



Journal of Turkish Operations Management

Sezgisel ağ tabanlı konum tahsis analiz algoritmaları ile tesis yeri optimizasyonu: İtfaiye tesisleri yer seçimi örneği

Arif Çağdaş Aydınoğlu^{1*}, Süleyman Şişman², İrem Ergül³

¹Harita Mühendisliği Bölümü, Gebze Teknik Üniversitesi, Gebze, Kocaeli, 41400, Türkiye
e-mail: aydinoglu@gtu.edu.tr, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0003-4912-9027>

²Harita Mühendisliği Bölümü, Gebze Teknik Üniversitesi, Gebze, Kocaeli, 41400, Türkiye
e-mail: ssisman@gtu.edu.tr, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-0924-1092>

³Harita Mühendisliği Bölümü, Gebze Teknik Üniversitesi, Gebze, Kocaeli, 41400, Türkiye
e-mail: irem.ergul2017@gtu.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0001-8823-9742>

*Sorumlu Yazar

Makale Bilgisi

Makale Geçmişi:

Geliş: 05.07.2021
Revize: 20.09.2021
Kabul: 04.10.2021

Anahtar Kelimeler:

Ağ Analizleri,
CBS,
Kaynak Tahsis Alanı Analizi,
Konum Tahsis Analizi,
Tesis Yeri Optimizasyonu

Özet

Günümüzün kalabalıklaşan şehirlerinde kentsel yaşam kalitesini artırmak için kentsel hizmetlere erişilebilirliğin sağlanması, acil durum yönetimi ve endüstriyel tesislerin uygun dağılımına yönelik planlama mekanizmalarının geliştirilmesi ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Nüfus dağılımına ve ilgili alandaki taleplerin yoğunluğuna göre, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı ağ analizi teknikleri ile ulaşım altyapısı birlikte kullanılarak en uygun erişimi sağlayacak tesislerin yer seçimi yapılabilir. Bu kapsamda kent yangın acil durum olaylarının yönetiminde, itfaiye istasyonlarının en uygun konumların tespit edilerek olay yerine en kısa sürede erişebilmesini sağlamak için İstanbul ili örnek çalışması ile ağ tabanlı bir yer seçimi uygulama metodolojisi geliştirilmiştir. 2020 yılı İstanbul mahalle nüfusları ve mevcut yapıların dağılımı dikkate alınarak birim hegzagonal alandaki nüfus dağılım talebi belirlenmiştir. Sonrasında Kaynak Tahsis Alanı analizi ile mevcut itfaiye istasyonlarının olaya müdahale tipine göre, ABD Ulusal Yangından Korunma Kurumu (NFPA) tarafından önerilen 5, 9, ve 11.5 dakikalık süre içerisinde İstanbul'un birim alandaki talep noktalarına karşılık nüfusun %81'ine (15.306.945) erişim sağlanırken, %19'una (139.440) erişim sağlanamadığı tespit edilmiştir. Erişim sağlanamayan yerlerdeki talep yoğunluğu, yerleşim yerlerine yakınlık ve arazi kullanımı gibi kriterlere göre mevcut istasyonlara ek 18 aday itfaiye istasyonu önerilmiştir. Aday ve mevcut istasyonlar sezgisel ağ tabanlı konum tahsis analiz algoritmaları ile tekrar analiz edilmiştir. Aday istasyonların tesis edilmesi durumunda İstanbul'un birim alandaki talep noktalarına karşılık nüfusun %95'ine (15.410.928) önerilen süre içerisinde erişim sağlanabileceği belirlenmiştir. Ayrıca itfaiye istasyonları için en uygun konumların tespitine ek olarak 26326 sayılı Belediye İtfaiye Yönetmeliğine göre mevcut ve aday itfaiye istasyonları için tahsis edilmesi gereken araç ve teçhizatlar belirlenmiştir.

Facility location optimization by heuristic network-based location allocation analysis algorithms: The case study of fire station facilities site selection

Article Info

Article History:

Received: 05.07.2021
Revised: 20.09.2021
Accepted: 10.04.2021

Keywords:

Network Analysis,
GIS,
Service Area Analysis,
Location-Allocation Analysis,
Facility Location Optimization

Abstract

In order to improve the quality of urban life in today's crowded cities, the requirement to provide accessibility to urban services, emergency management, and the development of planning mechanisms for the appropriate distribution of industrial facilities has emerged. According to the population distribution and the density of the demands in the relevant area, the location of the facilities that will provide the most appropriate access can be performed by using the Geographic Information Systems (GIS) based network analysis techniques together with the transportation infrastructure. In this context, in the management of urban fire emergency incidents, a network-based site selection application methodology was developed with a case study in Istanbul in order to determine the most suitable fire station locations and to access fire scenes as soon as possible. Considering the 2020 Istanbul neighborhood populations and the distribution of existing buildings, the demand of the population per unit hexagonal area was determined. Then, by using the Service Area analysis, the areas that the existing fire stations can access within the 5, 9 and 11.5 minutes recommended by the USA National Fire Protection Association (NFPA) according to the incident response type were determined. It was detected that the existing fire stations provide access to 81% of the population (15.306.94), but not to 19% (139.440), in response to the demand points per unit area of Istanbul. According to factors such as demand density in inaccessible areas, proximity to settlements, and land use, an additional 18 candidate fire stations were proposed for existing stations. Candidate and existing stations were analyzed again by using heuristic network-based location-allocation analysis algorithms. In the case of the establishment of candidate fire stations, it was determined that 95% of the population (15.410.928) can be accessed within the recommended time period in response to the demand points per unit area of Istanbul. In addition to the determination of the most suitable locations for the fire stations, the vehicles and equipment that should be allocated for the existing and candidate fire stations were defined according to the Municipal Fire Department Regulation No. 26326.

1. Giriş

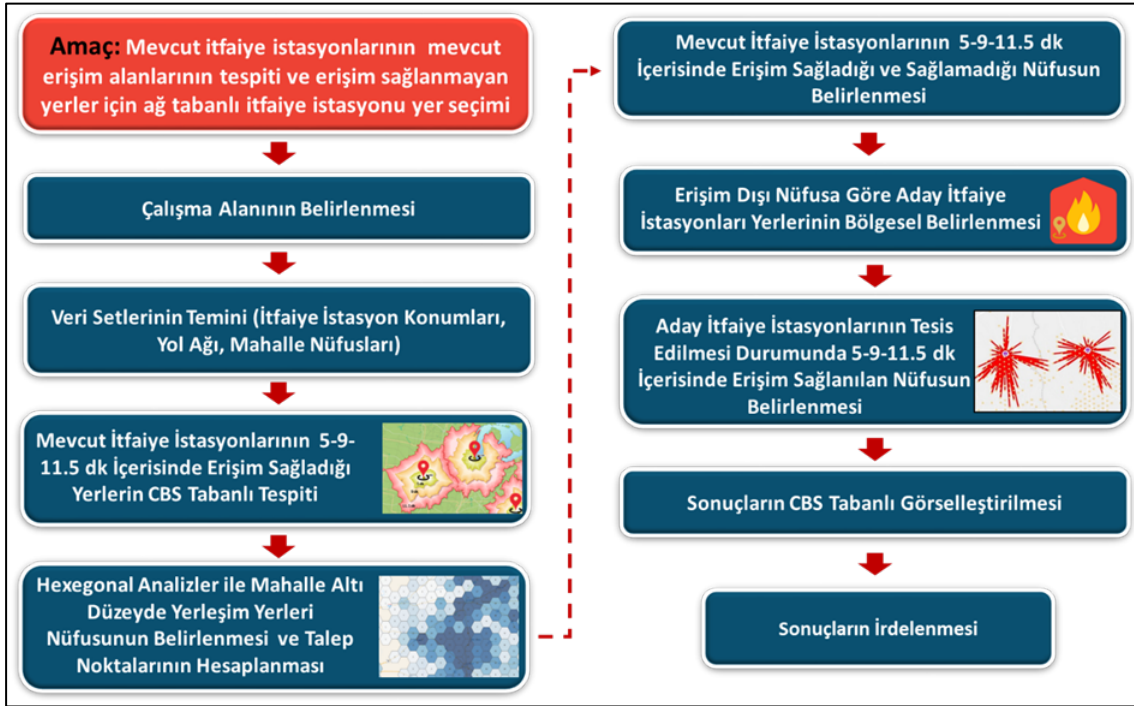
Tarihi süreçler boyunca insanların zaman zaman karşı karşıya geldiği afetler, hem insanlar hem de diğer canlılar açısından normal gündelik yaşamın ve toplumsal faaliyetlerin kesintisine yol açarak, toplumda ekonomik, sosyal, fiziksel ve kültürel kayıplara neden olan doğal ya da yapay kaynaklı bir durumdur (Koyuncu ve Koyuncu, 2016). Bu kapsamda afet yönetimi, her türlü olası tehlike durumuna karşı hazırlıklı olma, zarar azaltma, zamanında müdahale ve iyileştirme amacıyla mevcut kaynakların kullanımını düzenleyen analiz, planlama, karar verme ve değerlendirme süreçlerini içermektedir. (Erden, 2009). Afetler; yangın, deprem, heyelan, sel, çığ, salgınlar, tehlikeli maddeler, gemi ve uçak kazaları, terör olayları gibi farklı şekillerde ortaya çıkabilmektedir (Khan, Vaezi ve Kumar, 2018). Her yıl milyonlarca insan afet felaketleri ve afetlerin birçok açıdan olumsuz izler bırakan sonuçlarıyla karşı karşıyadır. Acil müdahale gereksinimi duyan afetler; yangın, kaza, hastalık, vb. her türlü durumda hizmete erişime ihtiyaç duyan kişi ve bölgeye ulaşma süresi can ve mal güvenliği bakımından çok kritik olan olaylardır. Acil müdahale hizmetlerinin etkin planlaması, sakatlık ve ölüm oranlarını azaltacağı gibi ekonomik kayıpların da önüne geçilmesine olanak tanır (Çatay, 2011). Günümüzde pek çok kurum ve kuruluş tarafından yaygın olarak kullanılan Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS); doğal kaynak yönetimi, endüstriyel tesis yer seçimi, afet yönetimi ve bölgesel planlama gibi birçok alanda karar destek mekanizması olarak uygulama alanı bulmaktadır. CBS teknolojisi, 1980'lerden başlayarak özellikle doğrudan veya dolaylı yer/konum ile ilişkili coğrafi verilerin elde edilmesinde, yönetilmesinde ve analiz edilmesinde yeni bir karar destek aracı olarak ortaya çıkmıştır (Densham ve Rushton, 1991). Özellikle CBS tabanlı analizler ve Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri (Analitik Hiyerarşi Yönetimi /AHP, TOPSIS, ELECTRE vs.) ile yer seçim uygulamaları yapılmaktadır. CBS, pek çok çalışma alanında faaliyet gösteren ağ tabanlı coğrafi verilerin analizinde de birçok probleme çözüm olanağı sağlayan bir sistemdir (Üstündağ ve Boyraz, 2008). Bu alanlarda yapılmış çalışmalar, eğitim, sağlık, askeri, acil durum servisleri, itfaiye istasyonları ve katı atık depolama alanlarının yer seçimi başta

olmak üzere birçok planlama ve yatırım uygulamasında kullanılmaktadır (Yu, Chen, Chen, Xia ve Zhou, 2020). Birim alandan en yüksek verimle faydalanabilmek ve bu konuda rasyonel kararlar alabilmek için insan ve mekân ilişkisinin en iyi şekilde araştırılması ve sonuçlarının iyi analiz edilmesi gerekmektedir. Yangın afeti, maddenin ısı ve oksijenle birleşmesi sonucu oluşan yanma reaksiyonlarının neden olduğu, tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de yaygın görülen büyük öneme sahip bir doğal afettir (Zhao ve diğ., 2017). Yoğunlaşan nüfusla birlikte yangınların görülme olasılığı artmakta, farklı konumlarda ve farklı nedenlerle meydana gelmekte, doğal çevrede ve yerleşmelerde maddi ve manevi büyük zararlara neden olmaktadır (Karim ve Awawdeh, 2020). Nüfus yoğunluğu oldukça fazla olan ve plansız biçimde yapılaşmış şehirlerde, itfaiye hizmetlerinde yaşanan problemler ve kaynak yönetimi planlama eksikliği itfaiye araçlarının olaya zamanında erişim sağlayamaması ile sonuçlanmaktadır. Etkin kaynak yönetimi ve itfaiye araçlarının olay yerine optimum şekilde ulaşabilmesi için itfaiye istasyonlarının uygun şekilde dağılımının yapılması gerekmektedir (Aydın, 2018). İtfaiye istasyonlarının kurulması ciddi maddi yatırımlar gerektirdiğinden dolayı, uzun süreli hizmet sağlamak üzere mekânsal planlamaları oldukça önemlidir. En uygun itfaiye istasyon yerleri, mevcut ihtiyaçlara ve belediyelerin sağlamayı hedeflediği hizmet düzeyine bağlıdır. Hizmet düzeyinden kasıt, belirlenecek zaman sınırı/sınırları içinde olay yerine müdahale edebilmektir (Aktaş, Özaydın, Ülengin, Önsel ve Ağaran, 2011; Çatay, 2011). Bu çalışmada, CBS yazılımlarının sağladığı avantajlardan yararlanarak ağ analizleri ile acil durum tesislerinin yer seçimi için yaklaşımın belirlenmesi amaçlanmaktadır. İkinci bölümde çalışma metodolojisinden bahsedilerek CBS’de ağ analizi ile uygun yer seçimine yönelik kullanılan teknikler incelenmiştir. Hangi kriterlerin kullanılabileceği konusunda yapılan çalışmalar ve geliştirilen standartlar incelenerek mevcut durum ortaya konulmuştur. Üçüncü bölümde, İstanbul örneğiyle yoğun nüfus artışı ve trafik problemleri ile yüzleşen şehirlere yönelik, mevcut itfaiye istasyonlarının irdelenmesi veya yeni tesis edilecek istasyonların yerlerinin etkin planlanmasına yönelik uygulama geliştirilmiştir. Son bölümde de yapılan çalışmanın benzeri acil durum tesislerinin planlaması uygulamalarında kullanılabilirliği irdelenmektedir.

2. Metodoloji

İtfaiye tesisi yer seçim modellerinin temel hedefi, belli bir hizmet düzeyinde en iyi ve uygun yerlerin belirlenmesidir. İtfaiye istasyonları için en iyi/uygun yer seçimi, temelde insan ve teçhizat kaynağının en etkili şekilde kullanımıyla, mümkün olduğu kadar çok sayıda hayatı ve yerleşkeyi koruyacak yerlerinin belirlenmesidir (Çatay, 2011). Bu kapsamda çalışmanın hedefleri, uygulanan analizler sonucunda mevcut itfaiye istasyonlarının erişim sağladıkları toplam nüfusun ortaya koyulması, ilgili itfaiye yönetmeliğinde yer alan nüfus bilgisine göre araç, malzeme ve teçhizat tahsis edilmesidir. Erişilemeyen nüfus durumunun ortaya koyularak, analizler ile öneri tesis yerlerinin belirlenmesidir. İtfaiye istasyonu yer seçimine dair ilk çalışmada Hogg (1968) tarafından İngiltere’nin Bristol kenti için optimal yerler belirlenerek toplam ulaşım süreleri incelenmiştir. Toregas ve diğ. (1971) Küme Kapsama Modeli (KKM- Set Covering Location Model) ve Church ve ReVelle (1974) En büyük Kapsama Modeli (EKM- Maximal Covering Location Model) yaklaşımlarını temel almışlardır. İlk modelin amacı tüm hizmet bölgelerini belirli bir hizmet düzeyinde kapsayacak en az sayıdaki istasyonu tespit etmek iken, ikinci model belirli bir istasyon sayısı kısıdıyla kapsanan hizmet bölgesi sayısını en fazlaya çıkarmayı hedeflemektedir. Plane ve Hendrick (1977) Amerika Birleşik Devletleri (ABD)’nin Denver kentinde, Schilling ve diğ. (1980), Baltimore kentinde ve Schreuder (1981) Hollanda’da Rotterdam kentinde itfaiye istasyonu yer seçimi problemi için KKM yaklaşımlarından faydalanmışlardır. Badri ve diğ. (1998) KKM’ye dayanan çok amaçlı modelleme yaklaşımı sunmuş olup, Birleşik Arap Emirlikleri’nin Dubai kentindeki itfaiye istasyonlarının yerlerini hedef programlama yöntemi ile belirlemişlerdir Aynı yaklaşım kullanılarak Singapur’da da yeni itfaiye istasyonlarının yer seçimi gerçekleştirilmiştir (Çatay, 2011). Chevalier (2007), çok amaçlı model temeline dayanan diğer bir yöntem olarak CBS ile karınca kolonisi optimizasyonu yöntemini bütünleşik bir yapıda kullanmış olup, Belçika’daki itfaiye istasyonlarının konumlandırılması ve tahsisi için karar destek sistemi geliştirmiştir. Bu konuda ABD’de Ulusal Yangından Korunma Kurumu (National Fire Protection Association) yani ‘NFPA’ kuruluşunun yangın müdahale süreci ile ilgili NFPA 1710 kodlu standardı bulunmaktadır (NFPA-1710, 2021). CBS tabanlı analizlerin veya ÇKKV yöntemleri gibi yaklaşımların yanında ağ tabanlı analizler kullanılarak uygulamalara farklı bir bakış açısı getirilebilmektedir. İtfaiye istasyonlarının yerlerinin seçimi daha kaliteli hizmet sağlayabilmek bakımından önemli ve öncelikli bir yer tutmaktadır. İtfaiye istasyonu yerinin seçiminde, minimum yanıt zamanı verilerinin dışında başka kriterlerin de önemli olabileceği gerçeği kabul görmeye başlamıştır (Hewitt, 2002). Şekil 1’deki uygulama metodolojisinde görüldüğü gibi, İstanbul ili için mevcut itfaiye istasyonları verisi, nüfus dağılımı ve yol ağı verisi temin edilerek çalışma gerçekleştirilmiştir. Uygulama kısmında; mevcut itfaiye standartları dikkate alınarak, çalışma kapsamında İstanbul ili pilot uygulaması ile kentsel alanlarda itfaiye istasyonlarının olay yerine en kısa sürede ulaşılabilmesi ve ulaşılamayan yerlere yeni tesis edilecek itfaiye istasyon yerlerinin en uygun konumları tespiti için ağ tabanlı CBS analiz yaklaşımları ile bir yer seçim metodolojisi sunulmuştur. İstanbul için nüfus dağılımı haritası üretilerek, belirtilen ağ analizi teknikleri ile erişim zaman dilimlerinde hizmet sağlanabilecek nüfus belirlenmiştir. İstanbul ilinde bulunan mevcut itfaiye istasyonlarının

belirli bir süre içerisinde erişebildiği yerler tespit edilerek ve erişilemeyen yerleşim alanları analiz edilerek potansiyel itfaiye istasyonları yerleri önerilmiştir. Analiz sonucu istatistiki değerler ile talebe göre uygun tesis türü belirlenmiştir.

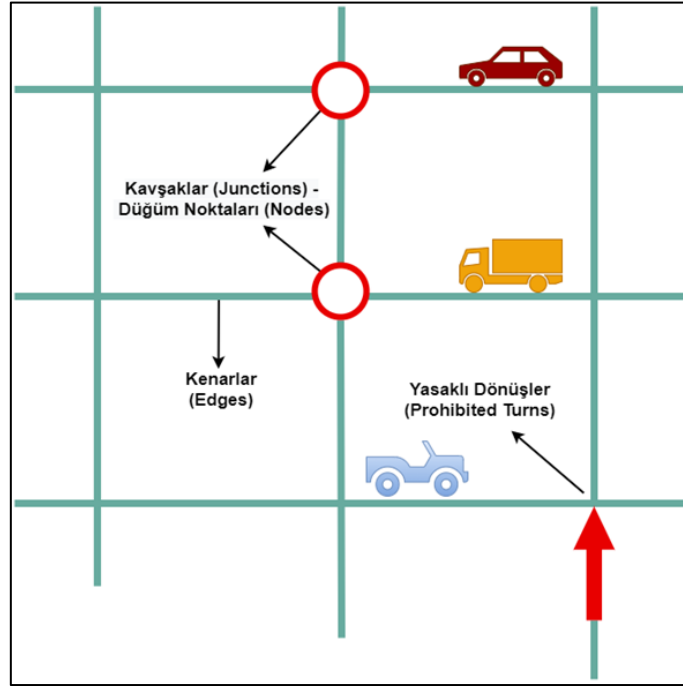


Şekil 1. Çalışma uygulama metodolojisi

2.1. CBS tabanlı ağ analizleri

CBS’de ağ özelliği gösteren unsurlar Şekil 2’deki gibi birbirlerine düğüm noktalarıyla bağlıdır. Bu düğüm noktalarının birleşimi ile gerçek hayattaki yol ağları, akarsuların kolları, elektrik hatları, demiryolları, boru hatları ve telefon hatları tanımlanabilir. Bu nesnelere ağ özelliği gösterdiklerinden bir noktadan diğer bir noktaya erişebilmeyi olanaklı kılar (Jiang ve Claramunt, 2004). İnsanların bir yerden başka bir yere ulaşmaları, servis hizmetleri ve malların taşınması, dağıtılması, kaynak ve enerjinin ulaştırılması ve bilgi iletişimi gibi faaliyetler ağ yapıları içinde gerçekleştirilir (Karaş, 2007). Ağ analizleri, yol ağlarının gerçekçi bir biçimde modellenmesini ve bu modeller üzerinde güzergâh analizleri gerçekleştirilmesini sağlamaktadır. En kısa yol, en yakın hizmet tesisinin bulunması, maliyet analizleri ve filo yönetimi gibi tüm ağ analizleri bu kapsamda gerçekleştirilebilmektedir. İşletmeler, kamu hizmetleri ve diğer kuruluşlar, çalışmalarını daha verimli yürütmek ve daha iyi stratejik kararlar alabilmek adına ağ tabanlı analizlerden yararlanmaktadır. Bu kuruluşlar, mallarına veya hizmetlerine kimlerin erişebileceğini tespit ettikten sonra hem mevcut hem de potansiyel dinamik pazarları daha iyi anlayabilmektedir (ESRI, 2021a).

Ağ analizleri; En Uygun Yol (New Route), En Yakın Olmak (Closest Facility), Kaynak Tahsis Alanı (Service Area), Konum Tahsis/Yer Seçimi (Location-Allocation), Araç-Rota Problemi (Vehicle Routing Problem) ve Başlangıç- Gidecek Yer Maliyet Matrisi (Origin-Destination Cost Matrix) olmak üzere altı problem çözümünden oluşmaktadır. Bu çalışma kapsamında, ‘Kaynak Tahsis Alanı (Service Area)’ ve ‘Yer Seçimi (Location-Allocation)’ ağ analiz çözümleri kullanılmıştır.



Şekil 2. Network ağ veri modeli örneği

2.1.1. Kaynak tahsis alanı

Ağ analizleri ile bir ağ üzerindeki herhangi bir noktanın servis alanlarını belirlemek mümkündür. Buna bağlı olarak kaynak tahsis alanı çözüm analizi, ağ analizini kullanarak belirli bir zaman veya mesafe maliyetinde erişilebilir alanları “servis alanı” olarak belirler (Kesik, Aydınoğlu ve Taştan, 2016). Bir ağ servis alanı, o özellik için ulaşılabilen bütün cadde ve sokakları kapsayan bir bölgedir. Bu analizde ulaşılabilirlik, bir noktaya nasıl kolay gidileceğini tanımlar, ulaşım zamanı, mesafe veya başka bir niteliğe bağlı olarak belirlenebilir. Ulaşılabilirlik ile birtakım sorulara cevap bulunabilir, çoklu-ağ modeli ile genelleştirme, kaynakların çıkarımı ve alan bindirmeleri gibi birçok seçenek uygulanarak kurumların çevrelerine hizmet verebilecekleri alanlar belirlenebilir. Örneğin acil durum yönetiminde, birimlerin dağılımı sonucunda ulaşılabilme özelliğine bağlı olarak hizmet verilebilecek alanlar belirlenebilir, bu sayede servis alanlarının dışında kalan alanlar, yeni yapılması planlanan kurum ve birimlerin yerlerinin belirlenmesi konusunda yaklaşım sağlanır (Erkal ve Değerliyurt, 2013). Alansal bir değer ifade ettiği için konumsal seçimler yapılırken alanın içinde/dışında kalan veya kesişen gibi birtakım sorgulamalara olanak sağlayarak kurumların hizmet edebilmesi için doğru yerlerin seçilmesine yardımcı olur (Şimşek, Büyüksalih, Taşpınar, Bayburt ve Buhur, 2012). Kaynak tahsis alanı (service area) çözüm analizi ile planlama ve yatırıma yönelik olarak nüfus, ulaşım, yerleşim, ana merkezler olan mesafe, çevre ve benzeri faktörlere bağlı olarak fizibilite çalışmaları yapılarak en uygun karar verilir. Planlamada; okul alanı, çöp toplama merkezi, itfaiye hizmet alanı, ticari amaçlı alış-veriş merkezi ve fabrika alanı için en uygun yer tespiti gibi birçok problemin irdelenmesi sağlanır.

2.1.2. Konum tahsis/yer seçimi

Hizmet tesis yerlerinin doğru konumlarda olması, herhangi bir özel sektör veya kamu kuruluşunun başarısına yol açan en önemli kriter olarak kabul edilmektedir (ESRI, 2021b). Özel sektör kuruluşları, ister yerel bir müşteri kitlesine sahip küçük bir dükkân, ister dağıtım merkezleri ve dünya çapında bir perakende satış mağazalarına sahip zincir bir fabrika ağı iyi bir konum üzerinden büyük kârlar kazanabilir. Konum, giderlerin düşük ve erişilebilirliğin yüksek tutulmasına yardımcı olabilmektedir. Okullar, hastaneler, kütüphaneler, itfaiye istasyonları ve acil müdahale hizmet merkezleri gibi kamu sektörü tesisleri, uygun yer seçildiğinde topluma düşük bir maliyetle yüksek kaliteli hizmet sağlayabilir (Yao, Zhang ve Murray, 2019). 1909’da Weber tarafından tanıtılmış olan konum tahsisinin amacı, talep noktalarının dağıtılacağı şekilde tesisler için en uygun yerleri belirlemektir (Aydinoglu ve Iqbal, 2021). Belirli bir nokta kümesinden oluşan taleplere hizmet edecek bir veya daha fazla tesis için en uygun konumu belirlemede CBS algoritmalarından yararlanır. Bu algoritmalar ile mevcut tesis sayısı,

maliyetleri ve bir tesisten bir talep noktasına maksimum empedans gibi faktörleri dikkate alarak bu talep noktalarını bir veya daha fazla tesise atayabilir (Al-Sabbagh, 2020). Konum tahsis analizi; tesis (facility), talep (demand) ve ağ alanı (network area) olmak üzere üç temel bileşenden yararlanır:

Tesis (facility): Konum tahsisi analizinde tesis, nesnenin coğrafi konumunun önceden var olan diğer nesnelere etkileşimini göz önünde bulundurarak algoritma veya model tarafından optimize edildiği bir nesneyi tanımlamak için kullanılır. Hastane, okul, otoparklar, zincir mağaza ve depolar gibi nesnelere tesislere örnektir. Tesisler; tesis sayısı, türü ve maliyeti gibi özelliklere de sahiptir (Scaparra ve Scutella, 2001).

Talep (demand): Talep, müşteri olarak da adlandırılan konum tahsis analiz modelinin önemli bir bileşenidir (Arifin, 2011). Bir müşteri veya talep, bir hizmete veya bir malın arzına erişilebilirliğe ihtiyaç duyan bir kişidir (Scaparra ve Scutella, 2001).

Ağ alanı (network area): Konum tahsisi analizinde ağ alanı, tesisler ve talepler arasındaki mesafeyi ve sürüş süresini hesaplayan yol ağı temel veri kümesidir (Aydinoğlu ve Iqbal, 2021).

Konum tahsisi analizi; belirli soru türlerine göre, sezgisel yaklaşımla ağ analizi türlerini önceliklendirerek problemlere yedi farklı konum tahsis problem çözümü sunar. Bu algoritmalar Empedansı En Aza İndirme / P-Medyan, Kapsama Alanını En Üst Düzeye Çıkarma, Kapasite Kapsama Alanını En Üst Düzeye Çıkarma, Tesisleri En Aza İndirme, Katılımı En Üst Düzeye Çıkarma, Pazar Payını En Üst Düzeye Çıkarma ve Hedef Pazar Payı olarak sıralanabilir.

2.1.2.1. Empedansı en aza indirme / p-medyan

P-medyan problemi, tesis yeri seçim problemleri içerisinde en popüler ve çözümü amacıyla literatürde çok sayıda çalışma gerçekleştirilmiş olan temelde ağ tabanlı bir tesis yerleşim ve atama modelidir (Alp, Erkut ve Drezner, 2003). Minimum problemleri Kuehn ve Hamburger (1963), Hakimi (1964), Manne (1964) ve Balinski (1965) tarafından formüle edilmiştir. Hakimi hem problemi formüle etmiş hem de üçgen eşitsizliğine dayanan bir şebeke üzerinden optimum yerleşimin düğümler üzerinde olduğunu ortaya koymuştur (Serra ve Marianov, 2011). Düğümlerin ve birleştirdiği çizgiler ağında tanımlanan P-Medyan Modeli, nesnel fonksiyonların toplam maliyetini minimize etmek için potansiyel noktalar arasındaki medyan noktaları tanımlar. P-medyan probleminin temel hedefi, erişilebilirliği en üst düzeye çıkarmak için tesis ve talep konumları arasındaki toplam ağırlıklı mesafeyi minimuma indirgeyerek tesislerin optimum yerlerini belirlemektir (Arifin 2011; Richard ve Church, 1994). Bu modelin kısıtlamaları; tüm tesislerin dışına düşen talepler empedans kesimleri tahsis edilmeyecek, bir tesisin empedans kesimine giren tüm talepler tahsis edilecek ve birden fazla tesisin kesimleri içinde yer alan talepler en yakın olana tahsis edilecektir şeklindedir (Shahparvari, Fadaki ve Chhetri, 2020).

p adet tesisin n adet düğümden oluşan ağ üzerinde minimum maliyet oluşacak şekilde yerleştirilmesi ve yerleştirilen bu tesislerden hizmet/erişim alacak talep noktalarının belirlenmesidir (Hakimi, 1964). Burada bahsedilen toplam maliyeti minimize etmektir. Bu kapsamda maliyet; zaman, toplam mesafe ya da buna benzer başka herhangi bir faktör de olabilir (Basti, 2012). P-medyan probleminin matematiksel modeli (Arifin, 2011):

$$\text{Minimize } Z = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} a_i d_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

- Z = nesne fonksiyonu
- I = ağdaki tüm talep yerleri
- J = ağdaki tüm aday tesis yerleri
- a_i = talep konumunda bulunan taleplerin sayısı ; i
- d_{ij} = ağ üzerindeki mesafe, aday tesis j 'den talep i 'ye
- p = bulunması gereken tesislerin sayısı
- d_{\max} = maksimum mesafe kısıtlaması

Ayrı bir talep konumundan gelen toplam talebe şu şekilde verilir:

- $x_{ij} = (0,1)$ için tüm (i,j) sadece bir tesise tahsis edilir:
- $(d_{ij} \leq d_{\max}) \Rightarrow 1$ ve $(d_{ij} > d_{\max}) \Rightarrow 0$

Kısıtlamalar şunlardır:

- Bir tesis ayrı bir talep alanı ile tahsis edilmelidir: $x_{ij} \leq x_{ij}$ için tüm (i,j)

- Açık bir tesise bir talep tahsis edilmelidir: $\sum_{j \in J} x_{ij} = 1$ için tüm i
 - Sadece p tesisleri tahsis edilmelidir: $\sum_{j \in J} x_{jj} = p$ için tüm j
- Bunların toplamı tahsis edilecek tesislerin sayısına eşittir.

Empedans problemini en aza indirmek, perakende mağazaları, kütüphaneler, okullar, hastaneler ve diğerleri de dahil olmak üzere hem kamu hem de özel sektörde birçok uygulamaya sahiptir. Özel sektörün temel amacı maliyetleri en aza indirmek ve verimliliği en üst düzeye çıkarmak olduğundan, bu model özel sektörde kullanmak için uygun model olabilecek genel nakliye maliyetlerini azaltacaktır (Algharib, 2011).

2.1.2.2. Kapsama alanını en üst düzeye çıkarma

Kapsama alanını en üst düzeye çıkarma modeli Church ve ReVelle (1974) tarafından geliştirilmiştir (Algharib, 2011). Bu model, belirli bir mesafe veya seyahat süresi içinde talep noktalarının sayısı için kapsama alanını en üst düzeye çıkarmayı amaçlamaktadır. Başka bir deyişle bu model, bir mesafe kısıtlaması veya seyahat süresi içinde minimum tesis sayısı ile hedeflere ulaşmak için tüm talepleri karşılamayı amaçlamaktadır. Bu da talep yoğunluğunun yüksek olduğu yerlerde konumlanan tesisin ilk seçilme avantajına sahip olduğu anlamına gelir (Algharib, 2011). Tesis seçimi açısından bu model, mesafeye veya arz ve talep arasında geçen süreye göre en büyük talep alanını kapsamayı dikkate alır. Bu problem tipi tesislerin sayısını aza indirme amacıyla değildir (ESRI, 2021c). Kapsama alanını en üst düzeye çıkarma probleminin matematiksel modeli Murawski ve Church (2009) tarafından aşağıda bulunan formül ile ifade edilmiştir:

$$\text{Minimize } Z = \sum_{i \in I} a_i y_i \quad (1)$$

$$\sum_{j \in N_i} x_{j+} y_i \geq 1 \text{ için tüm } i \in I \quad (2)$$

$$\sum_{j \in J} x_j = p \quad (3)$$

- $x_j = 1$ ise tesis j indisine atanır aksi takdirde $x_j = 0$
- $y_i = 1$ ise i indisinde talep karşılanır aksi takdirde $y_i = 0$
- $Z =$ nesne fonksiyonu
- $I =$ ağdaki tüm talep yerleri
- $J =$ ağdaki tüm aday tesis yerleri
- $a_i =$ talep yerindeki talepleri belirtir; i
- $N_i = (0,1)$ için tüm $j \in J$ $y_i = (0,1)$ için tüm $i \in I$
- $N_i = \{j \in J / d_{ij} \leq d_{max}\}$;
- $p =$ bulunması gereken tesislerin sayısı
- $S =$ Mesafeyi ifade eder, talep noktası geçtiğinde ortaya çıktığı düşünülmektedir. (Her talep noktası seçimi S değeri seçilir.)

Kapsama alanını en üst düzeye çıkarma problemi; acil servis tesisleri gibi kamu sektöründeki tesisleri bulmak için kullanılabilir. Bu nedenle, bu model yangın istasyonları için en uygun yeri seçmek için uygun bir modeldir, çünkü yangın istasyonları genellikle belirli bir yanıt süresi içinde talep konumlarına ulaşmak için gereklidir. Kamu sektöründeki uygulamalarına ek olarak bu model, perakende mağazalarının en fazla sayıda talebe erişilebilir olmasında en uygun yerleri seçmek için özel sektörde de uygulanmaktadır (Algharib, 2011).

2.1.2.3. Kapasite kapsama alanını en üst düzeye çıkarma

Kapasite kapsama alanını en üst düzeye çıkarma modelinde tesisler, herhangi bir tesisin kapasitesini aşmadan talebin tamamına veya en büyük miktarına hizmet verilebilecek şekilde konumlandırılmıştır. Tesisler, mümkün olduğu kadar çok talep noktası ve empedans kesintisi dahilindeki çözüm tesislerine tahsis edilecek şekilde yerleştirilmiştir. Kapasite kapsama alanını en üst düzeye çıkarma sorununun kullanımı; belirli sayıda insanı veya

işletmeyi kapsayan bölgeler oluşturmada, sınırlı sayıda yatak veya tedavi edilebilecek hasta bulunan hastaneleri ve diğer tıbbi tesislerin yer seçiminde kullanılabilmektedir (D'bro, Bravo ve Arana, 2019).

2.1.2.4. Tesisleri en aza indirme

Tesisleri en aza indirme modeli, bir mesafe kısıtlaması veya seyahat süresi içindeki tüm talepleri karşılayan tesis sayısını en aza indirir (Algharib, 2011). Bu modelin kullanıldığı uygulamalar; itfaiye istasyonları, ambulanslar, polis ve diğer acil durum araçları gibi acil servis tesis yerlerinin yer seçimi uygulamalarıdır. Bunlara ek olarak okul-otobüs duraklarının tesis edilmesi örnek verilebilir, yani öğrencilerin ikametgâhına daha yakın bir okul otobüsü durağı sağlanmadan önce belirli bir mesafeyi yürümeleri gerektiğinde okul otobüsü duraklarını seçmek için de kullanılabilmektedir (D'bro ve diğ., 2019).

2.1.2.5. Katılımı en üst düzeye çıkarma

Katılımı en üst düzeye çıkarma modeli 1972 yılında Holmes tarafından geliştirilmiştir. Bu model, belirli bir mesafe veya seyahat süresi içinde taleplerin tesislere katılımını en üst düzeye çıkarmayı amaçlamaktadır. Talebin yoğunluğuna yakın olan tesislere nispeten tahsis edilmiştir. Böylelikle talep ağırlığı yüksek olan talep noktaları öncelikli olarak tahsis edilecektir. Talep noktasına tam bir kapsama sağlamayı amaçlamaz, aslında her bir talep noktası için talep ağırlığının bir oranını tahsis eder. Bu özellik, katılımı en üst düzeye çıkarma modeli ile diğer modeller arasındaki temel farktır (Algharib, 2011). Rekabeti çok az olan veya hiç olmayan özel mağazalar bu sorun türünden yararlanır, ancak pazar payı sorun türlerini gerçekleştirmek için gereken rakipler hakkında verilere sahip olmayan genel perakendeciler ve restoranlar için de faydalı olabilir. Bu sorundan yararlanabilecek bazı işletmeler arasında kafeler, spor salonları, dış sağlığı merkezleri ve tıp merkezleri, bowling salonları ve elektronik mağazaları bulunmaktadır. Toplu taşıma otobüs duraklarının yer seçimi de genellikle bu model yardımı ile seçilmektedir. Katılımı en üst düzeye çıkarma problemi, insanların tesise ulaşmak için ne kadar uzaklıktan seyahat etmesi gerektiğini sunar, bu durumda tesislerin kullanılma olasılıklarının o kadar düşük olacağını varsayar. Bu durum, tesislere tahsis edilen talep miktarının mesafeyle birlikte nasıl azaldığına yansımaktadır (D'bro ve diğ., 2019).

2.1.2.6. Pazar payını en üst düzeye çıkarma

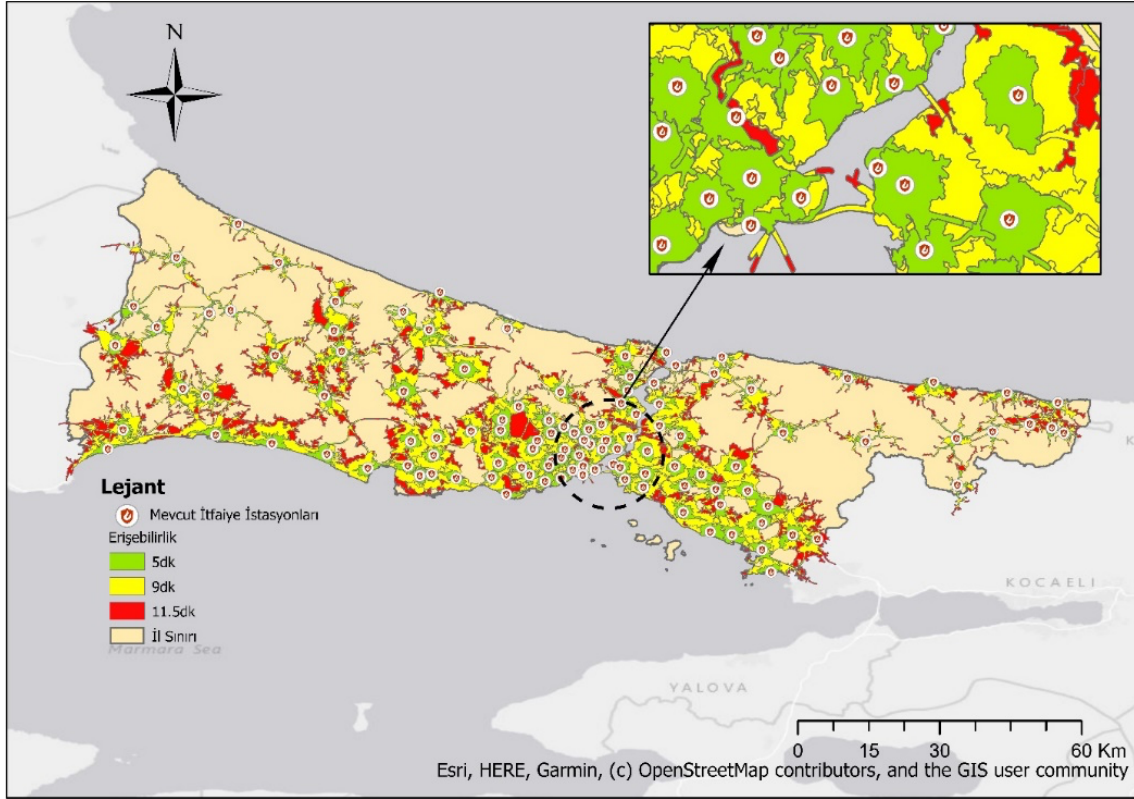
Pazar payını en üst düzeye çıkarma modeli, diğer rakiplerin konumu varlığında pazar payını en üst düzeye çıkaracak konumu bulmaktır (Arifin, 2011). Toplam pazar payı, geçerli talep noktaları için tüm talep ağırlığının toplamıdır. Bu problem türü en fazla veri ihtiyacı gerektirmektedir. Çünkü mevcut tesislerin ağırlığı yanında rakiplerin tesislerinin de ağırlıklarının bilinmesi gerekmektedir. Modelin yer seçim uygulaması örneği olarak büyük mağazaların belirli bir sayıda açacağı yeni mağazaların yerlerinin tahsis edilmesinde kullanılmaktadır.

2.1.2.7. Hedef pazar payı

Hedef pazar payı, muhtemel rakiplerin varlığında toplam pazar payının belirli bir yüzdesini yakalamak için gerekli minimum tesis sayısını seçer. Toplam pazar payı, geçerli talep noktaları için tüm talep ağırlığının toplamıdır. Ulaşılacak istenilen pazar payının yüzdesi belirlenir ve çözücünün bu eşiği karşılaması için gerekli olan en az sayıda tesisi seçmesini sağlamaktadır.

Konum tahsisinin temel hedefleri, ifade edilen modellerde tesislerin maksimum verimlilikte talepleri karşılamasına izin veren tesisler için en uygun konumların belirlenmesini sağlamaktır. Bu çalışmada empedansı en aza indirme / P-medyan modeli ile kapsama alanını en üst düzeye çıkarma modeli kullanılmıştır. Bu modeller doğrultusunda konum tahsisi modellerinin iki temel objektif yaklaşımı vardır: kapsama alanı ile en üst düzeye çıkarmak ve toplam ağırlıklı maliyetlerin en aza indirilmesidir. Bu tür yaklaşımlar, tesislerin yerini belirlemek için en önemli çözümü takip eder. Empedansı en aza indirgeme yaklaşımının amacı, maliyeti azaltmak ve verimliliği en üst düzeye çıkarmaktır (Şekil 3-a), oysa kapsama alanını en üst düzeye çıkarma yaklaşımı, belirli bir empedans kesintisi içinde maksimum taleplere hizmet eder (Şekil 3-b). Empedansı en aza indirgeme yaklaşımı, özellikle tesislerin konumlarının mutlaka yüksek yoğunluklu talep konumlarına yakın olmadığı yanıt sürelerini azaltmak için kullanılır. Buna karşılık kapsama alanını en üst düzeye çıkarma yaklaşımı, katılımı en üst düzeye çıkarma ve tesisleri en aza indirme modellerini en üst düzeye çıkarmak için kullanılır. Kapsama

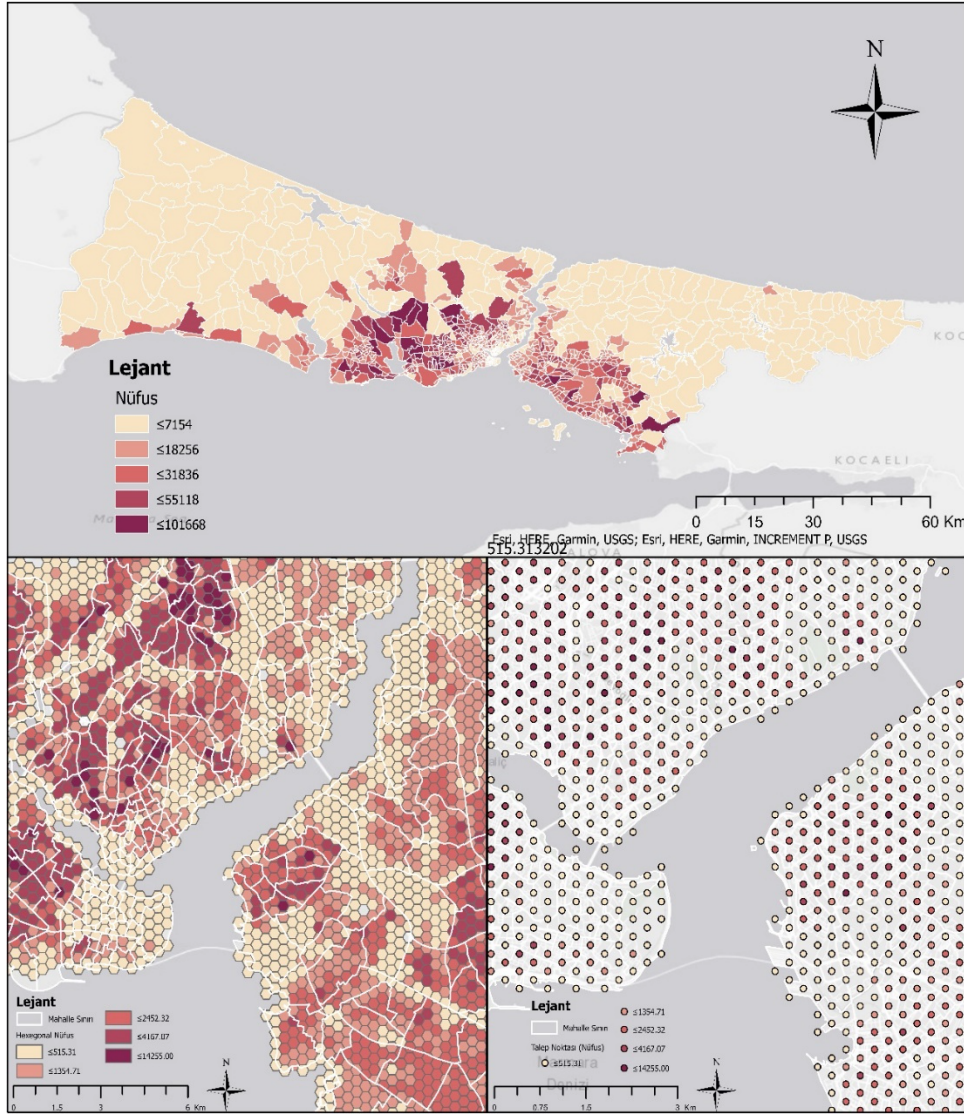
Kilyos bölgesi ve Beylikdüzü ilçesinin Dereağzı mahallesine de erişim olmadığı görülmektedir. İstanbul Anadolu Yakası'nda ise Tuzla, Pendik, Şile, Beykoz ve Çekmeköy ilçelerinin bazı bölgelerine erişim sağlanmadığı görülmektedir. Özellikle Tuzla ve Pendik ilçelerinin sınırlarında bulunan mahallelerine erişim sağlanmamıştır.



Şekil 5. 5, 9 ve 11.5 dakikada itfaiye tesislerinden erişilebilen yerler

3.3. Talep noktaları nüfusunun hesaplanması

26326 sayılı Belediye İtfaiye Yönetmeliği'nin 11. Bölüm Araç, Teçhizat ve Malzeme bölümü 42. Madde 'Araç' kapsamında İtfaiye istasyonunda bulunması gereken asgari araç sayısı için ilgili nüfusa göre tanımlama yapılmıştır. 43. Madde 'Teçhizat ve Malzemeler' kapsamında ise itfaiye teşkilatında kullanılacak teçhizat ve malzemelerin cins, miktar ve nitelikleri hizmet gereksinimlerine göre teknolojik gelişmelere paralel olarak belirlenir. Araç tanımları, teçhizat ve malzemelerin temini TSE ve EN (Avrupa Standartları) standartlarına uyumludur. Yönetmeliğe göre- 10 bin - 25 bin - 50 bin - 100 bin - 200 bin - 300 bin - 400bin - 600bin – gibi nüfus sınır değerleri ile nüfus grupları tanımlanarak, itfaiye tesisinin sorumlu olduğu nüfusu temsil eden sınıfa karşılık bulundurması gereken araç kapasitesi belirlenmiştir (Belediye İtfaiye Yönetmeliği, 2006). Böylelikle itfaiye tesislerinin tahsis alanlarında bulunan nüfusun hesaplanması ve bu kapsamda tesiste gerekli araç kapasitesinin belirlenmesi hedeflenmiştir. İtfaiye tesisleri için talep noktaları, CBS ortamında birim mahalle nüfusunun yerleşime ve kat adedine göre birim hegzagonal alana dağıtılması ile hesaplanmıştır. Şekil 6'da görüldüğü gibi İstanbul'daki her bir alanda nüfus sayısı dağılımı ile hesaplanan talep noktaları belirlenmiştir. Elde edilen nüfus talep noktaları ile mevcut istasyonların 5, 9 ve 11.5 dakika erişilebilirlik analiz sonuçları CBS fonksiyonları ile ilişkilendirilerek her istasyonun hizmet sunabileceği yaklaşık talep nüfus toplamı hesaplanmıştır. Böylelikle hem mevcut durumu hem de Belediye İtfaiye Yönetmeliği'nde yer alan nüfusa göre temin edilecek araç, malzeme ve teçhizat durumu ortaya koyulmuştur.



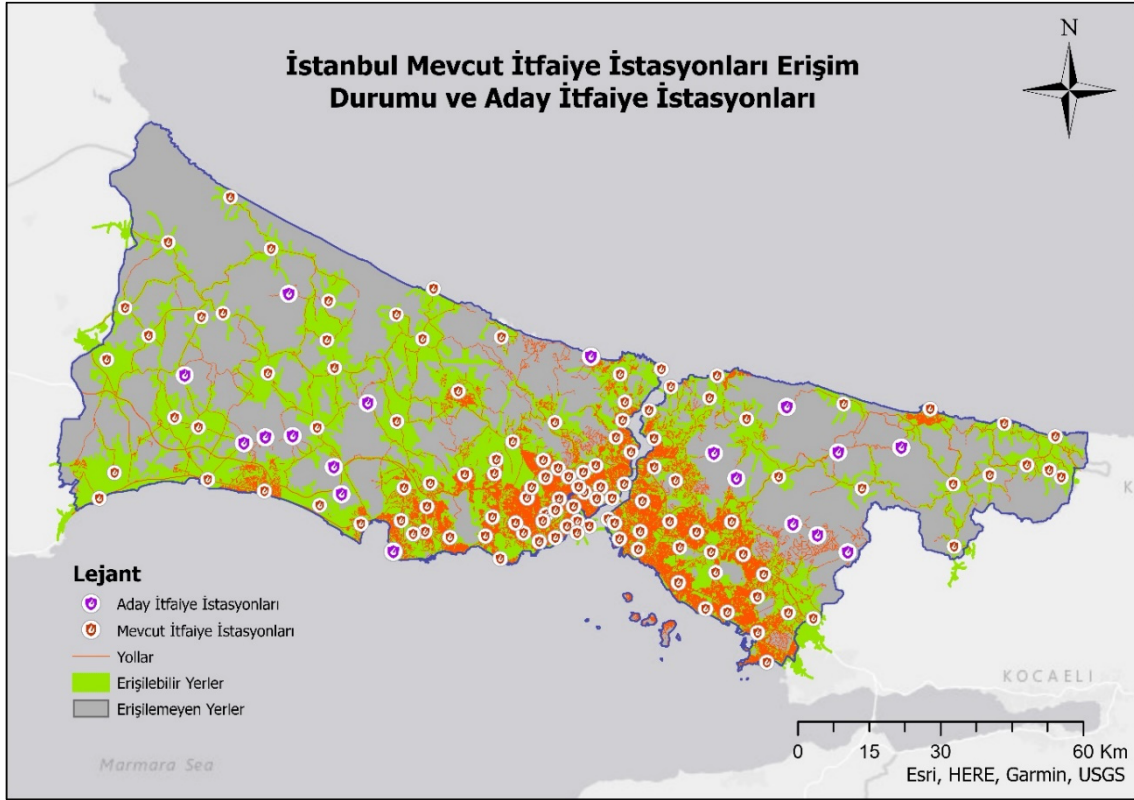
Şekil 6. Nüfus dağılımı ile itfaiye talep noktalarının hesaplanması

3.4. Aday itfaiye istasyon yerlerinin belirlenmesi ve en uygun itfaiye konumu yer seçimi analizleri

Mevcut itfaiye istasyonlarına erişebilirlik analizi sonuçlarına göre, 5, 9 ve 11.5 dakikada mevcut erişilebilir nüfus belirlenmiş ve böylelikle bu alanların dışındaki erişilemeyen nüfuslarda hesaplanmıştır. Ulaşamayan nüfuslara da erişim sağlamak amacıyla yeni itfaiye istasyonları tesis edilerek kalan nüfusa da erişim sağlanması hedeflenmektedir. Mevcut 118 itfaiye istasyonu mevcut ve gerekli itfaiye istasyonu olarak belirlenmiştir. Yeni tesis edilecek istasyonlar ise aday istasyonlardır. Aday istasyonlar tesis edilirken; erişilemeyen nüfus, ana arterlere yakınlık, arazi yapısı ve arazi kullanım tipi, askeri alanların olmaması gibi yerler göz önünde bulundurulmuştur. Böylelikle erişilemeyen nüfus için örnek 18 aday itfaiye istasyonu ile yer seçim uygulaması yapılmıştır (Şekil 7).

Konum tahsisi ya da uygun yer seçim analizleri (location-allocation) ile erişilemeyen yerlere dolayısıyla da nüfusa yönelik itfaiye istasyonları için en uygun yerler belirlenmektedir. Ağ tabanlı uygun yer seçimi analizleri olarak, empedansı en aza indirme / P-medyan modeli ve kapsama alanını en üst düzeye çıkarmak olarak ifade edilen iki model bu çalışmada kullanılmıştır. Bu modellerin çalıştırılmasında Location-Allocation Analysis aracı kullanılmıştır. P-medyan modeli, erişebilirliği en üst düzeye çıkarmak için tesis ve talep yerleri arasındaki toplam ağırlıklı mesafeyi minimuma indirgeyerek tesislerin en uygun konumlarını belirlemektedir. Buna bağlı

olarak 18 aday itfaiye istasyonu tesisleri ifade ederken, erişilmeyen nüfus da talep noktalarını ifade etmektedir. Aday itfaiye istasyonlarının talep noktalarına ulaşmak için kat ettikleri mesafeyi en aza indirip konumları belirlemektedir. Kapsama alanını en üst düzeye çıkarma modeli ise belirli bir mesafe veya seyahat süresi içinde talep noktalarının sayısı için kapsama alanını en üst düzeye çıkarmayı amaçlamaktadır. Bu modelde P medyan modelinde olduğu gibi 18 aday itfaiye istasyonu tesisleri ifade ederken, erişilemeyen nüfus da talep noktalarını ifade etmektedir. Aday itfaiye istasyonları 5 dakika içerisinde hedeflenen tüm talep noktalarına ulaşmayı amaçlamaktadır. Aynı işlem 9 ve 11.5 dakikalarda içinde uygulanmıştır. Böylelikle belirlenen süre içerisinde en büyük talep alanını kapsamaktadır. Bu model yangın istasyonları için en uygun yeri seçmek için uygun bir modeldir, çünkü yangın istasyonları genellikle belirli bir yanıt süresi içinde talep noktalarına ulaşması gerekmektedir.



Şekil 7. Mevcut itfaiye tesislerinden erişilemeyen yerler ve aday istasyon yerleri

4. Bulgular

Mevcut 118 itfaiye istasyonu ile 5, 9 ve 11.5 dakika içerisinde uygulanan servis alanı analizi sonuçlarıyla ilişkilendirilerek her istasyonun erişebildiği toplam nüfus sonucu elde edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre mevcut itfaiye tesislerinden erişilebilir nüfus;

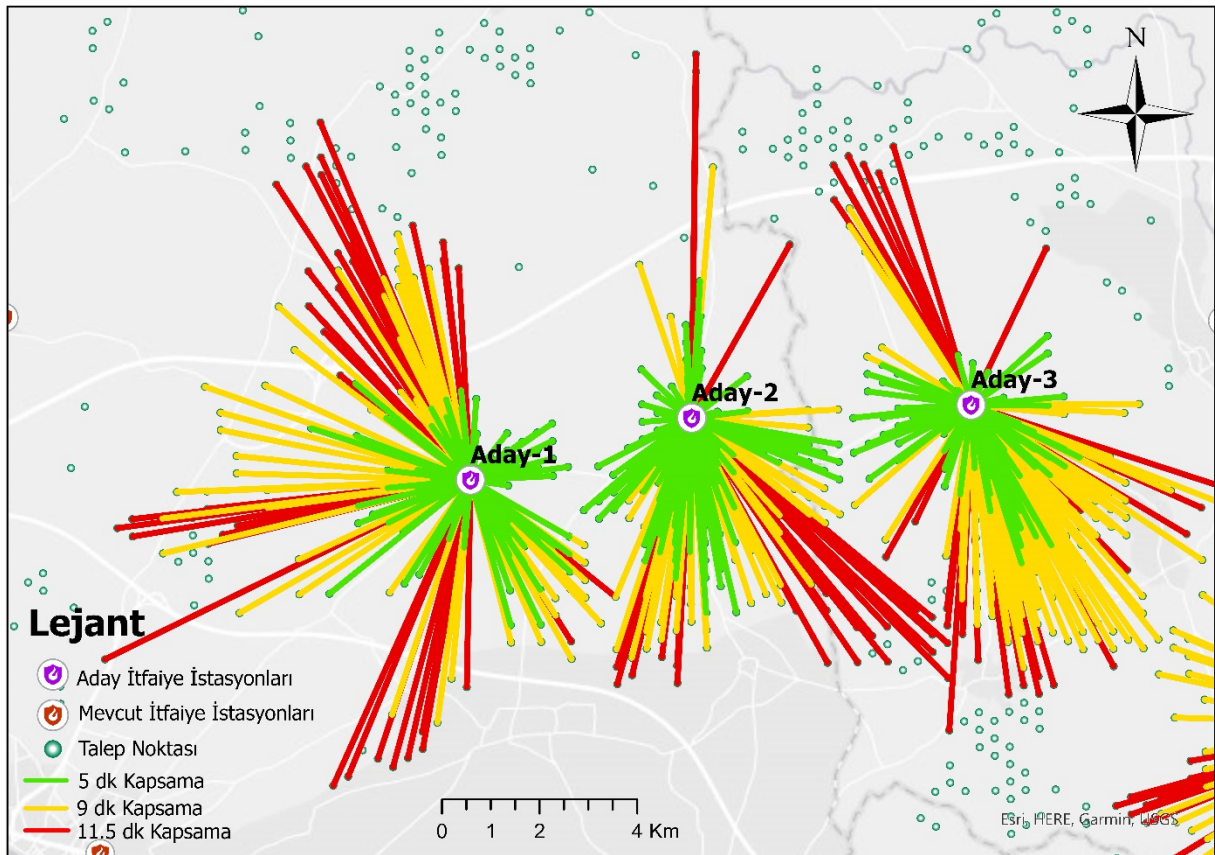
-5 dakika erişilebilir tahsis alanı için 9054 talep noktası ile nüfusun %30'u (7.436.355),

-9 dakika erişilebilir tahsis alanı için 20427 talep noktası ile nüfusun %68'i (14.526.640),

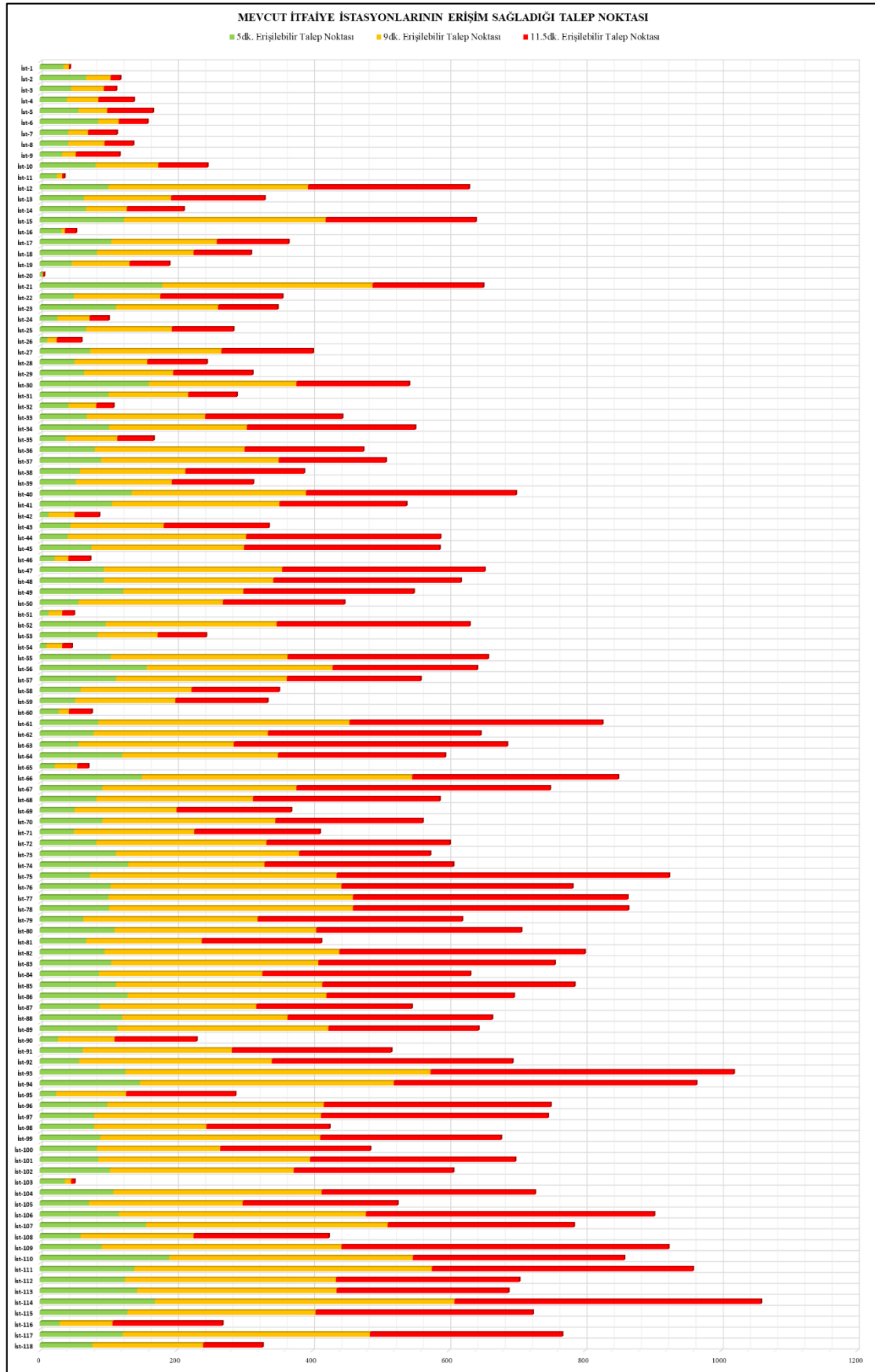
-11.5 dakika erişilebilir tahsis alanı için 24273 talep noktası ile nüfusun %81'i (15.306.945) olarak hesaplanmıştır.

Böylelikle belirlenen zaman dilimlerinde erişilemeyen 5789 talep noktası ile nüfusun %19'u (139.440) olarak hesaplanmıştır. Kaynak tahsis alanı analizinin sonuç haritası, hesaplanan taleplerle birlikte incelendiğinde erişilemeyen kısımlar İstanbul Avrupa Yakası'nda bulunan Çatalca, Arnavutköy, Silivri, Büyükçekmece ilçelerinin bazı kısımlarıdır. Özellikle Silivri ve Çatalca ilçelerinde daha çok mera, bahçeler fidanlıklar gibi arazi

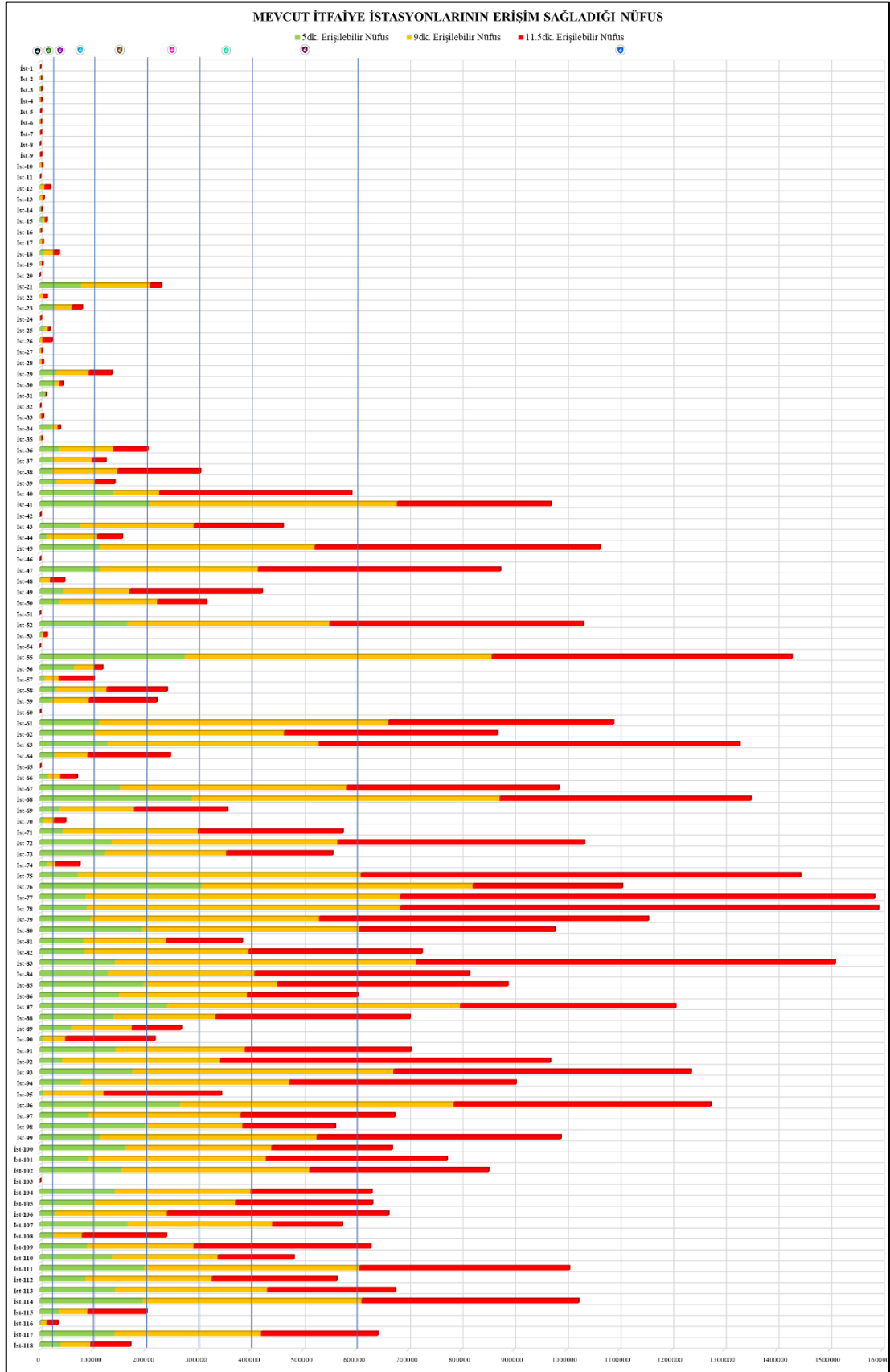
kullanım türleri mevcuttur. Burada yaşayan nüfus da oldukça azdır. Avrupa Yakası'nda bulunan Sarıyer ilçesinin Kısırkaya-Kilyos bölgesi ve Beylikdüzü ilçesinin Dereazgı mahallesine de erişim olmadığından buralara birer adet istasyon tesis edilmiştir. İstanbul Anadolu Yakası'nda ise Tuzla, Pendik, Şile, Beykoz, Çekmeköy ilçelerine yeni istasyonlar tesis edilmiştir. Tuzla Pendik ilçelerinin sınırlarında bulunan mahallerine tesis edilmiştir. Bu 5 ilçe için erişilemeyen nüfuslar yoğun olmayan mahalle-köy statüsünde olan birimlerdir. Ayrıca mevcut 118 itfaiye istasyonunun ile 5,9 ve 11.5 dakika içerisinde uygulanan kaynak tahsis alanı analizi sonucunda, istasyon bazında erişim sağlanan toplam talep nokta sayısı ve bu talep noktalarının karşılık gelen nüfus hesaplanarak sırasıyla Şekil 9 ve Şekil 10'da verilmiştir. Diğer taraftan tüm bu nitelikler göz önünde bulundurularak çalışma kapsamında belirlenen 18 aday itfaiye istasyonu ile erişilemeyen nüfus talep noktaları için Empedansı En Aza İndirme / P-Medyan ve Kapsama Alanını En Üst Düzeye Çıkarma uygun yer seçimi analiz modelleri uygulanmıştır. Şekil 8'deki örnekte görüldüğü gibi benzer sonuçlar ile Aday-1, Aday-2 ve Aday 3 istasyon noktalarının kaynak tahsis alanı içerisinde erişebileceği talep noktaları tahsis edilmiştir. Bu durumda 5 dakika içerisinde Aday-1 istasyonu 77, Aday-2 98 ve Aday-3 istasyonu 76 talep noktasında 3278 nüfusa erişebilmektedir. 9 min içerisinde Aday-1 istasyonu 125, Aday-2 istasyonu 140 ve Aday İst-3 istasyonu 165 talep noktasında 4845 nüfusa erişebilmektedir. 11.5 dakika içerisinde ise Aday-1 istasyonu 162, Aday 2 istasyonu 164 ve Aday-3 istasyonu 195 talep noktasında 5764 nüfusa erişim sağlamaktadır.



Şekil 8. Aday-1, Aday-2 ve Aday-3 örnek itfaiye istasyonlarının a) 5, b) 9, c) 11.5 dakikada erişilebilir talep noktaları











Şekil 9. Mevcut itfaiye istasyonlarının 5,9 ve 11.5 dakika içerisinde erişim sağladıkları talep noktası sayısı




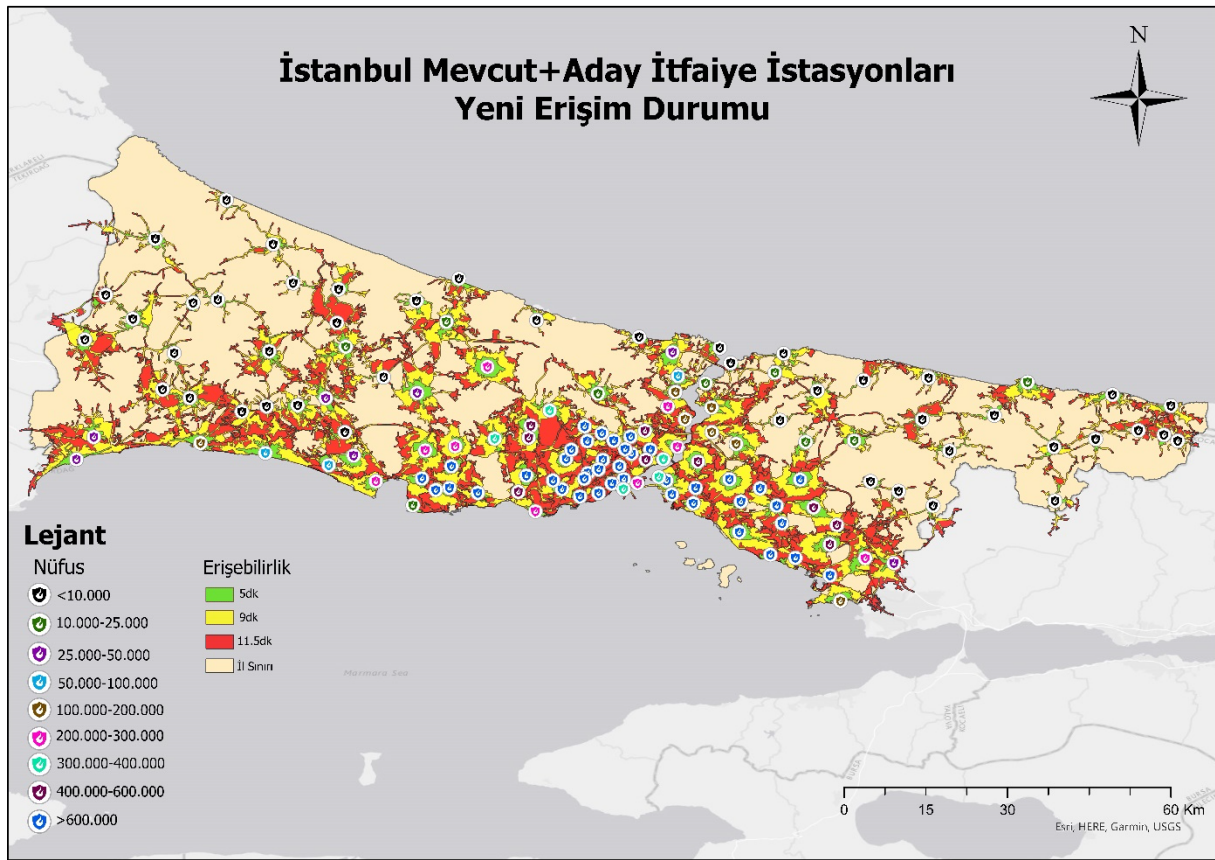
Şekil 10. Mevcut itfaiye istasyonlarının 5,9 ve 11.5 dakika içerisinde erişim sağladığı talep noktalarının karşılık geldiği nüfus

Elde edilen bu toplam nüfus 26326 sayılı Belediye İtfaiye Yönetmeliği'nin 11. Bölüm Araç, Teçhizat ve Malzeme kısmı ile bağdaştırılarak toplam nüfusa tahsis edilmesi gereken araç, malzeme ve teçhizat bilgisi belirlenmiştir. <10.000 nüfus grubunda 30, 10.000-25.000 nüfus grubunda 7, 25.000-50.000 nüfus grubunda 6, 50.000- 100.000 nüfus grubunda 3, 100.000-200.000 7, 200.000-300.000 nüfus grubunda 9, 300.000-400.000 nüfus grubunda 5, 400.000-600.000 nüfus grubunda 9 ve > 600.000 nüfus 42 istasyon grubunda olmak üzere, 18'i yeni aday istasyon olmak üzere toplam 136 itfaiye istasyonu ile taleplerin %95'ine karşılık toplam 15.410.928 nüfusa erişim sağlanabileceği belirlenmiştir. Tablo 1'de mevcut ve yeni önerilen itfaiye istasyonları için yönetmelik kapsamında tahsis edilmesi gereken araç kapasitesi tanımlanmıştır. Ayrıca önerilen 18 istasyonun tesis edilmesi durumunda, mevcut ve aday itfaiye istasyonlarının 5, 9 ve 11.5 dakika içerisinde ulaşabileceği yerler tekrar analiz edilerek sonuçlar Şekil 11'de verilmiştir. Şekil 5'teki daha öncesinde erişim sağlanamayan yerler için hem erişim sağlanmış hem de mevcut itfaiye istasyonlarının talep yükü azaltılmıştır.

Tablo 1. Mevcut ve aday itfaiye istasyonları için tahsis edilmesi gereken teçhizat

Harita Gösterimi	Nüfus	Araç	Mevcut İstasyon Numarası	Aday İstasyon Numarası
	<10.000 (a)	En az 1 adet itfaiye söndürme aracı	1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-13-14-16-17-19-20-24-27-28-32-33-35-42-46-51-54-60-65-103-	1-2-3-4-5-9-10-11-12-13-14-15-16-17-18
	10.000 - 25.000 (b)	En az 1 adet acil kurtarma aracı, 2 adet itfaiye söndürme aracı, 1 adet merdivenli araç	12-15-22-53-25-26-31-53	7-8
	25.000 - 50.000 (c)	En az 1 adet acil kurtarma aracı, 3 adet itfaiye söndürme aracı, 1 adet merdivenli araç, 1 adet çift kabinli pikap, 1 adet hizmet aracı	18-30-34-48-70-116	6
	50.000 - 100.000 (ç)	En az 1 adet acil kurtarma aracı, 1 adet ambulans, 4 adet itfaiye söndürme aracı, 1 adet merdivenli araç, 1 adet çift kabinli pikap, 1 adet hizmet aracı	23-66-74	-
	100.000 - 200.000 (d)	En az 1 adet acil kurtarma aracı, 1 adet çok maksatlı kurtarma aracı, 1 adet ambulans, 6 adet itfaiye söndürme aracı, 2 adet merdivenli araç, 2 adet çift kabinli pikap, 1 adet hizmet aracı	29-37-39-44-56-57-118	-
	200.000 - 300.000 (e)	En az 1 adet acil kurtarma aracı, 1 adet çok maksatlı kurtarma aracı, 2 adet ambulans, 8 adet itfaiye söndürme aracı, 2 adet merdivenli araç, 3 adet çift kabinli pikap, 1 adet hizmet aracı	21-36-58-59-64-89-90-108-115	-
	300.000 - 400.000 (f)	En az 1 adet acil kurtarma aracı, 2 adet çok maksatlı kurtarma aracı, 2 adet ambulans, 10 adet itfaiye söndürme aracı, 3 adet merdivenli araç, 3 adet çift kabinli pikap, 2 adet hizmet aracı	38-50-69-81-95	-
	400.000 - 600.000 (g)	En az 2 adet acil kurtarma aracı, 2 adet çok maksatlı kurtarma aracı, 3 adet ambulans, 14 adet itfaiye söndürme	40-43-49-71-73-98-107-110-112	-

		aracı, 4 adet merdivenli araç, 4 adet çift kabinli pikap, 2 adet hizmet aracı	
	> 600.000 (ğ)	En az 2 adet acil kurtarma aracı, 2 adet çok maksatlı kurtarma aracı, 3 adet ambulans, 14 adet itfaiye söndürme aracı, 4 adet merdivenli araç, 4 adet çift kabinli pikap, 2 adet hizmet aracına ilaveten, her 150.000 nüfus için 1 adet itfaiye söndürme aracı, her 400.000 nüfus için ise 1 adet merdivenli araç, 1 adet ambulans, 1 adet çok maksatlı kurtarma aracı, her 500.000 nüfus için ise 1 adet acil kurtarma aracı, 1 adet çift kabinli pikap, 1 adet hizmet aracı	41-45-47-52-55-61-62-63-67-68-72-75-76-77-78-79-80-82-83-84-85-86-87-88-91-92-93-94-96-97-99-100-101-102-104-105-106-109-111-113-114-117-



Şekil 11. 5, 9 ve 11.5 dakika içerisinde, mevcut ve aday itfaiye istasyonları ile yeni erişim durumu

5. Sonuç

Çalışmada mevcut ve önerilen itfaiye istasyonları ile sezgisel ağ-tabanlı konum tahsis analiz algoritmaları kapsamında P-medyan olarak ifade edilen empedansı en aza indirme ve kapsama alanını artırma teknikleri kullanılarak, İstanbul ilinde nüfusu temsil eden taleplerin karşılanması için optimizasyon yapılmıştır. Gerçekleştirilen itfaiye tesis yer seçimi uygulamasında, itfaiye yönetmeliğine göre itfaiye istasyonunun hizmet sunduğu nüfusa göre tahsis edilecek hizmet araçları belirlenmiştir. Ayrıca yangın riski olan yapılar, sanayi tesisleri ve birçok yangın oluşturan unsuru dikkate alarak itfaiye talep noktası analizleri ile uygulama geliştirilebilir. Kullanılan algoritmalar itfaiye örneğinde olduğu gibi herhangi acil durum hizmetinin

optimizasyonu için kullanılabilmesi gibi, endüstriyel tesis yer seçimi ve bölgesel planlamada kamu hizmetleri için uygun yeri seçimi gibi birçok farklı uygulama alanında karar destek yaklaşımı olarak uygulanabilmektedir. Uygulama ihtiyacına göre, talebi temsil eden nüfus için belirli demografik özellikteki nüfusa yönelik veya belirlenen kriterlere bağlı talep sayısı dikkate alınarak, herhangi tesis yer seçimi uygulamasında mevcut ve önerilen tesislere göre uygun konum için tesis yeri optimizasyonu yapılabilir. Mevcut veri altlığı İstanbul'da farklı uygulama ihtiyaçları için kullanılabilmesi gibi, aynı metodoloji herhangi bir ilde veya yerleşim alanında kullanılabilir.

Araştırmacıların Katkısı

Bu çalışmada; Arif Çağdaş Aydınoğlu problemin tanımlanması, makale kurgusunun planlamasında, Süleyman Şişman makale yazım ve düzenlenmesinde, İrem Ergül literatür taraması ve analizlerin gerçekleştirilmesi konusunda katkı sağlamıştır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

Aktaş, E., Özaydın, Ö., Ülengin, F., Önsel, Ş., & Ağaran, B. (2011). İstanbul' Da İtfaiye İstasyonu Yerlerinin Seçimi İçin Yeni Bir Model. *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 2–12. Erişim adresi: <https://hdl.handle.net/11376/144>

Algharib, M. S. (2011). *Distance And Coverage: An Assessment Of Location-Allocation Models For Fire Stations In Kuwait City, Kuwait*. (PhD Thesis, Kent State University). Retrieved from <https://www.semanticscholar.org/paper/DISTANCE-AND-COVERAGE%3A-AN-ASSESSMENT-OF-MODELS-FOR-Algharib/3f339bd307bf72254d79ef514bb6a0192cad072a>

Alp, O., Erkut, E., & Drezner, Z. (2003). An Efficient Genetic Algorithm For The P-Median Problem. *Annals of Operations Research*, 122(1–4), 21–42. doi: <https://doi.org/10.1023/A:1026130003508>

Al-Sabbagh, T. A. (2020). GIS location-allocation models in improving accessibility to primary schools in Mansura city-Egypt. *GeoJournal*, 1-18. doi: <https://doi.org/10.1007/s10708-020-10290-5>

Arifin, M. S. (2011). Problem Using Genetic Algorithm and Simulated Annealing: a Case Study Based on School in Enschede. *Springer*, 55(4), 445–470. Retrieved from <https://www.semanticscholar.org/paper/LOCATION-ALLOCATION-PROBLEM-USING-GENETIC-ALGORITHM-Huisman/c255cb15ca78c176d0108e462c6ae9e8882479e7>

Aydın, C. (2018). Makine Öğrenmesi Algoritmaları Kullanılarak İtfaiye İstasyonu İhtiyacının Sınıflandırılması. *European Journal of Science and Technology*, 14, 169–175. doi: <https://doi.org/10.31590/ejosat.458613>

Aydinoglu, A. C., & Iqbal, A. S. (2021). Determining Parking Demand and Locating Parking Areas Using Geographic Analytics Methods. *Journal of Urban Planning and Development*, 147(1), 05020035. doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)UP.1943-5444.0000650](https://doi.org/10.1061/(ASCE)UP.1943-5444.0000650)

Badri, M.A., Mortagy, A.K., & Alsayed, A. (1998). A multi-objective model for locating fire stations. *European Journal of Operational Research*, 110, 243-260. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0377-2217\(97\)00247-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0377-2217(97)00247-6)

Balinski, M.L. (1965). Integer programming: methods, uses, computation. *Management Science*, 12, 253-313. doi: <http://dx.doi.org/10.1287/mnsc.12.3.253>

Bastı, M. (2012). P-medyan Tesis Yeri Seçim Problemi ve Çözüm Yaklaşımları. *AJIT-e: Online Academic Journal of Information Technology*, 3(7), 47–75. doi: <https://doi.org/10.5824/1309-1581.2012.2.004.x>

Belediye İtfaiye Yönetmeliği. (2006, 21 Ekim). Resmi Gazete (Sayı: 26326). Erişim adresi: <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=10713&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5>

Chevalier, P., Thomas, I., Geraets, D., Goetghebeur, E., Janssens, O., Peeters, D., & Plastria, F. (2007). Locating fire stations in Belgium: an integrated gis approach. *Proceedings Of The 47th Congress Of The European Regional Science Association*, 1-15, Paris.

Church, R.L., & ReVelle, C. (1974). The maximal covering location problem. *Papers of the Regional Science Association*, 32, 101-118. doi: <https://doi.org/10.1007/BF01942293>

Çatay, B. (2011). İstanbul' Da İtfaiye İstasyonu Yer Seçiminde Risk Faktörüne Dayalı Bir Çoklu Kapsama Yaklaşımı. *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 33-44. Erişim adresi: <https://app.trdizin.gov.tr/makale/TVRFNE16QXhNUT09/istanbul-da-itfaiye-istasyonu-yer-seciminde-risk-faktorune-dayali-bir-coklu-kapsama-yaklasimi>

D'brot, C., Bravo, W., & Arana V. (2019). Optimum Location And Amount Of New Fire Stations Based On Geographic Information System And Analytic Hierarchy Methods, *IEEE Xplore*, 3-8. doi: [10.1109/CONITI48476.2019.8960912](https://doi.org/10.1109/CONITI48476.2019.8960912)

Densham, P. J., & Rushton, G. (1991). Designing and Implementing Strategies for Solving Large Location-Allocation Problems with Heuristic Methods Department of Geography. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/2460286_Designing_and_Implementing_Strategies_for_Solving_Large_Location-Allocation_Problems_with_Heuristic_Methods

Erden, T. (2009). Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Analitik Hiyerarşi Yönetimi'ne Dayalı İtfaiye İstasyon Yer Seçimi İstanbul Örneği. (Doktora Tezi). Erişim adresi: <https://polen.itu.edu.tr/xmlui/handle/11527/1661>

Erkal, T., & Değerliyurt, M. (2013). Eskişehir'de Acil Durum Yönetiminde Ağ (Network) Analizlerinin Kullanılması. *Türk Coğrafya Dergisi*, 11-20.

ESRİ. (2021a). ArcGIS Uygulama Dokümanı. Erişim adresi: https://www.ktu.edu.tr/dosyalar/ormanamenajmani_e0cf3.pdf

ESRİ. (2021b). Choose the best location with Location-Allocation. Retrieved from <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/help/analysis/networks/location-allocation-tutorial.htm>

ESRİ. (2021c). Solve Location Allocation. Retrieved from <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/ready-to-use/itemdesc-solvelocationallocation.htm>

Hakimi, S. L. (1964). Optimum Distribution Of Switching Centers In A Communication Network And Some Related Graph Theoretic Problems. doi: <https://doi.org/10.1287/opre.13.3.462>

Hewitt, R. L. (2002). Siting A Fire Station By Leveraging Soft Constraints And Supporting Science. *Interfaces*, 32(4), 69-74. doi: <https://doi.org/10.1287/inte.32.4.69.50>

Hogg, J. (1968). The siting of fire stations. *Operational Research Quarterly*, 19, 275-287. doi: <https://doi.org/10.2307/3008620>

İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) Açık Veri Portalı. (2020). İtfaiye İstasyonları Konum Bilgileri Veriseti. Erişim adresi: <https://data.ibb.gov.tr/dataset/itfaiye-istasyonlari-konum-bilgileri>. Son erişim tarihi: 22 Mayıs 2020.

İstanbul İtfaiyesi. (2020). İstanbul Büyükşehir Belediyesi - İtfaiye Daire Başkanlığı. Erişim adresi: <http://itfaiye.ibb.gov.tr/tr/guvenliginiz-icin.html>. Son erişim tarihi: 01 Haziran 2020.

Jiang, B., & Claramunt, C. (2004). A Structural Approach To The Model Generalization Of An Urban Street Network. *GeoInformatica*, 8(2), 157–171. doi: <https://doi.org/10.1023/B:GEIN.0000017746.44824.70>

Karaş, İ. R. (2007). Objelerin Topolojik İlişkilerinin 3B CBS ve Ağ Analizi Kapsamında Değerlendirilmesi. 21(4), 256–263. (Doktora Tezi). Erişim adresi: <https://avesis.yildiz.edu.tr/yonetilen-tez/a434bcc1-9d09-4c25-8994-5f25f9357773/objelerin-topolojik-iliskilerinin-3b-cbs-ve-ag-analizi-kapsaminda-degerlendirilmesi>

Karim, A.A.E., & Awawdeh M.M. (2020). Integrating GIS Accessibility and Location-Allocation Models with Multicriteria Decision Analysis for Evaluating Quality of Life in Buraidah City, KSA, *Sustainability*, 12(4), 1-28. doi: <https://doi.org/10.3390/su12041412>

Kesik, O. A., Aydınoğlu, A. Ç., & Taştan, B. (2016). Ağ Analiz Tekniklerini Kullanarak Afetlerle Başa Çıkabilme Erişebilirlik: İstanbul Fatih İlçesi Örneği. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 21(36), 79–94. doi: <https://doi.org/10.17295/dcd.67726>

Khan, M.U.H., Vaezi M., & Kumar, A. (2018). Optimal Siting Of Solid Waste-To-Value-Added Facilities Through A GIS-Based Assessment, *Science of the Total Environment*, 610(611), 1065-1075. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.169>

Koyuncu, M., & Koyuncu, S. (2016). Osmanlı'da Afet Yönetimi. *Journal of Contemporary Medicine*, 6(4), 378–378. doi: <https://doi.org/10.16899/gopctd.283333>

Kuehn, A.A., & Hamburger, M.J. (1963). A heuristic program for locating warehouses. *European Journal of Operational Research*, 9(4), 643-666. doi: <https://doi.org/10.1287/mnsc.9.4.643>

Manne, A. (1964). Plant localization under economy of scale: decentralization and computation. *Management Science*, 11, 213-235. doi: <https://doi.org/10.1287/mnsc.11.2.213>

Murawski, L., & Church, R.L. (2009). Improving accessibility to rural health services: the maximal covering network improvement problem, *Socio-Economic Planning Sciences*, 43(2), 102-110. doi: <https://doi.org/10.1016/j.seps.2008.02.012>

National Fire Protection Association (NFPA). (2021). NFPA Codes and Standards. Retrieved from <https://www.nfpa.org/Codes-and-Standards/All-Codes-and-Standards/List-of-Codes-and-Standards>

National Fire Protection Association (NFPA-1710). (2021). Standard for the Organization and Deployment of Fire Suppression Operations, Emergency Medical Operations, and Special Operations to the Public by Career Fire Departments. Retrieved from <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=1710>.

Open Street Map (OSM).(2020). Geofabrik İndirmeleri. Erişim adresi: <https://www.openstreetmap.org/>. Son erişim tarihi: 21 Mayıs 2020.

Plane, D.R., & Hendrick, T.E. (1977). Mathematical programming and the location of fire companies for the Denver fire department. *Operational Research*, 25 (4), 563-578. doi: <https://doi.org/10.1287/opre.25.4.563>

Richard, L., & Church, R. L. (1994). Integrating Normative Location Models into GIS Problems and Prospects With The P-Median Model. Retrieved from <https://escholarship.org/uc/item/7nz7762k>

Scaparra, P. M., & Scutella, M. G. (2001). Facilities, Locations, Customers: Building Blocks of Location Models. A Survey. Retrieved from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.21.4386&rep=rep1&type=pdf>

Schilling, D.A., ReVelle, C., Cohen, J., & Eizinga, D.J. (1980). Some models for fire protection locational decisions. *European Journal Of Operational Research*, 5(1), 1-7. doi: [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(80\)90067-3](https://doi.org/10.1016/0377-2217(80)90067-3)

- Schreuder, J. (1981). Application of a location model to fire stations in Rotterdam. *European Journal of Operational Research*, 6, 212-219. doi: [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(81\)90210-1](https://doi.org/10.1016/0377-2217(81)90210-1)
- Serra, D., & Marianov, V. (2011). New Trends in Public Facility Location Modeling. *SSRN Electronic Journal*. doi: <https://doi.org/10.2139/ssrn.563843>
- Shahparvari, S., Fadaki, M., & Chhetri, P. (2020). Spatial Accessibility Of Fire Stations For Enhancing Operational Response In Melbourne. *Fire Safety Journal*, 117(May), 103149. doi: <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2020.103149>
- Şimşek, İ., Byksalih, İ., Taşpınar, S., Bayburt, S., & Buhur, S. (2012). İstanbul Halk Ekmek Satış Noktalarının CBS Ortamına Aktarılarak, Satış ve Ağ Analizleri ile Web Tabanlı Bir Sistemin OluŐturulması. IV. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu, 16-19 Ekim, Zonguldak-Türkiye.
- Toregas, C.R., Swain, R., ReVelle, C.S., & Bergman, L. (1971). The location of emergency service facilities. *Operations Research*, 19, 1363-1373. doi: <https://doi.org/10.1287/opre.19.6.1363>
- Türkiye İstatistik Kurumu (TUİK). (2020). Nüfus ve Demografi İstatistikleri. Erişim adresi: <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=Nufus-ve-Demografi-109>. Son erişim tarihi: 20 Nisan 2020.
- stndağ, ., & Boyraz, Z. (2008). CBS Yardımı ile Kent İi Yangın Analizi: Elzığ rneği. *New World Sciences Academy*, 3, 307–320. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/nwsanature/issue/10859/130578>
- Yao, J., Zhang, X., & Murray, A. T. (2019). Location optimization of urban fire stations: Access and service coverage. *Computers, Environment and Urban Systems*, 73, 184-190. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2018.10.006>
- Yu, W., Chen ,Y., Chen, Z., Xia, Z.,& Zhou, Q. (2020). Service Area Delimitation Of Fire Stations With Fire Risk Analysis: Implementation And Case Study, *International Journal of Environmental Research and Public Health (Int. J. Environ. Res. Public Health)*, 17(6), 1-24. doi: <https://doi.org/10.3390/ijerph17062030>
- Zhao, L., Huiyong, L., Sun, Y., Huang, R., Hu, Q., Wang, J., & Gao F. (2017). Planning Emergency Shelters for Urban Disaster Resilience: An Integrated Location-Allocation Modeling Approach, *Sustainability*, 9(11), 1-20. doi: <https://doi.org/10.3390/su9112098>