

İSTANBUL'DA İTFAİYE İSTASYONU YERLERİNİN SEÇİMİ İÇİN YENİ BİR MODEL

Emel AKTAŞ¹, Özay ÖZAYDIN², Füsun ÜLENGİN^{2*}, Şule ÖNSEL², Berrin AĞARAN²

¹Business School, Brunel University, Kingston Lane, Uxbridge, UB8 3PH, UK

²Endüstri Mühendisliği, Doğu Üniversitesi, Acıbadem 34722, İstanbul

emel.aktas@brunel.ac.uk, oozaydin@dogus.edu.tr, fulengin@dogus.edu.tr, sonsel@dogus.edu.tr,
bagaran@dogus.edu.tr,

Geliş Tarihi: 13 Ağustos 2009; Kabul Ediliş Tarihi: 2 Kasım 2011

Bu makale 4 kez düzeltilmek üzere 382 gün yazarlarda kalmıştır.

ÖZET

Özellikle acil hizmetler veren polis, hastane, itfaiye gibi kurumlar için yer seçimi büyük önem taşımaktadır. Uygun bir yer seçimi gerçekleştirilmediği takdirde bunun sonuçları insan hayatını tehlikeye atabilir niteliktedir. İstanbul gibi büyük metropollerde, artan nüfus ve trafik yoğunluğunun yanı sıra bir de metropolün deprem kuşağında olması durumunda, itfaiye araçlarının olay yerine en hızlı şekilde ulaşması hayati önem taşımakta; bu da itfaiye istasyonu yerinin etkin seçimine kritik bir rol yüklemektedir. Bu çalışma; İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından kararlaştırıldığı gibi, itfaiye teşkilatının her bölgeye en çok beş dakikada erişebilmesi ve kapsama alanının %100 olması hedeflenerek yeni kurulacak olan itfaiye istasyonlarının küme kapsama modeli yardımıyla konumlandırılmasını içermektedir. Bu amaçla bir tamsayı programlama modeli kurulmuş, coğrafi bilgi sistemlerinden elde edilen verilerle model çözülmüş, seçilen yerler için itfaiye kurulması durumunda yangın hizmet düzeyinin değişimi incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: İtfaiye yer seçimi, küme kapsama, tam sayılı programlama

FIRE STATION LOCATION SELECTION FOR ISTANBUL

ABSTRACT

For emergency services such as ambulance systems and fire departments, location selection plays a critical role due to the direct impact of these services on human lives. Timeliness plays a primary role in location selection decision of fire stations for large metropolitan cities such as Istanbul with increasing population with a high level of congestion coupled with an imminent earthquake risk. This study is based on a set-covering model for locating new fire stations, which target to serve each area at most in five minutes and improve their coverage area to 100% for Istanbul Municipality Fire Department. Accordingly, a set-covering model is built and solved using the data retrieved from geographical information systems. Finally the change in service level with proposed fire station locations is investigated and further suggestions are provided.

Keywords: Fire station location, set covering, integer programming

* İletişim yazarı

1. GİRİŞ

İtfaiye ve ambulans sistemleri gibi acil hizmetler; kamu güvenliğini sağlayacak şekilde yüksek bir hizmet düzeyi sunmak zorundadırlar. Bu hizmetler, genellikle sabit yerlerden gönderilen araçlarla gerçekleştirilmektedir. Hizmete ihtiyaç duyan kişilere ulaşma süresi hayati nitelik taşıdığından, bu istasyonların etkin planlanması çok büyük önem taşımaktadır.

İtfaiye yer seçimi problemi; özellikle İstanbul gibi metropoliten kentlerde, giderek artan nüfus ve trafik yoğunluğu nedeniyle kritik önem taşımaktadır. İstanbul'un büyüklüğünün yanı sıra bir de deprem kuşağında olması, durumu daha da önemli hâle getirmektedir. İtfaiye araçlarının olay yerine en hızlı şekilde ulaşması için istasyonlar en uygun yerde faaliyet göstermek mecburiyetindedir.

Bu çalışma İstanbul Büyükşehir Belediyesi ile Doğu Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü ortaklığında "Projem İstanbul" kapsamında gerçekleştirilmiş olup küme kapsama modeli aracılığıyla itfaiye hizmetinin sunulması için gerekli itfaiye istasyonu sayısını belirlemeyi hedeflemektedir. Bu sayının belediyenin hedeflediği yeni istasyon sayısı ile karşılaştırılması ile belediyenin izlemesi gereken strateji hakkında bir yol haritası oluşturulmuştur.

İstanbul Büyükşehir Belediyesi 63 itfaiye istasyonuna sahiptir (İBB "İtfaiye İstatistikleri," İstanbul Büyükşehir Belediyesi İtfaiye Daire Başkanlığı Ağ Sayfası, İstanbul, 2010) ve yetkililerden alınan bilgilere göre bu sayı olay yerine zamanında ulaşılıp müdahale edilmesine yeterli olmamaktadır. Bu çalışmada İstanbul itfaiyesinin sorumluluk alanları için yapılan yangın risk analizleri temel alınarak, dünya standardı olan ortalama beş dakikada olay yerine ulaşılabilmesini sağlayacak şekilde itfaiye istasyon yerlerinin belirlenmesi hedeflenmektedir.

İtfaiye yer seçim modelleri ve bu modellerin literatürdeki çözüm yöntemleri 2. Bölümde anlatılmaktadır. 3. Bölümde uygulanan model tanımlanmıştır. Problemin küme kapsama modeli olarak ele alınmasının nedeni, herhangi bir yangın olayına belirlenen hedef sürede ulaşmayı sağlayacak hizmet düzeyine erişme

gerekliliğidir. Bu gereklilik, itfaiye istasyonu yer seçim analizi konusunda Toregas ve ReVelle (1973) tarafından önerilen tipik küme kapsama modeli ile de uyum içindedir. 4. Bölümde ise sonuçlar ve öneriler ele alınmıştır.

2. İTFAİYE YER SEÇİMİ PROBLEMİ

2.1 İtfaiye Yer Seçimi Modelleri

İtfaiye yer seçimi modellerinin temel amacı; belli bir hizmet düzeyini eniyileyecek yerlerin bulunmasıdır. En temel haliyle, itfaiye istasyonlarının en iyi yer seçimi, insan ve teçhizat kaynağını en iyi şekilde kullanarak mümkün olduğu kadar çok sayıda hayati ve yerleşkeyi koruyacak yerlerin belirlenmesini sağlayacaktır. Bu problemin içinde kapalı olarak, söz konusu etkinliği bütçe kısıtları içinde gerçekleştirmek yer alır.

Valinski (1955) bu konunun ilklerinden olan çalışmasında, korunacak alanın büyüklüğü, yapısı, özellikleri, nüfus yoğunluğu, ulaşılabilirlik, trafik koşulları, ölümcül yangın sayısı, bütçe kısıtları, kullanılabilir personel sayısı gibi çeşitli faktörleri dikkate almış ve sonuç olarak her bölge için yangın çıkma olasılığını hesaplamıştır.

Bu kapsamda, itfaiye istasyonu yer seçimi problemi, acil yerleşim problemleri içinde yer alır. Toregas ve ReVelle (1973) problemi, acil hizmetleri en iyi şekilde gerçekleştirmeye yönelik bir kapsama problemi olarak modellemiştir. Söz konusu model, her çağrıya belirli bir mesafede veya zamanda ulaşılabilir şekilde toplam itfaiye istasyon sayısını en aza indirmeyi amaçlamaktadır.

Son yıllarda itfaiye istasyonu yer seçimi problemlerinde çok amaçlı programlama modelleri kullanılmaya başlanmıştır. Yeni itfaiye istasyonu yerinin seçiminde, minimum yanıt zamanı verilerinden başka kriterlerin de önemli olduğu gerçeği kabul görmeye başlamıştır (Hewitt, 2002). Plane ve Hendrik (1977) Denver'de itfaiye istasyonlarının yerleşimi için en büyük kapsama mesafesi kavramını, hiyerarşik bir yer seçimi modeli oluşturmak için kullanmıştır. Amaç fonksiyonu itfaiye istasyon sayısının en aza indirilmesidir. Aynı zamanda en düşük toplam istasyon sayısı içinde mümkün ol-

duğu kadar çok sayıda mevcut itfaiye istasyonlarının yer almasına da çalışılmaktadır. Diğer bir deyişle, söz konusu modelde birincil amaç, gerekli tesis sayısını en aza indirmek, ikincil amaç ise çözümdeki mevcut tesis sayısını mümkün olduğu kadar çok kılmaktır. Schilling (1980) belli bir dönemdeki kapsamayı diğer dönemdeki kapsama takas edebilecek çok amaçlı bir kapsama modeli önermiştir. Yang vd. (2004) Pennsylvania Merkez Bölgesi'nde yangınlara ortalama erişim süresini azaltıp mevcut kaynakları daha iyi kullanmak üzere itfaiye istasyonlarının iş yükünü dengelemeye yönelik bir kapsama modeli geliştirmişlerdir. Bu bağlamda dikkate alınan tüm alan, bir dizi bölgeye ayrılmış ve çalışmanın amacı her itfaiye istasyonu için birincil hizmet alanlarının belirlenmesi olmuştur. Bu amaçla iki temel ölçüt dikkate alınmıştır: 1) Tüm irdelenen alan için toplam (veya ortalama) yanıt süresi 2) En çok kullanılan itfaiye istasyonlarının işyükünün dengelenmesi. Problemin gerektirdiği veri setinin büyüklüğü, problemin doğrusal olmayan yapısının getirdiği zorluk ve her olaya müdahalenin genellikle ortalama sabit bir süre alması karşısında, istasyonların aslında belli bir dağılıma sahip olması ve olaya veya bölgeye özel performans ölçütlerinin modele dahil edilememesi ve politik sorunlar gibi bazı kısıtlar nedeniyle problem matematiksel model kullanarak değil, simülasyonla çözülmüştür. Tzeng ve Chen (1999) bu bağlamda kullanılmak üzere üç amaç belirlemiştir:

- Bir kazanın toplam kayıp maliyetini ve itfaiye istasyonunun sabit kurulum maliyetlerini en aza indirmek
- İtfaiye istasyonundan herhangi bir kaza noktasına olan en büyük mesafeyi en aza indirmek
- Herhangi bir itfaiye istasyonunun yüksek riskli alanlara en uzak mesafesini en aza indirmek

Badri vd. (1998) genel ve çok amaçlı bir itfaiye istasyonu yer seçimi konusunda 11 amaç belirlemiştir. Bunlar istasyonlardan olay yerlerine ulaşım sürelerini ve ulaşım mesafelerini içermekte, ayrıca su bulunabilirliği, itfaiye istasyonlarının hizmet alanının kesişmesi gibi teknik veya politik ölçütler ile diğer maliyet temelli amaçları da içermektedir. Söz konusu amaçlar özetle aşağıdaki gibidir:

- Sabit maliyeti en aza indirmek
- Toplam yıllık işletme maliyetini en aza indirmek
- Tahmini olay sayılarına göre en çok talep gelen yerlere sunulan hizmeti en yüksek düzeye getirmek
- İstasyondan olay yerlerine gitmek için kat edilen ortalama mesafeyi en aza indirmek
- İstasyondan olay yerlerine gitmek için kat edilen en uzun mesafeyi en aza indirmek
- İstasyondan olay yerlerine ortalama ulaşım sürelerini en aza indirmek
- Hedeflenen itfaiye istasyonu sayısına erişmek
- İtfaiye istasyonlarının hizmet alanı kesişimlerini en aza indirmek
- Tercih edilen alan statüsüne erişmek
- Su bulunabilirliğinin sorun teşkil ettiği yerlerde yerleşimi en aza indirmek

Badri vd. (1998) yaptıkları çalışmada Dubai'yi alt bölgelere bölmüşlerdir. Yirmi kişilik bir ekip saha ölçümleri için çalışmıştır. Alt bölgeler arasında ortalama mesafe, en uzak mesafe, ortalama yolculuk süresi ve en uzun yolculuk süreleri ölçülmüştür. Yolculuk hızının günün saatlerine göre değişeceği kabul edilmiştir. Dolayısıyla yollar günün farklı zamanlarına göre bölümlendirilmiştir.

Bu çalışma, mevcut itfaiye altyapısının genişleyen ve kalabalıklaşan İstanbul'a yetersiz kalması nedeniyle kurulacak yeni itfaiye istasyonlarının yerini belirlemeyi amaçlamaktadır. Literatürde yer seçimi olarak adlandırılan bu modelde kurulacak itfaiye sayısını ve dolayısıyla kurulum maliyetini en aza indirerek İstanbul'daki tüm mahallelerin herhangi bir yangın anında beş dakika içinde ulaşılabilir olması hedeflenmektedir.

2.2 İtfaiye Yer Seçimi Çözüm Yaklaşımları

İtfaiye istasyonlarının yer seçimi problemi, yer seçimi problemleri içerisinde oldukça eskiye dayanmakta olup kesikli ağ yapısına dayalı yer seçimi problemi olarak tanımlanır. Ambulans sistemlerinin ve itfaiye istasyonlarının yer seçimi gibi acil hizmetlere dayalı yer seçimi modelleri toplumun güvenliğini sağlamak için üst düzeyde hizmet gerektirir ve zamanında ulaşım çok büyük önem taşır. Genellikle acil hizmetlere dayalı yer seçimi problemleri için en çok kullanılan

çözüm yaklaşımı, matematik programlama ve daha özel olarak en büyük kapsama modelleridir.

Planlamacılara, yerleşim kararlarında destek olmak üzere acil hizmet araçlarının yerleşim problemini irdeleyen araştırmalara literatürde geniş yer verilmiştir. Literatürdeki modeller iki ana gruba ayrılmaktadır (Daskin vd., 1988): Talebi, belirli bir zaman aralığı içinde kapsamaya yönelik olan modellere kapsama modelleri, tüm sisteme ilişkin ortalama cevap verme süresini en aza indirmeye yönelik modeller ise p -medyan modelleri olarak sınıflandırılır. Bu problem tipinde amaç, taleplerden oluşan bir ağ üzerine p adet tesisi, ortalama hizmet süresini en aza indirecek şekilde yerleştirmektir. p -medyan problemlerinin çözümü sonucunda, bölgedeki bazı alanlara hizmet verme süresi kabul edilemez uzunlukta olabilmektedir. Bu durumla baş edebilmek için talep kapsama kavramı ortaya çıkartılmıştır. Burada, kapsama ile kastedilen, en az bir aracın daha önceden belirlenmiş bir mesafe dahilinde veya yine daha önceden belirlenmiş bir süre içinde ilgili talep noktasına ulaşıp hizmet verebilmesidir. Temel kapsama modelleri, Toregas vd. (1971)'nin genel küme kapsama problemini tanımlamalarıyla başlar. Söz konusu model ambulans yerleşim problemini ele almakta olup, amaç bütün bölgeleri kapsamak şartıyla kullanılan araç sayısını en aza indirmektir. Church ve Revelle (1974) genel küme kapsama problemini, mevcut taşıt sayısının tüm mahalleleri kapsamak için gerekli sayıdan az olması durumunu inceleyecek şekilde geliştirmiştir.

Bu çalışmada mevcut araç sayısının tüm bölgeleri kapsamak için gerekli olan araç sayısından daha az olduğu durumlar ele alınmıştır. Amaç, kısıtlı sayıda araçla kapsanan talebi en yüksek değere çıkartmaktır. Talep, nüfus veya acil yardım çağrısı sayısı olarak ele alınmaktadır. Daskin vd. (1988) çoklu, beklenen, artıklı ve yedeklemeli gibi farklı kapsama modellerini bütünleştirmiştir. ReVelle vd. (1996) ve Alsalloum ve Rand (2006) en büyük şartlı kapsama modellerinin çeşitli uzantılarını irdelemiştir. Karasakal ve Karasakal (2004), talep noktasının tesise uzaklığının bir fonksiyonu olarak tanımlanmış kısmi kapsama kavramını ortaya atmıştır. Sorensen ve Church (2010) kapsa-

manın beklenen değerini en büyük değere çıkaracak şekilde acil sağlık hizmeti veren tesislerin yerel güvenirliliğini bir arada incelemiştir. Selim ve Özkarahan (2003) en büyük yedek kapsama ve sınırlı kapasiteli en büyük kapsama modellerini temel alarak, bir kez ve iki kez kapsanan toplam nüfusun en büyük değere ulaşmasının yanı sıra ortalama ulaşım mesafesini en aza indirerek, kapsanan bölgelere sunulan hizmet düzeyinin en üst düzeye çıkarılmasını hedeflemektedir. Çatay vd. (2008) acil yardım istasyonlarının yerlerinin planlanması için küme kapsama ve en büyük kapsama modellerini temel alan yedek çift kapsama modeli önermekte ve bunların çözümü için üç farklı sezgisel yöntemden yararlanmaktadır.

Bir acil hizmet sistemi olan itfaiye merkezi yer seçimi modelleri kesikli yerleşim modeli kapsamında olup gerçek problemlere uygulanmaları bazen binlerce hatta yüz binlerce düğüm gerektirebilir. Bu tür problemler için standart en iyileme modelleri ile çözüm bulmaya çalışmak hem kabul edilemeyecek uzunlukta hesaplama süresini ve kaynağını gerektirecek hem de başarı garantisi olmayacaktır. Bunun nedeni bu problemlerin NP-zor problemler olmasıdır (Garey ve Johnson, 1979). Bu problem üzerine daha kapsamlı bir inceleme Brandeau ve Chiu (1989)'nun NP-zor problemlerin zorluğunu tartıştıkları çalışmada bulunabilir. Bu tür durumlar söz konusu olduğunda, genetik algoritmalar (Tzeng ve Chen 1999, Cheung vd. 2001, Salhi ve Gamal 2003) gibi sezgisel yöntemlere başvurulabilmektedir. Ayrıca, birden fazla amacı dikkate alan itfaiye istasyonu yerleşimi modelleri de mevcuttur (Cheung vd. 2001, Diwekar, 2003, Badri vd. 1998, Yang vd. 2007, Araz vd. 2007).

Genel yerleşim problemlerine ilişkin çeşitli literatür araştırmaları bulunmaktadır. Tek-seviyeli yerleşim problemleri taksonomisi için; Brandeau ve Chiu (1989); Drezner (1995) ve Drezner ve Hamacher (2002) çalışmaları örnek gösterilebilir. Birbirleriyle etkileşimli tesislerin yerleşimine ilişkin hiyerarşik yerleşim modellerine ilişkin literatür taraması Şahin ve Süral (2007) tarafından sunulmuştur. Yerleşim problemlerinin özel bir uygulama alanı olan acil hizmet sistemlerine ilişkin literatür taraması olarak Goldberg

(2004) ve Swersey (1994); söz konusu alana ilişkin uygulamalar için ise Marianov ve ReVelle (1995) ele alınabilir.

Yerleşim problemleri kapsamında Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), çözüm algoritmalarına girdi verisi sağlamak suretiyle geniş kullanım alanı bulmaktadır (Dobson, 1979; Liu vd. 2006). Church (2002) coğrafi bilgi sistemlerinin yer seçimi problemlerinde kullanılmasını ayrıntılı olarak irdelemiştir.

Bu çalışma; coğrafi bilgi sistemleri ile küme kapsama modelinin bütünleşmesine dayanmaktadır. Model tek amaçlı bir model olup, ölçeğinin büyük olmaması nedeniyle tamsayı bir model olarak çözülebilmektedir. Modelin kısıtlarını oluşturacak veriler CBS'ten çekilmiştir. Amaç fonksiyonu tüm mahallelerin beş dakikada hizmet görebilmesi için gerekli itfaiye istasyonu sayısını en aza indirmektir. Karar değişkenleri itfaiye istasyonlarının kurulacağı mahalleleri göstermektedir. Kısıtlar tüm mahallelerin en az bir itfaiye istasyonu tarafından hizmet görmesini sağlamaktadır.

3. UYGULANAN MODEL

2009 yılında İstanbul Büyükşehir Belediyesi yaptığı ön çalışma sonucunda, her ne kadar uygulanan model çeşitli tipte itfaiye istasyonlarının kapasitelerini göz önünde bulundursa da sadece D tipi istasyon kurulmasına karar vermiştir. Sonuç olarak o dönemde mevcut olan 63 istasyona ek olarak yeni 70 D tipi istasyon açılması hedeflenmiştir. İstanbul itfaiye

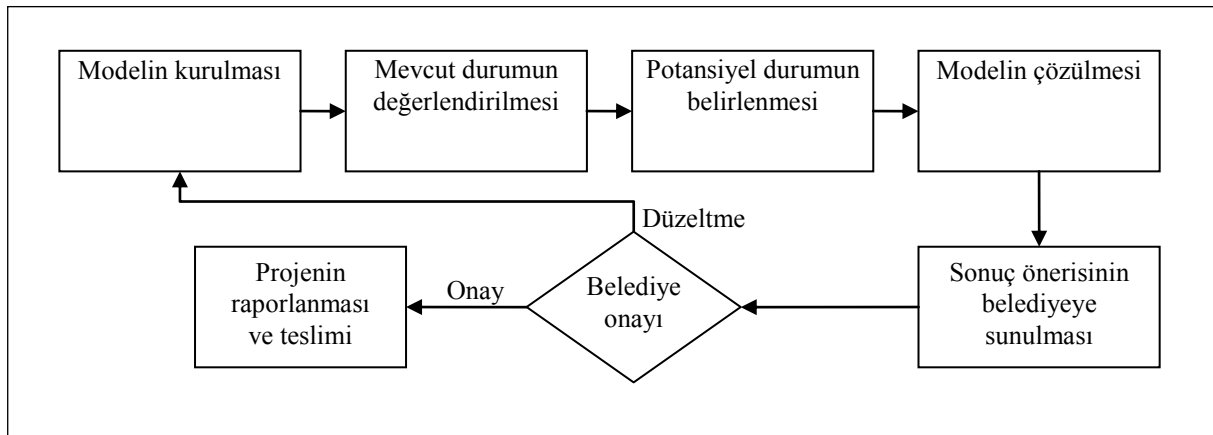
istasyonlarının yer seçimi probleminin çözümü için kullanılan metodolojinin adımları Şekil 1'deki gibi özetlenebilir.

Modelin Kurulması

Yer seçimi problemi her mahallenin en az bir itfaiye istasyonu ile hizmet görebilmesi koşulu altında mümkün olduğu kadar az sayıda itfaiye istasyonunun açılmasını hedeflemektedir. İtfaiye istasyonları ile mahalleler arasında önceden belirlenmiş sabit bir uzaklık (beş dakikada ulaşılabilir) söz konusudur. Bu süre kısıtının yanı sıra, müdahale edebilecek olan istasyonların kapasitelerinin de talebe yanıt verebilmesi gereklidir.

Bu aşamada her mahalle için geçmiş yangın istatistikleri göz önünde bulundurulmuştur. Amaç fonksiyonunda ise kurulacak toplam itfaiye istasyonu sayısının; her mahallenin talebi en az bir itfaiye istasyonu tarafından karşılanacak şekilde; en aza indirgenmesi hedeflenmektedir.

Bu noktada dikkate alınması gereken bir diğer özellik, A en büyük, D ise en küçük kapasiteye sahip olmak üzere dört farklı tipte itfaiye istasyonu olmasıdır. A ve B tipi istasyonlar "grup" olarak adlandırılırken C ve D tipi istasyonlar "müfreze" tipi istasyonlardır. Modelde bu farklı tipteki istasyonların kapasiteleri de dikkate alınmıştır. İstasyon kapasiteleri, her büyüklükteki araç sayısı ile doğru orantılı olarak, gün içerisinde cevap verilebilecek ihbar sayısıdır. Bu veri İstanbul Büyükşehir Belediyesi İtfaiye Müdürlüğü Acil Durum



Şekil 1. Kullanılan Metodolojinin Adımları

Planlama ve Koordinasyon (APK) dairesi tarafından hesaplanıp sağlanmıştır. CBS'ten alınan veriler ışığında kurulan tamsayı matematiksel modelde;

- Endeks ve parametreler;
 i : potansiyel itfaiye merkezi yerleşim noktaları
 j : mahalle indeksi
 n : toplam mahalle sayısı
 k : istasyon tipi (A, B, C ve D)
 c_k : k tipi itfaiye istasyonunun sabit maliyeti
 d_j : j mahallesinde bir yılda çıkan yangın (itfaiyenin müdahale ettiği olay) sayısı
 t_{ij} : i . mahalleden j . mahalleye gidiş süresi \leq beş dakika ise 1; değilse 0
 k_k : k . istasyon tipinin kapasitesi olarak karar değişkeni ise

$$x_{ik} = \begin{cases} 1 & i. mahalleye k tipi itfaiye kurulursa \\ 0 & aksi hâlde \end{cases}$$

olacak; şekilde ifade edilmiştir.

Amaç fonksiyonu, maliyetin en aza indirilmesini hedeflemektedir:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^4 x_{ik} * c_k$$

Problemin kısıtları ise açıklamalarıyla birlikte aşağıda sıralanmıştır:

Her mahalle için geçmiş yangın istatistikleri göz önünde bulundurularak, söz konusu mahalledeki olası bir yangına belirlenen sürede müdahale edebilecek olan istasyonların kapasitesi talebi karşılamaya uygun olmalıdır:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^4 x_{i,k} \cdot t_{i,j} \cdot k_k \geq d_j \quad \forall j$$

Modele yukarıdaki kısıtlara ek olarak, mevcut itfaiye istasyonlarının yerleşim bilgisi de eklenmiştir.

Modelin ölçeği GAMS programı ile çözüme elverişlidir. Toplam 3288 ikili tamsayı değişken (822 mahalle x 4 tip istasyon) ve 822 kısıtlı (tüm mahallelerin talebi karşılanmalıdır) problem Intel® Core™ 2 Duo CPU T7500 2.20GHz işlemcili 2046 MB bellekli 32

bit işletim sistemiyle çalışan kişisel bilgisayarda 0,258 saniyede çözülebilmektedir.

Mevcut Durumun CBS Yardımı ile Değerlendirilmesi

Coğrafi Bilgi Sistemleri, karmaşık planlama ve yönetim sorunlarının çözülebilmesi için tasarlanan; coğrafi konumu belirlenmiş verilerin toplanması, yönetimi, işlenmesi, analiz edilmesi, modellenmesi ve görsel olarak sunulması işlemlerini kapsayan donanım, yazılım, personel ve yöntemler sistemidir. CBS, bir seri alt sistemlerden oluşmuş büyük bir sistem olarak düşünülebilir. Bu alt sistemler sırasıyla aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. Çeşitli kaynaklardan mekansal verileri toplayıp ön işleme tabi tutan *veri girme* alt sistemi. Bu sistem ayrıca değişik tipteki alansal verilerin dönüşümünden de geniş çapta sorumludur.
2. Mekansal verilerin düzeltilmesi, güncelleştirilmesi ve düzenlenmesini organize eden *veri depolama ve geri getirme* alt sistemi.
3. Data üzerinde toplama, dağıtma, parametre tahminleri, kısıtlamalar ve modelleme fonksiyonlarını yerine getiren *veri işleme ve analiz* alt sistemi.
4. Bütün veya bir kısım veriyi tablo, grafik veya harita formunda sunan *görselleştirme* alt sistemi.

Genel olarak, CBS'te coğrafi veriler tablosal ve mekansal olarak saklanabilir. Tablosal verilerde, coğrafi nesnelerin nitelik ve konumsal durumlarını gösteren bilgiler depolanır. Mekansal veriler ise, dünya üzerinde yer alan objelerin şekil ve konumlarını gösteren bilgileri (haritaları) içerir. CBS ilişkisel veri modeline dayalıdır. Bu sayede tablosal veriler ile mekansal (kartografik veya haritalara dayalı) veriler birbiriyle ilişkilendirilir. Bu çalışmanın temelindeki problem yer bilgisi kökenli olduğu için CBS kullanılması faydalı bulunmuş ve bu amaçla ArcGIS paket programından yararlanılmıştır.

Öncelikle, coğrafi bilgi sistemleri yazılımı kullanılarak, İstanbul haritası üzerinde yapılan simülasyon ile hem köyler hem de şehiriçi için mevcut istasyonların hizmet alanları belirlenmiştir. Bunun için İstanbul Büyükşehir Belediyesinden temin edilen yol bilgileri, üç ana grupta toplanmıştır: Karayolları, ana arterler

ve sokaklar. Bütünleşik yol ağı, bu üç yol grubu içinde itfaiye araçlarının farklı ortalama hızlarda yol alabileceği göz önünde bulundurularak oluşturulmuştur. Söz konusu ortalama hızlar İstanbul İtfaiyesi Afet Planlama ve Koordinasyon birimi tarafından karayolları için 80km/sa, ana arterler için 50km/sa ve sokaklar için ise 20km/sa olarak verilmiştir. Oluşturulan bütünleşik yol ağı, mevcut istasyonlara göre ArcGIS paket programının Hizmet Alanı (Service Area) modülü kullanılarak, itfaiye araçlarının beş dakikada ulaşabileceği tüm mahallelerin belirlenmesinde kullanılmıştır. Söz konusu hizmet alanı Şekil 2’de verilmektedir. Haritadaki kırmızı noktalar mevcut itfaiye istasyonlarını, koyu kahverengi alanlar beş dakikada ulaşılabilen mahalleleri, açık kahverengi alanlar beş dakikada ulaşamayan mahalleleri ve gri ile gösterilen boş alanlar, İstanbul İtfaiyesi sorumluluğu dışında olan köy, orman ve askeri bölgeleri göstermektedir.

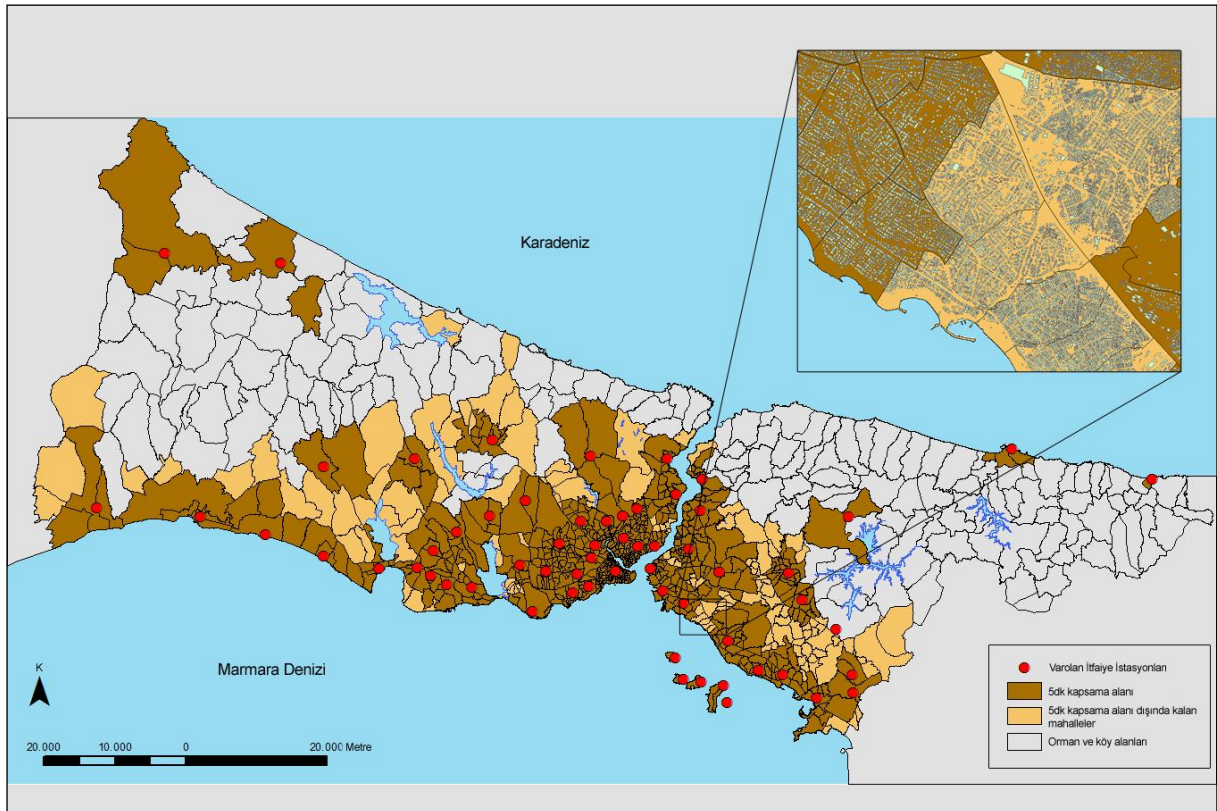
Mevcut istasyonların hizmet bölgeleri çıkarıldıktan sonra her bir olası itfaiye istasyonunun en çok beş

dakika içinde ulaşabileceği mahallelerin belirlenmesi gerekmektedir.

Potansiyel Durumun CBS Yardımıyla Belirlenmesi

Modelin ilk çözüm aşamasında mevcut istasyonların bulunduğu mahalleler dışında kalan tüm mahallelerin nüfus yoğunluklarına göre ağırlık merkezlerinde bir itfaiye istasyonu olacak şekilde ideal durum oluşturulmuştur. Mahallelerin ağırlık merkezleri ArcGIS yazılımının “yer bilgisi ile ilişkili araçlar” (Spatial Tools) modülü kullanılarak hesaplanmıştır. Daha sonra, her bir olası istasyondan tüm mahallelere kaç dakikada ulaşıldığını gösterir süreler matrisi hesaplanmıştır. Boyutu 822x822 olan bu matrisin küçük bir kesiti Tablo 1’de verilmiştir.

Daha sonra bu matriste hedeflenen beş dakikalık süre içerisinde olan düğümler “1” geri kalan düğümler “0”, olacak şekilde kısıt matrisi oluşturulmuştur. Yine



Şekil 2. Var Olan İstasyonlar ile İstanbul İtfaiyesinin Hizmet Alanı

Tablo 1. Mahalleler Arası İtfaiye Araçlarının Ulaşım Sürelerini Gösterir Matris

		Hedef Mahalle ID							
		1	2	3	4	...	820	821	822
Kaynak Mahalle ID	1	0	1,25	12,5	7,12		123	52,6	48,1
	2		0	4,5	9,93		87,2	17,5	110
	3			0	11,7		55,1	11,1	11,5
	4				0		23,7	4,3	3,3
	...					0			
	820						0		
	821							0	
	822								0

822x822 boyutunda olan bu matrisin küçük bir kesiti Tablo 2'de verilmiştir.

Bu matris mevcut durum bilgisiyle birleştirilip çözülmek üzere GAMS paket programına aktarılmıştır.

Modelin Çözümü

Oluşturulan küme kapsama modeli, GAMS paket programı ile CPLEX çözücüsü kullanılarak çözülebildiğinden sezgisel yaklaşımlara ihtiyaç duyulmamıştır.

Uygulanan modelin sonucu olarak açılması öneri-

len itfaiye istasyonları Tablo 4'te verilmiştir. Toplamda 70 yeni itfaiye istasyonu açılması öngörülmüş, bu itfaiye istasyonlarıyla birlikte toplam 133 itfaiye istasyonu, İstanbul il sınırları dahilindeki 822 mahallenin tamamına belirlenen sürede hizmet verebilecektir. İstanbul Büyükşehir Belediyesinden itfaiye istasyonlarına ilişkin tahmini maliyet hesabı Tablo 3'te verilmiştir. Ortalama istasyon kurma maliyeti 1.035.225 TL olarak alınmış, bu durumda toplam maliyetin 72.465.750 TL olduğu saptanmıştır. Söz konusu bu

Tablo 2. Mahalleler Arası İtfaiye Araçlarının Belirlenen Sürede Ulaşıp Ulaşmadığını Gösterir Matris

		Hedef Mahalle ID							
		1	2	3	4	...	820	821	822
Kaynak Mahalle ID	1	1	1	0	0		0	0	0
	2		1	1	0		0	0	0
	3			1	0		0	0	0
	4				1		0	1	1
	...					1			
	820						1		
	821							1	
	822								1

Tablo 3. İstasyon Tiplerine Göre Alan ve Maliyet Tablosu

	Kuruluş x Kat (m ²)	Asma Kat (m ²)	Toplam (m ²)	Bina m ² Maliyeti*	Bina Maliyeti (TL)
A	1.100x3	175x2	3650	481,50	1.757.475
B	850x3	175x2	2900		1.396.350
C	725x3	175x2	2525		1.215.788
D	600x3	175x2	2150		1.035.225

*Bayındırlık bakanlığı IVA ve VA 2004 ortalamasıyla bildirilen maliyet

Tablo 4. Açılması Önerilen İtfaiye İstasyonları

İlçe	Mahalleler
Avcılar	Yeşilkent
Bağcılar	Güneşli
Bakırköy	Ataköy 3-4-11. Mah.
Bayrampaşa	Altıntepsi
Beşiktaş	Nispetiye
Beykoz	Göztepe, Anadolu Kavağı, Fatih, Baklacı, Yavuz Selim
Beyoğlu	Kaptanpaşa
B.Çekmece	Dizdariye, Merkez, Güzelce, Karaağaç
Çatalca	Atatürk, Merkez, Zafer, Merkez, Çakıl, İzzettin, Bahşayış, Deliklikaya, Dursunköy, Nakkaş, Sazlıbosna
Eminönü	Beyazıt
Esenler	Habibler
Eyüp	Yayla
Fatih	Seyit Ömer
G.O.Paşa	Sarıgöl, Fevzi Çakmak, Uğur Mumcu, Yavuz Selim, Atatürk, Merkez (x3)
Kadıköy	İçerenköy
Kağıthane	Gültepe
Kartal	Cevizli, Hürriyet, Eyüp Sultan
K.Çekmece	Kayabaşı, Yarımburgaz, Beşyol
Maltepe	Fındıklı
Pendik	Ahmet Yesevi, Güllü Bağlar
Sarıyer	Fatih Sultan Mehmet, Rumeli Kavağı
Silivri	Merkez (x3), Gazitepe, Kadıköy, Yolçatı
Sultanbeyli	Hamidiye
Şile	Kumbaba
Şişli	Ayazağa
Tuzla	Yayla, Mimar Sinan, Fırat, Tepeören, Orta, Mescit
Ümraniye	İnkılap, Yeni Çamlıca, Kirazlıdere,
Üsküdar	Burhaniye

bilgi belediye yetkililerine sunulmuş ve belediyenin 2010 bütçe planları dahilinde uygun görülmüştür.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Uygulanan model, var olan itfaiye istasyonlarının etkinliğinden çok, yeni istasyonların da dahil edildiği bütünleşik sisteme etkin bir yerleşim yapılarak, hem atıl kapasite oluşumunu engelleyecek, hem de “haya-ti” öneme sahip olan hizmet alanı, İstanbul il sınırlarındaki tüm yerleşim alanlarının tamamı kapsanacak şekilde genişletecektir.

Tablo 5’te görüldüğü gibi, İstanbul sınırları içe-risindeki mevcut durumda tüm mahallelerin ancak

%58,6’sına salt beş dakika içerisinde ulaşılabil-mektedir. Önerilen sistemdeki tüm istasyonlar açıldığında kapsama alanı %100’e çıkacaktır. Bir başka deyişle, %41,4’lük artışla, koruma altına alınacak kişi sayısı yaklaşık 5 milyon civarında olacaktır. Kişi başına düşen maliyet ise bu durumda 15 TL olacaktır. Bu-rada söz konusu maliyet insan hayatının kurtarılması faydasıyla karşılaştırılmayacağından bir takas analizi yapılması doğru değildir. Kaldı ki İstanbul Büyükşehir Belediyesi de benzer bir politika güttüğünden bu ça-lışmaya başlamadan önce çalışma için 300.000.000 TL’lik bir bütçe ayrılabilceğini yapılan toplantılarda tarafımıza bildirmiştir. Projenin tamamlanması so-

Tablo 5. Mevcut ve Önerilen Yapıda Beş Dakika Sürede Kapsanan Mahalle Oranları

	Mevcut İstasyon Sayısı	Yeni Açılacak İstasyon Sayısı	Toplam İstasyon Sayısı	Kapsanan Mahalle Oranı	Maliyet (TL)
Mevcut Yapı	63	–	60	%58,6	–
Önerilen Yapı	63	70	133	%100	72.465.750

nucunda önerilen itfaiye istasyonlarının 70'inden 20 adedi bir sene içerisinde hizmete alınmış, tamamı ise iki sene içerisinde hizmete açılacaktır.

Doğası itibarıyla yüksek karmaşıklığa sahip olan yerleşim problemlerinin, İstanbul gibi metropoller için çözülmesi çok daha zordur. Bu nedenle coğrafi bilgi sistemleri gibi yüksek yoğunlukta veriyi kolaylıkla işleyebilecek sistemlerden faydalanmak çözümü hızlandırmanın yanı sıra, etkinliğini de artırmaktadır. Bu çalışmada, ilçeler kendi içlerinde değerlendirilmiştir ve ilçeler arası müdahale dikkate alınmamıştır. Bu durum, itfaiye grup ve müfrezelerinin görev alanlarının tanımlanmasıyla da örtüşmektedir. Bir bütün olarak değerlendirme, problemin boyutunu büyüteceğinden meta-sezgisel yöntemlere başvurulmasına gereksinim olacaktır. Ayrıca, nüfus yoğunluğu, ahşap bina, trafik yoğunluğu, sanayi bölgeleri, yanıcı-patlayıcı madde bölgeleri gibi kriterlerin de dikkate alınabileceği çok amaçlı bir programlama modeli kurulabilir. Bunun yanı sıra 2010 kültür başkenti olan İstanbul için tarihi eserlerin korunmasına yönelik olarak model öncelikleri değiştirilerek farklı bir çalışma yapılabilir. Ayrıca, bütçe ve kapsama yüzdesi arasında takas analizleri yapılarak İBB yönetimine alternatif çözümler sunulabilir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesine destek olan İstanbul Büyükşehir Belediyesi İtfaiye Daire Başkanlığı Afet Planlama ve Koordinasyon Birimi Müdürü Abdurrahman İnce'ye, proje boyunca gerekli verilerin toplanmasında yardımlarını ve zamanlarını esirgemeyen CBS birimi çalışanlarına, saha ziyaretlerinde tecrübelerini bizimle paylaşan tüm İtfaiye çalışanlarına katkılarından dolayı teşekkür ederiz. Böyle bir projenin yapılmasına olanak tanıdığı için İstanbul Büyükşehir Belediyesine 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

1. Alsalloum, O.I., Rand, G.K. 2006. Extension to Emergency Vehicle Location Models, Computers and Operations Research, 33, 2725-2743
2. Araz, C., Selim, H., Ozkarahan, I. 2007. A Fuzzy Multi-objective Covering-based Vehicle Location Model for Emergency Services, Computers & Operations Research, 34, 705-726
3. Badri, M.A., Mortagy, A.K., Alsayed, C.A. 1998. "A Multi-objective Model for Locating Fire Stations," European Journal of Operational Research, 110, 243-260
4. Brandeau, M.L., Chiu, S.S. 1989. An Overview of Representative Problems in Location Research, Management Science, 35 (6), 645-674
5. Cheung, B.K.S., Langevin, A., Villeneuve, B. 2001. High Performing Evolutionary Techniques for Solving Complex Location Problems in Industrial System Design, Journal of Intelligent Manufacturing, 12, 455-466
6. Churc, R.L. 2002. Geographical Information Systems and Location Science, Computers and Operations Research, 29 (6), 541-562
7. Church, R., ReVelle, C. 1974. The Maximal Covering Location Problem. Papers of the Regional Science Association 32, 101-118
8. Çatay, B., Başar, A., Ünlüyurt, T. 2008. "İstanbul'da Acil Yardım İstasyonlarının Yerlerinin Planlanması," Endüstri Mühendisliği Dergisi, 19 (4), 20-35.
9. Daskin, M.S., Hogan, K., ReVelle, C., 1988. Integration of Multiple, Excess, Backup, and Expected Covering Models, Environment and Planning, 15, 15-35
10. Diwekar, U. 2003. Introduction to Applied Optimization. Kluwer Academic Publisher, 209-253
11. Dobson, J. 1979. A Regional Screening Procedure for

- Land Use Suitability Analysis, *Geographical Review*, 69 (2), 224-234
12. Drezner, Z. (Ed.) 1995. "Facility Location: A Survey of Applications and Methods," Springer, New York.
 13. Drezner, Z., Hamacher, H.W. 2002. *Facility Location: Application and Theory*, Berlin, Springer
 14. Garey, M.R., Johnson, D.S. 1979. *Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP-Completeness*, W.H. Freeman and Co., New York
 15. Goldberg, J.B. 2004. Operations Research Models for the Deployment of Emergency Services Vehicles, *EMS Management Journal*, 1 (1), 20-39
 16. Hewitt, R.L. 2002. Siting a Fire Station by Leveraging Soft Constraints and Supporting Science, *Interfaces*, 32 (4), 69-74
 17. Karasakal, O., Karasakal, E.K. 2004. A Maximal Covering Location Model in the Presence of Partial Coverage, *Computers and Operations Research*, 3, 1515-1526
 18. Liu, N., Huang, B., Chandramouli, M. 2006. Optimal Siting of Fire Stations Using GIS and ANT Algorithm, *Journal of Computing in Civil Engineering*, September/October 2006
 19. Marionov, V., ReVelle, C. 1995. Siting Emergency Services, in: Drezner, Z., (editor) *Facility Location*. Berlin, Springer, 199-223
 20. Plane, D., Hendrik, T. 1977. Mathematical Programming and the Location of Fire Companies for Denver Fire Department, *Operations Research*, 25 (4), 563-578
 21. ReVelle, C., Schweitzer, J., ve Snyder, S. 1996. "The Maximal Conditional Covering Problem," *INFOR*, 34(2), 77-91
 22. Selim, H., Özkarahan, İ. 2003. "Acil Servis Araçları Yerleşiminin Belirlenmesinde Yeni Bir Model," *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 14 (1), 18-27.
 23. Şahin, G., Süral, H. 2007. A Review of Hierarchical Facility Location Models, *Computers and Operations Research*, 34, 2310-2331
 24. Salhi, S., Gamal, M.D.H. 2003. A Genetic Algorithm Based Approach for the Uncapacitated Continuous Location Problem, *Annals of Operational Research*, 97, 203-222
 25. Schilling, D. 1980. Dynamic Location Modeling for Public Sector Facilities: A Multicriteria Approach, *Decision Sciences*, 11, 714-725
 26. Sorensen, P., Church, R. 2010. Integrating Expected Coverage and Local Reliability for Emergency Medical Service Location Problems, *Socio-Economic and Planning Sciences*, 44, 8-18
 27. Swersey A.J. 1994. "The Deployment of Police, Fire, and Emergency Medical Units," *Handbooks in Operations Research and Management Science Vol. 6*, Hazırlayanlar: Pollock, S.M., Rothkopf M.H., Barnett A., Bölüm 6, 151-200.
 28. Toregas, C., Swain, R., ReVelle, C., Bergman, L. 1971. *The Location of Emergency Service Facilities*, *Operations Research*, 19, 1363-1373
 29. Toregas, C., ReVelle, C. 1973. "Binary Logic Solutions to a Class of Location Problems," *Geographical Analysis*, 5, 145-155
 30. Tzeng, G.H., Chen, Y.W. 1999. The Optimal Location of Airport Fire Stations: A Fuzzy Multi-objective Programming and Revised Genetic Algorithm Approach. *Transportation Planning and Technology*, 23, 37-551
 31. Valinski D. 1955. "A Determination of the Optimum Location of Fire-Fighting Units in New York City," *Journal of Operations Research Society of America*, 3(4) 494-512.
 32. Yang, J., He, H.S., Gustafson, E.J. 2004. A Hierarchical Fire Frequency Model to Simulate Temporal Patterns of Fire Regimes in LANDIS, *Ecological Modelling*, 180 (1), 119-133
 33. Yang, L., Jones, B.F., Yang, S-H. 2007. A Fuzzy Multi-objective Programming for Optimization of Fire Station Locations Through Genetic Algorithms, *European Journal of Operational Research*, 181 (2), 903-915