



## Assignment and Scheduling of Search and Rescue Teams: Example of Possible Bingöl Earthquake

Elif Akdas<sup>1</sup> and Tamer Eren<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Kırıkkale University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Industrial Engineering, 71450 Kırıkkale, Türkiye  
ORCID: 0000-0002-3951-3407, 0000-0001-5282-3138

### Keywords

Disaster management, Staff scheduling, Search and rescue teams, Earthquake, Goal programming

### Highlights

- \* Possible Bingöl earthquake
- \* Sending search and rescue teams to disaster areas
- \* Personnel scheduling in disaster management

### Aim

This study deals with the assignment and scheduling problem of search and rescue teams in the expected Bingöl earthquake

### Location

Bingöl Province

### Methods

Goal programming method, which is one of the multi-criteria decision making techniques was used

### Results

According to the solution results obtained, it is seen that all constraints are satisfied. Assignment and scheduling of teams to the disaster-affected regions were carried out

### Supporting Institutions

--

### Financial Disclosure

Kırıkkale University Department of Scientific Research Projects, Project Number: 2023/010

### Peer-review

Externally peer-reviewed

### Conflict of Interest

The authors have no conflicts of interest to declare

### Manuscript

Research Article

Received: 26.04.2023

Revised: 26.07.2023

Accepted: 26.07.2023

Printed: 30.12.2023

### DOI

10.46464/tdad.1288213



Content of this journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International Non-Commercial License

### Corresponding Author

Tamer Eren

Email: tamereren@gmail.com

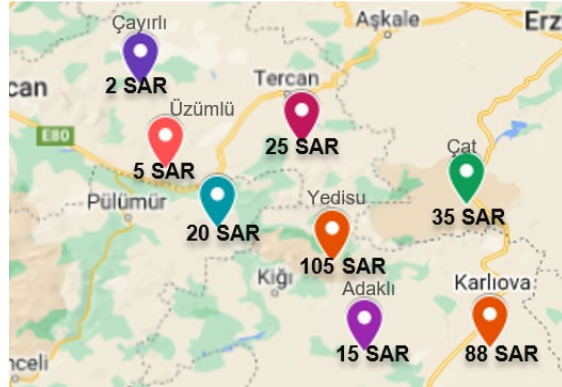


Figure  
Assignment and schedule of search and rescue teams (SAR)

### How to cite:

Akdas E., Eren T., 2023. Assignment and Scheduling of Search and Rescue Teams: Example of Possible Bingöl Earthquake, Turk Deprem Arastirma Dergisi 5(2), 128-147, <https://doi.org/10.46464/tdad.1288213>



## Arama Kurtarma Ekiplerinin Atanması: Olası Bingöl Depremi Örneği

Elif Akdaş<sup>1</sup> ve Tamer Eren<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 71450 Kırıkkale, Türkiye  
ORCID: 0000-0002-3951-3407, 0000-0001-5282-3138

### ÖZET

Afetler meydana geldikten sonra ilk yapılacak faaliyetlerden en önemlisi arama kurtarma çalışmalarını yürüten arama kurtarma ekiplerinin afetten etkilenen bölgelere sevk edilmesidir. 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremlerinde de arama kurtarma ekiplerinin en kısa sürede bölgelere sevk edilmesinin önemine tanıklık edilmiştir. Bu çalışmada, hangi ekiplerin hangi deprem bölgelerine sevk edilmesi gerektiğine yanıt aranmaktadır. Birinci derecede deprem bölgesi olan Bingöl ve civarında 7.2 büyüklüğünde bir deprem senaryosu ele alınmıştır. 320 arama kurtarma ekibi ve 4 ilde 8 afet bölgesinin olduğu problemde hedef programlama yöntemi ile çözüme gidilmiştir. Elde edilen sonuçlara bakıldığında yıkık binaların bulunduğu 8 afet bölgesine hedeflenen sayıda arama kurtarma ekiplerinin en iyi şekilde atanması gerçekleşmiştir. Çalışmanın devamında ekip sayıları değiştirilerek ve sapma değişkenleri ağırlıklarla çarpılarak matematiksel model geliştirilmiştir.

### Anahtar kelimeler

Afet yönetimi, Personel atama, Arama kurtarma ekipleri, Deprem, Hedef programlama

### Öne Çıkanlar

- \* Olası Bingöl depremi
- \* Arama kurtarma ekiplerinin afet bölgelerine sevk edilmesi
- \* Afet yönetiminde personel atama

### Makale

Araştırma Makalesi

Geliş: 26.04.2023

Düzeltilme: 26.07.2023

Kabul: 26.07.2023

Basım: 30.12.2023

### DOI

10.46464/tdad.1288213

### Sorumlu yazar

Tamer Eren

Eposta:

temereren@gmail.com

## Assignment and Scheduling of Search and Rescue Teams: Example of Possible Bingöl Earthquake

Elif Akdas<sup>1</sup> and Tamer Eren<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Kırıkkale University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Industrial Engineering, 71450 Kırıkkale, Türkiye  
ORCID: 0000-0002-3951-3407, 0000-0001-5282-3138

### ABSTRACT

The most important of the first activities to be carried out after disasters occur is the dispatch of search and rescue teams carrying out search and rescue activities to the affected areas. The importance of sending search and rescue teams to the regions as soon as possible was witnessed in the Kahramanmaraş earthquakes of February 6, 2023. In this study, answers are sought for which teams should be sent to which earthquake zones. An earthquake scenario with a magnitude of 7.2 in and around Bingöl, which is a first degree earthquake zone, has been discussed. The problem with 320 search and rescue teams and 8 disaster zones in 4 provinces was solved by goal programming method. Considering the results obtained, the targeted number of search and rescue teams was assigned to 8 disaster areas with demolished buildings in the best way. In the continuation of the study, a mathematical model was developed by changing the number of teams and multiplying the deviation variables with the weights.

### Keywords

Disaster management, Staff scheduling, Search and rescue teams, Earthquake, Goal programming

### Highlights

- \* Possible Bingöl earthquake
- \* Sending search and rescue teams to disaster areas
- \* Personnel scheduling in disaster management

### Manuscript

Research Article

Received: 26.04.2023

Revised: 26.07.2023

Accepted: 26.07.2023

Printed: 30.12.2023

### DOI

10.46464/tdad.1288213

### Corresponding Author

Tamer Eren

Email:

tamereren@gmail.com

## 1. GİRİŞ

Afetler, toplumun büyük bir kısmını veya tamamını etkileyerek insan faaliyetlerini kesintiye uğratan olaylardır (Karaman 2017). Deprem, sel, tsunami, heyelan dahil olmak üzere doğal afetler büyük hasara neden olmaktadır. Bu afetler dünyanın her yerinde sıklıkla meydana gelmekte ve milyarlarca insanı tehdit etmeye devam etmektedir (Wex ve diğ. 2013). Ülkemizde sıklıkla meydana gelen, büyük sorunlara yol açan ayrıca birçok mal ve can kaybına sebep olan deprem, afet türlerinden biridir. Türkiye Afrika ve Arabistan levhaları ile Avrasya levhaları arasında yer almaktadır. Bu iki levhanın birbirine yaklaşması sonucunda depremler meydana gelmektedir.

Türkiye'nin yaklaşık %90'ı deprem bölgesidir. Türkiye'de 1976 yılından itibaren büyük depremler gerçekleşmiştir. Örneğin, 1939 yılında 7.9 büyüklüğünde Erzincan Depremi, 1976 yılında 7.5 büyüklüğünde Van Muradiye'de Çaldıran Depremi meydana gelmiştir. 1999 yılında birkaç ay arayla büyük kayıplara neden olan 7.4 büyüklüğünde Gölcük Depremi ve 7.2 büyüklüğünde Düzce Depremi yaşanmıştır. 2003 yılında 6.4 büyüklüğünde Bingöl Depremi, 2011 yılında 7.2 büyüklüğünde Van Depremi, 2020 yılında 6.8 büyüklüğünde Elazığ Depremi ve 2020 yılında 6.6 büyüklüğünde İzmir Seferihisar Depremi olmuştur. Bu büyük depremlerin kayıpları çok fazla olmuştur. En yakın zamanda tanıklık ettiğimiz 11 ilin etkilendiği 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremleri aynı gün içerisinde 7.7 ve 7.6 büyüklüğünde meydana gelerek çok fazla yıkıma ve on binlerce kayba neden olmuştur. Aynı ay içerisinde bir deprem de yine Kahramanmaraş depreminde önemli ölçüde etkilenen Hatay'da gerçekleşmiştir.

Beklenmedik bir anda meydana gelen ve önlenemeyen afetlerin üstesinden en az kayıpla gelebilmek için afet her aşamasında iyi bir şekilde yönetilmelidir. Afet yönetimi konusu afet öncesi hazırlık, afet esnasında müdahale ve afet sonrasında iyileştirme aşamalarından oluşmaktadır. Hazırlık çalışmaları olarak erken uyarı sistemleri, risk azaltma planları, afet ve acil durumlar için eğitim ve benzetim çalışmaları yapılmalıdır. Afet esnasında arama kurtarma ve ilk yardım çalışmalarının başlaması, tahliye işlemleri, güvenlik ve çevre sağlığı önlemleri, iletişim ve ulaşım olanaklarını yeniden sağlama, ikincil afetleri önleme vb. çalışmalarını kapsamaktadır. Afet sonrasında oluşabilecek diğer tehlike ve risklerden insanların canlarını ve mallarını koruma, yeni bir yaşam çevresi oluşturma, en kısa ve en akıcı yollarla afetzedelerin temel gereksinimlerini sağlama vb. çalışmaları kapsamaktadır (Erkal ve Değerliuyurt 2009).

Afet yönetimi çeşitli ve çok büyük zorlukları ortaya çıkarmaktadır. Beklenmedik bir anda ortaya çıkan afetlerde büyük ölçekli etki, büyük hasar, kaynak kıtlığı, belirsizlik, zaman baskısı, alt yapının kesintiye uğraması ve kaos varlığında zamanında bilgi akışı ile başa çıkmak zorundadır (Chen ve diğ. 2008). Afet müdahalesi sırasında kurtarma birimlerinin koordinasyonu, bu gelişmeden yararlanabilecek birçok alandan biridir (Wex ve diğ. 2013).

Acil karar verme ve bertaraf, uluslararası toplumun karşı karşıya olduğu önemli zorluklardır. Acil durum kayıplarını en aza indirmek ve olası ikincil felaketleri azaltmak için, acil durumlarda da kurtarma için kurtarıcıların afet eğilimli bölgelere en kısa sürede gönderilmesi gerekmektedir. Acil durumların ani, belirsiz ve yıkıcı olması nedeniyle, arama kurtarma ekipleri genellikle dağınık afet konumları, baskı süresi ve birçok görev zorlukları ile karşı karşıya kalmaktadırlar. Arama kurtarma gerektiren alanlara hızlı bir şekilde ekiplerin gönderilmesi için bu durum etkili bir organize gerektirmektedir (Fei ve Wang 2022).

Deprem gibi doğal afetlerde sıklıkla rastladığımız ve sabit olarak bildiğimiz yerde duran nesnelerin, tavan ve yan duvardan ayrılan parçalarının çökmesi ile göçükler meydana gelmektedir. Göçüklerin meydana gelmesiyle birlikte sıralı ve sürekli bir şekilde arama ve kurtarma çalışmaları hemen başlamaktadır. Çevreden geçen vatandaşların yardım etmek amacıyla, ivedilikle afet bölgesine intikal etmesiyle birlikte kurtarma çalışmaları hemen başlamaktadır ve dakikalar içinde de yerel afet ve acil durum hizmetleri gerekli çalışmalarda

bulunmaktadır. Arama kurtarma çalışmaları, ulusal veya bölgesel kurtarma kaynaklarının afet bölgesine ulaşması ile devam etmektedir (INSARAG 2020).

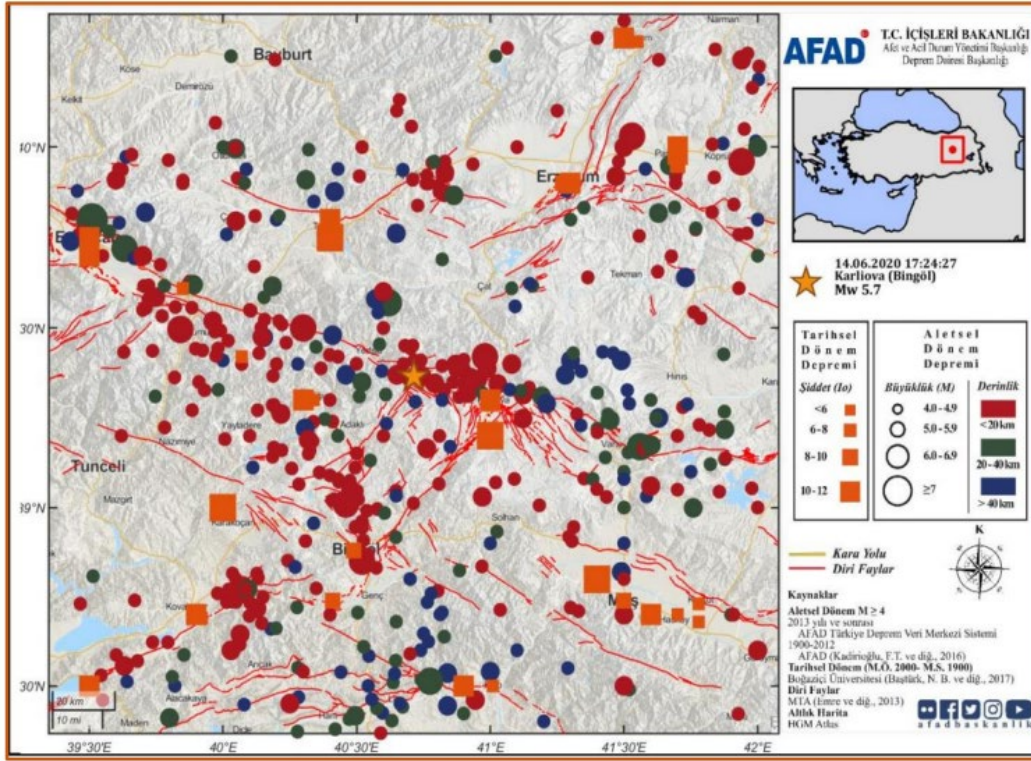
Bu çalışma, Bingöl merkezli Yedisu segmentinde meydana gelecek bir deprem senaryosunu ele almaktadır. Çoklu afet bölgesinin olduğu bir depremde hangi arama kurtarma ekiplerinin, hangi afet bölgesine gönderilmesi zor bir karardır. Bu kararı en kısa sürede verebilmek adına hedef programlama yöntemi ile bir matematiksel model oluşturulmuş ve çözüm sonuçları değerlendirilmiştir. İkinci bölümde Bingöl merkezli deprem ile ilgili olası durum incelenmiştir. Üçüncü bölümde literatür taraması bulunmaktadır. Dördüncü bölümde uygulama ele alınarak problem tanımı, verilerin toplanması, depremden etkilenen bölgelerin ve arama kurtarma ekiplerinin belirlenmesi, matematiksel modelin kurulması ve çözüm sonuçları değerlendirilmiş, ayrıca her bir sapma değişkenine farklı ağırlıklar belirleyerek ve ekip sayıları değiştirilerek matematiksel modelin geliştirilmesine yer verilmiştir. Beşinci bölümde sonuç ve öneriler tartışılmıştır.

## 2. BİNGÖL MERKEZLİ DEPREM İLE İLGİLİ OLASI DURUMUN İNCELENMESİ

Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü vasıtasıyla hazırlanan ve ülkemizdeki diri fayları gösteren haritaya göre büyüklüğü 5.5 ve üstünde bir deprem üretebilecek 485 diri fay bulunmaktadır. Fay üstünde bulunan 45 il ve 110 ilçe bulunmaktadır. En fazla diri fay hattı bulunan ikinci il Bingöl İlidir ve fay uzunluğu 1071 km olarak hesaplanmaktadır. Bingöl'de Merkez, Karlıova, Adaklı, Kiğı, Genç, Solhan, Yayladere ve Yedisu olmak üzere 8 ilçe bulunmaktadır. En küçük ilçenin Yayladere olduğu bilinmektedir (T.C. Bingöl Valiliği 2023, Nüfusüne 2023). Bingöl İli çevresinde Elazığ, Erzurum, Erzincan, Tunceli, Diyarbakır ve Muş bulunmaktadır. Bingöl'de geçmiş yıllarda meydana gelen ve çevredeki illeri de etkileyen depremler oldukça büyüktür.

Olası bir deprem durumunda Bingöl, Bitlis, Batman, Bayburt, Diyarbakır, Elazığ, Erzurum, Erzincan, Gümüşhane, Muş ve Tunceli olmak üzere 11 ilin etkileneceği öngörülmektedir. Bingöl İli, aktif olan DAFZ (Doğu Anadolu Fay Zonu) ve KAFZ (Kuzey Anadolu Fay Zonu) kesişme noktasında konumlanmaktadır. AFAD'ın en son yayımladığı deprem tehlike haritasında Bingöl yüksek tehlike bölgesidir (Doğruyol 2019). Bingöl'ün Karlıova ilçesinde meydana gelen depremler tektonik depremlerdir. Karlıova iki fay zonunun kesiştiği ilçedir ve Avrasya ile Arap levhalarının sıkışma bölgesindedir (Sezer 2008). KAFZ üzerinde Erzincan-Karlıova arasında Yedisu segmenti ve DAFZ üzerinde Bingöl-Karlıova arasında Göynük segmenti yer almaktadır. Riskli bir deprem bölgesinde konumlandığından dolayı bu ilimiz, yerbilim insanlarının son yıllarda özellikle dikkat çektiği bir ildir. İl ve çevresinde son yüzyılda çok sayıda yıkıcı depremler meydana gelmiştir. 1900 yılından itibaren günümüze kadar bu çevrede 489 adet deprem meydana gelmiştir ve en büyük deprem 7.9 olarak kayıtlara geçmiştir. AFAD tarafından hazırlanan Bingöl İl Afet Risk Planlaması kılavuzunda geçmişten günümüze kadar meydana gelen depremler Şekil 1'deki gibi görselleştirilmiştir (Bingöl AFAD 2021).

En son 23 Temmuz 1784 yılında 7.4 büyüklüğünde deprem üreten Yedisu segmentinde 239 yıldır bir deprem meydana gelmemiştir. 1939 ve 1992 yıllarında Erzincan ilinde kırılan fay parçalarının aksine Yedisu segmenti kırılmamış ve üzerindeki enerji daha çok artmıştır. 2005 yılında meydana gelen Karlıova depremleri de Yedisu segmentindeki enerjiyi arttırmıştır (Besi 2009). Tekerrür (tekrarlama) periyodunun 200-250 yıl arasında olduğunu bilindiğine göre bu periyod dolduğunda yaklaşık olarak aynı büyüklükte bir depremin bu bölgede olması beklenmektedir. Özetle, yakın zamanda Yedisu segmentinde olacak bir depremde Erzincan-Karlıova arasında ve Göynük segmentinde olacak bir depremde ise Karlıova-Göynük-Bingöl arasında bir hareketlilik olacağı öngörülmektedir.



Şekil 1: Bingöl Çevresinde Depremler  
Figure 1: Earthquakes Around Bingöl

### 3. LİTERATÜR TARAMASI

Bu makale afet yönetiminde personel çizelgeleme konusuna odaklandığından, personel atama ve çizelgeleme ile ilgili literatür bu bölümde sunulmaktadır.

Fiedrich ve diğ. (2000) çalışmalarında, deprem felaketi sonrasında ölü sayısını azaltmak ve alanlara mevcut kaynakların ataması için arama kurtarma periyodunda atama problemini ele almışlardır. Optimize edilmiş bir kaynak çizelgesinin oluşturulmasına izin veren "dinamik optimizasyon modeli" önermişlerdir. Benzetimli tavlama ve tabu arama sezgisel yaklaşımları kullanılmıştır. Nolz ve diğ. (2011) çalışmalarında, lojistik sisteminin afetzedelere yardım dağıtımını konusunu çok amaçlı optimizasyon problemi olarak formüle etmişlerdir. Etkilenen topluma mevcut kaynakları en iyi şekilde sağlamak amacıyla risk, kapsam ve toplam seyahat süresini minimize etmeyi amaçlamışlardır. Wex ve diğ. (2013) çalışmalarında, kurtarma birimlerini planlamaya ve olaylara atamaya yardımcı olacak karar destek sistemi önerisinde bulunmuşlardır. Doğrusal olmayan optimizasyon modeli önererek Monte Carlo tabanlı sezgisel çözüm önerisinde bulunmuşlardır. Üstündağ (2014) çalışmasında, bir işletme için günlük olarak demiryolu ekip çizelgeleme ve ekip atama problemini ele almıştır. Ekip çizelgelemede sütun oluşturma algoritmasını ve ekip atamada rassal sezgisel algoritmayı kullanmıştır. Cunha ve diğ. (2018) çalışmalarında, belirsizlik altında kurtarma birimlerini tahsis etme ve çizelgeleme problemini ele almışlardır. Problemi ele almak için önyargılı rastgele anahtarlı genetik algoritma önermişlerdir. Olayların önem seviyelerine göre, ağırlıklı tamamlanma zamanlarının toplamını minimize etmek istemişlerdir. Olayların bulanık işlem süreleri göz önünde bulundurulmuştur. Rezapour ve diğ. (2018) çalışmalarında, ani başlayan afetlerde yaralıların hayatta kalma oranının yüksek olduğu ilk saatlerde acil durum birimlerinin olay yerlerine ve olay yerlerindeki yaralılara en uygun şekilde tahsis edilmesi problemini ele almışlardır. Problemin amacı, kırmızı ve sarı triyajdan kurtulan sayıyı maksimize etmektir. Li ve diğ. (2019) çalışmalarında, kurtarıcılarının yetenekleri ve görevler arasındaki uyum da dikkate alınarak birden çok afet bölgesinin olduğu yerde kurtarma birimlerinin atanması için bir matematiksel



model önermişlerdir. Santoso ve diğ. (2019) çalışmalarında, zaman penceresi altında ilk kurtarma ekiplerinin müdahalesinde tamamlanma zamanının minimize etme amacıyla tahsis etmeyi ve çizelgelemeyi amaçlamışlardır. Karmaşık tam sayılı programlama modeli önerisinde bulunmuşlardır ve NP-Hard yapıda olan problem için GRASP metasezgisel metodunu kullanmışlardır. Tirkolae ve diğ. (2020) çalışmalarında, iki amaçlı karmaşık tam sayılı lineer programlama modeli önerisinde bulunarak öğrenme etkisi ile doğal afet kurtarma birimlerinin tahsis edilmesi ve çizelgelemesi problemini ele almışlardır. Bağlantısız paralel makina çizelgeleme problemi ve gezgin satıcı problemine benzetilmiştir. Ayrıca sağlam optimizasyon tekniği ve çok amaçlı hedef programlama yöntemini kullanmışlardır. Hooshangi ve diğ. (2021) çalışmalarında, belirsizlik altında farklı deprem büyüklüğüne göre üç senaryo oluşturmuş ve yerel arama kurtarma operasyonlarındaki kurtarıcıların görev tahsislerini incelemişlerdir. İzlenen adım şu şekildedir: görevlerin sıralanması, koordinatör belirlenmesi, müzayede düzenlemek, yeniden atama stratejilerinin uygulanması, çevresel belirsizliklerin uygulanması ve gözlemlenmesi. Danışan ve Eren (2022a) çalışmalarında, bir deprem afetinde kentsel arama kurtarma operasyonlarını yürüten ekiplerin çizelgelenmesi problemini ele almışlardır. Çalışmada matematiksel programlama yöntemini kullanarak hangi ekibin hangi olay yerine gideceği sorusuna yanıt aramışlardır. Danışan ve Eren (2022b) çalışmalarında, afet yönetim planlamasında önemli bir husus olan uluslararası yardıma dikkat çekerek Türkiye’de çalışmalarını yürütecek olan arama kurtarma ekiplerinin belirlenmesini amaçlamışlardır. Ekiplerin belirlenmesinde çok amaçlı karar verme tekniklerinden olan AHP ve TOPSIS yöntemlerinden faydalanmışlardır. Fei ve Wang (2022) çalışmalarında, çoklu afet bölgelerinde ve kurtarma noktalarında kurtarıcıların sevk modelini ele almışlardır. Kanıta dayalı en iyi-en kötü metodu ile Dempster-Shafer teorisini kombinleyerek kurtarıcılarının yeteneğine dayalı değerlendirme kriter ağırlıklarını belirlemişlerdir. Kurtarıcıları birden çok afet bölgesine etkili bir şekilde sevk edilmesi için kurtarıcılarının yetkinliğini ve kurtarma süresi memnuniyetini en üst düzeye çıkarmak için yukarıdaki yöntemlere dayalı olarak modelleme yapmışlardır. Hooshangi ve diğ. (2022) çalışmalarında, kuyruk teorisini göz önünde bulundurarak arama kurtarma operasyonlarında kurtarıcı sayısını belirlemeyi amaçlamışlardır. Binaların hasarları, yaralı sayıları, hizmet süresinin belirlenmesi, simülasyon modelinin tasarlanması ayrıca hayatta kalma oranları hesaplanmış, kurtarma operasyonlarının süresi ile karşılaştırılmıştır. Nayeri ve diğ. (2022) çalışmalarında, İran’da meydana gelen sel felaketinden elde edilen gerçek verilerle kurtarma birimlerinin atanma problemini ele almışlardır. Bulanık sağlam optimizasyon ve hibrit metasezgisel algoritma ile kurtarma operasyonlarının ağırlıklı tamamlanma zamanlarının toplamını minimize etmeyi amaçlamışlardır. Cao ve diğ. (2023) çalışmalarında, kurtarıcılarının yetenek seviyelerini, ortak bilgilerini, kurtarıcılarının tercihlerini ve kurtarma zamanını göz önünde bulundurarak kurtarıcılarının atama problemini ele almışlardır. Akdaş ve Eren (2023a) çalışmalarında, merkez üssü Aydın’ın Efeler ilçesi olan bir deprem senaryosunda yıkımın meydana geldiği afet ilçelerine arama kurtarma ekiplerinin çizelgeleme problemini hedef programlama yöntemi ile ele almışlardır. Akdaş ve Eren (2023b) çalışmalarında, olası Elazığ depreminde yıkımın meydana geldiği afet ilçelerine arama kurtarma ekiplerinin çizelgeleme problemini hedef programlama yöntemi ile ele almışlardır. Akdaş ve Eren (2023c) çalışmalarında, Erzincan’da meydana gelecek olası bir depremde yıkık binaların olduğu Erzincan ve yakın illerine arama kurtarma ve psikososyal destek ekiplerinin çizelgeleme problemini hedef programlama yöntemini kullanarak ele almışlardır.

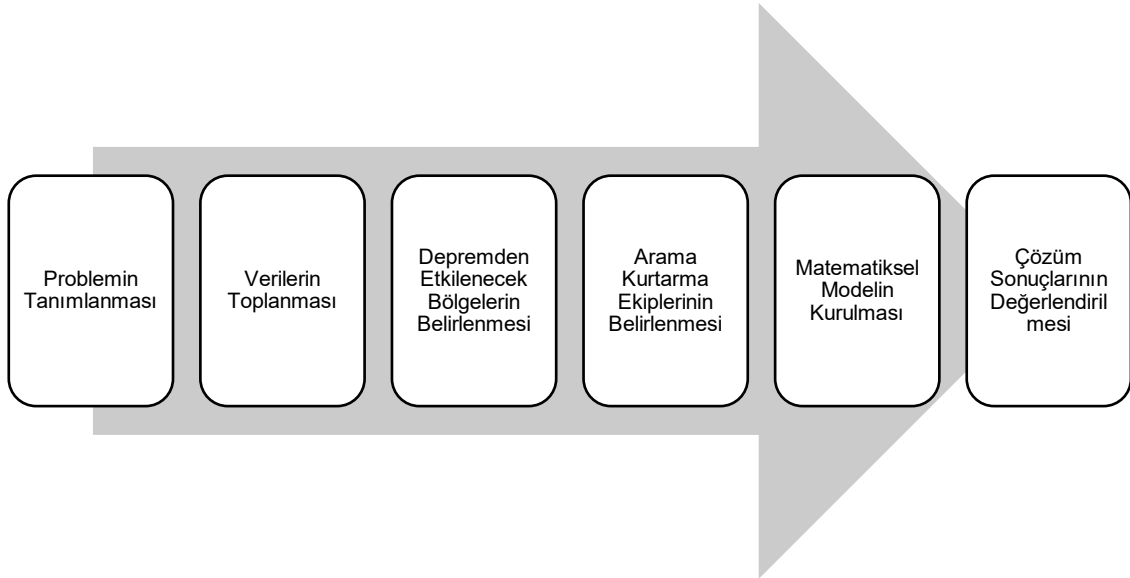
Ele alınan bu çalışmanın temelinde bir konu olan personel atama ve çizelgeleme üzerine çeşitli yöntemler kullanılarak farklı alanlarda çalışmalar yapılmıştır. Farklı alandaki bu çalışmalar hakkında kısaca bilgiler verilmek istenmiştir. Enerji sektöründe Özcan ve diğ. (2017), perakende sektöründe Bedir ve diğ. (2017), üretim sektöründe (Eren ve Güner 2002, Eren ve Güner 2004, Varlı ve Eren 2017a), sağlık sektöründe (Eren ve diğ. 2017, Varlı ve Eren 2017b, Varlı ve diğ. 2017), hizmet sektöründe (Koçtepe ve diğ. 2018, Cürebal ve diğ. 2020), tekstil sektöründe Aksüt ve diğ. (2023) uygulamalar yapılmıştır. Ayrıca Gür ve Eren (2018) hizmet sistemlerinde hedef programlama yöntemi ile ve Özder ve diğ. (2020) personel çizelgeleme problemleri ile bir literatür tarama çalışması yapmışlardır. Bu çalışmada kullanılan hedef programlama yöntemi diğer birçok problemin çözümünde de kullanılmıştır. Bilgi vermek amaçlı

bazı çalışmalara değinecek olursak; Özder ve Eren (2015), Gür ve diğ. (2016), Özder ve Eren (2016), Gür ve diğ. (2017), Varlı ve diğ. (2017), Özcan ve diğ. (2018), Gür ve diğ. (2019), Özder ve diğ. (2019a), Özder ve diğ. (2019b), Gür ve diğ. (2022) çalışmalarını hedef programlama yöntemi ile ele almışlardır.

Yakın tarihte tanıklık ettiğimiz 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremlerinde arama kurtarma ekiplerinin afet bölgelerine hızlı bir şekilde gönderilmesinin önemine şahit olduk. Bu nedenle bu çalışmada yer bilim insanlarının son zamanlarda dikkat çektiği Bingöl ve civarında olası bir deprem durumunda arama kurtarma ekiplerinin atanması problemi ele alınmıştır. Öncelikli hedef programlama yöntemi ile yıkımın fazla olduğu bölgelere arama kurtarma ekiplerin atanmasına öncelik verilmiştir. Olası bir deprem senaryosunda doğru sayıda ekiplerin doğru afet bölgelerine sevk edileceğinin önceden planlı olması, zaman baskısı altında kayıpları minimumda tutacaktır. Çalışmanın konusu güncel ve önemli bir konu olmakla birlikte farklı deprem bölgelerinde olası deprem senaryoları için rehberlik edecek bir çalışmadır.

#### 4. UYGULAMA

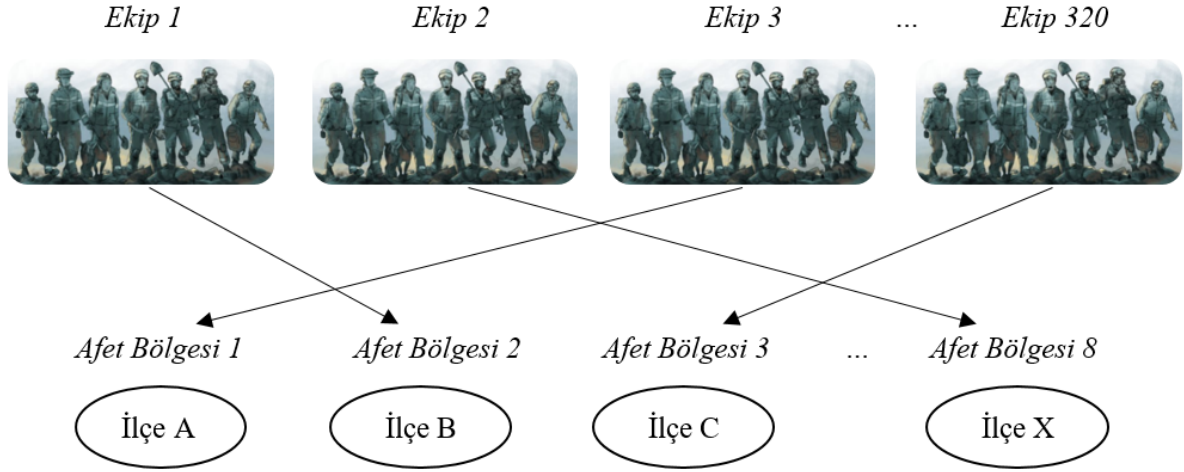
Risk analizinde kullanılan AFAD-RED analiz programı kullanılarak AFAD Deprem Dairesi Başkanlığı tarafından deprem senaryoları oluşturulmaktadır. Senaryo sonuçları ile sismik şiddet haritası, yapısal hasar (hafif, orta, ağır ve yıkık) grafiği vb. çıktılar elde edilmektedir. Bilimsel öngörülere göre Bingöl'de olası bir deprem yakındır. Bu nedenle bu çalışmada, depremlerin çok sık meydana geldiği Bingöl İli ele alınmıştır. AFAD-RED analiz programının çıktıları kullanılarak gerçekleştirilen bu uygulamanın akış şeması Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2: Akış Şeması  
Figure 2: Flow Chart

##### 4.1) Problem Tanımlanması

Bu çalışmada, KAFZ üzerinde bulunan Yedisu segmentinde 7.2 büyüklüğünde bir deprem olması durumunda çoklu afet bölgesine arama ve kurtarma ekiplerinin atanma problemi hedef programlama yöntemi ile ele alınmaktadır. Bu aşamada depremden etkilenen bölgelere hangi arama ve kurtarma ekiplerinin sevk edilmesinin kararını önceden vermek müdahale sürecini hızlandıracaktır. Afetten etkilenen bölgelere gönderilen arama kurtarma ekiplerinin atanma diyagramı Şekil 3'te gösterilmektedir.

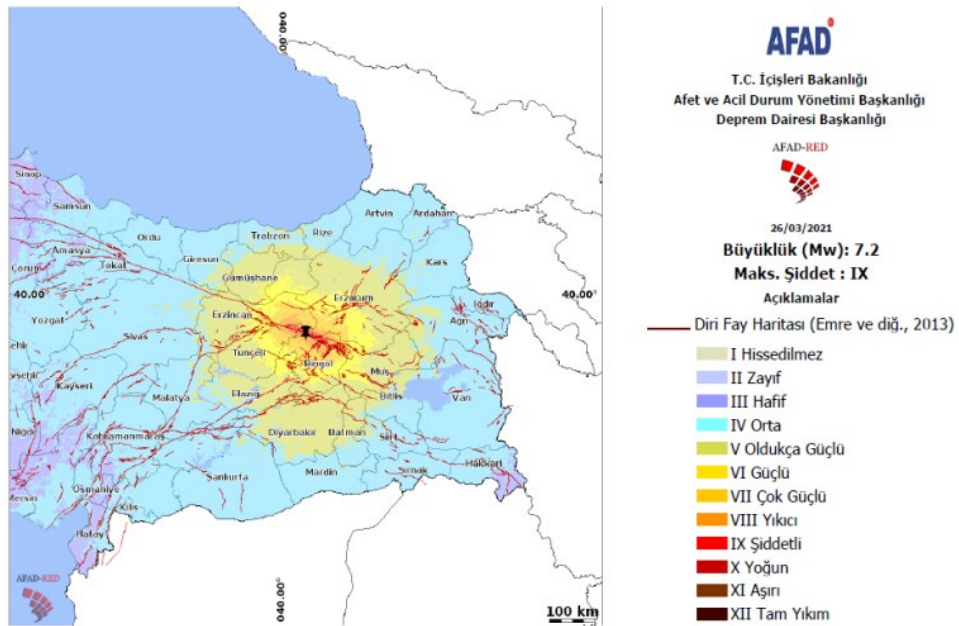


Şekil 3: Arama Kurtarma Ekiplerinin Atanma Diyagramı  
Figure 3: Assignment Diagram of Search and Rescue Teams

#### 4.2) Verilerin Toplanması

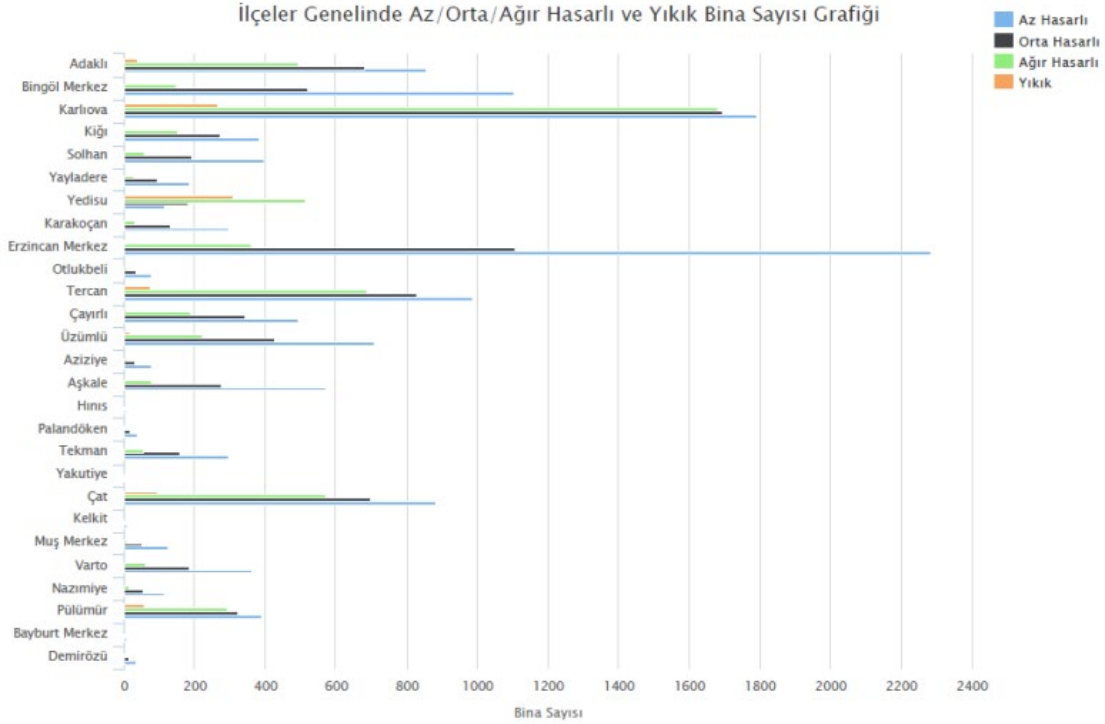
Arama kurtarma ekiplerinin atanma probleminin çözümü için Yedisu segmentinde olası bir depremin büyüklüğü, depremden etkilenen bölgeler ve arama kurtarma ekipleri hakkında bilgiler toplanmıştır. Elde edilen bilgiler aşağıda listelenmiştir.

- Olası bir deprem senaryosu
- Şiddet dağılım haritası (Şekil 4)
- Yapısal hasar grafiği (Şekil 5)
- Arama kurtarma ekipleri hakkında bilgi
- Bölgelere gönderilecek olan arama kurtarma ekipleri ve sayısı



Şekil 4: Şiddet Dağılım Haritası  
Figure 4: Intensity Distribution Map





**Şekil 5: Yapısal Hasar Grafiği**  
Figure 5: Structural Damage Graph

#### 4.3) Depremden Etkilenecek Bölgelerin Belirlenmesi

Bingöl merkezli deprem için AFAD Deprem Dairesi Başkanlığı'nın AFAD-RED analiz programı ile oluşturduğu senaryo çıktılarından depremden etkilenen bölgeler ve bölgelerde bırakacağı hasarın sayısı elde edilmiştir. Depremi şiddetinin Bingöl çevresinde yaklaşık 12 ilde hissedileceği, 26 bölgede az/orta/ağır hasarlı ve yıkık binaların olacağı tahmin edilmektedir. Bu çalışmada yıkımın meydana geleceği 8 bölgede arama kurtarma çalışmalarının yürütüldüğü varsayılmıştır. Ancak kendi imkanlarıyla binalarını terkedemeyecek olan afetzedelerin (engelli, yaşlı, felçli vb.) bulunduğu ağır hasarlı binalarda da arama kurtarma çalışmaları yürütülmektedir. Bu durumda matematiksel modele kısıt eklenmelidir. Yıkık binalara göre ağır hasarlı binalarda bu çalışmaların daha riskli olduğunu unutmamak gerekir.

#### 4.4) Arama Kurtarma Ekiplerinin Belirlenmesi

Arama kurtarma ekipleri çöken bina enkazlarında veya herhangi bir alanda arama kurtarma operasyonları yaparak kayıpları en aza indirmek ve ikincil afeti önlemek adına görev almaktadırlar. Beklenen nüfus yoğunluğu, müdahale ölçeği, coğrafi özellikler vb. faktörler göz önünde bulundurularak ekipler yönlendirilmektedir. AFAD çalışanlarının tecrübeleri ve bilgileri doğrultusunda hangi illerden kaç ekip gönderileceği ve ekiplerin hangi durumdaki binalarda arama kurtarma çalışmalarını yürüttüğü öğrenilmiştir.

- Deprem afetinin büyüklüğüne ve şiddetine göre, etkilenen bölgelere yönlendirilmesi için bu çalışmada 320 AFAD arama kurtarma ekibi bulunmaktadır.
- Türkiye'de 16 adet AFAD Birlik Müdürlüğü bulunmaktadır ve afet meydana geldiğinde her Birlik Müdürlüğü'nden 8 ekip afet bölgelerine gönderilmektedir.

- Afetten etkilenen bölgelerdeki arama kurtarma ekipleri dahil edilemez ancak illerinde herhangi bir hasar yoksa arama kurtarma çalışmalarına katılabilirler. Ele alınan bu senaryoda Diyarbakır ve Erzurum illerinin de etkileneyeceği şiddet haritasında görülmektedir ve bu illerdeki arama kurtarma ekipleri dahil edilmemiştir. Birlik Müdürlükleri'nin olduğu illerden gelecek toplam ekip sayısı 112 olmuştur.
- Bu çalışmada, planlama yapılırken maksimum sayı kullanılarak, yıkımın olduğu bölgelere, yıkık bina sayısının yaklaşık olarak 1/3 oranında arama kurtarma ekiplerinin atanması yapılmıştır.

Bölgelerdeki yıkık bina sayılarına göre belirlenen ekip sayıları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1: Bölgelere Göre Yıkık Bina ve Ekip Sayısı  
Table 1: Number of Ruined Buildings and Teams by Regions

İlçe	Yıkık Bina	Ekip Sayısı
Bingöl-Adaklı	40	15
Bingöl-Karlıova	264	88
Bingöl-Yedisu	310	105
Erzincan-Çayırılı	5	2
Erzincan-Tercan	75	25
Erzincan-Üzümlü	15	5
Erzurum-Çat	100	35
Tunceli-Pülümür	50	20

#### 4.5) Matematiksel Modelin Kurulması

“Hangi bölgeye hangi arama kurtarma ekibi atanmalı?” kararını en kısa sürede ve doğru bir şekilde verebilmek için hedef programlama yöntemi kullanılarak matematiksel model oluşturulmuştur. Çalışma bir karar verme problemi olduğu için ve belirli oran ile hedeflenen ekip sayılarına tam olarak ulaşabilmek amacıyla, çok amaçlı karar verme tekniklerinden biri olan hedef programlama yöntemi kullanılmıştır. Bu bölümde sapma değişkenleri eşit önem derecesine sahiptir. Ancak alt bölüm 4.7’de bu sapma değişkenlerinin her biri farklı ağırlıklarla çarpılarak ağırlıklı hedef programlama yöntemi kullanılmıştır ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

##### 4.5.1) Hedef programlama yöntemi

Çok amaçlı karar verme tekniği olan hedef programlama yönteminde, sıklıkla kullanılan ve tek amaçlı olan doğrusal programlamadan farklı olarak amaç fonksiyonu birden fazla amacı hedeflemektedir. Amaç fonksiyonunda yer alan pozitif ve negatif sapma değişkenlerinin çarpımı sıfıra eşit olmalıdır. Yani sapma değişkenlerinden bir tanesi sıfırdan büyük bir değer alırken, diğer sapma değişkeni sıfıra eşit olmaktadır ayrıca sapma değişkenleri negatif değer alamazlar. Amaç fonksiyonunda negatif ve pozitif sapma değerleri en küçüklenmeye çalışılır. Hedef programlama yönteminin formülasyonu Eşitlik 1-3’te gösterilmiştir (Cürebal ve Eren 2021).

$x_j$ : j. karar değişkeni

$a$ : karar değişkeni katsayı parametresi

$r$ : hedef kısıtı sağ taraf değer parametresi

$d_i^+$ : i. hedefin pozitif sapma değeri

$d_i^-$ : i. hedefin negatif sapma değeri

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^n (d_i^+ + d_i^-) \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^m a * x_j - d_i^+ + d_i^- = r \quad (2)$$

$$x_j, d_i^+, d_i^- \geq 0 \quad \forall_{i,j} \quad (3)$$

Eşitlik 1, modelin amaç fonksiyonudur. Eşitlik 2, hedef kısıttır,  $r$  ulaşılması istenilen sağ taraf değeridir. Eşitlik 3, modeldeki sert kısıttır, sağlanmadığı takdirde model çözümsüzdür.

#### 4.5.2. Matematiksel model

##### Parametreler

$n$  = ekip sayısı

$m$  = bölge sayısı

$k$  = hedef sayısı

$i$  = ekip indeks  $i = 1, 2, \dots, n$

$j$  = bölge indeks  $j = 1, 2, \dots, m$

##### Karar değişkenleri

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, i. \text{ ekip } j. \text{ bölgeye atanırsa} \\ 0, \text{ diğer durumlar} \end{cases} \quad \forall_{i,j}$$

$d_{ik}^+$  =  $i$ . ekibin  $k$ . hedeften pozitif sapma miktarı ( $i=1,2,\dots, 320, k=1,2,\dots,12$ )

$d_{ik}^-$  =  $i$ . ekibin  $k$ . hedeften negatif sapma miktarı ( $i=1,2,\dots, 320, k=1,2,\dots,12$ )

##### Kısıtlar

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} \geq 1 \quad \forall_j \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} \leq 1 \quad \forall_i \quad (2)$$

##### Hedef Kısıtları

$$\text{Hedef 1: } \sum_{i=1}^n x_{i1} - d_{i1}^+ + d_{i1}^- = 15 \quad (3)$$

$$\text{Hedef 2: } \sum_{i=1}^n x_{i2} - d_{i2}^+ + d_{i2}^- = 88 \quad (4)$$

$$\text{Hedef 3: } \sum_{i=1}^n x_{i3} - d_{i3}^+ + d_{i3}^- = 105 \quad (5)$$

$$\text{Hedef 4: } \sum_{i=1}^n x_{i4} - d_{i4}^+ + d_{i4}^- = 2 \quad (6)$$

$$\text{Hedef 5: } \sum_{i=1}^n x_{i5} - d_{i5}^+ + d_{i5}^- = 25 \quad (7)$$

$$\text{Hedef 6: } \sum_{i=1}^n x_{i6} - d_{i6}^+ + d_{i6}^- = 5 \quad (8)$$

$$\text{Hedef 7: } \sum_{i=1}^n x_{i7} - d_{i7}^+ + d_{i7}^- = 35 \quad (9)$$

$$\text{Hedef 8: } \sum_{i=1}^n x_{i8} - d_{i8}^+ + d_{i8}^- = 20 \quad (10)$$

$$\text{Hedef 9: } \sum_{i=1}^{112} x_{i2} - d_{i9}^+ + d_{i9}^- = 32 \quad (11)$$

$$\text{Hedef 10: } \sum_{i=1}^{112} x_{i3} - d_{i10}^+ + d_{i10}^- = 48 \quad (12)$$

$$\text{Hedef 11: } \sum_{i=1}^{112} x_{i5} - d_{i11}^+ + d_{i11}^- = 16 \quad (13)$$

$$\text{Hedef 12: } \sum_{i=1}^{112} x_{i7} - d_{i12}^+ + d_{i12}^- = 16 \quad (14)$$

#### Amaç Fonksiyonu

$$\begin{aligned} \min Z = \sum_{i=1}^n (w_1 * d_{i1}^+ + w_2 * d_{i1}^- + w_3 * d_{i2}^+ + w_4 * d_{i2}^- + w_5 * d_{i3}^+ + w_6 * d_{i3}^- + w_7 * d_{i4}^+ \\ + w_8 * d_{i4}^- + w_9 * d_{i5}^+ + w_{10} * d_{i5}^- + w_{11} * d_{i6}^+ + w_{12} * d_{i6}^- + w_{13} * d_{i7}^+ + w_{14} * d_{i7}^- \\ + w_{15} * d_{i8}^+ + w_{16} * d_{i8}^- + w_{17} * d_{i9}^+ + w_{18} * d_{i9}^- + w_{19} * d_{i10}^+ + w_{20} * d_{i10}^- \\ + w_{21} * d_{i11}^+ + w_{22} * d_{i11}^- + w_{23} * d_{i12}^+ + w_{24} * d_{i12}^-) \end{aligned} \quad (15)$$

$$x_{ij} = 0 \text{ veya } 1 \quad \forall i, j \quad (16)$$

Kısıt (1) her bölgeye en az bir ekip atanmasını ve Kısıt (2) her ekibin en fazla bir bölgeye atanmasını sağlamaktadır. Kısıt (3)-(14) problemin hedef kısıtlarıdır ve bu hedef kısıtları farklı önem derecesine sahiptir. Kısıt (3) Bingöl-Adaklı ilçesine 15 ekip atanması gerektiğini, Kısıt (4) Bingöl-Karlıova ilçesine 88 ekip atanması gerektiğini, Kısıt (5) Bingöl-Yedisu ilçesine 105 ekip atanması gerektiğini, Kısıt (6) Erzincan-Çayırılı ilçesine 2 ekip atanması gerektiğini, Kısıt (7) Erzincan-Tercan ilçesine 25 ekip atanması gerektiğini, Kısıt (8) Erzincan-Üzümlü ilçesine 5 ekip atanması gerektiğini, Kısıt (9) Erzurum-Çat ilçesine 35 ekip atanması gerektiğini, Kısıt (10) Tunceli-Pülümür ilçesine 20 ekip atanması gerektiğini ifade etmektedir. Kısıt (11) Birlik Müdürlüğü'nün bulunduğu 4 ilden gelecek toplam 32 ekibin Bingöl'ün Karlıova ilçesine, Kısıt (12) Birlik Müdürlüğü'nün bulunduğu 6 ilden 48 ekibin Bingöl'ün Yedisu ilçesine, Kısıt (13) Birlik Müdürlüğü'nün bulunduğu 2 ilden 16 ekibin Erzincan'ın Tercan ilçesine, Kısıt (14) Birlik Müdürlüğü'nün bulunduğu 2 ilden 16 ekibin Erzurum'un Çat ilçesine gitmesini sağlamaktadır. Kısıt (15) problemin amaç fonksiyonu ve Kısıt (16) işaret kısıtıdır.

Girdiler ve girdi değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

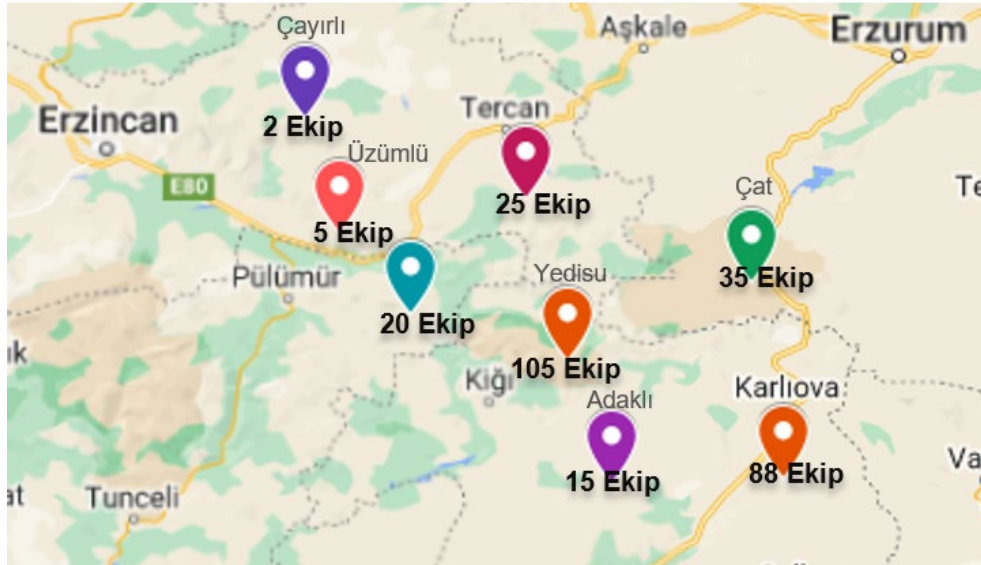
Tablo 2: Girdiler ve Değerleri

Table 2: Inputs and Values

Girdiler	Değerleri
Mevcut ekip sayısı (i)	320
Afet bölgesi sayısı (j)	8
Kısıt sayısı	10
Hedef kısıtı sayısı	10
Sapma değişkeni sayısı	12

#### 4.6) Çözüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi

En fazla diri fay hattının bulunduğu illerden biri olan Bingöl'de 7.2 büyüklüğünde bir deprem yaşanması durumunda oluşturulan senaryodan elde edilen çıktılara göre, bölgelere kaç tane arama kurtarma ekibinin sevk edileceği Şekil 4'te verilmiştir. Model ILOG CPLEX Studio IDE optimizasyon programının CPLEX çözücüsü ile çözülmüştür. Modelin çözüm süresi 3 saniye 12 salisedir. Amaç fonksiyonu ve sapma değişkenlerinin değeri sıfırdır, kısıtlar ve hedef kısıtları sağlanmıştır.



Şekil 6: Çözüm Sonuçları 1  
Figure 6: Solution Results 1

Matematiksel modeldeki tüm kısıtların sağlandığı elde edilmiştir. Bingöl-Adaklı ilçesine 15 Ekip, Bingöl-Karlıova ilçesine 88 Ekip, Bingöl-Yedisu ilçesine 105 Ekip, Erzincan-Çayırılı ilçesine 2 Ekip, Erzincan-Tercan ilçesine 25 Ekip, Erzincan-Üzümlü ilçesine 5 Ekip, Erzurum-Çat ilçesine 35 Ekip ve Tunceli-Pülümür ilçesine 20 Ekip atanmıştır (Şekil 6). Bingöl-Karlıova ilçesine sevk edilen 88 ekip içerisinde 32'si, Bingöl-Yedisu ilçesine sevk edilen 105 ekip içerisinde 48'i, Erzincan-Tercan ilçesine sevk edilen 25 ekip içerisinde 16'sı, Erzurum-Çat ilçesine sevk edilen 35 ekip içerisinde 16'sı Birlik Müdürlükleri'nden atanmıştır ve böylelikle Kısıt 11-14 sağlanmıştır. Mevcut 320 arama kurtarma ekibinden toplam 295 AFAD ekibinin, deprem bölgelerinde yıkımın meydana geldiği 8 afet bölgesine ataması yapılmıştır. Böylelikle en iyi çözüme ulaşılmıştır.

#### 4.7) Matematiksel Modelin Geliştirilmesi

##### Parametreler

$n =$  ekip sayısı

$m =$  bölge sayısı

$k =$  hedef sayısı

$i =$  ekip indeks  $i = 1, 2, \dots, n$

$j =$  bölge indeks  $j = 1, 2, \dots, m$

##### Karar değişkenleri

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, i. ekip j. bölgeye atanırsa \\ 0, diğer durumlar \end{cases} \quad \forall i, j$$

$d_{ik}^+ = i. ekibin k. hedeften pozitif sapma miktarı$  ( $i=1, 2, \dots, n, k=1, 2, \dots, 12$ )

$d_{ik}^- = i. ekibin k. hedeften negatif sapma miktarı$  ( $i=1, 2, \dots, n, k=1, 2, \dots, 12$ )

##### Kısıtlar

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} \geq 1 \quad \forall j \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} \leq 1 \quad \forall i \quad (2)$$

## Hedef Kısıtları

$$\text{Hedef 1: } \sum_{i=1}^n x_{i1} - d_{i1}^+ + d_{i1}^- = 15 \quad (3)$$

$$\text{Hedef 2: } \sum_{i=1}^n x_{i2} - d_{i2}^+ + d_{i2}^- = 88 \quad (4)$$

$$\text{Hedef 3: } \sum_{i=1}^n x_{i3} - d_{i3}^+ + d_{i3}^- = 105 \quad (5)$$

$$\text{Hedef 4: } \sum_{i=1}^n x_{i4} - d_{i4}^+ + d_{i4}^- = 2 \quad (6)$$

$$\text{Hedef 5: } \sum_{i=1}^n x_{i5} - d_{i5}^+ + d_{i5}^- = 25 \quad (7)$$

$$\text{Hedef 6: } \sum_{i=1}^n x_{i6} - d_{i6}^+ + d_{i6}^- = 5 \quad (8)$$

$$\text{Hedef 7: } \sum_{i=1}^n x_{i7} - d_{i7}^+ + d_{i7}^- = 35 \quad (9)$$

$$\text{Hedef 8: } \sum_{i=1}^n x_{i8} - d_{i8}^+ + d_{i8}^- = 20 \quad (10)$$

$$\text{Hedef 9: } \sum_{i=1}^{112} x_{i2} - d_{i9}^+ + d_{i9}^- = 32 \quad (11)$$

$$\text{Hedef 10: } \sum_{i=1}^{112} x_{i3} - d_{i10}^+ + d_{i10}^- = 48 \quad (12)$$

$$\text{Hedef 11: } \sum_{i=1}^{112} x_{i5} - d_{i11}^+ + d_{i11}^- = 16 \quad (13)$$

$$\text{Hedef 12: } \sum_{i=1}^{112} x_{i7} - d_{i12}^+ + d_{i12}^- = 16 \quad (14)$$

## Amaç Fonksiyonu

$$\begin{aligned} \min Z = & \sum_{i=1}^n (1 * d_{i1}^+ + 4 * d_{i1}^- + 1 * d_{i2}^+ + 10 * d_{i2}^- + 1 * d_{i3}^+ + 12 * d_{i3}^- + 1 * d_{i4}^+ \\ & + 1 * d_{i4}^- + 2 * d_{i5}^+ + 7 * d_{i5}^- + 1 * d_{i6}^+ + 3 * d_{i6}^- + 1 * d_{i7}^+ + 8 * d_{i7}^- \\ & + 1 * d_{i8}^+ + 6 * d_{i8}^- + 1 * d_{i9}^+ + 9 * d_{i9}^- + 0.01 * d_{i10}^+ + 11 * d_{i10}^- + 0.01 * d_{i11}^+ \\ & + 2 * d_{i11}^- + 0.01 * d_{i12}^+ + 2 * d_{i12}^-) \end{aligned} \quad (15)$$

$$x_{ij} = 0 \text{ veya } 1 \quad \forall_{i,j} \quad (16)$$

Kısıt (1) her bölgeye en az bir ekip atanmasını ve Kısıt (2) her ekibin en fazla bir bölgeye atanmasını sağlamaktadır. Kısıt (3)-(14) problemin hedef kısıtlarıdır ve bu hedef kısıtları farklı önem derecesine sahiptir. Kısıt (3) Bingöl-Adaklı ilçesine 15 ekip atanması gerektiğini, Kısıt (4) Bingöl-Karlıova ilçesine 88 ekip atanması gerektiğini, Kısıt (5) Bingöl-Yedisu ilçesine 105 ekip atanması gerektiğini, Kısıt (6) Erzincan-Çayırılı ilçesine 2 ekip atanması gerektiğini, Kısıt (7) Erzincan-Tercan ilçesine 25 ekip atanması gerektiğini, Kısıt (8) Erzincan-Üzümlü ilçesine 5 ekip atanması gerektiğini, Kısıt (9) Erzurum-Çat ilçesine 35 ekip atanması gerektiğini, Kısıt (10) Tunceli-Pülümür ilçesine 20 ekip atanması gerektiğini ifade etmektedir. Kısıt (11) Birlik Müdürlüğü'nün bulunduğu 4 ilden gelecek toplam 32 ekibin Bingöl'ün Karlıova ilçesine, Kısıt (12) Birlik Müdürlüğü'nün bulunduğu 6 ilden 48 ekibin Bingöl'ün Yedisu ilçesine, Kısıt (13) Birlik Müdürlüğü'nün bulunduğu 2 ilden 16 ekibin Erzincan'ın Tercan ilçesine, Kısıt (14) Birlik Müdürlüğü'nün bulunduğu 2 ilden 16 ekibin Erzurum'un Çat ilçesine gitmesini sağlamaktadır. Kısıt (15) problemin amaç fonksiyonu ve Kısıt (16) işaret kısıtıdır.

Ekip sayısı  $i=290$  olarak kabul edildiğinde  $j=8$  iken model çözdürülmüştür. Yeni çözüm sonuçlarına göre afet bölgelerine atanan ekip sayıları Tablo 3'te verilmiştir.



Tablo 3: Çözüm Sonuçları 2  
Table 3: Solution Results 2

Bölge	Atanan Ekip Sayısı	Hedeflenen Ekip Sayısı
Bingöl-Adaklı	15	15
Bingöl-Karlıova	88	88
Bingöl-Yedisu	105	105
Erzincan-Çayırılı	1	2
Erzincan-Tercan	25	25
Erzincan-Üzümlü	1	5
Erzurum-Çat	35	35
Tunceli-Pülümür	20	20

Bingöl-Karlıova ilçesine 32 ekip, Bingöl-Yedisu ilçesine 48 ekip, Erzincan-Tercan ilçesine 16 ekip, Erzurum-Çat ilçesine 16 ekip Birlik Müdürlüğü'nden sevk edilmiştir. Çözüm sonuçlarına göre, 4. ve 6. hedef kısıtları sağlanamamıştır. Amaç fonksiyonu değeri 13,  $d_{290,4}^- = 1$  ve  $d_{290,6}^- = 4$ 'tür. 290. ekibin 4. ve 6. negatif sapma değerleri hariç diğer sapma değişkenlerinin değeri sifıra eşit çıkmıştır.

Ekip sayısı  $i=280$  olarak kabul edildiğinde  $j=8$  iken model çözdürülmüştür. Yeni çözüm sonuçlarına göre afet bölgelerine atanan ekip sayıları Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4: Çözüm Sonuçları 3  
Table 4: Solution Results 3

Bölge	Atanan Ekip Sayısı	Hedeflenen Ekip Sayısı
Bingöl-Adaklı	5	15
Bingöl-Karlıova	88	88
Bingöl-Yedisu	105	105
Erzincan-Çayırılı	1	2
Erzincan-Tercan	25	25
Erzincan-Üzümlü	1	5
Erzurum-Çat	35	35
Tunceli-Pülümür	20	20

Bingöl-Karlıova ilçesine 32 ekip, Bingöl-Yedisu ilçesine 48 ekip, Erzincan-Tercan ilçesine 16 ekip, Erzurum-Çat ilçesine 16 ekip Birlik Müdürlüğü'nden sevk edilmiştir. Çözüm sonuçlarına göre, 1., 4. ve 6. hedef kısıtları sağlanamamıştır. Amaç fonksiyonu değeri 53,  $d_{280,1}^- = 10$ ,  $d_{280,4}^- = 1$  ve  $d_{280,6}^- = 4$ 'tür. 280. ekibin 1., 4. ve 6. negatif sapma değerleri hariç diğer sapma değişkenlerinin değeri sifıra eşit çıkmıştır.

Ekip sayısı  $i=250$  olarak kabul edildiğinde  $j=8$  iken model çözdürülmüştür. Yeni çözüm sonuçlarına göre afet bölgelerine atanan ekip sayıları Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5: Çözüm Sonuçları 4  
Table 5: Solution Results 4

Bölge	Atanan Ekip Sayısı	Hedeflenen Ekip Sayısı
Bingöl-Adaklı	1	15
Bingöl-Karlıova	88	88
Bingöl-Yedisu	105	105
Erzincan-Çayırılı	1	2
Erzincan-Tercan	18	25
Erzincan-Üzümlü	1	5
Erzurum-Çat	35	35
Tunceli-Pülümür	1	20

Bingöl-Karlıova ilçesine 32 ekip, Bingöl-Yedisu ilçesine 48 ekip, Erzincan-Tercan ilçesine 16 ekip, Erzurum-Çat ilçesine 16 ekip Birlik Müdürlüğü'nden sevk edilmiştir. Çözüm sonuçlarına göre, 1., 4., 5., 6. ve 8. hedef kısıtları sağlanamamıştır. Amaç fonksiyonu değeri 232,  $d_{250,1}^- = 14$ ,  $d_{250,4}^- = 1$ ,  $d_{250,5}^- = 7$ ,  $d_{250,6}^- = 4$  ve  $d_{250,8}^- = 19$ 'dur. 280. ekibin 1., 4., 5., 6. ve 8. negatif sapma değerleri hariç diğer sapma değişkenlerinin değeri sıfıra eşit çıkmıştır.

## 5. SONUÇLAR

Yakın zamanda olası bir deprem riski taşıyan Bingöl ilimiz KAFZ ve DAFZ üzerindedir ve iki fay zonunun kesiştiği noktada yer aldığından ilin tamamı yüksek risk taşımaktadır. Diri fay haritasına göre ise en çok fay hattı bulunan ikinci ilimizdir. Çalışmada, Bingöl merkezli olası bir deprem sonucunda çoklu afet bölgelerine arama kurtarma ekiplerinin atanma problemi ele alınmıştır. AFAD tarafından Yedisu segmenti üzerinde 7.2 büyüklüğünde bir deprem senaryosu oluşturulmuştur. Bu senaryonun çıktılarında biri olan yapısal hasar grafiği, depremden etkilenen bölge genelinde yıkık ve az/orta/ağır hasarlı bina sayısını vermektedir. Bu sayılara göre arama kurtarma çalışmaları gerektiren yıkık binalara sevk edilecek ekip sayıları belirlenmiştir. Hedef programlama yöntemi kullanılarak bir matematiksel model oluşturulmuştur. Oluşturulan modeldeki amaç, uygun sayıdaki ekipleri doğru bölgelere sevk etmektir. Modelin çözümünden elde edilen sonuçlara göre Adaklı ilçesine 15, Karlıova ilçesine 88, Yedisu ilçesine 105, Çayırılı ilçesine 2, Tercan ilçesine 25, Üzümlü ilçesine 5, Çat ilçesine 35 ve Pülümür ilçesine 20 ekip atanmıştır. Çözüm sonuçlarına göre matematiksel modeldeki tüm kısıtların sağlandığı elde edilmiştir. Ayrıca oluşturulan matematiksel model ağırlıklı hedef programlama yöntemine dönüştürülmüştür. Yıkık binaların fazla olduğu afet bölgelerini ifade eden sapma değişkenlerine daha büyük katsayı ataması yapılarak farklı  $(i,j)$  kombinasyonları ile çözüm sonuçları elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre her hedef kısıtı sağlanmasa da yıkımın fazla olduğu afet bölgelere istenilen sayıda arama kurtarma ekibi sevk edilmiştir.

Bu çalışma yıkık binaların olduğu bölgeler göz önünde bulundurularak yapılmıştır ancak kendi imkanlarıyla dışarıya çıkamayacak durumda olan yaşlı, felçli, engelli vb. afetzedeler için arama kurtarma çalışmaları gerektiren ağır hasarlı binalarında olabileceğini unutmamak gerekir. Bu duruma göre modele kısıt ekleyerek yeniden çözüm sonuçları elde edilebilir.

Gelecek çalışmalarda, zararın daha büyük boyutta olduğu afet bölgesine en yakın konumdaki arama kurtarma ekiplerinin gönderilmesi için bir çalışma yapılabilir. Oluşturulan matematiksel model farklı senaryolar ele alındığında da çalışır durumda olduğundan dolayı farklı deprem bölgelerinde çeşitli senaryolar için uygulanabilir. Ayrıca afet yönetiminde önemli bir rol oynayan itfaiye ekiplerinin çizelgelenmesi problemi de ele alınabilir.

## TEŞEKKÜR

Araştırmanın uygulama aşamasında gerekli bilgileri paylaşan Adana AFAD Arama ve Kurtarma Teknisyeni Hikmet Eroğlu'na teşekkürü borç bilirim. Bu çalışma Kırıkkale Üniversitesi'nin BAP Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir.

## KAYNAKLAR

Akdaş E., Eren T., 2023a. Doğal Afetlerde Arama Kurtarma Ekiplerinin Çizelgelenmesi: Aydın Depremi Senaryosu, *5th Conference on Applied Engineering and Natural Sciences*, 1(1), 718-724, Erişim Adresi: <https://drive.google.com/file/d/1xavz-XY2uSdNfNZIvdUYmsIBxDbE5dQ/view>

Akdaş E., Eren T., 2023b. Deprem Afetinde Arama Kurtarma Ekiplerinin Çizelgelenmesi İçin Örnek Bir Uygulama, Yönetim Araştırmaları ve Mühendislik Uygulamaları Sempozyumu, 11-13 Mayıs 2023, Doğuş Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, Erişim Adresi: <https://yonar23.dogus.edu.tr/yonar-2023>

Akdaş E., Eren T., 2023c. Arama Kurtarma ve Psikososyal Destek Ekiplerinin Afet İllerine Atanması ve Çizelgelenmesi: Erzincan Depremi Örneği, Uluslararası Veri Bilimi ve Güvenliği Konferansı, ICDASS2023, 6-7 Temmuz 2023, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, Türkiye, Erişim Adresi: <https://icdass2023.atauni.edu.tr/>

Aksüt G., Alakaş H.M., Eren T., Karaçam H., 2023. Fiziksel ergonomik riskli personel çizelgeleme problemi için model önerisi: Kadın çalışanlar için tekstil sektöründe bir uygulama, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 38(1), 245-256.

Bedir N., Eren T., Dizdar E.N., 2017. Ergonomik personel çizelgeleme ve perakende sektöründe bir uygulama, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 5(3), 657-674.

Besi O.N., 2009. 28 Şubat Sivil Savunma Günü, T.C. Yedisu Kaymakamlığı, Erişim adresi: <http://www.yedisu.gov.tr/28-subat-sivil-savunma-gunu>

Bingöl AFAD, 2021. İRAP İl Afet Risk Azaltma Planı, T.C. Bingöl Valiliği İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü, Erişim Adresi: <https://bingol.afad.gov.tr/kurumlar/bingol.afad/E-Kutuphane/II-Planlari/BINGOL-AFAD-IRAP-2012.pdf>

Cao P., Zheng J., Li M., Fu Y., 2023. A Model for the Assignment of Emergency Rescuers Considering Collaborative Information, *Sustainability*, 15(2), 1203.

Chen R., Sharman R., Rao H.R., Upadhyaya S.J., 2008. Coordination in emergency response management, *Communications of the ACM*, 51(5), 66-73.

Cunha V., Pessoa L., Vellasco M., Tanscheit R., Pacheco M.A., 2018. A Biased Random-Key Genetic Algorithm for the Rescue Unit Allocation and Scheduling Problem, *IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC)*, 1-6.

Cürebal A., Koçtepe S., Eren T., 2020. Organizasyon firması için COVID-19 pandemi döneminde aylık personel atama ve çizelgeleme probleminin çözümü: bir uygulama, *Journal of Turkish Operations Management*, 4(2), 479-493.

Cürebal A., Eren T., 2021. COVID-19 Pandemi Riski Durumunda Yetkinlik Bazlı Güvenlik Personeli Vardiya Çizelgeleme Probleminin Çözümü, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 36(3), 1483-1498.

Danişan T., Eren T., 2022a. Afetlere etkin müdahale için ekiplerin çizelgelenmesinde matematiksel modellemenin kullanılması, 3rd International Disaster Management Congress, 9 Haziran 2022, Tokat, Türkiye, Erişim Adresi: <https://idmc.gop.edu.tr/>

Danişan T., Eren T., 2022b. Uluslararası etkin müdahale ekiplerinin çokv yöntemleri ile belirlenmesi, 3rd International Disaster Management Congress, 9 Haziran 2022, Tokat, Türkiye, Erişim Adresi: <https://idmc.gop.edu.tr/>

Doğruyol M., 2019. Bingöl İli Deprem Risk Analizi, *Erzincan University Journal of Science and Technology*, 13(2), 568-579.

Eren T., Güner E., 2002. Tek ve Paralel Makinalı Problemlerde Çok Ölçütlü Çizelgeleme Problemleri İçin Bir Literatür Taraması, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 17(4).

Eren T., Güner E., 2004. Çok Ölçütlü Akış Tipi Çizelgeleme Problemleri İçin Bir Literatür Taraması, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10(1), 19-30.

Eren T., Şahiner M., Aktürk M.S., Bedir N., Ünlüsoy S., 2017. Hemşire çizelgeleme için model önerisi: örnek uygulama, *Trakya Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 6(2), 62-77.

Erkal T., Değerliyurt M., 2009. Türkiye’de Afet Yönetimi, *Doğu Coğrafya Dergisi*, 14(22), 147-164.

Fei L., Wang Y., 2022. An optimization model for rescuer assignments under an uncertain environment by using Dempster–Shafer theory, *Knowledge-Based Systems*, 255, 109680.

Fiedrich F., Gehbauer F., Rickers U., 2000. Optimized resource allocation for emergency response after earthquake disasters, *Safety Science*, 35, 41-57.

Gür Ş., Eren T., 2018. Scheduling and planning in service systems with goal programming: Literature review, *Mathematics*, 6(11), 265.

Gür Ş., Eren T., Alakaş H.M., 2019. Surgical operation scheduling with goal programming and constraint programming: A case study, *Mathematics*, 7(3), 251.

Gür Ş., Hamurcu M., Eren T., 2016. Using analytic network process and goal programming methods for project selection in the public institution, *Les Cahiers du MECAS*, 13, 36-51.

Gür Ş., Hamurcu M., Eren T., 2017. Selecting of Monorail projects with analytic hierarchy process and 0-1 goal programming methods in Ankara, *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 23(4), 437-443.

Gür Ş., Pınarbaşı M., Alakaş H.M., Eren T., 2022. Operating room scheduling with surgical team: a new approach with constraint programming and goal programming, *Central European Journal of Operations Research*, 1-25.

Hooshangi N., Alesheikh A.A., Panahi M., Lee S., 2021. Urban search and rescue (USAR) simulation system: spatial strategies for agent task allocation under uncertain conditions, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 21(11), 3449-3463.

Hooshangi N., Gharakhanlou N.M., Ghaffari-Razin S.R., 2022. Urban search and rescue (USAR) simulation in earthquake environments using queuing theory: estimating the

appropriate number of rescue teams, *International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment*, 100, 1-15 <https://doi.org/10.1108/IJDRBE-09-2021-0122>

INSARAG, 2020. Insarag Guidelines 2020. International Search and Rescue Advisory Group (INSARAG) Preperadnes and Response. United Nations Office for the Coordination of Humanitarians Affairs (OCHA), Erişim adresi: <https://www.insarag.org/methodology/insarag-guidelines/>

Karaman Z.T., 2017. Afet yonetimine girif ve Turkiye'de orgutlenme, *Bütünleşik Afet Yonetimi*, 1-38.

Koçtepe S., Bedir N., Eren T., Gur Ş., 2018. Organizasyon goevlileri icin personel cizelgeleme probleminin 0-1 tam sayili programlama ile cozumu, *Ekonomi İşletme ve Yonetim Dergisi*, 2(1), 25-46.

Li M.Y., Zhao X.J., Fan Z.P., Cao P.P., Qu X.N., 2019. A model for assignment of rescuers considering multiple disaster areas, *International Journal Of Disaster Risk Reduction*, 38, 101201.

Nolz P.C., Semet F., Doerner K.F., 2011. Risk approaches for delivering disaster relief supplies, *OR Spectrum*, 33, 543-569.

Nayeri S., Sazvar Z., Heydari J., 2022. A fuzzy robust planning model in the disaster management response phase under precedence constraints, *Operational Research*, 22, 3571-3605.

Nufusune, 2023. Bingol İlçeleri, Turkiye İlleri İlçeleri Mahalleleri ve Köyleri, Erişim adresi: <https://www.nufusune.com/bingol-ilceleri>

Özcan E., Özder E.H., Eren T., 2018. The security staff scheduling problem with goal programming approach, *Journal of Trends in the Development of Machinery and Associated Technology*, 21(1), 85-88.

Özcan E., Varlı E., Eren T., 2017. Hidroelektrik santrallerde vardiya cizelgeleme problemleri icin hedef programlama yaklasimi, *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 10(4), 363-370.

Özder E.H., Eren T., 2015. Tedarikçi Seçiminde Analitik Hiyerarşı Prosesi Ve Hedef Programlama Yontemlerinin Entegrasyonu: Örnek Bir Uygulama, 15. Üretim Araştırmaları Sempozyumu, 14-16 Ekim 2015, İzmir, Turkiye.

Özder E.H., Eren T., 2016. Çok ölçütlü karar verme yontemi ve hedef programlama teknikleri ile tedarikçi seçimi, *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4(3), 196-207.

Özder E.H., Özcan E., Eren T., 2019a. Staff task-based shift scheduling solution with an ANP and goal programming method in a natural gas combined cycle power plant, *Mathematics*, 7(2), 192.

Özder E.H., Özcan E., Eren T., 2019b. Sustainable personnel scheduling problem optimization in a natural gas combined-cycle power plant, *Processes*, 7(10), 702.

Özder E.H., Özcan E., Eren T., 2020. Personel cizelgeleme problemleri icin sistematik bir literatür taraması, *Uluslararası Bilgi Teknolojisi ve Karar Verme Dergisi*, 19(06), 1695-1735.

Rezapour S., Nader N., Morshedlou N., Rezapourbehagh S., 2018. Optimal deployment of emergency resources in sudden onset disasters, *International Journal of Production Economics*, 204, 365-382.

Santoso A., Sutanto R.A.P., Prayogo D.N., Parung J., 2019. Development of fuzzy RUASP model-Grasp metaheuristics with time window: Case study of Mount Semeru eruption in East Java, *In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 235(1), 012081.

Sezer L.İ., 2008. Karlıova (Bingöl) Yöresinin Depremselliği, *Ege Coğrafya Dergisi*, 17(1-2), 35-50.

T.C. Bingöl Valiliği, 2023. Bingöl İlçelerimiz, Erişim adresi: <http://www.bingol.gov.tr/ilcelerimiz>

Tirkolae E.B., Aydın S.N., Ranjbar-Bourani M., Weber G.W., 2020. A Robust Bi-Objective Mathematical Model For Disaster Rescue Units Allocation And Scheduling With Learning Effect, *Computers & Industrial Engineering*, 149, 106790.

Üstündağ Y., 2014. Ekip Çizelgeleme Problemi, *Demiryolu Mühendisliği*, (1), 72-83.

Varlı E., Eren T., 2017a. Vardiya Çizelgeleme Problemi ve Bir Örnek Uygulama, *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 10(2), 185-197.

Varlı E., Eren T., 2017b. Hemşire Çizelgeleme Problemi ve Hastanede Bir Uygulama, *Academic Platform-Journal of Engineering and Science*, 5(1), 34-40.

Varlı E., Ergişi B., Eren T., 2017. Özel Kısıtlı Hemşire Çizelgeleme Problemi: Hedef Programlama Yaklaşımı, *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, (49), 189-206.

Wex F., Schryen G., Neumann D., 2013. Decision Modeling for Assignments of Collaborative Rescue Units during Emergency Response, *In 2013 46th Hawaii International Conference on System Sciences*, *IEEE*, 166-175.

#### **ÇIKAR ÇATIŞMASI / İLİŞKİSİ** (*Conflict of Interest / Relationship*)

Bu çalışmada herhangi bir kişiyle ve/veya kurumla çıkar çatışması yoktur.

#### **YAZARLARIN KATKI ORANI BEYANI** (*Author Contributions*)

- Çalışmanın tasarlanması (*Designing of the study*): E.A., T.E.
- Literatür araştırması (*Literature research*): E.A., T.E.
- Saha çalışması, veri temini/derleme (*Fieldwork, collection/compilation of data*): E.A., T.E.
- Verilerin işlenmesi/analiz edilmesi (*Processing/analysis of data*): E.A., T.E.
- Şekil/Tablo/Yazılım hazırlanması (*Preparation of figures/tables/software*): E.A.
- Bulguların yorumlanması (*Interpretation of findings*): E.A.
- Makale yazımı, düzenleme, kontrol (*Writing, editing and checking of manuscript*): E.A., T.E.