



Facility location selection and distribution network design for ammunition recycling problem

Kemal Gürol Kurtay^{1*}, Serpil Erol²

¹Department of Industrial and System Engineering, Turkish Military Academy, National Defense University, 06570, Ankara, Türkiye

²Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Gazi University, 06570, Ankara, Türkiye

Highlights:

- Capacity analysis of ammunition recycling facility
- New candidate depot location selection with CBS
- Distribution Network Design with integer programming

Keywords:

- Capacity analysis,
- Geographic information system,
- Facility Location Selection,
- Distribution Network Design,
- Ammunition,
- Integer programming

Article Info:

Research Article

Received: 18.08.2023

Accepted: 18.12.2023

DOI:

10.17341/gazimmfd.1345897

Correspondence:

Author: Kemal Gürol Kurtay

e-mail:

kkurtay@kho.msu.edu.tr

phone: +90 532 434 2737

Graphical/Tabular Abstract

The minimum cost distribution network design for the problem of 7 candidate warehouses and 16 unions determined by GIS is given in Figure A.

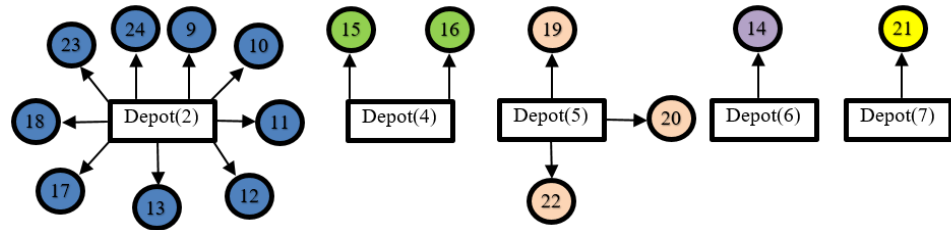


Figure A. Distribution Network Design for Ammunition Recycling Problem

Purpose:

The purpose of this study is to optimize the flow of expired ammunition from military units to depots, and from depots to the recycling facility. It develops a scientific approach to the storage of ammunition in places that will ensure minimum damage to the environment and human health, by determining facility capacity and assigning units to depots.

Theory and Methods:

The problem of reverse logistics from units to depots, from depots to recycling facility is addressed. An analytical approach has been developed for capacity determination of the dismantling lines in the recycle facility. According to the criteria determined by literature review, various researches and expert opinions, the Geographical Information System (GIS) was used to pin the candidate locations. A mathematical model was developed for the candidate depot locations identified by the GIS to minimize total cost, to determine how many of each type of depot should be built, the assignment of units to depots, and which depot will feed the recycle facility in each period.

Results:

This study covers the cases where expired ammunition are transferred to depots from military units. Each military unit has a single assigned collection depot whereas each depot can serve multiple military units. The transportation cost of transferring ammunition from and to depots has been calculated per each ammunition. Various scenarios with different numbers of depots and military units have been generated starting from small, simple cases to more larger and complex problems. 9 different problems with combinations of 1,2 or 3 depots and ammunition levels that can be met by the depots, or larger than the depot capacity, or lower than the depot capacity have been criticized. Afterwards, the problem has been expanded to 7 main depots and 16 military units with 24 nodes. As a result, with the developed model we are able to identify at each period how much and which type of ammunition will be transferred to each depot from which military units; from the candidate depot locations which ones are the optimum; and which military units should be assigned to each depot.

Conclusion:

As a result of this study, a cost-effective scientific approach for reverse logistics of ammunition has been developed, that is reducing the number of depots to enable more effective and efficient operation, while matching the explosive substance storage location criteria, and carrying less risk to the environment and human.



Mühimmat geri dönüşüm problemi için depo yer seçimi ve dağıtım ağı tasarımı

Kemal Gürol Kurtay^{1*}, Serpil Erol²

¹Milli Savunma Üniversitesi, Kara Harp Okulu, Endüstri ve Sistem Mühendisliği Bölümü, 06570, Çankaya, Ankara, Türkiye

²Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 06570, Maltepe Ankara, Türkiye

Ö N E Ç I K A N L A R

- Mühimmat geri dönüşüm tesisi kapasite analizi
- CBS ile aday depo yer seçimi
- Tam sayılı programlama ile dağıtım ağı tasarımı

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 18.08.2023

Kabul: 18.12.2023

DOI:

10.17341/gazimmfd.1345897

Anahtar Kelimeler:

Tersine lojistik,
coğrafi bilgi sistemi,
tesis yer seçimi,
dağıtım ağı tasarımı,
mühimmat,
geri dönüşüm

ÖZ

Bu çalışmanın amacı, son kullanma tarihi geçmiş mühimmatın askeri birliklerden depolara ve depolardan geri dönüşüm tesisine akışını optimize etmektir. Mühimmatın çevreye ve insan sağlığına en az zarar verecek yerlerde depolanması için tesis kapasitesini belirleyen ve depo birlik atamalarını gerçekleştiren, bilimsel bir yaklaşım geliştirilmiştir. Mühimmatın; birliklerden depolara, depolardan geri dönüşüm tesisine olan tersine lojistik problemi ele alınmıştır. Geri dönüşüm tesisindeki söküm hatlarının kapasite tespiti için analitik bir yaklaşım geliştirilmiştir. Literatür taraması, çeşitli araştırmalar ve uzman görüşleri ile belirlenen kriterlere göre aday lokasyonların tespitinde Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) kullanılmıştır. Toplam maliyeti en aza indirmek için CBS ile belirlenen aday depo lokasyonları, her bir depo türünden kaç tane açılması gerektiği, birliklerin depolara atanması ve hangi deponun her dönemde geri dönüşüm tesisini besleyeceği matematiksel bir model geliştirilmiştir. Bu çalışma sonucu; maliyet-etkin, patlayıcı madde depo yer seçimi kriterlerine uygun, çevre ve insana yönelik az risk taşıyacak depo yerlerini belirlemek, verimsiz olan depo yerlerini ve sayısını azaltarak, depoların daha etkin ve verimli işletilmesini sağlayacak bir bilimsel yaklaşım ile mühimmatın tersine lojistik sistemi oluşturulmuştur.

Facility location selection and distribution network design for ammunition recycling problem

H I G H L I G H T S

- Capacity analysis of ammunition recycling facility
- New candidate depot location selection with CBS
- Distribution Network Design with integer programming

Article Info

Research Article

Received: 18.08.2023

Accepted: 18.12.2023

DOI:

10.17341/gazimmfd.1345897

Keywords:

Reverse logistics,
geographic information
system,
facility location selection,
distribution network design,
ammunition,
recycling

ABSTRACT

The purpose of this study is to optimize the flow of expired ammunition from military units to depots, and from depots to the recycling facility. It develops a scientific approach to the storage of ammunition in places that will ensure minimum damage to the environment and human health, by determining facility capacity and assigning units to depots. The problem of reverse logistics from units to depots, from depots to recycling facility is addressed. An analytical approach has been developed for capacity determination of the dismantling lines in the recycle facility. According to the criteria determined by literature review, various researches and expert opinions, the Geographical Information System (GIS) was used to pin the candidate locations. A mathematical model was developed for the candidate depot locations identified by the GIS to minimize total cost, to determine how many of each type of depot should be built, the assignment of units to depots, and which depot will feed the recycle facility in each period. As a result of this study, a cost-effective scientific approach for reverse logistics of ammunition has been developed, that is reducing the number of depots to enable more effective and efficient operation, while matching the explosive substance storage location criteria, and carrying less risk to the environment and human.

*Sorumlu Yazar/Yazarlar / Corresponding Author/Authors : *kkurtay@kho.msu.edu.tr, serpiler@gazi.edu.tr / Tel: +90 532 434 2737

1. Giriş (Introduction)

Tesis yerlerinin tespit edilerek belirlenen noktalara talep yerlerinin atanması olarak ifade edilen tesis yeri seçimi, özellikle günümüzde ulaşım ve taşıma maliyetlerinin artmasıyla işletmelerin ve kamu kurumlarının karlılığını etkileyen en önemli kararlardan biri haline gelmiştir. Dağıtım ağı tasarımı tesislerin (fabrika, ikmal merkezi ve depolar gibi) nerelere yerleştirileceği, ürünlerin veya hizmetin talep noktalarına nasıl servis edileceği, hangi ürünün nerede ve ne kadar üretilmesi veya depolanacağı, müşterilerin hangi tesisten ürün ya da hizmet alacağı, depolarda ne kadar stok bulundurulacağı gibi birçok soruya cevap aranmaktadır. Tesis Yeri Seçimi (TYS); kârın artırılması, maliyetlerin azaltılması, personel ve zaman tasarrufu sağlanması, teslimat sürelerinin kısaltılarak müşteri isteklerinin en kısa zamanda karşılanması, müşteri sayısının artırılması, alıcıların memnuniyetinin yükseltilmesi gibi birçok amacı hedefleyen, geri dönüşü zor stratejik kararlardan birisidir. TYS’de en iyi kararı alabilmek için sahip olunan bilgi ve tecrübenin analitik yöntemlerle desteklenmesi büyük önem taşımaktadır.

TYS problemlerinde; hastane, depo, market gibi istenen bazı tesislerin bir ağ üzerinde yerleştirilmesi, istenen kriterler doğrultusunda mesafeleri minimize etmek üzere hizmet ve ürünlerin dağıtılması gibi konular üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Ancak, TYS kararları sadece bunlarla sınırlı değildir. Atık temizleme tesisi ve tehlikeli madde deposu kurma gibi uygulamalarda diğer problem modellerinden farklı şekilde zararlı/istenmeyen tesis yerleşimi adıyla yeni bir çalışma sahasını ortaya çıkartmıştır [1]. Bu tip tesisleri mümkün olduğunca yerleşim yerlerinden uzak ve geniş bir alana yayarak olası kaza durumunda muhtemel zararların ve etkilerin minimize edilmesi sağlanmaya çalışılmaktadır. Ayrıca verdikleri hizmetin de maksimize edilmesi istenmektedir [2, 3].

Tehlikeli maddelerin içeriklerinin insan sağlığına karşı büyük risk teşkil ediyor olmasından dolayı diğer malzemelerden farklı olarak belirli kurallara göre taşınması, depolanması ve paketleme faaliyetlerinin yürütülmesi gerekmektedir. Bu tip tehlikeli maddeler dünyanın farklı konumlarındaki tedarikçilerden kilometrelerce uzakta olan fabrikalara, depolara, müşterilere gönderilmektedir. Bu nedenle depoların; güvenli, insan nüfusunun az, ulaşım ağlarının gelişmiş ve çevreye olacak olumsuz etkinin minimum olacağı coğrafi özellikteki yerlere kurulması büyük önem taşımaktadır. Silahlı kuvvetlerde kullanım ömrü dolmuş mühimmatın depolanması için TYS ve birliklerin depolara atanması problemi de tehlikeli maddelerin depolanması ve taşınması konusuna girmektedir.

Silahlı kuvvetlerde; modern, NATO standartlarında ve tüm emniyet kriterlerine göre konuşlandırılmış depolardan hareket alanına süratli ve doğru bir akışı sağlayacak mühimmat lojistiğine sahip olmak büyük önem taşımaktadır. NATO ülkeleri arasında mühimmatın depolanması konusunda ortak emniyet prensipleri geliştirerek üye ülkeler arasında standartlaşmayı sağlamak amacıyla kullanılan askeri talimnamelerden en önemlisi AASTP-1’dir [4]. Gerekli olan mühimmat, talimnameler doğrultusunda barıştan itibaren hareket planlarına göre çeşitli miktarlarda ve değişik bölgelerde stok yapılmaktadır.

Savaş döneminde stratejik öneme sahip mühimmatın barış döneminde kullanım ömrü dolduğunda çevreye ve insana zarar vermeden imha edilmesi kritiktir. Çatışma ortamının yaşanmaması veya beklenen şiddette gerçekleşmemesi durumunda depolanmış olan mühimmatın kullanım ömrü dolmaktadır. Mühimmatın ömrünün dolması artık o mühimmatın kullanmanın, taşınmanın ve hatta bulunduğu yerde depolanmanın daha büyük risk oluşturması anlamına gelmektedir. Mühimmat kazaları nadir olmakla birlikte, meydana getirdiği tahribat, personel zayıyatı, çevreye ve sivil ortama verdiği zarar büyük

olmaktadır. Meydana gelen kazaların sebepleri ele alındığında, yaklaşık %50’si atış ve operasyon faaliyetlerinde meydana gelirken geri kalan yüzde %50’nin depolama ve taşıma gibi faaliyetlerinden kaynaklandığı görülmektedir [5]. Bu faaliyetler özelinde yaşanan kazalarda yaşanmış ve yıpranmış mühimmatın önemli rolü bulunmaktadır.

Bu çalışmada, kullanım ömrü dolmuş mühimmatın depolandığı TYS problemi üç aşamalı şekilde ele alınmıştır. Birinci aşamada; envanterde bulunan kullanım ömrü dolmuş imha edilecek mühimmat ile önümüzdeki yıllarda eskiyecek mühimmatın emniyetli ve çevreye zarar vermeden geri dönüşümünün kabul edilebilir bir zamanda tamamlanabilmesi için geri dönüşüm tesisinin kapasitesi analitik bir yaklaşımla ele alınmıştır. İkinci aşamada depo yerleşkeleri belirlenirken amaç; kaza riskini minimum seviyede tutacak, kaza durumunda olumsuz etkilenen insan sayısı ile patlamanın yaratacağı olumsuz çevre etkisini en aza indirecek aday depo yerlerini çeşitli kriterlere göre belirlemektir. Literatürde belirlenmiş olan depo yeri seçim kriterleri ile özellikle tehlikeli madde deposu seçim kriterleri dikkate alınarak mühimmat deposu için aday depo yerleri seçim kriterleri belirlenmiş ve mühimmat deposu yer seçimi açısından uygun olduğu değerlendirilen bu kriterler Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ile analiz edilerek aday depo yerleri bulunmuştur. Üçüncü aşamada ise kesikli üç seviyeli bir TYS problemi için mühimmatı depolamak üzere ülke genelinde gerekli olan depo sayısını dönemsel olarak belirleyen ve birliklerin bu depolara atanmasını amaçlayan matematiksel model geliştirilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde detaylı bir literatür taraması yapılmıştır. Üçüncü bölümde problem tanımlanmış mühimmat geri dönüşüm probleminde tesis kapasite tayini, CBS ile aday mühimmat deposu yer seçimi ele alınmıştır. Dördüncü bölümde birliklerin depolara atanması için geliştirilen matematiksel model detaylı şekilde açıklanmıştır. Beşinci bölümde küçük ve büyük ölçekli senaryo analizleri yapılmıştır. Altıncı ve son bölümde ise elde edilen sonuçlar değerlendirilerek gelecekte yapılabilecek çalışmalara yer verilmiştir.

2. Literatür Araştırması (Literature Review)

Pek çok faktörü aynı anda içerisinde barındıran TYS problemi literatürde farklı açılardan ele alınmıştır. Literatür taramasında bu açılar; TSY probleminin sınıflandırılması, aday yerlerin belirlenmesine yönelik kriterleri belirleme ve aday noktalar arasında seçim yapılmasına yönelik yapılan çalışmalar olmak üzere 3 farklı grup altında incelenmiştir. İlk grup TYS problemlerinin sınıflandırma çalışmalarını içermektedir. Literatürde TYS problemleri ile ilgili farklı bakış açılarına göre değişik sınıflandırmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda problemin; amaç fonksiyonuna, yerleşim uzayına, kapasite durumuna, tesis sayısı ve tipine, sunulan ürün çeşidi ve sayısına, sezgisel veya olasılıklı olmasına, maliyet minimizasyonu veya kâr maksimizasyonu gibi çeşitli faktörlere göre sınıflandırıldığı görülmektedir [1,6-8]. Bu sınıflandırma çalışmalarının dışında da literatürde çözüm yöntemine göre [9], terminal özelliklerine göre [10] sınıflandırmalar da mevcuttur.

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde dikkat çeken ikinci grup ise TYS problemlerinde aday tesis yerleri belirlenirken ele alınan kriterler üzerine yapılan çalışmalardır. TYS problemlerinin tek veya çok kriterli olarak iki kategoride ele alındığı görülmüştür. Tek kriterli yerleşim problemlerinde çözüm esas alınan kriter genellikle “kapsama” veya “maliyet” olmaktadır [11]. Amaç maliyetin azaltılması veya kaplanan alan, talep noktası veya müşteri miktarının artırılmasıdır. İki veya çok amaçlı problemler için en çok rastlanan kriterler “kâr”, “kapsama”, “maliyet” ya da “hizmet seviyesi ve etkinliği”, “çevresel riskler” ve “eşitlik” olarak ifade edilmiştir [12].

Çok kriterli yerleşim problemleri ile ilgili TYS kriterleri üzerinde literatürde yer alan çalışmalar kapsamında; Farahani ve Hekmatfar [13] tarafından yapılan çalışmada yerleşim problemlerinde kullanılan kriterler; “Kamu tesislerine ve kaynaklara ulaşılabilirlik”, “Maliyet ve ekonomiklik”, “Nüfus yoğunluğu”, “Değer ve faydalar”, “Rekabet ve kapasite”, “Çevresel riskler” ve “Mesafe ve uygunluk” başlıkları altında toplamıştır. Bu çalışma ve literatürdeki diğer çalışmalarda belirtilen kriterleri kapsayan çalışmalar incelendiğinde maliyet (Arazi, Kira, Ulaşım, Kurulum, Yatırım, İşletme, Bakım) [14, 15], değer ve faydalar (Ürün ve Arazi Değeri, Gelir) [16], doğal ve çevresel riskler (İklim, Hava, Afet, Sağlık, Trafik, Kirlilik ve Atık Toplama) [14], kaynaklara erişilebilirlik ve tesislerden faydalanma [17], nüfus yoğunluğu [18], deponun fiziksel özellikleri [19], kamu tesislerine ulaşılabilirlik (Havayolu, Karayolu, Demiryolu, Konaklama Tesisleri, Park ve Dinlenme Alanları) [17] kriterleri TYS etkileyecek kriterler olarak ele alınmıştır.

Literatür taramasının üçüncü ve son aşaması ise tehlikeli madde taşımacılığı ve TYS çalışmaları üzerine yapılmıştır. Yapılan araştırmalarda tehlikeli maddeler için sivil çalışmaların da olduğu görülmektedir. Verma ve Verter [20] tarafından yapılan çalışmada taşımacılıkta tehlikeli maddeler ve düzenli gönderiler için bir sevkiyat planı belirlenmiştir. Demiryolu kullanımını içeren çalışmada risk faktörü olası bir kaza için nüfus ile ilişkilendirilmiş ve nüfus alanları CBS kullanılarak incelenmiştir. Jeong ve Ramirez-Gomez [21] tarafından yapılan çalışmada biyokütle tesisinin uygun yerinin belirlenmesi için CBS ve çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemi kullanılmıştır. İspanya bölgesindeki uygulamada 16 kriter CBS ile analiz edilmiş, tarım ve orman alanlarına yakın en uygun yerler belirlenmiştir. Bu çalışmaların yanında çok sayıda askeri uygulamanın da yapıldığı görülmüştür. Gezer [22], birliklerin mühimmat ihtiyaçlarının doğru yer ve zamanda, istenen miktarda karşılanmasına yönelik probleme “ilk önce rotalama, daha sonra yerleşim” ve “ilk önce yerleşim, daha sonra rotalama” metodlarıyla matematiksel model ile çözüm getirmiştir. Gue [23], mevcut bir savaş planına göre çıkarma hareketinde denizden ikmal yapmayı esas alan ve en az stok seviyesini sağlayacak karadan dağıtım sisteminin oluşturulması konusunu ele almıştır. Çalışmada cephede savaşan birliklere destek sağlayacak mobil destek ünitelerini zamana göre yerleştiren bir model kurulmuştur. Bell [24], ABD Hava Kuvvetlerinin kullanacağı mühimmat ihtiyacı için mühimmat deposu yer seçimi ve birlik-depo atamalarının belirlenmesini matematiksel model ile yapmıştır. Çağrıncı [25], kurulacak mühimmat depolarının yerlerinin belirlenmesi problemi üzerinde durmuş ve çözüm için genetik algoritma önermiştir. Lenhardt [26], mühimmat taşımacılığına yönelik, kapasiteli araç rotalama problemi için bir sezgisel önermiştir. Benzer bir problem Şahin ve Süral [27] tarafından toplam uzaklığı en aza indirmek ve tehlikeli madde taşımacılığından kaynaklanan riskleri minimize etmek için iki amaçlı tam sayılı optimizasyon modeli ile çözülmüştür. ABD Silahlı Kuvvetleri tarafından yapılan çalışmada lojistik tesislerin ve bu kapsamda mühimmat depolarının yerlerinin yeniden yapılandırılması amaçlanmıştır [28] (Army Logistician, 2008). Overholts II, Bell ve Arostegui [29] iki kademeli maksimum kapsamı sağlayan yer seçimi problemi üzerinde durmuştur. Amerikan Hava Kuvvetleri'nin balistik füzelerinin tamiri ve bakımı için gerekli olan tamir programının (tamir ve koruma ekibi sayısının tespit edilmesi) oluşturulması amaçlanmış ve bu kapsamda bir model geliştirilmiştir. Toyoğlu, Karasan ve Kara [30] silahların mühimmatının dağılımının planlanmasına yardımcı olmak üzere bir karar desteğinin sağlaması için üç katmanlı “commodity-flow location routing” formülasyonu oluşturmuştur. Bu çalışmada birden fazla ürünü dağıtabilen, talep noktalarının birden fazla araç veya depo tarafından desteklenmesini sağlayan ve tesisleri farklı iki katmanda yerleştirebilen bir model tanıtılmıştır. Erdal [31] Jandarma Genel Komutanlığı'nın tüm Türkiye coğrafyasına dağıtım sağlayacağı ağ tasarımı problemini incelemiştir.

Kaynak noktaları, ana depolar, bölgesel depolar ve jandarma birliklerinin oluşturduğu dört katmanlı bir problem olarak ele alınmıştır. Ayrıca literatürde gerek sivil yerleşim gerekse askeri TYS problemlerinde CBS uygulamaları dikkat çekmektedir. North ve Miller [32] tarafından yapılan çalışmada Almanya'nın Bavyera eyaletinde eğlence gösterileri düzenleyen bir grubun, daha fazla müşteriye ulaşması için bir TYS metodolojisi geliştirilmiştir. Bu bölgenin demografik yapısı, müşteri harcama talepleri ve yaşam tarzları verilerinin eğilimleri dikkate alınarak belirlenen kriterler, karar destek sistemi olan CBS'de analiz edilmiş ve en fazla müşteriye çekebilecek potansiyel noktalar bulunmuştur. Akgün ve Erdal [33] askeri birliklerin mühimmat ihtiyaçlarını karşılayacak TYS problemini ele almıştır. Probleme ana, bölgesel ve yerel depo yerlerinin nereler olması gerektiği maliyet, seçilen yerdeki risk ve depoların stok seviyeleri gibi faktörler temel alınarak tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu çalışmada matematiksel model, CBS ve ÇKKV yöntemleri entegre kullanılmıştır. Shahparvari vd. [14] İran'ın kuzey bölgesine lojistik merkezi kurmak için, CBS ve ÇKKV yöntemlerini bir arada ele almışlardır. Yapılan literatür araştırmasında; TYS problemlerine yönelik çalışmaların belirli bir düzeye ulaştığı ve ayrı bir disiplin haline geldiği; bu çerçevede problemlerin özelliği, çeşidi ve alanına bağlı olarak birçok yöntem, model ve örnek çalışmanın yapıldığı görülmüştür. TYS kararları alınırken uzun yıllar uygulanmak durumunda olan stratejikliği ve değiştirilmesi durumunda yatırımın atılacak olması nedenleriyle en iyi çözüme ulaşmak için birden fazla yönetime başvurulmaktadır [34]. Bu yöntemlerin, sivil ve askeri TYS dışında pek çok problemde olduğu gibi ÇKKV'nin bütünlük kullanımı, matematiksel modelleme ve entegrasyonlarından oluştuğu söylenebilir [35-42]. Ayrıca askeri problemlerin özel bir çalışma sahası olarak ele alındığı ve ilgili çözüm yöntemlerinin kullanıldığı görülmektedir [43-48].

Bu çalışma kapsamında da teknolojik gelişmelere paralel olarak yeni gelişen ve sıkça kullanılmaya başlanan CBS matematiksel modellerle bir arada kullanılmıştır. Literatürde ele alınmış olan TYS kriterlerinin CBS'de analiz edilerek elde edilen aday depo yerlerinin, geliştirilen matematiksel modelde kullanılmasıyla aday depo yeri seçiminin yapılması ve bu depolara birliklerin atanması sağlanmıştır. Literatür araştırmasında görülen problemlerin büyük kısmının tek veya iki kademeden oluştuğu, yapılan modellerde zaman faktörünün çoğunlukla dikkate alınmadığı, ürün çeşidinin sınırlı kaldığı, ayrıca problemlerin çoğunlukla ileri yönlü olduğu tersine lojistik konusunun ise nispeten daha az ele alındığı fark edilmiştir. Yapılan çalışmaların büyük kısmının deterministik olduğu stokastik çalışmalarında son zamanlarda arttığı; hatta füze bakım istasyonu yer seçiminden helikopter üs bölgesi seçimine, bakım merkezlerinin yerleştirilmesinden dünya genelinde askeri üs noktası seçimi gibi çok farklı alanlarda TYS'ye yönelik çalışmalar yapıldığı görülmüştür [49]. Farklı yöntemlerin bir arada kullanıldığı, askeri patlayıcı madde veya mühimmat depo yer seçimi ve kriterlerine yönelik problemler kapsamında literatürde az sayıda çalışma bulunmaktadır. Problemnin sahip olduğu özellikler, geri dönüşüm tesisi kapasite tayini, CBS'nin aday yerleri belirlemede kullanılması, oluşturulan yer seçimi ve atama modeli ile literatüre önemli katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir. Ayrıca literatürde tersine lojistik kapsamında mühimmatı ele alan bir çalışmaya rastlanmadığından diğer çalışmalardan ayrılmaktadır.

3. Problem Tanımı ve Önerilen Matematiksel Metotlar (Problem Definition and Proposed Mathematical Methods)

Askeri faaliyetlerin etkin ve caydırıcı olabilmesinin en önemli unsurlarından biri lojistik ayağıdır. Kullanılan silahlar, sahip olunan teçhizatlar ve ateş gücüne rağmen bu gücü destekleyecek lojistik alt yapının yetersiz kalması istenen başarının sağlanmasını engelleyecektir. Her ülke günümüz ekonomik şartlarında askeri harekâtını en iyi şekilde destekleyecek, esnek ve süratli görev

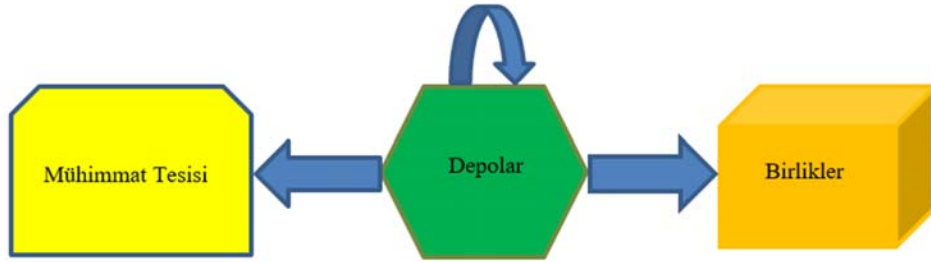
yapabilecek lojistik fonksiyonlarını teşkil etmeye çalışmaktadır. Ancak, oluşturulacak lojistik yapının kıt kaynakları en verimli şekilde kullanması gerekmektedir. Bu durumun son örneği Rusya-Ukrayna savaşında da görülmektedir. Ülkeler tarafından toplumun ve kişilerin gelişimi yerine silahlanmaya ayrılan kaynaklar tartışılmakta ve silahlı kuvvetlere ayrılan kaynakların azaltılması istenmektedir. Lojistik tesislerin işletme, bakım ve idame maliyetlerinin artması modernizasyona ayrılacak kaynakları işletme ve idameye ayırmaya zorunda bırakmaktadır [50]. Bu kapsamda, lojistik fonksiyonlardan biri olan mühimmatın depolanması ve dağıtımını silahlı kuvvetlerin etkinliğinde ve gücünde önemli bir yer tutmaktadır. Ele alınan problemin temel hali Şekil 1'de görselleştirilmiştir.

Bu çalışmanın iki temel amacı bulunmaktadır. Bunlardan birincisi, mühimmat geri dönüşüm tesisinin kapasite analizini yapmaktır. Kapasite analizi için geçmişten kalan ve gelecek yıllarda kullanım ömrü dolacak mühimmatın, ömür devri içinde birikmeye neden olmadan geri dönüşümünün yapılmasını sağlayacak analitik bir yaklaşım ortaya konmuştur. Farklı tipteki mühimmatın sökümlerinin yapıldığı her bir sökümler hattının hangi noktada dengelendiği hesaplanmıştır. İkinci amaç ise; mühimmatın belli yerlerde kurulmuş olan birliklerden toplanıp, depolara taşınan ve depolardan da geri dönüşüm tesisine olan akışlar için gerekli depo sayısının ve depo

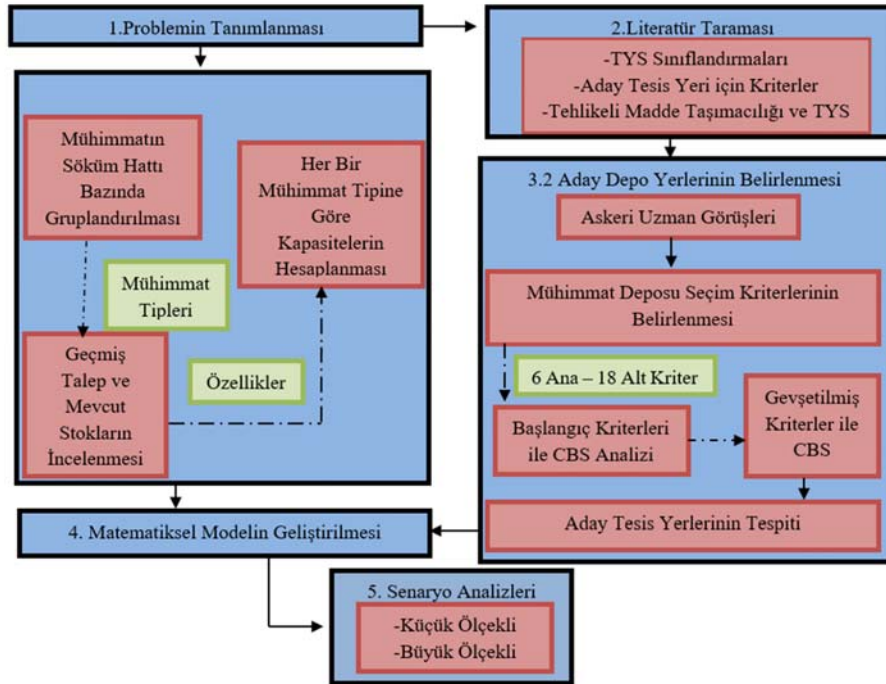
yerlerinin belirlenmesidir. Bu kapsamda ilk önce aday depo yerlerinin nereler olması gerektiği konusu üzerine çalışılmıştır. Depo ve patlayıcı madde TYS kriterlerine yönelik olarak literatürde yapılan araştırmalar ve uzman görüşleri incelenmiştir. Yapılan analiz sonucunda mühimmat deposu yer seçimi açısından önemli olan kriterler belirlenmiş ve CBS üzerinde analiz edilerek ilçe bazında aday yerlerin tespitinde kullanılmıştır. Aday depo yerleri geliştirilen matematiksel model ile çözülerek toplam maliyeti minimum yapacak depo yerleri ve sayıları hesaplanmıştır. Problemin çözümüne ait geliştirilen metodoloji Şekil 2'de verilmiştir.

3.1. Geri dönüşüm tesisi kapasite analizi , (Capacity analysis of recycle plant)

Bu bölümde kullanım ömrü dolmuş ve önümüzdeki yıllarda belli dönemlerde ömrünü dolduracak mühimmatın geri dönüşümünü yapabilecek tesis kapasitesinin yeniden belirlenmesi konusu üzerinde durulmuştur. Mühimmat geri dönüşüm tesisinin kapasite tayininin doğru yapılması son derece önemli bir problemdir. Gerektiğinden az belirlenen kapasite, mevcut mühimmat stokları ve ilerleyen dönemlerde eskiyip kullanım dışına çıkacak mühimmatın geri dönüşümünün yapılamamasına ve dolayısıyla stoklarda birikime neden olmaktadır. Bu durum hem mühimmattan kaynaklı riskleri



Şekil 1. Tersine Lojistik Kapsamında Problem Özeti (Problem Summary in the Scope of Reverse Logistics)



Şekil 2. Problemin Çözümüne ait Geliştirilen Metodoloji (Developed Methodology for Solving the Problem)

arttırmakta hem de depo sayısının artmasına yol açmaktadır. Uygulanan yöntemde yapılan hesaplamalarda mühimmata ilişkin istatistikî bilgiler için jenerik veriler sunulmuştur. Bu verilerden hareketle tesisin kapasite tayini yapılmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlar geliştirilen matematiksel modelde parametre olarak kullanıldığından ve asıl amaç mühimmat deposu yer seçimi ve dağıtım optimizasyonu olduğundan dolayı detaylı bir kapasite tayini yerine daha anlaşılabilir analitik bir hesaplama yapılmıştır.

Kullanım ömrü dolmuş mühimmat ile önümüzdeki 10 yıllık dönem zarfında eskiyerek geri dönüşüme gidecek mühimmat, belirlenen söküm hatlarının imkân ve kabiliyetlerine göre gruplandırılmıştır. Tesis kapasitesinin tayininde bu varsayılan toplam miktar esas alınmıştır. Tesiste farklı çap ve tipteki mühimmatın geri dönüşümü farklı söküm hatlarında yapılmaktadır. Mühimmatın özelliklerine (çap, uzunluk vb.) göre kurulmuş olan 7 farklı söküm hattının olduğu tespit edilmiştir. Bu hatlarda geri dönüşüm için bekleyen ve yıllara sari geri dönüşüme ayrılacak çok sayıda mühimmat olduğu varsayılmıştır. Tablo 1'de 2020 yılında geri dönüşüm için gelen ve bundan sonraki 3 yıllık periyotlarda 3 dönem boyunca gelmesi beklenen mühimmat miktarı adet cinsinden jenerik veriler ile gösterilmiştir. Eski kapasite tesisin hatlarındaki mevcut durumu gösterirken yeni kapasite mühimmatın ayırma ve ayıklama işleminin 10 yıllık bir dönemde tamamlanması için gereken kapasite miktarını göstermektedir. Yeni kapasiteler mühimmatta bulunan patlayıcı ve yakıt ömrü 10 yıl olduğu ve dönem içerisinde ayırma ve ayıklama işleminin tamamlanması amaçlandığı için 10. yılın sonunda geri dönüşümü yapılacak mühimmat kalmaması varsayımıyla tüm hatlar

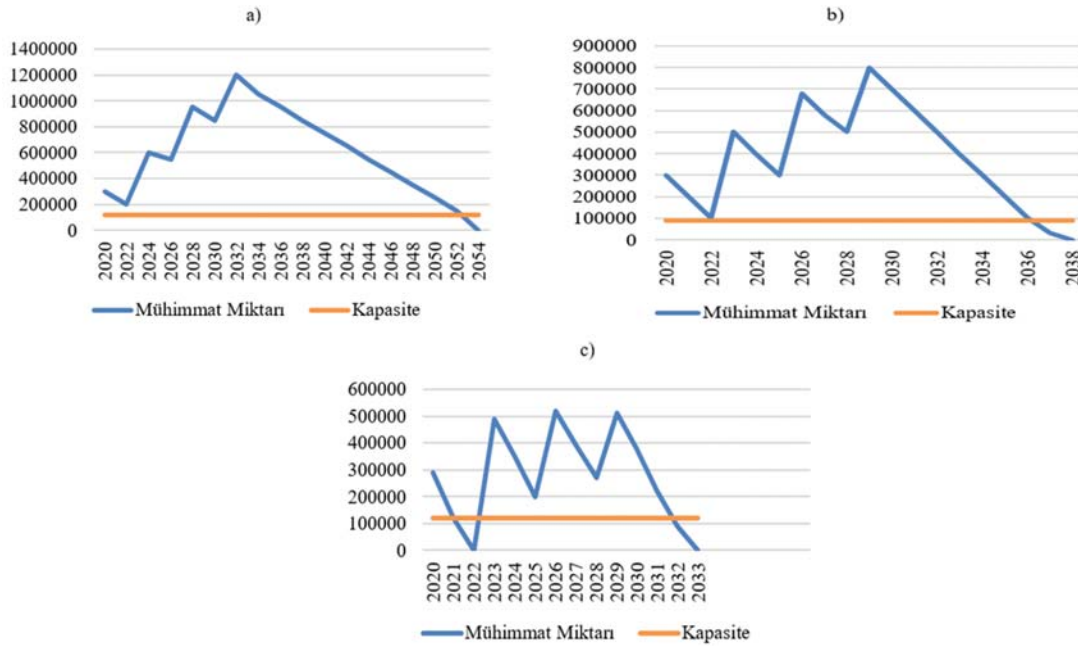
için adet bazında hesaplanmıştır. Tablo 1'de belirtilen mühimmat miktarları ve bir söküm hattının mevcut kapasitesi dikkate alınarak yapılan analiz sonucunda çoğu söküm hattında büyük yığılmaların olduğu görülmüştür. Bu nedenle mevcut kapasitenin eldeki ve önümüzdeki dönemlerde gelecek eski mühimmatın geri dönüşümü için yeterli olmadığı hesaplanmıştır. Bu yığılmaların önüne geçmek, mühimmatın kullanım ömrünü kapsayacak bir döngü içinde geri dönüşümünü yaparak birikmeleri ve kaza risklerini azaltmak açısından büyük önem taşımaktadır. Depolanan eskimiş mühimmat kullanım ömrünü doldurduğundan kaza ve patlama yaratma riski artmaktadır. Bu nedenle birikmeye neden olmadan geri dönüşüme tabi tutulması insan ve çevre sağlığı açısından da büyük önem taşımaktadır. Ayrıca birikmeyi azaltmanın diğer büyük avantajı da depo ihtiyacını minimum seviyede tutmaktır.

Aşağıda M6 hattı için yapılmış olan örnek çalışma sunulmuştur. Mevcut kapasite ile geri dönüşüm faaliyetinin yapılması durumunda mühimmatın geri dönüşümünün kaç yılda tamamlanabileceği grafiksel olarak mevcut (a), iki artmış (b) ve üç kat artmış (c) kapasiteler ile Şekil 3'te gösterilmiştir.

Mevcut kapasite ile söküm işleminin yapılması durumunda tüm birikmiş ve birikecek mühimmatın sökümünün 2055 yılında tamamlanabileceği hesaplanmıştır. 2029 yılından sonra gelecek mühimmat ile birlikte bu süre çok daha uzayacaktır. M6 söküm hattının kapasitesinin 2 kat artırılması durumunda söküm işlemi 2038 yılında, 3 kat artırılması durumunda 2033 yılında tamamlanabilecektir. Bu sayede 2029 yılından itibaren gelecek

Tablo 1. Geri dönüşüme gelen ve gelecek mühimmat miktarı (Amount of incoming ammunition for recycling)

| Yıl/Mühimmat Hattı | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 | M7 |
|--------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 2020 | 50185 | 149300 | 95900 | 85255 | 240500 | 283800 | 159000 |
| 2023 | 90500 | 278000 | 130000 | 425000 | 377000 | 485600 | 190000 |
| 2026 | 152890 | 252200 | 15500 | 520000 | 60000 | 470500 | 150000 |
| 2029 | 113420 | 223500 | 121000 | 594540 | 20000 | 409700 | 243000 |
| Eski Kapasite (Adet/Yıl) | 24200 | 24200 | 22800 | 26400 | 110000 | 47300 | 26500 |
| Yeni Kapasite | 24200 | 96800 | 91200 | 158400 | 110000 | 141900 | 106000 |



Şekil 3. M6 hattının mevcut, 2 ve 3 kat kapasite ile çalıştırılması (Operation of M6 line with existing, 2 and 3 times capacity)

mühimmat için dengenin sağlanması ancak mümkün olacaktır. M6 hattı için dengeye ulaşılan nokta yaklaşık mevcut kapasitenin 3 katı olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak geri dönüşüm işlemleri yığılma ve birikmeye neden olmadan mühimmat kullanım ömrüne yakın bir süre içinde tamamlanabilecektir. Uygulanan bu metodoloji tüm mühimmat tipleri için hesaplanmıştır. Kapasite analizi sonucunda denge noktasına ulaşılan mühimmat tipleri için aday depo yerlerinin belirlenmesi aşamasına geçilmiştir.

3.2. CBS ile aday depo yerlerinin belirlenmesi (Determining candidate warehouse locations with GIS)

Tesislerin, ikmal noktalarının, depoların, üs bölgelerinin kurulacağı yerlerin nereler olması gerektiği gibi kararlar verilirken yaygın olarak CBS'ye başvurulmaktadır [33,51-54]. CBS, konumsal ve konumsal olmayan verileri birlikte değerlendirme yeteneği ile karar destek sistemi oluşturulmasında kullanılan önemli bir araçtır. CBS ile oluşturulan karar analizleri, diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında (matematiksel ve istatistiksel) karmaşık yapıdaki verilerin hızlı ve etkili bir şekilde değerlendirilmesine olanak vermektedir [55]. Öncelikle literatürde ele alınmış olan TYS kriterlerinin neler olduğu ve tehlikeli madde TYS için dikkat edilmesi gereken faktörler incelenmiştir. Tespit edilen kriterlerden askeri uzmanların görüşlerini de dikkate alarak mühimmat deposu seçimine yönelik kriterlerin neler olacağı ortaya konulmuştur. Bu kriterlere göre CBS'de konumsal analizler yapılmış ve aday yerler belirlenmiştir.

Chou vd. [12] kriterleri önemli ve kritik (kamu hizmetlerinin varlığı, halkın tutumu, arazi uygunluğu vb.), objektif (yatırım ve işgücü maliyetleri, arazi değeri vb.), subjektif (pazara yakınlık, siyasi risk, ulaşım kolaylığı, okullara yakınlık, vb.) olmak üzere üç başlıkta sınıflandırmıştır. Akyol [56] tarafından, askeri depoların yer seçiminde bazı özellikler arandığı, seçilecek yerin hareketi desteklemesi, desteklenen birliğlere merkezi mesafede bulunması, mümkün mertebe ileride ve ana yol üzerinde kurulması ile ağır tonaj tutan ikmal depolarının demir yolu güzergâhlarında yerleştirilmesinin gerektiği vurgulanmıştır. Mühimmat depoları yer seçimi kriterlerinin belirlenmesi için; "askeri kriterler", "kapasite kriterleri", "çevresel kriterler" gibi ana kriterlerin kullanıldığı görülmüştür. Daha sonra Altuntaş [57] çalışmasında; literatürde yapılmış olan çalışmalarını inceleyerek, anket çalışmaları ve uzman görüşleri sonucunda bu kriterlerin kapsamını artırmış ve 6 ana kriter altında 86 adet alt kriterin

belirlenmiş olduğunu ifade etmiştir. Mühimmat depo alanı yerinin tespiti; çalışmada ifade edilen askeri, lojistik, doğal, çevresel, sosyal, ekonomik ve kapasite konularına dayanan kriterleri içeren oldukça karmaşık bir karar verme işlemidir. Ancak, 86 kriterden birçoğu askeri uzmanların da görüşleri dikkate alındığında sivil TYS kapsamında olduğundan bu kriterlerin tümünün mühimmat deposu için uygulanabilirliği bulunmamaktadır. Bu çalışmada 86 kriter, mühimmat için TYS'yi etkileyecek 18 kritere indirgenmiştir. Tablo 2'de CBS analizlerinde kullanılacak ana ve alt kriterler gösterilmiştir.

Belirtilen 18 kriter; mühimmatın depolanması, taşınması ve çevreye verilebilecek olası olumsuz etkilerin azaltılması açısından AASTP-1'e uygun şekilde belirli sınır değerleri arasında CBS'de incelenmiş ve bazı örnek değerler Tablo 3'te sunulmuştur. Bu sınır değerleri, her kriter için yapılan analizler bir bütün olarak birleştirildiğinde bazı kriterlerle ilgili belirlenen sınır değerlerden dolayı aday yerlerin sayısının çok az kaldığı ve bazı kriterler nedeniyle aday yerlerin belli bölgelerde toplandığı görülmüştür. Buna neden olan kriterler AASTP-1'e uygun şekilde gevşetilerek alt ve üst sınırlar belirlenmiştir. Bunun haricinde bir depolama yapılacaksa hangi koşullarda yapılması gerektiği yönergenin dışına çıkmayacak şekilde askeri uzman görüşleri ile yapılmıştır [61].

Gevşetilmiş kriterlere göre yapılan analiz sonucunda 7 aday depo yeri belirlenmiştir. Yeni belirlenen bu aday depo yerleri aşağıda Şekil 4'te kırmızı renk ile gösterilmiştir. Sarı renk ile gösterilen düğüm mühimmat tesisini mavi renkle gösterilen düğümler ise birlikleri ifade etmektedir.

4. Geliştirilen Matematiksel Model (Proposed Mathematical Method)

Bölüm 3'te tanımları yapılarak kapasite analizi ve aday depo yerleri belirlenmiş olan problem için model geliştirme sürecinde aşağıdaki varsayımlar baz alınmıştır.

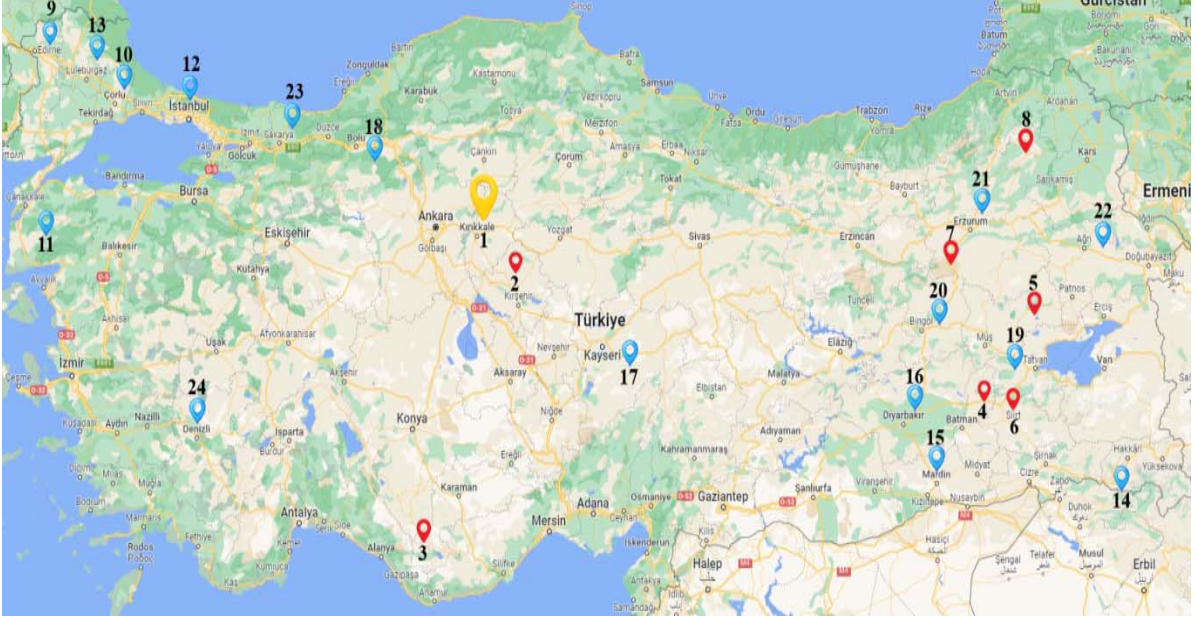
- Problemden 3 yıllık periyotlar halinde 4 dönem ele alınmıştır. Bu dönemler; kullanım ömrünü dolduran mühimmatın geri dönüşüm kararlarının verildiği zaman dilimleri olarak kabul edilmiştir.
- Depolarda bekleyen eskimiş mühimmatın bulunduğu ve her dönemde alınan kararlar neticesinde kullanım dışına çıkacak

Tablo 2. Mühimmat deposu seçim kriterleri (Selection criteria of ammunition depot)

| Kriterler | Alt Kriterler | Referanslar |
|-------------------|--|------------------|
| Askeri | Görev yerine/bölgesine yakınlık, Bölgedeki terör bölgeleri, Sınır hattına uzaklık, Göreve yönelik destekleyeceği birliğlere yakınlık | [14,15,17,58,59] |
| Kapasite | Yerleşke alanı/büyüklüğü (m ²), Depoların talep bölgelerine yakınlığı | [17,32] |
| Ekonomik | Bölgede askeri alan varlığı, Tatbikat/atış alanlarına ve destekleyeceği birimlere ulaşım mesafesi | [14,15] |
| Doğal ve Çevresel | Arazi yapısının uygunluğu-gizlenmeye elverişli ve doğal engeller olması, Muhtemel afet bölgesinden ve/veya deprem hattından uzaklık, Çevreye ve doğal yaşama olumlu/olumsuz etki, Bölgedeki su kaynaklarına yakınlık/uzaklık, Bölgenin iklim koşullarının depo yeri için elverişliliği | [14,60] |
| Lojistik | Trafik yoğunluğu -karayolu (ana ulaşım) ağına yakınlık, Demiryolu istasyonuna yakınlık, Deniz ve limana yakınlık | [16,17,58] |
| Sosyal | Şehir/ilçe ve yerleşim merkezlerine uzaklık/yakınlık, bölgenin nüfus yoğunluğu (km ²) | [18,58] |

Tablo 3. CBS Analizinde gevşetilen örnek kriter değerleri (Sample criteria values relaxed in GIS Analysis)

| Kriter | Yangın Sayısı | Nüfus Yoğunluğu (km ²) | Sınır Hattına Uzaklık(≥) | Ulaştırma Modları | | | Fay Hattına Uzaklık(≥) |
|-------------|---------------|------------------------------------|--------------------------|-------------------|----------|----------|------------------------|
| | | | | Kara | Demir | Liman(≤) | |
| Başlangıç | 200 | 200 | 100 km | 5km-20km | 5km-50km | 300km | 5km |
| Gevşetilmiş | 250 | 300 | 50 km | 3km-40km | 3km-90km | 400 km | - |



Şekil 4. Gevşetilmiş kriterlere göre belirlenen yeni aday depo yerleri (New candidate depot locations identified based on relaxed criteria)

mühimmatın sürekli olduğu ve birlik bazında aynı olduğu varsayılmaktadır.

- Mühimmatın kullanım ömrü belli olduğundan ve her tip mühimmatın eldeki miktarı bilindiğinden kullanım dışına çıkarılacak mühimmat sayısının bilindiği kabul edilmiştir.
- Birliklerin birbiriyle aynı seviyede olduğu ve her dönemde kullanım ömrü dolan her tip mühimmatın belli bir miktarını depolara gönderdiği kabul edilmiştir.
- Problemden, NATO standartlarında yarı gömme; farklı hacim ve ağırlık kapasitesine sahip, farklı işletme ve kurulum maliyetleri olan 3 farklı tipte deponun olduğu kabul edilmiştir.
- Depoların kurulum, işletme ve kapatma maliyetlerinin tahmini olarak bilindiği kabul edilmiştir.
- Her mühimmat tipi taşıma maliyeti hesaplanmasında araçların hacmi sabit kabul edilmiştir.

4.1. Mühimmat Depo Yerlerinin Belirlenmesi ve Birliklerin Depolara Atanması için Matematiksel Modelin Geliştirilmesi (Mathematical Model Developed for Ammunition Recycling Problem Selection Of Depot Location And Unit Assignment Model)

İndisler/Kümeler:

- I_T : Geri Dönüşüm Tesis düğümleri kümesi, $I_T \subset I$
 I_a : Aday Ana Depo düğümleri kümesi, $I_a \subset I$
 I_b : Birlik düğümleri kümesi, $I_b \subset I$
 D : Depo Tipleri kümesi, $d \in D$
 M : Mühimmat grupları kümesi, $m \in M$
 T : Dönemler kümesi, $t \in T$

Karar Değişkenleri:

- x_{ijmt} : t . dönemde i 'den j 'ye sevk edilen m tipi mühimmat miktarı
 I_{imt} : t . dönemde i 'de bulunan m tipi mühimmat stok miktarı
 $Netd_{idt}$: t . dönemde i . Ana depo yerinde faal olacak toplam d tipi depo sayısı
 $Newd_{idt}$: t . dönemde i . Ana depo yerinde yeni açılacak d tipi depo sayısı

$Clod_{idt}$: t . dönemde i . Ana depo yerinde kapatılacak d tipi depo sayısı

$$A_i = \begin{cases} 1, & i \text{ düğümü Ana Depo olarak belirlenmişse,} \\ 0, & \text{dd} \end{cases}$$

$$y_{ijt} = \begin{cases} 1, & t \text{ dönemde } j \text{ düğümü } i \text{ düğümüne atanmış ise,} \\ 0, & \text{dd} \end{cases}$$

Parametreler:

- $CapR_{mt}$: t . dönemde m tipi mühimmat için r 'nin
 $CapW_{dt}$: t . dönemde d . Tipi deponun ağırlık kapasitesi
 $CapV_{dt}$: t . dönemde d . Tipi deponun hacimsel kapasitesi
 $Demd_{imt}$: t . dönemde i . Ana depoda oluşacak atık m tipi mühimmat miktarı
 $Demb_{imt}$: t . dönemde i . Birlikte oluşacak atık m tipi mühimmat miktarı
 W_m : m tipi mühimmatın ağırlığı
 V_m : m tipi mühimmatın hacmi
 C_{ij} : i 'den j 'ye birim taşıma maliyeti
 Co_d : d tipi deponun ilk kurulum maliyeti
 Cp_d : d tipi deponun işletme maliyeti
 Cc_d : d tipi deponun kapatılma maliyeti
 M : Büyük bir sayı

Amaç Fonksiyonu:

$$\begin{aligned} Minz = & \sum_{i \in I_b} \sum_{j \in I_a} \sum_{m \in M} \sum_{t \in T} C_{ij} \cdot X_{ijmt} + \\ & \sum_{i \in I_a} \sum_{j \in I_a} \sum_{m \in M} \sum_{t \in T} C_{ij} \cdot X_{ijmt} + \\ & \sum_{i \in I_a} \sum_{j \in I_T} \sum_{m \in M} \sum_{t \in T} C_{ij} \cdot X_{ijmt} + \sum_{i \in I_a} \sum_{d \in D} \sum_{t \in T} Netd_{idt} \cdot Cp_d + \\ & \sum_{i \in I_a} \sum_{d \in D} \sum_{t \in T} Newd_{idt} \cdot Co_d + \sum_{i \in I_a} \sum_{d \in D} \sum_{t \in T} Cold_{idt} \cdot Cc_d \quad (1) \end{aligned}$$

Kısıtlar:

$$I_{imt} = 0 \quad \forall i \in I, \forall m \in M, t = 0 \quad (2)$$

$$I_{imt} = I_{imt-1} + Demb_{imt} - \sum_{j \in I_a} X_{ijmt} \quad \forall i \in I_b, \forall m \in M, \forall t \in T \quad (3)$$

$$I_{imt} = I_{imt-1} + \sum_{j \in I_b} X_{jimt} + \sum_{j \in I_a} X_{jimt} - \sum_{j \in I_r} X_{jimt} - \sum_{i \neq j} X_{ijmt} + Demd_{imt} \quad \forall i \in I_a, \forall m \in M, \forall t \in T \quad (4)$$

$$I_{imt} = I_{imt-1} + \sum_{j \in I_a} X_{jimt} \quad \forall i \in I_r, \forall m \in M, \forall t \in T \quad (5)$$

$$\sum_{j \in I_a} X_{jimt} \leq CapR_{mt} - I_{mt} \quad \forall i \in I_r, \forall m \in M, \forall t \in T \quad (6)$$

$$I_{imt} \leq CapR_{mt} \quad \forall i \in I_r, \forall m \in M, \forall t \in T \quad (7)$$

$$\sum_{m \in M} W_m \cdot I_{imt} \leq \sum_{d \in D} Netd_{idt} \cdot CapW_d \quad \forall i \in I_a, \forall t \in T \quad (8)$$

$$\sum_{m \in M} V_m \cdot I_{imt} \leq \sum_{d \in D} Netd_{idt} \cdot CapV_d \quad \forall i \in I_a, \forall t \in T \quad (9)$$

$$Netd_{idt} = Netd_{idt-1} + Newd_{idt} - Clod_{idt} \quad \forall i \in I_a, \forall d \in D, \forall t \in T \quad (10)$$

$$\sum_{j \in (I_b \cup I_a)} W_m \cdot X_{jimt} \leq \sum_{d \in D} Netd_{idt} \cdot CapW_d - \sum_{m \in M} V_m \cdot I_{imt} \quad \forall i \in I_a, \forall d \in D, \forall t \in T \quad (11)$$

$$\sum_{j \in (I_b \cup I_a)} V_m \cdot X_{jimt} \leq \sum_{d \in D} Netd_{idt} \cdot CapV_d - \sum_{m \in M} W_m \cdot I_{imt} \quad \forall i \in I_a, \forall d \in D, \forall t \in T \quad (12)$$

$$Newd_{idt} \leq M \cdot A_i \quad \forall i \in I_a, \forall d \in D, \forall t \in T \quad (13)$$

$$\sum_{j \in (I_b \cup I_a)} y_{ijt} = 1 \quad \forall j \in I_a, \forall t \in T \quad (14)$$

$$\sum_{m \in M} X_{jimt} \leq M \cdot y_{ijt} \quad \forall i \in I_a, \forall j \in (I_a \cup I_b), \forall t \in T \quad (15)$$

$$y_{ijt+1} \leq y_{ijt} \quad \forall i \in I_a, \forall j \in I_b, \forall t \in T \quad (16)$$

$$A_i, y_{ijt} \in \{0,1\} \quad \forall i, j, t \in I \quad (17)$$

$$X_{jimt}, I_{imt}, Netd_{idt}, Netw_{idt}, Clod_{idt}, \geq 0 \quad \forall i, j \in I, m \in M, \forall t \in T \quad (18)$$

Eş. 1'de problemin amaç fonksiyonu taşıma, yeni depo açma, depo kapama ve depo işletme maliyetlerini minimum yapmaktadır. Eş. 2-Eş. 5 modelin her dönemdeki, her çeşit mühimmat tipi için stoklarını belirtir. Eş. 6 ve Eş. 7 tesise gelecek toplam mühimmat miktarının kapasite kadar olmasını sağlayan kısıtlardır. Eş. 8 ve Eş. 9 kurulacak olan depolarda saklanacak mühimmat miktarını belirlemek için yazılmış olan hacim ve ağırlık kapasitesi denklemdir. Eş. 10 dönemlik olarak açılacak ve kapanacak depo sayısını dengelemek ve her dönemdeki depo sayısı ve tipini hesaplamak için yazılmış denklemdir. Eş. 11 ve Eş. 12 depo yeri olarak seçilen ve buradaki depolara gönderilecek dönemlik mühimmat miktarının oradaki net depo sayısı ile eldeki stok miktarına bakarak hacimsel ve ağırlık olarak belirlenmesini sağlayan kısıtlardır. Eş. 13 aday depo yerlerinden biri depo yeri olarak belirlenmişse oraya depo açılmasını sağlayan kısıttır. Eş. 14 her birliğin bir mühimmat deposuna atanmasını sağlayan, Eş. 15 ise atama olduğunda akışın sağlanması için yazılmış olan kısıtlardır. Eş. 16 birlik bir depoya atanmışsa o atamanın devam etmesini sağlamak için yazılmıştır. Eş. 17 sıfır-bir değişkenlerini belirtmek, Eş. 18 ise değişkenlerin sıfır veya pozitif olma şartını sağlayan kısıttır. Geliştirilen model ile mühimmatın taşıma ve depolama maliyetlerini minimum yapacak şekilde;

- Geri dönüşüm tesisine her dönemde hangi depodan, hangi tip mühimmat gideceği,
- Aday yerlerden hangilerine, her bir dönemde, hangi tip depodan, kaç tane açılacağı,
- Birliklerin hangi depolara atanacağı belirlenmektedir.

Geliştirilmiş olan matematiksel modelin çalışmasını ve sonuçları görmek için Türkiye genelini kapsayan farklı birlik sayısı, depo sayısı, kurulması istenen depo sayısı durumlarını içeren uygulamalar yapılmış ve elde edilen sonuçlar analiz edilmiştir. Matematiksel model farklı problem versiyonları için GAMS 24.3.3'te çözülmüştür.

5. Matematiksel Modelin Türkiye Uygulaması Ve Senaryo

Analizleri

(Application of Mathematical Model in Türkiye and Scenario Analysis)

Modelde, birbirinden farklı üç iglo tipi depodan, hangisinden kaç tanesinin hangi dönemlerde aday depo yerlerinden hangilerine minimum maliyetle yerleştirileceği hesaplanmaktadır. Depo tiplerinin ağırlık ve hacim kapasiteleri NATO standartlarında kullanılan depo ölçeklerine göre farklılaşmaktadır. Mühimmat tipleri için en büyük hacim dikkate alınıp yerleşim yapıldığından, tüm durumlara çözüm sağlanabilecektir. Bu yaklaşım, problemin karmaşıklığını azaltacak aynı zamanda aynı tipteki mühimmatın sandık boyutları arasında önemli farklılıklar olmadığından gerçek hayata yakınlığını da uzaklaştırmayacaktır. Bu hesaplama yöntemi tüm sökül hatlarındaki mühimmat tipleri için uygulanmıştır.

Bu çalışmada kullanım ömrü dolmamış mühimmatın birliklerde olduğu ve belli dönemlerde bunlardan kullanım ömrü dolmuş olanların mühimmat depolarına gönderildiği durum ele alınmıştır. Her bir birliği destekleyen bir mühimmat deposu bulunmakta iken, depolar birden fazla birliğe ikmal yapabilmektedir. Birliklerden depo yerlerine ve depo yerlerinden birliklere olan taşımaların maliyet hesabı mühimmat başına hesaplanmıştır. Farklı sayıda aday depo yerinin ve farklı sayıda birliğin olduğu ve küçük problemde büyük probleme doğru gidilen bir yaklaşımla senaryolar oluşturulmuştur. Sonraki bölümlerde ele alınan senaryolar ve elde edilen sonuçlar gösterilmiştir.

5.1. Küçük Ölçekli Problem Senaryoları (Small-Scale Problem Scenarios)

Geliştirilen matematiksel modelin nasıl çalıştığının test edilmesi ve elde edilen sonuçları analiz etmek amacıyla ilk etapta küçük ölçekli problemler ele alınmıştır. Bu kapsamda tesis kapasitesi, depolarda bulunan mühimmat stokları ve birliklerden gönderilen mühimmat miktarlarının farklı senaryoları ele alınmıştır. Tablo 5'te dönemsel olarak açılan depo yerlerine ve sayılarına ilişkin elde edilen sonuçların açıklaması yer almaktadır. Tek, çift ve üç depolu durumlar ile mühimmat talebinin tesis kapasitesinden büyük, küçük ve neredeyse eşit olduğu durumların kombinasyonları 9 farklı senaryoya test edilmiş ve modelin verdiği sonuçlar gösterilmiştir. Bu sonuçlar incelenerek 3 farklı dönemin her biri için depoların sayısı, yeri ve tipleri elde edilmiştir. Örneğin Test 1'de 1 depo, 1 birlik, 1 tesis ve talebin kapasiteden küçük olduğu durum için t=1 döneminde Afyon'da 3. Tipteki depolardan 3 tane bulunması gerektiği sonucuna varılmıştır. Benzer durum Test 6 için izlendiğinde 2 depo, 1 birlik, 1 tesis ve talebin kapasiteden büyük olduğu durumda Afyon'da 3. Tipteki depolardan 30 tane aynı zamanda Diyarbakır'da 3. Tipteki depolardan ise 73 taneye ihtiyaç duyulduğu hesaplanmıştır. Tablo 5'te sanal depo olarak ifade edilen kavram t=3'ün sonunda tesisin kapasitesi yetmediğinden depolarda kalan stok miktarını göstermektedir. Benzer durumları görebilmek amacıyla modelde son dönemdeki stoklar sanal depoya gönderilmiş bu sayede dönem sonundaki stok durumlarına takip edilebilirlik kazandırılmıştır. Her test grubunun altında toplam açılması istenen depo sayısı ve depolardan tesislere olan mühimmat akışı izlenebilmektedir. Örneğin Test 6'da talebin kapasiteden büyük olduğu durumda toplam 310 depoya ihtiyaç duyulacağı hesaplanmıştır. Bu testte Depo 1 olan Afyon'dan tesise mühimmat akışının olduğu ancak Depo 2 yani Diyarbakır'dan sevkiyatın maliyetler sebebiyle gerçekleştirilmediği

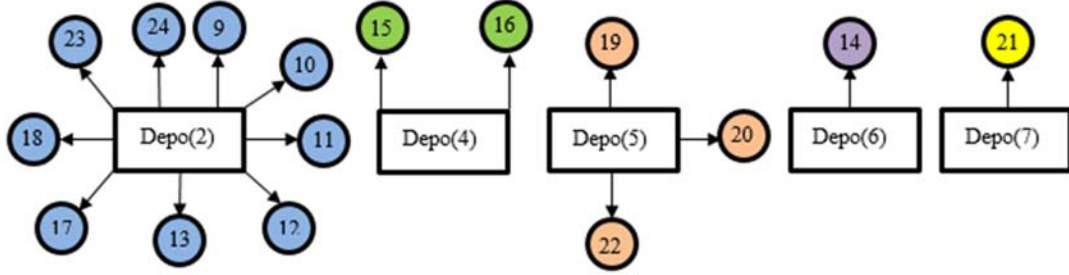
diğer bir ifadeyle talebin kapasiteden yüksek olması sebebiyle mühimmatın stokta tutulduğu ve son dönemde sanal depoya aktarıldığı görülmektedir. 3,6 ve 9'uncu senaryolarda talep kapasiteden çok yüksek olduğu için çok sayıda depoya ihtiyaç duyulmakta ve maliyetler çok yüksek düzeylere ulaşmaktadır. Benzer şekilde talep ve kapasite arasındaki farkın nispeten daha düşük olduğu 1,4 ve 7'nci senaryolarda depo ihtiyacı oluşmakta ve maliyetler yüksek kalmaktadır. Öte yandan talebin kapasiteye yakın olduğu 2,5 ve 8'inci senaryolarda ise neredeyse tüm mühimmatın sökümü gerçekleştirildiği için depo ihtiyacı azalmakta ve maliyetler düşmektedir. Bu senaryolardan sonra model, daha büyük problemlerde denenmeye devam edilmiştir.

5.2. Büyük Ölçekli Problemin Senaryo Analizi (Scenario Analysis of Large-Scale Problem)

Bu bölümde küçük ölçekli problem olarak 2 depo ve 1 birlik olarak ele alınan senaryolar CBS'den elde edilmiş olan ve Şekil 4'te ifade edilen 7 ana depo ve 16 tane birliğin bulunduğu 24 düğümlü olarak genişletilmiştir. Bu senaryoda kurgu, 3 mühimmat ve 3 depo tipi için

4 dönemi kapsayacak şekilde oluşturulmuştur. Problemin çözümünde depolarda oluşacak kullanım süresi dolan mühimmat sayıları dışında ele alınan veriler (kapasiteler, depo maliyetleri, sandık hacimleri vb.) küçük senaryoda anlatılan problem ile aynı alınmıştır. Problemin GAMS'te çözümü sonrasında elde edilen sonuçlara göre birliklerin atamaları ile depoların tesise olan mühimmat sevkiyatları aşağıda Şekil 5'te sunulmuştur.

Atamalar incelendiğinde; mavi renkle gösterilen Edirne, Tekirdağ, Çanakkale, İstanbul, Kırklareli, Kayseri, Bolu, Sakarya, Denizli'deki birlikler kendilerine en yakın depo yeri olan depo 2 yani Kırşehir'e atanmıştır. Turuncu renkle gösterilen Bitlis, Bingöl ve Ağrı'daki birliklerde beklendiği gibi depo 5 Muş deposuna, yeşil renkle gösterilen Mardin ve Diyarbakır'daki birlikler ise Batman'daki depo 4'e, mor renkle gösterilen Hakkâri'deki birlik ise Siirt'teki depo 6'ya atanmıştır. Karaman'daki depo 3'e birlik atanmaması birliklere olan mesafeden kaynaklanmakta bu durum depo yerinin sorgulanmasını gerektirmektedir. Aynı ilde farklı ilçelerde depo olduğu için; Erzurum'da bulunan depo 8'e sarı renkle gösterilen yine Erzurum'da konuşlu birliğin bölgede daha yakın mesafede bulunan 7 numaralı



Şekil 5. Büyük Ölçekli Problem için Depo-Birlik Atamaları (Depot-union assignments of large scale problem)

Tablo 5. Örnek problemin sonuçları (Results of the example problem)

| Durumlar | Senaryolar | Test-1 | Test-2 | Test-3 | Test-4 | Test-5 | Test-6 | Test-7 | Test-8 | Test-9 |
|---|-----------------------------|----------------|----------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------|--|----------------------------------|----------------|------------------|
| Depo/ Birlik/ Tesis | 1-Depo/ 1-Birlik/1-Tesis | X | X | X | | | | | | |
| | 2-Depo/ 1-Birlik/1-Tesis | | | | X | X | X | | | |
| | 3-Depo/ 1-Birlik/1-Tesis | | | | | | | X | X | X |
| Talep | Küçük | X | | | X | | X | | | |
| Tesis Kapasitesi | Neredeyse Eşit | | X | | | X | | | X | |
| İlişkisi | Büyük | | | X | | | X | | | X |
| GAMS SONUÇLAR | | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ |
| Maliyet (Milyar TL) | | 1098 | 0,105 | 42288 | 648 | 0,178 | 43048 | 1083 | 0,180 | 21039 |
| Depo Sayısı/ Depo Yeri/ Depo Tipi | t=1 | 2/A/3 | 1/A/3 | 88/A/3 | 1/A/3 1/D/3 | 1/A/3 | 30/A/3 73/D/3 | 1/A/3 1/D/3 | 1/A/3 | 48/A/3 48/D/3 |
| | t=2 | 3/A/3 | - | 108/A/3 | 1/A/3 1/D/3 | - | 30/A/3 73/D/3 | 1/A/3 1/D/3 | - | 48/A/3 48/D/3 |
| | t=3 | 3/A/3 | - | 108/A/3 | 1/A/3 1/D/3 | - | 30/A/3 74/D/3 | 1/A/3 1/D/3 | - | 48/A/3 48/D/3 |
| Toplam Depo Sayısı | | 8 | 1 | 304 | 6 | 1 | 310 | 9 | 1 | 303 |
| Atamalar | Depo1 → Tesis | A(2) → K(1) | A(2) → K(1) | A(2) → K(1) A(2) → W(4) | A(2) → K(1) A(2) → W(5) | A(2) → K(1) | A(2) → K(1) A(2) → W(5) W(6) | A(2) → K(1) A(2) → W(6) | A(2) → K(1) | A(2) → K(1) |
| | Depo2 → Tesis | | | | | D(3) → K(1) | D(3) → W(5) | D(3) → W(6) | D(3) → K(1) | D(3) → W(6) |
| | Depo 3 → Tesis | | | | | | B(4) → W(6) | B(4) → K(1) | B(4) → K(1) | B(4) → W(6) |
| Birlik Depo | | İ(2) → A(1) | İ(2) → A(1) | İ(2) → A(1) | İ(2) → A(1) | İ(2) → A(1) | İ(2) → A(1) | İ(2) → B(1) | İ(2) → A(1) | İ(2) → A(1) |

*K=Kırkkale A=Afyon D=Diyarbakır B=Balıkesir İ=İzmir W=Sanal depo şeklinde ifade edilmiştir.

Tablo 6. Depo yerlerinde dönemsel olarak açılacak-kapanacak depo sayıları
(Number of warehouses to be opened and closed periodically in warehouse locations)

| Depo | Kırşehir-Akçakent | Karaman-Sarıveliler | Batman-Kozluk | Muş-Bulanık | Siirt-Baykan | Erzurum-Çat | Erzurum-Olur | | | | | | | |
|-------------------------------|-------------------|---------------------|---------------|-------------|--------------|-------------|--------------|----|---|----|---|----|---|----|
| Düğüm | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | | | | | | | |
| Depo Tipi | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | | | | | | |
| t=1 Açılan | 1 | 42 | - | 25 | - | 89 | - | 55 | - | 24 | - | 25 | - | 25 |
| t=1 Kapanan | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Müh. Mik. (1/2/3) | 162412 | 94426 | 336155 | 207136 | 90649 | 94426 | 94426 | | | | | | | |
| t=2 Açılan | - | - | - | 7 | - | 12 | - | 11 | - | 3 | - | 2 | - | 3 |
| t=2 Kapanan | 1 | 6 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Müh. Mik. (1/2/3) | - | 26439 | 45324 | 41547 | 11331 | 7554 | 11331 | | | | | | | |
| t=3 Açılan | - | - | 1 | - | - | 5 | - | 10 | - | 3 | 1 | - | - | 3 |
| t=3 Kapanan | - | 23 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Müh. Mik. (1/2/3) | - | 3777 | 18855 | 37770 | 11331 | 3777 | 11331 | | | | | | | |
| t=4 Açılan | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| t=4 Kapanan | - | 13 | 1 | 32 | - | 106 | - | 76 | - | 30 | 1 | 27 | - | 31 |
| Müh. Mik. (1/2/3) | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Toplam Kullanılan Depo Sayısı | 1 | 42 | 1 | 32 | - | 106 | - | 76 | - | 30 | 1 | 27 | - | 31 |
| Toplam Depo İhtiyacı | 347 | | | | | | | | | | | | | |

depoya atanması sebebiyle birlik atanmamıştır. Buna benzer incelemeler ile mevcut depo yerlerinin etkinliği de sorgulanabilecektir.

Problemin çözümünde aday depo yerlerine açılan depo sayılarına bakıldığında toplam 347 adet deponun açıldığı görülmüştür. Bu depolardan 3 tanesi 2.tip geri kalan 344 adedi 3.tip depodur. Dönemsel olarak açılacak ve kapanacak depo sayıları Tablo 6'da gösterilmiştir.

Bu örnekte depolardaki mühimmat miktarı tesis kapasitesinin üzerinde olduğundan aday depo yerlerinde her dönemde depoların açıldığı ve dönem sonunda da belli miktarda mühimmatın kaldığı görülmüştür. Örneğin, Kırşehir deposunda t=1 için 42 tane 3.tip ve 1 tane 2.tip depo olmak üzere toplam 43 deponun açıldığı görülmüştür. 3.tip deponun kapasitesinin yüksek olması ve daha maliyet etkin olmasından dolayı çoğunlukla bu depo tipi açılırken artakalan az miktardaki mühimmat için daha ekonomik olan 2.tip depodan ilk dönemde 1 tane açılmıştır. Model, depolama ihtiyacını karşıladığı durumda mühimmatı depolamak için daha ucuz olan 2.tip depoyu da açmaktadır. Kırşehir'deki depo tesise en yakın ve dolayısıyla taşıma maliyeti en düşük depo olduğundan tesise olan mühimmat akışında öncelik bu depodan olmaktadır. Bu nedenle ilk dönemde açılan 42 depoya olan ihtiyaç 2. ve 3. dönemlerde mühimmatın tesise gönderilmesinden dolayı azalmaktadır. Bunun sonucu olarak açılan depolardan 7 tanesi t=2'de, 23 tanesi de t=3'te ve 13 tanesi de t=4'te kapatılmıştır. Bu sonuç, dönemsel olarak depo ihtiyacının analiz edilerek her depo bölgesine dönem bazında kurulması gereken depo sayılarını doğru şekilde hesaplandığını göstermektedir. Diğer taraftan tesise hiç mühimmat sevkiyatı yapmayan Muş deposunda t=1 için 55, t=2 için 11, t=3 için 10 olmak üzere toplam 76 adet 3.tip depo açılmıştır. Muş'ta her dönem kullanım dışına çıkarılan mühimmat olduğundan sürekli bir birikim olmakta ve bu nedenle de her dönem ilave depo açılarak ihtiyaç karşılanmaktadır. Tesise akışın olmadığı veya az olduğu yerlerde depo sayıları artmakta, akışın çok olduğu yerlerde ise azalmaktadır. Ayrıca, geliştirilen matematiksel model ile Türkiye genelinde bir uygulama yapılmış 1 tesis 27 depo ve 49

birlikten oluşan probleme ait sonuçlar elde edilmiştir. Ancak problemin bu hali gerçek hayat problemine daha yakın olduğu dolayısıyla stratejik seviye bilgi içerdiği ve bir makalede ifade edilemeyecek sayıda harita, tablo ve detaylı bilgi ve varsayım barındırması nedeniyle paylaşılabilir. Türkiye geneli büyüklüğündeki problem için literatürde olduğu gibi sezgisel algoritmalar ile çözüm aranması planlanmaktadır [62, 63].

6. Sonuçlar (Conclusions)

Günümüzde, özellikle sıcak çatışma durumları için stoklanan, Silahlı Kuvvetler açısından da vazgeçilmez bir kavram olan mühimmatın insana ve çevreye zarar vermeden geri dönüştürülmesi birçok gelişmiş ülkenin üzerinde durduğu önemli bir konudur. Yapılan bu çalışma ile literatürde bugüne kadar ele alınmamış bir problem sahasına yoğunlaşmış ve mühimmatın geri dönüşümünde önem taşıyan birçok konu bir arada değerlendirilmiştir. Bunlardan ilki, geri dönüşüm tesisi kapasite analizi olmuştur. Yıllardır biriken ve kullanım ömrünü doldurduktan sonra geri dönüşüme gönderilecek mühimmatın ömür devri içinde geri dönüşümünü tamamlayacak bir tesis kapasitesinin hesaplanmasına yönelik analitik bir bakış açısı ortaya konmuştur. Bu sayede gereksiz mühimmat birikimlerinin önüne geçilerek depo ihtiyacı azaltılmıştır. Mühimmat depo yerlerinin taşıdığı büyük riskler sebebiyle, olası patlama durumunda oluşacak etkiyi ve kaza oluşma ihtimalini en aza indirecek çeşitli kriterlere göre belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. İkinci adımda, literatürde yapılan çalışmalarda belirlenmiş olan tehlikeli madde TYS kriterlerinden mühimmat deposu yer seçiminde kullanılacak kriterler belirlenmiştir. Belirlenen kriterler CBS'de analiz edilerek, bu kriterleri sağlayan ilçeler tespit edilmiş ve yapılan analizin sonucunda depo yerlerinin ilçe bazında nerelere kurulabileceği gösterilmiştir. Üçüncü adım olarak; depoların nerelere açılacağı, her depo bölgesinde belirli periyotlar içerisinde kaç deponun kullanılacağı, hangi depoya hangi birliklerin atanacağı ve tesise hangi depodan hangi dönemde ne kadar mühimmat sevk edileceğini, toplam maliyetleri minimum yapacak şekilde karar veren matematiksel model geliştirilmiştir. Geliştirilen model küçük ve büyük farklı

senaryolarda analiz edilmiştir. Askeri alanda tersine lojistik kapsamında mühimmat depo yerini ve sayısını belirleme konusunda literatürde benzer bir çalışmaya rastlanmamıştır. Çalışmada TYS probleminin karakteristiğine uygun CBS ve matematiksel modellemenin kullanıldığı özgün bir metodoloji önerilmiştir. Matematiksel modelde dikkate alınması mümkün olmayan bazı kriterler CBS’de incelenerek, optimal çözüme etki etmesi sağlanmıştır. Geliştirilen model sayesinde mühimmat depo yerlerinin etkinliği ile depo ihtiyacı analizi yapılabilmekte ve uzun dönem için gerekli depo sayıları elde edilebilmektedir. Literatürde yapılmış olan çalışmaların büyük bir bölümünde dönemsel farklılıklar ele alınmamışken, bu çalışmada geliştirilen modelde dikkate alınmıştır. Bu sayede herhangi bir t dönemli stratejik planlamanın da bilimsel modellerle yapılmasına imkân tanınmıştır. Benzer şekilde çalışmalar literatürde ağırlıklı olarak iki seviyeli (dağıtım noktası-müşteri, müşteri-servis noktası vb.) olarak incelenirken, bu çalışmada üç seviyeli (tesis-depo-birlik) problem ele alınmıştır. Ayrıca, stratejik seviye uzun dönemli depo ihtiyacı ortaya konulurken dönem sonlarında oluşacak stok miktarlarının takip edilmesine de imkân sunulmaktadır. Sonuç olarak bu çalışmanın özgün yönleri şu şekilde sıralanabilir; i) Literatürde belirlenmiş olan depo yer seçimi kriterleri ile özellikle tehlikeli madde deposu seçim kriterleri dikkate alınarak mühimmat deposu için aday depo yerleri seçim kriterleri belirlenmiştir. ii) Problemin sahip olduğu özellikler, geri dönüşüm tesisi kapasite tayini, CBS’nin aday yerleri belirlemede kullanılması, oluşturulan yer seçimi ve atama modeli ile literatüre önemli katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir. iii) Literatürde tersine lojistik kapsamında mühimmatın geri dönüşümünü ele alan bir çalışmaya rastlanmadığından diğer çalışmalardan ayrılmaktadır.

Gelecek çalışmalarda, depolarda ve birliklerde oluşan kullanım ömrü dolan mühimmatın stokastik olarak belirlenebileceği, mühimmat geri dönüşüm kararının belli bir dağılıma uyduğu, TYS için aday yerlerin ÇKKV gibi alternatif yöntemlerle tespit edildiği yaklaşımlar da ele alınabilir. Geliştirilen metodolojinin farklı alanlardaki çok düğümlü, dönemsellik boyutu geniş ve ürün çeşidinin fazla olduğu uygulamalarda problemin çözümü fazla zaman alacağından sezgisel yöntemlere de başvurulabilir. CBS sonuçları ile GAMS üzerinde kodlanan programın Microsoft Excel-VBA veya başka bir yazılım programıyla entegre olacak şekilde bir ara yüz tasarımı yapılabilir. Ayrıca ortaya konan metodoloji, tersine veya ileri lojistik gibi farklı sektörlere ait TYS problemlerinde en iyi yerleri belirlemek için uygulanabilir.

Kaynaklar (References)

- Owen S. H., Daskin M. S., Strategic Facility Location: A Review. *European Journal of Operational Research*, 111 (3), 423-447, 1998.
- Kuby M. J., Programming Models for Facility Dispersion: The P-Dispersion and Maxisum Dispersion Problems. *Geographical Analysis*, 19, 315-329, 1987.
- Erkut E., Neuman S., Comparison of Four Models for Dispersing Facilities. *Industry Specific Business Applications*, 29 (2), 68-86, 1990.
- Nato International Staff – Defence Investment Division, Manual of nato safety principles for the storage of military ammunition and explosives. <http://www.rasrinitiative.org/pdfs/AASTP-1-Ed1-Chge-3-Public-Release-110810.pdf>. Yayın tarihi Mayıs 2010. Erişim tarihi Ağustos 2, 2023.
- Akar O. Mühimmat Kaza Nedenlerinin İncelenmesi ve Mühimmatın Depolanmasında Risk Değerlendirmesi. Yayınlanmamış Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kazaların Çevresel ve Teknik Araştırması Anabilim Dalı, Ankara, 2018.
- Daskin M. S. *Network and Discrete Location: Models, Algorithms and Applications*. New York: John Wiley and Sons, Inc, 1-28, 1995.
- Klose A., Drexl A., Facility Location Models for Distribution System Design. *European Journal of Operational Research*, 162 (1), 4-29, 2005.
- Arabani A., Farahani R. Z., Facility Location Dynamics: An Overview of Classifications and Applications. *Computers and Industrial Engineering*, 62 (1), 408-420, 2012.
- ReVelle C. S., Eiselt H. A., Daskin M. S., A Bibliography for Some Fundamental Problem Categories in Discrete Location Science. *European Journal of Operational Science*, 184 (3), 817-848, 2008.
- Bastı M., P-Medyan Tesis Yeri Seçim Problemi ve Çözüm Yaklaşımları. *Online Academic Journal of Information Technology*, 3 (7), 47-75, 2012.
- Ağdaş M., Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Lojistik Tesis Yer Seçimi: Kamu Sektöründe Bir Uygulama. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Kara Harp Okulu Savunma Bilimleri Enstitüsü Tedarik ve Lojistik Yönetimi Ana Bilim Dalı, Ankara, 2014.
- Chou T., Hsu C., Chen M., A Fuzzy Multicriteria Decision Model for International Tourist Hotels Location Selection. *International Journal of Hospitality Management*, 27 (2), 293-301, 2008.
- Farahani R. Z., Hekmatfar M., *Facility Location: Concepts, Models, Algorithms and Case Studies*. Contribution to Management Science, New York: Springer, 219-220, 2009.
- Shahparvari S., Nasirian A., Mohammadi A., Noori S., Chhetri P., A Geographic Information System (GIS)-Linear Programming (LP) Integrated Approach for the Logistics Hub Location Problem. *Computers and Industrial Engineering*, 146, 106488, 2020.
- Alizadeh B., Afrashteh E., Budget-Constrained Inverse Median Facility Location Problem on Tree Networks. *Applied Mathematics and Computation*, 375, 125078, 2020.
- Ashrafzadeh M., Rafiei F.M., Isfahani N. M., Zare Z., Application of fuzzy TOPSIS method for the selection of Warehouse Location: A Case Study. *Interdisciplinary journal of contemporary research in business*, 3 (9), 655-671, 2012.
- Chukwuma E., Facility Location Allocation Modelling for Bio-Energy System in Anambra State of Nigeria: Integration of Geographic Information System (GIS) and Location Model. *Renewable Energy*, 141, 460-467, 2019.
- Abareshi M., Zaferanieh M., A Bi-Level Capacitated P-Median Facility Location Problem with the Most Likely Allocation Solution. *Transportation Research Part B: Methodological*, 123, 1-20, 2019.
- Colson G., Dorigo F., A public warehouses selection support system, *European Journal of Operational Research*, 153 (2), 332-349, 2004.
- Verma M., Verter V., A Lead-Time Based Approach for Planning Rail-Truck Intermodal Transportation of Dangerous Goods. *European Journal of Operational Research*, 202 (3), 696-706, 2010.
- Jeong J. S., Ramirez-Gomez A., Renewable Energy Management to Identify Suitable Biomass Facility Location with Geographic Information System (GIS)-Based Assessment for Suitable Environment. 4th International Conference on Energy and Environment Research, 2017, Porto, Portugal: Energy Procedia, 136, 139-144, 2017.
- Gezer M., Optimal Stationing of United States (US) Army Forces in Korea, Master’s Thesis, Naval Postgraduate School Department of Operations Research, Monterey, 2001.
- Gue K.R., A Dynamic Distribution Model for Combat Logistics. *Computers and Operations Research*, 30 (3), 367-381, 2003.
- Bell J. E., A Simulated Annealing Approach for the Composite Facility Location and Resource Allocation Problem: A Study of Strategic Positioning of United States (US) Air Force Munitions. Master’s Thesis, Naval Postgraduate School Monterey, California, 2003.
- Çağrıncı H., Determining the Optimal Locations of Munitions’ Warehouse of the Multiple Launch Rocket Systems with Genetic Algorithms, Master’s Thesis, Turkish Army Military Academy, Ankara, 2007.
- Lenhardt T. A., Evaluation of A United States Marine Corps (USMC) Combat Service Support Logistics Concept. *Mathematical and Computer Modelling*, 44 (3), 368-376, 2006.
- Şahin G., Süral H., A Review of Hierarchical Facility Location Models. *Computers and Operations Research*, 34 (8), 2310-2331, 2007.
- Army Logistician., A Lean Six Sigma Analysis. *Army Logistician*, 40 (3), 43, 2008.
- Overholts II D.L., Bell J., Arostegui M.A., A Location Analysis Approach for Military Maintenance Scheduling with Geographically Dispersed Service Areas. *Omega*, 37 (4), 838-852, 2009.
- Toyoğlu H., Karasan O., Kara B., Distribution Network Design on the Battlefield. *Naval Research Logistics*, 58 (3), 188-209, 2011.

31. Erdal H., Mühimmat Dağıtım Ağı Optimizasyonu, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Kara Harp Okulu, Savunma Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2014.
32. North J., Miller F. L., Facility Location Using Geographic Information System (GIS) Enriched Demographic and Lifestyle Data for A Traveling Entertainment Troupe in Bavaria, Germany, *Decision Support Systems*, 99, 30-36, 2017.
33. Akgün İ., Erdal H., Solving An Ammunition Distribution Network Design Problem Using Multiobjective Mathematical Modeling, Combined Analytic Hierarchy Process (AHP)-The Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) and Geographic Information System (GIS), *Computers and Industrial Engineering*, 129, 512-528, 2019.
34. Devenci M. Özcan E., John R., Pamucar D., Karaman H., Offshore wind farm site selection using interval rough numbers based Best-Worst Method and MARCOS. *Applied Soft Computing*, 109, 107532, 2021.
35. Dağıstanlı H. A., Üstün Ö., An integrated Multi-Criteria Decision Making and Multi-Choice Conic Goal Programming approach for customer evaluation and manager assignment. *Decision Analytics Journal*, 100270, 2023.
36. Erdal H., Kurtay K.G., Dağıstanlı H.A., Altundas A., Evaluation of Anti-Tank Guided Missiles: An integrated Fuzzy Entropy and Fuzzy CoCoSo multi criteria methodology using technical and simulation data. *Applied Soft Computing*, 137, 110145, 2023.
37. Dinler, E., Atalay, K.D., İc, Y.T., An intuitionistic fuzzy linear mathematical model to determine the hybrid manufacturing system's optimal operation condition. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 124, 106519, 2023.
38. Saraçoğlu İ., Dağıstanlı H.A., Tedarikçi Seçiminde Bulanık Mantık-AHP ve VIKOR Yönteminin Bağlantı Elemanları Firmasında Uygulanması. *Journal of Yasar University*, 12, 40-54, 2017.
39. Ünlü A., Gezmişoğlu G., Çağil G., Supplier evaluation with factor analysis based hybrid SWARA-VIKOR methods, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 38 (4), 2231-2240, 2023.
40. İc Y.T., Yurdakul M., Analysis of the effect of the number of criteria and alternatives on the ranking results in applications of the multi criteria decision making approaches in machining center selection problems, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 35 (2), 991-1002, 2019.
41. Yerlikaya M.A., Arıkan F., An integrated model for production planning and class based storage location assignment problem in order picking systems, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 37 (3), 1703-1712, 2022.
42. Dağıstanlı, H. A.. An integrated fuzzy MCDM and trend analysis approach for financial performance evaluation of energy companies in Borsa Istanbul sustainability index. *Journal of Soft Computing and Decision Analytics*, 1 (1), 39-49, 2023.
43. Uslu T., Can G., Kiliç Delice E., A new multidimensional process type FMEA approach: Defense and aerospace industry application, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 37 (3), 1411-1426, 2022.
44. Erdogan S., Bektas A., Ergezer H., Development of air-to-ground engagement analysis model of fighter aircrafts, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 37 (4), 2225-2239, 2022.
45. Dağıstanlı, H. A.. An interval-valued intuitionistic fuzzy VIKOR approach for R&D project selection in defense industry investment decisions. *Journal of Soft Computing and Decision Analytics*, 2 (1), 2023.
46. Beğenirbaş, M., Kurtay, K. G., Dağıstanlı, H. A., Altundas, A.. Savunma Tedarik Sürecinde Çalışanlarda Etkili Kriterlerin Önemlilik Düzeyinin Bulanık Dematel Yöntemleriyle Belirlenmesi, *Savunma Bilimleri Dergisi*, 2 (43), 269-294, 2023.
47. Dağıstanlı, H. A.. Çok ürünlü çok depolu araç rotalama problemi: askeri ilaç fabrikası örneği, *Politeknik Dergisi*, 1-1, 2023.
48. Özdemir, Z., İc, Y.T., Multi-objective deployment model for regional air defense. *Soft Computing*, 27 (11), 7321-7335, 2023.
49. Gebennini E., Gamberini R., Manzini R., An Integrated Production-Distribution Model for the Dynamic Location and Allocation Problem with Safety Stock Optimization. *International Journal of Production Economics*, 1, 286-304, 2009.
50. Sozen L., Yurdakul M., İc, Y., Determination of periodic inspection time in pressurized equipment exposed to fatigue by estimating the probability of fracture, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 36 (4), 1977-1992, 2021.
51. Gil-García I. C., Ramos-Escudero A., García-Cascales M. S., Dagher H., Molina-García A., Fuzzy GIS-based MCDM solution for the optimal offshore wind site selection: The Gulf of Maine case. *Renewable Energy*, 183, 130-147, 2022.
52. Shao M., Zhao Y., Sun J., Han Z., Shao Z., A decision framework for tidal current power plant site selection based on GIS-MCDM: A case study in China. *Energy*, 262, 125476, 2023.
53. Eldamaty T., Ahmed A. G., Helal M. M., GIS-Based Multi Criteria Analysis for Solar Power Plant Site Selection Support in Mecca. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 13 (3), 10963-10968, 2023.
54. Dağıstanlı, H.A., Kurtay, K.G.. Facility Location Selection for Ammunition Depots based on GIS and Pythagorean Fuzzy WASPAS. *Journal of Operations Intelligence*, 2 (1), 2024.
55. Şahin E.K., Perakende Marketlerin Yer Seçimine Yönelik Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) Uygulaması, III.Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu, Gebze, Kocaeli, Ekim, 2010.
56. Akyol A., Nükleer, Biyolojik ve Kimyasal Korunma Donanımı Depolarının Yerlerinin Matematiksel Modelleme ile Tespiti. Yüksek Lisans Tezi, Kara Harp Okulu Savunma Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2003.
57. Altuntaş A., Dağıtık Yerleşkeli Patlayıcı Madde Depo Yer Seçimi ve Uygulanması. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tedarik ve Lojistik Yönetimi Anabilim Dalı, Ankara, 2017.
58. Ramshani M., Ostrowski J., Zhang K., Li, X., Two Level Uncapacitated Facility Location Problem with Disruptions. *Computers and Industrial Engineering*, 137, 106089, 2019.
59. Abareshi M., Zaferanich M., A Bi-Level Capacitated P-Median Facility Location Problem with the Most Likely Allocation Solution. *Transportation Research Part B: Methodological*, 123, 1-20, 2019.
60. Vasileiou M., Loukogeorgaki E., Vagiona D. G., GIS-based multi-criteria decision analysis for site selection of hybrid offshore wind and wave energy systems in Greece, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 73, 745-757, 2017.
61. AASTP, N., Manual of NATO safety principles for the storage of military ammunition and explosives. *Ammunition Safety Group, NATO*, 588, 2010.
62. Özkiş A., Karakoyun M., A binary Jaya algorithm with selection-based local search mechanism for large-scale optimization problems, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 38 (4), 2435-2450, 2023.
63. Demir Y., Keskin M.E., An effective heuristic for the two-level vendor-managed inventory problem in a supermarket chain, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 38 (3), 1893-1906, 2023.

