön aksi taktirde bir sonraki adıma geç.
- **Adım 7:** sıcaklığı, soğutma katsayısına göre güncelle.
- **Adım 8:** durdurma koşulu sağlanmıyorsa adım 3’e dön aksi taktirde algoritmayı sonlandır.
- **Adım 9:** bitir.

Aynı zamanda bu çalışmanın da kapsamına giren, minimizasyon probleminde çözüm uzayı S ile çözüm değerleri ise x_i ile temsil edilirse, $x_i \in S$ olmak üzere, maliyet fonksiyonu $f(x)$ ile temsil edilebilir. Çalışmada tersine lojistik geri dönüşüm toplama noktaları ile şehir merkezleri arasındaki mesafe minimize edilmeye çalışıldığından problemin amaç fonksiyonu aşağıdaki şekilde olacaktır.

$$\min f(x) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2} \quad (4)$$

Gerçekleştirilen TB analizi için parametre ayarlaması çalışması yapılmış olup, tercih edilen parametre değerleri aşağıda yer alan tablo 1’deki gibidir;

Tablo 1: Tavlama Benzetimi Parametre Ayarları

Parametre Adı	Sınanan Değerler	Tercih Edilen Değer
İterasyon Sayısı	10, 20, 30	20
Başlangıç Sıcaklığı	0,80, 0,85, 0,90	0,80
Soğutma Katsayısı	0,97, 0,98, 0,99	0,99
Popülasyon Sayısı	5, 10, 20	5
Hareket Sayısı	5, 10, 15	5
Mutasyon Oranı	0,4, 0,5, 0,6	0,5

Çözüm üretilmeye çalışılan problemlerin küçük olmasından dolayı, düşük parametre değerlerinde bile etkili sonuçlar elde edilmiş, yüksek parametre değerleri denendiği halde sonuçlarda herhangi bir iyileşme gözlenmemiştir.

Algoritma, Macintosh işletim sistemine sahip 2.7 GHz Quad-Core Intel Core i7 işlemci mimarili, 512 GB SSD sabit bellek, 16 GB 2133 MHz LPDDR3 rastgele erişimli hafızaya sahip makinede, açık kaynak kodlu bir yazılım olması nedeniyle *R* programlama dili tercih edilmiş ve kodlanarak koşturulmuştur.

3. ANALİZ VE BULGULAR

Bu çalışmada, Karadeniz bölgesinde yer alan şehir merkezlerine ait koordinatlar kullanılarak tavlama benzetimi yöntemi ile optimizasyon gerçekleştirilmiştir. Karadeniz bölgesinde yer alan üç bölgeyi en iyi temsil edecek olan tersine lojistik geri dönüşüm toplama noktalarını belirlemek amacıyla, toplama noktaları ile şehir merkezleri arasındaki mesafe minimize edilmeye çalışılmıştır. Problemin amacı, koordinatlar arası mesafenin minimize edilmesidir. Bu nedenle problem kesikli optimizasyon probleminden ayrışmakta ve sürekli optimizasyon problemi haline almaktadır.

Mesafe minimizasyonu gerçekleşirken koordinatları bilinen iki nokta arasındaki Öklid uzaklığı minimize edilmiştir. Tersine lojistik toplama noktalarına ait koordinatlar tavlama benzetimi ile belirlendikten sonra uzaklıklar kilometre cinsinden raporlanmıştır. Mesafeler, aracın toplama noktasından şehir merkezine, şehir merkezinden tekrar toplama noktasına olan uzaklık şeklindedir.

Taşıma faaliyetini gerçekleştiren araçların, yakıt olarak mazot kullanan kamyonlar ve sonsuz kapasiteli olduğu varsayılmıştır. Uzaklığın minimize edilmesi ile tersine lojistik faaliyetinde kullanılan kamyonların yakıt maliyetlerinin minimize edilmeye çalışıldığı söylenebilir. Böylelikle tersine lojistik faaliyetini gerçekleştirmek üzere bir aracın toplamda ne kadar yol kat etmesi gerektiği tespit edilmiştir.

Bir alt başlıkta çalışmada kullanılan veri setine değinilmiş olup, doğu, orta ve batı Karadeniz için ilgili analizler gerçekleştirilmiş ve toplama noktalarına ait koordinatlar belirlenmiştir.

3.1. Veri Seti

Karadeniz bölgesi Karabük, Ardahan, Düzce, Amasya, Artvin, Bartın, Bayburt, Bolu, Gümüşhane, Samsun, Trabzon, Sinop, Zonguldak, Tokat, Rize, Ordu, Çorum, Kastamonu, Giresun olmak üzere 19 ilden oluşmaktadır.



Şekil 1: Karadeniz Bölgesi Görsele

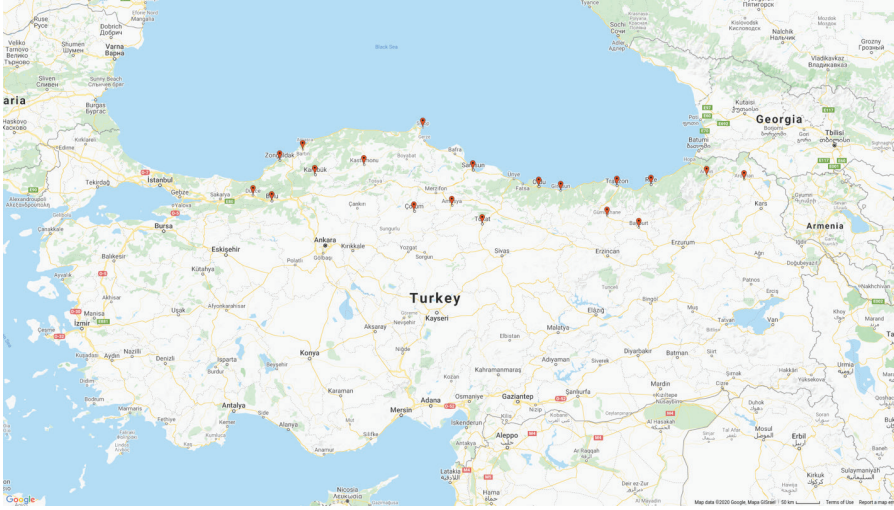
Kaynak: www.paintmaps.com/tr (Erişim tarihi Ekim 2020)

Tavlama benzetimi analizinde kullanılan, Karadeniz bölgesinde yer alan şehirlere ait veriler aşağıda yer alan tablodaki gibidir. İlgili şehirlere ait koordinat bilgileri, Google Haritalar uygulaması aracılığıyla elde edilmiştir. Koordinatlar, her bir şehirin şehir merkezini gösterir koordinatlardır.

Tablo 2: Karadeniz Bölgesinde Yer Alan İller

Şehir	Şehir Merkezi		Şehir	Şehir Merkezi	
	Enlem	Boylam		Enlem	Boylam
Amasya	40.659	35.838	Karabük	41.200	32.622
Ardahan	41.114	42.702	Kastamonu	41.379	33.777
Artvin	41.184	41.820	Ordu	40.997	37.878
Bartın	41.639	32.334	Rize	41.031	40.515
Bayburt	40.262	40.228	Samsun	41.284	36.336
Bolu	40.737	31.609	Sinop	42.033	35.152
Çorum	40.554	34.953	Tokat	40.328	36.553
Düzce	40.808	31.182	Trabzon	41.016	39.718
Giresun	40.923	38.392	Zonguldak	41.462	31.789
Gümüşhane	40.463	39.480			

Karadeniz Bölgesi şehir merkezleri koordinatlarının gerçek manada şehir merkezini temsil edip etmediğini kontrol etmek amacıyla www.maps.co (erişim Ekim 2020) çevrim içi harita uygulaması kullanılmıştır. Tabloda yer alan koordinatlar haritada iğnelendiğinde her bir koordinatın gerçek manada şehir merkezini temsil ettiği belirlenmiştir.



Şekil 2: Karadeniz Bölgesi Şehir Merkezleri Koordinatları Görseli

Kaynak: www.maps.co (Erişim tarihi Ekim 2020)

Karadeniz bölgesi coğrafya olarak boyuna dar, enine geniş olması nedeniyle doğu, orta ve batı Karadeniz olmak üzere 3 bölge olarak dikkate alınmış ve bu üç bölge için geri dönüşüm toplama noktaları belirlenmiştir. Analiz sonucunda toplama noktaları belirlendikten sonra uzaklıklar yine Google Haritalar uygulaması kullanılarak kilometreye çevrilmiş, alternatif yolların bulunması durumunda en kısa uzaklığa sahip rota tercih edilmiştir.

3.2. Doğu Karadeniz

Karadeniz'in doğusunda yer alan bu bölge, Ardahan, Artvin, Bayburt, Giresun, Gümüşhane, Rize ve Trabzon olmak üzere 7 ilden oluşmaktadır. Doğu Karadeniz bölgesi için gerçekleştirilen tavlama benzetimi analizi sonucuna göre tersine lojistik geri dönüşüm merkezi toplama noktası olarak 40.8005 enlemi ve 40.2026 boylamı tespit edilmiştir. Tespit edilen lokasyonun açık adresi Yenice, Dernekpazarı/Trabzon'dur. Tersine lojistik toplama noktası (TLTN) ile şehir merkezi (ŞM) arasındaki mesafeler hesaplanırken en kısa rotalar tercih edilmiştir. Güzergâh farklılıkları nedeniyle TLTN - ŞM ile ŞM - TLTN arasında uzaklık bakımından farklılıklar söz konusudur.

Tablo 3: Doğu Karadeniz Bölgesi için Önerilen Tersine Lojistik Toplama Noktası Uzaklıkları

	Enlem	Boylam	UZAKLIKLAR		
			TLTN-ŞM**	ŞM-TLTN	TOPLAM
TLTN*	40.8005	40.2026			
Ardahan	41.1142	42.7021	309	310	619
Artvin	41.1838	41.8203	199	200	399
Bayburt	40.2623	40.2281	92,6	90,6	183,2
Giresun	40.9234	38.3923	207	207	414
Gümüşhane	40.4634	39.4803	173	172	345
Rize	41.0309	40.5154	52,5	52,6	105,1
Trabzon	41.0161	39.7176	77,3	78,2	155,5

*TLTN: Tersine lojistik toplama noktası

**ŞM: Şehir merkezi

Toplama noktasından çıkan bir aracın, şehir merkezinden geri dönüşüme konu olan ürünü alıp tekrar toplama noktasına dönmesi için kat etmesi gereken mesafeler yukarıdaki tabloda gösterilmiştir. Tersine lojistik toplama noktasının Yenice, Dernekpazarı/Trabzon adresine kurulması halinde bir defaya mahsus taşıma için 2220,8 km yol kat edilmesi gerekmektedir.

Doğu Karadeniz için gerçekleştirilen analize ait çözüm kalitesini ve kaç iterasyonda en iyi çözüm değerinin elde edildiğini gösteren görsel şekil 3(a)'da yer almaktadır. Analiz sonuçlarına göre algoritma, 11. iterasyondan sonra en iyi çözüm değerini elde etmektedir. Küçük sayıda iterasyon ile uygun çözüm değerinin elde edilmesinde lokasyon sayısının az olması etkilidir. Önerilen noktanın bölgede bulunan 7 ile olan uzaklığı 8,25128843 Öklid uzaklığıdır.

3.3 Orta Karadeniz

Orta Karadeniz, Amasya, Çorum, Ordu, Samsun ve Tokat illerinden oluşmaktadır. Orta Karadeniz bölgesi için gerçekleştirilen tavlama benzetimi analizi sonucuna göre tersine lojistik geri dönüşüm merkezi toplama noktası olarak 40.7369 enlemi ve 36.1698 boylamı tespit edilmiştir. Tespit edilen lokasyonun açık adresi Taşova/Amasya'dır. TLTN ile ŞM arasındaki mesafeler hesaplanırken en kısa rotalar tercih edilmiştir. Güzergâh farklılıkları nedeniyle TLTN - ŞM ile ŞM - TLTN arasında uzaklık bakımından farklılıklar söz konusudur.

Tablo 4: Orta Karadeniz Bölgesi için Önerilen Tersine Lojistik Toplama Noktası Uzaklıkları

	Enlem	Boylam	UZAKLIKLAR		
			TLTN-ŞM**	ŞM-TLTN	TOPLAM
TLTN*	40.7369	36.1698			
Amasya	40.6590	35.8381	36	34,6	70,6
Çorum	40.5545	34.9529	130	128	258
Ordu	40.9965	37.8780	213	217	430
Samsun	41.2845	36.3360	129	134	263
Tokat	40.3277	36.5528	105	102	207

*TLTN: Tersine lojistik toplama noktası

**ŞM: Şehir merkezi

Toplama noktasından çıkan bir aracın, şehir merkezinden geri dönüşüme konu olan ürünü alıp tekrar toplama noktasına dönmesi için kat etmesi gereken toplam mesafe 1228,6 km'dir. Orta Karadeniz için gerçekleştirilen analize ait çözüm kalitesini ve kaç iterasyonda en iyi çözüm değerinin elde edildiğini gösteren görsel şekil 3(b)'de yer almaktadır. Analiz sonuçlarına göre algoritma, 10. iterasyondan sonra en iyi çözüm değerini elde etmektedir. Önerilen noktanın bölgede bulunan 5 ile olan uzaklığı 4,43173901 Öklid uzaklığıdır.

3.4. Batı Karadeniz

Batı Karadeniz, Bartın, Bolu, Düzce, Karabük, Kastamonu, Sinop ve Zonguldak olmak üzere 7 şehirden oluşmaktadır. Batı Karadeniz bölgesi için gerçekleştirilen tavlama benzetimi analizi sonucuna göre tersine lojistik geri dönüşüm merkezi toplama noktası olarak 41.3420 enlemi ve 32.3742 boylamı tespit edilmiştir.

Tablo 5: Doğu Karadeniz Bölgesi için Önerilen Tersine Lojistik Toplama Noktası Uzaklıkları

	Enlem	Boylam	UZAKLIKLAR		
			TLTN-ŞM**	ŞM-TLTN	TOPLAM
TLTN*	41.3420	32.3742			
Bartın	41.6394	32.3340	44,6	44,6	89,2
Bolu	40.7373	31.6088	169	169	338
Düzce	40.8080	31.1819	199	230	429
Karabük	41.2000	32.6222	48,7	49	97,7
Kastamonu	41.3788	33.7768	115	112	227
Sinop	42.0327	35.1519	344	343	687
Zonguldak	41.4620	31.7892	90,8	94,3	185,1

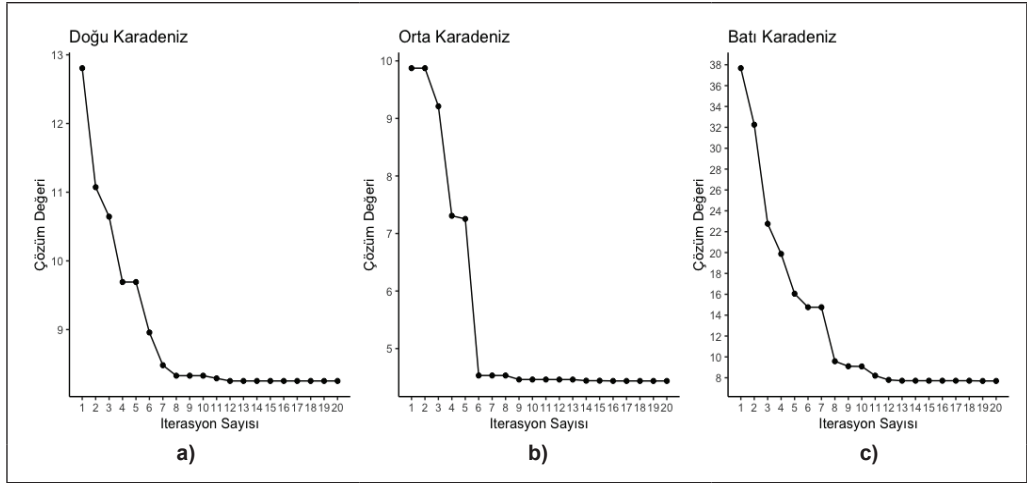
*TLTN: Tersine lojistik toplama noktası

**ŞM: Şehir merkezi

Tespit edilen lokasyonun açık adresi Hasankadı/Bartın'dır. Önerilen lokasyon Karabük, Kastamonu ve Zonguldak illeri arasında yer almaktadır. TLTN ile ŞM arasındaki mesafeler hesaplanırken en kısa rotalar tercih edilmiştir. Güzergâh farklılıkları nedeniyle TLTN - ŞM ile ŞM - TLTN arasında uzaklıklar bakımından farklılıklar söz konusudur.

Toplama noktasından çıkan bir aracın, şehir merkezinden geri dönüşüme konu olan ürünü alıp tekrar toplama noktasına dönmesi için kat etmesi gereken toplam mesafe 2053 km'dir.

Batı Karadeniz için gerçekleştirilen analize ait çözüm kalitesini ve kaç iterasyonda en iyi çözüm değerinin elde edildiğini gösteren görsel şekil 3(c)'de yer almaktadır.



Şekil 3: İteratif Çözüm Değerleri Görseli

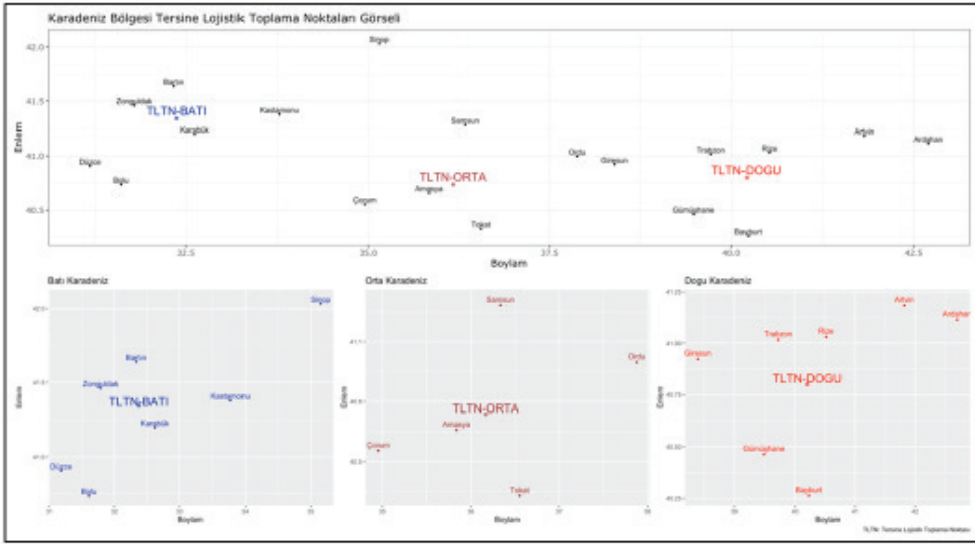
Elde edilen bulgulara göre algoritma 12. iterasyondan sonra en iyi çözüm değerini elde etmektedir. Önerilen noktanın bölgede bulunan 7 ile olan uzaklığı 7,72984905 Öklid uzaklığıdır.

SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

Gerçekleştirilen tavlama benzetimi sonucunda, doğu Karadeniz bölgesi için 40.8005 enlemi ve 40.2026 boylamı, orta Karadeniz bölgesi için 40.7369 enlemi ve 36.1698 boylamı, batı Karadeniz bölgesi için ise 41.3420 enlemi ve 32.3742 boylamı tersine lojistik geri dönüşüm noktası olarak tespit edilmiştir. Toplama noktaları, doğu Karadeniz için Yenice/Trabzon, orta Karadeniz için Taşova/Amasya ve batı Karadeniz için ise Hasankadı/Bartın olarak belirlenmiştir. Önerilen bu noktaların, tersine lojistik faaliyetinde bulunacak belediyeler, firmalar ya da lojistik endüstrisi için faydalı olacağı düşünülmektedir. Toplama noktalarından bir defaya mahsus hizmet verebilmek için toplamda 5502,4 km yol kat edilmesi gerekmektedir. Aşağıda yer alan şekil 4'te TLTN noktaları harita üzerinde ayrıntılı olarak işaretlemiştir.

Karadeniz Bölgesi için literatürde buna benzer bir çalışma ile karşılaşılmadığından, analiz sonuçlarını kıyaslamak mümkün olmamıştır. Tavlama benzetimi algoritması ile optimizasyon gerçekleştirilirken tek bir husus, bir başka ifade ile yalnızca uzaklık kriteri dikkate alınmış

ve minimizasyon sağlanmaya çalışılmıştır. Geri dönüşüm toplama noktalarının belirlenmesinde, geri dönüşüme konu olan ürünün muhteviyatına göre daha başka kısıtlar da dikkate alınarak problem yeniden modellenebilir ve başka sonuçlar elde edilebilir. Sezgisel teknikler hiçbir zaman optimum çözümü garanti etmediklerinden, bu çalışmada tavlama benzetimi yöntemi ile önerilen toplama noktalarının koordinatlarının kesinlikle optimum olduğu söylenebilir. Bununla birlikte her bir bölgede yer alan şehir sayısının az olmasından ötürü elde edilen sonuçların optimuma en yakın sonuçlar olduğu düşünülmekte ise de, ilerleyen çalışmalarda başka yöntemlerle de sonuçların doğruluğunun teyit edilmesi gerekmektedir. Tablolarda yer alan uzaklık bilgilerinin zamanla değişkenlik gösterebileceği unutulmamalıdır. Kullanıcı en kısa rotaya sahip güzergahı tercih edebileceği gibi yol koşulları (virajlı, dağlık, engebeli vs.), ücretli olup olmaması gibi nedenlerle alternatif güzergahları da tercih edebilir. Bu durumda tablolarda yer alan uzaklık bilgilerinin yeniden araştırılıp tespit edilmesi gerekecektir.



Şekil 4: Karadeniz Bölgesi için Önerilen Tersine Lojistik Toplama Noktaları Görseli

İlerleyen çalışmalarda Türkiye'nin 7 coğrafi bölgesinin dikkate alındığı ve bu bölgeleri temsil edecek lokasyonların belirlenmesi değerlendirilecektir.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Makalenin yayın süreçlerinde Karadeniz Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Sosyal Bilimler Dergisi'nin "Etik Kurallara Uygunluk" başlığı altında belirtilen esaslara uygun olarak hareket edilmiştir. Çalışmanın araştırma kısmında etik kurul izni gerektirecek bir husus bulunmamaktadır.

Araştırmacıların Katkı Beyanı

Tek yazarlı ele alınan makale yazar tarafından üretilmiştir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makalede yazar tarafından beyan edilmiş herhangi bir olası çıkar çatışması bulunmamaktadır.

KAYNAKÇA

- Aarts, E., Aarts, E. H. & Lenstra, J. K. (Eds.). (2003). *Local search in combinatorial optimization*, Princeton University Press.
- Akçalı, E., Çetinkaya, S. & Üster, H. (2009). Network design for reverse and closed-loop supply chains: An annotated bibliography of models and solution approaches, *Networks*, 53(3), 231-248.
- Alumur, S. A., Nickel, S., Saldanha-da-Gama, F. & Verter, V. (2012). Multi-period reverse logistics network design, *European Journal of Operational Research*, 220(1), 67-78.
- Aras, N. & Aksen, D. (2008). Locating collection centers for distance and incentive dependent returns, *International Journal of Production Economics*, 111(2), 316-333.
- Aras, N., Aksen, D. & Tanuğur, A.G. (2008). Locating collection centers for incentive-dependent returns under a pick-up policy with capacitated vehicles, *European Journal of Operational Research*, 191(3), 1223-1240.
- Aksen, D., Aras, N. & Karaaslan, G. (2009). Design and analysis of government subsidized collection systems, *International Journal of Production Economics*, 119(2), 308-327.
- Aydın, S. (2016). Lojistik Merkez Değerlendirmesi İçin Karar Verme Modeli ve Uygulama, 5. *Ulusal Lojistik ve Tedarik Zinciri Kongresi*, 2016.
- Barros, A. I., Dekker, R. & Scholten, V. (1998). A two-level network for recycling sand: A case study, *European Journal of Operational Research*, 110(2), 199-214.
- Beamon, B. M. & Fernandes, C. (2004). Supply-chain network configuration for product recovery, *Production Planning & Control*, 15(3), 270-281.
- Blum, C. & Roli, A. (2003). Metaheuristics in combinatorial optimization: Overview and conceptual comparison, *ACM computing surveys (CSUR)*, 35(3), 268-308.
- Cruz-Rivera, R. & Ertel, J. (2009). Reverse logistics network design for the collection of end-of-life vehicles in Mexico, *European Journal of Operational Research*, 196(3), 930-939.
- Demirel, N. Ö. & Gökçen, H. (2008). A mixed integer programming model for remanufacturing in reverse logistics environment, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 39(11-12), 1197-1206.
- Elgün, M. N. (2011). Ulusal ve Uluslararası Taşıma ve Ticarete Lojistik Köylerin Yapılanma Esasları ve Uygun Kuruluş Yeri Seçimi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 13(2), 203-226.
- Fleischmann, M., Beullens, P., Bloemhof-Ruwaard, J. M. & Van Wassenhove, L. N. (2001). The impact of product recovery on logistics network design, *Production and operations management*, 10(2), 156-173.
- Figueiredo, J. N. & Mayerle, S. F. (2008). Designing minimum-cost recycling collection networks with required throughput, *Transportation Research*, 44(5), 731-752.
- Gomes, M. I., Barbosa-Povoa, A. P. & Novais, A. Q. (2011). Modelling a recovery network for WEEE: A case study in Portugal, *Waste Management*, 31(7), 1645-1660.
- Görgülü, H., Paksoy, T. & Çalık, A., (2020). Kapalı Döngü Tedarik Zincirinde Yeşil Lojistik ve Yer Seçimi için Bir Karma Tamsayı Programlama Modeli Önerisi, *Verimlilik Dergisi*, (3), 201-217.
- Gülsün, B., Tuzkaya, G. & Bildik, E. (2008). Reverse logistics network design: a simulated annealing approach, *Journal of Engineering and Natural Sciences*, 26(1), 68-80.

- Ingber, L., Petraglia, A., Petraglia, M. R. & Machado, M. A. S. (2012). *Stochastic Global Optimization and Its Applications with Fuzzy Adaptive Simulated Annealing (Vol. 35)*, Springer Science & Business Media.
- Jayaraman, V., Guide Jr., V. D. R. & Srivastava, R. (1999). A closed-loop logistics model for remanufacturing, *Journal of the Operational Research Society*, 50(5), 497–508.
- Jayaraman, V., Patterson, R. A. & Rolland, E. (2003). The design of reverse distribution networks: Models and solution procedures, *European Journal of Operational Research*, 150(1), 128–149.
- Kirkpatrick, S., Gelatt, C. D. & Vecchi, M. P. (1983). Optimization by simulated annealing, *Science*, 220(4598), 671-680.
- Kirkpatrick, S. (1984). Optimization by simulated annealing: Quantitative studies, *Journal of Statistical Physics*, 34(5-6), 975-986.
- Krikke, H., Bloemhof-Ruwaard, J. & Van Wassenhove, L. N. (2003). Concurrent product and closed-loop supply chain design with an application to refrigerators, *International Journal of Production Research*, 41(16), 3689-3719.
- Lee, D. H. & Dong, M. (2008). A heuristic approach to logistics network design for end-of-lease computer products recovery, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 44(3), 455-474.
- Listeş, O. & Dekker, R. (2005). A stochastic approach to a case study for product recovery network design, *European Journal of Operational Research*, 160(1), 268-287.
- Metropolis, N., Rosenbluth, A. W., Rosenbluth, M. N. & Teller, A. H. (1953). Equation of State Calculations by Fast Computing Machines, *The Journal of Chemical Physics*, 21(6), 1087-1092.
- Pati, R. K., Vrat, P. & Kumar, P. (2008). A goal programming model for paper recycling system, *Omega*, 36(3), 405–417.
- Queiruga, D., Walther, G., Gonzalez-Benito, J. & Spengler, T. (2008). Evaluation of sites for the location of WEEE recycling plants in Spain, *Waste Management*, 28(1), 181-190.
- Salema, M. I. G., Barbosa-Povoa, A. P. & Novais, A. Q. (2010). Simultaneous design and planning of supply chains with reverse flows: A generic modelling framework, *European Journal of Operational Research*, 203(2), 336-349.
- Schultmann, F., Engels, B. & Rentz, O. (2003). Closed-loop supply chains for spent batteries, *Interfaces*, 33(6), 57–71.
- Thierry, M., Salomon, M., Van Nunen, J. & Van Wassenhove, L. (1995). Strategic issues in product recovery management, *California Management Review*, 37(2), 114-136.
- Uysal, M. & Özcan, U. (2019). Süpermarket Yerleşim Problemi İçin Tavlama Benzetimi Algoritması Yaklaşımı, *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 9(1), 58-69.
- www.paintmaps.com/tr (Erişim tarihi: Ekim 2020)
- www.maps.co (Erişim tarihi: Ekim 2020)
- Yalçınar, A. Y. (2021). Tavlama Benzetimi Temelli Yaklaşım ile Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Optimizasyonu: Karadeniz Bölgesi Örneği, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (22), 239-248.
- Yılmaz, B., Dağdeviren, M. & Akçayol, M. A. (2011). Hızlı Tüketim Malları Depo Yeri Seçimi Problemi için Genetik Algoritma ile Bir Çözüm, *XI. Üretim Araştırmaları Sempozyumu*, 23-24 Haziran 2011.