



T.C.
İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJELERİ KOORDİNASYON BİRİMİ

**AFET DURUMLARI İÇİN ACİL TIP MERKEZLERİNİN YERLEŞİM PLANLAMASI
TIBBİ MALZEME ENVANTER YÖNETİMİ VE YARALI TAŞIMA SİSTEMİ
TASARIMI İSTANBUL DEPREMİ İÇİN PİLOT UYGULAMA**

Proje No: MGA-2019-42242

Proje Türü: Genel Araştırma Projesi

SONUÇ RAPORU

Proje Yürütücüsü:

Şule İtır Satoğlu
İşletme Fakültesi/ Endüstri Mühendisliği Bölümü

Araştırmacılar:

Mehmet Kürşat Öksüz
İşletme Fakültesi/ Endüstri Mühendisliği Bölümü

Nadide Çağlayan
İşletme Fakültesi/ Endüstri Mühendisliği Bölümü

Emine Nisa Kapukaya
İşletme Fakültesi/ Endüstri Mühendisliği Bölümü

Mayıs 2021

İSTANBUL

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZET	1
ABSTRACT	2
1. GİRİŞ	3
2. GEÇİCİ TIP MERKEZLERİNİN KONUM PLANLAMASI İÇİN İKİ AŞAMALI STOKASTİK MODEL	4
3. YARALI TAŞIMA SİSTEMİ İÇİN RFID TABANLI VERİ TEMELLİ KARAR DESTEK ARACI ÖNERİSİ VE SİMULASYON UYGULAMASI	19
4. YARALI TAŞIMA SİSTEMİ İÇİN ÇOK AMAÇLI İKİ AŞAMALI STOKASTİK MATEMATİKSEL PROGRAMLAMA MODELİ	25
5. SONUÇ	35
6. KAYNAKLAR	36

Şekil Listesi

	Sayfa No
Şekil 1: Afet sonrası için Acil Tıp Merkezi Müdahale Sisteminin Tasarımı (Öksüz ve Satoğlu, 2020)	5
Şekil 2: Kartal'da talep noktaları, hastaneler, önerilen TMC lokasyonları haritası (Öksüz ve Satoğlu, 2020)	12
Şekil 3: Model A ve Model C'ye göre Fay Hatları (JICA, 2002)	13
Şekil 4: Her senaryoya göre beklenen atanmamış yaralı yüzdeleri (Öksüz ve Satoğlu, 2020).	14
Şekil 5: Tüm senaryolarda her talep noktasında atanmamış yaralıların beklenen yüzdeleri (Öksüz ve Satoğlu, 2020)	16
Şekil 6: S1'den S10'a kadar senaryolarda (Öksüz ve Satoğlu, 2020) her türden atanmamış yaralıların beklenen yüzdeleri	16
Şekil 7: İki vaka için tüm senaryolarda her talep noktasında atanmamış yaralıların beklenen yüzdeleri (Öksüz ve Satoğlu, 2020)	17
Şekil 8: Hastanelerin farklı mesafe sınırları (km) için kullanılmayan kapasite oranları (Öksüz ve Satoğlu, 2020).	18
Şekil 9: Farklı α -güvenilirlik seviyeleri için gerekli kapasite artış oranları (Öksüz ve Satoğlu, 2020).	19
Şekil 10. AUGMECON-2 algoritmasının adımları	31
Şekil 11. Önerilen yaralı taşıma sistemine (a) ve mevcut sisteme (b) göre talep noktalarından taşınamayan ortalama yaralı sayısı	35

Tablo Listesi

	Sayfa No
Tablo 1. Modellerde Dikkate Alınan Senaryolara İlişkin Veriler	13
Tablo 2: Nüfus, toplam beklenen can kaybı ve her talep noktasındaki atanmamış yaralı sayıları (Öksüz ve Satoğlu, 2020).	13
Tablo 3. Senaryo özet tablosu	20
Tablo 4. Hastane kapasite parametreleri	22
Tablo 5. Kurtarılamayan Yaralı Sayıları	23
Tablo 6. Senaryolar bazında T1-Tipi yaralıların hastanelere nakledilme süreleri	23
Tablo 7. Senaryolar bazında T2-Tipi yaralıların hastanelere nakledilme süreleri	24
Tablo 8. Performans ölçütleri üzerinde en etkili ve önemli ana ve çoklu etkiler özet tablosu	24
Tablo 9. Senaryolara göre parametre değerleri.	32
Tablo 10. Kartal örneği için acil yardım istasyonu kapsama ve ambulans konumlandırma sonuçları	33
Tablo 11. Senaryo, periyot ve RPM puanlarına göre taşınamayan yaralı sayıları ve beklenen yaralı sayılarına oranları (26. pareto optimal çözüme göre)	33
Tablo 12. 26. Pareto optimal çözüme göre senaryo ve periyotlara göre gereken ek ambulans sayıları	34

ÖZET

Bu projemizde öncelikle afet sonrası kurulması gereken “Geçici Tıp Merkezi” (Sahra Hastanelerinin) sayına ve konumlarını, belirsiz koşullar altında optimum şekilde karar vermeye yönelik iki aşamalı bir stokastik programlama modeli geliştirilmiştir. Amaç, afet öncesinde geçici tıp merkezi kurulum maliyeti ile beklenen yaralı taşıma maliyetinin toplamını minimize etmektir. Bu modelde, afete ilişkin belirsizlik içeren hastanelerin zarar görmesi ve yolların zarar görmesi durumları senaryolar halinde modelde temsil edilmiştir. Projenin ikinci bölümünde çalışmalar, yaralı taşıma süreci için karar destek aracı önerisi ve bu sisteme göre elde edilen verileri bilgiye dönüştürerek karar vericilere ambulansların atanması ve yönlendirilmesinde yardımcı olabilecek matematiksel modelin geliştirilmesi olmak üzere iki bölümde ele alınmıştır. Çalışmanın ilk bölümünde yaralıların ve hastane kapasitelerinin gerçek zamanlı takibini sağlamak için Radyo Frekans ile Tanımlama teknolojisinin (RFID) bazlı veri temelli bir karar destek aracı önerilmiştir. Hastanelere nakledilen yaralıların triyaj tipi, hastane seçim kararı, yaralı sağlık puanı önceliği ve ambulans sayısı olmak üzere iki seviyeli dört faktör dikkate alınarak oluşturulan farklı senaryolar için simülasyon analizi yapılmıştır. Simülasyon sonuçlarına dayanarak, performans ölçütlerini istatistiksel olarak önemli seviyede etkileyen faktörler, faktör analizi ile belirlenmiştir. Faktör analizi sonuçları simülasyon analizi ve matematiksel model arasında bir köprü oluşturmaktadır. Projenin üçüncü bölümünde, belirlenen önemli faktörlere göre çok amaçlı iki aşamalı stokastik programlama modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen matematiksel programlama modeli ile var olan acil yardım istasyonlarının hangi mahalleleri kapsamaması gerektiği ve mevcut olan ambulansların afet öncesi bu merkezlere kaçar tane konumlandırılması gerektiği belirlenmiş ve ayrıca afet sonrasında farklı senaryolarda ek ambulans ihtiyaçlarına ilişkin çıkarımlarda bulunulmuştur. Matematiksel modelde senaryolar, Japon Uluslararası İşbirliği Ajansı (JICA) (2002) ve Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü (DEZİM) (2018) raporlarına göre oluşturulan dokuz senaryoya göre İstanbul’un Kartal İlçesi için çözülmüştür.

ABSTRACT

In this project, a two-stage stochastic programming model has been developed to determine the number and location of "Temporary Medical Centers" (Field Hospitals) that should be established after the disaster, under uncertain conditions, in an optimum manner. The aim is to minimize the sum of the temporary medical center establishment cost and the expected casualty transportation cost before the disaster. In this model, uncertainty regarding the disaster, damage to hospitals and damage to roads are represented in the model in scenarios. In the second part of the project, the studies were conducted in two parts: the decision support tool proposal for the casualty transport process and the development of a mathematical model that can help decision-makers for the ambulance allocation and direction by converting the data obtained according to this system into information. In the first part of the study, a data-based decision support tool based on Radio Frequency Identification technology (RFID) is proposed to provide real-time tracking of casualties and hospital capacities. Simulation analysis was conducted for different scenarios by considering four two-level factors: triage type, hospital selection decision, injured health score priority and number of ambulances of the injured who were transferred to hospitals. Based on the simulation results, the factors affecting performance criteria at a statistically significant level were determined by factor analysis. Factor analysis results create a bridge between simulation analysis and the mathematical model. In the third part of the project, a multi-objective two-stage stochastic programming model has been developed according to the determined important factors. With the developed mathematical programming model, it was determined which neighborhoods the existing emergency aid stations should cover and how many existing ambulances should be located in these centers before the disaster, and also inferences were made regarding the additional ambulance needs in different scenarios after the disaster. In the mathematical model, the scenarios were solved for Kartal District of Istanbul according for the nine scenarios created according to the reports of the Japanese International Cooperation Agency (JICA) (2002) and the Earthquake and Ground Investigation Directorate (DEZİM) (2018).

1.GİRİŞ

Afetler; ani gelişen, doğal veya doğal olmayan olaylar sonucunda ortaya çıkan ve çok sayıda kişiyi hem sağlık açısından hem de maddi olarak etkileyen olaylardır. Afetin olumsuz etkilerinin üstesinden gelebilmek için öncesinde organizasyon çalışmalarının afet yönetim yaklaşımıyla planlanmış olması gerekir. Afet yönetimi, olayların ortaya çıkmasından önce başlayan ve durumun eski haline döndürülebilmesi ile tamamlanan dinamik yapıda bir yönetim sürecidir (Çağlayan vd., 2018). Arama-kurtarma faaliyetlerinin yürütülmesi, ilk yardım, yaralı nakli, geçici sağlık merkezlerinin konumlarının belirlenmesi ve kurulum süreçleri, gerekebilecek kaynak ve ekipmanlar, iletişim ve haberleşme kanalları, sistem elemanlarının koordinasyonu, malzeme akışı gibi birçok konuda afet öncesinde eylem planlarının hazırlanması gereklidir.

Acil durumlarda yaralıların kurtarılması, ilk müdahalenin yapılması ve gerekirse sağlık kuruluşlarına nakledilmesi doğrudan kişinin hayatıyla ilgili olduğu için büyük öneme sahiptir. Afet yönetimde ilk amaç insan hayatının kurtarılmasıdır. Depremlerde ölümlerin %80'inin ilk saatlerde olduğu düşünüldüğünde, hazırlık aşamasındaki iyi bir organizasyon planı müdahale aşamasında önemlidir (Günaydın vd., 2017). Afet ve acil durum yönetimi süreçlerini etkin bir şekilde yönetmek ve koordinasyonu sağlamak için hazırlık, müdahale ve iyileştirme aşamalarının tümünü kapsayan bilgi teknolojileri altyapısına sahip uygulamalar geliştirilmiştir (Keskin vd., 2018).

Bilgi sistemleri, afet yönetiminde yardım dağıtım tesislerinin yerleştirilmesi, müdahale ve kurtarma için araç yönlendirmesi, hasar değerlendirmesi gibi uygulama alanlarında kullanılır (Özdamar & Ertem, 2015).

Bilgi, karmaşık sistemlerde tüm koordinasyon seviyelerinde karar vermeyi etkiler (Altay & Labonte, 2014). Günümüzde teknolojik gelişmelerle veri elde etmek kolaylaşmıştır. Bu verilerin analiz edilmesiyle bilgiye ulaşılır. Bilgi teknolojilerinin ve veri analitiğinin kullanılması, afet yönetim sürecini geliştirir (Fosso Wamba vd., 2015). Bu uygulamalar yapılırken afet meydana gelmeden önce bilgi yazılımının ve donanımının tasarımı, afet sonrasında olumsuz etkilerin azaltılmasına yardımcı olur (Bharosa vd., 2010). Literatürde afetlerde bilgi sistemlerinin kullanılmasıyla ilgili çalışmalar arasında triaj uygulamaları (Xiao, 2008; Nestler vd., 2011; Tekin vd., 2014), insani yardım lojistiği (Griffith vd., 2017), yaralı taşıma (Nestler vd., 2011; Çağlayan ve Satoğlu, 2021), uyarı sistemleri (Landwehr vd., 2016), hasar tespit (Yeum vd., 2018) çalışmaları bulunmaktadır.

Afetlere hazırlık aşamasında, “sahra hastanelerinin” veya diğer deyişle Geçici Tıp Merkezlerinin (İng.: Temporary Medical Center, TMC) konumlarının ve sayılarının belirlenmesi de önemli bir tesis yerleşimi problemidir. Çünkü afet sonrası genellikle ani biçimde yaralı sayısı artmakta ve hastanelerde, tüm yaralılara hizmet etmek için yeterli kapasite bulunmamaktadır (Oksuz ve Satoglu, 2020). Hafif yaralıların da triaj sonrasında tespit edilmesi sayesinde, hastanelere gönderilmeden tedavilerinin yapılması mümkündür. Böylece hastane kapasiteleri, daha ağır yaralı hastalar için etkin biçimde kullanılabilir. Ancak bu basit tedavilerin yapılması için afet sonrasında “sahra hastanelerin” hızlı biçimde kurulması gerekmektedir. Bu amaçla, afet gerçekleşmeden önce “geçici tıp merkezlerinin” konumlarının ve ayılarının belirlenmesi gerekmektedir.

Bu projemizde öncelikle afet sonrası kurulması gereken “Geçici Tıp Merkezi” (Sahra Hastanelerinin) sayına ve konumlarını, belirsiz koşullar altında optimum şekilde karar vermeye yönelik iki aşamalı bir stokastik programlama modeli geliştirilmiştir. Amaç, afet öncesinde geçici tıp merkezi kurulum maliyeti ile beklenen yaralı taşıma maliyetinin toplamını minimize etmektir. Bu modelde, afete ilişkin belirsizlik içeren hastanelerin zarar görmesi ve yolların zarar görmesi durumları senaryolar halinde modelde temsil edilmiştir. Ayrıca yaralılar için triaj yani

yaşamsal göstergelerine göre sınıflandırmanın yapıldığı kabul edilmektedir. Ayrıca triaj yapılmaması durumu için de ayrı bir model oluşturulmuştur. Her iki model ayrı ayrı beklenen İstanbul Depremi için İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin hazırlattığı JICA raporunda belirtilen deprem senaryoları ve yaralı oranları verileri dikkate alınarak Kartal İlçesi için çözülmüş ve sonuçlar yorumlanmıştır. Ayrıca bazı parametreler için de duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir.

Projenin ikinci bölümünde büyük ölçekli afetlerde yaralıların triyaj alanından hastanelere ulaştırılana kadar taşıma süreci incelenmektedir. İkinci bölümdeki çalışmalar, yaralı taşıma süreci için karar destek aracı önerisi ve bu sisteme göre elde edilen verileri bilgiye dönüştürerek karar vericilere ambulansların atanması ve yönlendirilmesinde yardımcı olabilecek matematiksel modelin geliştirilmesi olmak üzere iki bölümde ele alınmıştır. Çalışmanın ilk bölümünde yaralıların ve hastane kapasitelerinin gerçek zamanlı takibini sağlamak için Radyo Frekansı ile Tanımlama teknolojisinin (RFID) bazlı veri temelli bir karar destek aracı önerilmiştir. Hastanelere nakledilen yaralıların triyaj tipi, hastane seçim kararı, yaralı sağlık puanı önceliği ve ambulans sayısı olmak üzere iki seviyeli dört faktör dikkate alınarak farklı senaryolar için simülasyon analizi yapılmıştır. Mevcut durum ve önerilen sistem karşılaştırılmak üzere elde edilen sonuçlara göre performans ölçütlerini (Kurtarılamayan yaralı sayısı ve triyaj kategorilerine göre yaralıların hastaneye ulaştırılana kadar geçen süreler) istatistiksel olarak önemli seviyede etkileyen faktörler, faktör analizi ile belirlenmiştir. Faktör analizi sonuçları simülasyon analizi ve matematiksel model arasında bir köprü oluşturmaktadır. Bir diğer ifadeyle simülasyon analizinin çıktıları matematiksel modelin girdilerini oluşturmuştur.

Çalışmanın ikinci bölümünde, belirlenen önemli faktörlere göre çok amaçlı iki aşamalı stokastik programlama modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen matematiksel programlama modeli ile var olan acil yardım istasyonlarının hangi mahalleleri kapsamı gerektiği ve mevcut olan ambulansların afet öncesi bu merkezlere kaç tane konumlandırılması gerektiği belirlenmiş ve ayrıca afet sonrasında farklı senaryolarda ek ambulans ihtiyaçlarına ilişkin çıkarımlarda bulunulmuştur. Matematiksel modelde senaryolar, Japon Uluslararası İşbirliği Ajansı (JICA) (2002) ve Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü (DEZİM) (2018) raporlarına göre oluşturulan dokuz senaryoya göre çözülmüştür. Senaryolarda afet şiddetine göre beklenen yaralı sayısı, yaralıların triyaj tipi oranları, hastane ve yol hasarları belirsiz parametreler olarak dikkate alınmıştır. Matematiksel model Artırılmış Epsilon Kısıt Algoritması -2 (AUGMECON-2) ile çözülmüştür. İlerleyen bölümlerde ilk olarak simülasyon ve faktör analizine yer verilmiştir. Önerilen sistem açıklandıktan sonra uygulama çalışması yapılmıştır ve elde edilen sonuçlar açıklanmıştır. Bu proje neticesinde yukarıda anılan çalışmalarla ilgili olarak iki adet SCI-Exp indeksli makale yayınlanmıştır. Daha ayrıntılı bilgi için söz konusu makaleler incelenebilir (Öksüz ve Satoğlu, 2020) (Çağlayan ve Satoğlu, 2021).

2. GEÇİCİ TIP MERKEZLERİNİN KONUM PLANLAMASI İÇİN İKİ AŞAMALI STOKASTİK MODEL

Geçici Tıp Merkezleri (TMC)'nin konum planlaması afet müdahalesi için en önemli sorunlardan biridir. Yaralıların en kısa sürede müdahale edebilmeleri için konumları, sağlık koşulları, yolların ve hastanelerin mevcudiyeti gibi bazı faktörlere göre mevcut en yakın tıp merkezlerine nakledilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, deprem durumunda TMC'lerin yeri ve sayısının farklı faktörler göz önünde bulundurularak belirlenmesi amaçlanmıştır. Amaç fonksiyonunda, TMC'lerin kurulum maliyetini ve kazazedelerin nakliye maliyetini dikkate aldık. Ayrıca mevcut hastanelerin

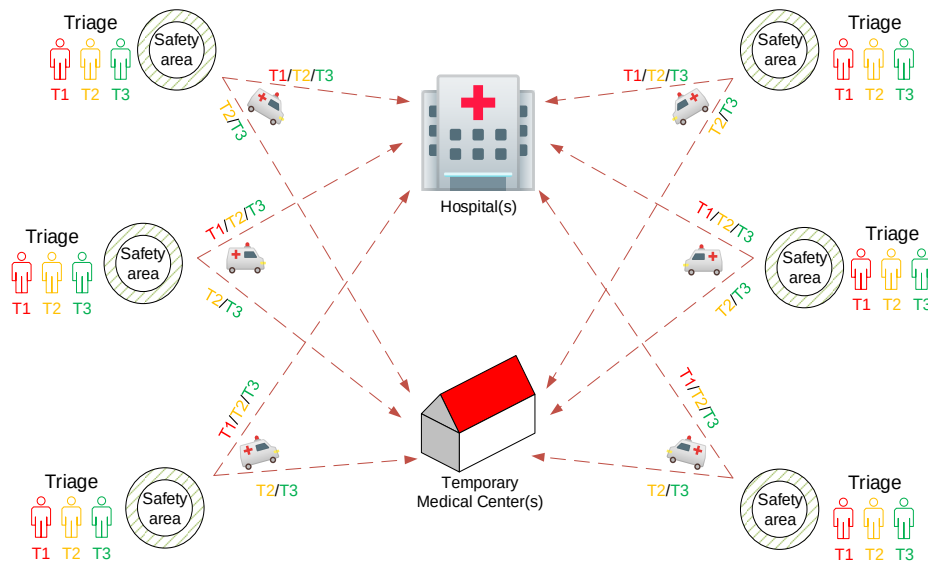
lokasyonları ve yatak kapasiteleri, hastanelere ve yollara zarar verme olasılıkları dikkate alınmaktadır. Aynı zamanda, yaralıların yaralı düzeylerine göre sınıflandırılması için yaygın olarak kullanılan bir triyaj sistemi uygulanmaktadır. Afet bölgeleri ile EMC'ler arasındaki mesafelerin de müdahale süresini en aza indirdiği düşünülmüştür. Bu problem için, TMC'lerin toplam kurulum maliyetini ve kazazedelerin toplam beklenen nakliye maliyetini en aza indirmek için iki aşamalı bir stokastik programlama modeli geliştirilmiştir.

Önerilen modelde, önceden tanımlanmış bir α -güvenilirlik seviyesi sağlamak için beklenen atanmamış yaralı sayısı kriterleri için şans Kısıtları da kullanılmıştır. Ayrıca triyajın sonuçlar üzerindeki etkisini görmek için model tek tip kazazede dikkate alınarak yeniden formüle edilmiştir. İstanbul'un Kartal ilçesine ait modelleri olası deprem senaryolarına göre test etmek için gerçek bir vaka çalışması yapıldı. Daha sonra sonuçlar tartışılır ve duyarlılık analizi yapılır. Bir sonraki bölümde problem tanımı yapılarak Acil Tıp Merkezi müdahale sistemi anlatılmıştır. Daha sonra önerilen iki aşamalı stokastik modelin matematiksel formülasyonu ve triyaj yapılmadan formüle edilen model açıklanmıştır. Kartal ilçesi için bir vaka çalışması, modelin sonuçları ve duyarlılık analizi diğer bölümlerde sunulmuştur.

2.1 Problem Tanımı

Deprem, sel, kasırga, tsunami gibi büyük ölçekli acil durumlarda hastanelerin kapasitelerinin yeterli olmadığı bilinmektedir. Bu nedenle, afet sonrası tıbbi müdahale için, TMC'ler yaralıları hizmet vermek için hemen uygun yerlere yerleştirilir. Yaralı sayısı ve mevcut hastaneler dikkate alınarak TMC'lerin yeri ve sayısının belirlenmesi afet yönetimi açısından çok önemlidir.

Yaralıların sağlık durumlarına göre sınıflandırılması, onları uygun bir tıp merkezine nakletmek için çok önemlidir. Bu nedenle, zayıflar NATO triyaj sistemine göre acil (T1), gecikmeli (T2) ve minimum (T3) (Url-3) olarak kategorize edilir. Yaygın olarak kullanılan diğer triyaj sistemi, NATO triyaj sistemine benzeyen ve yaralıları acil, gecikmiş, küçük, bekleyen ve ölü olarak beş farklı gruba ayıran Basit Triyaj ve Hızlı Taşıma'dır (START) (Super ve ark. 1994). TMC'ler ve hastaneler burada Acil Tıp Merkezleri (EMC'ler) olarak adlandırılır. Bu çalışmada ele alınan Acil Tıp Merkezi Müdahale Sisteminin genel tasarımı Şekil 1'de sunulmuştur. Önerilen EMC sisteminde, acil yaralanmalar (T1) sadece hastanelere aktarılır çünkü TMC'lerde gerçekleştirilemeyen ileri tedaviye ihtiyaç duyarlar. Geciken ve minimum zayıf TMC'lere veya hastanelere nakledilebilir. Sağlık personelinin afet sonrası güvenlik alanlarında triyaj sınıflandırması yaptığı varsayılmaktadır.



Şekil 1: Afet sonrası için Acil Tıp Merkezi Müdahale Sisteminin Tasarımı (Öksüz ve Satoğlu, 2020)

2.2 İki Aşamalı Stokastik Model

Matematiksel modelde mevcut hastanelerin lokasyonları dikkate alınarak afet durumunda TMC'lerin yeri ve sayısının belirlenmesi amaçlanmaktadır. Ek olarak, hem mevcut hastanelerin hem de TMC'lerin hasta kapasiteleri, TMC'lerin kurulum maliyetleri, yaralı nakliye maliyetleri ve afet bölgelerinde beklenen yaralı sayıları dikkate alınır. Ayrıca, senaryolara göre çözümlerde önceden tanımlanmış güvenilirliği sağlamak için bir α -güvenilirlik seviyesi kullanılır. Modelde hastane ve yolların zarar görme olasılıkları da dikkate alınmıştır. Bu problem için iki aşamalı bir stokastik programlama modeli geliştirilmiş ve aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır:

İndeks ve kümeler:

- i : afet bölgeleri ($i \in I$)
- j : acil tıp merkezleri (hastaneler + Geçici Tıp Merkezleri)
- j^* : hayali hastane
- s : olası senaryolar ($s \in S$)
- t : triyaja göre afetzede kategorileri ($t = T1, T2, T3$)
- I : afet bölgelerinin kümesi
- J_H : mevcut hastanelerin kümesi
- J_T : Geçici Tıp Merkezlerinin kümesi
- J : Acil Tıp Merkezlerinin kümesi ($J = J_H \cup J_T$)
- S : senaryoların kümesi

Parametreler:

- P_s : s senaryosu için gerçekleşme olasılığı
- d_{ij} : i ve j arasındaki mesafe
- β_t : t türü afetzedenin birim ulaştırma maliyeti
- λ_t : t türü afetzede için bir ambulansın kapasitesi
- $cost_j$: GTM- j için kurulum maliyeti
- Cap_j : ATM- j nin hizmet verebileceği maksimum yaralı sayısı
- D_L : T1 türü (acil) yaralı için mesafe limiti
- M : yeterince büyük bir sayı
- f_{ij}^s : s senaryosuna göre $i - j$ yolunun mesafe artış oranı
- g_j^s : s senaryosuna göre j hastanesinin kapasite azalış oranı
- $T1_i^s$: s senaryosuna göre i talep noktasındaki acil yaralı sayısı
- $T2_i^s$: s senaryosuna göre i talep noktasındaki acil yaralı sayısı
- $T3_i^s$: s senaryosuna göre i talep noktasındaki hafif yaralı sayısı
- $\bar{T1}_i$: i talep noktasındaki beklenen acil yaralı sayısı
- $\bar{T2}_i$: i talep noktasındaki beklenen orta acil yaralı sayısı
- $\bar{T3}_i$: i talep noktasındaki beklenen hafif yaralı sayısı

İlk aşama karar değişkeni:

- y_j : Eğer ATM – j ilk aşamada açılırsa 1; diğer durumda 0

İkinci aşama karar değişkenleri:

- $X_{ijt1}^s = 1$, eğer ATM
 - j senaryosuna göre talep noktası i 'deki T1 türü yaralıya hizmet ederse;
 - = 0 diğer

T_{ijt}^s : s senaryosunda ATM – j'ye atanan i talep noktasındaki t – türü yaralı sayısı

δ_s : Eğer s senaryosuna göre tüm yaralılar tıp merkezlerine atanabilirse 1; diğer halde 0

Stokastik modeli tanımlamak için aşağıdaki varsayımlarda bulunduk:

Atanmamış yaralıları belirlemek için büyük kapasiteli bir kukla hastane (j^*) tanımlanmıştır. Sahte hastane, ilçe / şehir sınırları içinde olmayan ve talep noktalarından oldukça uzak bir hastane olarak düşünülebilir. Sahte hastane eklemenin nedeni, mevcut kapasitenin üzerinde bir talep olması durumunda yaralılarından kaçının başka hastanelere nakledilmesi gerektiğini göstermektir. Mevcut EMC'lerin yaralıları hizmet etmek için yeterli kapasiteye sahip olması durumunda yaralıların atanmasını önlemek için kukla hastane için çok büyük bir mesafe tanımlanmıştır. Dolayısıyla, EMC'lerin kapasitesi tam olarak kullanılırsa, atanmamış yaralılar kukla hastanede toplanır.

T1 (acil), T2 (gecikmeli) ve T3 (minimal) olmak üzere üç farklı yaralı tipi kabul edilir. Acil yaralıları, TMC'lerde yapılamayacak ileri tedaviye ihtiyaç duydukları için hastanelere atanmalıdır. Bir hastanenin hizmet verebileceği maksimum yaralı sayısını (Cap_j), hastanedeki mevcut hastalar tarafından halihazırda kullanılan gerçek kapasitenin yarısının kullanıldığını varsayarak belirledik. Ayrıca, önerilen her bir TMC lokasyonu için uygun alan (m^2) dikkate alınarak TMC'lerin kapasitesi belirlenmiştir. Her bir TMC'nin kurulum maliyeti ($Cost_j$), TMC tarafından kapsanan alanla orantılı olarak hesaplanmıştır. T1 tipi (acil) yaralıları için, uzun mesafedeki hastanelere atanmalarını önlemek için talep noktası ile hastane arasındaki mesafe sınırı (D_L) da tanımlanmıştır.

Literatürde afet durumunda bağlantı / yol arızaları için farklı yaklaşımlar bulunmaktadır. Bunlardan bazıları, ağdaki diğer bağlantılara bağlı bağlantı arızaları (Günneç ve Salman, 2011), olasılıklı bağlantı arızaları (Peeta vd., 2010; Salman ve Yücel, 2015), çökmüş enkaz nedeniyle olası bağlantı tıkanıklıklarıdır. binalar ve köprüler (Bakioğlu ve Karaman, 2018; Renkli ve Duran, 2015) ve olası hasar düzeyine bağlı olarak her bir bağlantının kapasitelerinin belirlenmesi (Hong vd., 2015; Noyan vd., 2015; Rawls ve Turnquist 2012). Bu çalışmada, her bir senaryo için yolların hasar oranlarına (f_{ij}^s) göre mesafedeki artışı dikkate alarak olasılıklı bağlantı arızaları yaklaşımını kullandık. Benzer şekilde, bazı insani lojistik çalışmalarında kısmen veya tamamen hasarlı tesisler dikkate alınmaktadır (Bozorgi-Amiri vd., 2013; Tofighi vd., 2016). Afet sonrasında hastanelerin kısmen hasar görebileceğini ve kapasite düşüş oranına (g_j^s) göre hastanelerin kapasitesinin değişebileceğini varsaydık. İki aşamalı stokastik programlama modelinin matematiksel formülasyonu şu şekilde sunulmuştur (Öksüz ve Satoğlu, 2020):

Amaç:

$$\text{Minimize } \sum_{j \in J} cost_j y_j + E_{\xi} Q(y, \xi) \quad (1)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{i \in I} \overline{T1}_i + \overline{T2}_i + \overline{T3}_i \leq \sum_{j \in J \setminus j^*} Cap_j y_j \quad (2)$$

$$y_j \in \{0,1\} \quad (\forall j \in J) \quad (3)$$

Öyle ki:

$$E_{\xi} Q(y, \xi) = \min \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} \sum_{s \in S} P_s [\beta_t d_{ij} (1 + f_{ij}^s) T_{ijt}^s] \quad (4)$$

İkinci aşama Kısıtları:

Kapasite kısıtları:

$$\sum_{i \in I} \sum_{t \in T} T_{ijt}^s \leq y_j Cap_j (1 - g_j^s) \quad (\forall j \in J), (\forall s \in S) \quad (5)$$

Yaralıları için Atama Kısıtları:

$$\sum_{j \in J_H} T_{ijT1}^s = T1_i^s \quad (\forall i \in I), (\forall s \in S) \quad (6)$$

$$\sum_{j \in J} T_{ijT2}^s = T2_i^s \quad (\forall i \in I), (\forall s \in S) \quad (7)$$

$$\sum_{j \in J} T_{ijT3}^s = T3_i^s \quad (\forall i \in I), (\forall s \in S) \quad (8)$$

T1-Tipi Yaralıları için Mesafe Kısıtı:

$$d_{ij} (1 + f_{ij}^s) * X_{ijT1}^s \leq D_L \quad (\forall i \in I), (\forall j \in J_H), (\forall s \in S) \quad (9)$$

T1-Tipi Yaralıları için Atama Kısıtları:

$$T_{ijT1}^s \leq X_{ijT1}^s * M \quad (\forall i \in I), (\forall j \in J), (\forall s \in S) \quad (10)$$

$$T_{ijT1}^s \geq X_{ijT1}^s \quad (\forall i \in I), (\forall j \in J), (\forall s \in S) \quad (11)$$

α -Güvenilirlik Kısıtları (Şans Kısıtları) :

$$\sum_{s \in S} P_s * \delta_s \geq \alpha \quad (12)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{t \in T} T_{ij^*t}^s \leq M(1 - \delta_s) \quad (\forall s \in S) \quad (13)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{t \in T} T_{ij^*t}^s \geq (1 - \delta_s) \quad (\forall s \in S) \quad (14)$$

$$X_{ijT1}^s, \delta_s \in \{0,1\}, \quad (\forall i \in I), (\forall j \in J), (\forall s \in S) \quad (15)$$

$$T_{ijt}^s \geq 0 \text{ ve tamsayı}, \quad (\forall i \in I), (\forall j \in J), (\forall t \in T), (\forall s \in S) \quad (16)$$

Kısıt 1'de, stokastik model, kaza türleri, talep, yollara ve hastanelere hasar olasılığı ve afet bölgeleri arasındaki mesafeyi göz önünde bulundurarak TMC'lerin toplam kurulum maliyetini ve beklenen toplam nakliye maliyetini en aza indirirken optimum bir TMC konum çözümü bulur. ve tıp merkezleri. Amaç fonksiyonunun ilk aşamasında, senaryolardan bağımsız olarak açılacak TMC'lerin sayısına karar verilir. TMC konumlarına karar verilirken talep noktalarında beklenen kayıp sayısı ve EMC'lerin kapasitesi dikkate alınmıştır. Modelin birinci aşama karar değişkeni, y_j ile gösterilen bir EMC-j'nin açılıp açılmadığından oluşur. Amaç fonksiyonunun ikinci aşamasında, tüm senaryolarda, her yaralı türünün birim taşıma maliyeti, atanan zayıf

sayısı ve afet bölgeleri ile EMC'ler arasındaki mesafeler dikkate alınarak beklenen toplam nakliye maliyeti en aza indirilir. yollara zarar verme olasılığı.

Amaç fonksiyonunda, E_{ξ} rastgele vektör ξ ile ilgili matematiksel beklentiye belirtir. Amaç fonksiyonunun ilk kısmı, TMC'lerin toplam kurulum maliyetini gösterirken, ikinci kısım, kazazedelerin beklenen toplam nakliye maliyetini temsil eder. Burada ξ 'nin, rastgele senaryolara bağlı olan belirsiz veriler içeren rastgele bir vektör olduğunu varsayıyoruz. Bu çalışmada p_s olasılıkla bir afetin oluşumunu veya senaryosunu temsil etmektedir.

Kısıt 2, beklenen her tür yaralı sayısının EMC'lere atanması gerektiğini belirtir. Diğer bir deyişle, EMC'lerin toplam kapasitesi, beklenen tüm kayıp sayısından daha yüksek olmalıdır. Kısıt 3, birinci aşama ikili karar değişkeni y_j 'yi tanımlar. Kısıt 4, ikinci aşama sorunun beklenen değerini tanımlar. Kısıt 5, tüm talep noktalarından EMC-j'ye atanan toplam yaralı sayısının, hastanelerin zarar görmesi durumunda kapasite kaybı (g_s^j) dikkate alındığında j'nin kapasitesini aşmamasını sağlar. Afet sonrası TMC'ler kurulduğu için hasarın sadece mevcut hastanelerde meydana geldiği varsayıldı. Bu nedenle TMC'ler için hasar olasılığı düşünülmemektedir. Kısıtlar 6, 7 ve 8, kazazedeleri acil durumlarına göre kategorize eden triyaj sistemiyle ilgilidir. Kısıt 5, her bir talep noktasındaki toplam acil yaralı sayısının (T1) hastanelere tayin edilmesi gerektiği anlamına gelir. Kısıtlar 7 ve 8, TMC'ler ve hastaneler dahil olmak üzere, toplam gecikmiş yaralı sayısının (T2) ve asgari kazazedelerin (T3) EMC'lere atanması gerektiği anlamına gelir.

Kısıt 9'da, T1 tipi (acil) yaralıların hastanelere uzun mesafeden atanmasını önlemek için bir mesafe sınırı tanımlanmıştır. Kısıt 10 ve 11, senaryolarda talep noktası-i'den EMC-j'ye T1 tipi zayıflıklar için bir atamanın olup olmadığını belirlemek için tanımlanmıştır. Bu nedenle, $X_{ij}^{T1} \in \{0,1\}$, bir atama varsa 1, aksi halde 0 alır. Dolayısıyla ilgili görev için mesafe sınırı uygulanacaktır. Ayrıca yolların zarar görmesinden dolayı i ve j arasındaki mesafenin f_{ij} oranında artacağı varsayılmaktadır.

Stokastik model, çözümlerde önceden belirlenmiş bir güvenilirlik seviyesi (α) sağlamak için şans Kısıtları eklenerek geliştirildi. Güvenilirlik kavramı, tüm sonuçların en az 100α yüzdesini içeren senaryolarda çözümün tüm talepleri karşılamasını sağlar. Daskin vd. (1997), ilk olarak bir tesis yeri sorunu için bu güven seviyesi fikrini ortaya attı. Bu α -güvenilir konum modelinde, kullanıcı her biri bir gerçekleşme olasılığına sahip bir dizi senaryo tanımlar. Daha sonra, model içsel olarak, toplam gerçekleşme olasılığı en az α olan senaryoların bir alt kümesini (güvenilirlik kümesi olarak adlandırılır) seçer ve bu seçilen senaryo alt kümesine göre bir performans ölçüsünü optimize eder.

Rawls ve Turnquist (2012), belirsizlik altında acil durum malzemelerinin önceden konumlandırılması ve dinamik teslimat planlaması için güvenilirlik seviyesi kavramını farklı bir şekilde benimsemiştir. Güvenilir kümeye bir senaryonun dahil edilip edilmediğini gösteren, γ_s ile gösterilen ikili bir karar değişkeni tanımladılar. Benzer şekilde, bu fikri modelimize uyarladık ve güvenilir kümeye bir senaryo dahil edilmişse 1, aksi takdirde 0 alan δ 'leri tanımladık. Ardından, güvenilir bir kümenin durumunu tanımlamak için modele şans Kısıtları ekledik. Kısıt 12, tüm kazazedelerin bir EMC'ye atandığı α -güvenilir senaryo setini tanımlar. Kısıt 13 ve 14, sahte hastaneye atanan yaralı yoksa, bu senaryonun güvenilir sete eklendiğini ifade etmiştir. Bu, ilgili senaryoda tüm kazazedelerin EMC'lere atandığı anlamına gelir.

Ayrıca α 'nın karar vericiler tarafından belirlendiği ve sonuçları önemli ölçüde etkilediği belirtilmektedir. Son olarak, 15 kısıtı ikili değişkenleri tanımlar ve 16 kısıtı stokastik modeldeki pozitif değişkeni tanımlar.

2.3 Triyaj Olmadan İki Aşamalı Stokastik Model

Trijaj kategorisinin optimum konum kararları üzerindeki etkisini analiz etmek için tek bir yaralı türünü düşünerek stokastik modelin başka bir versiyonunu formüle ettik. Tek tip yaralıyı

düşündüğümüz için bu modelde triyaj indeksi t kullanılmamaktadır. Bu nedenle triyaj indeksini içeren Kısıtlar revize edildi. 3 ve 12 Kısıtları önceki modelle aynı kaldı. Birincil modelde T1 tipi (acil) yaralılar için mesafe sınırını kullandığımızdan, 9 Kısıtı kaldırıldı. Bu nedenle, mesafe sınırı ile ilgili 10 ve 4.11 Kısıtları da kaldırılmıştır. Bununla birlikte, 21, 22 ve 23 Kısıtlarında tanımlanan tüm kayıplar için yeni bir mesafe sınırı Kısıtları ekledik. Son olarak, ikili değişkenler 26 ve 27 Kısıtlarında tanımlanmıştır. Bu kısıtların çözümlere etkisini analiz etmek için mesafe limitli / mesafesiz modeli çözdük. Triage olmaksızın sorun için revize edilmiş parametreler, değişkenler ve daha basit model aşağıdaki gibi sunulmuştur:

Revize edilen parametreler:

β : bir yaralının birim ulaştırma maliyeti

T_i^s : s senaryosuna göre i talep noktasındaki yaralı sayısı

$\bar{T}_i$: i talep noktasındaki beklenen yaralı sayısı

Karar değişkenleri:

T_{ij}^s : s senaryosuna göre ATM – j'ye atanan i talep noktasındaki yaralı sayısı

X_{ij}^s : s senaryosuna göre ATM – j i talep noktasındaki herhangi bir yaralıya hizmet verirse 1; diğer durumda 0

Revize edilen Stokastik Model:

Amaç

$$\text{Min} \sum_{j \in J} \text{cost}_j y_j + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{s \in S} P_s [\beta d_{ij} (1 + f_{ij}^s) T_{ij}^s] \quad (16)$$

Öyle ki

İlk aşama kısıtları:

$$\sum_{i \in I} \bar{T}_i \leq \sum_{j \in J \setminus j^*} \text{Cap}_j y_j \quad (17)$$

İkinci aşama kısıtları:

Kapasite kısıtları:

$$\sum_{i \in I} T_{ij}^s \leq y_j \text{Cap}_j (1 - g_j^s) \quad (\forall j \in J), (\forall s \in S) \quad (18)$$

Atama kısıtları (5), (6) ve (7) aşağıdaki gibi tek bir kısıt olarak tanımlanmıştır:

$$\sum_{j \in J} T_{ij}^s = T_i^s \quad (\forall i \in I), (\forall s \in S) \quad (19)$$

Mesafe limiti kısıtları:

$$d_{ij} (1 + f_{ij}^s) * X_{ij}^s \leq D_L \quad (\forall i \in I), (\forall j \in J), (\forall s \in S) \quad (20)$$

$$T_{ij}^s \leq X_{ij}^s * M \quad (\forall i \in I), (\forall j \in J), (\forall s \in S) \quad (21)$$

$$T_{ij}^s \geq X_{ij}^s \quad (\forall i \in I), (\forall j \in J), (\forall s \in S) \quad (22)$$

Şans kısıtları (α -güvenilirlik) aşağıdaki gibi revize edilmiştir:

$$\sum_{i \in I} T_{ij}^s \leq M(1 - \delta_s) \quad (\forall s \in S) \quad (23)$$

$$\sum_{i \in I} T_{ij}^s \geq (1 - \delta_s) \quad (\forall s \in S) \quad (24)$$

0-1 ve pozitif değişkenler:

$$X_{ij}^s, \delta_s \in \{0,1\} \quad (\forall s \in S) \quad (25)$$

$$T_{ij}^s \geq 0 \text{ ve tamsayı}, \quad (\forall i \in I), (\forall j \in J), (\forall s \in S) \quad (26)$$

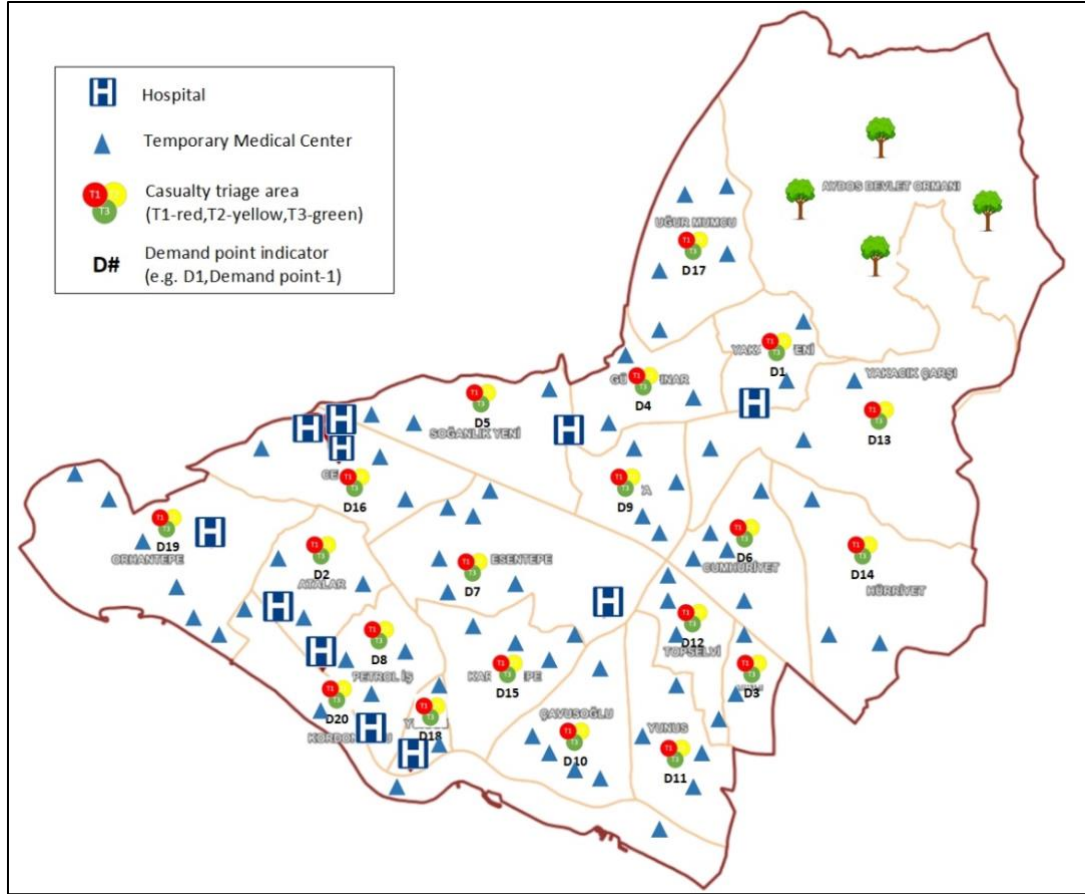
2.4. Kartal İlçesi için Örnek Vaka Çalışması

İstanbul'un Kartal ilçesinin durumu, farklı deprem senaryoları için önerilen modeli test etmek için kullanılmıştır. Kartal, İstanbul'un 39 ilçesi arasında en kalabalık 11. ilçe olarak belirlenmiş ve yaklaşık 470.000 nüfusa sahiptir. Kartal'da 20 nahiye (talep noktaları) ve 11 hastane bulunmaktadır. Mevcut hastanelere ek olarak, aşağıdaki kriterlere göre aday TMC lokasyonları belirlendi:

- Mahalleden gelecek zararlara karşı güvenlidir.
- Engebeli arazide değil.
- Çevresinde tehlikeli tesisler yok.
- Kolayca erişilebilir.
- Çevresindeki altyapının mevcudiyeti.
- Okul bahçelerine, kamu arazilerine, spor salonlarına ve açık otoparklara öncelik verilmesi.

Bu kriterlere göre Kartal'da her bir nahiye, Google Maps ve Kartal şehir rehberi web sitesi (Url-5) kullanılarak detaylı bir şekilde incelenmiştir. Ardından, Şekil 2'de gösterildiği gibi 74 aday TMC konumu belirlendi. Ayrıca her bir TMC'nin kapasitesini uygun alana (m²) göre belirledik. Standart bir TMC (520 m²) dört yüz hastaya (Url-4) hizmet verebilir. Ayrıca TMC'lerin kapasitelerinin ülkeye ve organizasyona göre değişebileceği de unutulmamalıdır. Bu vaka çalışmasında, TMC'lerin zayıf kapasitelerinin 400 ile 1.200 arasında değiştiği düşünülmektedir. Her bir TMC'nin kurulum maliyeti, TMC tarafından kapsanan alanla orantılı olarak hesaplanmıştır. Bir TMC'nin kurulum maliyeti, 25 \$ 'a eşit olan metrekare başına maliyete göre hesaplanır. Bu veriler, sahra hastaneleri üreten ve kuran bir şirketten elde edilmiştir.

Hastanelerin kapasitesi Sağlık Bakanlığı web sitelerinden (Url-6) alınmıştır. Halihazırda mevcut hastaların hastanelerin kapasitesinin% 50'sini kullandığı varsayılmaktadır. Her nahiye'nin kazazede toplama noktasının kendi merkezinde yoğunlaştığı varsayılmaktadır. Her nahiye'deki nüfus sayısı Türkiye İstatistik Kurumu'ndan (Url-7) alınmıştır.



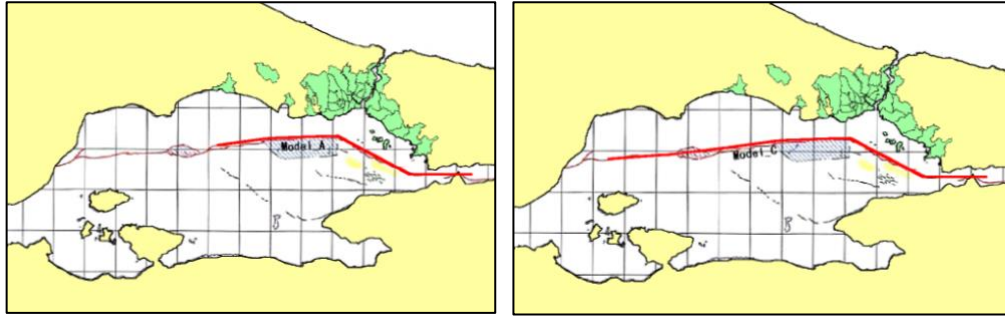
Şekil 2: Kartal'da talep noktaları, hastaneler, önerilen TMC lokasyonları haritası (Öksüz ve Satoğlu, 2020)

Şekil 2'de Kartal'daki nahiye (talep noktaları), hastaneler ve potansiyel TMC lokasyonlarının haritası gösterilmektedir. Bazı talep noktalarında (örneğin D1, D13) sadece birkaç TMC lokasyonu olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, bu talep noktalarında TMC'ler için uygun alanların olmamasıdır. Hastane ve yolların tahmini kayıp oranı ve hasar oranı, JICA (2002) 'ye dayalı olarak her bir senaryo için belirlenmiştir. Talep noktaları ile EMC'ler arasındaki mesafeler Google Maps kullanılarak bulundu. Acil kazazedelerin (T1) uzak mesafeye atanmasını önlemek için talep noktaları ile hastaneler arasındaki mesafe sınırı 5 km olarak belirlendi. Bu limitin seçilme nedeni duyarlılık analizi bölümünde açıklanmıştır.

Ambulansların aynı olduğunu ve bir ambulansın bir yolculukta bir T1 tipi, üç tip-T2 ve altı tip-T3 yaralı taşıyabileceğini varsaydık. T tipi kazazedenin bir km için birim taşıma maliyeti β_t hesaplanır. Bu nedenle, yaralıların talep noktası-i'den tıp merkezi-j'ye nakliye maliyeti $\beta_t * d(i, j)$ 'ye eşittir. Vaka çalışmasında kullanılan temel parametreler Tablo 1'de belirtilmiştir. JICA'da (2002), İstanbul için dört olası deprem senaryosu (Model A, B, C ve D olarak adlandırılır), ilgili fay hatları ve çeşitli araştırma sonuçları incelenerek belirlenmiştir. Kentin güneyinde Marmara Denizi'nden geçen fay hatları, Model A ve Model C için sırasıyla Şekil 3'te gösterilmektedir (JICA, 2002). Sonuç olarak, beklenen depremlerin büyüklükleri Model C için 7,7 (en kötü senaryo), Model A için 7,5 (en olası senaryo), Model B için 7,4 (olası senaryo) ve Model D için 6,9 (iyimser senaryo) olarak tahmin edilmiştir.).

Tablo 1. Modellerde Dikkate Alınan Senaryolara İlişkin Veriler

Senaryo	Deprem Şiddeti	Senaryo Olasılıkları	Triaaj Tiplerine Göre Yaralı Yüzdeleri (%)			Yollarda Mesafe Artış Oranı (%)	Hastane Kapasite Düşüşü (%)
			T1	T2	T3		
S1	7.7	0.06	1.50	12.00	4.50	UNIF(7, 38)	UNIF(0, 32)
S2	7.7	0.04	1.48	11.60	4.44	UNIF(7, 38)	UNIF(0, 32)
S3	7.7	0.03	1.42	11.10	4.26	UNIF(7, 38)	UNIF(0, 32)
S4	7.7	0.05	1.36	10.60	4.08	UNIF(7, 38)	UNIF(0, 32)
S5	7.7	0.02	1.34	10.30	4.02	UNIF(7, 38)	UNIF(0, 32)
S6	7.5	0.10	1.30	8.80	3.90	UNIF(5, 32)	UNIF(0, 28)
S7	7.5	0.06	1.26	8.50	3.78	UNIF(5, 32)	UNIF(0, 28)
S8	7.5	0.08	1.24	8.30	3.72	UNIF(5, 32)	UNIF(0, 28)
S9	7.5	0.07	1.20	8.20	3.60	UNIF(5, 32)	UNIF(0, 28)
S10	7.5	0.05	1.18	8.00	3.54	UNIF(5, 32)	UNIF(0, 28)
S11	7.4	0.06	1.10	7.60	3.30	UNIF(4, 25)	UNIF(0, 21)
S12	7.4	0.03	1.08	7.30	3.24	UNIF(4, 25)	UNIF(0, 21)
S13	7.4	0.04	1.07	7.20	3.21	UNIF(4, 25)	UNIF(0, 21)
S14	7.4	0.07	1.05	7.00	3.15	UNIF(4, 25)	UNIF(0, 21)
S15	7.4	0.06	1.02	6.80	3.06	UNIF(4, 25)	UNIF(0, 21)
S16	6.9	0.04	0.80	5.80	2.40	UNIF(3, 20)	UNIF(0, 16)
S17	6.9	0.05	0.77	5.70	2.31	UNIF(3, 20)	UNIF(0, 16)
S18	6.9	0.03	0.74	5.50	2.22	UNIF(3, 20)	UNIF(0, 16)
S19	6.9	0.04	0.71	5.30	2.13	UNIF(3, 20)	UNIF(0, 16)
S20	6.9	0.02	0.70	5.00	2.10	UNIF(3, 20)	UNIF(0, 16)



Şekil 3. Model A ve Model C'ye göre Fay Hatları (JICA, 2002).

JICA (2002) 'da Model A ve Model C için İstanbul'un her bir bölgesi için beklenen kayıp sayıları ve bina hasar oranları sunulmuştur. Bu nedenle, bu modelleri temel durum olarak ele aldık ve Model B ve Model için parametreleri oluşturduk. D onlara göre. Ayrıca ana senaryoların her birinden beş senaryo oluşturduk ve yirmi senaryo elde ettik. Senaryoların gerçekleşme olasılıklarının 0.01 ile 0.1 arasında değişeceği varsayılmıştır. JICA'ya (2002) göre meydana gelmesi en muhtemel senaryolara diğerlerinden daha büyük değerler verilmiştir (örneğin S6).

Afet sonrası yolların zarar görmesi nedeniyle talep noktaları ile tesisler arasındaki mesafeler afet öncesi koşullara göre artabilir. İstanbul için JICA'da farklı yol genişlikleri (2m-6m, 7m-15, 16m ve daha fazlası) için yol kapatma olanakları verilmiştir (2002, sayfa 517). Ayrıca binaların zarar görme olasılığı ile bina çökmelerinin yollara zarar verme ihtimalinin de doğrudan birbiriyle ilişkili olduğu belirtiliyor. Buna göre, mesafenin senaryolara göre değişen% 3 ile%

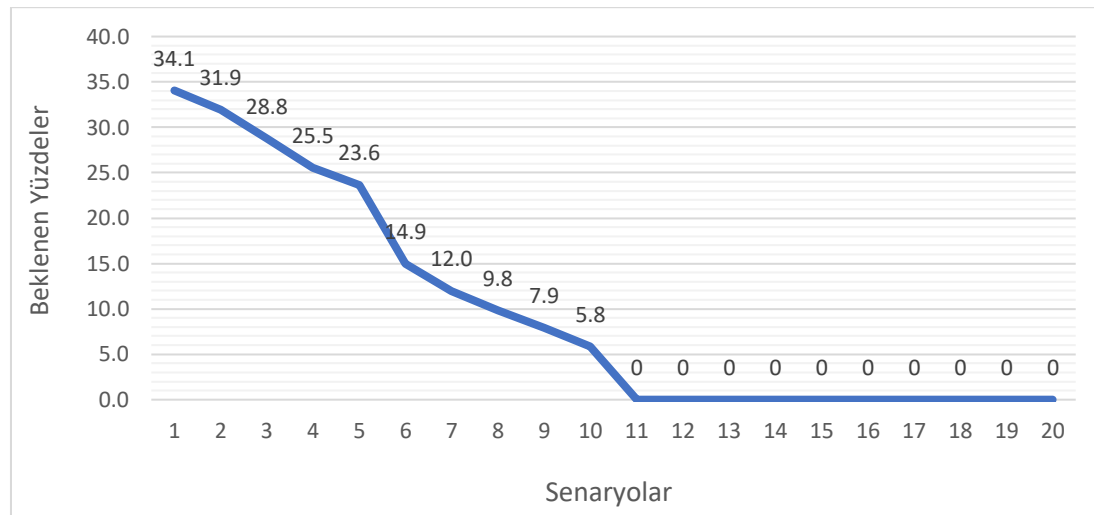
38 arasında tekdüze dağılmış bir oranla (f_{ij}^s) artabileceğini varsaydık. Aynı şekilde hastanelerin kapasitesinin de ilgili hastanenin hasar oranına göre azalacağı varsayılmaktadır. İstanbul için JICA'da binaların hasar oranları% 6 (hafif hasar) ile% 32 (önemli hasar) arasında tahmin edilmiştir (2002, sayfa 414). Senaryolarda hasarlı hastanelerin de bulunmadığını varsaydık ve hastanelerin hasar oranlarının (g_j^s) senaryolara göre değişmek üzere% 0 ile% 32 arasında eşit dağıldığı varsayılmıştır. Ayrıca 1999 Marmara depremi (Url-8) sonrasında hastane binaları güçlendirildiği veya yenilendiği için bu durumda tamamen hasarlı hastane yoktur.

2.5 Triağ Uygulanan Modele İlişkin Sonuçlar

Stokastik model, Kartal kasası için i7-4510U CPU 2.6 GHz kişisel bilgisayar kullanılarak kodlanmış ve CPLEX 12.6 çözücü ile çalıştırılmıştır. Problem boyutu 16.268 satır, 109.427 sütun ve 311.427 sıfırdan oluşmaktadır. En uygun çözüm 12314. iterasyonda bulundu. Çözümün CPU süresi yaklaşık 14,2 saniyedir.

Elde edilen sonuçlara göre bazı talep noktalarının (afet bölgeleri) sadece bir tıp merkezine, bazıları senaryolarda birden fazla tıp merkezine atanması gerekiyor. İlk on senaryoda, mevcut hastaneler ve önerilen geçici tıp merkezleri sayı ve kapasite olarak tüm yaralılara hizmet vermek için yeterli değildir. Bu nedenle, tüm EMC'ler bu senaryolarda açılır. Ancak diğer senaryolarda, özellikle S15'ten sonra açılan EMC sayısı azalır. Örneğin, S16'da açılan EMC sayısı 69, S20'de ise 64'tür. EMC'lerin mevcut kapasitesi yeterli olmadığında, atanmamış yaralıların sayısını belirlemek için sahte bir hastane oluşturuldu. Bu hastane şehir dışında, talep noktalarından uzakta ve kapasite fazlası olarak kabul edilebilir. Bu nedenle, kukla hastane arasındaki mesafelere önemli bir sayı atanmıştır ve görevler için mevcut EMC'lere öncelik verilmesi için noktalar talep edilmiştir. Böylelikle tüm yaralılara hizmet verebilmek için ne kadar kapasite artırımına ihtiyacımız olduğunu tespit etmek amaçlanmaktadır.

İstanbul'da olası bir deprem durumunda, mevcut tıp merkezlerinin kapasitesinin beklenen yaralıların tamamına hizmet veremeyeceği bilinmektedir (JICA, 2002). JICA'ya (2002) göre, İstanbul'da olası bir depremde kazazedelerin sadece% 10'u için yeterli tıp merkezi ve yatak kapasitesi vardır. Kartal ilçesinde bu oran% 18 olarak tahmin edilmektedir.

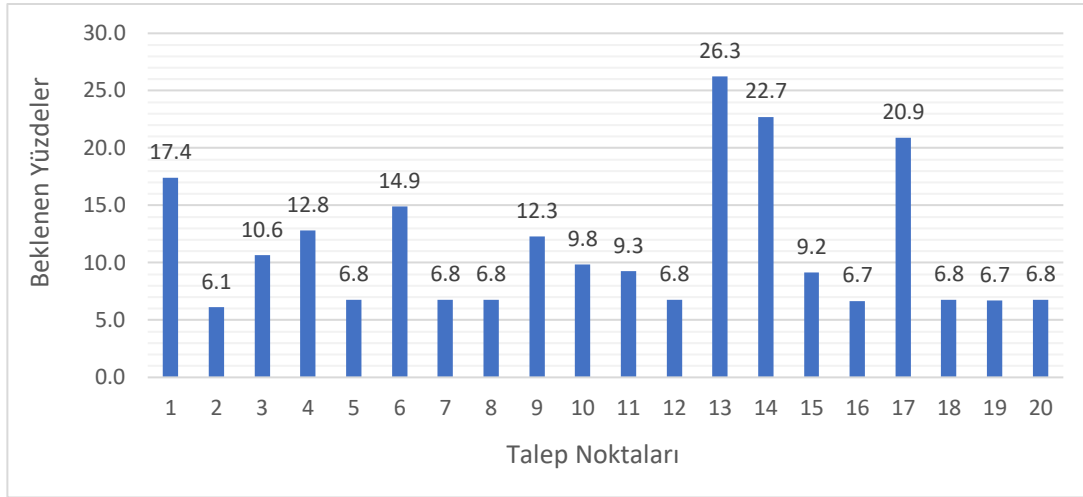


Şekil 4: Her senaryoya göre beklenen atanmamış yaralı yüzdeleri (Öksüz ve Satoğlu, 2020).

Tablo 2: Nüfus, toplam beklenen can kaybı ve her talep noktasındaki atanmamış yaralı sayıları (Öksüz ve Satoğlu, 2020).

Talep Noktaları	Talep Noktalarının Nüfusu	Beklenen Yaralı Sayısı	Beklenen Atanamamış Yaralı Sayısı
1	16238	2067	360
2	31275	3979	244
3	11471	1460	155
4	26464	3367	431
5	26713	3399	230
6	21609	2749	409
7	26844	3415	231
8	28760	3659	247
9	18790	2391	293
10	14286	1819	179
11	15215	1936	179
12	12201	1553	105
13	16305	2075	545
14	47943	6099	1386
15	31049	3950	362
16	27267	3469	231
17	41544	5285	1104
18	8143	1037	70
19	29960	3812	257
20	11356	1446	98

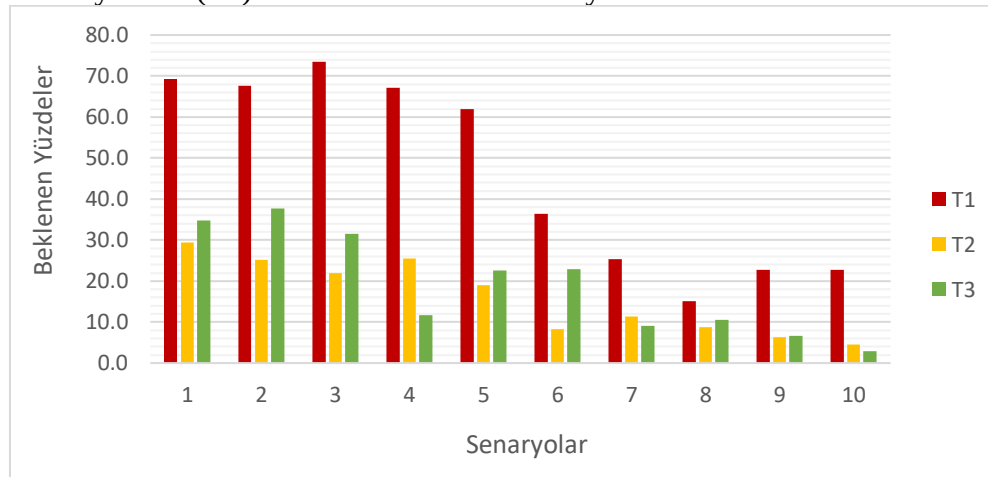
Tüm senaryolarda her bir talep noktasında atanmamış yaralıların beklenen yüzdeleri Şekil 5'te gösterilmektedir. Bu yüzdeler, farklı talep noktaları arasında% 6,1 ile% 26,3 arasında değişmektedir. Talep noktası-13 için, en yüksek atanmamış zayıf yüzdesi, TMC konumu için yeterli uygun alanın bulunmaması ve burada hastane olmaması nedeniyle meydana geldi. Talep noktası-2, üçüncü en yüksek nüfusa sahip olmasına rağmen, TMC'ler için uygun alanlara sahip olduğundan ve bu talep noktasının yakınında daha fazla hastane kapasitesi olduğundan, atanmamış yaralıların yüzdesi% 6,1'dir.



Şekil 5: Tüm senaryolarda her talep noktasında atanmamış yaralıların beklenen yüzdeleri (Öksüz ve Satoğlu, 2020).

Belirlenmemiş zayıfların sonuçlarını her bir zayıf türüne göre analiz ettik. Tüm T1 tipi zayıflar EMC'lere atanabilir. Ayrıca, sadece S1'den S4'e kadar atanmamış T2 tipi kayıplar vardı. Tahsis edilmeyen zayıfların çoğu T3 tipi zayıflardan oluşuyordu. Bunun nedeni, yaralıların taşıma maliyetinin yaralı türlerine göre sırasıyla T1'den T3'e azalarak değişmesidir. Öte yandan, bu parametrenin çözüme etkisini görmek için tüm yaralı türleri için eşit nakliye maliyetleri varsayarak sorunu çözdük.

Sonuçlara göre, S1 ila S10 senaryoları için her türden atanmamış kazazedelerin beklenen yüzdeleri Şekil 6'da sunulmuştur. Atanmamış T1 tipi (acil) kayıp yüzdelерinin diğerlerine göre önemli ölçüde daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, acil kazazedelerin sadece hastanelere atanabilmesidir ve modelde onları talep noktası-i'den hastane-j'ye atamak için bir mesafe sınırı vardır. Ayrıca, birçok senaryoda, atanmamış tip-T2 (gecikmeli) zayıfların beklenen yüzdeleri, tip-T3 (minimum) kazazedelerden daha yüksektir. Bunun nedeni, talep noktalarında beklenen T2 tipi zayıf sayısının T3 tipi zayıflardan çok daha fazla olmasıdır. Örneğin, ilk senaryoda, toplam beklenen can kayıplarına göre kaza türlerinin yüzdesi T1, T2 ve T3 için sırasıyla% 1.5,% 12 ve% 4.5'tir. Sonuç olarak, kazazedelerin nakliye maliyeti çözümü önemli ölçüde etkiliyor ve model, diğerlerine göre daha yüksek nakliye maliyeti nedeniyle acil (T1) kazazedelere öncelik veriyor.



Şekil 6: S1'den S10'a kadar senaryolarda (Öksüz ve Satoğlu, 2020) her türden atanmamış yaralıların beklenen yüzdeleri.

2. 6. Triyaj Kategorisi Olmayan Vakanın Sonuçları

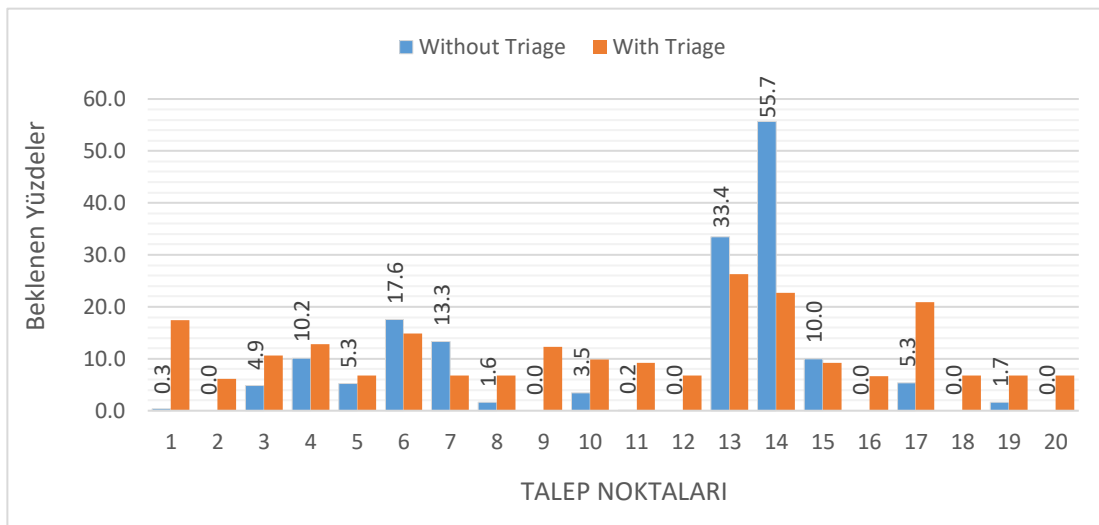
Revize edilmiş stokastik modelde, yaralı sınıflandırması (triyaj) çıkarılmış ve tek tip yaralı ataması ve TMC konum problemi yeniden formüle edilmiştir. Triyaj kategorisinin lokasyon ve atama sonuçları üzerindeki etkisinin incelenmesi amaçlanmaktadır.

Revize edilen model aynı durum ve küçük değişikliklerle parametreler için çözüldü. Her senaryo için her talep noktasındaki zayıt sayısı, önceki vakadaki T1, T2 ve T3 tipi zayıtların sayısı toplanarak hesaplandı. Ayrıca kazazedenin 1 km için birim taşıma maliyeti 2 \$ olarak alınmıştır. Optimum çözüm 3.426. iterasyonda bulundu. Çözümün CPU süresi yaklaşık 5,1 saniyeydi.

Sonuçlara göre, EMC'lerin kapasitesi ve talepler her iki durumda da aynı olduğundan, tüm senaryolar için beklenen toplam atanmamış yaralı sayısı temel vakaninkine yakındır. Ancak, atanmamış zayıtların beklenen yüzdesi açısından talep noktaları arasında önemli bir fark vardır. Triyajsız vakanın tüm senaryoları üzerinden her talep noktasında atanmamış zayıtların bu beklenen yüzdeleri Şekil 7'de gösterilmektedir. Buna karşılık, önceki vakanın (triyajlı) sonuçları Şekil 4'te gösterilmektedir. Talep noktaları arasında atanmamış kayıpların beklenen yüzdelерinin oldukça farklı olduğu görülüyor. Tüm zayıtlar bazı talep noktalarında (talep noktaları 2, 9, 12, 16, 18, 20 gibi) EMC'lere atanırken, bazı talep noktalarında (talep noktaları gibi) çok sayıda zayıt herhangi bir EMC'ye atanamadı. 14, 13, 6).

Triyaj içermeyen revize modeldeki birincil kriter, toplam kurulum ve nakliye maliyetlerini en aza indirmek için yaralıların mevcut en yakın EMC'ye atanmasıdır. Yaralılar arasında öncelik ve Kısıt olmayacak şekilde tek bir tür zayıt olduğundan, asıl endişe talep noktaları ile EMC'ler arasındaki mesafelerdir. Bu nedenle, talep noktası-14 en yüksek nüfusa sahip olduğundan ve çevresinde yalnızca üç TMC bulunduğu (Şekil 2'de görülebileceği gibi), atanmamış zayıt yüzdesi% 55,7'dir. Ancak triyajlı modelde bu oran talep noktası-14 için% 22,7'dir. Talep noktaları arasında atanmamış kazazedelerin beklenen yüzdelерinin standart sapmaları, triyajlı ve triyajsız vakalar için sırasıyla yaklaşık 5,9 ve 13,5'tir. Bu önemli farklılığın nedeni kazazede türleri, mesafe sınırı ve nakliye masrafları ile ilgilidir.

Mesafe limiti ana modelde olduğu gibi kullanıldığında, talep noktaları için birçok alternatif atamanın varlığından dolayı beklenen atanmamış yaralı sayısı değişmemiştir. Bununla birlikte, mesafe sınırı kullanılmadığında, bazı talep noktaları, mesafe sınırı Kısıtıyla elde edilen sonuçlara kıyasla çok uzaktaki EMC'lere atanmıştır. Sonuçlar, kazazedeler için triyaj kategorisi kullanıldığında, talep noktalarında atanmamış kazazedelerin beklenen yüzdeleri açısından adalet çözümlerine ulaşılabilirliğini göstermektedir.



Şekil 7: İki vaka için tüm senaryolarda her talep noktasında atanmamış yaralıların beklenen yüzdeleri (Öksüz ve Satoğlu, 2020).

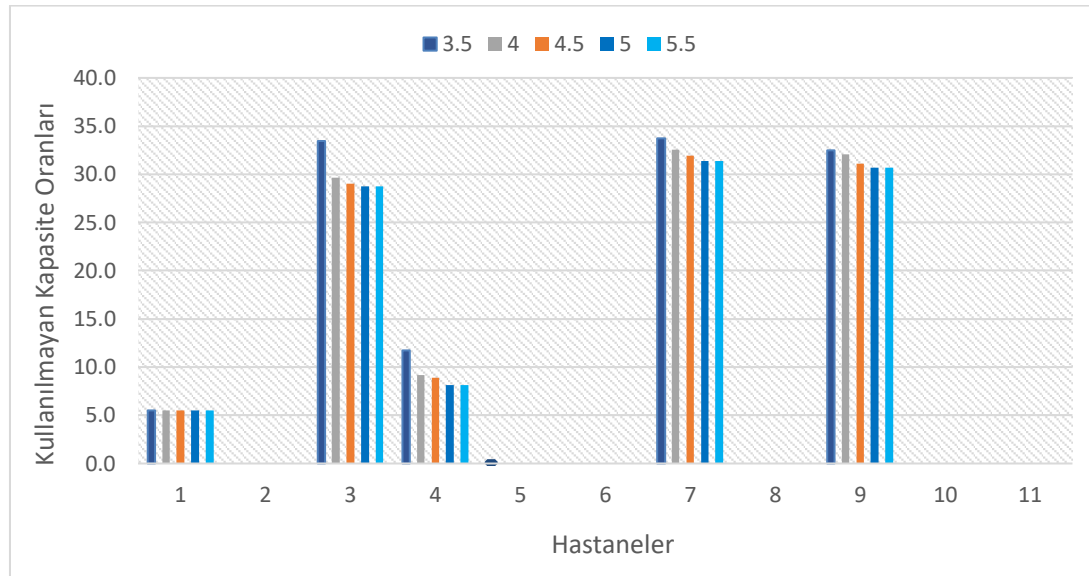
2.7 Duyarlılık Analizi

Stokastik modelde yer alan iki parametrenin çözümler üzerindeki etkilerini göstermek için bir duyarlılık analizi yaptık. Vaka çalışmasının sonuçlarını farklı mesafe sınırlarına ve α -güvenilirlik düzeylerine göre analiz etmeyi amaçladık.

2.7.1 Mesafe Sınırı

Bir talep noktası ile EMC arasındaki en uzun mesafe 11,9 km'dir (i-13 ve j-7 arasında). Bir yolun hasar oranı düşünüldüğünde bu mesafe 16,4 km'ye çıkabilir. Bu parametrenin etkisini görmek için beş mesafe sınırını test ettik. Sınırlar 3,5, 4, 4,5, 5 ve 5,5 km olarak belirlenmiştir. Bu limitlerin sonuçları, tüm senaryolar için hastanelerin kullanılmayan kapasite oranları ile karşılaştırılmış ve Şekil 8'de sunulmuştur. Sonuçlara göre bazı hastaneler (H2, H6, H8, H10 ve H11) tüm senaryolarda tam kapasitelerde kullanılmıştır. Yani bu hastanelerde kullanılmayan kapasite yoktu. Ayrıca H5 sadece senaryo-2'de tam kapasite kullanılamaz. Bu hastaneler, bazı afet bölgelerinde tek hastaneler oldukları ve yakınlarda alternatif hastane bulunmadığı için tam kapasite ile kullanılmıştır (Şekil 2'deki talep noktaları D1, D4, D13, D19, D20'ye bakınız).

En düşük kapasite kullanım oranlarına sahip hastaneler sırasıyla D2 ve D16 talep noktalarında H3 ve H7'dir. Bunun nedeni, bu hastanelerin bulunduğu afet bölgelerinde yeterli sayıda alternatif hastane bulunmasıdır. Aynı zamanda bu bölgelerde beklenen can kaybı sayısı ile de ilgilidir. Hastanelerin kullanılmayan kapasite oranları mesafe sınırları 5, 5,5 km ve sonrasında değişmediğinden, bu durumda onları talep noktalarından hastanelere atamak için T1 tipi yaralıları için 5 km mesafe sınırı kullandık.



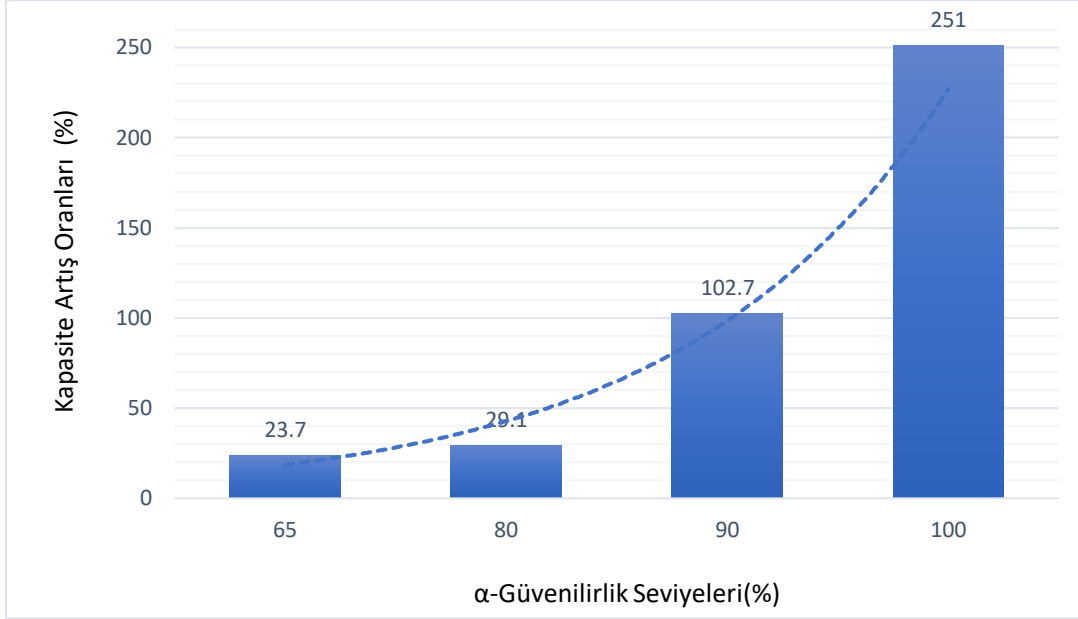
Şekil 8: Hastanelerin farklı mesafe sınırları (km) için kullanılmayan kapasite oranları (Öksüz ve Satoğlu, 2020).

2.7.2 Güvenilirlik düzeyi (α)

Önerilen stokastik model, EMC'lerde, en azından bazı senaryolarda, bu senaryoların gerçekleşme olasılıklarının toplamının α 'dan daha büyük olacağı şekilde, tüm kazazedeleri atamak için yeterli kapasitenin mevcut olmasını sağlamak için bir α -güvenilirlik seviyesi sağlar. EMC'ler, senaryolarda tüm kazazedelere hizmet edecek yeterli kapasiteye sahip olmadığından, bu durum için maksimum α seviyesi % 44 olarak bulunmuştur.

Çözüm üzerindeki etkilerini görmek için dört farklı α -güvenilirlik seviyesi seçildi. EMC'lerin α seviyeleri ve gerekli kapasite artış oranları Şekil 9'da gösterilmektedir. Oranlar, tüm senaryolar için toplam atanmamış yaralı sayısı ve EMC'lerin kullanılabilir toplam kapasitesi

sayısı dikkate alınarak hesaplanır. Örneğin, 0,65'lik bir α düzeyine ulaşmak için gerekli kapasite artış oranı yaklaşık% 23,7'dir. A seviyesi arttığında, gerekli kapasitenin önemli ölçüde arttığı açıktır. Bu nedenle, bu vaka çalışması için tüm senaryolarda tüm kazazedelere hizmet vermek için yaklaşık% 251'lik bir kapasite artışı gerekmektedir.



Şekil 9. Farklı α -güvenilirlik seviyeleri için gerekli kapasite artış oranları (Öksüz ve Satoğlu, 2020).

3.YARALI TAŞIMA SİSTEMİ İÇİN RFID TABANLI VERİ TEMELLİ KARAR DESTEK ARACI ÖNERİSİ VE SİMULASYON UYGULAMASI

Özellikle büyük çaplı afetlerde etkilenen kişi sayısı çok fazladır. Bu olaylar paniğe ve kaos ortamına neden olduğu için afetzedelerle ilgili bilgilerin elde edilebilmesi çok daha zordur. Ayrıca geçici tıp merkezlerine ve hastanelere talep artışı olduğu için istenilen düzeyde sağlık hizmeti sağlanamayabilir. Bu çalışmada, kurtarma ve yaralı nakil süreçlerinin koordinasyonu ile mağdurların hastane doluluk, yol ve hasarlı hastaneler ile ambulans lokasyonları verilerinin toplanması ve takip edilebilmesi için RFID tabanlı veri temelli karar destek aracı önerilmiştir. Süreçte RFID teknolojisinin kullanılmasıyla veri akışının kolaylaştırılması amaçlanmaktadır. Problemde iş akışı yaralının triyaj alanına gelmesiyle/getirilmesiyle başlar. Triage aşaması yaralıların sağlık personeli veya acil sağlık personeli tarafından, çok sayıda yaralıya sınırlı kaynaklarla müdahale etmek için kullanılan bir sistemdir (Usta vd., 2017). Triage'da çeşitli kodlama sistemleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada “Simple Triage And Rapid Treatment” (START) yaralı sınıflama skalası dikkate alınmıştır. Bu sisteme göre yaralılar, çok acil tedavi gerektiren (T1), bekletilebilir (T2), acil olmayan (T3) ve tedavi gerekmeyen/yaşamı umulmayan (T4) olmak üzere dört grupta değerlendirilir (Falzone vd., 2017). Mevcut sistemde yaralılar, triyaj alanlarındaki durumlarına göre kâğıt etiketleme ile öncelik sırasına göre tıp merkezlerine gönderilmektedir. Bu durumda, yaralının sağlık durumu, nerede alındığı ve hangi merkeze nakledildiği gibi bilgileri doğru şekilde tutmak çok zordur ve hata ihtimali daha yüksektir. Bazı büyük olaylarda kâğıt etiketlemenin de yapılmadığı bilinmektedir. Bununla birlikte, hastanelerin mevcut kapasite bilgisine erişilemediği için hastane kaynakları yetersiz kalabilir ve nakledilen yaralı başka bir hastaneye yönlendirilir bu da zaman kaybına sebep olur. Zamana karşı mücadele edilen bu süreçte insan hayatıyla doğrudan ilgili bu kayıpların önüne geçebilmek için bir RFID tabanlı veri temelli karar destek aracı önerilmiştir.

Önerilen karar destek aracının kullanıldığı sistemde, yaralıların triyaj sınıflamasının yanında sağlık durumunun puanlaması da önerilmektedir. Sağlık durumu puanı, solunum hızı, nabız hızı ve motor yanıtına bağlı olarak verilen RPM puanıdır. RPM puanı süreç boyunca yaralıların sağlık durumunu değerlendirmek için kullanılır (Sacco vd., 2005). Bu öncelikler triyaj alanındaki İlk müdahale sonrasında belirlenir ve yaralılar etiketlenir. Etiketlere yaralıların sağlık durumlarıyla beraber ulaşılabilmişse kimlik bilgileri, ulaşılammışsa kişiyi tanımlayabilecek özellikleri, yaralıya müdahale edilen yer, tarih, saat bilgileri yazılır. Yaralılarından farklı aşamalarda toplanan veriler, hastane doluluk oranı (veya mevcut kapasite) ve ambulans lokasyonları merkezi bir veri tabanına aktarılır. Veri analitiği tekniklerini kullanarak, acil durum koordinasyon merkezi tarafından en uygun kararlar zamanında verebilir. Ayrıca hastaneler ile ambulanslar arasındaki veri akışı sayesinde hastanenin uygun kapasitesi kontrol edilerek yaralı yeterli kapasiteye sahip tesislere ulaştırılabilir. Yaralı sistemde alındığında, acil durum koordinasyon merkezi aracılığıyla kapasiteye uygun hastaneler arasında en kısa süreye sahip olan yol planı ambulansa en yakın olanlara gönderilir. Ambulans, yaralıyı belirlenen hastaneye götürür ve hastaneye giren yaralıların etiketi okunur. Burada hastanın giriş zamanı bilgisi tekrar işlenir. Bilgiler gerçek zamanlı olarak AKM ağına aktarılır. Aynı akış, hayatını kaybedenler için de geçerlidir. Etiketler morg birimlerinde okunur ve bilgi ana merkeze aktarılır. Bilginin gerçek zamanlı aktarımı, kimlik bilgisine ulaşılammış kayıpların ve mağdurların kayıtlarının toplanmasını ve gerekince kolaylıkla ulaşılabilmesini sağlar.

Çalışmada mevcut durum ve önerilen veriye dayalı karar destek aracının uygulandığı durum dört faktör bazında senaryolar haline getirilerek simülasyon modelleri ile analiz edilmiştir. Hastanelere nakledilen yaralıların triyaj tipi, hastane seçim kararı, RPM puanı önceliği ve ambulans sayısı faktörleri dikkate alınmıştır. Toplam 16 farklı senaryo geliştirilerek felaketten sonraki ilk on iki saat simülasyon çalışmasıyla incelenmiştir. Simülasyon çalışmasında elde edilen sonuçlara göre faktörlerin ana ve çoklu etkilerini değerlendirmek için faktör analizi yapılmıştır. Tablo 3'te de faktörlere göre geliştirilen senaryolar sunulmuştur.

Tablo 3. Senaryo özet tablosu

Senaryo Numarası	Ambulans Sayısı	RPM önceliği	Nakledilen Yaralıların Triyaj Tipi	Hastane Seçim Kuralı
1	10	Var	T1-T2-T3	En kısa mesafeye göre
2	20	Yok		(RFID ile yaralı takibi yok)
3	10			
4	20			
5	10	Var	T1-T2-T3	
6	20	Yok		
7	10			
8	20			
9	10	Var	T1-T2	En kısa mesafeye göre
10	20	Yok		(RFID ile yaralı takibi yok)
11	10			
12	20			
13	10	Var	T1-T2	
14	20	Yok		
15	10			
16	20			

Senaryoların iki temel farkı vardır. Birincisi ambulanslarla hastanelere nakledilen yaralı triyaj türü, diğeri ise hastane seçim kuralıdır. Yaralının sağlık durumuna ve ambulans sayısına göre

bu faktörlerle farklı senaryolar oluşturulur. Taşınan yaralı sınıfı faktörüne göre tüm yaralı türlerinin (T1-T2-T3) hastanelere nakledildiği ve sadece T1-T2 türlerinin nakledildiği iki seviyeyi ifade eder. Hastane seçimi kuralı faktöründe karar destek aracının kullanılıp kullanılmamasına göre iki durum söz konusudur. Minimum mesafeye göre hastane seçimi senaryolarında yaralı, triyaj noktasından ambulanslarla en yakın hastaneye taşınır. Bu, herhangi bir bilgi sistemi olmaksızın, mevcut kazazede taşıma uygulamasıdır. Bu senaryoda RFID etiketleme veya gerçek zamanlı izleme yapılmamaktadır. Bu durumda hastane kapasitesi dolu ise ambulans yaralıyı en yakın ikinci hastaneye nakleder. Önerilen sistemde ise hastanelerdeki yaralı sayısına veya hastanenin mevcut kapasitesine göre yaralılar hastaneye nakledilmektedir. Kapasitelerin uygun olduğu durumda mevcut kapasitesine bakılmaksızın yaralı en yakın hastaneye nakledilir. Eğer en yakın hastanenin kapasitesi uygun değilse yaralı diğer hastaneler arasında en az yaralıya hizmet veren hastaneye nakledilir.

Senaryolardaki diğer bir faktör, hastalara öncelik vermek için RPM puanının dikkate alınıp alınmayacağıdır. Solunum hızı, nabız hızı ve motor tepkilere göre verilen RPM puanı, süreç boyunca yaralıların sağlık durumunu değerlendirmek için kullanılır. Kazazedelerin her birine bir RPM puanı atanır (Sacco vd., 2005). RPM puanları, istikrarsız acil yaralılar (T1) için [1, 4], stabil acil yaralılar (T2) için [5, 8] ve acil olmayan yaralılar (T3) için [9, 12] şeklindedir. Yaralıların hastaneye nakline kadar her iki saatte bir RPM skorunun azaldığı varsayılmaktadır (Wang vd., 2012). Öncelik vermede RPM puanının dikkate alındığı senaryolarda en düşük puana sahip yaralı daha önce ambulansa alınır. Çalışmada ambulans sayısının etkisi de analiz edilmiştir. Tüm senaryolar 10 ve 20 ambulans sayıları ile modellenmiştir.

Can kaybı sayısı dağılımları, acil yaralıların hastaneye teslim edilmesine kadar geçen sürenin dağılımı, orta-acil yaralıların hastaneye teslimi için geçen sürenin dağılımı performans ölçütlerine göre simülasyon sonuçları elde edilerek hangi faktörlerin istatistiksel olarak anlamlı etkisinin bulunduğu incelenmiştir. Senaryolar bu performans kriterlerine göre karşılaştırılır. İlk kriter, kurtarılan ancak hastanelere ulaşamayan yaralıların sayısını açıklar ve RPM puanları hastaneye teslim edilene kadar sıfıra düşen yaralılar kurtarılamayan yaralı olarak kabul edilir. Triage noktasından ambulansa götürülen yaralılar, RPM skorları [1, 12] arasında olan T1-T2 ve T3 grupları arasında olabilir. Daha önce de belirttiğimiz gibi, yaralılar hastaneye ulaşana kadar RPM skorları 2 saatte bir puan azalmaktadır. İlk performans kriteri, triyaj noktasında yaralılarından hastaneye teslim edilmeden önce RPM değeri 0'a düşen yaralıların toplamı ile değerlendirilir. Yaralılar en az bir RPM skoru ile triyaj alanına gelmiş olabilir ve skor ambulansa götürülmeden önce (triyaj noktasında ambulansı beklerken) veya ambulanda nakil işlemi sırasında 0'a düşmüş olabilir.

Senaryolar ARENA® paket programında modellenerek simülasyon analizi yapılmıştır. Simülasyondan elde edilen sonuçlar SPSS® programında faktör analizi yapılarak performans ölçütlerini (Kurtarılamayan yaralı sayısı, triyaj kategorilerine göre yaralıların hastaneye varışlarına kadar geçen süreler) etkileyen faktörler istatistiksel açıdan anlamlılıkları değerlendirilmiştir. Bir sonraki bölümde vaka analizine ve elde edilen sonuçlara yer verilmiştir.

3.1. Uygulama Çalışması ve Sonuçlar

İstanbul, 2018 verilerine göre 15,8 milyon nüfusa ve 5.461 km² yüzölçümüne sahiptir. Çalışmamızda uygulama alanı olarak İstanbul'un 470.678 nüfusa sahip Kartal ilçesi dikkate alınmıştır (URL-1). Bu çalışma İstanbul Kartal İlçesi için JICA (2002) raporundaki beklenen yaralı sayıları dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Veri seti Türkiye İstatistik Kurumu'ndan elde edilen bölge nüfus verilerini, hastane, triyaj lokasyonlarını ve Google Maps®'ten elde edilen lokasyonlar arasındaki mesafeleri içermektedir. Dikkate alınan bölgede 20 triyaj noktası ve 11 hastaneyi içeren gerçek mesafe ve kapasite verileri kullanılarak simülasyon analizi gerçekleştirilmiştir. JICA raporuna (2002) göre, Kartal'ın toplam nüfusunun %0,9' unun

hayatını kaybettiği, %6' sının yaralandığı ve %1,5' inin T1 tipi yaralılarından oluşacağı tahmin edilmektedir. T2 ve T3 yaralı kategorileri için yüzdeler ayrı ayrı verilmemiştir, bu nedenle bu çalışmada yaralıların %40' ının T2 ve geri kalanının T3 tipinde olacağı varsayılmıştır (JICA, 2002).

Bu çalışmada yaralıların triyajdan noktasına varışıyla başlayan ve hastanelere teslim edilene kadar olan süreç ele alınmıştır. Yaralı sayısının yaklaşık 28.000 kişinin beklendiği JICA (2002) raporuna göre, yaralıların triyaj alanına ulaştığı ortalama varış zamanı 4,5 dakika olarak belirlenmiştir. Literatürde, yaralıların varış zamanlarının üstel dağıldığı varsayılmaktadır. İlk on iki saat yaralıların taburcu edilmesi ve hastanelere nakledilmesi için hayati önem taşıyan saatlerdir. Bu dönemde mağdurların yarısı sağlık hizmetine gelmek istemektedir (Kalemoglu, 2004). Yaralıların triyaj alanına birbirinden bağımsız olarak ve 12 saatlik bir süre içinde ulaştıkları varsayılmıştır. Çalışmada tam teşekküllü hastaneler ele alınmıştır. Değerlendirilen hastanelerin, her türlü yaralıya hizmet verebilecek uzman ekiplerden oluşan, acil müdahaleye hazır tıbbi ekipmana sahip olduğu ve afet öncesinde hastane kapasitesinin %40 oranında dolu olduğu varsayılmıştır. Son olarak müdahale sürecinde kullanılan ambulanslar homojendir ve triyaj alanlarından hastanelere tek seferde bir yaralıyı taşıyabilecekleri varsayılmaktadır. Hastanelerin kendi internet sitelerinden alınan mevcut yatak kapasiteleri (toplam) ve çalışan acil hekim sayıları Tablo 4'te verilmiştir. Modeller her bir senaryo için ARENA® simülasyon programı, on iki saatlik simülasyon süresi boyunca çalıştırılmıştır. Çalışmada senaryoların her biri 100 tekrar için çalıştırılmıştır.

Tablo 4. Hastane kapasite parametreleri

Hastaneler	Hastanenin Toplam Yatak Kapasitesi	Hastanedeki Acil Tıp Doktoru Sayısı
H1	1306	28
H2	96	4
H3	893	20
H4	504	6
H5	110	4
H6	77	4
H7	77	4
H8	106	6
H9	58	3
H10	77	4
H11	202	8

3.1.1. Simülasyon ve faktör etki analizi sonuçları

Senaryolar ARENA® paket programında modellenerek simule edilmiştir. Simülasyondan elde edilen sonuçlara göre performans ölçütlerini (Kurtarılamayan yaralı sayısı, triyaj kategorilerine göre yaralıların hastaneye varışlarına kadar geçen süreler) etkileyen faktörler istatistiksel açıdan analiz edilmiştir. Faktör etkileri, IBM SPSS Statistics 25®' te %95 güven düzeyinde analiz edilmiştir. Kurtarılamayan yaralı sayısına göre simülasyon sonuçları Tablo 5'te gösterilmiştir.

Analiz sonuçlarına göre kurtarılamayan yaralı sayısının en az olduğu senaryonun KDA' nın uygulandığı Senaryo-14 (T1-T2, RPM puan takibi, 20 ambulans) olduğu belirlenmiştir. Bu senaryoya göre 12 saatlik periyot içerisinde ortalama kurtarılamayan yaralı sayısı 482'dir. Bir sonraki en az sayı 881 değerine sahip Senaryo-10'da RFID tabanlı sistem kullanılmaktadır. Bu modelde mevcut kapasite verilerine göre hastane seçilir, RPM önceliği takip edilir, her türlü

yaralı hastanelere gönderilir ve yirmi ambulans kullanılır. Tablo.6 ve 7’de de sırasıyla T1 ve T2 tipi yaralıların triyaj alanlarına gelişlerinden hastaneye teslim edilinceye kadar geçen süreler sunulmuştur.

Tablo 5. Kurtarılamayan Yaralı Sayıları

Senaryo	Kurtarılamayan Yaralı Sayısı (Ortalama)	Kurtarılamayan Yaralı Sayısı (Standart Sapma)	Kurtarılamayan Yaralı Sayısı (Minimum)	Kurtarılamayan Yaralı Sayısı (Maksimum)
1	1502	230	1036	2121
2	1298	210	1003	1687
3	4611	640	3288	5829
4	4338	592	3586	5432
5	1330	115	1169	1538
6	881	113	773	1148
7	4077	486	3295	4799
8	2905	442	2194	3555
9	1324	230	968	1705
10	1215	240	972	1661
11	2750	381	2188	3520
12	2667	404	1765	3277
13	1178	164	926	1316
14	482	95	310	672
15	2153	320	1641	2595
16	1200	271	765	1571

Tablo 6. Senaryolar bazında T1-Tipi yaralıların hastanelere nakledilme süreleri

Senaryo	T1-Tipi Yaralıların Hastaneye Nakline Kadar Geçen Ort. Süre (dk.)	T1-Tipi Yaralıların Hastaneye Nakline Kadar Geçen Süre Std. Sap.(dk.)	T1-Tipi Yaralıların Hastaneye Nakline Kadar Geçen Min. Süre (dk.)	T1-Tipi Yaralıların Hastaneye Nakline Kadar Geçen Maks. Süre (dk.)
1	78.6	32.7	44.16	160.44
2	74.4	30.36	46.74	145.02
3	36.6	3.48	31.08	41.76
4	42	5.7	31.02	50.34
5	27.6	7.74	17.76	36.9
6	27	4.02	20.46	33.48
7	26.4	3.36	23.22	35.04
8	20.4	1.62	18	23.94
9	63	15.3	34.92	82.5
10	63	23.22	38.7	103.38
11	33	3.3	29.64	40.32
12	39	6.3	31.56	53.94
13	21.6	4.38	15.36	30.84
14	24	7.56	16.02	40.8
15	19.8	2.16	17.76	23.7
16	17.4	1.44	16.32	20.04

Tablo 7. Senaryolar bazında T2-Tipi yaralıların hastanelere nakledilme süreleri

Senaryo	T2-Tipi Yaralıların Hastaneye Nakline Kadar Geçen Ort. Süre (dk.)	T2-Tipi Yaralıların Hastaneye Nakline Kadar Geçen Süre Std. Sap.(dk.)	T2-Tipi Yaralıların Hastaneye Nakline Kadar Geçen Min. Süre (dk.)	T2-Tipi Yaralıların Hastaneye Nakline Kadar Geçen Maks. Süre (dk.)
1	67.2	10.32	29.22	146.22
2	57	13.98	31.92	120.18
3	33	3.24	28.38	38.94
4	37.8	3.96	33.84	44.7
5	29.4	6	18.84	37.5
6	21	6.66	14.4	30.9
7	24.6	2.76	20.76	30.3
8	19.2	1.08	17.52	20.88
9	31.8	8.82	15.84	45.36
10	27	6.6	20.94	41.34
11	27	2.94	23.16	30.9
12	28.2	9.96	25.44	33.6
13	21	4.8	15.84	27.66
14	17.4	2.58	14.52	23.34
15	18	1.5	16.2	20.28
16	16.2	1.08	14.64	17.88

Her iki tip yaralı sınıfı için de Senaryo 16’ da ortalama süre için en iyi sonuçlara ulaşılmıştır. Bu senaryoda, ambulanslar yalnızca T1 ve T2 tipi yaralıları önerilen sistem ile belirlenen uygun mevcut kapasiteye sahip en yakın hastaneye nakleder. Analiz sonuçlarında taşıma süreleri üzerinde RPM faktörün anlamlı bir etkisi olmadığı görülmüştür. Performans ölçütlerine göre faktör etki analizi sonuçları ana, ikili ve çoklu etkiler olmak üzere Tablo 8’de özetlenmiştir. Bu tablo, istatistiksel analize göre en yüksek F değerlerine sahip, performans kriterlerini etkileyen en önemli faktörleri ve çoklu etkileşimleri göstermektedir. Bu özet tabloya göre, RPM önceliği ve hastane kapasitelerine dayalı hastane seçim kuralı, sırasıyla kurtarılamayan yaralıların sayısını ve varışa kadar harcanan zamanı azaltmak için dikkate alınmalıdır.

Tablo 8. Performans ölçütleri üzerinde en etkili ve önemli ana ve çoklu etkiler özet tablosu

Performans Ölçütleri	Ana Etkiler	İkili Etkiler	Çoklu Etkiler
Kurtarılamayan Yaralı Sayısı	RPM Önceliği	Taşınan Yaralının Triyaj Tipi * RPM Önceliği	Ambulans Sayısı * RPM Önceliği * Hastane Seçim Kararı
T1 Tipi Yaralıların Hastanelere Nakledilme Süresi	Hastane Seçim Kararı	RPM Önceliği * Hastane Seçim Kararı	---
T2 Tipi Yaralıların Hastanelere Nakledilme Süresi	Hastane Seçim Kararı	Taşınan Yaralının Triyaj Tipi * Hastane Seçim Kararı	RPM Önceliği * Taşınan Yaralının Triyaj Tipi * Hastane Seçim Kararı

4. YARALI TAŞIMA SİSTEMİ İÇİN ÇOK AMAÇLI İKİ AŞAMALI STOKASTİK MATEMATİKSEL PROGRAMLAMA MODELİ

Büyük ölçekli afetlerde yaralı taşıma problemi doğası gereği dinamik ve çok faktörlü bir yapıya sahiptir. Buna ek olarak problem afetin şiddeti, ortaya çıkabilecek yaralı sayıları, oluşabilecek hasar seviyeleri gibi belirsizlikleri de içermektedir. Bu sebeple çalışmanın bu aşamasında, çok amaçlı stokastik matematiksel model önerilmiştir. Simülasyon ve faktör analizlerine göre elde edilen bilgilerle en doğru kararı verebilmek için matematiksel modelin amaç fonksiyonları, analiz sonuçları dikkate alınarak belirlenmiştir. Model, amacı RPM ağırlıklı toplam taşınamayan yaralı sayısını, ihtiyaç duyulan ek ambulans sayısını ve yaralı taşıma süresini en küçükmek olan üç amaç fonksiyonuna sahiptir. Modelin birinci aşamasında, afet meydana gelmeden önce acil yardım istasyonlarına talep noktalarını atayarak bu istasyonlarda konumlandırılması gereken en az ambulans sayısına karar verir. İkinci aşama kararlar senaryolara bağlı olan kararlardır. Afet sonrası taşınamayan yaralı sayısını ve talep noktalarından hastanelere ulaşım süresini en aza indirmek için gereken ek ambulans sayısını belirler. Önerilen model, afet öncesinde yaralı ulaştırma kararının verilmesini sağlayan farklı yaralı gruplarını içeren, çok tesisli ve çok periyotlu bir stokastik karma tamsayılı matematiksel programlama modelidir. Önerilen model problemin doğası gereği dinamik bir yapıdadır ve model bazı varsayımlara sahiptir. Bu varsayımlar:

- İlk aşamada ambulanslar mevcut ambulans sayısına göre acil yardım istasyonlarına atanır.
- Afet öncesinde ambulanslar yalnızca acil yardım istasyonlarında bulunmaktadır.
- Ambulanslar acil yardım istasyonundan ayrılabilir, ancak yaralılar istasyonlara değil, hastanelere nakledilir.
- İlk periyodun başlangıcında acil yardım istasyonları yalnızca o istasyona atanmış olan talep noktalarına ambulans gönderirken periyot içinde ve sonraki periyotlarda her noktaya ambulans gönderilebilir.
- Ek ambulanslar her periyotta gelebilir ve gelen ambulans bir sonraki periyotta da hizmet verir.
- Ambulanslar periyot süreleri boyunca çalışabilmektedir.
- Yaralıların RPM puanında değişiklik olmadığı varsayılmıştır.

Formülasyon, iki ana konum seti (I ve J) ile temsil edilir; burada I, ambulans konumları kümesidir ve J, mahalle merkezi olan triyaj alanları kümesidir. Ambulans lokasyonları seti, istasyon ve hastane lokasyonlarından oluşur. İstasyonlar, E, ilk aşamadaki (afet öncesi) ve ikinci aşamadaki ambulans konumudur. Hastaneler, H, aynı zamanda ambulans yerleridir. İkinci aşamada (afet sonrası) acil servislerden veya hastanelerden ayrılan ambulanslar yaralıyı triyaj noktasından alıp hastanelere nakleder ve bu yeni yerden (hastaneden) çıkarak döngüyü tekrarlar. İndis ve kümeler, parametreler ve model formülasyonu aşağıda açıklanmıştır.

Kümeler ve İndisler:

S Senaryolar kümesi $s \in S$

R RPM puanları kümesi $r \in R$

I Ambulans lokasyonları kümesi $i, i' \in I : I = E \cup H$

E Acil yardım istasyonları kümesi $E \subset I$

H Hastaneler kümesi $h \in H : H \subset I$

J Triyaj alanları kümesi $j \in J$

T Ayrık zaman periyotları $t, n \in \{0, \dots, T\}$

Parametreler

NA_{max} Bölgeye gönderilebilecek maksimum ambulans sayısı

NA_{actual} Bölgenin sahip olduğu mevcut ambulans sayısı

N_{pop} Bir ambulansın hizmet verebileceği maksimum nüfus

pop_j j -talep bölgesinin nüfusu

λ_r Yaralının r RPM puanı ($r=0, 0; r=1, 1 \dots$)

t_{ij} Afet öncesinde ambulans ile i ve j arasındaki yaralı taşıma süresi

$t_{standart}$ İstasyon ve hastaneler arasında ambulans atama için zaman sınırı

t_{prep} Ambulansların hazırlık süresi

T_{period} Periyot uzunluğu

M Büyük bir sayı

z_{jt}^{sr} s -senaryosuna göre t periyodunda j -lokasyonunda bulunan r -RPM puanlı yaralı sayısı

t_{ij}^s s -senaryosundaki yol hasarına göre i ve j noktaları arasındaki yaralı taşıma süresi

C_h^s s -senaryosuna göre h - hastanesinin kapasitesi

$\tau_{casualty}^s$ s senaryosuna göre beklenen toplam yaralı sayısı

$\tau_{capacity}^s$ s senaryosuna göre hastanelerin toplam kapasitesi

İlk Aşama Karar Değişkenleri:

x_i i -ambulans lokasyonunda bulunan ambulans sayısı

$y_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{Eğer } j \text{ talep noktası } i \text{ koordinasyon merkezine atanıyorsa,} \\ 0, & \text{diğer durumlarda.} \end{cases}$

İkinci Aşama Karar Değişkenleri:

dx_{it}^s s -senaryosunda t -periyodunda i -ambulans lokasyonunda bulunması gereken ek ambulans sayısı

byx_{it}^s s -senaryosuna göre t -periyodunun başında i -lokasyonunda bulunan ambulans sayısı

yx_{it}^s s -senaryosuna göre t -periyodunun sonunda i -lokasyonunda bulunan ambulans sayısı

w_{hjt}^{sr} s-senaryosuna göre t -periyodunda j -triyaaj noktasından h -hastanesine ambulansla taşınan r -RPM puanlı yaralı sayısı

v_{jt}^{sr} s-senaryosuna göre t -periyodunda j -triyaaj noktasından taşınamayan r -RPM puanlı yaralı sayısı

lx_{ijht}^s s-senaryosuna göre t -periyodunda i -ambulans noktasından çıkıp j -triyaaj noktasındaki yaralıyı alarak h -hastanesine taşıyan ambulans sayısı

AC_{ht}^s s-senaryosuna göre t -periyodunda h -hastanesinin kullanılabilir kapasitesi

$$\beta^s = \begin{cases} 1 & \tau_{casualty}^s \geq \tau_{capacity}^s, \\ 0 & d.d.. \end{cases}$$

Amaç fonksiyonları

$$\text{Birinci amaç } (f_1): \text{Minimize } E_{\xi}[Q(x, y, \xi)], \quad (1)$$

$$\text{İkinci amaç } (f_2): \text{Minimize } \sum_{i \in E} x_i + E_{\nu}[\mathcal{W}(x, y, \nu)], \quad (2)$$

$$\text{Üçüncü amaç } (f_3): \text{Minimize } \sum_{i \in E} \sum_{j \in J} t_{ij} y_{ij} + E_{\zeta}[\mathcal{G}(x, y, \zeta)], \quad (3)$$

Burada;

$$E_{\xi}[Q(x, y, \xi)] = \min \sum_{s \in S} p_s \left[\sum_{r \in R} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} ((13 - \lambda_r) \cdot v_{jt}^{sr}) \right] \quad (4)$$

$$E_{\nu}[\mathcal{W}(x, y, \nu)] = \min \sum_{s \in S} p_s \left[\sum_{i \in I} \sum_{t \in T} dx_{it}^s \right] \quad (5)$$

$$E_{\zeta}[\mathcal{G}(x, y, \zeta)] = \min \sum_{s \in S} p_s \left[\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{h \in H} \sum_{t \in T} lx_{ijht}^s \cdot (t_{ij}^s + t_{jh}^s) \right] \quad (6)$$

Kısıtlar

Birinci aşama kısıtları:

$$t_{ij} y_{ij} \leq t_{standart}, \forall i \in E, \forall j \in J \quad (7)$$

$$\sum_{i \in E} y_{ij} = 1, \forall j \in J \quad (8)$$

$$\sum_{j \in J} y_{ij} \geq 1, \forall i \in E \quad (9)$$

$$\sum_{j \in J} pop_j y_{ij} \leq N_{pop} x_i, \forall i \in E \quad (10)$$

$$\sum_{i \in E} x_i \leq NA_{actual}, \quad (11)$$

İkinci aşama kısıtları:

Yaralı atama kısıtları:

$$v_{jt}^{sr} = z_{jt}^{sr} + v_{j(t-1)}^{sr} - \sum_{h \in H} w_{hjt}^{sr} \quad \forall s \in S, \forall r \in R, \forall j \in J, t = 1..T \quad (12)$$

$$\tau_{casualty}^s \geq \tau_{capacity}^s * \beta^s, \quad \forall s \in S \quad (13)$$

$$\tau_{casualty}^s \leq \tau_{capacity}^s + M * \beta^s, \quad \forall s \in S \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \sum_{r \in R} \sum_{h \in H} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} w_{hjt}^{sr} \\ = \sum_{h \in H} C_h^s * \beta^s + \sum_{r \in R} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} z_{jt}^{sr} * (1 - \beta^s), \quad \forall s \in S \end{aligned} \quad (15)$$

Ambulans atama kısıtları:

$$\sum_{r \in R} w_{hjt}^{sr} = \sum_{i \in I} lx_{ijht}^s, \quad \forall s \in S, \forall h \in H, \forall j \in J, t = 1, \dots, T \quad (16)$$

$$\sum_{h \in H} lx_{ijh1}^s \geq y_{ij}, \quad \forall s \in S, \forall i \in E, \forall j \in J \quad (17)$$

Ambulans sayısı kısıtları:

$$byx_{i1}^s = x_i, \quad \forall s \in S, \forall i \in E \quad (18)$$

$$byx_{it}^s = yx_{i(t-1)}^s, \quad \forall s \in S, \forall i \in I, t = 2, \dots, T \quad (19)$$

$$\sum_{i \in I} byx_{it}^s = \sum_{i \in I} x_i + \sum_{i \in I} \sum_{n=1}^t dx_{i(t-n)}^s, \quad \forall s \in S, t = 1, \dots, T \quad (20)$$

$$\begin{aligned} yx_{it}^s = byx_{it}^s + dx_{it}^s - \sum_{j \in J} \sum_{h \in H} lx_{ijht}^s + \sum_{i' \in I} \sum_{j \in J} lx_{i'jit}^s, \quad \forall s \in S, \\ \forall i \in H, t = 1, \dots, (T-1) \end{aligned} \quad (21)$$

$$\begin{aligned} yx_{it}^s = byx_{it}^s + dx_{it}^s - \sum_{j \in J} \sum_{h \in H} lx_{ijht}^s, \\ \forall s \in S \quad \forall i \in E, t = 1, \dots, (T-1) \end{aligned} \quad (22)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{h \in H} lx_{ijht}^s = byx_{it}^s + dx_{it}^s, \quad \forall s \in S, \forall i \in E, \forall t \in T \quad (23)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{t \in T} dx_{it}^s \leq NA_{max}, \quad \forall s \in S \quad (24)$$

Zaman ve kapasite kısıtları:

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{h \in H} l x_{ijht}^s (t_{ij}^s + t_{jh}^s + t_{prep}) \leq T_{period} * \sum_{i \in I} (b y x_{it}^s + d x_{it}^s), \forall s \in S, t = 1, \dots, T \quad (25)$$

$$\sum_{r \in R} \sum_{j \in J} w_{hjt}^{sr} \leq A C_{ht}^s, \forall s \in S, \forall h \in H, \forall t \in T \quad (26)$$

$$A C_{ht}^s = A C_{h(t-1)}^s - \sum_{r \in R} \sum_{j \in J} w_{hjt(t-1)}^{sr}, \forall s \in S, \forall h \in H, t = 1, \dots, T \quad (27)$$

$$C_h^s = A C_{h0}^s, \forall s \in S, \forall h \in H \quad (28)$$

$$l x_{ijh0}^s = 0, \forall s \in S, \forall i \in I, \forall j \in J, \forall h \in H \quad (29)$$

$$y x_{i0}^s = 0, \forall s \in S, \forall i \in I \quad (30)$$

$$b y x_{it}^s = 0, \forall s \in S, \forall i \in H, t = 0, 1 \quad (31)$$

$$d x_{i0}^s = 0, \forall s \in S, \forall i \in E \quad (32)$$

$$v_{j0}^{sr} = 0, \forall s \in S, \forall r \in R, \forall j \in J \quad (33)$$

$$w_{hj0}^{sr} = 0, \forall s \in S, \forall r \in R, \forall h \in H, \forall j \in J \quad (34)$$

$$x_i, d x_{it}^s, y x_{it}^s, b y x_{it}^s, l x_{ijht}^s, w_{hjt}^{sr}, v_{jt}^{sr}, A C_{ht}^s \geq 0 \text{ and integer}, \forall s \in S, \forall r \in R, \forall h \in H, \forall i \in I, \forall j \in J, \forall t \in T \quad (35)$$

$$y_{ij}, \beta^s \in \{0, 1\}, \forall s \in S, \forall i \in I, \forall j \in J \quad (36)$$

Stokastik matematiksel model üç amaç fonksiyonuna sahiptir. Bu amaç fonksiyonları simülasyon sonuçlarının analizi ile belirlenen faktörler dikkate alınarak belirlenmiştir. Birinci amaç fonksiyonu (1) RPM puanı ağırlıklı olarak toplam taşınamayan yaralı sayısını minimize eder. İkinci amaç fonksiyonu (2) ile kaynakların kısıtlı olduğu afet durumunda ambulans sayısı en küçüklenmek istenir. Üçüncü amaç fonksiyonu (3) hastane seçimini etkileyerek yaralıların hastanelere taşınma sürelerinin toplamını en küçükler. Çok amaçlı model sayesinde taşınamayan yaralı sayısı ve toplam taşıma süreleri minimize edilirken gerekebilecek ek ambulans sayılarını da minimize eder. Amaç fonksiyonlarında E_ξ, E_v ve E_z RPM ağırlıklı taşınamayan toplam yaralı sayısını, ek ambulans sayısını ve toplam taşıma sürelerinin beklenen değerlerini en küçükleyen senaryo bazlı matematiksel fonksiyonları ifade eder. Sırasıyla eşitlik (4), (5) ve (6) ile ifade edilen senaryo bazlı vektörler olay gerçekleşikten sonra alınacak kararlar için beklenen değerleri verir. Bu ifadelerdeki p_s senaryo olasılıklarını gösterir ve toplam değeri 1'e eşittir.

Birinci aşama kararları ile ilgili kısıtlar (7)-(11) arasında sunulmuştur. Kısıt (7) acil yardım istasyonu ve hizmet vereceği talep noktası arasındaki süreleri uluslararası standartlara uygun olacak şekilde kısıtlamaktadır. Kısıt (8) ve (9) talep noktalarının acil yardım istasyonlarına atanmasını sağlamaktadır. Bu kısıtlarda sırasıyla her talep noktasının yalnızca bir acil yardım istasyonuna atanmasını ve her istasyona bir ve daha fazla talep noktası atanabilmesini garantiler. Kısıt (10) ile her bir acil yardım istasyonuna atanan talep noktalarındaki toplam

nüfusu kapsayacak şekilde ambulans sayısının belirlenmesi sağlanır. Kısıt (11) acil yardım istasyonlarına atanan toplam ambulans sayısının mevcut ambulans sayısından fazla olmasını engeller.

Kısıt (12) periyotlarda ve periyotlar arasındaki gelen yaralı sayısı, taşınan ve taşınamayan yaralı sayılarını dengelemektedir. Kısıt (13), (14) ve (15) hastanelere atanan yaralıları, toplam hastane kapasitesi veya toplam beklenen yaralı sayısına eşitler. Eğer beklenen toplam yaralı sayısı mevcut toplam kapasiteden az ise tüm yaralıların hastanelere atanmasını, eğer daha fazlaysa uygun kapasite kadar yaralının hastanelere taşınmasını sağlar. Kısıt (16) talep noktasından alınıp hastaneye taşınan yaralı sayısını hastaneden çıkıp triyaj noktasına ulaşan ve yaralıyı tekrar hastaneye taşıyan ambulans seferine eşitler. Kısıt (17) ilk aşamada belirlenen acil yardım istasyonlarındaki ambulansların ilk periyodun başında ilgili merkeze atanan alanlara hizmet vermesini garantiler. Kısıt (18) birinci periyodun başında lokasyonlarda bulunan ambulans sayısını istasyonlara atanan ambulans sayısına eşitler. Kısıt (19) her periyodun başlangıcında lokasyonlarda bulunan ambulans sayısını önceki periyodun sonundaki sayı ve konumlarına göre günceller. Kısıt (20) her periyot başında lokasyonlarda bulunan ambulans sayılarını mevcut ambulans ve önceki dönem atanan ek ambulans sayıları toplamına eşitler. Kısıt (21) ve (22) periyot sonunda lokasyonlarda bulunan ambulans sayılarını ambulansların yaptığı seferleri de dikkate alarak günceller. Kısıt (23) acil yardım istasyonlarından ambulansların yalnızca çıkış yapabilmesini garantiler, istasyonlara yaralıların taşınmasını engeller. Kısıt (24) atanabilecek ek ambulans sayısını girilen parametreye göre kısıtlar. Kısıt (25) her periyot için yaralı taşıma sürelerini ambulansların çalışma sürelerine göre kısıtlar. Böylece taşıma süreleri ile taşınan yaralı sayısı arasında da bağlantı kurulur. Aynı periyot içinde ambulansların yaralıyı alana kadar yolda geçen süresi ile alıp hastaneye ulaştırılıncaya kadar geçen sürelerin toplamı periyot süresi içindeki ambulans hizmetinden küçük olmalıdır. Bu kısıt aynı zamanda bir ambulansın yapabileceği sefer sayısını da sürelerle göre Kısıttadır. Kısıt (26) ilgili hastaneye taşınacak yaralı sayısının o hastanenin uygun kapasitesinden küçük veya eşit olmasını sağlar. Kısıt (27) ve (28) hastanelerin uygun kapasitelerini dinamik olarak her periyotta güncelleyen kısıttır. Kısıt (29)-(34) kısıtları afet gerçekleşmeden önceki periyotta değişken değerlerini gösterir. Kısıt (35), (36) işaret ve tamsayı kısıtlarıdır.

4.1. Matematiksel Modele Uygulanan Çözüm Yöntemi

Önerilen çok amaçlı matematiksel model Mavrotas ve Florios (2013) tarafından geliştirilen Artırılmış Epsilon Kısıt Yöntemi 2 (AUGMECON-2) yöntemi kullanılarak pareto optimal çözüm kümesine ulaşılmıştır. AUGMECON yöntemi çok amaçlı modellerin pareto optimal çözüm kümesini oluşturmak için ϵ -kısıt yönteminin kullanılmasına dayanır. Her bir amaç fonksiyonunun ayrı ayrı çözülmesiyle ulaşılan ödünleşme tablosundaki sonuçların en küçük ve en büyük değerlerine göre aralıklara ayrılıp iteratif olarak modelin ortak çözülmesine dayanır. AUGMECON-2 yöntemi ise modelin amaç fonksiyonunun geliştirilmiş halidir. Çözüm algoritmasının akışı Şekil 10' da verilmiştir.

Adım 1. *Ödünleşme çizelgesini oluştur $f_k(x)$ $k = 1, 2, \dots, p$*

Adım 2. *Amaç fonksiyonları için minimum ve maksimum değerleri belirle $f_k(x)$ $k = 1, 2, \dots, p$*

Adım 3. *Alt sınırları belirle lb_k $k = 1, 2, \dots, p$*

Adım 4. *Aralıkları hesapla r_k , $r_k = \max f_k - \min f_k$ $k = 2, \dots, p$*

Adım 5. *Belirle $g_k = \text{Aralık sayısı}$ $eps = 10^{-3}$ ve 10^{-6} arasında çok küçük bir sayı*

Adım 6. *r_k aralık büyüklüğünü g_k aralık sayısına böl*

Adım 7. *Sayacı başlat $i_k=0$ $k = 1, 2, \dots, p$ $n_p=0$; n_p : Pareto optimal çözüm numarası*

Adım 8. *Başla ($i_p = g_p$ olana kadar devam et)*

Adım 9. *Hesapla her bir i_k $k = 2, \dots, p$ için*

Adım 10. *Eşitlik (37)-(41) için Problem P' yi güncelle ve çöz*

Adım 11. *Eğer çözüm uygun ise,*

Adım 12. *$n_p = n_p + 1$, b' yi hesapla, $i_2 = i_2 + 1$; $b = \text{int}(s_2/\text{step}_k)$*

Adım 13. *Eğer $i_2 < g_2$ ise,*

Adım 14. *$i_2 = i_2 + 1$ ve adım 9' a dön*
değilse,

Adım 15. *$i_2 = 0$ ise,*

Adım 16. *Döngü $i_{2+j} = i_{2+j} + 1$ ($j = 1 \rightarrow p - (j + 2)$)*

Adım 17. *Eğer $i_{2+j} < g_{2+j}$ ise,*

Adım 18. *$i_{2+j} = i_{2+j} + 1$ ve adım 9' a dön*
değilse,

Adım 19. *$i_{2+j}=0$ ise, adım 16'ya dön*
Eğer sonu
Döngü sonu
Eğer sonu
Eğer sonu

Adım 20. *Algoritma tamamlanır ve elde edilen pareto optimal çözüm tablosu değerlendirilir.*

Şekil 10. AUGMECON-2 algoritmasının adımları.

Mavrotas ve Florios (2013)' un önerdiği AUGMECON-2 yönetiminin n amaçlı matematiksel modelinin genel şekli sunulmuştur:

Problem P

$$\min f_1(x) + eps \times \left(\frac{s_2}{(f_{2,max} - f_{2,min})} + 10^{-1} \times \frac{s_3}{(f_{3,max} - f_{3,min})} + \dots + 10^{-(2-p)} \times \frac{s_p}{(f_{p,max} - f_{p,min})} \right) \quad (37)$$

Öyle ki:

$$f_2(x) + s_2 = f_{2,min} + i_2 \times (f_{2,max} - f_{2,min}) / g_2 \quad (38)$$

$$f_3(x) + s_3 = f_{3,min} + i_3 \times (f_{3,max} - f_{3,min}) / g_3 \quad (39)$$

...

$$f_p(x) + s_p = f_{p,min} + i_p \times (f_{p,max} - f_{p,min}) / g_p \quad (40)$$

$$x \in S \text{ and } s_i \in R^+ \quad (41)$$

Bu çözüm yöntemine göre amaçlar; taşınamayan yaralı sayısı, ambulans sayısı ve taşıma süresi olarak sıralanmıştır. Önerilen çok amaçlı matematiksel modeli çözmek için IBM ILOG CPLEX® çözücüsü kullanılmıştır.

4.1.1. Uygulama Çalışması ve Sonuçlar

Çalışmanın bu kısmında da aynı uygulama alanı dikkate alınmıştır. Bu aşamada senaryolar, beklenen afet şiddetine göre JICA (2002) ve DEZİM (2018) raporları dikkate alınarak oluşturulmuştur. Senaryolarda afet şiddetine göre beklenen yaralı sayısı, yaralıların triyaj tipi oranları, hastane ve yol hasarları belirsiz parametreler olarak dikkate alınmıştır. Çalışmada stokastik programlama yöntemi kullanılarak tüm senaryoların birlikte değerlendirilmesi sağlanmıştır. Talep noktalarının nüfusu Türkiye İstatistik Kurumu'ndan elde edilmiştir (Url-1). İlk 12 saatlik dönem üç periyoda ayrılarak incelenmiştir ve talep noktalarında RPM puanlarına göre beklenen yaralı sayıları simülasyon ile elde edilmiştir. Hastane kapasiteleri hastanelerin internet sitelerinden alınmıştır ve afet öncesinde hastanelerin %40 doluluk oranına sahip olduğu varsayılmıştır. Ayrıca, literatürdeki diğer çalışmalara göre talep noktaları ile EMS arasındaki zaman sınırının maksimum 10 dakika olduğu (Kalemoglu, 2004) ve 50.000 kişilik nüfusun en az bir ambulansla kapsanması gerektiği (Ball & Lin, 1993) varsayılmıştır. Son olarak ilçede mevcut durumda 12 ambulansın hizmet verdiği ve ek ambulans sayısının 200 ambulansı geçemeyeceği varsayılmıştır. Senaryolara göre parametreler Tablo 9'da sunulmuştur.

Tablo 9. Senaryolara göre parametre değerleri.

Senaryo	Senaryonun gerçekleşme olasılığı	Depremin Şiddeti	T1 tipi Beklenen Yaralı Oranı (%)	T2 Tipi Beklenen Yaralı Oranı (%)	T3 tipi Beklenen Yaralı Oranı (%)	Beklenen Yol Hasarı	Beklenen Hastane Kapasite Düşüşü
Senaryo 1	0.06	7.7	2	2.7	3.3	65%	35%
Senaryo 2	0.08	7.7	1.8	2.4	3	62%	33%
Senaryo 3	0.09	7.7	1.7	2.3	2.8	60%	32%
Senaryo 4	0.1	7.7	1.5	2	2.5	60%	30%
Senaryo 5	0.16	7.5	1.3	1.7	2.2	55%	27%
Senaryo 6	0.11	7.4	1.1	1.4	1.9	45%	25%
Senaryo 7	0.1	6.9	0.9	1.1	1.6	30%	7%
Senaryo 8	0.16	7.5	0.09	0.42	0.74	25%	18%
Senaryo 9	0.14	7.5	0.054	0.264	0.502	20%	10%

Çok amaçlı optimizasyon modeli IBM ILOG CPLEX® 12.9 programında kodlanmış ve çözdürülmüştür. Modelin çözümünde 2.8 GHz Intel Core i7 işlemcili ve 16 GB RAM olan, Windows işletim sistemine sahip dizüstü bilgisayar kullanılmıştır. Çok amaçlı stokastik karma tamsayılı model 53,785 kısıt ve 240,515 tamsayılı değişken içermektedir. Model taşınamayan yaralı sayıları (birinci amaç fonksiyonu) için çözdürüldüğünde en iyi sonuca ulaşma süresi 53,48 saniye olmuştur. Model, AUGMECON-2 yöntemine göre epsilon kısıtlı modele dönüştürülerek gerekli kısıtlar ve değişkenler eklenmiştir. Amaç fonksiyonları sırayla en iyilenerek ödünleşme tablosu elde edilir.

Ödünleşme çizelgesindeki değerlere göre, AUGMECON-2 yöntemi kullanılarak her bir amaç fonksiyonu için aralık değerleri elde edildi. Algoritma adımlarına göre 37 farklı Pareto optimal çözümü elde edilmiştir ve bu çözümler Ek A, Tablo A'da gösterilmektedir. Ambulans sayısının ve toplam taşıma süresinin düşük olduğu, hizmet alamayan yaralı sayısının en aza indirildiği çözüm 26. pareto optimal çözüm olarak belirlenmiştir. Bu çözüme göre karar değişkenlerinin sonuçları dikkate alınmıştır. Modelin ilk aşamasında afet meydana gelmeksizin, acil yardım istasyonlarına talep noktaları atanır ve bu istasyonlarda bulundurulması gereken minimum ambulans sayısı belirlenir. Tablo 10 ilk aşama çözümlerini göstermektedir.

Tablo 10. Kartal örneği için acil yardım istasyonu kapsama ve ambulans konumlandırma sonuçları.

Acil Yardım İstasyonu	Atanan talep noktası	Konumlandırılan ambulans sayısı
Acil Yardım İstasyonu -1	D2-D5-D16	2
Acil Yardım İstasyonu -2	D15	1
Acil Yardım İstasyonu -3	D3-D8-D10-D11-D12-D18-D20	3
Acil Yardım İstasyonu -4	D7	1
Acil Yardım İstasyonu -5	D1-D4-D6-D9-D13-D14-D17	4
Acil Yardım İstasyonu -6	D19	1

Çalışmanın en önemli amacı, nakledilemeyen yaralı sayısını RPM sağlık puanına göre önceliklendirerek en aza indirmektir. Tablo 11, RPM skorlarına, periyotlarına ve senaryolarına göre hizmet verilmeyen yaralıların sayısını göstermektedir. Tabloda, beklenen toplam yaralı sayısına göre karşılanmayan vaka yüzdeleri de yer almaktadır. Elde edilen sonuçlara göre T1 ve T2 grubundaki tüm yaralılar Senaryo 8 ve 9' da ambulanslarla hastanelere taşınmıştır. Yaralıların aciliyetlerine göre en yakın ve kapasitesi uygun olan hastaneye taşınmasının çok önemli olduğu görülmüştür. Bu da en yakın lokasyondaki kapasitesi uygun hastaneyi bulmak için veri odaklı bir karar destek aracı kullanarak mümkündür.

Tablo 11. Senaryo, periyot ve RPM puanlarına göre taşınamayan yaralı sayıları ve beklenen yaralı sayılarına oranları (26. pareto optimal çözüme göre)

Senaryo	Taşınamayan yaralı sayısı (RPM 1-4)				Taşınamayan yaralı sayısı (RPM 5-8)				Taşınamayan yaralı sayısı (RPM 9-12)			
	t=1	t=2	t=3	%	t=1	t=2	t=3	%	t=1	t=2	t=3	%
Senaryo 1	0	1150	2766	20.8	1544	3812	5940	60.0	2352	5176	7836	81.6
Senaryo 2	0	873	2321	18.8	1260	3296	5220	57.7	2112	4648	7060	81.5
Senaryo 3	0	708	2064	17.4	1122	3038	4846	56.5	1992	4380	6644	81.7
Senaryo 4	0	557	1761	16.4	722	2418	4018	50.7	1764	3880	5880	81.6
Senaryo 5	0	140	1180	10.8	526	1966	3326	47.5	1560	3424	5184	83.1
Senaryo 6	0	0	884	8.5	247	1251	2375	37.4	1348	2952	4472	84.7
Senaryo 7	0	0	549	6.5	0	242	1126	16.1	904	2260	3532	79.0
Senaryo 8	0	0	0	0.0	0	0	0	0.0	0	0	54	1.8
Senaryo 9	0	0	0	0.0	0	0	0	0.0	0	0	0	0.0

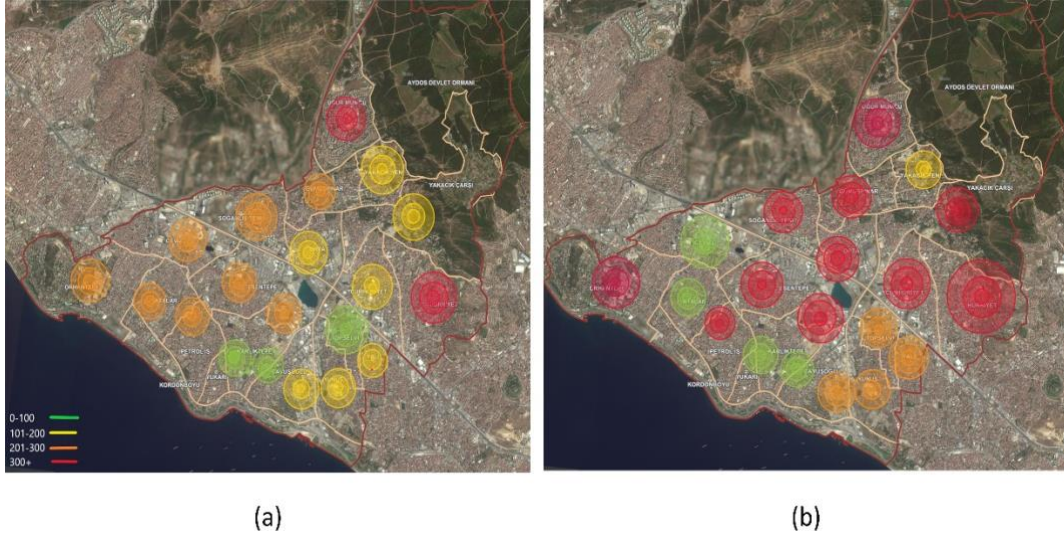
Model aynı zamanda ihtiyaç duyulacak minimum ambulans sayısına da karar verir. Tablo 12, 26. çözümde afet sonrası yaralıların senaryo ve periyotlara göre taşınması için gerekli ek ambulans

sayısını göstermektedir. Ambulans sayılarının periyotlara göre belirlenmesi, diğer bölgelerden afet alanına ambulans aktarılmasında sürecin daha iyi organize edilmesini sağlar. Senaryo 1 en kötümser durumu gösteren senaryodur ve Senaryo 1, 2 ve 4' de, tüm ambulans kapasiteleri kullanılmasına rağmen T1 tipi (en acil) yaralıların tamamı yalnızca ilk periyotta hastanelere ulaştırabilmiştir. Senaryo 5, 8 ve 9 aynı büyüklükteki afet için hazırlanmış farklı senaryolardır. Tablo 11'e bakıldığında, Senaryo 4'e benzer sonuçlar, Senaryo 8 ve 9'dan daha kötümser bir veri grubu içeren Senaryo 5'te de ortaya çıkmıştır. Burada, 187 ambulans, uygun kapasitelere yaralıları taşımak için yeterlidir. Beklenen yaralı sayısı bazı senaryolardan daha düşük olmasına rağmen Senaryo 7 için gereken ambulans sayısının daha fazla olduğu görülmüştür. Bunun sebebi beklenen hastane hasarı düzeyinin daha düşük olmasıdır. Hastaneye taşınabilecek yaralı sayısının daha fazla olması ambulans ihtiyacını da arttırmaktadır. Çalışma, mevcut hastane kapasitelerinin kullanıldığı ilk kritik 12 saat için gerçekleştirildi. İyimsen senaryolarda (Senaryo 8 ve 9) tüm T1 ve T2 grubu yaralıları ambulanslar yönlendirilerek hastanelere ulaştırılabilir. Senaryo 8'de beklenen yaralı sayısı toplam hastane kapasitelerinden daha yüksek olmasına rağmen, T1 ve T2 yaralıların tamamı her dönemde 143 ek ambulansla hastanelere nakledildi.

Tablo 12. 26. Pareto optimal çözüme göre senaryo ve periyotlara göre gereken ek ambulans sayıları.

Senaryo	Periyotlara göre gereken ambulans sayıları			
	Periyot-1	Periyot-2	Periyot-3	Toplam
Senaryo 1	200	0	0	200
Senaryo 2	200	0	0	200
Senaryo 3	194	0	0	194
Senaryo 4	200	0	0	200
Senaryo 5	187	0	0	187
Senaryo 6	176	24	0	200
Senaryo 7	171	18	11	200
Senaryo 8	96	26	21	143
Senaryo 9	53	15	13	81

Son olarak, çalışmada bilgi sisteminin kullanılmadığı yani yaralı takibinin yapılmadığı, hastane kapasitelerinin izlenmediği, ambulans atamalarının yalnızca en yakın mesafeye göre yapıldığı mevcut durum ve önerilen karar destek aracının uygulandığı durum talep noktalarından taşınamayan yaralı sayılarına göre değerlendirildi. Bunun için geliştirilen matematiksel modelde birincil amaç fonksiyonu olarak toplam ulaştırma sürelerinin en küçüklenmesi dikkate alındı ve aynı sayıda ambulans için model çözüldü. Şekil 2' de talep noktalarından taşınamayan yaralı sayıları 4 aralığa ayrılarak renklendirme yapıldı. Şekiller karşılaştırıldığı zaman karar destek aracının uygulandığı sistem sonucunu gösteren Şekil 11(a)' da talep noktalarında taşınamayan yaralı sayılarının mevcut sistemi gösteren Şekil 11(b)' ye göre çok daha az olduğu görülmektedir. Matematiksel ifade edersek önerilen yaralı taşıma sistemi ile yaklaşık olarak ortalama 3000 taşınamayan yaralı beklenirken, yalnızca en yakın mesafelere göre taşımanın yapılması durumunda bu sayı 6000'i aşmaktadır. Ayrıca yalnızca etkinlik değil talep noktaları arasındaki adilliğin sağlanabilmesi açısından da önerilen sistem ile sürecin kontrol edilmesi daha iyi kararlar alınmasını sağlamaktadır.



Şekil 11. Önerilen yaralı taşıma sistemine (a) ve mevcut sisteme (b) göre talep noktalarından taşınamayan ortalama yaralı sayısı.

5. SONUÇ

Bu projede, afet müdahale aşamasında geçici tıp merkezlerinin /sahra hastanelerinin) kurulacakları yerlerin ve sayılarının belirlenmesi ve de yaralıların hastanelere nakledilme süreci çok yönlü olarak ele alınmıştır. Projenin ilk aşamasında, afet sonrası kurulması gereken “Geçici Tıp Merkezi” (Sahra Hastanelerinin) sayılarına ve konumlarına, belirsiz koşullar altında optimum şekilde karar vermeye yönelik iki aşamalı bir stokastik programlama modeli geliştirilmiştir. Ayrıca triaj yapılmaması durumu için de ayrı bir model oluşturulmuştur. Her iki model ayrı ayrı beklenen İstanbul Depremi için İstanbul Büyükşehir Belediyesi’nin hazırlattığı JICA raporunda belirtilen deprem senaryoları ve yaralı oranları verileri dikkate alınarak Kartal İlçesi için çözülmüş ve sonuçlar yorumlanmıştır. Ayrıca bazı parametreler için de duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda, Kartal İlçesi’nin bazı mahallelerinin geçici tıp merkezi kurmak için yeterli boş alana sahip olmadığı görülmüştür. Tüm yaralıları hizmet verebilmek amacıyla çeşitli senaryolar için gereken hastane kapasite artış oranları belirlenmiştir. Ayrıca, triaj işleminin yapılması sayesinde farklı mahallelerde hizmet alamayan yaralı oranları bakımından farklılığın azaltıldığı, diğer bir deyişle daha adil bir sağlık hizmetinin triaj sayesinde mümkün olabileceği görülmüştür.

Projenin ikinci aşamasında yaralı bilgilerine kolay erişim sağlamak, hastanelerin mevcut kapasitelerini izlemek, ambulansları koordine etmek ve yaralı takibini yapabilmek için RFID tabanlı veri temelli karar destek aracı önerilerek mevcut durum ve önerilen sistem simülasyon ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda bilgi sistemlerinden faydalandığında, daha az sayıda hizmet alamayan yaralının olduğu görülmüştür. Bununla beraber oluşturulan senaryolarla kurtarılamayan yaralı sayısı ve hasta taşıma süreleri üzerine faktör etkileri analiz edilerek sürece etkisi olan istatistiksel olarak anlamlı faktörler belirlendi. Belirlenen faktörler dikkate alınarak çok amaçlı stokastik matematiksel model geliştirildi.

Uygulama, İstanbul’ da bulunan yirmi talep noktalı Kartal ilçesi için gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen çok amaçlı iki aşamalı stokastik model, AUGMECON 2 algoritması ile çözülmüş ve pareto optimal çözüm seti elde edilmiştir. Bu çözüm setinde yer alan deneylerden karar vericilerin görüşleri alınarak en iyi çözüme karar verilmiştir. Çalışmada yalnızca en yakın mesafeleri dikkate alarak ambulans atamalarının yapılması taşınamayan yaralı sayısını artırmaktadır. Uygulama sonucunda yaralı, hastane ve ambulans arasında veri aktarımını

mümkün hale getiren bir sistemin kullanılmasıyla kurtarılamayan yaralı sayısının daha az olacağı sonucuna varılmıştır. Buna ek olarak sağlık puanına göre vakaların hastanelere öncelikli olarak taşınması, hastane kapasitelerinin nispeten daha az acil vakalarla dolmasını önleyerek zamanında tedavi alamamaktan kaynaklanabilecek can kaybı sayısını azalttığı görülmüştür. Yaralılar ambulanslara RPM puanına göre atandığı zaman toplam taşıma süresi artmaktadır. Ancak ilk olarak acil yaralılar taşındığı için hastanelere ulaştırılan acil yaralı sayısı da artmıştır. Afet öncesinde ambulans planlaması ile kaynakların doğru kullanılması sağlanır. Bölgeye yönlendirilecek ek ambulanslar, hastanelere ulaştırılamayan yaralı sayısını azaltır. Ancak hastane kapasiteleri tamamen dolduktan sonra ambulans sayısının artırılması, taşınan yaralı sayısına etki etmemektedir. Bu sebeple hastane kapasitelerinin artırılması ve sahra hastanelerinin önceden planlanarak afetin hemen sonrasında hızla kurulması üzerinde de çalışılmalıdır. Son olarak çalışma bir bütün olarak değerlendirildiğinde kurtarılamayan yaralı sayısı açısından önerilen karar destek aracının kullanılması hem bu sayıyı azaltmaktadır hem de triyaj alanları arasında adilliği sağlamaktadır.

KAYNAKLAR

- Altay, N., & Labonte, M. (2014). Challenges in humanitarian information management and exchange: Evidence from Haiti. *Disasters*, 38(s1), S50-S72. <https://doi.org/10.1111/disa.12052>
- Bakioğlu, G., & Karaman, H. (2018). Accessibility of medical services following an earthquake: A case study of traffic and economic aspects affecting the Istanbul roadway. *International journal of disaster risk reduction*, 31, 403-418.
- Ball, M. O., & Lin, F. L. (1993). A Reliability Model Applied to Emergency Service Vehicle Location. *Operations Research*, 41(1), 18-36. <https://doi.org/10.1287/opre.41.1.18>
- Bharosa, N., Lee, J., & Janssen, M. (2010). Challenges and obstacles in sharing and coordinating information during multi-agency disaster response: Propositions from field exercises. *Information Systems Frontiers*, 12(1), 49-65.
- Bozorgi-Amiri, A., Jabalameli, M. S., & Al-e-Hashem, S. M. (2013). A multi-objective robust stochastic programming model for disaster relief logistics under uncertainty. *OR Spectrum*, 35(4), 905-933.
- Çağlayan, N., Satoğlu, Ş. I., & Kapukaya, E. N. (2018, Mayıs). Afet yönetiminde büyük veri ve veri analitiği uygulamaları: Literatür araştırması. 7. Ulusal Lojistik ve Tedarik Zinciri Kongresi'nde sunulan bildiri, Bursa, Türkiye.
- Çağlayan, N., Satoğlu, S. I. (2021), "Multi-Objective Two-Stage Stochastic Programming Model for a Proposed Casualty Transportation System in Large-Scale Disasters: A Case Study.", *Mathematics*, 9(4), 316.
- Daskin, M. S., Hesse, S. M., & Revelle, C. S. (1997). α -reliable p-minimax regret: A new model for strategic facility location modeling. *Location Science*, 5(4), 227-246.
- Falzone, E., Pasquier, P., Hoffmann, C., Barbier, O., Boutonnet, M., Salvadori, A., Jarrassier, A., Renner, J., Malgras, B., & Mérat, S. (2017). Triage in military settings. *Anaesthesia Critical Care & Pain Medicine*, 36(1), 43-51. <https://doi.org/10.1016/j.accpm.2016.05.004>
- Fosso Wamba, S., Akter, S., Edwards, A., Chopin, G., & Gnanzou, D. (2015). How 'big data' can make big impact: Findings from a systematic review and a longitudinal case study. *International Journal of Production Economics*, 165, 234-246. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.12.031>

- Griffith, D. A., Boehmke, B., Bradley, R. V., Hazen, B. T., Johnson, A. W. (2017), “Embedded analytics: improving decision support for humanitarian logistics operations”, *Annals of Operations Research*, Vol. 283, pp. 1–19.
- Günaydın, M., Tatlı, Ö., & Ersöz Genç, E. (2017). Arama Kurtarma Örgütleri ve UMKE. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 56-56. <https://doi.org/10.21324/dacd.267345>
- Günneç, D., & Salman, F. S. (2011). Assessing the reliability and the expected performance of a network under disaster risk. *OR spectrum*, 33(3), 499-523.
- Hong, X., Lejeune, M. A., & Noyan, N. (2015). Stochastic network design for disaster preparedness. *IIE Transactions*, 47(4), 329-357.
- İstanbul İli Olası Deprem Kayıp Tahminlerinin Güncellenmesi Projesi | Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü Available online: <https://depremezmin.ibb.istanbul/calismalarimiz/tamamlanmis-calismalar/istanbul-ili-olasi-deprem-kayip-tahminlerinin-guncellenmesi-projesi/> (accessed on 16 December 2020).
- JICA, İ. Türkiye Cumhuriyeti, İstanbul İli Sismik Mikro-Bölgeleme Dahil Afet Önleme/Azaltma Temel Planı Çalışması. *İstanbul, Eylül 2002*.
- Kalemoglu, M. (2004). Emergency Department Management In Bombing And Blast Incidents. *The Internet Journal of Rescue and Disaster Medicine*, 5(1). <https://ispub.com/IJRDM/5/1/12028>
- Keskin, İ., Akbaba, N., Tosun, M., Tüfekçi, M. K., Bulut, D., Avcı, F., & Gökçe, O. (2018). Geographic Information System And Remote Sensing Based Disaster Management And Decision Support Platform: Aydes. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-3/W4, 283-290.
- Mavrotas, G.; Florios, K. An Improved Version of the Augmented ϵ -Constraint Method (AUGMECON2) for Finding the Exact Pareto Set in Multi-Objective Integer Programming Problems. *Applied Mathematics and Computation* **2013**, 219, 9652–9669, doi:10.1016/j.amc.2013.03.002.
- Nestler, S., Artinger, E., Coskun, T., Endres, T., Klinker, G. (2011), “RFID based patient registration in mass casualty incidents.” *GMS Medizinische Informatik, Biometrie Und Epidemiologie*, Vol. 7 No.1.
- Noyan, N., Balcik, B., & Atakan, S. (2015). A stochastic optimization model for designing last mile relief networks. *Transportation Science*, 50(3), 1092-1113.
- Öksüz, M. K., & Satoğlu, S. I. (2020). A two-stage stochastic model for location planning of temporary medical centers for disaster response. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 44, 101426.
- Özdamar, L. and Ertem, M. A. (2015), “Models, solutions and enabling technologies in humanitarian logistics.” *European Journal of Operational Research*, Vol.244 No.1, pp. 55–65.
- Peeta, S., Salman, F. S., Günnec, D., & Viswanath, K. (2010). Pre-disaster investment decisions for strengthening a highway network. *Computers & Operations Research*, 37(10), 1708-1719.
- Rawls, C. G., & Turnquist, M. A. (2012). Pre-positioning and dynamic delivery planning for short-term response following a natural disaster. *Socio-Economic Planning Sciences*, 46(1), 46-54.
- Renkli, Ç., Duran, S. (2015), “Pre-positioning disaster response facilities and relief items”, *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 21(5), 1169-1185.
- Sacco, W. J., Navin, D. M., Fiedler, K. E., Ii, R. K. W., Long, W. B., & Buckman, R. F. (2005). Precise Formulation and Evidence-based Application of Resource-constrained Triage.

- Academic Emergency Medicine, 12(8), 759-770.
<https://doi.org/10.1197/j.aem.2005.04.003>
- Salman, F. S., Yücel, E. (2015), “Emergency facility location under random network damage: Insights from the Istanbul case”, *Computers & Operations Research*, 62, 266-281.
- Tekin, N. O., Çelebi, F. V., Çalık, E., Şen, B., & Orak, İ. M. (2014). *Cografî Bilgi Sistemi Tabanlı e-Triaj Sistemi*. 7.
- Tofighi, S., Torabi, S. A., & Mansouri, S. A. (2016). Humanitarian logistics network design under mixed uncertainty. *European Journal of Operational Research*, 250(1), 239-250.
- Usta, G., Torpuş, R., Rüçür, U., (2017) “Afetlerde START Triyaj Sıralası,” *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, vol. 3, no. 2, pp. 70–76.
- Wang, Y., Luangkesorn, K. L., & Shuman, L. (2012). Modeling emergency medical response to a mass casualty incident using agent based simulation. *Socio-Economic Planning Sciences*, 46(4), 281-290. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2012.07.002>
- Xiao, Q. (2008), “RFID technology in healthcare and mass casualty incidents.” Defence R&D Canada – Ottawa: Technical Memorandum DRDC Ottawa TM, 131.
- Yeum, C. M., Dyke, S. J., Ramirez, J. (2018), “Visual data classification in post-event building reconnaissance”, *Engineering Structures*, 155, pp. 16–24.
- Url-1 Available online: <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=95&locale=tr>. (accessed on 16 December 2020).
- URL-4, Field hospitals, <https://www.medimagazin.com.tr/guncel//tr-kayseriye-400-kisi-kapasiteli-sahra-hastanesi-11-13-36633.html>. Last access date:12/06/2018.
- URL-6, Ministry of Health, https://khgmozellikli.saglik.gov.tr/svg/saglik_tesisleri.php?plaka=34&srr=1. Last access date: 20/10/2018.
- URL-7, TUIK 2017 population data, <http://www.tuik.gov.tr/Start.do> Last access date: 15/12/2018.
- URL-8, Report, <http://www.guvenliyasam.org/guclendirme-ve-yeniden-yapim-calismalari/>. Last access date: 12/10/2018.
- URL-9, IBM Knowledge Center, CPLEX web site, https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/en/SS9UKU_12.7.0/com.ibm.cplex.zos.help/CPLEX/UsrMan/topics/preface_Z/whatis_Z.html. Last access date: 20/11/2019.