

MALİYET-ETKİNLİK STRATEJİSİ: ULAŞTIRMA MODELLEMESİ VE UYGULAMA*

Nasibe ERDOĞAN¹

İrfan ERTUĞRUL²

Özet

Kurumsal yönetimin temel süreçlerinden biri, karar verme sürecidir ve bu süreçte model oluşturma, ussal karar vermede önemli bir rol oynar. Ulaştırma modeli ise, mal veya hizmet dağıtımının sunum merkezlerinden istem merkezlerine minimum maliyetle nasıl yapılabileceğini inceleyen bir doğrusal programlama tekniğidir. Bu çalışma, doğrusal programlamanın genel prensiplerini ve özel bir türü olan ulaştırma modellerini ele almakta; ayrıca, Denizli ilinde faaliyet gösteren bir tekstil işletmesinin dağıtım problemini ve bu dağıtımın maliyet optimizasyonunda ulaştırma modelinin uygulanabilirliğini incelemektedir. Bu çalışmadan hareketle, işletmelerin ulaştırma maliyetlerini azaltmak için daha verimli ve planlı bir şekilde hareket etmeleri gerektiği önerilebilir.

Anahtar Kelimeler: Doğrusal Programlama, Ulaştırma Modeli, Duyarlılık Analizi, Maliyet Optimizasyonu

JEL Kodları: C10, C60, C61

COST-EFFECTIVE STRATEGY: TRANSPORTATION MODELING AND APPLICATION

Abstract

One of the fundamental processes of corporate governance is the decision-making process, and in this process, modeling plays an important role in rational decision-making. Transportation model is a linear programming technique that examines how goods or services can be distributed from supply centers to demand centers at minimum cost. This study deals with the general principles of linear programming and its special type, transportation models. It also examines the distribution problem of a textile company operating in Denizli and the applicability of the transportation model in cost optimization of this distribution. Based on this study, it can be suggested that businesses should act in a more efficient and planned manner to reduce transportation costs.

Keywords: Linear Programming, Transportation Model, Sensitivity Analysis, Cost Optimization.


JEL Codes: C10, C60, C61


GİRİŞ

Artan rekabet şartları içerisinde karlılıklarını korumak ve devamlılıklarını sağlamak isteyen işletmeler için maliyetlerin en aza indirilmesi gerekmektedir (Ergülen vd, 2005: 163). Genellikle deneyimleri doğrultusunda bu kararları veren profesyoneller, karar verme sürecinde iki faktörü öncelikle göz önünde bulundurmaktadırlar. Ya faydayı maksimize etmek isterler (örneğin, kar maksimizasyonu) ya da giderleri en aza indirmek isterler (örneğin, maliyet minimizasyonu) (Ulucan, 2004: 59). İşletmelerin toplam maliyetleri içerisinde yer alan önemli kalemlerden olan dağıtım maliyetlerinin minimizasyonu bu açıdan özel önem arz etmekle beraber “Doğrusal Programlama” tekniği ile genişleme yatırımlarının işletmenin hangi bölüm ya da bölümlerinde yapılması gerektiğine ilişkin kesin sonuçlar alınmasına olanak vermektedir. Ayrıca genişleme, yatırımlar için en uygun olarak saptanan üretim bölümünde değişik yatırım seviyelerinin (kısmi kapasite büyüklüklerinin) işletmenin toplam kârına olan etkileri de bu yöntemle belirlenebilir (Müftüoğlu, 1978: 14).

Bu çalışmada, bir işletmenin dağıtım probleminde, optimizasyon modeli olan ulaştırma modellerinin uygulanışı gösterilmiştir. Çalışma, dört bölümden oluşmaktadır. Giriş bölümde çalışmanın konusu, amacı, önemi ve sonuçları hakkında değerlendirme, 1.bölümde alana yönelik literatür taramasına yer verilmiş olup, 2. bölümde ulaştırma yöntemleri değerlendirilmiştir. Çalışmanın 3. bölümü Denizli’de yer alan bir tekstil şirketinin taşıma giderlerini en aza indirip karını artırmak için optimum dağıtım planı

* Pamukkale Üniversitesi SBE’de yazılan ‘Ulaştırma Modeli Yardımıyla Maliyet Optimizasyonu ve Bir Uygulama’ adlı yüksek lisans tezinden türetilmiştir.

¹ Öğr. Gör., Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye, nderdogan@pau.edu.tr,  ORCID ID: orcid.org/0000-0003-4633-3874

² Prof. Dr., Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye, iertugrul@pau.edu.tr,  ORCID ID: orcid.org/0000-0002-5283-191X

geliştirilmesi hedeflenmiştir. Modelin oluşturulmasından sonra, çalışmanın çözüm aşamasına geçilmiş maliyet optimizasyonu sağlanmıştır. Son bölüm ise; elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

1. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Geçmişten günümüze ulaştırma yöntemleri ile ilgili birçok çalışma literatürde mevcuttur. Bu çalışmalardan bazıları şu şekildedir. Arman & Organ & Yenilmez & Akay (2021) İstanbul'da faaliyet gösteren bir elektronik firmasının müşterilere ürün dağıtım problemini ele almış, Vogel Yaklaşım Yöntemi (VAM) ve Çoğaltan (MODI) yöntemleri kullanılarak başlangıç uygun çözümü bulunmuş ve doğrusal programlama modeli ile çözülmüştür. Atan & Güldağı (2019), harekât ortamında mühimmat lojistiğinin optimizasyonu için VAM ve MODI yöntemlerini kullanmıştır. Özkan (2012) Kayseri'de faaliyet gösteren bir kapı firması için en düşük maliyetli dağıtım planı araştırması yapılmış ve firma tarafından verilen bilgiler WinQSB Paket Programı ile ulaştırma modeli tekniklerinden Vogel'in Yaklaşım Yöntemi (VAM) ile çözüm yapılmıştır. Ertuğrul & Tuş (2008) Denizli ilinde faaliyet gösteren bir gıda işletmesinin dağıtım problemini ve bu dağıtımın maliyet optimizasyonunda ulaştırma modelinin uygulanabilirliğini ele almıştır.

2. YÖNTEM

Bu bölümde, çalışmada kullanılan yöntem sunulmaktadır.

2.1. Ulaştırma Modeli

Doğrusal programlamanın özel bir durumu olan ulaştırma modeli, üretim merkezlerindeki ürünlerin tüketim merkezlerine ulaştırmanın toplam maliyetini minimum yapan optimal ulaştırma (dağıtım) programını belirlemeyi amaçlar (Arıkanlı & Ulubaş, 2004: 208).

Ulaştırma problemleri, ulaşım simpleks yönteminin uygulamasını kullanarak çözümlenir (Bjorkman vd, 1999: 3).

Ulaştırma modelinde kabul edilen varsayımların basitleştirici özelliklerinden faydalanarak, simpleks'e nazaran çözüm prosedürünü basitleştirici özel çözüm teknikleri geliştirilmiştir. Bu, çözüm tekniklerinin kullanılması zaman ve emekte tasarruf sağlayacaktır. Ancak ulaştırma modeliyle ilgili varsayımlar, doğrusal programlama ile ilgili varsayımlardan daha sınırlayıcı olduğu için bütün ulaştırma problemlerini simpleks ile çözümlenmek mümkün olduğu halde, simpleks ile çözümlenen her doğrusal programlama problemini ulaştırma modeli çözüm teknikleriyle çözümlenme mümkün değildir.

Ulaştırma modelinde amaç; bir taraftan depoların talep gereksinimleri ile üretim merkezlerinin arz miktarlarında denge sağlarken, diğer taraftan da her bir üretim merkezinden her bir depoya yapılan taşımaların toplam maliyetini minimum kılacak şekilde taşıma miktarının belirlenmesidir.

Ulaştırma problemlerinin çözümünde modele miktarı kadar değişken eklemek gerekir. Bu çözüm için gereksiz zaman ve maliyet talep eder. Bu sebeple ulaştırma problemlerinin çözümü için daha etkili yöntemler geliştirilmiştir (Hallaç, 1978: 554). Bu yöntemler aşağıda sıralanmıştır:

Kuzeybatı Köşe Yöntemi

G.B. Dantzig tarafından teklif edilen ve A. Charnes ile W.W.Cooper tarafından isimlendirilmiş bir yöntemdir. Bu yöntem başlangıç tablosunun sol üst köşesinden başlayarak gerekli miktarların (pozitif değerlerin) tablodaki gözeler nasıl dağıtılacağını göstermektedir. Bu dağıtım işleminde, tablonun satır ve sütunlarına ilişkin sınırlayıcı koşullar göz önünde bulundurularak gerekli miktarlar yerleştirilmektedir (Hiller & Lieberman, 1970: 180).

Bu yöntemde dağıtım, maksimize veya minimize edilerek amaç fonksiyonu ile ilgili kârlar veya maliyetler göz önüne alınmadan planlanır. Yöntemin çözümüne ulaşmakta izlediği basamaklar sırasıyla şöyledir (Hallaç, 1983: 431).

- 1) Problem ulaştırma tablosunda gösterilir.
- 2) Tablonun sol üst köşesindeki hücre dağıtım için seçilir.
- 3) Seçilen hücrenin;

- a) İlgili sunum miktarı, istem miktarından büyükse, istem miktarının tamamı hücreye atanır. Doyurulmuş olan sütun ikinci dağıtım planı için tablodan çıkarılır ve dağıtım için x_{12} hücresi seçilir.
 - b) İstem miktarı, sunum miktarından büyük ise sunum miktarı olduğu gibi hücreye atanır. Doyurulmuş ve dağıtım için x_{21} hücresi seçilir.
- 4) Bütün sunum ve istem miktarları tamamen duyurulana kadar ardışık işlemlere devam edilir.

En Düşük Maliyetli Gözeler Yöntemi

Kuzeybatı Köşe yöntemi maliyetleri göz önüne almadığından başlangıç temel olurlu çözüm, maliyeti yüksek olan bir çözüm olabilir ve en iyi çözümün bulunması için çok sayıda işlem gerekebilir. Bu durumla karşılaşmamak için kullanılabilir olan en düşük maliyet yönteminde en düşük taşıma maliyeti olan hücreye atama yapılır (Topcu, T.Y.).

En düşük maliyetli gözeler yöntemi ile kuzeybatı köşe yöntemi arasındaki tek fark, giriş değişkenlerinin seçimindedir. Burada, strateji diğer kalan tüm hücreler arasında en küçük cij değerine sahip olan hücreyi, giriş hücresi olarak seçmektir (Uchit, 2006: 14).

Diğer bir değişle; kuzeybatı köşe yönteminde olduğu gibi kuzeybatı kutusuyla başlamak yerine, en düşük birim maliyetli kutuya mümkün olduğunca fazla atama yapmak suretiyle başlangıç çözümü oluşturmaya başlanır (Heizer & Render, 2004: 16).

Daha sonra arz ve talep miktarları ayarlanır ve yapacağı atama tamamlanan satır ya da sütun iptal edilir. Ardından, iptal edilmemiş kutular içinden en düşük maliyetlisi bulunur ve süreç bu şekilde iptal edilmeyen bir satır ya da sütun kalıncaya kadar tekrarlanır (Taha, 2000: 180).

Vogel'in Yaklaşım Yöntemi (VAM Yöntemi)

Bu yöntemde en küçük maliyetli hedefe göndermeme cezası konu edilir. Bu ceza, her sütun ve satırdaki en küçük iki maliyet arasındaki farktır. Tüm sütunlar ve satırlar için cezalar bulunduktan sonra en büyük cezalı satır ya da sütun seçilerek bu satır ya da sütundaki sunum ya da isteme göre en küçük maliyetli hücreye gönderme gerçekleştirilir. En büyük ceza değeri aynı olan satır ya da sütun sayısı birden fazla ise en küçük maliyetli hücreye gönderme gerçekleştirilir (Gümüsoğlu & Tüfek, 2000: 225).

Yöntemin çözüme ulaşmak için takip ettiği basamaklar sırasıyla şöyledir (Cook & Russell, 1989: 207):

- 1) Problem, ulaştırma tablosunda gösterilir.
- 2) Tablodaki her satır ve sütun için en düşük maliyet ve sonraki en düşük maliyetler seçilir. Seçilen maliyetlerin birbirinden farkının mutlak değerleri alınarak, ilgili satır ve sütunların yanlarına yazılır.
- 3) En büyük pişmanlık değerine sahip satır veya sütun seçilir. Bu seçim esnasında en büyük pişmanlık değerine sahip satır veya sütun değeri birden fazla olabilir. Bu durumda, en büyük pişmanlık değerlerine sahip olan satır ve sütunlardaki en küçük birim taşıma maliyetine sahip hücre dağıtım için seçilir.
- 4) Yeni bir ulaştırma tablosu hazırlanarak, yeniden satır ve sütun pişmanlık değerleri hesaplanır.
- 5) Satır ve sütun gereksinimleri tamamen doyurulana kadar ardışık işlemlere devam edilir.

Russell'in Yaklaşım Yöntemi (RAM Yöntemi)

Vogel'in yaklaşım yöntemine benzer bir çözüm tekniği kullanılır. Yöntemin çözümüne ulaşmak için kullandığı basamaklar sırasıyla şöyledir:

- 1) Problem, ulaştırma tablosunda gösterilir.
- 2) Her satır veya sütuna ait en büyük birim taşıma maliyetleri seçilerek, tabloda satır ve sütun maksimumları olarak belirtilir.
- 3) Boş bir tablo hazırlanarak, her hücrenin ilk tablodaki birim taşıma maliyeti, ilgili satır ve sütun maksimumlarının toplamından çıkarılarak, yeni birim taşıma maliyetleri olarak tabloya yerleştirilir. Yeni oluşturulan tablodaki en yüksek birim taşıma maliyetine sahip hücreye dağıtım yapılır.
- 4) Gereksinimi doyurulmuş olan satır veya sütun tablodan çıkarılarak yeni bir tablo hazırlanır.

5) Bütün satır ve sütun gereksinimleri doyurulana kadar ardışık işlemlere devam edilir.

En uygun çözümün bulunması için kullandığımız iki yöntem vardır (Karayağın, 1993: 133):

Atlama Taşı Yöntemi

1954 yılında W.W. Cooper ve A. Charnes tarafından, Dantzig'in 1947 yılında geliştirdiği, basitleştirilmiş simpleks yöntemi üzerinde çalışmalar yapılarak geliştirilmiştir.

Başlangıç temel uygun çözümünden hareketle en iyi çözüme erişilmesinde kullanılan bu yöntemde temelde olmayan her değişken için temelde olan değişkenler kullanılarak bir yörünge çizilir. Yörünge çizilirken saat yönünde en kısa bir yol takip edilmesine dikkat edilmelidir (Hoşcan, 1988: 8).

Atlama taşı yönteminde, başlangıç uygun çözümde yer almayan temel olmayan değişkenlerden herhangi birine dağıtım yapıldığında, toplam taşıma maliyetindeki değişim miktarı hesaplanmaktadır.

MODI Yöntemi

MODI yöntemi, araştırmacıyı her hücrenin değerlemesini ayrı ayrı yapmaktan kurtaran ve bu değerlemeleri simultane olarak yapmayı sağlayan bir optimalite test yoludur (Serper, 1974: 37).

Bu yöntem ile "atlama taşı yöntemi" arasındaki en önemli fark ilmeklerin çizildiği safhada ortaya çıkmaktadır. Atlama taşı yönteminde önce bütün boş hücreler için ilmekler teşkil olunur, sonra her bir boş hücre için net masraf değişimleri tespit olunur. Bunu en yüksek masraf değişimine sahip hücrelerin tespiti izler. Nihayet bu hücreye ait ilmek çizilir. Bu çalışma kapsamında kullanılan yöntemler bunlardır. Daha sonrasında WinQSB programıyla çözülmüş sonuçlar listelenmiştir.

3. UYGULAMA

Bu çalışmanın amacı, Denizli'de faaliyet gösteren bir tekstil firmasının taşıma maliyetlerini minimum kılacak optimum dağıtım planı oluşturmak ve karı maksimize etmektir. Bu kapsamda, çalışmanın modeli kurulduktan sonra çözüm aşamasına geçilmiştir.

Modellenen problem, belirli sayıda üretim merkezinden belirli sayıda talep merkezine taşınacak tekstil ürünlerinin en düşük maliyetle ulaştırılması gerekliliğidir. Üretim merkezlerinin yıllık ihracat kapasiteleri ile talep merkezlerinin yıllık ithalat ihtiyaçları ve aralarındaki birim taşıma maliyetleri bilinmektedir.

Kurulan model sonucunda mevcut taşıma planına göre ulaştırma maliyetinde bir düşüş sağlayan yeni bir taşıma planı oluşturulmuştur. Bu tekstil işletmesi, ürettiği kumaşları İstanbul, İzmir ve Denizli illerindeki gümrüklerden ihracat yaptığı ülkelere dağıtım yapmaktadır. Nakliye şirketi hangi şehirde ise; genelde oradan gümrükleme yapılır. İstanbul gümrükten İspanya'ya, Denizli gümrükten Hollanda'ya ve İzmir gümrükten de Romanya'ya gönderim yapılamamaktadır. Bu o şehirlerde nakliye şirketinin olmamasından kaynaklanmaktadır. Bu durum da ülkelere göre değişkendir. Ülkelerin belirlenen kumaş ihtiyaçları ve gümrük çıkışları Tablo 1'de gösterilmiştir. İşletmenin gümrük merkezlerinden ülkelere yapılan ihracatın geçmiş yıl birim taşıma maliyetleri (EUR) Tablo 2'deki gibidir.

İzmir, İstanbul ve Denizli gümrüklerinin toplam birim taşıma maliyetleri, aynı şehirlerdeki toplam taşıma maliyetlerinin ülkelerin talep ettikleri kumaş miktarına bölünmesiyle bulunmuştur.

Verilen bilgiler doğrultusunda işletmenin gümrük merkezlerinden ülkelere ihraç edilen kumaşların ulaştırma tablosu Tablo 3'teki gibidir.

Bu işletmede üç farklı yükleme sistemi ile taşıma yapılmaktadır.

Bunlar;

- Gemi Yüklemeleri
- Uçak Yüklemeleri
- Tır Yüklemeleri

Gemi Yüklemeleri: İki çeşit yükleme yapılmaktadır. Bunlar Full Konteynır ve Parsiyal Konteynırdır.

- Full konteynırda, konteynır limandan fabrikaya getirilir ve fabrikada yükleme yapılır.
- Parsiyal konteynır da ise; malların limana ambarlarla gönderimi yapılır.

Uçak Yükleme: İki çeşit yükleme yapılmaktadır. Bunlar Hava Kargo ve Ekspres Kargo'dur.

- Hava Kargo'da, mallar havaalanına ambarlarla gönderilir. Gümrükleme yapılarak gönderim yapılır.
- Ekspres Kargo'da ise; mallar uluslararası kurye şirketleri tarafından fabrikadan alınır ve gümrüksüz yurtdışına ihraç edilir.

Tır Yükleme: Yükleme kara yolu ile gönderimi yapılması durumudur. Hangi taşıma yöntemi ile gönderileceği ihracat yapılacak olan ülkenin isteği doğrultusunda belirlenmektedir.

Uygulamada yalnızca kara yolu ile yapılan ihracat ele alınmış olup, gemi ve uçak ile yükleme yapılan ülkeler dikkate alınmamıştır.

Tablo 1. Ülkelerin Kumaş İhtiyaçları ve Gümrük Çıktıları

| Ülkeler | Yapılan ihracat sayısı (adet) | Sipariş (metre) | İzmir gümrükten gönderilen kumaş (metre) | İstanbul gümrükten gönderilen kumaş (metre) | Denizli gümrükten gönderilen kumaş (metre) |
|------------|-------------------------------|-----------------|--|---|--|
| Almanya | 16 | 14.000 | 12.500 | 6.700 | 7.800 |
| İngiltere | 13 | 28.590 | 16.500 | 12.200 | 11.340 |
| İspanya | 35 | 118.750 | 42.560 | 0 | 31.000 |
| Polonya | 56 | 30.000 | 21.300 | 10.300 | 17.600 |
| Finlandiya | 20 | 2.290 | 7.800 | 570 | 4.230 |
| İsrail | 44 | 12.300 | 4.950 | 1.130 | 9.660 |
| Hollanda | 22 | 16.200 | 9.800 | 9.980 | 0 |
| İran | 5 | 82.400 | 3.820 | 28.700 | 32.970 |
| Romanya | 8 | 20.600 | 0 | 17.600 | 6.320 |
| Amerika | 9 | 17.200 | 11.530 | 9.540 | 10.380 |
| TOPLAM | 228 | 342.330 | 130.760 | 96.720 | 131.300 |

Kaynak: İlgili firmadan elde edilen bilgiler doğrultusunda yazarlar tarafından hazırlanmıştır.

Tablo 2. Ülkelerin Geçmiş Yıl Birim Taşıma Maliyetleri

| Ülkeler | İzmir gümrüğün toplam taşıma maliyeti (EUR) | İstanbul gümrüğün toplam taşıma maliyeti (EUR) | Denizli gümrüğün toplam taşıma maliyeti (EUR) | İzmir gümrüğün toplam birim taşıma maliyeti (EUR) | İstanbul gümrüğün toplam birim taşıma maliyeti (EUR) | Denizli gümrüğün toplam birim taşıma maliyeti (EUR) |
|------------|---|--|---|---|--|---|
| Almanya | 1.500 | 1.550 | 1.330 | 0,107 | 0,111 | 0,095 |
| İngiltere | 1.450 | 1.390 | 1.890 | 0,051 | 0,049 | 0,066 |
| İspanya | 20.000 | 0 | 22.344 | 0,168 | 0 | 0,188 |
| Polonya | 2.500 | 2.000 | 2.800 | 0,083 | 0,067 | 0,093 |
| Finlandiya | 520 | 410 | 450 | 0,227 | 0,179 | 0,200 |
| İsrail | 1.300 | 690 | 1.200 | 0,106 | 0,056 | 0,097 |
| Hollanda | 1.570 | 1.500 | 0 | 0,097 | 0,093 | 0 |
| İran | 9.200 | 9.350 | 10.000 | 0,111 | 0,113 | 0,121 |
| Romanya | 0 | 3.200 | 3.300 | 0 | 0,155 | 0,160 |
| Amerika | 1.000 | 985 | 1.150 | 0,058 | 0,057 | 0,067 |

Kaynak: İlgili firmadan elde edilen bilgiler doğrultusunda yazarlar tarafından hazırlanmıştır.

Tablo 3. İşletmenin Gümrük Merkezleri ile Ülkelere İhracatının Birim Taşıma Maliyetleri

| Ülkeler Gümrük Merkezleri | Almanya (D_1) | İngiltere (D_2) | İspanya (D_3) | Polonya (D_4) | Finlandiya (D_5) | İsrail (D_6) | Hollanda (D_7) | İran (D_8) | Romanya (D_9) | Amerika (D_{10}) | Sunum |
|------------------------------|----------------------|------------------------|----------------------|----------------------|-------------------------|---------------------|-----------------------|-------------------|----------------------|-------------------------|----------------------------------|
| İstanbul gümrük (S_1) | 0,111 x_{11} | 0,049 x_{12} | M x_{13} | 0,067 x_{14} | 0,179 x_{15} | 0,056 x_{16} | 0,093 x_{17} | 0,113 x_{18} | 0,155 x_{19} | 0,057 x_{10} | 96.720 |
| İzmir gümrük (S_2) | 0,107 x_{21} | 0,051 x_{22} | 0,168 x_{23} | 0,083 x_{24} | 0,227 x_{25} | 0,106 x_{26} | 0,097 x_{27} | 0,111 x_{28} | M x_{29} | 0,058 x_{210} | 130.760 |
| Denizli gümrük (S_3) | 0,095 x_{31} | 0,066 x_{32} | 0,188 x_{33} | 0,093 x_{34} | 0,200 x_{35} | 0,097 x_{36} | M x_{37} | 0,121 x_{38} | 0,160 x_{39} | 0,067 x_{310} | 131.300 |
| İstem | 14.000 | 28.590 | 118.750 | 30.000 | 2.290 | 12.300 | 16.200 | 82.400 | 20.600 | 17.200 | 358.780 342.330 |

Kaynak: Yazarlar tarafından hesaplanmıştır.

Problemin uygun çözümü varsa; toplam istem toplam sunumdan fazla olamaz. Bu problemin uygun çözümü vardır. Çünkü $\sum_{i=1}^3 ai \geq \sum_{j=1}^{10} bj$ 'dir.

İstanbul gümrükten: İspanya'ya ihraç yapılmamaktadır. Nakliye şirketi hangi şehirde ise genelde oradan gümrük yapılır. Bu durum da ülkelere göre değişkendir. İstanbul gümrükten Almanya, İngiltere, Polonya, Finlandiya, İsrail, Hollanda, İran, Romanya, Amerika'ya, İzmir gümrükten; Almanya, İngiltere, İspanya, Polonya, Finlandiya, İsrail, Hollanda, İran ve Amerika'ya, Denizli gümrükten ise Almanya, İngiltere, İspanya, Polonya, Finlandiya, İsrail, İran, Romanya ve Amerika'ya ihraç edilmektedir. Söz konusu bazı gümrükler ile ülkeler arasında dağıtım yapma olanağının olmaması, bu ulaştırma probleminin çözümüne sınırlamalar getirmektedir.

İşletmenin İstanbul'daki gümrük ile İspanya; İzmir Gümrük ile Romanya, Denizli Gümrük ile de Hollanda arasında ihracatın olmaması ($x_{13} = 0, x_{29} = 0, x_{37} = 0$) istenir.

Bu ulaştırma probleminin çözümü için, söz konusu yollarda taşıma maliyeti çok büyük pozitif bir sayı (M) olarak alınır. Buradaki M sayısından dolayı bu gözelerle atama yapılmayacağı anlamına gelmektedir. Bu şekilde çözümde bu gözelerin boş kalacağı yani atama yapılmayacağı garantilenmiş olur.

3.1. İşletmenin Dağıtım Problemi İçin Ulaştırma Modelinin Kurulması

Maliyetler toplamının doğrusal olduğu varsayılarak, ulaştırma problemi doğrusal programlama modeli gibi ifade edilebilir. Üç gümrük merkezi ve on ihracat yapılan ülkelerle ulaştırma problemi aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$\text{Minimum } z = 0,111 x_{11} + 0,049 x_{12} + M x_{13} + 0,067 x_{14} + 0,179 x_{15} + 0,056 x_{16} + 0,093 x_{17} + 0,113 x_{18} + 0,155 x_{19} + 0,057 x_{10} + 0,107 x_{21} + 0,051 x_{22} + 0,168 x_{23} + 0,083 x_{24} + 0,227 x_{25} + 0,106 x_{26} + 0,097 x_{27} + 0,111 x_{28} + M x_{29} + 0,058 x_{210} + 0,095 x_{31} + 0,066 x_{32} + 0,188 x_{33} + 0,093 x_{34} + 0,200 x_{35} + 0,097 x_{36} + M x_{37} + 0,121 x_{38} + 0,160 x_{39} + 0,067 x_{310}$$

Kısıtlayıcılar

$$x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{15} + x_{16} + x_{17} + x_{18} + x_{19} + x_{110} \leq 96.720$$

$$x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} + x_{25} + x_{26} + x_{27} + x_{28} + x_{29} + x_{210} \leq 130.760$$

$$x_{31} + x_{32} + x_{33} + x_{34} + x_{35} + x_{36} + x_{37} + x_{38} + x_{39} + x_{310} \leq 131.300$$

$$x_{11} + x_{21} + x_{31} \geq 14.000$$

$$x_{12} + x_{22} + x_{32} \geq 28.590$$

$$x_{13} + x_{23} + x_{33} \geq 118.750$$

$$x_{14} + x_{24} + x_{34} \geq 30.000$$

$$x_{15} + x_{25} + x_{35} \geq 2.290$$

$$x_{16} + x_{26} + x_{36} \geq 12.300$$

$$x_{17} + x_{27} + x_{37} \geq 16.200$$

$$x_{18} + x_{28} + x_{38} \geq 82.400$$

$$x_{19} + x_{29} + x_{39} \geq 20.600$$

$$x_{110} + x_{210} + x_{310} \geq 17.200$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad (i = 1, 2, 3 \quad j = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10)$$

Bu model WinQSB paket programı kullanılarak çözülmüş ve kullanılan kaynaklar ile tek bir optimal çözüm karar vericiye sunulmuştur. Bu durumda minimum taşıma maliyeti,

$z = 41.521,52$ EUR'dir.

Ulaştırma problemlerinde, toplam sunumun toplam isteme eşit olduğu kabul edilerek problem dengelenir. Gerçek uygulamalarda, denge durumu olmayıp sunum miktarı istemden az veya çok olabilir.

Ulaştırma tekniklerinin uygulanabilmesi için problem, dengelenmiş duruma getirilmelidir. Bu nedenle probleme kukla sunum veya istem merkezi eklenir. Bu uygulamada, probleme kukla istem merkezi eklenmiştir. Kukla istem merkezine birim ürün gönderme maliyeti "0" olduğu için toplam ürün gönderme maliyeti de "0" olur.

$$\sum_{I=1}^3 a_I - \sum_{J=1}^{10} b_J = 358.780 - 342.330 = 16.450$$

Toplam sunum miktarı, toplam istem miktarından 16450 birim daha fazladır. Sunum fazlası olan 16450 birimlik hayali bir istem merkezi, kukla istem merkezi olarak yaratılır ve ulaştırma matrisinde ek bir sütun olarak gösterilir. Bu durum, Tablo 4'te görülmektedir.

WinQSB paket programıyla bulunan optimal çözüm değerleri ve kullanılan kaynaklar Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 4. İşletmenin Dengelenmiş Ulaştırma Tablosu

| Ülkeler Gümrük merkezleri | Almanya (D_1) | İngiltere (D_2) | İspanya (D_3) | Polonya (D_4) | Finlandiya (D_5) | İsrail (D_6) | Hollanda (D_7) | İran (D_8) | Romanya (D_9) | Amerika (D_{10}) | Yapay ülke (D_{11}) | Sunum |
|------------------------------|----------------------|------------------------|----------------------|----------------------|-------------------------|---------------------|-----------------------|-------------------|----------------------|-------------------------|-------------------------------|---------|
| İstanbul gümrük (S_1) | 0,111 x_{11} | 0,049 x_{12} | M x_{13} | 0,067 x_{14} | 0,179 x_{15} | 0,056 x_{16} | 0,093 x_{17} | 0,113 x_{18} | 0,155 x_{19} | 0,057 x_{110} | 0 x_{111} | 96.720 |
| İzmir gümrük (S_2) | 0,107 x_{21} | 0,051 x_{22} | 0,168 x_{23} | 0,083 x_{24} | 0,227 x_{25} | 0,106 x_{26} | 0,097 x_{27} | 0,111 x_{28} | M x_{29} | 0,058 x_{210} | 0 x_{211} | 130.760 |
| Denizli gümrük (S_3) | 0,095 x_{31} | 0,066 x_{32} | 0,188 x_{33} | 0,093 x_{34} | 0,200 x_{35} | 0,097 x_{36} | M x_{37} | 0,121 x_{38} | 0,160 x_{39} | 0,067 x_{310} | 0 x_{311} | 131.300 |
| İstem | 14.000 | 28.590 | 118.750 | 30.000 | 2.290 | 12.300 | 16.200 | 82.400 | 20.600 | 17.200 | 16.450 | 358.780 |

Kaynak: Yazarlar tarafından hesaplanmıştır.

Tablo 5. Başlangıç Çözüm Yöntemlerinin Karşılaştırılması

| Yöntem | | Kuzeybatı köşe yöntemi | En düşük maliyetli gözeler yöntemi | VAM yöntemi | Russell yöntemi |
|------------------------|------------|------------------------|------------------------------------|-------------|-----------------|
| Gümrük | | | | | |
| İstanbul gümrük | Almanya | 14.000 | | | |
| | İngiltere | 28.590 | 28.590 | 28.590 | |
| | Polonya | 30.000 | 30.000 | 30.000 | |
| | Finlandiya | 2.290 | | 2.290 | |
| | İsrail | 12.300 | 12.300 | 12.300 | |
| | Hollanda | 9.540 | 8.630 | 4.150 | 16.200 |
| | İran | | | | 59.920 |
| | Romanya | | | 19.390 | 20.600 |
| Amerika | | 17.200 | | | |
| İzmir gümrük | Almanya | | | | |
| | İngiltere | | | | |
| | İspanya | 118.750 | 24.340 | 118.750 | 118.750 |
| | Polonya | | | | |
| | Finlandiya | | | | |
| | İsrail | | | | |
| | Hollanda | 6.660 | 7.570 | 12.050 | |
| | İran | 5.350 | 82.400 | | |
| Amerika | | | | 12.010 | |
| Denizli gümrük | Almanya | | 14.000 | 14.000 | 14.000 |
| | İngiltere | | | | 28.590 |
| | İspanya | | 94.410 | | |
| | Polonya | | | | 30.000 |
| | Finlandiya | | 2.290 | | 2.290 |
| | İsrail | | | | 12.300 |
| | İran | 77.050 | | 82.400 | 22.480 |
| | Romanya | 20.600 | 20.600 | 1.250 | |
| | Amerika | 17.200 | | 17.200 | 5.190 |

| YÖNTEM | MALİYET |
|------------------------------------|-----------|
| Kuzeybatı köşe yöntemi | 41.912,16 |
| En düşük maliyetli gözeler yöntemi | 42.685,59 |
| VAM yöntemi | 41.672,67 |
| Russell yaklaşımı yöntemi | 42.842,99 |

Kaynak: Yazarlar tarafından hesaplanmıştır.

Tablo 5’de görüldüğü gibi, VAM yöntemi en düşük maliyetli, Russell yöntemi en yüksek maliyetli dağıtım planını vermiştir.

3.2. Atlama Taşı Yöntemi ile En Uygun Çözümün Bulunması

Atlama taşı yöntemi her boş hücrenin değerlendirilmesi esasına dayanmaktadır. Çözüme başlangıç yöntemlerinde olduğu gibi iterasyonlar vasıtasıyla ulaşılır. Yöntem optimal çözümün bulunması esasına VAM yöntemiyle ulaşılan sonucun değerlendirilmesi amacıyla kullanılacaktır.

Probleme ait hesaplamalar VAM başlangıç çözüm yöntemi sonuçlarından yola çıkarak hazırlanmıştır.

$$\text{Minimum } z = (28590 * 0,049) + (30000 * 0,067) + (2290 * 0,179) + (12300 * 0,056) + (16200 * 0,093) + (7340 * 0,057) + (118750 * 0,168) + (12010 * 0,111) + (14000 * 0,095) + (70390 * 0,121) + (20600 * 0,160) + (9860 * 0,067) + (16.450 * 0)$$

$$= 41.521,52 \text{ EUR}$$

3.3. MODI Yöntemi ile En Uygun Çözümün Bulunması

MODI yöntemi ile incelenen problemde amaç, toplam maliyeti minimize etmeyi gerektirmektedir.

MODI yöntemi, atlama taşı yöntemine oranla hesaplama işlemi ve optimuma ulaşma bakımından daha kolaydır. MODI yönteminde boş gözelerin gizli maliyetleri çevrim yapılmadan hesaplanır. Bu yöntemde boş gözelerin değerlendirilmesi, gölge maliyetlerle gerçekleştirilir. Yöntemde ulaştırma maliyetinin gönderme u_i ve alma v_j maliyetlerinden oluştuğu varsayılır. Bu değişkenler dual değişkenlerdir. Buradan MODI yönteminin dual problemin çözümüne dayandığı çıkarılabilir.

Ulaştırma probleminin duali şu şekilde formüle edilir:

Primal Problem:

$$\text{Minimum } z = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N c_{ij} x_{ij}$$

Kısıtlayıcılar:

$$\sum_{j=1}^N x_{ij} = a_i \quad a = 1, 2, \dots, M$$

$$\sum_{i=1}^M x_{ij} = b_j \quad J = 1, 2, \dots, N$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad I = 1, 2, \dots, M \quad J = 1, 2, \dots, N$$

Dual Problem:

$$\text{Maksimum } y = \sum_{i=1}^M a_i u_i + \sum_{j=1}^N b_j v_j$$

Kısıtlayıcılar:

$$U_i + V_j \leq c_{ij} \quad I = 1, 2, \dots, M \quad J = 1, 2, \dots, N$$

Burada U_i ve V_j gölge maliyetlerdir. Dolu hücreler için gönderme ve alma maliyetleri toplamının birim ulaştırma maliyetine eşit olduğu kabul edilir. Yani $C_{ij} = U_i + V_j$ 'dir. Gönderme ve alma maliyetlerinden birine rastgele sıfır değeri verilerek her sütun ve satır için gönderme ve alma gölge maliyetleri hesaplanır. Daha sonra boş hücreler dikkate alınarak çözümün iyileştirilip iyileştirilemeyeceği incelenir. Bir boş hücre için gönderme ve alma maliyetlerinin toplamı, bu hücre için gerçek maliyeti aşıyorsa bu hücreye bir birim göndermekle maliyetlerde tasarruf sağlanmış olur.

Problemimize ait hesaplamalar VAM başlangıç çözüm yöntemi sonuçları alınarak yapılmıştır.

$$\begin{aligned} \text{Minimum } z &= (28590 * 0,049) + (30000 * 0,067) + (2290 * 0,179) + (12300 * 0,056) + (16200 * \\ &0,093) + (7340 * 0,057) + (118750 * 0,168) + (12010 * 0,111) + (14000 * 0,095) + (70390 * 0,121) + \\ &(20600 * 0,160) + (9860 * 0,067) + (16.450 * 0) \end{aligned}$$

$$= \mathbf{41.521,52 \text{ EUR}}$$

Bu uygulamanın optimal çözümü WinQSB programıyla çözülmüştür. Optimal çözüm; 41.521,52 EUR dur. Ulaştırma modelleri ile ekonomik yönüyle günümüz işletmelerinde taşıma maliyetlerinin daha alt seviyelerde gerçekleştirilebileceği gösterilmiştir.

Tablo 6. WinQSB Programı Yardımıyla Ulaştırma Modelinin Optimal Çözümü

| | From | To | Shipment | Unit Cost | Total Cost | Reduced Cost |
|----|----------|----------------|----------|-----------|------------|--------------|
| 1 | Source 1 | Destination 2 | 28.590 | 0,05 | 1.400,91 | 0 |
| 2 | Source 1 | Destination 4 | 30.000 | 0,07 | 2.010 | 0 |
| 3 | Source 1 | Destination 5 | 2.290 | 0,18 | 409,91 | 0 |
| 4 | Source 1 | Destination 6 | 12.300 | 0,06 | 688,8 | 0 |
| 5 | Source 1 | Destination 7 | 16.200 | 0,09 | 1.506,60 | 0 |
| 6 | Source 1 | Destination 10 | 7.340 | 0,06 | 418,38 | 0 |
| 7 | Source 2 | Destination 3 | 118.750 | 0,17 | 19.950 | 0 |
| 8 | Source 2 | Destination 8 | 12.010 | 0,11 | 1.333,11 | 0 |
| 9 | Source 3 | Destination 1 | 14.000 | 0,09 | 1.330 | 3,73E-09 |
| 10 | Source 3 | Destination 8 | 70.390 | 0,12 | 8.517,19 | 0 |
| 11 | Source 3 | Destination 9 | 20.600 | 0,16 | 3.296 | 3,73E-09 |
| 12 | Source 3 | Destination 10 | 9.860 | 0,07 | 660,62 | 0 |
| 13 | Source 3 | Unused Supply | 16.450 | 0 | 0 | 0 |
| | | | | | | |
| | Total | Objective | Function | Value = | 41.521,52 | |

Kaynak: Yazarlar tarafından hesaplanmıştır.

SONUÇ

Ulaştırma Modelleri ve Maliyet Optimizasyonu: Uygulama, ulaştırma modellerinin ekonomik yönüne odaklanarak günümüz işletmelerinde taşıma maliyetlerinin daha düşük seviyelere indirilebileceğini göstermektedir. Ancak, bu sonuçlar çalışmanın yaptığı varsayımların geçerliliği ve parametrelerin doğruluğuyla doğrudan ilişkilidir.

Varsayımların ve Soyutlamaların Rolü: Modelin sonuçları, taşıma işleminin sadece karayolu ile yapıldığı varsayımına dayanmaktadır. Gerçek hayatta ise kumaş ihracatı genellikle denizyolu ve hava yolu gibi farklı ulaştırma modlarıyla da gerçekleştirilmektedir. Bu durum, modelin gerçek dünya koşullarını tam olarak yansıtmadığı anlamına gelir.

Sonuçların Anlamı ve Güvenilirliği: Ulaştırma modellerinin sonuçları mutlak ve değişmez değildir. Varsayımların soyutlamaların ve zamanın değişkenliği gibi nedenlerle, bu modellerin sonuçları bir eğilimi göstermekten öteye gidemez. Ancak, bu modeller, yöneticilere karar alma sürecinde veri odaklı bir yaklaşım sunar ve farklı alternatifler arasında seçim yapmalarına yardımcı olabilir.

Karar Alma Sürecinde Çeşitlilik: Yöneticiler, kararlarını sadece maliyet odaklı olarak almamalıdır. Başarı için müşteri memnuniyeti, güvenilirlik, hızlı teslimat gibi faktörler de dikkate alınmalıdır.

Çözüm Önerisi: İşletmeler, ulaştırma giderlerini azaltmak için daha iyi bir planlama yapmalı ve profesyonel kadrolarla çalışarak bu fazla maliyetleri minimize etmelidir. Tekstil sektöründe, kaliteli ürünlerin zamanında ve hasarsız bir şekilde teslim edilmesi büyük önem taşır.

Bu çalışmadan hareketle, işletmelerin ulaştırma maliyetlerini azaltmak için daha verimli ve planlı bir şekilde hareket etmeleri gerektiği önerilebilir.

KAYNAKÇA

- Arıkanlı, A. & Ulubaş, B. (2004). *Yönetim Fonksiyonları ve Yönetici Davranışları*, Tarım ve Köyüşleri Bakanlığı, Ankara.
- Arman, K., Organ, A., Yenilmez, S. & Akay, M. (2021). Ulaştırma Modeli ile Elektronik Firmasının Dağıtım Ağının Planlanması, *Yeni Fikir Dergisi*, 13 (27), 13-22.
- Atan, S. & Gölüdağı, L. S. (2019). "Harekât Ortamında Mühimmat Lojistiğinin Optimizasyonu", *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 33 (2), 653-684.
- Bjorkman, M., Dotzauer, E. and Holmstrom, K. (1999). *The Tomlab Opera Toolbox For Linear And Discrete Optimization Advanced Modeling and Optimization Volume 1*, Number 2, Center for Mathematical Modeling Departman Of Mathematical And Physics Malardalen University, P.O. Box 883, SE -72123 Vasteras, Sweden.

- Cook, T. & Russell, R. (1989). *Introduction to Management Science*, 2. Edition, New Jersey, Prentice Hall Inc.
- Ergülen, A. (2005). İşletmelerin Dağıtım Stratejilerinin Oluşturulması Modeli: Dağıtım Koşullarının Ağır Olduğu Türkiye'deki Doğu ve Kuzey İlleri Üzerine Örnek Bir Uygulama, *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 19(1).
- Ergülen, A.,Kazan, H. & Kaplan, M. (2005), İşletmelerde Dağıtım Sistemi Maliyetleri Minimizasyonu İçin Çözüm Modeli: Bir Firma Uygulaması, *S.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, Sayı 13, 163-172.
- Ertuğrul, İ. & Tuş, A. (2008). “Bir Gıda İşletmesinde Ulaştırma Modeli ile Yeni Bir Dağıtım Planı Geliştirme”, *Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 2008(1), s. 267-283
- Gümüšoğlu, Ş. & Tüfek, H. (2000). *Sayısal Yöntemler Yönelimsel Yaklaşım* Yenilenmiş 3. Baskı, Beta Kitabevi, Kasım, İstanbul.
- Hallaç,O. (1978). *Kantitatif Karar Verme Teknikleri* (Yöneylem Araştırması), Arpaz Matbaacılık, İstanbul.
- Hallaç, O. (1983). *Kantitatif Karar Verme Teknikleri* (Yöneylem Araştırma) 4. Baskı, Alfa Basım Yayım Dağıtım, İstanbul.
- Heizer, J. H. & Render, B. (2004). *Operations Management–Transportation Models Transparency Masters To Accompany Principles Of Operations Management*, by prentice Hall, Inc., Upper Saddle River, N.J.
- Hillier, F. S. & Lieberman, G.J. (1970). *Introduction to Operation Research*, Helden – Day Inc., San Francisco, California.
- Hoşcan, Y. (1988). *Ulaştırma Modelleri ve Çözümü İçin Geliştirilen Paket Program*, T.C. Anadolu Üniversitesi Eğitim Sağlık ve Bilimsel Araştırma Çalışmaları Vakfı Yayınları, No:66, Eskişehir.
- Karayalçın, İ. (1993). *Yöneylem “Harekat” Araştırması*, Operations Research, Geliştirilmiş 3. Baskı, Mentş Kitabevi, İstanbul.
- Karayalçın, İ. (1993). *Kantitatif planlama ve Karar Verme Yöntemleri*, İ.T.Ü. İşletme Fakültesi, Mentş Kitabevi, 3. Baskı, Ocak.
- Müftüoğlu, T. (1978). *İşletme İktisadi Açısından Sanayi İşletmelerinde Üretim Kapasitesi*, Ankara Üniversitesi Yayın No: 422.
- Özkan, Z. (2012). *Ulaştırma Modelleri ve Çelik Kapı Sektöründe Bir Uygulama*,Karadeniz Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Şubat.
- Render, B. (1982). *Quantitative Analysis for Management*, Boston, Allyn and Bacon, Inc.
- Serper, Ö. (1974). *Doğrusal Ulaştırma Programlaması* (İdeal Çözüm ve Uygulama), Bursa: İktisadi ve Ticari İlimler Akademisi Yayınları, No:8.
- Taha, H. (2000). *Operations Research an Introduction*, University of Arkansas, Faye Heville, (Çeviren ve Uyarlayanlar; Bor ve Esnaf, (2000) Yöneylem Araştırması, Eylül, İstanbul.
- Topcu, İ. (T.Y). *Yöneylem Araştırmasının Temelleri*, Ders Notları. www.ilkertopcu.net, Erişim Tarihi: 14.04.2024.
- Uchit, P. (2006). *Solving The Classic Transportation Problem with The Geographic Information Science*, Summer.
- Ulucan,A. (2004). *Yöneylem Araştırması İşletmecilik Uygulamalı Bilgisayar Destekli Modelleme*, Hacettepe Üniversitesi, Siyasal Kitabevi, Ağustos.