





Türkiye’de Otomotiv Yan Sanayinde Çevreci Tesis Yeri Seçimi Problemi

Green Facility Location Problem in The Automobile Supply Industry in Turkey

Mithat Alper Erşen^{1,2} , Çağrı Sel² 

¹Aygerson Aydınlatma Gereçleri, Saray, Bayraktar Cd. No:2, 06980 Kahramankazan/Ankara
²Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Karabük Üniversitesi, 78050 Karabük, TÜRKİYE

Başyuru/Received: 17/05/2019

Kabul / Accepted: 19/11/2019

Çevrimiçi Basım / Published Online: 31/12/2019

Son Versiyon/Final Version: 31/01/2020

Öz

Bu çalışmada otomotiv sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın Türkiye'nin çeşitli illeri arasından uygun bayi yerlerinin belirlenmesine çalışılmıştır. Karbon salınım miktarını ve taşımadan kaynaklanan maliyetleri en aza indirmek uygun bayi yerlerinin belirlenmesinde temel hedefdir. Bu amaçla literatürde yaygın olarak ele alınan p-medyan tesis yeri seçimi problemi araştırılmıştır. Ardından firmanın mevcut durumdaki bayi yerlerinin uygunluğunu değerlendirmek üzere bayilerin talep noktalarına olan uzaklıklarına bağlı olarak ortaya çıkacak uzaklıkları hesaplanmıştır. Açılması düşünülen yeni bayilerden talep noktalarına olan taşıma kaynaklı çıkan karbon salınımı miktarları hesaplanmıştır. Uzaklıklar ve karbon salınım miktarları bir matematiksel model ile değerlendirilerek, firmaya çevresel duyarlılığı dikkate alan tesis yeri önerilerinde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler

“p-medyan, çevreci tesis yeri seçimi, karbon salınımı, otomotiv sektörü”

Abstract

In this study, we determine vendor locations of a company operating in the automotive sector among the various locations in Turkey. We aim to minimize carbon emissions and transportation costs in this problem. Therefore, we review the p-median facility location problem in the literature. We evaluate the existing vendor locations and distances between the demand points and, the amount of carbon emissions arising from the transportation activities of potential vendors to the demand points. We evaluate the distances and carbon emission using a mathematical model and suggest the facility locations accounting for environmental concerns.

Key Words

“p-median, green facility location, carbon emissions, automobile industry”

1. Giriş

Mal ya da hizmet üretimi amacı ile var olan işletmelerin tedarik, üretim, depolama ve dağıtım gibi temel fonksiyonlarını ekonomik amaçlarına uygun olarak gerçekleştirebilecekleri en uygun coğrafi alan tesis yeri olarak adlandırılmaktadır (İlhan ve Burdurlu, 1993). Uygun tesis yeri temel amacı büyümek ve fayda yaratmak olan işletmelerin, kurulduktan sonra düşük maliyetlerle yüksek karlılığın elde edilmesini sağlayan üretim ve taşıma faaliyetlerinin gerçekleştirildiği yerdir (Aytekin ve Kaygın, 2005).

Günümüz iş dünyasında işletmelerin varlıklarını sürdürebilmeleri, iç ve dış pazarlarda rekabet güçlerini arttırarak karlılıklarında sürekli yükseliş eğilimi yakalayabilmeleri için etkin bir tedarik zinciri yönetimi stratejisi uygulamaları gerekmektedir. Firmaların enerji, bakım-onarım, depolama, üretim gibi temel maliyetleri arasında yer alan taşıma ve depolama faaliyetlerinden doğan lojistik maliyetleri genel giderlerinin büyük bir bölümünü oluşturmaktadır. Bu maliyetler göz önüne alındığında firmalar için açılması düşünülen yeni tesislerin (bayilerin) yerlerinin doğru seçimi önem arz etmektedir.

Son yıllarda ilgi uyandıran ve üzerine çalışmalar yapılan, karbon ayak izi, yeşil tesisler kurulması ve yeşil tedarik zinciri tasarımı konuları doğaya en az tahribat verilmesi açısından önemli bir noktaya gelmiştir. İşletmelerin faaliyetlerini ve çevresel kaygılara dikkate alıp almadıklarını yakından takip eden müşteriler bu konulara verilen önemin her geçen gün artmasına katkı sağlamaktadırlar.

Bu çalışma Ankara'da bulunan ve otomotiv aydınlatma sektöründe faaliyet gösteren, araç içi ve araç dışı aydınlatma ürünleri (far, stop lambası vb.) üreten, Aygersan A.Ş.'nin ürünlerinin bayilerine taşınması faaliyeti esnasında ortaya çıkan taşımacılık maliyetlerini ve karbon salınım oranlarını göz önüne alan, müşteri ihtiyaçlarını en iyi şekilde karşılamayı hedefleyen bir matematiksel model ele alınmıştır. Bu model toplam maliyetten ziyade karbon emisyonunu dikkate alan bir amaç fonksiyonu ile çözülmüş ve firma için uygun tesis yerleri belirtilmiştir.

Takip eden bölümlerde; literatürde yer alan tesis yeri seçimi üzerine yapılmış araştırmalar incelenmiştir, çalışmada ele alınan çevreci tesis yeri seçimi problemi ve kullanılan matematiksel model tarif edilmiştir, endüstriyel uygulama anlatılarak elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.

2. Literatür Taraması

Tesis yeri seçimi problemleri konusunda literatürde birçok teorik ve uygulamalı çalışma bulunmaktadır. Bu konuyla ilgili yapılan bazı çalışmalar Tablo 1'de gösterilmiştir. Tabloda p-medyan problemine ilişkin bu çalışmalarda hangi konuların üzerinde durulduğu, hangi yöntemler kullanıldığı incelenmektedir.

Caccetta ve Dzator (2005) acil servislerin yer seçimi problemine çözüm geliştirmişlerdir. Çalışmalarında üç sezgisel metot ortaya koyup, en iyi çözüme en çok yaklaşan metodu kullanarak ideal tesis yeri seçimi yapmışlardır. Benzer şekilde, Ruslim ve Ghani (2006) de acil servis yeri seçimi problemini ele almışlardır. Çalışmalarında ortaya koydukları modelin çözümü için Microsoft Excel Solver programı kullanılmıştır ve optimum tesis yeri belirlenmiştir. Özdağoğlu (2010) unlu mamul üretimi yapan bir firmanın açacağı yeni tesis için en uygun yerin belirlenmesi amacıyla klasik analitik hiyerarşi prosesi ve bulanık analitik hiyerarşi prosesi yöntemlerini uygulayarak, bu iki yöntemin verdiği sonuçları kıyaslamıştır. Uygun tesis yerine bulanık analitik hiyerarşi prosesi yöntemi ile ulaşıldığı vurgulanmıştır. Yılmaz vd. (2011) hızlı tüketim malları için en uygun depo yerinin seçimi ile ilgilenmiştir. Çözüm için bir genetik algoritma geliştirilmiştir. Bu algoritma MS SQL Server veri tabanı sunucusu ve .NET Framework 3.5 Visual Studio 2008 IDE kullanılarak düzenlenmiştir. Çalışma neticesinde 36 adet tesisin açıldığı uygun bir çözüme ulaşılmıştır. Fo ve da Silma Mota (2012) Brezilya'da açılması planlanan sağlık tesislerinin yerlerinin seçimi için p-medyan yöntemini kullanmıştır ve taşıma maliyetini minimize eden en iyi yerin seçimini yapmıştır. Goetzing vd. (2012) tesis yeri seçiminde taşıma kaynaklı maliyetleri minimize etmeyi amaçlamıştır. GAMS programı ile ortaya koydukları modeli CPLEX MIP solver ile çözerek 5 iyi tesis yeri ortaya koymuşlardır. Kim ve Soh (2012) bir okula ait otobüslerin en az yolu kat edecek güzergahlarını tespit etmeye çalışmıştır. Kurulan model Microsoft Excel Solver programı ile çözümlenerek, alternatif güzergahlar arasından en kısa mesafeli taşımanın olduğu taşıma ağı ortaya koyulmuştur.

Ndiaye vd. (2012) en iyi okul yeri seçimi üzerine çalışmıştır. Çalışmada, bir karışık tamsayı doğrusal programlama modeli önerilmiştir ve model IBM-CPLEX programı çözülmüştür. Özçakar ve Bastı (2012) tesis yeri seçimi problemi için bir parçacık sürü algoritması geliştirerek, elde ettikleri sonuçları literatürdeki farklı sezgisel ve meta sezgisel yöntemlerin sonuçlarıyla kıyaslamıştır. Geliştirilen sezgiselin Gamma sezgiseli dışındaki diğer yöntemlerden daha iyi sonuçlar verdiği vurgulanmıştır. Karabay vd. (2014) bir kamu kurumunun mevcut tesislerinin hangilerinin açık kalması hangilerinin kapatılması gerektiğini konu alan çalışmalarında stokastik çok kriterli kabul edilebilirlik analizi yöntemini uygulamıştır. Çalışma sonucunda 8 tesisin kapatılması gerektiği vurgulanmıştır. Soba vd. (2014) bulanık TOPSIS yöntemini kullanarak Uşak ilinde yeni bir alışveriş merkezinin kuruluş yerinin belirlenmesi üzerine çalışmıştır. Çalışmada alternatif yerlerin değerlendirilmesi ve kriterlerinin belirlenmesi için 6 karar vericinin görüşüne başvurulmuştur. Değerlendirme ve hesaplamalar sonucunda, Uşak ilinde İzmir yolu üzerine bir alışveriş merkezi kurulmasına karar verilmiştir. Gülsün ve Şahin (2017) çok kriterli karar verme yöntemlerinden Topsis ve Vikor ile Trakya Bölgesinde bir tesis yeri seçimi için potansiyel bölgeleri değerlendirmiştir. Karar verici olarak akademisyen, endüstri mühendisi ve sektörde çalışan yetkililerden oluşan bir grup oluşturulmuştur, 8 kriter ve 3 adet alternatif yer belirlenmiştir. Erdal (2018) yılında yaptığı çalışmada güvenlik güçleri tarafından kullanılan güvenlik malzemeleri deposunun yeniden konuşlandırılması için Analitik Hiyerarşi Süreci ve TOPSIS yöntemlerini bütünlük olarak uygulamıştır ve depo yeri

olarak Kırıkkale ilini belirlemiştir. Özcan vd. (2019) karlılık karşılaştırma ve Analitik Hiyerarşi Prosesi yöntemlerini kullanarak Moritanya'daki balıkçılık işletmeleri için en iyi yerin belirlenmesi üzerine çalışmıştır. En uygun tesis yerleri sırasıyla, Nouadhibou, Nouakchott ve Peka bölgeleri olarak tespit edilmiştir.

Literatürde yer alan bu çalışmalar göz önüne alındığında, tesis yeri seçimi problemlerinde taşıma kaynaklı maliyetlerin yanı sıra çevresel kaygıları da dikkate alan çalışmalara ihtiyaç olduğu görülmektedir. Bu çalışmada CO₂ salınımı ve kat edilen mesafe kaynaklı maliyetler göz önünde bulundurularak firmanın açmayı düşündüğü bayiler için en iyi tesis yeri ve sayısı belirlenmiştir. Bu açıdan çalışmanın çevresel kaygıları dikkate alan bir p-medyan problemini uygulamalı olarak ele alması ve sağladığı bilgisayar destekli karar verme kolaylığı ile literatüre ve sanayiye katkıda bulunulacağı düşünülmektedir.

Tablo 1. Tesis Yeri Seçimi Problemleri Literatür Araştırması

Yayın Yılı	Yazarlar	Konu	Yöntem
2005	Caccetta ve Dzator	Acil servis yeri seçimi	p-medyan
2006	Ruslim ve Ghani	Acil servis yeri seçimi	p-medyan
2010	Özdağoğlu	Unlu mamul üretimi yapan bir firmanın tesis yeri seçimi.	Bulanık analitik seçim süreci
2011	Yılmaz vd.	Hızlı tüketim malları depo yeri seçimi uygulaması	Genetik algoritma
2012	Fo ve da Silva Mota	Sağlık tesislerinin yer seçimi	p-medyan
2012	Goetzinger vd.	CO ₂ emisyonunu göz önüne alarak tesis yeri seçimi.	p-medyan
2012	Kim ve Soh	Okul otobüsü ağı tasarımı	p-medyan
2012	Ndiaye vd.	Okul yeri seçimi	p-medyan
2012	Özçakar ve Bastı	Tesis yeri seçimi uygulamaları	Parçacık sürüsü optimizasyonu
2014	Karabay vd.	Bir kamu kurumu için tesis yeri seçimi uygulaması.	Stokastik çok kriterli kabul edilebilirlik analizi
2014	Soba vd.	Uşak ilinde açılması planlanan AVM yeri seçimi	Bulanık Topsis
2017	Gülsün ve Şahin	Peyniraltı suyu üreten bir işletmenin tesis yeri seçimi	Topsis ve Vikor
2018	Erdal	Güvenlik malzemeleri depo yeri seçimi	Analitik Hiyerarşi Süreci(AHS) ve Topsis
2019	Özcan vd.	Moritanyadaki balıkçılık tesislerinin yer seçimi	Karlılık karşılaştırma ve Analitik Hiyerarşi Prosesi(AHP)

3. Problemin Tanımı ve Matematiksel Model

Bu çalışma otomotiv ve aydınlatma sektöründe faaliyet gösteren Aygersan A.Ş.'nin, Türkiye'nin çeşitli bölgelerindeki müşteri talep miktarının belli olduğu durumda bayi yerlerinin belirlenmesine odaklanmaktadır. Temel problem, bir ağda yer alan n adet nokta içerisinde en uygun p adedini toplam taşıma mesafesini ve CO₂ salınım miktarını düşürmek amacıyla en uygun bayi yerini seçmektir ve talep noktalarını kendilerine en yakın bayiden hizmet alacak şekilde atamaktır. Bu haliyle problemin literatürde yaygın olarak ele alınan p-medyan tesis yeri seçimi probleminin bir türevi olduğu belirtilebilir.

Şebeke ya da ağ adı verilen yapı üzerinde, n adet düğüm ya da noktanın olduğu varsayıldığında, bu n adet noktadan p adedinin tesis yeri olarak belirlenmesi ve geri kalan düğüm ya da talep noktaların hizmet almak için belirlenen tesislerden kendilerine en yakın olana atanması problemi bir p-medyan problemini ifade eder. Toplam ortalama ağırlıklandırılmış mesafenin minimum yapılmasıyla anlatılmak istenen, talep miktarlarının göz önünde bulundurularak tesis ile talep noktaları arasındaki toplam mesafenin minimum yapılmasıdır (Hakimi, 1964; Church ve Reville, 1976). Bu açıdan ele alınan p-medyan problemi ortalama ulaştırma maliyetini veya toplam teslim zamanını azaltmaya odaklanır.

Problemin doğası gereği yaygın olarak kullanılan maliyet unsurları para, zaman ve mesafe olabilmektedir. Talep noktalarıyla ilişkilendirilen bir ağırlık söz konusu olduğunda problem ağırlıklı p-medyan problemi olarak isimlendirilir. Bu ağırlıkların CO₂ salınımını temsil eden bir fonksiyon yardımıyla belirlenmesi neticesinde ortaya çıkan problem çevreci tesis yeri seçimi problemi olarak nitelendirilebilir.

3.1 Problemin Matematiksel İfadesi

a. İndisler:

Talep noktaları kümesi (müşteriler): $i = 1, 2, \dots, m$ adet

Aday depo yeri kümesi: $j = 1, 2, \dots, n$ adet

b. Parametreler: a_i = i noktasındaki talebin ağırlığı d_{ij} = i noktası ile j noktası arasındaki mesafe p = yerleştirilecek olan hizmet verecek tesis sayısı c_{ij} = i noktası ile j noktası arasında taşıma kaynaklı ortaya çıkan CO₂ salınımı miktarı**c. Değişkenler:** $X_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{eğer i müşterisi j tesisine atanmışsa} \\ 0 & \text{diğer durumda} \end{cases}$ $Y_j = \begin{cases} 1 & \text{eğer j noktasında bir tesis açılmışsa} \\ 0 & \text{diğer durumda} \end{cases}$ **d. Amaç fonksiyonu:**

$$\text{Min} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_i \cdot d_{ij} \cdot x_{ij} \quad (1)$$

$$\text{Min} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} \cdot x_{ij} \quad (2)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{i=1}^n X_{ij} = 1 \quad \forall i, j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

$$X_{ij} \leq Y_j \quad \forall i, j = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

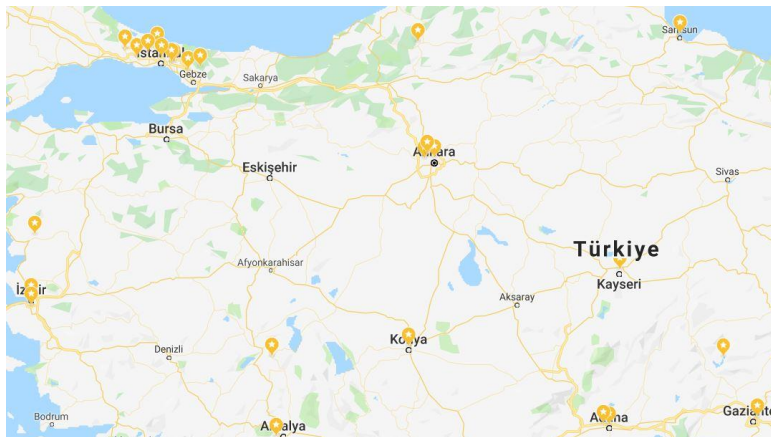
$$\sum_{j=1}^n Y_j = p \quad (5)$$

$$X_{ij}, Y_j \in \{0,1\} \quad \forall i, j = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

Çalışmada ele alınan amaç fonksiyonu (1) açılması düşünülen tesisler arasındaki taşıma mesafesini en küçüklemektedir. Diğer amaç fonksiyonu (2) ise taşıma kaynaklı meydana gelen CO₂ salınımını en küçüklemektedir. Söz konusu iki amaç fonksiyonu doğrusal ilişkili olup, Denklem (1)'de ifade edilen amaç fonksiyonu ile taşıma mesafesi en küçüklendiğinde Denklem (2)'de ifade edilen amaç fonksiyonundaki CO₂ salınım miktarı da en küçüklenmiş olmaktadır. Bu yönü ile model gerçek bir problemi her iki amaç ile de ele alarak doğru yer seçiminin hem taşıma maliyetleri hem de CO₂ salınımı üzerindeki etkisini analiz etmeyi mümkün kılmaktadır. Denklem (3) her bir talep düğümünün yalnızca bir tesise atanmasını sağlamaktadır. Denklem (4) talep düğümlerinin yalnızca açık tesislere atanmasını sağlamaktadır. Denklem (5) ise açılması planlanan tesis sayısını belirlemektedir.

4. Endüstriyel Uygulama

Çalışmanın yürütüldüğü firmanın toplam 27 adet talep noktası vardır (Şekil 1). Firma bu talep noktalarına ilişkin teslimat sürelerini azaltarak müşterilerine karşı hizmet kalitesini artırmak amacıyla depo ya da depolar açmayı düşünmektedir. Aynı zamanda taşıma kaynaklı meydana gelen CO₂ salınımını minimize edecek en iyi depo yerlerinin ve sayısının belirlenmesi amaçlanmaktadır. Firma mühendisleri ve yöneticileri ile yapılan görüşmelerde firmanın talep noktalarının sayısı ve yerleri tespit edilmiştir.

**Şekil 1.** Talep Noktalarının Dağılımı

Şekil 1’de görüldüğü gibi firmanın 27 adet talep noktası Türkiye’nin çok çeşitli illerinde yer almaktadır ve bu durum yüksek taşıma maliyetlerine ve yüksek CO₂ salınımına sebep olmaktadır. Bu 27 adet talep noktasına dair geçmiş dönem satış/sevk adetleri alınarak bu veriler üzerinden firmanın her talep noktası için talep ağırlıkları belirlenmiştir. Talep noktaları arasındaki mesafeler ise Google Haritalar vasıtasıyla hesaplanmıştır.

Çalışmanın odaklandığı diğer amaç ise, her bir düğümün bir araç tarafından en az bir kez ziyaret edildiği, her bir düğümün taleplerinin karşılandığı ve her bir düğümün iadelerinin toplandığı durumda ortaya çıkacak taşıma kaynaklı CO₂ salınımını en aza indirecek bir rota seti elde etmektir. CO₂ salınımı temel olarak aracın tükettiği yakıt miktarı ile doğru orantılıdır. Yakıt tüketimi ise araç tipine, araç hızına ve ağırlığına göre değişkenlik gösterebilmektedir. CO₂ salınımını hesaplamak için literatürde birçok yöntem kullanılmakta olup, bu çalışmada Hickman vd. (1999)’nin ortaya koydukları yöntem kullanılmaktadır. Hickman vd. (1999)’a göre kat edilen mesafe (km) başına salınan toplam CO₂ miktarı (kg) (F) Denklem (7) ile hesaplanmaktadır.

$$F = K + av + bv^2 + cv^3 + \frac{d}{v} + \frac{e}{v^2} + \frac{f}{v^3} \quad (7)$$

Denklem (7)’de yer alan v aracın ortalama hızını (km/s), K önceden belirlenen bir sabiti, a,b,c,d,e ve f ise araç tipine göre değişkenlik gösteren parametreleri ifade etmektedir. Bu parametreler Hickman vd. (1999) tarafından 2 farklı sınıflandırma şekliyle ifade edilmiştir: 30-40 ton arasında ağırlığa sahip araçlar için K=1576; a=-17,6; b=0; c=0.00117; d=0; e=36067; f=0 ve 7-16 ton arasındaki araçlar için ise K=871; a=-16; b=0,143; c=0; d=0; e=32031; f=0. Çalışmanın yapıldığı şirketin araç ağırlıkları göz önüne alınarak her bir litre yakıt tüketiminin yaklaşık 2,63 kg CO₂ salınımına sebebiyet verdiği tespit edilmiştir.

Talep noktaları arasındaki taşıma kaynaklı ortaya çıkan toplam CO₂ salınımı miktarı, kat edilen mesafe başına salınan CO₂ miktarları ile talep noktaları arasındaki mesafenin çarpımı ile Denklem (8)’de hesaplanmıştır.

$$c_{ij} = F \cdot d_{ij} \quad (8)$$

Ele alınan çalışmada firmanın 27 adet talep noktasına hizmet sunmak için ortaya çıkan taşıma maliyeti ve karbon salınım miktarını minimum seviyede tutmak amacıyla açılması gereken tesis sayısının ve tesis yerlerinin belirlenmesi için IBM OPL CPLEX programı kullanılmıştır. Çalışmanın uygulandığı firma olan Aygersan A.Ş. yönetiminin açılacak bayi sayısını en fazla 5 olarak belirlemesi sebebiyle p=1-5 senaryoları incelenmiştir, her bir p sayısı için karbon salınım miktarları ve kat edilen mesafeler takip eden tablolarda sunulmuştur.

Modelde p=1 için; kat edilen mesafe 113804 km, toplam CO₂ salınımı ise 10770 kg tespit edilmiştir. Bu durumda kurulması planlanan tesisin 5 numaralı talep noktasına açılmasına karar verilmiştir (Tablo 2).

Tablo 2. p=1 için Talep Noktası Atamaları, Kat edilen Toplam Mesafe ve CO₂ Salınım Miktarı

Optimum tesis yeri	Hizmet Verilen Talep Noktası	Kat Edilen Toplam Mesafe (km)	Toplam CO ₂ Salınımı (kg)
Talep Noktası 5	Talep Noktası 1-27	113.804	10.770

p=2 için; kat edilen mesafe 69238 km, toplam CO₂ salınımı ise 5854 kg olarak tespit edilmiştir. Bu durumda kurulması öngörülen 1. tesisin 13 numaralı talep noktasına, 2. tesisin ise 25 numaralı talep noktasına açılmasına karar verilmiştir. Açılacak tesislerin hangi talep noktalarına hizmet vereceği Tablo 3’te ifade edilmiştir.

Tablo 3. p=2 için Talep Noktası Atamaları, Kat edilen Toplam Mesafe ve CO₂ Salınım Miktarı

Optimum tesis yeri	Hizmet Verilen Talep Noktası	Kat Edilen Toplam Mesafe (km)	Toplam CO ₂ Salınımı (kg)
Talep Noktası 13	Talep Noktası 9-22 ve 24	69.238	5.854
Talep Noktası 25	Talep Noktası 1-8, 23 ve 25-27		

p=3 için; kat edilen mesafe 42078 km, toplam CO₂ salınımı ise 3895 kg olarak tespit edilmiştir. Bu durumda kurulması öngörülen 1. tesisin 13 numaralı talep noktasına, 2. tesisin ise 25 numaralı talep noktasına, 3. tesisin ise 21 numaralı talep noktasına açılmasına karar verilmiştir. Açılacak tesislerin hangi talep noktalarına hizmet vereceği Tablo 4’te ifade edilmiştir.

Tablo 4. p=3 için Talep Noktası Atamaları, Kat edilen Toplam Mesafe ve CO₂ Salınım Miktarı

Optimum tesis yeri	Hizmet Verilen Talep Noktası	Kat Edilen Toplam Mesafe (km)	Toplam CO ₂ Salınımı (kg)
Talep Noktası 13	Talep Noktası 10-20 ve 24	42.078	3.895
Talep Noktası 25	Talep Noktası 1-6, 8, 23 ve 25-27		
Talep Noktası 21	Talep Noktası 7, 9, 21 ve 22		

p=4 için; kat edilen mesafe 25409 km, toplam CO₂ salınımı ise 2820 kg olarak tespit edilmiştir. Bu durumda kurulması öngörülen 1. tesisin 5 numaralı talep noktasına, 2. tesisin ise 14 numaralı talep noktasına, 3. tesisin 21 numaralı talep noktasına

ve 4. tesisin ise 23 numaralı talep noktasına açılmasına karar verilmiştir. Açılacak tesislerin hangi talep noktalarına hizmet vereceği Tablo 5'te gösterilmiştir.

Tablo 5. p=4 için Talep Noktası Atamaları, Kat edilen Toplam Mesafe ve CO₂ Salınım Miktarı

Optimum tesis yeri	Hizmet Verilen Talep Noktası	Kat Edilen Toplam Mesafe (km)	Toplam CO ₂ Salınımı (kg)
Talep Noktası 5	Talep Noktası 3-6, 9, ve 24	25.409	2.820
Talep Noktası 14	Talep Noktası 1-6, 8, 23 ve 25-27		
Talep Noktası 21	Talep Noktası 7, 9, 21 ve 22		
Talep Noktası 23	Talep Noktası 1, 2, 8, 23, 25		

p=5 için; kat edilen mesafe 17627 km, toplam CO₂ salınımı ise 2095 kg olarak bulunmuştur. Bu durumda kurulması öngörülen 1.tesisin 6 numaralı talep noktasına, 2.tesisin ise 7 numaralı talep noktasına, 3. tesisin 14 numaralı talep noktasına, 4. tesisin 21 numaralı talep noktasına ve 5. tesisin ise 23 numaralı talep noktasına açılmasına karar verilmiştir. Açılacak tesislerin hangi talep noktalarına hizmet vereceği Tablo 6'te gösterilmiştir.

Tablo 6. p=5 için Talep Noktası Atamaları, Kat edilen Toplam Mesafe ve CO₂ Salınım Miktarı

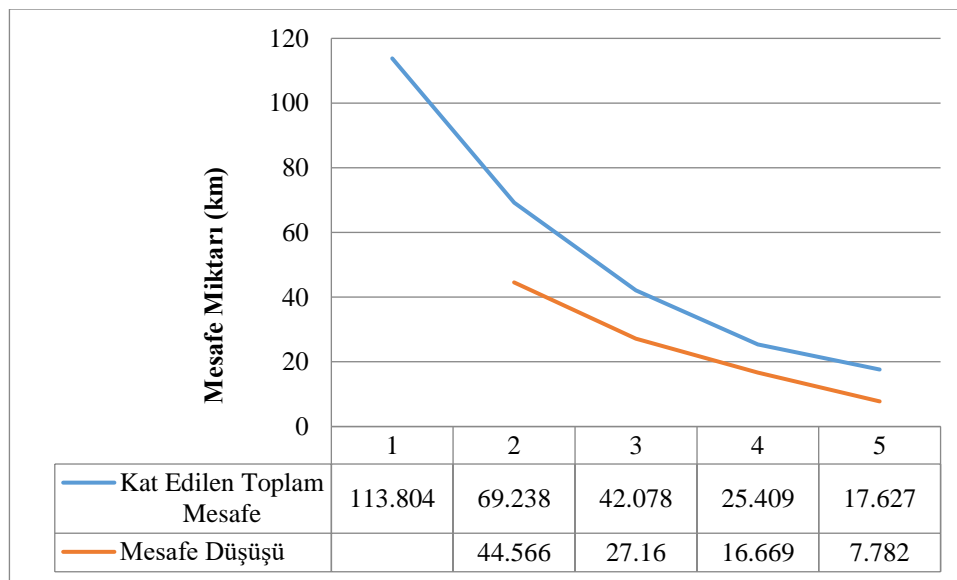
Optimum tesis yeri	Hizmet Verilen Talep Noktası	Kat Edilen Toplam Mesafe (km)	Toplam CO ₂ Salınımı (kg)
Talep Noktası 6	Talep Noktası 3-6, 9, ve 24	17.627	2.095
Talep Noktası 7	Talep Noktası 1-6, 8, 23 ve 25-27		
Talep Noktası 14	Talep Noktası 7, 9, 21 ve 22		
Talep Noktası 21	Talep Noktası 1, 2, 8, 23, 25		
Talep Noktası 23	Talep Noktası 1, 2, 8, 23, 25		

Açılması düşünülen tesisler ya da tesislerin sayısını ve yerlerini belirlemek adına geliştirilen 5 farklı senaryonun karşılaştırılması Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7. Tablo 8 p=1,2,3,4,5 Modellerinin Karşılaştırılması

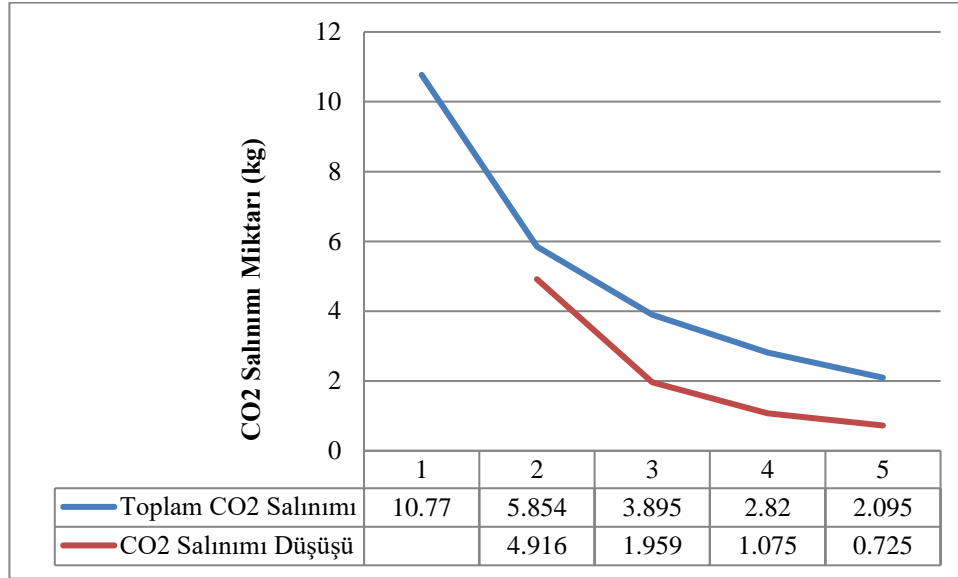
Tesis Sayısı	Kat Edilen Toplam Mesafe (km)	Toplam CO ₂ Salınımı (kg)	Tesis Yeri
1	113.804	10.770	Talep Noktası 5
2	69.238	5.804	Talep Noktası 13 ve 25
3	42.078	3.895	Talep Noktası 13, 21 ve 25
4	25.409	2.820	Talep Noktası 5, 14, 21 ve 23
5	17.627	2.095	Talep Noktası 6, 7, 14, 21 ve 23

Optimum tesis sayısının belirlenmesi amacıyla elde edilen mesafe ve CO₂ salınım miktarları doğrultusunda tesis sayısı-mesafe ve tesis sayısı-CO₂ salınımı grafikleri çizilmiştir.



Şekil 2. Tesis Sayısı - Mesafe (km) İlişkisi Grafı

Şekil 2’de görüldüğü gibi, optimum tesis sayısını belirlemek açısından toplam mesafe ve tesis sayısı değerlerinin yanında elde edilen marjinal katkıyı ifade eden mesafe düşüşü değerlerine de yer verilmiştir. Grafiğin altında verilen mesafe değerleri, tesis sayısının değişimine bağlı olarak azalan mesafeleri ifade etmektedir. Grafiğin altında yer alan mesafe düşüşü değerleri ise açılacak tesis sayısı arttıkça mesafede meydana gelen azalmayı ifade etmektedir. Mesafe eğrisi ve mesafe düşüş eğrisi birlikte incelendiğinde en çok mesafe düşüşünün birinci tesisten ikinci tesise geçiş aşamasında olduğu görülmektedir. Meydana gelen sonraki tesis sayısı artışlarında görülen mesafe düşüşünün daha az ve birbirine yakın değerler olduğu saptanmıştır. Bu nedenle elde edilen marjinal katkı elde edildiğinde firma için optimum tesis sayısı 2 olarak belirlenmiştir.



Şekil 3. Tesis Sayısı - CO₂ Salınımı (kg) İlişkisi Grafiği

Şekil 3’te ise tesis sayısı ile CO₂ salınımı miktarları kıyaslanmış olup tesis sayısı arttıkça salınım miktarının doğrusal olarak azaldığı saptanmıştır. Tesis sayısı- Mesafe kıyaslamasında olduğu gibi Tesis sayısı- CO₂ salınımı kıyaslamasında da en çok düşüşün birinci tesisten ikinci tesise geçiş aşamasında olduğu görülmektedir. Bu durumda firma için açılması düşünülen en uygun tesis sayısının 2 olduğu belirlenmiştir. Optimizasyon sonucunda bulunan bu değerlere göre de tesislerin talep noktası 13’de ve talep noktası 25’de açılmasına karar verilmiştir.

5. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, p-medyan tesis yeri seçimi probleminin bir türevi olan yeşil tesis yeri seçimi problemine odaklanılmıştır. Yapılan çalışma ile otomotiv sektöründeki üreticilere aydınlatma ürünleri üreten (far, stop lambası, iç aydınlatma vb.) Aygersan A.Ş.’nin piyasa üretimleri için oluşan talep noktaları doğrultusunda açılması planlanan depo yerlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Toplam 27 adet talep noktası bulunan firmanın üst yönetimi tarafından bu talep noktalarına gerekli hizmetin sağlanması amacı ile en fazla 5 adet deponun açılmasına karar verilmiştir. Firmanın talep noktaları ve aralarındaki mesafeler ile taşıma kaynaklı karbon salınım miktarları göz önüne alınarak, açılması öngörülen tesis sayısının doğrusal olarak artırıldığı 5 farklı model sunulmuştur.

Ortaya koyulan senaryolar bir doğrusal programlama modeli vasıtasıyla sırası ile çözülmüştür. Çözümler neticesinde her bir model için ortaya çıkan mesafe ve karbon salınım verileri tablolar ve grafikler yardımıyla belirtilmiştir. Yapılan grafik analizi ile tesis sayısı artışlarında meydana gelen mesafe ve CO₂ azalış oranları 2. tesisten sonra düşmüş ve birbirlerine yakın değerlerde seyretmiştir. Bundan dolayı hem mesafe hem de CO₂ salınım miktarları göz önüne alındığında firma için 13 ve 25 numaralı talep noktalarında iki tesisin (deponun) açılmasına karar verilmiştir.

Bu çalışmada tesis açma kararlarını etkileyebilen yatırım maliyetleri (arsa maliyeti, kuruluş giderleri vb.) ve işletme maliyetleri (açılacak bölgedeki ortalama işçilik giderleri, yakıt giderleri, elektrik, su ödemeleri, kira giderleri vb.) göz önüne alınmamıştır. İlerde yapılacak çalışmalarda, bu çalışmada göz ardı edilen maliyetler ile üzerinde durulan mesafe ve karbon salınım oranlarını da gözeten bütünlük bir modelin ortaya konulması ve çözülmesi, açılması düşünülen tesislerin yer seçimi kararını kuvvetlendirecektir.

Referanslar

Ar, İ. M., Birdoğan, B., & Özdemir, F. (2014). Kuruluş Yeri Seçiminde Bulanık AHS-VIKOR Yaklaşımının Kullanımı: Otel Sektöründe Bir Uygulama. Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi, (13), 93-114.

- Aytekin, A., & Kaygın, B. (2005). Bilgisayar destekli işletme kuruluş yeri seçimi. Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 5(2).
- Caccetta, L., ve Dzator, M. (2005). Heuristic methods for locating emergency facilities. In Proceeding of 16th International congress on modelling and simulation, 1744-1750.
- Cömert, S. E., & Yener, F. (2017). Bir gıda firması için bulanık analitik hiyerarşi prosesi ile depo yeri seçimi. Uluslararası İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 2(2), 161-177.
- Fo, A. R. A. V., & da Silva Mota, I. (2012). Optimization models in the location of healthcare facilities: a real case in Brazil. Journal of Applied Operational Research, 4(1), 37-50.
- Goetzinger, M., Brandt, T., & Neumann, D. (2012). Green Facility Location—A Case Study.
- Hickman, J., Hassel, D., Joumard, R., Samaras, Z., & Sorenson, S. (1999). Methodology for calculating transport emissions and energy consumption.
- İlhan, R., & Burdurlu, E. (1993). Ağaç İşleri Endüstrisinde Fabrika Planlaması. HÜ, Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Yayını, Ankara, 75-337.
- Karabay, S., Köse, E., & Kabak, M. (2014). Stokastik Çok Kriterli Kabul Edilebilirlik Analizi ile Bir Kamu Kurumu için Tesis Yeri Seçimi. Ege Academic Review, 14(3).
- Kim, J. H., & Soh, S. (2012). Designing hub-and-spoke school bus transportation network: a case study of wonkwang university. Promet-Traffic & Transportation, 24(5), 389-394.
- Ndiaye, F., Ndiaye, B. M., & Ly, I. (2012). Application of the P-Median problem in school allocation. American Journal of Operations Research, 2(02), 253.
- Özçakar, N., & Bastı, M. (2012). P-Medyan kuruluş yeri seçim probleminin çözümünde parçacık sürü optimizasyonu algoritması yaklaşımı. İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi, 41(2), 241-257.
- Özdağoğlu, A. (2010). Tesis yeri seçiminde farklı bir yaklaşım: bulanık analitik seçim süreci. Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 22(1), 421-453.
- Rawls, C. G., & Turnquist, M. A. (2010). Pre-positioning of emergency supplies for disaster response. Transportation research part B: Methodological, 44(4), 521-534.
- Rolland, E., Schilling, D. A., & Current, J. R. (1997). An efficient tabu search procedure for the p-median problem. European Journal of Operational Research, 96(2), 329-342.
- Ruslim, N. M., & Ghani, N. A. (2006). An application of the p-median problem with uncertainty in demand in emergency medical services. In Proceedings of the 2nd IMT-GT regional conference on mathematics, statistics and applications.
- Selçuk, A. L. P., & Gündoğdu, C. E. (2012). Kuruluş yeri seçiminde analitik hiyerarşi prosesi ve bulanık analitik hiyerarşi prosesi uygulaması. Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 14(1), 7-25.
- Uslu, Ç. A. (2012). Maksimum Kapsama Modeliyle Tesis Yeri Seçimi: Perakende Sektöründe Bir Uygulama. Sakarya University Journal of Science, 16(1), 24-30
- Yalçın, U. (2007). Bulanık analitik hiyerarşi prosesi kullanarak rüzgar enerjisi santral yeri seçimi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Y. Lisans Tezi.
- Yılmaz, B., Dağdeviren, M., & Akçayol, M. A. (2011). Hızlı Tüketim Malları Depo Yeri Seçimi Problemi İçin Genetik Algoritma İle Bir Çözüm, İTÜY, Sempozyum, Kongre ve Konferans Bildiri Koleksiyonu.