



**YER SEÇİMİ VE ARAÇ ROTALAMA
PROBLEMİ: TIBBİ CİHAZ SEKTÖRÜ İÇİN
BİR UYGULAMA ÖNERİSİ**

Mehmet KIZILBOĞA

**Yüksek Lisans Tezi
Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Doç. Dr. Elif KILIÇ DELİCE**

2022

(Her hakkı saklıdır.)

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**YER SEÇİMİ VE ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ: TIBBİ CİHAZ SEKTÖRÜ İÇİN
BİR UYGULAMA ÖNERİSİ**

(Location and Vehicle Routing Problem: For The Medical Device Industry an Application
Proposal)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet KIZILBOĞA

Danışman: Doç. Dr. Elif KILIÇ DELİCE

Erzurum
Eylül, 2022

KABUL VE ONAY TUTANAĞI

Mehmet KIZILBOĞA tarafından hazırlanan “Yer Seçimi ve Araç Rotalama Problemi: Tıbbi Cihaz Sektörü İçin Bir Uygulama Önerisi” başlıklı çalışması 05 / 09 / 2022 tarihinde yapılan tez savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Endüstri Mühendisliği Bilim Dalında yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı: Prof.Dr. İsmail KARAOĞLAN
Konya Teknik Üniversitesi

Aslı Islak İmzalıdır

Danışman: Doç. Dr. Elif KILIÇ DELİCE
Atatürk Üniversitesi

Aslı Islak İmzalıdır

Jüri Üyesi: Dr. Öğr. Üyesi Yeşim OK
Atatürk Üniversitesi

Aslı Islak İmzalıdır

Bu tezin Atatürk Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği’nin ilgili maddelerinde belirtilen şartları yerine getirdiğini onaylarım.

Prof. Dr. Saltuk BUĐRAHAN CEYHUN
Enstitü Müdürü
Aslı Islak İmzalıdır

Bu çalışma Atatürk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) kapsamında desteklenmiştir.

Proje No:FYL-2022-10853

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildiriş, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU

Yüksek Lisans Tezi olarak Doç. Dr. Elif KILIÇ DELİCE danışmanlığında sunulan “Yer Seçimi ve Araç Rotalama Problemi: Tıbbi Cihaz Sektörü İçin Bir Uygulama Önerisi” başlıklı çalışmanın tarafımızdan bilimsel etik ilkelere uyularak yazıldığını, yararlanılan eserlerin kaynakçada gösterildiğini, Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından belirlenmiş olan Turnitin Programı benzerlik oranlarının aşılmadığını ve aşağıdaki oranlarda olduğunu beyan ederiz.

Tez Bölümleri	Tezin Benzerlik Oranı (%)	Maksimum Oran (%)
Giriş	10	30
Kuramsal Temeller	15	30
Materyal ve Yöntem	27	35
Araştırma Bulguları ve Tartışma	9	20
Sonuçlar ve Öneriler	0	20
Tezin Geneli	15	25

Not: Yedi kelimeye kadar benzerlikler ile Başlık, Kaynakça, İçindekiler, Teşekkür, Dizin ve Ekler kısımları tarama dışı bırakılabilir. Yukarıdaki azami benzerlik oranları yanında tek bir kaynaktan olan benzerlik oranlarının %5'den büyük olmaması gerekir.

Beyan edilen bilgilerin doğru olduğunu, aksi halde doğacak hukuki sorumlulukları kabul ve beyan ederiz.

Tez Yazarı(Öğrenci)	Tez Danışmanı
Mehmet KIZILBOĞA 05/09/2022	Doç. Dr. Elif KILIÇ DELİCE 05/09/2022
İmza: Aslı ıslak imzalıdır	İmza: Aslı ıslak imzalıdır

* Tez ile ilgili YÖKTEZ’de yayımlamasına ilişkin bir engelleme var ise aşağıdaki alanı doldurunuz.

☐ Tezle ilgili patent başvurusu yapılması / patent alma sürecinin devam etmesi sebebiyle Enstitü Yönetim Kurulunun/....../.... tarih vesayılı kararı ile teze erişim 2 (iki) yıl süreyle engellenmiştir.

☐ Enstitü Yönetim Kurulunun/....../.... tarih vesayılı kararı ile teze erişim 6 (altı) ay süreyle engellenmiştir.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca; bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan ve desteğini hiç esirgemeyen değerli danışman hocam Sayın Doç. Dr. Elif KILIÇ DELİCE' ye sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım. Değerli katkılarından dolayı Sayın Prof.Dr. İsmail KARAOĞLAN'a çok teşekkür ederim. Ayrıca tez çalışmalarım sürecinde bilgi ve tecrübesini benimle paylaşan Elektrik Elektronik Müh. Fuat BOĞATEKİN'e teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmam boyunca motivasyonuma katkı sağlayan, gösterdiği sabır ve anlayışı dolayısıyla eşim Zehra KIZILBOĞA'ya, kendilerine yeteri oyun vakti ayıramadığım çocuklarım Ömer ve Ali Osman'a sevgilerimi sunar teşekkür ederim.

Uygulama çalışmasının yapılması için gerekli izinleri ve desteği vermeleri nedeniyle Bingöl Devlet Hastanesi yöneticilerine ve Bingöl İl Sağlık Müdürlüğü'ne teşekkür ederim.

Bu tez çalışması Atatürk Üniversitesi FYL-2022-10853 nolu proje ile Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince desteklenmiştir.

Mehmet KIZILBOĞA

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YER SEÇİMİ VE ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ: TIBBİ CİHAZ SEKTÖRÜ İÇİN BİR UYGULAMA ÖNERİSİ

Mehmet KIZILBOĞA

Danışman: Doç. Dr. Elif KILIÇ DELİCE

Amaç: Sağlık hizmetlerinde hastalıkların teşhis ve tedavilerinde kullanılan en önemli kaynaklardan biri de tıbbi cihazlardır. Tıbbi cihaz arızalanma durumlarında onarım süresinin gecikmesi hayati derecede problemlere yol açabilmektedir. Tıbbi cihaz onarım sürelerinin uzun olmasının en önemli nedenlerinden biri sağlık tesislerinde istihdam edilen nitelikli personel eksikliği ve yedek parça tedarikinde yaşanan sıkıntılardır. Söz konusu problemlere çözüm bulmak amacıyla bu tez kapsamında bir çözüm önerisi sunulmuştur.

Yöntem: Tıbbi cihazların onarım ve bakımlarının etkin bir şekilde yapılabilmesi için Yer Seçimi ve Araç Rotalama Problemi ele alınmış ve üç aşamalı bir çözüm yaklaşımı sunulmuştur. İlk aşamada, Sağlık Bakanlığına bağlı bir Tıbbi Cihaz Bakım-Onarım ve Eğitim Merkezi (TCBOEM)'nin kurulması önerilmekte ve TCBOEM'nin kapsam ve faaliyetleri belirlenmektedir. İkinci aşamada TCBOEM'nin yer seçimi konusu ele alınmaktadır. ÇKKV (Çok Kriterli Karar Verme) yöntemlerinden CRITIC (Criteria Importance Through Intercriteria Correlation) yöntemi kullanılarak merkezin yer seçiminde kullanılan kriter ağırlıkları belirlenmekte daha sonra merkezin kurulması için en uygun şehir TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solutions) yöntemi kullanılarak ortaya çıkarılmaktadır. Üçüncü aşamada; diğer 80 ildeki hurda cihazların en uygun rotalarla söz konusu merkeze taşınması için Kapasiteli Araç Rotalama Problemi ele alınmıştır. Çözüm için meta-sezgisel algoritmalarından Tavlama Benzetimi algoritması kullanılarak en uygun araç rotaları bulunmuştur.

Bulgular: TCBOEM'in yer seçimi için en önemli kriter “Üniversite Biyomedikal Mühendisi/ Teknikeri Sayısı” ve en az önemli kriter “Ulaşım Durumu” kriteri olarak belirlenirken; merkezin kurulması için 7 alternatif şehir içinden en uygun şehir Ankara olarak ortaya çıkmıştır. Diğer 80 ildeki hurda cihazın Ankara'ya taşınması için en kısa mesafeli tur toplamı 11909 km olarak bulunmuştur.

Sonuç: Önerilen çözüm yaklaşımının uygulanması ile tıbbi cihaz bakım onarım süreçlerine önemli katkılar sağlanacağı, tıbbi cihaz hurdalarından faydalanarak yedek parça problemlerine çözüm bulunabileceği ve önemli miktarda ekonomik getiri sağlanacağı düşünülmektedir. Arızalı cihazların onarımı için bir çözüm yaklaşımı sunan bu tez çalışması ulusal literatürdeki bu konuda yapılan ilk çalışma olmakla birlikte uluslararası literatüre çözüm yaklaşımı bakımından katkı sağlayacak bir çalışma niteliğindedir.

Anahtar Kelimeler: Yer Seçimi ve Araç Rotalama Problemi, Tıbbi Cihaz Hurdası, Tavlama Benzetimi, CRITIC, TOPSIS

Eylül 2022, 66 sayfa

ABSTRACT

MASTER THESIS

LOCATION SELECTION AND VEHICLE ROUTING PROBLEM: AN APPLICATION PROPOSAL FOR THE MEDICAL DEVICE INDUSTRY

Mehmet KIZILBOĞA

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Elif KILIÇ DELİCE

Purpose: One of the most important resources used in the diagnosis and treatment of diseases in health services is medical devices. In cases of medical device malfunctions, the delay in the repair period can cause life-threatening problems. One of the most important reasons for the long medical device repair times is the lack of qualified personnel employed in healthcare facilities and the problems experienced in the supply of spare parts. In order to find solutions to these problems, a solution proposal is presented within the scope of this thesis.

Method: Location Selection and Vehicle Routing Problem has been handled and a three-stage solution approach has been presented in order to perform the repair and maintenance of medical devices effectively. In the first stage, it is recommended to establish a Medical Device Maintenance-Repair and Training Center (MDMRTC) affiliated to the Ministry of Health and the scope and activities of MDMRTC are determined. In the second stage, the issue of location selection of MDMRTC is discussed. The criteria weights used in the location selection of the center are determined by using the CRITIC (Criteria Importance Through Intercriteria Correlation) method, one of the MCDM (Multi-Criteria Decision Making) methods, and then the most suitable city for the establishment of the center is determined using the TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solutions) method. In the third stage; The Capacity Vehicle Routing Problem has been discussed in order to transport the scrap devices in the other 80 provinces to the said center with the most appropriate routes. For the solution, the most suitable vehicle routes were found by using the Annealing Simulation algorithm, one of the meta-heuristic algorithms.

Findings: While the most important criterion for the location selection of MDMRTC is "Number of University Biomedical Engineers / Technicians" and the least important criterion is "Transportation Status"; Ankara emerged as the most suitable city among 7 alternative cities for the establishment of the center. The shortest tour total for the transport of scrap equipment from other 80 provinces to Ankara was found to be 11909 km.

Results: It is thought that with the implementation of the proposed solution approach, significant contributions will be made to the medical device maintenance and repair processes, a solution to spare part problems can be found by making use of medical device scraps, and a significant amount of economic return will be provided. This thesis study, which offers a solution approach for the repair of defective devices, is the first study in the national literature on this subject, and it is a study that will contribute to the international literature in terms of solution approach.

Keywords: Location Selection and Vehicle Routing Problem, Medical Device Scrap, Annealing Simulation, TOPSIS, CRITIC

September 2022, 66 pages

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY TUTANAĞI.....	i
ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
TABLolar DİZİNİ.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	x
GİRİŞ.....	1
Tıbbi Cihaz Bakım ve Onarım Süreçlerinde Karşılaşılan Başlıca Problemler	3
Tıbbi Cihaz Bakım ve Onarım Süreçlerinin İyileştirilmesi için Bir Çözüm Yaklaşımı Önerisi.....	8
KURAMSAL TEMELLER.....	9
Tıbbi Cihaz Bakım ve Onarımı ile ilgili çalışmalar	9
YSARP ile İlgili Çalışmalar.....	11
TB Algoritması ile İlgili Çalışmalar	13
TOPSIS Yöntemi ile İlgili Çalışmalar	16
CRITIC Yöntemi ile İlgili Çalışmalar.....	18
MATERYAL VE METOT.....	19
CRITIC Yöntemi.....	19
TOPSIS Yöntemi	21
ARP ve Çözüm Yaklaşımları	23
Tavlama Benzetimi.....	24
TB algoritması.....	25
Tıbbi Cihazların Bakım-Onarım Faaliyetleri için Önerilen Çözüm Yaklaşımı	28
Aşama 1. TCBOEM'nin kuruluşu	28
Aşama 2. CRITIC ve TOPSIS yöntemleri ile TCBOEM için yer seçimi.....	28
Aşama 3. ARP probleminin çözümü.....	29
Matematiksel formülasyon.....	29
ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	31
Önerilen Çözüm Yaklaşımının Uygulanması	31
Aşama 1. TCBOEM'nin Kurulması, Kapsam ve Faaliyetlerinin Belirlenmesi	31

Aşama 2. CRITIC ve TOPSIS Yöntemleri ile TCBOEM'nin Yer Seçimi	32
Adım 1. CRITIC yöntemi ile kriter ağırlıklarının bulunması.	32
Adım 2. TOPSIS yöntemi ile TCBOEM için yer seçimi	35
Aşama 3. TCBOEM'ne tıbbi cihaz hurdalarının taşınması için araç rotalarının TB ile bulunması	37
Tartışma.....	43
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	46
KAYNAKÇA	48
ÖZGEÇMİŞ.....	54



TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Kamu Sağlık Tesisleri Cihaz ve Alet Yedek Parça Alımları (Ünv. Hastaneleri Hariç).....	5
Tablo 2. Kamu Hastanelerinin Yıllara Göre Hurda Miktarı (Üniversite Hastaneleri Hariç).....	7
Tablo 3. Farklı Cihazlarda Kullanılan Aynı Yedek Parçalar.....	7
Tablo 4. TOPSIS Yönteminin Yer Seçimi Problemlerinde Kullanıldığı Bazı Çalışmalar	17
Tablo 5. CRITIC Yönteminin Kullanıldığı Bazı Çalışmalar	18
Tablo 6. ARP Çözüm Yöntemleri.....	24
Tablo 7. Kullanılan Kriterler ve Veri Seti Kaynakları.....	33
Tablo 8. Karar Matrisi	34
Tablo 9. Normalize Karar Matrisi.....	34
Tablo 10. İlişki Karar Matrisi	34
Tablo 11. Standart Sapmalar ve C_j Değerleri	35
Tablo 12. Kriter Ağırlıkları.....	35
Tablo 13. Normalize Karar Matrisi.....	35
Tablo 14. Ağırlıklandırılmış Karar Matrisi.....	36
Tablo 15. Pozitif ve Negatif İdeal Çözümler	36
Tablo 16. Uzaklık Değerleri	36
Tablo 17. İdeal Çözüme Göreli Yakınlıklar ve Alternatif Sıralaması	37
Tablo 18. Örnek Tıbbi Cihaz Hacim Ölçüleri	37
Tablo 19. İllerin Enlem/Boylam ve Talep Değerleri	38
Tablo 20. Mesafe Matrisi Deneme 10 İl	40
Tablo 21. 10 İl için Çözüm Sonuçları	40
Tablo 22. Parametre Setine Göre Elde Edilen Çözümler	42
Tablo 23. Hurda Cihazlardan Sökülen Yedek Parçalar Kullanılarak Onarılan Cihazlar.....	44
Tablo 24. Senaryolara Göre Tıbbi Cihaz Hurdalarından Elde Edilecek Ekonomik Getiri.....	45

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Örnek tıbbi cihaz iç aksam görüntüleri	6
Şekil 2. Tavlama benzetimi algoritmasının temel işleyişi.....	25
Şekil 3. Çözüm yaklaşımı akış diyagramı	28
Şekil 4. Web uygulaması görünümü	32
Şekil 5. Bakım-onarım merkezi için alternatif şehirler	33
Şekil 6. Deneme çözüme göre en uygun rotalar.....	41
Şekil 7. En uygun araç rotaları	42



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

J	: Araç sayısı
I	: Şehir sayısı
C	: Araç kapasitesi
d_{ij}	: i şehrinden j şehrine uzaklık
r_i	: i .şehrin talep miktarı
$\mathcal{C}$	: Başlangıç çözümü
$\mathcal{C}^l$	: Komşu çözüm
Δ	: Komşu çözüm değeri ile başlangıç çözüm değeri farkı
T_B	: Başlangıç sıcaklığı
P_a	: Kötü çözüm kabul olasılığı
rs	: 0 ile 1 arasında üretilen rassal sayı
R	: Soğutma katsayısı

Kısaltmalar

ARP	: Araç Rotalama Problemi
CRITIC	: Criteria Importance Through Intercriteria Correlation
ÇKKV	: Çok Kriterli Karar Verme
KARP	: Kapasiteli Araç Rotalama Problemi
TB	: Tavlama Benzetimi
TCBOEM	: Tıbbi Cihaz Bakım Onarım Eğitim Merkezi
TOPSIS	: Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solutions
YSARP	: Yer Seçimi Araç Rotalama Problemi

GİRİŞ

Sağlık sektöründe hastalıkların teşhis ve tedavilerinde yoğun olarak kullanılan tıbbi cihazların önemi yadsınamaz bir gerçektir. Bir hastanın tedavi olmak için sağlık kuruluşuna başvurusu durumunda ilgili hekim teşhisi koymak ve gerekli tedaviyi vermek için genellikle tıbbi cihazları kullanmaktadır. 7 Haziran 2011 tarih ve 27957 sayılı Sağlık Bakanlığı Tıbbi Cihaz Yönetmeliği'ne göre tıbbi cihaz tanımı şöyle yapılmıştır:

“İnsanda kullanıldıklarında aslı fonksiyonunu farmakolojik, immünolojik veya metabolik etkiler ile sağlamayan fakat fonksiyonunu yerine getirirken bu etkiler tarafından desteklenebilen ve insan üzerinde;

- 1) Hastalığın tanısı, önlenmesi, izlenmesi, tedavisi veya hafifletilmesi ya da
- 2) Yaralanma veya sakatlığın tanısı, izlenmesi, tedavisi, hafifletilmesi veya mağduriyetin giderilmesi ya da
- 3) Anatomik veya fizyolojik bir işlevin araştırılması, değiştirilmesi veya yerine başka bir şey konulması veyahut
- 4) Doğum kontrolü amacıyla kullanılmak üzere imal edilmiş, tek başına veya birlikte kullanılabilen, imalatçısı tarafından özellikle tanı ve/veya tedavi amaçlı kullanılmak üzere imal edilmiş ve tıbbi cihazın amaçlanan işlevini yerine getirebilmesi için gerekli olan yazılımlar da dahil, her türlü araç, alet, teçhizat, yazılım, aksesuar veya diğer malzemeleri” ifade eder (Resmî Gazete 2011).

Genel olarak tıbbi cihaz, alet ve sarf malzemeleri Tıbbi Görüntüleme Sistemleri, Ameliyathane ve Solunum Cihazları, Biyokimya, Moleküler Biyoloji, Hemotoloji, Genetik ve Mikrobiyoloji Cihazları; Otoanalizör, Biyolojik Sinyal İzleme Cihazları, Radyoterapi Sistemleri, Lineer Akselatör, Fizik Tedavi Cihazları, Optik Tıbbi Cihazlar, Endoskoplar (Gastroskop, Kolonoskop vb.), Sterilizatör ve Etüv Cihazları, Buharlı Sterilizatörler (Otoklav), Diş KBB ve Göz Üniteleri, Ses ve İşitme Cihazları (Odyometre, Empedansmetre), Mekanik Cihazlar ve Cerrahi Aletler, Tıbbi Gaz Sistemleri, Hemodiyaliz Cihazları, Su Sistemleri (diyotize, distile, revers ozmoz), Tek Kullanımlık Sarf Malzemeleri, Protez ve Ortezlerdir (İto, 2004).

Sağlık kuruluşlarının birçoğu haftanın 7 günü 24 saat aralıksız sağlık hizmeti sunmaktadır. Tıbbi cihazların her an kullanıma hazır olması için düzenli olarak periyodik

bakımlarının yapılması gerekmektedir. Cihazların âtil kalmaması için arıza çıkmadan önce cihazların periyodik bakımlarının yapılması, meydana gelebilecek arızaların da ivedi bir şekilde giderilmesi gerekmektedir (Selvi, 2009). Tıbbi cihazlar eskidikçe âtil kalma süreleri, arızalanmalar artar dolayısıyla bakım-onarım maliyetleri artar, cihazlardan elde edilen tetkik ve tanı sonuçları şüpheli hale gelebilir (Selvi, 2009). Yüksek maliyetli olan tıbbi cihazların bakım onarımlarında gecikme yaşanması durumunda kaynak israfı yaşanacağı gibi, sağlık hizmetlerinde önemli aksamalar yaşanabilecektir. Tıbbi cihazlar bir çok hastalığın teşhisinde kullanıldığı için cihazlardan sağlanan verilerin, görüntülerin güvenilir olması gerekmektedir. Dolayısıyla bu cihazlar yılda en az bir sefer doğruluk testleri için kalibrasyon işlemine tabi tutulmalıdır (Tıbbi Cihazların Test, Kontrol ve Kalibrasyonu Hakkında Yönetmelik, 2021). Kalibrasyon testlerinden geçemeyen, herhangi bir nedenle kullanılamaz hale gelen, onarılamayan onarılsa bile verim alınamayacağı düşünülen tıbbi cihazlar Taşınır Mal Yönetmeliğine uygun şekilde işletme dışı bırakılır.

Sağlık tesislerinin tıbbi cihazlara ihtiyaçları olması durumunda öncelikle cihaza ilişkin teknik şartname hazırlanır ve uygun bir satın alma yöntemiyle cihaz tedarik edilir. Üretici firmalar genelde tıbbi cihazlar için iki yıl fabrikasyon hatalarına karşı garanti vermektedirler. Ancak özellikle Sağlık Bakanlığı tarafından ihalesi yapıp tedarik edilen cihazların garantisi beş yıla kadar çıkabilmektedir. Tıbbi cihazlar öngörülen faydalı ömür süresince sağlık hizmetinde kullanıldığı gibi faydalı ömürlerini aşan sürelerde de kullanılabilir. Ancak bazen faydalı ömürlerini bitirmeden yüksek yedek parça maliyeti veya kullanıcı hatası nedeniyle garanti süreleri bile dolmadan işletme dışı kalabilen cihazlar olabilmektedir.

İleri teknoloji ürünü olan tıbbi cihazların hastanelerde yaygın kullanımı ile birlikte, cihazların maliyeti ile orantılı olarak bakım-onarım giderleri artmaktadır. Cihazların sürekli faal durumda tutulabilmesi, buna karşın işletme maliyetlerinin en aza indirilmesi için teknik açıdan bilgili ve uzman personele ihtiyaç duyulması Biyomedikal Mühendislik Birimlerinin önemini ortaya çıkarmıştır. Sağlık kuruluşlarının tıbbi cihaz arızalarını önlemek için koruyucu amaçlı cihaz bakımlarını yapacak ve olası tıbbi cihaz arızaları durumunda ivedi bir şekilde arızaları giderecek alanında eğitimli uzman personel istihdam etmeleri son derece önemlidir. Bunun için sağlık tesislerinin bünyelerinde "Biyomedikal ve Klinik Mühendisliği Birimlerini" kurmaları ve bu birimlerde tıbbi cihaz bakım onarım konularında eğitim almış biyomedikal mühendisi/teknikerlerini istihdam etmeleri faydalı olacaktır. Biyomedikal mühendislik hizmetlerinin verimli ve yaygın kullanılmasına yönelik olarak, bu birimler araştırma ve geliştirme faaliyetlerinin yanı sıra, sağlık kurumlarında tıbbi cihaz ihtiyacının tespiti, planlanması, satın alınması, kullanılması, bakım-onarım ve kalibrasyonu (cihazların doğru ve

güvenilir ölçüm yapması için yapılan ayarlama), tıp personeline uygulamalarda danışmanlık yapılması gibi konularda hizmet vermektedirler (T.C. Sayıştay Başkanlığı, 2005, s:67-68).

Bilimsel çalışmalar sağlık kuruluşlarında yeterli donanıma sahip Biyomedikal/Klinik Mühendislik birimleri tarafından yapılacak periyodik bakım/onarım ve kalibrasyon hizmetleri ile tıbbi cihazların ömürlerinin %30 artabileceği, onarım maliyetlerinin %50 azaltılabileceğini ve uygun tedarik yöntemlerinin seçimiyle de yatırım maliyetlerinin en az %20 azaltılabileceğini göstermiştir (Seçim ve Pekelman, 1990).

Tıbbi Cihaz Bakım ve Onarım Süreçlerinde Karşılaşılan Başlıca Problemler

Hastalıkların teşhis ve tedavisinde hayati öneme sahip tıbbi cihazlar yoğun olarak kullanıldıklarından dolayı sık sık arızalanmaktadır. Arızalı tıbbi cihazı onarabilecek nitelikli personel bulunmaması veya cihazın onarımı için gerekli yedek parçanın tedarikinde sıkıntılar olması durumunda; ameliyatlar iptal edilebilmekte, randevu gün süreleri uzayabilmekte, başka sağlık tesislerine hasta sevkleri olabilmekte veya hastanın hayatı riske girebilmektedir.

Sağlık tesislerinde tıbbi cihaz bakım onarım süreçlerinde yaşanan sıkıntıların en önemli sebeplerin başında tıbbi cihaz bakım onarım konularında eğitimli teknik personel eksikliği ve cihaz arızalarında gerekli yedek parça eksikliği gelmektedir (Malkin and Keane,2010). Tıbbi cihaz alımlarından önce söz konusu cihazların teknik şartnamelerini hazırlayacak, cihaz alımlarında teknik şartnameye göre uygunluk değerlendirmelerini yapacak, cihaz kullanıcı eğitimlerini verebilecek, cihaz periyodik bakımlarını yapacak, olası arızalarda cihazların onarımlarını, kalibrasyonlarını yapacak nitelikli teknik personel sayısı çok azdır. Nitelikli teknik personelin eksik istihdamından dolayı birçok problem yaşanmaktadır. Ayrıca ülkemizde kullanılan cihazların yaklaşık %85'ithal olduğundan dolayısıyla yedek parçaları da ithal edilmektedir (T.C. Kalkınma Bakanlığı,2014). Yedek parçaların çoğu ithal olduğundan dolayı maliyetleri de oldukça yüksektir. Ayrıca tedarik süresi gümrük işlemleri vb. durumlardan dolayı bazen aylarca sürebilmektedir. Tıbbi cihazlar sağlık hizmetinde kullanıldıkları için onarımların ivedi bir şekilde dolayısıyla gerekli yedek parça tedarik sürelerinin de kısa olması gerekmektedir. Aksi taktirde hayati derecede problemler olabilmektedir.

T.C. Sayıştay Başkanlığı 2005 yılının Mart ayında, Sağlık Bakanlığı'na bağlı hastanelerde tıbbi cihaz yönetimi, ilaç ve tıbbi sarf malzemelerinin yönetimi hakkında bir çalışma gerçekleştirmiş ve bu çalışmanın sonuçlarını "Performans Denetimi Raporu" olarak yayınlamıştır. Söz konusu Performans Denetim Raporunda tıbbi cihazlarla ilgi belirtilen problemlerden bazıları aşağıda verilmiştir:

- Tıbbi cihaz tedarik aşamalarında fayda-maliyet analizleri yapılmamakta, fizibilite raporları hazırlanmamaktadır. Bazı hastanelerin ihtiyaç duyduğu cihazlar başka hastanelerde ihtiyaç fazlası durumda olabilmektedir.
- Tıbbi cihazların kayıtları doğru ve tam güvenilir olmadığından tıbbi cihaz tedarik sürecinde ihtiyaç / kaynak planlaması sağlıklı olarak yapılamamaktadır.
- Sağlık tesisleri tarafından tıbbi cihazlar tedarik edilmeden önce mal alımı veya hizmet alımı yöntemlerinden hangisinin daha doğru olacağı hakkında bilimsel yöntemlere dayalı çalışmalar yapılmamaktadır.
- Tıbbi cihaz satın alma süreçlerinde teknik bilgi yetersizliğinden dolayı teknik şartnamelerin uygun hazırlanmamasından kaynaklı birçok problem yaşanmaktadır.
- Tıbbi cihaz kullanıcılarının atama ve tayinlerinde cihazların veya personelin tam kapasite ile çalışıp çalışamayacakları durumu yeterince analiz edilmemektedir.
- Cihaz kullanıcı eğitimleri yeterince verilmediğinden dolayı kullanıcı hatası kaynaklı arızalar artmakta, daha fazla sarf malzemesi tüketimi, cihazın tüm fonksiyonlarını kullanamama gibi olumsuz durumlar ortaya çıkmaktadır.
- Sağlık tesislerinde tıbbi cihaz bakım onarımı konusunda eğitim alan biyomedikal mühendisleri yeterince istihdam edilmediğinden dolayı tıbbi cihaz bakım-onarımlarında gecikmeler olmakta, cihazlar atıl duruma gelebilmekte ve gereksiz harcamalar olabilmektedir.
- İnceleme yapılan hastanelerin çoğunda tıbbi cihazlar tam kapasite ile çalışmamaktadır. Bir cihazla bir günde elli çekim yapıldığı halde başka bir gün aynı cihazla yirmi beş çekim yapılabilir. İnceleme yapılan hastanenin birinde MR ve tomografi cihazları saat 16:00 ya kadar çalışırken hizmet alımı şeklinde kullanılan cihazlar 24 saat çalışmaktadır.
- Ülkemize her yıl azımsanmayacak miktarda ithal edilen tıbbi cihazlar bakım/onarım hizmetlerinin yeterli olmamasından dolayı sağlık hizmetine istenilen katkıyı yapamamaktadır. Birçok cihaz ya atıl duruma düşmekte ya da kısmi olarak olarak hizmet vermektedir.
- Cihaz onarım süreleri çok uzun olup bu durum cihazın atıl duruma gelmesine, kaynak israfına, sağlık hizmetinin aksamasına neden olabilmektedir. Örneğin inceleme yapılan bir hastanedeki mamografi cihazı üç aydan fazla süre arızalı kalmıştır.
- İnceleme yapılan başka bir hastanede yeni tedarik edilen skopi cihazı kurulduktan hemen sonra arızalanmıştır. Garantili olduğu halde şartnamede belirtilen sürede arızaya müdahale etmemiş onarımı yapmamıştır.

- Hastanenin birinde renkli doppler cihazı bir yıldır arızalı olmasına rağmen yüksek onarım maliyetinden dolayı onarılamamıştır.
- Hastane demirbaşı MR ve tomografi cihazlarının arızalanmaları durumunda onarımları aylarca sürebilirken hizmet alımı cihazlar bir günde onarılabilmektedir (Performans Denetim Raporu,2005).

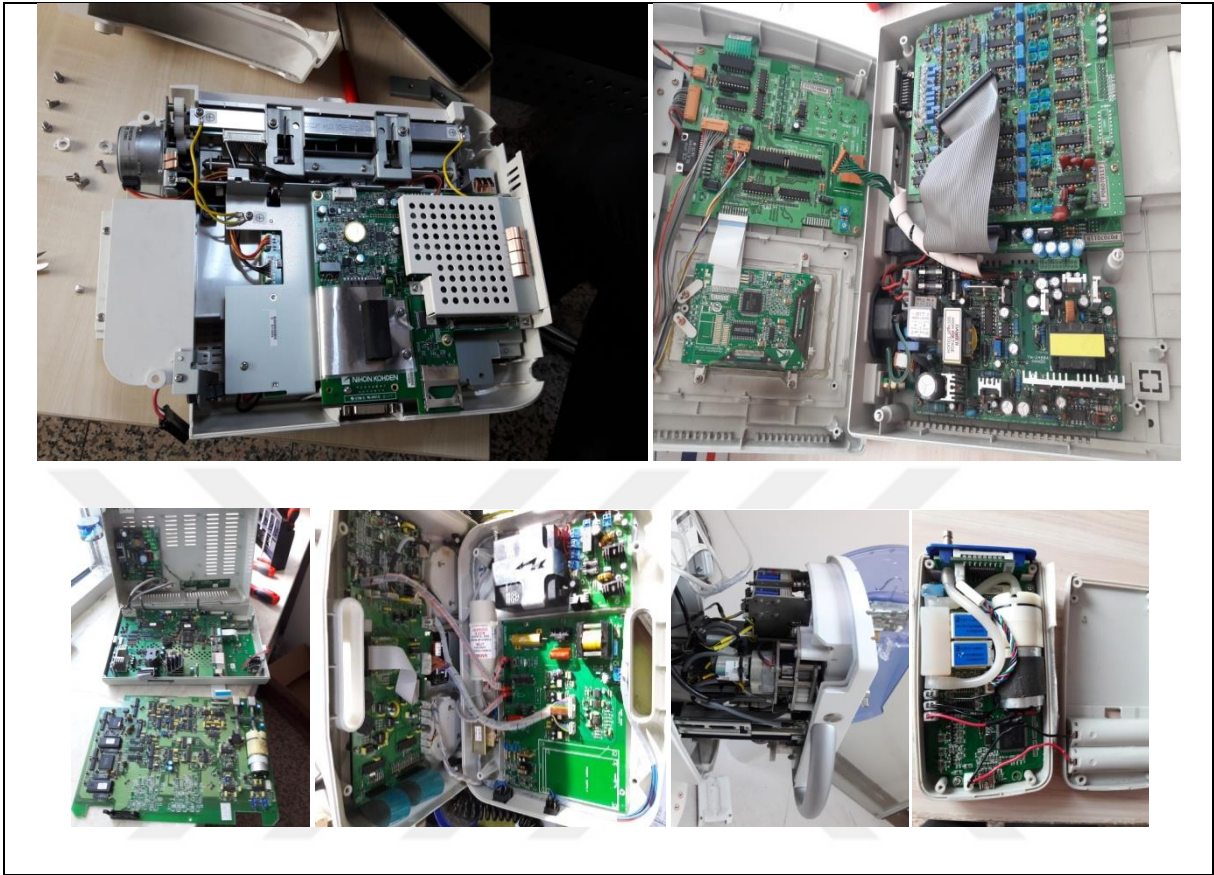
Yukarıda belirtilen problemler göz önüne alındığında son yıllarda olumlu gelişmeler sağlandığı halde birçok benzer problem devam etmektedir. Sağlık tesislerinde tıbbi cihaz bakım onarımı konusunda eğitim alan yeterli sayıda nitelikli teknik personel istihdam edilmediğinden bakım/onarım işlemlerinin birçoğu firmalar tarafından yapılmaktadır. Ancak bazen firmaların art niyetleri dolayısıyla sağlık tesisleri zarara uğratılabilmektedir. Örneğin bazen ihale sözleşmelerinde kuruma verilen yedek parça fiyatlarından çok yüksek fiyatlar teklif edilebilmekte, onarım için firmalarda bulunan cihazların arıza durumu-arızalı parça konularında kurumlar yanıltılabilmektedir. Mevcut mevzuata göre 150 ve üstü yatak kapasiteli hastanelerde en az bir biyomedikal mühendisi, en az bir biyomedikal teknikeri, en az bir biyomedikal teknisyen kadro standardı bulunmaktadır (Sağlık Bakanlığı Taşra Teşkilatı Kadro Standartları ile Çalışma Usul ve Esaslarına Dair Yönerge,2017). Ancak tıbbi cihaz bakım onarımı konusunda eğitim alıp Kamu Hastaneleri Genel Müdürlüğü'ne bağlı sağlık tesislerinde aktif çalışan biyomedikal mühendisi/teknikeri sayısı 279' dur (T.C.Sağlık Bakanlığı,2022).

Tıbbi cihaz onarımlarında gerekli yedek parça tedarik süreleri uzun olduğu gibi maliyetleri de oldukça yüksektir. Tablo 1'de üniversite hastaneleri hariç kamu hastanelerinin beş yıllık yedek parça alımları verilmiştir (T.C.Sağlık Bakanlığı,2020). Söz konusu miktarlar mal alımı şeklinde tedarik edilen tutarlardır. Mal alımı şeklinde değil de direkt arızalı cihazlarda kullanılan ve taşınır girişi olmayan yedek parçalar da olabildiğinden söz konusu yedek parça alım tutarlarının çok daha yüksek olduğu düşünülmektedir.

Tablo 1. Kamu Sağlık Tesisleri Cihaz ve Alet Yedek Parça Alımları (Ünv. Hastaneleri Hariç)

Yıl	Miktar (TL)
2015	121,316,568
2016	163,356,499
2017	210,272,096
2018	248,167,056
2019	305,367,597
Yıllık Ortalama	209,695,963

Tıbbi cihazlar ana kart, güç kartı, ekran kartı vb. onlarca elektronik aksamdan oluşmakta, kartlar; transistor, varistör, kondansatör, regülatör, entegre, mosfet, diyot, direnç, sigorta vb. yüzlerce komponent barındırmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Örnek tıbbi cihaz iç aksam görüntüleri

Tıbbi cihaz herhangi bir kart üzerinde barındırdığı basit bir kondansatörün şişmesiyle, direncin patlamasıyla arıza verebilir. Cihaz yedek parçalarının çoğu ithal edildiği için bazen bir yedek parçanın tedarikinde problem olması dolayısıyla cihaz aylarca âtıl kalabilmektedir. Cihazın barındırdığı elektronik aksamlardan bazıları bağımlı çalıştığı gibi bağımsız çalışan aksamalarda olabilmektedir. Dolayısıyla herhangi bir cihaz aksamının bozulması durumunda tüm parçalar bozulmamaktadır. Herhangi bir sebeple arızalanıp onarılamayan, kullanılamayan, hurdaya ayrılan cihazların sağlam yedek parçaları başka cihazlarda kullanılabilmektedir. Söz konusu yedek parçalardan faydalanarak büyük oranda ekonomik getiri sağlanabilecek, Tablo 1 belirtilen yıllık ortalama 209,695,963 TL'lik yedek parça maliyeti önemli oranda düşülebilecektir. Örneğin ana kart arızalı olup onarılamayan, hurdaya ayrılan bir hastabaşı monitörün diğer sağlam tansiyon basınç kartı, saturasyon kartı, sıcaklık ölçüm kartı, ekg sinyal kartı, güç kartı, pump motor, ekran, tuş takımı mebranı vb. yedek parçaları aynı model arızalı başka cihazlarda kullanılıp arızaları giderilebilir. Güç kartı arızalı olan bir hurda defibrilatör cihazının diğer sağlam implus kartı, redresör kartı, sinyal işleme kartı, kaşıklar, yazıcı kapağı,

yazıcı termali, dış iskeleti aynı model arızalı başka cihazlarda kullanılabilir. Tüm elektronik aksamı arızalı olsa bile bir ultrason, ekokardiyografi cihazlarının maliyeti çok yüksek olan problemleri başka cihazlarda kullanılabilir.

Tablo 2’de kamu hastanelerinde yıllara göre hurdaya ayrılan tıbbi cihaz miktarları verilmiştir (T.C. Sağlık Bakanlığı,2020)_Söz konusu hurda cihazların sağlam yedek parçaları kullanılarak arızalı tıbbi cihazlar onarılabilmektedir. Hurdalık bir cihazın yedek parçaları kullanılarak birden çok arızalı cihaz onarılabılır. Örneğin ondan fazla kart barındırabilen hurda durumundaki bir ultrason cihazının sağlam güç kartı bir cihazda, diğer kartları başka cihazlarda, problemleri farklı cihazlarda kullanılarak cihaz problemleri giderilebilir.

Tablo 2. Kamu Hastanelerinin Yıllara Göre Hurda Miktarı (Üniversite Hastaneleri Hariç)

Yıl	Miktar (Adet)	Tutar(TL)
2016	60093	141,975,758
2017	56053	150,175,196
2018	81655	220,108,325
2019	52717	166,725,888
2020	41939	135,243,780
Toplam	292457	814,228,948
Ortalama	58491	162,845,790

Aynı yedek parçayı kullanan farklı cihazlar da olabilmektedir. Tablo 3’de aynı yedek parçanın kullanıldığı farklı cihaz örnekleri verilmiştir (Boğatekin,2022).

Tablo 3. Farklı Cihazlarda Kullanılan Aynı Yedek Parçalar

Yedek Parça	Kullanılan Cihazlar
PK243A1-SG10 Model Step Motoru	Sakura Marka Patoloji Lam Kapama Cihazı Fresenius Marka Diyaliz Cihazı
Keller Basınç Sensörü	AMS Marka Anestezi Cihazı Trans Marka Otoklav Cihazı
74LS440A Nolu Entegre	Plusmed Plus 60 Model Saturasyon Cihazı Enel Marka Ups
Lm311 Voltaj Entegresi	Enel Ups, Anestezi, Hastabaşı Monitör, Otoskop (Bütün Power Supply kartlarında bulunmaktadır).
Basınç Valfi	Ohmeda Marka H. Monitör, Petaş KMA 800 Monitör Suntech Tango Model Efor Tansiyon Cihazı
12-24 DC Volt Fan Motoru	Sphinx Marka Holmium Lazer Norland Marka Kemik Dansitometri Cihazı

Tıbbi cihaz bakım-onarım problem nedenlerinin başında gelen yedek parça problemleri ve istihdam edilen eğitimli biyomedikal personel problemlerinin çözülmesi zaman alacağından

dolayı söz konusu problemlere çözüm olabilecek bir iyileştirme önerisi bu tez kapsamında sunulmuştur.

Tıbbi Cihaz Bakım ve Onarım Süreçlerinin İyileştirilmesi için Bir Çözüm Yaklaşımı Önerisi

Bu tez kapsamında tıbbi cihaz onarım sürelerinin uzun olmasının en önemli sebeplerinden biri olan yedek parça tedarik problemine çözüm için hurdaya ayrılan cihazların yedek parçalarından faydalanılması önerilmiştir. Sağlık Bakanlığı bünyesinde bir ‘TCBOEM’nin kurulması, 81 ildeki kamu hastanelerinde hurdaya ayrılan cihazların bu merkeze gönderilerek demontaj işlemlerinin yapılarak yedek parça deposu oluşturulması, yedek parçaları sökülen cihazların Makine Kimya Endüstrisi (MKE) kurumuna devredilmesi önerilmektedir. Böylece sağlık tesisleri ihtiyaç duydukları yedek parçaları bu merkezden talep edebilecektir. Bu merkezde bakım–onarım konusunda uzman personeller istihdam edilip sağlık tesislerindeki ilgili personelleri eğitecek gerekli teknik desteği sağlayacaklardır.

Önerilen çözüm yaklaşımı ile Yer Seçimi ve Araç Rotalama Problemi (YSARP) ele alınmıştır. 3 aşamadan oluşan çözüm yaklaşımını ilk aşamasında, TCBOEM’in kurulması önerilmiş ve merkezin kapsam ve faaliyetleri belirlenmiştir. İkinci aşamada merkezin yer seçimi konusu ele alınmış bunun için ÇKKV yöntemlerinden CRITIC ve TOPSIS yöntemlerinden faydalanılmıştır. Daha sonra yedek parça ihtiyacını karşılamak için söz konusu 80 ildeki hurda cihazların en kısa mesafeli araç rotalarıyla bu merkeze taşınması için KARP ele alınmıştır. Büyük boyutlu problem olduğu için matematiksel yöntemlerle çözümü zor olacağından metasezgisel algoritmalarından Tavlama Benzetimi (TB) algoritması MATLAB ortamında kodlanarak çözüm sağlanmıştır.

Yeterli nitelik ve sayıda teknik personelleri olan sağlık tesislerinde hurda cihazların yedek parçalarından faydalanılmaktadır. Ancak bir sağlık tesisindeki cihaz arızası için gerekli olan yedek parça başka bir sağlık tesisindeki hurda cihazda olabilmektedir. Dolayısıyla önerdiğimiz çözüm yaklaşımı sayesinde bütün sağlık tesislerinden hurda cihazlar toplanarak gerekli yedek parça için bir sinerji oluşturulacaktır. Arızalı tıbbi cihazların onarımı için hurda tıbbi cihazlardan faydalanılabileceğine dair literatürde az sayıda çalışma bulunmuştur. Literatürde tıbbi cihazların onarımları, teknik personel ihtiyacı, teknik eğitim programları ile ilgili az sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu tez; tıbbi cihaz hurdalarının kullanarak cihaz onarımlarının yapılmasını bir YSARP problemi kapsamında ele alan ilk çalışmadır. Tıbbi cihazların onarımları ilgili herhangi bir ÇKKV yönteminin kullanıldığı çalışma bulunmamaktadır.

KURAMSAL TEMELLER

Literatür araştırması kapsamında öncelikle çözüm önerimizi destekleyecek şekilde yapılan çalışmalar incelenmiş daha sonra tez çalışması kapsamında ele alınan YSARP, TB algoritması, ÇKKV yöntemlerinden TOPSIS ve CRITIC yöntemlerinin kullanıldığı çalışmalar incelenmiştir.

Tıbbi Cihaz Bakım ve Onarımı ile ilgili çalışmalar

Malkin and Keane (2010), çalışmalarında kaynakları kısıtlı sağlık tesislerinde tıbbi ekipmanların çoğunun hizmet dışı olduğu ve bu durumun ortaya çıkmasında etkili olan en önemli nedenlerin yedek parça ve eğitilmiş teknik personel eksikliği olduğunu belirlemişlerdir. Çalışmada 2003-2008 yılları arasında Çin, Çin Dominik Cumhuriyeti, El Salvador, Gana, Haiti, Honduras, Nikaragua, Sierra Leone, Sudan, Tanzania ve Ukrayna'dan oluşan 11 ülkede yer alan ve kaynak bakımından fakir 60 hastanede hizmet dışı cihazlar incelenmiştir. Biyomedikal mühendisliği-teknisyenliği öğrencilerinden oluşan yaklaşık 100 teknik personel tarafından yapılan uygulama çalışmasında hizmet dışı 2529 arızalı cihazdan 1821'i onarılabildi. İthal yedek parça kullanılmadan ve olağanüstü mali kaynaklar veya özel araçlar olmaksızın, mühendislik gönüllüleri tıbbi cihazların %72'sini tekrar hizmete verebildiler. Kaynakları kısıtlı sağlık tesislerinde arızalı olarak bulunan cihazların onarımı için her zaman ithal yedek parça gerekmediği sonucuna varılmıştır. Perry and Malkin (2011), yaptıkları çalışmalarında gelişmekte olan ülkelerde hizmet dışı tıbbi ekipman oranı konusunu ele almışlardır. Kanıta dayalı yaklaşım modeliyle 1986'dan-2010'a kadar 4 kıtadaki 16 ülkeden 112040 adet cihaz verisi analiz edilmiştir. Tıbbi ekipmanın %40'ının hizmet dışı olduğu sonucuna varılmıştır. Arızaların üç ana nedenin eğitim eksikliği, sağlık teknolojisi yönetimi ve altyapı sorunlarından kaynaklandığı belirtilmiş ve bunların iyileştirilmesiyle, kullanılmış cihazların toplanmasıyla çalışan tıbbi ekipmanların sayısının neredeyse iki kat artabileceği belirtilmiştir. Malkin and Whittle (2014), yaptıkları çalışmada eğitilmiş teknik personel ile eğitimsiz teknik personellerinin performanslarının karşılaştırılmasına yönelik bir çalışma yapmışlardır. Çalışma kapsamında benzersiz bir kanıta dayalı biyomedikal teknik eğitim programının Ruanda'daki sağlık hizmetleri altyapısı ve teknisyenlerin üretkenliği üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında eğitim almayan 9 teknisyen ve 1 yıllık eğitim almış 11 teknisyenin 12 aylık bir sürede biyomedikal cihaz onarımları karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak eğitilmiş bir teknisyeni olmayan hastanelerde neredeyse iki kat daha fazla hizmet dışı ekipman olduğu eğitilmiş

teknisyenlerin eğitimsiz teknisyenlere göre iki kattan daha fazla (%114) üretken olduğu sonucuna varılmıştır. Biyomedikal teknik eğitiminin sağlık hizmetleri üzerinde büyük bir etkisi olabileceğini belirtilmiştir. Malkin and Calman (2014), iki mühendislik profesörünün, 2001 yılında, gelişmekte olan dünyadaki hastanelere yenilenmiş tıbbi ekipman göndermek amacıyla, kurdukları Engineering World Health (EWH) öğrencilerinin Tanzanya, Nikaragua ve Ruanda'da dokuz hafta geçirdikleri yaz stajı uygulama tecrübeleri ele alınmıştır. Staj yapan öğrenciler 2013 yılında, çalışmayan 602 adet hastane tıbbi ekipmanından %73'ünü tekrar hizmete sokabilmişlerdir. Bu tarz staj programlarının hem hastaneler hem de öğrenciler üzerindeki çok önemli etkileri olmuştur. Malkin and Whittle (2014), yaptıkları çalışmada biyomedikal mühendislerine ekipman onarımı ve yönetimi konusunda verilen eğitim programının Honduras'taki sağlık hizmetlerini etkileyip etkilemediğini araştırmışlardır. 12 hastanede yaptıkları araştırma sonucunda eğitim alan teknik personelin bulunduğu hastanelerin eğitim almayan teknik personellerin çalıştığı hastanelere göre %30 daha az arızalı cihaza sahip olduğu tespit edilmiştir. Cihaz onarımlarının önündeki en büyük engelin, incelenen tüm hastaneler için yedek parça ve aksesuar eksikliği olduğu belirlendi. Ademe *et al.* (2016), Güneybatı Etiyopya'daki Jimma bölgesinde üç hastanede tıbbi cihazlarla ilgili yaptıkları çalışmada tıbbi cihazların üçte birinden fazlasının (%34,9) işlevsel ve kullanımda olmadığını tespit etmişlerdir. Bu cihazların çalışmama nedenleri; cihazların en düşük fiyat veren firmalardan satın alma şekli, bağışlanan tıbbi cihazlar için yedek parça eksikliği, cihazların uygunsuz ve aşırı kullanımı, cihaz kullanıcı eğitim eksikliği ve biyomedikal teknik personel eksikliğidir. Wong *et al.* (2018), kaynakları sınırlı sağlık tesislerinde tıbbi ekipmanın onarımını kolaylaştırmak için mobil uygulama tabanlı bir uzman sistemin performansını incelemişlerdir. Uygulama, basitleştirilmiş dil, resimler ve diyagramlar kullanarak sorun giderme sürecinde adım adım yol göstererek ekipman sorununu tanımlamalarına yardımcı olmak için tasarlanmıştır. Kullanıcı sorunu hala çözemezse, uygulama kullanıcıyı gerçek zamanlı olarak bir uzmana bağlayarak problemin çözümüne yardımcı olmaktadır. Tıbbi ekipmanın işlevsel olmasını sağlamada önemli rol oynayan 33 biyomedikal teknisyenine söz konusu uygulama tanıtılmış ve onarılması için arızalı bir saturasyon cihazı verilmiştir. Teknisyenler uygulamayı kullanarak söz konusu arızaları giderebildiler. Sonuç bir mobil uygulamanın, düşük ve orta gelirli ülkelerde bilgi ve kaynaklara erişimdeki bir boşluğu gidermek için kullanılabileceğini göstermektedir. Uluçay ve Fidan (2022), tüm tıbbi cihaz süreçlerinin sonucunda kullanım dışı bırakılan cihazların parçalarından faydalanılması amacıyla sanal bir hurda deposu oluşturulmuştur. Sanal deponun oluşturulması için hurda kayıt sistemi (HUKS) web uygulaması geliştirilmiş olup; pilot çalışma sürecinde uygulanmıştır. Çalışmada mevcut tıbbi cihaz yönetiminde bazı değişiklikler yapılarak ve HBYS (Hastane Bilgi Yönetim Sistemi)-

MKYS (Malzeme Kaynak Yönetim Sistemi) entegrasyonu sağlanarak tüm klinik mühendislik hizmetleri faaliyetlerinin etkin bir şekilde yürütüleceği görülmüştür.

YSARP ile İlgili Çalışmalar

Tesis yeri seçim problemi birçok faktör göz önünde bulundurularak müşteri taleplerini karşılamak için en az maliyetle tesislerin en uygun yerlere kurulması problemidir. Kamu sektörü için okulların, hastanelerin, itfaiye istasyonlarının vb. kuruluş yer seçimi özel sektör için üretim merkezleri, depo, lojistik merkezlerinin kuruluş yer seçimi bu problem türündendir. Tesis yeri seçim problemleriyle ilgili ilk çalışmayı 1929'da Weber yapmıştır (Jamshidi, 2009). Weber çalışmasında müşteriyle arasındaki mesafe en az olacak şekilde bir depo yeri belirlemiştir.

Araç Rotalama Problemi (ARP) ise bir veya birden çok depodan çıkıp müşterilere ürün dağıtımı veya müşterilerden ürün toplanması amacıyla araç rotalarının oluşturulmasıdır. Literatürde ilk kez 1959 yılında Dantzig ve Ramser tarafından ele alınmıştır. 'Kamyon yükleme problemi' olarak ele aldıkları çalışmada yakıt istasyonlarına benzin dağıtımı amacıyla minimum mesafeli araç rotalarını bulmuşlardır. Bununla birlikte hem yer seçimi hem de dağıtım planlamasını kapsayan problemler literatürde YSARP olarak bilinmektedir. YSARP temelde iki konunun bütünleşik halidir. Bunlardan birincisi yer seçimi konusu ikincisi ise rotalama problemidir. YSARP çalışmalarda ayrı ayrı ele alındığı gibi birçok çalışmada aynı problem kapsamında beraber değerlendirilmiştir. İlk kez 1961 yılında Von Boventer tarafından ele alınan YSARP ile ilgili literatürde birçok çalışma bulunmaktadır. Bu tez çalışmalardan bazıları aşağıda verilmiştir.

Mousavi ve Tavakkoli-Moghaddam (2013), çalışmalarında müşteri ihtiyaçlarını karşılamak için ve envanteri azaltmak için dağıtım ağlarında bir ara düğüm olan çapraz sevkiyat merkezi yer seçimi ve çapraz sevkiyat merkezlerinden müşterilere taleplerinin ulaştırılması için rotalama problemini ele almışlardır. Amaç çapraz sevkiyat merkezlerini açmak için katlanılacak sabit maliyeti, tedarikçilerden çapraz sevkiyat merkezlerine ulaştırma maliyetini, müşterilere ürün ulaştırma maliyeti ve müşterilere erken veya geç ürün ulaştırma durumunda ceza maliyetini minimum yapmaktır. Problem iki aşamalı tamsayılı programlama ile modellenmiş daha sonra Tabu Arama ve TB algoritmalarından oluşan hibrit bir yaklaşım ile çözülmüştür. Hibrit algoritmanın performansı rastgele oluşturulan veri setleri çözülerek değerlendirilmiştir. Hibrit algoritmanın optimuma yakın sonuçlar sağladığı görülmüştür. Vural vd. (2014), yaptıkları çalışmada üretilen askeri mühimmatların bir ana depodan tali depolara trenlerle taşınmasını, tali depolardan da kamyonlarla birliklere taşınması konusunu ele almışlardır. Çalışmada öncelikle uygun tali depoların yer seçimi p-median modeliyle

belirlenmiş daha sonra ana depodan tali depolara tren rotalama problemi, tali depolardan birliklere ulaşım için kamyon rotalama problemleri modellenerek çözülmüştür. YSARP olarak ele alınan problemin matematiksel modelleri kurularak GAMS paket programıyla çözümlenmiştir. Keçeci vd. (2014) tarafından Çankaya Belediyesi için atıkların toplanmasına ilişkin Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) destekli bir uygulama çalışması yapılmıştır. Öncelikle atık toplama merkezi için seksen dokuz aday mahalle arasından uygun toplama merkezleri Küme Örtme Problemi modellenerek belirlenmiştir. Daha sonra ana depo dahil edilerek belirlenen toplama merkezlerinden atıkları toplayacak şekilde ARP modellenmiş CPLEX yardımıyla çözüm bulunmuştur. Havuç (2018), tarafından yapılan tez çalışmasında depo yer seçimi ve KARP ele alınmıştır. İlk aşamada p-medyan matematiksel modeliyle depo yerleri belirlenmiş olup ikinci aşamada en yakın mesafeyi temel alan bir klasik sezgisel yöntem ve Genetik Algoritma(GA) yöntemleriyle araç rotaları oluşturulmuştur. Depo maliyetini ve rota maliyetini en küçüklemeyi amaçlayan çalışmada GA yönteminin sezgisel yöntemle göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Veenstra *et al.* (2018), tarafından yapılan çalışmada Hollanda sağlık sektöründe ilaç lojistiği konusu ele alınmıştır. Hastaların ilaçlarını alabilecekleri uygun ilaç depolarının yer seçimini yapmak, açılan ilaç dolaplarını ziyaret edecek araç rotaları oluşturmak, ilaç dolaplarının kapsama mesafesinde olmayan hastaların ilaçlarını doğrudan hasta evlerini ziyaret ederek teslim edecek araç rotalarını oluşturma problemi incelenmiştir. Amaç ilaç dolaplarının açılış maliyeti ve ulaştırma maliyetlerinden oluşan toplam maliyeti en aza indirmektir. Problemin matematiksel formülasyonu oluşturulmuş çözüm için dal-sınır algoritması ve TB algoritmasına dayalı bir sezgisel algoritma kullanılmıştır. Rastgele oluşturulan veri setlerine göre elde edilen sonuçlara göre sezgisel algoritmanın büyük boyutlu problemlerde daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Tezcan vd. (2021), çalışmalarında olası bir afetten sonra afetzedelerin temel ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla en uygun geçici depo yeri seçimi problemini ele almışlardır. Yer seçim problemi ‘ulaşım, kapasite, güvenlik, alt yapı’ ana kriterleri ve bunlara bağlı alt kriterler ışığında değerlendirilmiştir. Kriter ağırlıkları Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ve Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (BAHP) yöntemleri ile tespit edilerek alternatif yerler TOPSIS, Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation (PROMETHEE), VISe Kriterijumsa Optimizacija I Kompromisno Resenje (VIKOR) yöntemleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Öncelikle alternatif dört ilçeden biri seçilmiş daha sonra altı lokasyondan uygun bir yer seçilmiştir. Depo yeri belirlendikten sonra depodan toplanma alanlarına gıda dağıtımı için uygun rotaların belirlenmesi için ARP modellenerek çözülmüştür. Yıldız vd. (2021), yaptıkları çalışmada eş zamanlı topla dağıt araç rotalama ve yer seçimi problemini ele almışlardır. Fabrika, depo ve müşterilerden oluşan dağıtım ağında depoların nereye kurulacağı, fabrikadan depolara ulaşım, depolardan

müşterilere eş zamanlı olarak ürünlerin ulaştırılması, toplanacak ürünlerin müşterilerden depolara, depolardan fabrikaya ulaştırılması problemi incelenmiştir. Çözüm için problemin tamsayılı matematiksel modelleri kurulmuş ayrıca büyük boyutlu problemleri çözmek için Clarke-Wright sezgisel algoritması kullanılmıştır. Tamsayılı matematiksel model ile sezgisel algoritmanın performansları farklı boyuttaki 128 test problemi üzerinde denenmiştir. Matematiksel model ile küçük boyuttaki problemlerde en iyi çözüm elde edilirken orta ve büyük boyutlu problemlerin çözümünde sezgisel algoritmalar daha iyi performans göstermiştir.

YSARP hakkında daha detaylı bilgi için Prodhon and Prins(2014), Drexl and Schneider(2015), Schneider and Drexl(2017) çalışmaları incelenebilir. Prodhon and Prins(2014),YSARP ile ilgili kesin çözüm yöntemlerinin geliştirilmesine dikkat çekerek bu konuda yapılacak çalışmaların literatüre kayda değer katkı sağlayacağını belirtmiştir. Drexl and Schneider(2015),çalışmalarında YSARP'lerini deterministik ve stokastik, statik-dinamik, ayrık ve sürekli ağ konumları, tekli ve çoklu kademeler, tek ve çok amaç, düğüm ve kenar rotalama, ödül toplama, bölünmüş dağıtım, eş zamanlı toplama-dağıtma ve stok kararları şeklinde sınıflandırmıştır. Schneider and Drexl(2017), standart YSARP'yi bir tesisten bir malın teslimi için her müşterinin tam olarak bir kez ziyaret edilmesi gereken ayrık, deterministik, statik, tek kademeli ve tek amaçlı YSARP olarak tanımlamış ve bu problem çeşidi için literatürdeki çalışmaları incelemiştir.

TB Algoritması ile İlgili Çalışmalar

TB algoritması metallerin fiziksel tavlama sürecinden esinlenerek geliştirilen, optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılan rassal bir arama tekniğidir. TB algoritması literatürde birçok alanda kullanılmıştır. TB algoritmasının çözüm olarak kullanıldığı başlıca problemler şunlardır (Akkaya,1997);

- Araç rotalama problemleri
- Gezgin satıcı problemleri
- Sıralama ve çizelgeleme problemleri
- Optimizasyon problemleri
- Tesis yeri seçim problemleri
- Görüntü işleme problemleri
- Atama problemleri
- Yapay sinir ağları problemleri
- Üretim ve imalat problemleri

TB algoritması problem çözümlerinde tek başına kullanıldığı gibi başka algoritmaların entegrasyonu ile hibrit yaklaşımlar şeklinde kullanılmıştır.

Gülsün vd. (2008) tarafından yapılan çalışmada Tersine Lojistik Ağ Tasarımı için TB yeni bir araç olarak önerilmiştir. Bu aracın, çözüm uzayında, rastgele oluşturulan başlangıç çözümünden elde edilen yeni komşularına bakarak hassas bir arama sağladığı, bu arama sayesinde, küçük adımlarla hassas iyileştirmeler sağladığı ortaya çıkarılmıştır. Naderi *et al.* (2009) tarafından makine iş çizelgeleme konusunda yapılan çalışmada hazırlık süreleri ve önleyici bakım faaliyetleri göz önünde bulundurularak toplam üretim süresini en küçükmek amaçlanmıştır. Problemin çözümü için Tavlama Benzetimi ve GA'ya dayalı iki metasezgiselin uyarlanmasıyla dört farklı metasezgisel kullanılmıştır. Çakar ve Özer (2015) tarafından yapılan imalat sistemi tasarımına ilişkin çalışmada simülasyon çalışmasından elde edilen üretim sistemine ait performans göstergeleri kullanılarak Yapay Sinir Ağı (YSA) eğitilmiştir. Eğitilen YSA'ların %0.5 hata verme olasılığı göz önünde bulundurularak gözden kaçan iyi bir çözüm varsa bu iyi çözümleri bulmak için Tavlama Benzetimi yaklaşımından faydalanılmıştır. Sonuçta alınan yüz farklı çözümün on iki tanesinde YSA dan elde edilen çözümden daha iyi bir çözüm elde edilmiştir. Salari *et al.* (2015) tarafından Çok Depolu Kapasiteli Araç Rotalama Problemi olarak ele alınan çalışmada her müşterinin ziyaret edilme zorunluluğu olmadığı kabul edilmiştir. Müşterinin talebi depolardan çıkan araçlar tarafından doğrudan ziyaret edilerek teslim edilir ya da müşteri ziyaret edilmeden ona en yakın başka bir müşteriye kendisinin alması için bırakılır. Problemin çözümü için Açgözlü Rassallaştırılmış Uyarlamalı Arama Yordamı (GRASP) algoritması, Yinelemeli Yerel Arama (YYA) ve TB metasezgisel algoritmaları entegre edilerek oluşturulan hibrit bir metasezgisel algoritma kullanılmıştır. Moshref-Javadi and Lee (2016) tarafından yapılan çalışmada Bölünebilir Talepli Çok Ürünlü ARP ele alınmıştır. Problemden kapasiteleri farklı birden çok aracın tek bir depodan birden çok türde mal dağıttığı varsayılarak müşterilerin toplam bekleme sürelerini en aza indirmek amaçlanmıştır. Karma tamsayılı doğrusal programlama kullanılarak problemin matematiksel modeli oluşturulmuştur. Büyük ölçekli problemlerin çözümü için TB ve Değişken Komşuluk Arama (DKA) algoritmalarının birlikte kullanılması önerilmiştir. Kullanılan hibrit algoritmanın performansı büyük ölçekli problem örneklerinde TB, DKA ve En Yakın Komşu Algoritmalarıyla karşılaştırıldı. Hibrit Algoritmanın literatürdeki en iyi bilinen çözümün %2'sinden daha az bir fark elde ederken diğer üç algoritmadan daha iyi sonuçlar elde ettiği görülmüştür. Bala *et al.* (2017) tarafından yapılan çalışmada kentsel alanlarda gazete veya gıda ürünleri gibi kısa sürede bozulabilir ürünlerin müşterilere ulaştırılmasını konu alan ARP incelenmiştir. Müşterilerin birkaç farklı ürünü belirli zaman aralıklarında talep ettiği problemde üretim çizelgesi de dikkate alınarak TB algoritmasına dayalı bir algoritma geliştirilerek çözüm

aranmıştır. Shahnejat-Bushehri *et al.* (2019) tarafından yapılan çalışmada evde sağlık hizmetleri kapsamında Zaman Pencereci Araç Rotalama problemi ele alınmış olup hastaların ihtiyaçlarına göre uygun bakım personeli atamak, bakım verenlerin ulaşım ile ilgili maliyetini ve hastaları ziyaret etmeden önce boşta kalma sürelerini minimum yapmak amaçlanmıştır. Problemi çözmek için araştırmacılar karma tamsayılı bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Geliştirilen matematiksel model ile küçük boyutlu problemler çözülebilirken daha büyük boyutlu problemlerin çözümü için TB ve Tabu Arama algoritmalarının kullanımı önerilmiştir. Problemin çözümünde TA yaklaşımında daha hızlı sonuçlar alınırken TB yaklaşımında daha iyi sonuçların alındığı görülmüştür. Keser vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada Endüstri 4.0 kavramının ortaya çıkışıyla kullanımı yaygınlaşan Otonom Taşıma Araçlarını iç lojistikte kullanarak istasyonların dağıtım ve toplama taleplerini karşılamak için bir görev planlama ve rotalama sistemi önerilmiştir. Literatürde, kapasite kısıtlı araç rotalama probleminin bir uzantısı olan, “Önce Dağıt Sonra Topla Araç Rotalama Problemi” olarak ele alınan çalışmada Otonom Taşıma Araçlarının katettiği toplam mesafeyi ve araç sayısını minimum yapmak amacıyla TB ve Yasaklı Arama algoritmaları kullanılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Test problemleri üzerinde yapılan denemelerde TB algoritmasının daha iyi performans gösterdiği ortaya çıkmıştır. Somar (2020) tarafından yapılan tez çalışmasında Evde Sağlık hizmetleri kapsamında Zaman Pencereci Araç Rotalama Problemi ele alınmıştır. Ele alınan çalışmada, hastaların hizmet zaman penceresi kısıtı göz önünde bulundurularak hizmet veren sağlık personellerinin/ekiplerinin uzmanlık seviyelerini dikkate alan en uygun hasta-ekip ataması hedeflenmiştir. Geliştirilen 0-1 karma tamsayılı bir matematiksel model ile küçük boyutlu problemlerin çözümü sağlanabilirken, problemin orta/büyük boyutlarının çözümü için geliştirilen bu matematiksel model ile makul sürelerde çözüme ulaşılamamıştır. Bu sebeple, GA ve GA ile elde edilen en iyi çözümü başlangıç çözümü olarak kabul eden TB algoritmasından oluşan bir melez yöntem geliştirilmiştir. Yapılan karşılaştırma ve analiz sonuçlarına göre; geliştirilen GA-TB melez yönteminin daha başarılı ve etkin olduğu kanıtlanmıştır. Gülbaş ve Çetin (2020) tarafından yapılan çalışmada Kablosuz Algılayıcı Ağ yapılarında algılayıcı düğümlerin enerji kayıplarını azaltmak ve Kablosuz Algılayıcı Ağ yapılarının up time sürelerini arttırmak için TB algoritmasına dayalı bir metod kullanılmıştır. Yapılan çalışmada kümeleme yaklaşımına dayalı algoritmalarından LEACH protokolü kullanılarak her bir veri aktarım çevriminde kullanılan küme başlarının seçimi yapılmış, daha sonra TB algoritması kullanılarak seçilen küme başı düğümlerinden daha iyi komşu düğümler olup olmadığı araştırılmıştır. Çalışma sonucunda TB algoritmasının özellikle algılayıcı sayısı fazla olan ağlarda LEACH protokolü ile birlikte kullanıldığında, LEACH protokolünün verimliliğini enerji tüketimi açısından %82 ve veri paketi iletimi açısından %72.2 oranında

arttırdığı sonucuna varılmıştır. Yalçiner (2021) tarafından yapılan çalışmada İstanbul merkezli bir depodan Karadeniz Bölgesi illerine dağıtım gerçekleştirildiği senaryosu ele alınmıştır. KARP olarak ele alınan çalışmada optimum araç sayısı ve en kısa mesafenin bulunması amacıyla TB algoritması ve Doğrusal Programlama yöntemleri kullanılarak karşılaştırma yapılmıştır. Elde edilen çözüm sonuçlarına göre TB algoritması kullanılarak elde edilen sonuçların DP yöntemiyle elde edilen optimum sonuçlara yakın olduğu görülmüştür.

TOPSIS Yöntemi ile İlgili Çalışmalar

Hwang ve Yoon (1981) tarafından geliştirilen ÇKKV tekniklerinden TOPSIS yöntemi pozitif-ideal çözüme en yakın mesafedeki ve negatif-ideal çözüme en uzak mesafedeki alternatifleri bulmaya çalışır (Shyjith *et al.*, 2008). Literatürde TOPSIS tekniği kullanılarak yapılan çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Perçin ve Sönmez (2018) tarafından yapılan çalışmada Borsa İstanbul'da işlem gören Ak Sigorta, Anadolu Anonim Türk Sigorta Şirketi, Anadolu Hayat Emeklilik, Avivasa Emeklilik/Hayat Anonim Şirketi ve Güneş Sigorta şirketlerinin finansal performansları Entropi ve TOPSIS yöntemleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Entropi yöntemi ile kriter ağırlıkları bulunmuş TOPSIS yöntemi ile performans sıralaması yapılmıştır. Yapılan değerlendirme sonucunda kısa vadeli borçların aktiflere oranı kriterin en yüksek ağırlığa sahip olduğu ve performansı en yüksek şirketin Ak Sigorta olduğu tespit edilmiştir. Oğuz vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada yedi Asya ülkesini (Güney Kore, Hong Kong, Singapur, Malezya, Endonezya, Tayland ve Tayvan) lojistik performanslarına göre sıralamak için TOPSIS yöntemi kullanılmıştır. Lojistik Performans İndeksleri (LPI) dikkate alınarak yapılan sıralama sonucunda lojistik performansı en yüksek olan ülkenin Singapur, en düşük olan ülkenin ise Endonezya olduğu sonucu çıkmıştır. Sakarya ve Aksu (2020) tarafından yapılan çalışmada Borsa İstanbul'da işlem gören ulaşım sektöründeki beş işletmenin 2013-2017 yılları arasındaki performansları 14 değerlendirme kriteri açısından ele alınmıştır. Subjektiflikten kaçınmak için kriter ağırlıkları Entropi yöntemi ile bulunmuş daha sonra performans sıralamaları TOPSIS yöntemi kullanılarak yapılmıştır. İşletmelerin finansal performans sıralamaları hisse getiri sıralamaları ile karşılaştırılmış ve finansal açıdan başarılı olduğu tespit edilen işletmelerin her zaman en yüksek hisse getirisine sahip olmadığı anlaşılmıştır. Öztürk ve Keleş (2020) tarafından yapılan çalışmada bir ecza deposu için motorlu kurye seçimi ele alınmıştır. Literatür taraması yapılarak ve firmanın personel müdürünün görüşleri alınarak değerlendirme açısından; teknik yeterlik, fiziksel yeterlilik, sosyal yeterlilik, mesleki yeterlilik, kişisel özellikler ana kriterler olarak belirlenmiş ve bunlara bağlı alt kriterler tanımlanmıştır. AHP yöntemi ile kriter ağırlıkları bulunmuş olup hem Ahp hem de TOPSIS yöntemleri kullanılarak sıralama yapılmıştır. En önemli kriterin

‘teknik yeterlilik’ kriteri olduğu,’Kurye 3’ün her iki yöneme göre en uygun aday olduğu tespit edilmiştir. Alao *et al.* (2020) tarafından yapılan çalışmada atıktan elektrik enerjisi üretimi için en uygun teknoloji araştırması için Entropi tabanlı TOPSIS yöntemi kullanılmıştır. Çalışma sonucunda en uygun yöntemlerin anaerobik çürütme, çöp gazı geri kazanımı ve piroliz yöntemleri olduğu sonucu ortaya çıkmıştır. Salehi *et al.* (2020) tarafından yapılan çalışmada beş petrokimya tesisinin kriz yönetim sistemleri değerlendirilmiştir. Yangın, patlama gibi olası kriz durumlarında kriz yönetim sistemlerini organizasyonel yönler, insani yönler ve teknik yönler dahil olmak üzere üç açıdan değerlendirmek için Entropi tabanlı TOPSIS yöntemi kullanılmıştır. Kaur *et al.* (2021) tarafından yapılan çalışmada su arıtma cihazı seçimi için ÇKKV yöntemlerinden Entropi ve TOPSIS yöntemleri kullanılmıştır. Çalışmada otuz üç alternatif cihaz yedi kriter açısından değerlendirilmiştir. Kriter ağırlıkları objektifliği sağlamak için Entropi yöntemiyle bulunmuş sıralama için TOPSIS kullanılmıştır. Yer seçimi problemlerini konu alan birçok çalışmada da TOPSIS yöntemi kullanılmıştır. Yapılan bazı çalışmalar aşağıdaki Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4. TOPSIS Yönteminin Yer Seçimi Problemlerinde Kullanıldığı Bazı Çalışmalar

Yazar	Uygulama Alanı	Kullanılan Yöntem
Gligoric <i>et al.</i> (2010)	Cevher Yatağında Kuyu Yeri Seçimi	Bulanık TOPSIS, Entropi, Kruskal Algoritması
Aydin (2013)	Rüzgâr enerjisi santrali yer seçimi	Bulanık TOPSIS, VIKOR
Ağaç vd. (2015)	Serbest bölge yer seçimi	AHP, TOPSIS, VIKOR, ELECTRE
Yavuz ve Deveci (2014)	Alışveriş merkezi kuruluş yeri seçimi	Bulanık TOPSIS, Bulanık VIKOR
Yıldız ve Demir (2019)	Yerli otomobil için en uygun fabrika yeri seçimi	Bulanık TOPSIS
Uslu vd. (2017)	Okul yeri seçimi	AHP, TOPSIS
Erdal (2018)	En uygun güvenlik malzemeleri depo yeri seçimi	AHP, TOPSIS
Luo <i>et al.</i> (2020)	Atıktan Enerji Üretim Tesisi Yer Seçimi	TOPSIS, BWM, ANP
Kuyrukçu ve Alkan (2020)	Üniversite kuruluş yeri seçimi	AHP, TOPSIS
Gergin (2020)	Yağlı tohum saklama deposu yer seçimi	AHP, TOPSIS
Akpınar ve Koçak (2021)	Öğrenci sağlık merkezi yer seçimi	TOPSIS, Ağırlık Merkezi Yöntemi
Ömürgönülşen ve Menten (2021)	Olası afet sonrası geçici barınma alanları seçimi	Bulanık TOPSIS
Sağnak vd. (2021)	Elektronik atıklar İçin Toplama Merkezi Yer Seçimi	Bulanık TOPSIS, BWM

CRITIC Yöntemi ile İlgili Çalışmalar

CRITIC yöntemi kriterler arası korelasyonun ile kriterlerin standart sapmalarının beraber ele alındığı, uzman görüşüne gerek olmayan objektif bir ağırlıklandırma yöntemidir. İlk olarak 1995 yılında Diakolaki ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışma ile literatüre kazandırılmıştır. Literatür incelendiğinde uzman görüşlerine gerek duyulmayan bir çok ÇKKV probleminde kriter ağırlıklarının bulunması için CRITIC yöntemi kullanılmıştır. CRITIC yönteminin kullanıldığı çalışmalardan bazıları aşağıdaki Tablo 5’de verilmiştir.

Tablo 5. CRITIC Yönteminin Kullanıldığı Bazı Çalışmalar

Yazar	Uygulama Alanı	Kullanılan Yöntem
Tuş ve Adalı (2018)	Personel Seçimi	CRITIC, CODAS, PSI
Kiracı ve Bakır (2018)	Havayolu İşletmelerinin Performans Ölçümü	CRITIC, EDAS
Ulutaş ve Karaköy (2019)	Bir Kargo Firmasının Performans Analizi	CRITIC, ROV
Bulğurcu (2019)	En Uygun Akıllı Saat Seçimi	CRITIC, MAUT
Akbulut (2019)	Banka Performans Analizi	CRITIC, EDAS
Ayçin (2020)	Personel Seçimi	CRITIC, MAIRCA
Gençtürk vd. (2021)	Covid19 Pandemisinin Katılım Bankalarının Performansları Üzerine Etkisinin İncelenmesi	CRITIC, MARCOS
Kumari and Acherjee (2021)	Yüksek Mukavemetli ve İşlenmesi Zor Malzemeler için En Uygun İşleme Yönteminin Seçimi	CRITIC, CODAS
Bhadra <i>et al.</i> (2021)	Kompozit Malzemelerde Kullanılan En İyi Doğal Lif Seçimi	CRITIC, AHP, TOPSIS

MATERYAL VE METOT

Karar verme, insanların gün içerisinde defalarca yaptığı bir eylemdir. Karar verme birçok seçenek arasından en iyi alternatifi seçme olarak tanımlanabilir. Karar verme durumlarında, karara ilişkin riskler ve ödüller değerlendirilerek seçim yapılmaktadır. Bir karar aşamasında seçilecek alternatif sayısının çoğalmasa ve istenilen şartı sağlayan kriterlerin artması durumunda karar vermek zorlaşmaktadır. Bu gibi durumlarda ÇKKV yöntemleri, insan beyninin bulanıklığını giderip karar almaya yardımcı olacak bilimsel tekniklerdir. Bu çalışmada ÇKKV yöntemlerinden CRITIC ve TOPSIS yöntemleri kullanılmıştır.

CRITIC Yöntemi

CRITIC yöntemi Diakoulaki ve arkadaşları (1995) tarafından geliştirilen, ÇKKV problemlerinde kriter ağırlıklarının bulunmasında kullanılan objektif bir kriter ağırlıklandırma yöntemidir. CRITIC yöntemi ile elde edilen ağırlıklar her bir kriterin zıtlık yoğunluğu ile kriterler arasındaki çelişki düzeyini içerir. Zıtlık yoğunluğu standart sapma değeri ile bulunurken, kriterler arasındaki çelişki korelasyon analizi ile elde edilmektedir (Diakoulaki vd,1995). Yöntem adımları aşağıda açıklanmıştır (Diakoulaki vd,1995).

Adım 1. Karar matrisinin oluşturulması

m adet alternatif ve n adet kriter için x_{ij} elemanı matriste yer alan i alternatifinin j kriterine göre aldığı değeri temsil etmek üzere $[X]$ karar matrisi aşağıdaki gibi oluşturulur.

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad i=1,2,\dots,m \quad j=1,2,\dots,n \quad (1)$$

Adım 2. Karar matrisinin normalize edilmesi

Karar matrisindeki değerler farklı ölçüm birimleriyle verildiğinden dolayı tutarlılığı sağlamak amacıyla karar matrisinin normalize edilmesi gerekmektedir. Normalizasyon işlemi fayda yönlü kriterler için Eşitlik (2), maliyet yönlü kriterler için Eşitlik (3) kullanılarak yapılır ve Eşitlik (4)'de gösterilen normalize edilmiş karar matrisi $[R]$ elde edilir.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - x_j^{\min}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}} \quad j=1,2,3,\dots,n \quad (2)$$

$$r_{ij} = \frac{x_j^{max} - x_{ij}}{x_j^{max} - x_j^{min}} \quad j=1,2,3,\dots,n \quad (3)$$

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

Burada, r_{ij} i alternatifinin j kriterine göre normalize edilmiş değerini göstermektedir.

Adım 3. İlişki katsayı matrisinin oluşturulması

Normalizasyon işleminden sonra kriterler arasındaki ilişkilerin derecesini ölçmek üzere r_{ij} değerleri kullanılarak herhangi k kriteri ile j kriteri arasındaki korelasyon katsayıları (P_{jk}) Eşitlik (5) kullanılarak bulunur.

$$P_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^m (r_{ij} - \bar{r}_j)(r_{ik} - \bar{r}_k)}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (r_{ij} - \bar{r}_j)^2 \sum_{i=1}^m (r_{ik} - \bar{r}_k)^2}} \quad j,k=1,2,3,\dots,n \quad (5)$$

Adım 4. Standart sapmaların ve C_j değerlerinin hesaplanması

Her bir kriterin standart sapması (σ_j) Eşitlik (6) ile hesaplandıktan sonra C_j değerleri Eşitlik (7) kullanılarak hesaplanır.

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (r_{ij} - \bar{r}_j)^2}{m}} \quad (6)$$

$$C_j = \sigma_j \sum_{i=1}^m (1 - p_{jk}) \quad j,k=1,2,3,\dots,n \quad (7)$$

Adım 5. Kriter ağırlıklarının hesaplanması

Eşitlik (8) kullanılarak her bir j kriterinin C_j değerinin tüm kriter değerlerinin toplamına oranlanarak kriterlerin önem ağırlıkları (w_j) bulunur

$$w_j = \frac{C_j}{\sum_{k=1}^n C_k} \quad (8)$$

TOPSIS Yöntemi

TOPSIS yöntemi, 1981 yılında Hwang ve Yoon tarafından sıralama amacıyla geliştirilen ÇKKV tekniklerinden biridir. TOPSIS tekniğinde, pozitif ideal çözüme en yakın ve negatif ideal çözüme en uzak alternatifin seçilmesi amaçlanmaktadır. Pozitif ideal çözüm faydayı maksimize ederken maliyeti minimize etmektedir. Negatif ideal çözüm ise faydayı minimize ederken maliyeti maksimize etmektedir (Yousefi, 2010). TOPSIS yönteminin uygulama adımları aşağıdaki gibidir.

Adım 1. Karar matrisinin oluşturulması

İlk olarak, Eşitlik (1)'de gösterildiği gibi başlangıç karar matrisi oluşturulur.

Adım 2. Karar matrisinin normalize edilmesi

Karar matrisinde veriler farklı ölçüm birimlerinden olması dolayısıyla verilerde ölçek dönüşümü yapılarak veriler birimlerden arındırılarak standartlaştırılır. Bu adımda karşılaştırılabilir ölçek edilmek üzere, Eşitlik (9)'da gösterildiği gibi her kritere ait değerler o kriterlerin kareleri toplamının kareköküne bölünerek normalleştirilir ve Eşitlik (10)'da gösterilen normalleştirilmiş karar matrisi R oluşturulur.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad i=1,2,\dots,m, \quad j=1,2,\dots,n \quad (9)$$

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad (10)$$

Adım 3. Ağırlıklandırılmış normalize karar matrisinin oluşturulması

Bu adımda normalize edilen karar matrisi CRITIC yönteminden elde edilen kriter ağırlıkları (w_j) ile çarpılarak i . alternatifin j . kritere ağırlıklandırılmış normalize değerini göstermek üzere v_{ij} elemanlarından oluşan ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi [V] elde edilir.

$$V = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \dots & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \dots & w_n r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & \dots & w_n r_{mn} \end{bmatrix} = R = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & \dots & v_{1n} \\ v_{21} & v_{22} & \dots & v_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ v_{m1} & v_{m2} & \dots & v_{mn} \end{bmatrix} \quad (11)$$

Adım 4. Pozitif ve negatif ideal çözümlerin oluşturulması

Bu adımda pozitif ve negatif ideal değer setleri belirlenir. Ağırlıklandırılmış normalize karar matrisinde her sütundaki maksimum ve minimum değerler Eşitlikler (12) ve (13) ile tespit edilerek ideal çözüm için maksimum değerler ve negatif ideal çözüm için minimum değerler sırası ile elde edilir.

$$A^+ = \left\{ \left(\max_i v_{ij} \mid j \in J \right), \left(\min_i v_{ij} \mid j \in J' \right) \right\} \quad (12)$$

$$A^- = \left\{ \left(\min_i v_{ij} \mid j \in J \right), \left(\max_i v_{ij} \mid j \in J' \right) \right\} \quad (13)$$

Adım 5. Uzaklık değerlerinin hesaplanması

Bu adımda pozitif ve negatif ideal çözüm setinden sapma değerleri Eşitlikler (14)-(15) ile hesaplanmaktadır. Buradan elde edilen alternatiflere ilişkin sapma değerleri ise İdeal Ayırım (S_i^*) ve Negatif İdeal Ayırım Ölçütü (S_i^-) olarak adlandırılmaktadır.

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2} \quad i=1,2,\dots,m \quad (14)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad i=1,2,\dots,m \quad (15)$$

Adım 6. İdeal çözüme göre göreceli yakınlığın hesaplanması ve sıralama

Her bir alternatifin ideal çözüme göreceli yakınlığının C_i^* hesaplanmasında ideal ve negatif ayırım ölçülerinden yararlanılmaktadır. Burada kullanılan ölçüt, negatif ideal ayırım ölçüsünün toplam ayırım ölçüsü içindeki payıdır. İdeal çözüme göreceli yakınlık değeri Eşitlik (16) kullanılarak hesaplanır.

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{(S_i^- + S_i^+)} \quad i=1,2,3,\dots,m \quad (16)$$

Burada $0 \leq C_i^* \leq 1$ aralığında değer almaktadır. $C_i^* = 1$ ilgili alternatifin ideal çözüme, $C_i^* = 0$ ise negatif ideal çözüme mutlak yakınlığını göstermektedir. Belirlenen yakınlık değerleri büyükten küçüğe sıralanarak alternatiflerin sıralaması yapılır.

ARP ve Çözüm Yaklaşımları

Literatürde ilk defa 1959 yılında Dantzig ve Ramser tarafından ele alınan ARP, bir veya birden fazla depodan farklı coğrafi konumlarda bulunan müşteri taleplerinin karşılanması için optimum araç rotalarının bulunması problemi. Araç rotalama problemleri amaçları itibariyle gezgin satıcı problemine benzemektedir. Literatürde, ARP Gezgin Satıcı Probleminin (GSP) birden fazla araç ve eklenmiş kısıtlar ile geliştirilmiş hali olarak bilinmektedir (Keskintürk vd., 2015). ARP türleri aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- Mesafe Kısıtlı Araç Rotalama Problemi: Her araç için maksimum mesafe kısıtının koyulduğu ve rotalara atanan araçların o mesafeyi geçemediği ARP türüdür.
- Çok Depolu Araç Rotalama Problemi: Müşteri taleplerinin karşılanması için araçların birden fazla depodan dağıtımını gerçekleştirdiği araç rotalama türüdür
- Zaman Pencere Araç Rotalama Problemi: Müşterilerin taleplerinin karşılanması için belirli bir zaman diliminde müşterilerin ziyaret edildiği ARP türüdür.
- Topla-Dağıt Araç Rotalama Problemi: ARP’de müşteriye ürün dağıtılabilirdiği gibi müşteriden ürün toplanabilir. Bu ARP türü toplama veya dağıtım işleminin gerçekleştirilmesine göre üçe ayrılır (Atmaca, 2012);
 - Önce dağıtım sonra toplama; müşterilere ulaştırılacak ürünlerin tamamı dağıtıldıktan sonra depoya gönderilecek ürünlerin toplanması için tekrar müşterilere uğranılır.
 - Karışık dağıtım toplama; müşterilere birden çok kez uğranılarak dağıtım ve toplama işlemi karışık olarak yapılmaktadır.
 - Eş zamanlı dağıtım ve toplama; dağıtım ve toplama işlemlerinin aynı anda gerçekleştirildiği problemlerdir. Yani müşteriye talebi teslim edilirken müşteriden depoya gönderilecek ürünler de aynı anda teslim alınmaktadır.
- Periyodik Araç Rotalama Problemi: Müşterilerin bir planlama periyodunda bir veya birden fazla kez ziyaret edildiği ARP türüdür. Müşterilere ziyaretleri müşteri taleplerine veya müşteriden toplanacak ürün miktarına bağlıdır.
- Stokastik Araç Rotalama Problemi: Müşteri sayısının, müşteri taleplerinin, servis zamanları gibi problem kısıtlarının rassal olduğu ARP türüdür (Yılmaz, 2008).
- Simetrik Araç Rotalama Problemi: Bir rotalama probleminde i . konumdan j . konuma olan uzaklığın j . konumdan i . konuma olan uzaklığa eşit olduğu ARP türüdür.

- Asimetrik Araç Rotalama Problemi: Bir rotalama probleminde i . konumdan j . konuma olan uzaklığın j . konumdan i . konuma olan uzaklığa eşit olmadığı ARP türüdür.
- Açık Uçlu Araç Rotalama Problemi: Rotanın bir başlangıç noktasından başlayıp talep noktası ile sona erdiği ARP türüdür (Erol, 2006). Bu problem türünde araç başlangıç noktasına geri dönmez.
- Kapalı Uçlu Araç Rotalama Problemi: Rotanın bir başlangıç noktasından başlayıp başlangıç noktasında bittiği ARP türüdür. Bu problem türünde araçlar başlangıç noktasından çıkar, müşteri talepleri karşılandıktan sonra tekrar başlangıç noktasına geri döner(Erol, 2006).
- Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi: Kapasitesi sınırlı olan araçlarla talepleri önceden belli olan müşterilere ulaşılabilmesi için en uygun rotanın planlandığı en yaygın ARP türüdür (Yılmaz, 2008).

ARP’de uğrak noktası sayısı arttıkça problemin çözümü üstel olarak zorlaşmaktadır. n adet uğrak noktalı bir grafta, birbirinden farklı hamilton yollarının sayısı $(n - 1)!/2$ ’dir. Örneğin 9 uğrak noktalı bir problemde 20160 hamilton yolu, 10 uğrak noktalı bir problemde 181.440 adet hamilton yolu vardır. Yani problemin boyutu arttıkça ARP’nin çözümü aynı derecede zorlaşmaktadır. ARP’ler bundan dolayı NP-zor problemler sınıfına girmektedir. ARP çözüm yöntemleri, çözümün optimum olup olmamasına göre Kesin ve Sezgisel olmak üzere iki gruba ayrılır. NP-zor kombinatoriyal sınıfta yer alan ARP problem çözümleri için, kesin algoritmalar yalnızca küçük problemler için yararlıdır. Daha gerçek boyuttaki problemler için sezgisel yöntemler daha uygundur (Breedam, 2001). Başlıca ARP çözüm yöntemleri Tablo 6’da verilmiştir.

Tablo 6. ARP Çözüm Yöntemleri

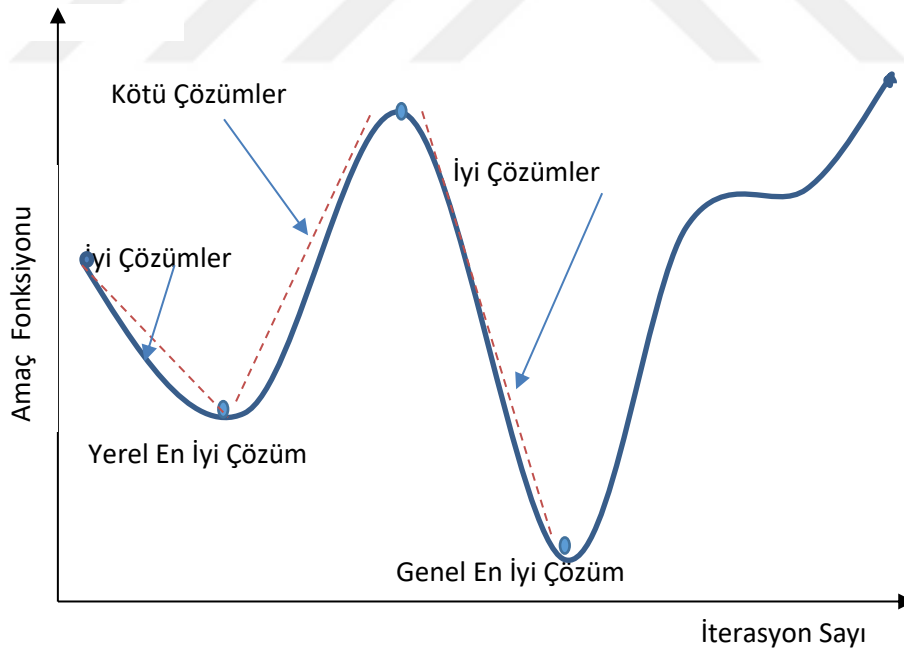
Kesin Yöntemler	Klasik Sezgisel Yöntemler	Metasezgisel Yöntemler
Kesme Düzlemi	Dantzig ve Ramser’in Yöntemi	Tavlama Benzetimi
Dal ve Sınır Algoritması	Clarke ve Wright Tasarruf Algoritması	Karınca Kolonisi
Dal ve Kesme Algoritması	En Yakın Komşu Metodu	Parçacık Sürü Optimizasyonu
Dinamik Programlama	2-Opt Algoritması	Tabu Arama
	3-Opt Algoritması	Genetik Algoritma
	k-Opt Algoritması	Yapay Arı Kolonisi
	Lin-Kemighan Algoritması	
	Süpürme Algoritması	
	Fisher ve Jaikumar Algoritması	

Büyük boyutlu ARP problemlerinde uygun çözümün makul sürede bulunamaması karar vericiler için istenilmeyen bir durumdur. Dolayısıyla büyük boyutlu problem çözümleri için hızlı ve optimuma yakın bir sonuç elde etmek için sezgisel veya metasezgisel algoritmalar kullanılmaktadır. Amaç fonksiyonu değerinin birden fazla yerel optimum noktası olması durumunda sezgisel yöntemler genel optimum sonucu veremeyebilir (Winston ve Goldberg, 2004). Yerel optimum noktalara takılmamak için ARP çözümlerinde meta-sezgisel yöntemler kullanılmaktadır. Meta-sezgisel çözüm yöntemleri, yerel en iyi noktalardan kaçınarak genel en iyi noktayı bulmak için yerel iyileştirme prosedürlerini kullanıp çözüm üreten yöntemlerdir (Hillier *et al.*, 2004).

Bu çalışmada en çok kullanılan sezgisel algoritmalarından TB algoritması kullanılmıştır. Algoritma Matlab R2019b ortamında kodlanarak problem çözülmüştür.

TB algoritması

Stokastik çözüm yaklaşımı olan TB algoritması metallerin tavlama işlemi ile bir optimizasyon problemine çözüm araştırma olayları arasındaki benzerlikten ilham alınarak 1983 yılında Kirkpatrick ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışma ile literatüre kazandırılmıştır. TB algoritmasının temel işleyişi Şekil 2’de gösterildiği gibidir.



Şekil 2. Tavlama benzetimi algoritmasının temel işleyişi

Yukarıdaki şekilde görüldüğü üzere TB algoritması çözüm aramaya rastgele oluşturulmuş bir başlangıç çözümü ile başlar. Uygun komşuluk fonksiyonları ile mevcut çözüm üzerinde değişiklikler yapılarak komşu çözümler üretilir. Üretilen komşu çözümün amaç fonksiyon değeri hesaplanarak mevcut çözümün amaç fonksiyon değeri ile karşılaştırılır.

Komşu çözümün amaç fonksiyon değeri mevcut amaç fonksiyon değerinden daha iyi ise komşu çözüm yeni çözüm olarak kabul edilir. Aksi taktirde komşu çözüm için kabul olasılığı hesaplanır. $P_a = e^{-\Delta/T}$ formülüne göre elde edilen kabul olasılığı 0 ile 1 arasında rastgele üretilen rassal sayı ile karşılaştırılır. P_a kabul olasılığı rassal sayıdan büyük olursa komşu çözüm yeni çözüm olarak kabul edilir aksi taktirde mevcut çözüm korunur.

Algoritmanın temel mantığında, çözüm uzayında yerel en iyi çözümlerden kurtulmak için mevcut çözümden daha kötü çözümlerin belirli bir olasılıkla kabul edilmesi yatar. Kabul olasılık değeri mevcut çözüm ile komşu çözümün amaç fonksiyon değerleri arasındaki fark ve sıcaklık kontrol parametresi dikkate alınarak hesaplanır. Kötü çözümlerin kabul edilme olasılığı katıların fiziksel tavlama sürecine benzer şekilde sıcaklık düşüşüne bağlı olarak azalır (Blum ve Roli, 2003).

Standart bir TB algoritmasının temel adımları aşağıda verilmektedir (Breedam, 2001);

Adım 1. Rasgele olarak bir başlangıç çözümü üret ve en iyi çözüm ζ olarak ata. Ayrıca t iterasyon indeksini 0 olarak ata.

Adım 2. Bir başlangıç sıcaklık değeri T_B belirle ve mevcut sıcaklık değeri $T_0 = T_B$ olarak ata.

Adım 3. En iyi çözümden hareketle rasgele komşu bir çözüm $\zeta^1 \in N(\zeta)$ oluşturun.

Adım 4. Üretilen ζ^1 çözümüyle ζ çözümünün amaç fonksiyonu değerleri arasındaki farkı hesapla ($\Delta = C(\zeta^1) - C(\zeta)$)

Adım 5. Eğer ζ^1 , ζ 'den daha iyi ($\Delta < 0$) ise ζ çözümüne ζ^1 çözümünü ata. ζ^1 , ζ 'den daha kötü fakat mevcut T_t sıcaklığında ($P_a = e^{-\Delta/T}$) $> rs$ sağlanıyorsa (rs , 0 ile 1 arasında rasgele üretilmiş bir sayıdır) ζ çözümü ile ζ^1 çözümünü yer değiştir. Yoksa ζ 'yi mevcut çözüm olarak muhafaza et.

Adım 6. T sıcaklığını aşağıdaki formüle göre değiştir.

$$T_t = R \cdot T_{t-1} \quad (0 < R < 1)$$

Adım 7. Durdurma kriteri sağlanıyorsa algoritmayı durdur, aksi taktirde iterasyon indeksi t 'yi bir arttır ve üçüncü adıma git

Başlangıç çözümü;

Başlangıç çözümü rastgele oluşturulan çözümdür. Örneğin randperm komutuyla oluşturulan 10 şehirli bir rota;

$$\text{randperm}(10) = 3 \quad 4 \quad 2 \quad 6 \quad 1 \quad 8 \quad 5 \quad 9 \quad 10 \quad 7-3$$

Komşu çözüm;

TB algoritmasında en önemli konulardan biri de komşuluk yapısıdır. Literatüre bakıldığında mevcut çözüm üzerinde değişiklik yapılarak komşu çözümler üreten kaydırma, ters çevirme, yerleştirme, yer değiştirme gibi birçok yöntem olduğu görülmektedir. Bu çalışmada komşu çözümler araç rotaları üzerindeki iki şehrin yeri değiştirilerek elde edilmiştir.

Örneğin; randperm(10) komutuyla oluşturulan 3 4 2 6 1 8 5 9 10 7-3 başlangıç rotasındaki 2. ve 3. şehrin yerleri değiştirilerek oluşturulan yeni komşu çözüm;

3 2 4 6 1 8 5 9 10 7-3 şeklinde olacaktır.

Parametreler;

Diğer metasezgisel algoritmalarda olduğu gibi TB algoritmasında da parametre seçimi çok önemlidir.

Başlangıç sıcaklığı(T_0): TB algoritmasının performansını etkileyen en önemli kriterlerinden biri başlangıç sıcaklığının belirlenmesidir. Başlangıç sıcaklığının yüksek olması durumunda çözüm iyi de kötü de olsa kabul edilecektir. Başlangıç sıcaklığının düşük seçilmesi durumunda global minimuma ulaşmadan yerel minimum çözümlere takılmalar olabilmektedir. Genel olarak başlangıçta yüksek sıcaklık seçilmekte ve belli bir fonksiyona göre azaltılmaktadır. Sıcaklık parametresi yüksek seçildiği için başlangıç çözümlerinin çoğu kabul edilecek sıcaklık sıfıra yaklaşıncaya kötü çözümlerin kabul edilmesi neredeyse imkansız olacaktır.

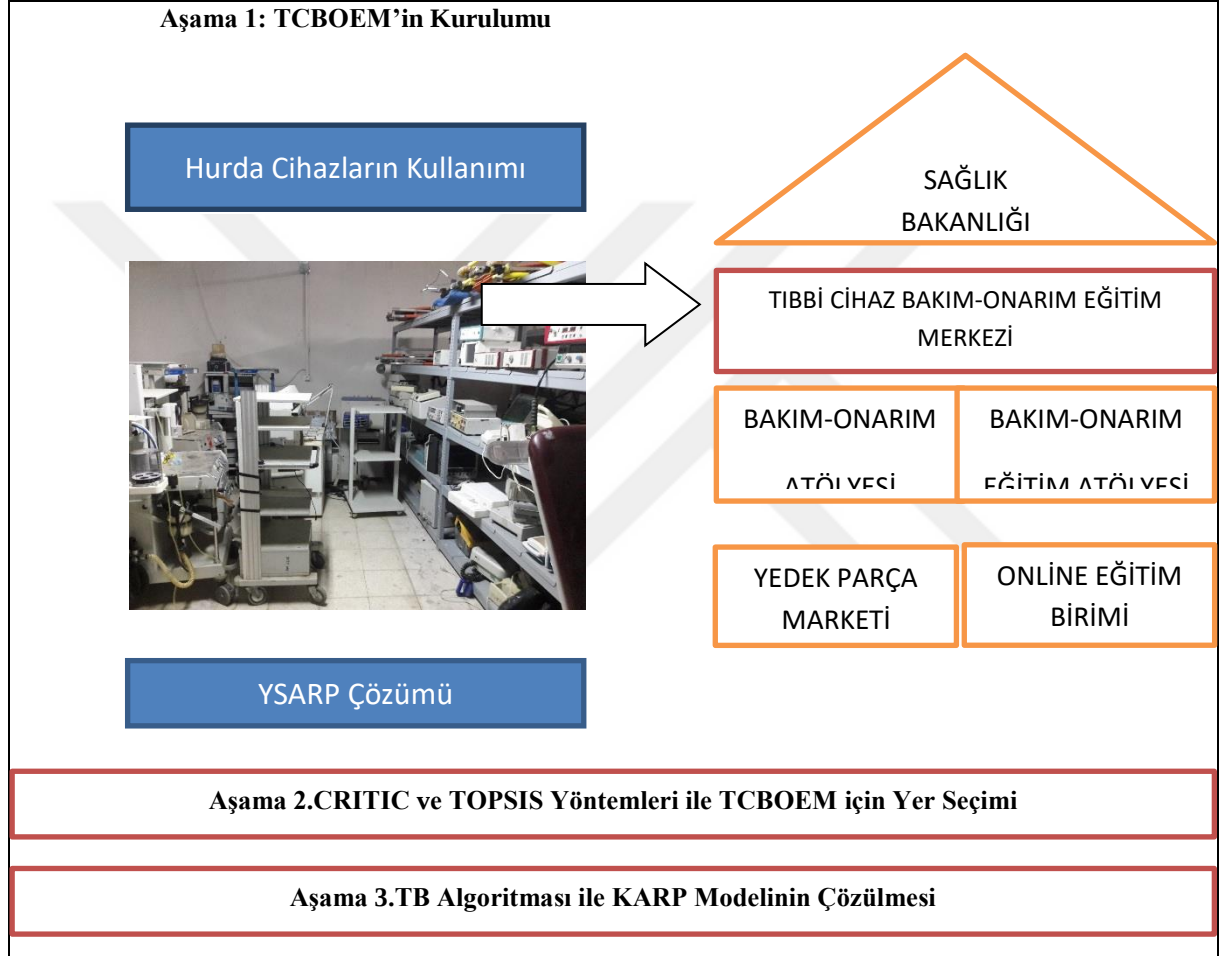
Soğutma hızı(R): Metallerin tavlama sürecinde kusurlu yapının ortaya çıkmaması için sıcaklığın yavaş yavaş soğuması gerektiği gibi TB algoritmasında başlangıçta yüksek bir sıcaklıkla başlamak ve yavaş yavaş soğutma işlemi gerçekleştirilmektedir. Soğutma işlemi belli bir fonksiyona göre gerçekleştirilmektedir. Soğutma işleminde kullanılan soğutma katsayısı R 0 ile 1 arasında seçilen bir değerdir. Soğutma katsayısının büyük seçilmesi durumunda soğuma işlemi çok yavaş olmakta çok küçük seçilmesi durumunda da soğuma işlemi çok hızlı olmaktadır. Literatür incelendiğinde soğutma katsayısının genellikle 0,8 ile 0,99 arasında seçildiği görülmektedir. Bu çalışmada soğuma katsayısı 0,99 olarak kullanılmıştır.

Max iterasyon sayısı (IT_1): TB algoritmasında; Max iterasyon sayısına ulaşılması, belirtilen sıcaklığa ulaşılması ve optimum çözümün elde edilmesi durumlarında algoritma sonlanır. Bu tez çalışmasında sonlandırma kriteri olarak max iterasyon sayısı baz alınmıştır.

Her sıcaklıkta gerçekleştirilecek iterasyon sayısı (IT_2): TB algoritmasında çözüm sürecinin sonsuz döngüye girmemesi için her bir sıcaklıkta üretilecek çözüm sayısının sınırlandırılması gerekmektedir.

Tıbbi Cihazların Bakım-Onarım Faaliyetleri için Önerilen Çözüm Yaklaşımı

Tıbbi cihazların bakım-onarım faaliyetlerinin etkin bir şekilde yapılması ve hasta memnuyetinin artırılması için önerilen çözüm yaklaşımı Şekil 3’de gösterildiği gibi merkezin kurulması ve YSARP probleminin çözülmesini içeren üç temel aşamadan oluşmaktadır.



Şekil 3. Çözüm yaklaşımı akış diyagramı

Aşama 1. TCBOEM’nin kurulumu

Tıbbi cihaz bakım-onarım süreçlerinde yaşanan çözüm bulunması için önerilen TCBOEM’in kapsamı ve faaliyetleri bu aşamada belirlenir.

Aşama 2. CRITIC ve TOPSIS yöntemleri ile TCBOEM için yer seçimi

Bu çalışmada ÇKKV kapsamında TCBOEM yer seçimi konusu ele alınmıştır. Öncelikle kriter ağırlıklarının belirlenmesi için ÇKKV yöntemlerinden CRITIC yönteminden

faydalanılmıştır. Daha sonra alternatiflerin değerlendirilmesi için TOPSIS yöntemi ele alınmıştır.

Aşama 3. ARP probleminin çözümü

TCBOEM yer seçimi için en uygun il belirlendikten sonra bu merkeze diğer 80 şehirden tıbbi cihaz hurdalarının taşınması için ARP modeli oluşturulmuş ve Matlab R2019b ortamında kodlanarak çözülmüştür.

Modelin varsayımları ve sağlanması gereken koşullar şunlardır:

- Şehirlerin birbirlerine uzaklıkları simetriktir.
- Her ilde hastanelerde ortaya çıkan hurda cihazların bir merkezi hastanede toplanacağı varsayılmaktadır. Yer seçimi için en uygun olarak belirlenen ildeki hurdaların TCBOEM’nde toplanacağı varsayılmıştır.
- Her araç rotasının başlangıç ve bitiş noktası TCBOEM olmalıdır.
- Her bir şehir sadece bir araç rotasında olmalı ve sadece bir kez ziyaret edilip talebi karşılanmalıdır.
- Bir rota içerisinde ziyaret edilen şehirlerin talepleri toplamı o rotayı kullanan aracın kapasitesini aşmamalıdır.

Matematiksel formülasyon

Parametreler:

J : Araç sayısı

I : Şehir sayısı

C : Araç kapasitesi

d_{ij} : i şehrinden j şehrine uzaklık

r_i : i .şehrin talep miktarı

U_i, U_j : Alt turları engellemek için kullanılan yardımcı değişkenler

Karar Değişkenleri:

$$X_{ijk} = \begin{cases} 1, & k \text{ nolu araç } i \text{ şehrinden } j \text{ şehrine giderse} \\ 0, & \text{aksi takdirde} \end{cases}$$

Amaç Fonksiyonu:

$$\text{Min} Z = \sum_{i=0}^I \sum_{j=0}^I \sum_{k=1}^J d_{ij} X_{ijk} \quad i \neq j \quad (17)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{k=1}^J \sum_{j=1}^I X_{0jk} = J \quad (18)$$

$$\sum_{k=1}^J \sum_{j=0:j \neq i}^I X_{ijk} = 1 \quad i=1, \dots, I \quad (19)$$

$$\sum_{k=1}^J \sum_{i=0:i \neq j}^I X_{ijk} = 1 \quad j=1, \dots, I \quad (20)$$

$$\sum_{i=1}^I X_{i0k} \leq 1 \quad k=1, \dots, J \quad (21)$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=0:j \neq i}^I r_i X_{ijk} \leq C \quad k=1, \dots, J \quad (22)$$

$$U_i - U_j + I \sum_{k=1}^J X_{ijk} \leq I - 1 \quad 2 \leq i, j \leq I: i \neq j \quad (23)$$

$$X_{ijk} \in \{0,1\} \quad i, j = 0, \dots, I \quad (24)$$

$$U_i, U_j \geq 0 \quad i, j = 0, \dots, I \quad (25)$$

Modelin amaç fonksiyonu (17) toplam gidilen mesafenin minimum olmasını ifade etmektedir. (18) nolu kısıt başlangıç noktası olan merkezden harekete geçecek araç sayısının mevcut araç sayısına eşit olduğunu, (19) ve (20) nolu kısıtlar; bir müşterinin sadece bir araç tarafından ziyaret edilmesini ve müşteriye gelen ve müşteriden çıkan rotadan yalnızca bir tanesinin kullanılması gerektiğini ifade etmektedir. (21) nolu kısıt bir aracın sadece bir rotada kullanılabileceğini, (22) nolu kısıt bir rotadaki toplam talebin araç kapasitesini aşamayacağını ifade etmektedir. (23) nolu kısıt ile alt turların oluşmaması sağlanmaktadır. (24) ve (25) numaralı kısıtlar ise işaret kısıtlarıdır.

ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde üçüncü bölümde önerilen çözüm yaklaşımı uygulanmış ve elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.

Önerilen Çözüm Yaklaşımının Uygulanması

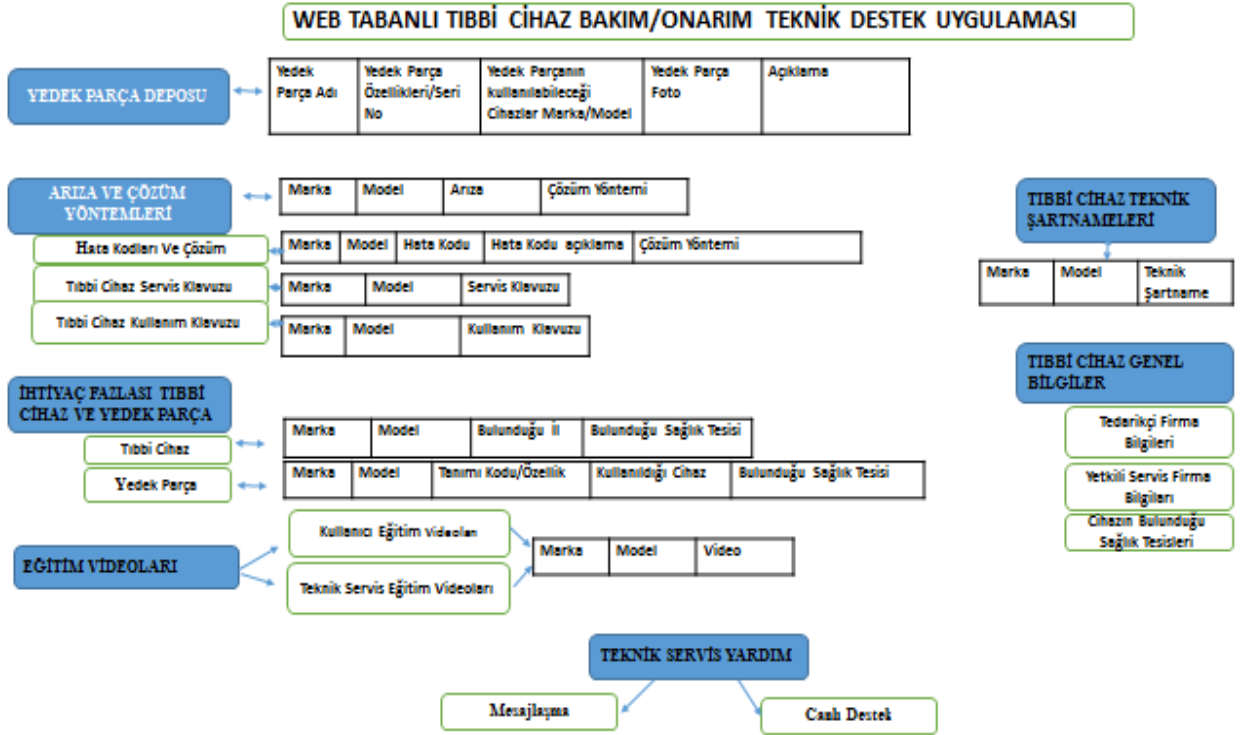
Temelde üç aşamadan oluşan çözüm yaklaşımı aşağıda açıklandığı gibi uygulanmıştır.

Aşama 1. TCBOEM'nin Kurulması, Kapsam ve Faaliyetlerinin Belirlenmesi

Bu aşama tıbbi cihaz bakım-onarım süreçlerinde yaşanan sıkıntılara çözüm olabileceği düşünülen TCBOEM kurulduktan sonra, bu merkezin kapsam ve faaliyetleri belirlenir. Öneri doğrultusunda kurulacak 'TCBOEM'nin faaliyetlerinin aşağıda açıklandığı kapsamda olmalıdır:

- Her türlü tıbbi cihazın bakım-onarımının ve eğitimleri yapılabilir.
- Sağlık tesislerindeki tıbbi cihaz bakım-onarım işleriyle ilgilenen teknik personellere gerekli teknik desteği verebilecek uzman personeller istihdam edilecektir.
- 81 ildeki kamu hastanelerinde **hurdaya ayrılan tıbbi cihazlar en uygun araç rotalarıyla bu merkeze taşındıktan sonra söz konusu** cihazlar onarılmaya çalışılacak onarılamayan cihazlar demontaj işlemleriyle yedek parçaları sökülüp yedek parça marketi oluşturulacak, ihtiyaç duyan sağlık tesislerine gönderilecektir.
- 81 ildeki teknik personellere belli periyotlarla uygulamalı bakım-onarım eğitimleri verilecektir.
- Bakım-onarım işlemlerinin yapılması sırasında online yayınlanması ile sağlık tesislerindeki teknik personellerin eğitimine katkıda bulunulacaktır.
- Ayrıca hastanelerde âtıl durumda bekleyen ihtiyaç fazlası cihazlar da bu merkeze gönderilip ihtiyacı olan sağlık tesislerine devirleri yapılabilir.
- Web tabanlı 'Tıbbi Cihaz Bakım/Onarım Teknik Destek Yazılım Uygulaması' geliştirilerek sağlık tesislerindeki teknik personellerinin kullanımına açılacaktır. İhtiyaç duyulan yedek parçalar talep edilebilecek, eğitim videoları, arıza ve çözüm yöntemleri vb. modüllerden faydalanılabilecek, ihtiyaç durumunda uygun teknik şartnameler edinilebilecektir. Teknik destek ihtiyacı durumunda canlı mesajlaşma uygulamasıyla gerekli teknik destek sağlanabilecektir.

Web uygulamasında bulunması gereken modüller Şekil 4’de verilmiştir.



Şekil 4. Web uygulaması görünümü

Aşama 2. CRITIC ve TOPSIS Yöntemleri ile TCBOEM'nin Yer Seçimi

Adım 1. CRITIC yöntemi ile kriter ağırlıklarının bulunması.

Bu aşamda CRITIC yöntemi ile yer seçiminde etkili olacak kriterler önem derecelerine göre ağırlıklandırılmıştır.

Adım 1.1. Karar matrisinin oluşturulması

Çalışma kapsamında öncelikle TCBOEM'nin yer seçiminde kullanılan kriterler uzman görüşleri de alınarak Tablo 7’de gösterildiği gibi belirlenmiştir. Daha sonra yer seçimi için her bölgenin en önemli şehirleri Antalya, İzmir, İstanbul, Samsun, Ankara, Erzurum ve Diyarbakır olmak üzere Şekil 5’de gösterildiği gibi 7 büyük şehir alternatif olarak belirlenmiştir.



Şekil 5. Bakım-onarım merkezi için alternatif şehirler

Çalışmada kullanılan kriterlerin açıklamaları ve bu kriterle ilgili veri setlerinin kaynağı Tablo 7’de belirtilmiştir.

Tablo 7. Kullanılan Kriterler ve Veri Seti Kaynakları

Kriter	Açıklama	Veri Kaynağı
Kamu Hastanesi Yatak Kapasitesi (K_1)	Yatak kapasitesi büyük olan sağlık tesislerinde cihaz sayısı çok olduğundan hurdaya ayrılacak cihaz sayısı da çok olacaktır.	https://khgmsaglikhizmetleridb.saglik.gov.tr
Üniversite Hastanesi Yatak Kapasitesi (K_2)	Üniversite hastaneleri de kamu nitelikli hastane olduğundan ve buradaki cihaz hurdalarının da değerlendirilebileceği düşüncesinden dolayı bu kriter dikkate alınmıştır.	Üniversite hastaneleri resmi siteleri
10 Yaş Üzeri Tıbbi Cihaz Maliyet Tutarı (K_3)	Tıbbi cihazların ekonomik ömürleri genellikle 5-10 yıl olduğu için 10 yaş üzeri tıbbi cihaz bulunan sağlık tesislerinde hurdaya ayrılacak cihaz miktarı çok olacaktır.	https://is-zekasi.saglik.gov.tr
5-10 Yaş Tıbbi Cihaz Maliyet Tutarı (K_4)	5-10 yaş arası tıbbi cihazlar potansiyel hurda cihaz adayı olduğu için bu kriter değerlendirilmiştir.	https://is-zekasi.saglik.gov.tr
Ulaşım Durumu (puan) (K_5)	Tıbbi cihaz hurdalarının Bakım/Onarım merkezine ulaştırılması söz konusu olduğundan bu kriter dikkate alınmıştır.	https://www.uab.gov.tr
Ünv.Biyomedikal Mühendisi/ Teknikeri Sayısı (K_6)	Tıbbi cihaz bakım/onarımı konusunda eğitim almaları dolayısıyla 2020 yılında söz konusu bölümlere yerleşen kişi sayısı baz alınmıştır.	https://yokatlas.yok.gov.tr
Arsa Fiyatları (TL/m ²) (K_7)	Bakım/Onarım Merkezi yatırımı için yer seçimi söz konusu olduğundan bu kriter dikkate alınmıştır.	Konusunda Uzman Personel
MKE Uzaklık Durumu (km) (K_8)	Mevcut mevzuata göre hurda cihazların MKE kurumuna teslim edilmesi gerektiğinden bu kriter dikkate alınmıştır.	https://www.kgm.gov.tr

Kriter ve alternatiflerden oluşan başlangıç karar matrisi Eşitlik (1)'de gösterildiği gibi Tablo 8'de oluşturulmuştur.

Tablo 8. Karar Matrisi

	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7	K_8
	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Min	Min
Antalya	17.536	1.103	30.944.057	62.285.436	6	134	450	567
İzmir	19.397	2.909	71.725.539	124.442.359	11	444	1.000	661
İstanbul	37.937	2.535	262.453.741	479.430.405	11	621	2.000	531
Samsun	19.562	1.037	36.162.537	63.392.640	7	79	400	338
Ankara	26.440	4.351	218.372.100	285.525.933	16	492	350	75
Erzurum	13.310	1.450	36.403.634	49.709.117	9	52	150	799
Diyarbakır	12.926	1.218	15.359.755	58.482.404	9	0	100	830

Tablo 8'de gösterildiği gibi sadece K_7 ve K_8 kriterleri maliyet yönlü yani minimizasyon yönlü kriterlerdir.

Adım 1.2. Karar matrisinin normalize edilmesi

Daha sonra Eşitlikler (2)-(4) kullanılarak normalize karar matrisi oluşturulmuş ve Tablo 9'da gösterilmiştir.

Tablo 9. Normalize Karar Matrisi

	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7	K_8
Antalya	0,184	0,020	0,063	0,029	0,000	0,216	0,816	0,348
İzmir	0,259	0,565	0,228	0,174	0,500	0,715	0,526	0,224
İstanbul	1,000	0,452	1,000	1,000	0,500	1,000	0,000	0,396
Samsun	0,265	0,000	0,084	0,032	0,100	0,127	0,842	0,652
Ankara	0,540	1,000	0,822	0,549	1,000	0,792	0,868	1,000
Erzurum	0,015	0,125	0,085	0,000	0,300	0,084	0,974	0,041
Diyarbakır	0,000	0,055	0,000	0,020	0,300	0,000	1,000	0,000

Adım 1.3. İlişki katsayı matrisinin oluşturulması

Eşitlik (5) kullanılarak normalize edilmiş karar matrisinden ilişki karar matrisi Tablo 10'da olduğu gibi oluşturulmuştur.

Tablo 10. İlişki Karar Matrisi

	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7	K_8
K_1	1,0000	0,5450	0,9350	0,9684	0,4756	0,8734	-0,8558	0,5038
K_2	-0,0934	-0,4088	-0,2515	-0,2868	-0,4931	-0,3355	0,1828	0,3127
K_3	-0,0384	0,7379	0,2433	0,0541	0,8018	0,2113	0,4064	0,5525
K_4	-0,5007	-0,1944	-0,2484	-0,3378	-0,1525	-0,2770	0,5092	-0,5412
K_5	-0,7247	-0,6088	-0,7657	-0,7061	-0,4276	-0,7649	0,5834	-0,5861
K_6	-0,4445	0,0625	-0,2948	-0,2887	0,4434	-0,2170	0,8270	-0,9143
K_7	0,9592	0,3258	0,8575	0,9376	0,2512	0,8543	-0,7048	0,1257
K_8	0,2845	-0,4811	-0,0545	0,0458	-0,5746	-0,1011	-0,3598	0,3633

Adım 1.4. σ_j ve C_j değerlerinin hesaplanması

Eşitlikler (6)-(7) kullanılarak σ_j ve C_j değerleri hesaplanmış ve Tablo 11’de gösterilmiştir.

Tablo 11. Standart Sapmalar ve C_j Değerleri

σ_j	0,3491	0,3743	0,4085	0,3805	0,3288	0,4040	0,3523	0,3519
C_j	2,6385	3,0029	3,0963	2,8969	2,5237	3,1333	2,6112	2,8800

Adım 1.5. Kriter ağırlıklarının hesaplanması

Daha sonra ilişki matrisi ve Eşitlik (8) kullanılarak kriter ağırlıkları Tablo 12’de belirtildiği gibi hesaplanmıştır.

Tablo 12. Kriter Ağırlıkları

Kriter	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7	K_8
Ağırlık	0,116	0,132	0,136	0,127	0,111	0,138	0,115	0,126

Tablo 12’ye bakıldığında K_6 yani Üniversitesi Biyomedikal Mühendisi/ Teknikeri sayısı en önemli kriter olarak belirlenirken; K_5 yani Ulaşım Durumu en az önemli kriter olarak belirlenmiştir.

Adım 2. TOPSIS yöntemi ile TCBOEM için yer seçimi

Adım 2.1. Karar matrisinin oluşturulması

Bu aşamada, Tablo 8’de verilen karar matrisi kullanılır.

Adım 2.2. Karar matrisinin normalize edilmesi

Tablo 8’de gösterilen karar matrisi Eşitlikler (9)-(10) kullanılarak normalize edilmiş ve Tablo 13’de gösterilen normalize karar matrisi oluşturulmuştur.

Tablo 13. Normalize Karar Matrisi

	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7	K_8
Antalya	0,294	0,175	0,087	0,107	0,220	0,145	0,192	0,359
İzmir	0,326	0,462	0,202	0,213	0,403	0,481	0,426	0,419
İstanbul	0,637	0,402	0,741	0,821	0,403	0,673	0,851	0,337
Samsun	0,328	0,165	0,102	0,109	0,256	0,086	0,170	0,214
Ankara	0,444	0,691	0,616	0,489	0,586	0,533	0,149	0,048
Erzurum	0,223	0,230	0,103	0,085	0,330	0,056	0,064	0,507
Diyarbakır	0,217	0,193	0,043	0,100	0,330	0,000	0,043	0,526

Adım 2.3. Ağırlıklandırılmış normalize karar matrisinin oluşturulması

Daha sonra CRITIC yönteminden elde edilen kriter ağırlıkları ile normalize edilmiş karar matrisi Eşitlik (11)'de gösterildiği gibi çarpılarak Tablo 14'deki ağırlıklandırılmış karar matrisi elde edilmiştir.

Tablo 14. Ağırlıklandırılmış Karar Matrisi

	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7	K_8
Antalya	0,0341	0,0231	0,0119	0,0136	0,0244	0,0200	0,0220	0,0454
İzmir	0,0377	0,0609	0,0275	0,0271	0,0447	0,0662	0,0488	0,0530
İstanbul	0,0737	0,0530	0,1007	0,1045	0,0447	0,0925	0,0976	0,0426
Samsun	0,0380	0,0217	0,0139	0,0138	0,0284	0,0118	0,0195	0,0271
Ankara	0,0514	0,0910	0,0838	0,0622	0,0650	0,0733	0,0171	0,0060
Erzurum	0,0259	0,0303	0,0140	0,0108	0,0365	0,0077	0,0073	0,0640
Diyarbakır	0,0251	0,0255	0,0059	0,0127	0,0365	0,0000	0,0049	0,0665

Adım 2.4. Pozitif ve negatif ideal çözümlerin oluşturulması

Eşitlikler (12)-(13) kullanılarak pozitif ve negatif ideal çözümler Tablo 15'de gösterildiği gibi belirlenmiştir.

Tablo 15. Pozitif ve Negatif İdeal Çözümler

	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7	K_8
A^*	0,074	0,091	0,101	0,104	0,065	0,093	0,005	0,006
A^-	0,025	0,022	0,006	0,011	0,024	0,000	0,098	0,067

Adım 2.5. Uzaklık değerlerinin hesaplanması

Eşitlikler (14)-(15) kullanılarak ideal çözümlerden sapma değerleri Tablo 16'te gösterildiği gibi belirlenmiştir.

Tablo 16. Uzaklık Değerleri

	S_i^+	S_i^-
Antalya	1,7634	0,8177
İzmir	1,3706	0,9886
İstanbul	1,0855	1,7505
Samsun	1,7421	0,8968
Ankara	0,5558	1,7709
Erzurum	1,8338	0,9220
Diyarbakır	1,9257	0,9359

Adım 2.6. İdeal çözüme göre göreceli yakınlığın hesaplanması ve sıralama

Son olarak, ideal çözüme göre nispi yakınlık Eşitlik (16) ile hesaplanmış ve Tablo 17'de gösterilmiştir.

Tablo 17. İdeal Çözüme Göreli Yakınlıklar ve Alternatif Sıralaması

	S_i^+	S_i^-	C_i^*	Sıralama
Antalya	1,7634	0,8177	0,3168	7
İzmir	1,3706	0,9886	0,4190	3
İstanbul	1,0855	1,7505	0,6172	2
Samsun	1,7421	0,8968	0,3398	4
Ankara	0,5558	1,7709	0,7611	1
Erzurum	1,8338	0,9220	0,3346	5
Diyarbakır	1,9257	0,9359	0,3271	6

TCBOEM için en uygun yer Tablo 17’de görüldüğü gibi Ankara olarak belirlenmiştir.

Aşama 3. TCBOEM’ne tıbbi cihaz hurdalarının taşınması için araç rotalarının TB ile bulunması

81 ildeki sağlık tesislerinden bir yılda hurdaya ayrılan cihazların hacim olarak miktarının belirlenmesi son derece zordur. Dolayısıyla bu çalışmada kullanılan illere ait hurda verileri şu şekilde bulunmuştur;

Öncelikle 60 çeşit tıbbi cihazın Tablo 18’de görüldüğü gibi en ve boy ölçüleri alınmıştır. 2020 yılında bu cihaz çeşitlerinden hurdaya ayrılan 15628 adet (62.601.221,11 TL) ve bu cihazlara karşılık gelen 7233,75 m³ hacim orantısından 0,000115553 hacim/tutar katsayısı elde edilmiştir. Bu katsayının 2018-2019 yıllarına ait 3 yıllık hurda tutarının ortalamasıyla çarpılması sonucu illere ait 1 yıllık hurda miktarının hacim olarak değerleri bulunmuştur. Şehirlere ait 1 yıllık hurda verileri Tablo 19’da verilmiştir.

Tablo 18. Örnek Tıbbi Cihaz Hacim Ölçüleri

CİHAZ ADI	EN (CM)	BOY (CM)	YÜKSEKLİK (CM)	HACİM (CM ³)	ORTALAMA HACİM(CM ³)	ORTALAMA HACİM(M ³)
Hastabaşı Monitör	15	28	32	13440	18185	0,01818
	14,5	26	31	11687		
	20	31	33	20460		
	16	33	35	18480		
	22	33	39	28314		
	13	28	30	10920		
	19	32	37	22496		
	15	32	41	19680		
Ekg Cihazı	18	19	34,5	11799	6761	0,00676
	9	30	31	8370		
	9	22	30	5940		
	8	22	29	5104		
	6	24	18	2592		

ARP probleminde kullanılan verilerin yer aldığı Tablo 19 verilen il koordinat değerleri Karayolları Genel Müdürlüğünden alınmış olup hurda değerleri Sağlık Bakanlığı Web tabanlı iş zekâsı uygulamasından elde edilmiştir. Çalışma kapsamında illerin talep miktarları 1 yıllık ortalama hacim değerleri baz alınmıştır. Ayrıca çalışmada kullanılan mesafe matrisi de Karayolları Genel Müdürlüğünden alınmıştır.

Tablo 19. İllerin Enlem/Boylam ve Talep Değerleri

No	İl	Enlem	Boylam	3 Yıllık Ortalama Tutar (TL)	1 Yıllık Ortalama Tutar (TL)	1 Yıllık Ortalama Hacim (M ³)
1	Adana	37,00	35,32	13.846.844	4.615.615	533,10
2	Adıyaman	37,76	38,28	3.163.181	1.054.394	121,78
3	Afyonkarahisar	38,75	30,56	1.291.957	430.652	49,74
4	Ağrı	39,63	43,02	5.861.784	1.953.928	225,68
5	Amasya	40,65	35,84	2.529.542	843.181	97,39
6	Ankara	39,92	32,85	60.369.019	20.123.006	2.324,21
7	Antalya	36,88	30,71	11.387.726	3.795.909	438,43
8	Artvin	41,18	41,82	1.214.062	404.687	46,74
9	Aydın	37,86	27,84	5.036.400	1.678.800	193,90
10	Balıkesir	39,65	27,88	7.390.778	2.463.593	284,54
11	Bilecik	40,06	30,07	1.591.506	530.502	61,27
12	Bingöl	39,06	40,77	2.172.803	724.268	83,65
13	Bitlis	38,39	42,12	1.922.328	640.776	74,01
14	Bolu	40,58	31,58	4.587.390	1.529.130	176,61
15	Burdur	37,46	30,07	1.125.394	375.131	43,33
16	Bursa	40,27	29,06	15.931.689	5.310.563	613,37
17	Çanakkale	40,16	26,41	3.183.383	1.061.128	122,56
18	Çankırı	40,60	33,61	2.526.465	842.155	97,27
19	Çorum	40,55	34,96	3.135.915	1.045.305	120,73
20	Denizli	37,78	29,09	6.446.440	2.148.813	248,19
21	Diyarbakır	37,91	40,23	6.926.930	2.308.977	266,69
22	Edirne	41,68	26,56	3.755.884	1.251.961	144,60
23	Elazığ	38,68	39,23	1.618.463	539.488	62,31
24	Erzincan	39,75	39,50	5.858.206	1.952.735	225,54
25	Erzurum	39,90	41,27	4.813.248	1.604.416	185,31
26	Eskişehir	39,78	30,52	8.151.981	2.717.327	313,85
27	Gaziantep	37,07	37,38	8.420.855	2.806.952	324,20
28	Giresun	40,91	38,39	4.164.169	1.388.056	160,32
29	Gümüşhane	40,44	39,51	1.713.065	571.022	65,95
30	Hakkari	37,58	43,73	355.588	118.529	13,69
31	Hatay	36,40	36,35	10.882.899	3.627.633	418,99
32	Isparta	37,76	30,56	3.328.187	1.109.396	128,14
33	Mersin	36,80	34,63	7.047.468	2.349.156	271,33
34	İstanbul	41,01	28,98	86.462.900	28.820.967	3.328,82
35	İzmir	38,42	27,13	35.045.307	11.681.769	1.349,24
36	Kars	40,62	43,10	6.027.344	2.009.115	232,05
37	Kastamonu	41,39	33,78	2.468.746	822.915	95,05
38	Kayseri	38,73	35,48	4.498.846	1.499.615	173,21
39	Kırklareli	41,73	27,22	2.994.456	998.152	115,29

Tablo 19. (Devam)

40	Kırşehir	39,14	34,17	1.021.297	340.432	39,32
41	Kocaeli (İzmit)	40,85	29,88	9.866.849	3.288.950	379,87
42	Konya	37,87	32,48	9.752.230	3.250.743	375,46
43	Kütahya	39,42	29,98	4.626.572	1.542.191	178,12
44	Malatya	38,36	38,31	4.993.489	1.664.496	192,25
45	Manisa	38,62	27,43	6.816.873	2.272.291	262,45
46	Kahramanmaraş	37,59	36,94	5.442.702	1.814.234	209,54
47	Mardin	37,32	40,72	5.716.235	1.905.412	220,08
48	Muğla	37,22	28,36	7.047.683	2.349.228	271,34
49	Muş	38,95	41,75	1.481.137	493.712	57,02
50	Nevşehir	38,69	34,69	532.935	177.645	20,52
51	Niğde	37,97	34,68	1.790.174	596.725	68,92
52	Ordu	40,98	37,88	7.455.579	2.485.193	287,04
53	Rize	41,02	40,52	2.704.374	901.458	104,12
54	Sakarya (Adapazarı)	40,69	30,44	5.169.987	1.723.329	199,04
55	Samsun	41,29	36,33	7.638.314	2.546.105	294,08
56	Siirt	37,93	41,95	1.346.358	448.786	51,83
57	Sinop	42,02	35,15	3.604.101	1.201.367	138,76
58	Sivas	39,75	37,02	7.972.863	2.657.621	306,96
59	Tekirdağ	40,98	27,52	3.562.258	1.187.419	137,15
60	Tokat	40,32	36,55	4.499.212	1.499.737	173,22
61	Trabzon	41,00	39,72	8.366.503	2.788.834	322,11
62	Tunceli	39,31	39,44	680.542	226.847	26,20
63	Şanlıurfa	37,16	38,80	8.492.230	2.830.743	326,95
64	Uşak	38,68	29,41	1.888.948	629.649	72,72
65	Van	38,49	43,41	4.356.361	1.452.120	167,72
66	Yozgat	39,82	34,81	2.935.585	978.528	113,02
67	Zonguldak	41,46	31,80	3.840.254	1.280.085	147,85
68	Aksaray	38,37	34,04	2.403.474	801.158	92,53
69	Bayburt	40,26	40,22	421.661	140.554	16,23
70	Karaman	37,18	33,23	968.066	322.689	37,27
71	Kırıkkale	39,85	33,52	3.437.102	1.145.701	132,33
72	Batman	37,88	41,14	3.776.015	1.258.672	145,38
73	Şırnak	37,42	42,49	3.805.530	1.268.510	146,51
74	Bartın	41,58	32,46	1.658.088	552.696	63,84
75	Ardahan	41,11	42,70	222.762	74.254	8,58
76	Iğdır	39,89	44,00	558.440	186.147	21,50
77	Yalova	40,65	29,27	1.273.701	424.567	49,04
78	Karabük	41,21	32,62	1.556.583	518.861	59,93
79	Kilis	36,72	37,12	2.443.404	814.468	94,07
80	Osmaniye	37,21	36,18	1.980.176	660.059	76,24
81	Düzce	40,84	31,16	4.073.749	1.357.916	156,84

81 ili kapsayan bir lojistik ağını düşündüğümüzde tek bir aracın tüm illeri dolaşarak hurda cihazları toplaması çok zor olacaktır. Bu tez kapsamında elde edilen yıllık yaklaşık 20000 m³ hurda cihazın bir kısmının yedek parça açısından değerlendirilmeyebileceği göz önüne alınarak her biri 100-110 m³ kapasiteli 3 aracın haftada bir kez rotalarındaki illeri dolaşarak hurda cihazları toplaması yeterli olarak düşünülmüştür. Algoritmanın verdiği sonucun doğruluğunun kolay bir şekilde test edilebilmesi ve çözüm süresinin karşılaştırılması için öncelikle 10 şehir için bir deneme çözüm elde edilmiştir. Tablo 20’de mesafe matrisi verilen 10 şehir için algoritma çalıştırılmış olup verilen parametrelere göre çözüm sonuçları aşağıda verilmiştir.

Tablo 20. Mesafe Matrisi Deneme 10 İl

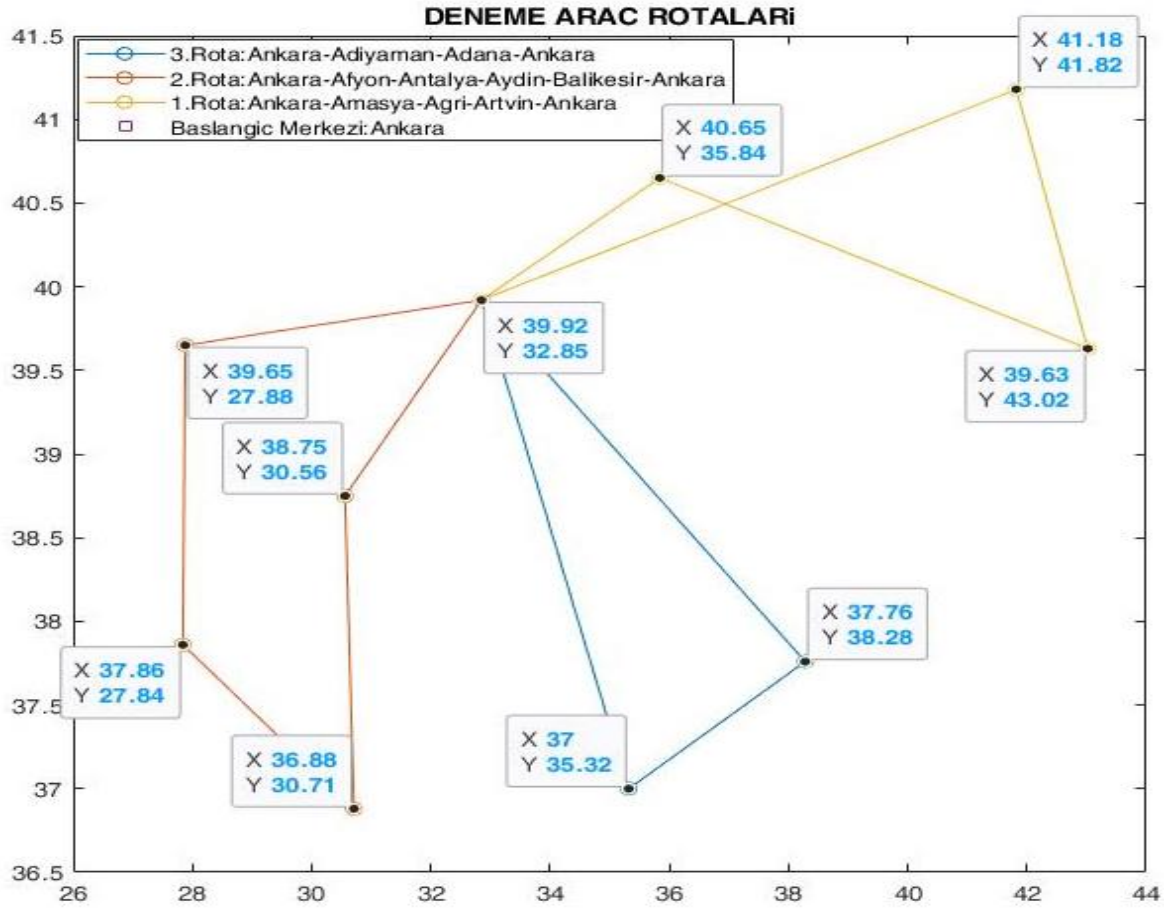
İL PLAKA NO	İL ADI	ADANA	ADİYAMAN	AFYONKARAHİSAR	AĞRI	AMASYA	ANKARA	ANTALYA	ARTVİN	AYDIN	BALIKESİR
01	ADANA		335	575	966	603	492	535	1035	874	903
02	ADİYAMAN	335		910	648	632	742	870	751	1209	1238
03	AFYONKARAHİSAR	575	910		1318	597	256	291	1243	345	328
04	AĞRI	966	648	1318		736	1054	1428	396	1640	1567
05	AMASYA	603	632	597	736		333	825	693	938	831
06	ANKARA	492	742	256	1054	333		543	979	597	536
07	ANTALYA	535	870	291	1428	825	543		1466	339	507
08	ARTVİN	1035	751	1243	396	693	979	1466		1584	1460
09	AYDIN	874	1209	345	1640	938	597	339	1584		296
10	BALIKESİR	903	1238	328	1567	831	536	507	1460	296	

Her bir parametre setine göre algoritma 5 kez çalıştırılmış olup elde edilen en iyi değerler Tablo 21’de verilmiştir.

Tablo 21. 10 İl için Çözüm Sonuçları

Araç Sayısı	Başlangıç Sıcaklığı(T_0)	Soğutma Hızı (R)	IT_1	IT_2	Çözüm Süresi(sn)	Toplam Mesafe(km)
3	100	0,99	10	5	2	5955
3	500	0,99	10	5	2	6274
3	100	0,99	30	10	3	5731
3	500	0,99	30	10	3	5731
3	100	0,99	50	10	3	5731
3	100	0,99	50	20	3	5731
3	500	0,99	50	20	3	5763

Verilen parametre setine göre en uygun çözüm Şekil 6’da verilmiştir.



Şekil 6. Deneme çözüme göre en uygun rotalar

Algoritmanın verdiği rotalara göre toplam mesafe; mesafe matrisi dikkate alınarak aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

1. Rota (2444 km): **Ankara**-333 km-Amasya-736km-Ağrı-396km-Artvin-979km – **Ankara**
2. Rota (1718km): **Ankara**-256km-Afyon-291km-Antalya-339km-Aydın-296km-Balıkesir-536km-**Ankara**
3. Rota (1569km): **Ankara**-742 km-Adiyaman-335km-Adana-492km –**Ankara**

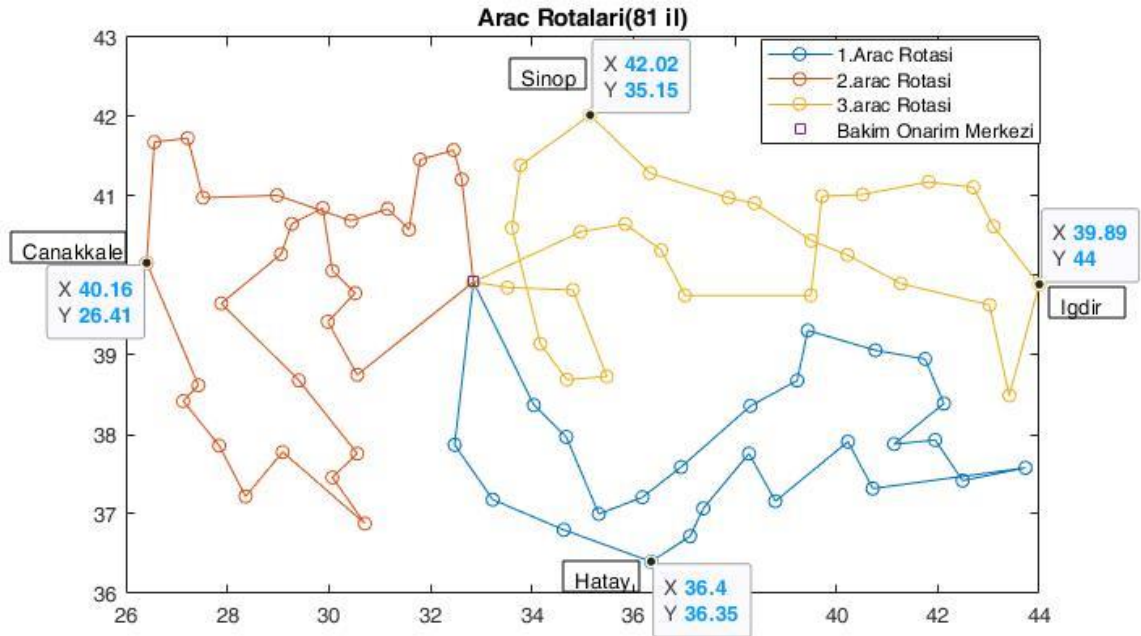
Manuel yapılan hesaplamaya göre 1.Rota (2444 km), 2.Rota (1718 km) ve 3.Rota (1569 km) toplamı 5731 km olup algoritmanın verdiği çözüm değeri (DTotal) de 5731 km dir.

10 il için deneme çözümü yapıp algoritmanın doğru çalıştığı kanıtlandıktan sonra 80 il için aşağıdaki her bir parametre setine göre TB algoritması 10’ar defa çalıştırılmış olup elde edilen en iyi çözüm değerleri Tablo 22’de verilmiştir.

Tablo 22. Parametre Setine Göre Elde Edilen Çözümler

Araç Sayısı	Başlangıç Sıcaklığı(T_0)	Soğutma Hızı (R)	IT_1	IT_2	Çözüm Süresi(sn)	Toplam Mesafe(km)
3	1000	0,99	1000	50	23	14752
3	2000	0,99	2000	100	52	14411
3	3000	0,99	2000	100	52	14730
3	5000	0,99	2000	200	65	14111
3	8000	0,99	2000	200	65	13253
3	15000	0,99	2000	200	65	13432
3	15000	0,99	2000	400	100	11909

Çözüm sonuçlarına göre en uygun araç rotaları Şekil 7’de verilmiştir.

**Şekil 7.** En uygun araç rotaları

1. Araç Rotası (4056 Km): **Ankara**-Kırıkkale-Yozgat-Kayseri-Nevşehir-Kırşehir-Çankırı-Kastamonu-Sinop-Samsun-Ordu-Giresun-Gümüşhane-Bayburt-Erzurum-Ağrı-Van-Iğdır-Kars-Ardahan-Artvin-Rize-Trabzon-Erzincan-Sivas-Tokat-Amasya-Çorum-**Ankara**

2. Araç Rotası (4053 Km): **Ankara**-Aksaray-Niğde-Adana-Osmaniye-Kahraman Maraş-Malatya-Elazığ-Tunceli-Bingöl-Muş-Bitlis-Batman-Siirt-Şırnak-Hakkari-Mardin-Diyarbakır-Şanlı Urfa-Adıyaman-Gazi antep-Kilis-Hatay-Mersin-Karaman-Konya-**Ankara**

3. Araç Rotası (3800 Km):**Ankara**-Karabük-Bartın-Zonguldak-Bolu-Düzce-Adapazarı-İstanbul-Tekirdağ-Kırklareli-Edirne-Çanakkale-Manisa-İzmir-Aydın-Muğla-

Denizli-Antalya-Burdur-Isparta-Uşak-Balıkesir-Bursa-Yalova-Kocaeli-Bilecik-Eskişehir-Kütahya-Afyon-**Ankara**

Görüldüğü üzere Ankara dışındaki diğer 80 ildeki sağlık tesislerinden çıkan tıbbi cihaz hurdalarını Ankara’da kurulması önerilen TCBOEM’ne taşıyacak üç aracın izleyeceği en uygun rotalarının toplam uzunluğu 11909 km dir.

Tartışma

81 ili kapsayan ARP’yi konu alan çalışma bulunamamıştır. ARP’yi Gezgin Satıcı Probleminin kısıt eklenmemiş hali olarak düşündüğümüzde Köse ve Erdoğan (2019) yaptıkları çalışma bu açıdan tez çalışmamızla benzerlik göstermektedir. Söz konusu çalışmada 81 il 7-8-9 alt kümeye ayrılmış daha sonra küme merkezlerine en yakın şehirler seçilerek tur uzunlukları bulunmuştur. Alt kümelere ayrılarak birden çok aracın kullanıldığı lojistik problemine dönüşen çalışmada 81 il için tur uzunlukları 14554-15401 km olarak bulunmuştur. Mevcut çalışmamızda ise 11909 km lik tur uzunluğu bulunmuştur.

Bu tez çalışması kapsamında Bingöl Devlet Hastanesi Klinik Mühendislik Biriminin 2019-2022 yılları arasındaki çalışmaları yerinde izlenmiş, yaşanan problemler değerlendirilmiş elde edilen deneyim sonucuna göre bahse konu çözüm önerisinin çok faydalı olacağı kanaatine varılmıştır. Söz konusu öneriyi destekleyecek bazı örnekler şunlardır;

Bingöl Devlet Hastanesi’nde arızalı olarak bulunan ultrason cihazının yapılan incelemede güç ünitesinin arızalı olduğu tespit edilmiştir. Gerekli yedek parçanın yüksek maliyetinden dolayı yapılan araştırmada aynı marka model cihazın Gaziantep’te bulunan Dr. Ersin Arslan Eğitim Araştırma Hastanesi’nde ihtiyaç fazlası olarak bulunduğu tespit edildi. İlgili hastane ile yapılan iletişim sonucu söz konusu cihazın defalarca onarım gördüğü ancak istenilen verim alınamadığı ve hurda sürecinde olduğu bilgisi iletildi. Yapılan yazışmalar sonucu cihaz onarımı için gerekli güç ünitesi ile birlikte 1 adet printer ve 3 adet prob Bingöl Devlet Hastanesine ücretsiz olarak devir edildi. Devredilen güç ünitesi arızalı cihaza takılarak cihaz onarıldı. Yazıcı ve 3 prob ihtiyaç olur diye depoda bekletilmektedir. Bahse konu prob ve yazıcı başka bir hastanenin ihtiyacı olabilir ancak bu işlemleri gerçekleştirecek bir merkezi kurum olmadığı için hangi hastanenin bu yedek parçalara ihtiyacının olduğunun belirlenmesi zor olacaktır. 20.09.2021 tarihinde gerçekleşen devir işlemiyle fiyatı 36.000 TL olan güç ünitesinin alımından vazgeçilerek tasarruf sağlanmıştır.

Bingöl Devlet Hastanesi göğüs servisinde kullanılan hayatı tehlikeye atabilecek kalple ilgili ritim bozukluklarında kullanılan defibrilatör cihazının düşmesi sonucu dış iskeleti kırılmış olup hurda durumundaki aynı marka model cihazın iskeleti sökülerek arızalı cihazda

kullanılarak problem giderilmiştir. Yine başka bir arızada acil servis birimindeki kaşıkları deforme olmuş bir defibrilatör cihazına hurdaya ayrılmış cihazın kaşıkları takılarak problem giderilmiştir.

Yukarıdaki örnekler gibi Bingöl Devlet Hastanesi'nde birçok hurdalık cihazın yedek parçaları kullanılarak cihazlar aktifleştirilmiştir. Tablo 23'de bazı örnekler verilmiştir (Boğatekin,2022).

Tablo 23. Hurda Cihazlardan Sökülen Yedek Parçalar Kullanılarak Onarılan Cihazlar

Kullanılan Yedek Parça	Sökülen Cihaz	Takılan Cihaz	Açıklama
CCTV HD Kamera	Güvenlik kamerası	SQA-V Visval 514 Model Sperm analiz Cihazı	Eskisinden daha iyi görüntü kalitesi elde edildi.
220 Volt AC Soğutma Fanı	Enel Marka Ups	Emsaş Marka Aşı Dolabı	2 Adet Kullanıldı
74LS440A NOLU ENTEGRE	Enel Marka UPS	Plusmed Marka Saturasyon Cihazı	En Az 6 adet cihaz aktifleştirildi.
Yarı Relüktans Motor	Fresius Marka Diyaliz Cihazı	Braun marka infüzyon cihazı	En az 4 tane kullanıldı.
LM311 Entegre	Enel Marka UPS	Otoskop, HB. Monitör vb.çeşitli cihazlarda	En az 10 adet cihaz aktifleştirildi.
Basınç Valfi	Datex Ohmeda Marka Hastabaşı Monitör	Suntech Tango Model Efor Tansiyon Cihazı	
Keller Basınç Sensörü	AMS Marka Anestezi Cihazı	Trans Marka Otoklav Cihazı	
LCD Ekran (TFT)	Petaş Marka Monitör	Tepa Cinema 12 Model HB. Monitör	
MAX4420 Entegre	Edan Marka Ekg Cihazı	Mindray Marka Hastabaşı Monitör	
DC Redüktörlü Motor	Norland Marka Kemik Dansitometri Cihazı	Nüve NM 110 Model Kan Çalkalama C.	
12 Adımlık Step Motor	Fresenius Marka Diyaliz Makinesi	Braun Marka İnfüzyon C.	En Az 5 tane cihaz Aktifleştirildi.
Devir Daim Pompası	Kemik D	El Yıkama Eyvesi	
Yazıcı Termal Kafa, Step Motor, Yazıcı Kartı	Kardiopet 500 model Ekg Cihazı	Kardiopet 600 Model Ekg Cihazı	2 Cihaz aktifleştirildi.
Ekg ana kart, tuş mebranı, yazıcı termali, yazıcı kapağı, ana kart	Trismed Cardipia 800 model ekg	Trismed kardipia800 ekg	Hurda durumundaki Cardipia 800 model ekg cihazının yedek parçaları kullanılarak birçok cihaz aktifleştirildi.
HB Monitör; Ana kart,ekran.....	Petaş Monitör	Petaş Monitör	Birçok cihaz aktifleştirildi
Printer	Belimed WD 250 Model Yıkama Cihazı	BHT İnnova M4Model Yıkama Cihazı	

Tablo 23. (Devamı)

EMI Filtre	Nüve Marka Santrifüj	Eryiğit Marka Ameliyat Masası
Snubber Kapasitör	Nihon kohden Marka Defibrilatör	Nicolet Marka EEG Cihazı Fotik Işık Kaynağı
700 V 10 A Tristör	Life Point Marka Defibrilatör	Nicolet Marka EEG Cihazı Fotik Işık Kaynağı
SPO2 Soket Yuvası	Petaş KMA 600 HB Monitör	Drager Vista 120 HB Monitör
Solid State Röle	Kan Gazı cihazı	Etkin Marka Ameliyat Tavan Lambası
Enkoderli Potansiyometre	Nicolet Marka EEG Cihazı	İnteracustik AC33 Model Odyometri C.
Ayrıca hurda motorlu yatakların motorları, kartları, kumanda vb. yedek parçaları kullanılarak çok sayıda motorlu karyola onarılmıştır.		

Bu tez çalışmasında sunulan çözüm önerisinin gerçekleşmesi durumunda önemli miktarda ekonomik fayda sağlanacağı düşünülmektedir. Yüzlerce parçadan oluşan tıbbi cihazların arızalanması durumunda onarım için gerekli iki üç parçanın bazen cihaz maliyetini aştığı durumlar olmaktadır. Bir hurda cihazın yedek parçaları kullanılarak birden çok arızalı cihazın onarımının gerçekleştirilebileceği göz önüne alındığında Tablo 24’de belirtilen yıllık yaklaşık 162 milyon TL hurda cihazdan aşağıdaki senaryolara göre ekonomik fayda sağlanabilecektir. Söz konusu hurda tutarları cihazların edinim yıllarındaki maliyet tutarları olduğu için güncel tutarlar çok daha fazladır.

Tablo 24. Senaryolara Göre Tıbbi Cihaz Hurdalarından Elde Edilecek Ekonomik Getiri

Yıllık Ortalama Tıbbi Cihaz Hurda Miktarı (TL)	½ si kadar fayda sağlanırsa	¼’ü kadar fayda sağlarsa	1/10’u kadar fayda sağlarsa
162,845,790	81,422,894 TL	40,711,447 TL	16,284,579 TL

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Sağlık hizmetinde kullanılan en önemli kaynaklardan olan doktor, ilaç, tıbbi sarfin yanında biri de tıbbi cihazlardır. Tıbbi cihazların arızalanması durumunda sağlık hizmetinde önemli aksamalar olmaktadır. Tıbbi cihazların arıza durumunda onarılması için gereken en önemli kaynaklar nitelikli teknik personel ve yedek parçadır. Bu çalışma kapsamında nitelikli teknik personelin etkinliğine de değinilmiş olup asıl yedek parça problemlerine çözüm bulmak için hurda tıbbi cihazların değerlendirilmesi üzerine bir öneri sunulmuştur. Söz konusu öneri kapsamında iki bilimsel metot kullanılarak çözüm bulunmaya çalışılmıştır. Öncelikle çözüm önerisi olarak sunulan TCBOEM yer seçimi problemi ele alınmış olup bu kapsamda ÇKKV yöntemlerinden CRITIC ve TOPSIS yöntemlerinden faydalanılmıştır. 7 alternatif şehrin 8 kriter açısından değerlendirildiği yer seçim probleminde kriter ağırlıkları CRITIC yöntemi kullanılarak bulunmuş olup alternatiflerin sıralanmasında TOPSIS yöntemi kullanılmıştır. CRITIC yönteminin uygulanması sonucu elde edilen kriter ağırlıklarının dikkate alındığı yer seçimi problemi sonucunda Ankara'nın en uygun yer olduğu sonucu çıkmıştır. Mevcut mevzuata göre tıbbi cihaz hurdalarının özellikle metal ve demir kısımlarından faydalanılması için teslim edildiği MKE'nin Ankara'ya sadece 75 km olması taşıma maliyeti açısından çok önemlidir.

Yer seçimi için en uygun il belirlendikten sonra diğer 80 ildeki sağlık tesislerinden hurda cihazların toplanıp en uygun rotalarla TCBOEM'ne taşınması için KARP ele alınmıştır. Problem çözümü için en çok kullanılan sezgisel algoritmalarından TB kullanılmıştır. Çözüm sonucunda 3 araç için 81 ili kapsayan en kısa mesafe 11909 km olarak bulunmuştur.

Yıllık ortalama tıbbi cihaz hurda miktarının belirlenmesi ilk kez bu tez çalışması kapsamında araştırılarak ortaya konulmuştur. Kamu hastalerindeki tıbbi cihaz yedek parça alımları ilk kez bu çalışma kapsamında araştırılmıştır. Literatürde tıbbi cihazların onarımları, teknik personel ihtiyacı, teknik eğitim programları, tıbbi cihaz hurdalarından elde edilen yedek parçaların arızalı tıbbi cihazların onarımında kullanılabileceğine dair az sayıda çalışma bulunmuştur. Özellikle bu konuyu YARP ile birleştiren bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu yönleri ile bu tez çalışmasının literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Tıbbi cihazların çoğu yurtdışı kaynaklı olduğundan yedek parça maliyetleri yüksek olmaktadır. Ayrıca tıbbi cihaz bakım onarım işlemlerinin maliyetleri de azımsanmayacak derece de yüksektir. Sağlık tesislerinde tıbbi cihaz bakım-onarım işlemlerinin yıllık

maliyetlerinin detaylı incelenmesi ve arızalı veya âtıl durumdaki cihazların tespit edilmesi söz konusu problemlerin anlaşılmasına katkı sağlayacaktır.

Sağlık hizmetine aktarılan kaynaklarının etkili ve verimli kullanılması bakımından bu çalışma kapsamında önerilen TCBOEM'nin faaliyete geçirilmesi durumunda hem hasta hizmet kalitesine hem de ulusal ekonomiye önemli derecede fayda sağlanacağı düşünülmektedir.

Tez çalışmasında kullanılan CRITIC ve TOPSIS yöntemlerinin yerine Entropi, EDAS, COPRAS gibi farklı ÇKKV yöntemleri kullanılarak ve TB metasezgiseli yerine Karınca Kolonisi Algoritması, En Yakın Komşu Arama Algoritması veya Genetik Algoritma gibi farklı sezgiseller uygulanarak çalışma geliştirilip; elde edilen çözümlerin etkinlikleri karşılaştırılabilir. Hastane konumlarının sabit olması, hastanelere yedek parça taşınması ve teknik destek verilmesi için hastanelerin belli zamanlarda ziyaret edilmesi düşünüldüğünde problem Periyodik Araç Rotalama problemine dönüşmektedir. Bu problemin çözülmesiyle daha gerçek hayata uygun ve etkin sonuçlar elde edilir

KAYNAKÇA

- Ademe, B. W., Tebeje, B., & Molla, A. (2016). Availability And Utilization Of Medical Devices İn Jimma Zone Hospitals, Southwest Ethiopia: A Case Study. *Bmc Health Services Research*, 16(1), 1-10.
- Akbulut, O. Y. (2019). CRITIC ve EDAS yöntemleri ile İş Bankası'nın 2009-2018 yılları arasındaki performansının analizi. *Ekonomi Politika ve Finans Araştırmaları Dergisi*, 4(2), 249-263.
- Akkaya, G. (1997). Tavlama Benzetimi Algoritması İle Akış Tipi Çizelgelemede Toplam Akış Zamanının Minimizasyonu.
- Akpınar, M. E., & Koçak, K. (2021). Topsis Yöntemine Dayalı Öğrenci Sağlık Merkezi Yeri Seçimi: Bir Üniversite Uygulaması. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen Ve Mühendislik Dergisi*, 23(69), 823-833.
- Alao, M., Ayodele, T., Ogunjuyigbe, A. Ve Popoola, O. (2020). Multi-Criteria Decision Based Waste To Energy Technology Selection Using Entropy-Weighted Topsis Technique: The Case Study Of Lagos, Nigeria. *Energy*, 117675
- Allahyari, S., Salari, M., & Vigo, D. (2015). A Hybrid Metaheuristic Algorithm For The Multi-Depot Covering Tour Vehicle Routing Problem. *European Journal Of Operational Research*, 242(3), 756-768
- Atmaca, E. (2012). Bir Kargo Şirketinde Araç Rotalama Problemi. *Tübvav Bilim Dergisi*, 5(2), 12-27.
- Ayçin, E. (2020). Personel seçim sürecinde CRITIC ve MAIRCA yöntemlerinin kullanılması. *İşletme*, 1(1), 1-12.
- Aydin, Y. (2013). Bulanık Topsis Ve Vikor Yöntemi Kullanılarak Rüzgâr Enerjisi Santral Yer Seçimi.
- Ayşegül, T. U. Ş., & ADALI, E. A. (2018). CODAS ve PSI yöntemleri ile personel değerlendirmesi. *Alphanumeric Journal*, 6(2), 243-256.
- Bala, K., Brcanov, D., & Gvozdenović, N. (2017). Two-Echelon Location Routing Synchronized With Production Schedules And Time Windows. *Central European Journal Of Operations Research*, 25(3), 525-543.
- Başkanlığı, S. (2005). Sağlık Bakanlığına Bağlı Hastanelerde İlaç, Tıbbi Sarf Malzemesi Ve Tıbbi Cihaz Yönetimi. Hakkında Performans Denetimi Raporu, Ankara: Sayıştay Başkanlığı.
- Bhadra, D., Dhar, N. R., & Salam, M. A. (2021). Sensitivity analysis of the integrated AHP-TOPSIS and CRITIC-TOPSIS method for selection of the natural fiber. *Materials Today: Proceedings*.
- Blum, C., Roli, A., (2003), “Metaheuristics İn Combinatorial Optimization: Overview And Conceptual Comparison”, *Acm Computing Surveys*, 35, 3, 268-308
- Boğatekin, F., Universal Elektrik Elektronik Otomasyon, Bingöl (22.07.2022)
- Bulgurcu, B. (2019). Çok iyi gelişme ile KRİTİK yöntem: Akıllı teknoloji tercih örneği. *OPUS Uluslararası Toplum Araştırmaları Dergisi*, 13 (19), 1930-1957.
- Çakar, T., & Özer, S. (2015). İmalat Sistemlerinin Tasarımında Nörotik Tavlama Benzetimi Yaklaşımının Kullanılması. *Trakya Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16(1), 35-42

- Diakoulaki, D., Mavrotas, G., & Papayannakis, L. (1995). Determining objective weights in multiple criteria problems: The critic method. *Computers & Operations Research*, 22(7), 763-770.
- Drexler, M., & Schneider, M. (2015). A survey of variants and extensions of the location-routing problem. *European Journal of Operational Research*, 241(2), 283-308.
- Erdal, H. (2018). Risk Tabanlı Tesis Yeri Seçimi Problemi: Güvenlik Sektörü İçin Bir Uygulama. *Uluslararası Yönetim İktisat Ve İşletme Dergisi*, 14(2), 461-477.
- Erol, V. (2006). Araç Rotalama Problemleri İçin Populasyon Ve Komşuluk Tabanlı Metasezgisel Bir Algoritmanın Tasarımı Ve Uygulaması.
- Gençtürk, M., Senal, S., & Aksoy, E. (2021). COVID-19 Pandemisinin Katılım Bankaları Üzerine Etkilerinin Bütünleşik CRITIC-MARCOS Yöntemi İle İncelenmesi. *Muhasebe ve Finansman Dergisi*, (92), 139-160.
- Gergin, R. E. (2020). Yağlı Tohum Saklama Deposu Yer Seçimi Model Önerisi: Türkiye Örneği
- Gligoric, Z., Beljic, C., & Simeunovic, V. (2010). Shaft location selection at deep multiple orebody deposit by using fuzzy TOPSIS method and network optimization. *Expert systems with applications*, 37(2), 1408-1418.
- Gökhan, A. G. A. Ç., Birdoğan, B. A. K. İ., Peker, İ., & Ar, İ. M. (2015). Çok Kriterli Karar Verme Tekniklerini Kullanarak Serbest Bölge Yer Seçimi: Doğu Anadolu Bölgesi Örneği. *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 30(1), 79-113.
- Gülbaş, G., & Çetin, G. (2020). Tavlama Benzetimi Algoritması İle Geniş Ölçekli Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Leach Protokolünün Optimizasyonu. *Mühendislik Bilimleri Ve Tasarım Dergisi*, 8(5), 67-79.
- Gülsün, B., Tuzkaya, G., & Bildik, E. (2008). Reverse Logistics Network Design: A Simulated Annealing Approach. *Journal Of Engineering And Natural Sciences*, 26(1), 68-80.
- Havuç, T. (2018). Yeşil Depo Yeri Belirleme Ve Araç Rotalama Problemlerinin Ga Ve Sezgisel Metotlarla Çözülmesi: Boya İmalat Firmasında Uygulanması (Master's Thesis, Sakarya Üniversitesi).
- Hillier, F. S., Lieberman, G. J., Hillier, F. Ve Lieberman, G. 2004. Mp Introduction To Operations Research. McGraw-Hill, New York, Usa
- İstanbul Ticaret Odası (İto). (2004) Tıbbi Cihazlar Sektör Profil Araştırması
- Jamshidi, M. (2009). "Median Location Problem", Facility Location: Concepts, Models, Algorithms And Case Studies, Ed. By. R.Z. Farahani And M. Hekmatfar, Physicaverlag Heidelberg, Pp.177-191.
- Kalkınma Bakanlığı. (2014) 10. Kalkınma Planı (2014-2018); Tıbbi Cihaz Ve Tıbbi Malzeme Çalışma Grubu Raporu. [Http://Www.Seis.Org.Tr/Docs/Tibbi-Cihaz-Ve-Tibbi-Malzeme-Calisma-Grubu-Raporu.Pdf](http://www.seis.org.tr/docs/tibbi-cihaz-ve-tibbi-malzeme-calisma-grubu-raporu.pdf) Erişim Tarihi: 06.12.2020
- Kaur, S., Goel, P., Randhawa, K. S., & Channi, H. K. (2021). Selection Of Water Purifier With Topsis Using Impartial Preferences By Entropy Technique. *Materials Today: Proceedings*
- Keçeci, B., Sümer, E., Kılıç, A., Çiçek, S., İnan, B., & Çeki, E.(2014), Cbs Destekli E-Atık Yönetimi: Çankaya Belediyesi İçin Bir Uygulama.

- Keser, S. B., Sarıççek, İ., & Yazıcı, A. (2020), İç Lojistikte Otonom Robotlar İçin Görev Planlaması. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 28(2), 117-127.
- Keskintürk, T., Topuk, N., & Özyeşil, O. (2015). Araç Rotalama Problemleri Ve Çözüm Yöntemleri. *İşletme Bilimi Dergisi*, 3(2), 77-107.
- Kiracı, K., & Bakır, M. (2018). Critic Temelli Edas Yöntemi İle Havayolu İşletmelerinde Performans Ölçümü Uygulaması. *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (35), 157-174.
- Köse, O., & Erdoğan, P. (2019). K-Gezgin Satıcı Probleminin Emperyalist Rekabetçi Algoritması İle Kümeleme Tabanlı Optimizasyonu. *Mühendislik Ve Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 7(1), 1-13.
- Kumari, A., & Acherjee, B. (2021). Selection of non-conventional machining process using CRITIC-CODAS method. *Materials Today: Proceedings*.
- Kuyrukçu, Z., & Alkan, A. (2020). Üniversitelerin Kuruluş Yeri Seçiminin Ahp Ve Topsis Yöntemleri Kullanılarak Değerlendirilmesi. *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 13(69), 625-638.
- Luo, C., Ju, Y., Gonzalez, E. D. S., Dong, P., & Wang, A. (2020). The waste-to-energy incineration plant site selection based on hesitant fuzzy linguistic Best-Worst method ANP and double parameters TOPSIS approach: A case study in China. *Energy*, 211, 118564.
- Malkin, R. A., & Whittle, C. (2014). Biomedical Equipment Technician Capacity Building Using A Unique Evidence-Based Curriculum Improves Healthcare. *Journal Of Clinical Engineering*, 39(1), 37-44.
- Malkin, R., & Calman, L. J. (2014). Service-Learning In Biomedical Engineering: Engineering World Health (Ewh). *International Journal For Service Learning In Engineering, Humanitarian Engineering And Social Entrepreneurship*, 39-47.
- Malkin, R., & Keane, A. (2010). Evidence-Based Approach To The Maintenance Of Laboratory And Medical Equipment In Resource-Poor Settings. *Medical & Biological Engineering & Computing*, 48(7), 721-726.
- Moshref-Javadi, M., & Lee, S. (2016). The Customer-Centric, Multi-Commodity Vehicle Routing Problem With Split Delivery. *Expert Systems With Applications*, 56, 335-348.
- Mousavi, S. M., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2013). A Hybrid Simulated Annealing Algorithm For Location And Routing Scheduling Problems With Cross-Docking In The Supply Chain. *Journal Of Manufacturing Systems*, 32(2), 335-347.
- Naderi, B., Zandieh, M., & Fatemi Ghomi, S. (2009). Scheduling Sequence-Dependent Setup Time Job Shops With Preventive Maintenance. *The International Journal Of Advanced Manufacturing Technology*(43), 170-181
- Oğuz, S., Alkan, G. Ve Yılmaz, B. (2019). Seçilmiş Asya'nın Lojistik Performanslarının Topsis Yöntemi İle Değerlendirilmesi. *İbad Sosyal Bilimler Dergisi, (Özel Sayı)* , 497-507.
- Ömürgönülşen, M. İ. N. E., & Menten, C. E. M. (2021). Bulanık Topsis Yöntemi İle Ankara İli İçin Olası Afet Sonrası Geçici Barınma Alanlarının Seçimi. *Doğal Afetler Ve Çevre Dergisi*, 7(1), 159-175.
- Öztürk, D., & Keleş, M. K. (2020). Ahp Ve Topsis Yöntemleri Kullanılarak Motorlu Kurye Seçimi: İlaç Sektöründe Bir Uygulama. *Manisa Celal Bayar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 18(2), 275-291.

- Perçin, S., & Sönmez, Ö. (2018). Bütünleşik Entropi Ağırlık Ve Topsis Yöntemleri Kullanılarak Türk Sigorta Şirketlerinin Performansının Ölçülmesi. *Uluslararası İktisadi Ve İdari İncelemeler Dergisi* , 565-582.
- Perry, L., & Malkin, R. (2011). Effectiveness Of Medical Equipment Donations To Improve Health Systems: How Much Medical Equipment Is Broken In The Developing World?. *Medical & Biological Engineering & Computing*, 49(7), 719-722.
- Prodhon, C., & Prins, C. (2014). A survey of recent research on location-routing problems. *European Journal of Operational Research*, 238(1), 1-17.
- Sagnak, M., Berberoglu, Y., Memis, İ., & Yazgan, O. (2021). Sustainable collection center location selection in emerging economy for electronic waste with fuzzy Best-Worst and fuzzy TOPSIS. *Waste Management*, 127, 37-47.
- Sağlık Bakanlığı(2017), Sağlık Bakanlığı Taşra Teşkilatı Kadro Standartları İle Çalışma Usul Ve Esaslarına Dair Yönerge.
- Sağlık Bakanlığı,Kamu Hastaneleri Genel Müdürlüğü-Sağlık Hizmetleri Daire Başkanlığı, [https://khgmsaglikhizmetleridb.saglik.gov.tr/\(20.07.2022\)](https://khgmsaglikhizmetleridb.saglik.gov.tr/(20.07.2022)).
- Sağlık Bakanlığı,Kamu Hastaneleri Genel Müdürlüğü-Verimlilik Analiz Uygulaması, [https://verimlilik.saglik.gov.tr/svg/tabip/diger_sp.php\(02.08.2022\)](https://verimlilik.saglik.gov.tr/svg/tabip/diger_sp.php(02.08.2022))
- Sağlık Bakanlığı,Kamu Hastaneleri Genel Müdürlüğü-Web Uygulamaları.Karar Destek Sistemleri(İş-Zekası),[https://is-zekasi.saglik.gov.tr/\(13.05.2021\)](https://is-zekasi.saglik.gov.tr/(13.05.2021)).
- Sakarya, Ş., & Melek, Aksu (2020). Ulaşım Sektöründeki İşletmelerin Finansal Performanslarının Geliştirilmiş Entropi Temelli Topsis Yöntemi İle Değerlendirilmesi. *Optimum Ekonomi Ve Yönetim Bilimleri Dergisi* , 7 (1), 21-40.
- Salehi, V., Zarei, H., Shirali, G. A., & Hajizadeh, K. (2020). An Entropy-Based Topsis Approach For Analyzing And Assessing Crisis Management Systems In Petrochemical Industries. *Journal Of Loss Prevention In The Process Industries*, 67, 104241.
- Schneider, M., & Drexl, M. (2017). A survey of the standard location-routing problem. *Annals of Operations Research*, 259(1), 389-414.
- Seçim, H., & PEKELMAN, T. (1990). Hastanelerde Verimliliği Yükseltici Uygulamalar. *Anadolu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 8(1), 135-151.
- Selvi, Y. (2009). Sağlık Kuruluşlarında Tıbbi Cihaz Yönetimi. *Yönetim Dergisi: İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi İşletme İktisadi Enstitüsü*, 20(63), 99-118.
- Shahnejat-Bushehri, S., Tavakkoli-Moghaddam, R., Momen, S., Ghasemkhani, A., & Tavakkoli-Moghaddam, H. (2019). Home Health Care Routing And Scheduling Problem Considering Temporal Dependencies And Perishability With Simultaneous Pickup And Delivery. *Ifac-Papersonline*, 52(13), 118-123
- Shyjith, K., Ilankumaran, M., & Kumanan, S., (2008). Multi-Criteria Decision-Making Approach To Evaluate Optimum Maintenance Strategy In Textile Industry. *Journal Of Quality In Maintenance Engineering*, 14(4), 375-386
- Somar,S.,2020. Sağlık Sektöründe Çizelgeleme Optimizasyonu ve Çözüm Önerileri.(Yüksek Lisans Tezi),Osmangazi Üniversitesi,Fen Bilimleri Enstitüsü,Eskişehir.
- T. C. Resmi Gazete (2011) Tıbbi Cihaz Yönetmeliği. 27957, 06.12.2020.
- T. C. Resmi Gazete (2021) Tıbbi Cihazların Test, Kontrol Ve Kalibrasyonu Hakkında Yönetmelikte Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik . 31685, 10.12.2021.

- Tezcan, B., Alakaş, H. M., Özcan, E., & Tamer, E. R. E. N. (2021). Afet Sonrası Geçici Depo Yeri Seçimi Ve Çok Araçlı Araç Rotalama Uygulaması: Kırıkkale İlinde Bir Uygulama. *Politeknik Dergisi*, 1-1.
- Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, [https://www.uab.gov.tr/\(17.01.2022\)](https://www.uab.gov.tr/(17.01.2022))
- Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü-Mesafeler ve Haritalar, <https://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Root/Uzakliklar.aspx/> (25.07.2022).
- Uluçay, H., & Fidan, U. (2022). Sağlık Tesislerinde Tıbbi Cihazların Etkin Yönetimi İçin Bir Model Önerisi. *Eskişehir Türk Dünyası Uygulama ve Araştırma Merkezi Bilişim Dergisi*, 3(2), 1-13.
- Ulutaş, A., & Karaköy, Ç. (2019). CRITIC ve ROV yöntemleri ile bir kargo firmasının 2011-2017 yılları arasındaki performansının analiz edilmesi. *MANAS Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 8(1), 223-230.
- Uslu, A., Kızıloğlu, K., İşleyen, S. K., & Kahya, E. (2017). Okul Yeri Seçiminde Coğrafi Bilgi Sistemine Dayalı Ahp-Topsis Yaklaşımı: Ankara İli Örneği. *Politeknik Dergisi*, 20(4), 933-943.
- Van Breedam, A. (2001). Comparing Descent Heuristics And Metaheuristics For The Vehicle Routing Problem. *Computers & Operations Research*, 28(4), 289-315.
- Veenstra, M., Roodbergen, K. J., Coelho, L. C., & Zhu, S. X. (2018). A Simultaneous Facility Location And Vehicle Routing Problem Arising In Health Care Logistics In The Netherlands. *European Journal Of Operational Research*, 268(2), 703-715.
- Vural, D., Gencer, C., & Karadoğan, D. (2014). Ulaştırma Uygulamalarına Yönelik Çok Modlu Model Önerisi. *Savunma Bilimleri Dergisi*, 13(1), 75-105.
- Whittle, C., & Malkin, R. (2014). Capacity Building For Medical Equipment Technicians Improves Healthcare. *Journal Of Clinical Engineering*, 39(3), 142-147.
- Winston, W. L., & Goldberg, J. B. (2004). *Operations Research: Applications And Algorithms* (Vol. 3). Belmont: Thomson Brooks/Cole.
- Wong, A. L., Lacob, K. M., Wilson, M. G., Zwolski, S. M., & Acharya, S. (2018). Design And Preliminary Validation Of A Mobile Application-Based Expert System To Facilitate Repair Of Medical Equipment In Resource-Limited Health Settings. *Medical Devices (Auckland, Nz)*, 11, 157.
- Yalçın, A. Y. (2021). Tavlama Benzetimi Temelli Yaklaşım ile Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Optimizasyonu: Karadeniz Bölgesi Örneği. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (22), 239-248.
- Yavuz, S., & Deveci, M. (2014). Bulanık Topsis Ve Bulanık Vıkor Yöntemleriyle Alışveriş Merkezi Kuruluş Yeri Seçimi Ve Bir Uygulama. *Ege Academic Review*, 14(3).
- Yıldız, A., & Demir, Y. (2019). Bulanık Topsis Yöntemiyle Türkiye'nin Yerli Otomobili İçin En Uygun Fabrika Yerinin Seçimi.
- Yıldız, E. A., Karaoğlu, İ., & Altıparmak, F. (2021). İki Aşamalı Yer Seçimi Ve Eş Zamanlı Topla Dağıt Araç Rotalama Problemi: Karışık Tam Sayılı Matematiksel Model Ve Sezgisel Yaklaşım. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 36(2), 807-822.
- Yılmaz, Ş. (2008). Çok Depolu Araç Rotalama Probleminin Karınca Kolonisi Optimizasyonu İle Modellenmesi Ve Bir Çözüm Önerisi.

Yousefi, A., & Hadi-Vencheh, A. (2010). An Integrated Group Decision Making Model And Its Evaluation By Dea For Automobile Industry. *Expert Systems With Applications*, 37(12), 8543-8556.

Yüksek Öğretim Kurulu, <https://yokatlas.yok.gov.tr/>(17.01.2022)



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı:	Mehmet KIZILBOĞA
Doğum tarihi:	
Doğum Yeri:	
Uyruğu:	
Adres:	
Tel:	
E-mail:	
Eğitim	
Lise:	Bingöl Lisesi
Lisans:	Kırıkkale Üniversitesi,2002-2007
Yüksek lisans:	Atatürk Üniversitesi, 2019-
Yabancı Dil Bilgisi	
İngilizce:	Orta
İş Tecrübesi	
MP Ayakkabı-Üretim Planlama Mühendisi,2008-2010 Türkiye İş Kurumu-İş ve Meslek Danışmanı, 2013-2014 Sağlık Bakanlığı-Mühendis,2014-Devam Ediyor	