

Afet ve Acil Durum Yönetiminde Arama Kurtarma Ekiplerinin Oluşturulması

Elif Akdaş¹, Tamer Eren²

Öz

Beklenmedik bir anda meydana gelen afetler ekonomik, fiziksel ve sosyal kayıplara sebep olmaktadır. Afetler insanların yaşamını ve doğayı olumsuz etkilemekte, çevrede büyük değişiklik meydana getirmekte ve toplumun belirli bir kısmını veya bütünü etkilemektedir. Afet öncesi, afet esnası ve afet sonrası zarar ve kayıpların azaltılması için gerekli önlemler almak, gerekli çalışmalar planlamak, yönlendirmek ve etkin olarak uygulayabilmek afet yönetimini kapsamaktadır. Afet yönetimi dinamik ve çok yönlü bir süreçtir. İlk müdahale için afetin ciddiyetine göre afet yerlerine gönderilen hafif, orta ve ağır sınıf arama kurtarma ekiplerinin önceden oluşturulması sayesinde müdahale aşamasında hızlı ilerleme sağlanacaktır. Bu çalışmada, afet ve acil durum yönetiminde önemli rol oynayan orta ve ağır sınıf arama kurtarma ekiplerinin oluşturulması ele alınmıştır. Ele alınan problemde AFAD'dan elde edilen verilerle oluşturulan matematiksel modelde hedef programlama yaklaşımı kullanılmıştır. Söz konusu ekipleri oluşturacak olan, donanımlı 200 personel için kurulan modelin çözümü için IBM ILOG CPLEX Optimization Studio kullanılarak optimal çözüme gidilmiştir. Çözüm sonuçlarına göre, oluşturulan 3 ekip için gerekli minimum kadro sayıları sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Afet ve Acil Durum Yönetimi, Afet Yönetimi Kurtarma Ekipleri, Arama ve Kurtarma, Çizelgeleme

Establishment of Search and Rescue Teams in Disaster and Emergency Management

Abstract

Disasters that occur unexpectedly cause economic, physical and social losses. Disasters negatively affect people's lives and nature, cause significant environmental changes, and affect a specific part or the whole of society. Disaster management includes taking the necessary precautions to reduce damage and losses before, during and after the disaster, planning, directing and effectively implementing the required studies. Disaster management is a dynamic and multifaceted process. Rapid progress will be achieved in the intervention phase by pre-establishing light, medium and heavy class search and rescue teams, which are sent to disaster areas according to the severity of the disaster for first response. This study discusses the creation of medium and heavy-class search and rescue teams, which play an essential role in disaster and emergency management. In the problem addressed, a goal programming approach was used in the mathematical model created with the data obtained from AFAD. The optimal solution using IBM ILOG CPLEX

¹Kırıkkale Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale
e-posta: meakdas9@gmail.com ORCID No: 0000-0002-3951-3407

²Prof. Dr., Kırıkkale Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale

İlgili yazar e-posta/Corresponding author e-posta: tamereren@gmail.com ORCID No: 0000-0001-5282-3138

Optimization Studio was found to solve the model established for 200 well-equipped personnel who will form the teams in question. According to the solution results, the minimum personnel required for the three teams created was met.

Keywords: Disaster and Emergency Management, Disaster Management Rescue Teams, Search and Rescue, Scheduling

1. GİRİŞ

Afet, zamanını önceden kestiremediğimiz ve aniden meydana gelen bir acil durumdur. Afetler insan yaşamını ve doğayı olumsuz yönde etkileyen doğa, insan veya teknolojik kaynaklı olaylardır. Bu olaylar meydana geldiklerinde birçok can ve mal kaybına sebep olmakta, yaşam faaliyetlerini kesintiye uğratmakta veya azaltmaktadır (Karaman, 2016). Türkiye’de afet konusunda yetkili olan kurum AFAD, “Afet bir olayın kendisi değil doğurduğu sonuç olarak kabul edilir” şeklinde afeti tanımlamaktadır. Afet gündelik hayatı ve insan faaliyetlerini kesintiye uğratmaktadır ve etkilenen toplumun tek başına afetle mücadele etme kapasitesi yetersizdir. Sonuç olarak bütün afetlerin sonucu hem insanları hem doğayı olumsuz olarak etkilemektedir. Kayıpları en aza indirebilmek için etkili bir şekilde işleyen afet yönetim sistemine ihtiyaç duyulmaktadır. Afetler karşısında çözüm yolları aramak, çeşitli planlar hazırlamak ve bu planları uygulamaya koymak afetler karşısında yapılabilecek tek yoldur afetlerin toplum üzerindeki etkilerini en aza indirecektir (Erkal ve Değerliyurt, 2009). Afet yönetimi belirgin bir şekilde sona ermeyen, sürekli olarak devam eden ve zamanla tekrar tekrar yenilenen bir süreçtir. Afet yönetim sistemi üç aşamada ele alınmaktadır. Bu aşamalar afet öncesinde hazırlık aşaması, afet esnasında müdahale aşaması ve afet sonrasında iyileştirme aşamasıdır. Hazırlık aşamasında risk ve tehlikeler tespit edilmeli, risk azaltma planları yapılmalı, afet ve acil durumlar için eğitim verilmeli, organize çalışmaları yapılmalı ve kaynaklar tahsis edilmelidir (Karaman, 2016). Herhangi bir afet esnasında olaylara zamanında, çabuk ve etkili olarak müdahale edilmesi için uygulanacak işler planlanır (Işık vd. 2012). Zarar görebilirlik seviyesi yüksek olduğundan dolayı tedbir almak gerekli ve önemlidir. Müdahale aşaması afet yönetiminin en önemli aşamasıdır (Karaman, 2016) ve afetin meydana gelmesi ile birlikte başlayan bir süreçtir. Bu süreçte arama kurtarma çalışmaları, tahliye etme, ilk yardım ve ardından en yakın hastaneye sevk etme, geçici barınma yerleri oluşturma, güvenliği sağlama, psikolojik ve sosyal destek hizmetleri gerçekleştirilmelidir. Arama kurtarma çalışmaları tamamen bittikten sonra iyileştirme aşaması başlamaktadır. Bu aşama bozulan yaşamı normale döndürmeyi ve yeniden yapılanmayı kapsamaktadır (Işık vd. 2012). Tedbirli ve planlı olmak, afete dirençli bir toplum olabilmek için afet yönetiminin aşamalarında başarıyı yakalamak gereklidir (Karaman, 2016). Belirli sisteme ve stratejiye dayalı olarak yapılan bu planlamalar etkili hedefleri de ardından getirecektir. Afet öncesinde yapılacak olan hazırlık ve müdahaleler sayesinde maksimum kaynak kullanımı ve minimum kayıp ile kriz anını iyi yönetmek hedeflenmektedir.

Afet durumunda çok sayıda personelin görev aldığı arama kurtarma ekipleri koordineli ve aşamalı olarak müdahaleyi sürdürmektedir. Bu ekipler operasyonları boyunca afetzedeleri arama, bulma, kurtarma ve gerekli ilk müdahaleyi yapma konusunda kritik görevlere sahiptir (Shiri vd. 2020). Afet olaylarında kurtarma operasyonlarının verimliliğini arttırmak amacıyla arama kurtarma ekiplerini oluşturan personellerin görevlerine karar verilmesi ve afetin meydana geldiği bölgelere müdahale için ekiplerin gönderilmesi gerekmektedir (Hamp vd. 2013).

Ekiplerin kurulması eğitim, ekipman ve plan gerektirmektedir. Takip edilmesi gereken 4 aşama bulunmaktadır. İlk aşamada topluluk risklerinin ve kurtarma ihtiyaçlarının değerlendirilmesi gerekmektedir. İkinci aşamada yapılan planlamanın ardından üçüncü aşamada ekipler geliştirilir.

Ekip üyeleri seçilir, eğitim verilir, araç satın alınır ve idari destek sağlanır. Dördüncü aşamada ise ekiplerin düzenli bir şekilde yeniden gözden geçirilmesi gerekmektedir (URL 1). Ekipler hafif, orta ve ağır arama kurtarma olarak operasyonel kabiliyetleri, yetkinlikleri vb. açıdan birbirinden ayrılırlar. Bu çalışmada, belirli eğitimler almış ve sınavlara tabi tutulmuş personellerden orta ve ağır sınıf arama kurtarma ekiplerinin oluşturulması problemi ele alınmıştır. İkinci bölümde afet ve acil durum arama kurtarma ekiplerinin oluşturulmasından bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde bu çalışmanın çözümü için kullanılan hedef programlama yöntemine, dördüncü bölümde literatür taramasına ve beşinci bölümde uygulamaya yer verilmiştir. Altıncı bölümde ise sonuç ve önerilerden bahsedilmiştir.

2. AFET VE ACİL DURUM ARAMA KURTARMA EKİPLERİNİN OLUŞTURULMASI

Her ülkenin yetkililerinin ve liderlerinin karşı karşıya olduğu önemli konulardan biri de kriz ve afetlerin yönetimidir. Afetlerin kolaylıkla üstesinden gelebilmek için afet öncesi hazırlık konusu önemlidir. Arama ve kurtarma ekipleri tarafından yapılacak müdahalelerin zamanında gerçekleştirmesi gerekmektedir (Tirkolae vd., 2020).

Arama kurtarma ekiplerini oluştururken göz önünde bulundurulacak minimum standartlar ve prosedürler vardır. Aşamalı bir şekilde kurulan arama kurtarma ekiplerini oluşturmak ve geliştirmek önemli bir sorumluluktur. Hem idari hem operasyonel yönlerinin oluşturulması oldukça ayrıntılı ve yoğunken, bakım ve tekrar eden eğitim çok daha zorlayıcıdır. Yeni ekibin başarıyla kurulmasını sağlamadaki en kritik gelişimsel adımlardan birisi de ekip için kaç kişinin gerektiğinin tespit edilmesidir. Genelde kadro gereksinimleri, tespit edilmiş tüm komuta/yönetim kadrosunu doldurmaya ve ayrıca taktiksel operasyonları etkili ve güvenli bir şekilde yürütmek için gerekli minimum personel sayısına eğilmelidir. Ekipleri kurmadan önce bir ekibe gerçekten ihtiyaç duyulup duyulmadığı, yerel yetkililerin ekibi finansal olarak destekleyip desteklemeyeceği, müdahale edenlerin ekip kurmak isteyip istemediği, kurtarma ekibiyle ilgili risklerin neler olduğu ve ekip kurmayı etkileyen yasaların neler olduğu vb. birçok konu üzerinde düşünmek gerekmektedir. Arama kurtarma ekibi kurulurken: ekip üyeleri seçilir, eğitim verilir, donanım ve üniforma satın alınır, uygun bir araç satın alınır, idari destek temin edilir. Ekip oluşumunda öncelikle personelin isteği önemlidir ve ekibe katabileceği beceriler öğrenilmelidir. Ekip üyelerini seçerken kazanılan beceriler, bilgi, uzmanlık ve yetkinlik gibi ana hususların değerlendirmeye alınması gerekmektedir. Ekibin tüm donanım ve kurtarma teknikleri hakkında gerçekçi eğitim senaryolarını, eğitim yerlerini barındıran kapsamlı bir başlangıç eğitim programına ihtiyacı olacaktır. Eğitim programının uygulamalı ve teknik sınıf konularının karışımından oluşmasını sağlamak kritik öneme sahiptir. Temel donanımdan başlayarak ihtiyaç duyulacak olan donanım zamanla temin edilmelidir. Planlama esnasında belirlenen, gerekli donanımın da sığacağı tipteki araç satın alınmalıdır. Oluşturulan ekibi faaliyete geçirmek için ekip görev listesi, donanım envanterleri gibi kayıtların tutulması için idari çalışmalar yapılmalıdır. Sürekli eğitim ve yeniden eğitim programı tespit etmenin ve geliştirmenin önemi, takip donanımının ele alınması ve eğitime katılan ekip üyesinin kaydının tutulmasıdır. Bu önemli bir idari adımdır. Personelin sürekli olarak eğitilmesi ve elde tutulması için sorumluluğun da göz önünde bulundurulması gerekmektedir. İlk olarak ekibi eğitmek ve ekibe donanım temin etmek yeterli değildir; etkili üyeler olabilmeleri için becerilerini sürekli olarak pratik yaparak korumalı ve yenilerini öğrenmelidirler. Örneğin, pratiklerini koruyabilmek adına tatbikat düzenlemek en ucuz alternatiftir.

1991 yılında kurulan Uluslararası Arama Kurtarma Danışma Grubu (INSARAG), INSARAG Sınıflandırma Sistemi öncesinde arama kurtarma ekiplerini *Hafif, Orta veya Ağır Sınıf Arama*

Kurtarma ekibi olarak kendiliğinden bir sınıflandırma yapmıştır. Bu kendiliğinden sınıflandırma daha sonra INSARAG Sekreterliğine sunulmuş ve Uluslararası Arama Kurtarma Ekipleri Rehberine kaydedilmiştir. Arama kurtarma ekiplerinin kilit bileşenleri vardır ve bu beş kilit bileşen; yönetim, arama, kurtarma, tıbbi ve lojistikdir. Her bir sınıftaki arama kurtarma ekiplerinin oluşumunda bu beş bileşen mutlaka sağlanmalıdır. *Hafif Arama Kurtarma* ekipleri, kurtarma ekipmanı, bilgi ve yeterlilikler konusunda temel veya asgari operasyonel kabiliyetlere sahiptir ve beş kilit bileşenin tamamını yerine getirme zorunluluğu bulunmaz. Ancak *Hafif Arama Kurtarma* ekipleri genel olarak yüzeyde afetzedelerin aranması ve kurtarılmasına yardımcı olabilirler. Sınırları dolayısıyla *Hafif Arama Kurtarma* ekipleri normal şartlarda uluslararası alanda görevlendirilmez. *Orta Arama Kurtarma* ekibi, beş kilit bileşeni kapsar ve betonarme veya yapı çeliği ile inşa edilmiş yapılar dahil olmak üzere ağır ahşap veya demir takviyeli yapılardan oluşan göçük veya yıkık yapılarda karmaşık teknik arama ve kurtarma operasyonları yürütme yeteneğine sahiptir. Bu ekipler aynı zamanda kaldırma ve taşıma faaliyetleri de yürütmek zorundadır. Bir *Orta Arama Kurtarma* ekibi yalnızca bir çalışma sahasında çalışmaya yönelik operasyonel kabiliyete sahip olması beklenir. *Ağır Arama Kurtarma* ekipleri yukarıda sıralanan beş öğeyi kapsar ve başta betonarme ve/veya yapı çeliği ile inşa edilmiş yapılar olmak üzere göçük veya yıkık yapılarda karmaşık teknik arama ve kurtarma operasyonları yürütme yeteneğine sahiptir. Bu ekipler aynı zamanda kaldırma ve taşıma faaliyetleri de yürütmek zorundadır. Bir *Ağır Arama Kurtarma* ekibinin eşzamanlı olarak iki çalışma sahasında teknik kapasitede çalışacak ekipman ve iş gücüne sahip olması beklenir. İkinci çalışma sahası, bir arama kurtarma ekibinin personel ve ekipmanını farklı bir yerde yeniden görevlendirmesini gerektiren herhangi bir çalışma alanı olarak tanımlanır. Bu yeniden görevlendirme, bağımsız lojistik destek gerektirecektir. Genel olarak bu türden bir görevlendirme 24 saatten daha uzun sürer (URL 1).

3. HEDEF PROGRAMLAMA

İlk hedef programlama çalışması 1955 senesinde Charnes vd. tarafından uygulanmıştır. 1961 senesinde ise hedef programlama yöntemi Charnes ve Cooper tarafından geliştirmeye başlanmıştır. Hedef programlama birçok hedefin veya amaç fonksiyonunun bulunduğu çok kriterli karar verme tekniklerinden biridir. Doğrusal programlama problemleri ile birlikte kullanılmaktadır. Direkt olarak amaçları optimize etmeye çalışan doğrusal programlamadan farklı olarak hedef programlama, çok amaçlı problemlerin çözümünde istenilen hedeflere ulaşabilmek için sapmayı ifade eden değişkenleri minimize etmeyi amaçlamaktadır. Karar vericinin istekleri doğrultusunda hedefler oluşturulur ve bu hedeflerin ağırlıkları ve sapsmalarının kısıt olarak yazılması gerekmektedir. Sözü edilen bu sapma değişkenlerinin değeri daima sıfırdan büyüktür. Ek olarak istenilen hedefin hem altı hem de üstü sağlanamayacağından, bir kısıta ait iki sapma değişkeninden biri mutlaka sıfır değerini almaktadır. Matematiksel modelin kapalı formdaki gösterimi Denklem 1-3'te verilmiştir.

Değişkenler:

x_j = j. karar değişkeni

w_{ij} = i. hedefin j. karar değişkeni için ağırlık katsayısı

d_i^+ = i. hedeften pozitif sapması

d_i^- = i. hedeften negatif sapması

k_i = i. hedef için ulaşılmak istenen değer

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

$$\sum_{j=1}^m w_{ij} x_j - d_i^+ + d_i^- = k_i \quad (2)$$

$$d_i^+ * d_i^- = 0 \quad (3)$$

$$x_j, d_i^+, d_i^- \geq 0 \quad (i = 1 \dots n, j = 1 \dots m) \quad (4)$$

4. LİTERATÜR TARAMASI

Afet yönetimi konusu araştırmacıların ilgi odağı haline gelmiştir ve literatür gün geçtikçe genişlemektedir. Konu hakkında potansiyel araştırma fırsatları mevcuttur. Afetin negatif sonuçlarını minimize etmek ve kaynakları maksimum etkililikte kullanmak amacıyla afet yönetiminde yapılan çalışmalara bu bölümde yer verilmiştir.

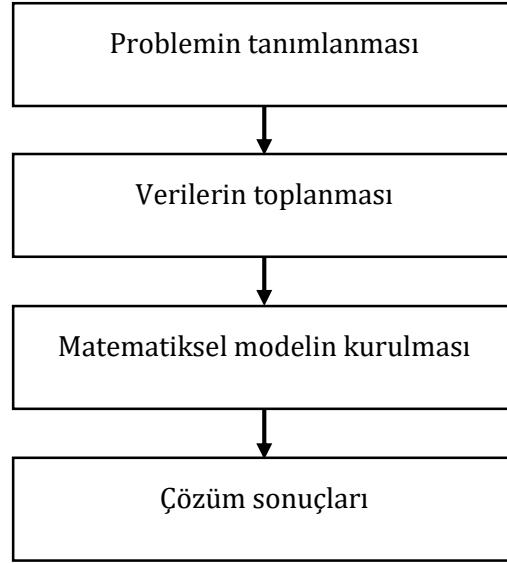
Fiedrich vd. (2000) çalışmalarında, deprem felaketi sonrasında ölü sayısını azaltmak ve alanlara mevcut kaynakların ataması için arama kurtarma periyodunda atamayı problemini ele almışlardır. Bunun için optimize edilmiş bir kaynak çizelgesinin oluşturulmasına izin veren dinamik optimizasyon modeli önermişlerdir. Benzetimli tavlama ve tabu arama sezgisel yaklaşımları kullanılmıştır. Eren ve Güner (2006) çalışmalarında, ele aldıkları problemde toplam tamamlanma zamanını ve maksimum gecikmenin ağırlıklı toplamını minimize etmeyi amaçlamışlardır. İki ölçütlü ve özdeş kabul edilen paralel makineler üzerinden ele aldıkları problemde, büyük boyutlu çözümler için sezgisel yöntemler olan Tabu Arama ve Rassal Arama yöntemlerini kullanmışlardır. Nolz vd. (2011) çalışmalarında, lojistik sisteminin afetzedelere yardım dağıtımını konusunu çok amaçlı optimizasyon problemi olarak formüle etmişlerdir. Amaçlardan bir tanesi toplam seyahat süresini minimize etmektir. Wex vd. (2014) çalışmalarında, kurtarma birimlerinin çizelgelenmesinde önem seviyeleri olan olayların tamamlanma zamanlarının toplamını minimize etmeyi amaçlayan bir karar destek modeli önermişlerdir. Problemi bağlantısız paralel makineli çizelgeleme ve çoklu gezgin satıcı problemine benzeterek, NP-Hard yapıda olan problemler için Monte Carlo tabanlı sezgisel çözümler uygulamışlardır. Eren vd. (2016) çalışmalarında, tam sayılı programlama modelini kullanarak ameliyathane odalarını çizelgeleme problemini ele almışlardır. Kullanılan modeldeki amaç, hastaların bekleme sürelerini ve ameliyathane odalarının boş kalma zamanlarını minimize ederek kaynakların verimli kullanılmasıdır. Fanjul-Peyro vd. (2017) çalışmalarında, paralel makine çizelgeleme probleminde kıt kaynak gerektiren makinelerde işlerin işlenmesinin maksimum tamamlanma zamanının minimizasyonunu amaçlamışlardır. İki tam sayılı doğrusal programlama modellemişlerdir. Santoso vd. (2017) çalışmalarında, kurtarma birimlerini atama ve çizelgeleme problemini karmaşık tam sayılı programlama modeli ile ele alarak tüm olayların ağırlıklı tamamlanma zamanının toplamını minimize etmeyi amaçlamışlardır. Hem küçük ölçek hem büyük ölçek için uygun yaklaşım olan GRASP metasezgisel yaklaşımını geliştirmişlerdir. Wex vd. (2014) tarafından geliştirilen modelden farklı olarak olayların önem seviyesi/ciddiyetinin ve gereken seyahat süresinin bulanık kavramlar olduğu bir model önerisinde bulunmuşlardır. Ayrıca önerilen bu modeldeki işlem süresi olay için gerekli kabiliyetin kurtarma birimlerinin kabiliyetine oranına bağlıdır. Cunha vd. (2018) çalışmalarında, belirsizlik altında kurtarma birimlerini tahsis etme ve çizelgeleme problemini ele almışlardır. Problem 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 vd. (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, Yaralı Tedavi İstasyonunda beklenen kırmızı ve sarı triyajdan kurtulan sayıyı maksimize etmektir. Li vd. (2019) çalışmalarında, birden fazla afet bölgesini göz önünde bulundurarak kurtarma birimlerinin ataması için matematiksel model önermişlerdir. İlk olarak kurtarma birimlerindeki kurtarıcılarının memnuniyet derecesi hesaplanmış daha sonra yetenek değerlendirme kriterlerine göre kurtarıcının yeterlilik derecesi hesaplanır. Kurtarıcılar ve görevler arasındaki uygunluk dereceleri elde edilir. Bu derecelerin toplamını maksimum etmek ve optimum atama elde etmek için optimizasyon modeli oluşturulur. Nayeri vd. (2019) çalışmalarında, yorgunluk etkisini dikkate

alarak kurtarma birimlerinin tahsisi ve çizelgelemesi problemini üç metasezgisel algoritma ile sonuçlandırarak ele almışlardır. Problemdeki amaç, ağırlıklı tamamlanma sürelerinin toplamını ve operasyonların başlamasındaki gecikmeleri minimize etmektir. Kullanılan üç metasezgisel algoritmanın verdiği sonuçlara göre performanslarını ölçmek için çok kriterli karar verme tekniklerinden biri olan TOPSIS yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Santoso vd. (2019) çalışmalarında, zaman penceresi altında tamamlanma zamanının minimizasyonu ile kurtarma birimlerini tahsis etmeyi ve çizelgelemeyi amaçlamışlardır. Problem için karmaşık tam sayılı programlama modeli önerisinde bulunmuş ve NP-Hard yapıda olan kurtarma birimlerini tahsis etmeyi ve çizelgeleme için GRASP metasezgisel metodunu kullanmışlardır. Bodaghi vd. (2020) çalışmalarında, kaynakların sıralanmasını ve çizelgelenmesini amaçlayan acil durum operasyon modelini sunmuşlardır. Belirsizlik altında çoklu kaynakların çizelgelenmesi problemi için karmaşık tam sayılı programlama modeli uygulanmıştır. 2009'da meydana gelen orman yangınlarından alınmış gerçek veri setleri kullanılmıştır ve en iyi uzlaşık acil durum operasyon planının belirlenmesi için birçok senaryo analiz edilmiştir. Nayeri vd. (2020) çalışmalarında, yorgunluk etkisi ve yoksunluk zamanını göz önünde bulundurarak kurtarma birimlerinin tahsis edilmesi ve çizelgelenmesi için çok amaçlı karmaşık tam sayılı model önermişlerdir. Ayrıca problemin NP-hard yapıda olmasından dolayı hibrit bir Lp-metrik metode ve iki metasezgisel yaklaşımı uygulanmıştır. Problemin amacı olayların ağırlıklı tamamlanma sürelerinin toplamını ve operasyonların gecikme sürelerinin toplamını minimize etmektir. Tirkolae vd. (2020) çalışmalarında, öğrenme etkili doğal afet kurtarma birimlerinin tahsis edilmesi ve çizelgelenmesi için iki amaçlı karmaşık tam sayılı lineer programlama modeli önermişlerdir. Bazı ortak özelliklere sahip olduğundan problem, bağlantısız paralel makina çizelgeleme problemi ve gezgin satıcı problemine benzetilmiştir. Ayrıca belirsizlik ve problemin iki amaçlı doğasından dolayı sağlam optimizasyon tekniği ve çok amaçlı hedef programlama yöntemini uygulamışlardır. Nayeri vd. (2021) çalışmalarında, yorgunluk etkisini göz önünde bulundurarak kurtarma birimlerinin tahsis edilmesi ve çizelgelenmesi için iki amaçlı karmaşık tam sayılı model önermişlerdir. Ayrıca problemin NP-hard yapıda olmasından dolayı iki metasezgisel yaklaşımı uygulanmıştır. Problemin amacı olayların ağırlıklı tamamlanma sürelerinin toplamını ve operasyonların gecikme sürelerinin toplamını minimize etmektir. Ahmadi vd. (2022) çalışmalarında, afet sonrası arama kurtarma kaynak konuşlandırmasını planlamak için karmaşık tam sayılı programlama modelini uygulamışlardır. İlk aşamada etkilenen yerlerde adil ve etkin talep kapsamını maksimum etmek için, sağlam çok dönemli tahsis etme modeli oluşturmuşlardır. İkinci aşamada, tahsis edilen kaynakların sonraki dönem her olay için rotalanmasını optimize etmektedirler. İkinci yıkılma riski, dinlenme süresi ve kaynak işbirliğini göz önünde bulundurarak arama kurtarma süresinin ağırlıklı toplamını minimize etmeyi amaçlamışlardır. Problemin belirsizliğinden dolayı sağlam optimizasyon yaklaşımını benimsemişlerdir. Nayeri vd. (2022) çalışmalarında, İran'da meydana gelen sel felaketinden elde edilen gerçek verilerle kurtarma birimlerinin atanma problemini ele almışlardır. Öncelik kısıtları, zaman penceresi, kullanılan araç tipi ve problemin doğasında var olan belirsizlik göz önünde bulundurarak belirli varsayımlar altında kurtarma operasyonlarının ağırlıklı tamamlanma zamanlarının toplamını minimize etmek için bir matematiksel model önermişlerdir. Belirsizlik riskini azaltmak için bulanık sağlam optimizasyon modeli önermişlerdir ayrıca büyük skaladaki örnekleri çözmek için, genetik algoritma ve parçacık sürü optimizasyonunun bir kombinasyonu olan hibrit bir metasezgisel algoritma geliştirmişlerdir. Akdaş (2023), afet yönetiminde müdahale ekiplerinden olan arama-kurtarma ve psikososyal destek ekiplerini çizelgeleme problemlerini ele alan altı uygulama gerçekleştirmiştir. Akdaş ve Eren (2023a), merkez üssü Aydın-Efeler ilçesi olan bir deprem senaryosunda yıkımın meydana geldiği afet ilçelerine arama kurtarma ekiplerini çizelgeleme problemini hedef programlama yaklaşımıyla ele almışlardır. Akdaş ve Eren (2023b), olası Elazığ depreminde yıkımın meydana geldiği afet ilçelerine arama kurtarma ekiplerinin çizelgeleme problemini hedef programlama yöntemi ile ele almışlardır. Akdaş ve Eren (2023c), Erzincan'da meydana gelecek olası bir

depremde yıkık binaların olduğu illere arama kurtarma ve psikososyal destek ekiplerini çizelgeleme problemini ele almışlardır.

5. UYGULAMA

Bu uygulamada, operasyonel yetenekleri olan donanımlı arama kurtarma personellerinin orta ve ağır sınıf arama kurtarma ekiplerine atanma problemi ele alınmıştır. Problemin uygulama adımları Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Uygulama Adımları

5.1. Problemin Tanımlanması

Ekiplerin oluşumunda her bir görevden olması gereken sayıda personelin bir araya gelmesi ve minimum kadro sayısının tamamlanması gerekmektedir. Bu çalışmada, eğitimi ve deneyimi olan, yapılan sınavlardan başarı elde etmiş personellerden orta ve ağır arama kurtarma ekiplerinin oluşturulması problemi ele alınmıştır. Problemin çözümü için çok amaçlı karar verme tekniklerinden biri olan hedef programlama yönteminden yararlanılmıştır.

5.2. Verilerin Toplanması

Bir arama kurtarma ekibi yönetim, arama, kurtarma, tıbbi ve lojistik olmak üzere beş bileşenden oluşmaktadır. Her bileşenin altında farklı görevler mevcuttur ve her bir görevin farklı işlevi vardır. Ayrıca ekipler aldıkları eğitimlere, bilgilerine ve operasyonel kabiliyetlerine göre üç farklı boyutta sınıflandırılmaktadır. Arama kurtarma bileşenleri, görevleri, işlevleri, orta ve ağır sınıf arama kurtarma ekiplerini oluşturacak personel sayıları, ayrıca matematiksel model kurulmadan önce görevi üstlenecek olan personellerin matematiksel modelde karşılık geldiği personel numaraları da Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Yerel Arama Kurtarma Ekibi

Arama Kurtarma Bileşeni	Görev	Sayı (Ağır)	Sayı (Orta)	Personel Numaraları
Yönetim	Ekip Lideri	1	1	1, 2, ..., 4
	Ekip Lideri Yardımcısı	1	1	5, 6, ..., 8
	Planlama Görevlisi	1	1	9, 10, ..., 12
	İrtibat Görevlisi/İrtibat Görevlisi Yardımcısı	1	1	13, 14, ..., 16
	Yapı Mühendisi	1	1	17, 18, ..., 20
	Güvenlik Görevlisi	1	1	21, 22, ..., 24
	RDC/OSOCC/UCC	2	2	25, 26, ..., 32
Arama	Teknik Arama Uzmanı	2	2	33, 34, ..., 56
	Köpekli Arama Uzmanı	4	2	57, 58, ..., 70
	Hazmat Uzmanı	2	2	71, 72, ..., 78
Kurtarma	Kurtarma Ekibi Yöneticisi ve Teknisyenleri	28	14	79, 80, ..., 150
	Büyük Donanım Uzmanı	2	2	151, 152, ..., 158
Tıbbi	Medikal Ekip Yöneticisi (Tıp Doktoru)	3	1	159, 160, ..., 166
	Sağlık Görevlisi/Hemşire	4	3	167, 168, ..., 179
Lojistik	Lojistik Ekibi Müdürü	1	1	180, 181, ..., 184
	Lojistik Uzmanı	4	4	185, 186, ..., 196
	İletişim Uzmanı	1	1	197, 198, ..., 200

5.3. Matematiksel Model

Bu bölümde mevcut 200 personelin, oluşturulacak olan bir orta ve iki ağır sınıf olmak üzere toplamda üç ayrı arama kurtarma ekibine personel atamasının gerçekleşmesi için oluşturulan matematiksel model yer almaktadır. Orta sınıf arama kurtarma ekibi için toplam 40 ve ağır sınıf arama kurtarma ekibi için toplam 59 personelin seçilip ekiplere atanacağı 3 farklı arama kurtarma ekibi oluşturulacaktır. Problem için kurulan matematiksel model Denklem 1-40 arasında verilmiştir.

n = personel sayısı

$n=200$

m = ekip sayısı

$m=3$

i = personel indeksi

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

j = ekip indeksi

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

d_{i1}^+ : i . personelin 1. hedeften pozitif sapma miktarı

\forall_i

d_{i1}^- : i . personelin 1. hedeften negatif sapma miktarı

\forall_i

d_{i2}^+ : i . personelin 2. hedeften pozitif sapma miktarı

\forall_i

d_{i2}^- : i . personelin 2. hedeften negatif sapma miktarı

\forall_i

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & i.\text{personel } j.\text{ ekibe atanırsa} \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad \forall_{i,j}$$

Kısıtlar:

Her personel en fazla bir ekibe atanmalıdır.

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

Orta Sınıf Arama Kurtarma Kısıtları:

Her ekipte 1 ekip lideri bulunmalıdır.

$$\sum_{i=1}^4 x_{ij} = 1 \quad \forall_j \quad (2)$$

Her ekipte 1 ekip lideri yardımcısı bulunmalıdır.

$$\sum_{i=5}^8 x_{ij} = 1 \quad \forall_j \quad (3)$$

Her ekipte 1 planlama görevlisi bulunmalıdır.

$$\sum_{i=9}^{12} x_{ij} = 1 \quad \forall_j \quad (4)$$

Her ekipte 1 irtibat görevlisi bulunmalıdır.

$$\sum_{i=13}^{16} x_{ij} = 1 \quad \forall_j \quad (5)$$

Her ekipte 1 yapı mühendisi bulunmalıdır.

$$\sum_{i=17}^{20} x_{ij} = 1 \quad \forall_j \quad (6)$$

Her ekipte 1 güvenlik görevlisi bulunmalıdır.

$$\sum_{i=21}^{24} x_{ij} = 1 \quad \forall_j \quad (7)$$

Her ekipte 2 operasyon yetkilisi bulunmalıdır.

$$\sum_{i=25}^{32} x_{ij} = 2 \quad \forall_j \quad (8)$$

Her ekipte 2 teknik arama uzmanı bulunmalıdır.

$$\sum_{i=33}^{56} x_{ij} = 2 \quad \forall_j \quad (9)$$

Her ekipte 2 arama köpekli arama uzmanı bulunmalıdır.

$$\sum_{i=57}^{70} x_{ij} = 2 \quad \forall_j \quad (10)$$

Her ekipte 2 hazmat (tehlikeli madde) uzmanı bulunmalıdır.

$$\sum_{i=71}^{78} x_{ij} = 2 \quad \forall_j \quad (11)$$

Her ekipte 14 kurtarma teknisyeni bulunmalıdır.

$$\sum_{i=79}^{150} x_{ij} = 14 \quad \forall_j \quad (12)$$

Her ekipte 2 büyük donanım uzmanı bulunmalıdır.

$$\sum_{i=151}^{158} x_{ij} = 2 \quad \forall_j \quad (13)$$

Her ekipte 1 tıp doktoru bulunmalıdır.

$$\sum_{i=159}^{166} x_{ij} = 1 \quad \forall_j \quad (14)$$

Her ekipte 3 sağlık görevlisi/hemşire bulunmalıdır.

$$\sum_{i=167}^{179} x_{ij} = 3 \quad \forall_j \quad (15)$$

Her ekipte 1 lojistik ekibi müdürü bulunmalıdır.

$$\sum_{i=180}^{184} x_{ij} = 1 \quad \forall_j \quad (16)$$

Her ekipte 4 lojistik uzmanı bulunmalıdır.

$$\sum_{i=185}^{196} x_{ij} = 4 \quad \forall_j \quad (17)$$

Her ekipte 1 iletişim uzmanı bulunmalıdır.

$$\sum_{i=197}^{200} x_{ij} = 1 \quad \forall_j \quad (18)$$

Ağır Sınıf Arama Kurtarma Kısıtları:

Her ekipte 1 ekip lideri bulunmalıdır.

$$\sum_{i=1}^4 x_{ij} = 1 \quad \forall_j \quad (19)$$

Her ekipte 1 ekip lideri yardımcısı bulunmalıdır.

$$\sum_{i=5}^8 x_{ij} = 1 \quad \forall_j \quad (20)$$

Her ekipte 1 planlama görevlisi bulunmalıdır.

$$\sum_{i=9}^{12} x_{ij} = 1 \quad \forall_j \quad (21)$$

Her ekipte 1 irtibat görevlisi bulunmalıdır.

$$\sum_{i=13}^{16} x_{ij} = 1 \quad \forall_j \quad (22)$$

Her ekipte 1 yapı mühendisi bulunmalıdır.

$$\sum_{i=17}^{20} x_{ij} = 1 \quad \forall_j \quad (23)$$

Her ekipte 1 güvenlik görevlisi bulunmalıdır.

$$\sum_{i=21}^{24} x_{ij} = 1 \quad \forall_j \quad (24)$$

Her ekipte 2 operasyon yetkilisi bulunmalıdır.

$$\sum_{i=25}^{32} x_{ij} = 2 \quad \forall_j \quad (25)$$

Her ekipte 2 teknik arama uzmanı bulunmalıdır.

$$\sum_{i=33}^{56} x_{ij} = 2 \quad \forall_j \quad (26)$$

Her ekipte 4 arama köpekli arama uzmanı bulunmalıdır.

$$\sum_{i=57}^{70} x_{ij} = 4 \quad \forall_j \quad (27)$$

Her ekipte 2 hazmat (tehlikeli madde) uzmanı bulunmalıdır.

$$\sum_{i=71}^{78} x_{ij} = 2 \quad \forall_j \quad (28)$$

Her ekipte 28 kurtarma teknisyeni bulunmalıdır.

$$\sum_{i=79}^{150} x_{ij} = 28 \quad \forall_j \quad (29)$$

Her ekipte 2 büyük donanım uzmanı bulunmalıdır.

$$\sum_{i=151}^{158} x_{ij} = 2 \quad \forall_j \quad (30)$$

Her ekipte 3 tıp doktoru bulunmalıdır.

$$\sum_{i=159}^{166} x_{ij} = 3 \quad \forall_j \quad (31)$$

Her ekipte 4 sağlık görevlisi/hemşire bulunmalıdır.

$$\sum_{i=167}^{179} x_{ij} = 4 \quad \forall_j \quad (32)$$

Her ekipte 1 lojistik ekibi müdürü bulunmalıdır.

$$\sum_{i=180}^{184} x_{ij} = 1 \quad \forall_j \quad (33)$$

Her ekipte 4 lojistik uzmanı bulunmalıdır.

$$\sum_{i=185}^{196} x_{ij} = 4 \quad \forall_j \quad (34)$$

Her ekipte 1 iletişim uzmanı bulunmalıdır.

$$\sum_{i=197}^{200} x_{ij} = 1 \quad \forall_j \quad (35)$$

Hedef Kısıtları:

Hedef Kısıtı-1: Orta sınıf arama kurtarma ekibindeki personel sayısı 40'a eşit olmalıdır.

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} - d_{i1}^+ + d_{i1}^- = 40 \quad j = 1 \quad (36)$$

Hedef Kısıtı-2: Ağır sınıf arama kurtarma ekibindeki personel sayısı 59'a eşit olmalıdır.

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} - d_{i2}^+ + d_{i2}^- = 59 \quad j = 2,3 \quad (37)$$

Amaç Fonksiyonu:

$$\min z = \sum_{i=1}^n (d_{i1}^+ + d_{i1}^- + d_{i2}^+ + d_{i2}^-) \quad (38)$$

$$x_{ij} = 0 \text{ veya } 1 \quad \forall_{ij} \quad (39)$$

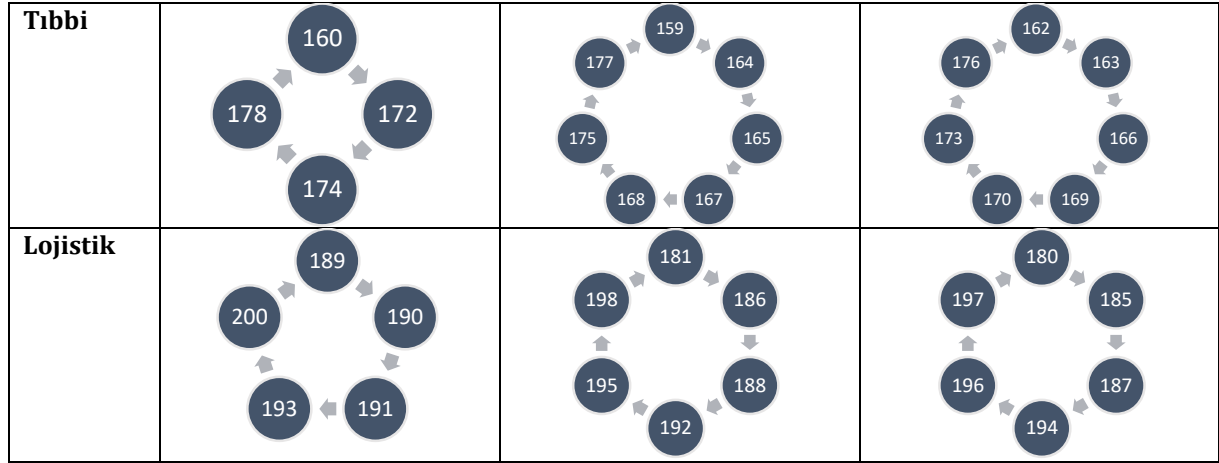
$$d_{i1}^+, d_{i1}^-, d_{i2}^+, d_{i2}^- \geq 0 \quad (40)$$

5.4. Çözüm Sonuçları

Oluşturulan matematiksel modelin çözüm sonucunda oluşturulan arama kurtarma ekipleri Tablo 2'de yer almaktadır. *Ekip 1* orta sınıf arama kurtarma ekibini, *Ekip 2* ve *Ekip 3* ağır sınıf arama kurtarma ekibini ifade etmektedir. Arama kurtarma ekibinin beş ayrı bileşeninde uzmanlaşan ve kendi bileşenleri içerisinde ekiplere atanan personeller, numaraları ile tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Sonuçlar

	Ekip 1	Ekip 2	Ekip 3
Yönetim			
Arama			
Kurtarma			



Her bir bileşene atanan donanımlı personellerle üç ekip oluşturulmuştur. Orta sınıf arama kurtarma ekibi olan *Ekip 1*'de yönetim, arama, kurtarma, tıbbi ve lojistik bileşenlerine sırasıyla 8, 6, 14, 4 ve 5 personel olmak üzere toplam 40 personelin ataması gerçekleştirilmiştir. Ağır sınıf arama kurtarma ekibi olan *Ekip 2* ve *Ekip 3*'te yönetim, arama, kurtarma, tıbbi ve lojistik bileşenlerine sırasıyla 8, 8, 30, 7 ve 6 personel olmak üzere toplam 59 personelin ataması gerçekleştirilmiştir. Böylelikle ekiplerin boyutlarına göre, her görevden olması gereken sayıda personel ataması yapılmıştır. Ayrıca bütün ekipler için kısıtlar ve hedef kısıtları tam olarak sağlanmıştır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bir bölgede afet meydana geldiğinde müdahalenin hızlı bir şekilde yapılması afetin olumsuz sonuçlarını azaltacağından, yapılması gereken planlamaların afet öncesi yapılmasının afet yönetimine büyük katkısı olacaktır. Bu çalışmada, AFAD arama kurtarma ekiplerinde görev alacak olan 200 donanımlı personelin farklı sınıflardaki ekiplere atanma problemi ele alınmıştır. Hedef programlama yaklaşımı kullanılarak her bir görevi üstlenecek olan istenilen sayıda, alanında eğitimi ve donanımı olan personellerden bir araya getirilerek 1 orta ve 2 ağır sınıf arama kurtarma ekipleri oluşturulmuştur. Hedef programlama yöntemi ile oluşturulan matematiksel modelin çözümü sonucunda kısıtlara ve hedef kısıtlarına ulaşılmıştır.

Gelecek çalışmalarda afet öncesi ve afet esnasında birçok planlama çalışmaları yapılabilir. Afet öncesinde, kullanılan kaynaklar kıt olduğundan dolayı kullanılacak kaynakların söz konusu ekiplere atama çalışmaları gerçekleştirilebilir. Arama kurtarma çalışmalarında, görev yükü en fazla olan bileşen belirlenerek ve yorgunluk etkisi dikkate alınarak ekip oluşturma problemi gerçekleştirilebilir. Afet meydana geldiğinde, afet yerlerine afetin ciddiyetine göre uygun sınıf arama kurtarma ekiplerinin çizelgesi gerçekleştirilebilir.

Teşekkür

Araştırmamın uygulama aşamasında gerekli bilgileri paylaşan Adana ve Diyarbakır AFAD arama kurtarma teknisyenlerine teşekkürü borç bilirim. Bu çalışma Kırıkkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje numarası 2023/010.

KAYNAKLAR

- Ahmadi, G., Tavakkoli-Moghaddam, R., Baboli, A., Najafi, M. (2022). A decision support model for robust allocation and routing of search and rescue resources after earthquake: a case study. *Operational Research*, 1039-1081. <https://doi.org/10.1007/s12351-020-00591-5>
- Akdaş, E., (2023). Afet Yönetiminde Arama-Kurtarma ve Psikososyal Destek Ekiplerinin Atanması, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Akdaş, E., Eren, T., (2023a). Doğal Afetlerde Arama Kurtarma Ekiplerinin Çizelgelenmesi: Aydın Depremi Senaryosu, In *International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences*, 1(1): 718-724.
- Akdaş, E., Eren, T., (2023b). Deprem Afetinde Arama Kurtarma Ekiplerinin Çizelgelenmesi İçin Örnek Bir Uygulama, *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, Basımda.
- 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 July 2023, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, Türkiye*.
- Bodaghi, B., Palaneeswaran, E., Shahparvari, S., Mohammadi, M. (2020). Probabilistic allocation and scheduling of multiple resources for emergency operations; a Victorian bushfire case study. *Computers, Environment and Urban Systems*, 81, 101479. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2020.101479>
- 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. <https://doi.org/10.1109/CEC.2018.8477819>
- Eren, T., Güner, E. (2006). Paralel Makineli Çizelgelemede Toplam Tamamlanma Zamanı Ve Maksimum Gecikmenin Enküçüklenmesi. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 21(1), 21-32.
- Eren, T., Kodanlı, E., Altundağ, B., Malkoç, S. K., Ünlüsoy, S., Biçer, Ü., Tutuk, K. (2016). Ameliyathane Çizelgeleme ve Örnek Uygulama”, *Ekonomi İşletme Siyaset ve Uluslararası İlişkiler Dergisi*, 2 (1), 71-85.
- Ergünay, O. (2009). Doğal Afetler ve Sürdürülebilir Kalkınma. *Deprem Sempozyumu*, 11-12 Kasım.
- Erkal, T., Değerliyurt, M. (2009). Türkiye’de Afet Yönetimi. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 14(22), 147-164.
- Fanjul-Peyro, L., Perea, F., Ruiz, R. (2017). MIP models and matheuristics for the unrelated parallel machine scheduling problem with additional resources. *European Journal of Operational Research*, 260(2), 482-493. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.01.002>
- Fiedrich, F., Gehbauer, F., Rickers, U. (2000). Optimized resource allocation for emergency response after earthquake disaster. *Safety Science*, 35, 41-57. [https://doi.org/10.1016/S0925-7535\(00\)00021-7](https://doi.org/10.1016/S0925-7535(00)00021-7)
- Hamp, Q., Reindl, L., Güthlin, D. (2013). Decision-making behaviour during urban search and rescue: a case study of Germany. *Disasters*, 38(1), 84-107. <https://doi.org/10.1111/disa.12035>
- Işık, Ö., Aydınoglu, H. M., Koç, Gündoğdu, O., Korkmaz, G., Ay, A. (2012). Afet Yönetimi ve Afet Odaklı Sağlık Hizmetleri. *Okmeydanı Tıp Dergisi*, 28(Ek sayı 2), 82-123.
- Karaman, Z. T. (2016). Bütünleşik Afet Yönetimi. *İlkem Yayınları*, 1. Baskı, İzmir.
- Li, M. Y., Zhao, 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. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2019.101201>

Nayeri, S., Asadi-Gangraj, E., Emami, S. (2019). Metaheuristic algorithms to allocate and schedule of the rescue units in the natural disaster with fatigue effect. *Neural Computing and Applications*, 31(11), 7517-7537. <https://doi.org/10.1007/s00521-018-3599-6>

Nayeri, S., Tavakkoli-Moghaddam, R., Sazvar, Z., Heydari, J. (2020). Solving an emergency resource planning problem with deprivation time by a hybrid metaheuristic algorithm. *Journal of Quality Engineering and Production Optimization*, 5(1), 65-86. <https://doi.org/10.22070/IQEP0.2020.5379.1150>

Nayeri, S., Asadi-Gangraj, E., Emami, S., Rezaeian, J. (2021). Designing a bi-objective decision support model for the disaster management. *RAIRO-Operations Research*, 55(6), 3399-3426. <https://doi.org/10.1051/ro/2021144>

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. <https://doi.org/10.1007/s12351-022-00694-1>

Nolz, P.C., Semet, F., Doerner, K. F. (2011). Risk approaches for delivering disaster relief supplies. *OR Spectrum*, 33, 543-569. <https://doi.org/10.1007/s00291-011-0258-z>

Rezapour, S., Nader, N., Morshedlou, N., Rezapourbehnagh, S. (2018). Optimal deployment of emergency resources in sudden onset disasters. *International Journal of Production Economics*, 204, 365-382. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.08.014>

Santoso, A., Prayogo, D. N., Parung, J., Iswadi, H., Rizqi, D. A. (2017). Model Development of Rescue Assignment and Scheduling Problem Using Grasp Metaheuristic. *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, <https://doi.org/10.1109/IEEM.2017.8290124>

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. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/235/1/012081>

Shiri, D., Akbari, V., Salman, F. S. (2020). Online routing and scheduling of search-and-rescue teams. *OR Spectrum*, 42(3), 755-784. <https://doi.org/10.1007/s00291-020-00594-w>

Tirkolaee, 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. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106790>

URL 1, <https://www.insarag.org/methodology/insarag-guidelines/> (Son Erişim: 05.12.2022)

Wex, F., Schryen, G., Feuerriegel, S., Neumann, D. (2014). Emergency response in natural disaster management: Allocation and scheduling of rescue units. *European Journal of Operational Research*, 235, 697-708. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2013.10.029>