

Fuzzy Goal Programming Approach In Vehicle Routing Problem

Selen Çelikkanat Filiz | Vocational School of Social Sciences, Kırklareli University, Turkey, selen.filiz@klu.edu.tr

Ergün Eroğlu | Department of Quantitative Methods, School of Business, Istanbul University, Turkey, eroglu@istanbul.edu.tr

Keywords:

Fuzzy Goal
Programming
Vehicle Routing
Problem
Goal Programming

ABSTRACT

The goal programming is commonly used programming techniques in multi-objective decision making approaches. It is not possible to exactly determine the goals and constraints in real life problems. In such cases, the fuzzy goal programming approach has been used in order to find solution. In this study, the applicability of fuzzy goal programming approach as one of the approaches providing best decision making upon the capacitated vehicle routing problem has been analyzed within the frame of fuzziness. A fuzzy goal programming approach has been suggested to be able to solve the vehicle routing problem regarding the fuzzy demands. The suggested model has been applied to sample numeric data. The results are obtained by using The General Algebraic Modeling System (GAMS) program. As a result; it has been detected that the cost of the company that makes sending with at least 6 vehicles per week could be reduced with the proposed model. In accordance with the purpose of the study, the company's demands have been met.

Araç Rotalama Probleminde Bulanık Hedef Programlama Yaklaşımı

Anahtar Sözcükler :

Bulanık Hedef
Programlama
Araç Rotalama
Problemi
Hedef
Programlama

ÖZ

Çok amaçlı karar alma yaklaşımlarında yaygın olarak kullanılan programlama yöntemlerinden biri hedef programlamadır. Gerçek hayat problemlerinde hedeflerin ve kısıtların her zaman kesin olarak belirlenmemektedir. Bu gibi durumlarda çözüm bulabilmek için bulanık hedef programlama yaklaşımı kullanılabilir. Bu çalışmada bulanıklık çerçevesinde en iyi karar vermeyi sağlayan yaklaşımlardan olan bulanık hedef programlama yaklaşımının kapasite kısıtlı araç rotalama problemi üzerinde uygulanabilirliği incelenmiştir. Bulanık talepler altında araç rotalama probleminin çözülebilmesi için bir bulanık hedef programlama yaklaşımı önerilmiştir. Önerilen model, örnek sayısal veriler üzerinde uygulanmıştır. Sonuçlar The General Algebraic Modeling System (GAMS) programı kullanılarak elde edilmiştir. Sonuç olarak; her hafta en az 6 araçla gönderim yapan şirketin maliyetinin, önerilen modelle düşürülebileceği görülmüştür. Çalışmanın amacına uygun olarak, şirketin talepleri karşılanmıştır.

1. Giriş

Prof. Dr. Lütü Askerzade Zadeh tarafından ortaya çıkarılan “Bulanık Kümeler” kavramı sayesinde günlük hayatımızda kullandığımız bazı sözel ifadeler 1965 yılında sayısal ifadelere çevrilmiştir. Zadeh’ in “Information and Control” adlı dergide “Fuzzy Sets” adlı makalesiyle ortaya attığı Bulanık Küme teorisinin amacı, belirsizlik içeren kavramları üyelik dereceleriyle belirli hale getirmektir. Dolayısıyla klasik matematik programlama ile çözüm bulunamayan, belirsizlik içeren çeşitli problemler bulanık küme teorisi kullanılarak çözülebilir hale gelmiştir.

Çok amaçlı karar verme problemlerinin çözümünde kullanılan hedef programlamada hedefler karar verici tarafından belirlenmekte ve bu hedefler doğrultusunda çözüm aranmaktadır. Gerçek hayat problemlerinde mümkün olmayan hedeflerin kesin olarak belirlenmesi gibi durumlarda bulanık hedef programlama yaklaşımı kullanılarak çözüm yapılabilmektedir.

Bu çalışmanın amacı, her türlü işletme probleminde uygulama alanı bulabilen Bulanık Hedef Programlama yaklaşımını kullanarak Araç Rotalama Problemleri için bir model önerisi sunabilmektir.

2. Literatür Taraması

Gerek hedef programlama gerekse bulanık hedef programlama her geçen gün daha yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bu uygulamalardan bazıları aşağıda belirtilmektedir.

Özkan (2002) Bulanık hedef programlama modeline ilişkin çözüm yaklaşımlarını ele alarak bir fabrikanın üretim planlaması için bulanık hedef programlama modelini kullanmıştır (Özkan,2002).

Chen ve Tsai (2001) farklı önem ve öncelikleri birleştiren bir bulanık hedef programlama modeli önermişlerdir. Önerilen model, karar vericinin her bir hedefin bağlı önemini açıkça göstermesi için bu hedeflere arzu edilen bir başarıma derecesi belirleyebilmelerine izin vermektedir. Ayrıca, karar vericinin öncelik sıralamasını tek bir formülasyonda birleştirmektedir. Elde ettikleri sonuçlar hem öncelik sıralamasını hem de toplamda maksimum başarıma seviyesine cevap vermektedir (Chen,Tsai,2001).

Jones vd. (2010) hemşirelerin aylık çalışma çizelgelerini düzenlemek için bulanık hedef programlamayı kullanmışlardır. Önerdikleri model hem hastanenin hedeflerini, hem de hemşirelerin tercihlerini göz önüne almaktadır (Jones vd.,2010).

Ertuğrul (2005) yaptığı çalışmada tekstil şirketine ait konfeksiyon ve ev tekstili grubuna ilk olarak doğrusal programlama modeli uygulamıştır. Daha sonra konfeksiyon grubunda satış ve kar hedefleri, ev tekstili grubunda satış hedefleri için bulanık hedef programlama modeli uygulayarak iki modelin karşılaştırmasını yapmıştır. Bulanık hedef programlamanın daha yararlı olduğu sonucuna ulaşmıştır (Ertuğrul,2005).

Özkan ve Bircan (2016) bir işletmenin ürün kategorisindeki ürünler için belirli hedeflerin doyuma ulaşılıp ulaşamayacağını araştırmıştır. Bunun için, önce ürün hedeflerine klasik hedef programlama (HP) yöntemi ile ulaşılmaya, daha sonra aynı ürün hedeflerine Yang, Ignizio ve Kim modeliyle (YIK) ile ulaşılmaya çalışılmışlar.



Bulanık hedef programlama ile ürünler için belirlenen hedeflere ulaşım olanakları bulunurken, klasik hedef programlama ile ürün yapısını bozmadan sonuç alamamışlardır (Özkan,Bircan,2016).

Baykasođlu ve Subulan (2016) karma tamsayıli matematiksel programlama modeli kullanarak çok amaçlı, çok modlu ve çok dönemli yük planlama problemi için çözüm bulmaya çalışmışlardır. Çelişen amaçlar ve belirsizlik altında, karar vericiye daha etkili çözümlerin önerilebilmesi için bulanık hedef programlamadan yararlanmışlardır (Baykasođlu vd.,2016).

Ertuğrul ve Öztaş (2016) ders programının en uygun şekilde oluşturulabilmesi için bulanık hedefler içeren bir model oluşturmuştur. Hedefte bulunan bulanıklığı Bellman ve Zadeh'in önerdiği Max- Min yaklaşımıyla ortadan kaldırarak tam sayılı programlama modeline dönüştürmüşlerdir. Ulaşılan sonuçlarda bulanık hedeflerdeki üyelik derecelerinin 1 olması sağlanmış ve bütün kısıtlar değerlendirilerek ders programı hazırlanmıştır (Ertuğrul, Öztaş, 2016).

Oruç (2014) yaptığı çalışmada menü planlamasında maliyet, enerji, tat, çeşit gibi etkenlere dikkat edilmesi gerektiğini incelenmiş ve hedef programlamanın kullanılabileceğini belirtmiştir. Kullanılan verilerde kesinlik içermeyen durumlar olduğu için de 19-30 yaş arası işçiler için 20 günlük menü planlamasını bulanık hedef programlama modeli geliştirerek oluşturmuştur (Oruç, 2014).

Hung-Tso vd. (2012) yaptıkları çalışmada bir mağaza çalışanları için hazırlanan ekip çizelgeleme problemine çözüm bulmaya çalışmışlardır. Hazırladıkları modelde, müşterilere sunulacak hizmet süresini bulanık olarak belirtmişler ve çözüme hedef programlama kullanarak ulaşılmışlardır (Hung-Tso vd., 2012).

3. Hedef Programlama

Hedef programlama kavramını ilk olarak Charnes, Cooper ve Ferguson 1955 yılında ileri sürmüşlerdir (Ertuğrul,2005). 1961 yılında Charnes ve Cooper tarafından yayınlanan bir makalede ise hedef programlamanın amaç fonksiyonunun optimizasyonunu, belirli kısıt denklemleri altında, en yakın hedeflere ulaşacak şekilde sağlayan teknik olduğu belirtilmiştir. 1960'lı yılların ikinci yarısında İjiri bu tekniği genişletmiştir. 1970'li yıllarda ise Ignizio ve Lee hedef programlamayı tüm yönleri ile birlikte açıklayarak bir çok uygulamaya imza atmışlardır.

Hedef programlamanın temel amacı her bir kriter için ulaşılması istenen hedef değerlerine çok yakın değerler elde etmektir.

Doğrusal programlamada amaç kriterini maksimize veya minimize etmek için çalışılırken, hedef programlamada hedefler arasındaki sapmaları minimize etmek en önemli amaçtır (Güneş vd., 2004).

4. Bulanık Hedef Programlama

Güncel hayatta oluşan durumlarda, karar vericilerin hedefleri ve amaçları genellikle kesin olmamakta, yani bulanıklık içermektedir. Bulanık hedef programlamada, hedef programlamadan farklı olarak, hedefler kesin olmamaktadır. Böyle durumlarda, bulanık küme teorisini göz önünde bulundurarak karar verilebilmektedir.



4.1. Bulanık Hedef Programlama Modeli

Hedef programlama modelinde, amaç fonksiyonları, amaç fonksiyonlarına ait erişim değerleri ve kısıtlayıcılar deterministik olarak belirtilmektedir. Erişim değerleri, hedeflerdeki tercih önceliği ve göreceli ağırlıklar genellikle karar veren kişinin fikirlerine dayanarak belirlenmektedir. Modelde bulunan bu öznel özellik, bulanık küme teorisi ile ele alınabilmektedir. Hedef programlama modeli ile bulanık küme teorisi birleştirildiği zaman, hedeflerdeki erişim düzeyleri ve öncelikli tercihler belirli olmayan ifadelerle nitelenebilmektedir. Karar vericiye ait öznel yargılar içeren hedefler için erişim düzeyleri tanımlanırken bulanık küme teorisinde “yaklaşık olarak ...’e eşit” ve “...’den oldukça küçük” şeklinde ifadeler kullanılabilir. Hedeflere ait bu şekildeki tanımlar, bulanık küme teorisinde üyelik fonksiyonları ile ele alınmaktadır. Buradan ortaya çıkan sonuca göre hedef programlama modelinde optimizasyon fikrinden daha fazla doyum fikrine dayanma özelliği önemsenmektedir (Ertuğrul, 2005).

Bulanık hedef programlama modeli hedeflerdeki önceliklere bakılarak, iki açıdan ele alınmaktadır. İlk olarak, tüm hedeflerdeki önceliğin aynı olduğu bulanık hedef programlama modeli. Burada tüm hedefleri aynı anda doyuracak bir çözüm belirlenmektedir. İkinci olarak, tercih önceliklerinin değişiklik gösterdiği hedeflerin bulunduğu tercih öncelikli bulanık hedef programlama modelidir. Burada karar verenin öncelikli tercihini gözönünde tutan çözüm bulunmaya çalışılmaktadır. Hedefler için belirtilen erişim düzeylerinin bulanık olduğu düşüncesi ile genelleştirilen bulanık hedef programlama modeli aşağıdaki gibi ifade edilmektedir (Özkan, 2003):

$$\left. \begin{array}{l} (Ax)_i \cong b_i ; i = 1, 2, \dots, m_1 \\ (Ax)_i \lesseqgtr b_i ; i = m_1 + 1, \dots, m_2 \\ (Ax)_i \gtrless b_i ; i = m_2 + 1, \dots, m_3 \end{array} \right\} \text{Bulanık Hedefler}$$

$$\left. \begin{array}{l} (Ax)_l \{=, \leq, \geq\} b_l ; l = 1, 2, \dots, p \\ x_j \geq 0 ; j = 1, 2, \dots, n \end{array} \right\} \text{Bulanık Olmayan Kısıtlayıcılar}$$

Belirtilen modelde, i 'ninci hedef için karar vericinin belirttiği bulanık erişim düzeyi b_i ile gösterilmektedir.

Genellikle önerilen çözüm yaklaşımlarında, bulanık olarak belirtilen hedefler işlem kolaylığı sağlaması amacıyla Zimmermann tipi üyelik fonksiyonları ile nitelenmektedir. Zimmermann'a göre, “Bulanık eşitsizlik tamamen doyuruluyorsa üyelik derecesi 1 olmalı, bulanık eşitsizlik tamamen doyurulmuyorsa üyelik derecesi 0 olmalı ve üyelik derecesi 0'dan 1'e doğru tek düze artmalıdır.” Bu durum matematiksel olarak aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir (Zimmermann, 1991);

$$\mu_i(x) = \begin{cases} 1 & ; \text{eğer } (Ax)_i \leq b_i \\ \in [0,1] & ; \text{eğer } b_i \leq (Ax)_i \leq b_i + d_i \quad i = 1, 2, \dots, m + 1 \\ 0 & ; \text{eğer } (Ax)_i \geq b_i + d_i \end{cases}$$

Bulanık hedeflere ait Zimmermann tipi üyelik fonksiyonları aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir (Özkan, 2003):



$$(Ax)_i \cong b_i \Rightarrow \mu_i(x) = \begin{cases} 0 & ; \text{eğer } (Ax)_i \leq b_i - d_i \text{ ise} \\ 1 - \frac{b_i - (Ax)_i}{d_i} & ; \text{eğer } b_i - d_i \leq (Ax)_i \leq b_i \text{ ise} \\ 1 - \frac{(Ax)_i - b_i}{d_i} & ; \text{eğer } b_i \leq (Ax)_i \leq b_i + d_i \text{ ise} \\ 0 & ; \text{eğer } (Ax)_i \geq b_i + d_i \text{ ise} \end{cases}$$

$$(Ax)_i \lesssim b_i \Rightarrow \mu_i(x) = \begin{cases} 0 & ; \text{eğer } (Ax)_i \geq b_i + d_i \text{ ise} \\ 1 - \frac{b_i - (Ax)_i}{d_i} & ; \text{eğer } b_i \leq (Ax)_i \leq b_i + d_i \text{ ise} \\ 0 & ; \text{eğer } (Ax)_i \leq b_i \text{ ise} \end{cases}$$

$$(Ax)_i \gtrsim b_i \Rightarrow \mu_i(x) = \begin{cases} 0 & ; \text{eğer } (Ax)_i \leq b_i - d_i \text{ ise} \\ 1 - \frac{b_i - (Ax)_i}{d_i} & ; \text{eğer } b_i - d_i \leq (Ax)_i \leq b_i \text{ ise} \\ 1 & ; \text{eğer } (Ax)_i \geq b_i \text{ ise} \end{cases}$$

Burada, $(Ax)_i$ hedef kısıtı, b_i karar vericinin i 'inci bulanık hedef için belirttiği erişim değerini, d_i de erişim değerinden meydana gelecek sapma miktarı için kabul edilebilecek tolerans değerini göstermektedir.

5. Araç Rotalama Problemi

Ürünlerin depo ve müşteriler arasında dağıtılması veya toplanmasıyla ilgili oluşturulan problemler, Araç Rotalama Problemi (ARP) (Vehicle Routing Problem, (VRP)) olarak adlandırılmaktadır (Toth vd., 2001). 1959 yılında Dantzig ve Ramser (1959) araç rotalama problemini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada benzin istasyonlarındaki benzin dağıtım problemi için matematiksel programlama modelini yazmışlardır. 1964 yılında Clarke ve Wright bu modeli geliştirerek klasik tasarruf metodunu önermişlerdir.

- Araç rotalama probleminde genellikle birden çok ve birbiriyle çelişen amaçlar bulunabilmektedir. En sık kullanılan amaçlar (Atmaca, 2012);
- Araçların toplam kat ettiği mesafe (veya toplam seyahat süresine) ve araçlardaki sabit maliyetlere (sürücü) bağlı olarak oluşan taşıma maliyetini minimize etmek
- Bütün müşterilere hizmet verebilmek için gereken araç sayısını (veya sürücü sayısını) minimize etmek
- Oluşturulan rotaları seyahat süresi ve araç yükü açısından dengeli tutmak
- Müşterilere parçalı dağıtım yapılmasından kaynaklanan cezaları minimize etmek

Araç rotalama probleminin uygulamalarında birden fazla kısıt kullanılabilir. Bu kısıtlar üç ana grupta toplanabilir:

Araçlara Bağlı Olan kısıtlar:

- Araçların kapasite kısıtı (ağırlık veya hacim olarak)
- Toplam zaman kısıtı
- Sürücünün çalışma saatleri için belirlenmiş yasal sınırlar



Müşterilere Bağlı Olan kısıtlar:

- Her müşterinin farklı çeşitlerde ürün talep etmesi
- Dağıtımın yapılması için belirli zaman kısıtlarının bulunması

Diğer kısıtlar

- Aynı aracın aynı gün içerisinde depoya geri dönmesi ve tekrar yola çıkması sonucu birden fazla tur yapılması
- Bir turun süresinin bir günden daha fazla sürmesi
- Birden fazla deponun bulunması

5.1. Araç Rotalama Problemi Çeşitleri

Araç rotalama problemleri, araç sayısı, araçların kapasitesinin sınırlı olup olmaması, dağıtımda zaman sınırının olup olmaması, depo sayısı, dağıtımla birlikte toplamanın olup olmaması ve varsa bunların sırası gibi kısıtlara göre farklı şekillerde ortaya çıkmaktadır (Keskintürk, 2010).

Buna göre en temel araç rotalama problemleri, kapasite kısıtlı araç rotalama problem (KKARP) ve mesafe kısıtlı araç rotalama problemi olarak belirtilmektedir (MKARP). Dağıtımla birlikte toplama da yapılan araç rotalama problemlerine geri toplamalı araç rotalama problemi (GTARP) denilmektedir. Problem, zaman penceresinin eklenmesiyle zaman pencereci araç rotalama problemi (ZPARP) şekline dönüşmektedir. Dağıtım ve toplamanın birlikte yapıldığı problemler ise dağıtım ve toplamalı araç rotalama problemi (DTARP) olarak adlandırılmaktadır. Araç rotalama problemi çeşitleri şekilde görülmektedir (Keskintürk, 2010).

Uygulama bölümünde kapasite kısıtlı araç rotalama problemi kullanıldığı için bu bölümde sadece kapasite kısıtlı araç rotalama problemi üzerinde durulmaktadır.

5.2. Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi

Araç rotalama probleminin en sade şeklini Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi oluşturmaktadır. Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi, belirli sayıdaki müşteri grubuna hizmet veren araç/araçların izleyecekleri rotanın belirlenmesi olarak tanımlanmaktadır. Kısıtlı araç rotalama probleminde, ilk şehir depo olmak üzere n adet şehir ve m adet araç bulunmaktadır. Her bir araca ait kapasite c_{ij} ve i düğümünden j düğümüne kadar olan mesafe c_{ij} olarak tanımlanmaktadır (Eryavuz vd., 2001).

Araç rotalama probleminin sahip olduğu kısıtlar aşağıda belirtilmektedir (Baker vd, 2003).

- Her şehir sadece bir defa ziyaret edilmektedir.
- Her araç, rotasına aynı depo ile başlamakta ve sonlandırmaktadır.
- Tek depodan servis yapılmaktadır.
- Tüm araçların kapasiteleri homojen olmalıdır.



- Araçların her biri belirli kapasiteye ve gidebilecekleri maksimum rota uzunluğuna sahip olmaktadır.
- Kapasite kısıtlı araç rotalama probleminin matematiksel modeli aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır (Wang vd., 2009).

$$\min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \quad 1$$

$$\sum_{i \in V} x_{ij} = 1 \quad \forall j \in V \setminus \{0\} \quad 2$$

$$\sum_{j \in V} x_{ij} = 1 \quad \forall i \in V \setminus \{0\} \quad 3$$

$$\sum_{i \in V} x_{i0} = K \quad 4$$

$$\sum_{j \in V} x_{0j} = K \quad 5$$

$$\sum_{i \notin S} \sum_{j \in S} x_{ij} \geq r(S) \quad \forall S \subseteq V \setminus \{0\}, S \neq \emptyset \quad 6$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in V \quad 7$$

$$r(S) = \frac{\sum_{i \in S} d_i}{cap} \quad 8$$

c_{ij} =i noktasından j noktasına giden bir aracın maliyeti

x_{ij} =i noktasından j noktasına aracın gitme durumu

K = Toplam araç sayısı

d_i = Müşterilerin talep miktarı

cap = Araç kapasitesi

$r(S)$ = S servisi için gereken minimum araç sayısının alt sınırı

Modelde (1) denklemi amaç fonksiyonu olan toplam maliyeti minimize etmeyi, (2) ve (3) denklemleri her müşterinin sadece bir kez ziyaret edilebileceğini, (4) ve (5) denklemleri merkez depodan çıkan ve giren araç sayısının birbirine eşit olması gerektiğini gösteren kısıtı, (6) denklemi gönderilen araç sayısının gerekli minimum araç sayısından büyük olması gerektiğini belirten kısıtı, (7) kısıtı x_{ij} değişkeni ile müşteriye araç gönderilmesi veya gönderilmemesinin 1 veya 0 ile belirtildiğini göstermektedir. (8) denklemi ise servis için gerekli olan minimum araç sayısını belirtmektedir.

Araç rotalama problemleri ile ilgili çalışmalarda, müşterilerin belirli dönemlerdeki talep miktarlarının sabit olarak ele alındığı görülmektedir. Oysaki problemlerde talep miktarlarının bulanık olarak düşünülmesi daha uygun olmaktadır. Talep miktarlarındaki bulanıklığın dikkate alınması ile taşıma maliyetlerinde önemli azalmalar oluşabilmektedir. Bu çalışmamızdaki amacımız da bulanık hedef



programlama yaklaşımını kullanarak araç rotalama problemlerinde maliyeti minimize etmektir.

6. Uygulama

Seçilen bir şirketin Kırklareli ilindeki deposundan İstanbul, Edirne, Tekirdağ, Çanakkale, Bursa, Yalova, Sakarya ve Bilecik illerine yapılan dağıtım için bir rota belirlenmek istenmiştir. Yapılan çalışmada rota belirlenirken şirketin istekleri ve kısıtları doğrultusunda maliyeti ve müşterilerinin taleplerinde oluşacak karşılanmama miktarını minimize edilmeye çalışılmıştır.

6.1. Problemin Verileri

Kırklareli ilindeki bir şirketin deposundan İstanbul, Edirne, Tekirdağ, Çanakkale, Bursa, Yalova, Sakarya ve Bilecik illerine gönderilecek ürünlerin dağıtımını her bir aracın kapasitesi aşılmadan, müşteri talepleri karşılanmama yüzdeleri minimum olacak şekilde yapılmak istenmektedir. Problem, firmadan alınan veriler doğrultusunda bulanık hedef programlama yaklaşımı ile çözülmeye çalışılmıştır.

Şirketin daha önce kullandığı bir model bulunmamakla beraber anlık şartlara göre karar verip dağıtım yaptığı bilinmektedir. Şirket genellikle müşteriler arasında dağıtım yaparken en az 6 araç ile gönderim yapıldığını ve buna bağlı olarak en az 8500 maliyet oluştuğunu belirtmiştir.

Şirketin kullandığı araçlar eşit ve 150 koli taşıma kapasitesine sahiptir. Şirket kiraladığı araç sayısını oluşacak maliyete göre minimum yapmak istemektedir. Şirketin kullandığı araç sayısı 6 olduğu için, çalışmada 5 araç kiralama ile modele başlanmıştır. Maliyetin minimizasyonu amacıyla, kiralanan araç sayısı arttırılabilir veya azaltılabilir.

İller arasındaki mesafeler saat cinsinden hesaplanmış olup her bir aracın ortalama 70 km hızla hareket ettiği kabul edilmiştir. İller arası mesafe tablosu aşağıda belirtilmiştir.

Tablo 1. İller Arası Mesafe Tablosu (Saat)

t_{ij}	K	İST	E	T	Ç	BU	Y	S	Bİ
KIRKLARELİ	0	3	1	2	3,5	6	5,5	4	5
İSTANBUL	3	0	3,3	2	4,5	3,5	2,5	2	3
EDİRNE	1	3,3	0	2	3	6,5	6,5	4	5
TEKİRDAĞ	2	2	2	0	2,6	5,3	4,3	3,5	4,5
ÇANAKKALE	3,5	4,5	3	2,6	0	4	5	5,5	4,3
BURSA	6	3,5	6,5	5,3	4	0	1	2,3	1,5
YALOVA	5,5	2,5	6	4,3	5	1	0	1,7	1,8
SAKARYA	4	2	4	3,5	5,5	2,3	1,7	0	1,4
BİLECİK	5	3	5	4,5	4,3	1,5	1,8	1,4	0

Bir aracın firmaya olan maliyeti; aracın tükettiği benzin, bakım masrafı, şoför maaşı ve sigortası dikkate alınarak firma tarafından belirtilmiştir.



Tablo 2. İller Arası Araç Maliyeti (₺)

c_{ij}	K	İST	E	T	Ç	B	Y	S	Bİ
KIRKLARELİ	0	526	176	308	576	1086	930	860	1114
İSTANBUL	526	0	566	364	784	586	430	398	604
EDİRNE	176	566	0	354	538	1152	994	954	1170
TEKİRDAĞ	308	364	354	0	464	932	774	740	948
ÇANAKKALE	576	784	538	464	0	668	812	1064	904
BURSA	1086	586	1152	932	668	0	184	402	240
YALOVA	930	430	994	774	812	184	0	294	282
SAKARYA	860	398	954	740	1064	402	294	0	270
BİLECİK	1114	604	1170	948	904	240	282	270	0

Firmaların talep ettiği ürün miktarı koli cinsinden bilinmektedir ve aşağıda belirtilmiştir.

Tablo 3. Müşterilerin Talep Ettikleri Ürün Miktarları

İLLER	TALEP MİKTARI (KOLİ)
KIRKLARELİ	DEPO
İSTANBUL	112
EDİRNE	70
TEKİRDAĞ	56
ÇANAKKALE	92
BURSA	50
YALOVA	82
SAKARYA	67
BİLECİK	48

6.2. Problemin Varsayımları

- Araçlar dağıtıma başlamadan önce talepler bilinmektedir.
- Talepler bir depodan karşılanmaktadır.
- Taşıma işlemini gerçekleştirmek için yeterli sayıda araç bulunmaktadır.

6.3. Hedef ve Kısıtların Belirlenmesi

Modelde belirtilen kısıtlarda bulunan sağ-yan değerler kesin olmayıp müşteri tarafından kabul edilen sapma miktarlarıdır. Bu nedenle sapma değerleri bulanık ifadelerdir.

Her bir aracın taşıma maliyeti firma tarafından bilinmektedir. Firma maliyete ilişkin günlük miktarın ₺8000'den az olmasını istemektedir.

Firmaların talep ettiği ürün miktarı koli cinsinden bilinmektedir ve her bir şirketin belirlediği sapma miktarları bulunmaktadır. Bu veriler aşağıda belirtilmiştir.



Tablo 4. Müşterilerin Kabul Ettikleri Sapma Miktarları

İLLER	SAPMA MİKTARI (KOLİ)
KIRKLARELİ	DEPO
İSTANBUL	12
EDİRNE	9
TEKİRDAĞ	7
ÇANAKKALE	11
BURSA	8
YALOVA	10
SAKARYA	7
BİLECİK	5

Müşteriler taleplerindeki sapmaları kabul etmişler fakat bu karşılanmayan talepler için ₺2000 ceza belirlemişlerdir.

6.4. Modellen Formülasyonu:

x_{ijk} karar değişkeni i ilinden j iline araç yollanması (=1) ya da yollanmaması (=0) olarak ifade edilmiştir. Burada

k = Araç sayısı olmak üzere

$i, j = 0$ Kırklareli(depo)

$i, j = 1$ İstanbul

$i, j = 2$ Edirne

$i, j = 3$ Tekirdağ

$i, j = 4$ Çanakkale

$i, j = 4$ Bursa

$i, j = 6$ Yalova

$i, j = 7$ Sakarya

$i, j = 8$ Bilecik

illerini temsil etmektedir.

c_{ij} : i ilinden j iline giderken aracın maliyeti

t_{ij} = i ilinden j iline gidiş süresi

cap =Aracın kapasitesi

d_i =Müşterilerin talep miktarı

a_i = Müşteri talebinin karşılama yüzdesi, $a_i \in [0,1]$

s_i =Müşterinin kabul ettiği ya da belirlediği hedef ve kısıt değerlerinden sapma miktarı

u_{ik} = Yeni karar değişkenleri

olmak üzere önerilen model aşağıda belirtilmiştir.



$$\sum_{i=0}^8 \sum_{k=1}^5 x_{ijk} = 1 \quad j = 1,2,3,4,5,6,7,8 \quad 9$$

$$\sum_{j=0}^8 \sum_{k=1}^5 x_{ijk} = 1 \quad i = 1,2,3,4,5,6,7,8 \quad 10$$

$$\sum_{i=0}^8 x_{ipk} - \sum_{j=0}^8 x_{pjk} = 0 \quad p = 1, \dots, 8 \quad 11$$

$$\sum_{i=1}^8 a_i d_i \sum_{j=0}^8 x_{ijk} \leq cap \quad k = 1,2,3,4,5 \quad 12$$

$$0 \leq a_i \leq 1 \quad 13$$

$$u_{ik} - u_{jk} + cap x_{ijk} \leq cap - a_j d_j \quad i, j = 1, \dots, 8 \quad 14$$

$$0 \leq u_{ik} \leq cap \quad i = 1, \dots, 8 \quad 15$$

$$u_{ik} \geq a_i * d_i \quad 16$$

$$\sum_{j=1}^8 x_{0jk} \leq 5 \quad 17$$

$$\sum_{i=1}^8 x_{i0k} \leq 5 \quad 18$$

$$a_i \geq \frac{d_i - s_i}{d_i} \quad i = 1,2,3,4,5,6,7,8 \quad 19$$

$$\sum_i \sum_j \sum_k tc_{ij} x_{ijk} + \sum_i 2000 * (1 - a_i) + sapma1 - sapma2 = 8000 \quad 20$$

$$x_{iik} = 0 \quad 21$$

$$\text{Amaç fonksiyonu} = sapma2 - sapma1$$

(9) ve (10) kısıtları her müşterinin sadece bir kez ve sadece bir araçla ziyaret edilmesi gerektiğini,

(11) kısıtı belirli bir p iline gelen aracın, malı teslim ettikten sonra o ili terk etmek zorunda olduğunu,

(12) kısıtı araç gittiği tüm illerin talebini belirli bir oranda karşılamak zorunda olduğunu,

(13) kısıt müşteri talebinin karşılanma yüzdesini,

(14), (15), (16) u_{ik} yeni karar değişkenleri olmak üzere; subtourelimination constraint denilen $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 1$ şeklindeki döngülere engel olmak için konulan kısıtları,

(17), (18) kısıtları araç sayısını,

(19) kısıtı müşterilerin taleplerindeki bulanıklığı,



(20) kısıtı maliyet hedefini,

(21) ise araçların aynı il içinde gönderim yapmasını engelleyen kısıtı belirtmektedir.

Model kurulurken araç rotalama probleminin temel prensibi olan her müşteri tek bir araçla ve tek bir kez ziyaret edilebileceği dikkate alınmıştır. Firma müşterilerin taleplerindeki sapma miktarını belirttiği için bu değerler modele eklenerek bulanık yaklaşım kullanılmıştır. Şirketin toplam taşıma maliyeti için belirlediği hedef miktar olan ₺8000 modelde belirtilmiş ve amaç fonksiyonu bu hedefteki sapmanın minimum olması olarak gösterilmiştir. Problemin çözümü için GAMS programında kod yazılmış ve çözüm yapılmıştır.

6.5. Problemin Çözümü

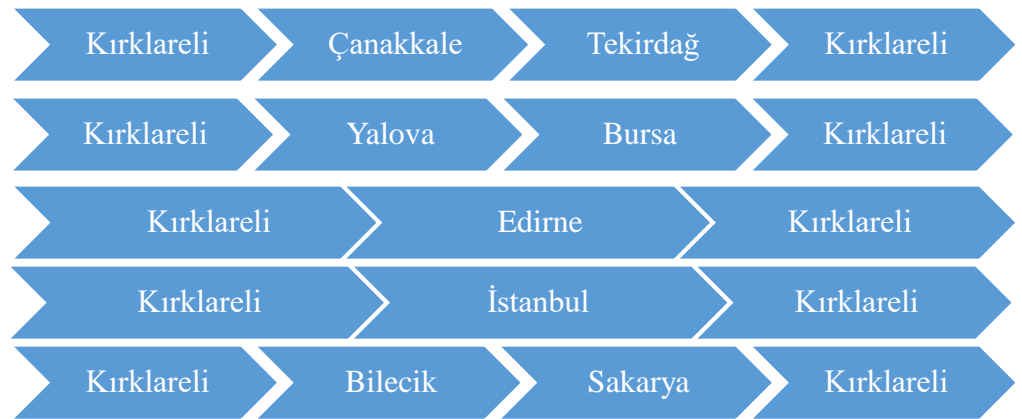
Model oluşturulduktan sonra problemin çözüm aşamasında firma ile karşılıklı görüşülerek istekleri dikkate alınmıştır. Firma kullandığı araçları kiraladığı için araç sayısının maliyetin minimizasyonu ve taleplerin karşılanma yüzdeleri doğrultusunda değişebileceğini belirtmiştir. Bu nedenle modelin çözümünde ilk olarak 5 araç kullanılmış, toplam maliyet ve taleplerin karşılanma yüzdeleri hesaplanmıştır. Daha sonra 4 araç kullanılması durumunda sonucun nasıl değişeceği incelenmiştir.

Problem şirketin 5 araç kiraladığı düşünülerek çözüldüğünde müşterilerin tüm talepleri karşılanabilmektedir ve elde edilen maliyet şirketin belirlediği miktar olan ₺8000 den ₺804 eksik olarak ₺7196 bulunmuştur. GAMS programının oluşturduğu sonuç aşağıdaki gibidir.

Tablo 5. 5 Araç İçin Gams Programı Amaç Çıktısı

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
VAR sapma1		. 91907.824	+INF	NA
VAR sapma2		. 91103.824	+INF	NA
VAR obj	-INF	-804.000	+INF	

GAMS programından elde edilen sonuca göre araçların rotaları aşağıdaki gibidir.



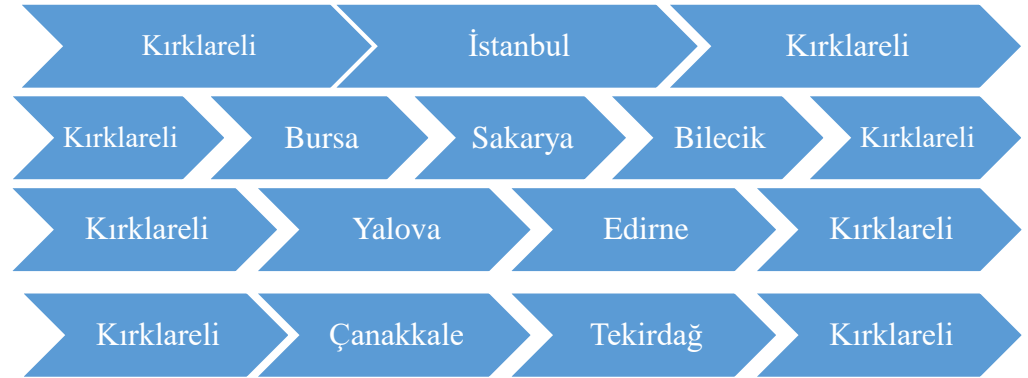
Şirketin 5 araç kiralaması durumunda oluşan müşteri talep karşılanma yüzdeleri aşağıda belirtilmiştir.

Tablo 6. 5 Araç İçin GAMS Programı Talep Karşılama Yüzdeleri Çıktısı

VAR a	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
KIRKLARELİ		1,000	+INF	NA
İSTANBUL		1,000	+INF	NA
EDİRNE		1,000	+INF	NA
TEKİRDAĞ		1,000	+INF	NA
ÇANAKKALE		1,000	+INF	NA
BURSA		1,000	+INF	NA
YALOVA		1,000	+INF	NA
SAKARYA		1,000	+INF	NA
BİLECİK		1,000	+INF	NA

Aynı veriler için şirketin 4 araç kiralaması durumunda oluşacak sonuçlar incelendiğinde toplam maliyet ₺8076 olmaktadır. Müşteriler sapmaların ideal olarak 0 olmasını istemektedir. Bu nedenle karşılanmayan talepler için ceza uygulamaktadırlar. Maliyetin artma sebebi de müşterilerin taleplerinin karşılanmaması durumunda şirketin ödeyeceği ceza tutarıdır.

4 araç kiralınması durumunda oluşacak yeni rotalar aşağıda verilmiştir.



4 araç kiralınması durumunda oluşacak müşteri taleplerinin karşılanma yüzdeleri aşağıdaki gibidir.

Tablo 7. 4 Araç İçin GAMS Programı Talep Karşılama Yüzdeleri Çıktısı

VAR a	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
KIRKLARELİ		1,000	+INF	NA
İSTANBUL		0,893	+INF	NA
EDİRNE		1,000	+INF	NA
TEKİRDAĞ		1,000	+INF	NA
ÇANAKKALE		1,000	+INF	NA
BURSA		1,000	+INF	NA
YALOVA		1,000	+INF	NA
SAKARYA		1,000	+INF	NA
BİLECİK		1,000	+INF	NA

Bu sonuçlardan anlaşıldığı üzere şirketin 4 araç kiralaması durumunda müşteri taleplerinin karşılanma yüzdeleri istenilen düzeyin sınır noktasındadır. Edirne, Tekirdağ, Çanakkale, Bursa, Yalova, Sakarya ve Bilecik illerindeki müşterilerin talepleri tamamen karşılanmış, İstanbul ilinin talebi ise 0,893 oranında karşılanmıştır. Bu oranlar müşterilerin kabul ettiği sınırlar içerisinde bulunmaktadır. Fakat müşteri bu

sapmaları kabul etse bile bir ceza karşılığı olduğundan maliyet 18076' ye çıkmaktadır. Bunun anlamı şirketin hedefinin 176 aşılmış olmasıdır. Bu sonucun GAMS programındaki gösterimi aşağıda gösterilmiştir.

Tablo 8. 4 Araç İçin GAMS Programı Amaç Çıktısı

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
VAR sapma1		99330.783	+INF	NA
VAR sapma2		99407,069	+INF	NA
VAR obj	-INF	76,286	+INF	

Şirket müşterileri ile görüşerek ceza miktarını kaldırılması durumunda maliyetin 17862 olduğu görülmektedir. Fakat bu maliyet de 5 araca göre daha yüksek olmuştur. Bu maliyet artışının, araçların iller arasında fazla geçiş yapmasından kaynaklandığı söylenebilir.

7. SONUÇ

Hedef Programlamada hedefler ve kısıtlar net olarak tanımlanır ve birden fazla amacı sağlayan en uygun sonuç araştırılır. Bulanık kümelerin hedef Programlama ile birleştirilmesi sonucu hedef ve kısıt değerleri karar verici tarafından belirlenebilmekte bu da karar verici açısından büyük bir yarar sağlamaktadır.

Gerçek hayat problemlerinde hedeflere dair erişim değerlerinin, hedeflerin önem derecelerinin ve sisteme dair kısıtların belirlenmesi çoğu zaman karar vericinin yargılarına bağlı olmaktadır. Bu durum, problemlerde belirsizlik yarattığı için bu belirsizliğin çözümü bulanık küme teorisi yardımıyla yapılabilmektedir. Oluşturulan modelde talepler, bulanık olarak alınarak belirsizlik, modele dahil edilmiştir.

Önerilen modelin çözümünde ilk olarak 5 araç kullanılarak, toplam maliyet ve taleplerin karşılanma yüzdeleri hesaplanmıştır. Daha sonra 4 aracın kiralanması durumu değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmede, 4 araç kullanılması durumunda İstanbul ilinin talebinin tam olarak karşılanamadığı ve maliyetin arttığı belirlenmiştir. Maliyetin yükselmesinin nedeni, hem müşterilerin taleplerinin tamamen karşılanamamasından kaynaklanan ceza değeri hem de araç sayısının az olmasından dolayı araçların iller arasında daha fazla dolaşarak kat edilen kilometrenin artmasıdır.

Sonuç olarak; her hafta en az 6 araçla gönderim yapan şirketin maliyetinin, önerilen modelle düşürülebileceği görülmüştür. Çalışmanın amacına uygun olarak, şirketin hedeflediği müşteri taleplerinin toplam karşılanmama yüzdesi ve toplam maliyet azaltılmıştır. Ulaşılan sonuca göre, şirket 1804 daha fazla kar elde etmiştir.

AÇIKLAMA

Bu çalışma 2014 yılında İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Sayısal Yöntemler Anabilim dalında Prof. Dr. Ergün Eroğlu danışmanlığında yürütülen yüksek lisans tez çalışmasından üretilmiştir.

KAYNAKÇA

Atmaca, E. (2012). "Bir Kargo Şirketinde Araç Rotalama Problemi Ve Uygulaması", Tübvav Bilim Dergisi, 5 (2), 13



- Baker, B., Ayechev, M. A. (2003). "A Genetic Algorithm for The Vehicle Routing Problem", *Computers & Operations Research*, 30, 787
- Baykasođlu, A., Subulan, K. (2016). "İntermodal Lojistik Ağlarında Yük Planlama Problemi İçin Yeni Bir Matematiksel Programlama Modeli", *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 31 (2), 383-394
- Chen, L., Tsai, F. (2001). "Fuzzy Goal Programming with Different Importance and Priorities", *European Journal of Operation Research*, 133, 548-556
- Chung-Ho Wang, Jiu-Zhang Lu, (2009) "A Hybrid Genetic Algorithm That Optimizes Capacitated Vehicle Routing Problems", *Expert Systems with Applications*, 36, 2924
- Dantzig, G.B., Ramser, J.H. (1959). "The Truck Dispatching Problem", *Management Science*, 6 (1), 81
- Ertuğrul, İ. (2005). "Bulanık Hedef Programlama Ve Bir Tekstil Firmasında Uygulama Örneđi" *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 6 (2)
- Ertuğrul, İ., Öztaş G. Z. (2016). "Ders Programı Oluşturulmasında 0-1 Tam Sayılı Bulanık Hedef Programlama Yaklaşımı", *Niğde Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 9 (1), 159-177
- Eryavuz, M., Gencer, C. (2001). "Araç Rotalama Problemine Ait Bir Uygulama", *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi*, 6(1), 140
- Geir Hasle, Knut-Andreas Lie, Ewald Quak, (2007). "Geometric Modelling, Numerical Simulation, and Optimization: Applied Mathematics at SINTEF", *Springer-Verlag Berlin Heidelberg*, 400
- Güneş, M., Umarusman, N. (2004). "Bir Karar Destek Amacı Bulanık Hedef Programlama ve Yerel Yönetimlerde Vergi Optimizasyonu Uygulaması", *Review of Social, Economic & Business Studies*, 2, 245
- Hung-Tso, L., Yen-Ting, C., Tsung-Yu, C., YiChun, L. (2012). Crew rostering with multiple goals: An empirical study. *Computers & Industrial Engineering*, 63, 483-493
- Jones, D., Tamiz, M., Ries, J., (2010). *New Developments in Multiple Objective and Goal Programming*, Springer-Verlag, Berlin
- Keskintürk, T. (2010). "Araç Rotalama Problemlerinin Global Karınca Koloni Optimizasyonu ile Çözümü", *Ünal Aysal Tez Deđerlendirme Yarışma Dizisi*, 2010/2, 29
- Oruç, K. O. (2014). "Bulanık Hedef Programlama İle Menü Planlama", *Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 23
- Özkan, M. M. (2002). *Bulanık Doğrusal Programlama Ve Bir Tekstil İşletmesinde Uygulama Denemesi*, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Bursa, Uludağ Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü
- Özkan, M., Bircan, H. (2016). "Bulanık Hedef Programlama ile Ürün Hedef Optimizasyonu: Yang, Ignizio ve Kim Modeli" *Istanbul University Journal of the School of Business*, 45(2), 109-119
- Toth, P., Vigo, D. (2001). "The Vehicle Routing Problem, *SIAM Monographs on Discrete Mathematics and Applications*", SIAM Publishing, Philadelphia,
- Zimmermann, H. J. (1991). *Fuzzy Set Theory and Applications*, Massachusetts, Kluwer Academic, 338.



