






A scenario-based decision support system for allocating temporary-disaster-response facilities

Fatih Çavdur , Aslı Sebatlı-Sağlam* , Merve Köse-Küçük 

Department of Industrial Engineering, Bursa Uludag University, Bursa, 16059, Turkey

Highlights:

- Development of a decision support system for temporary-disaster-response facilities allocation
- Planning relief supplies distribution under demand uncertainty using a scenario-based approach
- Integrated system design with three main components as its database, decision engine and user interface

Keywords:

- Humanitarian Logistics
- Facility Allocation
- Relief Supplies Distribution
- Decision Support Systems
- Mathematical Programming

Article Info:

Research Article
Received: 05.02.2020
Accepted: 01.02.2021

DOI:

10.17341/gazimmfd.685383

Acknowledgement:

We would like to thank TUBITAK for their support (115M020). We also thank Gurobi Optimization and Maximal Software.

Correspondence:

Author: Aslı Sebatlı-Sağlam
e-mail:
aslisebatli@gmail.com
phone: +90 224 294 2077

Graphical/Tabular Abstract

In this study, a standalone decision support system is developed for temporary-disaster-response facilities allocation for relief supplies distribution as one of the important problems in disaster operations management. The decision support system consists of three main components as its database, decision engine and user interface. It is noted that the decision support system allows decision makers to allocate temporary-disaster-response facilities under many different disaster situations by utilizing the scenario analysis approach. Although it is illustrated with a specific example case in this paper, the flexibility of the system allows its users to consider other cases with many other scenarios. The proposed system might be a useful tool to help decision makers in allocating temporary-disaster-response facilities for relief supplies distribution.

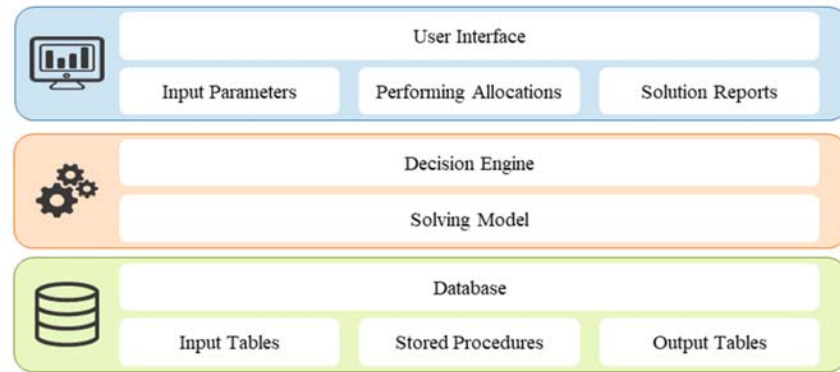


Figure A. System Architecture of the Decision Support Tool

Purpose: This paper presents a scenario-based decision support tool for allocating temporary-disaster-response facilities for relief supplies distribution.




Theory and Methods: The decision support tool developed in this study has three main components; as its database, decision engine and user interface. We use Microsoft Visual Studio for the integration of the system components and the user interface design. The database component of the system is designed using Microsoft SQL Server. We adapt the decision engine for temporary-disaster-response facility allocation problem from a recent study. Maximal Software Mathematical Programming Language (MPL) and Gurobi Optimizer are used for developing the decision engine.

Results: We implement an example real-life case for the illustration of the system. We note that the decision support tool developed in this study allows decision makers to allocate temporary-disaster-response facilities under many different after-disaster situations considering the possible uncertainties to occur after a disaster.

Conclusion: In this study, we propose a standalone decision support system for allocating temporary-disaster-response facilities. Although it is illustrated with a specific example case in this paper, the flexibility of the decision support tool allows its users to consider other cases with different scenarios.



Geçici-afet-müdahale tesisleri yerleşimi için senaryo-tabanlı bir karar destek sistemi

Fatih Çavdur , Aslı Sebatlı-Sağlam* , Merve Köse-Küçük 

Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, Bursa, 16059, Türkiye

ÖNEÇIKANLAR

- Geçici-afet-müdahale tesisleri yerleşimi için karar destek sistemi geliştirilmesi
- Senaryo-tabanlı yaklaşım ile talep belirsizliği altında yardım malzemesi dağıtımının planlanması
- Veri tabanı, karar mekanizması ve kullanıcı arayüzünden oluşan bütünlük sistem tasarımı

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 05.02.2020

Kabul: 01.02.2021

DOI:

10.17341/gazimmfd.685383

Anahtar Kelimeler:

İnsani yardım lojistiği,
tesis yerleşimi,
yardım malzemesi dağıtımı,
karar destek sistemleri,
matematiksel programlama

ÖZ

Afet operasyonları yönetimi, belirsizlik ve zaman baskısı altında kaos ortamında gerçekleştirilmektedir. Dolayısıyla, karar verme süreçlerinde bilgi ve iletişim teknolojilerinin kullanılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada, afet operasyonları yönetimindeki önemli problemlerden birisi olan yardım malzemesi dağıtımını amacıyla geçici-afet-müdahale tesisleri yerleşimi için bağımsız çalışabilen bir karar destek sistemi geliştirilmiştir. Geliştirilen karar destek sistemi; veri tabanı, karar mekanizması ve kullanıcı arayüzü olmak üzere üç ana kısımdan oluşmaktadır. Karar destek sistemi ile senaryo-tabanlı bir yaklaşım kullanılarak farklı afet-sonrası durumlarındaki olası belirsizlikleri dikkate alarak geçici-afet-müdahale tesisleri yerleşimi yapılabilmesi sağlanmaktadır. Böylelikle, afet operasyonları yöneticilerinin afet öncesinde ve esnasında kritik kararları almalarında yardımcı olacak farklı senaryoları oluşturmalarına ve sonuçlarını analiz etmelerine imkan sunulmaktadır. Senaryo tanımlama sürecinde, farklı etkilenen nüfus oranı ve planlama periyodu değerlerinin dikkate alınmasına ek olarak, çeşitli problem parametrelerinin kombinasyonundan oluşan model konfigürasyonları tanımlanmaktadır. Makale kapsamında sunulan örnek bir afet durumu ile uygulama yapılmış olmakla birlikte, sistemin esnekliği istenen sayıda farklı afet durumu için farklı senaryolar altında kullanılabilmesine olanak sağlamaktadır. Karar destek sisteminin kullanıcı-dostu arayüzü sayesinde çeşitli afet senaryoları için elde edilen sonuçlara ait raporlar kullanıcıya anlaşılır bir şekilde sunulmaktadır. Geliştirilen sistemin yardım malzemesi dağıtımını amacıyla geçici-afet-müdahale tesisleri yerleşiminde karar vericiler için kullanışlı bir araç olabileceği düşünülmektedir.

A scenario-based decision support system for allocating temporary-disaster-response facilities

HIGHLIGHTS

- Development of a decision support system for temporary-disaster-response facilities allocation
- Planning relief supplies distribution under demand uncertainty using a scenario-based approach
- Integrated system design with three main components as its database, decision engine and user interface

Article Info

Research Article

Received: 05.02.2020

Accepted: 01.02.2021

DOI:

10.17341/gazimmfd.685383

Keywords:

Humanitarian logistics,
facility allocation,
relief supplies distribution,
decision support systems,
mathematical programming

ABSTRACT

Disaster operations management is carried out in a chaotic environment under uncertainty and time pressure. Therefore, it is necessary to use information and communication technologies in the decision making processes. In this study, a standalone decision support system is developed for temporary-disaster-response facilities allocation for relief supplies distribution as one of the important problems in disaster operations management. The decision support system consists of three main components as its database, decision engine and user interface. It is noted that the decision support system allows decision makers to allocate temporary-disaster-response facilities under many different disaster situations by utilizing a scenario-based approach. Thus, disaster operations managers are given the opportunity to create different scenarios and analyze the results that will help them make critical decisions before and during the disaster. In the scenario definition process, in addition to taking into account different values of affected population rate and planning period, some model configurations consisting of the combinations of various problem parameters are also defined. Although it is illustrated with a specific example case in this paper, the flexibility of the system allows its users to consider other cases with different scenarios. Due to the user-friendly interface of the decision support system, reports of the results obtained for various disaster scenarios are presented to the user in an understandable way. The proposed system might be a useful tool to help decision makers in allocating temporary-disaster-response facilities for relief supplies distribution.

*Sorumlu Yazar / Yazarlar / Corresponding Author / Authors: fatihcavdur@uludag.edu.tr, *aslisebatli@gmail.com, mervekose@uludag.edu.tr / Tel: +90 224 294 2077

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Son yıllarda tüm dünyada afetlerin olumsuz etkileri ile karşı karşıya kalınmaktadır. 2010 yılında yaşanan Haiti depremi, 2011 yılında Japonya'da meydana gelen Tohoku depremi ve ardından ortaya çıkan tsunami, 1999 yılında Kocaeli-Gölcük'te gerçekleşen deprem gibi afetler, bahsi geçen bölgelerde çok büyük olumsuz etkilere, insani ve ekonomik kayıplara yol açan örnekler olarak gösterilebilir. Başarılı bir afet yönetimi ile afetlerin olası olumsuz etkilerinin ve afetlere bağlı kayıpların azaltılması mümkün olabilir. Öte yandan, kriz yönetiminin başarıyla gerçekleştirilemediği durumlarda, afetin olumsuz etkilerinin daha yoğun bir şekilde ortaya çıkması söz konusu olabilmektedir. Bununla birlikte, afet yönetiminden sorumlu kişiler tarafından afet anında, zaman baskısı, risk ve belirsizlik altında karar verme sürecinde çeşitli zorluklarla karşılaşmaktadır. Söz konusu zorlukların üstesinden gelinmesi amacıyla karar vericilere afetlerin istenmeyen etkilerini azaltmada yardımcı olabilecek karar destek sistemleri geliştirilmesi giderek daha önemli hale gelmektedir.

Bu çalışma kapsamında dikkate alınan afet-müdahale tesisleri yerleşimi problemi, afet operasyonları yönetimi kapsamında karşılaşılan en önemli problemlerden birisidir. Özellikle son yıllarda afet operasyonları yönetimi alanında yapılan çalışmalarda bu konuya eğilimin arttığı gözlenmiştir. Buna ek olarak, güncel çalışmalarda ayrıca lokal afet-müdahale tesislerinin önemine vurgu yapılmakta, merkezi tesisler yerine veya söz konusu merkezi tesislere ek olarak lokal tesisler ile afet müdahalesinin (örneğin, yardım malzemesi dağıtımı), ilgili afet operasyonlarının verimliliğini önemli oranda artırabileceği düşünülmektedir. Bu kapsamda ortaya çıkan *geçici-afet-müdahale tesisleri* yerleşim probleminde, merkezi yardım kuruluşları (örneğin, Kızılay) afet bölgesine ulaşmaya kadar afetzedelere yardım malzemesi dağıtımının sağlanması amaçlanmaktadır. Afet sonrası yaşanan karmaşa ortamı düşünüldüğünde, bu tür geçici müdahale tesislerinin varlığı, afetin istenmeyen etkilerinin azaltılmasında büyük oranda katkı sağlamaktadır. Bu çalışma kapsamında geliştirilen karar destek sistemi ile geçici-afet-müdahale tesisleri yerleşimi problemine odaklanılarak karar verme sürecine katkı sağlanması amaçlanmaktadır. Afet meydana gelmeden önce bu tür kritik kararların tüm yönleriyle dikkate alınması ve değerlendirilmesini sağlamak amacıyla geliştirilen karar destek sistemi ile karar vericilerin afet esnasında oluşacak kriz ortamından en az şekilde etkilenmesi ve afetin etkin yönetimine katkı sağlanması amaçlanmaktadır.

Çalışma kapsamında ele alınan geçici-afet-müdahale tesisleri yerleşimi probleminin dikkate alınması gereken özelliklerinden birisi de söz konusu afet operasyonlarının (tesis yerleşimi ve yardım malzemesi dağıtımı), merkezi birimler tarafından değil, lokal birimler tarafından yönetilmesidir. Bu şekilde oluşturulmuş olan *merkezi olmayan yönetim* ile afet sonrasında daha hızlı ve verimli bir şekilde yardım malzemesi dağıtımının sağlanması

amaçlanmaktadır. Büyük çaplı afetler sonrasında merkezi kuruluşların afet bölgesine ulaşmasında çeşitli zorluklarla karşılaşmakta ve afetzedelere ulaşma süresi gecikmektedir. Bu tür zorluk ve gecikmelerin önlenmesi için tesis yerleşimi ve yardım malzemesi dağıtımının lokal birimler tarafından yönetilmesi, süreci daha verimli hale getirmektedir. Bu çalışmada önerilen yaklaşıma göre, söz konusu lokal birimler sahip oldukları kaynakları en verimli şekilde kullanarak afet öncesi geçici tesis yerleşimi planlamasını gerçekleştirmekte ve olası belirsizlik unsurlarını önceden dikkate alarak ilgili afet operasyonlarının planlamasından sorumlu olmaktadır. Bu çalışmada, afetten kaynaklanan belirsizliklerin dikkate alındığı senaryo-tabanlı bir yaklaşım ile geçici-afet-müdahale tesisleri yerleşim problemi dikkate alınarak, sorumlu birimlerin afet öncesi müdahale planlamasına yardımcı olacak bir karar destek sistemi geliştirilmiştir. Çalışmada önerilen senaryo-tabanlı yaklaşım ile afetin yeri, zamanı ve sonrasında ortaya çıkacak etkinin önceden bilinemezliği sebebiyle, afetzede sayısı ve buna bağlı oluşan yardım malzemesi talebi afet senaryolarında belirsizlik unsuru olarak ele alınmıştır. Geliştirilen bütünlük sistem aracılığıyla; (i) farklı afet sonrası durumları ifade eden senaryolar tanımlanmakta, (ii) ilgili senaryolar için geçici-afet-müdahale tesisleri yerleşimi problemi çözülmekte ve (iii) elde edilen sonuçlara ilişkin raporlar analiz edilmektedir. Senaryo oluşturma sürecinde kullanıcı tarafından belirtilen bir bölgedeki afet durumu için farklı etkilenen nüfus oranı ve planlama periyodu değerlerinin yanı sıra çeşitli problem parametrelerinin kombinasyonundan oluşan model konfigürasyonları dikkate alınmaktadır. Kullanıcıya sunulan raporlar ise tesislerin konumları ve sayıları ile birlikte, bu tesislerde depolanan yardım malzemelerinin envanter düzeyleri ve afet bölgesindeki servis kararlarına ilişkin bilgileri içermektedir. Bunlara ek olarak, her bir çözüme ait özet bilgileri içeren performans ölçütleri de karar vericiye sunulmaktadır. Çalışma kapsamında geliştirilen karar destek sistemi aracılığıyla, afet esnasında ve sonrasında meydana gelen olumsuz koşullara ve ortaya çıkan problemlere karşı hazırlıklı olunması ve belirsiz koşullar altında afetin doğru şekilde yönetilmesine yardımcı olunması amaçlanmıştır.

Çalışmanın organizasyonu şu şekildedir: Sonraki bölümde insani yardım lojistiği alanında geliştirilen karar destek sistemlerini konu alan geçmiş çalışmalardan bahsedilecek, takip eden bölümde ise bu çalışma kapsamında geliştirilen karar destek sistemi detaylı olarak açıklanacaktır. Sonraki bölümde sistem bileşenlerinin entegrasyonu sunulacak ve takip eden bölümde bir gerçek hayat probleminde, geliştirilen karar destek sisteminin performansı test edilecek, son bölümde ise çalışma ile ilgili genel bir değerlendirme yapılacaktır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI (LITERATURE REVIEW)

Afet durumlarında, yardım malzemelerinin afet bölgesine ulaştırılmasının planlanması, yönetimi, kontrolü ve

koordinasyonunun sağlanması amacıyla gerçekleştirilen tüm faaliyetler insani yardım lojistiği kapsamında ele alınabilir [1-4]. İnsani yardım lojistik uygulamalarını, ticari lojistik uygulamalarından ayıran birçok unsur söz konusudur. Ticari lojistik uygulamalarında finansal faktörlerin önemi oldukça fazla iken, insani yardım lojistiğinde en önemli unsur insani ihtiyaçların giderilmesi ve buna bağlı tatmin duygusunun oluşturulmasıdır. Bu kapsamda, insani yardım lojistiğinde dikkate alınan parametrelerin detaylı şekilde anlatıldığı Balcık ve Beamon [5] tarafından yapılan çalışma incelenebilir.

İnsani yardım lojistiği alanında karşılaşılan en önemli problemlerden biri afetzedelere sağlanan yardım malzemelerinin depolandığı afet-müdahale tesislerinin konum ve kapasitelerinin belirlenmesi problemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Balcık ve Beamon [5], Cavdur vd. [6], Kilci vd. [7], Mete ve Zabinsky [8], Murali vd. [9] Noyan vd. [10], Rawls ve Turnquist [11, 12] çalışmaları, tesis yerleşim problemini dikkate alan çalışmalara örnek olarak gösterilebilir. Afet-müdahale tesisleri yerleşimi problemi aynı zamanda afet öncesi ve sonrası gibi birden fazla afet yönetimi aşamasını kapsadığından, çeşitli belirsiz (stokastik) parametreyi içeren yapıda bir problem olarak değerlendirilmektedir. Örneğin, afet öncesi kurulacak tesislerin konum ve kapasitelerinin belirlenmesinde en önemli faktör afet sonrası oluşacak afetzede sayısı ve buna bağlı oluşacak yardım malzemesi talep miktarıdır. Afetin şiddeti, konumu ve zamanının önceden bilinmemesi sebebiyle, afet sonrası ortaya çıkan yardım malzemesi talep miktarı belirsiz bir unsur olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu bağlamda, afet yönetimi alanında yapılan çalışmalarda talebin yanı sıra birçok belirsiz unsur dikkate alınmaktadır. Bunlara; afetzede lokasyonları, yardım malzemesi tipi, bağlantı yollarının ve köprülerin hasar görme durumu, tesislerin afet sonrası yıkılma ve hasar görme durumu gibi örnekler verilebilir. Afet yönetimi alanında yapılan çalışmaların çoğunda dikkate alınan belirsiz parametrelerin yerleşim probleminin karmaşıklığını artırıcı yönde etkisi bulunmaktadır. Sebatli ve Cavdur [13] tarafından sunulan çalışmada, bir simülasyon modeli geliştirilerek yardım malzemesi dağıtımında merkezi ve lokal kaynakların kullanımı eş-zamanlı olarak analiz edilmiştir. Bağlantı yollarında oluşabilecek hasar ve afet müdahale ekiplerinin koordinasyonunda yaşanabilecek olumsuzluklar, gecikme unsuru olarak modele yansıtılmıştır.

Geçmiş yıllarda belirsiz parametreleri içeren problemler için çeşitli çözüm yaklaşımları geliştirilmiştir. Bu alanda uygulanan diğer çözüm yaklaşımlarına göre stokastik programlama-tabanlı yaklaşımların öne çıktığından bahsedilebilir. Özellikle iki-aşamalı stokastik programlama yaklaşımı, afet-müdahale tesisleri yerleşimi probleminin kurgusuna oldukça uygun bir kurguya sahiptir. Bu kurguya göre stokastik programın ilk aşamasında afet öncesinde tesis yerleşim kararları alınırken, ikinci aşamada ise genellikle afet sonrası operasyonel kararlar (yardım malzemelerinin dağıtımı) alınmaktadır. Bu iki-aşamalı yaklaşımın, yerleşim problemi yapısını en iyi şekilde yansıtmasına rağmen

oluşacak çözümlerin kalitesi, belirsiz problem parametrelerinin temsil edildiği afet senaryoları ile yakından ilişkilidir. Diğer bir deyişle, önerilen formülasyon tüm problem unsurlarını içerecek şekilde geliştirilmiş olsa da elde edilecek olan çözümlerin kalitesi ilgili stokastik program senaryolarına bağlı olarak değişmektedir. Öte yandan, anlamlı senaryolar üreten bir senaryo oluşturma süreci, stokastik programlama konusunda teorik bilgilerin yanı sıra, afet operasyonları yönetimi ile ilgili teknik bilgiler de gerektirmektedir. Bu durumda, kapsamlı bir şekilde afet senaryolarının üretilmesi için akademik araştırmacılar ve bu alanda çalışan profesyonel insanların oluşturduğu bir ekibin ortak çalışmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Cavdur ve Sebatli [14] tarafından gerçekleştirilen stokastik programlama-tabanlı karar destek sistemi çalışmasında da ifade edildiği gibi böyle bir sistemin kullanıcıları için senaryo tanımlama süreci zorluklar içerebilecektir. Bu çalışmada alternatif bir yaklaşım olarak, senaryo oluşturma sürecinde teorik ve profesyonel bilgiyi bir araya getiren ve karar vericilere bu alanda yardımcı olacak bir karar destek sistemi önerilmektedir. Özellikle, oluşturulan senaryolara karşılık gelen stokastik programlama modelinin deterministik versiyonunun çözülmesiyle, karar vericilere söz konusu senaryoların test edilmesi ve sonuçlarının raporlanması imkanı sunulmaktadır. Cavdur vd. [15] tarafından yapılan çalışmada, bu çalışmadakine benzer şekilde senaryo-tabanlı bir çözüm yaklaşımı önerilmektedir. Öte yandan, Cavdur vd. [15] tarafından önerilen sistem bağımsız çalışan bir sistem olmayıp, bir elektronik tablo ortamında çalışmakta ve bu durum da elektronik tablo platformunun altyapısına bağlı kalınmasına neden olmaktadır. Bu çalışma kapsamında önerilen sistem ise yukarıda bahsedilen her iki çalışmada bulunmayan bazı unsurları ele almaya yönelik olarak sunulmaktadır.

Karar destek sistemleri, bilişsel yükü azaltarak problem çözme ve karar verme süreçlerinde karar vericilere yardımcı olan bilgisayar tabanlı sistemlerdir [16]. Bilgi ve iletişim teknolojilerinin hızla gelişmesiyle birlikte, karar destek sistemleri birçok alanda kullanılmaktadır. Uçaklara yolcu alınmasında uygun stratejinin bulunması [17], gemi çarpışmalarının önlenmesi amacıyla elverişli rotanın önerilmesi [18] ve bilimsel projeleri değerlendirmek üzere aday panelistlerin belirlenmesi [19] gibi farklı alanlardaki problemlerin çözümünde karar destek sistemlerinden yararlanılmaktadır. Afet durumlarında da genellikle etkin kararlar almak, afetin istenmeyen olumsuz etkilerini azaltmayı sağlamaktadır. Fakat bu durum, afetin oluşturduğu karmaşık duruma bağlı olarak karar vericiler için afet durumlarında karar verme sürecini oldukça zorlaştırmaktadır. Bu kapsamda, karar vericilere afet operasyonlarını yönetmede yardımcı olmaları amacıyla geliştirilen karar destek sistemleri ile karar verme sürecinin etkinliğinin artırılmasının yanı sıra afet operasyonları ile ilgili faaliyetlerin gerçekleştirilmesinde de önemli katkılar sağlanmaktadır. Thompson vd. [20] çalışmalarında, afet operasyonları yönetiminde karar destek sistemlerinin kullanımının önemini vurgulamaktadır. Ortuno vd. [21] tarafından yapılan çalışmada, insani yardım lojistiği alanında

geliştirilen karar destek sistemlerini konu alan çalışmaların sayısının son yıllarda artan bir trende sahip olduğundan bahsedilmiş olup, bu çalışmalarda yardım malzemelerinin taşınması ve dağıtımından daha çok envanter kontrolüne odaklanıldığı belirtilmiştir. Fiedrich vd. [22] tarafından yapılan çalışmada ise bu kritik karar mekanizmalarını içeren karar destek sistemlerinin geliştirildiği birtakım çalışmaların bulunduğu fakat karşılaşılan problemlerin karmaşıklığı, bilgi yoğunluğu ve zaman baskısı gibi nedenler sebebiyle en iyi çözümlerinin garanti edilemediği belirtilmiştir. Ahmad ve Simonovic [23] tarafından yapılan çalışmada, sel felaketi sonrası yapılan faaliyetlerin kontrolü amacıyla hem mühendislik hem de mühendislik dışı konuların birleştirildiği bir karar destek sistemi geliştirilmiştir.

Afet yönetimi alanında geliştirilen bazı karar destek sistemleri, daha kapsamlı karar mekanizmalarını içermektedir. Örneğin, Rolland vd. [24] tarafından yapılan çalışmada personel atama ve çizelgeleme problemine yönelik bir metodoloji geliştirilmiştir. Alvear vd. [25] tarafından yapılan çalışmada ise acil durumlarda karayolları tünellerinden en kısa sürede tahliye işleminin gerçekleşmesini sağlayan gerçek zamanlı bir karar destek sistemi önerilmiştir. Haynes vd. [26] tarafından yapılan çalışmada, terör faaliyetlerinin önlenmesinde ve personel atama problemi için ajan-tabanlı bir çözüm yaklaşımı önerilmiştir. Bu kapsamda yapılan bir diğer çalışma ise Lorca vd. [27] tarafından yapılmış olup çalışmada, afet sonrası enkaz kaldırma operasyonları için bir karar destek sistemi geliştirilmiştir. Hobeika vd. [28] çalışmalarında yazarlar tarafından olası nükleer patlamalara karşı nükleer santrallerde tahliye planı oluşturmak amacıyla bir karar destek sistemi önerilmiştir. Tahliye planı oluşturma konusunda yapılan bir diğer çalışma ise Tufekci [29] tarafından yapılmış olup çalışmada, kasırga sonrası acil tahliye planlama modülünü içeren ve Florida Üniversitesi'nde geliştirilen bölgesel tahliye modelleme sistemi (REMS) önerilmiştir. Hadiguna vd. [30] tarafından yapılan çalışmada ise afet sonrası etkin ve hızlı bir tahliye planlamayı amaçlayan karar destek sistemi geliştirilmiştir.

Afet operasyonları yönetimi alanında geliştirilen karar destek sistemlerini konu alan çalışmalarda coğrafi bilgi sistemi (CBS) bazlı çalışmaların sayısı dikkat çekicidir. Bu kapsamda yapılan çalışmalardan biri Chang vd. [31] tarafından yapılmış olup çalışmada, sel felaketi için afet operasyonları yönetiminde iki-aşamalı stokastik programlama modeli kullanılmış, CBS verileri ile talep bilgisi (konumu ve miktarı) elde edilmiştir. De Silva ve Eglese [32] tarafından yapılan çalışmada ise trafik benzetimi ile CBS entegre edilerek nükleer afet sonrası tahliye operasyonlarının planlanması sağlanmıştır. Daha güncel olan bir diğer çalışma ise Sahebjamnia vd. [33] tarafından yapılmış olup çalışmada, insani yardım lojistiği faaliyetlerinin koordinasyonu için melez bir karar destek sistemi geliştirilmiştir.

Geçmiş yıllarda yapılan bazı çalışmalarda afet sonrası yardım malzemelerinin dağıtımında kullanılan karar destek

sistemleri konu edilmiştir. Özdamar vd. [34] tarafından yapılan çalışma kapsamında geliştirilen karar destek sistemine çok-ürünlü ağ akış ve araç rotalama modelleri entegre edilmiştir. Bir başka çalışmada ise Kondaveti ve Ganz [35] tarafından kaynak atama ve dağıtım operasyonlarının yönetimi için ilk aşamada afetzedeleri buldukları coğrafi koordinatlara göre gruplandırılan, ikinci aşamada bu gruplara yapılacak kaynak atama ve dağıtım operasyonlarının yönetildiği bir karar destek sistemi önerilmiştir. Rekik vd. [36] tarafından yapılan çalışmada ise ağ tasarımı, dağıtım planlaması ve çok-kriterli karar verme modüllerinden oluşan bir karar destek sistemi önerilmiştir. Bir diğer çalışma Fikar vd. [37] tarafından yapılmış olup çalışmada, özel kuruluşlar ve yardım kuruluşları arasında afet yardım faaliyetlerinin koordinasyonunun sağlanması amacıyla benzetim ve eniyileme tabanlı bir karar destek sistemi geliştirilmiştir. Tüm bu örnek çalışmalar ışığında, bu çalışmada geçici-afet-müdahale tesisleri kullanılarak yardım malzemelerinin dağıtım operasyonlarının planlanması amacıyla bir karar destek sistemi önerilmektedir.

Bu çalışma kapsamında dikkate alınan problemi doğrudan ele alan ve yukarıda da bahsi geçmiş olan iki çalışmanın varlığından bahsedilebilir. Bunlardan ilkinde Cavdur ve Sebatli [14] geçici-afet-müdahale tesisleri yerleşimi için bağımsız çalışan bir karar destek sistemi önermişlerdir. Bununla birlikte söz konusu çalışmada problem senaryo-tabanlı bir yaklaşım yerine, iki-aşamalı stokastik programlama kullanımını önermektedir. Yukarıda da belirtildiği gibi bahsi geçen çalışmada önerilen stokastik programlama modeli çeşitli afet tesisleri yerleşimi problemleri için uygun bir altyapı sunmakla birlikte, özellikle gerekli matematiksel altyapıya sahip olmayan sistem kullanıcıları için problem kurgusunun oluşturulması ve sonuçların yorumlanması gibi açılardan bazı zorluklar içerebilmektedir. Karar mekanizmasının yanı sıra, veri tabanı tasarımı da stokastik programlama modelinin bileşenleri nedeniyle daha karmaşık bir yapıya dönüşmektedir. Dolayısıyla, problem boyutunun büyümesiyle birlikte karar destek sisteminin hesaplama karmaşıklığının da önemli ölçüde artması söz konusudur. Geçici-afet-müdahale tesisleri yerleşimini dikkate alan diğer bir çalışma olan Cavdur vd. [15] tarafından yapılan çalışmada ise bu çalışmadakine benzer şekilde senaryo-tabanlı bir çözüm yaklaşımı önerilmektedir. Öte yandan, Cavdur vd. [15] tarafından önerilen sistem ise bağımsız çalışan bir sistem olmayıp, bir elektronik tablo ortamında çalışmakta ve bu elektronik tablo platformunun altyapısına bağlı kalınmasına neden olmaktadır. Söz konusu çalışmada, elde edilen sonuçların ve sonuçlara ait raporların kullanıcıya sunulması aşamasında, elektronik tablo platformunun grafiksel arayüzünden yararlanılmaktadır. Bir diğer ifadeyle, elde edilen sonuca ilişkin detaylar da bu ortamda kullanıcıya sunulmakta ve veri tabanına kaydedilmemektedir. Dolayısıyla söz konusu çalışmadaki veri tabanı tasarımı, sonuçlara ilişkin detayları içermeyecek şekilde kurgulanmıştır. Yukarıda da belirtildiği gibi bu çalışma kapsamında önerilen sistem ise yukarıda bahsedilen her iki çalışmada bulunmayan bazı unsurları ele almaya yönelik

olarak sunulmaktadır. Çalışma kapsamında geliştirilen karar destek sisteminin geçmiş çalışmalarda yer alan sistemlerden ayırt edici yönleri şu şekilde özetlenebilir: (i) Afetin içerdiği belirsizliklerin senaryo-tabanlı bir yaklaşım ile dikkate alınması ve farklı senaryolar için elde edilen yerleşim ve servis kararlarının karar vericiye raporlanması ile afet öncesi müdahale planlamasına imkan sağlanmıştır. (ii) Senaryo oluşturma sürecinde teorik ve uygulamaya ilişkin bilgiyi bir araya getiren bütünlük yapı sayesinde karar vericilere afet öncesinde alınacak kritik kararlarda yardımcı olunması amaçlanmıştır. (iii) Geliştirilen karar destek sistemi başka bir platforma ihtiyaç duymadan, bağımsız çalışabilen bir sistem olarak tasarlanmıştır. (iv) Karar destek sistemi kapsamında kullanılan senaryo-tabanlı yaklaşım ile stokastik programlama vb. yaklaşımların gerektirdiği teorik bilgiye ihtiyaç duyulmadan daha kolay kullanıma olanak sağlanmıştır. (v) Problem çözümünde kullanılan farklı parametrelerin anlamlı kombinasyonlarından oluşan model konfigürasyonlarının bütünlük sistem yapısı altında tanımlanması ile geçici-afet-müdahale tesisleri yerleşiminin etkin bir şekilde analiz edilmesi sağlanmıştır. Böylece, afet yönetiminden sorumlu kişilere yönetsel açıdan çeşitli bakış açılarının kazandırılması amaçlanmıştır. (vi) Uygulama aşamasında bir afet durumu dikkate alınmış olmakta birlikte, farklı afet durumları için farklı senaryolar altında kullanılabilen ve farklı problemlere rahatlıkla uyarlanabilen esnek bir karar destek sistemi tasarlanmıştır.

3. SİSTEM BİLEŞENLERİ (SYSTEM COMPONENTS)

Bu çalışmada önerilen karar destek sistemi, veri tabanı, karar mekanizması ve kullanıcı arayüzü olmak üzere üç ana bileşenden oluşmaktadır. Çalışma kapsamında, sistem bileşenlerinin entegrasyonu ve kullanıcı arayüzü tasarımı için Microsoft Visual Studio, veri tabanı bileşeni için Microsoft SQL Server, karar mekanizması bileşeni için Maximal Software – Mathematical Programming Language (MPL) ve Gurobi Optimizer yazılımları kullanılmıştır.

3.1. Veri Tabanı (Database)

Sistemin veri tabanı bileşeni Microsoft SQL Server kullanılarak tasarlanmıştır ve Tablo 1’de, veri tabanında yer alan 17 adet tabloya dair açıklamalar verilmiştir. Veri tabanı-nesne ilişki diyagramı, ilgilenen araştırmacıların sorumlu yazarla iletişime geçmeleri halinde kendileri ile paylaşılabilir. Tablo 1’de görüldüğü gibi veri tabanı tabloları, afet karakteristikleri, ağ yapısı, modeller ve çözümlerle ilgili tablolar olmak üzere sınıflandırılmıştır. Söz konusu sınıflandırma dikkate alınarak Tablo 1 bölümlere ayrılmış ve veri tabanındaki tablolar bu sınıflandırmaya uygun sırada sunulmuştur. Bağımsız çalışabilen bir sistem tasarımı gerçekleştirebilmek amacıyla, bu çalışma kapsamında tasarlanan veri tabanı, Cavdur vd. [15] tarafından kullanılan veri tabanının daha kapsamlı versiyonu olarak tasarlanmıştır. En genel şekliyle, Cavdur vd. [15] tarafından kullanılan veri tabanındaki unsurlara ek olarak yerleşim kararlarının da veri tabanına kaydedilmesine yönelik bileşenler (ilgili tablolar, saklı-yordamlar gibi) bu çalışmaya eklenmiştir. Bu açıdan bakıldığında, kullanılan veri tabanı, Cavdur ve Sebatli [14] tarafından önerilen veri tabanı yapısına benzerlik göstermekle birlikte, söz konusu çalışmadaki stokastik unsurlara ait veri tabanı bileşenleri bu çalışmada bulunmadığından veri tabanı bileşenleri arasında yer almamaktadır.

Veri tabanındaki tablolar en genel şekliyle dört gruba ayrılabilir. Birinci gruptaki tablolar genel olarak afet unsurlarıyla ilgili olup, afetler (Disasters), afet tipleri (DisasterTypes), tesisler (Facilities) ve yardım malzemeleri (Commodities) ile ilgili bilgileri içeren dört tablo oluşturulmuştur. İkinci grupta ise ağ yapısıyla ilgili bilgiler içeren tablolar yer almaktadır. Bu tablolar; düğüm noktalarını (Nodes), düğüm noktalarının farklı afet türlerine ilişkin risk seviyelerini (NodeRisks) ve bağlantı yollarına ilişkin maliyet-mesafe bilgilerini (Paths) içermektedir. Çalışma kapsamında ağ yapısının tanımlanması için Cavdur

Tablo 1. Veri tabanı tablo açıklamaları (Database table definitions)

Tablo Adı	Tablo İçeriği	İlişkili Olunan Tablolar
Commodities	Yardım malzemeleri	“Disasters” ve “Facilities”
Disasters	Afetler	“Commodities” ve “Facilities”
DisasterTypes	Afet tipleri	“Disasters” ve “NodeRisks”
Facilities	Tesisler	“Commodities” ve “Disasters”
Nodes	Düğüm noktaları	“NodeRisks” ve “Paths”
NodeRisks	Düğüm noktalarının afet riskleri	“DisasterTypes” ve “Nodes”
Paths	Mesafeler	“Nodes”
ModelConfigurations	Model konfigürasyonları	İlgili model ve çözüm tabloları
ModelConfigurationParameters	Konfigürasyon parametreleri	İlgili model ve çözüm tabloları
ModelParameters	Model parametreleri	İlgili model ve çözüm tabloları
ModelTypes	Model tipleri	İlgili model ve çözüm tabloları
Solutions	Çözümler	İlgili model ve çözüm tabloları
SolutionsObjectives	Amaç fonksiyonu bileşenleri	İlgili model ve çözüm tabloları
SolutionsUs	“U” model değişkeni	İlgili model ve çözüm tabloları
SolutionsXs	“X” model değişkeni	İlgili model ve çözüm tabloları
SolutionsYs	“Y” model değişkeni	İlgili model ve çözüm tabloları
SolutionsZs	“Z” model değişkeni	İlgili model ve çözüm tabloları

ve Sebatli [14] tarafından önerilen yaklaşım benimsenmiştir. Bu amaçla “Nodes” tablosunda her bir düğüm noktası için tanımlayıcı numaralar kullanılmıştır. Kullanılan yaklaşıma göre düğüm noktaları, her üç-basamak hiyerarşide bir düzeyi belirtecek şekilde dört-seviyeli ve toplamda 12-basamaklı bir alan ile tanımlanmıştır. “RRR-CCC-DDD-NNN” şeklinde karakterize edildiğinde R,C,D ve N harflerinin her biri bir rakama karşılık gelirken sırasıyla, RRR bölge kodunu, CCC il kodunu, DDD ilçe kodunu ve NNN ise ağ yapısı içindeki düğümüne karşılık gelen mahalle kodunu temsil etmektedir. Örnek olarak Türkiye-Marmara-Bursa-Yıldırım ilçesine ait mahalleler bu sistematığe göre tanımlanabilir. Bu yaklaşıma göre “005-016-003-001” ile “005-016-003-064” kodları sırasıyla ilçenin alfabetik olarak sıralanmış olan ilk ve son mahallelerini (Akçağlayan ve 75.Yıl mahallelerini) göstermekte olup, bunların arasında kalan kodlarla da (son üç basamaktaki sayıların artırılmasıyla) Yıldırım ilçesinin diğer bütün mahalleri tanımlanmaktadır. Bu yaklaşım, yalnızca belirtilen Türkiye örneği için değil, diğer ülkeler için kullanılmak üzere rahatlıkla uyarlanabilir. Üçüncü ve dördüncü grupta yer alan diğer tablolar ise genel olarak karar mekanizmasıyla ilişkilidir. Senaryo-tabanlı yaklaşım ile farklı afet-sonrası durumları yansıtmak amacıyla model parametreleri açısından farklı konfigürasyonların oluşturulmasını sağlamak için modellerle ilgili çeşitli tablolar oluşturulmuştur. Çalışma kapsamında dikkate alınmamış olsa da gelecek çalışmalar için esneklik sağlamak amacıyla kullanılabilir olan farklı model tipleri (Model Types), bu model tiplerinin parametreleri (Model Parameters) ve farklı senaryoları yansıtan model konfigürasyonları (Model Configurations) ile bu konfigürasyonların parametrelerini (Model Configuration Parameters) içeren tablolar üçüncü grupta yer alan tablolardır. Veri tabanındaki son altı tablo ise çözümlerle ilgili tablolardır. Bu tablolar, tamsayılı programlama modelinin çözümünüyle ilgili genel bilgileri (Solutions), amaç fonksiyonu bileşenlerinin değerlerini (SolutionsObjectives) ve karar değişkenlerinin en iyi değerlerini içermektedir (“SolutionsUs”, “SolutionsXs”, “SolutionsYs”, “SolutionsZs”). Sistem entegrasyonunun sağlanması amacıyla “ModelConfigurations” ve “Solutions” tabloları arasında ilişkiler tanımlanmıştır.

Veri tabanının oluşturulmasının ardından, geliştirilen kullanıcı arayüzü ile model girdi ve çıktı parametrelerinin dinamik olarak oluşturulması ve sistem entegrasyonunun sağlanması amacıyla çeşitli saklı yordamlar Yapılandırılmış Sorgulama Dili (Structured Query Language – SQL) ile geliştirilmiş olup Tablo 2’de gösterilmiştir. Tablo 2’de görüldüğü gibi, bu saklı yordamlar sırasıyla, model girdi ve çıktıları oluşturan saklı yordamlar olmak üzere sınıflandırılmıştır. Ayrıca okuyucunun temel karar destek sistemi fonksiyonlarına odaklanmasını sağlamak amacıyla, kayıt silme, raporlama gibi çeşitli sistemsel işlemlere ait yordamlara tabloda yer verilmemiştir.

3.2. Karar Mekanizması (Decision Engine)

Çalışma kapsamında, karar mekanizması olarak Cavdur vd. [6] tarafından geçici-afet-müdahale tesisleri yerleşimi problemi için önerilen iki-aşamalı stokastik programlama modelinden uyarlanan bir tamsayılı programlama modeli kullanılmıştır. Cavdur vd. [6] tarafından geliştirilen stokastik programlama modelinde, belirsizlik unsuru olarak yardım malzemesi talep miktarı dikkate alınmış olup talep miktarının değişimini baz alan afet senaryoları tanımlanmıştır. Söz konusu stokastik programlama modelinin kapsamlı bir karar destek sistemi altında uygulanması Cavdur ve Sebatli [14] tarafından önerilmiş olmakla birlikte, yukarıda da belirtildiği gibi böyle bir sistemin pratikte kullanılması açısından, özellikle stokastik program senaryolarının kurgulanmasıyla ilgili olarak bazı zorluklar bulunmaktadır. Öte yandan, bu çalışmada geliştirilen karar destek sistemiyle, afet senaryolarının sistem kullanıcıları tarafından daha kolay bir şekilde tanımlanabilmesi amacıyla daha esnek bir yaklaşım önerilmektedir. Bu esnekliğin sağlanması amacıyla Cavdur vd. [6] tarafından önerilen stokastik programlama modelinin deterministik versiyonu kullanılarak, önerilen karar destek sistemiyle, kullanıcılar tarafından belirlenen çeşitli afet senaryoları sonucunda oluşturulan problem kurgularının çözümleri sağlanmıştır. Cavdur vd. [6] tarafından önerilen stokastik programlama modelinde dikkate alınan ve belirsiz parametre olan senaryo değişkenine bağlı yardım malzemesi talep miktarı ($d_{jk}(\xi)$), deterministik versiyonda senaryo

Tablo 2. Dinamik model verisi için geliştirilen SQL saklı yordamları (SQL stored-procedures for dynamic model data generation)

Saklı Yordam Adı	Açıklama
InputFacilities	Tesislere ait model girdilerini oluşturur.
InputCommodities	Yardım malzemelerine ait model girdilerini oluşturur.
InputRegions	Şebeke yapısına ait bölge düzeyinde model girdilerini oluşturur.
InputCities	Şebeke yapısına ait il düzeyinde model girdilerini oluşturur.
InputDistricts	Şebeke yapısına ait ilçe düzeyinde model girdilerini oluşturur.
InputNodes	Şebeke yapısına ait mahalle düzeyinde model girdilerini oluşturur.
InputCosts	Maliyetlere ait model girdilerini oluşturur.
InputDemands	Taleplere ait model girdilerini oluşturur.
InputConfigurationParameters	Konfigürasyon parametrelerine ait model girdilerini oluşturur.
OutputSolutions	Çözüme ait genel bilgileri oluşturur.
OutputSolutionObjectives	Çözüme ait amaç fonksiyonu bileşenlerinin değerlerini oluşturur.
OutputSolutionsYs	Çözüme ait Y çözüm vektörünü oluşturur.
OutputSolutionsXZs	Çözüme ait X ve Z çözüm vektörlerini oluşturur.

değişkeninden bağımsız hale dönüştürülmüştür (d_{jk}). Benzer şekilde, ikinci aşama senaryo-bağımlı değişken de deterministik versiyonda modelden çıkarılmıştır. Sonuç olarak, Cavdur vd. [6] tarafından önerilen stokastik unsurların modelden çıkarılmasıyla ortaya çıkan ve bu durumda her bir afet senaryosu için ayrı ayrı çalıştırılması söz konusu olan deterministik tamsayı programlama modeli elde edilmiştir. Burada geliştirilen esnek yaklaşım ile karar mekanizmasının matematiksel detaylarına hakim olmayan standart bir kullanıcının problemi çözmesine ve elde edilen sonuçları yorumlamasına imkan sunulmaktadır. İlerleyen sayfalarda detayları anlatıldığı gibi, matematiksel programlama modelinde belirsizlik unsuru olarak ele alınan talep miktarlarının hesaplanmasında kullanıcı tarafından arayüzde yapılan etkilenen nüfus oranı ve planlama periyodu seçimleri dikkate alınmaktadır. Bunun yanı sıra, çeşitli problem parametrelerinin kombinasyonundan oluşan farklı model konfigürasyonları da tanımlanabilmektedir. Böylelikle, söz konusu stokastik programlama modelinin her bir afet senaryosuna ait deterministik versiyonuna karşılık gelen tamsayı programlama modeli önerilen senaryo-tabanlı yaklaşımla dinamik olarak oluşturularak (ilgili senaryo girdilerine bağlı olarak model girdilerinin dinamik olarak oluşturulmasıyla) çözülmektedir. Çalışma kapsamında kullanılan karar mekanizmasına ilişkin söz konusu tamsayı programlama modelinin detayları aşağıda sunulmuştur.

İndisler ve parametreler:

- i, j : Mahalle indisi, $i, j = 1, \dots, n_N$
 k, p, q : Yardım malzemesi indisi, $k, p, q = 1, \dots, n_C$
 d_{jk} : j . mahallenin k . tip yardım malzemesi için talebi
 c_{ij} : i . ve j . mahalleler arası maliyet (uzaklık)
 v_k : k . tip yardım malzemesinin birim hacmi
 w_k : k . tip yardım malzemesinin birim ağırlığı
 V : geçici-afet-müdahale tesisi hacim kapasitesi
 W : geçici-afet-müdahale tesisi ağırlık kapasitesi
 r_{pq} : p ve q yardım malzemeleri arasındaki tedarik oranı
 n_i : i . mahallede açılacak uygun geçici-afet-müdahale tesisi sayısı
 N_T : toplam açılacak uygun geçici-afet-müdahale tesisi sayısı
 s_i : i . mahallenin güvenlik düzeyi
 S_T : güvenlik düzeyi eşik değeri
 α : bir mahallede açılacak tesisin hizmet sağlayabileceği mahalle sayısı üst sınırı
 β : bir mahallenin dağıtım hizmeti alabileceği mahalle sayısı üst sınırı
 λ : ölçeklendirme faktörü
 γ : karşılanamayan talep birim maliyeti
 M : büyük bir sayı

Değişkenler:

- z_i : i . mahallede açılan geçici-afet-müdahale tesisi sayısı
 y_{ij} : $\begin{cases} 1, & i. mahalle j. mahalleye dağıtım hizmeti sağlıyorsa \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$
 x_{ijk} : i . mahallede açılan tesis tarafından j . mahalleye dağıtım yapılan k . tip yardım malzemesi miktarı

u_{jk} : j . mahallenin k . tip yardım malzemesi için karşılanamayan talep miktarı

Amaç fonksiyonu:

$$\min f = \lambda \left(\sum_{i=1}^{n_N} z_i \right) + \sum_{i=1}^{n_N} \sum_{j=1}^{n_N} c_{ij} \left(\sum_{k=1}^{n_C} x_{ijk} \right) + \gamma \left(\sum_{j=1}^{n_N} \sum_{k=1}^{n_C} u_{jk} \right) \quad (1)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{i=1}^{n_N} x_{ijk} = d_{jk} - u_{jk}, \forall j, k \quad (2)$$

$$r_{pq} x_{ijp} = r_{qp} x_{ijq}, \forall i, j, p, q; p > q; p, q \in k \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^{n_N} \sum_{k=1}^{n_C} v_k x_{ijk} \leq V z_i, \forall i \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^{n_N} \sum_{k=1}^{n_C} w_k x_{ijk} \leq W z_i, \forall i \quad (5)$$

$$z_i \leq \sum_{j=1}^{n_N} \sum_{k=1}^{n_C} x_{ijk}, \forall i \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^{n_N} y_{ij} \leq \alpha, \forall i \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^{n_N} y_{ij} \leq \beta, \forall j \quad (8)$$

$$\sum_{k=1}^{n_C} x_{ijk} \leq M y_{ij}, \forall i, j \quad (9)$$

$$y_{ij} \leq \sum_{k=1}^{n_C} x_{ijk}, \forall i, j \quad (10)$$

$$z_i \leq n_i, \forall i \quad (11)$$

$$\sum_{i=1}^{n_N} z_i \leq N_T \quad (12)$$

$$z_i = 0, \forall i \in \{i: s_i \leq S_T\} \quad (13)$$

$$z_i \in \mathbb{Z}^+ \cup \{0\}, \forall i \quad (14)$$

$$y_{ij} \in \{0, 1\}, \forall i, j \quad (15)$$

$$x_{ijk} \in \mathbb{Z}^+ \cup \{0\}, \forall i, j, k \quad (16)$$

$$u_{jk} \in \mathbb{Z}^+ \cup \{0\}, \forall j, k \quad (17)$$

Eş. 1 ile verilen modelin amaç fonksiyonu, toplam açılan tesis sayısı, toplam uzaklık-ağırlıklı taşıma miktarı ve toplam karşılanamayan talebin enküçüklenmesinden oluşmaktadır. Eş. 2 ile tesislerden tedarik edilen toplam yardım malzemesi miktarı ile yardım malzemesi talebinin karşılanması sağlanmıştır. Eş. 3 ile dengeli dağıtımın yapılabilmesi için gerekli olan farklı yardım malzemesi tipleri için tedarik oranı tanımlanırken, Eş. 4 ve Eş. 5, sırasıyla tesis hacim ve ağırlık kapasite kısıtları olarak değerlendirilmektedir. Eş. 6 ile karar değişkenleri arası ilişki sağlanmış olup Eş. 7 ve Eş. 8 ile servis verilebilecek afetzedeki mahalle sayısı ve servis alınabilecek mahalle sayısı sınırlandırılmıştır. Eş. 9 ve Eş. 10 karar değişkenleri arasındaki mantıksal ilişkinin sağlandığı kısıtlardandır. Eş. 11 ile her mahallede açılacak en fazla

tesis sayısı belirlenirken, Eş. 12 ile toplam açılacak en fazla tesis sayısı belirlenmiştir. Eş. 13 ile belirli güvenlik eşik değerinden daha düşük güvenlik düzeyine sahip mahallerde tesis açılması önlenmiştir. Son olarak, Eş. 14-Eş. 17 ile karar değişkenleri tanımlamaları yapılmıştır. Model ve kısıtlarla ilgili detaylı açıklamalar için Cavdur vd. [6] çalışması incelenebilir.

3.3. Kullanıcı Arayüzü (User Interface)

Çalışmada kullanıcıların karar destek sistemiyle etkileşime girmesi amacıyla grafiksel bir kullanıcı arayüzü tasarlanmıştır. Kullanıcı arayüzü tasarımında Microsoft Visual Studio ortamı kullanılmış olup kullanıcı arayüzüne ait ekran görüntüsü Şekil 1'de gösterilmiştir. Şekil 1'de görüldüğü gibi kolay kullanım amacıyla kullanıcı arayüzünün sol ve sağ tarafları en genel şekliyle problem parametrelerinin tanımlanması ve çözümlerin raporlanması olmak üzere iki kısma ayrılmaktadır. Arayüzün sol tarafında bulunan birbirinden farklı altı adet problem parametresi, üç alt-kategoride toplanmakta olup bunlar; (i) Etkilenen Bölge, (ii) Afet ve (iii) Model olarak tanımlanmaktadır. İlk alt-kategoride (Etkilenen Bölge), bölge, il ve ilçelere ait parametreleri tanımlanmaktadır. Böylece, seçili bölge, il ve ilçe için arka planda afet bölgesinin mahalle düzeyine kadar tanımlanması sağlanmıştır. Çalışmada kullanılan coğrafi sınıflandırma yaklaşımının Türkiye özelinde bir ağ yapısının coğrafi tanımlamalarında kullanımının yanı sıra, bu yaklaşım, diğer ülkelere de kolaylıkla uyarlanabilecek esneklikte tasarlanmıştır. Ayrıca geliştirilen saklı yordamlar ile etkilenen bölgenin belirlenmesi için arayüzdeki etkileşimler otomatik olarak gerçekleştirilmektedir; kullanıcı arayüz üzerinden bölge seçimi yaptığında yalnızca o bölgedeki illerin getirilmesi ve il seçimi yaptığında da o ildeki ilçelerin getirilmesi sağlanmıştır. İkinci alt-kategoride (Afet), kullanıcı tarafından "Etkilenen Nüfus Oranı" ve "Planlama Periyodu" gibi problem parametreleri belirlenmektedir. Etkilenen nüfus oranının %75-%95 aralığında değiştiği, planlama periyodunun ise 8-72 saat

aralığında belirlendiği varsayımıyla kullanıcı tarafından bu iki parametrenin birlikte değişimlerinden oluşan farklı kombinasyonlar oluşturulabilir. Bu kombinasyonlar sadece belirli koşulları temsil etmek için örnek olarak kullanılmış olsa da veri tabanına yeni eklemeler yapılmasıyla farklı kombinasyonlar da oluşturulabilir. Son alt-kategori olan "Model" kategorisinde ise birden fazla problem parametresinin belirli bir kombinasyonundan oluşan model konfigürasyonlarının belirlenmesi sağlanmaktadır. Bu parametreler, bütçe (açılacak en büyük tesis sayısı), güvenlik seviyesinin eşik değeri ve karşılanamayan talep cezası olarak tanımlanabilir. Diğer problem parametrelerinde olduğu gibi bu kategoride de veri tabanında gerekli güncellemeler yapılarak istenen sayıda model konfigürasyonu tanımlanabilir.

Çalışma kapsamında geliştirilen karar destek sistemi, kullanıcı tarafından belirlenen problem parametrelerinin herhangi bir kombinasyonunun, karar mekanizması tarafında belirli bir afet senaryosunu tanımlayacak şekilde tasarlanmıştır. Kullanıcının tüm problem parametrelerini tanımlamasının ardından senaryo tanımlaması otomatik olarak gerçekleştirilmekte olup kullanıcıya bu senaryoya ait sonuçlar raporlanmaktadır. Dolayısıyla, belirli bir senaryo açıklaması aynı zamanda kullanıcıya ait tüm problem parametre ayarlarının bilgisini içermektedir. Örneğin; "Marmara - Bursa - Yıldırım - %75 - 8 saat - Standart" olarak tanımlanan senaryoda, geliştirilen karar mekanizmasıyla Marmara Bölgesi, Bursa İli, Yıldırım İlçesi'ne ait bir afet senaryosunda etkilenen nüfus oranının %75 ve planlama periyodunun 8 saat olduğu bilgiler dikkate alınarak standart bütçeli model konfigürasyonu ile tanımlanan problemin çözümü elde edilmektedir. Benzer şekilde farklı parametre kombinasyonlarına karşılık gelen çok sayıda farklı afet senaryosunun oluşturulması mümkündür. Problemin stokastik yapısı göz önüne alınarak oluşturulan farklı senaryolarla, farklı afet sonrası durumlarının temsil edilmesi sağlanarak, karar verme sürecinde söz konusu farklı durumlar dikkate alınabilir. Bu şekilde stokastik eniyileme

Problem Parametreleri

Etkilenen Bölge

Bölgeler

- Akdeniz
- Doğu Anadolu
- Ege
- Güneydoğu Anadolu
- İç Anadolu
- Karadeniz
- Marmara**

İller

- Balıkesir
- Bursa**
- Canakkale
- Edirne
- İstanbul
- Kütahya
- Kocaeli

İlçeler

- Mustafakemalpaşa
- Niğde
- Orhangazi
- Osmanlı
- Yenişehir
- Yıldırım**

Afet

Etkilenen Nüfus Oranı

- %75
- %80
- %85**
- %90
- %95

Planlama Periyodu

- 8saat**
- 16saat
- 24saat
- 48saat
- 72saat

Model

Model Konfigürasyonları

- Standart**
- Düşük Bütçe
- Düşük Güvenlik-Servis
- Yüksek Güvenlik-Servis
- Düşük Talep Karşılama

Sonuçlar

Senaryo Tanımı

Marmara-Bursa-Yıldırım-%75-8saat-Standart

Servis Kararları

Mahalle	Tedarikçi
152evler	Baruthane
75.Yıl	Akcaglayan
Akcaglayan	Akcaglayan
Anadolu	Mehmetakfersoy
Arabayatagi	Baglaralti
Baglaralti	Baglaralti
Balaban	Yesil
Baruthane	Baruthane
Beyazit	Baruthane

Yerleşim Kararları

Mahalle	Tesis Sayısı	Su	Kuru Gıda	Medikal Kıt
Akcaglayan	1	15047	18065	2006
Baglaralti	7	106702	128099	14223
Baruthane	6	80742	96933	10764
Degimmonu	2	18028	21645	2405
Karamazak	1	5629	6758	751

Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TUBITAK) tarafından desteklenmiştir (115M020).

Şekil 1. Kullanıcı arayüzü ekran görüntüsü (User interface screenshot)

yaklaşımları hakkında teknik bilgiye sahip olmayan sistem kullanıcılarının da daha esnek bir şekilde problemin stokastik yapısını incelemeleri mümkün olabilecektir.

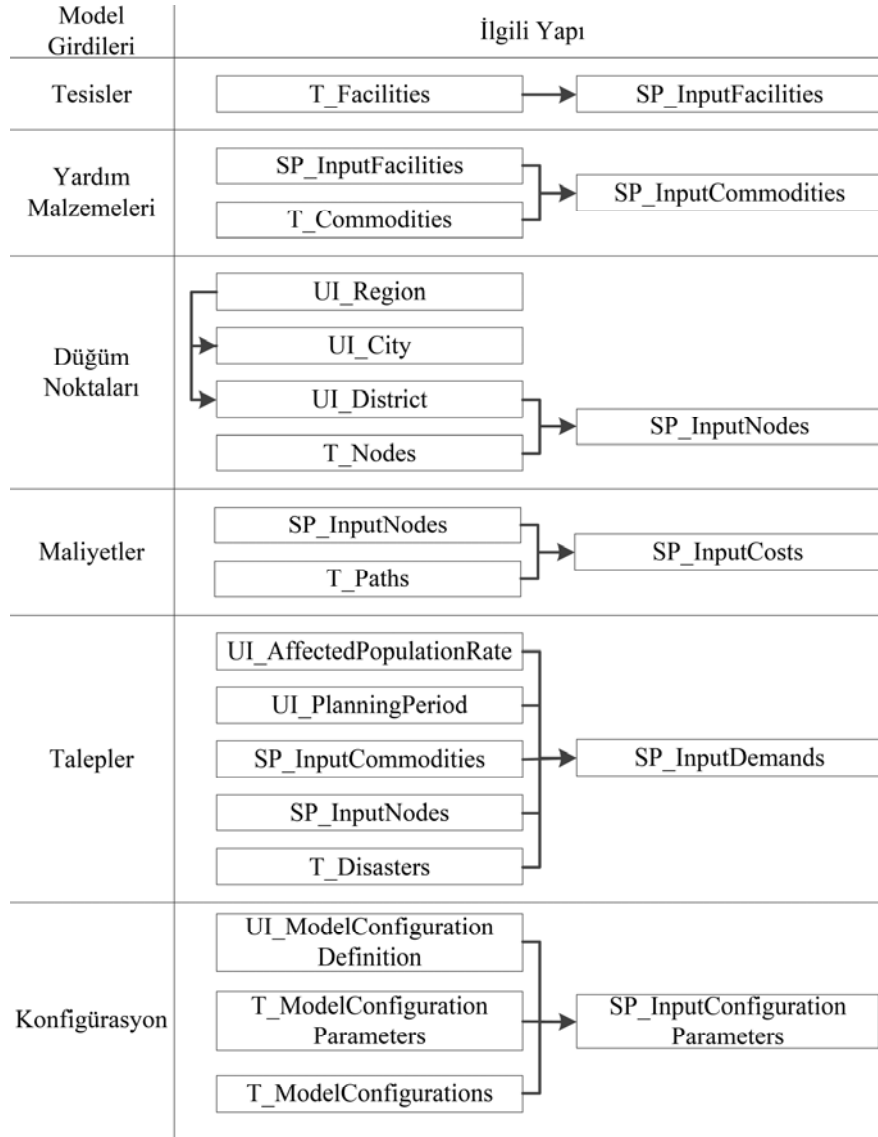
Şekil 1’de görüldüğü gibi kullanıcı arayüzünün sağ tarafında bulunan “Sonuçlar” bölümünde kullanıcıya model çözümleriyle ilgili detaylı bilgiler sunulmaktadır. Raporlama bölümü, (i) senaryo tanımı (ii) performans ölçütleri (iii) servis kararları ve (iv) yerleşim kararları olmak üzere dört alt kategoriye ayrılmıştır. Şekil 1’de etkilenen bölge olarak Marmara Bölgesi-Bursa ili-Yıldırım ilçesi seçilmiş olup beş adet afet senaryosu tanımlanmış ve sonuçları raporlama bölümünde detaylı olarak kullanıcıya sunulmuştur. İlk üç senaryo aynı afet bölgesi için tesis yerleşimlerini temsil etmekte olup etkilenen nüfus oranı %75, planlama periyodu 8 saat olmak üzere farklı model konfigürasyonlarından oluşan senaryolar tanımlanmıştır. Şekil 1’de gösterilen ekran görüntüsünde, kullanıcı tarafından dördüncü senaryo seçilmiş olduğundan (Marmara-Bursa-Yıldırım-%85-8saat-Standart), ilgili senaryoya ait çözüm detayları raporlama bölümüne yansıtılmaktadır. Burada, en iyi amaç fonksiyonu bileşenleri değerleri, her bir mahalleye yerleştirilen tesis sayısı ve bu tesislerde depolanan yardım malzemelerinin envanter düzeyleri ile her bir mahallenin hangi mahalle(ler)den hizmet aldığı ifade eden servis kararları yer almaktadır.

4. SİSTEM ENTEGRASYONU (SYSTEM INTEGRATION)

Bu bölümde, detayları önceki bölümlerde açıklanan ana bileşenlerin karar destek çerçevesi altında birbirleriyle entegrasyonu detaylandırılmaktadır. Sistem bileşenlerinin entegrasyonu ve arayüz tasarımları Microsoft Visual Studio ortamında gerçekleştirilmiştir. Veri tabanı Microsoft SQL Server kullanılarak tasarlanırken, karar mekanizmasının geliştirilmesinde Maximal Software-Mathematical Programming Language (MPL) ve Gurobi Optimizer yazılımlarından yararlanılmıştır. Veri tabanı bileşeninde açıklanan SQL saklı yordamları, kullanıcı arayüzünde bulunan çeşitli kontrollerle aktif hale getirilmektedir. Cavdur ve Sebatli’nin [14] çalışmalarından adapte edilen bu saklı yordamlarla karar mekanizmasına dinamik olarak model girdi ve çıktılarını oluşturmak amacıyla veri tabanındaki temel işlemlerin gerçekleştirilmesi sağlanmaktadır. Şekil 2 ve Şekil 3’te sırasıyla saklı yordamlarla model girdi ve çıktılarının üretilmesi için gereken yapının nasıl oluşturulduğu gösterilmiştir. Cavdur ve Sebatli [14] tarafından da önerildiği gibi şekillerin daha anlaşılır olmasını sağlayabilmek ve aynı zamanda karşılık gelen sistem bileşenlerini de sistematik bir şekilde gösterebilmek amacıyla şekilde yer alan ifadeler için bazı örnekler kullanılmıştır. Bu amaçla kullanılan kısaltmalarda “T” tabloları (Table), “SP” saklı yordamları (Stored Procedure) ve “UI” ise kullanıcı arayüzü (User Interface) bileşenlerini temsil etmektedir. Şekil 2’de model girdilerinin oluşturulma sürecinin gösterimi verilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi model girdileri, ilgili model bileşenlerinin türüne göre (tesisler, yardım malzemeleri gibi) sınıflandırılarak, okuyucunun içeriği daha kolay bir şekilde takip edebilmesi

amaçlanmıştır. Benzer bir sınıflandırma model çıktılarının gösteriminin yapıldığı Şekil 3 için de yapılmıştır. Girdi parametreleri oluşturulurken kullanıcı tarafından arayüzde girilen parametreler doğrultusunda veri tabanındaki tablolardan gerekli bilgiler çekilirken daha önce oluşturulan bir saklı yordamın sonucundan da yararlanılabilir. Örneğin, matematiksel programlama modelinin talep girdisinin oluşturulması için gerekli saklı yordamın (SP_InputDemands) yapısı ele alınsın. Kullanıcı tarafından arayüzde belirtilen etkilenen nüfus oranıyla (UI_AffectedPopulationRate) ilişkili nüfusun belirtilen planlama periyodu (UI_PlanningPeriod) boyunca yardım malzemesi talebi karşılanmalıdır. İhtiyaç duyulan yardım malzemesi miktarı afetin türüne göre çeşitlilik gösterebileceğinden afetlerle ilgili tablo (T_Disasters) ile ilişki kurulmalıdır. Bunun yanı sıra, hangi düğüm noktasında hangi yardım malzemesinden ne kadar talep edildiğini belirtmek amacıyla karşılık gelen yardım malzemeleri ve düğüm noktaları girdilerinin oluşturulmasında kullanılan iki saklı yordamın (SP_InputCommodities ve SP_InputNodes) sonuçlarından yararlanılmaktadır. Ayrıca “SP_InputCommodities” saklı yordamı, bir diğer saklı yordam olan ve yerleşimi yapılacak tesislerin belirlendiği “Sp_InputFacilities” saklı yordamı ve yardım malzemeleriyle ilişkili olan “T Commodities” tablolarından elde edilmiştir. Benzer şekilde “SP_InputNodes” saklı yordamıyla kullanıcı tarafından arayüzde belirtilen bölge, il ve ilçeye (UI_Region, UI_City, UI_District) karşılık gelen düğüm noktaları veri tabanındaki “T_Nodes” tablosundan elde edilmiştir. Ayrıca kullanıcı arayüzünde, bu bilgilere karşılık gelen ilişkiler (örneğin, bölge, il ve ilçe seçimi için tasarlanan liste kutularının içeriği) de kontrol edilmektedir. Diğer bir deyişle, kullanıcı, arayüz üzerinden bölge seçimi yaptığında, o bölgeye ait tüm illerin listelenmesini sağlayan SQL saklı yordamı etkinleştirilmektedir. Benzer şekilde kullanıcı, arayüz üzerinden herhangi bir ili seçtiğinde, o ile ait tüm ilçeler listelenerek, kullanıcının uygun bir afet senaryosu oluşturması sağlanmaktadır. Özetle, belirli bir yardım malzemesi-etkilenen bölge-afet bilgisi kombinasyonu kullanılarak, yardım malzemesi taleplerine karşılık gelen girdilerin oluşturulması için “SP_InputDemands” saklı yordamı kullanılmaktadır.

Benzer şekilde Şekil 3’te model çıktılarının elde edilmesi için gerekli saklı yordamların oluşturulma süreci gösterilmiştir. Girdi oluşturma sürecinde olduğu gibi model bileşenlerine karşılık gelen çıktılar da çeşitli kategorilere ayrılmıştır. Genel çözüm bilgileri, amaç fonksiyonu bileşenlerinin değerleri, servis ve envanter kararları olmak üzere dört tip çıktı kategorisinden bahsedilebilir. Adlarından da anlaşılacağı gibi ilk iki saklı yordam daha çok teorik çözümlerle ilişkili iken; son iki saklı yordam çözümlerin gerçek hayat veya pratik uygulamalardaki karşılıklarıyla ilişkilidir. Girdi oluşturma sürecine benzer şekilde model çıktılarının üretilmesinde gerekli saklı yordamlar için kullanıcı arayüzü kontrollerinden ve veri tabanı tablolarından yararlanılmıştır. İlk iki saklı yordam olan “SP_OutputSolutions” ve “SP_OutputSolutionObjectives” sırasıyla genel çözüm ve amaç fonksiyonu bileşenlerinin



Şekil 2. Model girdilerinin üretilmesi için gereken genel yapı (Overall structure for generating model inputs)

değerleriyle ilgili bilgilerin elde edilmesi için kullanılmaktadır. Son iki saklı yordam ise karar mekanizması olarak kullanılan tamsayı programlama modelindeki x_{ijk} , y_{ij} , z_i karar değişkenleriyle ilişkilidir. Diğer bir deyişle, saklı yordam “SP_OutputSolutionYs” ile belirli bir model çözümünde servis kararları kullanılarak, arayüzdeki raporlama bölümünde sunulmaktadır. Benzer şekilde, “SP_OutputSolutionXZs” ile belirli bir çözümde, her düğümde (mahallede) açılan geçici-afet-müdahale tesisi sayısı ve bu tesislerde depolanan yardım malzemesi miktarı belirlenerek, kullanıcıya bu bilgiler raporlanmaktadır. Bütün raporlama işlemlerinde model indisleri düğümlerin coğrafi isimlerine dönüştürülerek kullanıcıya sunulmaktadır.

5. UYGULAMA VE BULGULAR (IMPLEMENTATION AND RESULTS)

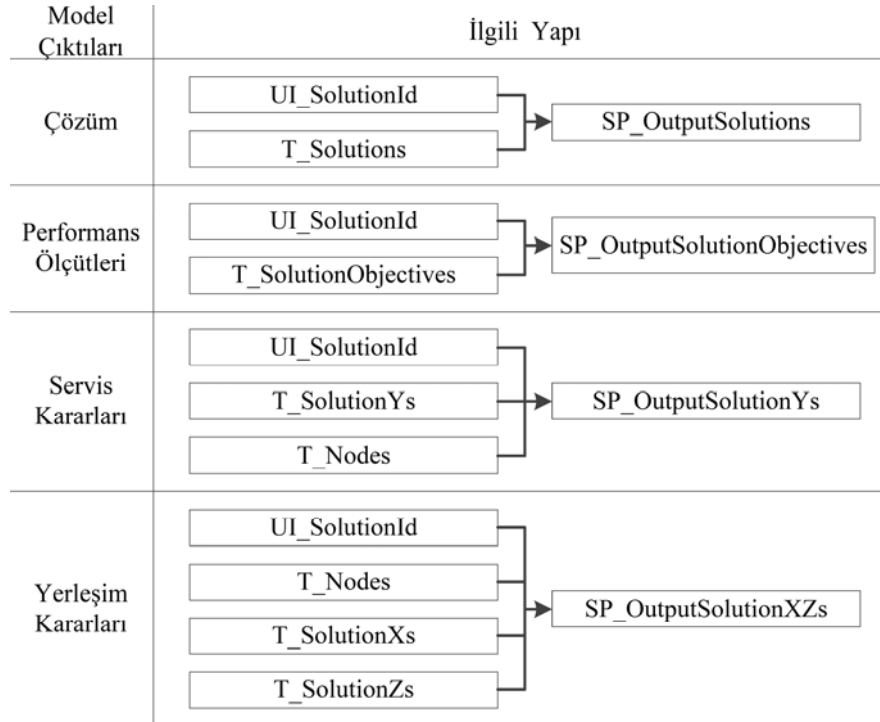
Bu bölümde, çalışma kapsamında geliştirilen karar destek sistemi, örnek bir uygulama üzerinden, etkilenen nüfus

oranı, planlama periyodu ve model konfigürasyonları gibi model parametrelerinin farklı kombinasyonlarından yararlanılarak üretilen 50 farklı afet senaryosuyla test edilmiştir. Söz konusu 50 senaryo Cavdur vd. [15] tarafından gerçekleştirilen çalışmadan adapte edilmiştir. Önceki bölümlerde de belirtildiği gibi Cavdur vd. [15] tarafından yapılan çalışmada, geçici-afet-müdahale tesisleri yerleşimi için elektronik tablo ortamında çalışan bir karar destek aracı geliştirilmiştir. Bu nedenle ilgili senaryolara ait parametreler elektronik tablo platformunun gerektirdiği şekilde tanımlanmıştır. Bu çalışma kapsamında önerilen sistem ise başka bir altyapıya ihtiyaç duymadan bağımsız çalışabilen bir sistem olduğundan senaryo parametreleri bu sistemin alt yapısına uygun şekilde tanımlanmıştır. Parametrelere ilişkin değerler ise özüne sadık kalınarak Cavdur vd. [15] çalışmasından alınmıştır. Bu değerler, çeşitli problem parametrelerinin birbiri ile tutarlı kombinasyonlarını içerecek şekilde Cavdur vd. [6] çalışmasından uyarlanmıştır ve ilerleyen sayfada detayları verilmiştir.

Ele alınan örnek olayda etkilenen bölge olarak Marmara-Bursa-Yıldırım seçilmiş, nüfus oranının iki farklı değer aralığında (%75-%95) değiştiği ve diğer problem parametrelerinin de (planlama periyodu ve model konfigürasyonları) değişkenlik gösterdiği varsayımıyla anlamlı afet senaryoları oluşturulmuştur. Çalışma kapsamında, beş farklı model konfigürasyonu (standart, düşük bütçeli vb.) ele alınmış olup, bu konfigürasyonları oluşturan model parametrelerinin değerleri Tablo 3'te gösterilmiştir.

MC1-Standart şeklinde ifade edilen ilk konfigürasyon Cavdur vd. [6] çalışmasından uyarlanmıştır. İkinci konfigürasyonda (MC2-Düşük bütçeli) açılacak toplam tesis sayısı ve her mahallede açılacak tesis sayısı sınırlandırılırken, MC3 ve MC4 konfigürasyonlarında değişen güvenlik ve servis düzeylerinin etkilerinin gözlenmesi amaçlanmıştır. MC3 konfigürasyonunda Cavdur vd. [6] çalışmasında dikkate alınan düşük güvenlik düzeyi değeri ele alınmıştır. Burada güvenlik düzeyindeki değişikliğe bağlı olarak tesis yerleştirilebilecek aday mahalle sayısı artmakta ve bununla ilişkili olarak servis seviyelerinde de anlamlı değişiklik yapılmaktadır. Tablo 3'te görüldüğü

gibi MC3 konfigürasyonu düşük güvenlik ve servis düzeylerini gösterirken, MC4 konfigürasyonu, yüksek güvenlik ve servis düzeylerini göstermektedir. Her iki değer de diğer konfigürasyonlardaki güvenlik ve servis düzeyi değerlerinden farklı olarak belirlenmiştir (0,950 ve 0,990 güvenlik düzeyi, 5 ve 20 servis düzeyi). Son model konfigürasyonunda (MC5-Düşük talep karşılama oranı) ise karşılanamayan talep maliyeti diğer konfigürasyonlara göre daha düşük bir değer olarak belirlenirken, bu konfigürasyon insani yardım lojistiği ölçütleri için en kötü durum senaryosu olarak kabul edilebilir. Burada da karşılanamayan talebin birim maliyet değeri için Cavdur vd. [6] çalışmasında yer alan değer dikkate alınmıştır. Oluşturulan bu beş farklı model konfigürasyonuna ek olarak, planlama periyodu beş farklı değer arasında değişim gösterdiğinden (8 saat, 16 saat, 24 saat, 48 saat ve 72 saat), belirli bir etkilenen bölge ve planlama periyodu değeri için toplam 25 farklı afet senaryosu geliştirilmiştir. Ayrıca, etkilenen nüfus oranı iki farklı değer alabildiğinden, çalışma kapsamında, belirlenen etkilenen bölge için toplam 50 adet afet senaryosu geliştirilmiştir. Tablo 4 ve Tablo 5'te sırasıyla %75 ve %95 etkilenen nüfus oranı değerleri karşılık gelen 25 senaryoya ait sonuçlar verilmektedir.



Şekil 3. Model çıktılarının üretilmesi için gereken yapı (Overall structure for generating model outputs)

Tablo 3. Model konfigürasyonları (Model configurations)

Konfigürasyon	N_T	n_i	S_T	M	λ	α	β	γ
MC1-Standart	900	100	0,975	1.000.000	1.000	10	10	15
MC2-Düşük Bütçeli	100	10	0,975	1.000.000	1.000	10	10	15
MC3-Düşük Güvenlik-Servis Düzeyi	900	100	0,950	1.000.000	1.000	5	5	15
MC4-Yüksek Güvenlik-Servis Düzeyi	900	100	0,990	1.000.000	1.000	20	20	15
MC5-Düşük Talep Karşılama Oranı	900	100	0,975	1.000.000	1.000	10	10	1

Tablo 4. Model konfigürasyonları en iyi çözümleri-Etkilenen nüfus oranı %75
(Optimal solutions of model configurations- Affected population rate of 75%)

Konfigürasyon	PP1(8 saat)	PP2(16 saat)	PP3(24 saat)	PP4(48 saat)	PP5(72 saat)
MC1-PM1	1.554.672	3.107.557	4.661.563	9.322.530	13.984.987
MC1-PM2	29	54	75	148	217
MC1-PM3	47	51	55	56	54
MC2-PM1	1.554.673	3.169.942	5.148.141	4.227.351	2.216.516
MC2-PM2	29	52	73	100	100
MC2-PM3	47	53	54	1.439.097	3.886.609
MC3-PM1	585.224	1.169.064	1.754.939	3.506.653	5.258.919
MC3-PM2	40	61	80	153	224
MC3-PM3	47	51	49	55	51
MC4-PM1	2.735.426	5.470.881	8.205.382	16.410.294	24.615.667
MC4-PM2	25	48	72	143	213
MC4-PM3	48	59	55	93	56
MC5-PM1	59.639	119.589	196.290	359.058	521.760
MC5-PM2	14	22	30	55	80
MC5-PM3	541.777	1.084.130	1.608.161	3.250.325	4.890.386

MC: Model Konfigürasyonu, PM: Performans Parametresi, PP: Planlama Periyodu

Tablo 5. Model konfigürasyonları en iyi çözümleri- Etkilenen nüfus oranı %95
(Optimal solutions of model configurations - Affected population rate of 95%)

Konfigürasyon	PP1(8 saat)	PP2(16 saat)	PP3(24 saat)	PP4(48 saat)	PP5(72 saat)
MC1-PM1	1.968.834	3.938.050	5.906.028	11.808.550	17.713.942
MC1-PM2	36	64	96	187	273
MC1-PM3	45	42	45	47	43
MC2-PM1	1.968.828	4.206.593	6.843.167	2.837.351	1.684.721
MC2-PM2	36	63	94	100	100
MC2-PM3	45	53	54	2.744.448	5.844.613
MC3-PM1	740.184	1.481.055	2.221.442	4.440.868	6.663.149
MC3-PM2	43	69	103	193	281
MC3-PM3	43	41	40	45	43
MC4-PM1	3.464.610	6.929.102	10.394.019	20.787.183	31.184.779
MC4-PM2	31	60	90	181	272
MC4-PM3	50	53	66	49	63
MC5-PM1	73.439	146.871	223.823	455.842	676.469
MC5-PM2	17	27	38	71	101
MC5-PM3	688.339	1.376.600	2.061.957	4.114.586	6.179.193

MC: Model Konfigürasyonu, PM: Performans Parametresi, PP: Planlama Periyodu

Tablo 4'te ilk 25 senaryoya (etkilenen nüfus oranı %75 iken) ait konfigürasyonlar ve performans parametrelerinin en iyi sonuçları görülmektedir. Tabloda görüldüğü gibi, planlama periyodunun artmasıyla birlikte performans parametre değerlerinde bir azalma meydana gelmiştir. Bununla birlikte, model konfigürasyonlarına bağlı olarak bu azalma farklı performans parametrelerine göre değişiklik göstermektedir. Örneğin, uzun planlama periyodu için ilk iki konfigürasyona (MC1 ve MC2) ait sonuçlar karşılaştırılırsa, ilk performans ölçütü (ağırlıklı-uzaklık) ilk konfigürasyonda artış gösterirken, üçüncü performans ölçütü (karşılanamayan talep) MC2 konfigürasyonunda artış göstermiştir (24 saatlik periyot için bu ölçütün değeri 54 iken, 48 saatlik periyot için 1,439,097'dir). MC2 konfigürasyonu, düşük bütçeli bir yapıya sahip olduğundan ve bu konfigürasyonda açılacak tesis sayısı (en fazla 100 adet) sınırlandırıldığından dolayı, bu durum, uzun planlama periyodu için karşılanamayan talep miktarının artmasına neden olmaktadır. Diğer model

konfigürasyon çifti MC3 ve MC4 güvenlik ve servis düzeyinin etkisinin ölçüldüğü konfigürasyonlardır. Tablodan da görüldüğü gibi, güvenlik ve servis düzeylerinde meydana gelen değişimler performans ölçütü sonuçlarını önemli derecede etkilemektedir. Özellikle, yüksek güvenlik seviyesi sebebiyle daha az sayıda tesisin açılmasına izin verilmesi, açılan her tesisin daha fazla sayıda mahalleye hizmet vermesine neden olmuştur. Bu durum, özellikle MC4 konfigürasyonuna ait ilk performans ölçütü olan ağırlıklı taşıma uzaklığı değerinin MC3'e göre daha yüksek olmasının nedeni olarak açıklanabilir. Son model konfigürasyonu ise düşük talep tatminini dikkate aldığından, insani yardım lojistiği performans ölçütlerinden karşılanamayan talep ölçütü (PM3) bu konfigürasyonda diğer konfigürasyonlara göre en yüksek değerine ulaşmıştır.

Tablo 4'te gösterilen model konfigürasyonlarıyla etkilenen nüfus oranının %95 seviyesinde dikkate alındığı diğer 25

senaryoya ait performans ölçütlerine ait sonuçlar Tablo 5'te gösterilmiş olup, sonuçlar Tablo 4'tekine benzer şekilde etkilenen nüfustaki değişime bağlı olarak yorumlanabilir. Genel olarak etkilenen nüfus oranının artması sebebiyle (%95) afettede sayısı ve buna bağlı yardım malzemesi talebi artış gösterdiğinden, tüm performans ölçütü sonuçlarında bir kötüleşme gözlenmiştir. Ayrıca, yukarıda anlatılan afet senaryosu oluşturma yaklaşımıyla farklı afet bölgeleri ve farklı popülasyon oranları kullanılarak senaryo sayısı arttırılabilmektedir.

Makalenin sayfa sınırı dikkate alındığında, Tablo 4 ve 5'te 50 senaryonun sonucu için özet bilgiler sunulmuştur. Bu değerler yalnızca performans ölçütlerine ilişkin değerler olup karar destek sistemi aracılığıyla kullanıcıya sunulan sonuçlar önceki sayfalarda anlatıldığı gibi yerleşim ve servis kararlarına ait detaylı raporları da içermektedir. Karar vericiler, arayüz aracılığıyla her bir senaryo için bu bilgilere erişebilmekte, yönetsel açıdan farklı bakış açılarına sahip senaryoların sonuçlarını analiz edebilmektedirler. Böylelikle, en etkili afet müdahale planının yapılmasına imkan sunulmaktadır.

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

Afet operasyonları yönetimi, belirsizlik ve zaman baskısı altında kaos ortamında gerçekleştirilmektedir. Son yıllarda, tüm dünyada yaşanan büyük afetlerde görüldüğü gibi afet operasyonlarının başarısız yönetimi, afetlerin istenmeyen etkilerini daha da arttırmaktadır. Afetlerin olası etkilerinin azaltılması amacıyla, sorumlu birimlerin afet öncesi etkin bir müdahale planı yapması kritik önem taşımakta ve burada bilgi ve iletişim teknolojilerinin kullanımına ihtiyaç duyulmaktadır. Karar vericilerin karşı karşıya kaldıkları karmaşık problemlerin üstesinden gelebilmeleri için kullanabilecekleri karar destek sistemlerinin geliştirilmesiyle, afet operasyonları yönetiminin başarısını daha da arttırmak mümkün olabilecektir. Bu çalışmada da afet operasyonları yönetimindeki önemli problemlerden birisi olan geçici-afet-müdahale tesisleri yerleşimi için bir karar destek sunulmaktadır.

Çalışmada geliştirilen karar destek sistemi, detaylarıyla açıklanan (i) veri tabanı, (ii) karar mekanizması ve (iii) kullanıcı arayüzü olmak üzere üç ana bileşenden oluşmaktadır. Çalışma kapsamında geliştirilen karar destek sisteminin test edilmesi amacıyla bir gerçek hayat problemi ele alınmış ve problem farklı senaryolar için çözümlenerek, sonuçları analiz edilmiştir. Ele alınan problemde de gösterildiği gibi geliştirilen karar destek sistemiyle karar vericilere afet sonrası olası belirsizlikleri (etkilenen nüfus oranı, planlama periyodu, talep, vb.) esnek bir şekilde dikkate alma olanağı sağlanmaktadır. Buna ek olarak, farklı problem parametrelerinin anlamlı kombinasyonlarından oluşan model konfigürasyonlarının tanımlanması ile kullanıcıların yönetsel açıdan çeşitli bakış açılarını test etmesine imkan sunulmaktadır. Kullanıcı dostu arayüz tasarımı ile karar vericilere, bir bölgedeki afet durumu için

farklı etkilenen nüfus oranı ve planlama periyodu değerleri ile model konfigürasyonları için elde edilen sonuca ait yerleşim ve servis kararları raporlanmaktadır. Bu raporlar, her bir çözüme ait performans ölçütleri başta olmak üzere, tesislerin konumları ve sayıları, bu tesislerde depolanan yardım malzemelerinin envanter düzeyleri ve afet bölgesindeki servis kararları gibi bilgileri içermektedir. Geliştirilen karar destek sistemi aracılığıyla, karar vericilerin senaryo-tabanlı yaklaşım ile farklı senaryolara ait sonuçları analiz etmeleri ve afet öncesinde etkin bir müdahale planı yapmaları amaçlanmıştır. Bu çalışma kapsamında örnek bir problem kullanılmış olsa da esnek yapısı sayesinde geliştirilen karar destek sisteminin farklı problemler için de rahatlıkla kullanılabilmesi mümkün olabilecektir. Bu sayede, çalışma kapsamında, daha gerçekçi ve kapsamlı afet senaryolarının oluşturulmasıyla geçici-afet-müdahale tesisleri yerleşimi ve yardım malzemelerinin dağıtımında karar vericilere yardımcı olacak bir karar destek sistemi tasarlanmıştır. Literatürde ulaşılabilen geçmiş çalışmalar incelendiğinde, söz konusu problemi ele alan makaleler olduğu görülmekle birlikte, senaryo tabanlı bir çözüm yaklaşımı kullanılan ve bağımsız çalışabilen bir karar destek sistemi önerilmesi çalışmanın en önemli katkısını ifade etmektedir.

Gelecekte yapılacak çalışmalarda geliştirilen karar destek sistemine farklı eklentiler yapılabilir. Bunlar arasında, birden fazla kullanıcı bulunan platformlar için kullanıcı bilgileri ve yeni model parametrelerinin karar mekanizmasına eklenmesi amacıyla veri tabanının geliştirilmesi, kullanıcı arayüzü için daha kullanıcı dostu ve daha esnek tasarımların yapılması ve karar mekanizmasına yeni model-algoritma ve çözüm yaklaşımlarının entegre edilmesi sayılabilir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 115M020 numaralı proje ile desteklenmiştir. Değerli katkılarından dolayı TÜBİTAK'a teşekkürlerimizi sunarız. Karar mekanizmasında kullanılan yazılımlara ilişkin akademik lisanslar Gurobi Optimization ve Maximal Software tarafından sağlanmıştır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Caunhye A.M., Nie X., Pokharel S., Optimization models in emergency logistics: A literature review, *Socio-economic planning sciences*, 46 (1), 4-13, 2012.
2. Kovacs G., Spens K.M., Humanitarian logistics in disaster relief operations, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 37 (2), 99-114, 2007.
3. Natarajarathinam M., Capar I., Narayanan A., Managing supply chains in times of crisis: a review of literature and insights, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 39 (7), 535-573, 2009.
4. Sheu J.B., Challenges of emergency logistics management, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 43 (6), 655-659, 2007.

5. Balcik B., Beamon B.M., Facility location in humanitarian relief, *International Journal of Logistics*, 11 (2), 101-121, 2008.
6. Cavdur F., Kose-Kucuk M., Sebatli A., Allocation of temporary disaster response facilities under demand uncertainty: An earthquake case study, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 19, 159-166, 2016.
7. Kilci F., Kara B.Y., Bozkaya B., Locating temporary shelter areas after an earthquake: A case for Turkey, *European Journal of Operational Research*, 243 (1), 323-332, 2015.
8. Mete H.O., Zabinsky Z.B., Stochastic optimization of medical supply location and distribution in disaster management, *International Journal of Production Economics*, 126 (1), 76-84, 2010.
9. Murali P., Ordonez F., Dessouky M.M., Facility location under demand uncertainty: Response to a large-scale bio-terror attack, *Socio-Economic Planning Sciences*, 46 (1), 78-87, 2012.
10. Noyan N., Balcik B., Atakan S., A stochastic optimization model for designing last mile relief networks, *Transportation Science*, 50 (3), 1092-1113, 2015.
11. Rawls C.G., Turnquist M.A., Pre-positioning of emergency supplies for disaster response, *Transportation research part B: Methodological*, 44 (4), 521-534, 2010.
12. Rawls C.G., Turnquist M.A., Pre-positioning planning for emergency response with service quality constraints, *OR spectrum*, 33 (3), 481-498, 2011.
13. Sebatli A., Cavdur F., Analysis of relief supplies distribution operations via simulation, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 34 (4), 2079-2096, 2019.
14. Cavdur F., Sebatli A., A decision support tool for allocating temporary-disaster-response facilities, *Decision Support Systems*, 127, 113145, 2019.
15. Cavdur F., Sebatli-Saglam A., Kose-Kucuk M., A spreadsheet-based decision support tool for temporary-disaster-response facilities allocation, *Safety Science*, 124, 104581, 2020.
16. Power D.J., Sharda R., *Decision Support Systems*, Springer Handbook of Automation, Editör: Nof S.Y., Springer Science & Business Media, Berlin, Heidelberg, 1539-1548, 2009.
17. Azuz E., Tatar T., Alabaş Uslu Ç., A decision support system based on simulation for airline boarding problem, *Journal of the Faculty of Engineering & Architecture of Gazi University*, 34 (4), 1777-1792, 2019.
18. İnan T., Baba A.F., Building a hybrid algorithm based decision support system to prevent ship collisions, *Journal of the Faculty of Engineering & Architecture of Gazi University*, 35 (3), 1213-1230, 2020.
19. Kat B., An algorithm and a decision support system for the panelist assignment problem: The case of TUBITAK, *Journal of the Faculty of Engineering & Architecture of Gazi University*, 36 (1), 69-88, 2020.
20. Thompson S.M., Altay N., Green W.G., Lapetina J., Improving disaster response efforts with decision support systems, *International Journal of Emergency Management*, 3 (4), 250-263, 2006.
21. Ortuno M.T., Cristobal P., Ferrer J.M., Martin-Campo F.J., Munoz S., Tirado G., Vitoriano B., Decision aid models and systems for humanitarian logistics. A survey, *Decision aid models for disaster management and emergencies*, Editör: Vitoriano B., Montero J., Ruan D., Atlantis Press, Paris, 17-44, 2013.
22. Fiedrich F., Gehbauer F., Rickers U., Optimized resource allocation for emergency response after earthquake disasters, *Safety science*, 35 (1-3), 41-57, 2000.
23. Ahmad S., Simonovic, S.P., An intelligent decision support system for management of floods, *Water Resources Management*, 20 (3), 391-410, 2006.
24. Rolland E., Patterson R.A., Ward K., Dodin B., Decision support for disaster management, *Operations Management Research*, 3 (1-2), 68-79, 2010.
25. Alvear D., Abreu O., Cuesta A., Alonso V., Decision support system for emergency management: Road tunnels, *Tunnelling and Underground Space Technology*, 34, 13-21, 2013.
26. Haynes S.R., Kannampallil T.G., Cohen M.A., Soares A., Ritter F.E., Rampart: A service and agent-based architecture for anti-terrorism planning and resource allocation, *European Conference on Intelligence and Security Informatics*, Esbjerg, Danimarka, 260-270, 3-5 Aralık, 2008.
27. Lorca A., Celik M., Ergun O., Keskinocak P., A decision-support tool for post-disaster debris operations, *Procedia Engineering*, 107, 154-167, 2015.
28. Hobeika A.G., Kim S., Beckwith, R.E., A decision support system for developing evacuation plans around nuclear power stations, *Interfaces*, 24 (5), 22-35, 1994.
29. Tufekci S., An integrated emergency management decision support system for hurricane emergencies, *Safety Science*, 20 (1), 39-48, 1995.
30. Hadiguna R.A., Kamil I., Delati A., Reed R., Implementing a web-based decision support system for disaster logistics: A case study of an evacuation location assessment for Indonesia, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 9, 38-47, 2014.
31. Chang M.S., Tseng Y.L., Chen J.W., A scenario planning approach for the flood emergency logistics preparation problem under uncertainty, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 43 (6), 737-754, 2007.
32. De Silva F.N., Eglese R.W., Integrating simulation modelling and GIS: spatial decision support systems for evacuation planning, *Journal of the Operational Research Society*, 51 (4), 423-430, 2000.
33. Sahebjamnia N., Torabi S.A., Mansouri S.A., A hybrid decision support system for managing humanitarian relief chains, *Decision Support Systems*, 95, 12-26, 2017.

34. Özdamar L., Ekinci E., Küçükyazıcı B., Emergency logistics planning in natural disasters, *Annals of operations research*, 129 (1-4), 217-245, 2004.
35. Kondaveti R., Ganz A., Decision support system for resource allocation in disaster management, *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, Minneapolis, MN, ABD, 3425-3428, 3-6 Eylül, 2009.
36. Rekik M., Ruiz A., Renaud J., Berkoune D., Paquet, S., A decision support system for humanitarian network design and distribution operations, *Humanitarian and relief logistics*, Editör: Zeimpekis V., Ichoua S., Minis I., Springer, New York, 1-20, 2013.
37. Fikar C., Gronalt M., Hirsch P., A decision support system for coordinated disaster relief distribution, *Expert Systems with Applications*, 57, 104-116, 2016.