

Bu makaleye atıfta bulunmak için/To cite this article:

YİĞİT, V. KARADAĞ, İ. DURNA, D. (2021). Kan Tedarik Zinciri Ağ Tasarımı Problemine Bulanık Karma Tamsayılı Programlama Modeli Önerisi. Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 25 (2), 851-868.

## Kan Tedarik Zinciri Ağ Tasarımı Problemine Bulanık Karma Tamsayılı Programlama Modeli Önerisi

Vecihi YİĞİT<sup>(\*)</sup>

İlker KARADAĞ<sup>(\*\*)</sup>

Doğan DURNA<sup>(\*\*\*)</sup>

**Öz:** Bu çalışma, kan tedarik zinciri ağ tasarımı problemine yeni bir bulanık karma tam sayılı programlama modeli önerisi sunmaktadır. Önerilen konum-tahsis modeli kan tedarik zincirlerinde bulunan sabit birimler ile mobil birimleri birlikte değerlendirerek sistemi optimize etmektedir. Kan tedarik zincirlerinde en önemli belirsizlik kaynağı arz ve talep miktarlarıdır. Bu belirsizliğin üstesinden gelebilmek amacıyla model Verdegay Yaklaşımından faydalanılarak bulanık model olarak tanımlanmıştır. Gerçek hayat uygulaması olarak Kızılay'ın bir kısım Doğu Anadolu ve bir kısım Güney Doğu Anadolu bölgelerini kapsayan tedarik zincirleri incelenmiştir. Bulanık modelden elde edilen parametrik çözümler ile karar vericilere faydalı tavsiyelerde ve değerlendirmelerde bulunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Kan tedarik zinciri, Bulanık Programlama, Tam sayılı Programlama

### Fuzzy Mixed-Integer Programming Model Suggestion for The Blood Supply Chain Network Design Problem

**Abstract:** This paper presents a novel fuzzy mixed-integer programming model to the blood supply chain network design problem. The proposed location-allocation model optimizes the system by evaluating the fixed units in the blood supply chains and mobile units together. The most important source of uncertainty in blood supply chains is the amount of supply and demand. In order to overcome this uncertainty, the model is defined as a fuzzy model by using Verdegay Approach. As a real-life application, the supply chain of the Red Crescent covering a part of Eastern Anatolia and a part of South-Eastern Anatolia regions is examined. With the parametric solutions obtained from fuzzy model, useful recommendations and evaluations are made to the decision-makers.


**Keywords:** Blood Supply Chain, Fuzzy Programming, Integer Programming


**Makale Geliş Tarihi:** 18.05.2021


**Makale Kabul Tarihi:** 20.05.2021


#### I. Giriş

Kan, zaman içinde bozulabilen yapısıyla insanlık için önemli bir hayatı sıvıdır. Kan tedarik zinciri, kan ve kan ürünlerinin, bağışlar yoluyla toplanması, ilgili tıbbi testlerinin

<sup>\*</sup>) Doç. Dr. Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü (e-posta: vyigit@atauni.edu.tr)  ORCID ID. <https://orcid.org/0000-0003-0625-3140>

<sup>\*\*</sup>) Arş. Gör. Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü (e-posta: ilker.karadag@atauni.edu.tr)  ORCID ID. <https://orcid.org/0000-0002-7048-8529>

<sup>\*\*\*</sup>) Dr. Öğr. Üyesi, Atatürk Üniversitesi Dış Hekimliği Fakültesi Klinik Bilimler Bölümü (e-posta: dogandurna@atauni.edu.tr)  ORCID ID. <https://orcid.org/0000-0001-5341-6024>

Bu makale araştırma ve yayın etiğine uygun hazırlanmıştır  iThenticate<sup>®</sup> intihal incelemesinden geçirilmiştir.

yapılması, kan ürünlerinin üretilmesi, depolanması, dağıtımı ve hastaya nakli süreçlerinden oluşur. Ülkemizde kan tedarik zincirinden sorumlu olan kuruluş Türk Kızılay'ıdır. Türk Kızılay'ının kan tedarik zinciri, kan bağış merkezleri (KBM), mobil kan bağış araçları (MKBA), bölge kan merkezleri (BKM), kan bağışında bulunan insanlar (arz merkezleri) ve kan talebinde bulunan hastaneler veya diğer sağlık kuruluşlarından (talep merkezleri) oluşur. BKM'ler, kan bağış merkezlerinden ve mobil kan bağış araçlarından toplanan kan bağışlarının bir araya getirildiği, kan ürünleri üreten, gerekli test ve incelemeler sonucunda kan ve kan ürünleri depolayan, hastanelerin, transfüzyon merkezlerinin ve benzeri talep noktalarının kan ve kan ürünleri taleplerini karşılayan birimlerdir. Bu birimler kan ürünlerinin talep noktalarına ulaştırılmasından sorumludur. KBM'ler, Türk Kızılay'ı adına bağışçılardan kan toplayan sabit merkezlerdir. Bu merkezler genellikle büyük şehir merkezlerinde konumlanmış, belirli bir kapasite ile kan bağışı toplayan sabit birimlerdir. Kapasitesi ölçüsünde toplanan kan, kan bağış merkezinin bağlı bulunduğu bölge kan merkezine gönderilir. MKBA'lar, Türk Kızılay'ı adına bağışçılardan kan toplayan hareket hâlindeki mobil birimlerdir. Genellikle kan bağış merkezi bulunmayan yerleşim birimlerinde şehir meydanında veya üniversite gibi kalabalık konumlarda bulunarak kan bağışlarını toplamaktadır. Kapasitesi ölçüsünde topladığı kanı, bağlı bulunduğu bölge kan merkezine getirir. Transfüzyon merkezleri, hastaneler ve hematoloji merkezleri hastalara kan ve kan ürünlerinin nakillerinin yapıldığı talep noktalarıdır. Bağlı buldukları bölge kan merkezleri tarafından talepleri karşılanmaktadır, talebi karşılanamayan acil durumlarda ise bu merkezler tam kan bağışı alıp bunu doğrudan hastaya nakledebilmektedirler. Tüm bu sistemin doğası gereği var olan çeşitli belirsizlikler altında etkin ve etkili bir şekilde optimize edilmesi problemi kan tedarik zinciri ağ tasarımı problemi olarak tanımlanabilir.

Kan ve kan ürünleri tedarik zincirleri oldukça popüler bir araştırma konusudur. Konu ile ilgili literatür incelendiğinde özellikle son beş sene içerisinde yapılmış pek çok çalışmanın bulunduğu görülmektedir. Pirabán ve diğ., (2019) literatür tarama çalışmalarında konu ile ilgili literatürün %57,69'unun 2015 yılından sonra yapılan çalışmalardan meydana geldiğini iddia etmektedir. Bunun dışında, Beliën ve Forcé, (2012) ve Osorio ve diğ., (2015) tarafından da konu literatür taramaları olarak incelenmiştir.

Kan tedarik zinciri ağ tasarımı ve optimizasyonu problemi literatürdeki çalışmalarda önemli yer tutar. Bu çalışmalarda konum-tahsis modelleri ve çözüm yaklaşımları bulunmaktadır. Şahin ve diğ., (2007); Nagurney ve diğ., (2012); Zahiri ve diğ., (2015); Zahiri ve Pishvae, (2017); Ramezani ve Behboodi, (2017); Bruno ve diğ., (2018); Heidari-Fathian ve Pasandideh, (2018); Zahiri ve diğ., (2018); Hamdan ve Diabat, (2019); Hamdan ve Diabat, (2020a) gibi çalışmalar örnek olarak gösterilebilir.

Kan arzı veya talebinin bulanık olduğu çalışmalardan, Zahiri ve diğ., (2017) kan gruplarını dikkate alan bir kan tedarik zinciri ağ tasarımı üzerine çalışmışlardır. Bu amaçla çalışmalarında toplam maliyetleri minimize ederken, talep karşılanabilirliğini maksimize eden bir matematiksel model sunmuşlardır. Çalışmada ayrıca, bazı girdi

parametrelerinin belirsiz doğası nedeniyle, güvenilirlik ölçüsüne dayalı olarak iki yeni güçlü olasılıklı programlama modeli önerilmiştir. Eskandari-Khanghahi ve diğ., (2018) bir afet sırasında ve sonrasında, belirsiz verilerle çok amaçlı ve zaman periyotlu sürdürülebilir bir tedarik zinciri için olasılıklı bir optimizasyon modeli geliştirmişlerdir. Çalışmada büyük boyutlu problemlerin çözümü için geliştirilen tavlama benzetimi meta-sezgisel algoritması ve çözüm performansının karşılaştırıldığı harmony arama sezgisel çözüm yaklaşımları bulunmaktadır. Samani ve Hosseini-Motlagh (2019) çalışmalarında kan tedarik zinciri bir konum-tahsis modeli sunmaktadır. Literatüre katkı olarak, ağdaki kesinti riskini ele almak için bulanık AHP-GRA (ilk aşamada) ve p-sağlam formülasyonunun (ikinci aşamada) kombinasyonu olan iki aşamalı bir çözüm yaklaşımı önermektedirler. Erkayman ve Gör (2020), bir karar destek sistemi olarak, kan toplama ve dağıtımından sorumlu bir kuruluş için sistemdeki etkili iletişimi destekleyen ve iyileştirme sağlayan Servis Odaklı Mimari (SOA) önermektedir.

Bu genel literatür bilgisinden sonra, çalışmada literatüre katkı sağlayacağı düşünülen bir matematiksel model ve gerçek hayat uygulaması anlatılacaktır. Türk Kızılay'ının tedarik zinciri yapısını inceledikten sonra önerilen matematiksel model ile gerçek hayat uygulaması olarak mevcut bir tedarik zinciri en iyilenmeye çalışılmaktadır. Modelde bulunan bazı parametrelerdeki belirsizlik Verdagay yaklaşımı ile bulanıklaştırılarak giderilmeye çalışılmıştır. Ayrıca önerilen tedarik zinciri, bu alanda ileri de yapılacak yatırımlara da yol gösterici olması beklenmektedir.

## **II. Materyal ve Yöntem**

Bu bölümde kan tedarik zinciri ağ tasarımı problemi için önerilen bulanık karma tam sayılı programlama modeli anlatılacaktır. Öncelikle önerilen karma tam sayılı matematiksel modelde (Karadağ vd., 2021) kullanılacak olan küme, parametre ve değişken tanımları verilecek arkasından model detaylı bir şekilde izah edilecektir.

Problem özellikleri ile ilgili yapılan varsayımlar şu şekildedir;

- BKM'ler, KBM'ler ve MKBA'ların kapasiteleri bilinmektedir.
  - BKM'lerin, KBM'lerin ve MKBA'ların kurulum ve işletme maliyetleri konuma göre değişmektedir ve hepsi bilinmektedir.
  - BKM'ler üç yüz bin ve üzerinde kan verebilir nüfusu (64 yaş ve altında) bulunan yerleşim yerlerinde açılabilir.
  - KBM'ler yüz bin ve üzerinde kan verebilir nüfusu (64 yaş ve altında) bulunan yerleşim yerlerinde açılabilir.
  - Açılan her KBM, bir BKM'ye atanmaktadır.
  - Kullanılacak olan her MKBA, bir BKM'ye atanmaktadır.
  - Bağışçılar, nüfus içerisinde homojen olarak dağılmaktadır ve sınırlıdır.
  - Talepler, nüfus içerisinde homojen olarak dağılmaktadır ve sınırlıdır.
- Modelde kullanılacak olan notasyonlar aşağıdadır.

Çizelge 1. Kümeler ve indisler

Kümeler	Tanım
$I/i$	Kan bağış merkezi aday noktaları ve indisi
$J/j$	Bölge kan merkezi aday noktaları ve indisi
$K/k,m$	Arz/talep noktaları aday noktaları ve indisi
$L/l$	Mobil kan bağış araçları ve indisi

Çizelge 2. Parametreler

Parametreler	Tanım
$A_k$	$k$ noktasının arz miktarı
$D_k$	$k$ noktasının talep miktarı
$c_i^1$	$i$ noktasında açılacak olan KBM kapasitesi
$c_l^2$	$l$ . mobil kan bağış aracının kapasitesi
$c_j^3$	$j$ noktasındaki bölge kan merkezinin kapasitesi
$d_{ij}^1$	$i$ noktasındaki KBM ile $j$ noktasındaki BKM arasındaki uzaklık
$d_{jk}^2$	$j$ noktasındaki BKM ile $k$ talep noktası arasındaki uzaklık
$d_{km}^3$	$k$ arz/talep noktası ile $m$ arz/talep noktası arasındaki uzaklık
$F$	Tedarik zincirinin toplam bütçesi
$f_i^1$	$i$ noktasındaki kan bağış merkezinin toplam kurulum ve işletme maliyeti
$f_j^2$	$j$ noktasındaki bölge kan merkezinin toplam kurulum ve işletme maliyeti
$f_l^3$	$l$ . mobil kan bağış aracının toplam kurulum ve işletme maliyeti
$\gamma_k$	$k$ talep noktası aynı zamanda bir KBM aday noktası ise 1, aksi taktirde 0
$\varphi_k$	$k$ talep noktası aynı zamanda bir BKM aday noktası ise 1, aksi taktirde 0

Çizelge 3. Karar değişkenleri

Değişkenler	Tanım
$p_i$	$i$ noktasında kan bağış merkezi açılırsa 1, aksi taktirde 0
$r_j$	$j$ noktasında bölge kan merkezi açılırsa 1, aksi taktirde 0
$s_l$	$l$ . mobil kan bağış aracı kullanılırsa 1, aksi taktirde 0
$u_{ij}^1$	$i$ . KBM $j$ . BKM'ye atanırsa 1, aksi taktirde 0
$u_{jk}^2$	$k$ talep noktası $j$ . BKM'ye atanırsa 1, aksi taktirde 0
$u_{lj}^3$	$l$ . MKBA $j$ . BKM'ye atanırsa 1, aksi taktirde 0
$x_k^1$	Kan bağış merkezinin $k$ arz noktasından topladığı kan bağış miktarı
$x_{kl}^2$	$l$ . MKBA'nın $k$ arz noktasından topladığı kan bağış miktarı
$y_{ij}^1$	$i$ . KBM'den $j$ . BKM'ye aktarılan kan bağış miktarı
$y_{lj}^2$	$l$ . MKBA'dan $j$ . BKM'ye aktarılan kan bağış miktarı

$z_{jk}$	$j$ . BKM'den $k$ talep noktasına aktarılan talep miktarı
$\theta_{kl}$	$k$ arz noktası $l$ . mobil kan bağış aracı tarafından ziyaret edilmiş ise 1, aksi takdirde 0
$\beta_{lkm}$	$l$ . mobil kan bağış aracı $k$ noktasından $m$ noktasına hareket etmişse 1, aksi takdirde 0
$v_{kl}$	$l$ . mobil kan bağış aracının $k$ noktasına geliş sırası

Önerilen modelde amaç fonksiyonu üç farklı amaçtan oluşmaktadır. İlk bölüm, kan bağış merkezleri ile bölge kan merkezleri arasındaki mesafeyi minimize etmektedir. İkinci bölüm bölge kan merkezleri ile talep noktaları arasındaki mesafeyi minimize etmektedir. Son bölüm ise mobil kan bağış araçlarının ziyaret etmesi gereken noktalardan oluşan rotayı minimize etmektedir. Üç amaç aynı amaç fonksiyonunda aynı öneme sahip olmamasından dolayı konu ile ilgili uzman görüşü alınmış, kullanımı kolay ve etkili bir yöntem olan Analitik Hiyerarşik Proses (AHP) değerlendirme yöntemi ile amaçlar “tedarik zincirinde yaratacağı toplam maliyet” kriterine göre ağırlıklandırılmış ve amaç fonksiyonu bu şekilde elde edilmiştir.

$$Enk \ 0,409 \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} (d_{ij}^1 u_{ij}^1) + 0,386 \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} (d_{jk}^2 u_{jk}^2) + 0,204 \sum_{l \in L} \sum_{k \in K} \sum_{m \in K} (d_{km}^3 \beta_{lkm})$$

Öyle ki;

$$\sum_{j \in J} u_{ij}^1 = p_i \quad i \in I \quad (2)$$

Kısıt 2, açılan her kan bağış merkezini, bir bölge kan merkezine atamaktadır. Şöyle ki, eşitliğin sağ tarafı  $i$  noktasında kan bağış merkezi açılırsa 1 olur, sol tarafı ise ilgili kan bağış merkezini bölge kan merkezlerine bağlayan bağlantı değişkenlerinin toplamını  $p_i$ 'e eşitler.

$$u_{ij}^1 \leq r_j \quad i \in I, j \in J \quad (3)$$

Kısıt 3, kan bağış merkezi ile bölge kan merkezi arasındaki bağlantıyı sağlar.  $j$  noktasında bir bölge kan merkezi açılırsa sağ taraf değeri 1 olur, sol taraftaki bağlantı değişkeni ise eğer kan bağış merkezi ile bölge kan merkezi arasında bağlantı varsa 1 olabilir aksi halde 0 olmaktadır.

$$\sum_{j \in J} u_{jk}^2 = 1 \quad k \in K \quad (4)$$

Kısıt 4, her talep noktasını bir bölge kan merkezine atamaktadır. Her talep noktası için bölge kan merkezleri üzerinden bağlantı değişkenlerinin toplamının 1 olması ile sağlanmaktadır.

$$u_{jk}^2 \leq r_j \quad j \in J, k \in K \quad (5)$$

Kısıt 5, talep noktası ile bölge kan merkezi arasındaki bağlantıyı sağlar.  $j$  noktasında bir bölge kan merkezi açılırsa sağ taraf değeri 1 olur, sol taraftaki bağlantı değişkeni ise eğer talep noktası ile bölge kan merkezi arasında bağlantı varsa 1 olabilir aksi halde 0 olmaktadır.

$$\sum_{j \in J} u_{lj}^3 = s_l \quad l \in L \quad (6)$$

Kısıt 6, her mobil kan bağış aracını bir bölge kan merkezine atamaktadır. Eşitliğin sağ tarafı  $l$ . mobil kan bağış aracı kullanılıyorsa 1 olur, sol tarafı ise ilgili mobil kan bağış aracını bölge kan merkezlerine bağlayan bağlantı değişkenlerinin toplamını 1 yapar.

$$u_{lj}^3 \leq r_j \quad j \in J, l \in L \quad (7)$$

Kısıt 7, mobil kan bağış aracı ile bölge kan merkezi arasındaki bağlantıyı sağlar.  $j$  noktasında bir bölge kan merkezi açılırsa sağ taraf değeri 1 olur, sol taraftaki bağlantı değişkeni ise eğer mobil kan bağış aracı ile bölge kan merkezi arasında bağlantı varsa 1 olabilir aksi halde 0 olmaktadır.

$$\sum_{i \in I} p_i f_i^1 + \sum_{j \in J} r_j f_j^2 + \sum_{l \in L} s_l f_l^3 \leq F \quad (8)$$

Kısıt 8, bütçe kısıtıdır. Sistemdeki bütün unsurların kurulum ve işletme maliyetleri toplamı, Türk Kızılay'ı tarafından tahsis edilen toplam bütçeyi aşamaz.

$$\theta_{kl} = \sum_{m \in K} \beta_{lkm} \quad k \in K, l \in L \quad (9)$$

Kısıt 9,  $l$ . mobil kan bağış aracının  $k$  noktasına uğrayıp uğramadığını kontrol etmektedir.

$$\sum_{k \in K} \beta_{ljk} = u_{lj}^3 \quad j \in J, l \in L \quad (10)$$

$$\sum_{k \in K} \beta_{lkj} = u_{lj}^3 \quad j \in J, l \in L \quad (11)$$

Kısıt 10 ve kısıt 11 birlikte değerlendirilmelidir.  $j$  noktasında bulunan bir bölge kan merkezine atanan  $l$ . mobil kan bağış aracının, bu iki kısıt ile  $j$  noktasından harekete başlaması ve tekrar  $j$  noktasına dönmesi sağlanmaktadır.

$$\sum_{k \in K} \sum_{m \in K} \beta_{lkm} \leq s_l |K|^2 \quad l \in L \quad (12)$$

Kısıt 12, eğer  $l$ . mobil kan bağış aracı kullanılmıyorsa, noktalar arasındaki hareketini engellemektedir.

$$\sum_{k \in K} \beta_{lkm} = \sum_{k \in K} \beta_{lmk} \quad l \in L, m \in K \quad (13)$$

Kısıt 13,  $l$ . mobil kan bağış aracının ziyaret ettiği noktadan çıkmasını sağlamaktadır.

$$v_{kl} - v_{ml} + |K| \beta_{lkm} \leq |K| - 1 \quad k \in K, l \in L, m \in K: \gamma_k \neq 1, \gamma_m \neq 1, k \neq m \quad (14)$$

Kısıt 14, her mobil kan bağış aracı için alt tur oluşmasını engelleyen kısıttır.

$$x_k^1 + \sum_{l \in L} x_{kl}^2 \leq A_k \quad k \in K \quad (15)$$

Kısıt 15,  $k$  noktasının arz miktarının, ne kadarının kan bağış merkezi ve ne kadarının mobil kan bağış araçları tarafından toplandığını belirleyen kısıttır. Toplanan arz en fazla  $k$  noktasının arz miktarı kadar olabilir.

$$x_k^1 \leq c_k^1 p_k \quad k \in K: \varphi_k = 1 \quad (16)$$

Kısıt 16,  $k$  noktasında bir kan bağış merkezi varsa, toplanan arz miktarının kan bağış merkezinin kapasitesini aşmamasını sağlamaktadır.

$$\sum_{k \in K} x_{kl}^2 \leq c_l^2 \quad l \in L \quad (17)$$

Kısıt 17,  $l$ . mobil kan bağış aracının topladığı kan bağış miktarının, mobil kan bağış aracının kapasitesini aşmamasını sağlamaktadır.

$$x_{kl}^2 \leq c_l^2 \theta_{kl} \quad k \in K, l \in L \quad (18)$$

Kısıt 18,  $k$  arz noktası ile  $l$ . mobil kan bağış aracı arasındaki bağlantıyı sağlar.  $l$ . mobil kan bağış aracı  $k$  arz noktasını ziyaret ederse  $\theta_{kl}$  değişkeni 1 değerini alır ve aralarında bir bağlantı sağlanır. Bu durumda  $l$ . mobil kan bağış aracı kapasitesini aşmayacak şekilde arz toplar.

$$\sum_{i \in I} y_{ij}^1 + \sum_{l \in L} y_{ij}^2 \leq c_j^3 \quad j \in J \quad (19)$$

Kısıt 19,  $j$  noktasındaki bölge kan merkezine, kan bağış merkezleri ve mobil kan bağış araçlarından transfer edilen kan bağış miktarının bölge kan merkezinin kapasitesini aşmamasını garanti eder.

$$y_{ij}^1 \leq u_{ij}^1 c_j^3 \quad i \in I, j \in J \quad (20)$$

Kısıt 20,  $j$  noktasındaki bölge kan merkezi ile  $i$  noktasındaki kan bağış merkezi arasındaki bağlantıyı sağlar.  $u_{ij}^1$  değişkeni 1 değerini alırsa aralarında bir bağlantı sağlanır ve  $i$  noktasındaki kan bağış merkezi, bölge kan merkezinin kapasitesini aşmayacak şekilde kan bağış transferi gerçekleştirir.

$$y_{ij}^2 \leq u_{ij}^3 c_j^3 \quad j \in J, l \in L \quad (21)$$

Kısıt 21,  $j$  noktasındaki bölge kan merkezi ile  $l$ . mobil kan bağış aracı arasındaki bağlantıyı sağlar.  $u_{ij}^3$  değişkeni 1 değerini alırsa aralarında bir bağlantı sağlanır ve  $l$ . mobil kan bağış aracı, bölge kan merkezinin kapasitesini aşmayacak şekilde kan bağış transferi gerçekleştirir.

$$x_k^1 = \sum_{j \in J} y_{kj}^1 \quad k \in K: \varphi_k = 1 \quad (22)$$

Kısıt 22, kan bağış merkezinin topladığı kan bağış arz miktarı ile bölge kan merkezine transfer ettiği kan bağış miktarının birbirine eşit olmasını sağlar.

$$\sum_{k \in K} x_{kl}^2 = \sum_{j \in J} y_{ij}^2 \quad l \in L \quad (23)$$

Kısıt 23, mobil kan bağış aracının topladığı kan bağış arz miktarı ile bölge kan merkezine transfer ettiği kan bağış miktarının birbirine eşit olmasını sağlar.



$$\sum_{j \in J} z_{jk} = D_k \quad k \in K \quad (24)$$

Kısıt 24, bölge kan merkezlerinden  $k$  noktasının talebi kadar kan talebinin karşılanmasını sağlamaktadır.

$$z_{jk} \leq u_{jk}^2 D_k \quad j \in J, k \in K \quad (25)$$

Kısıt 25, bölge kan merkezleri ile  $k$  talep noktası arasındaki bağlantıyı sağlar.  $u_{jk}^2$  değişkeni 1 değerini alırsa aralarında bir bağlantı sağlanır ve  $j$  noktasındaki bölge kan merkezi tarafından  $k$  noktasının talebi karşılanır.

$$\sum_{i \in I} y_{ij}^1 + \sum_{l \in L} y_{lj}^2 \geq \sum_{k \in K} z_{jk} \quad j \in J \quad (26)$$

Kısıt 26,  $j$  noktasındaki bölge kan merkezine transfer edilen arz miktarının, bu merkezden karşılanan talep miktarından fazla olmasını sağlamaktadır.

$$p_i, r_j, s_l, u_{ij}^1, u_{jk}^2, u_{lj}^3, \theta_{kl}, \beta_{lkm} \in \{0,1\} \quad (27)$$

$$x_k^1, x_{kl}^2, y_{ij}^1, y_{lj}^2, z_{jk}, v_{kl} \geq 0 \quad (28)$$

Kısıt 27 ve Kısıt 28 değişken tiplerini belirtmektedir.

Kan tedarik zincirini bilimsel araştırma konusu olarak ilgi çekici yapan sebeplerden en önemlisi doğası gereği sahip olduğu belirsizliklerdir. Kan ve kan ürünlerinin kısa raf ömrünün olması, arz ve talep miktarlarının belirsizliği, kan gruplarının bulunması kan tedarik zinciri içerisindeki belirsiz değişkenlerdir. (Zahiri ve diğ., 2018). İnsanların kan bağışında bulunma davranışlarını etkileyen oldukça fazla sayıda etken bulunmaktadır. Aynı şekilde kan ihtiyaçları da hastalıklarla ilgilidir. Öngörülemeyen hastalıklar ve cerrahi operasyonlar kan ihtiyacında da belirsizliği karşımıza çıkarmaktadır. Bu belirsizliğin üstesinden gelmek için literatürde robust optimizasyon yaklaşımı (Ramezani ve Behboodi, 2017; Jafarkhan ve Yaghoubi, 2018; Heidari-Fathian ve Pashandideh, 2018; Diabat ve diğ., 2019), stokastik optimizasyon yaklaşımı (Dillon ve diğ., 2017; Ensafian ve diğ., 2017; Hamdan ve Diabat, 2020b) veya bulanık optimizasyon yaklaşımından (Eskandari-Khanghahi ve diğ., 2018; Samani ve Hosseini-Motlagh, 2019) faydalanılmıştır.

Parametrelerdeki belirsizliği modele taşımak için doğrusal programlama modellerine büyük bir esneklik getiren yöntemlerden bir tanesi bulanık doğrusal programlama

yaklaşımıdır. Bulanık doğrusal programlamada amaç, amaç fonksiyonunu belirli bir tatmin derecesiyle ele alarak, bulanık ortamda optimal karara ulaşmaktır. Bulanıklık şeklinin ele alınış şekline göre bulanık doğrusal programlama modelleri ve çözüm yaklaşımları sınıflandırılmaktadır. İlk sınıflandırma yapan araştırmacı Zimmermann (Zimmermann, 1976&1978), modelde hem amaç hem kısıtlarda bir bulanıklık olduğu durumda simetrikliğin söz konusu olduğunu ifade etmiştir.

Bulanıklık bir doğrusal programlama modelinde üç şekilde ele alınabilir (Verdegay, 1984)

	Amaç fonksiyonu	Kısıtlar
1. Durum	Biliniyor	Bulanık
2. Durum	Bulanık	Biliniyor
3. Durum	Bulanık	Bulanık

Çalışmamızda arz ve talepten kaynaklanan belirsizliği telafi edebilmek amacıyla arz ve tedarik ilgili kısıtlar (kısıt 15, kısıt 24 ve kısıt 25) Verdagay yaklaşımı kullanılarak bulanık hale getirilmiştir. Verdagay yaklaşımı ile parametrik bir model ve parametrik çözüm kümesi elde edilmiştir.

#### Verdagay Yaklaşımı (Verdagay Approach)

Verdegay, bulanık doğrusal programlama problemlerinde kısıtlarda sağ taraf değerlerinde bulanıklık bulunuyorsa, ilgili problemlerin parametrik programlama problemine kesin olarak eşdeğer olduğunu ispatlayan ilk araştırmacıdır. (Verdegay, 1982)

Sağ taraf sabitleri bulanık olan doğrusal programlama modelinin genel formülasyonu şu şekildedir;

$$\text{Enb } Z = c^T x$$

$$S_x \leq \tilde{u}$$

$$x \geq 0$$

Verdegay'a göre bulanık kısıtların üyelik fonksiyonları şu şekilde tanımlanır;

$$\mu(Sx)_i = \begin{cases} 0, & (Sx)_i > u_i + p_i \\ 1 - \frac{(Sx)_i - b_i}{p_i}, & (Sx)_i \leq u_i + p_i \\ 1, & (Sx)_i < u_i \end{cases}$$

Bu tanıma göre model düzenlenirse model,

$$\text{Enb } Z = c^T x$$

$$S_x \leq u_i + (1 - \alpha)p_i$$

$$x \geq 0$$

$$\alpha \in [1,0]$$

şeklinde olmaktadır. Burada  $p_i$  karar verici tarafından sistematik veya sistematik olmayan yoldan tanımlanan toleranstır. Modelde bulanıklık bulunan kısıttaki  $(1-\alpha)$  ifadesi yerine de  $\zeta$  yazarsak,  $\zeta$  parametresine bağlı parametrik bir çözüm elde ederiz. Dolayısı ile elde edilecek karar kümesi de bulanık bir yapıda olacaktır. Karar vericiye  $\zeta$  parametresine bağlı parametrik sonuçlar tablosu sunulur, karar vericide modelde bulunmayan etkenleri de göz önünde bulundurarak uygulama için en iyi çözümü seçer. Seçilen çözüm model için en iyi çözüm olmayabilir ancak karar vericiler açısından en uygun çözümdür. (Lai ve Wang, 1992)

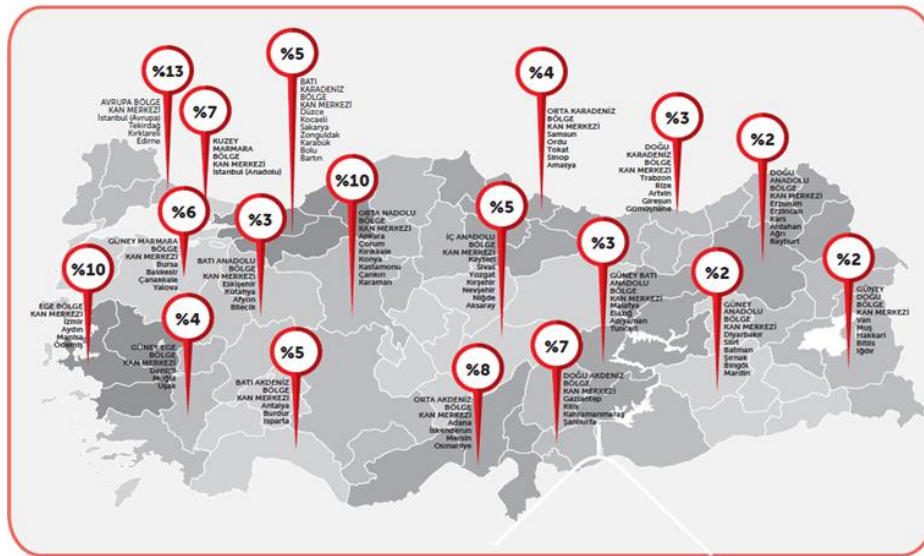
### III. Bulgular

Bu bölümde incelenen problem için önerilen modelin uygulanabilirliği gerçek hayat uygulaması ile gösterilmeye çalışılacak ve elde edilen sonuçlar tartışılacaktır. Türk Kızılay'ı kan hizmetleri genel müdürlüğü her sene bir önceki sene kan tedarik zinciri faaliyetlerini raporlar ve kanver.org internet sitesi aracılığı ile yayımlar. En son yayımlanan faaliyet raporu 2019 senesine aittir. Bu rapora göre en düşük kan bağışının olduğu bölge bir kısım Doğu Anadolu ve bir kısım Güney Doğu Anadolu bölgeleridir. Şekil 2 incelenirse bu bölgelerde üç farklı tedarik zincirinin var olduğu görülür. Doğu Anadolu, Güney Anadolu ve Güney Doğu bölge kan merkezleri olarak isimlendirilmiştir. Diyarbakır, Erzurum ve Van'da olmak üzere 3 tane BKM, Diyarbakır, Mardin, Siirt, Batman, Erzurum, Erzincan, Kars, Van ve Muş'ta olmak üzere 9 KBM ve kullanılabilir durumda olan toplam 23 adet MKBA bulunmaktadır. En az gelişmiş bu bölgelerdeki kan tedarik zincirinin en iyilenmesi ve geliştirilmesi amacıyla, bu bölgelerde bulunan 17 il ve bu illere bağlı yerleşim birimleri problemimizde ele alacağımız verilerimizin temelini oluşturmaktadır. Burada bulunan kan verebilir nüfus, toplam nüfusun yaklaşık olarak %11'ini oluşturmaktadır ancak toplam kan arzının %6'sı bu bölgelerden toplanmıştır.

Bölgede bulunan şehir merkezlerine ait Kızılay'dan alınan veriler ile hazırlanan arz ve talep miktarları aşağıdaki çizelge 4'de özetlenmiştir. Çizelge 4'e göre Kızılay bazı şehirlerde hizmet vermeye devam ederken (aktif durumda), bazı şehirlerde mevcut verilere göre hizmet vermemektedir (pasif durumda) veya ilgili veri ve bilgi kaydı bulunmamaktadır. Öncelikle bağışçıların nüfus içerisinde homojen bir şekilde bulunduğu varsayımından hareket ederek, her şehir için kan bağışında bulunabilir nüfusu, o şehirden toplanan bağış miktarına bölünmüştür ve arz katsayısı hesaplanmıştır. Bu katsayılar kendisine en yakın konumda bulunan pasif şehirler için kullanılmıştır ve pasif şehirler için arz miktarları, pasif şehrin kan bağışında bulunabilir nüfusu ile ilgili arz katsayısının çarpılması ile belirlenmiştir. Böylelikle bölgede 2019 yılına ait toplam potansiyel kan bağış miktarını belirlenmiştir. Aynı prosedür talep için de gerçekleştirilmiştir. Ancak burada Kızılay'ın faaliyet kitabında bulunan 2019 talep

bileşenlerinden eritrosit süspansiyonu, taze donmuş plazma, aferez trombosit ve havuzlanmış trombosit bilgilerinden faydalanılmıştır. Bir ünite kandan bir ünite eritrosit, bir ünite plazma ve 1/6 ünite trombosit elde edildiği tıbbi varsayımında bulunulmuştur. Bir ünite kan talebi tıbbi bu bilgiler kullanılarak hesaplanmıştır. Ayrıca, kapasite bilgileri, maliyet bilgileri ve toplam bütçe bilgisi de Kızılay'dan elde edilmiştir. Bunun dışında bütün yerleşim birimleri arasında uzaklıklar Kara Yolları Genel Müdürlüğü il ve ilçeler arası mesafe cetveli kullanılarak belirlenmiştir.

#### 2019 YILINDA TOPLANAN KAN BAĞIŞLARININ BÖLGELERE GÖRE DAĞILIMI



Şekil 2. Kan Bağışlarının Bölgelere Göre Dağılımı (Kızılay 2019 kghm faaliyet kitabı)

İncelenen bölgelerde toplam 138 adet yerleşim birimi (il merkezleri ve ilçelerden oluşan) belirlenmiştir. Ele aldığımız illerden Diyarbakır büyük şehrin merkez ilçelerini nüfusun fazla olması sebebiyle ayrı ayrı yerleşim birimi olarak dikkate alınmıştır. Tedarik zincirinin toplamda 6 adet BKM aday noktası, 26 adet KBM aday noktası ve kullanılabilir durumda 23 adet MKBA olduğu, probleme dair varsayımların kullanılması ile tespit edilmiştir. Yukarıda detaylarını anlatılan arz ve talep miktarları toplamı temel senaryoda sırası ile 251091 ünite arz ve 125725 ünite taleptir. Bu talep ve arz miktarındaki belirsizliğin üstesinden gelmek amacıyla kan arzı ve talebi bulanık bir hale getirilmiştir.  $p_i$  tolerans miktarı arz ve talep için ayrı ayrı 138 verinin ortalaması alınarak belirlenmiştir. Her senaryo, temel senaryodaki her bir verinin  $\zeta$  parametre değeri ile çarpılması ve bu değere  $p_i$  tolerans miktarının eklenmesi ile belirlenmiştir. Böylece parametrik olan temel senaryo ile birlikte arz ve talep miktarları farklılaşan toplam on farklı senaryo oluşturulmuştur.  $\zeta$  parametresine bağlı parametrik senaryo bilgileri çizelge 5'de bulunmaktadır. Modelden senaryo sonuçlarını elde edebilmek için, model

formülasyonu Intel Core i7 - 4770 CPU 3.40 GHz masaüstü bilgisayarında, Microsoft Visual Studio 2017 programı kullanılarak C# programlama dilinde kodlanmış ve Gurobi81.NET çözücüsü kullanılmıştır. Ayrıca her bir deney 6 saatlik sınırlı sürede çözdürülmüştür.

**Çizelge 4.** Kızılay'ın Doğu Anadolu ve Güney Doğu Anadolu Bölgesi Şehirleri

Şehir	Aktif/Pasif	Arz	Talep
Diyarbakır	Aktif	40496	23823
Van	Aktif	37872	10198
Mardin	Aktif	11174	11307
Erzurum	Aktif	41032	20437
Batman	Aktif	11043	8288
Ağrı	Pasif	17724	4773
Şırnak	Pasif	9826	7303
Muş	Aktif	9751	3627
Bitlis	Pasif	8285	3082
Siirt	Aktif	6025	4478
Kars	Aktif	12027	7705
Hakkâri	Pasif	8468	2280
Bingöl	Pasif	6543	2434
Erzincan	Aktif	15072	6051
Iğdır	Pasif	8533	5467
Ardahan	Pasif	3886	2490
Bayburt	Pasif	3333	1984
Toplam		251091	125727

**Çizelge 5.** Senaryolar

Senaryolar	$\zeta$ parametresi	Arz miktarı	Talep miktarı
1	0,0	251091	125725
2	0,1	276200	138298
3	0,2	301309	150870
4	0,3	326418	163443
5	0,4	351527	176016
6	0,5	376636	188588

7	0,6	401745	201161
8	0,7	426854	213733
9	0,8	451963	226306
10	0,9	477072	238878

Çizelge 6'da bulunan senaryo 1 sonuçları incelendiğinde BKM ve KBM'lerin bulunduğu konumlar, BKM'lere atanması gereken MKBA'lar görülmektedir. Ayrıca tam sayılı problemlerin çözümünde ticari çözümlerin hesapladığı alt sınır ile üst sınır arasındaki farkı yüzde olarak belirten %Gap değeri de bulunmaktadır. Bu değer optimum çözüme ne kadar yaklaştığını ifade etmektedir. Belirlenen bütün BKM aday noktalarında, BKM'ler açılmıştır. Bu BKM'lere bağlı olacak 11 adet KBM açılmıştır. Ayrıca açılan 1 BKM için gereken talep MKBA kullanılmadan toplanabilmektedir. Diğer senaryolardan elde edilen sonuçlar da çizelge 7'de özetlenmiştir.

Çizelge 6'da bulunan senaryo 1 sonuçları incelendiğinde BKM ve KBM'lerin bulunması gereken konumlar, BKM'lere atanması gereken MKBA'lar görülmektedir. Ayrıca tam sayılı problemlerin çözümünde ticari çözümlerin hesapladığı alt sınır ile üst sınır arasındaki farkı yüzde olarak belirten %Gap değeri de bulunmaktadır. Bu değer optimum çözüme ne kadar yaklaştığını ifade etmektedir. Belirlenen bütün BKM aday noktalarında, BKM'ler açılmıştır. Bu BKM'lere bağlı olacak 11 adet KBM açılmıştır. Ayrıca açılan 1 BKM için gereken talep MKBA kullanılmadan toplanabilmektedir. Diğer senaryolardan elde edilen sonuçlar da çizelge 7'de özetlenmiştir.

**Çizelge 6.** Senaryo 1 sonuçları

Amaç fonksiyonu	BKM'ler	KBM'ler	MKBA'lar
7667,13	Bağlar/Diyarbakır	-	5 MKBA
	Kayapınar/Diyarbakır	Yenişehir/Diyarbakır	
		Sur/Diyarbakır	1 MKBA
		Ergani/Diyarbakır	
Van/Merkez	Van/Merkez		
	Erciş/Van	-	
% Gap	Patnos/Ağrı		
%3,8	Mardin/Merkez	Mardin/Merkez	1 MKBA
	Erzurum/Merkez	Kayapınar/Diyarbakır	
		Erzurum/Merkez	9 MKBA
		Erzincan/Merkez	
Batman/Merkez	Batman/Merkez	4 MKBA	

Çizelge 7'de bulunan senaryoların sonuçları incelenirse, arz ve talepteki artışın belirli bir oranda amaç fonksiyonuna da yansıtıldığı görülür. Sadece amaç fonksiyonu değerine bakarak senaryo 1'in sonucu en iyi senaryo sonucu olarak görülebilir ancak arz ve

miktarlarındaki değişimin diğer senaryo sonuçlarını etkilemesinden dolayı, hangi senaryo ve sonucunun kullanılması gerektiği ile ilgili karar karar verici(ler) tarafından değerlendirilmelidir. Model, Diyarbakır iline bazı senaryolarda iki tane, bazı senaryolarda bir tane BKM açmaktadır. Bunun dışında Mardin/Merkez ve Batman/Merkez konumlarında tüm senaryolarda BKM açıldığı görülmektedir. Arz ve talepteki değişime göre açılan KBM ve kullanılan MKBA sayıları değişmekte olsa da, genel olarak 10-12 KBM ile 20-23 adet MKBA kullanımı ile mevcut sistemden talep için gereken arzın toplanabileceği öngörülebilmektedir.

**Çizelge 7.** Senaryo sonuçlarının genel özeti

Senaryolar	Amaç fonksiyonu	% Gap	BKM	KBM	MKBA
1	7667,13	%3,8	6	11	20
2	7986,29	%7,56	6	12	19
3	8450,40	%12,3	5	17	10
4	8217,29	%9,26	5	16	13
5	9289,62	%19,5	6	12	19
6	9408,95	%20,1	6	11	21
7	8758,96	%14,1	6	12	19
8	10586,10	%28	5	12	23
9	10693,43	%27,6	6	10	23
10	9707,28	%19,4	5	12	23

#### IV. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, kan tedarik zinciri ağ tasarımı problemine bir bulanık karma tam sayılı programlama modeli önerisinde bulunulmuştur. Bilindiği üzere, kan tedarik zincirlerinde çeşitli belirsizlik kaynakları bulunmaktadır. Bu belirsizlik kaynaklarından en önemlisi de kan bağışında ve kan talebinde belirsizliğin bulunmasıdır. Önerilen karma tam sayılı modelde arz ve talep ile ilgili kısıtlar, Verdegay yaklaşımından hareket ederek bulanıklaştırılmış ve bulanık karma tam sayılı programlama modeli elde edilmiştir. Bulanıklığın bulunduğu kısıtlara yazılan parametreye bağlı olarak parametrik senaryolar elde edilmiş ve bu senaryolar Gurobi çözücüsü yardımıyla sınırlı bir süre içerisinde çözdürülmüştür.

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde mevcut tedarik zincirinden farklı olarak ilgili karar vericilere şu tavsiyelerde bulunulabilir;

- Önerilen tedarik zincirleri, mevcut mülki yapıya bağlı olarak değil, tamamen bulunduğu konum ve kan arzı & talebi değerlendirilerek elde edilmektedir. Bu

Kızılay'ın tedarik zinciri yapısında bazı değişikliklere gitmesine sebep olabilir. Her bir yerleşim birimi önerilen tedarik zincirlerinde tek tek değerlendirilmektedir. Örneğin, mevcut tedarik zincirinde Ağrı'da bulunan bütün yerleşim birimleri mülki yapı gereği ancak Erzurum BKM'sine veya Van BKM'sine arz iletebilir veya talepte bulunabilirken, önerilen tedarik zinciri ile yerleşim birimlerinin bir kısmının Erzurum'da, bir kısmının Van'da bulunan BKM'ye ilemesi daha optimum bir çözüm olabilir.

- Senaryolardan elde edilen sonuçlar incelendiğinde mevcut tedarik zincirlerinin gelecekte yatırım olarak geliştirilmesi ve büyümesi istenirse, kesinlikle Mardin/Merkez ve Batman/Merkez'de BKM açılmalıdır.
- Kızılay'ın 2019 yılı faaliyet raporuna göre tüm Türkiye'de 2809237 ünite kan arzı toplanmıştır. Bunların 2076098 ünitesi yaklaşık %74'ü mobil birimler sayesinde toplanmıştır. Bu da ülkemizdeki vatandaşlarımızın genel olarak daha çok bir KBM'ye gitmek yerine gezici ekipler sayesinde kan bağışında bulduklarını göstermektedir. Eğer yasal bir düzenleme ile kan bağışı ülkemizde zorunlu hale getirilmeyecekse, karar vericilerin daha çok MKBA'ların kullanıldığı senaryo sonuçlarını dikkate almaları beklenebilir.

#### **Teşekkür**

Bu çalışma Atatürk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince Desteklenmiştir. Proje numarası: FOA-2020-8742 (This work was supported by Research Fund of the Ataturk University. Project Number: FOA-2020-8742)

#### **Kaynaklar**

- Beliën, J. and Forcé, H., (2012). "Supply chain management of blood products: A literature review", *European Journal of Operational Research*, 217: 1-16.
- Bruno, G., Diglio, A., Piccolo, C., Cannavacciuolo, L., (2019). "Territorial reorganization of regional blood management systems: Evidences from an Italian case study", *Omega*, 89: 54-70.
- Diabat, A., Jabbarzadeh, A., Khosrojerdi, A., (2019). "A perishable product supply chain network design problem with reliability and disruption considerations", *International Journal of Production Economics*, 212: 125-138.
- Dillon, M., Oliveira, F., Abbasi, B., (2017). "A two-stage stochastic programming model for inventory management in the blood supply chain", *International Journal of Production Economics*, 187: 27-41.
- Ensafian, H. and Yaghoubi, S., (2017). "Robust optimization model for integrated procurement production and distribution in platelet supply chain", *Transportation Research Part E*, 103: 32-55.



- Ensafian, H., Yaghoubi, S., Yazdi, M.M., (2017). "Raising quality and safety of platelet transfusion services in a patient-based integrated supply chain under uncertainty", *Computers and Chemical Engineering*, 106: 355-372.
- Erkayman, B., and Gör, M., S., (2020). "A decision support system for healthcare system quality improvement in blood centres: a case from Turkey", *Enterprise Information Systems*, 14:7, 101-1026, <https://doi.org/10.1080/17517575.2019.1632384>
- Eskandari-Khanghahi, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., Taleizadeh, A.A., Amin, S.H., (2018). "Designing and optimizing a sustainable supply chain network for a blood platelet bank under uncertainty", *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 71: 236-250.
- Hamdan, B., and Diabat, A., (2020b). "Robust design of blood supply chains under risk of disruptions using Lagrangian relaxation", *Transportation Research Part E*, 134: 101764.
- Hamdan, B., and Diabat, A., (2020a). "Predicting solutions of large-scale optimization problems via machine learning: A case study in blood supply chain management", *Computers and Operations Research*, 119: 104941.
- Hamdan, B., and Diabat, A., (2019). "A two-stage multi-echelon stochastic blood supply chain problem", *Computers and Operations Research*, 101: 130-143.
- Heidari-Fathian, H. and Pasandideh, S.H.R., (2018). "Green-blood supply chain network design: Robust optimization, bounded objective function & Lagrangian relaxation", *Computers & Industrial Engineering*, 122: 95-105.
- Jafarkhan, F. and Yaghoubi, S., (2018). "An efficient solution method for the flexible and robust inventory-routing of red blood cells", *Computers & Industrial Engineering*, 117: 191-206.
- Karadağ, İ., Keskin, M.E., Yiğit, V., (2021). "Re-design of a blood supply chain organization with mobile units", *Soft Computing*, 25, 6311-6327.
- Lai, Y.-J., and Hwang, C.-L., (1992). "Fuzzy Mathematical Programming: Methods and Applications", Berlin, Springer-Verlag.
- Nagurney, A., Masoumi, A.H., Yu, M., (2012). "Supply chain network operations management of a blood banking system with cost and risk minimization", *Computational Management Science*, 9: 205–231.
- Osorio AF, Brailsford SC, Smith HK, (2015). "A structured review of quantitative models in the blood supply chain: a taxonomic framework for decision-making", *International Journal of Production Research*, 53(24), 7191–7212.
- Pirabán, A., Guerrero, W.J., Labadie, N., (2019). "Survey on blood supply chain management: Models and methods", *Computers and Operations Research*, 112: 104756.

- Ramezani, R. and Behboodi, Z., (2017). "Blood supply chain network design under uncertainties in supply and demand considering social aspects", *Transportation Research Part E*, 104: 69-82.
- Samani, M.R.G., and Hosseini-Motlagh, S.M., (2019). "An enhanced procedure for managing blood supply chain under disruptions and uncertainties", *Annals of Operations Research*, 283(1-2): 1413-1462.
- Şahin, G., Süral, H., Meral, S., (2007). "Locational analysis for regionalization of Turkish Red Crescent blood services", *Computers and Operations Research*, 34: 692–704.
- Verdegay, J. L., (1984). "A Dual Approach to Solve the Fuzzy Linear Programming Problem", *Fuzzy Sets and Systems*, 14, 131-141.
- Zahiri B, Torabi SA, Mohammadi M, Aghabegloo M, (2018). "A multistage stochastic programming approach for blood supply chain planning", *Computers & Industrial Engineering*, 122, 1–14.
- Zahiri, B. and Pishvae, M.S., (2017). "Blood supply chain network design considering blood group compatibility under uncertainty", *International Journal of Production Research*, 55(7): 2013-2033.
- Zahiri, B., Torabi, S.A., Mousazadeh, M., Mansouri, S.A., (2015). "Blood collection management: Methodology and application", *Applied Mathematical Modelling*, 39: 7680 –7696.
- Zimmermann, H.-J., (1976), "Description and optimization of fuzzy systems", *International Journal of General Systems*, 2, 209-215.
- Zimmermann, H.-J. (1978). "Fuzzy programming and linear programming with several objective functions", *Fuzzy Sets and Systems*, 1, 45-55.