

İSTANBUL'DA ACİL YARDIM İSTASYONLARININ YERLERİNİN PLANLANMASI*

Bülent ÇATAY**, Ayfer BAŞAR, Tonguç ÜNLÜYURT
Sabancı Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi
Tuzla, 34956, İSTANBUL
catay@sabanciuniv.edu

Geliş Tarihi: 29 Şubat 2008; Kabul Ediliş Tarihi: 4 Aralık 2008
Bu makale 70 gün boyunca 1 kez düzeltilmek üzere yazarlarda kalmıştır.

ÖZET

Acil müdahale gerektiren afet, kaza, hastalık ve benzeri her türlü durumda, hizmete ihtiyaç duyan kişiye ulaşma süresi can güvenliği açısından çok kritiktir. Bu sebeple, acil yardım istasyonlarının etkin planlanması çok önemlidir. Özellikle yoğun nüfus ve trafik faktörüne sahip İstanbul gibi büyük şehirlerde bu planlamanın önemi daha da artmaktadır. Bu çalışmada, İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) İtfaiye Daire Başkanlığı bünyesindeki Acil Yardım ve Cankurtarma Müdürlüğüne bağlı Hızır Acil Yardım istasyonlarının tek ve çok dönemli yerleşim planlanması problemi ele alınacaktır. Bu problemler için, Yöneylem Araştırması literatüründe iyi bilinen Küme Kapsama ve Enbüyük Kapsama modellerini temel alan Yedek Çift Kapsama modeli önerilmektedir. Tek dönemli modelin çözümü mevcut yazılımlar kullanılarak mümkün olmakla beraber karar değişkeni ve kısıt sayısının arttığı büyük ölçekli problemler ve çok dönemli durum için optimal çözümler elde edilememektedir. Bu nedenle gerek büyük ölçekli problemlerin çözümü gerekse modelin çok dönemli çözümü için üç sezgisel yöntem önerilmiştir. Makalede; İstanbul için etkin bir acil yardım yerleşim planı belirlenirken kullanılan modeller, yöntemler ve çözümler tartışılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Yöneylem araştırması, küme kapsama, enbüyük kapsama, yedek çift kapsama, sezgisel yöntemler.

PLANNING THE LOCATIONS OF THE EMERGENCY MEDICAL SERVICE STATIONS IN İSTANBUL

ABSTRACT

Response time is very crucial in case of events that require emergency medical services such as large-scale emergency needs, accidents, illnesses, etc. since this service is directly related with life threatening incidences. Thus, the location planning of emergency facilities is crucial, especially in populated cities with heavy traffic such as İstanbul. In this paper, we discuss single and multi-period emergency station location problems faced by the Emergency Aid and Rescue Department at the Department of Fire Brigade of İstanbul Metropolitan Municipality. We propose the Backup Double Covering Model which is based on the well-known Set Covering and Maximal Covering location problems. Although the optimal solution for the single period model can be found using an optimization package, the problems necessitate efficient algorithms for large-scale instances involving a large number of decision variables and constraints as well as for the multi-period case. For this purpose, we investigate the performance of three heuristic methods and discuss the results.

Keywords: Operations research, set covering, maximal covering, backup double covering, heuristic methods.

* Bu çalışma İstanbul Büyükşehir Belediyesi Proje İstanbul çerçevesinde desteklenmiştir.

** İletişim yazarı

1. GİRİŞ

Acil yardım hizmetleri, gerekli müdahalenin zamanında ve uygun bir şekilde yapılması durumunda, servise ihtiyaç duyan kişinin hayatını kurtaracak bir etkiye sahip olduğu için çok büyük öneme sahiptir. Bu hizmetin etkin bir şekilde planlanması ile, kaza anında sakatlık ve ölüm oranları azalır. Böylelikle, planlı acil yardım hizmeti sayesinde ekonomik kayıpların da önüne geçmek mümkün olur. Son yıllarda, hızlı nüfus artışı ve trafik yoğunluğuna bağlı olarak acil yardım hizmetlerinin Türkiye için önemi daha da artmıştır. Kaza sonrası sakatlık ve ölümlerin önüne geçmek için gerek duyulan hizmet, ülkemizde 112 İlk ve Acil Yardım Hizmetleri tarafından verilmektedir (Demirhan, 2003).

Bu çalışmanın amacı İstanbul'daki Hızır Acil Yardım istasyonlarının yerlerinin planlanmasıdır. Bu istasyonların işlevi; kaza, sakatlık, hastalık vb. acil durumlarda hizmete ihtiyaç duyan kişi/kişileri hastanelere ulaştırmaktır. Mevcut durumda İstanbul'da Acil Yardım ve Cankurtarma Müdürlüğü bünyesinde toplam 18 istasyon bulunmaktadır. Bu istasyonların altı tanesi Anadolu yakasında, 12 tanesi ise Avrupa yakasındadır. Her istasyonda sadece bir ambulansın bulunduğu bilgisiyle, mevcut durumda hedeflenen müdahale süreleri olan beş ve sekiz dakika içinde ayrı istasyonlarda bulunan en az birer ambulans ile İstanbul nüfusunun %18,43 gibi düşük bir oranı kapsanmaktadır. Acil yardım istasyonları prefabrik olabilecekleri için kurulum maliyetleri yüksek değildir. İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) tarafından tahsis edilebilecek her türlü alana ve büyüklüğe göre kurulabilir ve bir kez kurulduktan sonra istasyonların yerlerinin değiştirilmesi mümkündür. Buna göre, etkin bir planlama sayesinde daha iyi bir hizmet seviyesine ulaşmak için ulaşım kolaylığı ve nüfus yoğunluğuna bağlı olarak yeni istasyonlar kurmak zor değildir.

Uluslararası literatürde son 30 yıl içinde gerek itfaiye istasyonları ve araçlarının gerekse acil yardım istasyonları ve araçlarının planlanmasında hem teorik hem de uygulama düzeyinde çeşitli Yöneylem Araştırması (YA) yaklaşımları sunulmuştur. Brotcorne vd. (2003) ve Goldberg (2004) bu yaklaşımları

inceleyen ve özetleyen makalelerdir. Genel olarak bu problemlerin çözümü için matematiksel programlama kullanılmıştır. Bilgisayar teknolojisi ve YA yöntem ve yazılımlarındaki gelişmelere paralel olarak temel bazı problem tiplerinin günümüzde en iyi çözümünü elde etmek mümkün olmaktadır. Optimal çözümün elde edilemediği daha zor ve karmaşık problemler için çeşitli sezgisel yöntemler önerilmiştir. Literatürdeki mevcut modeller genelde tek bir zaman dilimini içermektedir. Halbuki acil yardım istasyonlarının planlanması stratejik bir karar olduğu için birden fazla zaman dilimine yayılabilir. Örneğin, bu çalışmada Acil Yardım ve Cankurtarma Müdürlüğü'nün talebi doğrultusunda 2008-2011 arası için dört yıllık bir planlama da öngörülmüştür.

Bu makalede önerilen modellerde amaç tek dönemli ve çok dönemli olarak, belirlenmiş istasyon sayısı kısıtları altında t_1 dakika ve t_2 dakika içinde en az iki farklı istasyondan müdahale edilebilen toplam nüfusu enbüyüklemektir. Burada; müdahale bölgeleri mahalleler olarak kabul edilmiş ve her mahallenin acil yardım talebinin nüfusuyla doğru orantılı olduğu varsayılmıştır. Aday istasyon yerleri de İBB'nin her mahallede acil yardım istasyonu açabilecek arazi ve imkana sahip olduğu bilgisi göz önünde bulundurularak yine mahalle olarak kabul edilmiştir. İlk olarak Church ve ReVelle (1974) tarafından ortaya atılan *Enbüyük Kapsama Modeli (EKM - Maximal Covering Location Model)*, Gendreau vd. (1997) tarafından önerilen *Çift Kapsama Modeli (ÇKM - Double Coverage Model)* ile Hogan ve ReVelle'nin (1986) belirttiği *Yedek Kapsama Modeli (YKM - Backup Coverage Model)* çalışmada önerilen modellere temel oluşturmuştur. Önerilen modellerin çözümü için üç sezgisel yöntem kullanılmıştır: Miyop sezgisel yöntem, Kombinasyonlu sezgisel yöntem ve Doğrusal Programlama (DP) gevşetmeye (*Linear Programming relaxation*) dayalı sezgisel yöntem.

Makalenin devamı şu şekilde düzenlenmiştir: 2. bölümde ilgili literatür incelenecektir. 3. bölümde modeller sunulacak ve veri toplama sürecine değinilecektir. 4. bölümde çözüm yöntemleri tartışılacak ve İstanbul'da acil yardım istasyonlarının

planlamasına dair çözümler sunulacaktır. Son bölümde ise sonuçlar irdelenecek ve ileride yapılabilecek çalışmalar için yön gösterilmeye çalışılacaktır.

2. LİTERATÜR İNCELEMESİ

Öneminin büyüklüğü dolayısıyla, acil yardım istasyonlarının yerleşimi ve planlaması konusu literatürde oldukça kapsamlı bir şekilde ele alınmaktadır ve konu ile ilgili çok fazla sayıda yayın bulunmaktadır. Ele alınan problemlerin çözümü için, bu çalışmada olduğu gibi farklı YA teknikleri ve sezgisel yöntemler ile *ileri sezgisel (metaheuristic)* yöntemler önerilmiştir. Bu yöntemler, YA uygulamalarındaki ve bilgisayar teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak farklılık ve ilerleme göstermiştir.

Konu ile ilgili olarak literatürde ele alınan çok sayıdaki model farklı şekillerde sınıflandırılabilceği gibi temel olarak *deterministik (deterministic)* ve *stokastik (probabilistic)* olarak iki farklı şekilde incelenebilir. Deterministik modellerde araçların meşgul olma durumu göz önünde bulundurulmazken, stokastik modellerde araçların talep noktasına ulaşma ve servis süresine bağlı olarak eşit ya da farklı şekilde atanan meşgulliyet olasılığı hesaba katılır.

Deterministik modellerin ilki Toregas vd. (1971) tarafından önerilen *Küme Kapsama Modeli (KKM - Set Covering Location Model)*'dir. Bu modelin amacı, tüm talep noktalarının acil yardım istasyonları tarafından kapsanması kısıtını sağlayacak şekilde en az sayıda istasyonun yerleşimini bulmaktır. Bu modelin özelliği, talep noktalarının nüfus bilgilerinden bağımsız olarak en az bir araç tarafından kapsanmasını gerekli kılmıştır ve literatürdeki birçok modele temel oluşturmuştur. Ancak Brotcorne vd. (2003)'de vurgulandığı üzere modelin gözardı ettiği bazı durumlar da söz konusudur. Örneğin, çağrı gelen bir noktaya ulaşmak amacıyla, bu noktayı kapsayan bir istasyondaki aracın yola çıkması sonucu bazı noktalar artık kapsanamamaktadır.

Church ve ReVelle (1974) kısıtlı istasyon ve ambulans bilgisine dayalı olarak diğer bir deterministik model olan EKM'yi önermiştir. Bu modelde, acil

yardım hizmetine ihtiyaç duyabilecek noktalar ve/veya nüfus göz önünde bulundurularak ulaşılan nokta sayısı ya da kapsanan toplam nüfusun en büyüklenmesi hedeflenmiştir. Bu model aracılığıyla, mevcut istasyonların etkinliği (toplam kapsama oranı) rahatça ölçülebilmektedir. Daha fazla istasyonun getireceği ek maliyet ile kazandıracağı ek kapsama arasındaki durum da karşılaştırılabilmektedir.

KKM ve EKM dışındaki deterministik modeller, genellikle bu iki model temel alınarak geliştirilmiştir. Schilling vd. (1979) tarafından önerilen *Ardışık Kapsama Modeli (AKM - Tandem Equipment Allocation Model)*'nde EKM'nin genişletilmesi ile verilen farklı iki araç tipi ihtiyacı ve araç kısıtlarına karşılık, bir aracın atanması için diğerinin de atanmış olması şartı ile kapsanan nüfus enbüyüklenmeye çalışılmaktadır. KKM, EKM ve AKM modelleri talep noktalarının yalnız bir defa kapsanması gerçeğine dayanır. Bu durumda, bir aracın hizmet vermek için meşgul olması durumunda, talep noktalarının kapsanamama durumu sözkonusu olacağı için bu talep noktalarına, istasyon yerleşim planı ve araç kısıtları göz önünde bulundurularak *çoklu kapsama (multiple coverage)* sağlayacak şekilde kurulan modeller önerilmiştir. Bunun için Daskin ve Stern (1981) tarafından *Değiştirilmiş Enbüyük Kapsama Modeli (DEKM - Modified Maximal Covering Location Model)* ortaya atılmıştır. Bu modelde, tüm talep noktalarının en az bir defa kapsanması koşulu ile öncelikle kapsanan nüfus enbüyüklenmeye çalışılırken, daha sonra da bir defadan fazla kapsanan talep noktalarının sayısı enbüyüklenmektedir. DEKM'nin geliştirilmiş iki farklı modeli ise Hogan ve Revelle (1986) tarafından YKM olarak önerilmiştir. Doğal olarak YKM modellerinin her ikisinde de EKM temel alınmıştır. Bunlardan birincisinde, belli araç ve istasyon kısıtı dahilinde en az iki kere kapsanan nüfus enbüyüklenmeye çalışılmaktadır. İkinci modelde ise yine belli istasyon ve araç kısıtı için, saptanan önem derecelerine göre ağırlıklandırılmış şekilde bir veya iki defa kapsanan talebin enbüyüklenmesine çalışılmaktadır. Görüldüğü üzere, bu üç farklı DEKM

modeli de, talep noktalarının yalnız bir zaman dilimi içinde birden fazla sayıda kapsanmasını sağlamaktadır.

Gendreau vd. (1997) tarafından önerilen ÇKM'de ise talep noktalarına birbirinden farklı iki zaman dilimi içinde, çoklu kapsama sağlayacak şekilde hizmet sunulması hedeflenmektedir. Bu modelin amaç fonksiyonunda küçük olan zaman dilimi içinde en az iki kere kapsanan nüfus enbüyüklenmeye çalışılmaktadır. Kısıtlar arasında ise, büyük olan zaman dilimi içinde her yerin en az bir defa ve küçük zaman diliminde de tüm nüfusun belli bir oranının kapsanması yer almaktadır. Diğer deterministik modellerden farklı olarak bu modelde, bir istasyona sadece bir tane araç atanması koşulu yoktur. Ancak, her istasyona belli bir sayının üzerinde araç atanması engellenmektedir.

Selim ve Özkarahan (2003) ise sırasıyla bir araç ve iki araç tarafından kapsanan nüfusu enbüyükleyen ve kapsanamayan bölgelere yapılan hizmetin ortalama ulaşma mesafesini enküçükleyen çok amaçlı deterministik model önermekte ve modeli tek amaç fonksiyonuna indirgeyerek LINDO yazılımı ile çözmektedir.

Literatürde yer alan stokastik modeller de, tıpkı deterministik modellerde olduğu gibi amaç fonksiyonları ve kısıtlarına bağlı olarak farklılık göstermektedir. Daskin (1983) tarafından geliştirilen *Beklenen Enbüyük Kapsama Modeli (BEKM - Maximal Expected Covering Location Problem)* stokastik modellerin temelini oluşturmaktadır. Bu modelde, toplam araç sayısına bağlı olarak gün içinde sağlanabilecek en fazla hizmete karşılık, gün içinde gelen çağrılarının sıklığı ve bu çağrılarının gerektirdiği toplam hizmet süresi hesaba katılarak tüm araçlar için eşit olduğu varsayılan bir meşguliyet olasılığı saptanmaktadır. Buna göre bu model aracılığıyla, yine belli araç kısıtları dahilinde talep noktalarını kapsayan araç sayısının artmasına bağlı olarak amaç fonksiyon değeri azalarak artacak şekilde, beklenen talebin kapsanması enbüyüklenmeye çalışılmaktadır.

ReVelle ve Hogan (1989), BEKM'den farklı olarak *Enbüyük Hazır Bulunma Modeli (EHBM - Maximal*

Availability Model) şeklinde iki ayrı stokastik model önermiştir. Bunlardan birincisi, BEKM'de olduğu gibi tüm araçlar için eşit olduğu varsayılan meşguliyet olasılığına bağlı olarak belirlenen bir güvenilirlik değerine dayalıdır. Öyle ki, talep noktasına hizmet verebilecek düzeyde en az bir tane aracın var olma olasılığı, en az bu güvenilirlik derecesine eşit olmalıdır. Buna göre, bu güvenilirlik derecesine bağlı olarak talep noktalarının en az sayıda ihtiyaç duyduğu araç sayısı tespit edilmektedir ve doğal olarak bu sayı tüm noktalar için eşit olmaktadır. Yine toplamda belli sayıda araç sayısı kısıtına dayalı olan bu modelde, saptanmış olan en az sayıda araç ile kapsanan talep noktaları enbüyüklenmektedir. İkinci EHBM'nin öncekinden tek farkı, her talep noktasının ihtiyaç duyduğu en az sayıdaki araç sayılarının birbirinden farklı olmasıdır.

Gerek BEKM gerekse iki farklı EHBM de meşguliyet olasılıklarını hesaplarken, tüm ambulansların birbirinden bağımsız hareket ettiği varsayımını kullanmıştır. Batta vd. (1989) tarafından önerilen stokastik model, BEKM'nin bir uzantısı olarak ambulansların birbirinden bağımsız olmadığı ve meşguliyet olasılığının her talep noktasına göre farklı olduğuna dayanmaktadır.

Ball ve Lin (1993)'de ise KKM'nin bir uzantısı olarak ambulansların sabit maliyetlerinin en küçüklenmesi amacıyla Değiştirilmiş Küme Kapsama Modeli (*DKKM - Modified Location Set Covering Model*) önerilmiştir. Bu modelde küçük olan zaman dilimi içinde belli oranda talebin kapsanması ve her potansiyel istasyon alanına en fazla belli sayıda araç atanması kısıtları bulunmaktadır. Bu modelde gelen çağrılarının karşılanmama olasılığının belirlenen değeri aşmasını engellemek için meşguliyet olasılığına bir üst limit atanmaktadır. Tüm bu stokastik modellere ilaveten, KKM'nin farklı bir uzantısı olarak Marianov ve ReVelle (1994) tarafından kuyruk modeli geliştirilmiştir. Ayrıca, Gendreau vd. (2000) ile Andersson ve Varbrand (2007) tarafından ele alındığı gibi servis sağlamakta olan araçların geri dönüşünü ve dinamik bir şekilde yer değiştirmelerini hesaba katan modeller de önerilmiştir.

Tanımlanan birçok model yardımıyla literatürde pratik uygulamalar yapılmıştır. Ancak, bu uygulamaların yapıldığı bölgelerdeki talep noktası ve potansiyel istasyon alanı sayısının büyüklüğüne bağlı olarak modellerin YA teknikleri ile çözümü zor olduğu için farklı sezgisel ve ileri-sezgisel yöntemlerin kullanımı uygun görülmüştür. Örneğin, Gendreau vd. (1997) Montreal'daki acil yardım istasyonu yerleşimi için *Tabu Arama (TA - Tabu Search)* uygulamasından bahsetmektedir. Harewood (2002) tarafından Barbados için yapılan planlama ise *benzetim (simülasyon)* yardımıyla çözülmüştür. Doerner vd. (2005)'de Avusturya'daki acil yardım istasyonlarının yerleşimi için *TA* ve *Karınca Kolonisi Optimizasyonu (Ant Colony Optimization)* yöntemleri karşılaştırılmıştır. Bunun dışında, Jia vd. (2005) tarafından yapılan çalışmada ise Los Angeles eyaleti için planlama amacıyla *Genetik Algoritma (GA - Genetic Algorithm)*, *Lagrange gevşetmesi (Lagrangian relaxation)* ve sonraki aşamaların hesaba katılmadığı sezgisel yöntemlerin (*greedy heuristic*) sonuçları kıyaslanmıştır.

3. MODELLER VE VERİ TOPLAMA

Önerilen modellerde, her bölgeye en fazla bir istasyon kurulabileceği varsayımına dayalı olarak t_1 ve t_2 dakika içinde en az iki farklı bölgedeki acil yardım istasyonları tarafından tek ve çok dönemli olarak kapsanacak olan nüfusun enbüyüklenmesi hedeflenmektedir. Burada, hem acil yardım talebinin geldiği hem de potansiyel acil yardım istasyonlarının yerleri aynı bölge kümesi olarak kabul edilmiştir. İstanbul'daki acil yardım istasyonu planlamasında bu bölgeler mahalle olarak alınmıştır.

3.1 Önerilen Tek Dönemli Model

Tek dönemli modelde, belirli istasyon sayısı kısıtı altında, t_1 dakika içinde en az bir istasyon tarafından t_2 dakika ($t_1 < t_2$) içinde de alternatif farklı bir istasyon tarafından hizmet verilecek toplam nüfus enbüyüklenmektedir. Modelde, herhangi bir mahalle bir acil yardım istasyonu tarafından kapsanıyorsa o mahalledeki bütün nüfusun kapsandığı

varsayılmaktadır. *Tek Dönemli Yedek Çift Kapsama Modeli (TDYÇK)* olarak adlandırılan model şu şekildedir (Çatay vd., 2007):

M mahalle kümesi

K en fazla açılacak istasyon sayısı

P_j j mahallesinin nüfusu

$a_{ij} = \begin{cases} 1, & i \text{ mahallesindeki ambulans } j \text{ mahallesine } t_1 \text{ dakika içinde giderse} \\ 0, & \text{aksi durumda} \end{cases}$

$b_{ij} = \begin{cases} 1, & i \text{ mahallesindeki ambulans } j \text{ mahallesine } t_2 \text{ dakika içinde giderse} \\ 0, & \text{aksi durumda} \end{cases}$

Karar değişkenleri:

$x_i = \begin{cases} 1, & i \text{ mahallesine istasyon kurulursa} \\ 0, & \text{aksi durumda} \end{cases}$

$y_j = \begin{cases} 1, & j \text{ mahalleleri çift kapsama içinde ise} \\ 0, & \text{aksi durumda} \end{cases}$

$Z = \max \sum_{j \in M} P_j y_j$

$$\sum_{i \in M} x_i \leq K, \quad (1)$$

$$\sum_{i \in M} a_{ij} x_i - y_j \geq 0, \quad \forall j \in M \quad (2)$$

$$\sum_{i \in M} b_{ij} x_i - 2y_j \geq 0, \quad \forall j \in M \quad (3)$$

$$x_i \in \{0,1\}, \quad \forall i \in M \quad (4)$$

$$y_j \in \{0,1\}, \quad \forall j \in M \quad (5)$$

Modelde amaç fonksiyonu çift kapsanan nüfusun enbüyüklenmesidir. Kısıt (1), açılacak toplam acil yardım istasyonu sayısını göstermektedir. Her istasyona sadece bir ambulans atanacağı varsayımıyla K sayısı aynı zamanda ambulans sayısını göstermektedir. Kısıt (2), bir mahallenin çift kapsama içinde hizmet edilmesi için, bu mahallenin t_1 dakikada bir istasyon tarafından kapsanması gerektiğini göstermektedir. t_1 dakika içinde kapsanan bir mahalle aynı zamanda t_2 dakika içinde de aynı istasyon tarafından kapsanacağı için ($t_1 < t_2$ nedeniyle) kısıt (3), çift kapsama olabilmesi için aynı mahallenin t_2 dakika içinde iki farklı istasyon tarafından kapsanması gerektiğini göstermektedir. Kısıt (4) ve (5) karar değişkenlerinin sadece 0 ve 1 değerlerini alabileceğini ifade etmektedir.

Bu modeli literatürde yer alan klasik EKM'den ayıran en önemli özellik (2) ve (3) çift kapsama kısıtlarına dayalı olarak y_j karar değişkenlerinden kaynaklanmaktadır. EKM, sadece y_j değişkenleri sürekli hâle getirilerek DP gevşetme yöntemi ile çözüldüğünde y_j değişkenleri doğal şekilde 0 veya 1 değeri almaktadırlar. Diğer bir ifadeyle, y_j değişkenleri sürekli olarak da tanımlansa modelde bir değişiklik olmamaktadır. Ancak aynı DP gevşetme TDYÇK modeline uygulandığında, y_j değişkenleri sürekli değer alabilmektedir.

Önerilen modelin İstanbul için uygulanmasında İBB Acil Yardım ve Cankurtarma Müdürlüğü ile yapılan görüşmeler sonucunda t_1 ve t_2 müdahale sürelerinin beş ve sekiz dakika olarak alınması uygun görülmüştür. Giriş kısmında belirtildiği üzere mevcut durumdaki 18 istasyon ile İstanbul nüfusunun %18,43 gibi düşük bir oranı kapsamaktadır. Ancak Kısıt (1)'deki acil yardım istasyon (K) sayısı 18'e eşitlenerek TDYÇK modeli çözüldüğünde toplam nüfusun %55'inin kapsandığı görülmüştür. Bu da, hem İstanbul için yapılan planlamanın önemini hem de mevcut acil yardım istasyonlarının yerlerinin çok da etkin olmaması nedeniyle tamamen yeni bir yerleştirme planının irdelenmesinin gerekliliğini göstermektedir. Elde edilen bilgilere dayanarak 2008 yılı için planlanan istasyon sayısı $K=35$ olarak belirlenmiştir. Buna göre model, 2008 yılı için en fazla 35 acil yardım istasyonu ile beş dakika içinde bir istasyon ve 8 dakika içinde de farklı en az başka bir istasyon ile kapsanan toplam mahalle nüfuslarını enbüyüklemeyi amaçlamaktadır.

3.2 Önerilen Çok Dönemli Model

Acil yardım istasyonlarının planlanması stratejik bir konu olduğundan, bu konuda çoğu zaman çok dönemli planlamaya ihtiyaç duyulabilmektedir. Yapılacak çok dönemli çalışma, planlamanın yapıldığı bölgenin nüfusu ve gelişme stratejisi ile çalışma için ayrılan bütçe vb. birçok faktöre bağlıdır. Önceki bölümde önerilen TDYÇK modelinin uzantısı olarak bu bölümde ÇDYÇK modeli önerilmektedir.

Önerilen çok dönemli modelde her dönem için

sınırlı sayıda istasyon kısıtı ile, belirlenen iki farklı zaman diliminin her ikisi içinde farklı noktalardan atanmak koşuluyla en az birer tane acil yardım istasyonları tarafından hizmet edilen nüfusun tüm dönemler üzerinden toplamı enbüyüklenmektedir. Zaman dilimleri ve her dönemin istasyon kısıtı tek dönemli modelde olduğu gibi tespit edilmektedir. Aynı şekilde, tüm potansiyel yerleşim alanlarına en fazla bir istasyon kurulabileceği ve talep noktalarının kısmi olarak kapsanamayacağı varsayılmıştır. Bununla birlikte, herhangi bir dönem açılan istasyonun sonraki dönemlerde kapanmayacağı bilgisi kullanılmıştır. Önerilen *Çok Dönemli Yedek Çift Kapsama (ÇDYÇK) Modeli* şu şekildedir (Çatay vd., 2007):

T dönem kümesi ($t = 1, \dots, |T|$)

K_t t döneminde açık olabilecek en fazla istasyon sayısı ($K_t \geq K_{t-1}$)

P_{jt} j mahallesinin t dönemindeki nüfusu

Karar değişkenleri:

$$x_{it} = \begin{cases} 1, & i \text{ mahallesinde } t \text{ döneminde istasyon kurulursa} \\ 0, & \text{aksi durumda} \end{cases}$$

$$y_{jt} = \begin{cases} 1, & j \text{ mahallesi } t \text{ döneminde çift kapsama içinde ise} \\ 0, & \text{aksi durumda} \end{cases}$$

$$Z = \max \sum_{t \in T} \sum_{j \in M} P_{jt} y_{jt}$$

$$\sum_{i \in M} x_{it} \leq K_t, \quad \forall t \in T \quad (6)$$

$$\sum_{i \in M} a_{ij} x_{it} - y_{jt} \geq 0, \quad \forall j \in M, \forall t \in T \quad (7)$$

$$\sum_{i \in M} b_{ij} x_{it} - 2y_{jt} \geq 0, \quad \forall j \in M, \forall t \in T \quad (8)$$

$$x_{it} - x_{i,t-1} \geq 0, \quad \forall i \in M, \forall t \in T \quad (9)$$

$$x_{it} \in \{0,1\}, \quad \forall i \in M, \forall t \in T \quad (10)$$

$$y_{jt} \in \{0,1\}, \quad \forall j \in M, \forall t \in T \quad (11)$$

M , a_{ij} ve b_{ij} TDYÇK modelinde tanımlandıkları gibidir. Modelde görüldüğü üzere amaç fonksiyonu bütün dönemlerde çift kapsanan toplam nüfusu (ya da ortalama nüfusu) enbüyüklemektedir. Kısıt (6), (7) ve (8) tek dönemli modeldeki aynı kısıtları her dönem için ayrı ayrı ele almaktadır. Kısıt (9), bir dönem açılan

acil yardım istasyonunun sonraki dönemlerde de açık kalması gerektiğini ifade etmektedir. Kısıt (10) ve (11) ise her dönem için mahalle nüfuslarını kapsama ve istasyon açma değişkenlerinin sadece 0 veya 1 değeri alabileceğini göstermektedir.

Kısıt (9)'un ifade ettiği üzere açılan bir istasyonun sonraki dönemlerde kapatılmaması yani modelde dönemleri birbirine bağlayan bir kısıtın olması ÇDYÇK modelinin her dönem için parçalanamayacağını ve ayrı ayrı birer TDYÇK modeli olarak çözülemeyeceğini göstermektedir.

3.3 Veri Toplama

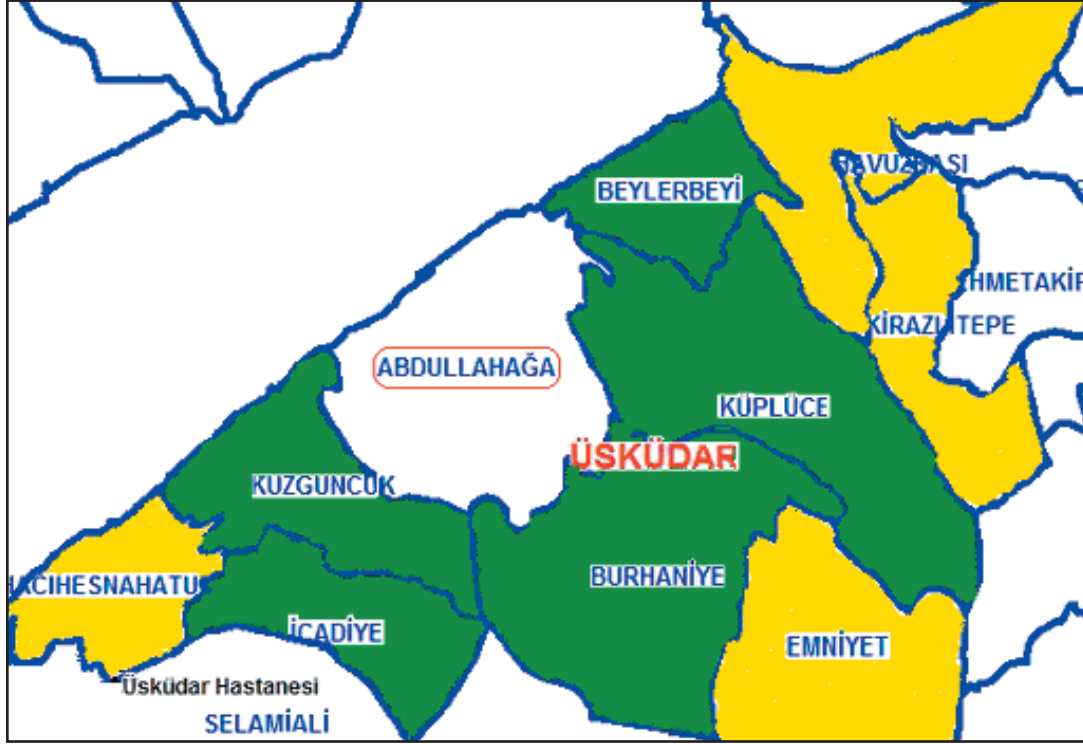
Avrupa yakasındaki Çatalca ve Silivri ile Anadolu yakasında yer alan Şile ilçeleri diğer tüm ilçelerden uzakta yer almaları ve bunların her biri için bağımsız bir planlamanın yapılması daha uygun görüldüğü için bu çalışmada yer almamışlardır. Ele alınan diğer ilçelerde toplam 710 mahalle yer almaktadır. Bu 710 mahallenin 243'ü Anadolu yakasında, 467 tanesi ise Avrupa yakasında yer almaktadır. Buna göre İstanbul'da ele alınan ilçelerdeki toplam 710 mahalleye ait nüfus ile her mahalleden diğer hangi mahallelere belirtilen zaman dilimleri içinde ulaşılabilirdiği bilgisine ihtiyaç duyulmuştur.

Çalışma gerçekleştirilirken 2008 yılının güncel nüfus verileri mevcut olmadığından Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından 2000 yılında tespit edilen nüfus bilgileri kullanılmıştır. 2000 yılı nüfus bilgilerine bağlı olarak saptanan ve ilçe bazında olan 2008 yılı projeksiyonlarına göre, her mahallenin bulunduğu ilçe içindeki nüfus oranı saptanmış ve İstanbul'daki tüm mahallelerin 2008 yılı nüfus verileri bu orana göre tahmin edilmiştir. Ayrıca, TÜİK tarafından şehir ve köy nüfusları ayrı olarak saptanan Anadolu yakasına bağlı Ümraniye ve Kartal ilçelerindeki mahallelerin nüfusları, bağlı oldukları belde veya merkez içindeki oranlara göre saptanmıştır. Böylelikle bu ilçelerdeki şehir ve köy nüfus artışı ayrı şekilde hesaba katılmıştır. TÜİK'in nüfus bilgilerindeki Anadolu ve Avrupa yakasına bağlı tüm ilçelerdeki "mahallesi bilinmeyen" olarak görülen yerlerin nüfusları gözardı edilmiş

yani bu mahallelerin nüfusları bağlı oldukları ilçe nüfusundan düşülerek oranlama yapılmıştır.

Önerilen çok dönemli modelin İstanbul'a uygulanmasında dört yıllık bir planlama uygun görülmüştür. Bunun için 2008, 2009, 2010 ve 2011 yılları için toplam acil yardım istasyonu sayıları (K_t) Acil Yardım Cankurtarma Müdürlüğü tarafından sırasıyla 35, 50, 60 ve 70 olarak belirtilmiştir. Ayrıca İstanbul nüfusunun dört yıl boyunca değişmeyeceği varsayımıyla, ÇDYÇK modelinde kullanılmak üzere ihtiyaç duyulan dört yıllık nüfus bilgileri 2008 yılı projeksiyonlarına eşit olarak kullanılmıştır.

İhtiyaç duyulan diğer veriler ise beş dakika ve sekiz dakika içinde mahalleler arası ulaşım bilgisidir. Uluslararası standartlara göre daha kısa olan bu müdahale süreleri İstanbul'daki trafik yoğunluğunun belirsizliği göz önünde bulundurularak muhafazakar bir biçimde belirlenmiştir. Bu verilerin toplanması için her mahalleye özgü oluşturulan ve bu mahallenin kapsayabileceği çevre mahallelerin gösterildiği haritalar çıkarılmıştır. Mahalle bazında kapsama bilgileri Acil Yardım ve Cankurtarma Müdürlüğünde çalışmakta olan tecrübeli ambulans şoförlerinin 710 harita üzerinde tek tek işaretlemeleri sonucunda elde edilmiştir. Bu verinin nasıl elde edildiğine dair bir örnek uygulama Şekil 1'de gösterilmiştir. Bu şekilde koyu renk olan mahalleler Abdullağa mahallesine kurulacak bir istasyon tarafından beş dakika içinde kapsanan mahalleleri, açık renk olanlar ise sekiz dakika içinde kapsanan mahalleleri göstermektedir. Bu bilgiye dayanarak a_{ij} ve b_{ij} değerleri Şekil 2'de örnek olarak gösterilen matrisler aracılığıyla oluşturulmuştur. Veri toplanırken, Avrupa ve Anadolu yakalarını birbirine bağlayan Boğaziçi ve Fatih Sultan Mehmet köprülerindeki trafik yoğunluğundaki belirsizlik nedeniyle iki yaka arasında karşılıklı acil yardım müdahalesinin olmayacağı varsayılmıştır. Ayrıca, kurulacak bir acil yardım istasyonunun mahallenin tahmini merkezinde yer alacağı varsayılarak buradan diğer mahallelerin en uzak noktasına olan ulaşım süresi göz önünde bulundurularak kapsama verileri çıkarılmıştır.



Şekil 1. İstanbul için 5 ve 8 Dakika İçinde Ulaşım Verisinin Toplanması

ÜSKÜDAR	ABDULLAHAĞA	ACIBADEM	AHÇIBAŞI	AHMET ÇELEBİ	ALTUNIZADE	ARAKIYECİ HACI CAFER	ARAKIYECİ HACI MEHMET	AYAZMA	BAHÇELİEVLER	BARBAROS	BEYLERBEYİ	BULGURLU	BURHANIYE	CUMHURİYET	EMEK
ABDULLAHAĞA	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
ACIBADEM	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
AHÇIBAŞI	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0
AHMETÇELEBİ	0	0	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0
ALTUNIZADE	1	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0
ARAKIYECİ HACI CAFER	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0
ARAKIYECİ HACI MEHMET	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0
AYAZMA	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0
BAHÇELİEVLER	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1
BARBAROS	0	1	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0
BEYLERBEYİ	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
BULGURLU	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0
BURHANIYE	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
CUMHURİYET	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0
EMEK	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1

Şekil 2. Beş Dakika İçinde Kapsama Matrisi Örneği

4. YÖNTEMLER VE ÇÖZÜMLER

TDYÇK probleminin en iyi çözümünü bulmak için ILOG OPL Studio 5.5 (CPLEX 11.0) yazılımı kullanılmış ve bu sürümün performansının (özellikle önceki sürümlerden) oldukça üstün olduğu gözlemlenmiştir. Gerek ÇDYÇK modelinin OPL Studio 5.5 ile çözümünün zaman açısından oldukça külfetli olması nedeniyle gerekse TDYÇK modelinin daha büyük ölçekli uygulamalarında gereksinim duyulacağı üzere basit ve hızlı çalışan üç farklı sezgisel yöntem önerilmiştir. Buradaki bir diğer amaç ise OPL Studio gibi pahalı bir yazılıma sahip olmadan da bu tip problemler için çözüm üretebilme yeteneği geliştirmek ve buradan daha karışık fakat etkin algoritmalar geliştirmek için yol göstermektir. Önerilen sezgisel yöntemlere geçmeden önce İstanbul'da hem KKM hem de TDYÇK problemlerinin OPL ile elde edilen optimal çözümleri sunulacaktır. Bu çalışmada, istasyon yerlerine dair detaylı bilgilere yer verilmemiş, elde edilen çözümlerin kalitesi amaç fonksiyonu değerleri üzerinden irdelenmeye çalışılmıştır. Detaylı çözümler Çatay vd. (2007)'de bulunabilir.

4.1 İstanbul İçin En İyi Çözümler

İstanbul'daki tüm mahallelerin beş ve sekiz dakika içinde en az iki ayrı mahalledeki birer istasyon ile farklı tipte küme kapsamalarını ele alan Yedek Çift KKM (YÇKKM) OPL Studio 5.5 ile çözülerek optimal sonuçlar elde edilmiştir. Buna göre beş dakika KKM problemi için 3,5 saniye içinde en az 111 istasyonun ve sekiz dakika KKM problemi için de 3,48 saniye içinde en az 47 istasyonun gerekli olduğu saptanmıştır. Bulunan istasyon sayılarının çokluğu açıkça göstermektedir ki Gendreau vd. (1997) tarafından önerilen ÇKM'dekine benzer biçimde bir küme kapsama kısıtının kullanılması Acil Yardım ve Cankurtarma Müdürlüğü tarafından belirlenen istasyon sayıları nedeniyle mümkün değildir. YÇKKM probleminde ise 3,5 saniye içinde en az 129 istasyona ihtiyaç duyulduğu ortaya çıkmıştır. Gerek bu problem gerekse beş dakika KKM probleminde istasyon sayılarının oldukça büyük çıkmasının nedeni, Küçükçekmece ve Sarıyer'de mahallelerin büyük ve aralarındaki mesafelerin uzun olması gibi özelliklerden kaynaklanan ulaşım zorluğundan dolayı tüm

mahallelerin beş ve sekiz dakika içinde kapsanması için çok sayıda istasyona ihtiyaç duyulmasıdır. Buna karşılık, sınırları içinde çok sayıda mahalle barındırmasına rağmen mahallelerin küçüklüğü ve aralarındaki ulaşımın kolay olduğu Beyoğlu, Eminönü ve Fatih gibi ilçelerdeki mahallelerin kapsanması için az sayıda acil yardım istasyonu yeterli olmaktadır.

Ayrıca şunu da belirtmekte fayda vardır ki Avrupa ve Anadolu yakası arasında karşılıklı acil yardım müdahalesi mümkün olmadığı için İstanbul'un KKM problemini her iki yaka için ayrı ayrı çözmek mümkündür ve bu çözümü hızlandıran bir unsurdur. Ancak aynı durum, ortak kapasite kısıtı olan istasyon sayısı nedeniyle EKM problemi için söz konusu değildir.

TDYÇK probleminde önceden de belirtildiği üzere 2008 için acil yardım istasyon sayısı kısıtı 35 iken İstanbul nüfusunun en fazla %74,75'inin kapsanabildiği tespit edilmiştir. YÇKKM sonucuna göre %100 kapsama için en az 129 acil yardım istasyonu gerekirken bunun üçte birinden az sayıdaki 35 istasyonla nüfusun %74,75 gibi büyük bir kısmı kapsanabilmektedir. Bu durum, kısıtlı sayıdaki istasyonların etkin kullanımı için doğal olarak nüfusu yoğun olan mahallelere öncelik verilmesinden kaynaklanmaktadır.

4.2 Sezgisel Yöntemler

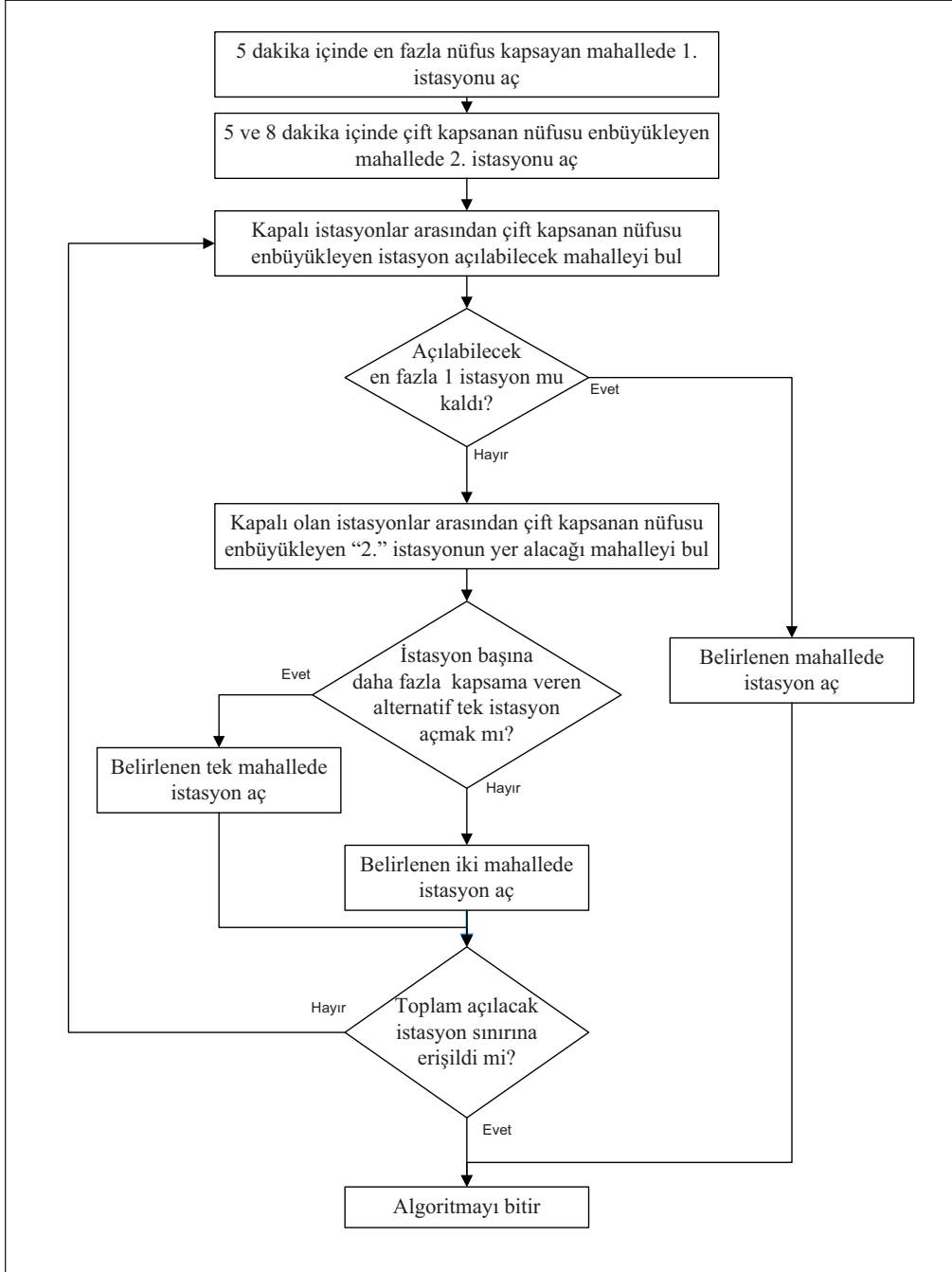
İstanbul'da 710 adet potansiyel istasyon alanı olması nedeniyle ve dört yıllık dönem için modellendiğinde ortaya çıkan *ikili (binary)* değişken sayısının dört katına çıkarak büyük sayıda artması ve herhangi bir dönemde açılan istasyonların sonraki dönemde kapanmamasına dair kısıt eklenmesi, ÇDYÇK probleminin en iyi çözümüne ulaşılmasını zorlaştırmaktadır. Bu yüzden, kısa zamanda iyi bir çözüm elde edebilmek amacıyla üç farklı sezgisel yöntem geliştirilmiştir.

4.2.1 Miyop Sezgisel Yöntem

Bu yöntemde önce beş dakika içinde en fazla nüfusu kapsayan mahalleye bir istasyon açılmakta; sonrasında sekiz dakika kapsama durumunu göz önünde bulundurarak en fazla çift kapsama değerini

veren mahallede ikinci istasyon açılmaktadır. Bu başlangıç aşamasından sonra sadece kapsanmayan mahalleler göz önünde bulundurularak aynı yöntemle bulunan yeni bir istasyon ikilisi ile önceki çözüme yeni bir istasyon eklenmesi durumunda elde

edilecek ambulans başına düşen kapsama değerleri karşılaştırılarak en yüksek kapsamayı veren çözüm seçilmektedir. Bu uygulamaya açılacak en fazla istasyon sayısına erişilinceye kadar devam edilir. Yöntemin akış diyagramı Şekil 3'te gösterilmiştir.

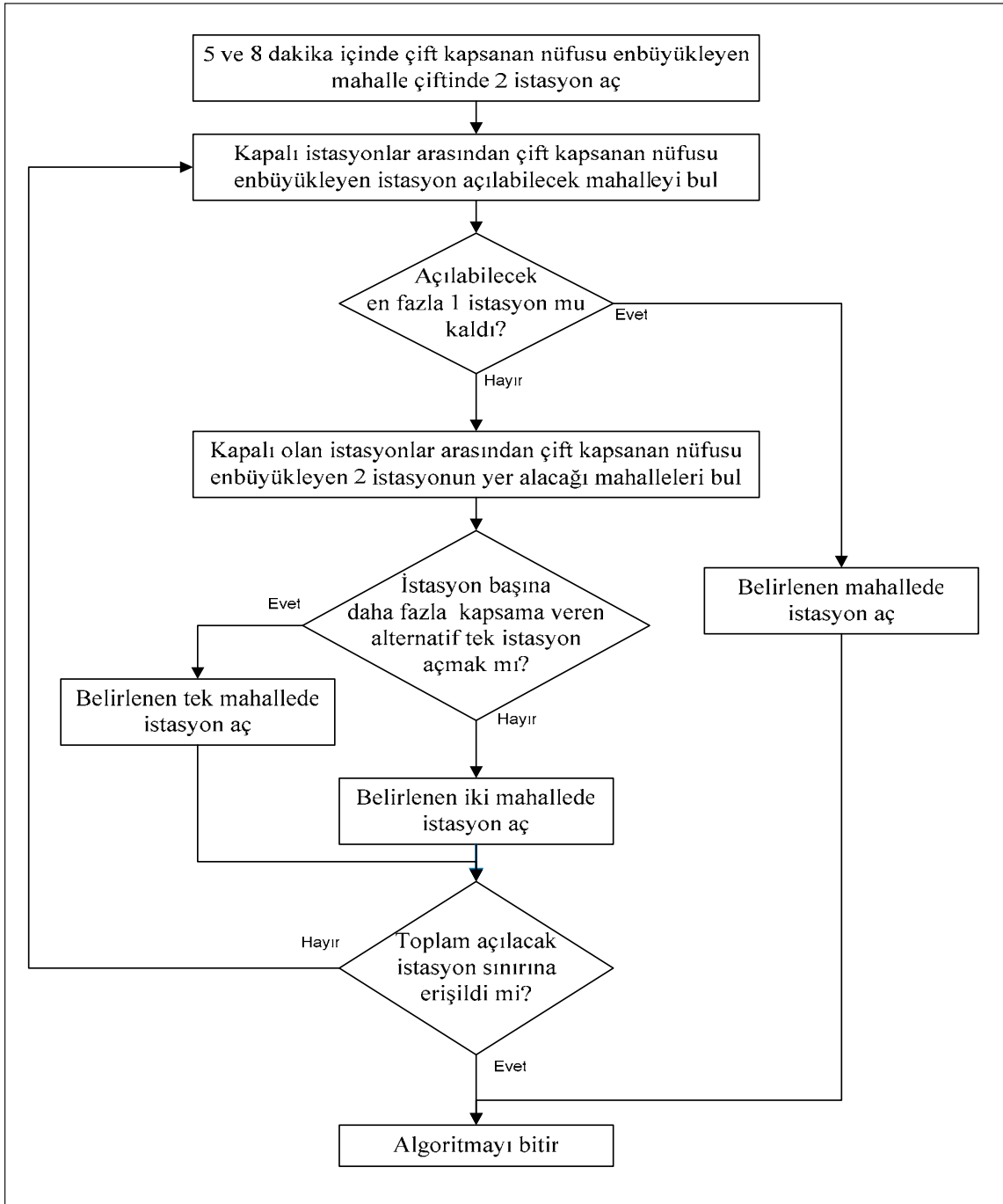


Şekil 3. Miyop Sezgisel Yöntemin Akış Diyagramı

4.2.2 Kombinasyonlu Sezgisel Yöntem

Bu yöntemde öncelikle, potansiyel istasyon yerleşim alanı olan 710 mahalle arasındaki tüm ikili

kombinasyonlar göz önünde bulundurularak en fazla çift kapsama değerini veren iki mahallede birer istasyon açılmaktadır. Bu aşamadan sonra, istasyon



Şekil 4. Kombinasyonlu Sezgisel Yöntemin Akış Diyagramı

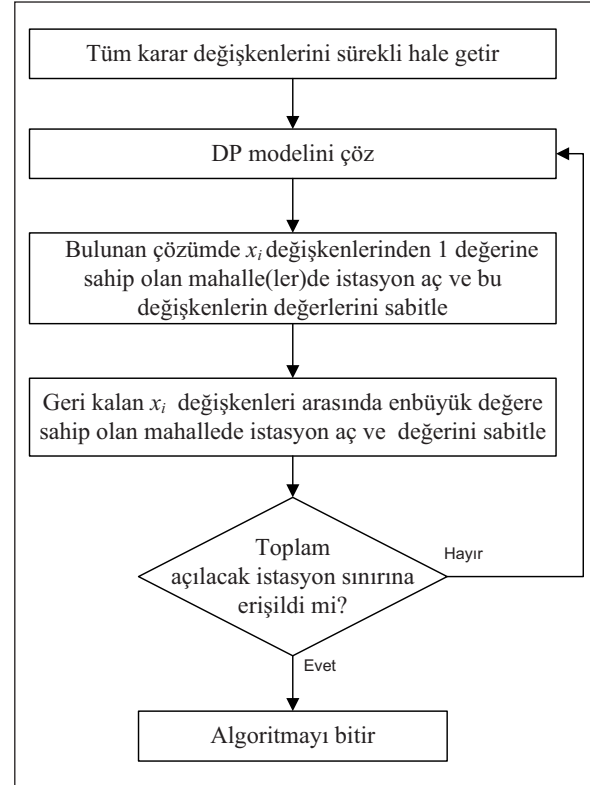
açılmamış mahalleler arasından önceki çözümde olduğu gibi sadece kapsanmayan mahalleleri göz önünde bulunduracak şekilde aynı yöntemle bulunan yeni bir istasyon ikilisi ile mevcut çözüme yeni bir istasyon eklenmesi durumunda elde edilecek ambulans başına düşen kapsama değerleri karşılaştırılarak en yüksek kapsama veren çözüm seçilmektedir. Uygulamaya, açılacak en fazla istasyon sayısına erişilinceye kadar devam edilir. Böylelikle bu yöntemin miyop sezgisel yöntemden farkı, sadece beş dakika içinde kapsadığı nüfusu en fazla olan mahalleyi değil her defasında tüm ikili kombinasyonları hesaba katmasıdır. Yöntemin akış diyagramı Şekil 4'te gösterilmiştir.

Bu yöntem aracılığıyla çözüme ulaşmanın miyop sezgisel yöntemde göre çok uzun zaman alacağı kolaylıkla görülmektedir. Çünkü, gittikçe azalan sayıda ancak yine de her defasında istasyon açılmamış olan mahalleler arasındaki tüm ikili kombinasyonları deneyerek, bu mahallelerde istasyon açılması durumunda amaç fonksiyon değerindeki artışa bakılmaktadır. Bu yöntemde sadece açılan ilk iki istasyonun önceki yöntemde açılan ilk iki istasyonun kapsayacağı nüfusa eşit veya daha fazla sayıda nüfusu kapsayacağı garantidir. Ancak, sonraki aşamalarda bir veya iki tane istasyonun açılması ile amaç fonksiyonunda oluşacak artış değeri, açık olan acil yardım istasyonlarına bağlı olduğundan, uzun sürmesine rağmen bu yöntemin öncekine göre daha iyi sonuç vereceğinin garantisi yoktur.

4.2.3 Doğrusal Programlama Gevşetme Temelli Sezgisel Yöntem

Önceden de belirtildiği üzere önerilen modelin, ikili değişkenler nedeniyle en iyi çözüme ulaşılması zordur. Bu nedenle, modeldeki kapsama ve istasyon açma değişkenlerinin sürekli (*continuous*) hâle getirilmesi ile çözümü kolaylaştıracak bir sezgisel yöntem saptanmıştır. Bu yöntemde önce tüm x_i ve y_j değişkenleri sürekli hâle getirilerek model DP gevşetme yöntemi ile çözülmektedir. Bulunan çözümde, x_i değişkenleri arasında 1 değeri alanlar varsa bunlar sabitlenir. Kalan x_i değişkenleri arasında en büyük değere sahip olan 1 yapılır ve model yeniden

çözülür. Bu uygulamaya açılacak en fazla istasyon sayısına erişilinceye kadar devam edilir. Yöntemin akış diyagramı Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. Doğrusal Programlama Gevşetme Temelli Sezgisel Yöntemin Akış Diyagramı

4.2.4 ÇDYÇK Modeli İçin Sezgisel Yöntem

ÇDYÇK problemi için önerilen yöntem birinci dönemden başlayarak her dönemi ayrı ayrı TDÇYK problemi olarak çözmek ve bunu yaparken bir

Adım 1:	Birinci dönemin istasyon kısıtı altında TDYÇK problemini çöz ve açılacak olan istasyonları bul.
Adım 2:	Önceki adımda açılan istasyonları sabitleyerek mevcut dönemin istasyon kısıtı altında TDYÇK problemini çöz ve açılacak olan istasyonları bul.
Adım 3:	Bütün dönemler bitene kadar Adım 2'yi tekrar et.

Şekil 6. ÇDYÇK Modeli İçin Sezgisel Yöntemlerin Adımları

sonraki dönemin çözümünde önceki dönemde açılan acil yardım istasyonlarını sabitleyerek devam etmek şeklindedir. Yöntemin adımları Şekil 6'da gösterilmiştir.

4.3 Sezgisel Yöntemlerin Önerilen Modellere Uygulanması

Bölüm 4.2'de betimlenen sezgisel yöntemler İstanbul için TDYÇK ve ÇDYÇK problemlerine uygulanarak çözümün süresi ve optimale uzaklığı açısından karşılaştırmalı bir analiz yapılmıştır. Sezgisel yöntemlerin uygulanmasında Microsoft Visual C++ 6.0, DP gevşetme sezgisel yönteminin uygulanmasında ise OPL Studio 5.5 kullanılmıştır (OPL yerine ücretsiz bir DP yazılımının kullanımı da tabii ki mümkündür). Kullanılan işlemci 1 GB RAM'e sahip 2 GHz Intel Xeon'dur.

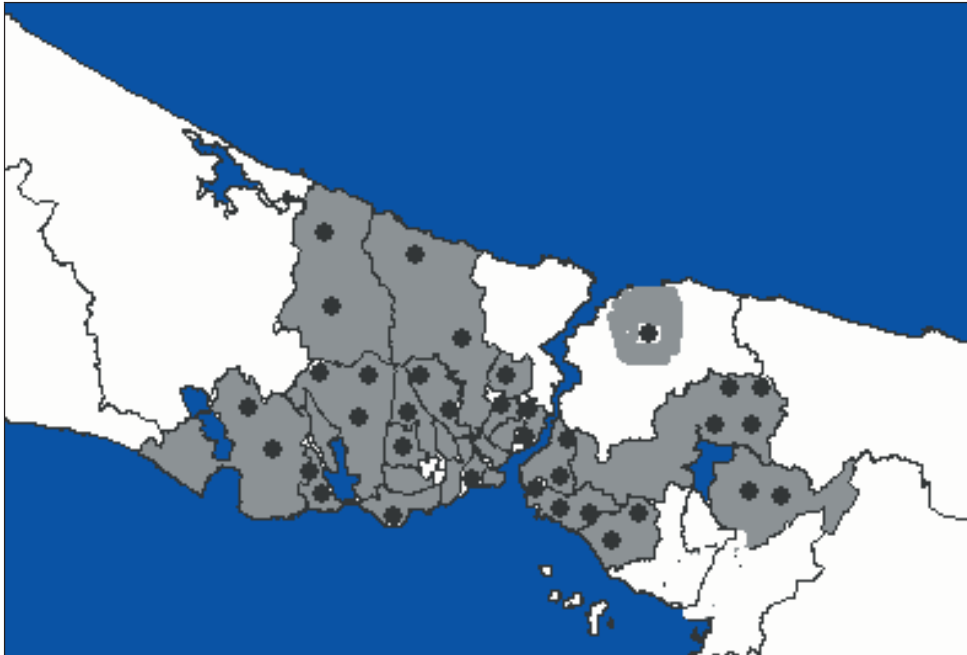
4.3.1 Sezgisel Yöntemlerin TDYÇK Problemine Uygulanması

TDYÇK problemi için kapsanan nüfus, çözüm süresi ve optimale uzaklık değerleri bulunmuş ve sonuçlar Tablo 1'de gösterilmiştir. Bu tabloda görüldüğü üzere farklı üç yöntem arasında amaç fonksiyonu açısından en iyi sonucu DP gevşetme yöntemi verirken miyop yöntem de kısa sürede göreceli olarak iyi bir çözüm sağlamaktadır. Bu sonuçlarda ilgi çekici olan tüm ikili kombinasyonları denemesine rağmen kombinasyonlu yöntem miyop yöntemden daha kötü bir sonuç vermiştir. Öte yandan, beklendiği üzere kombinasyonlu yöntemin çözüm süresi de çok uzun sürmektedir.

DP gevşetme yöntemi ile bulunan çözüm ayrıca Şekil 7'de İstanbul'un ilçeler bazında haritası üzerinde de gösterilmiştir. Bu şekilde noktalar

Tablo 1. 35 İstasyon Kısıtlı TDYÇK Probleminin Sonuçları

	Miyop Yöntem	Kombinasyonlu Yöntem	DP Gevşetme Yöntemi
Kapsama (%)	72,86	72,50	73,18
Süre (sn)	16,03	3129,43	59,92
Eniyi çözüme uzaklık (%)	2,52	3,01	2,09



Şekil 7. DP Gevşetme ile Bulunan Çözüm

açılan istasyonları, renkli bölgeler ise çift kapsanan mahalleleri göstermektedir.

Önerilen yöntemlerin istasyon sayısına bağlı olarak nasıl sonuçlar verdiğini incelemek üzere $K = 30, 40$ ve 45 kısıtı altındaki çözümler de bulunmuştur. Bu çözümlere yönelik kapsama, süre ve eniyi çözüme uzaklık değerleri Tablo 2'de özetlenmiştir. Bu tabloda da görüldüğü üzere önerilen sezgisel yöntemler oldukça iyi sonuçlar vermektedir.

bulunan en iyi olurlu (*feasible*) sonuçla yani optimal çözüm için alt limit değeriyle karşılaştırma yapılmıştır. Bulunan alt limit değeri dönem başına %84,38 ve üst limit değeri de %85,28'dir. Buna göre alt limitin eniyi çözüme yakınlığı en fazla %1,07'dir.

Sezgisel yöntemler ile elde edilen sonuçların daha uzun sürede OPL Studio 5.5 ile bulunan çözüme yakın olması bu yöntemlerin acil yardım istasyonlarının planlamasında uygunabilecek basit ve hızlı yöntemler

Tablo 2. 30, 40 ve 45 İstasyon Kısıtlı TDYÇK Probleminin Sonuçları

		Miyop Yöntem	Kombinasyonlu Yöntem	DP Gevşetme Yöntemi
$K = 30$	Kapsama (%)	68,80	69,30	69,39
	Süre (sn)	13,42	2424,56	45,23
	Eniyi çözüme uzaklık (%)	2,49	1,78	1,65
$K = 40$	Kapsama (%)	76,24	75,91	76,84
	Süre (sn)	18,32	3761,51	57,37
	Eniyi çözüme uzaklık (%)	2,67	3,08	1,90
$K = 45$	Kapsama (%)	79,79	78,81	80,42
	Süre (sn)	20,57	6022,45	63,12
	Eniyi çözüme uzaklık (%)	2,23	3,44	1,46

Tablo 3. ÇDYÇK Probleminin Sezgisel Yöntem Sonuçları

	Miyop Yöntem	DP Gevşetme Yöntemi
Ortalama kapsama (%)	83,30	83,57
Süre (sn)	63,28	107,14
OPL çözümüne uzaklık (%)	1,31	0,98

4.3.2 Sezgisel Yöntemlerin ÇDYÇK Problemine Uygulanması

ÇDYÇK problemi için 2008, 2009, 2010 ve 2011 yılları için gerçek veri olan 35, 50, 60 ve 70 istasyon kısıtı ile kapsanan nüfus, çözüm süresi ve OPL çözümüne uzaklık değerleri bulunmuş ve sonuçlar Tablo 3'te gösterilmiştir. Kapsanan nüfus dönem başına ortalama olarak ifade edilmiştir. Çözüm süresinin çok uzun olması nedeniyle kombinasyonlu sezgisel yöntem uygulanmamıştır. Aynı şekilde optimal çözüme ulaşma süresinin uzunluğu nedeniyle OPL Studio 5.5 10 dakika süreyle çalıştırılmış ve

olduğunu göstermiştir. Ayrıca, tek dönemli modelde olduğu gibi burada da DP gevşetme yöntemi daha iyi sonuç verirken miyop yöntem daha hızlı çalışmaktadır. TDYÇK modelinin sonuçlarında gösterildiği üzere, önerilen yöntemlerin istasyon kısıtına olan bağlılığını ölçmek için $K_i = 30, 40, 50, 60$, $K_i = 40, 50, 60, 70$ ve $K_i = 45, 55, 65, 75$ ile bulunan sonuçlar Tablo 4'te özetlenmiştir.

Tablo 3'te gösterildiği üzere gerçek veriler için iyi sonuçlar veren sezgisel yöntemlerin kalitesi, Tablo 4'te özetlenen farklı istasyon sayıları ile bulunan çözümler ile de gösterilmiştir.

Tablo 4. ÇDYÇK Probleminde Sezgisel Yöntemlerin Farklı Kısıtlar İçin Sonuçları

		Miyop Yöntem	DP Gevşetme Yöntemi
$K_i = 30, 40, 50, 60$	Ortalama Kapsama (%)	78,77	78,98
	Süre (sn)	78,16	69,58
	OPL çözümüne uzaklık (%)	1,73	1,46
$K_i = 40, 50, 60, 70$	Ortalama Kapsama (%)	84,14	84,57
	Süre (sn)	95,78	79,12
	OPL çözümüne uzaklık (%)	1,61	1,10
$K_i = 45, 55, 65, 75$	Ortalama Kapsama (%)	86,30	86,56
	Süre (sn)	105,76	82,65
	OPL çözümüne uzaklık (%)	1,48	1,18

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, İstanbul'da tek ve çok dönemli acil yardım istasyonlarının planlanması için izlenen aşamalardan ve uygulanan yöntemlerden bahsedilmiştir. Gerek duyulan hizmetin önemi gereği tek ve çok dönemli yedek çift kapsama modeli önerilmiştir. Bu modellerin büyük ölçütlü uygulamalarında optimal çözümü bulmak mümkün olmayacağı için hızlı sonuç verecek üç farklı sezgisel yöntem gösterilmiştir. Burada önerilen kombinasyonlu yöntemin doğası gereği uzun süreceği bilinmesine rağmen iyi bir çözüm vereceği öngörülmüş fakat bu doğrulanamamıştır. Gerek bu nedenle gerekse çözüm süresi nedeniyle bu yöntem çok dönemli problemin çözümünde kullanılmamıştır.

Burada vurgulanması gereken önemli bir nokta şudur: Elimizde zaten iyi sonuç veren OPL çözümleri var olduğu için İstanbul örneğinde bu makalede sunulan sezgisel yöntemlerin kullanılmasına gerek duyulmamıştır. Bu basit ve hızlı yöntemlerinin sunulmasında iki amaç vardır. Birincisi, OPL gibi bir yazılımın elde olmadığı durumlarda da hızlı bir şekilde iyi bir sonuç bulmak mümkün olabilir. İkincisi, bu yöntemlerle bulunan çözüm, tabu arama, benzetimli tavlama (*simulated annealing*) gibi ileri sezgisel yöntemlerin kullanımında başlangıç çözümü olarak kullanılabilir.

Farklı amaçlar dahilinde çalışmanın uzantısı olarak, kapsanan nüfusu enbüyüklemenin yanı sıra

maliyeti enküçükleyecek şekilde çok amaçlı olarak tanımlanacak bir model ile acil yardım istasyonlarının mevcut bazı yerleşim birimlerinde açılması alternatifi göz önünde bulundurulabilir. Örneğin, açılacak olan acil yardım istasyonlarının toplam maliyetini fazlasıyla düşüreceği hesaba katılarak mevcut itfaiye istasyonlarından faydalanılması bir seçenek olarak düşünülmektedir. Bunun yanında, bu çalışmada istasyon yerlerinin belirlenmesi amaçlanmış ve kapsanan bir mahallenin tüm nüfusunun kapsandığı varsayılmıştır. Buna göre, her istasyondaki ambulans sayılarının standartlara uygun şekilde belirlenmesi de ayrıca gerekmektedir. Diğer yandan, ambulans başına düşecek nüfus miktarını göz önünde bulunduran bir çalışmanın yapılması daha etkin ve sağlıklı sonuçlar verecektir. Ancak mevcut ambulans sayısı kısıtları altında bu çalışmanın yapılması bugün için anlamlı değildir.

EK: KISALTMALAR

İBB	İstanbul Büyükşehir Belediyesi
YA	Yöneylem Araştırması
EKM	Enbüyük Kapsama Modeli
ÇKM	Çift Kapsama Modeli
YKM	Yedek Kapsama Modeli
DP	Doğrusal Programlama
KKM	Küme Kapsama Modeli
AKM	Ardışık Kapsama Modeli
DEKM	Değiştirilmiş Enbüyük Kapsama Modeli
BEKM	Beklenen Enbüyük Kapsama Modeli

EHBM	Enbüyük Hazır Bulunma Modeli
DKKM	Değiştirilmiş Küme Kapsama Modeli
TA	Tabu Arama
GA	Genetik Algoritma
TDYÇK	Tek Dönemli Yedek Çift Kapsama
ÇDYÇK	Çok Dönemli Yedek Çift Kapsama
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
YÇKKM	Yedek Çift Küme Kapsama Modeli

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesine destek olan İstanbul Büyükşehir Belediyesi İtfaiye Daire Başkanlığı Acil Yardım ve Cankurtarma Müdürü Dr. Tuncay Bulut'a, proje boyunca gerek fikir alışverişinde gerekse gerekli verilerin toplanmasında yardımlarını ve zamanlarını esirgemeyen Müdür Yard. Dr. Bülent Dik ve Dr. Murat Yücesoy'a ve özellikle verilerin toplanmasında tecrübelerinden yararlandığımız Hacı Sancar ve tüm ambulans şoförlerine katkılarından dolayı teşekkür ederiz. Böyle bir projenin yapılmasına olanak tanıdığı için İstanbul Büyükşehir Belediyesi'ne ve yardımları için Stratejik Planlama Müdürlüğü personeline de teşekkür ederiz. Ayrıca değerli görüş ve önerileri için değerlendirme sürecinde yer alan hakemlere de teşekkür ederiz.

KAYNAKÇA

- Andersson, T., Varbrand, P. (2007). "Decision Support Tools for Ambulance Dispatch and Relocation", *Journal of the Operational Research Society*, 58, 195-201.
- Ball, M.O., Lin, L.F. (1993). "A Reliability Model Applied to Emergency Service Vehicle Location", *Operations Research*, 41, 18-36.
- Batta, R., Dolan, J.M., Krishnamurthy, N.N. (1989). "The Maximal Expected Covering Location Problem: Revisited", *Transportation Science*, 23, 277-287.
- Brotcorne, L., Laporte, G., Semet, F. (2003). "Ambulance Location and Relocation Models", *European Journal of Operational Research*, 147, 451-63.
- Church, R.L., ReVelle, C.S. (1974). "The Maximal Covering Location Problem", *Papers of the Regional Science Association*, 32, 101-118.
- Çatay, B., Başar, A., Ünlüyurt, T. (2007). "İstanbul'da Acil Yardım İstasyonları ve Araçlarının Planlanması", İBB Proje İstanbul Projesi Sonuç Raporu, İstanbul.
- Daskin, M.S. (1983). "A Maximum Expected Location Lodel: Formulation, Properties and Heuristic Solution", *Transportation Science*, 7, 48-70.
- Daskin, M.S., Stern, E.H. (1981). "A Hierarchical Objective Set Covering Model for Emergency Medical Service Vehicle Deployment", *Transportation Science*, 15, 137-152.
- Demirhan, N. (2003). "Türkiye'de 112: İlk ve Acil Yardım Hizmetleri ve Afetlerdeki Rolü", Acar Matbaacılık, İstanbul.
- Doerner, K.F., Gutjahr, W.J., Hartl, R.F., Karall, M., Reimann, M. (2005). "Heuristic Solution of an Extended Double-Coverage Ambulance Location Problem for Austria", *CEJOR*, 13, 325-340.
- Gendreau, M., Laporte, G., Semet, F. (2000). "A Dynamic Model and Parallel Tabu Search Heuristic For Real Time Ambulance Relocation", *Parallel Computing*, 27, 1641-1653.
- Gendreau, M., Laporte, G., Semet, F. (1997). "Solving an Ambulance Location Model by Tabu Search", *Location Science*, 5, 75-88.
- Harewood, S.I. (2002). "Emergency Ambulance Deployment in Barbados: A Multi-Objective Approach", *Journal of the Operational Research Society*, 53, 185-192.
- Hogan, K., ReVelle, C.S. (1986). "Concepts and Applications of Backup Coverage", *Management Science*, 34, 1434-1444.
- Jia, H., Ordóñez, F., Dessouky, M. (2005). "A Modeling Framework for Facility Location of Medical Services for Large-Scale Emergencies", *IIE Transactions*, 39, 41-55.
- Marianov, V., ReVelle, C.S. (1994). "The Queueing Probabilistic Location Set Covering Problem and Some Extensions". *Socio-Economic Planning Sciences*, 28, 167-178.
- ReVelle, C.S., Hogan, K. (1989). "The Maximum Availability Location Problem", *Transportation Science*, 23, 192-200.
- Selim, H., Özkarahan, İ. (2003). "Acil Servis Araçları Yerleşiminin Belirlenmesinde Yeni Bir Model", *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 14 (1), 18-27.
- Schilling, D.A., Elzinga, D.J., Cohon, J., Church, R.L., ReVelle, C.S. (1979). "The TEAM/FLEET Models for Simultaneous Facility and Equipment Siting", *Transportation Science*, 13, 163-175.
- Toregas, C.R., Swain, R., ReVelle, C.S., Bergman, L. (1971). "The Location of Emergency Service Facilities", *Operations Research*, 19, 1363-1373.