



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



Afet sonrası taşınabilir baz istasyonu yer seçimi: Bingöl şehir merkezi örneği

Post-disaster portable base station location selection: the case of Bingöl city center

Yazar(lar) (Author(s)): Yusuf YAZAR¹, Tamer EREN²

ORCID¹: 0000-0003-1028-3107

ORCID²: 0000-0001-5282-3138

To cite to this article: Yazar Y., Eren T., “Afet sonrası taşınabilir baz istasyonu yer seçimi: Bingöl şehir merkezi örneği”, *Journal of Polytechnic*, 28(1): 1-12, (2025).

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz: Yazar Y., Eren T., “Afet sonrası taşınabilir baz istasyonu yer seçimi: Bingöl şehir merkezi örneği”, *Politeknik Dergisi*, 28(1): 1-12, (2025).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.1310410

Afet Sonrası Taşınabilir Baz İstasyonu Yer Seçimi: Bingöl Şehir Merkezi Örneği

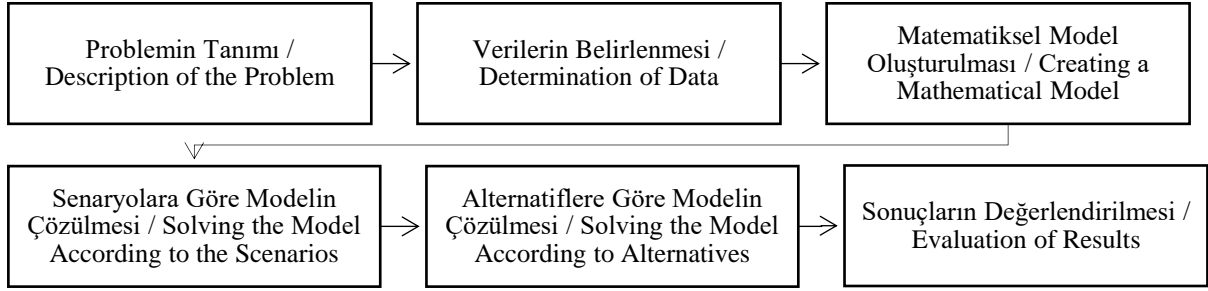
Post-Disaster Portable Base Station Location Selection: The Case of Bingöl City Center

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Matematiksel Modelleme / Mathematical Modeling
- ❖ Küme Kapsama Problemi / Cluster Coverage Problem
- ❖ Taşınabilir Baz İstasyonu Yer Seçimi / Portable Base Station Location Selection
- ❖ Afet Yönetimi / Disaster Management

Grafik Özet (Graphical Abstract)

Bingöl ili Merkez ilçesinde afet sonrası haberleşme amacıyla kullanılacak taşınabilir baz istasyonlarının miktarı hesaplanmış ve yer seçimi yapılmıştır. Tüm ilçeyi kapsayacak haberleşme ağı için matematiksel model geliştirilmiş ve çözülmüştür. / The location selection was made by calculating the number of portable base stations to be used for post-disaster communication in the central district of Bingöl. A mathematical model has been developed and solved for the communication network that will cover the whole district.



Şekil. Uygulama Aşamaları /Figure. Application Flowchart

Amaç (Aim)

Çalışmanın amacı, afet sonrası haberleşme altyapısında kullanılacak taşınabilir baz istasyonlarının uygun yerlere kurulmasını sağlamaktır. / The aim of the study is to provide the appropriate installation of hidden base stations used in post-disaster communication tools.

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Problemin çözümünde Tamsayı Programlama yöntemi kullanılmıştır. / Integer Programming method was used to solve the problem.

Özgünlük (Originality)

Bu çalışma afet sonrası kullanılan taşınabilir baz istasyonlarının konumlandırılması problemini ele almaktadır. Yazarların bilgisine göre bu çalışma ile afet yönetimi kapsamında ilk defa haberleşme altyapısının planlanması ele alınacaktır. / This study deals with the location problem of portable base stations used after the disaster. To the knowledge of the authors, this study will deal with the planning of the communication infrastructure for the first time within the scope of disaster management.

Bulgular (Findings)

Haberleşme ağı tüm bölgeyi kapsayacak ve nüfus sayısı dikkate alınarak planlanmalıdır. / The communication network should cover the entire region and should be planned taking into account the number of population.

Sonuç (Conclusion)

Bölgenin tamamını kapsayacak taşınabilir baz istasyonlarının miktar ve lokasyonlarını belirleyebilen bir çalışma gerçekleştirilmiştir. / A study was carried out to determine the amount and location of portable base stations that will cover the entire region.

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

Afet Sonrası Taşınabilir Baz İstasyonu Yer Seçimi: Bingöl Şehir Merkezi Örneği

Araştırma Makalesi / Research Article

Yusuf YAZAR¹, Tamer EREN^{1*}

¹Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Müh. Bölümü, Kırıkkale Üniversitesi, Türkiye
(Geliş/Received : 06.06.2023 ; Kabul/Accepted : 03.08.2023 ; Erken Görünüm/Early View : 14.03.2024)

ÖZ

Afetler toplumun tamamını fiziksel, ekonomik ve sosyal olarak olumsuz etkileyen doğal veya insan kaynaklı gerçekleşen bir durumdur. Özellikle 6 Şubat 2023 tarihinde merkez üssü Kahramanmaraş'ın Pazarcık ve Elbistan ilçeleri olan depremde sosyal hayat ve fonksiyonları, iletişim ve enerji alt yapıları ciddi derecede zarar görmüştür. Altyapı hasarlarından kaynaklı olarak afet yönetimi planlı şekilde yapılamamış ve arama kurtarma faaliyetlerinin yavaşlamasına sebep olmuştur. Bu durumun engellenebilmesi için haberleşme altyapısının afete dirençli bir şekilde planlanması ve afet sonrası geçici altyapıların önceden planlanması gerekmektedir. Türkiye'de Bingöl ili Karlıova ilçesinde bulunan aktif fay hattı ve yapılan istatistiksel analizler bölgenin deprem yönünden oldukça aktif olduğunu göstermektedir. Bu çalışmada Bingöl ili Merkez ilçesi çalışma bölgesi seçilerek afet durumunda haberleşmenin kesilmesi durumunda planlı bir şekilde tüm ilçeyi kapsayacak haberleşme altyapısının kurulması için küme kapsama problemine odaklanılmıştır. Uygulama üç aşamadan meydana gelmektedir. Birinci aşamada, küme kapsama modeli genel formuna uygun şekilde problem varsayımlarının en fazla olduğu durum değerlendirilmiştir. İkinci aşamada, baz istasyonunun dış etkenlerden etkilenerek kapsama alanının azalması ihtimaliyle senaryolara göre çözüm yapılmıştır. Üçüncü aşamada, toplam nüfus miktarını belirli oranlarda karşılayacak alternatiflerle baz istasyonu miktarları tespit edilmiştir. Çalışmada afet yönetimi kapsamında haberleşme altyapısının planlanabilmesi için matematiksel model geliştirilmiş ve değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Afet yönetimi, küme kapsama problemi, taşınabilir baz istasyonu.

Post-Disaster Portable Base Station Location Selection: The Case of Bingöl City Center

ABSTRACT

Disasters are natural or human-made events that negatively affect the entire society physically, economically and socially. Social life and functions, communication and energy infrastructures were severely damaged in the earthquake, the epicenter of which was the Pazarcık and Elbistan districts of Kahramanmaraş on February 6, 2023. Disaster management could not be carried out in a planned manner due to infrastructure damage, causing search and rescue activities to slow down. In order to prevent this situation, communication infrastructure should be planned in advance. Active fault line in Karlıova district of Bingöl province in Turkey and statistical analyzes show that the region is quite active in terms of earthquakes. In this study, the central district of Bingöl province was selected and focused on the cluster coverage problem in order to establish a communication infrastructure that will cover the whole district in a planned manner in case of a disaster. The application consists of three stages. In the first stage, the situation with the highest number of problem assumptions was evaluated in accordance with the general form of the cluster coverage model. In the second stage, solutions were made according to the scenarios with the possibility that the base station would be affected by external factors and the coverage area would decrease. In the third stage, alternatives and base station amounts were determined to meet the total population amount at certain rates. In the study, a mathematical model was developed and evaluated in order to plan the communication infrastructure within the scope of disaster management.

Keywords: Disaster management, cluster coverage problem, portable base station.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Afetler toplumun tamamını fiziksel, ekonomik ve sosyal olarak olumsuz etkileyen doğal veya insan kaynaklı gerçekleşen bir durumdur. Dünya genelinde yaşanan doğal afetlerin çeşitleri ve önem sıraları değişkenlik göstermektedir. Türkiye'de ani gelişen deprem afeti büyük can ve mal kaybına sebep olmaktadır [1]. Türkiye'de can kaybı ve ağır hasar bakımından yakın tarihli en büyük depremler sırasıyla Kahramanmaraş (2023) ve Gölcük (1999) merkezli depremlerdir.

Özellikle 6 Şubat 2023 tarihinde merkez üssü Kahramanmaraş'ın Pazarcık ve Elbistan ilçeleri olan

depremde sosyal hayat ve fonksiyonları, iletişim ve enerji alt yapıları ciddi derecede zarar görmüştür [2]. Altyapının zarar görmesi nedeniyle ciddi can kaybı ve afet yönetiminin planlanan şekilde gerçekleşmemesine sebep olmuştur. Özellikle baz istasyonlarının afet durumunda yetersiz veya çalışamaz hale gelmesi arama kurtarma faaliyetlerinin yavaşlaması ve gerçekleştirilememesine sebep olmaktadır. Bu durum baz istasyonu yerleştirilecek yerin seçiminin doğru yapılamaması, afet sonrası baz istasyonunun hasar alması ve elektrik kesintisi gibi planlanmayan teknik aksaklıklardan kaynaklanmaktadır [3]. Haberleşme

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : teren@kku.edu.tr

altyapısı, şehir içinde genelde kule kurulamadığı için yerleşkelerin çatıları üzerine kurulan baz istasyonları aracılığıyla sağlanmaktadır. Olası bir doğal afette hasar alan yerleşkeler ve elektrik kesintileri iletişimin kesilmesine neden olmaktadır. Bu nedenle afete dirençli altyapılar kurulması çok önemlidir. Afet yönetiminde iletişimin sürdürülebilmesi için mevcut baz istasyonları sağlam yerleşkelere tekrar kurulmakta veya taşınabilir baz istasyonları kullanılmaktadır. Fakat afet yönetiminde her gecikme daha fazla can ve mal kaybına neden olmaktadır [4]. Bu nedenle öncelikli olarak afet bölgesine kısa sürede sevk edilebilmesi ve hızlı kurulabilmesi özellikleriyle taşınabilir baz istasyonları tercih edilmektedir [5]. Taşınabilir baz istasyonları kullanıcı kapasitesi ve çekim alanı gibi sınırlamalara sahiptir. Bu nedenle yerleştirilirken planlamasının yapılması gerekmektedir. Türkiye’de Bingöl ili Karlıova ilçesinde bulunan aktif fay hattı ve yapılan istatistiksel analizler bölgenin deprem yönünden oldukça aktif olduğunu göstermektedir. Bölgede 2025 yılı öncesinde 7.5 büyüklüğünde bir depremin gerçekleşme ihtimali %36’dır. Bu nedenle bölgede depreme hazırlık amacıyla afet yönetiminin planlanması oldukça önemlidir [6]. Afet yönetimi üzerinde literatürde birçok çalışma vardır. Bu bölümde literatürde yer alan benzer çalışmalar özetlenmiştir. Çiçekdağı ve Kırış [7], çalışmalarında afet öncesinde afet istasyonlarının yer seçimi problemini ele almışlardır. Kümeleme analizi yaparak gruplandırma işlemi yapmış, ağırlık merkezi yöntemiyle de gruplara uygun afet istasyonu yerlerini belirlemişlerdir. Aydın vd. [8], çalışmalarında afet lojistiği kapsamında İstanbul ili Maltepe ilçesinde lojistik depolarının yer seçimi problemini ele almışlardır. Problem için iki aşamalı bir model geliştirmişlerdir. İlk aşamada küme kapsama modeli, ikinci aşamada p-medyan problemi geliştirmişlerdir. Ağdaş vd. [9], çalışmalarında afet lojistiği kapsamında dağıtım merkezi yer seçimi problemini ele almışlardır. SMAA-2 tekniğini kullanarak en uygun yer seçimine yönelik örnek problem üzerinde bir çözüm yaklaşımı önermişlerdir. Durdağ vd. [10], çalışmalarında belirli kısıtlar doğrultusunda tedarikçi seçimi ve depo yeri seçimi problemlerini ele almışlardır. Beykoz İtfaiyesi bünyesindeki itfaiyeciler ile görüşmeler sağlayarak form çözmelerini istemişlerdir. Etmem puan yöntemine göre afet depo yeri seçimi yapmışlardır. Ergün vd. [11], çalışmalarında sürdürülebilir afet lojistiği kapsamında afet depo yeri seçimi problemini ele almışlardır. AHS, MAUT ve SAW yöntemlerini kullanarak Giresun’da ideal afet depo yeri seçimi yapmışlardır. Afet depo yeri seçiminde en önemli ölçütleri altyapı olmuştur. Kaya [12], çalışmasında İstanbul ili Üsküdar ilçesi için deprem sonrası açılacak geçici tesislerin yer seçimi ve miktarı problemini ele almıştır. İlk aşamada problemi küme kapsama problemine benzeterek tesis sayısını tespit etmiştir. İkinci aşamada ise tesislerin yer seçimini yapmıştır. Abbasoğlu [13], yapmış olduğu yüksek lisans tezinde Bursa ili için afet lojistiğinde kullanılacak depo yeri seçimi ve kapsama seviyesinin belirlenmesi problemini ele

almıştır. Problem için alternatif senaryolar üretilerek matematiksel model geliştirilmiştir. Tezcan vd. [14], yapmış oldukları çalışmada Kırıkkale ili için afet yönetimi kapsamında geçici depo yeri seçimi ve çok amaçlı araç rotalama problemini ele almışlardır. Problemi, çok kriterli karar verme yöntemleri ile gerekli sıralamaları bulduktan sonra alternatif senaryolara göre matematiksel model geliştirerek çözmüşlerdir. Macit vd. [15], yapmış oldukları çalışmada İstanbul ili için afet yönetimi kapsamında deprem sonrası arama kurtarma ekiplerinin ihtiyaçlarını eldeki bütçe ile karşılanabilmesi amacıyla matematiksel model geliştirmişlerdir. Tezcan vd. [16], yapmış oldukları çalışmada Kırıkkale ili için deprem sonrası mobil hizmet tesisi seçim problemini ele alarak çok kriterli karar modeli geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri model ile Kırıkkale ili ilçelerini sıralayarak deprem sonrası hizmet verecek mobil tesis için en uygun yeri belirlemişlerdir. Peker vd. [17], yapmış oldukları çalışmada Erzincan ili için afet lojistiği kapsamında dağıtım merkez yerinin belirlenmesi problemini ele almışlardır. Kriterleri analitik hiyerarşi süreci yöntemiyle ağırlıklandırarak en önemli kriterin konum olduğunu belirlemişlerdir. Çok kriterli karar verme yöntemlerinden VIKOR yöntemiyle en uygun kuruluş yerini belirlemişlerdir. Şekkeli [18], yapmış olduğu çalışmada Kahramanmaraş ili Onikişubat Belediyesinde afet ve acil durum lojistiği kapsamında toplanma merkezi yeri seçimi problemini ele almıştır. Analitik hiyerarşi prosesi yöntemi kullanarak en uygun toplanma merkezini belirlemiştir. Ömürgönülşen ve Menten [19], yapmış oldukları çalışmada Ankara ili için afet yönetimi kapsamında geçici barınma alanı yer seçimi problemini ele almışlardır. Bulanık TOPSIS yöntemi kullanarak uygun yer seçimi ve sıralamasını belirlemişlerdir. Ekin ve Sarıkaya [20], yapmış oldukları çalışmada Kütahya ilindeki bir mahalle için afet sonrası afetzedelerin komşu mahallelerde gidebileceği acil toplanma alanlarını belirlemeye çalışmışlardır. Dayanır vd. [21], yapmış oldukları çalışmada İzmir ili Seferihisar ilçesi için afet sonrası geçici barınma alanları yer seçimi problemini odaklanmışlardır. Delphi yöntemi kullanarak örnek yerleşim planı yapmışlardır. Literatürde yer alan afet yönetimi çalışmalarında çözüm yöntemi olarak birçok farklı yaklaşımlarda bulunulmuştur. Bu çalışmada ele alınan problem gerçek hayatta afet sonrası yaşanan en büyük problemlerden biridir [22]. Problemin uygulanacağı bölge Bingöl ili Merkez ilçesidir. Olası bir depremde Merkez ilçesinin tamamını kapsayacak haberleşme altyapısının sağlanabilmesi için matematiksel model geliştirilecektir. Geliştirilen matematiksel model ile farklı senaryolara göre çözümler yapılarak teknik aksaklıklar yaşanmaması hedeflenmiştir. Modelde kurulacak olan baz istasyonları miktarlarının en az olması amaçlanmıştır. Böylece, yazarların bilgisine göre bu çalışmada literatürde ilk defa afet yönetiminde haberleşme altyapısı üzerine bir model önerilmiştir.

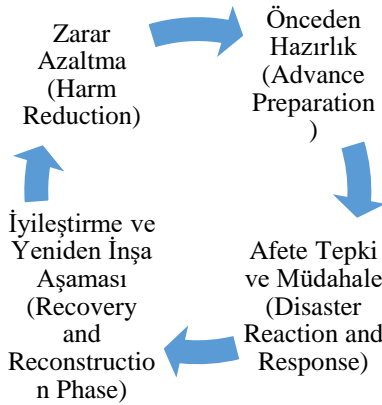
Bu çalışmanın uygulama aşaması 3 aşamadan meydana gelmektedir. Birinci aşamada, küme kapsama modeli

genel formuna uygun bir şekilde problem varsayımlarının en fazla olduğu durum değerlendirilecektir. İkinci aşamada, baz istasyonunun dış etkenlerden etkilenecek kapsama alanının azalması ihtimaliyle 7 adet kapsama alanı senaryosu üretilecek ve uygulama bu 7 senaryo için çözülecektir. Üçüncü aşamada, mevcut modele Bingöl ili Merkez ilçesi mahalle ve köylerinin nüfusları dahil edilerek toplam nüfus miktarının baz istasyonları kapasitesinden küçük olacak şekilde kaç adet baz istasyonu gerektiği tespit edilecektir.

Çalışma planı şu şekildedir: birinci bölümde problemin önemi ve literatürde afet yönetimi kapsamında yapılan çalışmalar açıklanmış, ikinci bölümde afet yönetiminden ve aşamalarından bahsedilmiş, üçüncü bölümde küme kapsama problemi genel formu anlatılmış, dördüncü bölümde problemin tanımı, uygulama verilerinin elde edilmesi, matematiksel model ve çözüm sonuçlarını içeren uygulama yapılmış ve beşinci bölümde sonuçlar değerlendirilmiştir.

2. AFET YÖNETİMİ (DISASTER MANAGEMENT)

Afet yönetimi; kentsel veya kırsal alanda yapay veya doğal afetlere karşı koruyucu önlemlerden başlayarak afete hazırlık, afete müdahale, afet sonrası sosyal ve ekonomik çalışmaların planlanmasıyla birlikte tüm bu çalışmaların denetlenmesi faaliyetlerinin bütünüdür. Afet yönetimi Şekil 1'de verilen 4 aşamadan oluşmaktadır [23].



Şekil 1. Afet yönetimi aşamaları (Stages of disaster management)

Zarar azaltma: Afetlere önceden hazırlıklı olmak afet yönetiminin en başarılı faktörüdür. Hazırlıklı olabilmek için ise olası riskleri hesaplayabilmek, riski yönetebilmek ve oluşabilecek zararları en aza indirebilmektir.

Önceden hazırlık: Bazı afet ve risklere önceden hazırlıklı olunması, afet sırasında veya sonrasında karşılaşılabilecek zararları en aza indirmek mümkünken deprem gibi önceden tarihi netleştirilemeyen doğal afetlere kısa sürede hazırlıklı olma fırsatı bulunmamaktadır. Bu nedenle deprem gibi afetlerin normal hayat sürecindeyken analizinin yapıp hazırlıklı olmak gerekmektedir.

Afete tepki ve müdahale: Bir afetin gerçekleştiğinden sonra sonuçlarının büyüklüğüne göre kısa ve orta vadeli

bir sürede yapılan faaliyetlerin bütünüdür. Deprem gibi afetlerde kısa vadede en yoğun şekilde müdahale edilmelidir. Kurtarma ve ilk yardım safhasında ilk hedefi haberleşme ağının kesilmemesini sağlayarak bölgeden bilgi edinilmesi olmalıdır.

İyileştirme ve yeniden inşa aşaması: Deprem gibi afetlerde inşa aşaması afet öncesi durumunu kazandırmaya yönelik olmaktadır. Fakat bu durum yeterli olmamakta, riskin artarak devam etmesine sebep olmaktadır. Bu nedenle daha sonra karşılaşılabilecek risklerin göz önünde bulundurularak planlama yapılmalıdır. İyileştirme ve yeniden inşa aşamasında öncelikli olarak su, elektrik ve haberleşme gibi altyapı çalışmaları yapılmalıdır. İleride olabilecek muhtemel afetlere hazırlıklı olacak şekilde kapsamlı afet yönetimi yapılmalıdır.

3. YÖNTEM (METHODS)

Bu çalışma kapsamında afet sonrasında bölgeye yönlendirilecek olan taşınabilir baz istasyonlarının kurulması problemi için iki aşamalı model önerilmiştir. İlk aşamada haberleşmenin sağlanabilmesi için maliyet, kullanıcı sayısı gibi faktörler dahil edilmeden Bingöl ili Merkez ilçesi için taşınabilir baz istasyonunun kaç adet ve nereye kurulması gerektiğini belirleyen küme kapsama modeli önerilmiştir. İkinci aşamada ise problem senaryolara göre ayrı ayrı çözümlenerek model geliştirilmeye çalışılmıştır.

Küme kapsama problemi belirli hizmet seviyesi altında tüm talep noktalarını kapsayacak en az sayıda tesisin belirlenmesini amaçlamaktadır. Aynı zamanda tesis kuruluş maliyetini, hizmet seviyesini karşılayacak şekilde minimize etmeyi amaçlar [24]. İlk küme kapsama problemi Revelle ve Church (1974) tarafından tanımlanmıştır. Küme kapsama problemi aşağıdaki gibi formüle edilmektedir [25].

İndis ve Karar Değişkenleri:

i: Talep noktalarının indisi

j: Tesislerin indisi

x_j : j. noktada tesis kurulduysa 1, değilse 0

Parametreler:

n: Potansiyel tesis miktarı

S: Açılacak olan tesisin kapsama gücü

a_{ij} : i. talep noktasıyla j. tesis arasındaki mesafe S'den küçük eşitse 1, değilse 0

c_j : j. tesisin maliyeti

Amaç Fonksiyonu: $Enk Z = \sum_{j=1}^n c_j * x_j$ (1)

Kısıtlar:

$$\sum_{j \in J} a_{ij} * x_j \geq 1, \forall i (i = 1, \dots, m) \quad (2)$$

$$x_j \geq 0 \text{ veya } 1, \forall j (j = 1, \dots, n) \quad (3)$$

Denklem 1'de verilen amaç fonksiyonu, açılacak olan tesis miktarını maliyet parametresiyle çarparak maliyeti azaltmayı hedefler. Denklem 2'de verilen kısıt, tüm talep noktaları ve tesislerin kapsama alanında olacak şekilde tesis yeri seçimini sağlar. Denklem 3'te verilen kısıt, açılacak olan tesis miktarının tamsayı olmasını sağlar.

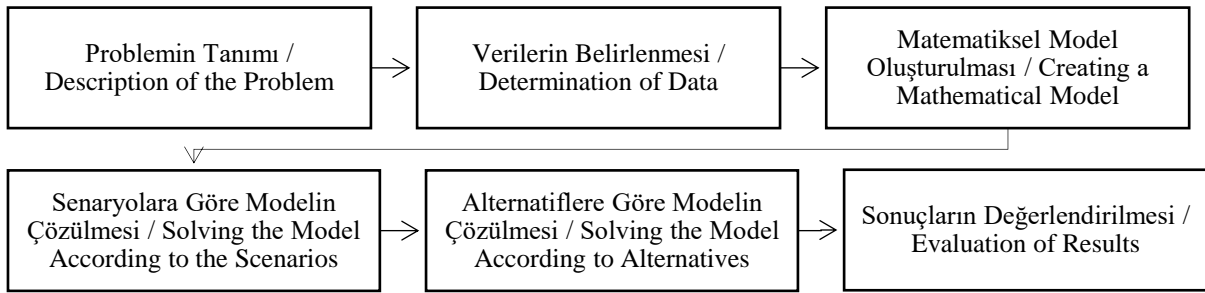
4. UYGULAMA (THE CASE STUDY)

Bu çalışma, afet sonrası haberleşme altyapısının hasar alması durumunda kurulacak baz istasyonlarının yer seçimi problemine odaklanmıştır. Bu çalışma 3 aşamadan meydana gelmektedir. Problem 7 farklı senaryoda ve nüfus talebini belirli oranlarda dikkate alarak çözülecektir. Birinci aşamada, küme kapsama problemi genel formuna uyularak problem varsayımlarının en fazla olduğu koşul değerlendirilecektir. İkinci aşamada, baz istasyonunun kapsama alanının etkilenme durumları göz önünde bulundurularak 7 adet kapsama alanı senaryosu oluşturulacak ve uygulama bu senaryolar için tekrar çözülecektir. Üçüncü aşamada, mevcut probleme Bingöl ili Merkez ilçesi mahalle ve köylerinin nüfusları dahil edilecek, toplam nüfus miktarının baz istasyonları

kapasitesinden küçük olacak ve toplam baz istasyonu miktarını verecek şekilde uygulama çözülecektir.

4.1. Problemin Tanımı (Definition of the Problem)

Bu çalışma, Bingöl ili veya yakınlarında gerçekleşecek olası bir afet sonrasında haberleşme altyapısının yetersiz veya çalışmaz hale gelmesi durumunda haberleşmenin sağlanabilmesi için taşınabilir baz istasyonlarının Bingöl ili Merkez ilçesinin tamamını kapsayacak şekilde yerleştirilmesi problemini ele almıştır. Şekil 2.'de uygulama aşamaları verilmiştir. Şekil 2.'de uygulamanın aşamaları verilmiştir. Şekil 2 incelendiğinde problemin tanımı, uygulama verilerinin belirlenmesi, küme kapsama problemi matematiksel modelinin oluşturulması, modelin alternatif senaryolarla göre çözülmesi, modele nüfus kısıtının eklenerek tekrar çözülmesi ve sonuçların değerlendirilmesi aşamaları yer almaktadır.

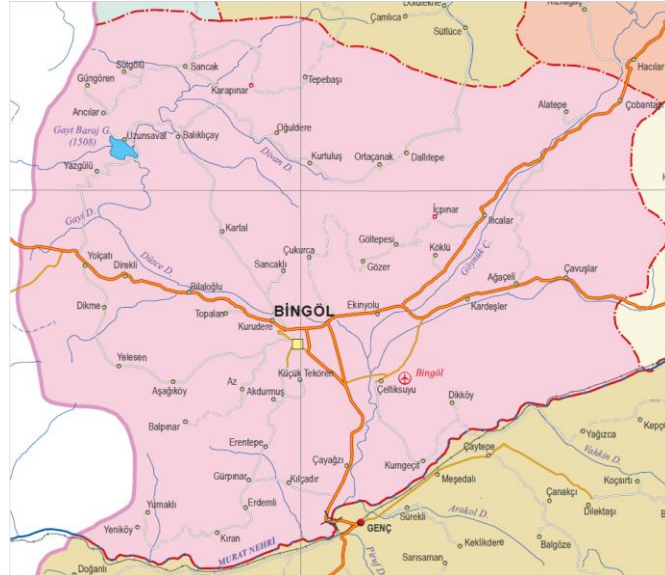


Şekil 2. Uygulama aşamaları (Implementation stages)

4.2. Uygulama Verileri (Application Data)

Problemde kullanılan Bingöl ili Merkez ilçesi köy ve mahalleleri Harita Genel Müdürlüğü'nün yayınlamış olduğu Bingöl mülki idare il haritasından elde edilmiştir

[26]. Şekil 3.'te il haritasının Merkez ilçesi kısmı verilmiştir.



Şekil 3. Bingöl ili merkez ilçesi mülki idare il haritası (Provincial administration map of central district of Bingöl province)

Şekil 3.'te sırasıyla Güngören, Sütgölü, Arıcılar, Sancak, Karapınar, Tepebaşı, Uzunsavat, Yazgülü, Balıklıçay, Oğuldere, Kurtuluş, Ortaçanak, Dallitepe, Alatepe, Çobantaşı, Yolçatı, Direkli, Dikme, Yelezen, Aşağıköy, Balpınar, Yumaklı, Yeniköy, Kartal, Sancaklı, Çukurca,

Gözer, Ekinyolu, Göltepesi, İçpınar, Köklü, Ilıcalar, Kardeşler, Ağaçeli, Çavuşlar, Bilaloğlu, Topalan, Kurudere, Küçük Tekören, Az, Akdemiş, Erentepe, Gürpınar, Erdemli, Kıran, Kılçadır, Çayağzı, Çeltiksuyu, Kumgeçit ve Dikköy olmak üzere toplamda 50 adet

mahalle ve köy bulunmaktadır. Tablolarda bu mahalle ve köyler sırasıyla 1'den 50'ye kadar numaralandırılarak kullanılacaktır. Şekil 3.'de bulunan köy ve mahalleler için uygulamada kullanılmak üzere mesafe matrisi hesaplanmıştır.

Mesafe matrisi konumlar arası kuşbakışı mesafelerden oluşmaktadır. Mesafe değerlerinin birimi kilometredir. Mesafe matrisi Tablo 1, 2, 3 ve 4'te verilmiştir [27].

Tablo 1. Bingöl ili merkez ilçesi mesafe matrisi-1 (Disaster matrix of Bingöl province central district-1)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1	0,0	3,3	2,6	8,4	11,4	13,8	5,4	7,1	8,7	16,5	19,7	25,3	27,4	40,2	44,7	15,0	16,3	18,6	23,6	25,8	29,3	36,0	37,6	16,6	22,4
2	3,3	0,0	3,8	5,2	8,6	10,8	5,6	8,6	7,0	13,9	17,3	22,7	24,6	37,2	41,6	16,5	17,1	19,8	24,6	26,2	29,7	36,9	36,2	15,6	21,2
3	2,6	3,8	0,0	7,9	10,0	12,7	2,8	4,9	6,5	14,8	17,8	23,5	25,6	38,8	43,3	12,9	13,8	16,3	21,3	23,3	26,8	33,7	35,2	14,1	19,9
4	8,4	5,2	7,9	0,0	4,4	5,8	8,0	11,5	5,9	9,5	13,2	18,2	19,9	32,1	36,5	18,7	18,3	21,3	25,7	26,5	29,8	37,5	33,2	14,2	18,9
5	11,4	8,6	10,0	4,4	0,0	2,9	8,8	12,0	4,7	5,3	8,9	14,1	16,0	28,8	33,3	17,8	16,7	19,8	23,7	23,7	26,9	34,9	28,9	10,8	14,9
6	13,8	10,8	12,7	5,8	2,9	0,0	11,7	15,0	7,6	4,5	8,1	12,6	14,2	26,4	30,8	20,6	19,3	22,4	26,1	25,8	28,8	36,9	28,8	12,6	15,8
7	5,4	5,6	2,8	8,0	8,8	11,7	0,0	3,6	4,5	12,9	15,6	21,4	23,7	37,1	41,7	11,1	11,5	14,2	19,0	20,7	24,2	31,3	32,4	11,3	17,1
8	7,1	8,6	4,9	11,5	12,0	15,0	3,6	0,0	7,4	15,6	17,9	23,7	26,1	39,7	44,3	7,9	9,2	11,4	16,4	18,8	22,3	28,9	32,8	11,7	17,6
9	8,7	7,0	6,5	5,9	4,7	7,6	4,5	7,4	0,0	8,5	11,3	17,0	19,2	32,6	37,2	13,3	12,5	15,6	19,8	20,5	23,9	31,6	29,2	8,8	14,2
10	16,5	13,9	14,8	9,5	5,3	4,5	12,9	15,6	8,5	0,0	3,7	8,8	10,9	24,2	28,7	19,7	17,7	20,7	23,8	22,7	25,5	33,7	24,3	9,6	11,7
11	19,7	17,3	17,8	13,2	8,9	8,1	15,6	17,9	11,3	3,7	0,0	5,8	8,2	22,0	26,5	20,7	18,1	21,0	23,4	21,6	24,0	32,3	20,7	9,3	9,4
12	25,3	22,7	23,5	18,2	14,1	12,6	21,4	23,7	17,0	8,8	5,8	0,0	2,6	16,4	21,0	26,0	23,2	25,9	27,5	25,0	26,9	34,9	18,5	14,2	12,1
13	27,4	24,6	25,6	19,9	16,0	14,2	23,7	26,1	19,2	10,9	8,2	2,6	0,0	13,8	18,4	28,6	25,8	28,5	30,0	27,4	29,2	37,1	19,2	16,8	14,5
14	40,2	37,2	38,8	32,1	28,8	26,4	37,1	39,7	32,6	24,2	22,0	16,4	13,8	0,0	4,6	42,3	39,5	42,0	43,1	40,0	41,2	48,6	25,4	30,5	27,5
15	44,7	41,6	43,3	36,5	33,3	30,8	41,7	44,3	37,2	28,7	26,5	21,0	18,4	4,6	0,0	46,9	44,0	46,6	47,5	44,2	45,3	52,5	28,6	35,1	31,9
16	15,0	16,5	12,9	18,7	17,8	20,6	11,1	7,9	13,3	19,7	20,7	26,0	28,6	42,3	46,9	0,0	3,5	3,9	8,9	12,2	15,6	21,4	30,2	11,9	16,4
17	16,3	17,1	13,8	18,3	16,7	19,3	11,5	9,2	12,5	17,7	18,1	23,2	25,8	39,5	44,0	3,5	0,0	3,1	7,5	9,7	13,1	19,8	26,7	9,0	13,0
18	18,6	19,8	16,3	21,3	19,8	22,4	14,2	11,4	15,6	20,7	21,0	25,9	28,5	42,0	46,6	3,9	3,1	0,0	5,1	8,5	11,7	17,5	27,7	11,8	15,0
19	23,6	24,6	21,3	25,7	23,7	26,1	19,0	16,4	19,8	23,8	23,4	27,5	30,0	43,1	47,5	8,9	7,5	5,1	0,0	4,7	7,3	12,5	25,8	14,3	15,7
20	25,8	26,2	23,3	26,5	23,7	25,8	20,7	18,8	20,5	22,7	21,6	25,0	27,4	40,0	44,2	12,2	9,7	8,5	4,7	0,0	3,5	11,1	21,2	13,3	12,9
21	29,3	29,7	26,8	29,8	26,9	28,8	24,2	22,3	23,9	25,5	24,0	26,9	29,2	41,2	45,3	15,6	13,1	11,7	7,3	3,5	0,0	8,2	20,5	16,2	14,9
22	36,0	36,9	33,7	37,5	34,9	36,9	31,3	28,9	31,6	33,7	32,3	34,9	37,1	48,6	52,5	21,4	19,8	17,5	12,5	11,1	8,2	0,0	25,8	24,4	23,0
23	37,6	36,2	35,2	33,2	28,9	28,8	32,4	32,8	29,2	24,3	20,7	18,5	19,2	25,4	28,6	30,2	26,7	27,7	25,8	21,2	20,5	25,8	0,0	21,2	15,3
24	16,6	15,6	14,1	14,2	10,8	12,6	11,3	11,7	8,8	9,6	9,3	14,2	16,8	30,5	35,1	11,9	9,0	11,8	14,3	13,3	16,2	24,4	21,2	0,0	5,9
25	22,4	21,2	19,9	18,9	14,9	15,8	17,1	17,6	14,2	11,7	9,4	12,1	14,5	27,5	31,9	16,4	13,0	15,0	15,7	12,9	14,9	23,0	15,3	5,9	0,0

Tablo 2. Bingöl ili merkez ilçesi mesafe matrisi-2 (Disaster matrix of Bingöl province central district-2)

	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
1	23,5	27,4	31,0	29,1	31,1	32,5	34,7	36,5	39,8	46,8	19,5	22,2	24,8	30,3	28,2	30,7	33,7	35,7	39,1	39,0	37,3	38,5	34,9	42,2	40,5
2	21,9	25,6	29,4	27,0	28,7	30,3	32,2	34,5	37,5	44,2	19,4	21,8	24,0	29,6	28,0	30,3	33,5	35,7	39,3	39,3	37,0	37,9	33,6	41,1	39,0
3	21,1	25,1	28,5	26,9	29,1	30,3	32,8	34,3	37,7	44,9	16,9	19,6	22,2	27,7	25,6	28,1	31,1	33,1	36,6	36,5	34,7	35,9	32,3	39,6	38,0
4	19,1	22,1	26,3	23,1	24,4	26,3	27,8	30,7	33,3	39,5	19,1	20,8	22,4	27,9	27,2	29,0	32,6	35,1	38,9	39,2	36,0	36,1	31,1	38,6	36,0
5	14,8	17,8	22,0	18,8	20,2	22,0	23,6	26,3	29,1	35,6	16,2	17,4	18,6	24,0	23,7	25,4	29,0	31,7	35,5	36,0	32,3	32,1	26,8	34,4	31,7
6	15,2	17,5	21,9	18,0	18,9	21,0	22,1	25,5	27,9	33,8	18,3	19,0	19,8	25,0	25,2	26,6	30,4	33,2	37,1	37,7	33,5	32,9	27,1	34,6	31,5
7	18,4	22,5	25,8	24,4	26,8	27,9	30,5	31,7	35,2	42,8	14,1	16,8	19,4	24,9	22,9	25,3	28,3	30,4	34,0	33,9	31,9	33,1	29,6	36,8	35,3
8	19,2	23,7	26,5	25,9	28,7	29,3	32,4	32,9	36,7	44,7	13,0	16,1	19,1	24,4	21,7	24,3	27,1	28,9	32,2	32,0	30,7	32,4	29,7	36,6	35,6
9	14,9	18,8	22,4	20,4	22,6	23,8	26,2	27,8	31,1	38,4	13,2	15,2	17,2	22,7	21,5	23,6	27,0	29,4	33,1	33,3	30,5	31,0	26,6	34,1	32,0
10	10,8	13,0	17,4	13,6	14,9	16,8	18,4	21,2	23,8	30,4	15,4	15,5	15,8	20,8	21,5	22,6	26,4	29,3	33,2	34,0	29,5	28,6	22,6	30,1	27,0
11	7,9	9,4	13,9	10,0	11,4	13,1	15,0	17,5	20,3	27,2	14,8	14,1	13,5	18,1	19,5	20,2	24,1	27,1	31,0	31,9	26,9	25,6	19,2	26,7	23,4
12	9,6	8,1	12,4	6,8	6,4	8,9	9,6	13,5	15,4	21,5	19,0	17,4	15,8	19,1	21,7	21,7	25,4	28,6	32,4	33,6	27,7	25,3	18,1	25,0	20,9
13	12,0	9,7	13,7	7,7	5,8	8,9	8,2	13,3	14,4	19,6	21,6	19,9	18,1	21,0	23,8	23,6	27,3	30,5	34,2	35,6	29,4	26,7	19,2	25,8	21,3
14	24,8	21,1	23,1	18,1	14,1	16,2	11,4	17,8	14,8	11,6	34,9	32,8	30,4	31,6	35,5	34,5	37,7	40,8	44,1	45,8	38,9	34,9	27,4	31,6	26,2
15	29,2	25,3	27,0	22,3	18,3	20,1	15,2	21,0	17,4	11,4	39,4	37,2	34,6	35,6	39,6	38,5	41,5	44,5	47,7	49,5	42,5	38,2	30,9	34,4	29,0
16	18,8	23,4	24,9	26,1	29,6	29,4	33,4	32,2	36,5	45,3	9,2	12,7	16,1	20,4	16,6	19,5	21,4	22,6	25,6	25,0	24,9	27,6	26,6	32,7	32,9
17	15,5	20,0	21,5	22,9	26,5	26,1	30,2	28,7	33,1	42,0	5,7	9,2	12,6	17,0	13,4	16,2	18,5	20,0	23,1	22,8	22,0	24,4	23,2	29,4	29,4
18	17,7	22,1	23,0	25,0	28,8	28,1	32,4	30,4	34,9	44,1	7,4	10,5	13,9	17,5	13,3	16,2	17,8	18,9	21,7	21,1	21,3	24,3	24,0	29,7	30,2
19	18,4	22,3	22,2	25,4	29,3	28,2	32,8	29,8	34,3	43,8	8,6	10,4	13,2	15,2	10,5	13,3	14,0	14,5	17,0	16,2	17,2	20,9	22,0	26,7	28,1
20	15,5	18,9	18,1	21,9	26,0	24,5	29,2	25,6	30,2	39,8	7,5	7,6	9,6	10,6	5,8	8,6	9,5	10,4	13,5	13,2	12,8	16,2	17,4	22,0	23,4
21	17,2	20,1	18,5	23,1	27,1	25,2	30,1	25,8	30,4	40,0	10,7	10,0	11,1	10,2	5,7	7,6	7,0	7,2	10,0	9,7	10,0	14,0	16,8	20,2	22,4
22	25,3	27,8	25,5	30,6	34,6	32,4	37,3	32,2	36,7	46,2	18,6	18,2	19,1	17,0	13,3	14,0	11,3	8,9	8,0	6,1	12,0	17,2	22,4	23,5	27,1
23	14,3	11,3	6,9	11,7	13,8	10,6	14,5	7,7	11,4	20,6	21,0	17,5	14,1	10,6	15,4	12,9	14,5	17,1	19,7	21,6	14,4	9,7	3,8	6,7	2,9
24	7,6	12,1	14,8	14,6	17,9	18,0	21,7	21,3	25,3	33,8	5,9	6,7	8,4	14,0	13,0	14,9	18,4	21,0	24,8	25,3	21,8	22,2	18,3	25,6	24,0
25	2,7	7,1	9,0	10,0	13,8	13,1	17,4	15,9	20,1	29,1	7,7	5,4	4,1	9,2	10,0	10,9	14,7	17,7	21,6	22,5	17,7	17,2	12,5	19,9	18,1

Tablo 3. Bingöl ili merkez ilçesi mesafe matrisi-3 (Disaster matrix of Bingöl province central district-3)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
26	23,5	21,9	21,1	19,1	14,8	15,2	18,4	19,2	14,9	10,8	7,9	9,6	12,0	24,8	29,2	18,8	15,5	17,7	18,4	15,5	17,2	25,3	14,3	7,6	2,7
27	27,4	25,6	25,1	22,1	17,8	17,5	22,5	23,7	18,8	13,0	9,4	8,1	9,7	21,1	25,3	23,4	20,0	22,1	22,3	18,9	20,1	27,8	11,3	12,1	7,1
28	31,0	29,4	28,5	26,3	22,0	21,9	25,8	26,5	22,4	17,4	13,9	12,4	13,7	23,1	27,0	24,9	21,5	23,0	22,2	18,1	18,5	25,5	6,9	14,8	9,0
29	29,1	27,0	26,9	23,1	18,8	18,0	24,4	25,9	20,4	13,6	10,0	6,8	7,7	18,1	22,3	26,1	22,9	25,0	25,4	21,9	23,1	30,6	11,7	14,6	10,0
30	31,1	28,7	29,1	24,4	20,2	18,9	26,8	28,7	22,6	14,9	11,4	6,4	5,8	14,1	18,3	29,6	26,5	28,8	29,3	26,0	27,1	34,6	13,8	17,9	13,8
31	32,5	30,3	30,3	26,3	22,0	21,0	27,9	29,3	23,8	16,8	13,1	8,9	8,9	16,2	20,1	29,4	26,1	28,1	28,2	24,5	25,2	32,4	10,6	18,0	13,1
32	34,7	32,2	32,8	27,8	23,6	22,1	30,5	32,4	26,2	18,4	15,0	9,6	8,2	11,4	15,2	33,4	30,2	32,4	32,8	29,2	30,1	37,3	14,5	21,7	17,4
33	36,5	34,5	34,3	30,7	26,3	25,5	31,7	32,9	27,8	21,2	17,5	13,5	13,3	17,8	21,0	32,2	28,7	30,4	29,8	25,6	25,8	32,2	7,7	21,3	15,9
34	39,8	37,5	37,7	33,3	29,1	27,9	35,2	36,7	31,1	23,8	20,3	15,4	14,4	14,8	17,4	36,5	33,1	34,9	34,3	30,2	30,4	36,7	11,4	25,3	20,1
35	46,8	44,2	44,9	39,5	35,6	33,8	42,8	44,7	38,4	30,4	27,2	21,5	19,6	11,6	11,4	45,3	42,0	44,1	43,8	39,8	40,0	46,2	20,6	33,8	29,1
36	19,5	19,4	16,9	19,1	16,2	18,3	14,1	13,0	13,2	15,4	14,8	19,0	21,6	34,9	39,4	9,2	5,7	7,4	8,6	7,5	10,7	18,6	21,0	5,9	7,7
37	22,2	21,8	19,6	20,8	17,4	19,0	16,8	16,1	15,2	15,5	14,1	17,4	19,9	32,8	37,2	12,7	9,2	10,5	10,4	7,6	10,0	18,2	17,5	6,7	5,4
38	24,8	24,0	22,2	22,4	18,6	19,8	19,4	19,1	17,2	15,8	13,5	15,8	18,1	30,4	34,6	16,1	12,6	13,9	13,2	9,6	11,1	19,1	14,1	8,4	4,1
39	30,3	29,6	27,7	27,9	24,0	25,0	24,9	24,4	22,7	20,8	18,1	19,1	21,0	31,6	35,6	20,4	17,0	17,5	15,2	10,6	10,2	17,0	10,6	14,0	9,2
40	28,2	28,0	25,6	27,2	23,7	25,2	22,9	21,7	21,5	21,5	19,5	21,7	23,8	35,5	39,6	16,6	13,4	13,3	10,5	5,8	5,7	13,3	15,4	13,0	10,0
41	30,7	30,3	28,1	29,0	25,4	26,6	25,3	24,3	23,6	22,6	20,2	21,7	23,6	34,5	38,5	19,5	16,2	16,2	13,3	8,6	7,6	14,0	12,9	14,9	10,9
42	33,7	33,5	31,1	32,6	29,0	30,4	28,3	27,1	27,0	26,4	24,1	25,4	27,3	37,7	41,5	21,4	18,5	17,8	14,0	9,5	7,0	11,3	14,5	18,4	14,7
43	35,7	35,7	33,1	35,1	31,7	33,2	30,4	28,9	29,4	29,3	27,1	28,6	30,5	40,8	44,5	22,6	20,0	18,9	14,5	10,4	7,2	8,9	17,1	21,0	17,7
44	39,1	39,3	36,6	38,9	35,5	37,1	34,0	32,2	33,1	33,2	31,0	32,4	34,2	44,1	47,7	25,6	23,1	21,7	17,0	13,5	10,0	8,0	19,7	24,8	21,6
45	39,0	39,3	36,5	39,2	36,0	37,7	33,9	32,0	33,3	34,0	31,9	33,6	35,6	45,8	49,5	25,0	22,8	21,1	16,2	13,2	9,7	6,1	21,6	25,3	22,5
46	37,3	37,0	34,7	36,0	32,3	33,5	31,9	30,7	30,5	29,5	26,9	27,7	29,4	38,9	42,5	24,9	22,0	21,3	17,2	12,8	10,0	12,0	14,4	21,8	17,7
47	38,5	37,9	35,9	36,1	32,1	32,9	33,1	32,4	31,0	28,6	25,6	25,3	26,7	34,9	38,2	27,6	24,4	24,3	20,9	16,2	14,0	17,2	9,7	22,2	17,2
48	34,9	33,6	32,3	31,1	26,8	27,1	29,6	29,7	26,6	22,6	19,2	18,1	19,2	27,4	30,9	26,6	23,2	24,0	22,0	17,4	16,8	22,4	3,8	18,3	12,5
49	42,2	41,1	39,6	38,6	34,4	34,6	36,8	36,6	34,1	30,1	26,7	25,0	25,8	31,6	34,4	32,7	29,4	29,7	26,7	22,0	20,2	23,5	6,7	25,6	19,9
50	40,5	39,0	38,0	36,0	31,7	31,5	35,3	35,6	32,0	27,0</															

Tablo 4. Bingöl ili merkez ilçesi mesafe matrisi-4 (Disaster matrix of Bingöl province central district-4)

	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
26	0,0	4,6	7,5	7,4	11,1	10,6	14,7	13,7	17,8	26,6	10,4	8,1	6,2	10,2	12,1	12,5	16,3	19,4	23,3	24,3	19,0	17,8	12,0	19,6	17,1
27	4,6	0,0	4,6	3,0	7,1	6,1	10,4	9,3	13,2	22,0	14,7	12,0	9,3	11,2	14,5	14,0	17,6	20,8	24,5	25,9	19,7	17,2	10,2	17,5	14,0
28	7,5	4,6	0,0	6,0	9,4	6,9	11,8	7,6	12,1	21,7	15,8	12,5	9,1	8,6	12,9	11,5	14,6	17,7	21,2	22,8	16,1	13,0	5,7	12,9	9,7
29	7,4	3,0	6,0	0,0	4,0	3,5	7,4	7,6	10,8	19,2	17,7	15,0	12,3	13,9	17,5	16,7	20,2	23,3	27,0	28,4	22,0	19,0	11,5	18,3	14,1
30	11,1	7,1	9,4	4,0	0,0	3,3	3,8	7,5	9,0	16,0	21,4	19,0	16,3	17,7	21,5	20,6	24,0	27,1	30,6	32,2	25,5	22,2	14,5	20,5	15,7
31	10,6	6,1	6,9	3,5	3,3	0,0	4,9	4,6	7,4	16,0	20,8	17,9	14,9	15,4	19,5	18,3	21,5	24,6	28,0	29,6	22,8	19,2	11,5	17,3	12,5
32	14,7	10,4	11,8	7,4	3,8	4,9	0,0	7,0	6,4	12,3	25,1	22,5	19,6	20,3	24,4	23,3	26,4	29,4	32,8	34,4	27,5	23,6	16,1	21,0	15,8
33	13,7	9,3	7,6	7,6	7,5	4,6	7,0	0,0	4,6	14,3	23,1	20,0	16,7	15,5	20,2	18,4	20,9	23,8	26,8	28,7	21,5	17,2	10,0	14,0	8,8
34	17,8	13,2	12,1	10,8	9,0	7,4	6,4	4,6	0,0	9,6	27,6	24,5	21,2	20,1	24,8	23,0	25,4	28,2	31,0	32,9	25,7	21,1	14,3	17,0	11,6
35	26,6	22,0	21,7	19,2	16,0	16,0	12,3	14,3	9,6	0,0	36,7	33,8	30,6	29,8	34,4	32,6	34,9	37,6	40,3	42,3	35,0	30,2	23,8	25,3	20,2
36	10,4	14,7	15,8	17,7	21,4	20,8	25,1	23,1	27,6	36,7	0,0	3,5	6,9	11,6	8,8	11,3	14,2	16,3	20,0	20,1	17,8	19,4	17,5	23,9	23,7
37	8,1	12,0	12,5	15,0	19,0	17,9	22,5	20,0	24,5	33,8	3,5	0,0	3,5	8,3	6,4	8,5	11,8	14,3	18,2	18,7	15,3	16,3	14,0	20,6	20,2
38	6,2	9,3	9,1	12,3	16,3	14,9	19,6	16,7	21,2	30,6	6,9	3,5	0,0	5,6	6,0	6,9	10,6	13,6	17,5	18,4	13,8	13,8	10,7	17,5	16,8
39	10,2	11,2	8,6	13,9	17,7	15,4	20,3	15,5	20,1	29,8	11,6	8,3	5,6	0,0	4,8	2,9	6,4	9,5	13,3	14,6	8,8	8,3	6,8	12,4	12,9
40	12,1	14,5	12,9	17,5	21,5	19,5	24,4	20,2	24,8	34,4	8,8	6,4	6,0	4,8	0,0	2,9	5,5	8,0	11,9	12,5	9,0	11,0	11,6	16,4	17,6
41	12,5	14,0	11,5	16,7	20,6	18,3	23,3	18,4	23,0	32,6	11,3	8,5	6,9	2,9	2,9	0,0	3,8	6,9	10,8	12,0	7,0	8,2	9,2	13,5	15,0
42	16,3	17,6	14,6	20,2	24,0	21,5	26,4	20,9	25,4	34,9	14,2	11,8	10,6	6,4	5,5	3,8	0,0	3,2	7,0	8,3	3,6	7,0	11,1	13,3	16,0
43	19,4	20,8	17,7	23,3	27,1	24,6	29,4	23,8	28,2	37,6	16,3	14,3	13,6	9,5	8,0	6,9	3,2	0,0	3,9	5,1	3,3	8,4	13,9	14,7	18,3
44	23,3	24,5	21,2	27,0	30,6	28,0	32,8	26,8	31,0	40,3	20,0	18,2	17,5	13,3	11,9	10,8	7,0	3,9	0,0	2,1	5,3	10,2	16,9	16,2	20,4
45	24,3	25,9	22,8	28,4	32,2	29,6	34,4	28,7	32,9	42,3	20,1	18,7	18,4	14,6	12,5	12,0	8,3	5,1	2,1	0,0	7,2	12,2	18,7	18,3	22,5
46	19,0	19,7	16,1	22,0	25,5	22,8	27,5	21,5	25,7	35,0	17,8	15,3	13,8	8,8	9,0	7,0	3,6	3,3	5,3	7,2	0,0	5,2	11,6	11,5	15,3
47	17,8	17,2	13,0	19,0	22,2	19,2	23,6	17,2	21,1	30,2	19,4	16,3	13,8	8,3	11,0	8,2	7,0	8,4	10,2	12,2	5,2	0,0	7,6	6,4	10,2
48	12,0	10,2	5,7	11,5	14,5	11,5	16,1	10,0	14,3	23,8	17,5	14,0	10,7	6,8	11,6	9,2	11,1	13,9	16,9	18,7	11,6	7,6	0,0	7,6	6,2
49	19,6	17,5	12,9	18,3	20,5	17,3	21,0	14,0	17,0	25,3	23,9	20,6	17,5	12,4	16,4	13,5	13,3	14,7	16,2	18,3	11,5	6,4	7,6	0,0	5,4
50	17,1	14,0	9,7	14,1	15,7	12,5	15,8	8,8	11,6	20,2	23,7	20,2	16,8	12,9	17,6	15,0	16,0	18,3	20,4	22,5	15,3	10,2	6,2	5,4	0,0

Bingöl ili Merkez ilçesi köy ve mahalleleri nüfus bilgileri Türkiye İstatistik Kurumu'nun yayınlamış

4.3. Küme Kapsama Problemi (Cluster Coverage Problem)

Küme kapsama problemi genel formu baz alınarak Bingöl ili Merkez ilçesinde kurulacak taşınabilir baz istasyonlarının nereye ve ne miktarda kurulması gerektiği tespit edilecektir.

4.3.1. Varsayımlar (Assumptions)

Küme kapsama probleminin varsayımları;

- Baz istasyonu kapsama alanı 0-35km aralığındadır [29].
- Her taşınabilir baz istasyonu 1200 kullanıcıya hizmet verebilmektedir.
- Taşınabilir baz istasyonları Çok Operatörlü Radyo Erişim Ağı oluşturabilmektedir.
- Taşınabilir baz istasyonları 3 adet 120 derecelik antene sahiptir.
- Taşınabilir baz istasyonları sinyalleri çevre etkenlerinden muafır.
- A noktasındaki bir kişinin B noktasında bulunabilme ihtimalinden dolayı nüfus verilerinin toplamı kullanılmalıdır.
- Afet yönetimi kapsamında önceliğin can güvenliği olması nedeniyle problem bütçe kısıtından muafır.

4.3.2. Matematiksel model (Mathematical model)

Matematiksel modelin kurulurken küme kapsama problemi genel formuna ek kısıtlar eklenmiş ve karar

olduğu adrese dayalı nüfus kayıt sistemi sonuçları tablosuna bakılarak 171752 bulunmuştur [28].

değişkeni 0 veya tam sayı olacak şekilde değiştirilmiştir. Modelin indis, karar değişkeni ve parametreleri aşağıda verilmiştir [30].

Parametreler:

J: Bingöl ili Merkez ilçesi mahalle ve köyleri kümesi (1,...,50)

İ: J kümesinin çok boyutlu olmasını sağlayan Bingöl ili Merkez ilçesi mahalle ve köyleri kümesi (1,...,50)

R: Bir baz istasyonunun en fazla kapsama alanı (km)

UC: Bir baz istasyonunun anlık kullanıcı kapasitesi

UR: Nüfus yüzdesi

H: Aktif kullanıcı olma ihtimali (%)

P: Bingöl ili Merkez ilçesi toplam nüfusu

C(i,j): i. mahalle veya köyü j. baz istasyonunun kapsama durumu

D(i,j): i. mahalle veya köy merkezinin j. mahalle veya köy merkezine uzaklığı (km)

Karar Değişkeni:

x(j): j. mahalle veya köy merkezine kurulan taşınabilir baz istasyonu miktarı

Model:

$$Enk Z = \sum_{j \in J} x_j \quad (1)$$

$$\sum_{j \in J} C_{ij} * x_j \geq 1, \forall i \quad (2)$$

$$P * UR \leq \sum_{j \in J} x_j * UC \quad (3)$$

$$x_j \geq 0 \text{ ve tamsayı} \quad (4)$$

Alternatif Model:

$$Enk Z = \sum_{j \in J} x_j \quad (5)$$

$$\sum_{j \in J} C_{ij} * x_j \geq 1, \forall i \quad (6)$$

$$\sum_{j \in J} P_j * UR \leq \sum_{j \in J} x_j * UC \quad (7)$$

$$x_j \geq 0 \text{ ve tamsayı} \quad (8)$$

Modelin amaç fonksiyonu (1) toplam baz istasyonunun en az olmasını sağlar. Baz istasyonu kapsama kısıtı (2) tüm bölgenin kapsama alanı içerisinde olmasını sağlar. Nüfus kısıtı (3) toplam nüfus miktarının belirlenen yüzdesinin ihtimaller doğrultusunda aktif kullanıcı olduğunda açılan taşınabilir baz istasyonlarının toplam kapasitesinden küçük olmasını sağlar. İşaret kısıtı (4) açılacak baz istasyonu miktarının ondalıklı sayı ve negatif sayı olmamasını sağlar.

Mahalle/köy bazlı nüfus toplamına göre model çözülmek istenilirse alternatif model kullanılabilir. Alternatif modelin uygulama modelinden farkı nüfus kısıtının (7) toplam değer yerine mahalle bazlı tanımlanmış olmasıdır. Alternatif model kullanılmak istenirse P

parametresi P_j olarak değiştirilmeli ve her j. mahalle veya köy merkezi için nüfus değeri girilmelidir.

Model Bingöl ili Merkez ilçesinde gerçekleşme ihtimali olan afetlerin haberleşme altyapısını etkilemesi durumunda taşınabilir baz istasyonlarının tüm ilçe alanı ve nüfusunu kapsayacak şekilde nereye konumlanması gerektiğini tahmin edecektir.

4.3.3. Matematiksel modelin çözümü (Solution of the mathematical model)

Olası afet durumlarında haberleşme altyapısının kesintisiz sağlanabilmesi için geliştirilen bu model taşınabilir baz istasyonlarının nereye konumlanması gerektiğini hesaplamaktadır. Model problemin varsayımları göz önünde bulundurularak 7 senaryo ve 7 alternatif göz önünde bulundurularak çözülmüştür. Senaryo ve alternatifler sırasıyla Tablo 5 ve 6'da verilmiştir.

Tablo 5. Senaryo ve kapsama alanları (Scenario and coverage areas)

Senaryolar	Kapsama Alanı
S1	5
S2	10
S3	15
S4	20
S5	25
S6	30
S7	35

S: Senaryo

Tablo 6. Alternatif, nüfus yüzdesi ve nüfus miktarları (Alternative, population percentage and population quantities)

Alternatifler	Nüfus Yüzdesi	Nüfus Miktarı
A1	25	42938
A2	50	85876
A3	75	128814
A4	80	137402
A5	85	145990
A6	90	154577
A7	95	163165

A: Alternatif

Tablo 5'te problemde kullanılan senaryolara göre taşınabilir baz istasyonu kapsama alanları verilmiştir. Bu kapsama alanı modelin çözümünde kullanılacaktır. Tablo 6'da ise toplam nüfus miktarının belirli yüzdeleri alınarak alternatifler oluşturulmuştur. Alternatiflerin oluşturduğu nüfus miktarları modelin çözümünde

kullanılacaktır. Senaryo, alternatif ve varsayımların olmadığı durumda kapsama alanının 35 km (maksimum) aktif kullanıcı sayısının belirsiz olduğu düşünülerek model çözülmüşse Oğuldere merkezine kurulacak baz istasyonu tüm ilçeyi kapsamaktadır.

Baz istasyonlarının çekim alanı dış etkenlere göre azalabilmektedir.

Bu nedenle 7 senaryo göz önünde bulundurulduğunda çözüm sonuçları Tablo 7’de verilmiştir

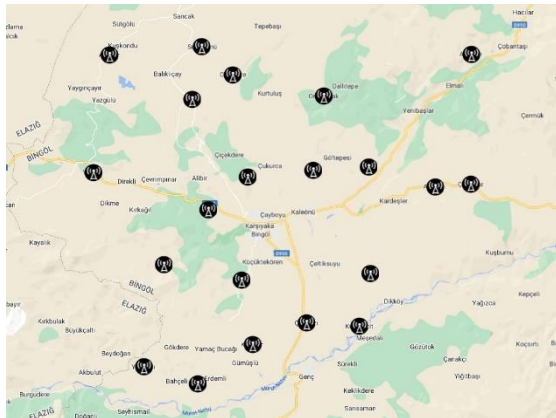
Tablo 7. Senaryolara göre çözüm tablosu (Solution table according to scenarios)

Senaryolar	Baz İstasyonu Miktarı	Kurulacak Yerler
S1	21	Arıcılar, Karapınar, Oğuldere, Ortaçanak, Alatepe, Yolçatı, Aşağıköy, Yumaklı, Yeniköy, Kartal, Sancaklı, Gözer, Köklü, Ağaçeli, Çavuşlar, Topalan, Akdurmuş, Kıran, Kılçadır, Çayağzı ve Kumgeçit
S2	7	Balıklıçay, Kurtuluş, Alatepe, Balpınar, Ağaçeli, Bilaloğlu ve Çeltiksuyu
S3	4	Uzunsavat, Aşağıköy, Ekinyolu ve Çavuşlar
S4	3	Kurtuluş, Dallitepe ve Kurudere
S5	2	İçpınar ve Bilaloğlu
S6	1	Çukurca
S7	1	Oğuldere

S: Senaryo

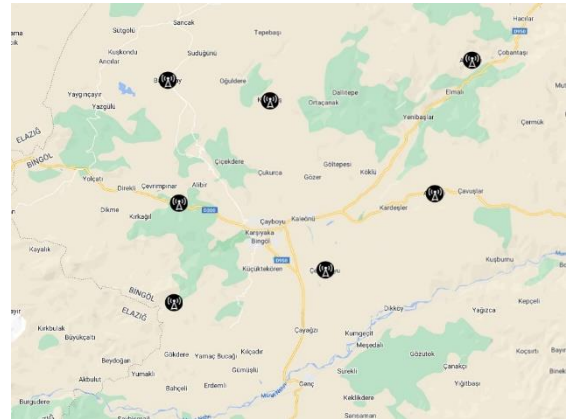
Tablo 7’de belirtilen miktarda baz istasyonu ilgili yerlere kurulduğunda yerleşim planı senaryo 1 için Şekil 3’te, senaryo 2 için Şekil 4’te, senaryo 3 için Şekil 5’te, senaryo 4 için Şekil 6’da, senaryo 5 için Şekil 7’de, senaryo 6 için Şekil 8’de ve senaryo 7 için Şekil 9’da verilmiştir.

Şekil 4’te görüleceği üzere 21 adet taşınabilir baz istasyonu 5 km kapsama gücü olduğu varsayılarak sırasıyla Arıcılar, Karapınar, Oğuldere, Ortaçanak, Alatepe, Yolçatı, Aşağıköy, Yumaklı, Yeniköy, Kartal, Sancaklı, Gözer, Köklü, Ağaçeli, Çavuşlar, Topalan, Akdurmuş, Kıran, Kılçadır, Çayağzı ve Kumgeçit noktalarına kurulmuştur.



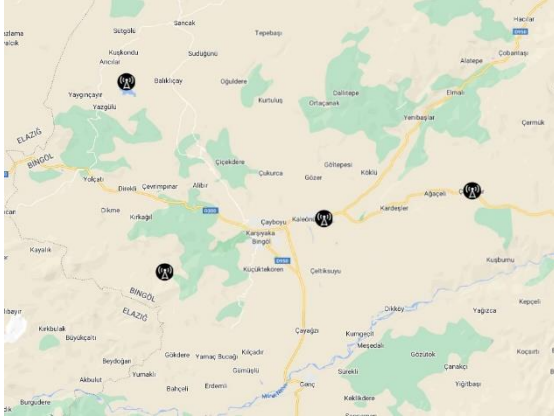
Şekil 4. Senaryo 1 taşınabilir baz istasyonu yerleşim planı (Scenario 1 portable base station layout)

Şekil 5’te görüleceği üzere 7 adet taşınabilir baz istasyonu 10 km kapsama gücü olduğu varsayılarak sırasıyla Balıklıçay, Kurtuluş, Alatepe, Balpınar, Ağaçeli, Bilaloğlu ve Çeltiksuyu noktalarına kurulmuştur.



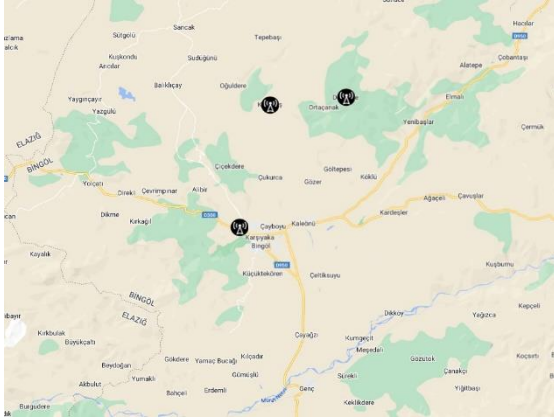
Şekil 5. Senaryo 2 taşınabilir baz istasyonu yerleşim planı (Scenario 2 portable base station layout)

Şekil 6’da görüleceği üzere 4 adet taşınabilir baz istasyonu 15 km kapsama gücü olduğu varsayılarak sırasıyla Uzunsavat, Aşağıköy, Ekinyolu ve Çavuşlar noktalarına kurulmuştur.



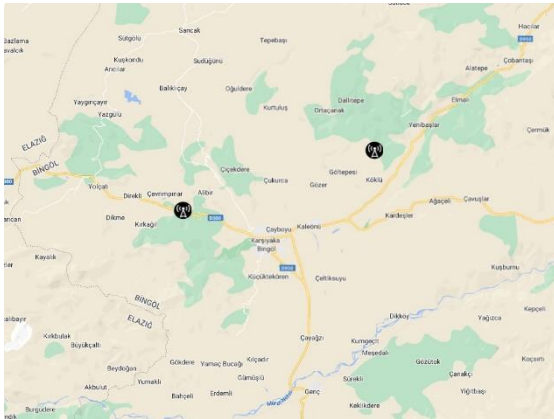
Şekil 6. Senaryo 3 taşınabilir baz istasyonu yerleşim planı (Scenario 3 portable base station layout plan)

Şekil 7’de görüleceği üzere 3 adet taşınabilir baz istasyonu 20 km kapsama gücü olduğu varsayılarak sırasıyla Kurtuluş, Dallıtepe ve Kurudere noktalarına kurulmuştur.



Şekil 7. Senaryo 4 taşınabilir baz istasyonu yerleşim planı (Scenario 4 portable base station layout)

Şekil 8’de görüleceği üzere 2 adet taşınabilir baz istasyonu 25 km kapsama gücü olduğu varsayılarak sırasıyla İçpınar ve Bilaloğlu noktalarına kurulmuştur.



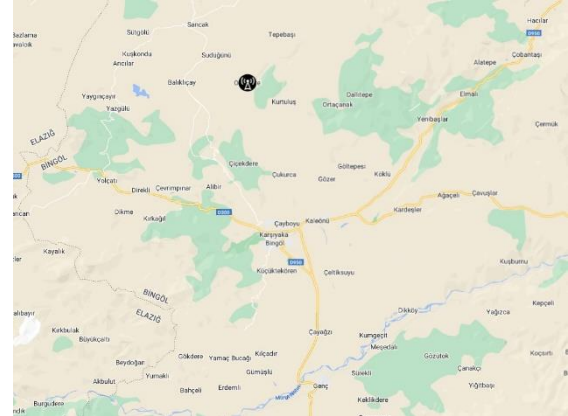
Şekil 8. Senaryo 5 taşınabilir baz istasyonu yerleşim planı (Scenario 5 portable base station layout)

Şekil 9’da görüleceği üzere 1 adet taşınabilir baz istasyonu 30 km kapsama gücü olduğu varsayılarak Çukurca noktasına kurulmuştur.



Şekil 9. Senaryo 6 taşınabilir baz istasyonu yerleşim planı (Scenario 6 portable base station layout)

Şekil 10’da görüleceği üzere 1 adet taşınabilir baz istasyonu 35 km kapsama gücü olduğu varsayılarak Oğuldere noktasına kurulmuştur.



Şekil 10. Senaryo 7 taşınabilir baz istasyonu yerleşim planı (Scenario 7 portable base station layout)

Modele nüfus kısıtı ve parametreleri de dahil edilerek toplam gereken baz istasyonu miktarının 7 senaryo ve 7 alternatif durum olduğunda çözüm tablosu Tablo 8’de verilmiştir. Tablo 8’de satır değerlerinin aynı çıkmasının nedeni, Tablo 7’deki baz istasyonu miktarlarından fazla olmasıdır. Alternatifler dahil edildiğinde baz istasyonu yerleşimi Tablo 7’de belirtildiği gibidir fakat kurulacak miktarlar farklıdır.

Tablo 8. Alternatif ve senaryolara göre çözüm tablosu (Solution table by alternative and scenarios)

Alternatifler	Senaryolar						
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
A1	36	36	36	36	36	36	36
A2	72	72	72	72	72	72	72
A3	108	108	108	108	108	108	108
A4	115	115	115	115	115	115	115
A5	122	122	122	122	122	122	122
A6	129	129	129	129	129	129	129
A7	136	136	136	136	136	136	136

S: Senaryo A: Alternatif

5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME (CONCLUSION AND EVALUATION)

Bingöl ili aktif fay hattına sahip ve yakın tarihte deprem potansiyeli bulunan bir ildir. Bu çalışma Bingöl ili Merkez ilçesinde olası afet durumlarında haberleşme altyapısının hasar alması veya elektrik kesintisinden kaynaklı çalışmaması durumlarında kullanılacak olan taşınabilir baz istasyonlarının yer seçimi problemini ele almıştır. Problem için küme kapsama modeli uygun çözüm yöntemi olarak belirlenmiş ve iki aşamada çözülmüştür. İlk aşamada haberleşmenin sağlanabilmesi için maliyet, kullanıcı sayısı gibi faktörler dahil edilmeden Bingöl ili Merkez ilçesi için taşınabilir baz istasyonunun kaç adet ve nereye kurulması gerektiğini belirleyen küme kapsama modeli oluşturulmuştur. İkinci aşamada ise problem senaryolara göre ayrı ayrı çözümlenerek model geliştirilmeye çalışılmıştır. Geliştirilen model, yeni kısıt ve parametreler eklenerek sırasıyla baz istasyonlarının kapsama alanının 0-35 km aralığında olması, her baz istasyonunun 1200 kişilik kapasiteye sahip olması, bir baz istasyonu üzerinden tüm operatörlere hizmet verilebilmesi, baz istasyonlarının dairesel çekim alanı oluşturacak antene sahip olması, çevre etkenlerinden muaf olması ve önceliğin can güvenliği olması nedeniyle bütçe kısıtından muaf tutulması varsayımlarıyla çözülmüştür. Çözüm yapılırken 7 senaryo ve 7 alternatif kullanılarak toplamda 56 uygulama yapılmıştır. Model uygulaması GAMS Studio programı 1.13.5 sürümü kullanılarak CPLEX çözücüsü kullanılarak çözdürülmüştür. Yapılan uygulamalar sonucunda modelin mevcut problemi çözebileceği görülmüştür. Problem varsayımları ve verileriyle uygulama yapıldığında Bingöl ili Merkez ilçesini tamamen kapsayacak şekilde baz istasyonu planlaması yapılabilmektedir. Eklenen nüfus kısıtlarıyla belirli oranlarda kullanıcı talebini karşılamak için ne kadar baz istasyonu kurulması gerektiği hesaplanmıştır. Mevcut model afet yönetimi kapsamında planlama amacıyla kullanılmıştır. Fakat geliştirilebilir olduğu öngörülmektedir. Baz istasyonları çekim alanlarının fiziksel nedenlerden etkilenmesi nedeniyle değişkenlik gösterebilmektedir. Gelecek çalışmalarda baz istasyonu çekim alanı hesaplanabiliyorsa modeldeki R

parametresinin sabit değer yerine yerleştirilmesi planlanan baz istasyonlarının konumuna göre çekim alanı değeri girilmelidir. Modelde nüfus toplamı üzerinden uygulama yapılmıştır. Bu nedenle modelin önceliği kapsama alanı oluşturmak ve nüfus toplamının belirtilen orandaki talebini karşılamaktır. Ancak mahalle bazlı nüfus miktarı toplamı kullanılmak istenilirse çalışmada bulunan alternatif model kullanılmalıdır. Toplumun tamamını fiziksel, ekonomik ve sosyal olarak olumsuz etkileyen afetlerin günümüzde afet yönetimi kapsamında planlaması büyük bir ihtiyaçtır. Özellikle Türkiye’de ani gelişen ve büyük can kaybına sebep olan deprem afetinin haberleşme altyapısının işlevsiz hale gelmesi durumunda etkisinin arttığı görülmektedir. Afet yönetimi kapsamında haberleşme altyapısı üzerine bir model geliştirilen bu çalışma hem literatüre önemli katkılar sağlayacak hem de incelemelerimize göre ilk olacaktır.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı kapsamında 1919B012312310 başvuru numarasıyla desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı TÜBİTAK’a teşekkür ederiz.

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal – özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS CONTRIBUTIONS)

Tamer EREN: Araştırmanın doğru bir şekilde ilerletilmesi, süreç takibinin yapılması, yöntemlerin uygunluğunun incelenmesi, uygulama sürecinin tutarlılığının takibi, araştırma sonuçları ve genel makalenin incelenmesi.

Yusuf YAZAR: Bilimsel alanda araştırma yapılması, araştırmaya uygun yöntemlerin belirlenmesi, belirlenen yöntemin uygulanması ve yorumlanması, uygulama yöntemlerinin geliştirilmesi ve makalenin oluşturulması.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Kara, M., Eren, T., “Hasar Tespit Çalışmalarında Görevlendirilebilecek Dronların Bulanık Karar Verme Yöntemleri ile Değerlendirilmesi”, *Politeknik Dergisi*, 1-1; (2023).
- [2] T.C. Cumhurbaşkanlığı S.B.B., “Kahramanmaraş ve Hatay Depremleri Raporu”, 6-8, (2023).
- [3] BBC News Türkçe, “Türkiye’de GSM operatörleri depreme ne kadar hazırlıklı?”, (2023), (Erişim Tarihi: 23/07/2023, <https://www.bbc.com/turkce/articles/czvy09w0zgx0>).
- [4] Danışan, T., Eren, T., “AFAD Akreditasyon Sistemi’ne Başvuru Yapan Bir Kuruluşta Kentsel Arama Kurtarma Ekibi için Personel Seçimi”, *Politeknik Dergisi*, 1-1; (2023).
- [5] Anadolu Ajansı, “Milli Mobil Baz İstasyonları Deprem Bölgesinde Hizmet Veriyor” (2023), (Erişim Tarihi: 23/07/2023, <https://www.aa.com.tr/tr/asrin-felaketi/milli-mobil-baz-istasyonlari-deprem-bolgesinde-hizmet-veriyor/2816141>).
- [6] Sezer, L. İ., “Karlıova (Bingöl) Yöresinin Depremselliği”, *Ege Coğrafya Dergisi*, 17(1-2); 35-50, (2008).
- [7] Çiçekdağı, H.İ., Kırış, Ş., “Afet İstasyonu ve Toplanma Merkezi İçin Yer Seçimi ve Bir Uygulama”, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 28; 67-76, (2012).
- [8] Aydın, H., Ayvaz, B., Küçükaşçı, E. Ş., “Afet Yönetiminde Lojistik Depo Seçimi Problemi: Maltepe
- [9] Ağdaş, M., Bali, Ö., Balı, H., “Afet Lojistiği Kapsamında Dağıtım Merkezi İçin Yer Seçimi: SMAA-2 Tekniği ile Bir Uygulama”, *Beykoz Akademi Dergisi*, 2(1); 75-94, (2014).
- [10] Durdağ, C., Ergenecoşar, S., Kınık, Z., Yılmaz, K.K., “Afet Bakış Açısıyla Lojistik Depo Yeri Seçimi: İstanbul Beykoz İlçesi Üzerine Bir Uygulama”, *Beykoz Akademi Dergisi*, 9(1); 98-107, (2021).
- [11] Ergün, M., Korucuk, S., Memiş, S., “Sürdürülebilir Afet Lojistiğine Yönelik İdeal Afet Depo Yeri Seçimi: Giresun İli Örneği”, *Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 6(1); 144-165, (2020).
- [12] Kaya, S., “Afetlerde Geçici Tesis Yeri Seçimi: Üsküdar İlçesi İçin Bir Uygulama”, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2018).
- [13] Abbasoğlu, E., “Deprem Riskinin Afet Lojistiği Depo Yerleşimine Etkisi: Bursa İli Örneği”, *Yüksek Lisans Tezi*, Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2019).
- [14] Tezcan, B., Alakaş, H. M., Özcan, E., Eren, T., “Afet Sonrası Geçici Depo Yeri Seçimi ve Çok Araçlı Araç Rotalama Uygulaması: Kırıkkale İlinde Bir Uygulama”, *Politeknik Dergisi*, 26(1); 13-27, (2023).
- [15] Macit, İ., Oğulata, S. N., Alparslan, Z. N., “Kentsel Arama Kurtarma Birliklerinin Yerleşim Yeri Problemi Çözümünde Matematiksel Programlama ve Simülasyon Yaklaşımları: İstanbul Örneği”, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33(1); 55-66, (2018).
- [16] Tezcan, B., Avşar Özcan, N., Özcan, E., Eren, T., “Deprem Sonrası Mobil Hizmet Tesisi Seçim Problemi İçin Çok Kriterli Bir Karar Modeli Önerisi”, *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 12(2); 753-763, (2020).
- [17] Peker, İ., Korucuk, S., Ulutaş, Ş., Okatan, B. S., Yaşar, F., “Afet Lojistiği Kapsamında En Uygun Dağıtım Merkez Yerinin AHS-VIKOR Bütünleşik Yöntemi ile Belirlenmesi: Erzincan İli Örneği”, *Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 14(1); 82-103, (2016).
- [18] Şekkel, Z. H., “Afet ve Acil Durum Lojistiği Kapsamında Acil Durum Toplanma Merkezi Seçiminde AHP Yöntemi: Kahramanmaraş On İki Şubat Belediyesinde Bir Uygulama”, *İnsan ve Toplum Bilimleri Araştırmaları Dergisi*, 9(2); 903-930, (2020).
- [19] Ömürgönülşen, M., Menten, C., “Bulanık TOPSIS Yöntemi ile Ankara İli İçin Olası Afet
- [20] Belirlenmesi: İzmir/Seferihisar Örneği”, *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 8(1); 87-102, (2022).
- [21] BBC News Türkçe, “Türkiye’de GSM operatörleri depreme ne kadar hazırlıklı?”, (2023), (Erişim Tarihi: 23/07/2023, <https://www.bbc.com/turkce/articles/czvy09w0zgx0>).
- [22] Erdem, İ., “Dünyada ve Türkiye’de Afet Yönetimi”, *Erdem Yayınları*, İstanbul, 28-38, (2009).
- [23] Farahani, R. Z., Asgari, N., Heidari, N., Hosseini, M., Goh, M., “Covering problems in facility location: A review”, *Computers and Industrial Engineering*, 62(1); 368-407, (2012).
- [24] Church, R., ReVelle, C., “The maximal covering location problem”, *Papers of the Regional Science Association*, 32(1); 101-118, (1974).
- [25] Harita Genel Müdürlüğü, “Bingöl Mülki İdare İl Haritası”, (2022), (Erişim Tarihi: 23/05/2023, <https://www.harita.gov.tr/urun/bingol-mulk-idare-il-haritasi/439>).
- [26] Google LLC, Google Haritalar, (2023), (Erişim Tarihi: 23/05/2023, <https://www.google.com/maps>).
- [27] Türkiye İstatistik Kurumu, “Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Sonuçları”, (2022), (Erişim Tarihi: 23/05/2023, <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayali-Nufus-Kayit-Sistemi-Sonuculari-2022-49685>).
- [28] Bilgi Teknolojileri ve Haberleşme Kurumu, “Baz İstasyonları ve Sağlık”, (Erişim Tarihi: 23/05/2023, <https://www.bthk.org.tr/tuketici/baz-istasyonlari-ve-saglik>).
- [29] Church, R., ReVelle, C., “The maximal covering location problem”, *Papers of the Regional Science Association*, 32(1); 101-118, (1974).