Sağlık Sektöründe Çizelgeleme Optimizasyonu ve Çözüm Önerileri

Selami Somar

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Şubat 2020

Scheduling Optimization in Healthcare Sector and Solution Approaches

Selami Somar

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Industrial Engineering

February 2020

Sağlık Sektöründe Çizelgeleme Optimizasyonu ve Çözüm Önerileri

Selami Somar

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği uyarınca
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Üretim ve Servis Sistemleri Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak hazırlanmıştır.

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Yeliz Buruk Şahin
İkinci Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Burak Urazel

Şubat 2020

ONAY

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Selami Somar'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "Sağlık Sektöründe Çizelgeleme Optimizasyonu ve Çözüm Önerileri" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek oy birliği ile kabul edilmiştir.

Birinci Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Yeliz Buruk Şahin

İkinci Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Burak Urazel

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Yeliz Buruk Şahin

Üye : Prof. Dr. Muzaffer Kapanoğlu

Üye : Doç. Dr. Nil Aras

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ..... tarih ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Hürriyet ERŞAHAN
Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre Dr. Öğr. Üyesi Yeliz BURUK ŞAHİN ve Dr. Öğr. Üyesi Burak URAZEL danışmanlığında hazırlamış olduğum "Sağlık Sektöründe Çizelgeleme Optimizasyonu ve Çözüm Önerileri" başlıklı YÜKSEK LİSANS tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ve ilke kurallara uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümünü atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim. 14/02/2020

Selami Somar

ÖZET

Evde Sağlık Hizmetleri, belirli bir bölgede yaşayan ve sağlık hizmetini hastaneye gitmeden kendi evinde alması gereken hastalara gerekli muayene, tetkik, tahlil, tedavi ve rehabilitasyon hizmetlerinin sağlanmasıdır. Evde Sağlık Hizmetlerinde Zaman Pencereli Araç Rotalama Problemi ise, sağlık personellerinin kendilerine tahsis edilen araçlar ile belirli bir başlangıç noktasından başlayarak hizmet vereceği tüm hastaları ziyaret etmesini ve tüm hasta talepleri karşılandıktan sonra belirli bir bitiş noktasına dönmesini içeren rotaların planlanmasıdır. Ele alınan problemde temel öncelik, ihtiyacı olan hastalara, ihtiyacı olan hizmetin en uygun zamanda ve en iyi seviyede ulaştırılmasıdır. Bununla birlikte, sunulan hizmet ve organizasyon sonucunda ortaya çıkan maliyetlerin de en aza indirilmesi gibi ikincil bir amaç söz konusudur. Bu çalışmada, toplam seyahat maliyetlerinin en küçüklenmesini ve hasta memnuniyetinin bir göstergesi olarak ekip-hasta ataması ile elde edilen yetkinlik değerlerinin toplamının en büyüklenmesini içeren skalerleştirilmiş bir amaç fonksiyonu kullanılmıştır. Problemi temsil eden 0-1 karma tamsayılı bir matematiksel model geliştirilmiş ve geliştirilen bu model, GAMS yazılımında kodlanmıştır. Problem NP-Zor türünde olduğu için matematiksel modelin çözüm elde edemediği boyutlardaki problemlerin çözümü için GA ve GA-TB meta sezgisel yöntemleri geliştirilmiştir. Türetilen farklı boyutlardaki test problemlerinin GAMS, GA ve GA-TB yöntemleri ile çözümü yapılmış, kullanılan değerlendirme ölçütleri ile yöntemler karşılaştırılmış ve performansları analiz edilmiştir. Yapılan karşılaştırma ve analiz sonuçlarına göre; geliştirilen GA-TB melez yönteminin başarısı ve etkinliği kanıtlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Evde sağlık hizmetleri, zaman pencereli araç rotalama, sağlık ekibi yetkinlik seviyesi, genetik algoritma, tavlama benzetimi, melez yöntem.

SUMMARY

Home Health Care Services is the provision of necessary examination, examination, analysis, treatment and rehabilitation services to patients who live in a specific area and need to receive health services in their own home without going to the hospital. Vehicle Routing Problem with Time Window in Home Health Care Services is the planning of the routes that involve the healthcare professionals visiting all the patients they will serve starting from a certain starting point with the vehicles allocated to them and returning to a certain end point after all patient demands are met. The main priority in the addressed problem is to provide the patients in need with the service they need at the most appropriate time and at the best level. However, there is a secondary purpose such as minimizing the costs resulting from the service and organization offered. In this study, a scaled objective function was used, which included the minimization of the total travel costs and the maximization of the competence values obtained by team-patient assignment as an indicator of patient satisfaction. A mathematical model 0-1 mixed integer representing the problem has been developed and this model has been coded in GAMS software. Since the problem is of the NP-Hard type, GA and GA-SA meta heuristic methods have been developed for the solution of the problems that the mathematical model cannot obtain solutions. The solution problems of different sizes were solved by GAMS, GA and GA-SA methods, the evaluation criteria and methods were compared and their performances were analyzed. According to the comparison and analysis results, the success and effectiveness of the developed GA-SA hybrid method has been proven.

Keywords: Home Health Care Services, vehicle routing with time window, caregiver skill level, genetic algorithm, simulation annealing, hybrid method.

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım süresince bilgi ve tecrübeleri ile bana danışmanlık yapan ve her türlü olanağı sağlayan Sayın Dr. Öğr. Üyesi Yeliz BURUK ŞAHİN ve Sayın Dr. Öğr. Üyesi Burak URAZEL'e, lisans ve yüksek lisans öğrenimim süresince üzerimde emeği olan, yardım ve değerli bilgilerini esirgemeyen tüm hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, manevi desteklerini her zaman hissettiğim aileme sevgi ve destekleri için teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET vi
SUMMARY vii
TEŞEKKÜR viii
İÇİNDEKİLER ix
ŞEKİLLER DİZİNİ x
ÇİZELGELER DİZİNİ xi
1. GİRİŞ VE AMAÇ 1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI 6
2.1. Zaman Pencereli Araç Rotalama Problemleri 6
2.2. Evde Sağlık Hizmetlerinde Zaman Pencereli Araç Rotalama Problemleri 7
3. PROBLEMİN TANIMI VE PROBLEMİN ÇÖZÜMÜ İÇİN GELİŞTİRİLEN ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ 17
3.1. Matematiksel Model 19
3.2. Genetik Algoritma Yöntemi 22
3.2.1. Problemin kromozom gösterimi 24
3.2.2. Uyum fonksiyonu, seçim ve genetik operatörler 28
3.3. Tavlama Benzetimi Yöntemi 34
3.3.1. TB Algortiması'nın parametreleri 38
3.3.2. TB Algoritması'nda komşu çözüm türetilmesi 40
3.4. GA-TB Melez Yöntemi 46
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 47
4.1. Test Problemlerinin Türetilmesi 47
4.2. Parametre Seçimi 49
4.3. Örnek Problem 53
4.4. Test Problemlerinin Çözümü 61
5. SONUÇ VE ÖNERİLER 69
KAYNAKLAR DİZİNİ 71
EK AÇIKLAMALAR 76
Ek Açıklama-A: OP_15_5_5 probleminin verilerine ilişkin MATLAB kodları (GA) 77
Ek Açıklama-B: OP_15_5_5 probleminin verilerine ilişkin MATLAB kodları (GA-TB) 80

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil **Sayfa**

1.1 Türkiye ‘de 2018 yılına ait nüfus yaş grafiği 2
1.2 Türkiye’de yıllara göre 65 yaş üstü nüfus oran grafiği 2
1.3. Yaş gruplarına göre ESH alan hastaların dağılımı 3
3.1 Zaman pencereli evde sağlık hizmetleri araç rotalama serim gösterimi 18
3.2 GA’nın genel akış şeması 23
3.3 Kromozom gösterimi 25
3.4 Kromozom gösterimi ile türetilen bir çözüm 26
3.5 Kromozom gösterimi ile türetilen bir çözüm 27
3.6 Kromozom gösterimi ile türetilen bir çözüm 27
3.7 Tek nokta çaprazlama gösterimi 32
3.8 Çift nokta çaprazlama gösterimi 33
3.9 Dağıtık çaprazlama gösterimi 33
3.10 Pozisyona göre değişim gösterimi.....34
3.11 Sıraya göre değişim gösterimi 34
3.12 TB Algortiması’nın akış şeması 37
3.13 Komşuluk türetilecek bir uygun çözüm örneği 40
3.14 Mevcut araç-ekip ataması.....42
3.15 Sıralı Hedef Kümesi 42
3.16 Komşu çözümün araç-ekip ataması 42
3.17 Mevcut rota 43
3.18 Sıralı Hedef Kümesi.....43
3.19 Komşu çözüme ait yeni rota.....44
3.20 Mevcut çözüm.....45
3.21 Komşu çözüme ait yeni çözüm 45
4.1 Yöntemlere göre amaç fonksiyonunun aldığı değerler 61
4.2 Amaç fonksiyonu değerine göre yöntemlerin karşılaştırılması.....65
4.3 Amaç fonksiyonu ve uyum değerlerine göre GA ve GA-TB yöntemlerinin karşılaştırılması ...65
4.4 Ortalama $\overline{GYS}$ değerlerine göre yöntemlerin karşılaştırması 68

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge **Sayfa**

2.1. Literatürdeki bazı çalışmaların amaç, kısıt ve çözüm yöntemlerine göre karşılaştırılması 15
3.1. Kromozoma göre araç-ekip-rota atama sonucu 26
3.2. Kromozoma göre araç-ekip-rota atama sonucu 27
3.3. Kromozoma göre araç-ekip-rota atama sonucu 28
3.4. Tavlama süreci ile eniyileme problemleri arasındaki ilişki 37
4.1. Ekip ve araç sayılarına göre taşıma maliyetleri ve araç kapasite değerleri 47
4.2. Parametreler ve veri türetme formülleri 48
4.3. Türetilen örneklere ait boyut ve değişken sayıları 49
4.4. YYY Faktör ve Düzeyleri 50
4.5. Box Behnken Tasarımı için Deney Düzeni 51
4.6. Uyum fonksiyonu için Varyans Analizi tablosu 52
4.7. Uyum fonksiyonu için model istatistikleri 52
4.8. Hastalara ait parametre değerleri 53
4.9. Araç kapasite ve birim taşıma maliyet tablosu.....54
4.10. Ekiplerin araçlar ile kat edebileceği en büyük mesafeler 54
4.11. Düğümler arası uzaklık değerleri 55
4.12. Düğümler arası ulaşım süreleri 56
4.13. Ekip-hasta hizmet yetkinlik tablosu 57
4.14. GAMS çözümü ile elde edilen araç-ekip atama sonucu.....58
4.15. GAMS çözümü ile elde edilen araç-rota atama sonucu 58
4.16. GAMS çözümü ile elde edilen amaç fonksiyonu değeri.....58
4.17. GA çözümü ile elde edilen araç-ekip atama sonucu 59
4.18. GA çözümü ile elde edilen araç-rota atama sonucu 59
4.19. GA çözümü ile elde edilen araç-ekip atama sonucu 59
4.20. GA-TB çözümü ile elde edilen araç-ekip atama sonucu 60
4.21. GA-TB çözümü ile elde edilen araç-rota atama sonucu 60
4.22. GA-TB çözümü ile elde edilen amaç fonksiyonu değeri 60
4.23. Yöntemlere göre çözüm sonuçlarının karşılaştırılması 62
4.24. En iyi çözüm değerlerine karşı gelene z1 ve z2 çözüm değerleri 64
4.25. Ortalama $\overline{GYS}$ değerlerine göre yöntemlerin karşılaştırması 67

1. GİRİŞ VE AMAÇ

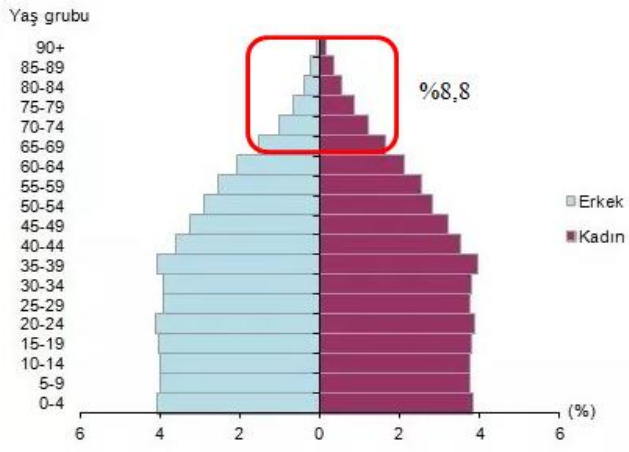
Evde Sağlık Hizmetleri (ESH), hastaneye giderek hizmet alma imkanı bulunmayan ve evde sağlık hizmeti almaya ihtiyacı olan bireylere, kendi evinde ve aile ortamında verilen muayene, tetkik, tahlil, tedavi, tıbbi bakım, takip ve rehabilitasyon hizmetleridir. Kamu ve özel sağlık kurumları tarafından sunulan ESH'de temel öncelik, hastaların mümkün olduğunca kendi evlerinde tedavilerini alabilmeleridir. Bu doğrultuda, iyi bir hizmet kalitesi sunulması beklenmektedir. Verilen bu hizmet ile, hastanelerde hasta akışının azalması ve ortaya çıkan tüm sağlık hizmeti maliyetlerinin düşmesi beklenmektedir. ESH çalışmaları ile, bir taraftan yüksek düzeyde hizmet sunmak, bir taraftan da daha fazla hastaya hizmet vermek için kaynaklarını daha iyi yönetmek amaçlanmaktadır (Grenouilleau vd., 2019). ESH'den yararlanan bireyler genellikle, yaşlılar ve fiziksel sorun ya da öğrenme güçlüğü çeken hastalardır.

ESH, personel çizelgeleme ve araç rotalama problemlerini bünyesinde bulunduran bir hizmet endüstrisidir. Bu alanda yapılan çalışmaların önemi; yenilikçi teknolojiler, yaşlanan nüfus yapısı, artan kronik-patolojik hastalıklar ve ülkelerin sağlık bakım maliyetlerindeki payının artması gibi nedenlerle gün geçtikçe artmaktadır (Jemai vd., 2013).

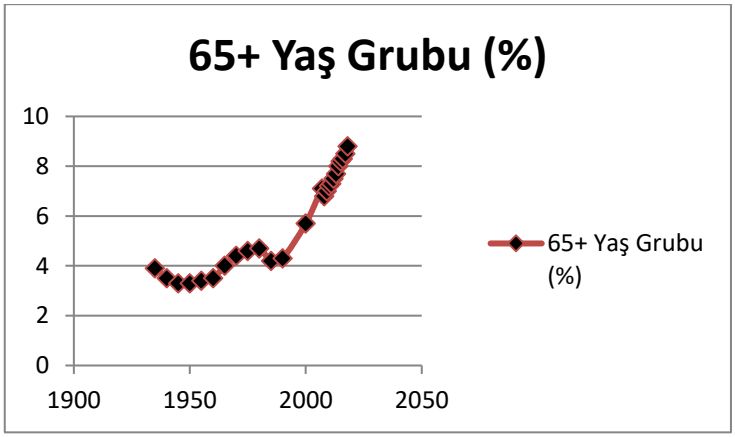
ESH veren sağlık özel ve kamu kurumlarının temel hedefi, hasta hizmetlerinin etkinliğini arttırmaktır. Verilen hizmetin verimliliği, hasta memnuniyeti ve ortaya çıkan tüm hizmet maliyetleri ile ifade edilebilir. ESH ile hastalara verilen hizmetin kalitesi en az hastanede verilen hizmet kalitesi kadar iyi olup, genellikle daha ucuz ve daha uygundur (Alodhayani, 2017). ESH, hastaların ev konforunda hizmet almalarına olanak sağlarken, hem zaman hem de para tasarrufu sağlar (Zhan ve Wan, 2018). Hastalar da, ESH'nin ihtiyaç duydukları hizmeti sağlamak için çok daha uygun bir seçenek olduğunun bilincindedir. Her ne kadar bakım ve hizmet veren sağlık kuruluşlarının sayısı ve kalitesi günden güne artıyor olsa da; kişiler, yaşlıların ve bakıma ihtiyaç duyan bireylerin kendi evlerinde kalmalarına devam ederek ihtiyaçları olan tüm bakım ve sağlık hizmetlerini alabildiği ESH'nin öneminin farkındadır (Fard vd., 2019).

Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Küresel Sağlık İş Gücü İttifakı (GHWA), 2012 yılında dünya genelindeki tüm sağlık kurumlarında yaklaşık 7,2 milyon profesyonel sağlık personeli kıtlığı bulunduğunu ve bu sayının 2022 yılına kadar 12 milyonun üzerine çıkacağını belirtmiştir (Beckman vd., 2016). Yıllar geçtikçe hızla artan dünya nüfusu ve yetersiz kalan kaynaklar düşünüldüğünde, ESH'ye verilen önemin de gün geçtikçe artacağı açıktır.

TÜİK'in 2018 nüfus verilerine göre Türkiye'de ortalama insan ömrü; erkeklerde 75,3 ve kadınlarda 80,8 olmak üzere ortalama 78 seviyelerindedir. Şekil 1.1 ve Şekil 1.2'de TÜİK'in 2018 yılı sonunda Türkiye'de yapmış olduğu nüfus araştırmasının sonucunda elde edilen demografik veriler sunulmuştur (Türkiye Sağlık Enstitüleri Başkanlığı/TUSEB, 2018).



Şekil 1.1. Türkiye 'de 2018 yılına ait nüfus yaş grafiği

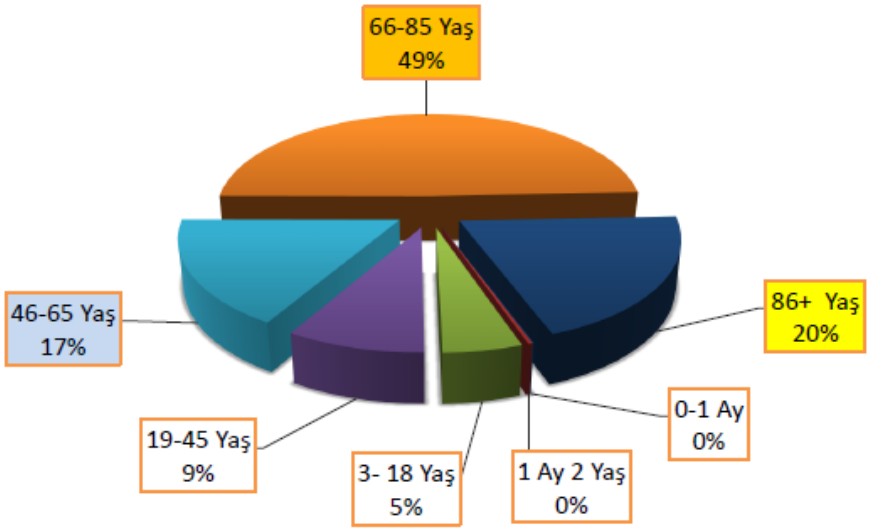


Şekil 1. 2. Türkiye'de yıllara göre 65 yaş üstü nüfus oran grafiği

Mevcut veriler ışığında 2018 yılı sonu itibari ile %8,8 seviyelerinde olan yaşlı nüfus oranının, önümüzdeki 25-30 yılda daha da artacağını söylemek mümkündür.

Türkiye Cumhuriyeti Sağlık Bakanlığı'nın hazırlamış olduğu ve haziran 2019 yılına ait ESH personel, araç ekip standartları cetveline göre, kamu hastanelerinde ESH'den faydalanan toplam hasta sayısı 371.520'dir. Toplam hasta sayısının yaklaşık %69'u 65 yaş üzerindeki hasta grubundan oluşmaktadır. Organizasyon kapsamında tüm Türkiye genelindeki kamu kurumlarında 1.071 uzman hekim/pratisyen, 2.733 hemşire/sağlık memuru/diğer sağlık personeli, 1.089 araç şoförü görevlendirilmiş ve 1.352 ekip aracı tahsis edilmiştir. Bir hekim, iki sağlık personeli ve bir şoförden oluşan 1.352 ekip oluşturulmuştur. Böylece her bir ekibin 250 kayıtlı hastaya hizmet verecek şekilde organize edilmesi planlanmıştır.

Şekil 1.3'te, ESH alan hastaların yaş aralıklarının gösterildiği grafik yer almaktadır. Buna göre, hizmet alan hastaların yaklaşık %49'unun 65 yaş üstü ve 86 yaş altında; %20'sinin yaşının ise 86 ve üzerinde olduğu söylenebilir. Bunları, sırası ile 46-65 ve 19-45 yaş aralıkları takip etmektedir.



Şekil 1.3. Yaş gruplarına göre ESH alan hastaların dağılımı (TC. Sağlık Bakanlığı, 2019)

Gün geçtikçe artan ve yaşlanan nüfusa bağlı olarak hastanelerde yaşanan yoğunluklar, artan kronik hastalıklar ve çeşitli onkolojik vakalar, yetersiz hastane kapasiteleri, sağlık personeli başına artan hasta sayısı gibi etkenler ESH'ye olan talebi hızlı bir şekilde artırmaktadır. ESH için hızla artan talep ve piyasadan gelen rekabet baskısı ile,

hizmet veren sağlık kuruluşları, hizmet operasyonları planlamasının kritik olduğu bir dizi karmaşık karar problemi ile karşı karşıyadır (Hulshof vd., 2012). Artan ESH talebi, tüm hizmet organizasyonu planlamaları için karar destek sistemlerini vazgeçilmez hale getirmiştir (Mosquera vd., 2018). Bu kapsamda ortaya çıkan en önemli karar problemleri; hangi hastalara hangi personelin/ekibin hizmet vereceği, oluşturulan ekipler için hasta ziyareti rotalarının belirlenmesi ve probleme özgü hizmet zaman penceresi dikkate alındığında ziyaretlerin hangi zaman dilimlerinde yapılacağıdır. Hasta memnuniyeti için, her hastaya önceden bir randevu saati (planlanan hizmete başlama zamanı) belirlenir ve hizmet veren kurumlar planlama dahilinde bu zaman diliminde hizmet gerçekleştirir (Agatz vd., 2008).

Yukarıdaki bilgiler doğrultusunda ESH problemleri; atama, araç rotalama ve randevu çizelgeleme problemlerinin bütünleşik bir hali olarak ifade edilebilir. (Zhan ve Wan, 2018).

Yanı sıra, ESH uygulamasında, farklı tıbbi beceri ve yetkinlik gerektiren hizmet ve tedavi süreçleri ortaya çıkmaktadır (Akjiratikarl vd., 2007). Kurumların, her bir sağlık personelinin her türlü hizmeti aynı nitelik ve beceride verebilmesini sağlayabilmesi mümkün değildir. Bu nedenle ESH veren sağlık kurumlar, sınırlı kaynakları tam olarak kullanabilmek için, personellerini beceri ve niteliklerine göre farklı seviyelere ayırmak durumunda kalacaktır. Bu doğrultuda; her hastaya hizmet verebilen bir sağlık personeli, her hastaya hizmet veremeyen bir sağlık personeline göre yetkin kabul edilmektedir (Shi vd., 2019). Farklı hizmet talebi bulunan, farklı coğrafik noktalardaki hastalar için sağlık personelinin en etkin şekilde atanması, rotalaması ve çizelgelenmesinin oldukça önemli olduğu açıktır. Ayrıca, ESH veren kurumların, hastaların hizmet ihtiyaçlarını gereken zamanda ve yüksek kalite düzeyinde karşılamanın yanı sıra; ulaşım ve işgücü gibi önemli maliyetlerini en aza indirmek ve hizmet verilen hasta sayısını artırmak gibi hedefleri de vardır. Bu doğrultuda, ESH veren kamu ve özel sağlık kuruluşları için hasta taleplerini karşılamak, hasta ve sağlık personeli memnuniyetini artırmak, tüm hizmet ve personel maliyetlerini azaltmak en önemli amaçlar olarak öne çıkmaktadır. Bu kararları verirken, bazı önemli değişken ve kısıtlar dikkat çekmektedir. Bunlar; sağlık personeli sayısı, personelin uzmanlık düzeyi, iş yükü, araç kısıtları, hastaların hizmet süreleri ile hasta ve sağlık personelinin diğer tercihleridir.

Mevcut kaynaklar, probleme özel kısıtlar ve artan problem boyutuna göre verilmesi gereken bu kararların oldukça önemli olduğu açıktır. Uygulama yönlü bakıldığında ise, atama, rotalama ve çizelgeleme problemlerinin eş zamanlı olarak ele alınması ve probleme özel bazı kısıtların da eklenmesi ile birlikte ESH probleminin karmaşıklığı artmaktadır. Bu doğrultuda, problemin çözümü için daha sistematik tekniklere ihtiyaç duyulduğu açıktır. ESH problemleri, özellikle son yıllarda çözümü araştırılan ve literatürde daha fazla öne çıkmaya başlayan problemler arasında yerini almıştır. Son yıllarda ESH problemleri üzerinde yapılan çalışmalar incelendiğinde araştırmacıların, ele aldıkları problemin karmaşıklığı, boyutu, yapısı veya kısıtlarına göre çeşitli çözüm yaklaşımları geliştirdikleri görülmektedir. Bu yöntemleri temel olarak kesin çözüm yöntemleri ve sezgisel/meta sezgisel yöntemler olarak ikiye ayırmak mümkündür. Özellikle küçük ve orta boyutlu ve karmaşıklık düzeyi daha az olan problemlerin çözümü için kesin çözüm yöntemleri, daha büyük ve karmaşık problemlerin çözümü için ise sezgisel ve meta sezgisel yöntemlerin tercih edildiği görülmektedir.

Bu çalışmada, hastaların hizmet zaman penceresi kısıtını göz önünde bulunduran ve hizmet veren sağlık personellerinin/ekiplerinin uzmanlık seviyelerini dikkate alarak en uygun hasta-ekip atamasını hedefleyen "ESH'de ZPARP" problemi ele alınmıştır. 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, Genetik Algoritma (GA), ve GA ile elde edilen en iyi çözümü başlangıç çözümü olarak kabul eden Tavlama Benzetimi (TB) Algoritması'ndan oluşan bir melez yöntem geliştirilmiştir.

İzleyen bölümde, ESH Problemleri kapsamında incelenen ve literatürde yer alan güncel çalışmalar yer almaktadır. Üçüncü bölümde, ele alınan problemin tanımı yapılmış ve varsayımlar açıklanmıştır. Dördüncü bölümde, ele alınan problemin çözümü için geliştirilen çözüm yöntemleri detaylı olarak sunulmuştur. Bulgu ve tartışmaların yer aldığı beşinci bölümde ise, ele alınan probleme yönelik test problemlerinin nasıl türetildiği açıklanmıştır. Türetilen problemlerin, geliştirilen yöntemler ile çözümleri yapılmış ve elde edilen çözüm sonuçlarına göre yöntemlerin karşılaştırma sonuçları verilmiştir. Son bölümde ise, ele alınan çalışma ile ilgili sonuçlar ve öneriler yer almaktadır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

ESH problemleri; Araç Rotalama Problemi (ARP)'nin özel bir hali olarak düşünülebilir. Bu nedenle bu kısımda, ARP ve Zaman Pencereli ARP'ye değinilecektir.

ARP, bir veya birkaç merkezi noktadan, belirli müşterilere ürün/hizmet ulaştırılmasını sağlayan araçların rotalarının belirlenmesidir. Problemde genel olarak, araç kapasitelerini dikkate alarak dağıtım yapan, belirli bir kapasiteye sahip araçların etkin olarak kullanılması hedeflenmektedir. ARP, literatürdeki en ilginç ve iddialı problemlerden biridir. İlginçtir, çünkü çok kolay tanımlanmasına karşın çözümü zordur ve iddialıdır, çünkü birçok yaklaşım denenmesine karşın hala gerçek hayatta karşılaşılan bütün araç rotalama problemlerinde en iyi çözüme ulaşılamamıştır (Düzakın ve Demircioğlu, 2009).

Araç rotalama problemleri (ARP), 50 yılı aşkın bir zamandır çalışılmış bir problem türü olarak karşımıza çıkmaktadır. Gerçek hayatta karşılaşılan ARP problemleri için, birçok algoritma geliştirilmiştir. ARP ile ilgili ilk makale George Dantzig ve Ramser John tarafından 1959 yılında yayınlanmıştır ve benzin teslimatında ortaya çıkan ARP 'ler için algoritmik bir yöntemi içermektedir. Daha sonraki yıllarda, Clarke ve Wright (1964), ARP için "tasarruf algoritması" adını verdikleri etkili bir açgözlü yöntem önermiş ve Dantzig ve Ramser'in yönteminden daha iyi sonuçlar elde etmişlerdir.

2.1. Zaman Pencereli Araç Rotalama Problemleri

Zaman Pencereli Araç Rotalama Problemleri (ZPARP), klasik araç rotalama problemlerinin her bir düğüme $[a_i, b_i]$ zaman aralığı kısıtının eklenmesi ile geliştirilmiş halidir. Zaman penceresinde; a_i hizmete en erken başlama zamanını, b_i hizmete en geç başlama zamanını ifade etmektedir (Cömert vd., 2015).

ZPARP problemleri, esnek zaman pencereli ve sıkı zaman pencereli araç rotalama problemi olmak üzere ikiye ayrılır. Esnek zaman pencereli araç rotalama probleminde müşterilere belirli $[a_i , b_i]$ zaman penceresi dışında da hizmet verilebilir, fakat bu durumda

bir ceza maliyeti ortaya çıkmaktadır. Sıkı zaman pencereli araç rotalama probleminde ise, eğer bir araç müşterinin söz konusu zaman aralığının başlangıcından önce gitmişse en erken hizmete başlama zamanına kadar beklemek zorundadır, eğer en geç hizmete başlama zamanından sonra gitmişse de hizmet verememektedir (Cömert vd. 2018).

Büyük boyutlu gerçek yaşam veri setleri için kesin çözüm yöntemleri kullanılarak bu problemin polinom zamanda çözümü oldukça zordur (Şahin ve Eroğlu, 2014). Bu doğrultuda ZPARP problemlerinin NP-Zor sınıfında yer alan bütünleşik eniyileme problemleri içerisinde yer aldığını ifade edebiliriz.

Kesin çözüm yöntemleri, problemin sadece küçük boyutlu örneklerini çözebilmektir. Bu nedenle, son yıllarda büyük boyutlu problemlerin çözümü için makul kabul edilebilecek bir sürede en iyi ya da en iyiye yakın çözümler elde edilebilen sezgisel ve meta sezgisel yöntemler yaygın olarak kullanılmaktadır.

2.2. Evde Sağlık Hizmetlerinde Zaman Pencereli Araç Rotalama Problemleri

Özellikle son çeyrek asırda sağlık sektöründe yaşanan teknolojik gelişmeler, artan ve yaşlanan dünya nüfusu ve gelişen imkânlara rağmen, sağlık kurumlarında yaşanan yoğunluklar nedeni ile ESH'ye olan ilgili günden güne artmaktadır. Artan talep ile doğru orantılı olarak gerek kamuya ait sağlık kurumları gerekse özel sağlık hizmeti veren kurumlar bu konuya daha fazla eğilmeye başlamıştır. Farklı nitelik ve türdeki hastalara en iyi hizmeti sağlayabilmek tüm bu kurumların öncelikli hedefidir. Ancak, artan talep, kısıtlı hizmet imkânları ve sınırlı kaynaklar sebebi ile hedeflenen düzeyde ESH planlaması ve organizasyonu yapılamamaktadır. Bu sebeple, klasik araç rotalama problemlerinin bir uzantısı olarak ele alınan ESH'de ZPARP problemi için son yıllarda birçok çalışma yapılmıştır.

Mutingi ve Mbohwa (2013), hastaların zaman penceresi kısıtını dikkate alarak sağlık hizmet kalitesini en düşük maliyetle organize etmeyi amaçlayan ESH problemi üzerinde çalışma yapmıştır. Çalışma kapsamında, Grup GA (GGA) yaklaşımını kullanmışlardır. Hastaların belirlemiş olduğu en erken ve en geç hizmet alma zamanları göz önünde bulundurularak atama ve çizelgeleme yapılması amaçlanmıştır. Belirlenen

hizmet zamanlarından negatif ve pozitif yönlü sapmalar olduğunda ortaya çıkan ceza maliyetleri, önerilen yöntemle en aza indirilmeye çalışılmıştır. Geliştirdikleri GGA yaklaşımını, literatürde yer alan diğer sezgisel yöntemler Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (PSO), Paralel PSO ve Melez PSO ile karşılaştırmışlardır. Sonuçlara göre, önerilen yöntem, diğer yöntemlerden daha kısa sürede daha yüksek arama başarısı oranına sahip olup, oldukça etkin bir yöntemdir. Ayrıca, araştırmacılar bu yöntemin, literatürde yer alan doğrusal programlama modellerinin aksine büyük boyutlu problemler için makul sürelerde uygun çözümler elde edebildiğini göstermiştir.

Mankowska vd. (2014), hastaların hizmet öncelikleri ve hastalara verilecek olan hizmetlerin birbiri ile olan ilişkisini dikkate alan evde sağlık hizmetleri planlama modeli geliştirmiştir. Hastaların hizmet zaman pencerelerini de dikkate alarak bir hastanın planlama periyodunda birden fazla hizmet alabildiği durumlar ele alınmıştır. Önerilen matematiksel model ile küçük boyutlu problemlerin çözümü sağlanırken, daha büyük boyutlu problemlerin çözümü için Değişken Komşu Arama (DKA) sezgiselineine dayanan yeni bir yöntem geliştirmiştir. Geliştirilen sezgisel yöntemin büyük boyutlu problemler üzerindeki başarısı, çalışma kapsamında türetilen test sonuçları ile kanıtlanmıştır.

Mutingi ve Mbohwa (2014), amaçların, koşulların, hasta ve hemşire önceliklerinin kesin olmadığı ve sürekli olarak değiştiği bulanık ortamlardaki ESH'de ARP için, Bulanık GA (BGA) yaklaşımını önermiştir. Diğer meta sezgisel yaklaşımların aksine daha gerçekçi koşulları dikkate aldıkları bu yaklaşımın, birbirleri ile çelişen ve öncelik kısıtlarının yer aldığı bulanık ortamlar için yararlı bir yöntem olduğunu kanıtlamışlardır.

Wirnitzer vd. (2016), ESH veren bir sağlık kuruluşunda hizmet veren hemşireler için aylık çizelgeler hazırlayan bir matematiksel model geliştirmiştir. Gerçek dünyadaki girdiler ve rastgele oluşturulmuş verilere dayanan sonuçlara göre, önerilen modelin makul zamanlarda manuel planlamadan daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir.

Rest ve Hirsch (2016), ESH için gün temelinde çizelgeleme ve rotalama modeli önermiştir. Amaçları, seyahat ve bekleme sürelerini en aza indirmektir. Vardiyalarla en büyük günlük çalışma süresini, belirli bir süre çalıştıktan sonra ara vermeyi, hastaları ve personellerin memnuniyet faktörünü ve hizmet verenlerin yeterlilik seviyelerini kısıt olarak

kabul etmişlerdir. Problemin çözümü için üç Tabu Arama (TA) tabanlı çözüm yöntemi önermişlerdir.

Braekers vd. (2016), evde bakım ve personel çizelgeleme problemlerinde operasyonel maliyetleri en küçüklerken, müşterilere sunulan hizmet seviyesini en büyüklemeyi amaçlayan iki amaçlı bir matematiksel model geliştirmiştir. Hastaların hizmet önceliği ve zaman penceresinin göz önünde bulundurulduğu küçük boyutlu bir problem için gerçek hayat verilerinden oluşan bir örnek ele almışlardır. Problemin, literatürde yer alan Çok Yönlü Yerel Arama (ÇYYA) ve Geniş Komşuluk Arama (GKA) sezgisel yöntemleri ile çözümü araştırılmıştır. Araştırmacılar, önerilen yöntemlerin çok amaçlı ESH çizelgelemesi problemleri için oldukça başarılı yöntemler olduğunu kanıtlamıştır.

Frifita vd. (2017), ESH ‘de zaman pencereli çizelgeleme ve rotalama problemi için bir matematiksel model geliştirmiştir. Çalışmada, hemşirelerin seyahat sürelerini en küçüklemek üzere bir Yerel Arama Algoritması (YAA) yöntemi önerilmiştir. Önerilen yöntem, çeşitli gerçek yaşam örnekleri için, karma tamsayılı programlama modeli sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Geliştirilen sezgisel yöntemin, karma tamsayılı programlama modeline göre daha hızlı olduğu ve en iyi çözüme yakın sonuçlar elde edildiği gösterilmiştir.

Du vd. (2017) çalışmalarında, ESH’de hasta öncelikleri ve zaman pencerelerini dikkate alarak toplam hizmet maliyetini en küçüklemeyi amaçlayan tamsayılı programlama modeli geliştirilmiştir. Çalışmada, verilen hizmetin maliyet yönünün yanı sıra, hastaların öncelikleri de göz önünde bulundurulmuştur. Büyük boyutlu problemlerin çözümü için, YAA ve GA yöntemleri geliştirilmiştir. Yöntemlerin etkinliği, gerçek bir vaka üzerinde yapılan testlerle kanıtlanmıştır.

Liu vd. (2017), ESH çizelgeleme ve rotalama problemleri için karma tamsayılı bir matematiksel model geliştirmiştir. Geliştirilen model CPLEX çözücüsü ile çözülmüştür. Çalışmada, gerçek hayatta olduğu gibi sağlık personellerinin öğle yemeği molası verdiği göz önünde bulundurulmuştur. Çizelgeleme periyodu boyunca hizmet verilemeyen hasta olması durumunda bir ceza değerinin ortaya çıktığı düşünülmüş ve amaç fonksiyonu da bu ceza değerleri toplamının ve toplam seyahat maliyetlerinin en küçüklenmesi olarak ele

alınmıştır. Geliştirilen matematiksel modeli temel alan bir Dal-Sınır algoritması ile problemin çözümü araştırılmıştır. Test problemleri üzerinde yapılan karşılaştırmalara göre, önerilen algoritmanın makul bir hesaplama süresi içerisinde yüksek kaliteli çözümler ürettiği ve hem çözüm kalitesi hem de hesaplama süresi bakımından her zaman GAMS/CPLEX'ten üstün olduğunu gösterilmiştir.

Fathollahi-Fard vd. (2018), ESH veren personelleri taşıyan araçların tüm seyahat süresince doğaya saldığı zararlı gazları en aza indiren ve toplam maliyetlerin en küçüklenmesi sağlayan iki amaçlı karma tamsayılı bir matematiksel model geliştirmiştir. Planlama periyodunun tek olduğu problem için hastaların hizmet zaman pencerelerini dikkate alınmıştır. Araştırmacılar çözüm için, literatürde yer alan bir sezgisel model önermenin yanı sıra dört farklı sezgisel yöntem geliştirmiştir. Yaptıkları çalışmada, önerilen yöntemlerin büyük boyutlu problemlerde oldukça başarılı sonuçlar elde ettiğini göstermişlerdir.

Decerle vd. (2018), bir hastanın aynı anda iki hemşire tarafından hizmet alabildiği ESH problemleri için karma tamsayılı bir matematiksel model ve GA yöntemini bünyesinde barındıran bir Memetik Algoritma (MA) geliştirmişlerdir. Geliştirilen yeni yöntem, gerçek hayat verileri ile ele alınan örnek problemler üzerinden literatürdeki diğer yöntemler ile karşılaştırılmıştır. Ele aldıkları amaç fonksiyonları bakımından yaptıkları karşılaştırmalarda, geliştirdikleri algoritmanın etkin ve başarılı sonuçlar verdiği gösterilmiştir.

Zhan ve Wan (2018), ESH‘de eş zamanlı personel çizelgeleme ve ARP için karma tamsayılı bir model geliştirmiştir. Araştırmacılar, daha büyük boyuttaki problemlerin çözümü için ise TA metoduna dayalı bir sezgisel yöntem önermiştir. Test problemlerinin büyük çoğunluğunda, geliştirdikleri sezgisel yöntemin, matematiksel model ile elde edilen en iyi çözümleri yakalayabildiği, kalan kısmında ise en iyi çözüme yakın değerleri sağladığını göstermişlerdir.

Tohidifard vd. (2018), ESH‘de, zaman pencereli çoklu depolu ARP için bir karma tamsayılı matematiksel model geliştirmiştir. Hasta memnuniyet seviyesini artırmak ve toplam seyahat mesafesini en küçüklemek isteyen araştırmacılar, geliştirdikleri GA ve PSO

yöntemleri ile büyük boyutlu problemlerin çözümünü araştırmıştır. Küçük boyutlu test problemleri için matematiksel model ve diğer iki sezgisel yöntem, değerlendirme ölçütleri doğrultusunda karşılaştırılmış ve sezgisel yöntemlerin başarısı gösterilmiştir. Daha büyük boyutlu problemler için ise her iki sezgisel yöntem birbiri ile kıyaslanmış ve GA'nın, PSO'ya göre daha iyi sonuçlar verdiği kanıtlanmıştır.

Taş vd. (2018), ESH veren bir devlet hastanesi ve o şehrin belirli bir bölgesindeki hastalar için uygulamalı bir çalışma yapmıştır. Hizmet verecek olan sağlık personelleri, tahsis edilen araçlar vasıtasıyla hastalara ulaştırılmaktadır. Araştırmacılar, şehrin 94 hastası bulunan bir bölgesinde 4 araçlı rotalama problemi için 0-1 tamsayılı programlama modeli geliştirmiştir. Modelin temel amacı, araçların toplam kat ettiği mesafeyi ve dolayısıyla toplam seyahat maliyetini en aza indirmektir.

Liu vd. (2018), ESH'de sağlık personelinin çizelgelenmesi ve seyahat güzergahının belirlenmesi için haftalık zaman dilimi dikkate alan karma tamsayılı bir model önermişlerdir. İki amaçlı olarak geliştirilen modelde birincil amaç sağlık kuruluşunun toplam hizmet maliyetini en küçüklemek iken, ikincil amaç hasta memnuniyetini en üst seviyeye çıkarmaktır. Modelde tıbbi ekip tipleri, mevcut hizmet günleri ve fazla çalışma cezası da dikkate alınmıştır. Çok amaçlı modelde, bastırılamayan çözümleri elde edebilmek için ε-kısıt yönteminden yararlanılmıştır. Büyük boyutlu problemlerin makul sürelerde en iyi çözüme yakın çözümler bulmasını sağlamak için, üç sezgisel yaklaşım geliştirilmiştir. Geliştirilen yöntemlerin, test problemleri üzerinde elde edilen sonuçlar üzerinden karşılaştırılması yapılmıştır.

Decerle vd. (2019), ESH kapsamında hizmet veren sağlık ekiplerinin çalışma dönemi boyunca iş gücünün dengelenmeye çalışıldığı bir problemi ele almıştır. Çalışmada kapsamında, ele alınan benzer ESH problemlerinde şimdiye kadar hiç uygulanmamış olan Karınca Kolonisi Algoritması (KKA) ve memetik algoritmayı temel alan bir melez meta sezgisel geliştirilmiştir. Literatürdeki kıyaslanabilir örnekler ile yapılan hesaplamalar sonucunda, önerilen melez algoritmanın diğer meta sezgisel yöntemlere karşı etkinliği ortaya konulmuştur.

Demirbilek vd. (2019), gelen hasta taleplerinin anlık ve dinamik bir şekilde karşılandığı bir ESH problemini ele almıştır. Ele aldıkları problem kapsamında geliştirilen senaryo tabanlı yöntem ile personel çizelgesi oluştururken; hangi hastanın talebinin karşılanması gerektiği, kabul edilen hastalara bakım verecek hemşirelerin seçimi ve hemşirelerin hastalara hangi zaman dilimlerinde hizmet vereceği gibi karar değişkenleri belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışmada ayrıca, aynı hastalara aynı hemşirelerin hizmet vermesi sağlanarak hasta memnuniyetinin arttırılabileceği fikri savunulmuştur. Önerilen modelde amaç, planlama dönemi boyunca hemşirelerin daha fazla sayıda hastaya hizmet vermesini sağlamak ve toplam seyahat sürelerini en küçüklemektir. Önerilen yöntem, literatürde yer alan bir açgözlü sezgisel arama yöntemi ile karşılaştırılmış ve daha başarılı sonuçlar elde edildiği belirtilmiştir.

Erdem ve Koç (2019) ESH kapsamında bir grup sağlık personelinin, gelen hasta taleplerini karşılayacak şekilde elektrikli araç ile rotalara atandığı bir problemi ele almıştır. Karayolu taşımacılığı ile son yıllarda artan sera gazı salınımına karşı, elektrikli taşıma araçlarının tercih edilmesi gerektiği savunulmuş, tercih edilen elektrikli araçların kullanımından dolayı ortaya çıkan, araç şarj kısıtı probleme dahil edilmiştir. Problemin çözümü için başlangıçta 0-1 karma tamsayılı bir matematiksel model önerilmiştir. Daha karmaşık problem boyutları için ise GA ve DKA yaklaşımlarına dayanan bir melez meta sezgisel yöntem geliştirilmiştir. Küçük, orta ve büyük ölçekli örnekler üzerinde yapılan deneyler, melez meta sezgisel yöntemin ele alınan problem üzerinde etkili olduğunu göstermiştir.

Grenouilleau vd. (2019), ESH çizelgeleme ve rotalama problemlerinde bakım veren personelin boşta beklediği süreleri mümkün olabildiğince azaltmayı ve fazla mesai sürelerini en aza indirmeyi amaçlayan bir model önermiştir. Çalışmada, Geniş Çaplı Komşu Arama Algoritması (GÇKAA) kullanılmıştır. Geliştirilen yöntemler, gerçek veri örnekleri ile test edilmiş ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Shahnejat-Bushehri vd. (2019), hastaların hizmet zaman pencereleri bakımından hizmet önceliğinin dikkate alındığı ve hastaların ihtiyaçları doğrultusunda hizmet verenlerin hastalara atandığı bir ESH problemini ele almıştır. Araştırmacılar, problemi temsil eden 0-1 karma tamsayılı bir matematiksel model geliştirilmiştir. Modelin amaç

fonksiyonu; taşıma maliyeti, farklı niteliklere sahip hizmet verenlerin hizmet sunma maliyetlerini ve hizmet verenlerin hastaları ziyaret etmeden önce boşta kalma sürelerinin cezasını içeren toplam maliyetlerin en küçüklenmesidir. Geliştirilen matematiksel model ile türetilen küçük boyutlu problemlerin çözümü sağlanabilirken, daha büyük boyutlu problemlerin çözümü için TB ve TA yaklaşımları önerilmiştir. Yapılan test sonuçları ile geliştirilen sezgisel yöntemlerin başarılı sonuçlar elde edebildiği kanıtlanmıştır.

Shi vd. (2019) çalışmalarında, ESH problemlerinde hizmet ve ulaşım sürelerinin belirsiz olduğu durumları göz önünde bulunduran 0-1 karma tamsayılı bir matematiksel model geliştirmiştir. Geliştirilen bu model ile küçük boyutlu problemlerin çözümü sağlanabilirken; orta ve büyük boyutlu problemler için TB, TA ve DKA sezgiselleri önerilmiştir. Araştırmacılar, çalışma kapsamında yaptıkları testler ile bu meta sezgisel yöntemlerden TA Algoritmasının daha başarılı olduğunu kanıtlamıştır.

Güncel literatürdeki bazı ESH problemi çalışmaları, ele aldıkları amaç fonksiyonu bakımından incelendiğinde; büyük bir çoğunluğunun çok amaçlı olduğu görülmektedir. Ulaşılabilir literatürdeki bu çalışmalarda öne çıkan bazı amaç fonksiyonları ise şu şekildedir: Toplam hemşire/ekip seyahat sürelerinin, hemşirelerin/ekiplerin rotaları boyunca kat ettiği toplam mesafelerin, toplam kat edilen mesafeye ve süreye bağlı toplam seyahat maliyetlerinin, hasta ve sağlık personelinin boşta beklediği toplam sürelerin, hemşirelerin/ekiplerin yaptığı fazla mesailerin en küçüklenmesidir.

Çalışmalarda ele alınan kısıtlara göz atıldığında ise, neredeyse tüm çalışmalarda hastaların ve hizmet veren personellerin zaman pencerelerinin göz önünde bulundurulduğu görülmektedir. Ele alınan her problemin, kendine özgü bazı kısıtları olduğu ifade etmek gerekirken, diğer bazı öne çıkan kısıtlar ise; hasta öncelikleri, fazla mesailer, personellerin kendi aralarındaki iş gücü dengeleri, mola kısıtları ve hasta taleplerini karşılayabilecek personel yetkinlik/beceri kısıtlarıdır. Ele alınan personel yetkinlik/beceri kısıtları boyutunda ise, ilgili personellerin gelen hasta taleplerini karşılayıp karşılayamadığı dikkate alınmıştır. Buna göre; gelen hasta talebini karşılama yetkinliğine/becerisine sahip herhangi bir sağlık personelinin ilgili hastaya atanabileceği düşünülmüş, verilen hizmetin kalite seviyesi dikkate alınmamıştır. İncelenen çalışmalarda, önerilen ve geliştirilen çözüm yöntemlerine bakıldığında ise, hemen hemen tüm çalışmalarda problemi temsil eden bir

matematiksel modelin geliştirildiği görülmektedir. Önerilen modellerin yanı sıra, daha karmaşık problem boyutları için sezgisel ve meta sezgisel yöntemlerin sıkça tercih edildiği görülmektedir.

Bu çalışma kapsamında incelenen ve ulaşılabilir literatürde yer alan başlıca çalışmalara bakıldığında; öne çıkan meta sezgisel yöntemlerin TA, GA, TB, PSO ve YAA yöntemleri olduğu görülmektedir. Literatür araştırması kapsamında bu bölümde incelenen çalışmaların; çözüm yöntemleri, amaç fonksiyonları ve ele aldıkları kısıtlar bakımından karşılaştırılmasının yer aldığı Çizelge 2.1, izleyen kısımda gösterilmiştir.

Çizelge 2.1. Literatürdeki bazı çalışmaların amaç, kısıt ve çözüm yöntemlerine göre karşılaştırılması

ÇALIŞMA	AMAÇLARINA GÖRE								KISITLARINA GÖRE								ÇÖZÜM YÖNTEMLERİNE GÖRE
	Seyahat Süresi Min	Seyahat Maliyeti Min	Seyahat Uzaklığı Min	Bekleme Süresi Min	Fazla Mesai Min	Hasta Memnuniyeti Mak	Personel Yetkinliği	Personel YetkinliK Düzeyi	Hastanın Zaman Penceresi	Bakım Verenin Zaman Penceresi	Öncelikler	Personel Yetkinliği	Fazla Mesai	İşgücü Dengeleme	Seyahat Sınırı	Mola	Çözüm Yöntemi***
Mankowska vd.(2014)	✓		✓						✓	✓	✓						Optimal-Metasezgisel (AVNS)
Mutingi ve Mbohwa (2014)	✓			✓	✓				✓	✓							Metasezgisel (FGA)
Braekers vd. (2016)		✓			✓	✓			✓	✓	✓		✓	✓			Optimal-Metasezgisel (MDLS)
Rest ve Hirsch (2016)			✓						✓	✓						✓	Metasezgisel (TS)
Wirnitzer vd. (2016)		✓				✓				✓			✓			✓	Optimal
Du vd. (2017)	✓	✓				✓			✓	✓	✓						Optimal-Metasezgisel (GA)
Frifita vd. (2017)	✓	✓				✓			✓	✓	✓						Optimal-Metasezgisel (G-VNS)
Liu vd. (2017)		✓				✓			✓	✓						✓	Optimal (Branch and price algorithm)
Decerle vd. (2018)	✓	✓			✓	✓			✓	✓							Optimal-Metasezgisel (GA//MA)
Fathollahi-Fard vd. (2018)		✓							✓								Optimal-Metasezgisel (SSA/SA/MSSA/MSA)
Liu vd. (2018)		✓	✓	✓		✓			✓	✓	✓		✓		✓		Optimal-Metasezgisel (NSGA-II/MOSA/RAA)
Taş vd. (2018)		✓	✓			✓				✓							Optimal
Tohidifard vd. (2018)						✓			✓								Optimal-Metasezgisel (GA/PSO)
Zhan ve Wan (2018)	✓	✓		✓	✓	✓							✓				Optimal-Metasezgisel (TS)
Decerle vd. (2019)	✓								✓	✓		✓	✓	✓			Optimal-Metasezgisel (ACA)
Demirbilek vd. (2019)						✓			✓			✓					Metasezgisel (SBA)
Erdem ve Koç (2019)	✓								✓	✓							Optimal-Metasezgisel (GA/VND)
Grenouilleau vd. (2019)		✓		✓	✓				✓	✓	✓		✓				Optimal-Metasezgisel (LNS)
Shahnejat-Bushehri vd. (2019)		✓	✓				✓		✓	✓	✓	✓					Optimal-Metasezgisel (TS/SA)
Shi vd. (2019)		✓		✓					✓	✓							Metasezgisel (VNS/TS/SA)
Bu Çalışma (2020)		✓	✓			✓	✓	✓	✓			✓			✓		**Optimal- Metasezgisel (GA/SA)**

**** ACA: Ant Colony Algorithm, AVNS: Adaptive Variable Neighborhood Search, FGA: Fuzzy Genetic Algorıthm, G-VNS: General Variable Neighborhood Search, GA: Genetıc Algorıthm, LNS: Large Neighborhood Search, MA: Memetic Algorithm, MDLS: Multi-Directional Local Search, MOSA: Multi-Objective Simulated Annealing, MSA: Modified Simulated Annealing, MSSA: Modified Salp Swarm Algorithm, NSGA-II: Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm II, PSO: Particle Swarm Optimization, RAA: Random Assignment Approach SA: Simulated Annealing SBA: Scenario Based Approach, SS: Scatter Search, SSA: Salp Swarm Algorithm, TS: Tabu Search, VND: Variable Neighborhood Descent, VNS: Variable Neighborhood Search.*

Son yıllarda literatürde yer alan başlıca çalışmalar incelendiğinde; literatürde, personel beceri ve yetkinliğinin göz önünde bulundurularak hemşire/ekip-hasta atamasının yapıldığı çalışmaların bulunduğu görülmektedir. Ancak bu noktanın çalışmalarda yalnızca, hemşire/ekip yetkinliklerinin hasta hizmetlerini karşılamada yeterli olup olmadığı şeklinde ele alınmış olduğu görülmektedir. Gerçekte ise, bu durum ESH kapsamında hastalara verilen hizmetin, ne derece etkin olduğunu ve hasta memnuniyetini ne kadar sağlayabildiğimizi göstermek için oldukça yetersizdir. Çünkü bir hemşirenin/ekibin bir hastaya yalnızca hizmet verebiliyor olması yapılan atama sonucunda hasta memnuniyetinin ya da verilen hizmet kalitesinin iyi olacağı anlamını taşımaz. Aynı zamanda bir hastaya hizmet verebilecek birden çok ekibin bulunduğu durumda, hangi ekibin ilgili hastaya daha iyi hizmet verebileceğinin belirlenmesi gerekliliği ortaya çıkacaktır. Bu çalışmada, diğer çalışmalardan farklı olarak ESH'de ZPARP problemi için, sağlık personeli ekiplerinin her hastaya farklı yetkinlik seviyesinde hizmet verebildiği kabul edilmiş ve doğrudan hasta memnuniyetinin bir göstergesi olarak en ideal ekip-hasta atamasının yapılması amaçlanmıştır. Ele alınan bu çalışmayı literatürdeki benzer çalışmalardan farklı kılan noktalardan biri de, ekipler için belirlenmiş olan en büyük seyahat sınırını gözeterek; ekipler üzerinde oluşacak iş yükünün artmasının engellenmesidir. Bu doğrultuda kullanılan bir diğer amaç ise, ekiplerin araçlar ile kat ettiği mesafeler nedeniyle ortaya çıkan seyahat maliyeti ile ekipler için belirlenen en büyük seyahat mesafesi sınırının aşılmasına bağlı olarak ortaya çıkabilecek ceza maliyetlerinin toplamının en küçüklenmesidir. Bu kapsamda, problemde yer alan tüm kısıtlar da göz önünde bulundurularak, atama kümesi içerisinde yer alan en uygun ekibin ilgili hastaya atanması hedeflenmiştir. Problem, matematiksel olarak modellenmiş ve orta ve büyük boyutlu problemlerin çözümü için GA ve GA temelli bir TB Algoritması geliştirilmiştir.

3. PROBLEMİN TANIMI VE PROBLEMİN ÇÖZÜMÜ İÇİN GELİŞTİRİLEN ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

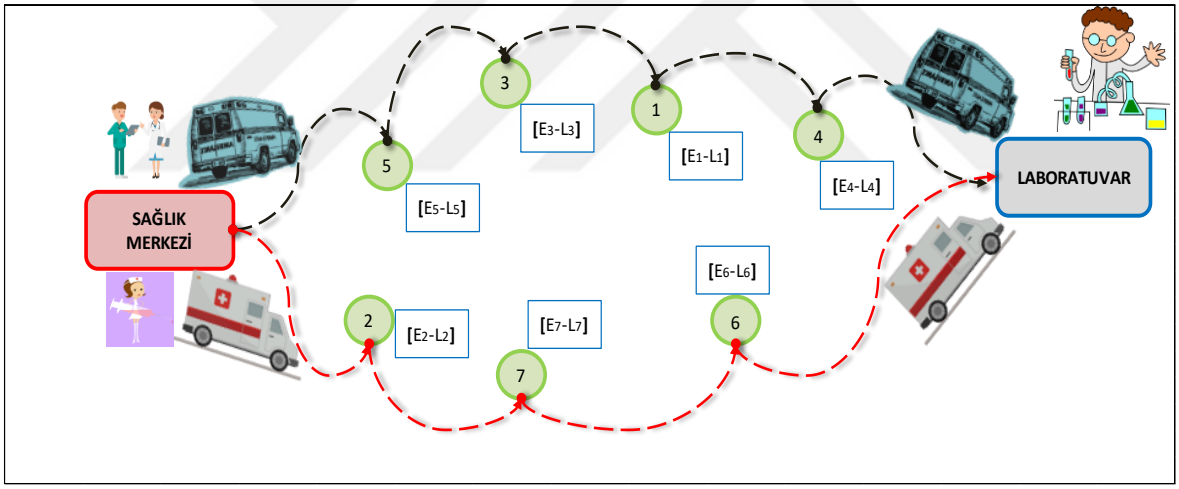
M sayıda hasta (*i=1,..M*), bir sağlık merkezi (0. düğüm) ve bir laboratuvar (*m+1.* düğüm) ile k sayıda taşıma aracının bulunduğu bir serim ele alalım. Serimde yer alan hastaların taleplerinin karşılanması ve ESH operasyonlarının yerine getirilmesi istenmektedir.

ESH'de ZPARP probleminin çözümüne yönelik ele alınan bu çalışmada, Fard vd. (2018) çalışmasında yer alan model referans alınmıştır. Geliştirilen modele ait bazı varsayımlar ise şu şekildedir;

- Planlama periyodu tektir.
- Araç sayısı ekip sayısına eşittir.
- Her aracın bir kullanılabilir kapasitesi vardır ve bu kapasitenin, yalnıca hastalar için gerekli ilaç/ekipman/teçhizatın taşınmasında kullanıldığı düşünülmüştür.
- Ekiplerin, standart olarak iki sağlık personelinden (bir doktor-bir hemşire ya da iki hemşire) oluştuğu varsayılmaktadır.
- Bir sağlık merkezi/başlangıç noktası ve bir laboratuvar/varış noktası mevcuttur.
- Sağlık merkezi ve laboratuvarın yeri sabit olup, birbirlerine olan uzaklıkları göz önünde bulundurulmamıştır.
- Her sağlık ekibinin rotasına sağlık merkezinden başladığı ve hastaları ziyaret ettikten sonra en son olarak laboratuvara döndüğü varsayılmıştır.
- Her sağlık ekibi rotasına aynı araç ile başlamakta ve yine aynı araç ile rotasını tamamlamaktadır.
- Araçlar, atandığı ekip ile birlikte hizmet verilecek hastaya gitmekte ve hizmet süresi boyunca boşta beklemektedir.
- Her hasta yalnız bir kere ziyaret edilmektedir.
- Her hastaya kendisi için belirlenen en erken ve en geç zaman dilimleri içerisinde hizmet verilmektedir.
- Ekiplerin rotaları boyunca mola vermediği varsayılmaktadır.

- Her bir hastanın tedavi talebi karşılanmaktadır.
- Her bir hastanın tedavi/hizmet süresi önceden bilinmektedir.
- Hastalara verilen hizmet için herhangi bir hazırlık süresinin olmadığı ve ekipler hastaya ulaştığında hizmetin başladığı varsayılmaktadır.
- Her hastanın aldığı hizmet türü birbirinden farklı olabilmektedir.
- Ekiplerin hizmet verme yetkinlik düzeyleri birbirinden farklı olabilmektedir.
- Her bir ekibin her bir hastaya hizmet verebilme düzeyleri/yetkinlikleri önceden bilinmektedir.

Her hastanın belirli bir A_i miktarı kadar ilaç talep ettiği varsayılmıştır. Hastalara hizmet verebilecek N ekip bulunmaktadır. Önerilen modelde, mesafeler iki boyutlu ele alınmış olup D_{ij}, i ve j hastaları arasındaki mesafedir. Zaman penceresinin kısıtlamalarına göre, her hasta en erken E_i ve en geç L_i anında bir ekip tarafından hizmet almalıdır.



Şekil 3.1. Zaman pencereli evde sağlık hizmetleri araç rotalama serim gösterimi

Hastalara hizmet verecek olan ekipler farklı Q_{in} yetkinlik seviyelerine sahiptir. Dolayısıyla, her hastaya kendi zaman penceresi doğrultusunda, alanında yetkin ekip atamak ve böylece hasta memnuniyetini yukarı taşımak önemli hedeflerden biridir. Her hasta için belirli bir W_i hizmet süresi vardır. Ekiplerin hasta i'den, hasta j'ye ulaşması için belirli bir T_{ij} zamanına ihtiyacı vardır. Ekiplerin seyahat edeceği taşıma aracı için belirlenen bir $MDIS_{nk}$ uzaklık değeri mevcuttur. Ekipler, önceden belirlenen bu en büyük

uzaklık değerinden daha az seyahat etmek zorundadır. Aksi takdirde, ortaya bir ceza değeri çıkmaktadır.

İzleyen bölümde; M sayıda hasta (*i=1,..M*), bir sağlık merkezi/eczane "{0} no'lu düğüm" ve bir laboratuvar "*{M+1}* no'lu düğüm" ile k sayıda taşıma aracının bulunduğu bir serimde ele alınan ve varsayımları önceki bölümde açıklanan probleme ilişkin geliştirilen matematiksel model yer almaktadır. Geliştirilen modelde, Fathollahi-Fard vd. (2019)'da yer alan ESH'ne ilişkin kısıtlar korunmuştur.

3.1. Matematiksel Model

İndisler

i, j : hastalar, $i, j \in \{1,2,\ldots M\}$

n : ekipler, $n \in \{1,2,\ldots N\}$

k : taşıma sistemi, $k \in \{1,2,\ldots K\}$

Parametreler

D_{ij} : Hasta *i-inci* ve hasta *j-inci* arasındaki uzaklık (m)

TC_k : *k-ıncı* araç için birim uzaklık başına taşıma maliyeti (TL/m)

CAP_k : *k-ıncı* aracın kapasitesi (m^3)

W_i : *i* hastasına hizmet veren ekip için çalışma süresi (dk)

E_i : *i* hastası için en erken hizmete başlama anı (dk)

L_i : *i* hastası için en geç hizmete başlama anı (dk)

T_{ij} : *i-inci* hasta ile *j-inci* hasta arasındaki seyahat süresi (dk)

PEN : ekiplerin hastalar arasında fazla mesafe seyahat etmesinin ceza katsayısı ($1<PEN\leq 5$)

M : Zaman penceresi kısıtlarını oluşturmak için üretilen büyük bir pozitif sayı

$MDIS_{nk}$: *n-inci* ekibin *k-ıncı* araç ile seyahat edebileceği en büyük uzaklık (m)

A_i : i hastasının talebi (gerekli ilaç miktarı, hizmet ekipmanları vs.) (m^3)

$$Q_{in} = \begin{cases} 0, & n.\text{ekip } i.\text{hastaya hizmet veremez} \\ 1, & n.\text{ekibin } i.\text{hastaya hizmet verebilme seviyesi "temel" seviyede} \\ 2, & n.\text{ekibin } i.\text{hastaya hizmet verebilme seviyesi "standart" seviyede} \\ 3, & n.\text{ekibin } i.\text{hastaya hizmet verebilme seviyesi "uzman" seviyesinde} \end{cases}$$

Karar Değişkenleri

X_{ijn}^{k} : Eğer *n-inci* ekip *i-inci* hastadan *j-inci* hastaya gitmek için *k-ıncı* aracı kullanırsa, 1; dd, 0.

S_{in} : *n-inci* ekibin *i-inci* hastaya hizmet etmeye başladığı an (dk).

O_{nk} : *n-inci* ekibin *k-ıncı* araç ile kat ettiği mesafelerin, belirlenen en büyük sınırdan sapması (m).

0-1 karma tam sayılı modele ait amaç fonksiyonları ve kısıtlar aşağıda belirtilmiştir.

$$\text{Enk } z_1 = \sum_{k=1}^{K}\sum_{n=1}^{N}\sum_{i=0}^{M+1}\sum_{j=0}^{M+1} D_{ij} \text{ x } TC_k \text{ x } X_{ijn}^{k} + \sum_{n=1}^{N}\sum_{k=1}^{K} O_{nk} \text{ x } TC_k \text{ x PEN} \quad (3.1)$$

$$\text{Enb } z_2 = \sum_{k=1}^{K}\sum_{n=1}^{N}\sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{M} X_{ijn}^{k} \text{ x } Q_{in} \quad (3.2)$$

$$\sum_{n=1}^{N}\sum_{k=1}^{K}\sum_{j=0}^{M+1} X_{ijn}^{k} = 1 \qquad \forall\, i \in M \quad (3.3)$$

$$\sum_{j=1}^{M}\sum_{n=1}^{N} X_{0jn}^{k} = 1 \qquad \forall\, k \in K \quad (3.4)$$

$$\sum_{k=1}^{K}\sum_{j=1}^{M} X_{0jn}^{k} = 1 \qquad \forall\, n \in N \quad (3.5)$$

$$\sum_{i=0}^{M+1} A_i \sum_{j=0}^{M+1} X_{ijn}^{k} \leq \text{CAP}_k \qquad \forall\, k \in K, \quad \forall\, n \in N \quad (3.6)$$

$$\sum_{i=1}^{M} X_{ijn}^{k} - \sum_{j=l}^{M} X_{jin}^{k} = 0 \qquad \text{i} \neq \text{j}\,, \forall\, k \in K, \forall\, n \in N \quad (3.7)$$

$$\sum_{i=0}^{M+1}\sum_{k=1}^{K} X_{i(M+1)n}^{k} = 1 \qquad \forall\, n \in N \quad (3.8)$$

$$\sum_{i=0}^{M+1}\sum_{n=1}^{N} X^{k}_{i(M+1)n} = 1 \qquad \forall\, k \in K \tag{3.9}$$

$$S_{in} + T_{ij} + W_i - M \text{ x } (1 - X^{k}_{ijn}) \leq S_{jn} \qquad \forall\, (i, j) \in M,\ \forall\, k \in K,\ \forall\, n \in N \tag{3.10}$$

$$E_i \leq S_{in} \qquad \forall\, i \in M,\quad \forall\, n \in N \tag{3.11}$$

$$O_{nk} \geq (\sum_{i=0}^{M+1}\sum_{j=0}^{M+1} D_{ij} \text{ x } X^{k}_{ijn}) - MDIS_{nk} \qquad \forall\, k \in K,\quad \forall\, n \in N \tag{3.12}$$

$$\sum_{k=1}^{K} X^{k}_{ijn} = 0 \qquad \forall\, i{=}j \in M,\ \forall n \in N \tag{3.13}$$

$$Q_{in} \geq X^{k}_{ijn} \qquad \forall\, (i, j) \in M, \forall\, k \in K, \forall\, n \in N \tag{3.14}$$

$$S_{in}, O_{nk} \geq 0 \tag{3.15}$$

$$X^{k}_{ijn} \in \{0,1\} \tag{3.16}$$

Eşitlik (3.1), k-ıncı araç ile ekiplerin kat ettiği mesafeler nedeniyle ortaya çıkan seyahat maliyeti ile ekipler için belirlenen en büyük seyahat mesafesi sınırının aşılmasına bağlı olarak ortaya çıkan ceza maliyetlerinin toplamının en küçüklendiği amaç fonksiyonudur. Eşitlik (3.2) ise, ikinci amaç fonksiyonu olup, hastaların aldığı hizmet memnuniyetini artırmak için en yetkin ekibin en uygun hastaya atanmasını sağlar. (3.3) nolu kısıt, her hastanın sadece bir kez ziyaret edilebileceğini ifade etmektedir. (3.4) nolu kısıt, her taşıma aracının sağlık merkezinden (başlangıç noktası) çıkması gerektiğini belirtmektedir. (3.5) nolu kısıt, her ekibin rotasına sağlık merkezinden başladığını göstermektedir. (3.6) nolu kısıt, kullanılan araç kapasitesinin hastaların ilaçlarını taşımak için yeterli olması gerektiğini belirtmektedir. Kısıt (3.7), her ekibin hastayı ziyaret ettiği ve daha sonra o hastadan ayrıldığını ifade etmektedir. Kısıt (3.8), her ekibin tüm hastaları ziyaret ettikten sonra laboratuvara ulaşmasını sağlamaktadır. (3.9) nolu kısıt ise, her aracın tüm hastalar ziyaret edildikten sonra laboratuvara ulaşmasını sağlamaktadır. (3.10) nolu kısıt, her bir ekibin, S_{in} + T_{ij} + W_i anından önce j-inci hastaya gelemediğini ifade etmektedir. (3.11) nolu kısıt, bu çalışmada hastaların hizmet zaman penceresi bulunduğunu ifade etmektedir. Kısıt (3.12), kullanılan aracı göz önüne alarak ekipler için fazla seyahat

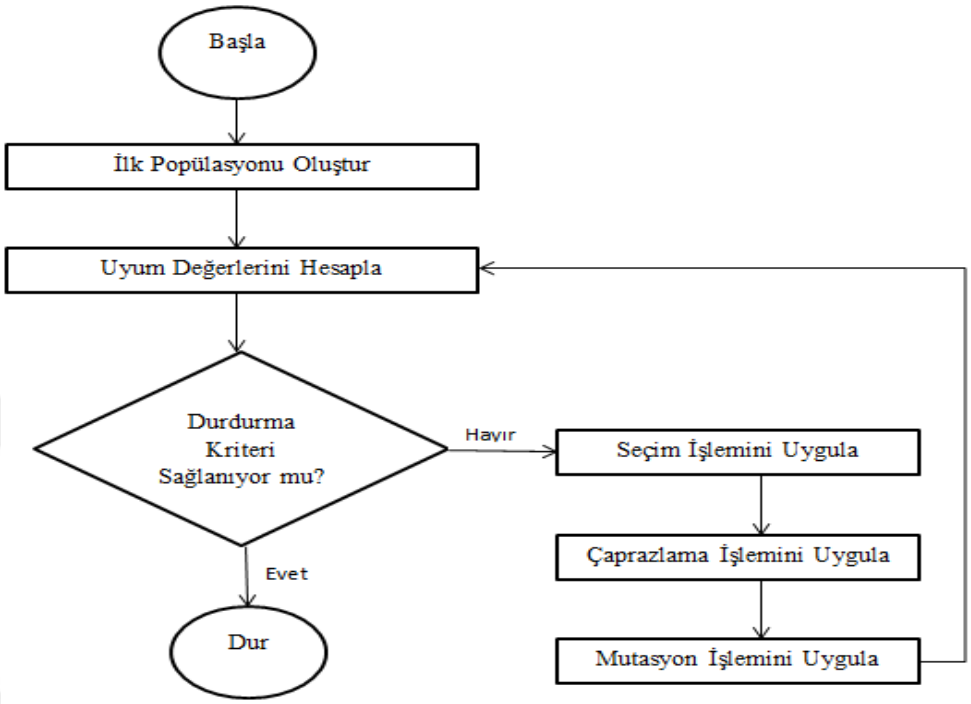
mesafesini istenen en büyük mesafeden hesaplamaktadır. Kısıt (3.13), rota boyunca ekip ve araçların döngüsünün tamamlanmasını ve alt tur oluşmamasını sağlar. Kısıt (3.14) ile, hastaya hizmet verebilme seviyesi "0" olan ekibin ilgili hastaya atanması engellenir. (3.15) ve (3.16) nolu kısıtlar, işaret kısıtlarıdır.

3.2. Genetik Algoritma Yöntemi

NP-Zor doğası nedeniyle ESH'de ZPARP problemi kapsamında ele alınan orta ve büyük boyutlu problemleri en iyi şekilde çözmek için, kesin yöntemleri ile çok fazla zamana ihtiyacı vardır (Tohidifard vd., 2018). Çoğu zaman en iyi çözümü elde etmek, büyük boyutlu problemler için pek de mümkün olamamaktadır. Bu nedenle geliştirilen meta-sezgisel algoritmaların, büyük boyutlu problemler için makul sürede en iyi ya da en iyiye yakın çözümlere ulaşmak için literatürdeki benzer çalışmalarda son zamanlarda sıkça tercih edildiği görülmektedir. Genel olarak meta-sezgisel algoritmaların çalışma mantığını ifade etmek gerekirse; meta-sezgisel algoritmalar, başlangıçta bazı rastgele çözümler üretmekte ve belirli bir büyüklüğe sahip bir alt çözüm uzayı oluşturmaktadır. Daha sonra, yerel aramalar ile bu alt çözüm uzayında daha iyi çözümler arayarak, en iyi çözümleri bulmaya çalışmaktadır. Bu bölümde; ele alınan problemin çözümünde en iyi ya da en iyiye yakın çözümleri bulma konusunda literatürde başarısı ispatlanmış olan GA yaklaşımı ile geliştirilen yöntem sunulmaktadır.

GA, evrimsel bir popülasyona dayalı meta-sezgisel algoritmadır. Popülasyon, çözüm uzayının bir alt kümesi olmakla birlikte, her biri bir çözümü temsil eden bireylerden oluşmaktadır. Bireyleri ifade etmek için kromozom olarak adlandırılan bir karakter dizini kullanılmaktadır. Kromozomlar, kendi başına anlamı olan ve genetik bilgi taşıyan en küçük genetik birim olan "gen" lerden meydana gelmektedir. Her bir kromozom, ele alınan problemdeki alternatif çözümleri ifade etmektedir. Her bir birey için, "uyum değeri" olarak bilinen amaç fonkisyonu değeri hesaplanmaktadır. Bireyler, nesiller boyunca uyum değeri fonkisyonu dikkate alınarak iyileştirilmekte ve seçilim, çaprazlama ve mutasyon süreçleri ile gelecek nesiller oluşturulmaktadır. Popülasyon nesilden nesile geliştikçe kötü çözümler yok olma, iyi çözümler ise daha iyi çözümler oluşturmak için kullanılma eğilimindedir (Karasoy ve Ballı, 2016).

GA, temel olarak olasılık kurallarına göre çalışan ve çözüm uzayının yalnızca bir kısmını tarayarak en iyi ya da en iyi çözümü bulmaya çalışan bir algoritmadır. Şekil 3.2'de algoritmanın genel akış şeması yer almaktadır.



Şekil 3.2. GA'nın genel akış şeması (Mutingi ve Mbohwa, 2013)

Algoritmanın ilk adımı, belirlenen popülasyon büyüklüğü kadar bireyin rassal olarak türetilerek başlangıç popülasyonunun oluşturulması ile başlar. Popülasyonda yer alan tüm bireyler için uyum değerleri hesaplanır. Algoritma için bir "durma ölçütü" belirlenir ve bu durma ölçütü sağlanıncaya kadar algoritmanın evrimsel süreci devam eder. Popülasyonda her zaman daha iyi olan bireylerin bulunması istendiği için; GA operatörleri sayesinde daha iyi olan bireyler sonraki nesillere aktarılırken, daha kötü olan bireylerin yerine daha iyi bireyler popülasyona dahil edilir. GA operatörlerinden ilki "seçim" operatörüdür. Yeni nesile daha iyi bireylerin aktarılması için çaprazlama ve mutasyon operatörlerinin tabi tutulacağı ebeveyn (ata) bireylerin belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için de uyum değeri daha iyi olan bireylerin seçilmesi gerekmektedir. Daha sonra seçilen ata bireylere "çaprazlama" operatörü uygulanarak çocuk bireyler üretilmekte ve zaten uygunluk değeri yüksek olan ata kromozomlardan daha yüksek uygunluklu çocuk kromozomlar üretilebilmektedir. Son olarak popülasyonda yer alan bireylere uygulanan

“mutasyon” operatörü ile; kromozomlar üzerinde yer alan genlerde değişikler yapılmakta ve popülasyona farklı bireyler dahil edilebilmektedir. Ancak, popülasyonda yer alan bir bireye çaprazlama ve mutasyon operatörlerinin uygulanması, problem özelinde belirlenmiş olan çaprazlama ve mutasyon olasılıklarına bağlıdır. GA adımları sonunda durma ölçütü sağlandığında; çözüm uzayı içerisinde bir alt çözüm uzayı olan popülasyonda uyum değeri daha iyi olan çözüm, en iyi çözüm kabul edilir. Ancak bu çözümün, problemin en iyi çözümü (bütünsel en iyi) olduğu garanti edilemez.

İzleyen kısımda, GA’nın çalışma adımları ifade edilmiştir (İşlier, 1995).

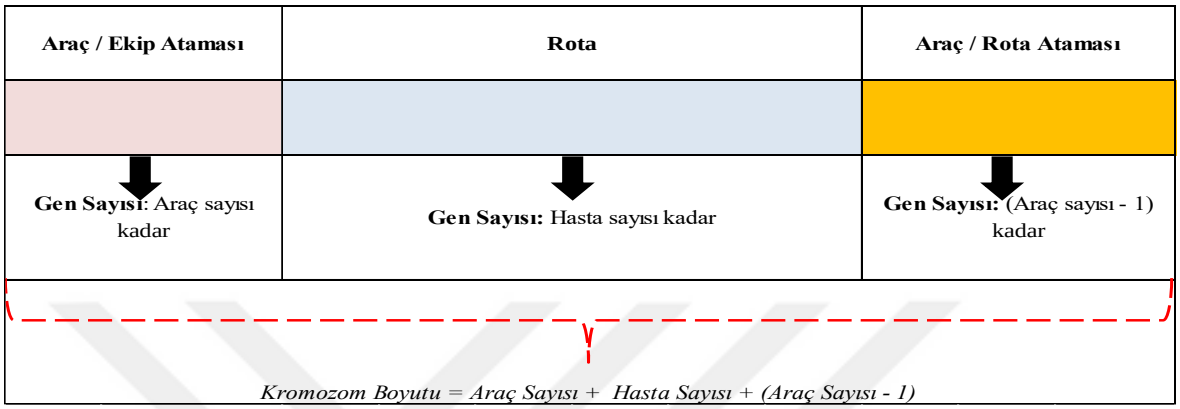
Adım 0: Uyum fonksiyonunu kur, kromozomdaki bilgiyi kodla, parametreleri belirle.
Adım 1: İlk popülasyonu oluştur.
Adım 2: Yeni bireyin uyum fonksiyonunu hesapla.
Adım 3: Uyum ile orantılı seçilme şansı ver.
Adım 4: Bu şansa bağlı olarak bir çift birey seç.
Adım 5: Bunları rassal olarak çaprazla.
Adım 6: Mutasyonun sırası gelmediyse 8’e atla.
Adım 7: Rassal bir noktadan MUTASYON uygula.
Adım 8: Yeterli sayıda kuşak yetiştirildiyse DUR. Aksi halde 2’ye DÖN.

3.2.1. Problemin kromozom gösterimi

GA’nın yapısı, dizi seçimi ve kromozom yapısı GA performansını etkileyen önemli etkenlerdir. Belirlenen kromozom yapısı ile probleminin ifade edilmesi, algoritmanın etkinliğini ve kalitesini doğrudan etkilemektedir.

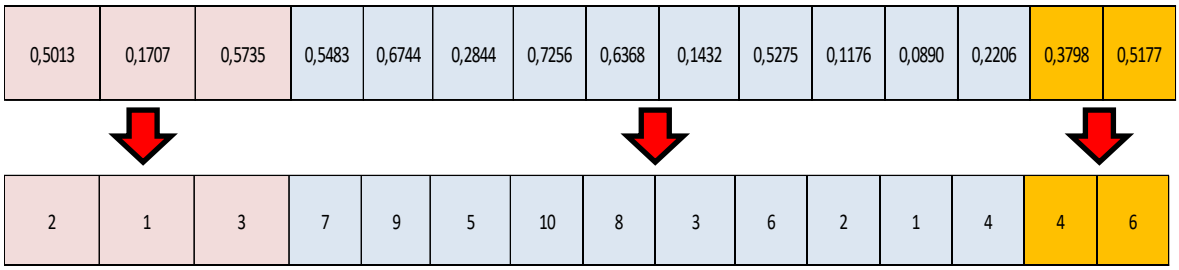
Literatürde daha önce ele alınan ESH‘de ZPARP problemi konulu çalışmalar göz önünde bulundurulduğunda; her problemin kendine özgü bir kromozom gösterimi ile ifade edildiği görülmektedir. Çalışmalarda benzer problemler ele alınsa da, tüm problemler için standart bir kromozom gösterimi bulunmamaktadır.

Bu bölümde, çalışmada ele alınan problem için geliştirilen GA yaklaşımı açıklanacaktır. Problemin bütünsel çözümü için geliştirilen kromozom gösterimi Şekil 3.3 'te gösterildiği gibi; sağlık ekibine araç atama, rota oluşturma ve sağlık ekibine atanan aracı rotaya atama olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır.



Şekil 3.3. Kromozom gösterimi

Kromozomun ilk bölümü olan "Araç / Ekip Araması" kısmının uzunluğu, problemde yer alan toplam araç sayısı kadardır. Dizi içerisindeki her bir değer, araçların atanacağı ekip indisini göstermektedir. İkinci bölümü oluşturan "Rota" kısmının uzunluğu hizmet verilecek olan hasta sayısı kadardır. Dizi içerisindeki her bir değer, rotalar üzerindeki hastaları ifade etmektedir. Kromozomun üçüncü kısmında bulunan, "Araç / Rota Ataması" kısmının uzunluğu problemde yer alan araç sayısından 1 eksiktir. Dizi içerisindeki her bir değer, araçların atanacağı rotayı ifade etmektedir. Sonuç olarak, problemi ifade etmek için kullanılan "kromozomun boyutu: araç sayısı + hasta sayısı + araç sayısı – 1" şeklinde hesaplanmaktadır. İzleyen kısımda yer alan Şekil 3.4'te 10 hasta, 3 ekip ve 3 araçtan oluşan bir örnek için türetilen kromozom gösterimi yer almaktadır.



Şekil 3.4. Kromozom gösterimi ile türetilen bir çözüm

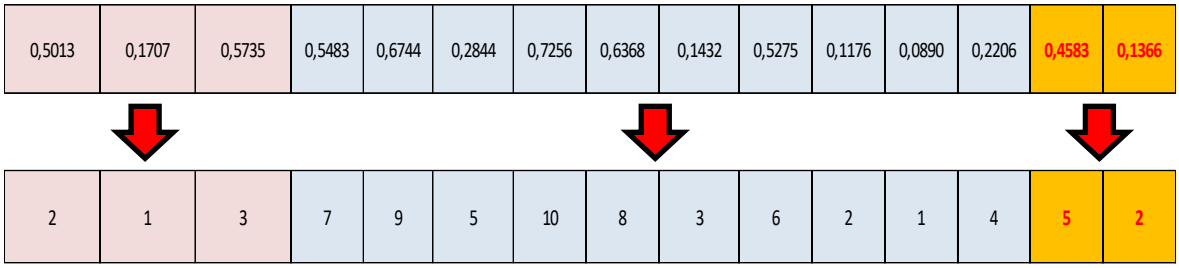
Kromozomun ilk kısmında, her biri bir genden oluşan ekipler bulunmaktadır. Genler için (0-1) arasında rassal sayılar türetilmekte ve türetilen bu rassal sayılar küçükten büyüğe doğru sıralanmaktadır. En küçük değere karşılık gelen hücreye 1 numaralı ekip, en büyük değere karşılık gelen hücreye 3 numaraları ekip yerleştirilmektedir. Kalan son hücreye ise 2 numaralı ekip yerleştirilmektedir. Buna göre; 1. araç 2. ekibe, 2.araç 1.ekibe ve 3. araç ise 3.ekibe atanmaktadır.

Kromozomun ikinci kısmında, her biri bir genden oluşan hastalar yer almaktadır. Genler için (0-1) arasında rassal sayılar türetilmekte ve türetilen bu rassal sayılar küçükten büyüğe doğru sıralanmaktadır. Her bir rassal sayıya karşılık gelen hücreye, aynı artan sıra ile hastalar yerleştirilmektedir. Böylece, tek bir rota elde edilmektedir. Daha sonra bu rota, kromozomun üçüncü kısmında yer alan "Araç / Rota" ataması ile farklı araçlara bölünmektedir. Kromozomun belirtilen bu kısmı, örnek problem için (araç sayısı-1), diğer deyişle 2 parçaya bölünmektedir. [0,1] aralığı, 1/10 (hasta sayısı) kadar eşit dilime bölünmekte ve genlere karşılık gelen rassal sayılar bu dilimler içerisinde hangi aralığa karşı gelirse, rota o noktadan bölünmektedir. Belirtilen örnek problemde 0,3798 değeri 4. dilimde yer aldığı için ilk hücre "4", 0,5177 değeri 6.dilimde yer aldığı için ise "6" değerini almaktadır. Buna göre rota, 4. ve 6. noktalardan bölünmekte, 7-9-5-10; 8-3 ve 6-2-1-4 rotaları oluşmaktadır. Probleme ilişkin atama sonucu, çizelge 3.1'de belirtilmiştir.

Çizelge 3.1. Kromozoma göre araç-ekip-rota atama sonucu

	Ekip	**Rota**
1. Araç	2	7-9-5-10
2. Araç	1	8-3
3. Araç	3	6-2-1-4

Farklı bir örnek olarak, bir önceki kromozom üzerinde araç-rota atamasının ifade edildiği üçüncü kısmın "5" ve "2" olduğunu düşünelim. Buna göre, ikinci kısımda yer alan toplam rota; 5. ve 2. noktalardan bölünecektir (Şekil 3.5).



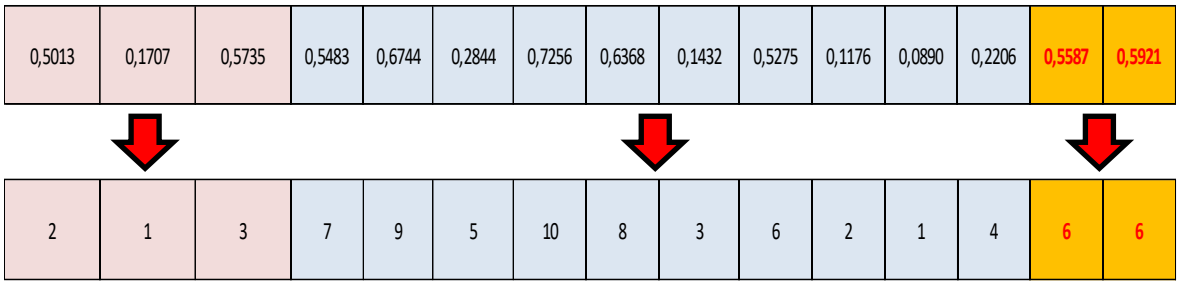
Şekil 3.5. Kromozom gösterimi ile türetilen bir çözüm

Yeni durumda oluşacak olan üç rota; 7-9, 5-10-8 ve 3-6-2-1-4 şeklinde olacaktır. Çizelge 3.2'de, ifade edilen bu çözüme atama sonuçları yer almaktadır.

Çizelge 3.2. Kromozoma göre araç-ekip-rota atama sonucu

	Ekip	**Rota**
1. Araç	2	7-9
2. Araç	1	5-10-8
3. Araç	3	3-6-2-1-4

Kromozomun üçüncü kısmında yer alan araç-rota atamasının yapıldığı her iki hücreye de "6" değerinin denk geldiğini düşünelim (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Kromozom gösterimi ile türetilen bir çözüm

Bu durumda, kromozomun ikinci kısmında yer alan toplam rota üzerindeki 6. noktadan bölme işlemi yapılır ve ilk rota; 7-9-5-10-8-3 şeklinde oluşur. Daha sonra, ikinci bölme işlemi de aynı şekilde rota üzerindeki 6. noktadan yapılmak durumunda kalınacaktır. Ne var ki; daha önce aynı noktadan bir bölme işlemi yapıldığı için ikinci bir rota belirlenememekte ve ikinci araç herhangi bir rotaya atanamamaktadır. Bu durumda

ise, “herhangi bir aracın, herhangi bir rotaya atanamaması” durumu gerçekleştiği için bir ceza değeri ortaya çıkmaktadır. Buna göre, kalan son araç ilk aracın atandığı rotanın dışında kalan 6-2-1-4 rotasına atanacaktır. Çizelge 3.3’te, belirtilen bu çözüme ait araç-ekip-rota atamasının sonucu yer almaktadır.

Çizelge 3.3. Kromozoma göre araç-ekip-rota atama sonucu

	Ekip	**Rota**
1. Araç	2	7-9-5-10-8-3
2. Araç	1	-
3. Araç	3	6-2-1-4

3.2.2. Uyum fonksiyonu, seçim ve genetik operatörler

Bu kısımda, ele alınan problemin çözümü için geliştirilen GA yaklaşımına ilişkin uyum fonksiyonu, kullanılan seçim yöntemi ve genetik operatörler yer almaktadır.

3.2.2.1. Uyum fonksiyonu

Matematiksel modelde kullanılan amaç fonksiyonları, GA‘da uyum fonksiyonu ile ifade edilmektedir. Problemin uyum değeri temel olarak iki kısımdan oluşmaktadır. İlki, ekiplerin araçlar ile kat ettiği mesafeler nedeniyle ortaya çıkan toplam seyahat maliyeti ile ekipler için belirlenen en büyük seyahat mesafesinin aşılmasından kaynaklı olarak ortaya çıkan ceza maliyetleri toplamının en küçüklenmesidir. İkinci amaç ise, en yetkin ekiplerin en uygun hastalara atanmasını sağlayacak ekip hasta atamasının yapılmasıdır. Belirtilen bu amaç fonksiyonlarından ilki en küçüklenmek istenirken, ikincisi ise en büyüklenmek istenmektedir.

Çok amaçlı bir problemin, gerçek değerli bir amaç fonksiyonuna sahip uygun bir skaler eniyileme problemine dönüştürülmesi skalerleştirme olarak ifade edilmektedir (Şenbay, 2018). Skalerleştirmenin temel hedefi, problemde kullanılan tüm amaç fonksiyonlarını temsil edecek bütünleşik bir fonksiyon oluşturmaktır. Literatürde çok amaçlı fonksiyonların, tek amaçlı hale dönüştürülmesi için geliştirilen birçok yöntem mevcuttur. Aşağıda bu yöntemlerin bazıları yer almaktadır.

- Ağırlıklı toplam yöntemi
- Epsilon (ε) kısıt yöntemi
- Melez (ε -kısıt + ağırlıklı toplam) yöntem
- Elastik kısıt köntemi
- Benson yöntemi
- Uzlaşık programlama yöntemleri
- Konik skalerleştirme yöntemi

Epsilon kısıt yöntemi, Benson skalerleştirme yöntemi, Konik skalerleştirme yöntemi en yaygın kullanılan yöntemlerdendir (Özsüt, 2015). Kolay olması nedeniyle, ağırlıklandırılmış toplam yöntemi, çok amaçlı eniyileme problemlerinde en sık kullanılan skalerleştirme yöntemidir (Şenbay, 2018). Bu yöntemin en önemli avantajı, kullanım kolaylığı ve kullanıcı tercihlerini modele yansıtabilmesidir. Problemde değerlendirme ölçütü olarak kullanılan her bir amaç, bir ağırlık katsayısı ile ilişkilendirilmekte ve elde edilen "amaçların ağırlıklandırılmış toplamı" fonksiyonu eniyilemeye çalışılmaktadır. Kullanılan bu yöntem, kolaylığının yanı sıra elbette bazı dezavantajlara sahip olabilmektedir. Yöntemin en önemli dezavantajı, geliştirilen model ile tüm Pareto etkin çözümlerin elde edilemiyor olmasıdır. Bu açıdan bakıldığında iç bükey Pareto etkin çözümlerin rahatlıkla bulunabildiği yöntem, konik skalerleştirme yöntemidir. Bu yöntem 2001 yılında Gasimov tarafından geliştirilmiştir (Sipahioğlu ve Saraç, 2010).

Bu çalışmada; ele alınan probleme ait her iki amacı da dikkate alan ve ağırlıklı toplam yöntemi ile elde edilen bütünleşik bir amaç fonksiyonu kullanılmıştır.

z_1: Toplam seyahat maliyetlerinin en küçüklenmesi.
z_2: Ekip-hasta ataması ile elde edilen yetkinlik değerleri toplamının en büyüklenmesi.

Belirtilen modelde farklı boyutlardaki test problemleri için tekrarlı testler yapılmış ve z_1 değerinin, z_2 değerinin ortalama 2200 katı olduğu belirlenmiştir. Bu doğrultuda; belirlenen bütünleşik z_3 amaç fonksiyonu, aşağıda belirtildiği gibi dikkate alınmıştır.

$$\mathbf{z_3 = z_1 - 2200 \times (z_2)}$$

Matematiksel modelin amaç fonksiyonu değeri, GA'nın uyum değeri olarak atanmış olup, çözüm kalitesinin bir göstergesidir. Çözüm noktasında problem kısıtlarının sağlanması için ceza fonksiyonları kullanılmıştır. Aşağıda, uyum fonksiyonuna eklenen bu ceza fonksiyonları ve tanımları belirtilmiştir.

Ceza1: Araç kapasitesinin aşılmasına bağlı olarak ortaya çıkan ceza değeri.

$$Ceza1 = 50000\ x \sum_{k=1}^{K} Ceza1(k)$$

Ceza1 (k) = $\begin{cases} 0, & \text{Araç}_k \text{ taşınan ilaç} - \text{Araç}_k \text{ kapasitesi} \leq 0 \\ 1, & \text{Araç}_k \text{ taşınan ilaç} - \text{Araç}_k \text{ kapasitesi} > 0 \end{cases}$

Ceza2: Herhangi bir ekibin hastalara atanmamasından dolayı ortaya çıkan ceza değeri

$$Ceza2 = 50000\ x \sum_{i=1}^{N} Ceza2(i)$$

Ceza2 (i) = $\begin{cases} 0, & \text{i-inci hastaya atanan ekip yetkinliğe sahipse} \\ 1, & \text{i-inci hastaya atanan ekip yetkinliğe sahip değilse} \end{cases}$

Ceza3: Rotaya atanmayan herhangi bir araç olması durumunda ortaya çıkan ceza değeri

$$Ceza3 = 50000\ x \sum_{k=1}^{K} Ceza3(k)$$

Ceza3 (k) = $\begin{cases} 0, & \text{k-ıncı araca rota atandı ise} \\ 1, & \text{k-ıncı araca rota atanmadı ise} \end{cases}$

Ceza4: Ekipler için belirlenen en büyük seyahat sınırının aşılmasına bağlı ortaya çıkan ceza değeri

$$Ceza3 = 50000\ x \sum_{k=1}^{K} Ceza3(k)$$

Ceza3 (k) = $\begin{cases} 0, & \text{k-ıncı araca rota atandı ise} \\ 1, & \text{k-ıncı araca rota atanmadı ise} \end{cases}$

$$Ceza4 = 50000\ x \sum_{k=1}^{K} Ceza4(k)$$

Ceza4 (k) = { 0, k-ıncı araçtaki ekibin kat ettiği mesafe, k-ıncı araçtaki mesafe sınırından düşükse
1, diğer durumlarda

Ceza5: Hastaların zaman penceresi kısıtının aşılması durumunda ortaya çıkan ceza değeri

$$Ceza5 = 50000\ x \sum_{i=1}^{N} Ceza5(i)$$

Ceza5 (i) = { 0, i-inci hasta, kendisi için tanımlı zaman aralığı içerisinde hizmet alıyorsa
1, i-inci hasta, kendisi için tanımlı zaman aralığı içerisinde hizmet almıyorsa

$F_{uyum} = z_3 + Ceza1 + Ceza2 + Ceza3 + Ceza4 + Ceza5$

3.2.2.2. Seçim

Popülasyon içerisinde permütasyon kromozom gösterimi ile ifade edilen alternatif çözümlerin seçimi için birden farklı yöntem kullanılabilmektedir. Aşağıda, literatürde en sık kullanılan iki farklı seçim yöntemi açıklanmaktadır.

Turnuva seçim yönteminde, popülasyondan rassal olarak bir grup (iki ya da daha fazla) kromozom seçilmektedir. Sonrasında, bu kromozomların uyum fonksiyonu değerleri karşılaştırılmakta ve en iyi uyum değerine sahip çözüm yeni nesil popülasyona aktarılmaktadır. Popülasyon büyüklüğüne ulaşıncaya kadar, bu işleme devam edilmektedir.

Rulet seçimde, popülasyondaki tüm bireylerin uygunluk değerleri toplanmakta ve her bireyin seçilme olasılığı, uygunluk değerinin bu toplam değere oranı olarak hesaplanmaktadır. Bu oranın, bireylere bir rulet çarkı üzerinde ayrılacak dilimlerin

genişlikleri ile orantılı olduğu düşünülebilir. Geniş sayı aralıklarıyla temsil edilen başarılı bireylerin seçilme ve bir sonraki nesile aktarılma şansları daha yüksektir (Austin, 1989). Yeni nesilde yer alacak kromozomlar, çemberin popülasyon büyüklüğü kadar çevrilmesi ile elde edilmektedir (Saraç ve Özçelik, 2006). Bu yöntem ortalama güçlü bir seçim tekniğidir, çünkü uygun bireylerin seçilme garantisi yoktur ancak seçilme olasılıkları yüksektir (Çakar, 2009).

3.2.2.3. Çaprazlama ve mutasyon operatörleri

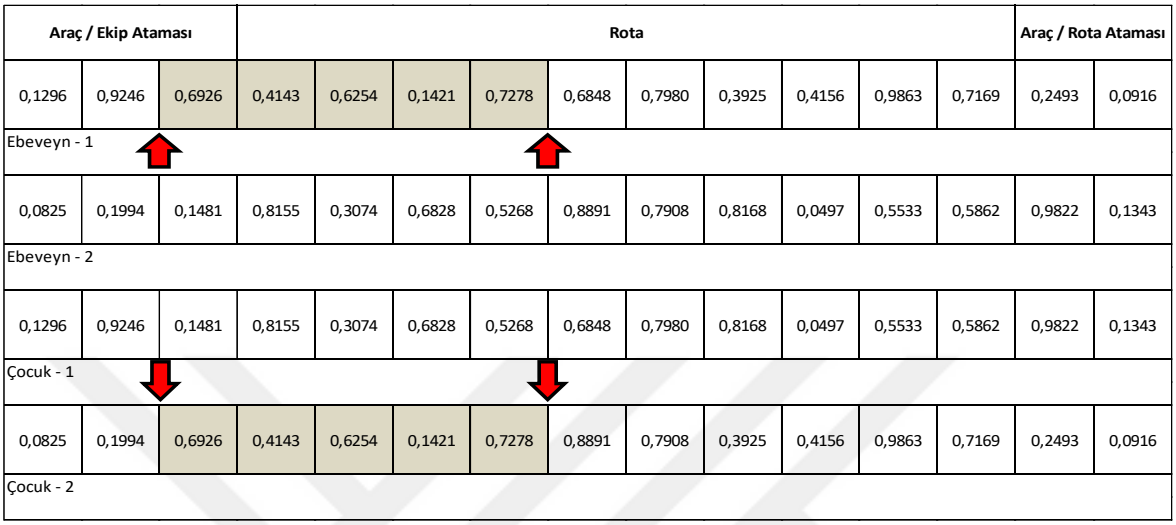
Çaprazlama ve mutasyon operatörleri, GA yaklaşımında kullanılan iki temel operatör olup, GA'nın performansının belirlenmesinde önemli etkileri bulunmaktadır. Çaprazlama operatörü ile amaç, ata kromozomların yerlerini değiştirerek daha iyi çocuk kromozomlar üretmektir.. Mutasyon operatörü ise kromozomların kendi genleri veya genleri oluşturan küçük birimleri üzerinde değişiklik yapılmasını sağlayarak yeni bireyler oluşmasını sağlamaktadır.

Tek nokta çaprazlama operatöründe, rassal olarak iki ebeveyn kromozom seçilir. Her bir çift kromozom için l ile kromozom uzunluğu arasında rassal bir k pozisyonu seçilir. Yeni oluşacak genler, k+1 ve kromozom uzunluğu l'nin arasındaki genlerin yer değiştirilmesiyle oluşturulur. Tek nokta çaprazlamaya ilişkin bir gösterim, (l=15, k=10) Şekil 3.7'de yer almaktadır.

Araç / Ekip Ataması			Rota										Araç / Rota Ataması	
0,1296	0,9246	0,6926	0,4143	0,6254	0,1421	0,7278	0,6848	0,7980	0,3925	0,4156	0,9863	0,7169	0,2493	0,0916
Ebeveyn - 1														
0,0825	0,1994	0,1481	0,8155	0,3074	0,6828	0,5268	0,8891	0,7908	0,8168	0,0497	0,5533	0,5862	0,9822	0,1343
Ebeveyn - 2														
0,1296	0,9246	0,6926	0,4143	0,6254	0,1421	0,7278	0,6848	0,7980	0,8168	0,0497	0,5533	0,5862	0,9822	0,1343
Çocuk - 1														
0,0825	0,1994	0,1481	0,8155	0,3074	0,6828	0,5268	0,8891	0,7908	0,3925	0,4156	0,9863	0,7169	0,2493	0,0916
Çocuk - 2														

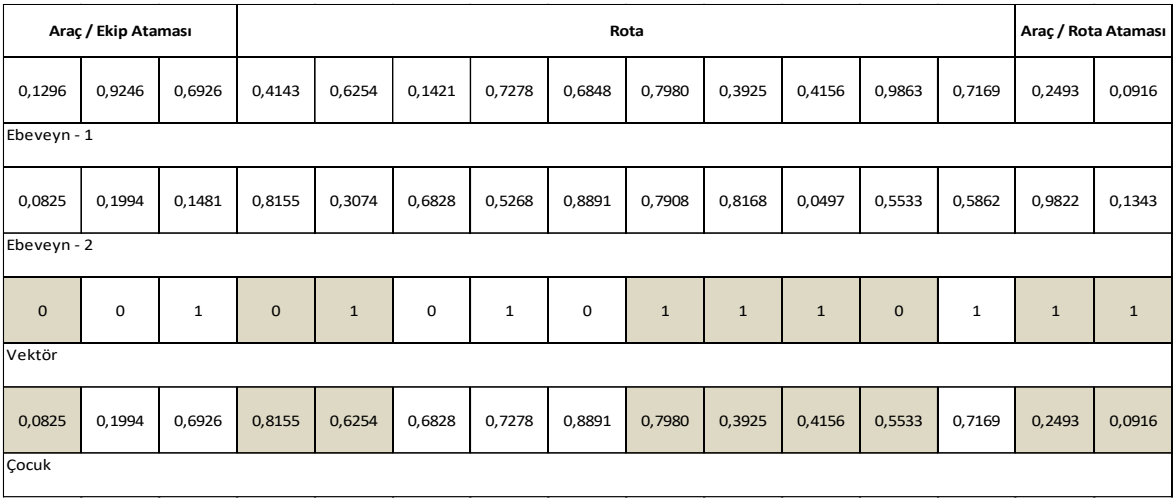
Şekil 3.7. Tek nokta çaprazlama gösterimi

İki nokta çaprazlama tekniğinde tek noktadan farklı olarak, bir yerine iki kesme noktası belirlenir. İki nokta çaprazlama gösterimine ilişkin bir örneğe Şekil 3.8'de yer verilmiştir.



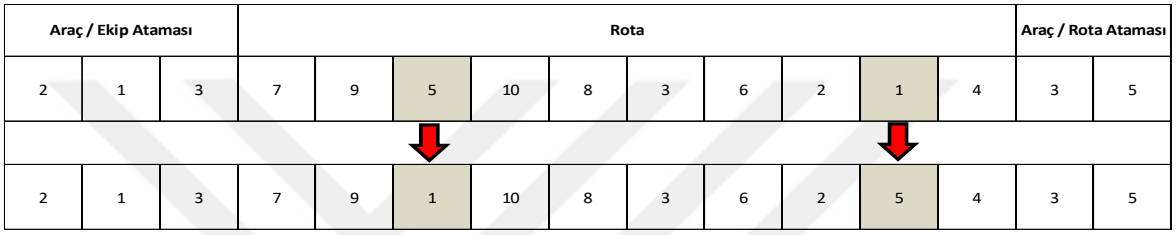
Şekil 3.8. Çift nokta çaprazlama gösterimi

Dağıtık çaprazlama operatöründe, iki birey rasgele seçilir. Sonrasında, bireylere eşit uzunlukta rassal bir 0-1 vektörü oluşturulur. Vektör değeri "1" ise çocuk birinci ebeveynden, "0" ise ikinci ebeveynden değer alarak çocuk kromozomu oluşturur. Örnek bir gösterim Şekil 3.9'da sunulmuştur.

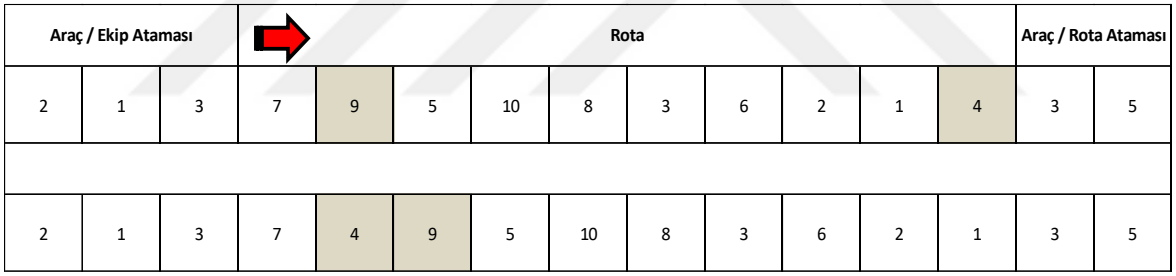


Şekil 3.9. Dağıtık çaprazlama gösterimi

Mutasyon, problemin çözüm alanını araştırmada yön değişikliklerini sağlayarak araştırmanın kısır döngüye girmesini önlemekte ve çözümün yerelden uzaklaşarak evrensel en iyiye ulaşmasına olanak sağlamaktadır. GA kapsamında kullanılan mutasyon operatörü genel olarak iki şekilde uygulanmaktadır. İlki *"pozisyona göre değişim"* yöntemidir. Burada rastgele seçilen karakterlerin yerleri değiştirilerek farklı bireyler elde edilmektedir. Diğeri ise, kromozomun rastgele seçilen iki karakterinden ikincisinin birincisinin önüne getirilmesi ile yeni bireylerin oluşturulduğu *"sıraya göre değişim"* yöntemidir. Şekil 3.10 ve 3.11'de belirtilen mutasyon işlemleri gösterilmektedir.



Şekil 3.10. Pozisyona göre değişim gösterimi



Şekil 3.11. Sıraya göre değişim gösterimi

Bu çalışmada, MATLAB'ın hazır GA fonksiyonu adaptif uygun mutasyon (adaptive feasible mutation) kullanılmış ve mevcut neslin en başarılı bireyleri (en iyi çözümleri) bir sonraki nesile aktarılmıştır. Elit bireyler olarak ifade edilen bu bireyler, popülasyonun yüzde 10'u olarak belirlenmiştir.

3.3. Tavlama Benzetimi Yöntemi

Malzemenin ergime noktasına kadar ısıtılması ve tekrar katı hale dönüşünceye kadar belirli bir program dahilinde soğutulmasına tavlama denilmektedir. Fiziksel tavlama süreci; malzemenin belirli bir sıcaklığa kadar ısıtılması, bu sıcaklığın belirli bir süre sabit tutulması ve belirli bir düzen dahilinde sıcaklığının düşürülmesi şeklinde birbirini izleyen üç aşamadan oluşmaktadır. Tavlama süreci sonunda malzemenin yapısal özelliklerinin belirlenmesinde soğutma işleminin önemi oldukça fazladır. Örneğin; ergime noktasına geldikten sonra gereğinden hızlı bir soğutma işleminden geçen metalin sahip olduğu hücresel yapı, daha yavaş soğuma işlemi uygulandığı duruma göre daha kusurlu ve kararsız olabilmektedir. Tavlama sürecinde malzeme; erimiş halde iken yüksek enerjiye, katı halde iken ise daha düşük enerjiye sahiptir. Yani malzeme, sıcaklığı artırıldıkça daha fazla hareketliliğe kavuşurken, sıcaklığı azaldıkça daha kuvvetli bir yapısal bütünlüğe sahip olmaktadır.

Metropolis vd. (1958), temeli Monte Carlo tekniklerine dayanan ve tavlama sürecini taklit eden basit bir algoritma geliştirmiştir. Algoritma, soğutma sürecinden geçirilen bir sistemin kararlı bir duruma gelinceye kadarki enerjisindeki değişikliklerin benzetimini yapmaktadır (Gülsün vd., 2008). Buna göre verilen bir T sıcaklığında, sistem enerjilerinin olasılık dağılımı aşağıda verilen formüle göre belirlenmektedir.

$$P\ (E) = e^{-\left(\frac{\Delta E}{KBT}\right)} \tag{3.17}$$

Burada; T ısı seviyesini, E sistem enerjisi, KB Boltzman sabiti olarak da bilinen bir sabittir.

Malzemenin mevcut *i* halindeki enerjisi E_i, ve bir sonraki *j* halindeki enerjisi ise, *i* halinin değişmesiyle elde edilen E_j değeridir. Eğer enerji farkı, $E_j - E_i \leq 0$ ise, E_j hali mevcut hal olarak kabul edilmektedir. Aksi halde *j* hali reddedilmemekte, uniform dağılımından (0,1) aralığında rastgele bir *u* sayısı türetilmekte ve bu denklemde verilen şart sağlandığı takdirde yeni çözüm, mevcut çözüm olarak kabul edilmektedir.

$$u \leq e^{-\left(\frac{\Delta E}{T}\right)} \tag{3.18}$$

Burada ΔE, iki durumun enerji seviyeleri arasındaki farktır. Bu kabul kriteri Metropolis kriteri olarak bilinmektedir. Eşitlik (3.18)'e göre, yüksek sıcaklıklarda tüm enerji durumları için P(E), 1'e yakınsamaktadır. Sıcaklık yüksek olduğunda, amaç fonksiyonunda artışa neden olabilecek hareketlerin kabul edilme olasılığı çok daha yüksek olacak, sıcaklık düştükçe bu olasılık da azalacaktır.

TB, eniyileme problemlerinin çözümünde, optimal bir çözüm bulma ile katıların tavlama prosedüründe düşük enerji seviyesinin bulunması arasındaki benzerliğe bağlı olarak Kirkpatrick vd. (1983) tarafından geliştirilmiştir. Kirkpatrick vd., Metropolis ve diğerlerinin önermiş olduğu benzetimin, optimal sonuca yakınsama amacıyla optimizasyon problemlerine uygun çözüm bulmada kullanılabileceğini belirtmiştir (Gülsün vd., 2008). Eniyileme problemleri ve tavlama işlemine bakıldığında; katının durumları eniyileme probleminin mümkün olan çözümlerini temsil ederken bu durumların enerji seviyeleri, çözümler için hesaplanan amaç fonksiyonu değerlerine karşılık gelmektedir. En küçük enerji durumu problem için optimal çözümü ifade etmekte ve hızlı soğutma işlemi yerel optimum olarak görülebilmektedir (Eglese, 1990). TB, iteratif bir algoritma yapısına sahip olmakla birlikte, *çözüm uzayında sayıların vektör olarak ifade edilen tek bir çözümün sürekli olarak geliştirilmesi* şeklinde çalışmaktadır.

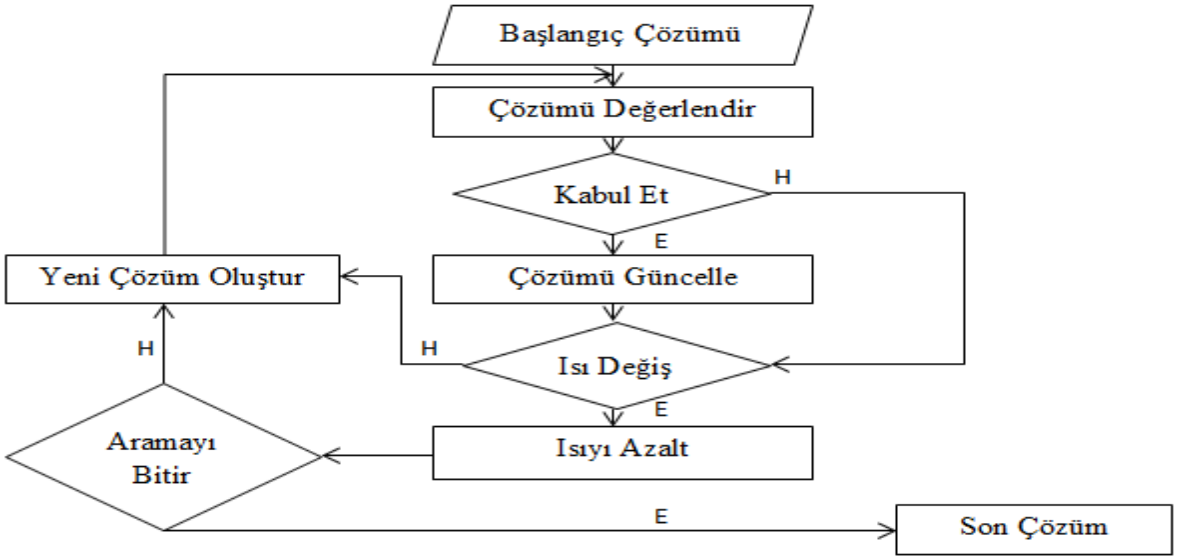
TB, çok sayıda değişkene sahip fonksiyonların en büyük veya en küçük değerlerinin bulunması ve özellikle pek çok yerel en küçük noktaya sahip doğrusal olmayan fonksiyonların en küçük değerlerinin bulunmasında oldukça etkilidir (Avcı, 2008). TB, daha iyi çözümleri kabul etmenin yanı sıra, mevcut en iyilerden daha kötü olan bazı çözümlerin kabul edilmesine de izin vermektedir. Bu durum, algoritmanın yerel en iyi çözümlerden kurtulmasına olanak sağlamaktadır (Shi vd., 2018).

TB; araç rotalama problemleri, seyahat problemleri, malzeme fiziği benzetimi, kesme ve paketleme problemleri, akış çizelgeleme ve iş çizelgeleme problemlerinin çözümlerinde başarılı sonuçlar vermiştir (Kirkpatrick vd., 1983). Çizelge 3.4'te, tavlama süreci ile eniyileme problemleri arasındaki ilişki gösterilmektedir (Avcı, 2008).

Çizelge 3.4. Tavlama süreci ile eniyileme problemleri arasındaki ilişki

Tavlama Süreci	Eniyileme Problemi
Sıcaklık	İterasyon Sayısını Kontrol Eden Parametre
Fiziksel Sistemin Durumu	Problemin Çözümü
İçinde Bulunan Durumun Enerjisi	Amaç Fonksiyonunun Değeri
En küçük Enerji	En İyi Çözüm

Şekil 3.12'de ise TB Algoritması algoritmasının genel akış diyagramı yer almaktadır (Gözüdeli ve Akcayol, 2008).



Şekil 3.12. TB Algortiması'nın akış şeması

TB Algoritmaları mümkün başlangıç çözümünün seçilmesi ve amaç fonksiyonunun hesaplanması ile başlamaktadır. Daha sonra yeni veya komşu bir çözüm rastgele oluşturulmakta ve amaç fonksiyonu değeri bu çözüme göre yeniden hesaplanmaktadır.

Amaç fonksiyonundaki değişim göz önünde bulundurularak, yeni çözümün mevcut çözüm olarak kabul edilip edilmemesi durumu değerlendirilmektedir. Bu prosedür önceden belirlenmiş olan durdurma kriterine gelinceye kadar devam etmektedir. İzleyen kısımda, TB Algoritmasının çalışma adımları ifade edilmiştir.

Adım 1: Rassal olarak türetilmiş ya da seçilmiş bir başlangıç çözümü, (S_0) belirle.

Adım 2: Başlangıç sıcaklığı (T_0), her sıcaklık için iterasyon sayısı (N_0) ve durma koşulu (T_{son}) belirle.

Adım 3: Başlangıç çözümünü mevcut çözüm olarak kabul et ($S=S_0$) ve mevcut çözüm için amaç fonksiyonu değeri C (S) hesapla.

Adım 4: Başlangıç çözümünü en iyi çözüm olarak kabul et ($S^*= S_0$) ve en iyi çözüm için amaç fonksiyon değeri C (S*) hesapla.

Adım 5: Başlangıç sıcaklığını T değerine ata ($T=T_0$), iterasyon sayısını N değerine ata ($N= N_0$).

Adım 6(a) Mevcut S çözümünde rassal bir komşuluk çözümü (S') belirle.

(b) Komşuluk çözümü için amaç fonksiyonu değeri, C (S') hesapla.

(c) A = C (S') - C (S) hesapla. Eğer $A \leq 0$ ise komşu çözümü mevcut çözüm olarak kabul et; S=S' ve 6-e adımına git. Değilse 6(d) adımına git

(d) (0,1) aralığında rassal bir u sayısı türet. Eğer $u \leq e^{-\frac{A}{T}}$ ise komşu çözümü mevcut çözüm olarak kabul et S=S' ve 6(e) adımına git. Değilse doğrudan 6(e) adımına git.

(e) C (S) ≤ C (S*) ise mevcut çözümü en iyi çözüm olarak kabul et, S*=S, en iyi çözüm için amaç fonksiyonu değeri C (S*) hesapla ve 6(f) adımına git. Değilse doğrudan 6(f) adımına git.

(f) N=N-1 yap. N≠0 ise adım 6(a)'ya, değilse adım 6(g)'ye git.

(g) T = T x 0,90 yap. T > Tson ise $N=N_0$ yap ve adım 6-a'ya git. Değilse Dur. S*, problemin en iyi çözümüdür.

3.3.1. TB Algortiması'nın parametreleri

İzleyen kısımda, TB Algoritması'na ait önemli parametreler açıklanmaktadır.

Başlangıç sıcaklığı (T_0): Sıcaklık parametresinin başlangıç değeri, denenen hareketlerin büyük bir oranının kabul edilmesine olanak tanıyacak derecede yüksek seçilmelidir.

Soğutma fonksiyonu: TB Algoritmasında sıcaklık sabit olmayıp, belirli bir iterasyona göre azaltılmaktadır. Burada yapılan soğutma işlemi, yavaş yavaş yapılmalıdır.

Çünkü, sıcaklığın yavaş yavaş azaltılması, aramanın iyi çözümlerin etrafında yoğunlaştırılmasını sağlamaktadır. Bunun için bir soğutma fonksiyonundan yararlanılmalıdır. Literatürde önerilen farklı soğutma fonksiyonları yer almaktadır. Aşağıda, bu fonksiyonlardan bazıları belirtilmektedir (Avcı, 2008).

$$\text{Aritmetik fonksiyon } T_k = T_{k-1} - C_{te} \tag{3.19}$$

$$\text{Geometrik fonksiyon } T_k = T_{k-1} \times \alpha \tag{3.20}$$

$$\text{Ters fonksiyon } Tk = Cte / (1+k) \tag{3.21}$$

$$\text{Logaritmik fonksiyon } T_k = C_{te} / (\text{Log}(1+k)) \tag{3.22}$$

Burada C_{te}; sabit bir sayı, α 0,8 ile 0,99 arasında değişen bir katsayı, k ise iterasyon sayısını göstermektedir.

İterasyon sayısı (N_k): Tavlama sürecinde her bir sıcaklıkta çok sayıda komşu çözüm oluşturulmakta ve bunlardan bazıları yeni çözüm olarak kabul edilmektedir. Mevcut çözümün kendisine komşu bir çözümle yer değiştirmesi geçiş olarak adlandırılmaktadır. Herhangi bir sıcaklıkta geçişlere karar vermek için yapılacak ikili karşılaştırmaların sayısı sınırlandırılmalıdır. Aksi halde tavlama süreci sonsuz bir döngüye dönüşebilecektir (Ayan, 2009). Söz konusu sınırlandırma devre uzunluğu ile yapılmaktadır. Daha açık ifade ile devre uzunluğu (N_k), her bir sıcaklıkta izin verilen en büyük deneme sayısıdır. N_k'nın değeri problem hacminin bir oranı olarak belirlenebilmektedir. Literatürde yer alan "her bir sıcaklıkta gerçekleştirilecek çözümlerin sayısının" belirlendiği bazı fonksiyonlar aşağıda ifade edilmiştir (Avcı, 2008).

N_k, aynı sıcaklıkta üretilecek çözümlerin sayısını göstermek üzere;

$$\text{Sabit } N_k = C_{te} \tag{3.23}$$

$$\text{Aritmetik } N_k = N_{k-1} + C_{te} \tag{3.24}$$

$$\text{Geometrik } N_k = N_{k-1} / \ \alpha, \ \alpha \text{ birden küçük sabit bir sayı} \tag{3.25}$$

$$\text{Logaritmik } N_k = C_{te} / (\text{Log}(T_k)) \tag{3.26}$$

$$\text{Üstel } N_k = (N_k - 1)^{\left(\frac{1}{\alpha}\right)}, \ \alpha \text{ birden küçük sabit bir sayı} \tag{3.27}$$

Durdurma kriteri: Durdurma koşulu için literatürde öne çıkan birkaç farklı yöntem bulunmaktadır. Aşağıda, bu durdurma kriterleri belirtilmiştir (Avcı, 2008).

- ✓ Algoritma için öncede belirlenen çözüm süresine ulaşıldığında
- ✓ Verilen en büyük iterasyon sayısına ulaştığında
- ✓ Verilen bir deneme sayısı için, kabul edilen çözümlerin sayısına ulaşıldığında
- ✓ Önceden belirlenen bir son sıcaklık değerine ulaşıldığında

3.3.2. TB Algoritması'nda komşu çözüm türetilmesi

TB Algoritması ile başarılı sonuçlar elde edebilmek için, verilmesi gereken birtakım önemli kararlar vardır. Bu kararlar genel olarak iki türlü ele alabilir. Bunların ilki; Bölüm 3.3.1'de de ifade edildiği üzere, algoritmada kullanılan parametreler ile ilgili belirlenmesi gereken kararlardır. Bir diğeri ise; çözümler için uygun bir gösterim seçilmesi, problemin amaç fonksiyonunun belirlenmesi, uygun çözüm uzayının seçilmesi ve komşu çözümleri türetmek için komşu türetme mekanizmasının belirlenmesi gibi probleme ait kararlardır. Belirtilen her iki türdeki kararların dikkatle belirlenmesi, algoritmanın hızını ve etkinliğini doğrudan etkilemesi bakımından oldukça önemlidir (C.R. Reeves vd., 1993).

Aşağıda verilen bir sayısal örnek üzerinden, TB Algoritması için geliştirilen komşu çözüm türetme mekanizması açıklanmaktadır. Şekil 3.13'te gösterilen bir uygun çözüm üzerinden komşuluk türetilecektir.

2	1	3	7	9	5	10	8	3	6	2	1	4	4	6

Şekil 3.13. Komşuluk türetilecek bir uygun çözüm örneği

Şekil 3.13'ten de görülebileceği üzere çözülmüş haldeki bir kromozom Bölüm 3.2.1'de ifade edildiği gibi üç parçadan oluşmaktadır (Birinci parça; *araç-ekip* ataması, ikinci parça; rotalar, üçüncü parça; *araç-rota* ataması). Komşu çözüm türetebilmek için bu üç parçadan herhangi biri üzerinde rassal bir değişiklik meydana getirilmelidir.

Değişikliğin yapılacağı çözüm parçasının belirlenmesi şu şekilde gerçekleşmektedir;

Adım 1: (0-1) arasında rassal bir *u* sayısı türet.
Adım 2: (a) Türetilen bu *u* sayısı için, $0 < u \leq 1/3$ ise *araç-ekip* parçası üzerinde bir değişiklik yap.

(b) Türetilen bu *u* sayısı için, $1/3 < u \leq 2/3$ ise *rotalar* üzerinde bir değişiklik yap.

(c) Türetilen bu *u* sayısı için, $2/3 < u \leq 3/3$ ise *araç-rota* parçası üzerinde bir değişiklik yap.

Çözüm üzerinde değişiklik yapılacak olan parça belirlendikten sonra, her bir parçaya özel olarak geliştirilen değiştirme adımları uygulanır.

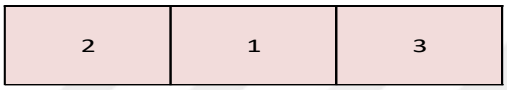
Eğer $0 < u \leq 1/3$ ise;

Mevcut çözüme ait çözülmüş kromozomun ilk parçası; yani *araç-ekip* ataması üzerinde değişiklik yapılacağı anlamına gelmektedir. Bu aşamada, araç-ekip ataması üzerinde aşağıda belirtilen adımlar izlenerek bir komşu çözüm oluşturulmaya çalışılacaktır.

Adım 1: Rassal olarak bir gen seç.
Adım 2: Tüm ekipleri rassal olarak sırala *("hedef kümesi").*
Adım 3: Adım 1'de seçilen gen ile rassal sıralı *hedef kümesi'*nin ilk elemanını değiştir.
Adım 4: Yeni duruma göre ceza değerlerini kontrol et. Tüm kısıtlar sağlanıyorsa yeni durumu "*komşu çözüm"* olarak kabul et.
Adım 5: Eğer kısıtlar sağlanmıyorsa Adım 3'e dön, *hedef kümesi'*nin ikinci elemanı ile Adım 1'de seçilen geni değiştir.
Adım 1: Çözülmüş kromozomun araç-ekip parçasından rassal olarak bir gen seç.
Adım 2: Çözülmüş kromozomun araç-ekip parçasındaki tüm genleri rassal olarak sırala *("hedef kümesi").*
Adım 3: Adım 1'de seçilen gen ile rassal sıralı *hedef kümesi'*ndeki ilk geni değiştir.
Adım 4: Oluşan çözüm için kısıtları kontrol et. Tüm kısıtlar sağlanıyorsa bu çözümü "*komşu çözüm"* olarak kabul et.

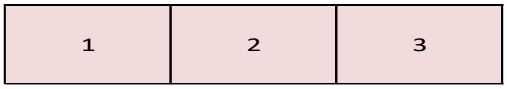
Adım 5: Eğer kısıtlar sağlanmıyorsa bu sefer *hedef kümesi'*nde bulunan sıradaki gen ile Adım 1'de seçilen geni değiştir ve Adım 4'e dön.

Kısıtların sağlandığı çözüm bulunana kadar veya hedef kümesindeki tüm genler denenene kadar bu döngü sürdürülerek bir komşu çözüm aranacaktır. Eğer hedef kümesindeki tüm genler denendiği halde kısıtların sağlandığı bir çözüm bulunamıyorsa; *"komşu çözüm"* eldeki mevcut çözüm olarak kabul edilmektedir. Örnek olarak komşu çözüm türetmek için, Şekil 3.14'te gösterilen araç-ekip ataması üzerinde bir değişiklik yapılacaktır.



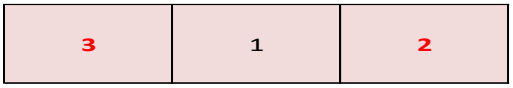
Şekil 3.14. Mevcut araç-ekip ataması

Rassal olarak Adım 1'de araç-ekip parçasından 3. genin seçildiğini ve kromozomun bu parçasındaki genlerin rassal sıralamasının 1-2-3 şeklinde olduğunu düşünelim. Buna göre; sıralı *hedef kümesi* aşağıda Şekil 3.15'te gösterildiği gibi oluşacaktır.



Şekil 3.15. Sıralı Hedef Kümesi

Adım 3'e göre; araç-ekip parçasının seçilen 3. geni ile sıralı *hedef kümesi*'nin ilk elemanı olan 1. gen yer değiştirilir (Şekil 3.16). Oluşan ara çözümün ceza değerleri hesaplanarak kısıtları sağlayıp sağlamadığı kontrol edilir. Kısıtlar sağlanıyorsa, bu ara çözüm komşu çözüm olarak kabul edilir. Eğer kısıtlar sağlanmıyorsa, seçilen 3. gen ile bu sefer sıralı *hedef kümesi*'nin sıradaki elemanı olan 2. gen yer değiştirilir. Kısıtların sağlandığı çözüm bulunana kadar hedef kümesinin tüm elemanları sırayla denenir.



Şekil 3.16. Komşu çözümün araç-ekip ataması

Eğer 1/3 < u ≤ 2/3 ise;

Mevcut çözüme ait çözülmüş kromozomun ikinci parçası; yani *rotalar* üzerinde değişiklik yapılacağı anlamına gelmektedir. Bu aşamada, rotalar üzerinde aşağıda belirtilen adımlar izlenerek bir komşu çözüm oluşturulmaya çalışılacaktır.

Adım 1: Çözülmüş kromozomun *rotalar* parçasındaki bir geni rassal olarak seç.
Adım 2: Çözülmüş kromozomun *rotalar* parçasındaki genleri rassal olarak sırala *("hedef kümesi").*
Adım 3: Adım 1'de seçilen gen ile rassal sıralı *hedef kümesi'*ndeki ilk geni değiştir.
Adım 4: Oluşan çözüm için kısıtları kontrol et. Tüm kısıtlar sağlanıyorsa bu çözümü "*komşu çözüm"* olarak kabul et.
Adım 5: Eğer kısıtlar sağlanmıyorsa bu sefer *hedef kümesi'*nde bulunan sıradaki gen ile Adım 1'de seçilen geni değiştir ve Adım 4'e dön.

Kısıtların sağlandığı çözüm bulunana kadar veya hedef kümesindeki tüm genler denenene kadar bu döngü sürdürülerek bir komşu çözüm aranacaktır. Eğer hedef kümesindeki tüm genler denendiği halde kısıtların sağlandığı bir çözüm bulunamıyorsa; *"komşu çözüm"* eldeki mevcut çözüm olarak kabul edilmektedir. Örnek olarak komşu çözüm türetmek için, Şekil 3.17'de gösterilen rota üzerinde bir değişiklik yapılacaktır.

7	9	5	10	8	3	6	2	1	4

Şekil 3.17. Mevcut rota

Rassal olarak Adım 1'de *rotalar* parçasından 5. geninin seçildiğini ve kromozomun bu parçasındaki genlerin rassal olarak 9-3-4-6-5-10-2-1-7-8 şeklinde sıralandığını kabul edelim. Buna göre; sıralı *hedef kümesi* aşağıda Şekil 3.18'de gösterildiği gibi oluşacaktır.

9	3	4	6	5	10	2	1	7	8

Şekil 3.18. Sıralı Hedef Kümesi

Adım 3'e göre; *rotalar* parçasının seçilen 5. geni ile sıralı *hedef kümesi*'nin ilk elemanı olan 9. gen yer değiştirilir. Oluşan ara çözümün ceza değerleri hesaplanarak kısıtların sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilir. Kısıtlar sağlanıyorsa bu ara çözüm, komşu çözüm olarak kabul edilir. Yapılan gen değişikliği sonucunda kısıtların sağlanmadığını kabul edelim. O halde Adım 1'de seçilen 5.gen ile bu sefer hedef kümesinin sıradaki elemanı olan 3. gen yer değiştirilecektir. Bu değişiklik sonucunda kısıtlar sağlanıyorsa elde edilen ara komşu çözüme ait yeni rota, Şekil 3.19'da gösterildiği gibi olacaktır.

7	9	8	10	5	3	6	2	1	4

Şekil 3.19. Komşu çözüme ait yeni rota

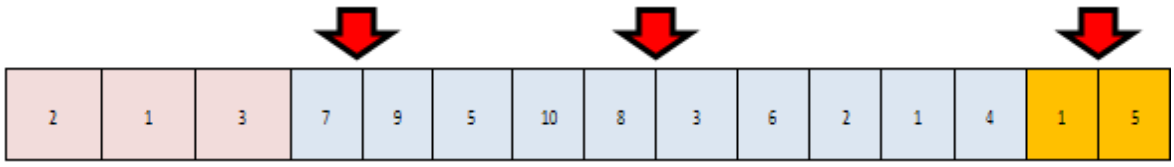
Eğer 2/3 < u ≤ 3/3 ise;

Mevcut çözüme ait çözülmüş kromozomun üçüncü parçası; yani *araç-rota* ataması üzerinde değişiklik yapılacağı anlamına gelmektedir. Bu aşamada, mevcut çözümün *araç-rota* parçasındaki herhangi bir genin içeriği (+1) veya (-1) kadar değiştirilerek ekiplerin hizmet götüreceği hasta sayıları değiştirilmektedir. Bunun için aşağıda belirtilen adımlar izlenmektedir.

Adım 1: [0,1] aralığında rassal bir K sayısı türet.
Adım 2: Çözülmüş kromozomun *araç-rota* parçasındaki genleri rassal olarak sırala.
Adım 3: Adım 2'de rassal olarak sıralanmış listenin ilk sırasındaki geni seç.
Adım 4: K sayısının değerine göre:
$0 < K \leq 0{,}5$ ise, seçilen gen içeriğini 1 azalt.
$0{,}5 < K \leq 1$ ise, seçilen gen içeriğini 1 artır.
Adım 5: Oluşan çözüm için kısıtları kontrol et. Tüm kısıtlar sağlanıyorsa bu çözümü *"komşu çözüm"* kabul et. Eğer kısıtlar sağlanmıyorsa Adım 2'deki sıralı listede bir sonraki geni seç ve Adım 4' dön.

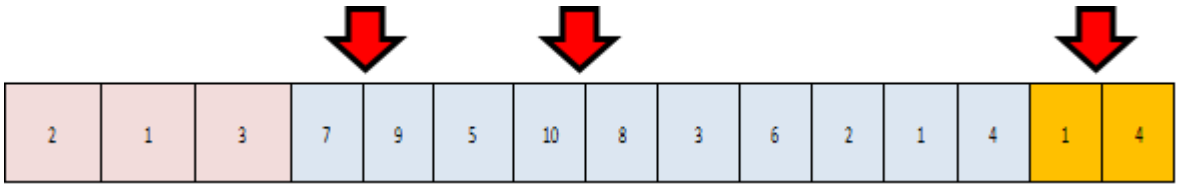
Kısıtların sağlandığı çözüm bulunana kadar veya sıralanmış listedeki tüm genler denenene kadar bu döngü sürdürülerek bir komşu çözüm aranacaktır. Eğer hedef kümesindeki tüm genler denendiği halde kısıtların sağlandığı bir çözüm bulunamıyorsa;

"komşu çözüm" eldeki mevcut çözüm olarak kabul edilmektedir. 10 hasta, 3 ekip ve 3 araçtan oluşan bir örnekte komşu çözüm türetmek için, Şekil 3.20'de gösterilen mevcut çözüm üzerinde bir değişiklik yapılacaktır.



Şekil 3.20. Mevcut çözüm

Adım 1'e göre [0,1] arasında rassal türetilen K sayısı 0,42 ve çözülmüş kromozomun *araç-rota* atamasını ifade eden üçüncü parçasındaki genler, adım 2'ye göre rassal olarak 1-2 (1.gen ve 2.gen) şeklinde sıralanmış olsun. Adım 4'e göre; K ≤ 0,5 olduğu için sıralı vektörün ilk elemanı olan 1.gen içeriği 1 azaltılacaktır. Bu durumda çözülmüş kromozomun üçüncü parçası (başka bir deyişle *araç–rota* içeriği) 0-5 genlerinden oluşacaktır. Ancak bu çözüm için Bölüm 3.2.2.1'de de açıklandığı üzere; herhangi bir rotaya atanmayan bir araç oluştuğu için kısıtlar sağlanmıyor olacaktır. Bu nedenle, Adım 2'de oluşturulan sıralı vektörün bir sonraki elemanı olan 5.gen için adım 4 uygulanacak ve 5.gen içeriği 1 azaltılacaktır. Böylece çözülmüş kromozomun araç–rota içeriği 1-4 olarak değişmiş olacaktır. Yeni durum için diğer kısıtların da kontrolü yapılacak ve kısıtlar sağlanıyorsa yeni çözüm "*komşu çözüm"* olarak kabul edilecektir. Aksi bir durumda, komşu çözüm eldeki çözüm olarak dikkate alınacaktır.



Şekil 3.21. Komşu çözüme ait yeni çözüm

Elde edilen komşu çözüme göre; 1. araca 2. ekip ve 7 rotasına, 2. araca 1. ekip ve 9-5-10 rotasına, 3. araca 3. ekip ve 8-3-6-2-1-4 rotasına atanmış olacaktır (Şekil 3.21).

3.4. GA-TB Melez Yöntemi

Literatürde yer alan birçok eniyileme problemlerinin çözümü ile ilgilenen araştırmalar incelendiğinde; hızlı ve en iyi ya da en iyiye yakın çözümlerin elde edildiği meta sezgisel yöntemlerin tercih edildiği görülmektedir. Bu yöntemler içerisinde en sık tercih edilen yöntemlerden biri GA'dır. Literatürdeki benzer çalışmalar incelendiğinde, GA yaklaşımı ile diğer eniyileme yöntemlerinin erişemediği uygun çözümlere erişilebildiği ifade edilebilir. Ancak, problemin sahip olduğu değişken sayısı arttıkça (kromozom büyüdükçe) GA'nın evrensel en iyi çözüme ulaşmadaki etkisi azalabilmektedir. Bu doğrultuda son yıllarda yapılan çalışmalara bakıldığında; literatürde başarısı ispatlanmış farklı meta-sezgisel yöntemlerin, üstün özelliklerinin bir araya getirildiği güçlü meta sezgisel yaklaşımların (melez) geliştirildiği görülmektedir. Bu melez yaklaşımların, meta sezgisel yaklaşımların tek başına ulaşabileceği çözümleri daha iyi noktalara taşıyabildiği görülmektedir (Li vd., 2017).

Bu çalışmada, popülasyon temelli bir yöntem olan GA ile TB Algoritması' nın bir araya getirilmesi ile geliştirilen bir melez yöntem önerilmiştir. Önerilen bu yöntem temel olarak iki adımdan oluşmaktadır. Yöntemin ilk adımı; GA ile bir başlangıç çözümü elde edilmesidir. İkinci adımı ise; ilk adımda elde edilen çözümü başlangıç çözüm kabul eden TB Algoritmasıdır. TB Algoritmasının çözüm kalitesini belirleyen en önemli etkenlerden biri başlangıç çözümünün belirlenmesidir. Bu nedenle TB için rassal olarak bir başlangıç çözümünün belirlenmesi yerine, GA ile elde edilen bir uygun çözümün başlangıç çözüm olarak kabul edilmesi tercih edilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

ESH'de ZPARP problemlerinin çözüm yöntemlerinin geliştirilmesine yönelik olarak gerçekleştirilen bu çalışmada; öncelikli olarak problemi temsil eden 0-1 karma tamsayılı bir matematiksel geliştirilmiştir ve geliştirilen bu model, GAMS yazılımında kodlanmıştır. Fard vd. (2018)'nin bu konuyla ilgili yapmış olduğu çalışmada yer alan veri türetme formülleri, bu çalışmaya uyarlanmış ve farklı boyuttaki problemler için farklı veri setleri türetilmiştir. Türetilen beş küçük, dokuz orta ve dokuz büyük boyutlu problemin, belirlenen 10.800 süre kısıtı altında GAMS CPLEX çözücüsü ile çözümü araştırılmıştır. Geliştirilen GAMS modeli ile, küçük ve bazı orta boyutlu problemler için en iyi çözümlere ulaşılabilirken, daha büyük boyutlu problemler için herhangi bir çözüm elde edilememiştir. Bu doğrultuda, GAMS yazılımı ile çözüm elde edilemeyen problem boyutları için GA ve GA ile elde edilen çözümü bir başlangıç çözümü olarak kabul ederek daha iyi çözümlere ulaşmayı amaçlayan GA-TB melez yöntemi geliştirilmiştir. Geliştirilen bu meta sezgisel yöntemler MATLAB R2013a yazılımında kodlanmış ve tüm problem setlerinin, Intel (R) core (TM)2 duo CPU 2,53 GHz işlemcili ve 4 GB RAM'e sahip bilgisayar kullanılarak çözümü araştırılmıştır. Problem çözümünde kullanılan MATLAB kodlarına ilişkin örnekler, Ek Açıklamalar A ve Ek Açıklamalar B'de sunulmuştur. Farklı boyutlardaki yirmi üç test probleminin, geliştirilen tüm yöntemler ile elde edilen çözüm sonuçları Bölüm 5.3'te detaylıca açıklanmıştır.

4.1. Test Problemlerinin Türetilmesi

Fard vd. (2018)'in parametre değerlerini türetmek için kullandıkları formüller ve taşıma araçları ile birim uzaklık başına taşıma maliyeti ile araçların kapasite kısıtları bu çalışmaya uyarlanarak yeniden düzenlenmiştir. Çizelge 4.1'de, türetilen örnek problemlerde yer alan bu parametre değerleri belirtilmiştir.

Çizelge 4.1. Ekip ve araç sayılarına göre taşıma maliyetleri ve araç kapasite değerleri

Ekip-Araç	TC_k	CAP_k
2-7	1	300
8-11	1	300-350-400
12-18	1	450

Çizelge 4.2'de ise, problemde kullanılan diğer önemli parametreler ve onların elde edilmesi için kullanılan formüller ifade edilmiştir.

Çizelge 4.2. Parametreler ve veri türetme formülleri

Parametreler	**Türetme Formülü**
(x_i , y_i)	1000 x (U(0,1) , U(0,1))
(x_j , y_j)	1000 x (U(0,1) , U(0,1))
D_{ij} (m)	$\sqrt{(xi - xj)^2 + (yi - yj)^2}$ x 10
A_i (m^3)	Rastgele (5, 10, 15, …, 100)
PEN	Küçük boyut için 1,5 orta boyut için 3 büyük boyut için 5
W_i (dk)	Rastgele (5, 10, …, 60)
E_i (dk)	Rastgele (0, 1, …, 10)
L_i (dk)	Rastgele (500, 1000, …, 5000)
T_{ij} (dk)	D_{ij} / ($Ort \sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{N} D_{ij}$) x 10 + 1
$MDIS_{nk}$ (m)	Rastgele (25000, 30000, …, 50000)

Çalışma kapsamında küçük, orta ve büyük boyutlu olmak üzere toplam yirmi üç test problemi türetilmiştir. Bunlar; KP1:KP4, OP1:OP9 ve BP1:BP9 olarak adlandırılmış olup, sırası ile küçük, orta ve büyük boyutlu problemleri ifade etmektedir. Çizelge 4.3'te, türetilen test problemlerine ait hasta sayısı, araç sayısı ve ekip sayısı değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. Türetilen örneklere ait boyut ve değişken sayıları

Boyut	Problem	Ekip Sayısı	Araç Sayısı	Hasta Sayısı
Küçük	KP1	2	2	4
	KP2	2	2	5
	KP3	2	2	6
	KP4	2	2	7
	KP5	2	2	8
Orta	OP1	3	3	8
	OP2	3	3	9
	OP3	3	3	10
	OP4	4	4	14
	OP5	5	5	14
	OP6	5	5	15
	OP7	6	6	20
	OP8	8	8	25
	OP9	9	9	30
Büyük	BP1	9	9	35
	BP2	10	10	40
	BP3	11	11	45
	BP4	12	12	50
	BP5	13	13	55
	BP6	15	15	60
	BP7	17	17	65
	BP8	17	17	70
	BP9	18	18	75

4.2. Parametre Seçimi

Meta sezgisellerin başarısı ve performansı, büyük oranda parametrelerin seçimine bağlı olarak değişmektedir. Uygun parametre seçiminde bazı problemler için deneme yanılma ile seçim uygun bir yol iken, pek çok problem için literatürde farklı teknikler ile de başarılı çözümler elde edilebilmektedir. Bu çalışmada, parametre seçiminde Yanıt Yüzey Yöntembilimi (YYY)'den yararlanılmıştır. YYY, Myers ve Montgomery (1995) tarafından; "deneylerin tasarlanmasında, model geliştirmede ve birçok bağımsız değişkenin analizinde yararlanılan matematiksel ve istatistiksel teknikler bütünü" şeklinde tanımlanmıştır. Kapsamlı bir deneysel tasarım ve matematiksel yöntem olan YYY, girdi parametreleri ve sonuç ilişkilerini bir regresyon denklemi ile ifade ederek en iyi koşulları belirlemeyi sağlar.

Bu çalışmada, GA parametre seçiminde popülasyon büyüklüğü (A), mutasyon olasılığı (B), çaprazlama olasılığı (C) ve çaprazlama tipi (D) girdi değişkenleri olarak belirlenmiş olup, problemin uyum fonksiyonu (Y) yanıt değişken olarak seçilmiştir. Seçilen faktörler ve düzeylerine ilişkin bilgiler Çizelge 4.4'te mevcuttur.

Çizelge 4.4. YYY Faktör ve Düzeyleri

Faktörler	Düzeyler	
	Düşük	Yüksek
	-1	+1
A: popülasyon büyüklüğü	500	700
B: mutasyon olasılığı	0,05	0,15
C: çaprazlama olasılığı	0,7	0,9
D: çaprazlama tipi	Tek nokta	İki Nokta

Literatürdeki, çalışmalara benzer şekilde, her bir problem seti için farklı en iyi parametre setleri seçmek yerine, orta gruptaki bir problem seti üzerinden analizler gerçekleştirilmiştir (Attar vd., 2013). Örnek olarak, GA parametre seçim sürecine ilişkin prosedür açıklanmıştır. Ele alınan problem 14 hasta, 4 ekip ve 4 araç içermektedir. YYY tekniklerinden ikili etkileşimlerin ve karesel etkilerin modele dahil edilebildiği "Box Behnken Tasarım" ele alınmış olup, Çizelge 4.5'te seçilen orta boyutlu problem için 34 deneme içeren tasarım noktaları ve bunlara karşı gelen uyum fonksiyonu değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.5. Box Behnken Tasarımı için Deney Düzeni

	Faktörler				Yanıt
No	A	B	C	D	Uyum Fonksiyonu
1	-1	-1	0	Tek-nokta	-24716
2	1	-1	0	Tek-nokta	-28403
3	-1	1	0	Tek-nokta	-22755
4	1	1	0	Tek-nokta	-26708
5	-1	0	-1	Tek-nokta	-29206
6	1	0	-1	Tek-nokta	-30811
7	-1	0	1	Tek-nokta	-23133
8	1	0	1	Tek-nokta	-25846
9	0	-1	-1	Tek-nokta	-30154
10	0	1	-1	Tek-nokta	-25845
11	0	-1	1	Tek-nokta	-23369
12	0	1	1	Tek-nokta	-20799
13	0	0	0	Tek-nokta	-25215
14	0	0	0	Tek-nokta	-28022
15	0	0	0	Tek-nokta	-24914
16	0	0	0	Tek-nokta	-25556
17	0	0	0	Tek-nokta	-25729
18	-1	-1	0	İki-nokta	-25826
19	1	-1	0	İki-nokta	-28885
20	-1	1	0	İki-nokta	-24484
21	1	1	0	İki-nokta	-27033
22	-1	0	-1	İki-nokta	-25823
23	1	0	-1	İki-nokta	-30817
24	-1	0	1	İki-nokta	-26429
25	1	0	1	İki-nokta	-30489
26	0	-1	-1	İki-nokta	-25167
27	0	1	-1	İki-nokta	-24946
28	0	-1	1	İki-nokta	-26665
29	0	1	1	İki-nokta	-25047
30	0	0	0	İki-nokta	-29782
31	0	0	0	İki-nokta	-29676
32	0	0	0	İki-nokta	-26676
33	0	0	0	İki-nokta	-26802
34	0	0	0	İki-nokta	-29023

Sonuçlar, Design-Expert 7.0 yazılımında analiz edilmiştir. Çizelge 4.6'da görülen varyans analizi sonuçlarına göre, p-değeri 0,05'ten küçük olan faktörler anlamlı olarak kabul edilmiştir. Modele ana faktörlerin yanı sıra, çaprazlama olasılığı-çaprazlama tipi (CD) ikili etkileşimi terimi ile popülasyon büyüklüğü ve mutasyon olasılığı karesel

terimleri dahil edilmiştir. Modelin F değerinin 21,18 ve p değerinin de 0,05'ten küçük olması modelin anlamlı olduğunu göstermekle birlikte, uyum yetersizliği testi sonuçlarına göre modelde uyum yetersizliği olmadığı görülmüştür. Model istatistiklerine de Çizelge 4.7'de yer verilmiştir.

Çizelge 4.6. Uyum fonksiyonu için Varyans Analizi tablosu

ANOVA for Response Surface Reduced Quadratic Model

Analysis of variance table [Partial sum of squares - Type III]

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F	
Model	1.713E+008	7	2.447E+007	21.18	< 0.0001	significant
A-Pop_size	*4.429E+007*	*1*	*4.429E+007*	*38.33*	*< 0.0001*	
B-Mut_prob	*1.515E+007*	*1*	*1.515E+007*	*13.11*	*0.0012*	
C-Cross_prob	*2.754E+007*	*1*	*2.754E+007*	*23.84*	*< 0.0001*	
D-crosstype	*1.474E+007*	*1*	*1.474E+007*	*12.76*	*0.0014*	
CD	*3.827E+007*	*1*	*3.827E+007*	*33.12*	*< 0.0001*	
A^2	*4.896E+006*	*1*	*4.896E+006*	*4.24*	*0.0497*	
B^2	*2.763E+007*	*1*	*2.763E+007*	*23.91*	*< 0.0001*	
Residual	3.004E+007	26	1.155E+006			
Lack of Fit	*1.450E+007*	*18*	*8.054E+005*	*0.41*	*0.9424*	*not significant*
Pure Error	*1.554E+007*	*8*	*1.943E+006*			
Cor Total	2.014E+008	33				

Çizelge 4.7. Uyum fonksiyonu için model istatistikleri

Std. Dev.	1074.90	R-Squared	0.8508
Mean	-26610.32	Adj R-Squared	0.8106
C.V. %	4.04	Pred R-Squared	0.7686
PRESS	4.659E+007	Adeq Precision	20.952

Uyum fonksiyonu yanıtı için, karesel model ile elde edilen regresyon denklemi (kodlanmış faktörler cinsinden) Eşitlik 4.1'de verilmiştir.

$$Y = -27103{,}18 - 1663{,}75\,A + 973\,B + 1312\,C - 658{,}5\,D - 1546{,}63\,CD - 761{,}46\,A^2 + 1808{,}789474\,B^2 \quad (4.1)$$

Modelin eniyilemesi sonucu önerilen en uygun değerler; popülasyon büyüklüğü "700", mutasyon olasılığı "0,09", çaprazlama olasılığı "0,7" ve çaprazlama tipi "tek nokta çaprazlama" olarak önerilmiştir.

Seçim yöntemlerinden, rulet seçim tekniği kullanılmış olup, mutasyon tipi olarak MATLAB R2013a programındaki "adaptive feasible mutation" seçilmiştir.

TB için seçilen parametreler; orta ve büyük boyutlar için, *başlangıç sıcaklığı*; küçük boyutlu problemler için "250", orta boyutlu problemlerin bir kısmı için "500" ve bir kısmı için ise "1500" olarak kullanılmıştır. Başlangıç sıcaklığı büyük boyutlu tüm problemler için "1500" olarak belirlenmiştir. *Soğutma fonksiyonu* için tüm boyutlarda Eşitlik 3.20 formülü kullanılmış ve α değeri "0,9" olarak kabul edilmiştir. Algoritma için *durdurma kriteri* T_{enk}, tüm problem grupları için aynı ve "0,5" olarak belirlenmiştir. Her bir sıcaklıkta aranacak komşu çözüm sayısı, orta boyutlu problemler için "250" ve "750", büyük boyutlu problemler için de yine "750" olarak belirlenmiştir.

4.3. Örnek Problem

Bu bölümde; 15 hasta, 5 araç ve 5 ekipten oluşan bir örnek problemde ele alınan veriler ve çözüm sonuçları açıklanmıştır. Çizelge 4.8'de örnek probleme ait, hizmet süresi, en erken ve en geç hizmet zamanı ile her hasta için ihtiyaç duyulan ilaç-ekipman miktarı parametreleri verilmiştir.

Çizelge 4.8. Hastalara ait parametre değerleri

i	**W_i**	**A_i**	**E_i**	**L_i**
1	20	50	2	1000
2	30	90	3	3080
3	50	50	2	1040
4	40	50	0	3560
5	50	100	5	4700
6	30	80	0	2350
7	40	90	3	3970
8	20	30	4	3960
9	60	40	0	2100
10	30	90	6	3500
11	30	80	0	1320
12	60	100	1	4610
13	30	60	10	1190
14	30	100	9	1050
15	50	70	1	3790

Çizelge 4.9'da araçların kapasiteleri ve toplam seyahat maliyetlerini hesaplamak için birim uzaklık taşıma maliyet değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.9. Araç kapasite ve birim taşıma maliyet tablosu

k	**TC_k**	**CAP_k**
1	1	300
2	1	300
3	1	300
4	1	300
5	1	300

Çizelge 4.10'da ekiplerin seyahat ettikleri araçlar ile kat edebilecekleri en büyük mesafe değerlerini metre cinsinden ifade eden "$MDIS_{nk}$" parametre değerleri yer almaktadır.

Çizelge 4.10. Ekiplerin araçlar ile kat edebileceği en büyük mesafeler

$MDIS_{nk}$	1	2	3	4	5
1	48170	34250	32110	44440	30750
2	38410	37630	39350	30020	25570
3	30180	27650	43970	43320	41620
4	31560	26810	30060	46180	30220
5	41690	33540	27410	49260	46900

Çizelge 4.11'de hastaların birbirine, sağlık merkezine ve laboratuvara olan uzaklık değerleri verilmiştir (Her bir hasta, sağlık merkezi ve laboratuvar birer düğümdür.). (*SM*: Sağlık Merkezi - Başlangıç Noktası, LAB*: Laboratuvar - Bitiş Noktası*). Çizelge 4.12'de ekiplerin sağlık merkezinden hastalara, bir hastadan diğerine ve hastalardan laboratuvara ulaşım süreleri dakika cinsinden belirtilmiştir.

Çizelge 4.11. Düğümler arası uzaklık değerleri

D_{ij}	SM*	Hastalar															LAB*
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
SM*	0	6829	2337	4875	1940	6760	9428	5292	9129	5152	6767	2450	5290	9167	6935	3056	0
1	6829	0	8391	3050	7536	3038	5284	5289	5814	6948	1287	4535	11133	9456	2295	6789	4382
2	2337	8391	0	5814	873	7497	9780	5211	9244	4295	8012	4520	2994	8029	7899	2319	7815
3	4875	3050	5814	0	4942	1901	4701	2354	4647	3915	2271	3385	8311	6873	2104	3889	2882
4	1940	7536	873	4942	0	6639	8974	4444	8475	3724	7139	3820	3717	7619	7029	1613	7001
5	6760	3038	7497	1901	6639	0	2864	2884	3020	4655	1764	5219	9739	6479	814	5361	1374
6	9428	5284	9780	4701	8974	2864	0	4604	1048	6065	4095	8069	11564	5973	3191	7487	1980
7	5292	5289	5211	2354	4444	2884	4604	0	4034	1773	4252	4857	7030	4632	3595	2898	2692
8	9129	5814	9244	4647	8475	3020	1048	4034	0	5312	4553	8023	10829	4926	3566	6927	1765
9	5152	6948	4295	3915	3724	4655	6065	1773	5312	0	5985	5541	5517	4019	5366	2151	4300
10	6767	1287	8012	2271	7139	1764	4095	4252	4553	5985	0	4728	10579	8223	1009	6159	3096
11	2450	4535	4520	3385	3820	5219	8069	4857	8023	5541	4728	0	7506	9377	5148	4011	6262
12	5290	11133	2994	8311	3717	9739	11564	7030	10829	5517	10579	7506	0	8180	10284	4427	9716
13	9167	9456	8029	6873	7619	6479	5973	4632	4926	4019	8223	9377	8180	0	7289	6132	5314
14	6935	2295	7899	2104	7029	814	3191	3595	3566	5366	1009	5148	10284	7289	0	5867	2093
15	3056	6789	2319	3889	1613	5361	7487	2898	6927	2151	6159	4011	4427	6132	5867	0	5537
LAB*	0	4382	7815	2882	7001	1374	1980	2692	1765	4300	3096	6262	9716	5314	2093	5537	0

Çizelge 4.12. Düğümler arası ulaşım süreleri

T_{ij}	**SM***	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**LAB***
SM*	0	15	6	11	5	14	20	11	19	11	14	6	11	19	15	7	0
1	15	0	18	7	16	7	11	11	12	15	4	10	23	20	6	14	10
2	6	18	0	12	3	16	20	11	19	9	17	10	7	17	17	6	16
3	11	7	12	0	11	5	10	6	10	9	5	8	17	15	5	9	7
4	5	16	3	11	0	14	19	10	18	8	15	9	8	16	15	4	15
5	14	7	16	5	14	0	7	7	7	10	4	11	20	14	3	12	4
6	20	11	20	10	19	7	0	10	3	13	9	17	24	13	7	16	5
7	11	11	11	6	10	7	10	0	9	5	9	11	15	10	8	7	6
8	19	12	19	10	18	7	3	9	0	12	10	17	22	11	8	15	4
9	11	15	9	9	8	10	13	5	12	0	13	12	12	9	12	5	10
10	14	4	17	5	15	4	9	9	10	13	0	10	22	17	3	13	7
11	6	10	10	8	9	11	17	11	17	12	10	0	16	20	11	9	13
12	11	23	7	17	8	20	24	15	22	12	22	16	0	17	21	10	20
13	19	20	17	15	16	14	13	10	11	9	17	20	17	0	15	13	12
14	15	6	17	5	15	3	7	8	8	12	3	11	21	15	0	13	5
15	7	14	6	9	4	12	16	7	15	5	13	9	10	13	13	0	12
LAB*	0	10	16	7	15	4	5	6	4	10	7	13	20	12	5	12	0

Çizelge 4.13'te, ekiplerin hastalara hizmet verme seviyelerini ifade eden Q_{in} yetkinlik tablosu verilmiştir.

Çizelge 4.13. Ekip-hasta hizmet yetkinlik tablosu

Q_{in}	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
1	1	3	2	2	1
2	3	1	2	2	3
3	1	1	2	1	2
4	2	2	3	1	1
5	1	2	3	3	3
6	3	3	1	3	2
7	3	2	2	2	1
8	2	2	2	1	3
9	2	3	1	3	1
10	2	3	3	2	3
11	2	3	2	3	3
12	3	3	3	1	2
13	3	3	1	2	3
14	2	1	2	2	3
15	2	1	1	3	3

Aşağıda; parametreleri verilen 15 hasta, 5 ekip ve 5 araçtan oluşan örnek problemin GAMS (0-1 karma tamsayılı matematiksel yöntem) ve MATLAB R2013a (GA ve GA-TB meta sezgisel yöntemleri) programları kullanılarak elde edilebilen en iyi çözümleri belirtilmiştir. GAMS ile elde edilen çözüm, belirlenen 10800 saniye süre kısıtı sonunda yazılımın ulaşabildiği en iyi çözümdür. GA ile elde edilen çözüm, seçilen aynı parametre değerleri ile modelin yirmi kez çözümü sonucunda elde edilebilen en iyi değerdir. GA-TB ile elde edilen çözüm ise, yöntem için belirlenmiş parametreler ile modelin on kez çözümü sonucunda elde edilebilen en iyi değerdir.

Çizelge 4.14'te, örnek problemin GAMS ile çözümü sonucunda elde edilen araç-ekip atama sonuçları yer almaktadır. Buna göre; 1. araca 3. ekip, 2.araca 5.ekip, 3. araca 2. ekip, 4. araca 1. ekip ve 5. araca ise 4. ekip atanmıştır.

Çizelge 4.14. GAMS çözümü ile elde edilen araç-ekip atama sonucu

Araç	1	2	3	4	5
Ekip	3	5	2	1	4

Çizelge 4.15'te, örnek problemin GAMS yöntemi ile çözümü sonucunda elde edilen araç-rota atama sonuçları yer almaktadır. Buna göre; 1. araç 4-12-2-13 rotasına, 2. araç 3-5-8-6 rotasına, 3. araç 9-14-1-10 rotasına, 4. araç 15-7 rotasına ve 5. araç ise yalnızca 11 rotasına atanmıştır.

Çizelge 4.15. GAMS çözümü ile elde edilen araç-rota atama sonucu

A1	4	12	2	13
A2	3	5	8	6
A3	9	14	1	10
A4	15	7	-	-
A5	11	-	-	-

Çizelge 4.16'da örnek problemin GAMS yöntemi ile çözümü sonucunda elde edilen skalerleştirilmiş z_3 amaç fonksiyonunun değeri ve bu çözümü oluşturan z_1 ve z_2 değerleri belirtilmiştir. GAMS ile yapılan çözüme göre; toplam seyahat maliyeti 69372 pb. ve ekip-hasta atamaları sonucunda elde edilen yetkinlik değerleri toplamı 37 olarak bulunmuştur. Bu doğrultuda, ulaşılan z_3 amaç fonksiyonu -12028 olmuştur.

Çizelge 4.16. GAMS çözümü ile elde edilen amaç fonksiyonu değeri

z_1	z_2	z_3
69372	37	-12028

Çizelge 4.17'de, örnek problemin GA yöntemi ile çözümü sonucunda elde edilen araç-ekip atama sonuçları yer almaktadır. Buna göre; 1. araca 1. ekip, 2.araca 5. ekip, 3. araca 3. ekip, 4. araca 2. ekip ve 5. araca ise 4. ekip atanmıştır.

Çizelge 4.17. GA çözümü ile elde edilen araç-ekip atama sonucu

Araç	1	2	3	4	5
Ekip	1	5	3	2	4

Çizelge 4.18'de, örnek problemin GA yöntemi ile çözümü sonucunda elde edilen araç-rota atama sonuçları yer almaktadır. Buna göre; 1. araç 2-4-7 rotasına, 2. araç 11-6-8 rotasına, 3. araç 3-1-10-14 rotasına, 4. araç 12-9-13 rotasına ve 5. araç ise 15-5 rotasına atanmıştır.

Çizelge 4.18. GA çözümü ile elde edilen araç-rota atama sonucu

A1	2	4	7	-
A2	11	6	8	-
A3	3	1	10	14
A4	12	9	13	-
A5	15	5	-	-

Çizelge 4.19'da örnek problemin GA yöntemi ile çözümü sonucunda elde edilen skalerleştirilmiş F_{uyum} değeri ve bu çözümü oluşturan z_1 ve z_2 değerleri belirtilmiştir. GA yöntemi ile yapılan çözüme göre; toplam seyahat maliyeti 65923 pb. ve ekip-hasta atamaları sonucunda elde edilen yetkinlik değerleri toplamı 40 olarak bulunmuştur. Bu doğrultuda, GAMS ile -12028 olarak elde edilen z_3 amaç fonksiyonu değerine karşı, GA ile ulaşılan F_{uyum} değeri -22077 olarak kaydedilmiştir.

Çizelge 4.19. GA çözümü ile elde edilen amaç fonksiyonu değeri

z_1	z_2	F_{uyum}
65923	40	-22077

GA çözümünü başlangıç çözüm kabul eden ve çözüme F_{uyum} = -22077 noktasından başlayan GA-TB melez yöntemi ile elde edilen çözümler aşağıda belirtilmiştir. Çizelge 4.20'de yapılan çözüm ile elde edilen araç-ekip atama sonuçları yer almaktadır. Buna göre; 1. araca 2. ekip, 2.araca 3. ekip, 3. araca 4. ekip, 4. araca 5. ekip ve 5. araca ise 1. ekip atanmıştır.

Çizelge 4.20. GA-TB çözümü ile elde edilen araç-ekip atama sonucu

Araç	1	2	3	4	5
Ekip	2	3	4	5	1

Çizelge 4.21'de, örnek problemin GA-TB yöntemi ile çözümü sonucunda elde edilen araç-rota atama sonuçları yer almaktadır. Buna göre; 1. araç 1-10-6-8 rotasına, 2. araç 4-3 rotasına, 3. araç 15-9-7 rotasına, 4. araç 11-14-5 rotasına ve 5. araç ise 2-12-13 rotasına atanmıştır.

Çizelge 4.21. GA-TB çözümü ile elde edilen araç-rota atama sonucu

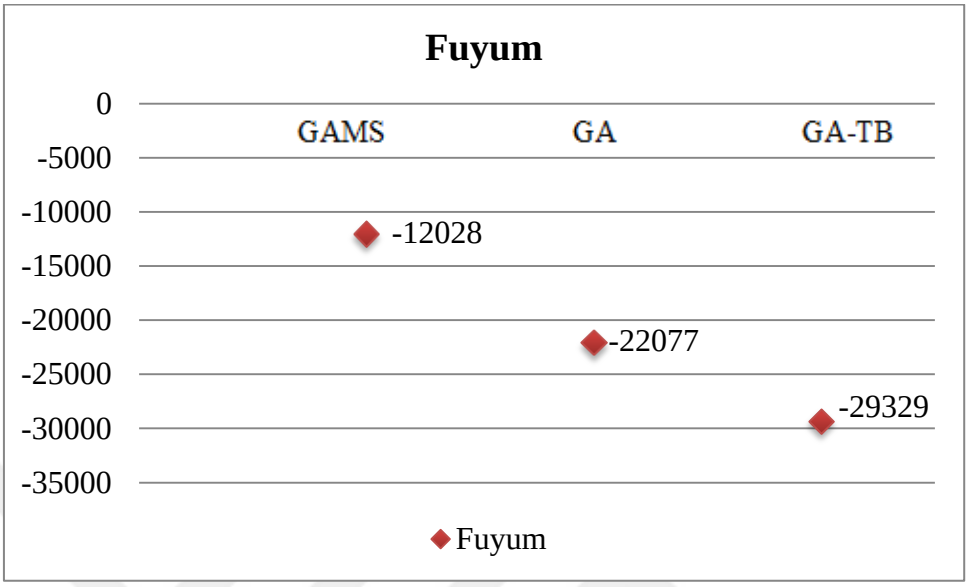
A1	1	10	6	8
A2	4	3	-	-
A3	15	9	7	-
A4	11	14	5	-
A5	2	12	13	-

Çizelge 4.22'de örnek problemin GA-TB ile çözümü sonucunda elde edilen skalerleştirilmiş F_{uyum} amaç fonksiyonunun değeri ve bu çözümü oluşturan z_1 ve z_2 değerleri belirtilmiştir. GA-TB melez yöntemi ile yapılan çözüme göre; toplam seyahat maliyeti 63071 pb. değeri ile, GAMS ve GA ile bulunan maliyet değerine göre daha az olarak bulunmuştur. Bunun yanı sıra, ekip-hasta atamaları sonucunda elde edilen yetkinlik değerleri toplamı 42 olarak elde edilmiş ve diğer iki yönteme göre daha iyi bir sonuç sağlanmıştır.

Çizelge 4.22. GA-TB çözümü ile elde edilen amaç fonksiyonu değeri

z_1	z_2	F_{uyum}
63071	42	-29329

Şekil 4.1'de de görüldüğü üzere; F_{uyum} değeri GAMS ile -12028, GA -22077 olarak bulunurken GA-TB melez yöntemi ile -29329 değeri elde edilmiştir.



Şekil 4.1. Yöntemlere göre amaç fonksiyonunun aldığı değerler

4.4. Test Problemlerinin Çözümü

Bu bölümde; türetilen küçük, orta ve büyük boyutlu yirmi üç farklı test probleminin, çalışma kapsamında geliştirilen yöntemler ile çözümü araştırılmış ve elde edilen sonuçlar ışığında yöntemlerin karşılaştırması yapılmıştır.

İlk olarak, türetilen test problemlerinin GAMS yazılımındaki CPLEX çözücü kullanılarak çözümü araştırılmış ve z_3 amaç fonksiyonu için elde edilen *en iyi çözüm* değerleri ile *çözüm süreleri* kayıt altına alınmıştır. İkinci yöntem olan GA ile, her problem grubu için belirlenmiş olan parametre setleri ile problemlerin yirmi kez çözümü yapılmıştır. Elde edilen her bir çözümün; *çözüm süresi, en iyi çözüm değeri, en kötü çözüm değeri, ortalama çözüm değeri* ve *çözümlerin standart sapması* değerleri kaydedilmiştir. Daha sonra, yirmi tekrarlı GA çözümleri sonucunda elde edilmiş olan ***en iyi çözüm*** değerlerini başlangıç çözüm olarak kabul eden TB Algoritması ile de aynı problemin on kez çözümü yapılmıştır. Geliştirilen yöntemler ile elde edilen çözüm sonuçları Çizelge 4.23'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.23. Yöntemlere göre çözüm sonuçlarının karşılaştırılması

YÖNTEM	GAMS		GA					GA-TB				
PROBLEM	Süre (sn)	F_{uyum} En iyi	Ort. Süre (sn)	F_{uyum} En iyi	F_{uyum} En kötü	F_{uyum} Ortalama	F_{uyum} ss	Ort. Süre (GA+TB sn)	F_{uyum} En iyi	F_{uyum} En kötü	F_{uyum} Ortalama	F_{uyum} ss
KP1	*1**	**-3492**	*1,02*	**-3492**	**-3492**	**-3492**	**0**	10,68	**-3492**	**-3492**	**-3492**	**0**
KP2	*2,56**	**-4957**	*1,53*	**-4957**	-3937	-4855	314	10,43	**-4957**	**-4957**	**-4957**	**0**
KP3	*61,56**	**-1785**	*2,50*	**-1785**	-391	-1291	626	10,29	**-1785**	**-1785**	**-1785**	**0**
KP4	*30,87**	**-6331**	*2,61*	**-6331**	-121	-4413	1998	12,62	**-6331**	**-6331**	**-6331**	**0**
KP5	*912,93**	**-282**	*10,28*	**-282**	556	-167	235	19,54	**-282**	**-282**	**-282**	**0**
OP1	*10800***	**-6749**	*18,73*	**-6749**	-3659	-5711	966	52,87	**-6749**	**-6749**	**-6749**	**0**
OP2	*10800***	**-7015**	*19,10*	**-7015**	-6847	-6993	38	52,73	**-7015**	**-7015**	**-7015**	**0**
OP3	*10800***	**-12227**	*21,23*	**-12227**	-7039	-10272	1830	50,91	**-12227**	**-12227**	**-12227**	**0**
OP4	*9994,38***	-24856	*24,31*	**-31928**	-15831	-23887	4217	60,55	**-32418**	**-32418**	**-32418**	**0**
OP5	*9145,56***	13162	*28,84*	**-10035**	6419	-1114	4385	65,72	**-11303**	**-11303**	**-11303**	**0**
OP6	*9897,05***	-12028	*24,23*	**-22077**	-8082	-15047	3850	149,64	**-29329**	-25560	-27805	1131
OP7	*10800****	-	*35,23*	-23479	1685	-10545	6372	155,16	-35935	-24846	-32657	3526
OP8	*10800****	-	*46,57*	-23449	-6745	-14212	5297	234,11	-46421	-41335	-44221	1726
OP9	*10800****	-	*75,22*	-40734	-6753	-19507	10537	337,22	-68337	-60770	-64942	2280
BP1	*10800****	-	*125,76*	-72747	-22280	-50621	10661	342,34	-101525	-90989	-96927	3116
BP2	*10800****	-	*231,02*	-72050	-14979	-47740	14079	441,75	-114704	-100468	-108295	4841
BP3	*10800****	-	*210,18*	-58011	-9551	-36914	11751	432,02	-117408	-103214	-111430	4934
BP4	*10800****	-	*203,54*	-71744	-23696	-48396	14825	424,40	-145040	-132840	-137774	3756
BP5	*10800****	-	*360,36*	-93150	-46891	-76676	12672	626,99	-172053	-165280	-168764	2320
BP6	*10800****	-	*388,14*	-	-41638	-81731	17155	643,34	-197825	-184461	-190923	4433
BP7	*10800****	-	*334,13*	-	-37486	-82325	19374	624,63	-209711	-190291	-201409	6565
BP8	*10800****	-	*556,85*	-	-48244	-92952	22385	922,82	-233163	-210868	-220226	6451
BP9	*10800****	-	*619,40*	-	-8296	-72667	22057	1.009,93	-222131	-198297	-212383	7534

* bütünsel en iyi çözüm sağlandı ** yerel en iyi çözüm sağlandı *** belirlenen süre içerisinde çözüm elde edilemedi

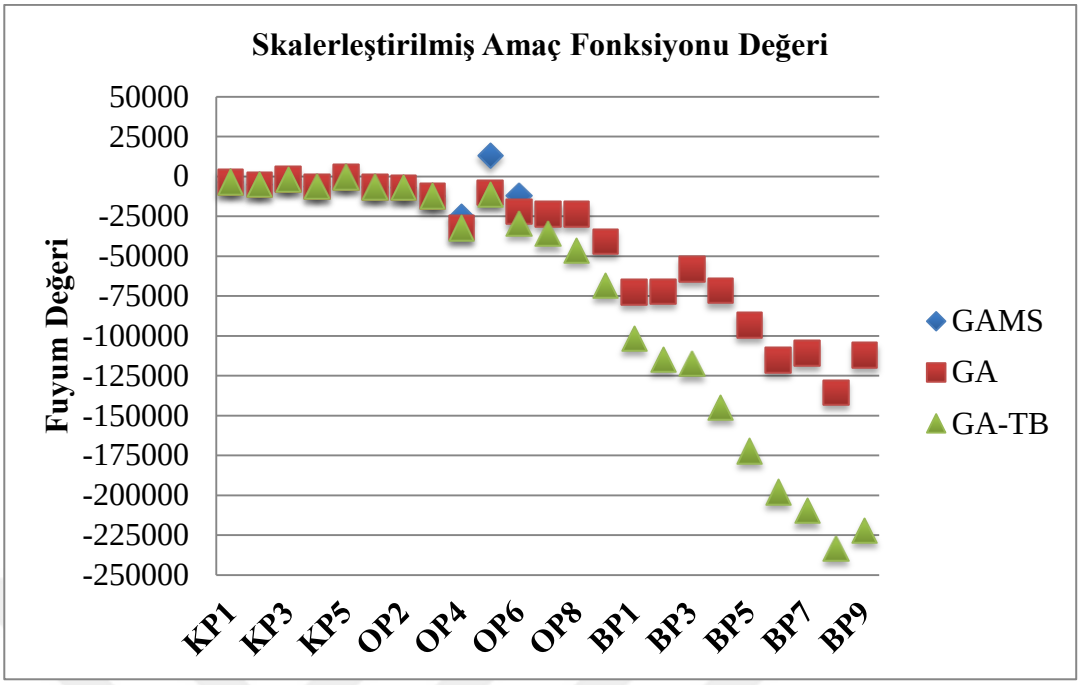
Geliştirilen GA yöntemi ile elde edilen çözüm sonuçları incelendiğinde; küçük boyutlu problemlerde GAMS'in bulduğu en iyi çözümlere, yöntemin çok daha kısa bir sürede ulaşabildiği görülmektedir. Orta boyutta GAMS'in çözüm bulabildiği problemlere bakıldığındaysa, GA yönteminin daha kısa sürede daha iyi sonuçlar elde edebildiği belirlenmiştir. Örneğin GAMS, "OP4" problemini 9994,38 saniyede çözmüş ve z_3 değerini -24856 olarak bulmuştur. Buna karşın geliştirilen GA yöntemi, aynı problemi 24,31 saniye gibi kısa bir sürede çözmüş ve F_{uyum} değerini -31928 olarak bulmuştur.

Geliştirilen GA-TB melez yöntemiyle ise elde edilen çözüm sonuçları incelendiğinde; GA'da olduğu gibi küçük boyutlu problemlerde GAMS'in bulduğu en iyi çözümlere, çok kısa bir sürede ulaşabilmiştir. Orta boyutta da yine benzer şekilde GAMS'in çözüm bulabildiği problemler için kısa sürede daha iyi sonuçlar elde edebildiği görülmektedir. Her bir problem için tabloda yer alan en iyi GA çözümünü başlangıç çözüm olarak kabul eden ve bu çözüm değerleri üzerinden TB Algoritma adımlarını uygulayan GA-TB melez yönteminin çözüm süresi, GA ve TB Algoritma adımlarının çözüm sürelerinin toplamı kadardır. Dolayısı ile GA yönteminin çözüm süresi GA-TB melez yöntemine göre daha kısadır. Ancak çizelge 4.23'te belirtilen tüm problemler için; elde edilen en iyi çözüm değerleri, en kötü çözüm değerleri, ortalama çözüm değerleri ve çözümlerin standart sapma değerleri incelendiğinde GA-TB melez yönteminin etkinliği ve başarısı görülebilmektedir. Çizelge 4.24'te, ise test problemlerinin skalerleştirilmiş z_3 amaç fonksiyonu için çözümüne karşı gelen z_1 ve z_2 amaç fonksiyonu değerleri yer almaktadır.

Çizelge 4.24. En iyi çözüm değerlerine karşı gelene z_1 ve z_2 çözüm değerleri

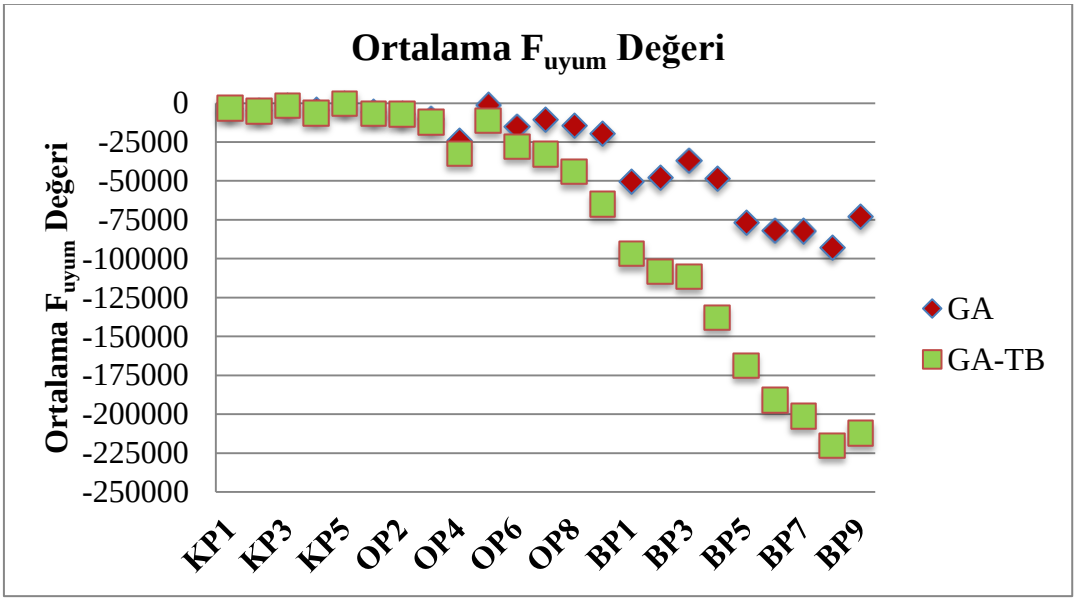
YÖNTEM	GAMS		GA		GA-TB	
PROBLEM	z_1	z_2	z_1	z_2	z_1	z_2
KP1	**14108**	**8**	**14108**	**8**	**14108**	**8**
KP2	**21443**	**12**	**21443**	**12**	**21443**	**12**
KP3	**31215**	**15**	**31215**	**15**	**31215**	**15**
KP4	**24469**	**14**	**24469**	**14**	**24469**	**14**
KP5	**32718**	**15**	**32718**	**15**	**32718**	**15**
OP1	**35051**	**19**	**35051**	**19**	**35051**	**19**
OP2	**39185**	**21**	**39185**	**21**	**39185**	**21**
OP3	42773	25	40573	24	40573	24
OP4	47744	33	51672	38	46782	36
OP5	90162	35	73565	38	72297	38
OP6	69372	37	65923	40	63071	42
OP7	-	-	93121	53	78465	52
OP8	-	-	119551	65	114179	73
OP9	-	-	135266	80	120863	86
BP1	-	-	140653	97	118475	100
BP2	-	-	156750	104	142696	117
BP3	-	-	192789	114	157592	125
BP4	-	-	209856	128	171760	144
BP5	-	-	221450	143	168947	155
BP6	-	-	219306	152	189375	176
BP7	-	-	258738	168	210489	191
BP8	-	-	280153	189	222237	207
BP9	-	-	321420	197	264069	221

Şekil 4.2'de tüm problemlerin çözümünde GAMS, GA ve GA-TB yöntemleri ile elde edilen F_{uyum} amaç fonksiyonu değerleri gösterilmektedir. Grafiğe göre; küçük boyutlu problemlerin en iyi çözümünün elde edilmesinde, geliştirilen meta sezgisel yöntemlerin başarılı olduğu, orta ve büyük boyutlu problemlerin çözümü için ise GA ve GA-TB meta sezgisel yöntemlerinin tercih edilebileceği söylenebilir.



Şekil 4.2. Amaç fonksiyonu değerine göre yöntemlerin karşılaştırılması

Şekil 4.3'te, GA ve GA-TB yöntemleri ile tekrarlı yapılan çözümlerin ortalama F_{uyum} değerleri gösterilmektedir.



Şekil 4.3. Amaç fonksiyonu ve uyum değerlerine göre GA ve GA-TB yöntemlerinin karşılaştırılması

Bu çalışmada, geliştirilen yöntemlerin performansını değerlendirmek için kullanılan değerlendirme ölçütlerinden biri de, Attar ve diğerlerinin (2013) yapmış oldukları çalışmada kullandıkları Göreceli Yüzde Sapma (GYS) ölçütüdür. Buna göre; her bir yöntem ile yapılan tekrarlı testler sonucunda elde edilen en iyi çözüm değerlerinin, o problemin bilinen en iyi çözüm değerinden sapması göz önünde bulundurulmuştur. Belirtilen Eşitlik (4.2) ve (4.3)'e göre, yöntemler ile elde edilen çözüm sonuçları dönüştürülmektedir.

$$\text{GYS} = \frac{|\text{Algoritmanın Çözümü} - \text{Problemin En iyi Çözümü}|}{\text{Problemin En iyi Çözümü}} \; x\; 100 \qquad (4.2)$$

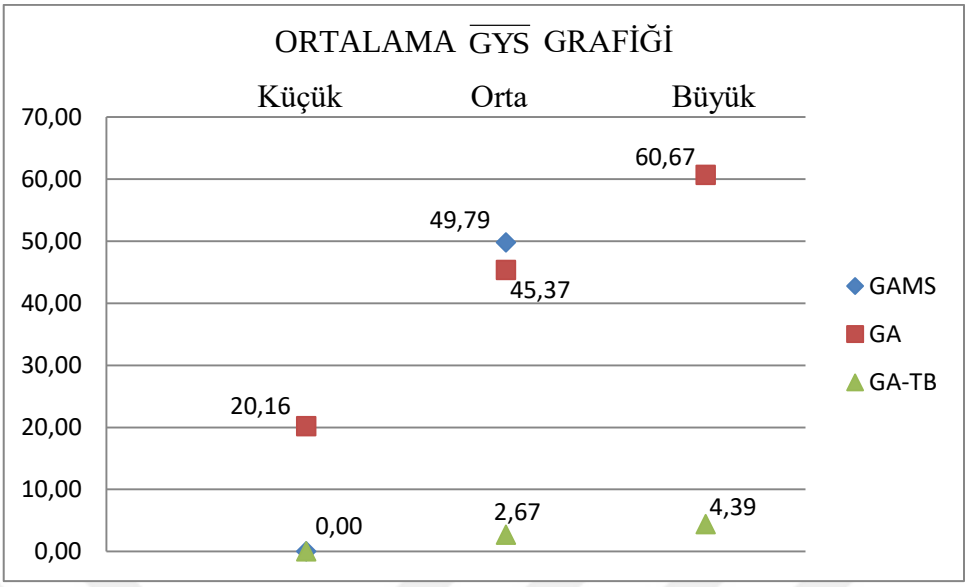
$$\overline{\text{GYS}} \quad = \frac{\sum_{i=1}^{Tekrar\ Sayısı} |\text{GYS}_i|}{\text{Tekrar Sayısı}} \qquad (4.3)$$

Test problemlerinin her biri, yöntemler için belirlenen tekrar sayıları kadar çözülmekte, her problem ve yöntem için Eşitlik 4.2'te belirtilen formül ile GYS değerleri hesaplanmaktadır. Daha sonra her bir problemin, Eşitlik 4.3'e göre Ortalama Göreceli Yüzde Sapma ($\overline{\text{GYS}}$) değerleri bulunmaktadır. Elde edilen değerler, problem boyutlarına göre küçük, orta ve büyük boyutlu olarak gruplandırılmakta ve her bir yöntemin problem boyutuna göre ortalama $\overline{\text{GYS}}$ değeri hesaplanmaktadır. Son durumda ortaya çıkan değerler, geliştirilen yöntemlerin performansının karşılaştırılması için kullanılmaktadır. Şekil 4.4'te, ortaya çıkan ortalama $\overline{\text{GYS}}$ değerlerine göre yöntemlerin karşılaştırma grafiği yer almaktadır. Çizelge 4.25'te ise, problem ve yöntem bazında elde edilen $\overline{\text{GYS}}$ değerleri belirtilmiştir.

Çizelge 4.25. Ortalama $\overline{GYS}$ değerlerine göre yöntemlerin karşılaştırması

YÖNTEMLER		GAMS	GA	GA-TB
PROBLEM		$\overline{GYS}$	$\overline{GYS}$	$\overline{GYS}$
KP1	KP_4_2_2	0,00	0,00	0,00
KP2	KP_5_2_2	0,00	2,06	0,00
KP3	KP_6_2_2	0,00	27,68	0,00
KP4	KP_7_2_2	0,00	30,30	0,00
KP5	KP_8_2_2	0,00	40,78	0,00
ORTALAMA		**0,00**	**20,16**	**0,00**
OP1	OP_8_3_3	0,00	15,38	0,00
OP2	OP_9_3_3	0,00	0,32	0,00
OP3	OP_10_3_3	0,00	15,99	0,00
OP4	OP_14_4_4	23,33	26,32	0,00
OP5	OP_14_5_5	216,45	90,14	0,00
OP6	OP_15_5_5	58,99	48,70	5,20
OP7	OP_20_6_6	-	70,65	9,12
OP8	OP_25_8_8	-	69,38	4,74
OP9	OP_30_9_9	-	71,46	4,97
ORTALAMA		**49,79**	**45,37**	**2,67**
BP1	BP_35_9_9	-	50,14	4,53
BP2	BP_40_10_10	-	58,38	5,59
BP3	BP_45_11_11	-	68,56	5,09
BP4	BP_50_12_12	-	66,63	5,01
BP5	BP_55_13_13	-	55,43	1,91
BP6	BP_60_15_15	-	58,69	3,49
BP7	BP_65_17_17	-	60,74	3,96
BP8	BP_70_17_17	-	60,13	5,55
BP9	BP_75_18_18	-	67,29	4,39
ORTALAMA		**-**	**60,67**	**4,39**

Problem boyutu büyüdüğünde ise, belirlenen süre kısıtı içerisinde GAMS ile herhangi bir büyük boyutlu problemin çözümü sağlanamamaktadır. Geliştirilen GA ve GA-TB yöntemleriyle ise, bilinen en iyi çözümlere sırası ile % 60,67 ve % 4,39 ortalama sapmalar ile ulaşılabildiği görülmektedir. Eldeki sonuçlar değerlendirildiğinde; çalışma kapsamında geliştirilen GA-TB melez yönteminin, tüm problem boyutlarında başarılı bir performansa sahip olduğu açıktır.



Şekil 4.4. Ortalama $\overline{GYS}$ değerlerine göre yöntemlerin karşılaştırması

Çizelge 4.25 ve Şekil 4.4'e göre; GAMS ile küçük boyutlu problemlerin çözümünde elde edilen en iyi değerlere, geliştirilen GA yönteminin tekrarlı testler ile ortalama % 20,16 sapmayla yaklaşılabildiği söylenebilir. Buna karşın, geliştirilen GA-TB melez yönteminin küçük boyutlu problemlerin en iyi çözümüne sıfır sapma ile ulaşabildiği görülmektedir.

Orta boyutlu problemlerin çözümünde; belirli bir noktadan sonra ("OP4 ve sonrasındaki problemler") GAMS ile evrensel en iyi çözümler elde edilemediğinden, GA-TB melez yöntemi ile elde edilen çözümler, problemin en iyi çözümü olarak kabul edilmiştir. Bu doğrultuda elde edilen sonuçlara göre; orta boyutlu problemlerin çözümünde GAMS ile en iyi çözümlere ortalama % 49,79 sapma ulaşılabilirken, GA ile % 45,37 ve GA-TB yöntemi ile ise % 2,67 ortalama sapma ile ulaşılabilmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Gün geçtikçe artan ve yaşlanan nüfusa bağlı olarak hastanelerde yaşanan yoğunluklar, artan kronik hastalıklar ve çeşitli onkolojik vakalar, sağlık personeli ve hastane kapasitelerinin yetersizliği gibi etkenler, ESH uygulamalarına olan ihtiyacı artırmıştır. ESH uygulamalarına olan talebin hızla artmaya devam etmesi, hizmet veren sağlık kuruluşlarının hizmet operasyonlarının planlanmasını, organize edilmesini ve yönetilmesini oldukça önemli hale getirmiştir. Bu doğrultuda; hastalara hangi zaman diliminde, hangi sağlık personelinin hizmet vereceği, ekiplerin hangi araçlar ile nasıl bir rota izleyeceği gibi önemli karar problemleri ortaya çıkmaktadır. Literatürde ele alınan çalışmalara göz atıldığında; temel amacın, ortaya çıkan hizmet maliyetlerinin en küçüklenmesi olduğu görülmektedir. Bunun yanı sıra bu çalışma ile, ESH kapsamında hastalara sunulan hizmet seviyesinin bir göstergesi olarak kabul edilen sağlık personeli/ekip hizmet yetkinlik düzeylerinin de probleme dahil edilmesi sağlanmış ve böylece hasta memnuniyet seviyesinin artırılması amaçlanmıştır.

Bu çalışmada, hastaların hizmet zaman penceresi kısıtını göz önünde bulunduran ve hizmet veren sağlık ekiplerinin uzmanlık seviyelerini dikkate alarak en uygun hasta-ekip atamasını hedefleyen "*ESH'de ZPARP*" problemi ele alınmıştır. Ele alınan problemi temsil eden küçük, orta ve büyük boyutta test problemleri türetilmiş ve bu problemlerin çözümü için 0-1 karma tamsayılı bir matematiksel model, GA ve GA ile TB yöntemlerini bünyesinde barındıran bir melez yöntem geliştirilmiştir. Problemin çözümü için geliştirilen bu yöntemler, amaç fonksiyonunun aldığı değerlere ve çözüm sürelerine göre birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçlarına göre; geliştirilen matematiksel modelin, küçük ve bazı orta boyutlu problemler için makul sürede çözüm elde edebildiği ancak, problem boyutu arttıkça herhangi bir çözüm elde edemediği görülmüştür. Buna karşın geliştirilen GA ve GA-TB melez yöntemlerinin; küçük boyutlarda en iyi çözümleri elde edebildiği, orta ve büyük boyutlarda ise makul sürelerde uygun çözümler bulduğu görülmüştür. Ayrıca yöntemlerin performansı; amaç fonksiyonu/uyum değerleri, çözüm süreleri ve literatürde yer alan GYS değerlendirme ölçütüne göre analiz edilmiş ve buna göre geliştirilen GA-TB melez yönteminin başarısı ortaya konmuştur.

Gelecek çalışmalarda; hasta memnuniyetinin yanı sıra, hasta öncelikleri ve hizmet veren sağlık personellerinin memnuniyet seviyesi de dikkate alınabilir. Bunun yanı sıra; hastalar arası ulaşım süreleri, hastaların hizmet süresi ve zaman penceresinin belirsizliği gibi önemli parametreler modele yansıtılarak, gerçek hayat uygulamalarına benzerlik artırılabilir. Bununla birlikte, geliştirilen meta sezgisel yöntemlerde kullanılan parametrelerin probleme göre dinamik bir hale dönüştürülmesi ile, daha etkin ve hızlı çözümler üreten yeni yöntemler elde edilebilir. Ayrıca; literatürde yer alan diğer meta sezgisel yöntemler ile de ele alınan bu problemin çözümü araştırılabilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Agatz, N., Campbell, A.M., Fleischmann, M., Savels, M., 2008, Challenges and opportunities in attended home delivery. In: The Vehicle Routing Problem: Latest Advances and New challenges, Springer, pp. 379–396.

Akjiratikarl, C., Yenradee, P., Drake, P.R., 2007, Pso-based algorithm for home care worker scheduling in the uk. Comput. Industr. Eng. 53, 559–583.

Alodhayani, A.A., 2017, Comparison between home health care and hospital services in elder population: cost-effectiveness, Biomed. Res. 28, 2087–2090.

Attar, S. F., Mohammadi, M., & Tavakkoli-Moghaddam, R., 2013, Hybrid flexible flowshop scheduling problem with unrelated parallel machines and limited waiting times, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 68(5-8), 1583-1599.

Austin, S., 1989, Introduction of genetic algorithm. Arti®cial Intelligence Expert, Mary 49-53.

Avcı, Y., 2008, Sonlu eleman model güncellemesi tekniğinde benzetilmiş tavlama kullanılarak mekanik sistemlerde hasar tespiti, İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.

Ayan, T. Y., 2009, Kaynak kısıtlı çoklu proje programlama problemi için tavlama benzetimi algoritması, Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, Cilt: 23, Sayı: 2.

Beckman, F. R., Klyve, K. K., 2016, Optimisation-Based nurse scheduling for real-life instances, Norveç Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.

Braekers K., Hartl R.F., Paragh S.N., Tricoire F., 2016, A bi-objective home care scheduling problem: Analyzing the trade-off between costs and client inconvenience, European Journal of Operational Research 248, 428–443.

Clarke G., Wright J. W., 1964, "Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points", Operations Research, c. 12, sf. 568-581.

Cömert S. E., Yazgan H. R., Sertvuran İ., Şengül H., 2018, Sıkı zaman pencereli araç rotalama probleminin çözümü için yeni bir yöntem önerisi ve bir süpermarket zaman pencereli araç rotalama problemi için iki aşamalı bir Çözüm yöntemi önerisi uygulanması, Journal of Natural and Applied Sciences Volume 22, Issue 2 685-694.

Cömert S. E., Gül S., Yazgan H. R., Kır S., 2015, Zaman pencereli araç rotalama problemi için iki aşamalı bir çözüm yöntemi önerisi, https://www.researchgate.net/publication/281838335.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Çakar, K., 2009, Genetik algoritmalar yardımıyla acil servis istasyonu yerleşimini optimizasyonu, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Dantzig, G. B., Ramser, J. H., 1959, The TruckDispatching Problem, Management Science, 6,80-91.

Decerle J., Grunder O., El Hassani A.H., Barakat O., 2018, A memetic algorithm for a home health care routing and scheduling problem, Operations Research for Health Care 16:59– 71.

Decerle J., Grunder O., El Hassani A.H., Barakat O., 2019, A hybrid memetic-ant colony optimization algorithm for the home health care problem with time window, synchronization and working time balancing, Swarm and Evolutionary Computation 46, 171–183.

Demirbilek M., Branke J., Strauss A., 2019, Home healthcare routing and scheduling of multiple nurses in a dynamic environment, Flexible Services and Manufacturing Journal.

Du, G., Liang, X., Sun, C., 2017, Scheduling optimization of home health care service considering patients' priorities and time windows, www.mdpi.com/journal/sustainability, 9, 253.

Düzakın, E. ve Demircioğlu, M., 2019, Araç rotalama problemleri ve çözüm yöntemleri, Çukurova Üniversitesi İİBF Dergisi, 13, 1, 68-87.

Eglese, R.W., 1990, Simulated Annealing: A tool for operational research, European Journal of Operational Research 34, 600-612.

Erdem, M. ve Koç, Ç., 2019, Analysis of electric vehicles in home health care routing problem, Journal of Cleaner Production 234, 1471-1483.

Fathollahi-Fard AM, Hajiaghaei-Keshteli M, Tavakkoli-Moghaddam R., 2018, A bi-objective green home health care routeing problem, Journal of Cleaner Production 200:423–443.

Fathollahi-Fard AM, Hajiaghaei-Keshteli M, Mirjalili S., 2019, A set of efficient heuristics for a home healthcare problem, Neural Computing and Applications 1-21.

Frifita, S., Masmoudi, M., Euchi, J., 2017, General variable neighborhood search for home healthcare routing and scheduling problem with time windows and synchronized visits, Electronic Notes in Discrete Mathematics 58, 63–70.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Grenouilleau, F., Legrain, A., Lahrichi N., Rousseau L.M., 2019, A set partitioning heuristic for the home health care routing and scheduling problem, European Journal of Operational Research 275, 295–303.

Grenouilleau, F., Legrain, A., Lahrichi N., Rousseau L.M., 2019, New decomposition methods for home care scheduling with predefined visits, interuniversity research centre on enterprise networks, logistics and transportation) and departmant of mathematics and industrial engineering, Polytechnique Montreal.

Gözüdeli, Y., Akcayol, M.A., 2008., XML Veritabanı için tavlama benzetimi ile sorgu optimizasyonu, Bilişim Teknolojileri Dergisi, Cilt: 1 Sayı: 1 Sayfa: 21-30.

Gülsün, B., Tuzkaya, G., Bildik, E., 2008, Reverse logıstıcs network desıgn: A sımulated annealıng approach, Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, Cilt: 26 Sayı: 1 Sayfa: 68-80.

İşlier A.A., 1995, İmalat problemlerinde genetik algoritmalar, Otomasyon Dergisi, Ocak, 94-98.

Jemai, J., Chaieb, M., Mellouli, K., 2013, The Home Care Scheduling Problem: A modeling and solving issue, modeling, simulation and applied optimization, 2013 5th International Conference.

Hulshof, P.J.H. , Kortbeek, N. , Boucherie, R.J. , Hans, E.W. , Bakker, P.J.M., 2012, Taxonomic classification of planning decisions in health care: a structured review of the state of the art in OR/MS. Health Syst. 1 (2), 129–175.

Karasoy.,O., Ballı.,S., 2016, Google maps ve genetik algoritmalarla GSP çözümü için öneri, 18. Akademik Bilişim Konferansı.

Kirkpatrick, S.,Gelatt, C. D.,Vecchi, M. P., 1983, Optimization by simulated anneling, Science, New Series, 671-680.

Li, Z., Kucukkoc, I., Nilakantan, J.M., 2017, Comprehensive review and evaluation of heuristics and meta-heuristics for two-sided assembly line balancing problem, Comput. Oper. Res. 84, 146-161.

Liu, R., Yuan, B., Jiang, Z., 2017, Mathematical model and exact algortihm fort he home care worker scheduling and routing problem with lunch break requirements, International Journal of Production Research, 55:2, 558-575.

Liu, M., Dapeng, Y., Qiang, S., Lujun, X., 2018, Bi-objective approaches for home healthcare medical team planning and scheduling problem, Sociedade Brasileira de Matemática Aplicada e Computacional 37:4443–4474.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Mankowska, D.S., Meisel, F., Bierwirth, J., 2014, The home health care routing and scheduling problem with interdependent services, Health Care Manag Sci 17:15–30.

Metropolis, N., Rosenbluth, A.W., Rosenbluth, M.N., Teller, A.H., Teller, E., 1958, Equations of state calculations by fast computing machines, J. Chem. Phys., 21, 1087-1092.

Mosquera, F., Smet, P., Vanden-Berghe, B., 2018, Flexible home care scheduling, Omega 83, 80–95.

Mutingi, M., Mbohwa, C., 2013, Home healthcare worker scheduling: A group genetic algorithm approach, Proceedings of the World Congress on Engineering, Londra.

Mutingi, M., Mbohwa, C., 2014, Healthcare staff scheduling in a fuzzy environment: A fuzzy genetic algorithm approach , International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, Bali.

Myers, R. H., Montgomery, D. C., 1995, Response surface methodology: process and product optimization using designed experiments, Wiley, New York.

Özsüt, Z., 2015, Konteynır yükleme problemleri için matematiksel modeller ve çözüm yöntemleri, Yüksek Lisans tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 78 s.

Reeves, C. R., Smith, G. D., Rayward-Smith, V. J., Osman, I. H., 1993, "Modern heuristic techniques for combinatorial problems", John Wiley&Sons, Inc. New York, Toronto.

Rest, K.D., Hirsch, P., 2016, Daily scheduling of home health care services using time dependent public transport, Flex Serv Manuf J 28(3):495.

Saraç, T., Özçelik, F., 2006, Alternatif rotaların varlığında üretim hücrelerinin genetik algoritma kullanılarak oluşturulması, Endüstri Mühendisliği Dergisi, Cilt: 17 Sayı: 4 Sayfa: (22-36).

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 and delivery, International Federation of Automatic Control PapersOnLine 52-13, 118–123.

Shi, Y., Boudouh, T., Grunder, O., Wang, D., 2018, Modeling and solving simultaneous delivery and pick-up problem with stochastic travel and service times in home health care, Expert Systems With Applications 102, 218–233.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Shi, Y., Boudouh, T., Grunder, O., 2019,. A robust optimization for a home health care routing and scheduling problem with consideration of uncertain travel and service times, Transportation Research Part E 128, 52–95.

Sipahioğlu, A., Saraç T., 2010, Çok amaçlı sırt çantası probleminin çözümüne yeni bir yaklaşım: konik skalerleştirme, Endüstri Mühendisliği dergisi, 21, 4, 2-12.

Şahin, Y., ve Eroğlu, A., 2015, Sipariş toplama ve kapasite kısıtlı araç rotalama problemlerinin hiyerarşik çözümü, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 1, 15-18.

Şenbay, Ç., 2018, Bir iplik fabrikasında siparişlere hızlı cevap verebilecek bir çizelgeleme yaklaşımı, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.

Taş, C., Bedir, N., Eren, T., Alakaş, H.M., Çetin, S., 2018, Evde sağlık hizmetlerinde araç rotalama ile güzergahların belirlenmesi: devlet hastanesinde bir uygulama, Uluslararası Sağlık Yönetimi ve Stratejileri Araştırma Dergisi, 4(3):264 -28.

Taş, D., Jabali, O., Woensel, T. V., 2014, A vehicle routing problem with flexible time windows. Computers & Operations Research, 52, 39–54.

Tohidifard, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., Navazzi, F., Partovi, M., 2018, A multi depot home care routing problem with time windows and fuzzy demands solving by particle swarm pptimization and genetic algorithm, International Federation of Automatic Control PapersOnLine 51-11 ,358–363.

Wirnitzer, J., Heckmann, I., Meyer, A., Nickel, S., 2016, Patient-based nurse rostering in home care, Oper Res Health Care 8:91.

Zhan Y., Wan G., 2018, Vehicle routing and appointment scheduling with team assignment for home services, Computers and Operations Research 100:1–11.

EK AÇIKLAMALAR

Ek Açıklama-A: OP_15_5_5 probleminin verilerine ilişkin MATLAB kodları (GA)

Ek Açıklama-B: OP_15_5_5 probleminin verilerine ilişkin MATLAB kodları (GA-TB)

Ek Açıklama-A: OP_15_5_5 probleminin verilerine ilişkin MATLAB kodları (GA)

```
clear all

clc

global hasta ekip arac hasta_arasi_mesafe hasta_arasi_sure baslangic_hasta_mesafe
hedef_hasta_mesafe baslangic_hasta_sure hedef_hasta_sure hasta_hizmet_suresi
hastaya_tasinan_ilac ekip_hasta_yetkinlik arac_kapasite arac_birim_uzaklik_maliyet
hasta_erken_hizmet hastaya_gec_hizmet baslangic_erken_cikis baslangic_gec_cikis
hedef_erken_varis hedef_gec_varis ekip_arac_seyahat_siniri arac_birim_mesafe_maliyeti

hasta=15;  %hasta sayısı
ekip=5;    %arac sayısı
arac=5;    %ekip sayısı

hasta_arasi_mesafe=[0  8391  3050  7536  3038  5284  5289  5814  6948  1287
4535  11133  9456  2295  6789
8391  0  5814  873 7497  9780  5211  9244  4295  8012  4520  2994  8029
7899  2319
3050  5814  0  4942  1901  4701  2354  4647  3915  2271  3385  8311  6873
2104  3889
7536  873 4942  0  6639  8974  4444  8475  3724  7139  3820  3717  7619
7029  1613
3038  7497  1901  6639  0  2864  2884  3020  4655  1764  5219  9739  6479
814 5361
5284  9780  4701  8974  2864  0  4604  1048  6065  4095  8069  11564  5973
3191  7487
5289  5211  2354  4444  2884  4604  0  4034  1773  4252  4857  7030  4632
3595  2898
5814  9244  4647  8475  3020  1048  4034  0  5312  4553  8023  10829  4926
3566  6927
6948  4295  3915  3724  4655  6065  1773  5312  0  5985  5541  5517  4019
5366  2151
1287  8012  2271  7139  1764  4095  4252  4553  5985  0  4728  10579  8223
1009  6159
4535  4520  3385  3820  5219  8069  4857  8023  5541  4728  0  7506  9377
5148  4011
11133  2994  8311  3717  9739  11564  7030  10829  5517  10579  7506  0
8180  10284  4427
9456  8029  6873  7619  6479  5973  4632  4926  4019  8223  9377  8180  0
7289  6132
2295  7899  2104  7029  814 3191  3595  3566  5366  1009  5148  10284
7289  0  5867 6789  2319  3889  1613  5361  7487  2898  6927  2151  6159
4011  4427  6132  5867  0 ];
```

Ek Açıklama-A: (devam)

```
hasta_arasi_sure=[0 18  7   16  7   11  11  12  15  4   10  23  20  6   14
18  0   12  3   16  20  11  19  9   17  10  7   17  17  6
7   12  0   11  5   10  6   10  9   5   8   17  15  5   9
16  3   11  0   14  19  10  18  8   15  9   8   16  15  4
7   16  5   14  0   7   7   7   10  4   11  20  14  3   12
11  20  10  19  7   0   10  3   13  9   17  24  13  7   16
11  11  6   10  7   10  0   9   5   9   11  15  10  8   7
12  19  10  18  7   3   9   0   12  10  17  22  11  8   15
15  9   9   8   10  13  5   12  0   13  12  12  9   12  5
4   17  5   15  4   9   9   10  13  0   10  22  17  3   13
10  10  8   9   11  17  11  17  12  10  0   16  20  11  9
23  7   17  8   20  24  15  22  12  22  16  0   17  21  10
20  17  15  16  14  13  10  11  9   17  20  17  0   15  13
6   17  5   15  3   7   8   8   12  3   11  21  15  0   13
14  6   9   4   12  16  7   15  5   13  9   10  13  13  0];

baslangic_hasta_mesafe=[6829  2337  4875  1940  6760  9428  5292  9129  5152
6767  2450  5290  9167  6935  3056];

hedef_hasta_mesafe=[4382  7815  2882  7001  1374  1980  2692  1765  4300
3096  6262  9716  5314  2093  5537];

baslangic_hasta_sure=[15   6   11  5   14  20  11  19  11  14  6   11  19  15  7];

hedef_hasta_sure=[10   16  7   15  4   5   6   4   10  7   13  20  12  5   12];

hasta_hizmet_suresi=[20 30  50  40  50  30  40  20  60  30  30  60  30  30  50

hastaya_tasinan_ilac=[50   90  50  50  100 80  90  30  40  90  80  100 60  100 70];

ekip_hasta_yetkinlik=[ 1   3   1   2   1   3   3   2   2   2   2   3   3   2   2
                       3   1   1   2   2   3   2   2   3   3   3   3   3   1   1
                       2   2   2   3   3   1   2   2   1   3   2   3   1   2   1
                       2   2   1   1   3   3   2   1   3   2   3   1   2   2   3
                       1   3   2   1   3   2   1   3   1   3   3   2   3   3   3  ]

arac_kapasite=[300 300 300 300 300];

arac_birim_uzaklik_maliyet=[1 1 1 1 1];

hasta_erken_hizmet=[2 3 2 0 5  0 3  4  0  6  0  1  10 9  1];

hastaya_gec_hizmet=[1000   3080   1040   3560   4700   2350   3970   3960   2100
3500   1320   4610   1190   1050   3790];
```

Ek Açıklama-A: (devam)

```
baslangic_erken_cikis=0;
baslangic_gec_cikis=10000;
hedef_erken_varis=0;
hedef_gec_varis=10000;
ekip_arac_seyahat_siniri=[48170   38410   30180   31560   41690
                          34250   37630   27650   26810   33540
                          32110   39350   43970   30060   27410
                          44440   30020   43320   46180   49260
                          30750   25570   41620   30220   46900];

nvars=arac+hasta+(arac-1);  %kromozomun büyüklüğü
lb=zeros(1,nvars);
ub=ones(1,nvars);

pop=700;        %population size
gen=250;        %generation size
elite_count=70;  %elite count number
xover_fract=0.70;    %crossover ratio
mutation_fract=0.09; %mutation ratio

tic
options=gaoptimset('InitialPopulation',(rand(pop,nvars)),'PopulationSize',pop,'Generations'
,gen,'EliteCount',elite_count,'CrossoverFcn',@crossoversinglepoint,'CrossoverFraction',xo
ver_fract,'MutationFcn',{@mutationadaptfeasible,mutation_fract},'SelectionFcn',@selectio
nroulette,'PlotFcns',@gaplotbestf,'TolFun',0.000000000001);
[x,fval]=ga(@fitness_vrp,nvars,[],[],[],[],lb,ub,[],options);
toc

[arac_ekip,arac_rota] = chromosome_decode(x);
[hasta_hizmet_zamani,arac_varis_zamani,arac_katedilen_mesafe,arac_tasinan_ilac,arac_h
asta_yetkinlik] = output_calc(arac_ekip,arac_rota);

[pen1,pen2,pen3,pen4] =
penalties(arac_ekip,arac_rota,arac_katedilen_mesafe,arac_tasinan_ilac);
arac_ekip
arac_rota
hasta_hizmet_zamani
arac_varis_zamani
arac_katedilen_mesafe
arac_tasinan_ilac
arac_hasta_yetkinlik
pen1
pen2
pen3
pen4
pen5
```

Ek Açıklama-B: OP_15_5_5 probleminin verilerine ilişkin MATLAB kodları (GA-TB)

```
clear all

clc
tic
global hasta ekip arac hasta_arasi_mesafe hasta_arasi_sure baslangic_hasta_mesafe
hedef_hasta_mesafe baslangic_hasta_sure hedef_hasta_sure hasta_hizmet_suresi
hastaya_tasinan_ilac ekip_hasta_yetkinlik arac_kapasite arac_birim_uzaklik_maliyet
hasta_erken_hizmet hastaya_gec_hizmet baslangic_erken_cikis baslangic_gec_cikis
hedef_erken_varis hedef_gec_varis ekip_arac_seyahat_siniri arac_birim_mesafe_maliyeti

hasta=15;  %hasta sayısı
ekip=5;    %arac sayısı
arac=5;    %ekip sayısı

hasta_arasi_mesafe=[0  8391  3050  7536  3038  5284  5289  5814  6948  1287
4535  11133  9456  2295  6789
8391  0  5814  873 7497  9780  5211  9244  4295  8012  4520  2994  8029
7899  2319
3050  5814  0  4942  1901  4701  2354  4647  3915  2271  3385  8311  6873
2104  3889
7536  873 4942  0  6639  8974  4444  8475  3724  7139  3820  3717  7619
7029  1613
3038  7497  1901  6639  0  2864  2884  3020  4655  1764  5219  9739  6479
814 5361
5284  9780  4701  8974  2864  0  4604  1048  6065  4095  8069  11564  5973
3191  7487
5289  5211  2354  4444  2884  4604  0  4034  1773  4252  4857  7030  4632
3595  2898
5814  9244  4647  8475  3020  1048  4034  0  5312  4553  8023  10829  4926
3566  6927
6948  4295  3915  3724  4655  6065  1773  5312  0  5985  5541  5517  4019
5366  2151
1287  8012  2271  7139  1764  4095  4252  4553  5985  0  4728  10579  8223
1009  6159
4535  4520  3385  3820  5219  8069  4857  8023  5541  4728  0  7506  9377
5148  4011
11133  2994  8311  3717  9739  11564  7030  10829  5517  10579  7506  0
8180  10284  4427
9456  8029  6873  7619  6479  5973  4632  4926  4019  8223  9377  8180  0
7289  6132
2295  7899  2104  7029  814 3191  3595  3566  5366  1009  5148  10284
7289  0  5867
6789  2319  3889  1613  5361  7487  2898  6927  2151  6159  4011  4427
6132  5867  0 ];
```

Ek Açıklama-B: (devam)

```
hasta_arasi_sure=[0 18  7   16  7   11  11  12  15  4   10  23  20  6   14
18  0   12  3   16  20  11  19  9   17  10  7   17  17  6
7   12  0   11  5   10  6   10  9   5   8   17  15  5   9
16  3   11  0   14  19  10  18  8   15  9   8   16  15  4
7   16  5   14  0   7   7   7   10  4   11  20  14  3   12
11  20  10  19  7   0   10  3   13  9   17  24  13  7   16
11  11  6   10  7   10  0   9   5   9   11  15  10  8   7
12  19  10  18  7   3   9   0   12  10  17  22  11  8   15
15  9   9   8   10  13  5   12  0   13  12  12  9   12  5
4   17  5   15  4   9   9   10  13  0   10  22  17  3   13
10  10  8   9   11  17  11  17  12  10  0   16  20  11  9
23  7   17  8   20  24  15  22  12  22  16  0   17  21  10
20  17  15  16  14  13  10  11  9   17  20  17  0   15  13
6   17  5   15  3   7   8   8   12  3   11  21  15  0   13
14  6   9   4   12  16  7   15  5   13  9   10  13  13  0 ];

baslangic_hasta_mesafe=[6829  2337  4875  1940  6760  9428  5292  9129  5152
6767  2450  5290  9167  6935  3056];

hedef_hasta_mesafe=[4382  7815  2882  7001  1374  1980  2692  1765  4300
3096  6262  9716  5314  2093  5537 ];

baslangic_hasta_sure=[15   6   11  5   14  20  11  19  11  14  6   11  19  15  7];

hedef_hasta_sure=[10   16  7   15  4   5   6   4   10  7   13  20  12  5   12];

hasta_hizmet_suresi=[20 30  50  40  50  30  40  20  60  30  30  60  30  30  50];

hastaya_tasinan_ilac=[50   90  50  50  100 80  90  30  40  90  80  100 60  100 70];

ekip_hasta_yetkinlik=[ 1   3   1   2   1   3   3   2   2   2   2   3   3   2   2
   3   1   1   2   2   3   2   2   3   3   3   3   3   1   1
   2   2   2   3   3   1   2   2   1   3   2   3   1   2   1
   2   2   1   1   3   3   2   1   3   2   3   1   2   2   3
   1   3   2   1   3   2   1   3   1   3   3   2   3   3   3  ];

arac_kapasite=[300 300 300 300 300];

arac_birim_uzaklik_maliyet=[1 1 1 1 1];

hasta_erken_hizmet=[2 3 2 0 5 0 3 4 0 6 0 1 10 9 1];

hastaya_gec_hizmet=[1000   3080   1040   3560   4700   2350   3970   3960   2100
3500   1320   4610   1190   1050   3790];
```

Ek Açıklama-B: (devam)

```
baslangic_erken_cikis=0;
baslangic_gec_cikis=10000;
hedef_erken_varis=0;
hedef_gec_varis=10000;
ekip_arac_seyahat_siniri=[48170   38410   30180   31560   41690
                          34250   37630   27650   26810   33540
                          32110   39350   43970   30060   27410
                          44440   30020   43320   46180   49260
                          30750   25570   41620   30220   46900 ];


nvars=arac+hasta+(arac-1);  %kromozomun büyüklüğü

lb_ga=zeros(1,nvars);
ub_ga=ones(1,nvars);

pop=700;       %population size
gen=250;       %generation size
elite_count=70;  %elite count number
xover_fract=0.70;    %crossover ratio
mutation_fract=0.09; %mutation ratio


options=gaoptimset('InitialPopulation',(rand(pop,nvars)),'PopulationSize',pop,'Generations'
,gen,'EliteCount',elite_count,'CrossoverFcn',@crossoversinglepoint,'CrossoverFraction',xo
ver_fract,'MutationFcn',{@mutationadaptfeasible,mutation_fract},'SelectionFcn',@selectio
nroulette,'PlotFcns',@gaplotbestf,'TolFun',0.000000000001);

[x_ga,fval_ga]=ga(@fitness_vrp,nvars,[],[],[],[],lb_ga,ub_ga,[],options);

x0_sa=x_ga;
lb_sa=zeros(1,nvars);
ub_sa=ones(1,nvars);

MaxFunEval=3000*nvars;  %maximum number of function evaluation limit
MaxStallIter=500*nvars; %Number of iterations over which average change in fitness
function value at current point is less than options
MaxIter=25000;  %maximum number of iteration limit
InitTemp=1500;  %başlangıc sıcaklık değeri
ReAnnel=25;     %Number of points accepted before reannealing

options_sa=saoptimset('TemperatureFcn',@temperaturefast,'AnnealingFcn',@annealingbol
tz,'AcceptanceFcn',@acceptancesa,'InitialTemperature',InitTemp,'ReannealInterval',ReAnn
el,'MaxFunEvals',MaxFunEval,'MaxIter',MaxIter,'StallIterLimit',MaxStallIter,'TolFun',0.0
00000001);
[x_sa,fval_sa] = simulannealbnd(@fitness_vrp,x0_sa,lb_sa,ub_sa,options_sa);
```

Ek Açıklama-B: (devam)

```
x=x_sa;
[arac_ekip,arac_rota] = chromosome_decode(x);
[hasta_hizmet_zamani,arac_varis_zamani,arac_katedilen_mesafe,arac_tasinan_ilac,arac_h
asta_yetkinlik] = output_calc(arac_ekip,arac_rota);
[pen1,pen2,pen3,pen4] =
penalties(arac_ekip,arac_rota,arac_katedilen_mesafe,arac_tasinan_ilac);

arac_ekip
arac_rota
hasta_hizmet_zamani
arac_varis_zamani
arac_katedilen_mesafe
arac_tasinan_ilac
arac_hasta_yetkinlik
pen1
pen2
pen3
pen4
pen5

toc
```