

JANDARMA KARAKOLLARININ YER SEÇİMİNİN ENBÜYÜK KAPSAMA METODU İLE BELİRLENMESİHüseyin Ali SARIKAYA^{1*}, Haluk AYGÜNEŞ², Ali KILIÇ³¹Konya Gıda ve Tarım Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği BölümüORCID No : <https://orcid.org/0000-0001-5072-5067>²Çankaya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği BölümüORCID No : <https://orcid.org/0000-0002-4680-4077>³Konya Gıda ve Tarım Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği BölümüORCID No : <https://orcid.org/0000-0003-2777-0876>

Anahtar Kelimeler	Öz
Yer seçimi, Enbüyük kapsama problemi, Jandarma karakolu.	<i>Bu çalışmada, bir ilçe sınırları içerisinde yetenek ve kapasitelerine göre üç farklı sınıf karakolu dikkate alınarak jandarma karakolları için enbüyük (kısmi) kapsama yöntemi ile yer seçimi problemi incelenmiştir. Örnek olarak seçilen bölgede ilk önce her jandarma karakolunun meydana gelen olaylara müdahale kriterine göre kapsama mesafeleri, daha sonra bölgede potansiyel karakol yerlerini gösteren aday noktaları ve karakolların müdahale etmesi gereken olayları gösteren talep noktaları belirlenmiştir. Aday noktalarının seçimindeki belirsizliği en aza indirmek için modele, bölgesel özellikleri temsil eden kısıtlar eklenmiştir. Ayrıca, olay yoğunlukları göz önünde bulundurularak talep noktalarına öncelikler (ağırlık) verilmiştir. İncelenen problem için kullanılabilir karakol sınıf sayısına göre farklı senaryolar oluşturulmuş ve her senaryo için LINGO yazılımı kullanılarak optimal çözümler elde edilmiştir. Daha sonra, problem parametreleri değiştirilmek suretiyle optimal çözümlerin değişimi incelenmiştir.</i>

DETERMINING THE LOCATIONS OF THE GENDARMERIE STATIONS USING THE MAXIMAL COVERING METHOD

Keywords	Abstract		
Facility location, Maximal covering problem, Gendarmerie station	<i>In this study, facility location problem with maximal covering method for gendarmerie stations was examined by considering three different class stations according to their capabilities and capacities within the boundaries of a district. In the region selected as an example, first of all, covering distances for the incidents according to the intervention criterion of each gendarmerie station, then the candidate points representing the locations of the potential stations in the region and the demand points representing the events that the stations has to intervene has been determined. In order to minimize the uncertainty in the selection of candidate points, the model has been added to represent regional characteristics. In addition, priorities (weight) has been given to demand points considering the intensity of events. In the model developed for the problem, four different scenarios has been discussed and optimal solutions has been obtained for each scenario by using LINGO software. Then, by changing the problem parameters, the change of optimal solutions have been examined.</i>		
Araştırma Makalesi	Research Article		
Başvuru Tarihi	: 07.08.2019	Submission Date	: 07.08.2019
Kabul Tarihi	: 02.03.2020	Accepted Date	: 02.03.2020

*Sorumlu yazar; e-posta : huseyin.sarikaya@gidatarim.edu.tr

1. Giriş

Yer seçimi problemi adı ile anılan fiziksel bir nesnenin yerleştirilmesi kararları gerek kamu gerek özel kurumların faaliyetlerinin stratejik planlanmasında kritik öneme sahiptir. Üretim merkezleri, depolar, dağıtım yerleri, okullar ve hastaneler ile itfaiye noktaları, polis ve jandarma karakolları gibi acil hizmet merkezlerinin yerleştirilmesi problemleri, yer seçimi kararlarının verildiği örnek problemlerdir. Yer seçimi problemleri, talep yoğunlukları dikkate alınarak bir veya daha fazla hizmet merkezinin en uygun yerlerinin belirlenmesi kararları ile ilgilenir (Hakimi, 1964).

Bu çalışmada, bir bölgedeki olaylara zamanında müdahale edebilmek için jandarma karakollarının yer seçimine yönelik bir problem incelenmiştir. Bu tip problemlerin en belirgin özelliği, müdahale etkinliğinin karakol ile olay yeri arasındaki mesafeye önemli ölçüde bağlı olmasıdır. Bu yüzden, jandarma karakollarının yetenek ve kapasitelerinin farklılığı göz önünde bulundurulması gereken önemli bir husustur. Karar vericilerin temel düşüncesi, bölgede meydana gelebilecek en fazla sayıda olaya zamanında müdahale edebilecek şekilde jandarma karakollarının yerleştirilmesidir. Karakolların olay noktalarına müdahaledeki etkinliğinin seviyesi karakol noktası ile olay noktası arasındaki mesafe ile ölçülmektedir. Yer seçimi yapılacak her karakolun yetenek ve kapasiteleri ile arazi ve yol durumuna bağlı olarak emniyet ve asayiş hizmetlerini etkili bir şekilde yerine getirebileceği en fazla mesafe belirlenmiştir. Bu özelliklerinden dolayı, problemi kısmi kapsama izin verecek şekilde modellemek geleneksel kapsama problemi yaklaşımından daha iyi sonuçlar verecektir.

Oluşturulan bu modelin etkinliği ve geçerliliği gerçek durumların modele mümkün olduğu kadar doğru bir şekilde yansıtılmasına bağlıdır. Bu çalışmada Enbüyük Kapsama Metodu kullanılarak geliştirilen matematiksel model, esnek yapısı nedeniyle değişen durumlara kolayca uyarlanabilmektedir. Ayrıca, yer seçimi literatüründeki benzer çalışmalardan farklı olarak aday noktalarının seçimindeki belirsizliği en aza indirmek için modele bölgesel özellikleri temsil eden ilave kısıtlar eklenmiştir. Problemi doğru olarak temsil eden bir model oluşturulduktan sonra, bu modeller üzerinde yapılacak değişikliklerle farklı yapılara sahip, farklı amaçlara hizmet eden tesislerin yer seçimi yapılabilmektedir.

Çalışmanın ikinci bölümünde, yer seçimi problem tipleri hakkında bilgi verilmekte ve bu tür

problemlerin çözüm teknikleri anlatılmaktadır. Üçüncü bölümde, problem tanımı, matematiksel modelin girdileri ve problemle ilgili varsayımlar ve matematiksel model formülasyonu tanıtılmaktadır. Dördüncü bölüm, dört farklı senaryoya göre oluşturulan modelin çözüm ve analizi aşamasıdır. Beşinci bölümde sonuç ve gelecekte yapılabilecek çalışmalar anlatılmaktadır.

2. Literatür Araştırması

Yeri seçimi teorisi, 1909 yılında Alfred Weber'in müşteri ile dağıtım noktası arasındaki toplam mesafeyi en aza indirmek için dağıtım noktalarını nasıl yerleştirmesi gerektiğini araştırması ile başlamıştır. Yer seçimi teorisi, Hakimi'nin 1964'teki haberleşme ağının ve otoyol sistemindeki polis noktalarının yerlerinin değiştirilmesi üzerine yaptığı çalışması ile büyük ivme kazanmıştır.

Yer seçimi problemlerini çözmek amacıyla ortalama mesafeyi en az yapan ağ yapıları (p-medyan), kapsama modelleri (küme kapsama, enbüyük kapsama), bütün talep noktaları için en fazla mesafeyi en az yapan minimaks (p-merkez) modelleri gibi çeşitli matematiksel model yapıları geliştirilmiştir. Literatürdeki farklı uygulamalara rağmen bu tür problemlerin temel yapısı aynıdır. En basit yer seçimi problem formülasyonu hem statik hem de deterministik olarak karakterize edilebilir (Owen ve Daskin, 1998).

Yer seçimi ile ilgili literatür geniştir. ReVelle, Williams ve Boland (2002) kesikli yer seçimi problemleri için 5 çeşit (0/1) tamsayılı programlama modelini ele almışlar ve çalışma yaptıkları bölgede bu modelleri birbirleri ile karşılaştırmışlardır. Yer seçimi analizleri Densham ve Rushton (1992) tarafından Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) için uygulanmıştır. Richard, Beguin ve Peeters (1990) Belçika'daki Lüksemburgluların çoğunlukla yaşadığı kırsal alanda yangın istasyonlarının yer seçimi ile ilgili değişik modeller üzerinde çalışmış ve bu modelleri uygulamalı olarak birbirleri ile karşılaştırmışlardır. Neebe (1988), bütün potansiyel hizmet merkezleri için geçiş modeli oluşturmuş, hizmet merkezlerinin tamamının içinde olduğu küçük bir en uzak mesafe değerinden başlayarak model geliştirmiş, daha sonra en uzak mesafe değerini tek hizmet merkezi yeterli oluncaya kadar artırmıştır. Drezner ve Wesolowsky (1995) kentsel alanda tek yönlü yollardan veya caddelerden oluşan düzgün bir grid ağı üzerinde iki temel yer seçimi problemi olan "Weber" ve "minimaks" problem

tekniklerini kullanarak hizmet merkezlerinin yerleştirilmesi üzerine çalışmalar yapmışlardır.

Yer seçimi problem tiplerinden birisi olan Enbüyük Kapsama Problemi (MCLP), belirli hizmet mesafesi veya zaman içinde en fazla sayıda isteğin bir ağ üzerindeki p sayıda hizmet merkezi tarafından kapsanması problemi (Church ve ReVelle, 1974). Yer seçimi problemi literatüründe enbüyük kapsama problemi önemli yer tutar.

Enbüyük kapsama problemini ilk kez Church ve ReVelle (1974) ortaya atmışlar ve bu tür problemleri enbüyük kapsama olarak tanımlamışlardır. Daskin ve Stern (1981) acil hizmet merkezleri (EMS) olan ambulans araçlarının belirli hizmetleri karşılama üzerinde çalışmışlardır. Hizmet merkezlerinin meşgul veya faaliyet dışı periyotlarda olması durumu, bir hizmet merkezi meşgul olsa bile talep noktalarına çoklu kapsamayı sağlamaya çalışan yeni bir model çeşidinin ortaya çıkmasına sebep olmuştur. Bu ikili tarafından türetilen model, hizmet ihtiyaçlarını karşılayan araç sayısını enazlayan ve daha sonra kapsama alanını ençoklayan bir hiyerarşik amaç fonksiyonu oluşturmaktadır. Batta ve Mannur (1990) yüksek talep oranlarının her birimin meşgul olma periyotlarını artırdığı ortamda, EMS araçlarının çoklu yerleştirilmesi üzerinde çalışmışlardır. Başdemir (2004), enbüyük kapsama problemini Türk Hava Kuvvetlerindeki Su Arama ve Kurtarma (SAR) noktalarının yerleştirilmesi üzerinde uygulamıştır. Marianov ve ReVelle (1995) kapsama modellerinin çoklu, aşırı, yedek ve beklenen kapsama kavramları gibi farklı uzantıları üzerinde çalışmışlardır. Serra ve ReVelle (1995), bir bölgede birbirleri ile rekabet halindeki fabrika satış mağazalarının birbirlerinden bağımsız olarak yerleştirilmesi üzerinde çalışmışlar ve enbüyük kapsama probleminin bir uzantısı olan "Maximum Capture Problemi"ni ortaya atmışlardır.

Enbüyük kapsama problemini çözmek için çok sayıda başarılı sezgisel teknikler geliştirilmiştir. Lorena ve Pereira (2002), Hillsman tarafından geliştirilen "Birleştirilmiş Doğrusal Model"i kullanarak, talep noktaları için p -medyan probleminin mesafe katsayılarını enbüyük kapsama problemlerine uyarlamışlardır. Bu dönüşüm Lagrange sezgisellerinin uygulanmasına izin vermektedir.

Gencer ve Açıkgöz (2006), Türk Silahlı Kuvvetleri (TSK) Arama Kurtarma (AK) istasyonlarının, Arama Kurtarma Bölgesi (AKB) içerisinde konuş yerlerinin belirlenmesine yönelik enbüyük kapsama problemi ile modelledikleri problemin çözümü için dört ana

senaryo ile iki özel durum (toplam 16 adet senaryo) oluşturmuşlar, elde ettikleri optimal sonuçları mevcut durum ile karşılaştırmışlardır.

Curtin, Hayslett ve Qiu (2010) polis devriyesi alanlarının etkin mekansal dağılımını belirlemek için coğrafi bilgi sistemlerinin entegrasyonunu da içeren yeni bir yöntem sunmuştur. Ayöperken ve Ermiş (2011) farklı tip, menzil ve maliyete sahip insansız hava araçlarının (İHA) konuşlandırılmasını enbüyük kapsama problemi olarak modellemiş, hedeflerin her biri için ayrı bir öncelik veya önem katsayısı belirlemiş ve bütün aday üs noktalarını maliyet, coğrafya, lojistik ve hava durumundan kaynaklanan ilave kısıtlara ayırmışlardır..

Kurban ve Can (2016) farklı kapsama mesafelerine sahip mini İHA'ların, önce değişen hava şartları ve koşulların etkisi olmaksızın enbüyük kapsama problemi, daha sonra değişen hava şartları ve koşulların etkisi altında hizmet verememe olasılık değerlerinin kullanıldığı "Enbüyük Beklenen Kapsama Problemi" yöntemlerini kullanarak en uygun yer kontrol istasyonlarının seçimini yapmışlardır. Geliştirilen modelde farklı senaryolar oluşturulmuş ve her senaryo için optimal çözümler elde edilmiş ve ardından problem parametreleri değiştirilerek optimal çözümlerin değişimi incelenmiştir.

Blanqueroa, Carrizosa ve G.-Tóth (2016) bir ağı kenarları boyunca p tesislerinin yerlerinin arandığı, böylece beklenen talebin en yüksek seviyede kapsandığı MCLP'ni karışık tamsayılı bir doğrusal olmayan programa (MINLP) modeli olarak tasarlamışlar ve çözüm için dal ve sınır algoritması önermişlerdir. Coco, Santos ve Noronha (2018) her bir sütunun yararının belirsiz ve aralıklı bir veri olarak modellendiği, MCLP'nin sağlam bir karşılığı olan min-max pişmanlık MCLP'ni karışık tamsayılı doğrusal programlama (MILP) olarak modellemişler ve literatürdeki klasik örnekleri kullanarak test etmişlerdir. Cordeau, Furini ve Ljubic' (2019) dal ve Benders-Kesim tekniğine dayalı olarak etkili ayrıştırma tekniğini kullanarak enbüyük küme kapsama (PSCLP) ve MCLP problemlerini çözmüşlerdir.

3. Matematiksel Model

3.1. Problem Tanımı

Jandarma karakolların yerlerinin belirlenmesinin bir "Enbüyük Kapsama Problemi" olarak modellendiği bu çalışmada başlıca iki amaç göz önünde

bulundurulmaktadır. Bunlar; ilçe sınırları içerisinde mümkün olan en az sayıda karakolun yerleştirilmesi ve jandarma karakollarının kapsadığı alanın (sorumluluk alanı) en fazla yapılmasıdır.

Karakollar, sorumluluk alanlarının merkezi bir yerinde veya karakol bölgesindeki vatandaşların kolayca uğrayabileceği, merkeze yakın bir köy, kasaba ya da ulaşım kolaylığı olan bir yerde tesis edilebilir. Herhangi bir sorumluluk alanı içindeki her bölgenin sahip olduğu özelliklere bağlı olarak (örneğin; coğrafi durum, yollara ve yerleşim alanlarına olan mesafe, nüfus yapısı, ulaşım durumu vb.) önemi farklıdır. Geliştirilen model, bölgesel özellikler dikkate alınarak karakolların tesis edilebileceği yerler (aday noktaları) ve asayiş olaylarının yoğunlukla meydana geldiği yerler (talep noktaları) belirlenmek suretiyle herhangi bir sorumluluk alanı için de kullanılabilir. Bu çalışmada Erdek ilçesi jandarma sorumluluk alanı incelenmiş, kurumla ilgili her türlü veri, resim ve bilgilerin elde edilmesinde araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

3.2. Matematiksel Modelin Girdileri

3.2.1. Aday Noktaları

Aday noktası seçimi bölgesel özelliklere göre farklılık gösterir. Belli bir bölgede çok sayıda nokta aday noktası olabileceği gibi her biri de farklı özelliklere sahip olabilir. Amaç, azami kapsama sağlamak ve her aday noktasını, kapsama kabiliyetlerini ve coğrafi, nüfus, yerleşim yerine yakınlık, ulaşım kolaylığı ve sosyal ve ekonomik

durum özelliklerini sağlıklı bir şekilde değerlendirebilmek olduğu için bu çalışmada aday noktaları birbirine yakın ve talep noktalarından daha fazla sayıda seçilmiştir.

Aday noktaları belirlenirken uzmanların ve bölgeyi bilen personelin görüşleri alınmış ve bölgedeki olaylarla ilgili geçmiş veriler incelenmiştir. Modelde ele alınan Erdek ilçesi için potansiyel karakol yerlerini temsilen 55 adet aday noktası belirlenmiştir.

3.2.2. Talep Noktaları

Talep noktaları jandarma karakolunun müdahale etmesi gereken olay veya olayların nerede meydana geldiğini gösteren ve modele şekil veren en önemli unsurdur. Her talep (olay) noktası belirli bir kapsama alanını ifade eder ve talep noktalarının önem dereceleri birbirinden farklı olabilir. Bu çalışmada, talep noktaları belirlenirken ilçe sınırları içerisinde son bir yıl içinde meydana asayiş olayları göz önünde bulundurulmuş ve 38 adet talep noktası belirlenmiştir. Bu alan içinde meydana gelen olay sayısı da talep noktalarının önem derecesini (ağırlıklı değer) belirtmektedir (Ek 1). Model, aday noktalarının en fazla sayıda talep noktasını kapsamaması esas alır. Erdek ilçesi için aday noktaları ile talep noktalarının yerleri sırası ile Şekil 1 ve 2'de görülmektedir.



Şekil 1. Aday Noktaları



Şekil 2. Talep Noktaları

3.3. Matematiksel Modelin Varsayımları

Matematiksel modelin varsayımları aşağıdadır:

- Konuşlandırılacak karakol sayısı eldeki kaynaklarla sınırlıdır.
- Karakollar sorumluluk sahası içinde herhangi bir noktaya yerleştirilebilir.
- Sonlu sayıda aday noktası vardır.
- Belirlenecek aday noktası sayısı, talep noktası sayısının en fazla iki katı olacaktır.
- Talep noktalarının önem dereceleri olay yoğunluğuna göre belirlenmektedir.
- Her talep noktası sadece bir aday noktası tarafından kaplanmaktadır.
- Karakolların kapsayacağı alan ilçe sınırlarını aşmayacaktır.
- Karakolların mevcut yerleri de problemin çözümünde modele dahil edilmiştir.
- Modelde ele alınan karakollar farklı yetenek ve kapasitelere sahiptir.
- Maliyet hesabı probleme dahil edilmemiştir.

3.4. Matematiksel Modelin Parametreleri

Matematiksel modelin çözümüne etki edecek parametreler yer seçimi yapılacak karakolların kapsama mesafeleri ve bölgesel özellikler ile ilgilidir.

Her ilçede tesis edilecek karakol sayısı sınırlıdır. Karar vericiler tarafından tesis edilmesi istenen karakol tipi ve sayısına göre karakolların en uygun yerleri ve sorumluluk alanları değişmektedir.

Kapsama mesafeleri farklı sınıf ve yapıdaki jandarma karakollarının yetenek ve kapasitelerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Talep noktalarının hangi sınıf karakol tarafından kabul edilebilir hizmet mesafesi içinde kapsandığını belirlenmesinde enbüyük kapsama probleminin kapsama parametreleri kullanılmıştır.

Enbüyük kapsama probleminde i ve j noktaları arasındaki mesafenin (d_{ij}) kaplama mesafesi (S) içerisinde olup olmadığına göre aşağıdaki "kapsama parametresi" tanımlanmaktadır:

$$d'_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{eğer } d_{ij} \leq S \text{ ise,} \\ 0, & \text{eğer } d_{ij} > S \text{ ise.} \end{cases}$$

Yeniden düzenlenmiş d_{ij} mesafeleri ile kaplama mesafesi (S) içerisinde hizmet verilemeyen (kapsanamayan) talep miktarı en az yapılır. Bu da S içindeki hizmet verilen talep miktarını en fazla yapmaya denktir.

Kapsama mesafeleri birbirinden farklı üç ayrı sınıf karakolun yetenek ve kapasitelerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Jandarma karakolları günün her saatinde çıkardıkları devriyelerle

bölgelerinde emniyet ve asayiş hizmetlerini yürütmektedirler. Olay ihbarı alan bir karakolun çıkaracağı devriye ile en geç 30 dk içinde olay yerine ulaşarak olaya müdahale etmesi jandarmanın etkinliği açısından önemli bir kriterdir. Bu süreye hazırlık süresi (1'inci sınıf J.Krk. için derhal, 2'nci sınıf J.Krk. için ortalama 10 dk ve 3'üncü sınıf J.Krk. için ortalama 15 dk), olay yerine intikal ve olay yerinin emniyete alınması (ortalama 5 dk) dahildir. 1'inci karakolun çıkaracağı devriyelerle bölgesindeki olaylara araçla intikal hızı ortalama 50 km/saat olduğu varsayılırsa, $((30-5)*50)/60=21$ km'lik mesafe 1'inci sınıf karakol için 30 dk müdahale süresi içerisinde azami kapsama mesafesidir. 2'nci sınıf karakol için, çıkarabileceği devriye ile azami kapsama mesafesi 13 km'ye inmektedir. 3'üncü sınıf karakol ise 30 dk'lık süre içerisinde azami 8 km'lik mesafede etkili olmaktadır.

Her ilçenin kendine özgü bölgesel özellikleri de problemin çözümünde diğer önemli bir husustur. Karakol sorumluluk alanının belirlenmesinde ilçenin coğrafi durumu, ekonomik şartlar, kamu hizmetlerinin gerekleri, yerleşim alanlarının durumu, nüfus yoğunluğu, ulaşım durumu, bölgenin sosyal, kültürel gelişimi ile emniyet ve asayiş durumu vb. özellikler. Aday noktalarına ait bölgesel özellikler, belirlenen bu noktalar hakkında daha sağlıklı değerlendirme yapmaya imkân vermekte ve bunlarla ilgili beklentileri kısıtlarda belirtmek suretiyle karar vericinin daha iyi aday noktalarını seçmesine imkan vermektedir. Bu değerler için derecelendirme kriterleri belirlenmiş, bu kriterlere göre puanlama yapılmış böylece aday noktalar ile ilgili belirsizlikten azami derecede uzaklaşmaya çalışılmıştır. Her bölgesel karakteristiğin aynı derecede öneme sahip olduğu varsayılmış ve aday noktalarına her bölgesel özellik için 10 puan üzerinden değerler verilmiştir.

Coğrafi durum değerlendirmesi yapılırken, aday noktasının bulunduğu arazinin jandarma karakolunun güvenlik, eğitim ve barınma ihtiyaçları için uygunluk derecesine göre 1 ile 10 arasında puanlama yapılmıştır.

Nüfus yoğunluğu açısından aday noktalarının alabileceği puanlar aşağıdadır.

Tablo 1

Nüfus Yoğunluğu	
Nüfus	Puan
100 ve daha az	1
101-250	2
251-500	3
501-750	4
751-1000	5
1001-1250	6
1251-1500	7
1501-1750	8
1751-2000	9
2001 ve daha fazla	10

Jandarma karakollarının yerleşim yerine yakın olması diğer kamu hizmetlerini yerine getirmesi ve lojistik ihtiyaçları karşılaması açısından önemli bir kriterdir. Buna göre yerleşim yerine yakınlık ile ilgili yapılan değerlendirmede aşağıdaki tablo kullanılmıştır.

Tablo 2

Yerleşim Yerine Yakınlık	
Mesafe (metre)	Puan
4501-5000	1
4001-4500	2
3501-4000	3
3001-3500	4
2501-3000	5
2001-2500	6
1501-2000	7
1001-1500	8
501-1000	9
0-500	10

Ulaşım durumu ile ilgili puanlama, aday noktalarının bulunduğu yerin bağlantı yollarına yakınlığı ve bu yolların ulaşım elverişlilik seviyesi (asfalt, stabilize,

toprak yol vb.) göz önünde bulundurularak yapılmıştır.

Sosyal ve ekonomik durum ile ilgili yapılan değerlendirmede aday noktası yakınında bulunan korunması gereken kritik tesisler, kültür ve tabiat varlıkları, eğlence merkezleri, fabrikalar, dolun tesisleri, petrol istasyonları, enerji nakil istasyonları, limanlar, balıkçı barınakları, hayvan çiftlikleri gibi sosyal ve ekonomik değeri olan tesislerin sayısı ve önem dereceleri dikkate alınmıştır.

Erdek ilçesindeki diğer aday noktaları için aynı kriterler göz önünde bulundurulmuş bölgesel özellik katsayıları tablosu oluşturulmuştur. Benzer tablolar herhangi bir bölge için de oluşturulabilir. Erdek ilçesine ait aday noktalarının bölgesel özelliklerine ait katsayılar ve talep noktalarının ağırlıklı değerleri Ek 2'dedir.

3.5. Matematiksel Model Formülasyonu

Matematiksel modeli tanımlayan indis, karar değişkeni ve parametreler ile matematiksel modelin formülasyonu aşağıdadır:

İndisler:

i : Talep noktaları; $i = 1, \dots, I$

j : Aday noktaları; $j = 1, \dots, J$

Karar Değişkenleri:

$$X_j^1 = \begin{cases} 1, & \text{eğer } j \text{ noktası 1. snf. krk. konumlandırılacak ise,} \\ 0, & \text{değilse.} \end{cases}$$

$$X_j^2 = \begin{cases} 1, & \text{eğer } j \text{ noktası 2. snf. krk. konumlandırılacak ise,} \\ 0, & \text{değilse.} \end{cases}$$

$$X_j^3 = \begin{cases} 1, & \text{eğer } j \text{ noktası 3. snf. krk. konumlandırılacak ise,} \\ 0, & \text{değilse.} \end{cases}$$

$$Y_i^1 = \begin{cases} 1, & \text{eğer } i \text{ noktası 1. snf. krk. tarafından kapsandı ise,} \\ 0, & \text{değilse.} \end{cases}$$

$$Y_i^2 = \begin{cases} 1, & \text{eğer } i \text{ noktası 2. snf. krk. tarafından kapsandı ise,} \\ 0, & \text{değilse.} \end{cases}$$

$$Y_i^3 = \begin{cases} 1, & \text{eğer } i \text{ noktası 3. snf. krk. tarafından kapsandı ise,} \\ 0, & \text{değilse.} \end{cases}$$

Parametreler:

w_i : i düğümündeki kapsanan talep noktasının önem derecesi (ağırlığı).

$N_i^1 = \{ j \in J \mid d_{ij} \leq 21 \}$ $\forall i \in I$ (i noktasındaki 1. snf. karakolun kapsadığı talep noktası kümesi)

$N_i^2 = \{ j \in J \mid d_{ij} \leq 13 \}$ $\forall i \in I$ (i noktasındaki 2. snf. karakolun kapsadığı talep noktası kümesi)

$N_i^3 = \{ j \in J \mid d_{ij} \leq 8 \}$ $\forall i \in I$ (i noktasındaki 3. snf. karakolun kapsadığı talep noktası kümesi)

P : Yer seçimi yapılacak karakol sayısı.

V_C : Coğrafi standartları sağlamak için en küçük ortalama değer.

V_N : Nüfus standartlarını sağlamak için en küçük ortalama değer.

V_Y : Yerleşim yerine yakınlık standardını sağlamak için en küçük ortalama değer.

V_U : Ulaşım kolaylığı standardını sağlamak için en küçük ortalama değer.

V_S : Sosyal ve ekonomik durum standardını sağlamak için en küçük ortalama değer.

G_j : j aday noktasının coğrafi değeri.

N_j : j aday noktasının nüfus yoğunluğu değeri.

Y_j : j aday noktasının yerleşim yerine yakınlık değeri.

U_j : j aday noktasının ulaşım kolaylığı değeri.

S_j : j aday noktasının sosyal ve ekonomik durum değeri.

$$\text{Maks} \quad \sum_{i=1}^{38} w_i (Y_i^1 + Y_i^2 + Y_i^3) \quad (1)$$

$$Y_i^1 \leq \sum_{j \in N_i^1} X_j^1 \quad \forall i \in I, \quad (2)$$

$$Y_i^2 \leq \sum_{j \in N_i^2} X_j^2 \quad \forall i \in I, \quad (3)$$

$$Y_i^3 \leq \sum_{j \in N_i^3} X_j^3 \quad \forall i \in I, \quad (4)$$

$$X_j^1 + X_j^2 + X_j^3 \leq 1 \quad \forall j \in J, \quad (5)$$

$$Y_i^1 + Y_i^2 + Y_i^3 \leq 1 \quad \forall i \in I, \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^{55} (X_j^1 + X_j^2 + X_j^3) \leq P \quad (7)$$

$$\sum_{j=1}^{55} X_j^1 \leq \sum_{j=1}^{55} X_j^2 \quad (8)$$

$$\sum_{j=1}^{55} X_j^2 \leq \sum_{j=1}^{55} X_j^3 \quad (9)$$

$$\sum_{j=1}^{55} C_j (X_j^1 + X_j^2 + X_j^3) \geq V_C \sum_{j=1}^{55} (X_j^1 + X_j^2 + X_j^3) \quad (10)$$

$$\sum_{j=1}^{55} N_j (X_j^1 + X_j^2 + X_j^3) \geq V_N \sum_{j=1}^{55} (X_j^1 + X_j^2 + X_j^3) \quad (11)$$

$$\sum_{j=1}^{55} Y_j (X_j^1 + X_j^2 + X_j^3) \geq V_Y \sum_{j=1}^{55} (X_j^1 + X_j^2 + X_j^3) \quad (12)$$

$$\sum_{j=1}^{55} U_j (X_j^1 + X_j^2 + X_j^3) \geq V_U \sum_{j=1}^{55} (X_j^1 + X_j^2 + X_j^3) \quad (13)$$

$$\sum_{j=1}^{55} S_j (X_j^1 + X_j^2 + X_j^3) \geq V_S \sum_{j=1}^{55} (X_j^1 + X_j^2 + X_j^3) \quad (14)$$

$$X_j^1, X_j^2, X_j^3 \in \{0, 1\} \quad \forall j \quad (15)$$

$$Y_i^1, Y_i^2, Y_i^3 \in \{0, 1\} \quad \forall i \quad (16)$$

Kısıt (1)'deki amaç fonksiyonu belirlenen kapsama mesafesi içerisinde kapsanan toplam talep miktarını en fazla yapmaya çalışmaktadır.

Kısıt (2), (3) ve (4) hangi talep noktasının hangi sınıf karakol tarafından kabul edilebilir hizmet mesafesi içinde kapsandığını belirtir. Eğer i noktasının S kapsama mesafesi içindeki herhangi bir j noktasında jandarma karakolu yerleştirilirse i noktası kapsanmış ($Y_i=1$), eğer kapsama alanı içindeki hiçbir noktaya jandarma karakolu yerleştirilmez ise, i noktası kapsanmamış ($Y_i=0$) olacaktır. Kısıt (5), herhangi bir aday noktası üzerinde 1, 2 ve 3'üncü sınıf karakollardan sadece bir tanesinin yerleştirilebileceğini garanti etmekte, kısıt (6) ise talep noktasının yalnızca bir aday noktası tarafından kapsanmasını sağlamaktadır. Kısıt (7), her üç sınıf karakoldan yerleştirilebilecek en fazla karakol sayısını sınırlarken, kısıt (8) ve (9), sırasıyla yer seçimi yapılacak 1'inci sınıf karakol sayısının 2'nci sınıf karakol sayısından ve 2'nci sınıf karakol sayısının da 3'üncü sınıf karakol sayısından fazla olmamasını ve en az sayıda personel mevcudu ile faaliyet gösterebilecek karakolların ağırlıklı olarak yerleştirilmesini sağlamaktadır. Diğer kısıtlar ise aday noktaları ile ilgili coğrafi durum, nüfus yoğunluğu, yerleşim yerine yakınlık, ulaşım kolaylığı ve sosyal ve ekonomik durum ile ilgili kısıtlardır.

Model, bir ilçe sınırları içerisinde üç farklı sınıf karakolun birlikte yerleştirilmesini öngörmektedir. Ele alınan ilçe sınırları içerisinde, örneğin, sadece iki farklı sınıf karakol yerleştirilebilecek ise, ilgili sınıf karakolları tanımlayan karar değişkenlerinin modelde kalması, diğer karar değişkenlerinin ve ilgili kısıtların modelden çıkarılması yeterli olacaktır.

Yer seçimi problem tipleri NP-Zor problemler olduğundan problemin boyutu büyüdükçe optimal çözümü bulmakta zorluk çekilebilir. NP-Zor, optimizasyon problemlerini sınıflandırmak için kullanılan bir terimdir. Bugüne kadar bu tip problemler için polinom zamanlı bir algoritma geliştirilememiştir. NP-Zor problemlerin optimal çözümünü bulmak, üssel zamanlı bir algoritma yoluyla mümkündür (Garey ve Johnson, 1979).

4.Çözüm Aşamaları

Modelin çözümünde karakolların yetenek ve kapasitelerinden yararlanarak dört ayrı senaryoya oluşturulmuş ve olay yoğunluklarının göz önünde bulundurulduğu (ağırlıklı) ve bulunmadığı (ağırlıksız) değerler ile çözülmüştür

- 1, 2 ve 3'üncü Sınıf Jandarma Karakolunun Yerleştirilmesi
- 1 ve 2'nci Sınıf Jandarma Karakolunun Yerleştirilmesi
- 1 ve 3'üncü Sınıf Jandarma Karakolunun Yerleştirilmesi
- 2 ve 3'üncü Sınıf Jandarma Karakolunun Yerleştirilmesi

Ayrıca her senaryo için problem parametreleri (kapsama mesafesi, karakol sayısı, seçilen aday noktalarının yerleri ve bölgesel özellikler) değiştirilerek elde edilen sonuçlar birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Her senaryoda en fazla olaya zamanında müdahale edebilecek en az sayıda karakol ve yerleri tespit edilmiştir. Senaryolar oluşturulurken personel tasarrufu sağlamak amacıyla, daha küçük yetenek ve kapasiteli jandarma karakollarının yerleştirilmesine önem verilmiştir.

4.1. Senaryoların Çözümleri

Amaç, en az sayıda karakolla mümkün olan en fazla sayıda talep noktasını kapsamaktır. Her senaryo için tam kapsama (%100) sağlanıncaya kadar yer seçimi yapılacak karakol sayısı birer artırılmış ve kapsama oranları belirlenmiştir. Yer seçimi yapılacak karakol sayısına bağlı olarak seçilen aday noktalarının yerleri ve kapsama oranları değişmektedir.

Modele talep noktalarındaki olay yoğunlukları (ağırlıklı değerler) eklendiğinde, zamanında müdahale edilen olay sayısı açısından kapsama oranları artış göstermektedir, yer seçimi yapılacak karakol sayısı ise değişmemektedir. Aşağıda her senaryo için elde edilen çözüm ve parametrik analiz sonuçları anlatılmaktadır.

4.1.1. 1, 2 ve 3'üncü Sınıf Jandarma Karakolunun Birlikte Konuşlandırılması Senaryosunun Çözümü

Bu senaryoda tam kapsamanın, 5 adet karakol yerleştirmekle mümkün olduğu görülmüştür. Bunun yanında karar verici tarafından %90'dan daha yüksek bir kapsama oranı yeterli görülürse, 3 adet karakol yerleştirilmesi ile sadece iki talep noktasına zamanında müdahale edilemeyecektir. Aşağıdaki tablolarda bu senaryonun çözümlerinden elde edilen sonuçlar (ağırlıksız ve ağırlıklı) görülmektedir.

Tablo 3

1, 2 ve 3'üncü Snf. J. Krk. Senaryosunun Çözümü (Ağırlıksız)

Krk. Sayısı	Seçilen Aday Noktaları	Kapsanan Talep Noktası Sayısı	Kapsama Oranı (%)
1	X3(31)	12	31,5
2	X2(10), X3(29)	26	68,5
3	X1(46), X2(31), X3(37)	36	94,7
4	X1(17), X2(10), X3(41), X3(52)	37	97,3
5	X1(24), X2(10), X2(37), X3(41), X3(52)	38	100,0

Tablo 4

1, 2 ve 3'üncü Snf. J. Krk. Senaryosunun Çözümü (Ağırlıklı)

Krk. Sayısı	Seçilen Aday Noktaları	Kapsanan Talep Nok./Olay Sayısı	Talep Nok./Olay Kapsama Oranı (%)
1	X3(28)	12/51	31,5/31,5
2	X2(32), X3(8)	25/123	65,7/75,9
3	X1(46), X2(31), X3(37)	36/157	94,7/96,9
4	X1(17), X2(42), X3(3), X3(55)	37/161	97,3/99,3
5	X1(28), X2(11), X2(38), X3(42), X3(55)	38/162	100,0/100,0

4.1.2. 1 ve 2'nci Sınıf Jandarma Karakolu Senaryosunun Çözümü

1 ve 2'nci sınıf jandarma karakollarının birlikte yerleştirilmesi durumunda %100 kapsama, 4 adet karakol konuşturmakla mümkündür. Tablo 5 ve

Tablo 6 sırası ile 1 ve 2'nci sınıf karakolu çözümleri ile ilgili her talep noktası için ağırlıklı ve ağırlıksız değerlere ait sonuçları göstermektedir.

Tablo 5

1 ve 2'nci Snf. J. Krk. Senaryosunun Çözümü (Ağırlıksız)

Krk. Sayısı	Seçilen Aday Noktaları	Kapsanan Talep Noktası Sayısı	Kapsama Oranı (%)
1	X2(6)	20	52,6
2	X1(46), X2(33)	32	84,2
3	X1(46), X2(29), X2(38)	36	94,7
4	X1(7), X1(17), X2(42), X2(50)	38	100,0

Tablo 6

1 ve 2'nci Snf. J. Krk. Senaryosunun Çözümü (Ağırlıklı)

Krk. Sayısı	Seçilen Aday Noktaları	Kapsanan Talep Nok./Olay Sayısı	Talep Nok./Olay Kapsama Oranı (%)
1	X2(6)	20/103	60,5/63,5
2	X1(46), X2(33)	32/149	84,2/91,9
3	X1(46), X2(28), X2(38)	36/157	94,7/96,9
4	X1(17), X1(42), X2(8), X2(50)	38/162	100,0/100,0

4.1.3. 1 ve 3'üncü Sınıf Jandarma Karakol Senaryosunun Çözümü

Bu senaryoda %100 kapsama, 4 adet karakol yerleştirmekle mümkündür. Yer seçimi yapılacak karakol sayısı azaldıkça kapsama oranları önemli

ölçüde azalmaktadır. Tablo 7 ve Tablo 8 sırası ile 1 ve 3'üncü sınıf karakolu senaryosu çözümleri ile ilgili her talep noktası için ağırlıklı ve ağırlıksız değerlere ait çözüm sonuçlarını göstermektedir.

Tablo 7

1 ve 3'üncü Snf. J. Krk. Senaryosunun Çözümü (Ağırlıksız)

Krk. Sayısı	Seçilen Aday Noktaları	Kapsanan Talep Noktası Sayısı	Kapsama Oranı (%)
1	X3(28)	12	31,5
2	X1(12), X3(29)	28	73,7
3	X1(32), X3(8), X3(44)	32	84,2
4	X1(12), X1(18), X3(41), X3(51)	38	100,0

Tablo 8

1 ve 3'üncü Snf. J. Krk. Senaryosunun Çözümü (Ağırlıklı)

Krk. Sayısı	Seçilen Aday Noktaları	Kapsanan Talep Nok./Olay Sayısı	Talep Nok./Olay Kapsama Oranı (%)
1	X3(28)	12/51	31,5/31,5
2	X1(12), X3(28)	28/130	73,7/80,1
3	X1(46), X3(19), X3(26)	32/149	84,2/91,9
4	X1(1), X1(18), X3(41), X3(52)	38/162	100,0/100,0

4.1.4. 2 ve 3'üncü Sınıf Jandarma Karakolu Senaryosunun Çözümü

Benzer şekilde, sadece 2 ve 3'üncü sınıf jandarma karakollarının yerleştirilmesi durumunda, %100 kapsama için en az 5 adet karakol olması gereklidir.

Bu senaryo ile ilgili sonuçlar ise Tablo 9 ve Tablo 10'da görülmektedir.

Tablo 9

2 ve 3'üncü Snf. J. Krk. Senaryosunun Çözümü (Ağırlıksız)

Krk. Sayısı	Seçilen Aday Noktaları	Kapsanan Talep Noktası Sayısı	Kapsama Oranı (%)
1	X3(28)	12	31,5
2	X2(13), X3(28)	26	68,4
3	X2(10), X3(19), X3(26)	30	78,9
4	X2(10), X2(38), X3(26), X3(55)	36	94,7
5	X2(10), X2(36), X3(25), X3(42), X3(52)	38	100,0

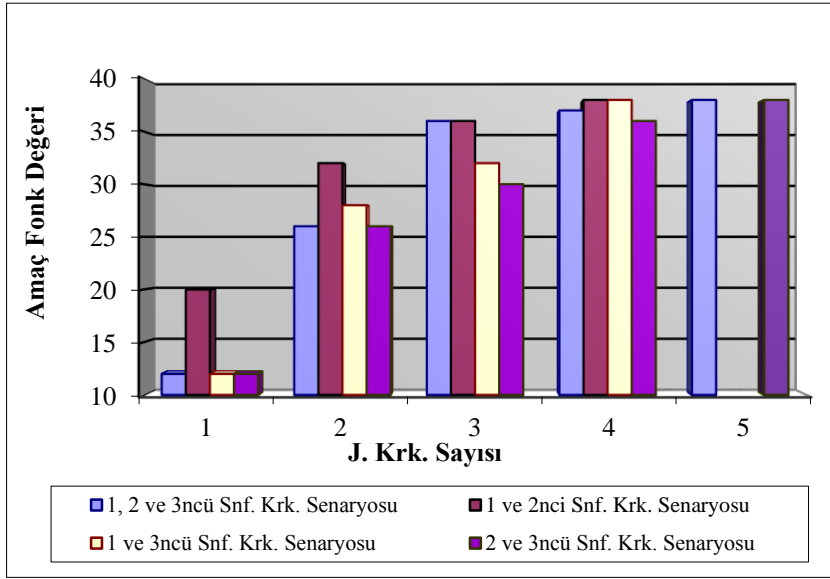
Tablo 10

2 ve 3'üncü Snf. J. Krk. Senaryosunun Çözümü (Ağırlıklı)

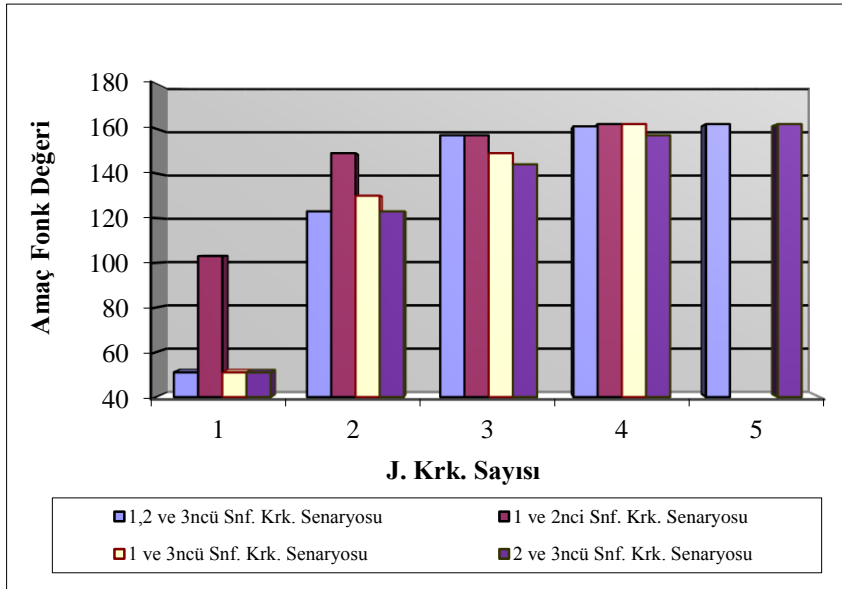
Krk. Sayısı	Seçilen Aday Noktaları	Kapsanan Talep Nok./Olay Sayısı	Talep Nok./Olay Kapsama Oranı (%)
1	X3(28)	12/51	31,5/31,5
2	X2(6), X3(21)	24/123	63,1/75,9
3	X2(10), X3(19), X3(26)	30/144	78,9/88,8
4	X2(10), X2(32), X3(41), X3(51)	35/157	92,1/96,9
5	X2(10), X2(33), X3(37), X3(42), X3(51)	38/162	100,0/100,0

Çözümler birbirleri ile karşılaştırıldığında her senaryonun çözümü için amaç fonksiyonu değeri ve kapsama oranlarının değiştiği görülmektedir.

Diğer senaryolarla karşılaştırıldığında, 1 ve 2'nci sınıf karakolların yerleştirilmesi durumunda hem ağırlıksız hem de ağırlıklı değerler için tesis edilecek ilave her karakolun amaç fonksiyonu değerine katkısı daha yüksek olmaktadır. Şekil 4 ve Şekil 5'te, karakol sayısı arttıkça amaç fonksiyonu değerine bağlı olarak kapsama oranlarının da arttığı görülmektedir. 1 ve 2'nci sınıf karakolu ile 1 ve 3'üncü sınıf karakolların yerleştirilmesi senaryolarında ise ilave beşinci karakola gerek kalmadan %100 kapsamaya ulaşıldığı görülmektedir.



Şekil 3. Kapsama Oranı (Ağırlıksız)



Şekil 4. Kapsama Oranı (Ağırlıklı)

4.2. Bölgesel Özelliklerin Analizi

Seçilen aday noktalarının her bölgesel özellik değer ortalamasının, belirlenen 55 adet aday noktasınınkinden daha büyük olması istenmiştir. Bölgesel özelliklere ait bu standartlar, ortalama değerden daha yüksek standart olan 9'a kadar yükseltirse kapsama oranları aynı kalmakla birlikte

seçilen aday noktaları değişmektedir. Eğer bu standartlar daha da yükseltirse, kapsama oranlarında önemli azalışlar meydana gelmektedir. Bu durumda, kapsama oranlarını artırmak için daha fazla karakolun yerleştirilmesi gerekmektedir.

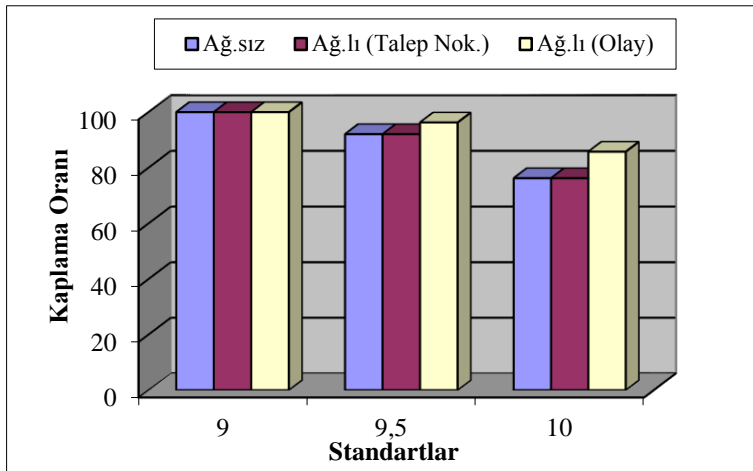
Ayrıca, senaryolarda (1 ve 2'nci Snf. J. Krk. senaryosu hariç) bölgesel özelliklere ait standartlar yükseldikçe talep noktalarına verilen ağırlık değerlerinin

önemini yitirdiği, hem ağırlıklı hem de ağırlıksız modeller için kapsama seviyesinin aynı oranda azaldığı gözlenmektedir. Bu durum, modelin seçebileceği yüksek standarda sahip aday noktası sayısının azalmasının bir sonucudur.

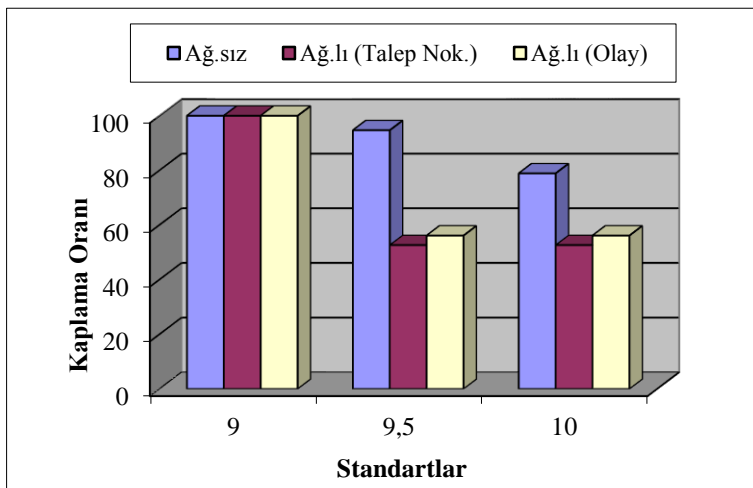
1 ve 2'nci Snf. J. Krk. senaryosunda ise durum farklıdır. Bu senaryo diğerleri ile karşılaştırıldığında aday noktalarının talep noktalarını kapsama konfigürasyonu fazla olduğundan, talep noktaları alternatif aday noktaları tarafından kapsanabilmektedir.

Bölgesel özellik değerlere ait analizlerin sonucunda, aday noktalarına ait bu değerlerin önemli olduğu ve

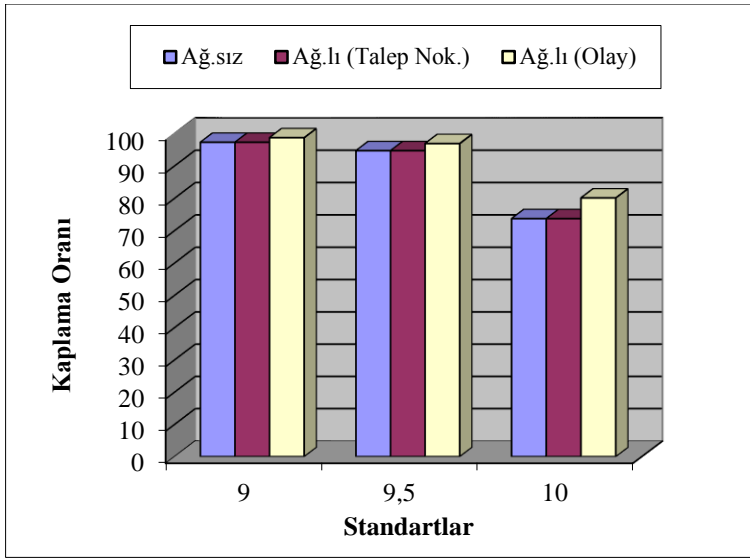
çözümü etkilediği anlaşılmaktadır. Aşağıdaki şekiller her senaryo için bölgesel özellik değer katsayı standartlarındaki değişikliklerin, kapsama kabiliyetini hangi oranda etkilediğini göstermektedir. Senaryoların analizinde normal şartlar altında tam kapsamın söz konusu olduğu durum (1, 2 ve 3'üncü Snf. J. Krk.nun birlikte yerleştirilmesi senaryosu için beş, 1 ve 2'nci Snf. J. Krk. senaryosu için dört, 1 ve 3'üncü Snf. J. Krk. senaryosu için dört, 2 ve 3'üncü Snf. J. Krk. senaryosu için beş adet karakolun yerleştirilmesi) dikkate alınmıştır.



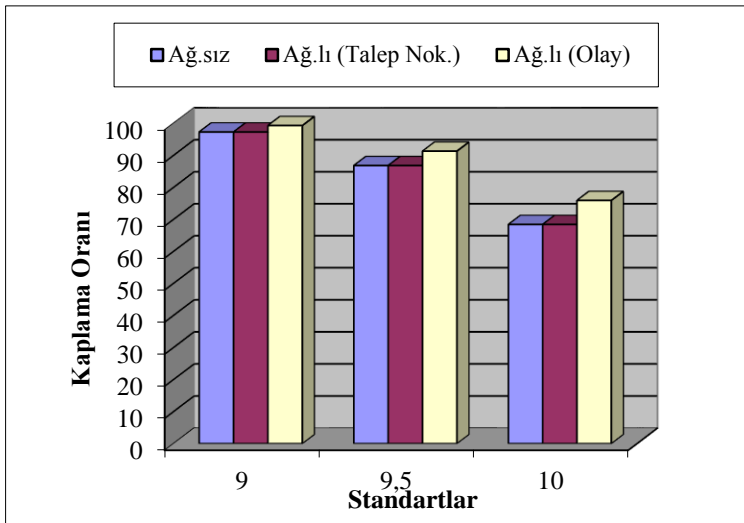
Şekil 5. Standartlar ve Kapsama Oranı (1, 2 ve 3'üncü Snf. J. Krk. Senaryosu)



Şekil 6. Standartlar ve Kapsama Oranı (1 ve 2'nci Snf. J. Krk. Senaryosu)



Şekil 7. Standartlar ve Kapsama Oranı (1 ve 3'üncü Snf. J. Krk. Senaryosu)



Şekil 8. Standartlar ve Kapsama Oranı (2 ve 3'üncü Snf. J. Krk. Senaryosu)

5. Mevcut Durum ile Çözümlerin Karşılaştırılması

Erdek ilçesinde halihazırda 1 numaralı aday noktasında 1'inci Snf. J. Krk., 21 numaralı noktada 2'nci Snf. J. Krk., 54 numaralı noktada ise 3'üncü Snf. J. Krk. konumlu olmak üzere toplam üç adet karakol bulunmaktadır. Erdek ilçesindeki mevcut durum ile ancak birinci senaryo (1, 2 ve 3'üncü Snf. J. Krk. Senaryosu (ağırlıksız ve ağırlıklı)) karşılaştırılabilir. Mevcut duruma göre (modelde tanımlanan bölgesel özellikler dikkate alındığında) üç değişik sınıf karakolun, talep noktalarının 32 (%84)'sine,

olayların da 115 (%71)'ine makul (30 dk) süre içerisinde müdahale edilebilmektedir. Model birinci senaryonun ağırlıklı ve ağırlıksız durumlarına göre çözüldüğünde karakolların kapsama oranlarının arttığı ve mevcut yerlerinin değiştiği görülmektedir. Söz konusu çözümler Tablo 11'dedir.

Tablo 11

Mevcut Durum ile Alternatiflerin Çözümleri

Çözüm Seçenekleri	Seçilen Aday Noktaları	Kapsanan Talep Nok./Olay Sayısı	Kapsama Oranı (%)
Mevcut Durum	X1(1), X2(21), X3(54)	32/115	84/71
Ağırlıksız	X1(46), X2(31), X3(37)	36/-	94,7/-
Ağırlıklı	X1(46), X2(31), X3(37)	36/157	94,7/96,9

Jandarma karakollarının meydana gelebilecek bütün olaylara zamanında müdahale etmesi istenirse (tam kapsama), karakolların yerleri değişmekte ve iki ilave karakollara ihtiyaç duyulmaktadır.

Eğer mevcut jandarma karakollarının yerleri değiştirilmeden ilçede meydana gelebilecek bütün olaylara zamanında müdahale edilmesi istenirse, üç sınıf jandarma karakolunun birlikte yerleştirildiği ve

olay yoğunluğunu dikkate alan (ağırlıklı) senaryo optimal çözümü vermektedir. Buna göre, mevcut karakollara ilave olarak 40 numaralı aday noktasında 2'nci Snf. J. Krk. ve 28 numaralı aday noktasında 3'üncü Snf. J. Krk. açılması gerekir. Karakolların tam kapsama koşulu ile alternatif çözümleri Tablo 12'dedir.

Tablo 12

Tam Kapsama Koşulu ile Alternatif Çözümler

Çözüm Seçenekleri	Seçilen Aday Noktaları	Kapsanan Talep Nok./Olay Sayısı	Kapsama Oranı (%)
Mevcut Durum	X1(1), X2(21), X2(40), X3(28),X3(54)	38/162	100,0/100,0
Ağırlıksız	X1(24), X2(10), X2(37), X3(41), X3(52)	38	100,0
Ağırlıklı	X1(28), X2(11), X2(38), X3(42), X3(55)	38/162	100,0/100,0

Eğer her senaryo için bölgesel özellik katsayı değerleri daha yüksek olan aday noktaları tercih edilirse, standartlar yükseldikçe seçilen aday noktaları azalmakta ve kapsama oranları düşmektedir. Senaryoların çözümlerinde sık tekrar eden aday noktaları çözümden çıkarılır ise kapsama oranları ile birlikte seçilen aday noktaları da değişecektir. Her iki durumda da hâlihazırda konuşlu karakollardan farklı aday noktaları seçilmekte ve karakolların kapsama kabiliyetleri önemli ölçüde azalmaktadır.

Bütün bu analizler ışığı altında Erdek ilçesi için mevcut durum korunarak ilave jandarma karakolları konuşlandırılmak istenirse, üç sınıf jandarma karakolunun birlikte konuşlandırılmasının ele alındığı senaryo mevcut duruma en uygun çözümleri vermektedir. Buna göre, bütün olaylara zamanında müdahale edebilmek için ilave olarak iki adet karakol kurulması şeklinde bir sonuca ulaşılmıştır.

6. Sonuç ve Öneriler

Jandarma karakollarının yer seçimi problemi enbüyük kapsama problemi ile modellenmiştir. İncelenen bölgede önce her sınıf jandarma karakolunun meydana gelen olaylara müdahale kriterine göre kapsama mesafeleri, daha sonra bölgede potansiyel karakol yerlerini temsil eden aday noktaları ve karakolların müdahale etmesi gereken olayları temsil eden talep noktaları belirlenmiştir. Aday noktası seçimi, arazi incelemesi ve uzman personelin görüşleri dikkate alınarak yapılmıştır. Talep noktası girişi ise bölgede meydana gelen asayiş olayları ve yoğunlukları göz önünde bulundurularak yapılmıştır. Aday noktalarının seçimindeki belirsizliği en aza indirmek için modele bölgesel özellikleri temsilen ilave kısıtlar eklenmiştir.

Problem için geliştirilen modelde dört ayrı senaryo oluşturulmuştur. Model LINGO 18.0 yazılımı kullanarak bilgisayarda çözülmüş, her senaryo için çözümler elde edildikten sonra parametrik analiz yapılmış ve kullanılan kriterlere göre optimal çözümlerin değişimi incelenmiştir.

Senaryoların çözümlerinin mevcut durumla karşılaştırılması sonucunda Erdek ilçesi için üç sınıf karakolun birlikte konuşlandırılması gereği ortaya çıkmaktadır. Senaryoların çözümlerinin birkaç değişiklikle Erdek ilçesindeki duruma uyarlanabildiği görülmüştür. Model, problemi yansıtmaması ve herhangi bir bölgede de kolayca uygulanabilmesi açısından başarılıdır.

Oluşturulan bu modelin etkinliği ve geçerliliği gerçek durumların modele mümkün olduğu kadar doğru bir şekilde yansıtılmasına bağlıdır. Bu nedenle, özellikle aday noktalarının bölgesel özellik değerleri belirlenirken uzman personelin görüşleri önemlidir.

Modelde, jandarmanın karakollarının yetenekleri ile bölgenin arazi ve yol durumu esas alınarak kapsama mesafeleri belirlenmiştir. Gelişen teknoloji ve değişen şartlar (örneğin: havadan ve denizden ulaşım) karakolların yeteneklerini de değiştirecektir. Bu yüzden, değişen durumlara göre her sınıf karakolun kapsama mesafesinin de değişeceğinin göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Burada incelenen probleme yönelik olarak yapılabilecek diğer çalışmalar ise şöyle sıralanabilir:

Bu çalışmada, jandarmanın karakollarının belirlenen müdahale süresi içinde mümkün olan en fazla sayıda olaya müdahale etmesi istenmiş, dolayısı ile problemin çözümü için "maxisum" amaç fonksiyonu öngörülmüştür. Probleme bir başka bakış açısı ise olayların acil olma durumlarına göre müdahale sürelerini belirlemek ve en kısa sürede müdahale edilecek olay sayısının en fazla yapılmasını sağlamaktır. Buna göre "maximin" amaç fonksiyonu ile de problem ele alınabilir.

Karakollar yerleştirildikten sonra olaylara müdahale güzergahı belirlenebilir ve birden fazla kapsama durumu söz konusu olduğunda hangi talep noktasının hangi hizmet merkezi noktasına atanması gerektiği bir en kısa yol algoritması ile belirlenebilir.

Optimal çözüm elde edildikten sonra bir simülasyon uygulaması ile modelin geçerliliğinin kanıtlanması ve çözümün test edilmesi sağlanabilir.

Aday noktalarının yol şebekeleri üzerinde seçilmesi, makul bir aday noktası grubu oluşturulmasına ve

problem için daha farklı bir yer seçimi modelinin kullanımına olanak sağlayabilir.

Bu çalışma bir bölgedeki problemin modellenmesi ve çözülmesi ile sınırlandırılmış olup, aynı yaklaşım bölgesel özellik katsayıları belirlenerek diğer bölgeler için de uygulanabilir. Bu yaklaşımın farklı varsayımlar ve ilave parametreler kullanarak daha karmaşık senaryolara göre genişletilmesi mümkündür.

Bu çalışmada, geliştirilen (0/1) tamsayılı programlama modeli LINGO 18.0 yazılımı ile bilgisayarda en uzun 42 saniyede çözülmüştür. Ancak, problemin NP-Zor yapısından dolayı, daha büyük problemlerin çözümleri uzun zaman alabilecek ya da çözüme hiç ulaşılamaması sorunu doğabilecektir. Bu durumda sezgisel tekniklerin kullanılması uygundur.

Araştırmacıların Katkısı

Bu çalışmada; Hüseyin Ali SARIKAYA, makalenin oluşturulması, problemin modellenmesi, verilerin toplanması ve analizi; Haluk AYGÜNEŞ Yazar2, yöntemin belirlenmesi, senaryoların oluşturulması, sonuç ve öneriler; Ali KILIÇ, bilimsel yayın araştırması, analizlerin doğrulanması, yazım ve makalenin son halini alması konularında katkı sağlamışlardır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

- Ayöperken, E., ve Ermiş, M. (2011). İnsansız hava araçları için üs konumlarının kapsama alanı problemi olarak modellenmesi ve eniyilenmesi. *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 5(1), 61-71. Erişim adresi: <http://www.jast.hho.edu.tr/index.php/JAST/article/view/270/248>
- Başdemir, M. M. (2004). Locating search and rescue stations in the Aegean and Western Mediterranean Regions of Turkey. *Journal of Aeronautics and Space Technologie*, 1(3), 63-76. Erişim adresi: <https://www.semanticscholar.org/author/M.-M.-Basdemir/104168369>
- Batta, R., & Mannur, N. R. (1990). Covering-location models for emergency situations that require

- multiple response units. *Management Science*, 16, 16-23. doi: <https://doi.org/10.1287/mnsc.36.1.16>
- Blanqueroa, R., Carrizosa, E. & G-Tóth, B. (2016). Maximal covering location problems on networks with regional demand, *Omega*, 64, 77-85. doi: <https://doi.org/10.1016/j.omega.2015.11.004>
- Chung, C. (1986). Recent applications of the maximal covering location planning model. *Journal of Operational Research Society*, 17(8), 735-746. doi: <https://doi.org/10.1057/jors.1986.134>
- Church, R., & ReVelle, C. (1974). The maximal covering location problem. *Papers of the Regional Science Association*, 16, 101-118. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1435-5597.1974.tb00902.x>
- Coco, A. A., Santos, A. C. & Noronha, T. F. (2018). Formulation and algorithms for the robust maximal covering location problem. *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, 64, 2018, 145-154. doi: <https://doi.org/10.1016/j.endm.2018.01.016>
- Cordeau, J. F., Furini, F. & Ljubic, L. (2019). Benders decomposition for very large scale partial set covering and maximal covering location problems, *European Journal of Operational Research*, 275, 882-896. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.12.021>
- Curtin, K. M., Hayslett, K. & Qiu, F. (2010). Determining optimal police patrol areas with maximal covering and backup covering location models. *Networks and Spatial Economics*, 10(1), 125-145. doi: <https://doi.org/10.1007/s11067-007-9035-6>.
- Daskin, M. S., & Stern, E.H. (1981). A hierarchical objective set covering model for emergency medical service vehicle deployment. *Transportation Science*, 15(2), 137-152. doi: <https://doi.org/10.1287/trsc.15.2.137>
- Densham, P. J., & Rushton, G. (1992). A more efficient heuristic for solving large p-median problems. *Papers in Regional Science: The Journal of The RSAI*, 72, 307-329. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1435-5597.1992.tb01849.x>.
- Drezner, Z., & Wesolowsky, G.O. (1995). Location on a one-way rectilinear grid. *Journal of the Operational Research Society*, 46(6), 735-746. doi: <https://doi.org/10.1057/jors.1995.103>
- Garey, M. R., & Johnson, D. S. (1979). *Computers and intractability: A guide to the theory of NP-completeness*, New York USA: Freeman and Company.
- Gencer, C., ve Açıkgöz, A. (2006). Türk Silahlı Kuvvetleri arama kurtarma timlerinin yerleşiminin yeniden düzenlenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21(1), 87-105. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/gazimmfd/issue/6667/88813>
- Hakimi, S. L. (1964). Optimum locations of switching centers and the absolute centers and medians of a graph. *Operations Research*, 12, 450 - 459, doi: <https://doi.org/10.1287/opre.12.3.450>
- Kurban, Ö.F., ve Can, T. (2016). Acil istihbarat, gözetleme ve keşif ihtiyaçları için mini insansız hava araçlarının yer kontrol istasyonlarının seçimi. *Marmara Üniversitesi Öneri Dergisi*, 12(45), 35-59. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/165909>
- Lorena, A. N., & Pereira, M. A. (2002). A lagrangean/surrogate heuristic for the maximal covering problem using Hillsman's edition. *International Journal of Industrial Engineering*, 9(1), 57-67. Erişim adresi: <http://citese.ri.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.587.1325&rep=rep1&type=pdf>
- Marianov, V. & ReVelle, C. S. (1995). Siting emergency services, in Z. Drezner (ed.) *Facility Location: A Survey of Applications and Methods*, New York USA: Applications and Methods, Springer Series in Operations Research. 199-223. Erişim adresi: <https://www.springer.com/gp/book/9780387945453>
- Neebe, A. W. (1988). A procedure for locating emergency-service facilities for all possible response distances. *Journal Of The Operational Research Society*, 39(8), 743-748. doi: <https://doi.org/10.1057/jors.1988.129>
- Owen, S. H., & Daskin, M. S. (1998). Strategic Facility Location: A Review. *European Journal of Operational Research*, 111, 423-447. doi: [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(98\)00186-6](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(98)00186-6)
- ReVelle, C. S. Williams J. C. & Boland, J. J. (2002). Counterpart models in facility location science and reserve selection science. *Environmental Modeling and Assessment*, 7, 71-80. doi: <http://dx.doi.org/10.1023/A:1015641514293>

- ReVelle, C., Scholssberg, M., & Williams, J. (2008). Solving the maximal covering location problem with heuristic concentration. *Computers & Operations Research*, 35(2), 427-435. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2006.03.007>
- Richard, D., Beguin, H., & Peeters, D. (1990). *The Location of Fire Stations in a Rural Environment: A Case Study*. *Environment and Planning A: Economy and Space*, XXII, 39-52. doi: <https://doi.org/10.1068/a220039>
- Serra, D., & ReVelle, C. (1995). *Competitive Location in Discrete Space*, Z. Drezner (Ed.), *Facility Location: A Survey of Articles*. New York USA: Applications and Methods, Springer Series in Operations Research. 367-386. Erişim adresi: <https://www.springer.com/gp/book/9780387945453>

Ekler**Ek 1. Talep Noktalarının Önem Dereceleri**

Talep Noktaları	Önem Dereceleri
Y(1)	7
Y(2)	5
Y(3)	2
Y(4)	4
Y(5)	5
Y(6)	3
Y(7)	3
Y(8)	10
Y(9)	7
Y(10)	8
Y(11)	5
Y(12)	4
Y(13)	1
Y(14)	8
Y(15)	10
Y(16)	6
Y(17)	1
Y(18)	2
Y(19)	4
Y(20)	4
Y(21)	3
Y(22)	4
Y(23)	7
Y(24)	5
Y(25)	3
Y(26)	5
Y(27)	1
Y(28)	3
Y(29)	1
Y(30)	3
Y(31)	8
Y(32)	3
Y(33)	2
Y(34)	1
Y(35)	7
Y(36)	1
Y(37)	4
Y(38)	2

Ek 2. Aday Noktalarının Bölgesel Özellik Katsayıları

Aday Noktaları	Coğrafi Durum	Nüfus Yoğunluğu	Yerleşim Yeriine Yakınlık	Ulaşım Kolaylığı	Sosyal ve Ekonomik Durum
X(1)	8	10	10	10	10
X(2)	10	10	10	8	10
X(3)	10	10	9	10	10
X(4)	6	7	7	9	8
X(5)	10	6	4	10	7
X(6)	10	8	9	10	8
X(7)	8	10	10	8	9
X(8)	9	10	10	10	8
X(9)	9	6	3	4	3
X(10)	10	10	10	10	10
X(11)	7	9	8	8	8
X(12)	10	10	10	10	10
X(13)	8	8	8	9	8
X(14)	7	8	7	8	7
X(15)	9	8	9	10	7
X(16)	6	7	8	9	8
X(17)	8	8	7	8	8
X(18)	10	8	8	10	8
X(19)	8	7	9	10	8
X(20)	6	8	9	6	7
X(21)	8	10	10	8	10
X(22)	8	7	10	9	10
X(23)	9	10	10	10	10
X(24)	7	10	9	10	10
X(25)	5	8	10	7	10
X(26)	7	8	8	10	10
X(27)	7	7	8	10	10
X(28)	10	10	10	10	10
X(29)	7	9	10	8	8
X(30)	7	7	10	6	7
X(31)	8	9	9	10	9
X(32)	8	9	10	10	8
X(33)	8	8	8	9	8
X(34)	5	6	5	7	5
X(35)	9	8	10	8	9
X(36)	6	6	4	10	5
X(37)	7	7	10	7	7
X(38)	10	7	10	10	8
X(39)	7	6	10	8	7
X(40)	7	5	10	6	3
X(41)	6	6	8	7	8
X(42)	10	7	10	10	8
X(43)	6	6	8	7	6
X(44)	9	7	10	10	9
X(45)	7	7	8	8	9
X(46)	10	9	10	10	9
X(47)	9	9	8	10	7
X(48)	4	4	6	5	3
X(49)	3	4	4	9	3
X(50)	8	6	10	10	8
X(51)	8	7	10	8	7
X(52)	10	8	10	10	7
X(53)	10	6	9	9	6
X(54)	10	8	10	10	7
X(55)	8	7	10	7	5
Ortalama	7,95	7,75	8,67	8,73	7,78