ACİL SERVİS ARAÇLARI YERLEŞİMİNİN BELİRLENMESİNDE YENİ BİR MODEL

Hasan SELİM [1]
İrem ÖZKARAHAN [2]
Dokuz Eylül Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü [1]
Dokuz Eylül Üniversitesi Rektörlüğü [2]

ÖZET

Müdahale zamanı acil servis sistemleri için çok önemli bir performans ölçütüdür. Sistem yöneticileri müdahale zamanını azaltmak için araç sayısını arttırabilir veya mevcut araç yerleşim düzenini geliştirebilirler. Araç sayısının arttırılması mali kısıtlar nedeniyle genellikle sınırlı hatta çoğu zaman imkansızdır. Bu durumda etkin bir yerleşimin yapılması büyük önem kazanmaktadır.

Planlamacılara araç yerleşimi kararlarında yardımcı olmak amacıyla oluşturulmuş çok sayıda model bulunmaktadır. Literatürdeki modelleri iki büyük grupta toplamak mümkündür. Bunlar; *kapsama temelli modeller ve p-medyan temelli modeller*' dir.

Bu çalışmada, acil servis araçları ile ilgili kapsama temelli (covering-based) deterministik ve doğrusal bir yerleşim kapsama modeli önerilmiştir. Önerilen model, Hogan ve ReVelle [1986]'nin *Maksimum Yedek Kapsama (Maximal Backup Coverage) Model'* i ile Pirkul ve Schilling [1991]' in *Sınırlı Kapasiteli Maksimum Kapsama Modeli (Capacitated Maximal Covering Model)* temel alınarak oluşturulmuştur. Bir kez ve iki kez kapsanan toplam nüfusun enbüyüklenmesinin yanı sıra ortalama ulaşım mesafesini enküçükleyerek kapsanamayan bölgelere yapılan hizmet düzeyinin arttırılması önerilen modelde yer alan amaçlardır. Önerilen model, Swain [1971]' tarafından ele alınan 55 bölgeli araç yerleşim probleminin verileri ile ve çok amaçlı karar verme problemi yapısı içerisinde ardışık çözüm tekniği kullanılarak test edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Araç yerleşim modelleri, çok amaçlı karar verme, acil servis araçları çizelgelemesi

ABSTRACT

Response time is an important performance measure for emergency service systems. To reduce response times, system administrators may increase the number of vehicles required or improve the deployment of their existing vehicles. Increasing the number of vehicles is generally limited or sometimes impossible due to the capital constraints. In this case, the efficient deployments of emergency service vehicles become a crucial issue.

A vast modeling literature has developed to assist planners in making vehicle location decisions. The models in the literature may be classified into two broad groups: covering-based and p-median based.

In this paper, we propose a new linear deterministic covering-based location model concerned with emergency service vehicles. The proposed model is formed by using Hogan and ReVelle [1986]'s *Maximal Backup Coverage Model* and Pirkul and Schilling [1991]' s *Capacitated Maximal Covering Model* as a base. In addition to the maximization of the population covered once and twice, increasing the level of service to the uncovered demand zone by minimizing the average travel distance to them is aimed with the proposed model. The model was tested through the sequential solution technique of multiple-objective decision making and by using the data of Swain [1971]'s 55-zone vehicle location problem.

Key Words: vehicle location models, multiple-objective decision making, emergency service vehicle scheduling

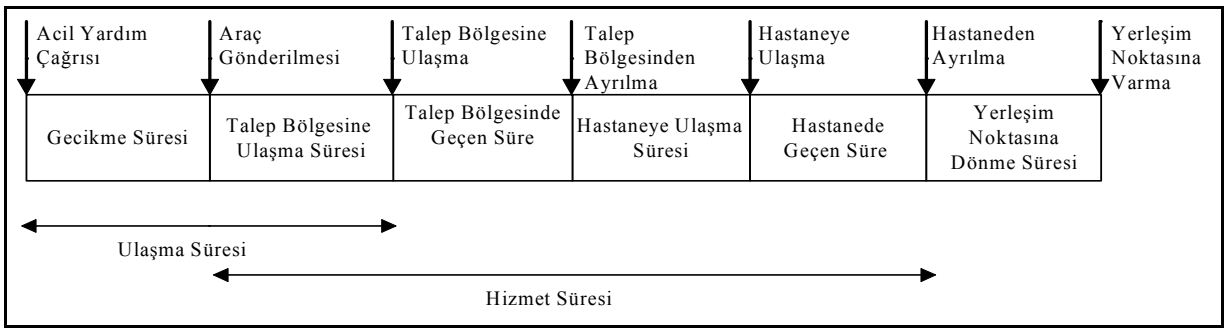
GİRİŞ

Ambulans, itfaiye ve güvenlik gibi acil hizmet sistemleri insan sağlığı ve hayatı ile doğrudan ilişkili oldukları için yüksek düzeyde hizmet sağlamalıdır. Aşağıda, ambulans sistemi örneği ile acil servis sistemlerinde hizmet kalitesinin önemi ve nasıl arttırılabileceği belirtilmiştir.

Bir acil tıbbi hizmet sistemi aşağıdaki alt sistemlerden oluşur.

- Haberleşme
- Ulaştırma
- Tıbbi müdahale

Haberleşme ve ulaştırma alt sistemleri birlikte ambulans sistemi olarak ele alınır. Bir ambulans sistemi, acil yardım isteğinin bildirilmesi ile başlayıp hastanın en uygun tıbbi hizmet birimine ulaştırılmasıyla sona eren bir dizi olayla tanımlanabilir. Şekil 1'de bu olayların tipik sıralaması sunulmaktadır.



Şekil 1. Bir Ambulans Sistemindeki Olaylar Dizisi (Davis, 1981)

Müdahale zamanı ambulans sistemleri için çok önemli bir performans ölçütüdür. Çünkü kaza veya hastalık sonucunda ölüm veya sürekli sakatlık hallerinin oluşma olasılığı tıbbi müdahale zamanının bir fonksiyonudur. Tıbbi müdahale zamanının büyük ölçüde ulaşma zamanından oluştuğu bir durumda (genelde gerçek hayatta böyle bir yapı vardır) ulaşma zamanının azaltılması büyük önem kazanmaktadır.

Sistem yöneticileri araç sayısını arttırarak veya mevcut araç yerleşim düzenini geliştirerek ulaşma zamanını azaltabilir. Araç sayısının arttırılması mali nedenlerden dolayı genellikle kısıtlanmakta hatta bazen imkansız hale gelebilmektedir. Bu durumda, etkin bir araç yerleşiminin sağlanması çok önemli bir amaç haline gelmektedir.

Araç sayısının arttırılmasının veya araç yerleşim düzenindeki değişikliklerin etkisinin ölüm/yaralanma oranı ile değerlendirilmesi yanlış olur. Çünkü bu oran araç sayısı ve araç yerleşim düzeninin yanı sıra pek çok faktörden etkilenmektedir. Bu nedenle, kapsama ve araçların talep bölgelerine ortalama ulaşma mesafesi (veya süresi) gibi bazı yardımcı göstergeler sistem performansını ölçmek amacıyla kullanılmaktadır.

LİTERATÜR İNCELEMESİ

Literatürde, planlamacılara veya sistem yöneticilerine acil yardım araçlarının yerleşimi kararında yardımcı olmak amacıyla geliştirilmiş olan ve optimum veya optimuma yakın araç yerleşimini sağlayan çok sayıda model yer almaktadır. Bu modeller iki büyük gruba ayrılabilir: *Kapsama temelli (covering-based) modeller* ve sistem genelinde ortalama ulaşma mesafesini (veya zamanını) enküçüklemeyi amaçlayan *p-medyan* modelleridir [Daskin ve diğerleri, 1988].

Burada kapsama; bir aracın belirlenmiş bir zaman veya mesafe standardı içerisinde belli bir bölgedeki acil yardım çağrılarına ulaşabilmesi anlamına gelmektedir. Söz konusu standartlar acil servis hizmetlerinin etkin bir şekilde yerine getirilmesini sağlamak için yaygın olarak kullanılmaktadır. Son yirmi yıl içinde kapsamayı araç yerleşiminde etkinlik ölçütü olarak kullanan çok sayıda acil servis modeli geliştirilmiştir. Bu modellerin büyük bir kısmı ReVelle [1989] tarafından incelenmiş ve karşılaştırılmıştır [ReVelle ve Snyder, 1995].

Temel kapsama modelleri, Yerleşim Kümesi Kapsama Modeli (Location Set Covering Model (LSCM))' ni geliştiren Toregas ve diğerleri. [1971]' nin formülasyonu ile başlamıştır. Ambulans yerleşim probleminin ele alındığı bu modelde amaç; bütün talep bölgelerini kapsamak şartı ile kullanılan araç sayısını enküçüklemektir. Church ve ReVelle [1974] mevcut araç sayısının tüm bölgeleri kapsamak için

gerekli olan araç sayısından daha az olduğu durumları ele almak amacıyla LSCM' yi genişletmişlerdir. Bu yeni formülasyonda amaç; eldeki kısıtlı sayıda araçla kapsanan talebi (nüfus veya acil yardım çağrısı sayısı) enbüyüklemektir. Bu formülasyon, Maksimum Kapsama Yerleşim Modeli (Maximal Covering Location Model (MCLM)) olarak adlandırılmıştır. Literatürde bu iki temel modeli izleyen çok sayıdaki kapsama modeli yedek kapsama, çoklu kapsama ve sınırlı kapasiteli hizmet birimlerinin yerleşimi ile ilgilenmiştir. Ayrıca stokastik yapıya sahip kapsama modelleri de geliştirilmiştir.

Acil yardım araçlarının yerleşim noktalarının belirlendiği kararlar yönetsel, yasal ve bazen de politik kısıtlamaların bulunabildiği karmaşık bir karar çevresinde verilmektedirler. Ayrıca yerleşim noktalarını belirleme kararı sadece ele alınan probleme özgü bir dizi kritere bağlı olabilmektedir. Bu nedenle çok amaçlı modelleme yaklaşımı daha gerçekçi model yapıları sağlayabilmektedir. Daskin ve Stern [1981], Hogan ve ReVelle [1986] ve Badri ve diğerleri [1998] çok amaçlı modelleme yaklaşımını acil yardım araçlarının yerleşim problemlerinde kullanan araştırmacılara birkaç örnektir.

Bu çalışmada çok amaçlı bir araç yerleşim modeli önerilmektedir. Önerilen model, Hogan ve ReVelle [1986]' nin *Maksimum Yedek Kapsama Modeli (Maximal Backup Coverage Model)* ile Pirkul ve Schilling [1991]' in *Sınırlı Kapasiteli Maksimum Kapsama Modeli (Capacitated Maximal Covering Model)* temel alınarak oluşturulmuştur.

ÖNERİLEN MODELE TEMEL OLUŞTURAN MODELLER

Hogan ve ReVelle [1986]' nin Maksimum Yedek Kapsama Modeli (BACOP2)

Yedek veya çoklu kapsama; belirlenen bir zaman veya mesafe standardı içerisinde 1' den fazla hizmet biriminin bulunması diğer bir ifade ile bir talep bölgesinin 1 defadan fazla kapsanması anlamına gelmektedir.

Acil servis sistemlerinde meydana gelen tıkanıklıklar yani önceden belirlenmiş bir zaman veya mesafe standardı içerisinde bir hizmet aracının bulunmamasının yoğun olduğu durumlar yüksek hizmet gereksinimi duyan bölgelerin zamanın büyük bir bölümünde kapsanamamasına neden olur. Bu durum, yedek kapsama ve çoklu kapsama modellerinin oluşturulmasındaki ana motivasyon kaynağıdır.

Daha önceki yedek kapsama modelleri her bir talep bölgesinin en az bir kez kapsanmasını öngördüğü için Hogan ve ReVelle [1986] yeni bir model geliştirme gerekliliği duymuştur. Çünkü bu düzeyde bir hizmet sağlamak ekonomik açıdan her zaman mümkün olmamaktadır. Bu model, birinci ve ikinci kez kapsamayı aynı anda optimize etme olanağı sağlamaktadır. Burada her bir amaç diğer amaca daha fazla ulaşmak için belli bir oranda feda edilebilmektedir. Yani bu modelde acil hizmet talebi az olan bölgeleri bir kez kapsamak yerine talebi yüksek olan bölgelere yedek kapsama sağlamak söz konusu olabilmektedir.

BACOP2 modeli, MCLM' nin genişletilmiş şekli olarak düşünülebilir. Tablo 1'de sunulan bu model çok amaçlı bir yapıdadır ve sabit bir yatırıma karşılık gelen araç sayısı da kısıt olarak modelde yer almaktadır.

Tablo 1. Maksimum Yedek Kapsama Modeli (BACKOP2) (Hogan ve ReVelle, 1986)

DEĞİŞKEN ve PARAMETRE TANIMLAMALARI	I = talep bölgeleri kümesi J = potansiyel araç yerleşim bölgeleri kümesi $Y_i = \begin{cases} 1, \text{i.talep bölgesi bir kez kapsanmıa ise} \\ 0, \text{aksi durumda} \end{cases}$ $U_i = \begin{cases} 1, \text{i. talep bölgesi en az iki kez kapsanmıa ise} \\ 0, \text{aksi durumda} \end{cases}$ X_j : j bölgesine yerleştirilen araç sayısı (tamsayı) $a_{ij} = \begin{cases} 1, \ d_{ij} \le S \text{ ise} \\ 0, \text{aksi durumda} \end{cases}$ d_{ij} : i ve j bölgeleri arasındaki mesafe veya ulaşım süresi S : belirlenmiş olan mesafe veya zaman standardı h_i : i. Talep bölgesindeki nüfus C: elde bulunan araç sayısı
TEMEL FORMÜLASYON	I.Amaç: $Max\, Z_1 = \sum_i h_i Y_i$ (1) II.Amaç: $Max\, Z_2 = \sum_i h_i U_i$ (2) $\sum_j a_{ij} X_j - Y_i - U_i \ge 0 \quad \forall i \in I$ (3) $U_i - Y_i \le 0 \quad \forall i \in I$ (4) $\sum_j X_j = C$ (5)
ÇÖZÜM FORMÜLASYONU	$Max\, Z = w\sum_i h_i Y_i + (1-w)\sum_i h_i U_i$ (6) $\sum_j a_{ij} X_j - Y_i - U_i \ge 0 \quad \forall i \in I$ (7) $U_i - Y_i \le 0 \quad \forall i \in I$ (8) $\sum_j X_j = C$ (9) $Y_i \le 1 \quad \forall i \in I$ (10) $X_j \ge 0 \quad \forall j \in J$ (11) $U_i \ge 0 \quad \forall i \in I$ (12) $Y_i \ge 0 \quad \forall i \in I$ (13)

Bu modeldeki ilk iki kısıt, hangi talep bölgelerinin yedek kapsamaya dahil edileceğini belirlemek amacı ile kullanılır. İlk kısıt (3); bir talep bölgesini kapsayacak olan toplam araç sayısını belirler. Eğer bu toplam 1 veya daha fazla ise Y_i=1 , 1 ise U_i=0, en az 2 ise U_i=1 olur. İkinci kısıt (4), yedek kapsamanın sadece daha önceden ilk kapsama yapılmış ise gerçekleşmesini sağlamaktadır.

Hogan ve ReVelle [1986] bu modeli *relaxed linear programming* tekniğini kullanarak yeniden formüle etmişlerdir ve çok amaçlı programlamada ağırlıklandırma yöntemi ile çözüm elde etmişlerdir. Çözüm için geliştirilen formülasyon Tablo 1'de sunulmuştur.

Pirkul ve Schilling [1991]' in Sınırlı Kapasiteli Maksimum Kapsama Modeli

Bir çok hizmet sisteminde araç kapasiteleri sınırlıdır. Hizmet araçlarının aşırı yüklenmesini ve hizmet kalitesinin düşmesini engellemek amacıyla kapasite kısıtlarının göz önünde bulundurulması

gerekmektedir. Pirkul ve Schilling [1988], bir hizmet sistemi tasarımında kapasite sınırlandırmanın toplam iş yükünün hizmet araçlarına daha adil bir şekilde dağıtılmasını sağlayacağını belirtmişlerdir.

Yerleşim modellerinde kapasite kısıtlarının formüle edilmesi zor değildir ancak bu kısıtlar çözümü zorlaştırmaktadır. Bu nedenle kapasite kısıtlarının dahil edildiği çalışma sayısı nispeten azdır. Church ve Somogyi [1985], Somogyi ve Church [1985], Pirkul ve Schilling [1988] bu yapıdaki çalışmalara verilebilecek örneklerdir [Pirkul ve Schilling, 1991].

Sınırlı kapasiteli maksimum kapsama modeli ile ilgili çalışmaları olan Chung ve diğerleri [1983] ve Current ve Storbeck [1988] bir hizmet aracının iş yükünün sadece zaman veya mesafe standardı içerisinde bulunan (kapsanan) talep bölgelerine yapılan hizmetlerden oluştuğunu kabul etmişlerdir. Yani bir hizmet aracı, kapsamadığı herhangi bir bölgenin talebini karşılıyor ise bu hizmet ilgili aracın iş yüküne dahil edilmemektedir. Böyle bir problem yapısı belli bir hizmet aracının sorumluluğunun sadece o aracın kapsadığı alan içerisindeki talebi karşılamaktan ibaret olduğu yanılgısına neden olur. Pirkul ve Schilling [1991]' e göre bu durum modelleme yapısındaki önemli bir bozukluktur. Pirkul ve Schilling [1991] bu bozukluğu gidermek için yeni bir model oluşturmuşlardır. Bu modelde kullanılan notasyon aşağıda verilmiştir.

$$X_j = \begin{cases} 1, \text{ j bölgesine bir araç yerleştirilmiş ise} \\ 0, \text{ aksi durumda} \end{cases}$$

k_j = j bölgesine yerleştirilecek olan aracın kapasitesi

$$p_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ i bölgesi j bölgesindeki bir araçtan hizmet alıyor ise} \\ 0, \text{ aksi durumda} \end{cases}$$

Diğer notasyonlar daha önce ifade edildiği gibidir.

Modelin formülasyonu ise aşağıdaki gibidir.

Maksimum

$$\sum_i \sum_j a_{ij} h_i p_{ij} \tag{14}$$

$$\sum_j X_j \le C \tag{15}$$

$$\sum_j p_{ij} = 1 \qquad \forall i \in I \tag{16}$$

$$p_{ij} \le X_j \qquad \forall i \in I, j \in J \tag{17}$$

$$\sum_i h_i p_{ij} \le k_j \qquad \forall j \in J \tag{18}$$

$$Xj = [0,1] \qquad \forall j \in J \tag{19}$$

$$p_{ij} = [0,1] \qquad \text{tüm i, j çiftleri için} \tag{20}$$

Bu modelde amaç kapsanan toplam talebi enbüyüklemektir. İlk kısıt (15) yerleştirilecek toplam araç sayısını belirlerken ikinci kısıt (16) her bir bölgedeki bütün talebin karşılanma zorunluluğunu ifade eder. Belli bir bölgedeki bir araçtan hizmet görülebilmesi için o bölgeye bir araç yerleştirilmiş olması gerekir. 17 numaralı kısıt bunu sağlamaktadır. Araçların kapasiteleri 18 nci kısıt ile sınırlandırılmıştır.

Bu formülasyonla hizmet araçlarının iş yükü doğru bir şekilde ölçülebilir hale gelmiştir ve kapsanamayan talep bölgelerine de hizmet edildiği gerçeği modele yansıtılmıştır. Ancak burada kapsanamayan bölgelere yapılan hizmetin kalitesi şüphelidir. Kapsanan bölgelere yapılan hizmet kalitesi zaman veya mesafe standardı (S) ile kontrol edilebilirken kapsanamayan bölgelere yapılan hizmet düzeyini kontrol eden bir mekanizma bu modelde yer almamıştır. Yani kapsanamayan herhangi bir bölgedeki talep, uzaklık veya zaman faktörü göz önüne alınmadan o anda meşgul olmayan herhangi bir araca atanmıştır. Bu durumu düzeltebilmek için Pirkul ve Schilling [1991] sınırlı kapasiteli maksimum kapsama modelini genişletmişlerdir. Oluşturulan bu yeni modelde kısıtlar aynı kalmış, sadece amaç fonksiyonu aşağıdaki gibi genişletilmiştir.

$$Z_1 = \text{Maksimum} \sum_i \sum_j a_{ij} h_i p_{ij} \tag{21}$$

$$Z_2 = \text{Minimum} \sum_i \sum_j e_{ij} h_i d_{ij} p_{ij} \tag{22}$$

Yukarıdaki formülasyonlar, Pirkul ve Schilling [1991]' in orijinal formülasyonunun notasyonel yapısında bazı değişiklikler yapılarak oluşturulmuştur. Bu değişikliğin amacı; daha açık bir ifade sağlamak ve şimdiye kadar kullandığımız notasyonla uyum sağlamaktır.

Burada;

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, \; d_{ij} \le S \text{ ise} \\ 0, \text{ aksi durumda} \end{cases}$$

$$e_{ij} = \begin{cases} 1, \; d_{ij} > S \text{ ise} \\ 0, \text{ aksi durumda} \end{cases}$$

ÖNERİLEN MODEL

Önerilen model, Hogan ve ReVelle [1986]' nin *Maksimum Yedek Kapsama Modeli* ile Pirkul ve Schilling [1991]'in *Sınırlı Kapasiteli Maksimum Kapsama Modeli* temel alınarak ve bazı düzenlemelerle oluşturulmuştur. Bu model, belli bir yerleşim alanında en az bir ve en az iki araç tarafından kapsanan toplam talebi (nüfusu) enbüyükleme amaçları yanında kapsanamayan bölgelere yapılan hizmet düzeyini arttırma amacını da içeren çok amaçlı bir yapıya sahiptir.

Bir talep bölgesinin bir defadan fazla kapsanması, hizmet araçlarının belli bir zamanda meşgul olma olasılıkları yüksek olsa bile o bölgenin belirlenen standart içerisinde hizmet görme olasılığını oldukça arttırır [Daskin ve diğerleri, 1988].

Önerilen modelde kullanılan notasyon aşağıda tanımlanmıştır.

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ eğer } d_{ij} \le S \\ 0, \text{aksi durumda} \end{cases}$$

$$e_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ eğer } d_{ij} > S \\ 0, \text{aksi durumda} \end{cases}$$

X_j = j bölgesine yerleştirilen araç sayısı

$$Y_i = \begin{cases} 1, \text{ i. talep bölgesi bir kez kapsanmış ise} \\ 0, \text{aksi durumda} \end{cases}$$

U_i = i bölgesindeki 1 den fazla kapsanan nüfus % si

h_i = i bölgesinin nüfusu

p_{ij} = i bölgesindeki nüfusun j bölgesine yerleştirilen araçlar tarafından hizmet gören kısmı (%)

d_{ij} = i bölgesi ile j bölgesi arasındaki zaman veya mesafe

S = önceden belirlenen zaman veya mesafe standardı

C = yerleştirilecek toplam araç sayısı

k_j = j bölgesine yerleştirilen bir aracın iş yükü kapasitesi (etkin olarak hizmet verebileceği düşünülen maksimum nüfus)

Önerilen modelin matematiksel ifadesi ise aşağıdaki gibidir:

I. Amaç : Max $\sum_i h_i Y_i$ (23)

II. Amaç: Max $\sum_i h_i U_i$ (24)

III. amaç: Min $\sum_i \sum_j e_{ij} d_{ij} p_{ij}$ (25)

$\sum_j a_{ij} p_{ij} - Y_i - U_i \geq 0$ $\forall i \in I$ (26)

$U_i - Y_i \leq 0$ $\forall i \in I$ (27)

$\sum_j p_{ij} \geq 1$ $\forall i \in I$ (28)

$\sum_i h_i p_{ij} \leq k_j X_j$ $\forall j \in J$ (29)

$\sum_j X_j \leq C,$ (30)

$X_j \geq 0$ ve tamsayı $\forall j \in J$ (31)

$Y_i = [0,1]$ $\forall i \in I$ (32)

$U_i \in R$ $\forall i \in I$ (33)

$p_{ij} \leq 1$ tüm i, j çiftleri için, $p_{ij} \in R$ (34)

$p_{ij} \geq 0$ tüm i, j çiftleri için, (35)

Bu modelde ilk iki amaç fonksiyonu sırasıyla, 1 araç ve 2 araç tarafından kapsanan nüfusu enbüyüklemektedir. Üçüncü amaç fonksiyonu ise kapsanamayan bölgelere yapılan hizmetin ortalama ulaşma mesafesini enküçüklemek amacıyla modele dahil edilmiştir.

Modelde yer alan ilk iki kısıt (26 ve 27) hangi talep bölgelerinin yedek kapsamaya dahil edileceğini belirler. Üçüncü kısıt (28) her bir talep bölgesindeki bütün nüfusun hizmet görmesini garanti etmektedir. Araçların kapasiteleri dördüncü kısıt (29) ile sınırlandırılmıştır. Bu kısıt ayrıca belli bir bölgedeki bir araçtan hizmet görülebilmesi için o bölgeye bir araç yerleştirilmiş olma şartını ifade eder. Son olarak beşinci kısıt (30) ile belli bir yerleşim alanına yerleştirilecek toplam araç sayısı sınırlandırılmaktadır.

Model yapısında görüldüğü gibi belli bir bölgeye 1'den fazla araç yerleştirilmesine olanak sağlanmıştır. Bu modelde, temel yerleşim kapsama modellerinde yer alan ve bir bölgedeki bütün nüfusun

o bölgeye en yakın araçtan hizmet göreceğini öngören varsayım geçerli değildir. Ayrıca, önerilen modelde p_{ij} değişkeninin 0-1 arasında sürekli değerler alması sağlanarak belli bir bölgedeki tüm nüfusun aynı araçtan hizmet görme zorunluluğu ortadan kaldırılmıştır ve bu nüfusun belli bir kısmının kapsanamayabileceği gerçeği de modele dahil edilmiştir.

ÖNERİLEN MODELİN TEST EDİLMESİ

Önerilen model, ilk olarak Swain [1971] tarafından ele alınan ve literatürde bazı çalışmalarda kullanılmış olan 55 bölgeli araç yerleşim probleminin verileri [Bkz. Hogan ve ReVelle, 1986] ile test edilmiştir. Bu bölgelerin sahip oldukları nüfuslar ve bölge merkezlerini temsil eden koordinatlar Ek' de Tablo 3' de sunulmuştur. Hogan ve ReVelle [1986]' nin Maksimum Yedek Kapsama Modeli bu verilerle çözülerek bütün bölgeleri 1 kez kapsamak için gerekli minimum araç sayısı 9 olarak elde edilmiş ve diğer modellerin çözümünde de bu değer kullanılmıştır. Yerleştirilecek araç sayısı 9 olduğundan 55 bölgedeki toplam nüfusa (640000) hizmet verebilmek için her bir aracın kapasitesi en az 71112 olmalıdır. Test problemimizde bu değer 75000 olarak kabul edilmiştir. Bir bölgenin kapsanıp kapsanmadığının belirlenmesinde kullanılan mesafe standardı ise test problemimizde 15 km olarak kabul edilmiştir. Önerilen modelle ilgili çözümler çok amaçlı karar verme problemi yapısı içerisinde ardışık çözüm tekniği kullanılarak LINGO [Lindo Systems Inc., 1995] yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Problem çok büyük bir yapıda olduğundan çözüm süresini kısaltmak amacıyla LINGO' da IP toleransı 0.05 olarak alınmıştır.

Önerilen modelde sonsuz öncelikli (preemptive) yöntem ve ağırlıklandırma (weighting) yöntemi bir arada kullanılarak amaç fonksiyonu oluşturulmuş ve ilgili çözümler elde edilmiştir. Modelin amaç fonksiyonu aşağıdaki gibi oluşturulmuştur.

$$P_1\left[Max(w\sum_i h_i Y_i + (1-w)\sum_i h_i U_i) \right], \qquad (36)$$

$$P_2\left[Min\sum_i \sum_j e_{ij} d_{ij} p_{ij} \right]$$

Burada ilk iki amacın bir arada üçüncü amaca göre sonsuz üstünlüğe sahip olduğu kabul edilmiştir. Amaçlara verilen ağırlıkların belirlenmesinde kullanılan w, Rao ve Horsky [1984]'nin LINPAC tekniği kullanılarak 0.83 olarak elde edilmiştir. Önerilen modelin ve önerilen modele temel oluşturan modellerin çözümü Swain [1971]' in 55 bölgeli araç yerleşim problemi verileri kullanılarak gerçekleştirilmiş ve sonuçlar Tablo 2 de sunulmuştur.

En Büyük Yedek Kapsama Modeli, hem ardışık hem de ağırlıklandırma tekniği kullanılarak çözülmüştür. Ardışık çözümde 1 kez kapsanan toplam nüfusun enbüyüklenmesini ifade eden $\sum_i h_i Y_i$, yedek kapsamaya sahip toplam nüfusun enbüyüklenmesini ifade eden $\sum_i h_i U_i$ 'ye göre sonsuz öncelikli kabul edilmiştir. Bu yapıda elde edilen sonuca göre; nüfusun tamamı 1 kez kapsanmış, % 73.28' i ise en az 2 kez kapsanmıştır. Bu modelde araçların kapasite kısıtı olmadığından kapsanan nüfus oranları Sınırlı Kapasiteli En Büyük Kapsama Modeli ve önerilen modele göre daha yüksek gözükmektedir. Ancak bu yapı gerçekçi bir yapı değildir. En Büyük Yedek Kapsama Modeli ağırlıklandırma tekniği ile çözüldüğünde ise 1 kez kapsanan nüfus oranı sadece %1.1 azalarak %98.9 olmuş, yedek kapsamaya sahip toplam nüfus oranı ise % 83.75' e yükselmiştir. Bu modelde kullanılan ağırlıklar önerilen modeldekinin aynıdır.

Sınırlı Kapasiteli En Büyük Kapsama Modelinin çözümü ardışık çözüm tekniği ile elde edilmiştir. İlk aşamada, kapsanan toplam talep enbüyüklenmiş, ikinci aşamada ise ilk aşamada elde edilen amaç

fonksiyonu değeri sağlanmak şartıyla $\sum_i \sum_j e_{ij} h_i d_{ij} p_{ij}$ ifadesi enküçüklenerek kapsanamayan bölgelere yapılan hizmet düzeyinin arttırılması sağlanmıştır. Yani ilk aşamadaki çözümün alternatifi elde edilmiştir. İlk aşamada $\sum_i \sum_j e_{ij} h_i d_{ij} p_{ij}$ ifadesinin değeri 1253890 iken ikinci aşamada 740500' e düşmüştür. Bu durum, yaklaşık %40 oranında bir iyileşmeyi ifade etmektedir. Sınırlı Kapasiteli En Büyük Kapsama Modeli acil hizmet sistemlerinde önemli bir performans göstergesi olan "yedek kapsama" amacını içermemektedir. Bu durum, model yapısındaki bir eksikliktir.

Önerilen Model, En Büyük Yedek Kapsama Modeli ile Sınırlı Kapasiteli En Büyük Kapsama Modeli'nin bir arada ele alınması ile oluşturulmuştur. Böylelikle tek bir model yapısı içerisine hem yedek kapsama düzeyini hem de kapsanamayan bölgelere yapılan hizmet düzeyini gösteren amaçlar dahil edilmiştir. Ayrıca önerilen modelde değişkeninin 0-1 arasında sürekli değerler alması sağlanmış ve Sınırlı Kapasiteli En Büyük Kapsama Modelindeki P_{ij} den farklı bir yapıda kullanılmıştır. Bu şekliyle model daha gerçekçi bir yapı kazanmıştır. Modelin çözümünde ilk aşamada ağırlıklandırma tekniği kullanılmıştı. Bu çözüme göre kapsanamayan nüfus oranı %5.8 iken yedek kapsamaya sahip nufüs oranı % 5 tir. İlk aşamada karar vermede dikkate alınmayan fakat karşılaştırma yapmak amacıyla hesaplanan "kapsanamayan bölgelere yapılan hizmet düzeyi" değeri ise 308 dir. İkinci aşamada ise ilk aşamada elde edilen amaç fonksiyonu değeri sağlanmak koşuluyla ikinci amaç fonksiyonu olan $\sum_i \sum_j e_{ij} d_{ij} p_{ij}$ ifadesi enküçüklenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; ikinci aşamada kapsanamayan nüfus oranı %5.5, yedek kapsamaya sahip nüfus oranı ise %3.4 tür. Yani yedek kapsamaya sahip nüfus oranı % 31 oranında azalmıştır. Ancak, bu durumda kapsanamayan bölgelere yapılan hizmet düzeyi 130 olmuştur. Bu durum % 58 oranında bir iyileşme anlamına gelmektedir.

Tablo 2. Önerilen Modelin Swain (1971)' in 55 Bölgeli Araç Yerleşim Problemi Verileri ile Çözümü

	1. 2. MODEL	1. 2.	Mevcut Araç Sayısı	Her bir aracın kapasitesi	Araçların Optimum Yerleşim Bölgeleri	Kapsanamayan Nüfus Miktarı	1 defa Kapsanan Nüfus Miktarı	Yedek Kapsamaya Sahip Nüfus Miktarı	Kap Bölg Hizı
k i p (Hogan)	**Ardışık (Sequential) Çözüm** P_1 (Max $\sum_i h_i Y_i$), P_2 (Max $\sum_i h_i U_i$)		9	*	2, 10, 17, 20, 27, 34, 36, 50, 55	0	640000 **(% 100)**	469000 **(% 73.28)**	
	Ağırlıklı (weighted) Çözüm Max $(0.83 \sum_i h_i Y_i + 0.17 \sum_i h_i U_i)$		9	*	2, 3, 10, 17, 20, 22, 27, 36, 55	7000 **(% 1.1)**	633000 **(% 98.9)**	536000 **(% 83.75)**	
eli ıma uted ng	**İlk Aşama:** Max $\sum_i \sum_j a_{ij} h_i p_{ij}$		9	75000	5, 10, 11, 22, 31, 34, 36, 44, 47	45000 **(% 7)**	595000 **(%93)**	***	
	İkinci Aşama: Min $\sum_i \sum_j e_{ij} h_i d_{ij} p_{ij}$		9	75000	5, 9, 17,18, 25, 27, 34, 44, 45	45000 **(% 7)**	595000 **(%93)**	***	
	İlk Aşama: Max $(0.83 \sum_i h_i Y_i + 0.17 \sum_i h_i U_i)$		9	75000	3, 8, 9, 10, 18, 22, 27, 41, 43	37000 **(% 5.8)**	603000 **(% 94.2)**	32000 **(% 5)**	
	İkinci Aşama: Min $\sum_i \sum_j e_{ij} d_{ij} p_{ij}$		9	75000	1, 6, 10, 17, 36, 38, 42, 44, 47	35000 **(% 5.5)**	605000 **(% 94.5)**	22000 **(% 3.4)**	

* En Büyük Yedek Kapsama Modeli' nde "Araç Kapasitesi" şeklinde bir kısıt yoktur.

** En Büyük Yedek Kapsama Modeli "Kapsanamayan Bölgelere Yapılan Hizmet Düzeyi" amacını içermemektedir.

*** Sınırlı Kapasiteli En Büyük Kapsama Modeli "Yedek Kapsama" amacını içermemektedir.

**** "Kapsanamayan Bölgelere Yapılan Hizmet Düzeyi" Sınırlı Kapasiteli En Büyük Kapsama Modelinde $\sum_i \sum_j e_{ij} h_i d_{ij} p_{ij}$ ifadesi ile, önerilen modelde ise $\sum_i \sum_j e_{ij} d_{ij} p_{ij}$ ifadesi ile belirlenmektedir.

SONUÇ ve ÖNERİLER

Acil hizmet sistemlerinin etkinliği ve hizmet düzeyi mümkün olduğunca yüksek olmalıdır. Bu çalışmada sırası ile "yedek kapsama" ve "kapsanamayan bölgelere yapılan hizmeti en yakın hizmet aracından sağlama" yoluyla acil hizmet sistemlerinde araç yerleşim etkinliğini ve hizmet düzeyini arttırmayı amaçlayan iki model ele alınmıştır. Bu modellerin entegre edilmesi ile her iki amaca da hizmet edebilecek çok amaçlı yeni bir model önerilmiştir.

Önerilen modelin çözümü göstermektedir ki; 1 kez kapsanan ve yedek kapsamaya sahip toplam nüfus aynı düzeyde kalarak kapsanamayan bölgelere yapılan hizmet düzeyi önemli bir oranda arttırılmıştır.

Önerilen modelde farklı amaç fonksiyonları kullanılarak farklı karar çevrelerinde optimum yerleşim kararları vermek mümkündür. Problemin yapısından görülebileceği gibi araç yerleşimi yapılacak bölge sayısı arttıkça potansiyel çözüm kümesi logaritmik olarak artmaktadır. Bu nedenle büyük çaplı problemlerde çözüm süresini kısaltmak amacıyla çeşitli matematiksel yaklaşımlar (Ör: Relaxation teknikleri) veya sezgisel yöntemler kullanılmalıdır. Ayrıca bir simülasyon yazılımı ile önerilen modelden elde edilen sonuçlar değerlendirilebilir ve zamanla meydana gelebilecek talep değişmelerine karşı hizmet sistemin işleyişi sorgulanabilir.

KAYNAKÇA

1. Church, R.L. & ReVelle, C. (1974). The Maximal Covering Location Problem. Papers Regional Sci. Assoc. 32, 101-118.
2. Current, J.R., & Storbeck, J.E. (1988). Capacitated Covering Models. Environment and Planning B: Planning and Design. 15, 153-163.
3. Daskin, M.S., Hogan, K., & ReVelle, C. (1988). Integration of Multiple, Excess, Backup, and Expected Covering Models. Environment and Planning, 15, 15-35.
4. Daskin, M.S., & Stern, E.S. (1981). A Hierarchical Objective Set Covering Model for Emergency Medical Service Vehicle Deployment. Transportation Science. 15, 137-152.
5. Davis, S.G. (1981). Analysis of the Deployment of Emergency Medical Services. Omega. 9, 655-657.
6. Hogan, K., & ReVelle, C. (1986). Concepts and Applications of Backup Coverage. Management Science. 32, 1434-1444.
7. LINDO Software Inc. (1995). Lingo Industrial Version. Chicago.
8. Pirkul, H., & Schilling, D.A. (1988). The Siting of Emergency Service Facilities with Workload Capacities and Backup Service. Management Science. 34, 896-908.
9. Pirkul, H., & Schilling, D.A. (1991). The Maximal Covering Location Problem with Capacities on Total Workload. Management Science. 37, 233-248.
10. ReVelle, C., & Snyder, S. (1995). Integrated Fire and Ambulance Siting: A Deterministic Model. Socio-Economic Planning Science. 29, 261-271.
11. Rao, M.R., & Horsky, D. (1984). Estimation of Attribute Weights from Preference Comparisons. Management Science. 30, 801-822
12. ReVelle, C. (1989). Review, Extension and Prediction in Emergency Siting Models. European Journal of Operations Research. 40, 58-69.
13. Toregas, C., Swain, R., ReVelle, C., & Bergman, L. (1971). The Location of Emergency Service Facilities. Operations Research. 19, 1363-1373.

Tablo 3. Test Probleminde Kullanılan Bölgelere Ait Nüfus Değerleri (Hogan and ReVelle, 1986)

Bölge	*Nüfus*	3. Bölge Merkezinin Koordinatları		Bölge	*Nüfus*	6. Bölge Merkezinin 7. Koordinatları	
		x	y			x	y
1	71000	32	31	**29**	6000	19	38
2	62000	29	32	**30**	6000	27	41
3	56000	27	36	**31**	6000	21	35
4	39000	29	29	**32**	5000	32	45
5	35000	32	29	**33**	5000	27	45
6	21000	26	25	**34**	5000	32	38
7	20000	24	33	**35**	5000	8	22
8	19000	30	35	**36**	5000	15	25
9	17000	29	27	**37**	5000	35	16
10	17000	29	21	**38**	4000	36	47
11	16000	33	28	**39**	4000	46	51
12	15000	17	53	**40**	4000	50	40
13	14000	34	30	**41**	4000	23	22
14	12000	25	60	**42**	4000	27	30
15	12000	21	28	**43**	4000	38	39
16	11000	30	51	**44**	4000	36	32
17	10000	19	47	**45**	3000	32	41
18	10000	17	33	**46**	3000	42	36
19	9000	22	40	**47**	3000	36	26

2 **0**	9 000	25	14	**48**	3 000	15	19
2 **1**	9 000	29	12	**49**	3 000	19	14
2 **2**	8 000	24	48	**50**	3 000	45	19
2. **3**	8 000	17	42	**.51**	3 000	27	5
2. **4**	8 000	6	26	**.52**	2 000	52	24
2. **5**	8 000	19	21	**.53**	2 000	40	22
2. **6**	7 000	10	32	**.54**	2 000	40	52
2. **7**	6 000	34	56	**.55**	2 000	42	42
2. **8**	6 000	12	47	**. To plam**	**. 6 40000**		.