Diyaliz Merkezlerinde Hasta Servis Aracı Rotalama Problemi

Beyza Günesen

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran 2022

Patient Shuttle Bus Routing Problem in Hemodialysis Centers

Beyza Günesen

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Industrial Engineering

June 2022

Patient Shuttle Bus Routing Problem in Hemodialysis Centers

Beyza Günesen

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: Prof. Dr. Muzaffer Kapanoğlu

Haziran 2022

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Prof. Dr. Muzaffer Kapanoğlu danışmanlığında hazırlamış olduğum "Diyaliz Merkezlerinde Hasta Servis Aracı Rotalama Problemi" başlıklı YÜKSEK LİSANS tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim. 16/06/2022

Beyza Günesen

İmza

ÖZET

Diyaliz merkezleri, son dönem böbrek yetmezliği sorunu olan hastalara hemodiyaliz cihazları, sağlık ekipmanları ve personelleri ile tedavi hizmeti vermektedir. Hasta memnuniyeti ve koşullarının iyileştirilmesi için tedavi dışındaki ek hizmetler hastalara sunulmaktadır. Servis araçları ile sunulan ulaştırma hizmeti bu hizmetlerin başında gelmektedir. Bu çalışmada literatürde karşılaşılmayan diyaliz merkezleri servis araçları için bir rotalama yöntemi önerilmiştir.

Servis araçları rotalama problemi çoklu gezgin satıcı problemi olarak ele alınmıştır. Np – zor sınıfında yer alan bu problem için toplam mesafenin ve araçlar arasındaki mesafe farklarının azaltılmasını sağlayacak bir sezgisel yöntem önerilmiştir. Çözüm süresi yöntemin önerilmesi sırasında dikkate alınan bir diğer ölçüttür.

İlk adımda kümeleme ikinci adımda rotalama adımlarını gerçekleştiren yöntem için kümeleme k – ortalamalar, rotalama en yakın komşu sezgiseli ve 2 – opt algoritmalarıyla sağlanmıştır. Sonuçlar, amaç fonksiyonu araçlar arasındaki mesafe farklarının minimize edilmesine yönelik matematiksel model sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Öneri, dengeli dağıtımda optimum değerlere yakınsamış, toplam maliyet ve çözüm süresi ölçütlerinde daha iyi performans sergilemiştir.

Anahtar Kelimeler: Diyaliz Merkezi, Çoklu Gezgin Satıcı Problemi, K–ortalamalar, En Yakın Komşu Sezgiseli, 2 – opt Algoritması

SUMMARY

Dialysis centers provide treatment services to patients with end-stage renal disease via hemodialysis devices, health equipment, and personnel. Additional services other than treatment are offered to patients to improve patient satisfaction and conditions. The transportation service offered by shuttle buses is one of these services. In this study, a routing method is proposed for service vehicles of dialysis centers, which is not encountered in the literature.

The shuttle bus routing problem is considered a multiple traveling salesman problem. For this problem, which is in the Np – hard class, a heuristic is proposed to reduce the total distance and distance differences between buses. The amount of solution time is another criterion that is taken into account when proposing the method.

For the method that performs the clustering in the first stage and the routing steps in the second stage, clustering is provided by k-means, routing is provided by the nearest neighbor heuristic, and 2 - opt algorithms. The results are compared with the results of the mathematical model for minimizing the distance differences between the objective function vehicles. The proposal converged to optimum values in balanced distribution and performed better in terms of total cost and solution time.

Keywords: Dialysis Center, Multiple Traveling Salesman Problem, K–means, Nearest Neighbor Heuristics, 2 – opt Algorithm

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET ..... **vi**
SUMMARY ..... **vii**
TEŞEKKÜR ..... **viii**
İÇİNDEKİLER ..... **ix**
ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **xii**
ÇİZELGELER DİZİNİ ..... **xiii**
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ ..... **xiv**
1. GİRİŞ VE AMAÇ **1**
2. DİYALİZ VE DİYALİZ MERKEZLERİ **4**
2.1. Diyaliz 5
2.2. Diyaliz Türleri 6
2.2.1. Periton diyalizi 6
2.2.2. Hemodiyaliz 7
2.3. Türkiye'de Hemodiyaliz 8
2.4. Hemodiyaliz Hastalarında Yaşam Kalitesi 11
2.4.1. Hemodiyaliz hastalarında fiziksel rahatsızlıklar 11
2.4.2. Hemodiyaliz hastalarında psikolojik zorluklar 13
2.5. Diyaliz Merkezleri 14
2.5.1. Diyaliz merkezi maliyetleri 15
2.5.2. Diyaliz merkezileri sunulan hizmetler 16
3. ÇOKLU GEZGİN SATICI PROBLEMİ **18**
3.1. Gezgin Satıcı Problemi (GSP) 18
3.1.1. Çizge kuramı 18
3.1.2. GSP matematiksel formülasyon 20
3.1.3. GSP türleri 22
3.1.4. GSP çözüm yöntemleri 22
3.1.4.1. Kesin yöntemler 23
3.1.4.2. Sezgisel yöntemler 24
3.1.4.3. Metasezgisel yöntemler 26
3.2. Çoklu Gezgin Satıcı Problemi (ÇGSP) 27

3.2.1. ÇGSP matematiksel formülasyon 29
3.2.1.1 EnkTop (MinSum) formülasyonu 30
3.2.1.2 EnkEnb (MinMax) formülasyonu 31
3.2.2. ÇGSP türleri 32
3.2.3. ÇGSP çözüm yöntemleri 33
3.2.2.1. Kesin çözüm yöntemleri 34
3.2.2.2. Metasezgisel yöntemler 35
3.2.2.3. Hibrid (melez) yöntemler 36
3.2.2.3. Diğer yöntemler 36
4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI 37
4.1. Literatürde Gezgin Satıcı Problemi 37
4.2. Literatürde Çoklu Gezgin Satıcı Problemi 38
4.2.1. ÇGSP öncü uygulamaları 39
4.2.2. Çözüm yöntemlerine göre ÇGSP uygulamaları 41
4.2.2.1 Kesin (Exact) çözüm yöntemlerini kullanan uygulamalar 41
4.2.2.2 Metasezgisel (Metaheuristics) çözüm yöntemlerini kullanan uygulamalar 42
4.2.2.3 Sezgisel (Heuristics) çözüm yöntemlerini kullanan uygulamalar 47
5. MATERYAL VE YÖNTEM 52
5.1. Problem Tanımı 52
5.2. Kullanılan Matematiksel Model 53
5.3. Önerilen Yöntem 55
5.3.1. Kümeleme 56
5.3.1.1. Kümeleme yöntemleri 56
5.3.1.2. K – ortalamalar yöntemi 59
5.3.2. Rotalama 60
5.3.2.1. En yakın komşu (EYK) sezgiseli 61
5.3.2.2. 2 – opt algoritması 61
5.3.4. Örnek problem 62
6. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA 66
6.1. TSPLIB Problemlerinin Çözümü **66**
6.1.1. MTSPLIB test problemlerinin çözümü 66
6.1.2. TSPLIB test problemlerinin çözümü 69

6.2. Türetilmiş Test Problemlerinin Çözümü 71
6.2.1. 20 boyutlu türetilmiş test problemlerinin çözümü 71
6.2.2. 30 boyutlu türetilmiş test problemlerinin çözümü 76
7. SONUÇ VE ÖNERİLER 78
KAYNAKLAR DİZİNİ 80

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil **Sayfa**

2. 1. KBY evreleri matrisi 5
2. 2. Türkiye'de RRT gerektiren SDBY insidansı ve prevalansı 9
2. 3. 1990 – 2020 yılları arasında Türkiye'de HD hasta sayıları 9
3. 1. a:basit çizge; b:tam bağlı çizge 18
3. 2. Hamilton yolu ve turu örneği 19
3. 3. Farklı maliyete sahip Hamilton turları örneği 20
3. 4. a:En küçük örten ağaç;b:tek dereceli düğümlerin eklenmesi;c: Euler turu 25
3. 5. n=50 ve m=5 ÇGSP örneği 28
3. 6. ÇGSP uygulama alanları 29
3. 8. ÇGSP çözüm yaklaşımları 34
5. 1. Örnek EnkTop çözümü 54
5. 2. Önerilen yöntem akış şeması 56
5. 3. Hiyerarşik kümeleme yöntemleri temsili dendogramı 59
5. 4. K – ortalamalar yöntemi akış şeması 60
5. 5. 2 –opt rota değişimi 62
5. 6. Bayg29 veri seti koordinat düzlemi gösterimi 64
5. 7. Bayg29 kümeleme sonrası gösterim 64
5. 8. Bayg29 rotalama sonrası gösterim 65
6. 1. MTSPLIB test problem çözümlerine ait rotalar 68
6. 2. TSPLIB test problem çözümlerine ait rotalar 70
6. 3. a: 20 boyutlu problem en uzun tur kutu grafiği; b: 20 boyutlu problem çözüm süresi kutu grafiği; c: 20 boyutlu problem toplam mesafe kutu grafiği 73
6. 4. 20 boyutlu problem ortalama tur uzunluğu kutu grafiği 74
6. 5. Hasta başına gidilecek mesafe sütun grafiği 75
6. 6. Hasta gidilecek mesafe ve frekans grafiği 75
6. 7. a: 30 boyutlu problem en uzun tur kutu grafiği; b: 30 boyutlu problem toplam tur kutu grafiği 77

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge **Sayfa**

2. 1. PD ve HD avantaj ve dezavantajları 8
2. 2. 2020 yılı verilerine göre HD hastalarının HD türüne göre dağılımı 10
2. 3.2020 yılı verilerine göre HD hastalarının HD türüne göre dağılımı 10
2. 4. HD hastalarında en sık karşılaşılan akut komplikasyonlar ve karşılaşılma yüzdeleri 12
2. 5. KBY hastalarında en sık karşılaşılan komorbid durumlar..... 13
2. 6. RRT türüne göre uygulanan merkez sayıları..... 14
2. 7. HD hasta sayılarının tedavi merkez türüne göre dağılımı 15
2. 8. Bir diyaliz merkezinde hizmet bileşenleri önem ve maliyet dağılımı 17
3. 1. n sayısına bağlı rota sayıları 23
4. 1. GSP kilometre taşları..... 37
4. 2. ÇGSP literatür özeti..... 48
5. 1. Benzerlik ölçütleri 58
5. 2. Bayg29 veri seti koordinatları 63
6. 1. MTSPLIB test problem sonuçları..... 67
6. 2. TSPLIB test problem sonuçları 69
6. 3. 20 boyutlu türetilmiş test problemleri sonuçları..... 72
6. 4. 30 boyutlu türetilmiş test problemleri sonuçları..... 76

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar	Açıklama
KBY	Kronik Böbrek Yetmezliği
SDBY	Son Dönem Böbrek Yetmezliği
RRT	Renal Replasman Tedavisi
HD	Hemodiyaliz
TND	Türk Nefroloji Derneği
HYK	Hasta Yaşam Kalitesi
GFH	Glomerüler Filtrasyon Hızı
KDIGO	The Kidney Disease Improving Global Outcomes
PD	Periton Diyalizi
CREDIT	Chronic Renal Disease In Turkey
SGK	Sosyal Güvenlik Kurumu
NP	Nondeterministic Polynomial Time
GSP	Gezgin Satıcı Problemi
SGSP	Simetrik Gezgin Satıcı Problemi
AGSP	Asimetrik Gezgin Satıcı Problemi
ÇGSP	Çoklu Gezgin Satıcı Problemi
MIP	Mixed-integer programming
EYK	En Yakın Komşu
AA	Açgözlü Algoritma
ES	Ekleme Sezgiseli
CS	Christofides Sezgiseli

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

Kısaltmalar	Açıklama
ARP	Araç Rotalama Problemi
WSN	Wireless Sensor Network
TSP	Traveling Salesman Problem
MTSP	Multiple Traveling Salesman Problem
GA	Genetik Algoritmalar
TSPLIB	A Traveling Salesman Library
KKO	Karınca Kolonisi Optimizasyonu
PSO	Parçacık Sürü Optimizasyonu
YAK	Yapay Arı Kolonisi Algoritması
NN	Nearest Neighbour
2 – opt	2 – optimum

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Kronik Böbrek Yetmezliği (KBY), dünyanın farklı bölgelerinde farklı sebepler neticesinde ortaya çıkan küresel bir sağlık sorunudur. Böbrek hastalığı kaynaklı ölümlere ait insidans ve prevalans artışlarının gösterdiği üzere, kronik böbrek hastalığının ağırlığı dünya çapında artmaya devam etmektedir (Jha vd., 2013). Son dönem böbrek yetmezliği (SDBY), kronik böbrek yetmezliği (KBY) hastalığının kişiye özel diyet ve ilaç tedavisi ile iyileştirme çabalarına yeterli yanıt alınamayıp ilerlemesi sonucu ortaya çıkan son evresi olup kişiye diyaliz veya böbrek transplantasyonu yoluyla renal replasman tedavisi (RRT) uygulanmaz ise kaçınılmaz olarak ölümcül bir hastalıktır (Roderick vd., 2002). Diyaliz tedavisi, hemodiyaliz (HD) ve periton diyalizi (PD) olmak üzere başlıca iki yöntem olarak uygulanmaktadır.

Tüm dünyada olduğu gibi KBY yaygınlığı, ülkemizde de artış eğilimi göstermektedir. Renal transplantasyon için donör bulmaktaki zorluklar sebebi ile hastalar yaşamlarını devam ettirebilmek adına diyaliz tedavi yöntemlerine başvurmaktadırlar. Türk Nefroloji Derneği (TND) tarafından yayınlanan 2020 yılı raporu verilerine göre ülkemizde toplam 60,558 hasta RRT almakta ve %73 oran ile hemodiyaliz en sık uygulanan tedavi yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Hemodiyaliz işlemi vücuttaki kanın diyaliz makinesi aracılığı ile diyalizat solütü kullanılarak arındırılması ve tekrar vücuda pompalanması adımlarını kapsamaktadır. Temelde basit bir fizik yasasına dayanan bu işlem vücuttaki ve diyaliz makinesindeki birçok parametrenin izlenmesini, olağandışı bir durumda anında müdahale edilmesini gerektirmektedir (Misra, 2005). Bu sebeple her bir hemodiyaliz tedavi seansı mutlaka uzman sağlık personellerinin gözetimlerinde gerçekleştirilmelidir. Bunun yanı sıra hemodiyaliz cihazları orta halli gelir düzeyine sahip herhangi bir vatandaşın alım gücünün çok üzerinde maliyetlere sahiptir ve HD tedavi ücretleri sigorta tarafından karşılanırken cihazlar için böyle bir ödenek mevcut değildir. Bu aşamada hastaların tedavileri devlet hastanelerinde bulunan diyaliz üniteleri ve özel diyaliz merkezleri tarafından gerçekleştirilmektedir. TND verilerine göre SDBY hastalığından muzdarip popülasyonun %95'lik bir orana tekabül eden önemli bir çoğunluğu özel merkezlerde tedavi almaktadır.

Beraberinde getirdiği çeşitli fizyolojik bozukluklar ve bireyin günlük yaşantısında uyması gereken kısıtlamalar nedeni ile SDBY, yaşam kalitesi üzerinde önemli ölçüde olumsuz etkiler barındıran bir hastalıktır (Kaufman ve Findlater, 2001; Unruh ve Hess, 2007; Gerasimoula vd. 2015). Fiziksel sınırlılık, iş görememe, tedaviye bağımlılık, ölüm korkusu, aile içerisinde yaşanan rol değişikliği gibi durumların bütünsel etkisi, hasta psikolojisi üzerinde intihara kadar gidebilen kontrol kaybına sebep olabilmektedir (Chen vd. 2010). Hastanın içerisinde bulunduğu tüm bu koşullar tedavi merkezlerinde verilen hizmetlerin hasta odaklı olarak geliştirilmesi ve iyileştirilmesini gerektirir.

Böbrek transplantasyon tedavisi alamayan her bir SDBY'li hasta diyaliz tedavisine yaşamı boyunca devam etmek zorundadır. En yaygın tedavi türü ise hemodiyaliz olup bu iş için geliştirilmiş özel cihazlar ve uzman personelin takibi altında merkezlerde gerçekleştirilmektedir. Hemodiyaliz hastaları reçetelerine bağlı olarak değişebilmekle birlikte genel olarak haftanın üç günü 4-6 saat aralığında merkezde tedavi almaktadırlar. Uzun ve sürekli seanslar hastanın tedavi dışı vaktini değerli kılmaktadır. HD hizmetleri bu husus da göz önüne alınarak uygulanmalıdır. Hastalığın getirmiş olduğu fizyolojik ve psikolojik etkiler, seans süreleri sebebi ile hastanın zamanının önemli bir bölümünü merkezde geçiriyor olması sebepleri neticesinde tedavi hizmetlerinin etkinliği hasta yaşam kalitesine (HYK) doğrudan etki etmektedir.

Hemodiyaliz merkezleri/üniteleri SDBY tanısı konulmuş hastalara yaşamlarını devam ettirebilmeleri için özel geliştirilmiş süreçleri ve diyalize özel eğitim almış hekim ve hekim dışı personelden oluşan özel bir birimlerdir (Dikmen, 2016). HD alan hastaların içerisinde bulunduğu koşullar merkezleri tedavi hizmetleri dışında farklı hizmetler sunmaya da itmektedir ancak merkezler ödeneklerini devlet kurumlarından almakta ve bu ödenek ile tedavi ve ek – hizmetlerini idame ettirmekle yükümlüdür. Tedavi hizmetlerinde maliyet gözetilemeyeceğinden dolayı sunulan ek – hizmetler mümkün olan en verimli yöntemlerle verilmek zorundadır aksi halde merkezlerin sürekliliği tehlikeye girmekte ve kapanma yoluna gitmektedir. Sürekli artan SDBY oranları sebebi ile mevcut HD merkezlerinin kapanması sağlık hizmetlerinin kalitesinde düşüş meydana getirecektir. Servis, yemek, psikolojik danışmanlık hizmetleri sunulan başlıca hizmetlerdir. Her bir ek hizmet HYK üzerinde olumlu etki yarattığından memnuniyet ve servis kalitesini arttırması kaçınılmazdır.

Hastaların merkeze ulaşımını sağlayan servis araçları merkezler tarafından sunulan hizmetlerden biridir. Diğer hizmetlerde olduğu gibi hasta odaklı planlanması ve bunu yaparken de mümkün olduğunca maliyetlerin gözetilmesi merkez bütçesine avantaj sağlayacaktır. Servisler doğrudan bir tedavi hizmeti olmayıp hastaların memnuniyet derecesini iyileştirmek ve HKY'e katkıda bulunmak amacı ile sunulmaktadır. Bu hizmetin hasta odaklı olması ile birlikte sürdürülebilirliği açısından maliyet gözetimli olması da bir gerekliliktir. Servis araçlarının rota planlaması hasta memnuniyeti ve maliyet kriterlerine göre yapılması hasta risk faktörlerinin ve kurum verimliliğini artırmaya katkı sağlayacaktır.

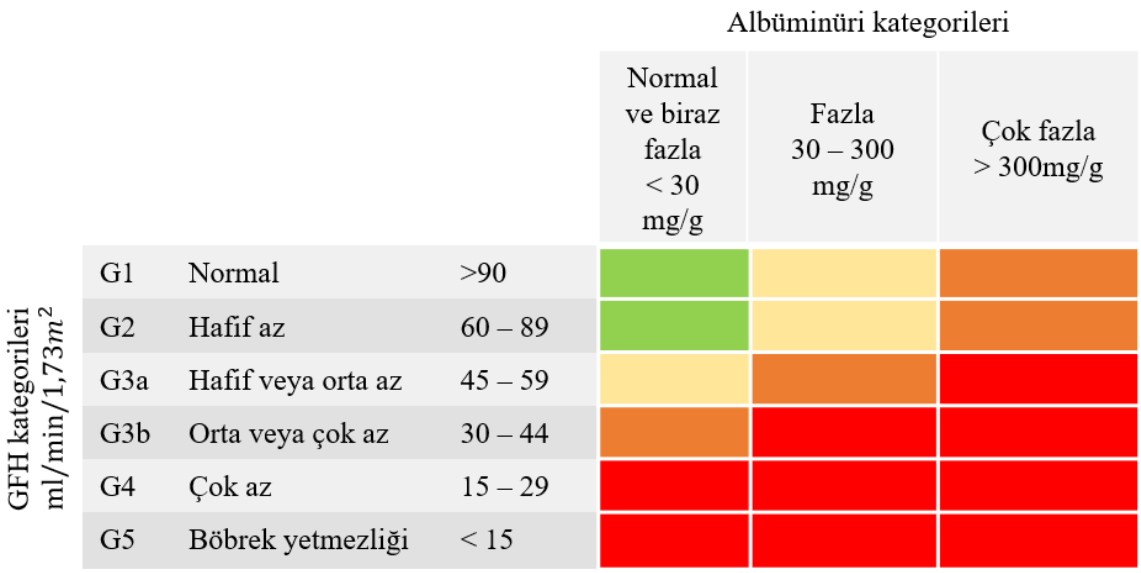
Diyaliz merkezlerinde bir işgünü sabah – öğle – akşam olmak üzere üç seansa bölümlendirilmiştir. Hastalar servis araçları tarafından adreslerinden alınmakta ve tedavi sonrası adreslerine bırakılmaktadır ve bu süreç, gün içerisindeki seans sayısı kadar tekrar etmektedir. Literatürde diyaliz merkezleri servis araçlarına yönelik bir iyileştirme çalışmasına rastlanmamış olup bu denli ciddi bir rahatsızlığa sahip kişilerin hayatlarının ve aldıkları hizmetin her alanda konforlu hale getirilmesi gerekmektedir. Bu araştırmada diyaliz merkezi servis araçlarının rotalanması üzerinde çalışılmıştır. Servis araçlarına dengeli bir işyükü dağılımı yapılırken her hastanın diyaliz merkezine varma ve ev ulaşma esnasında kat ettiği yol dengelenmeye çalışılmıştır. Dengeli bir dağıtım yapılırken oluşabilecek gereksiz uzunluklar araçların kat ettiği toplam mesafenin mümkün olduğunca azaltılması ile giderilmektedir. Sonuç olarak problem iki amaçlı çoklu gezgin satıcı problemi olarak ele alınmış toplam mesafe, dengeli dağıtım ve çözüm süresi kriterlerini dikkate alan bir yöntem önerilmiştir.

İkinci bölümde diyaliz ve diyaliz merkezleri tanıtılmıştır. Üçüncü bölüm ise gezgin satıcı ve çoklu gezgin satıcı problemine ait bilgiler ve çözüm yaklaşımlarını içermektedir. Dördüncü bölümde çoklu gezgin satıcı problemine yönelik literatür taraması yer almaktadır. Beşinci bölüm kullanılan materyal ve yöntem detaylarını içermekte olup altıncı bölümde araştırma bulguları özetlenmiştir. Sonuçlar bölümü çalışmanın genel değerlendirmesini ve geleceğe dair öngörülen çalışmaları içermektedir.

2. DİYALİZ VE DİYALİZ MERKEZLERİ

Böbrekler, periton ile karın duvarı arasında kalan bölgede yer alan ve yaklaşık 120 – 150 gr ağırlığındaki organlardır (Sungur ve Akpolat, 2007). Böbrekler, kanda bulunan vücut için gerekli maddelerin tutulması, fazla sıvı, elektrolit ve zararlı atıkların vücuttan uzaklaştırılması işlevlerini üstlenirler. Nefron adı verilen böbrekteki en küçük filtreleme birimi temizleme işinden sorumludur. Her iki böbrekte her biri sıvının kandan süzüldüğü glomerül ve filtre edilmiş sıvının idrara dönüştüğü tübül olmak üzere iki ana kısımdan oluşan toplamda 2 milyon nefron bulunmaktadır.

Kronik böbrek yetmezliği tanısı, böbrek fonksiyonunda kronik azalma ve yapısal böbrek hasarı oluşmasına bağlı olup böbrek fonksiyonunun mevcut en iyi göstergesi, birim zaman başına tüm nefronlarda filtrelenen toplam sıvı miktarına eşit olan glomerüler filtrasyon hızıdır (GFH) (Webster vd., 2017). Uluslararası yönergelere göre en az üç aylık süre boyunca 1,73m^2 başına GFH 60ml/dk değerinden küçük ise KBY tanısı konulmaktadır. Albümin, böbrekler tarafından süzülen atık sıvı içerisinde olmaması gereken ve karaciğer tarafından sentezlenen bir protein türüdür. Süzme işlevinin yetersiz olması durumunda albümin idrara karışarak vücuttan atılır ve bu protein kaçağı albüminuri olarak adlandırılmaktadır. Albüminuri, böbrek fonksiyonlarının test edilmesinde GFH ile kullanılan bir diğer faktördür (Romagnani vd. 2017). KBY evreleri iki faktöre bağlı olarak tanımlanmış olup son evre Son dönem böbrek yetmezliği (SDBY) evresidir (Şekil 2.1). SDBY evresinde, Renal replasman tedavisi (RRT) olarak adlandırılan tedavilerden birinin kişiye mutlaka uygulanması gerekmektedir.



Şekil 2. 1. KBY evreleri matrisi (KDIGO: The Kidney Disease Improving Global Outcomes, 2016)

2.1. Diyaliz

Diyaliz terimi ilk olarak 19.yy'da Thomas Graham tarafından ortaya atılmış olup yarı geçirgen zarlar ile yaptığı bir dizi deney sonucunda maddeleri yayılma hareketlerine göre "kolloidler" ve "kristalaoidler" olarak ayırmış bu iki maddeden oluşan karışımları jelatinli bir madde aracılığıyla difüzyon yolu ile ayırmış ve işlemi diyaliz olarak adlandırmıştır (Graham, 1861). 1912 yılında John Abel ve John Hopkins Tıp Fakültesi çalışma ekibi tarafından "vividiffusion (canlılaştırma)" adını verdikleri aparat ile hayvanlar üzerinde kanın atar damarlardan çekilerek temizlenmesi ve tekrar damar yoluna aktarılması aşamaları için ilk denemeler gerçekleştirildi (Fenn vd., 1949). Georg Haas, 1923 yılında kendi kendini sterilize eden ve pıhtılaşmayı önleyen diyalizörü tasarlı ve 1924 yılında insanlar üzerinde deneyen ilk kişi oldu ancak çalışma arkadaşları tarafından ilgi görmemesi sebebi ile 1928 yılında deneyler Haas tarafından sonlandırıldı (Featherstone ve Ball, 2019). 1940'lı yılların başlarında, insan için kullanılacak hemodiyaliz cihazı sırasıyla Willem Kolff, Gordon Murray ve Nils Alwall tarafından Hollanda, Kanada ve İsveç'te eşzamanlı ve birbirinden bağımsız olarak geliştirildi. 1949 yılında yayınlanan raporda HD tedavisi alan hastaların yaklaşık %50 'sinin hayatta kaldığı Gordon Murray tarafından açıklandı.

İzleyen yıllarda tedavi yeni teknolojik gelişmelerin katkısı ile artarak kullanılmaya devam etmiştir (Kolff vd., 1943; Murray vd., 1947; Alwall, 1947).

SDBY insidans oranları 2003 – 2016 yılları arasında yüksek gelir grubundaki ülkeler için sabit bir oranda iken doğu ve güneydoğu ülkelerinde önemli ölçüde artışlar kaydedilmiştir. Diğer yandan RRT tedavi yöntemlerinden birine ulaşabilen hastaların yaklaşık %90'ı yüksek gelir ve orta gelir grubunda yer alan ülkelerde yaşamaktadır. Tedavi alabilen hastaların 5 yıllık yaşama oranları tedavi alamayan hastalara göre ortalama %40 ile %60 arasında artış göstermektedir (Thurlow vd., 2021). Ortalama yaşam oranlarında kaydedilen bu artışlar tedaviye ulaşmanın hasta bireyin hayatına devam edebilmesi için bir zorunluluk olduğunu ortaya koymaktadır.

Renal replasman tedavisi, böbrek fonksiyonlarını yeniden kazandırma amaçlı hemodiyaliz, periton diyalizi, böbrek transplantasyonu gibi farklı yöntemleri içeren tedavilerin genel adlandırılmasıdır. Transplantasyon, en uzun hayatta kalmayı sağlayan, hastanın sağlıkla ilgili yaşam kalitesi üzerinde en iyi etkiye sahip ve maliyet olarak diğer yöntemlere nazaran daha uygun olmasına rağmen donör bulunamaması, SDBY popülasyonun transplantasyon uygulaması gerçekleştirilemeyecek düzeyde ileri yaşta bulunması sebebi ile HD ve PD, SDBY için en yaygın tedavi yöntemleridir (Yang vd.,2016).

2.2. Diyaliz Türleri

2.2.1. Periton diyalizi

Periton diyalizi, hastanın karın zarının doğal bir membran olarak kullanılması prensibine dayanmaktadır. Diyalizat çözeltisi, silikon bir tüp aracılığıyla periton boşluğu olarak adlandırılan karın boşluğuna aktarılmakta ve hasta karın zarı yapay bir böbrek işlevi görerek kanı süzmekte ve tüp içerisindeki kullanılmış diyalizat çözeltisi boşaltılmaktadır (Gokal ve Mallick, 1999). Sürekli ayaktan PD, devamlı devirli PD, gece PD, tidal PD olmak üzere diyalizat sıvısının bekleme süresi, değişim sıklığına göre farklılaşan dört çeşit PD tedavi yöntemi mevcuttur (Akpolat ve Utaş, 1997).

En sık kullanılan sürekli ayaktan PD yöntemi olup sıvının gün içerisinde 3 – 4 kez değiştirilmesi gerekmektedir.

PD yöntemi, hastaların bulundukları konumda HD hizmeti veren kurumların mevcut olmaması, donör imkânı olan hastaların transplantasyon öncesi geçici tedaviye ihtiyaç

duyması, tedavi süresince bir makineye bağlı kalmak istenmemesi gibi durumlarda tercih edilmektedir.

Hastanın evde kendi kendisini tedavi edebilme olanağı periton diyalizinin en önemli avantajı olarak görülmektedir. Ancak hastanın içinde bulunduğu fizyolojik eksiklikler sebebi ile her hasta için evde kendi kendine tedavi seçeneği uygun olmamaktadır. PD, sıklıkla tedavisine yeni başlayan ve zamanla iyileşme ihtimali olan, böbrek vericisi hazır nakil bekleyen kişiler için başvurulmaktadır.

2.2.2. Hemodiyaliz

Hemodiyalizde, periton diyalizinden farklı olarak hastaya ait kan vücut içerisinde değil vücut dışına çıkarılarak süzülmektedir. En sık başvurulan RRT tedavi yöntemi ülkemizde ve dünyada HD olmakla birlikte tüm dünyadaki HD tedavisi alan hastaların yaklaşık %90'ı HD merkezlerinde genel olarak haftada 3 kez 4'er saatlik seanslar boyunca diyaliz olmaktadırlar (Yeniçerioğlu vd.,2019). Damar giriş yolu, HD cihazı, diyalizer, diyalizat, antikoagülasyon hemodiyaliz işleminin başlıca unsurlarını oluşturmaktadır. HD cihazı gerektiği kadar kanın doğru basınçla diyalizere gönderilmesini, aynı şekilde tekrar vücuda verilmesini ve diyalizat sıvısının doğru basınç ve ısıda diyalizere pompalanmasını sağlamaktadır. Diyalizer, kan ve diyalizat solüsyonu arasındaki membran görevini üstlenmektedir (Daugirdas vd., 2014). Antikoagülasyon ise kanın akış esnasında ve diyalizer içerisinde pıhtılaşmasının önüne geçilmesi için işlemine verilen isimdir. Kanın süzülmesi esasında kullanılan temel prensip difüzyon, filtrasyon, difüzyon ve filtrasyonun bir kombinasyonu olabilir buna göre işlemler sırasıyla hemodiyaliz, hemofiltrasyon ve hemodiyafiltrasyon olarak isimlendirilmektedir. HD ve PD işlemleri için öne çıkan avantaj ve dezavantajlar Çizelge 2.1'de verilmektedir.

Çizelge 2. 1. PD ve HD avantaj ve dezavantajları

	Avantajlar	Dezavantajlar
Periton Diyalizi	✓ Makineye bağlı olmama ✓ Sağlık personeli ihtiyacı duymama	✓ Her hasta için uygun olmama
Hemodiyaliz	✓ Tedavi seans günleri dışında serbest olma	✓ Sıkı diyet

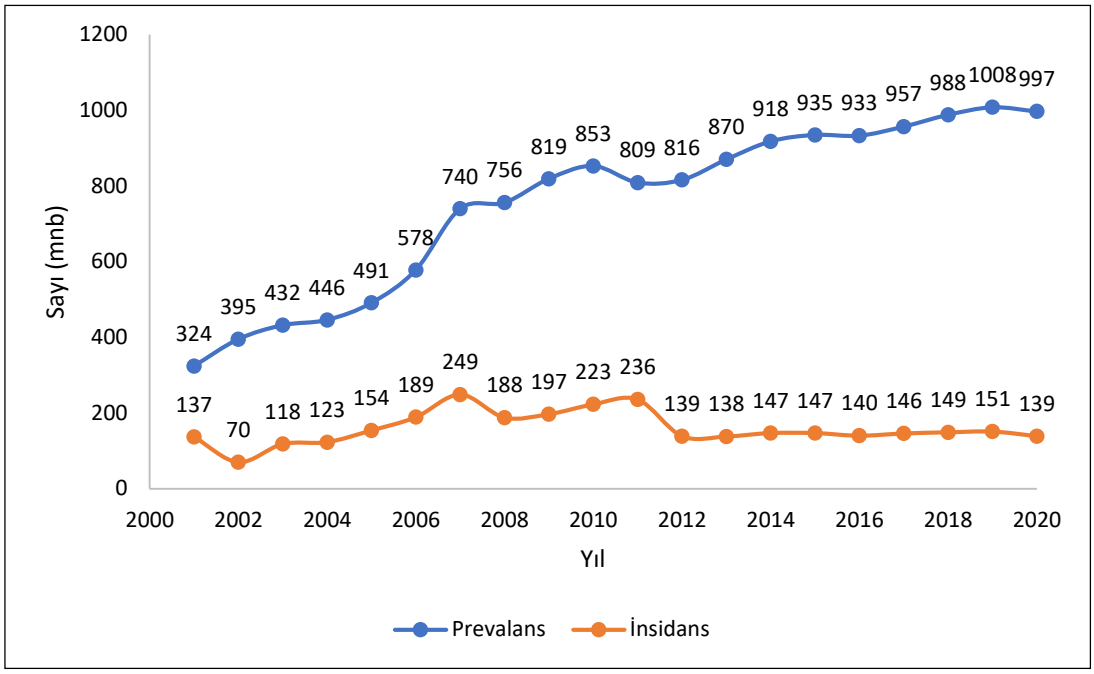
HD, komplike bir cihazın kullanılmasını gerektiren bir süreci içermektedir bu sebeple sağlık personelinin gerçekleştirdiği ayarlama ve takip HD işlemleri önem kazanmaktadır. PD'nin aksine günlük birkaç kez kısa süreli tekrarlanan işlemlere değil haftada 3 kez nispeten uzun soluklu seanslara gereksinim duyulmaktadır. Seans aralarının uzun olması sebebi ile bir sonraki seans yaklaştıkça hastanın fiziksel yeterliliği daha fazla kısıtlanmakta ve sağlık personeli ve ekipmanı bu durumun yaratabileceği beklenmeyen komplikasyonlara anında müdahale edilebilmesi için bir ihtiyaç haline gelmektedir. Takip, kontrol ve müdahalenin uzman kişilerce steril bir ortamda gerçekleştirilmesi ihtiyacından ötürü HD işlemi için özel olarak tasarlanan merkezler bu hizmeti sunmaktadırlar.

2.3. Türkiye'de Hemodiyaliz

Kronik böbrek hastalığı ile ilgili yapılan çalışmalar hastalığın tüm dünyada artış eğiliminde olduğunu vurgulamaktadır. 1990 ve 2016 yılları arasında KBH yaygınlığının %90 ve ilgili hastalık sebepli ölümlerin ise %100 oranında artış gösterdiği tahmin edilmektedir (Xie vd., 2016). 2017 yılı itibari ile KBH küresel yaygınlığı %9,1 oranında olup yaklaşık 697,5 milyon insanın sahip olduğu kayıt altına alınmıştır (Bikbov vd.,2020). 2030 yılına varmadan yaklaşık 5,4 milyon kişinin RRT yöntemlerinden biri tarafından tedavi ihtiyacına gereksinim duyacağı tahmin edilmektedir (Shah vd., 2017). Ülkemizde ise durum dünya ile benzerlik göstermektedir.

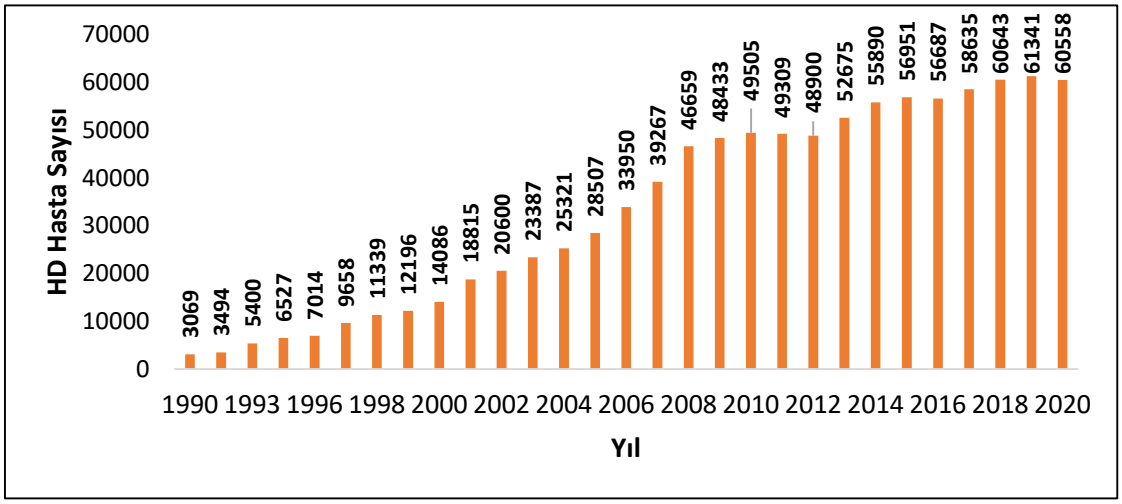
Türkiye bazlı SDBY ve RRT verilerine T.C. Sağlık Bakanlığı ve Türk Nefroloji Derneği (TND) Ulusal Kayıt ve İstatistik Kurulu tarafından ortak yayınlanan raporda

ulaşılmaktadır. İzleyen bölümlerde, ilgili rapor verilerinden hareketle düzenlenmiş grafikler ve tablolar, Türkiye'deki durumun sergilenmesi için kullanılmıştır.



Şekil 2. 2. Türkiye'de RRT gerektiren SDBY insidansı ve prevalansı

Şekil 2.3, Türkiye hemodiyaliz hasta sayılarındaki değişimi içermektedir, hasta sayıları yıllar boyunca çoğunlukla artış eğilimi kaydetmiştir.



Şekil 2. 3. 1990 – 2020 yılları arasında Türkiye'de HD hasta sayıları

Türkiye yıllara göre RRT gerektiren SDBY hasta prevalans ve insidansı Şekil 2.2'de grafik ile gösterilmiştir. Grafik, özellikle prevalans eğiliminin artış yönlü olduğunu

göstermektedir. Çizelge 2.2, 2020 yılı itibari ile hastalar için kullanılan RRT türlerine göre dağılımı içermektedir.

Çizelge 2. 2. 2020 yılı verilerine göre HD hastalarının HD türüne göre dağılımı

	Sayı	**%**
Hemodiyaliz	60,558	72,66
Periton Diyalizi	3,387	4,06
Trasplantasyon	19,405	23,28
Toplam	83,350	100

Hemodiyaliz yöntemi tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de en sık kullanılan RRT türü olarak başı çekmektedir. Transplantasyon, hastanın günlük yaşamına dönebilmesi için kullanılabilecek tek yöntem olmasına karşın kendi içerisinde barındığırdığı zorluklar yöntemi en az kullanılan yöntem tür olmaya itmektedir. HD yöntemi uygulama farklılıklarına göre türlere ayrılmaktadır ve bu türlere göre dağılım ise Çizelge 2.3'de verilmektedir. %95 oran ile HD tedavisi büyük çoğunlukla merkezlerde uygulanmaktadır.

Çizelge 2. 3. 2020 yılı verilerine göre HD hastalarının HD türüne göre dağılımı

	Sayı	**%**
Merkezde HD	57,920	95,64
Hemodiyafiltrasyon	1,576	2,60
Evde HD	895	1,48
Hemofiltrasyon	5	0,01
Tipi belli değil	162	0,27
Toplam	60,558	100

Türkiye'deki RRT gerektiren hasta sayılarındaki istikrarlı yükseliş ve en sık başvurulan tedavi yönteminin HD olması ile doğru orantılı olarak HD merkezlerine olan ihtiyaç da giderek artmaktadır. Merkezlerde hayati tehlikesi olan bir hastalık için tedavi hizmetleri sunulmaktadır. Hastalığın kendisi bu kadar ciddi iken beraberinde getirdiği diğer fizyolojik ve psikolojik etkiler de araştırmalar ile ortaya konulmuştur. Hemodiyaliz

tedavisinin ülkemizde de göz ardı edilmemesi ve hastaların sağlıkla ilgili yaşam kalitelerinin mümkün olduğunca iyileştirilmesi gerekmektedir.

2.4. Hemodiyaliz Hastalarında Yaşam Kalitesi

Yaşam kalitesinin, fiziksel, maddi, sosyal ve duygusal refah, gelişme ve aktivite kavramlarını içeren çok boyutlu bir yapı olduğu konusunda fikir birliği sağlanmıştır (Felce ve Perry, 1995). Sağlık sorunları bireyin doğrudan fiziksel iyiliğine müdahale etmekte ve yaşam kalitesini düşürmektedir. Kronik bir hastalığın mevcut olması ise fiziksel etkisinin yanında depresyon ve mental sağlık sorunlarını beraberinde getirdiği belirtilmektedir (Theofilou, 2012).

SDBY, transplantasyon yapılmaz ise sürekli tedavinin gerekli olduğu kronik bir hastalıktır. Hemodiyaliz, en sık kullanılan RRT yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Hemodiyalizde amaç, fonksiyonlarını kaybetmiş veya kaybetme eşiğinde olan böbrekleri idame eden ekipmanlar aracılığı ile yaşam kalitesini artırmak mortalite ve morbiditeyi azaltmaktır.
Yaşamsal faaliyetlerin devam ettirilmesi için tedaviye devam etmek zorunluluk arz etmektedir ancak öte yandan tedavi için uyulması gerekenler ve tedavi koşulları yaşam kalitesinin iyileştirilmesini zora sokmaktadır.

HD hastaları, sıkı bir diyet ve sıvı alım reçetesi, vücut görünümlerinde olan değişiklikler, böbrek yetersizliği sebebi ile ortaya çıkan diğer hastalıklar, sağlık personeline bağımlı olma, geleceğe yönelik kaygı gibi birçok stresörle baş etmek durumundadır (Kara, 2012). HD'ye giren hastaların yaşam kalitesi üzerine yapılan çalışmalar hastaların genel olarak düşük bir yaşam kalitesine sahip oldukları sonucuna varmaktadır (Feroze vd.,2011; Birmele vd.,2012; Daniel vd.,2021).

2.4.1. Hemodiyaliz hastalarında fiziksel rahatsızlıklar

Böbrek yetmezliği tedavi edilmediği sürece ölümle sonuçlanabilecek bir hastalık olup sürekli bir tedaviyi gerektirmektedir. Bu durum devamlı olarak vücudun hastalık tarafından tehdit altında olmasına sebep olmaktadır ve vücut, farklı komplikasyonların

gelişmesine açık hale gelmektedir. Hastalığın tedavi edilmesinde en sık başvurulan HD yöntemi bir makineye bağlı olarak uygulanabilmektedir ve işlemler haftada birkaç kez tekrarlanır. Hastalığın kendisinin yarattığı komplikasyonların yanı sıra bir makineye bağımlı olma hali de vücut direncinin düşmesi ve farklı fiziksel sorunların ortaya çıkması ile sonuçlanabilmektedir.

HD esnasında meydana gelebilecek komplikasyonlar, damar yolu, akut ve kronik olmak üzere üç bölümde sınıflandırılmaktadır (Ahsen, 2011). Hipotansiyon hemodiyaliz hastalarında en sık karşılaşılan akut komplikasyondur (Bansal vd., 2014; Willis vd., 2021). Çizelge 2.4'de ise sık karşılaşılan akut komplikasyonlar ve yüzdeleri paylaşılmıştır (Topal ve Özdemir, 2006).

Çizelge 2. 4. HD hastalarında en sık karşılaşılan akut komplikasyonlar ve karşılaşılma yüzdeleri

Komplikasyon	**Yüzde (%)**
Hipotansiyon	20 – 30
Kas Krampları	5 – 20
Bulantı – kusma	5 – 15
Baş ağrısı	5
Göğüs ağrısı	2 – 5
Sırt ağrısı	2 – 5
Kaşıntı	5
Titreme ve ateş	< 1

TND tarafından 2010 yılında gerçekleştirilen "Chronic Renal Disease In Turkey (CREDIT)" çalışmasında kronik böbrek yetmezliğine eşlik eden yan hastalıkların (komorbid) frekansları tespit edilmiş olup Çizelge 2.5'de özetlenmektedir (Süleymanlar vd.,2010).

Çizelge 2. 5. KBY hastalarında en sık karşılaşılan komorbid durumlar

Komorbid	Yüzde (%)
Hipertansiyon	32,7
Diyabetes mellitus	12,7
Obezite	20,1
Abdominal obezite	32,3
Metabolik sendrom	31,3
Aktif sigara kullanımı	35,2

Yorgunluk, güçsüzlük, uyku problemleri HD alan bireylerin mustarip olduğu diğer başlıca sorunlar olarak belirtilmektedir (Şanlıtürk vd, 2018).

2.4.2. Hemodiyaliz hastalarında psikolojik zorluklar

Ölümcül bir hastalıkla yaşamanın stresi, HD hastalarının ruh sağlığını olumsuz etkilemektedir (Martínez ve Custódio, 2015). Sürekli olarak depresif duygu durumu içerisinde olma, düşük özgüven, geleceğe dair umutsuz olma gibi duygulara bağlı olarak ortaya çıkan depresyon, HD hastalarında en sık karşılaşılan ruh sağlığı problemlerinden biridir (Gökalp ve Arpaci, 2020). HD'ye giren SDBY hastalarında oldukça yaygın olan depresyon son yıllarda sürekli artış eğiliminde seyretmektedir (Chan vd. 2017). HD süreci, ruh sağlığının yanı sıra özellikle günlük ve sosyal yaşam üzerinde de olumsuz bir etkiye sahiptir (Hreńczuk vd.,2019).

Diyaliz hastalarında, hastalığa özgü etkiler ve psiko-sosyal etmenler birlikte ele alınıp değerlendirildiğinde anksiyete bozuklukları, organik beyin hasarları, uyum ve davranış bozuklukları görülebilecek başlıca psikiyatrik hastalıklardır (Yavuz vd., 2010).

SDBY ve HD tedavisi sebebiyle gelişen yeni hastalıklara ait semptomlar, komplikasyonlar üzerine HD hastalarına yönelik birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmalar, yeni hastalıkların anında tespit edilip müdahale edilmesi bakımından önem taşımaktadır. Bu

durumda hem mevcut hastalıkların kontrol altında tutulması hem de potansiyel hastalıkların tespiti için sağlık personeli gözetiminde diyaliz tedavisi ihtiyacı doğmaktadır.

Yaşam kalitesi, yaşamı değerlendirilen zihinsel olarak uyanık birey tarafından belirlenen genel yaşam doyumu hissidir (Meeberg,1993). Klinik faaliyetlerin, yaşam kalitesini de dikkate alarak uygulanması günümüz koşullarında giderek önem kazanmaktadır. Diyaliz hastalarında yaşam kalitesinin düşmesi bir risk faktörü olarak belirtilmektedir. Hastaların maruz kaldığı fiziksel ve psikolojik zorluklar göz önüne alındığında ise diyaliz uygulamalarının da tek amacı yaşam sürelerinin arttırılması olmamalı bununla birlikte hastalar her bakımdan gözetilerek yaşam kalitelerinin yükseltilmesi ve risk faktörlerinin azaltılması hedeflenmelidir.

2.5. Diyaliz Merkezleri

Diyaliz merkezleri, böbrek yetmezliği tanısı konmuş ve RRT ihtiyacı doğmuş hastalara gerekli tıbbi diyaliz tedavi yöntemlerini uygulamakla yetkilendirilmiş sağlık birimleridir. Türkiye'de ilk özel diyaliz merkezi 1976 yılında Özel Çankaya Hastanesi'nde Dr. Müştak Özüer tarafından kurulmuştur (Akpolat ve Utaş, 2008). Günümüze değin diyaliz merkezi sayıları hasta oranları ile paralellik içerecek şekilde artış göstermiştir. TND raporundan alınan verilere göre 2020 hizmet türlerine göre merkez sayıları Çizelge 2.6'da verilmiştir.

Çizelge 2. 6. RRT türüne göre uygulanan merkez sayıları

	Hemodiyaliz		**Periton Diyalizi**		**Transplantasyon**	
	Sayı	Yüzde (%)	Sayı	Yüzde (%)	Sayı	Yüzde (%)
Sağlık Bakanlığı	526	58,31	72	55,39	21	26,58
Üniversite	56	6,21	47	36,15	38	48,10
Özel	320	35,48	11	8,46	20	25,32
Toplam	902	100	130	100	79	100

Çizelge 2.7 ise 2020 yılı mevcut HD hastalarının merkez türlerine göre dağılımını içermektedir.

Çizelge 2. 7. HD hasta sayılarının tedavi merkez türüne göre dağılımı

	Sayı	**Yüzde (%)**
Sağlık Bakanlığı	19,315	31,90
Üniversite	3,211	5,30
Özel	38,032	62,80
Toplam	60,558	100

Çizelge 2.6 ve Çizelge 2.7'nin içerdiği verilere göre diyaliz hastalarının büyük çoğunluğu özel merkezlerde tedavi olmaktadır. Özel merkezlerin varlığı ve devamlılığı önemli bir halk sağlığı sorunu olan böbrek yetmezliği hastalığına sahip tüm hastalar, hasta yakınları ve hastalık potansiyelini taşıyan her birey dolayısıyla tüm vatandaşlar için önem arz etmektedir.

Diyaliz merkezleri çoğunlukla HD tedavi hizmeti sağlamakta olup hizmet, merkezin politikasına bağlı olarak günde 2 veya 3 seans sunulabilmektedir. 3071 sayılı Resmi Gazete'de yayınlanan yönetmeliğe göre yeni açılacak bir diyaliz merkezinde en az 15 en fazla 25 adet cihaz bulunmalı ve cihaz başına hasta doluluk oranı en az 5 hasta olmalıdır. Merkezler, bulundukları bölgedeki cihaz başına doluluk oranı 5 hastayı aştığında cihaz artırımına gidebilmektedirler. Merkezlerde yönetmelikte belirtilen tüm tıbbi donanımlar standartlara uygun şekilde tedarik edilmiş olmalı ve düzenli şekilde bakım, temizlik ve ayarları yapılmalıdır. Merkez faaliyetlerini yürütülmesinde uzman doktor, sertifikalı sağlık personeli ve sağlık dışı personel görev alır. Doğrudan HD tedavisi ile ilgili olmayıp hastalara daha iyi bir hizmetin sağlanması için diyetisyen, psikiyatri uzmanı, psikolog, sosyal hizmet uzmanı yönetim tarafından merkezde istihdam edilebilir.

2.5.1. Diyaliz merkezi maliyetleri

Türkiye'de diyaliz merkezlerinin açılması ve yönetilmesi Sağlık Bakanlığı'nın sorumluluğundadır. Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK), sağlık bakanlığı bünyesindeki diyaliz birimleri, üniversite diyaliz üniteleri ve özel diyaliz merkezlerini finanse etmektedir.

Diyaliz sağlık kuruluşlarına uygulanan diyaliz seansları toplamına göre ödemeler yapılmaktadır. Ülkemizde hizmet veren diyaliz merkezlerini kapsayan maliyet çalışmalarında SGK tarafından ödenen birim seans ücretinin gerçek seans başı maliyetlerden düşük olduğu saptanmıştır (Utaş, 2007; Akpolat ve Cengiz 2010; Tatar, 2013; Akbulut ve Birlik, 2017).

Diyaliz merkezi gibi sağlık kuruluşları, kullandıkları tıbbi cihazlar ve ilaçlar sebebi ile ilk madde malzeme yatırımları yüksek işletmelerdir. Geri ödeme planında kararlaştırılmış ücretlerin gerçek tedavi maliyetlerinden az olması diyaliz merkezi işletmecilerini sunulan ek hizmetlerde sınırlandırmaya gitmelerine sebep olmaktadır. İşletme yönetimi, hastalara sunulan tedavi hizmet kalitesinden ödün vermeyecek ancak daha az maliyetli yöntemler faaliyete geçirmek durumundadır.

2.5.2. Diyaliz merkezileri sunulan hizmetler

Hasta memnuniyeti, hizmet kalitesi yeterliliğinin en iyi ölçüsüdür (Donabedian, 1988). Sağlık kuruluşları için hasta memnuniyeti, hastaların ilgili sağlık kurumunda aradıkları ve görmek istediklerini içeren hasta beklentileri ve hastanın yaş, cinsiyet, sosyo-ekonomik durum gibi kriterlerine bağlı olarak değişebilen hastaların aldıkları hizmete ilişkin algıları olmak üzere iki faktöre dayanmaktadır (Şeker ve Bulduklu, 2018). Sağlık hizmeti veren işletmeler için etkili bir tedavi sunmanın yanında hasta beklenti ve isteklerini dikkate alarak bu doğrultuda yenilikler ve iyileştirmeler yapmak hasta memnuniyetinin sağlanması ve hizmet kalitesinin geliştirilmesi için bir ihtiyaç olarak görülmektedir.

Hastalara daha iyi bir hizmet verebilmek adına diyaliz merkezleri tedavi ve laboratuvar hizmetleri dışında, kahvaltı, servis psikolojik danışmanlık vb. ek hizmetler sunmaktadır. Sunulan her bir hizmet işletmeye ek maliyet olarak yansımaktadır.

Bütçenin sınırlı olması sebebi ile ek hizmet faaliyetlerinde aksamalar yaşanmaktadır bu sebeple merkez yönetimi tarafından tasarruflu yöntemlerin geliştirilmesi gerekmektedir. Ceran ve Özdemir, bir diyaliz merkezinde yaptıkları çalışmada hastalar açısından hizmet bileşenlerinin önem derecelerini ve ilgili hizmet bileşenin diyaliz merkezi toplam maliyeti içindeki payını saptamışlardır. Sonuçlar Çizelge 2.8'de verilmiştir.

Çizelge 2. 8. Bir diyaliz merkezinde hizmet bileşenleri önem ve maliyet dağılımı (Ceran ve Özdemir, 2013)

Hizmet Bileşenleri	Hasta Önem Derecesi	Toplam Maliyet içindeki Pay
Servis	%11,60	%19,90
Beslenme	%17,78	%5,60
Tedavi	%64,02	%66,90
Laboratuvar Hizmetleri	%6,60	%7,60
Toplam	%100	%100

Bu çalışma kapsamında diyaliz merkezi servis araç rotalarının optimizasyonu dolayısı ile servis hizmetlerinin iyileştirilmesi hedeflenmektedir. Çizelge 2.8'de verilen oranlar ışığında servis hizmetlerinin kalitesi hastalar için tedavi ve beslenmeden sonra gelmekte maliyet içerisindeki yeri ise tedavi maliyetlerinin ardından en önemli ikinci maliyet kalemi olarak belirlenmiştir. Servis hizmetleri, hem müşteri memnuniyeti için hem de diyaliz merkezi hizmet ekonomisi için önemli bir alanı kapsamaktadır. Konudaki yapılacak iyileştirmeler iki yönden de olumlu sonuçlar getirecektir.

3. ÇOKLU GEZGİN SATICI PROBLEMİ

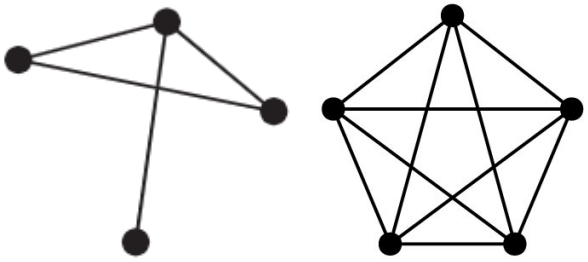
3.1. Gezgin Satıcı Problemi (GSP)

Gezgin satıcı problemi (GSP), bir satıcının belirli sayıdaki şehirlerin (müşterilerin) tamamını bir kez ziyaret ederek en az maliyetli rotayı bulmasına yönelik iyi bilinen bir kombinatoriyal optimizasyon problemidir (Fischer ve Merz,2005).

3.1.1. Çizge kuramı

Çizge kuramı veya teorisi temel olarak bir problemin kenarlar ve düğümler kullanılarak bir çizge ile modellenmesi prensibidir (Seker, 2015). Çizge kuramı ilk olarak 1736 yılında Prusya'nın Königsberg kasabasında bulunan Königsberg köprü sorununun Leonhard Euler tarafından ele alınmasıyla ortaya çıkmıştır (Goldstein ve Königsberg,1995).

Bir çizge $G = (V, E)$ şeklinde gösterilmekte ve G, kenarlar (V, vertices) ve ayrıtların (E, edges) oluşturduğu bir kümeyi ifade etmektedir. Basit bir çizgede herhangi iki düğüm arasında en fazla bir ayrıt mevcuttur ve hiçbir ayrıtın başlangıç ve bitiş noktası aynı düğümde yer almamaktadır. Şekil 3.1(a) basit bir çizge örneği içermektedir.



(a) (b)

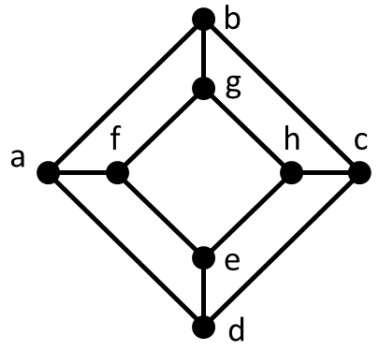
Şekil 3. 1. a:basit çizge; b:tam bağlı çizge

İki düğümü bağlayan bir ayrıt bulunuyor ise bu düğümler bitişik (adjacent) düğümler olarak adlandırılmaktadır. Bir çizgedeki tüm düğümleri çizge içerisindeki diğer tüm düğümlere bağlayan bir ayrıt bulunuyor ise – tüm düğüm çiftleri bitişik ise – bu çizge tam bağlı (complete) çizge kategorisi içerisinde yer almaktadır.

Beş düğümlü bir tam bağlı çizge örneklendirilmiştir. (bkz: Şekil 3.1(b)) Farklı düğümler ve bağlayan ayrıtların oluşturduğu rota, yol (path) olarak isimlendirilmektedir. Başlangıç ve bitiş düğümleri aynı olan yol ise bir tur (cyle) oluşturur (Brucato, 2013). Problem yapısına göre çizgeler yönlü (directed), yönsüz (undirected) ve ağırlıklı (weighted), ağırlıksız (unweighted) olarak geliştirilebilmektedir.

Bir çizgeden oluşturulan bir yol her düğümü ziyaret ediyor ve ayrıtlar sadece bir kez kullanılıyorsa bu yola Hamilton yolu ve aynı durum bir tur için geçerli ise de bu tura Hamilton turu ismi verilmektedir (Deĭneko vd.,2005).

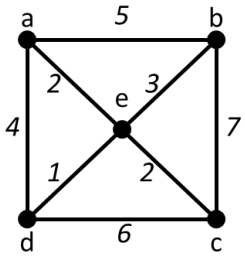
Şekil 3.2'de verilen çizge ele alındığında $\{e \to f \to g \to h \to c \to d \to a \to b\}$ yolu bir Hamilton yolu, $\{a \to b \to c \to d \to e \to h \to g \to f \to a\}$ ise bir Hamilton turu örneği olarak verilebilmektedir. Hamilton yolu problemi, Sir William Rowan Hamilton tarafından 1857 yılında, bir dodekahedron üzerinde, her köşe noktasının bir kez ziyaret edilerek bir Hamilton döngüsünün bulunması amacına dayanan "Icosian Game" isimli bir oyun ile ortaya çıkarılmıştır (Barnett, 2009).



Şekil 3. 2. Hamilton yolu ve turu örneği

Yönsüz, tam bağlı bir çizgede bulunabilecek en fazla Hamilton turu, n değeri düğüm sayısına karşılık gelmek ve en az üç adet olmak üzere $^{(n-1)!}/_{2}$ adettir (Brucato, 2013). n sayısının artması ile Hamilton turu sayısındaki çok daha yüksek oranda meydana gelen artış çözüme ulaşmak için önemli bir sorun teşkil etmektedir. Hamilton turu bulma problemi, çözümü polinom zamanlı bir algoritma ile bulunamayan np – tam problemler sınıfı içerisinde yer almaktadır (Garey ve Johnson, 1990; Slegeers and Berg, 2020).

GSP, bir ağırlıklı çizgedeki toplam ağırlığın minimum olduğu bir Hamilton turu bulma problemi olarak çizge kuramı ile tanımlanabilmektedir. Şekil 3.3 aynı çizge üzerinde farklı maliyetlere sahip Hamilton turu örneklerini içermektedir. GSP en küçük maliyete sahip turun bulunması amacı taşıdığından, Hamilton turu bulma problemine göre daha zor bir problem olup NP – zor sınıfında ye almaktadır. Problem matematiksel olarak ilk kez 1930 yılında Carl Menger tarafından formülize edilmiştir.



Tur1: $\{a \rightarrow \mathrm{e} \rightarrow \mathrm{d} \rightarrow \mathrm{c} \rightarrow \mathrm{b} \rightarrow a\}$
$Maliyet: 21$

Tur2: $\{\mathrm{c} \rightarrow \mathrm{e} \rightarrow \mathrm{d} \rightarrow \mathrm{a} \rightarrow \mathrm{b} \rightarrow c\}$
$Maliyet: 19$

Şekil 3. 3. Farklı maliyete sahip Hamilton turları örneği

3.1.2. GSP matematiksel formülasyon

GSP, problemin gereksinimlerine göre farklı kısıtların da mevcut olduğu birçok matematiksel fomülasyon içeren geniş bir literatüre sahiptir. (Sathya ve Muthukumaravel, 2017).

Standart tek boyutlu bir GSP, $G = (V, E)$ olmak üzere bir G çizgesi ile temsil edilmekte ve $V = 1,2, \ldots, N$ kümesi uğrak noktalar ve E kümesi ayrıtlardan meydana gelmektedir. En sık kullanılan GSP matematiksel modeli Dantzig, Fulkerson ve Johnson (1954)'a ait çalışmada önerilmiştir.

$Matematiksel\ model\ (DFJ)$

$$\sum_{i=1}^{N} x_{ij} = 1, \qquad j = 1,2,\dots,N \tag{3.1}$$

$$\sum_{j=1}^{N} x_{ij} = 1, \qquad i = 1,2,\dots,N \tag{3.2}$$

$$\sum_{i\in S}\sum_{i\in S} x_{ij} \le |S| - 1, \ \ \forall S \in V, \qquad x_{ij} \in \{0,1\} \tag{3.3}$$

$$kısıtları\ altında$$

$$EnkZ = \sum_{i=1}^{N}\sum_{J=1}^{N} x_{ij}c_{ij} \tag{3.4}$$

x_{ij}, satıcı bir i. şehirden j. şehre hareket ettiğinde 1 değilse 0 değerini alan ikili (binary) karar değişkenidir. (3.1) numaralı kısıt bir şehre uğrandığında bir sonraki adımda yalnızca bir şehre gidilmesini, (3.2) kısıt ise benzer şekilde bir şehre yalnızca bir şehirden gelinebilmesini sağlamaktadır. (3.3) numaralı kısıt ise tam bir tur oluşturulmasını ve altturların engellenmesini sağlayan kısıttır. Burada S, G çizgesindeki tüm mümkün turlar kümesidir. Problemde yer alan uğrak nokta sayısının artması ile (3.3) numaralı kısıta karşılık gelen alttur eleme kısıtları üstel olarak artmaktadır. Bu sorunun önüne geçmek için Miller, Tucker ve Zemlin (1960) farklı alttur eleme kısıtlarını içeren bir model önermişlerdir. Modele eklenen sürekli değişkenler ile önerilen kısıt n sayısına bağlı olarak polinomial bir artış kaydetmektedir. İlgili kısıt (3.5) aşağıdaki gibidir.

$$u_i - u_j + (n-1)x_{ij} \le n - 2 \qquad 2 \le i \ne j \le n \tag{3.5}$$

3.1.3. GSP türleri

GSP genel olarak simetrik GSP (SGSP), asimetrik GSP (AGSP) ve çoklu GSP (ÇGSP) olmak üzere üç türde incelenmektedir (Matai vd.,2010).

Bir G çizgesinde yer alan uğrak noktalar, $V = \{v_1, \dots, v_n\}$ kümesini oluşturmaktadır. $E = \{(i,j): i,j \in V\}$ ise ayrıtlar kümesine karşılık gelmektedir. $(i,j) \in A$, ayrıtının maliyeti $c_{ij} = c_{ji}$ koşulunu sağlayacak şekilde yani iki yönlü eşit değere sahipse problem, simetrik gezgin satıcı (SGSP) problem sınıfında yer almaktadır. Uğrak noktaların koordinatları verildiğinde c_{ij} maliyetleri, noktalar arası Öklid uzaklıklarına göre belirlenmektedir. Öklid uzaklıkları formül (3.6) yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$C_{ij=}\sqrt{\left(x_i - x_j\right)^2 + \left(y_i - y_j\right)^2} \tag{3.6}$$

En az bir ayrıt için dahi $c_{ij} = c_{ji}$ koşulu sağlanmıyor ise problem asimetrik gezgin satıcı problemi (AGSP) sınıfına girmektedir (Matai vd.,2010).

Tüm uğrak noktaların ziyaret edilmesi işlemi bir yerine birden fazla satıcı ile yapılmaktaysa problem çoklu gezgin satıcı olarak adlandırılmaktadır. Her bir şehir yalnızca bir satıcı tarafından bir kez ziyaret edilmelidir.

3.1.4. GSP çözüm yöntemleri

GSP literatürü, yöntemlerin verimliliğine, çözüm sonuçlarının yeterliliğine göre farklılaşan çok sayıda çözüm yaklaşımı içermektedir. Bu bölümde en sık rastlanan metotlar özetlenmektedir.

3.1.4.1. Kesin yöntemler

Tam sayımlama (enumaration) şeklinde ifade edilen yöntemler, tüm potansiyel çözümlerin incelenmesi prensibine dayanmakta olup en önemli avantajı global eniyi çözümü garanti etmesidir (Dahiya ve Sangwan, 2018). Öte yandan probleme eklenen her bir uğrak nokta çözüm kümesinde yer alan mümkün çözüm sayısının üstel olarak arttırmaktadır. Devasa çözüm uzayı, günümüz teknolojisine sahip bilgisayarlar aracılığıyla dahi makul bir zamanda taranamamaktadır. Çizelge 3.1. nokta sayısına bağlı olarak artan potansiyel rota sayılarını içermektedir. Kaba kuvvet (Brute Force) algoritması tamsayımlama sürecini içeren ve küçük boyutlu GSP'lerin eniyi çözümlerine ulaşılmasında kullanılmaktadır.

Çizelge 3. 1. n sayısına bağlı rota sayıları

n	**(n-1)!**
3	2
4	6
5	24
6	120
7	720
8	5040
9	40320
10	362880
20	1,21645E+17
30	8,84176E+30
40	2,03979E+46
50	6,08282E+62

Dal – sınır (Branch and bound) algoritması sayımlama işlemini sistematik bir şekilde yürüten bir diğer yöntemdir. En kötü durumda, kaba kuvvet algoritmasında olduğu gibi tüm muhtemel rotaların incelenmesini gerektirebilir. Uygun çözüm kümesi dallandırma adı verilen yöntemle altkümelere ayrılır. Her bir dal için rota uzunlukları hesaplanır ve alt sınır belirlenir. Uzunluğu altsınıra eşit veya daha az olan dal tekrar dallandırılır ve en iyi rota bulunur (Little vd. 1963).

3.1.4.2. Sezgisel yöntemler

Sezgisel algoritmalar, yüksek kalitede ancak optimum çözümleri kesin olarak vermeyen çözümlere ulaşmada başvurulan yöntemlerdir (Rego vd.,2011). Bu bölümde GSP çözüm için en sık başvurulan sezgisel yöntemler kısaca tanıtılmaktadır.

Tur oluşturan yöntemler, başlangıç noktasından itibaren her bir noktanın adım adım tura eklenerek tam bir turun elde edilmesini sağlamaktadırlar. Tur oluşturan algoritmaların ortak özelliği bir tur elde edildiğinde o turun geliştirilmesine yönelik herhangi bir adım içermemesidir. En yakın komşu (EYK) sezgiseli, Açgözlü algoritma (AA), Ekleme sezgiseli (ES), Christofides sezgiseli tur oluşturmaya dayalı başlıca yöntemlerdir. (Nilsson,2003). Clark ve Wright tarafından geliştirilen Tasarruf (Savings) algoritması araç rotalama problemi için önerilmiş olsa da araç kapasite kısıtları çıkarıldığında GSP için de uygulanabilir bir tur oluşturan sezgisel algoritmadır.

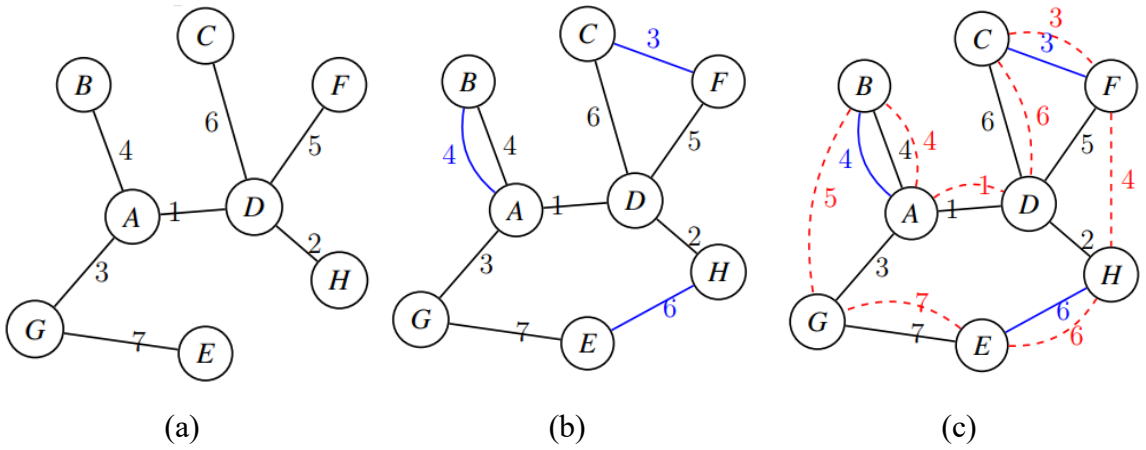
En yakın komşu (EYK) sezgiseli: Bir başlangıç noktasının seçilmesi ile başlar. Her adımda ziyaret edilmemiş en yakın komşu nokta seçilerek tur tamamlanır (Flood, 1956).

Açgözlü (Greedy) algoritma: Tur, aralarındaki mesafe en kısa olan noktaların adım adım eklenmesi ile oluşturulur. Mesafelere göre yapılan her seçimdeki başlıca kriter, eklenen noktaların bir döngü oluşturmamasıdır (Davendra, 2010).

Ekleme (Insertion) sezgiseli (ES): Bir alt küme şehir grubu ile çözüme başlanır. Genellikle bir üçgen olan bu tur en kısa mesafeli iki noktayı içerir. Bir sonraki düğüm mevcut kenarlara göre en az maliyeti getirecek şekilde seçilir.

Christofides sezgiseli (CS): Tüm noktaları kapsayan bir minimum örten ağacın oluşturulması ile başlar. Tek dereceli düğümler tespit edilerek bu düğümler üzerinde bir tam bağlı çizge oluşturulur. Minimum örten ağaç ve tam bağlı çizge birleştirilerek oluşturulan yeni çizgede Euler turu hesaplanır (Christofides, 1976).

Sezgisele ilişkin bir örnek Şekil 3.4'de verilmiştir. Şekil 3.4(a) verilen düğümleri kapsayacak bir örten ağacı içermektedir. Şekil 3.4(b) ise tek dereceli düğümlerin çizgeye eklenmesi adımını içermekte ve Şekil 3.4(c)'de ise bir Euler turu görüntülenmektedir.



Şekil 3. 4. a:En küçük örten ağaç;b:tek dereceli düğümlerin eklenmesi;c: Euler turu (Burille,2016)

Mevcut bir turun maliyet odaklı olarak iyileştirilmesine dayanan yöntemler GSP için sıklıkla kullanılmaktadır. Tur oluşturan sezgiseller ile elde edilen tura uygulanan bu yöntemler ile mevcut turun kalitesi arttırılmaya çalışılmaktadır. Bu amaçla kullanılan en yaygın sezgiseller 2 – opt, 3 – opt, k – opt ve Lin-Kernighan algoritmalarıdır (Davendra, 2010).

2 – opt ve 3 – opt sezgiseli: Tamamlanmış bir turdan rassal iki adet kenarın çıkartılıp yerine döngü oluşturmayacak şekilde yeni kenarların eklendiği yöntem 2 – opt, aynı adımların üç adet kenar için gerçekleştirildiği yöntem ise 3 – opt olarak adlandırılmaktadır. Her iki yöntemde de adımlar yeni tur daha az maliyetli elde edilebiliyorsa kabul edilir aksi halde bir sonraki ardıştırmaya geçilir ve daha iyi çözümler elde edilmeyene kadar işlemler devam eder.

k – opt sezgiseli: 2 – opt ve 3 – opt sezgiselleri k – opt yönteminin özel halleridir. Kenar sayısının k>3 olduğu durumlarda k – opt algoritmasına başvurulabilir. Genellikle 4 – opt yöntemi tercih edilir ve bu yöntem köprülerin çaprazlanması (crossing bridges) olarak da isimlendirilebilmektedir.

Lin - Kernighan algoritması: k – opt yönteminden farklı olarak k değeri algoritma içerisinde belirlenir. Kenarların değiştirilmesi aşamasında en büyük iyileştirmeyi esas alır (Lin ve Kernighan,1973). 1973 yılında Lin ve Kernighan tarafından önerilen yöntem GSP çözümünde en etkili yöntemlerden biridir.

3.1.4.3. Metasezgisel yöntemler

Metasezgisel yöntemler birçok probleme adapte edilebilen basit ve esnek yöntemlerdir. Ayrıca uzay arama fonksiyonlarının birden fazla arama ajanı içermesi ve genellikle stokastik yapıda olması nedenleri ile yerel eniyilere takılmama ve global optimumlara yakınsama konularında başarı göstermektedirler (Meidani vd.,2022).

Tabu arama (TA), Tavlama benzetimi (TB), Genetik algoritmalar (GA) ve Karınca koloni optimizasyonu (KKO) GSP için en sık başvurulan metasezgisel yöntemlerdir ve yöntemler izleyen bölümde kısaca tanıtılmaktadır.

Tabu arama: Mevcut çözümlerin komşuluğunda çalışan bir komşuluk arama algoritmasıdır. Mevcut çözümden daha iyi olmamasına karşın komşuluktaki en iyi çözümün seçilmesine imkân tanımaktadır. Kontrol edilmiş çözümlerin tekrar kullanılmaması adına bir sonraki iterasyonda kullanılmayacak çözümlerden oluşan bir tabu listesi ile çalışmaktadır. Yaklaşım Fred Glover tarafından önerilmiştir (Glover,1990). Daha sonra GSP için sık kullanılan yaklaşımlar arasında kendisine yer bulmuştur.

Tavlama benzetimi: Isı banyosuna alınmış fiziksel sistemlere ait davranış biçimlerinin, kombinatoriyal optimizasyon problemlerinin çözüm bulma aşamasına uyarlanmasıdır. Malzeme kalitelerinin arttırılması amacı ile önce belirli bir sıcaklığa kadar ısıtılıp sonra aşama aşama soğutma işlemi tavlama olarak adlandırılmaktadır. Soğutma işleminin bir anda değil yavaş gerçekleştirilmesi, maddelerin istenilen dizilimde minimum enerji seviyesine geçmesini sağlamaktadır (Skiscim ve Golden,1983). Tavlama benzetimi yöntemi, tavlama sürecini taklit etmek üzere belirlenmesi gereken başlangıç sıcaklık, her sıcaklıkta üretilecek çözüm sayısı, sıcaklık fonksiyonu ve durma kriteri olmak üzere dört parametre içermektedir. Sıcaklık fonksiyonu ile sıcaklıkta gevşemeler meydana getirilir ve yeni uygun çözümler elde edilir.

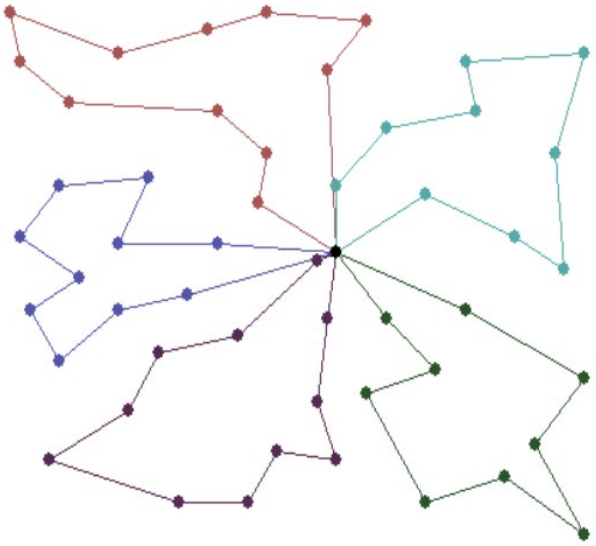
Uygun çözümler mevcut çözümden daha iyi ise kabul değilse olasılık fonksiyonu sonucuna göre kabul edilir. Böylece yerel eniyilerden kaçınarak daha geniş bir çözüm alanının taranmasına izin verilir. Yöntem, Kirkpatrick vd., (1983) tarafından geliştirilmiştir.

Genetik algoritmalar: Biyolojik evrim ve doğal seleksiyon süreçlerini esas alan ilk kez Holland (1975) tarafından önerilen stokastik arama algoritmalarıdır. GA'da seçim, çaprazlama ve mutasyon olmak üzere üç operatör kullanılmaktadır. Kromozomlar uygun çözümleri temsil etmektedir. Yöntemin uygulanabilmesi için kromozomlardan meydana gelen bir popülasyona gereksinim vardır. Operatörler evrimsel mekanizmaları taklit eder ve popülasyona uygulanır. Uyum fonksiyonu değerlerine göre çözümlerin geçerliliği sınanır (Goldberg,1989). GSP ve GA'nın buluştuğu çalışma Brady, (1985) tarafından önerilmiştir.

Karınca kolonisi optimizasyonu: Yöntem ilk olarak Dorigo vd. (1999) tarafından GSP için kullanılmak üzere önerilmiştir. Gerçek karıncalar bir yön bulma ve haberleşme aracı olarak feromon adı verilen kimyasal madde üretirler. Yuvadan yeni çıkacak olan karıncalar daha önce çıkmış olan karıncaların bıraktıkları feromon izlerine göre yönlerini tayin ederler. Daha kısa mesafede yiyecek bulmuş ve yuvaya dönmüş olan karıncanın bıraktığı feromon miktarı, daha yeni olduğundan diğer karıncalar tarafından kolayca algılanır ve rota bu yolu takip edecek şekilde oluşturulur. Algoritmada tüm yapay karıncalar için başlangıç yollar rassal olarak belirlenir. Kenarlar için feromon miktarları atanır. Her bir karıncanın toplam mesafesine göre rotadaki feromon miktarları güncellenir. Feromon buharlaşma miktarları hesaplanır ve belirlenen iterasyon sayısı kadar devam ettirilir. Feromon miktarı bilgisine göre çözüme ulaşılır.

3.2. Çoklu Gezgin Satıcı Problemi (ÇGSP)

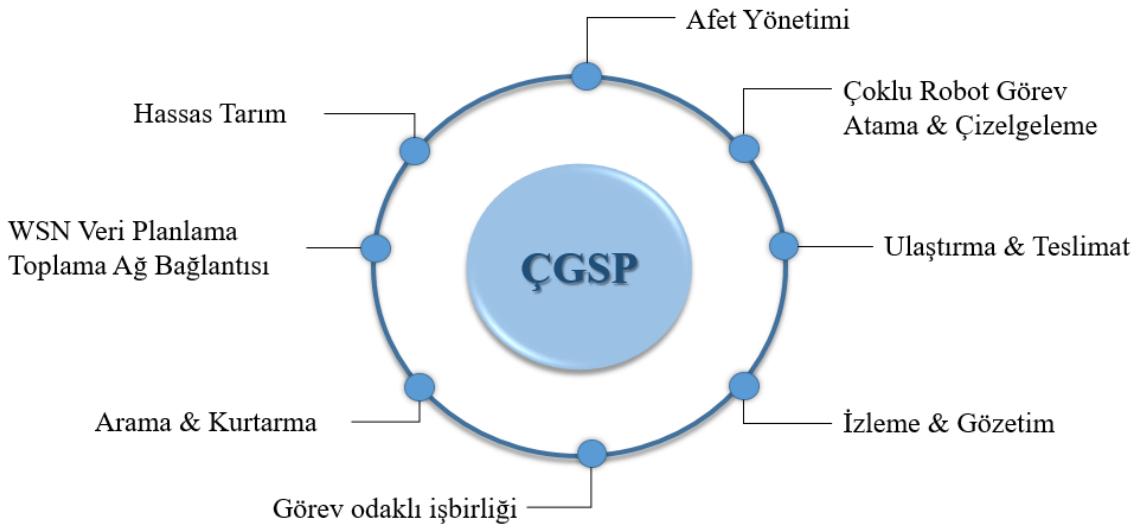
Çoklu Gezgin Satıcı Problemi (Multiple Traveling Salesman Problem), standart GSP'nin bazı gerçek hayat problemlerini temsil etmede yetersiz kalması sonucu ortaya çıkan daha kapsamlı bir çeşididir (Carter, 2003). ÇGSP'de, n adet şehrin bir kez, altturlara imkân vermeden en az maliyetle ziyaret edilmesi ile birlikte bu işlem bir değil m adet gezgin satıcı tarafından gerçekleştirilmektedir. 50 noktalı ve 5 satıcılı bir ÇGSP'ye ait örnek rotalar Şekil 3.5.'de verilmiştir.



Şekil 3. 5. n=50 ve m=5 ÇGSP örneği

ÇGSP, gerçek hayatta ve literatürde karşılaşılan farklı problem türlerini de içerisinde barındırmaktadır. Araç rotalama problemi (ARP), ÇGSP'ye araç kapasitesi ve müşteri talepleri gibi ek kısıtların gereksinim duyulduğu bir problem türüdür. ÇGSP'nin yalnızca bir ziyareti kabul etmesi ve altturlara izin vermemesinin dışında iş atama problemleri ile de benzerlikleri mevcuttur. Uygulama alanlarına göre gezgin satıcılar, kamyonlar, diğer taşıma araçları, insansız hava araçları (drone), mobil robotlar gibi farklı problem bileşenlerini temsil edebilmektedir (Cheikhrouhou ve Khoufi, 2021).

Şekil 3.6. ÇGSP olarak ele alınmış gerçek hayat problemlerini içermektedir. Afet yönetimi, çoklu robot görev çizelgeleme, izleme ve gözetim, arama kurtarma, görev odaklı işbirliği, WSN (Wireless Sensor Network) veri planlama ve toplama, hassas tarım gibi yeni teknolojinin kazandırdığı pek çok faaliyette mobil robotlar, ulaştırma ve teslimat faaliyetlerinde taşıma araçları üzerinde çalışılmıştır.



Şekil 3. 6. ÇGSP uygulama alanları

3.2.1. ÇGSP matematiksel formülasyon

ÇGSP türlerine göre farklı formülasyonlar mevcuttur. Bu bölümde üzerinde çalışılan problemde ve literatürde en çok çalışılan modeller detaylandırılmaktadır. ÇGSP, GSP'de olduğu gibi bir $G = (V, A)$ çizgesi ile temsil edilebilmektedir. $V = \{v_1, \dots, v_n\}$ uğrak noktalar $(i, j) \in A$ ayrıtlar kümesini oluşturmaktadır. Ayrıt maliyeti c_{ij} olmak üzere $C = c_{ij}$ ayrıtlara göre değer alan uzaklık (maliyet) matrisidir. Tüm noktalar bir kez uğranmak koşulu ile m adet araç tarafından kapsanmalıdır (Bektas, 2006). Formülasyonu açıklanacak olan probleme ait genel kabul görmüş varsayımlar aşağıda maddeler halinde verilmektedir.

- ✓ Her bir ayrıtın maliyeti simetrik olup $c_{ij} = c_{ji}$ kuralına uymaktadır.
- ✓ Merkez nokta haricindeki $n - 1$ adet uğrak nokta (şehir) m adet satıcıdan (araç) bir tanesi tarafından yalnızca bir kez ziyaret edilmelidir.

Yukardaki özellikleri sağlayan bir standart ÇGSP (SD-ÇGSP) problemi amaç fonksiyonu yapısına göre toplam maliyetin enküçüklenmesi (EnkTop) ve bir araca ait maksimum maliyetin (mesafenin) enküçüklenmesi (EnkEnb) olmak üzere genellikle iki farklı şekilde ele alınmaktadır.

3.2.1.1 EnkTop (MinSum) formülasyonu

Bu bölümde araçlara ait toplam maliyeti enküçükleme amacına sahip matematiksel model tanıtılmaktadır. EnkTop fonksiyonu genellikle tüm araçların gittiği toplam mesafeyi veya araç yerine mobil robotları içeren bir problemde toplam robot enerji tüketimini minimize hedefli problemlerde sıklıkla kullanılmaktadır ve SD-ÇGSP için üzerinde en sık çalışılan amaç fonksiyonu türüdür (Cheikhrouhou ve Khoufi, 2021).

x_{ij}, (i,j) ayrıtı kullanılıyorsa 1, kullanılmıyorsa 0 değerini alan ikil karar değişkenidir.

Matematiksel model (Bektaş, 2006)

$$\sum_{j=2}^{n} x_{1j} = m, \tag{3.7}$$

$$\sum_{j=1}^{n} x_{j1} = m, \tag{3.8}$$

$$\sum_{i=1}^{n} x_{ij} = 1, \qquad j = 1,2,\dots,n \tag{3.9}$$

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} = 1, \qquad i = 1,2,\dots,n \tag{3.10}$$

$$+ alttur\ eleme\ kısıtları \tag{3.11}$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}, \forall (i,j) \in A \tag{3.12}$$

$$kısıtları\ altında$$

$$EnkZ = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} x_{ij} c_{ij} \tag{3.13}$$

Kısıt (3.9), (3.10) ve (3.12) GSP modellemelerinde yer alan klasik atama kısıtlarını temsil etmektedir. (3.7) ve (3.8) numaralı kısıtlar m adet aracın depodan çıkmasını ve depoya dönmesini sağlamaktadır. (3.12) istenmeyen altturların elenmesini sağlayan kısıtlar olup farklı varyasyonları mevcuttur. En sık kullanılan alttur eleme kısıtlarından biri (3.14)'de verilen Gavish (1976) tarafından önerilen kısıttır. Amaç fonksiyonu toplam maliyeti enküçüklemektedir.

$$u_i - u_j + (n-m)x_{ij} \leq n - m - 1 \qquad 2 \leq i \neq j \leq n \qquad (3.14)$$

3.2.1.2 EnkEnb (MinMax) formülasyonu

En uzun mesafeye sahip araca ait mesafeyi minimize etme amacına sahip bu modelde genellikle üç indisli karar değişkenlerinin bulunduğu modelleme yapısı tercih edilmektedir. x_{ijk}, (i,j) ayrıtı k. Araca atanmışsa 1, diğer durumlarda 0, değerini alan ikil değişkendir.

Matematiksel model (Necula vd, 2015)

$$\sum_{j=2}^{n} x_{1jk} = 1, \qquad k = 1,2,\dots,m \qquad (3.15)$$

$$\sum_{j=1}^{n} x_{j1k} = 1, \qquad k = 1,2,\dots,m \qquad (3.16)$$

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{k=1}^{m} x_{ijk} = 1, \qquad j = 2,\dots,n, i \neq j \qquad (3.17)$$

$$\sum_{j=1}^{n}\sum_{k=1}^{m} x_{ijk} = 1, \qquad i = 2,\dots,n, i \neq j \qquad (3.18)$$

$$\sum_{i=1}^{n} x_{ijk} = \sum_{i=1}^{n} x_{jik} \qquad j = 2,\dots,n, \; k = 1,2,\dots,m, \; i \neq j \qquad (3.19)$$

$$u_i - u_j + (n-m) * \sum_{k=1}^{m} x_{ijk} \leq n - m - 1 \qquad 2 \leq i \neq j \leq n \qquad (3.20)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}, \forall (i,j) \in A, k = 1,2,\dots m \qquad (3.21)$$

$$EnkZ = Enb \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} x_{ijk}c_{ij} \qquad kısıtları\ altında \qquad (3.22)$$

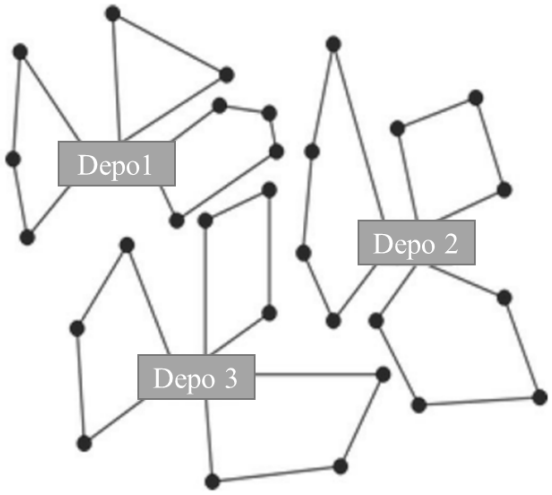
(3.15) – (3.19) arası kısıtlar araçların sadece bir şehre uğrayabileceğin ve bir şehrin yalnızca bir araç tarafından ziyaret edilmesine dayalı kısıtların üç indise uyarlanmış halleridir. Kısıt (3.20) alttur eleme kısıtına karşılık gelmekte olup amaç (3.22), maksimum mesafeli aracın maliyetini enküçüklemektedir.

EnkTop amaç fonksiyonu tüm araçların veya satıcıların mesafelerinin toplamının minimize edilmesidir. İnsanız hava araçları için bu durum kabul edilebilirdir ancak gerçek hayatta uygulanabilir bir çözüm için toplam değil her aracın ayrı ayrı mesafelerinin de dikkate alınması gerekmektedir aksi durumda satıcılar için hoşnutsuz durumlar ortaya çıkabilmektedir (Maatsura ve Numata, 2014).

3.2.2. ÇGSP türleri

Küreselleşen üretim ve hizmet endüstrisi alanında, entegre edilmiş lojistik sistemlerin önemi giderek artmaktadır (Kota ve Jarmai,2015). ÇGSP, üretim ve hizmet sistemlerinde karşılaşılan bir problem türüdür. Sistemlerin ihtiyaçlarına göre problemin tanımlanmasında farklılıklar meydana gelebilmektedir. Bu bölümde literatürde en sık karşılaşılan ÇGSP türlerine değinilecektir.

Tek depo – çok depo: Standart ÇGSP, satıcıların bir merkezden çıkıp tekrar aynı merkeze dönme koşulunu içeren tek merkez veya tek depo içeren bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Merkez sayısının birden fazla olduğu yani satıcı olarak ele alınan araç veya robotların belirli konumlardaki farklı merkezlere dönebildiği problem türleri uygun kısıtlamaların eklenmesi ile ÇGSP kapsamında ele alınmaktadır. Şekil 3.7.'de çok depolu bir probleme ait çözümlerin rota gösterimleri verilmiştir.



Şekil 3.7. Çok depolu ÇGSP (Calvet vd.,2018)

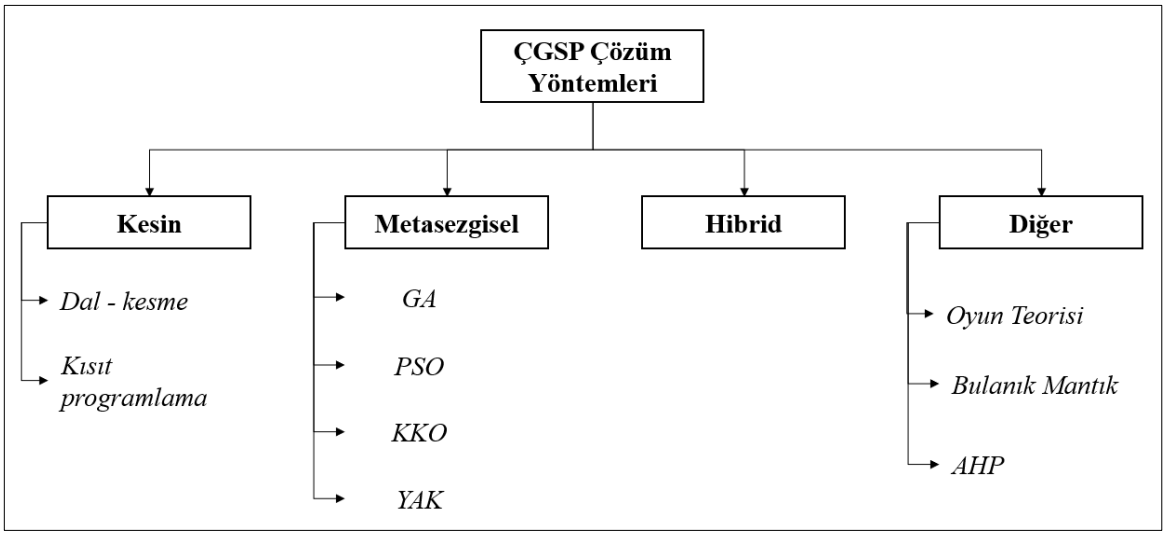
Sabit depo – mobil depo: Depo yerinin sabit kaldığı yani konum değiştirmediği problemlerin yanı sıra bazı durumlarda mobil (hareketli) depolar ile çalışılabilmektedir. Eğer depo olarak baz alınan nokta bir taşıma aracı ise araçlar depo aracından ayrıldıktan sonra deponun yer değiştirmesi sebebi ile farklı bir konuma geri dönmeleri gerekebilmektedir. Genellikle işleri tamamlayıp dönmekte olan dronelar için bu problem türü kullanılmaktadır.

Tek amaçlı – çok amaçlı: Problemin çıkış noktası ve doğası gereği amaç fonksiyonu toplam mesafenin enküçüklenmesini hedeflemektedir. Toplam mesafenin azaltılması her zaman olmasa da çoğunlukla dolaylı olarak toplam maliyetin, toplam tüketilen enerjinin de azaltılmasını sağladığından genellikle mesafe odaklı modeller kurulmakta ve çözüm önerilerinde bu ölçüt göz önüne alınmaktadır. Bir diğer sık kullanılan amaç fonksiyonu ise bir araca ait maksimum iş yükünün minimum olmasıdır. Bu amaç kullanılan m adet araç arasındaki mesafe farklılıkların minimuma indirilmesi dolayısı ile dengeli bir iş yükü dağılımını sağlamaktadır. Her iki amaç ayrı ayrı ele alınabildiği gibi ikisinin işlevinin de önemli olduğu problemlerde birlikte kullanılabilmektedir. Temelde kullanılan iki amaç fonksiyonunun dışında süre, görevli satıcı sayısı vb. kullanılan diğer amaç fonksiyonlarıdır.

3.2.3. ÇGSP çözüm yöntemleri

ÇGSP, ulaştırma ve lojistik alanlarına ait diğer problemler gibi NP – zor sınıfında yer almaktadır (Bolanos vd.,2015).

Optimum çözümleri veren yöntemler yerine daha kısa zamanda kabul edilebilir çözümleri veren yöntemlere ÇGSP literatüründe sıklıkla başvurulmuştur. Şekil 3.8. en sık karşılaşılan yöntemler ve sınıflandırmalarını içermektedir.



Şekil 3. 8. ÇGSP çözüm yaklaşımları

3.2.2.1. Kesin çözüm yöntemleri

Kesin yöntemlerin ÇGSP için uygulanabilirliğinin düşük olması nedeni ile yöntemler birkaç tane ile sınırlı kalmıştır. Bu bölümde dal – kesme ve kısıt programlama yaklaşımları kısaca tanıtılmaktadır.

Dal – kesme algoritması: Dal sınır algoritması ve kesme düzlemi algoritmasının bir bileşimi olup sıklıkla ARP için kullanılmaktadır. Problemin tamsayılı çözümlerinden elde edilen uygun olmayan çözümler dallandırma metodu ile elenmektedir. Özellikle altturların giderilmesi için dallandırma adımına gereksinim duyulmaktadır.

Kısıt programlama: Doğrusal programlama ve mantık programlama adı verilen bilgisayar programlamanın temeli olan iki yaklaşımın birlikte kullanılmasına dayalı bir türdür. Kısıt programlamada değişkenlerin alabileceği değerler, kısıtlar kümesi, değişkenler ayrı olarak tanımlanmaktadır (Özcan vd.,2020). x_i, karar değişkenlerini, D, karar değişkenleri değerler kümesi ve C kısıtlar kümesini temsil etmekte iken genel bir kısıt programlama gösterimi aşağıda verilmiştir.

Kısıt programlama modeli

$$C_j = \{c_1, \dots, c_m\} \qquad \forall_j \in \{1, \dots, m\} \qquad (3.23)$$

$$x_i \in D_i \qquad \forall_i \in \{1, \dots, m\} \qquad (3.24)$$

$$kısıtları\ altında$$

$$EnkZ\ H(x_{1,} x_2, \dots, x_n) \qquad (3.25)$$

(3.23) numaralı kısıt sağlanması gereken kısıtların bir kümesi, (3.24) ise değişken değerlerinden oluşan çözüm alanının ifadesidir.

3.2.2.2. Metasezgisel yöntemler

Çeşitliliği ve kolay uygulanabilir olması sebebi ile ÇGSP için en sık kullanılan yöntemlerdir. Literatürün büyük bir kısmı metasezgisel yöntemlerin uygulanmasındaki öneriler ve yöntemlerin birbiri ile karşılaştırılmasına yöneliktir.

Genetik algoritmalar: ÇGSP için şüphesiz en sık kullanılan çözüm yöntemidir. Amaç fonksiyonu ve kısıtlara uygunluklarına göre farklı kromozom gösterim yapıları, yeni çaprazlama operatörleri ile GA tabanlı tabanlı yöntemler önerilmektedir.

*Parçacık sürü optimizasyonu (PS*O): GA'da olduğu gibi popülasyon bazlı bir algoritmadır. Kennedy ve Ebberhart (1995) tarafından önerilen yöntem kuş ve balık sürülerinin sosyal davranışlarından esinlenmektedir. Algoritma, sürüdeki bireylerin (parçacıkların), sürüde en iyi konumda bulunan bireye yaklaştırılması işlevini temel almaktadır.

Karınca kolonisi optimizasyonu: ÇGSP çözümünde GA'dan sonra en sık tercih edilen metasezgisel yöntemdir. KKO doğrudan kullanılamadığından farklı yöntemler ile modifiye edilmiş KKO bazlı yöntemler geliştirilmiştir.

Yapay arı kolonisi (YAK): Karaboğa ve Baştürk (2005), arıların besin arama sürecindeki zeki davranışlarını modellemişlerdir.

Kâşif arılar yiyecek aramaya rastgele başlamaktadır. Yiyecek kaynağına ulaşıldığında kâşif arı görevli arı mertebesine geçer ve yiyeceği kovana bildirmekle yükümlüdür. Yiyecek kaynak bilgisi, kâşif arıların bir tür dansı aracılığıyla kovandaki gözcü arılara aktarılır. Gözcü arılar dans sonucunda edindikleri bilgiye göre yiyecek kaynaklarından seçilecek olana karar verirler. Algoritmada, işçi arıların ulaştıkları yiyecek kaynakları muhtemel çözümlere işaret eder ve içerisindeki nektar miktarı çözüm kalitesini temsil eder. Gözcü arılar kaynak seçimlerinde olasılık değerlerini kullanır. Döngü belirli bir limit değerine ulaşıncaya kadar devam etmektedir (Küçüksille ve Tokmak, 2011).

3.2.2.3. Hibrid (melez) yöntemler

Metasezgisel yöntemlerin bütünleşik kullanımı ile geliştirilen melez yöntemlere ÇGSP çözümleri için de sıkça başvurulmuştur. Melez yöntemler genellikle çok amaçlı problemler için geliştirilmekte olup çoğunlukla evrimsel algoritmalar tercih edilmektedir. Evrimsel algoritmaların avantajı, bir aday çözüm popülasyonu ile başlamaları ve tek bir çalıştırılmada dahi pareto grafik çıktısı için bir dizi pareto çözüm üretebilmesidir (Zhang ve Battiti,2013).

3.2.2.3. Diğer yöntemler

Literatürde kendine daha az uygulama alanı bulmuş farklı yöntemlere ulaşılabilmektedir. Oyun Teorisi, Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), Bulanık Mantık yaklaşımları daha az kullanılan yöntemlere örnek olarak verilebilmektedir.

Değinilen tüm yöntemlere ek olarak, ÇGSP'nin klasik GSP'ye dönüştürülmesi ve literatürde üzerinde çok daha fazla çalışılan GSP çözüm yöntemlerini kullanabilme olanağı kazandırılması mümkün olabilmektedir. Satıcı sayısının artması bu tür yöntemlerde çözümün etkinliğini azaltsa da belirli satıcı sayısında etkili sonuçlar elde edilebilmektedir.

4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

4.1. Literatürde Gezgin Satıcı Problemi

Gezgin satıcı probleminin ilk ortaya çıkış yeri ve tarihi kesin olarak bilinmemektedir. Problemin benzer bir örneğine ilk kez Almanya ve İsviçre'de seyahat eden satıcılar için hazırlanan Der Handlungsreisende - Von einem alten Commis Voyageur isimli bir el kitabında rastlanılmıştır (Cook, 2011). Problem ilk kez İrlandalı matematikçi W.R. Hamilton ve İngiliz matematikçi Thomas Kirkman tarafından 1800'lü yıllarda tanımlanmış ve problemle ilintili olarak, bir dodekahedron üzerinde Hamilton yolu bulmayı amaçlayan Icosian adlı bir oyun geliştirilmiştir. 1930'lu yıllarda Karl Menger, problemi ilk kez matematiksel olarak ifade etmiştir. Daha sonra Princeton'da Hassler Whitney ve Merrill Flood problem üzerinde çalışmalar yapmışlardır. GSP 1950'li yıllarda araştırmacıların ilgisini çeken popüler bir problem haline gelmiştir. GSP (TSP) terimine ilk yazılı referans 1949 yılında Julia Robinson tarafından verilmiştir. 1972 yılında Richard M. Karp, Hamilton Turu probleminin NP – tam (NP – complete) bir problem olduğunu göstermiştir ki bu GSP'nin NP – zor (NP – hard) bir problem olduğunun bir ifadesidir (Brucato, 2013). GSP'nin kilometre taşlarını oluşturan çalışmaların özeti Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4. 1. GSP kilometre taşları

Yayım Yılı	Araştırma Ekibi	Problem Boyutu
1954	G. Dantzig, R. Fulkerson, and S. Johnson	49 şehir
1971	M. Held and R.M. Karp	64 şehir
1975	P.M. Camerini, L. Fratta, and F. Maffioli	67 şehir
1977	M. Grötschel	120 şehir
1980	H. Crowder and M.W. Padberg	318 şehir
1987	M. Padberg and G. Rinaldi	532 şehir
1987	M. Grötschel and O. Holland	666 şehir
1987	M. Padberg and G. Rinaldi	2,392 şehir

Çizelge 4.1. GSP kilometre taşları (devam)

1994	D. Applegate, R. Bixby, V. Chvátal, and W. Cook	7,397 şehir
1998	D. Applegate, R. Bixby, V. Chvátal, and W. Cook	13,509 şehir
2001	D. Applegate, R. Bixby, V. Chvátal, and W. Cook	15,112 şehir
2004	D. Applegate, R. Bixby, V. Chvátal, W. Cook, and K. Helsgaun	24,978 şehir
2006	D. Applegate, R. Bixby, V. Chvátal and W. Cook	85,900 şehir

Günümüze kadar yanıtı aranan en büyük ölçekli GSP 1,904,711 şehirden meydana gelen "World TSP" isimli problemdir. Probleme ait bugüne kadar bildirilen en iyi turun uzunluğu 7.515.755.956 olup 15 Şubat 2021 tarihinde Keld Helsgaun tarafından Lin – Kernighan algoritmasının bir versiyonu kullanılarak ve 11 Şubat 2021'de Xavier Clarist tarafından bulunan 7.515.767.286 uzunluğundaki turun başlangıç tur olarak alınması sonucu bulunmuştur.

4.2. Literatürde Çoklu Gezgin Satıcı Problemi

ÇGSP, NP–zor bir problem türü olduğundan ilk ortaya çıktığından bu yana araştırmacıların ilgisini çekerek önemli bir problem haline gelmiştir. Çoklu Gezgin Satıcı Problemi (MTSP), robotik, ulaşım, ağ oluşturma vb. dahil olmak üzere gerçek hayattaki uygulamalarda yaygın olarak kullanıldığı için en ilginç kombinatoryal optimizasyon problemleri arasındadır (Cheikhrouhou ve Khou, 2021). Uygulama alanı klasik gezgin satıcı probleminden daha fazla olmasına karşın henüz klasik gezgin satıcı problemi kadar üzerinde durulmamıştır.

Bu bölümde ilk olarak ÇGSP'nin ortaya çıkmasına öncülük eden uygulama alanlarındaki çalışmalar üzerinde durulmuştur. Ardından tez çalışması ile ilişkili olarak son yıllarda yapılan araştırmalar, kullanılan amaç fonksiyonları, çözüm yöntemleri ele alınarak özetlenmiştir.

4.2.1. ÇGSP öncü uygulamaları

Dantzig ve Carter (1959), GSP'nin daha kapsamlı bir versiyonu olarak tanımlanmış kamyon sevkiyat problemi üzerine bir araştırmadır.

Yükleme noktasından (bulk terminal) çıkan benzin kamyonlarının ihtiyacı olan istasyonlara talep ettikleri kadar benzin sevkiyatının gerçekleştirilmesi amaçlanmaktadır. Sevkiyat esnasında kamyon filosunun kat ettiği toplam kilometre minimum olacak şekilde bir rotanın bulunması gerekmektedir. Eniyi çözüme yakın bir çözüm elde etmek amacıyla doğrusal programlama formülasyonuna dayalı bir prosedür önerilmiştir. Çalışma Araç Rotalama Problemi (ARP) 'nin ilk örneklerinden biri olmakla birlikte ÇGSP'yi de kapsamaktadır.

Matbaa çizelgeleme problemleri ÇGSP'nin ilk ve önemli uygulamalarından biridir. Öncelikle Gorenstein (1970) tarafından önerilen çalışmada bir matbaada farklı versiyonda (edition) basılması gereken bir süreli yayının hangi baskı formu kullanılarak hangi silindirde basılması gerektiğine karar verilmektedir. Karar verme aşamasında üç farklı baskı formu mevcut olduğundan, problem 3 – gezgin satıcı problemi olarak tanımlanmış ve bu çıkış noktası ile sezgisel bir çözüm yöntemi verilmiştir. Carter ve Ragsdale (2002), bir matbaadaki üretim süreçlerinin iyileştirilmesi üzerine yapılmıştır. Üretim hatları arasında denge sağlanmış ve toplam üretim süresi azaltılmıştır. Problem ÇGSP olarak ele alınmış ve çözümü için GA tabanlı bir sezgisel önerilmiştir.

Angel vd., (1972), ÇGSP bir okul servisi çizelgeleme problemi olarak ele alınmıştır. Çizelge, servis kapasitelerini, zaman kısıtlarını içeren toplam rota sayısı ve toplam mesafeyi minimize eden bir algoritma kullanılarak oluşturulmaktadır.

Gilbert ve Hostra (1972), ÇGSP ‘nin çok periyodlu bir hali için çözüm önerilmektedir. Turizm sektörü için yapılan çalışmada tur komisyoncularının, tur satıcıları ile olan görüşmelerinin planlanması yapılmıştır. Problemde komisyoncular satıcılara tekabül ederken tur satıcıları ziyaret edilecek şehirleri temsil etmektedir.

Svestka ve Huckfeldt (1973), birden çık satıcılı GSP için bir formülasyon geliştirilmiştir. Buna karşılık dal sınır, başlangıç tur oluşturma ve atama olmak üzere üç ana bölümden meydana gelen bir algoritma önerilmiştir.

Algoritma alt ve üst sınırları (lower – upper bounds) kullandığından arama alanını azaltmakta ve hesaplama süresinde avantaj sağlamaktadır. Zhang vd., (1999) fotoğraf stüdyosunda çalışan fotoğraf ekiplerinin rotalarının belirlenmesinde ÇGSP modeli kullanmışlardır. Ekipler çok sayıda ilkokul ve ortaokula uğramak durumunda ve her bir ekip en az iki okulda çekim yapmalıdır. Problemin çözümü için GA’ya başvurulmuştur.

Brumitt ve Stentz (1999), mobil robotların görevlerini tamamlaması için izlemesi gereken en uygun rotanın belirlenmesi üzerine bir çalışmadır. Problem ÇGSP’nin bir versiyonur ve robotlar başlangıçta farklı konumlardadır her biri kendilerine atanan hedefleri ziyrat etmeli ve üsse geri dönmelidir. Yu vd. (2002), otonom robotların rota planlaması üzerine bir çalışma yapılmıştır. En uzun yolun en kısa olduğu ve toplam yolun en kısa olduğu ÇGSP’ler GA kullanılarak çözülmüştür.

Tang vd. (2000), demir – çelik endüstrisi üretim süreçlerinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Sıcak haddeleme işleminde üretilecek parçalar arası kurulum (setup) maliyeti sıralamaya bağımlı olarak değişmektedir. Problem ÇGSP’nin bir versiyonu olarak ele alınmıştır. Parçalar arasındaki farklı kurulum maliyetleri şehirlerarasındaki uzaklıklara tekabül etmektedir ve parça işleme sıraları bu bakış açısı ile belirlenmiştir. Çalışmanın yapıldığı üretim merkezinde bir yıl içerişimde yüzde yirmi gelişme kaydedilmiştir.

4.2.2. Çözüm yöntemlerine göre ÇGSP uygulamaları

Tez çalışmasında üzerinde durulan problem ÇGSP'nin en yaygın versiyonu olan tek depolu ve tur sonlandığında depoya geri dönüşün gerçekleştiği halidir.

Şu halde ilgili versiyon kapsamında yapılan çalışmalar bu bölümde özetlenecektir. Çalışmalar çözümde kullandıkları çözüm yöntemlerine göre sınıflandırılmıştır.

4.2.2.1 Kesin (Exact) çözüm yöntemlerini kullanan uygulamalar

Oberlin vd. (2009), ayrıt maliyetlerinin üçgen eşitsizliğini sağladığı çok depolu ÇGSP, tek depolu asimetrik GSP'ye dönüştürülerek çözüm aranmıştır. Dönüşüm depo noktalarının düğüm olarak kopyalarının çizgeye eklenmesiyle gerçekleştirilmiş olup GSP olarak elde edilen yeni problem kesin çözüm yöntemleri ile çözülmektedir.

Sundar ve Rathinam (2017), insansız hava ve kara araçları için rota planlaması yapılan bir çalışmadır. Problemde söz konusu araçlar heterojen olup, her bir hedefe kesin olarak uğranması gerekmektedir ve araçların kat edeceği toplam mesafenin enazlanması amaçlanmaktadır. Problem, Çoklu Kara Aracı ve Çoklu Hava Aracı Planlama Problemi olarak ele alınmış olup ÇGSP 'nin genişletilmiş bir versiyonudur. Kara ve hava araçları için iki farklı karma tam sayılı programlama formülasyonu geliştirilmiştir. Formülasyon kullanılarak özelleştirilmiş bir dallandır ve kes algoritması, çözüm için önerilmiştir.

Vali ve Salimifard (2017), ÇGSP için kısıt programlama modeli geliştirilmiştir. EnkTop (MinSum) amaç fonksiyonunu içeren model sonucu elde edilen sonuçlar, doğrusal programlama modeli ve metasezgisel algoritmalar kullanılarak varılan sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Doğrusal programlama ve kısıt programlamanın faydalı özelliklerini birlikte sağlayan bir hibrid algoritmanın kısa zamanda iyi çözümler vereceği öne sürülmüştür.

4.2.2.2 Metasezgisel (Metaheuristics) çözüm yöntemlerini kullanan uygulamalar

Problem yapısı itibari ile algoritmalara kolay adapte edilebilir olması ve problem boyutu büyüdükçe makul sürelerde çözümlere ulaşabilmenin mümkün olamayacak duruma gelmesi sebebi ile araştırmaların büyük çoğunluğunda metasezgisel yöntemlere başvurulmuştur. Genetik Algoritmalar (GA), Karınca Kolonisi Optimizasyonu (KKO), Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO), Yapay Arı Kolonisi (YAK) en sık başvurulan tekniklerdir.

Genetik Algoritma uygulamaları:

Furhud ve Ahmed (2020), standart ÇGSP çözümlerinde GA çaprazlama operatörlerinin etkisi incelenmiştir. Sıralı Yapıcı Çaprazlama (constructive crossover, SYÇ), Uyarlanmış Çaprazlama (Adaptive Crossover, UÇ), Açgözlü Çaprazlama (Greedy Crossover, AÇ), Tersine Açgözlü Çaprazlama (Reverse Greedy Crossover, TAÇ), Kapsamlı Çaprazlama (Comprehensive Crossover, KÇ) operatörü olmak üzere beş farklı operatörün GA'ya uygulanması sonucu varılan sonuçlar karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucu KÇ operatörünü kullanan GA'nın daha başarılı olduğu vurgulanmıştır.

Yuan vd (2013), EnkEnb ve EnkTop amaç fonksiyonlarına sahip ÇGSP çözümleri için GA tekniği kullanılmış, çözüm uzayını azaltan yeni iki parçalı kromozom gösterimi önerilmiştir. İki parçalı kromozom yapısı, birincisi kromozomun ikinci parçasında sınırlı çeşitlilikte çözümlerin bulunması, ikincisi kromozomun ilk parçasındaki faydalı bilgilerin yok edilebilmesi olmak üzere iki istenmeyen duruma neden olmaktadır. Bu olumsuz durumların üstesinden gelmek amacı ile iki parçalı kromozom gösterimi için iki parçalı çaprazlama operatörü önerilmiştir. Yeni operatörün ürettiği sonuçlar mevcut üç operatörle karşılaştırılmış ve daha etkin çözümlere ulaşılmıştır.

Sing ve Baghel (2009), tek boyutlu kutulama problemi için Sing ve Gupta (2007)'de önerilmiş bir GA yaklaşımı olan Kararlı – Durum Gruplandırılmış (Steady – State Grouping) GA'yı, EnkEnb ve EnkTop olmak üzere iki amaç için ayrı olarak ÇGSP'ye uyarlanmıştır.

Önerilen GA performansının, karşılaştırılan üç farklı GA yaklaşımından daha iyi olduğu sonucuna varılmıştır.

Zhou vd. (2018), toplam mesafenin minimize edildiği çok depolu ÇGSP için iki farklı Partheno GA (PGA) önerilmiştir. İlki rulet ve elitist seçimlerini barındıran dört mutasyon operatörünün önerildiği bir yöntem diğeri IPGA adında seçim ve mutasyonun bütünleşik olarak gerçekleştirildiği yeni bir seçim operatörü ve daha kapsamlı bir mutasyon operatörünün kullanıldığı bir yöntemdir.

Yeni mutasyon operatörü, mutasyon olasılığını ortadan kaldırmakta ve PGA'daki dört çeşit mutasyon işlemine dayanmaktadır. Karşılaştırmalı analiz için, Parçacık Sürü Optimizasyon algoritmasını (PSO) ve son teknoloji bir yöntem olan İstilacı Yabani Ot Optimizasyonu (İYOO) tercih edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda en etkin çözümlerin IPGA yöntemine ait olduğu belirlenmiştir.

Bolanos vd. (2015), satıcılar tarafından gezilen toplam mesafenin enküçüklenmesinin yanı sıra satıcılar arasındaki çalışma sürelerinin de dengelenmesini sağlayacak bir çok amaçlı tamsayılı matematiksel model geliştirmişlerdir. Çözüm bulma aşamasında Domine Edilemeyen Sıralama Genetik Algoritma kullanılmış (NSGA – II) ve baskın çözümlerin elde edilmesi amaçlanmıştır. Elde edilen pareto çözümler grafiği ile karar verici her iki amaç için kendisine daha uygun çözümleri benimsemektedir.

Wang vd. (2020), çok depolu çoklu gezgin satıcı problemi için Parteno Genetik Algoritma yaklaşımı analiz edilmiştir. Üreme mekanizmasına İstilacı Ot Algoritması (İOA, invasive weed algorithm) adapte edilerek, PGA popülasyonundaki bireylere ait muhtemel yerel bilgi eksikliği durumuna çözüm getirilmiştir. Üreme Mekanizmalı Parteno Genetik Algoritma elde edilerek çözüm performansı arttırılmıştır.

Parçacık Sürü Optimizasyonu Uygulamaları:

Gülcü ve Örnek (2019) problem için Parçacık ve Sürü Optimizasyonu (PSO) tabanlı iki farklı algoritma geliştirmişlerdir. Geliştirilen ilk yöntem (APSO), kesikli bir optimizasyon problemi olan MTSP'yi PSO ve 2-opt algoritmalarını ve path-relink, swap operatörlerini kullanarak çözmektedir. APSO algoritmasına göre başlangıç popülasyon rastgele türetilmektedir. Popülasyondaki her bir parça MTSP'ye ait bir çözümü temsil etmektedir. APSO arama uzayından yeni çözümler bulur ve çözümler 2 – opt algoritması ve swap, path-relink operatörleri ile iyileştirilir. Diğer yöntem ise Açgözlü Rastgele Uyarlanabilir Arama Prosedürü (GRASP ,greedy randomized adaptive search procedure) ve PSO algoritmalarından meydana gelen bir hibrid metasezgiseldir (HAPSO). GRASP algoritması PSO için başlangıç popülasyonu bulmada kullanılmaktadır.

PSO, arama uzayından yeni çözümler bulur. 2 – opt algoritması, PSO ile bulunan çözümleri geliştirir. Geliştirilen yöntemlerin sonuçları GA ve ACO içeren yöntemler ile karşılaştırılmış ve en etkili yöntemin HAPSO olduğu sonucuna varılmıştır.

Asma ve Sadok (2019), Çoklu Robot Görev Tahsisi Problemi (ÇRGTP, MRTA) problemi üzerinde bir çözüm getirmişlerdir. ÇRGTP, robotların en uygun görevlere tahsis edilmesine dayanmaktadır. Görev ve robot sayısının artması sistemdeki işbirliklerinin sağlanmasını zorlaştırmaktadır. Robot – görev tahsisi problemi çözümü önemli bir hesaplama süresi gerektirmektedir. İlgili çalışmada görevlerin kümelere ayrılması ile hesaplama zamanından tasarruf eden bir yöntem geliştirilmiştir. Önerilen iki aşamalı yöntemin ilk aşamasında görevler dinamik dağılımlı PSO ile kümelere ayrılmaktadır. İkinci aşamada ise robotlar kümelere tahsis edilmektedir. Robotların kümelere tahsisi ÇGSP (MTSP) olarak temsil edilmiştir. Yaklaşım çıktıları dağıtılmış (distributed) PSO ve GA sonuçları ile karşılaştırılarak etkililiği ortaya konulmuştur.

Wei vd. (2020), bir önceki çalışmada olduğu gibi çoklu robot görev tahsisi problemini MTSP olarak ele almışlardır.

Robotlar arasındaki görev dağılımlarının dengeli dağıtılmasını ve toplam mesafenin enazlanmasını sağlayan çok amaçlı çözüm önerisi geliştirmişlerdir. Önerilen yaklaşım, PSO algoritmasının iki amaç için geliştirilmiş bir versiyonuna dayanmaktadır. Bu bağlamda alt çözümlerin giderildiği Pareto çözüm süzme stratejisi ve olasılığa dayalı lider seçim stratejisi geliştirilen versiyonda kullanılmıştır.

Stratejileri değerlendirmek adına OMOPSO, SPEA2, NSGA-II ve SMPSO çok amaçlı çözüm yaklaşımlarını çözümlerin karşılaştırılması aşamasında kullanmışlar ve daha iyi sonuçlar elde etmişlerdir.

Karınca Kolonisi Optimizasyonu Uygulamaları:

Junjie ve Dingwei (2006), MTSP için KKO uygulamasını kullanan ilk çalışmalardan biridir. Algoritmayı Modifiye edilmiş GA sonuçları ile TSPLIB'den alınan örnek problemleri üzerinde karşılaştırmışlardır. Önerilen algoritma eniyi çözümleri değil ancak kısa sürelerde rekabetçi çözümler elde etmişlerdir.

Liu vd. (2009), EnkTop ve EnkEnb olmak üzere iki amaçlı MTSP için ACO önerilmiştir. Algoritmada, feromon izi güncelleme ve limitleri MAX-MIN Karınca Sistemi (MMAS) şemasını takip etmiş ve algoritmanın performansını iyileştirmek için yerel bir arama prosedürü kullanılmıştır. Yerel arama prosedürü ACO'nun verimliliğini büyük ölçüde arttırmış ve feromon izlerinin yeniden başlatılması aynı zamanda ACO'daki feromon güncellemesinin sınırlandırılması, yerel aramanın neden olduğu olası erken yakınsamaları önlemiştir. Öneri, literatürdeki problemler üzerinde ve GA uygulamaları ile karşılaştırılmış, üstünlüğü ortaya koyulmuştur

Xu vd. (2008), insansız su altı araçları için görev atama problemi üzerine bir çalışmadır. Araçların toplam mesafesinin minimize edilmesinin yanı sıra bir aracın ziyaret ettiği hedef sayısının dengelenmesi amacı da göz önünde bulundurulmuştur.

Yaklaşım, görev numarası ataması ve klasik KKO'nun genişletilmiş hali olan Çoklu KKO ile görevlerin ataması olmak üzere iki aşamayı içermektedir. İlk aşamada hedeflere numaralar atanmaktadır. Daha sonra ÇKKO, birden fazla karınca kolonisinin farklı amaçları optimize etmek için ayrı ayrı çalıştığı, her koloninin sonucuna göre ideal çözümün üretildiği ve çıktının Pareto optimal çözümler kümesindeki çözümlerden en küçük sapmaya sahip en iyi çözüm olduğu kısıtlı çok amaçlı MTSP'yi çözmek için kullanılır.

Necula vd. (2015), MTSP'nin yaygın iki amacını aynı anda optimize edilmesi gerektiğini vurgulayarak iki kriterli KKO kullanmışlardır. Karşılaştırma amacıyla farklı yaklaşımlar kullanılmış ve tüm çözümler Pareto grafikler üzerinde sergilenmiştir. Çözümlerden elde edilen Pareto grafiklere göre önerilen yaklaşımın daha iyi çözümlere ulaştığı görülmüştür.

Oonsrikaw ve Thammano (2018), klasik Gezgin Satıcı Problemi birden fazla aracın mevcut olduğu durum ve aynı zamanda her aracın ziyaret edebileceği minimum ve maksimum şehir sayısını sınırlandıracak şekilde genişletilmiştir. Yerel eniyiden kaçınan bir düzenlenmiş KKO algoritması önerilmiştir.

Orijinal KKO'ya yeni bir üreme, feromon güncelleme ve dört yerel arama stratejisi eklenmiştir. Geliştirilen yöntem Karınca Sistemi ve Elitist Karınca Sistemi algoritmalarıyla karşılaştırılarak üstünlüğü ortaya konmuştur.

Chen vd. (2018), Mobil robot hedefe atama problemi ÇGSP olarak ele alınmış sıralı değişken komşuluk inişi ile bütünleşen ACO tabanlı bir memetik algoritma çözüm için önerilmiştir. İki amaçlı ÇGSP için iki amaçlı problemlerde kullanılan bir yerel arama prosedürü önerilmiş ve uygulanmıştır. Yaklaşım literatürde kullanılan dört farklı çözüm yaklaşımı (NSGA-II, MOEA/D-ACO, FL-MTSP) ile birlikte küçük ve büyük ölçekli problemler kullanılarak çözülmüştür. Çözüm kalitesi açısından bu yöntemlerden daha iyi performans elde edilmiştir ancak çözüme ulaşma hızı FL-MTSP'den daha yavaştır.

Yapay Arı Kolonisi Uygulamaları:

Venkatesh ve Sing (2014), tek depolu çoklu gezgin satıcı problemi için iki adet metasezgisel yaklaşım önermişlerdir. Problemlerde toplam mesafenin ve satıcılara ait en uzun mesafenin minimize edilmesi olmak üzere iki amaç ele alınmıştır. Yapay Arı Kolonisi (YAK) ve İstilacı Ot Optimizasyon (İOO) algoritmaları önerilen yaklaşımlardır. Çözümlerin geliştirilmesi adına çözümlere yerel arama optimizasyonu uygulanmıştır. Kıyaslama problemleri kullanılarak elde edilen sonuçlara göre önerilen algoritmalar üstünlük sağlamıştır.

Dong vd. (2019), ÇGSP'nin genişletilmiş bir versiyonu üzerinde çalışılmıştır. Daha önce önerilen metasezgisel algoritmaların küçük ve orta ölçekli problemler üzerinde çalıştığını fakat büyük ölçekli problemler için kullanışlı olmadığını vurgulamışlardır. Büyük ölçekli problemler için YAK algoritması önerilmiştir. Geliştirilmiş YAK, büyük problemler için diğer yöntemlere göre etkin çözümlere ulaşmıştır.

4.2.2.3 Sezgisel (Heuristics) çözüm yöntemlerini kullanan uygulamalar

Matsuura ve Numata (2014), amacı en uzun turun en küçüklenmesine yönelik ÇGSP için çapraz değişimli tabu arama ve kaotik nörodinamik yönelimli çapraz değişim olmak üzere iki yöntem geliştirmişlerdir. Kaotik aramanın tabu aramandan iyi performans sergilediğini belirtmişler ancak EnkEnb tipindeki problemler için böyle bir çalışmanın olmadığını tespit ederek çalışmalarını bu yönde ilerletmişlerdir. Geliştirdikleri iki yöntem de mevcut yöntemlerden iyi sonuçlar vermiş olup kendi içlerinde ise kaotik arama tabanlı yöntem tabu aramaya galip gelmiştir.

Nuriyeva ve Kızılates (2017), tek depolu simetrik ÇGSP için iki aşamalı bir sezgisel yöntem geliştirmişlerdir. Yöntemin ilk adımında En Kısa Yol algoritması kullanılarak her satıcı atanmak üzere rotalar belirlenir.

İkinci adımda ise Ekleme Sezgiseli kullanılarak açıkta kalan düğümler satıcılara atanmış rotalara eklenmektedir. Önerilen yeni sezgisel yöntemin hesaplama karmaşıklığı $O(n^3)$ olup, yöntemin verimli olduğu sonucuna varılmıştır.

Soylu (2015), EnkTop ve EnkEnb amaç fonksiyonlarına sahip ÇGSP için sezgisel bir algoritma önermiştir. EnbEnk amaç fonksiyonu için geliştirilen Genel Değişkenli Komşuluk Arama (GDKA) algoritması, EnkTop amaç fonksiyonlu problemler için de kullanılmıştır. Literatürde daha önce ilgili problem için önerilmiş GA, YAK, KKO tabanlı altı farklı metasezgisel yöntem sonuçları önerilen yöntemle karşılaştırılmış EnkTop amaç fonksiyonu için bilinen en etkin çözümlere yakınsarken EnkEnb amacı için daha etkin çözümler elde edilmiştir.

Çizelge 4. 2. ÇGSP literatür özeti

Sınıf	Kaynak	Amaç	Yöntem	Açıklama
Kesin	**Oberlin vd. (2009)**	EnkTop	GSP'ye dönüştürme	Kenar maliyetlerinin üçgen eşitsizliğini sağlaması durumunda çok depolu ÇGSP, tek depolu asimetrik GSP'ye dönüştürülmüştür.
	Sundar ve Rathinam (2017)	EnkTop	Dallandır ve Kes	İnsansız hava ve kara araçlarının hedefleri ziyareti için iki adet tamsayılı programlama formülasyonu geliştirilmiş ve özelleştirilmiş algoritma ile çözdürülmüştür.
	Vali ve Salimifard (2017)	EnkTop	Kısıt Programlama	ÇGSP için kısıt programlama modeli önerilmiştir.

Çizelge 4. 2. ÇGSP literatür özeti (devam)

Metasezgisel	**Furhud ve Ahmed (2020)**	EnkTop	Genetik Algoritma	Beş farklı çaprazlama operatörü ile elde edilen çözümler karşılaştırılmıştır.
	Yuan vd (2013)	EnkTop, EnkEnb	Genetik Algoritma	Yeni bir çaprazlama operatörü önerilmiştir.
	Sing ve Baghel (2009)	EnkTop, EnkEnb	Genetik Algoritma	Kararlı Gruplandırılmış GA, iki amaç için uyarlanmıştır.
	Zhou vd (2018)	EnkTop	Genetik Algoritma, Parçacık Sürü Optimizasyonu	Seçim ve mutasyon aşamalarında farklılaşan iki adet Parteno GA ve PSO yöntemi geliştirilmiştir.
	Bolanos vd. (2015)	EnkTop Satıcı çalışma süreleri	Genetik Algoritma	Çok amaçlı problem için domine edilemeyen genetik algoritma (NSGA – II) ile pareto çözüm grafiği elde etmişlerdir.
	Wang vd.(2020)	EnkTop	Genetik Algoritma	Çok depolu problem için üreme mekanizmasında İstilacı Ot Algoritmasının kullanıldığı bir Parteno Genetik Algoritma geliştirilmiştir.
	Gülcü ve Örnek (2019)	EnkTop	Parçacık Sürü Optimizasyonu	APSO ve HAPSO olmak üzere PSO tabanlı iki yöntem geliştirilmiş, HAPSO önerilmiştir.
	Asma ve Sadok (2019)	EnkTop	Parçacık Sürü Optimizasyonu	Dinamik dağılımlı PSO ile görevler kümelenmiş ve robotlara atanmıştır.

Çizelge 4. 2. ÇGSP literatür özeti (devam)

Wei vd. (2020)	EnkTop, EnkEnb	Parçacık Sürü Optimizasyonu	Çoklu Robot Görev Tahsisi Problemi için iki amaçlı ÇGSP yeni geliştirilmiş bir PSO ile çözülmüştür.
Junjie ve Dingwei (2009)	EnkTop	Karınca Kolonisi Optimizasyonu (KKO)	ÇGSP için KKO kullanan ilk uygulamadır. Sonuçlar GA ile elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.
Liu vd. (2009)	EnkTop, EnkEnb	Karınca Kolonisi Optimizasyonu	Yerel bir arama prosedürü KKO 'da kullanılmıştır.
Xu vd. (2008)	EnkTop, EnkAraçlara atanan hedef sayısı farkı	Karınca Kolonisi Optimizasyonu	İnsansız su altı araçları için görev numarası atama ve çoklu görev atama işlemlerini gerçekleştiren bir KKO önerilmiştir.
Necula vd. (2015)	EnkTop, EnkEnb	Karınca Koloni Optimizasyonu	İki amaçlı problem için KKO kullanılarak pareto grafik elde edilmiştir.
Oonsrikaw ve Thammano (2018)	EnkTop	Karınca Koloni Optimizasyonu	KKO'ya yeni üreme, feromon güncelleme ve dört yeni arama stratejisi eklenmiştir.
Chen vd. (2018)	EnkTop, EnkEnb	Karınca Koloni Optimizasyonu	Robot görev planlama problemi için Memetik Algoritma tabanlı bir KKO geliştirilmiştir.
Venkatesh ve Sing (2014)	EnkTop, EnkEnb	Yapay Arı Kolonisi (ABC), İstilacı Ot Algoritması	İki amaçlı problem için iki adet metasezgisel çözüm önerilmiş ve önerilen çözümler yerel arama algoritması ile geliştirilmiştir.

Çizelge 4. 2. ÇGSP literatür özeti (devam)

Sezgisel	**Dong vd. (2019)**	EnkTop	Yapay Arı Kolonisi	Büyük ölçekli Coloured TSP çözümleri için YAK önerilmiştir.
	Matsuura ve Numata (2014)	EnkEnb	Tabu Arama, Kaotik Arama	Çapraz değişimli Tabu Arama ve Kaotik Arama yöntemlerini kullanmışlar ve EnkEnb amacı için Kaotik Arama'yı önermişlerdir.
	Nuriyeva ve Kızılates (2017)	EnkTop	En Kısa Yol Algoritması, Ekleme Sezgiseli	İki sezgisel yöntemi birlikte kullanan hibrid bir yöntem geliştirilmiştir.
	Soylu (2015)	EnkTop, EnkEnb	Genel Değişkenli Komşuluk Arama (GDKA) Algoritması	EnkEnb için geliştirilen algoritma EnkTop amacı için de kullanılmış ve etkin sonuçlar elde edilmiştir.

5. MATERYAL VE YÖNTEM

5.1. Problem Tanımı

Diyaliz merkezlerinde tedavi gören hastalar için sağlanan servis araçlarının rotalanması üzerine bir çalışma bu tez kapsamında yürütülmüştür. Diyaliz merkezleri uzun ve sürekli tedavi hizmeti sağlayan sağlık işletmeleridir. Randevular, merkez yönetimini belirlediği bir planlama ufkuna göre oluşturulmakta olup bu sürenin genellikle iki hafta olduğu gözlemlenmiştir. Planlama ufku boyunca randevusu çizelgelenmiş hastaların yanı sıra bir veya birkaç seans için merkeze başvuran hastalar da kapasitenin yeterli olması durumunda hizmet alabilmektedirler.

Böbrek nakli gerçekleştirilmediği sürece hastalar yaşam boyu diyaliz tedavisi almak durumundadırlar ve tedavi, haftada üç seans boyunca uygulanmaktadır. Seans süresi hasta reçetesine göre farklılık göstermekle birlikte ortalama 4 – 5 saat sürmektedir. Hastalık getirdiği fiziksel yetersizliklerin dışında bireyin psikolojik sağlığını da olumsuz yönde etkilemektedir. Makineye bağlı olarak hayatlarını idame ettirmek zorunda olan hastalar için aldıkları hizmetin kalitesi büyük bir önem taşımaktadır.

Sağlık kuruluşlarının tüm süreçlerini hasta odaklı olarak planlaması ve sürekli iyileştirme çalışmaları geçekleştirmesi insani yönüyle ve hizmet kalitesinin geliştirilmesi için bir gerekliliktir. Ulaşım için servis araçlarının sağlanması, merkezlerin tedavi dışında uyguladıkları hizmetlerin başında gelmektedir. Hasta memnuniyetini etkileyen bir faktör olmasıyla birlikte sunulan bu hizmet, merkezler için önemli bir maliyet kalemidir. Sahip olduğu her iki özellik bakımından hizmet sürecinin optimize edilmesi öncelikle hasta bireylere, ilgili kuruluşa ve dolayısı ile topluma fayda getireceği aşikârdır.

Diyaliz merkezleri bir işgününde sabah – öğle – akşam olmak üzere 3 seansa bölümlenmiş şekilde hizmet vermektedirler. Servis araçları bir gün içerisinde 3 farklı hasta grubunu mevcut konumlarından alarak merkeze getirilmesi ve seans sonlandığında tekrar dağıtılması ile görevlendirilmiştir.

Servis araç sayıları bir seansa kabul edilen maksimum hasta kapasitesine yeterli olacak şekilde belirlenmektedir. İncelenen diyaliz merkezlerinde tek seans için ortalama yatak kapasitesi 30 olup genellikle 3 farklı servis aracıyla hizmet sağlanmaktadır.

Bir merkezden çıkan araçların belirli noktalara uğraması ve geri dönmesi aşamalarını içerdiğinden rotalama problemi, ÇGSP olarak ele alınmıştır. Hastaların serviste geçirecekleri sürelerin diğer araçlardaki hastalar ile mümkün olduğunca yakın olması hasta psikolojisi için önem arz etmektedir. Servis araçlarına ait iş yüklerinin dengeli dağıtılması ile istenen bu durum sağlanmaktadır. Araçların dengeli dağıtılması tek amaç olduğunda gereksiz mesafeler katedilmemesi adına toplam araç mesafesinin de mümkün olduğunca azaltılması gerekmektedir. Araçların toplam mesafesinin azaltılması işletme yönetimi için de maliyet yönlü bir fayda getirecektir. Böylece ulaşım hizmetinin kaldırılması veya sınırlandırılması uygulamalarına ihtiyaç duyulmaması sağlanmaktadır. Belirtilen nedenlerden dolayı problemin iki amaçlı olarak optimize edilmesi gerekmektedir.

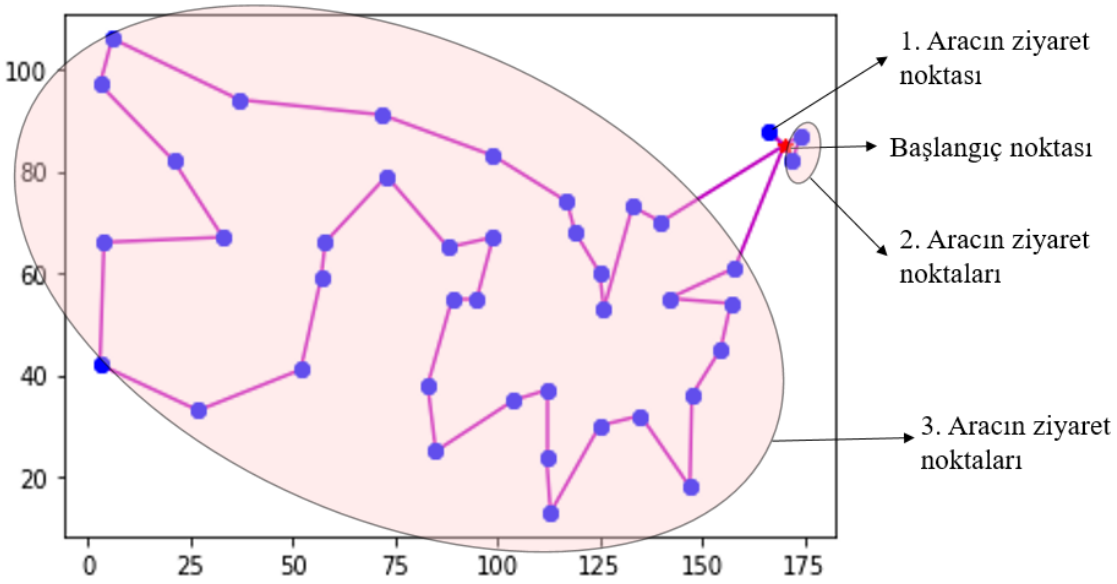
Bu çalışmada diyaliz merkezleri servis araçlarını rotalamak üzere araçların mesafeleri arasındaki dengeli dağılımı sağlayacak bunu yaparken de toplam mesafeyi gözeten sezgisel bir çözüm önerisi geliştirilmiştir. Önerilen yöntemin çözüme ulaşma aşamasında mümkün olduğunca hızlı olması diğer bir kriter olarak ele alınmıştır. Böylece sürekli olmayan misafir hastaların da geliştirilen rotaya rahatlıkla adapte olması sağlanmaktadır.

5.2. Kullanılan Matematiksel Model

Bu çalışmada önerilen sezgisel yöntemin geçerliliğini sınamak adına ÇGSP için geliştirilen EnkEnb amaç fonksiyonlu model tercih edilmiştir. EnkTop amaç fonksiyonu toplam maliyeti enküçükleme odaklı çalıştığından araç sayısından bağımsız çözümler üretmektedir.

EnkTop amaçlı model, tek bir araç üzerinde yoğun bir işyükü oluştururken diğer araçlar için yalnızca 1 veya 2 noktaya uğrayarak merkez noktaya geri döndüren rotalar vermekte ve bu tür rotaların gerçek hayat problemlerinde uygulanması mümkün olmayacağından tercih edilmemiştir. Şekil 5.1 EnkTop amaç fonksiyonuna sahip modelin oluşturduğu TSPLIB'den (A Traveling Salesman Problem Library) alınan Dantzig42 adlı veri setine ait örnek bir rotayı içermektedir.

Ek kısıtlar ile araçların uğrayacağı maksimum ve minimum nokta sayısı modele eklenebilmektedir ancak bu dışarıdan müdahale ile elde edileceğinden gerçek hayat problemleri için önerilmemektedir.



Şekil 5. 1. Örnek EnkTop çözümü

Sonuçların karşılaştırılması için örnek problemlerin çözdürüldüğü matematiksel model Necula vd. (2015) önerdikleri çalışmadan alınmış olup aşağıda verilmiştir. Model kısıt ve amaç fonksiyonuna ait açıklamalar Bölüm 3.2.1.2'de paylaşılmıştır.

Matematiksel model

$$\sum_{j=2}^{n} x_{1jk} = 1, \qquad k = 1,2,\dots,m \tag{3.15}$$

$$\sum_{j=1}^{n} x_{j1k} = 1, \qquad k = 1,2,\dots,m \tag{3.16}$$

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{k=1}^{m} x_{ijk} = 1, \qquad j = 2,\dots,n, i \neq j \tag{3.17}$$

$$\sum_{j=1}^{n}\sum_{k=1}^{m} x_{ijk} = 1, \qquad i = 2,\dots,n, i \neq j \tag{3.18}$$

$$\sum_{i=1}^{n} x_{ijk} = \sum_{i=1}^{n} x_{jik} \qquad \begin{matrix} j = 2,\dots,n, \\ k = 1,2,\dots,m \\ i \neq j \end{matrix} \tag{3.19}$$

$$u_i - u_j + (n-m) * \sum_{k=1}^{m} x_{ijk} \leq n - m - 1 \qquad 2 \leq i \neq j \leq n \tag{3.20}$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}, \forall (i,j) \in A, k = 1,2,\dots m \tag{3.21}$$

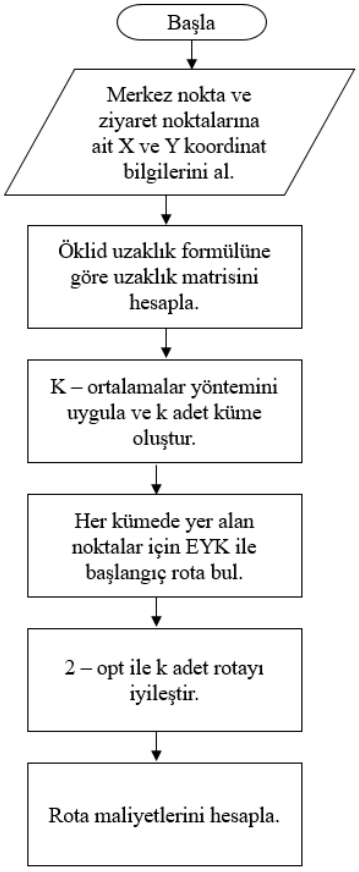
$$kısıtları\ altında$$

$$EnkZ = Enb \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} x_{ijk} c_{ij} \tag{3.22}$$

5.3. Önerilen Yöntem

Araçların hastaları adreslerinden toplayıp diyaliz merkezine ulaşımının sağlanmasına yönelik bu problemde kümeleme ve rotalama adımlarından oluşan bir çözüm yöntemi önerilmektedir. Çözüme ulaşma süresinin kısa ve çözümlerin kaliteli olmasına bu aşamada önem verilmektedir.

Önce kümele sonra rotalama yaklaşımı mevcut ÇGSP modelini küme sayısı yani araç sayısı kadar klasik GSP'ye çevirmekte ve klasik GSP için geliştirilen özel algoritmaların kullanılması için önü açılmaktadır. Bu bağlamda kullanılan yönteme ilişkin adımlar Şekil 5.2.'de verilmektedir.



Şekil 5. 2. Önerilen yöntem akış şeması

5.3.1. Kümeleme

5.3.1.1. Kümeleme yöntemleri

Kümeleme, veri biliminde sıklıkla başvurulan bir kullanışlı bir araçtır. Bir veri setinde, aynı küme içerisinde benzerliklerin maksimum, farklı kümeler arasındaki benzerliklerin ise minimum olacak şekilde kategorize edildiği küme yapılarına ulaşmak için kümeleme yöntemi uygulanmaktadır (Sinaga ve Yang, 2020). Kümeleme algoritmaları genel olarak hiyerarşik ve bölümleyici (partitional) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

Hiyerarşik yöntemler, aşağıdan yukarı bütünleştirici (agglomerative) ve yukarıdan aşağı bölümlendirici (divisive) olabilmektedir.

Bütünleştirici yöntem, her biri tam olarak bir nesne içeren N adet küme ile başlar ve ardından bir dizi birleştirme işlemi ile gruplandırılır. Bölümleyici yöntem de ise tam tersi bir yaklaşım uygulanır.

Başlangıçta tüm nesneler aynı kümede iken her bir nesne tek bir küme olacak şekilde bölümlendirme yapılır. N nesne içeren bir küme için $2^{N-1}-1$ adet mümkün ikili bölümlendirme sayısı vardır ki bu ağır bir hesaplama yükü getirmektedir. Tek bağlantı (single linkage), tam bağlantı (complete linkage), ortalama bağlantı (average linkage), medyan bağlantı, çekirdek bağlantı (centroid linkage) ve Warth yöntemi başta olmak üzere birçok bütünleştirici kümeleme yöntemi mevcuttur (Xu, 2005). Bütünleştirici kümeleme yöntemlerinin izledikleri adımlar genel bir çerçevede verilmiştir.

Adım	**Açıklama**
1.	*Tek nesne içeren N adet küme ile başla. Her küme için benzerlik matrisini hesapla.*
2.	*Minimum uzaklığa sahip iki kümeyi tespit et.* (c_i, c_j) *ise yeni bir küme oluşturacak şekilde iki kümeyi birleştir.*
3.	*Yeni küme ve mevcut kümeler için benzerlik matrisini güncelle.*
4.	*Adım 2 ve 3'ü tüm nesneler aynı kümede olacak şekilde tekrarla.*

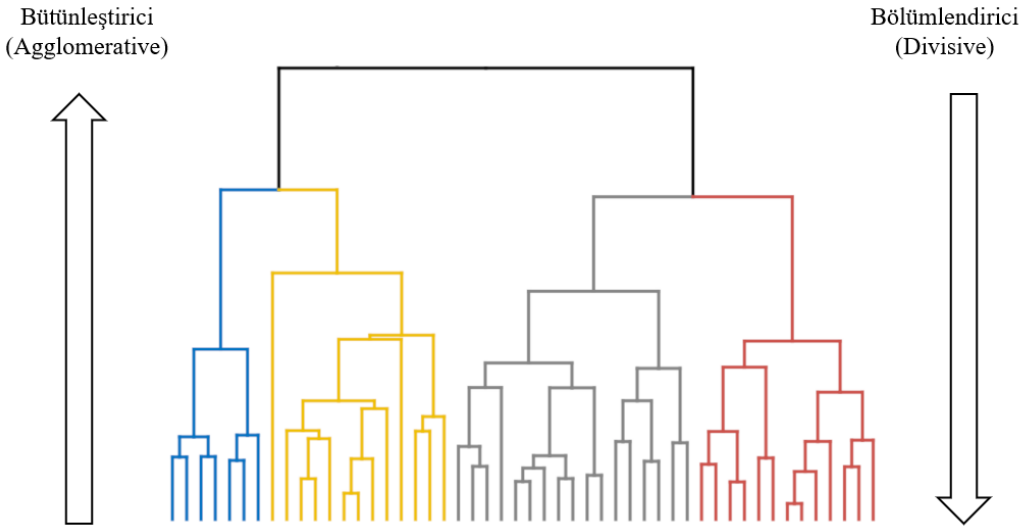
Kümeleme yöntemleri nesneler arasındaki benzerliklere karar vermek adına benzerlik (similarity) veya uzaklık (dissimilarity) ölçütleri kullanmaktadır. Çizelge 5.1 en sık kullanılan ölçütlerin bir özetini içermektedir.

Çizelge 5. 1. Benzerlik ölçütleri

Ölçüt adı	Ölçüt formülü	Açıklama
Minkowski uzaklığı	$D_{ij} = \left(\sum_{l=1}^{d} \lvert x_{il} - x_{jl} \rvert^{n}\right)^{1/n}$	Bulanık c – ortalamalar yönteminde kullanılmaktadır.
Öklid uzaklığı	$D_{ij} = \left(\sum_{l=1}^{d} \lvert x_{il} - x_{jl} \rvert^{2}\right)^{1/2}$	En fazla kullanılan metriktir. Minkowski metriğinin özel durumudur.($n = 2$)
Şehir – blok uzaklığı	$D_{ij} = \sum_{l=1}^{d} \lvert x_{il} - x_{jl} \rvert$	Minkowski metriğinin özel durumudur. ($n = 1$)
Mahalanobis uzaklığı	$D_{ij} = (x_i - x_j)^T S^{-1} (x_i - x_j)$	S grup içi kovaryans matrisidir.
Pearson korelasyonu	$D_{ij} = {(1 - r_{ij})}/{2}$ $r_{ij} = \frac{\sum_{l=1}^{d}(x_{il} - \bar{x_i})(x_{jl} - \bar{x_j})}{\sqrt{\sum_{l=1}^{d}(x_{il} - \bar{x_i})^2 \sum_{l=1}^{d}(x_{jl} - \bar{x_j})^2}}$	Gen ifadesi verilerinde sıklıkla kullanılır.
Cosine benzerliği	$S_{ij} = cos\alpha = \frac{x_i^T x_j}{\lVert x_i \rVert \lVert x_j \rVert}$	İki vektörün iç çarpım uzayındaki benzerliğidir.

Bölümleyici yöntemler, bir optimizasyon kriterine göre N adet verinin k adet kümeye ayrılması işlevini gerçekleştirmektedir. Her bir küme merkez veya ağırlık noktası ile temsil edilir. Başlangıçta veri noktaları içerisinden belirli bir k sayısı kadar merkez belirlenir. Noktalar kümelere optimizasyon kriterine göre yinelemeli olarak dağıtılır. Durma kriteri, bir iterasyon sayısı veya noktalar bulundukları kümelerden farklı bir kümeye atanmaması olarak belirlenir ve süreç durma kriteri tamamlandığında sonlanır (Sisodia, 2012).

K – ortalamalar, bulanık k – ortalamalar, k – medoids, CLARANS (Clustering Large Applications based on Randomized Search) yöntemleri sık kullanılan bölümleyici yöntemlerdir. Bütünleştirici ve bölümleyici yöntemlerin temsili bir dendogram gösterimi Şekil 5.3'de verilmiştir.



Şekil 5. 3. Hiyerarşik kümeleme yöntemleri temsili dendogramı

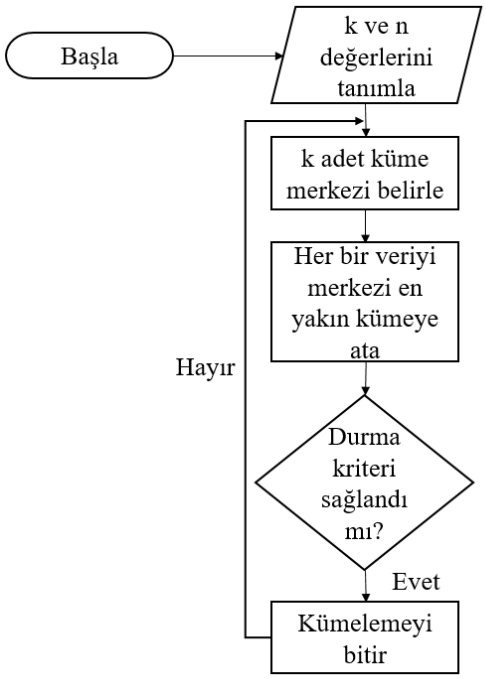
5.3.1.2. K – ortalamalar yöntemi

K – ortalamalar yöntemi metrik uzaylarda kullanılan en popüler yöntemlerden biridir. Başlangıçta n adet veri içinden k adedi merkez rassal olarak seçilir ve merkez noktası olarak atanır. Her bir veri merkez noktalarına olan uzaklıklarına göre kümelere ayrılır. Kümeye yerleşen her elemandan sonra merkez noktası yeniden hesaplanır. Bu süreç küme elemanlarının yeri değişmeyinceye kadar veya belirli bir yineleme sayısı tamamlanana kadar devam ettirilir.

Optimizasyon kriteri genellikle noktaların merkeze olan uzaklıklarının hata kareleri toplamının minimize olarak seçilir. İlgili kriter (5.1)'de verilmiştir. $x_{i(j)}$, veri noktalarını C_j ise merkez noktalarını temsil etmektedir.

$$J = \sum_{j=1}^{k} \sum_{i=1}^{n} \left\| x_{i(j)} - C_j \right\|^2 \qquad (5.1)$$

Yönteme ait akış şeması Şekil 5.4'de verilmiştir. Zaman karmaşıklığı bakımından diğer kümeleme algoritmalarında göre iyi bir konumdadır. $O(T * k * n)$, k – ortalamalar yöntemi zaman karmaşıklığıdır, T iterasyon sayısı, k küme sayısı n ise veri seti sayısıdır. En kötü durumda zaman karmaşıklığı $O(n^2)$'dir (Pakhira, 2014).



Şekil 5. 4. K – ortalamalar yöntemi akış şeması

K – ortalamalar yönteminin uygulanabilmesi için k değerinin önceden algoritmaya tanımlanması gerekmektedir. Bu husus bazı araştırmacılar tarafından yetersiz bulunmuş ve k değerinin algoritma tarafından belirlendiği yöntemler üzerine çalışılmıştır. Ancak bu çalışmada k değeri diyaliz merkezindeki araç sayısına karşılık gelmektedir ve belirli sabit bir değerdir. K – ortalamalar algoritmasının kümeleme aşamasında kullanımı bu çalışma için uyun görülmüştür.

5.3.2. Rotalama

Kümeleme aşaması tamamlandığında k adet GSP'nin çözülmesi gerekmektedir. Rotalama adımı olarak adlandırılan bu aşamada çözüm GSP'ye özgü olarak geliştiriliş hızlı ve başarılı sonuçlar veren iki yöntem ile aranmıştır.

5.3.2.1. En yakın komşu (EYK) sezgiseli

Açgözlü (greedy) algoritmalar her iterasyonda en düşük maliyetli seçeneği çözüme eklemeye odaklı algoritmalar için kullanılan genelleştirilmiş bir terimdir.

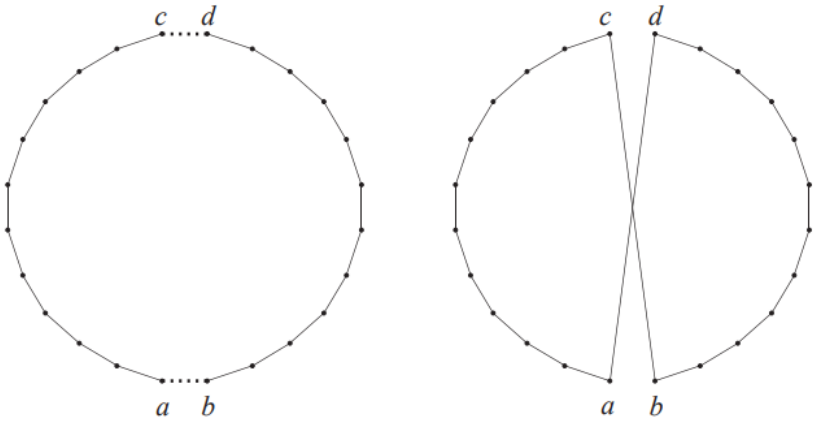
EYK, nispeten kısa çalışma süresi ile optimal rotaya oldukça yakın olan en basit GSP açgözlü sezgisel algoritmasıdır (Alemayehu ve Kim, 2017). Algoritma merkez noktasından başlar ve en yakın komşu noktaları tüm noktalar ziyaret edilinceye kadar rotaya ekler. Turun başında çok daha iyi sonuçlar elde edilir fakat ilerleme kaydedildikçe iyi rotalar yakalanamayabilmektedir ancak optimal turun maliyetinin $1 + \frac{\log(n)}{2}$ katından daha kötü sonuçlar vermemektedir. Algoritma karmaşıklığı $O(n^2)$ olup, algoritma adımları aşağıda özetlenmiştir (Burille, 2016).

Adım	Açıklama
1.	*Merkez şehirden başla.*
2.	*Ziyaret edilmemiş en yakın uzaklıktaki şehri bul ve rotaya ekle.*
3.	*Ziyaret edilmemiş şehir varsa Adım 2'ye dön.*
4.	*Değilse merkez şehre dön.*
5.	*Tur uzunluğunu hesapla.*

5.3.2.2. 2 – opt algoritması

Bir tur (çözüm) geliştirme algoritmasıdır. Tur geliştirici sezgisel bir başlangıç turu ile çözüme başlar ve iterasyonlar boyunca daha iyi bir tur yani daha az maliyetli tur elde edilmesine odaklanır. Hiçbir işlemin iyileşme sağlamadığı tura kadar süreç devam eder (Johnson ve McGeoch,1995).

2 – opt algoritması, turun içerisinden herhangi iki kenarın silinmesi daha sonra elde edilen iki ayrı turu farklı iki kenar ile bağlanması ve maliyet azalmış ise yeni bağlantının kabul edilmesi adımları ile ilerlemektedir. 2 – opt algoritmasına göre düzenlenmiş örnek bir rota değişikliği Şekil 5.5'de verilmiştir.



Şekil 5. 5. 2 –opt rota değişimi (Johnson ve McGeoch,1995).

Başlangıçta a – b ve c – d kenarları rotaya dâhil iken algoritma içerisinde rotadan çıkarılmış ve bağlantı a – d ve b – c kenarları eklenerek tur yeniden oluşturulmuştur. 2 – opt algoritmasının rassal bir tur ile başlatılmayıp tur kurucu bir sezgisel tarafından oluşturulan çözüm ile başlatılması sonuçların optimuma daha yakın olmasını sağlamaktadır (Keskintürk vd., 2016). 2 – opt algoritmasına ait adımlar aşağıda verilmiştir.

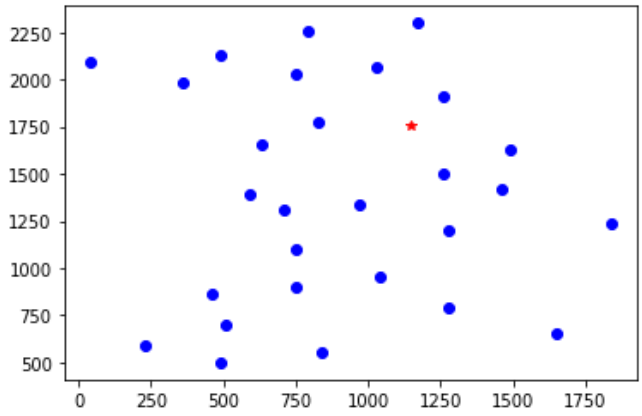
Adım	**Açıklama**
1.	*Bir başlangıç tur ile başla.*
2.	*Turdan iki adet kenarı sil.*
3.	*İki ayrı rotayı iki yeni kenar ekleyerek bağla.*
4.	*Yeni tur maliyetini hesapla. Daha iyiyse tut değil ise değişimi iptal et 2'ye dön.*
5.	*Maliyet iyileşmeyene kadar adımları tekrarla.*

5.3.4. Örnek problem

Bu bölümde önerilen yöntem, bir örnek problem ile açıklanmaktadır. TSPLIB'den alınan Bayg29 isimli veri setine ait X ve Y koordinatları Çizelge 5.2'de verilmiştir. Veri noktalarının koordinat düzlemi gösterimi Şekil 5.6'da verilmiştir. 1. Nokta merkez noktası olup kırmızı renklidir.

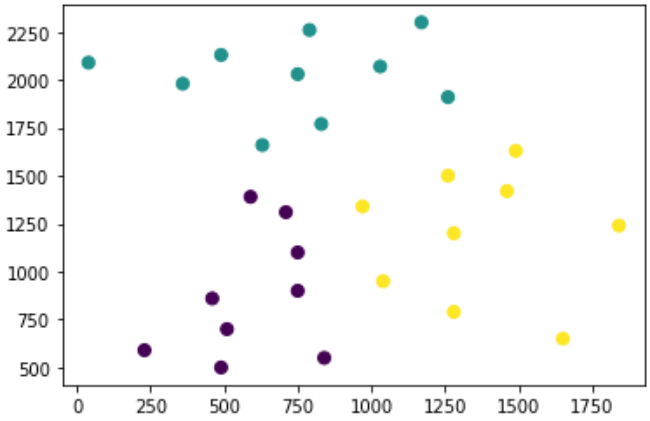
Çizelge 5. 2. Bayg29 veri seti koordinatları

NO	**X**	**Y**	**NO**	**X**	**Y**
1	1150	1760	**21**	830	1770
2	630	1660	**22**	490	500
3	40	2090	**23**	1840	1240
4	750	1100	**24**	1260	1500
5	750	2030	**25**	1280	790
6	1030	2070	**26**	490	2130
7	1650	650	**27**	1460	1420
8	1490	1630	**28**	1260	1910
9	790	2260	**29**	360	1980
10	710	1310			
11	840	550			
12	1170	2300			
13	970	1340			
14	510	700			
15	750	900			
16	1280	1200			
17	230	590			
18	460	860			
19	1040	950			
20	590	1390			



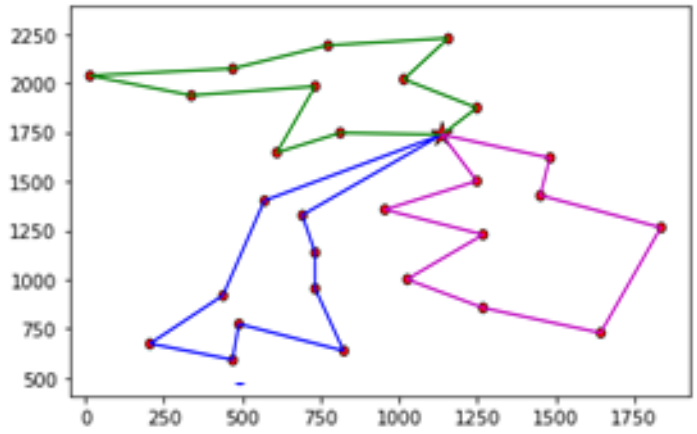
Şekil 5. 6. Bayg29 veri seti koordinat düzlemi gösterimi

Yöntemde ikinci adım olarak noktalar arası Öklid uzaklıklarına göre uzaklık matrisi hesaplanmaktadır. Uzaklık matrisine göre k – ortalamalar ile yapılan kümeleme aşamasının sonuçları Şekil 5.7'de paylaşılmaktadır. Aynı renkli noktalar aynı küme içerisinde yer almaktadır ve k = 3 olarak alınmıştır.



Şekil 5. 7. Bayg29 kümeleme sonrası gösterim

Üç kümeye ayrılan veri seti daha sonra rotalama aşamasına alınmıştır. Bu aşamada EYK tur oluşturma ve 2 – opt ise tur geliştirme aşamasında ardışık olarak uygulanmıştır. Elde edilen 3 rotaya ait görsel Şekil 5.8'de paylaşılmıştır. Her bir araç merkez noktadan çıkmakta ve kendi kümesinde yer alan noktalara uğrama süreci tamamlandıktan sonra merkez noktaya geri dönmektedir.



Şekil 5. 8. Bayg29 rotalama sonrası gösterim

Örnek probleme ait rota görselleri incelendiğinde makul bir çözüme ulaşıldığı görülmektedir. Rota maliyetleri ise aşağıda verilmiştir.

Tur 1	**Tur 2**	**Tur 3**
3814,7382	3565,23091	3600,7203

6. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Önerilen yöntemin belirlenen kriterlerde etkinliğini sınamak adına TSPLIB kütüphanesinde bulunan Eil51, Berlin52, Eil76, Rat99 olmak üzere 4 adet MTSPLIB test problemi, TSPLIB kütüphanesinden alınan Dantzig42, Bayg29, Burma14, Ulysses22 olmak üzere bir dizi veri seti ve türetilen rassal veriler üzerinden çözümler araştırılmıştır. Çözümler EnkEnb amaç fonksiyonlu matematiksel model sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Matematiksel model, GUROBI optimizasyon programında, sezgisel ardışık algoritma PYTHON 3.8 dili ile kodlanmıştır. Çalışma yapılan bilgisayar Intel® Core™ i5 – 8400 CPU 2,.0GHz, 16 GB RAM sistem özelliklerine sahiptir.

6.1. TSPLIB Problemlerinin Çözümü

ÇGSP üzerinde sık çalışılan ve uygulama alanı daha geniş bir problem olmasında karşın klasik GSP'de olduğu gibi geniş bir test problemi kütüphanesine sahip değildir. ÇGSP üzerine önerdikleri bir çalışmada Necula vd, (2015), TPSLIB'den alınan 4 adet test problemine ait EnbEnk modeli ile çözdürülmüş sonuçlarını bir MTSPLIB kütüphanesinde derlemişlerdir. Bu bölümde MTSPLIB kütüphanesinde paylaşılan matematiksel model sonuçları ile çalışma kapsamında önerilen yöntemin sonuçları karşılaştırılmıştır. TSPLIB'den alınan veri setleri, bu çalışma için çözdürülmüştür. Test edilen tüm problemlerde araç sayısı (k), 3 olarak alınmıştır.

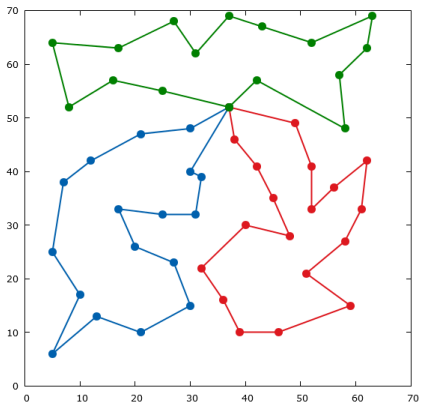
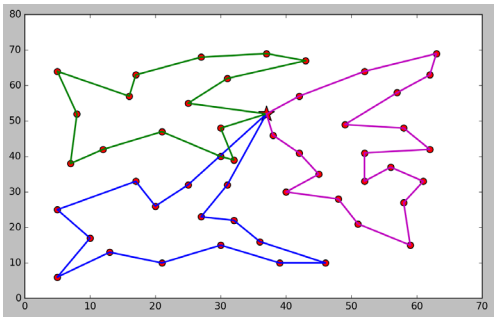
6.1.1. MTSPLIB test problemlerinin çözümü

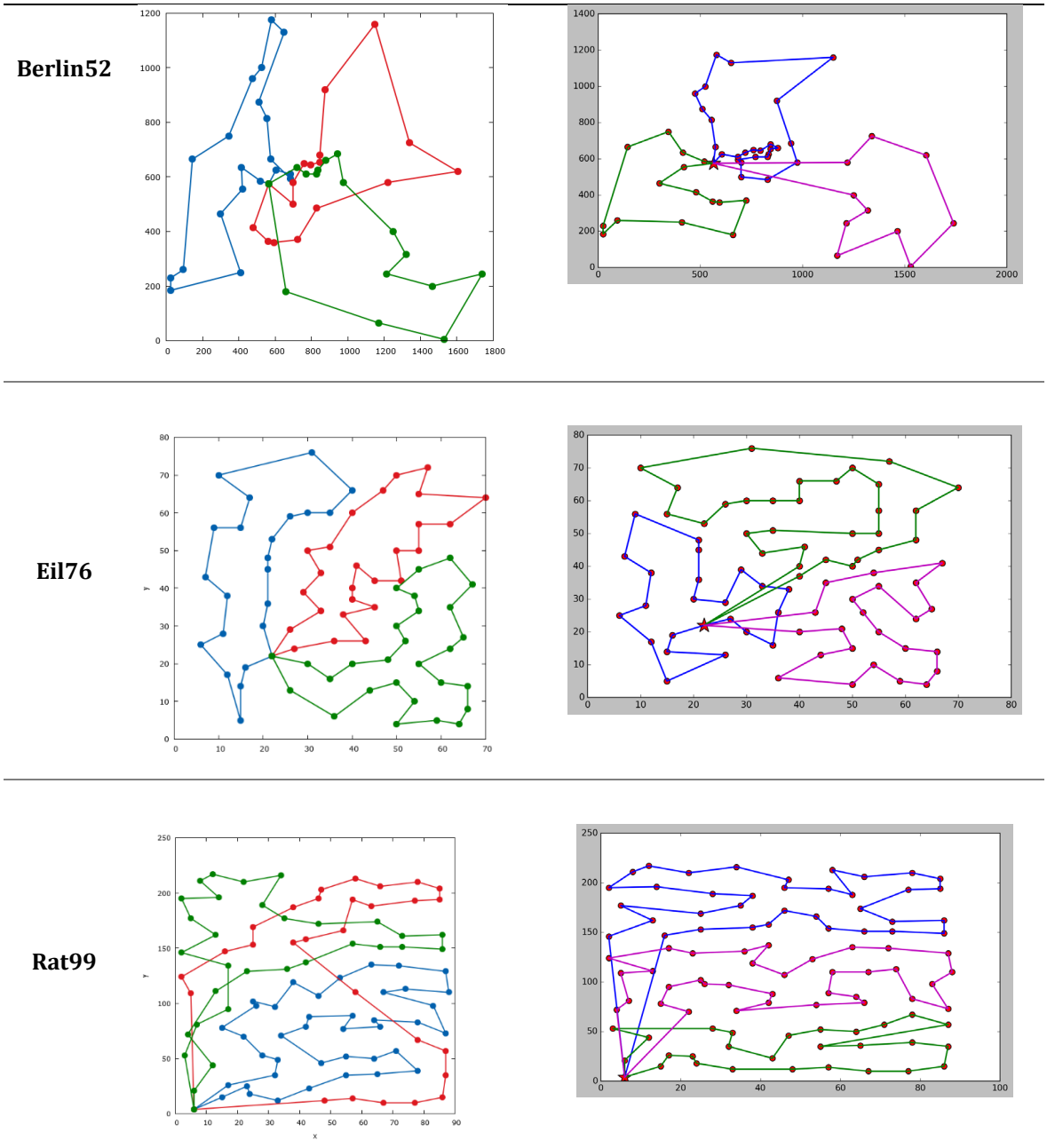
Eil51, Berlin52, Eil76, Rat99 adlı model çözümü sonuçları paylaşılmış olan veri setleri, önerilen yaklaşım ile çözdürülmüş ve sonuçlar Çizelge 6.1'de verilmiştir.

Çizelge 6. 1. MTSPLIB test problem sonuçları

		EnbEnk modeli		k – ort → EYK → 2 – opt	
Problem adı	Problem boyutu	En uzun tur	Toplam tur	En uzun tur	Toplam tur
Eil51	51	159,57	477,15	176,15	505,25
Berlin52	52	3244,37	9591,15	3504,56	9098,77
Eil76	76	197,34	587,65	291,89	691,88
Rat99	99	597,55	1780,48	735,77	1732,22

EnkEnb modeli en uzun turun minimuma düşürülmeye çalışıldığı bir ÇGSP modelidir. En uzun tura sahip aracın kat ettiği mesafe düştükçe araçlar arası dengeli dağıtım oranı o kadar artmaktadır. Çizelge 6.1.'de verilen sonuçlara göre en uzun rota kriterindeki optimum sonuçlara, en fazla Berlin52 veri seti için önerilen yöntem %92 oranında, en az Eil76 veri setinde %67 oranla yaklaşabilmiştir. 4 problem için eniyi değerlere %82 oranında yaklaşılmıştır. Toplam tur kriterinde Berlin52 ve Rat99 problemlerinde daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Problem Adı	EnbEnk modeli	k – ort → EYK → 2 – opt
Eil51		



Şekil 6. 1. MTSPLIB test problem çözümlerine ait rotalar

Veri setinde bulunan birinci nokta merkez nokta olarak alınmıştır. 3 araç bu merkez noktadan çıkarak tüm uğrak noktaları ziyaret etmekte ve geri dönmektedir. Şekil 6.1'de verilen model ve yöntem yardımıyla bulunan araç rotalarına ait görseller tarafından da desteklenmek üzere birbirine yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Yöntem etkinliğinin karşılaştırılması için bir diğer kriter ise çözüm süresidir. MTSPLIB'den alınan sonuçların çözüm sürelerine ilişkin bir değer yer almamakta olup

yalnızca Rat99 verisinin çözümüne 96 saatte ulaşıldığı bilgisi verilmiştir. Bundan sonraki testler de çözüm süresi de bir kriter olarak tartışılmaktadır.

6.1.2. TSPLIB test problemlerinin çözümü

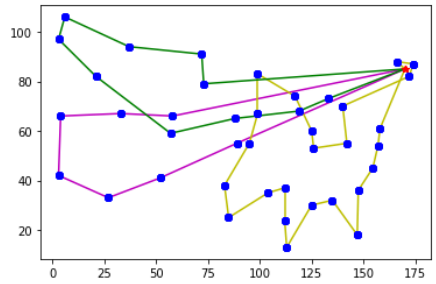
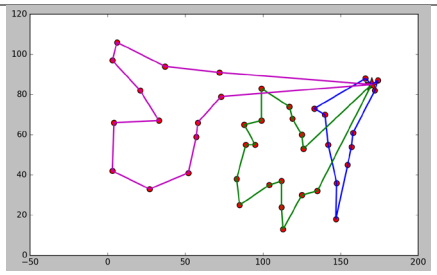
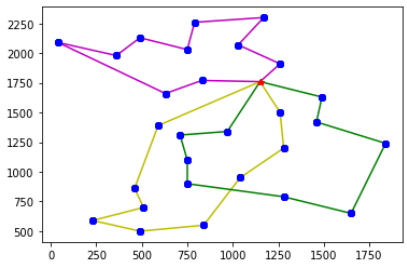
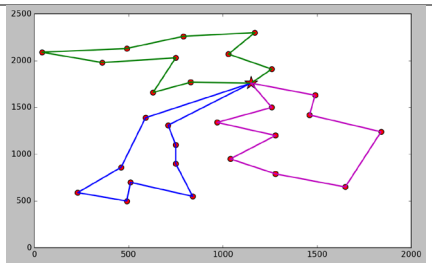
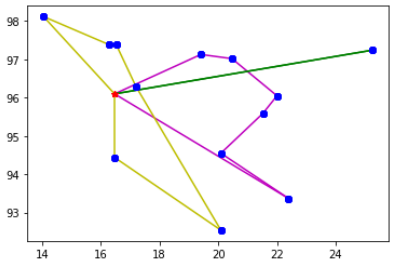
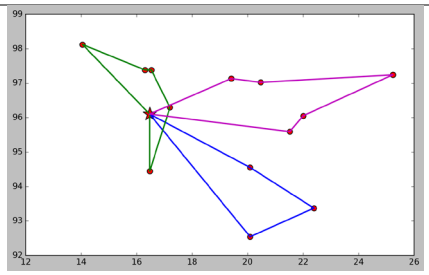
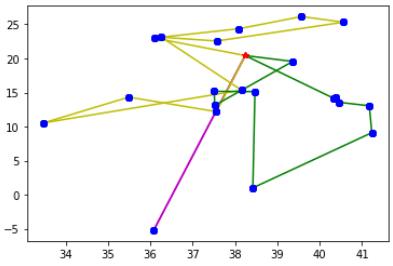
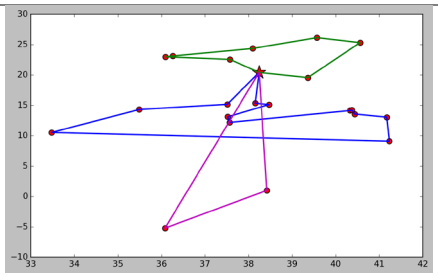
Önerilen yöntemin değerlendirmeleri TSPLIB'den alınan Dantzig42, Bayg29, Burma14, Ulysses22 adlı test verileri kullanılarak yeniden yapılmıştır. Çözüm süresi de bir performans kriteri olarak belirlendiğinden bu bölümdeki değerlendirmelere dahil edilmiştir.

Çizelge 6. 2. TSPLIB test problem sonuçları

		EnbEnk modeli			k – ort → EYK → 2 – opt		
Problem Adı	Problem boyutu	En uzun tur	Toplam tur	Süre	En uzun tur	Toplam tur	Süre
Dantzig42	42	369,7179*	1104,8673	80sa	466,3866	970,4782	<1 sn
Bayg29	29	3690,801	10821,515	982,06sn	3814,738	10980,689	<1 sn
Burma14	14	17,667	52,710	8,15sn	18,128	42,853	<1 sn
Ulysses22	22	51,441	142,59	2,3sa	51,77	106,1545	<1 sn

*80 saat sonunda durdurularak elde edilen çözüm.

En uzun tur kriteri dikkate alındığında kümele – rotala tabanlı sezgisel yöntem, optimum sonuçlara ortalama %93 oranında benzerlik göstermektedir. Toplam tur kriteri baz alındığında 3 problemde daha az maliyetli mesafeler kaydedilmiştir. Sezgisel yöntem, hesaplama karmaşıklığının düşük olduğu algoritmaları içerdiğinden boyut kısıtına takılmadan 1 sn gibi sürelerde sonuçlara ulaşmaktadır.

Problem Adı	EnbEnk modeli	k – ort ➔ EYK ➔ 2 – opt
Dantzig42		
Bayg29		
Burma14		
Ulysses22		

Şekil 6. 2. TSPLIB test problem çözümlerine ait rotalar

Şekil 6.2'de koordinat düzlemi üzerinde paylaşılan rotalarda her bir araca ait rotalar farklı renkle gösterilmiştir. Rota izdüşümlerinden de görülebileceği üzere EnbEnk modeli mesafe odaklı dengeli bir dağıtım yaptığından bir aracın bir noktaya uğrayıp geri dönmesi gibi uygulama şansı düşük sonuçlar verebilmektedir.

Yine dengeyi sağlamak için araç mesafelerini mümkün olduğunca eşitlemeye çalışmakta ancak bunu yaparken bazı araçlarda gereksiz mesafe artırımına gidebilmektedir. Bu durum toplam maliyeti artırıcı etki yapmaktadır ve istenmeyen bir durumdur.

Hem toplam maliyeti hem araçlar arası dengeyi sağlayan bir yaklaşımın gerekliliği test problem sonuçlarında daha net karşımıza çıkmaktadır. Sezgisel yöntem, çözüme kümeleme ile başlamaktadır ve noktalar k adet kümeye merkez ağırlıklarına göre dağıtılmaktadır. Birbirine daha yakın noktaların bir kümede mümkün olduğunca dengeli bir oranda toplanması sağlanmaktadır. İkinci adım olan rotalama aşamasında kullanılan her iki algoritma da toplam maliyeti azaltıcı yönde çalışmaktadır.

6.2. Türetilmiş Test Problemlerinin Çözümü

Yöntemin geçerliliğini test etmek adına rassal test problemleri türetilmiştir. Test problemlerine ait X ve Y koordinat bilgileri 0 ve 100 aralığına düşecek şekilde her bir ziyaret noktası rassal olarak belirlenmiştir. Türetilen verilere Mendeley Data veritabanında "Data For: Euclidean Matrix" adı ile ulaşılabilmektedir.

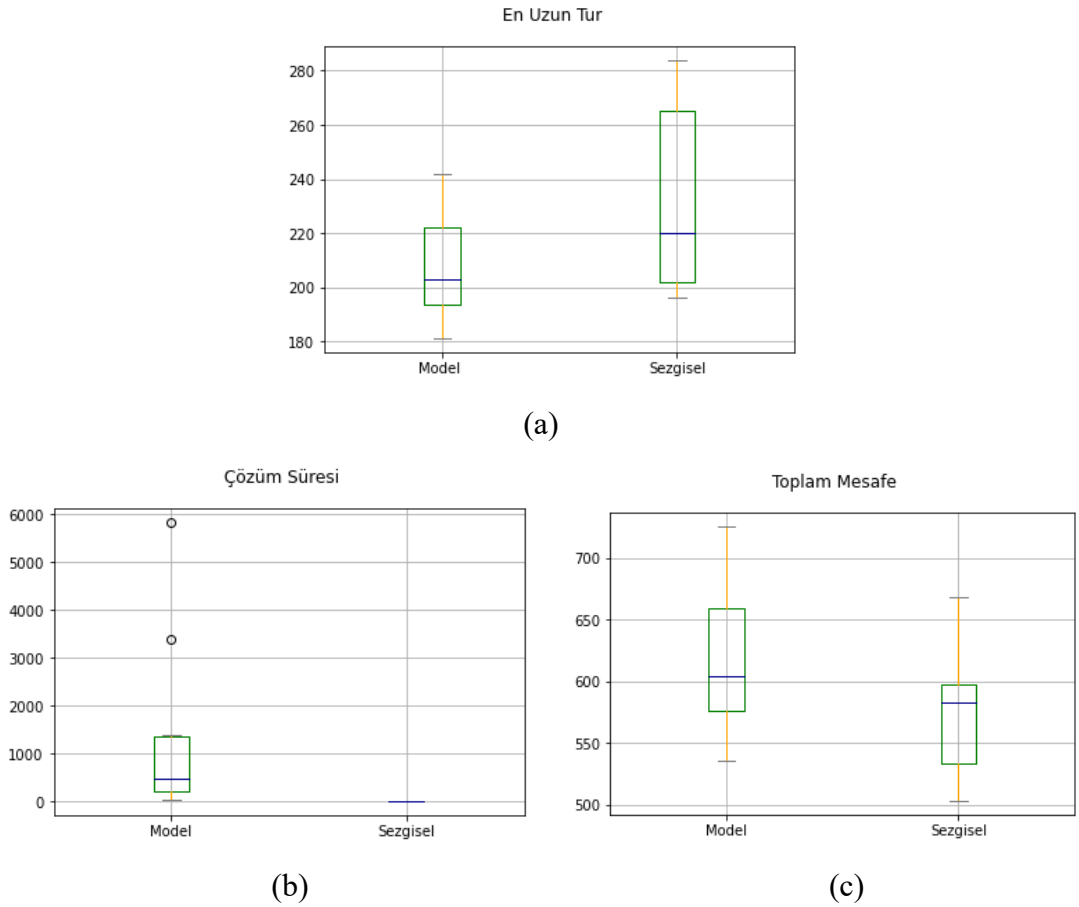
6.2.1. 20 boyutlu türetilmiş test problemlerinin çözümü

Bu bölümde her biri 20 uğrak noktadan meydana gelen 10 adet problem türetilmiş, EnkEnb matematiksel modeli ve önerilen algoritma ile 3 araçlı problem çözümleri aranmıştır. Çözüm sonuçlarının etkinliği en uzun tura ait mesafe, toplam mesafe ve çözüm süresi olmak üzere 3 kritere göre tartışılmıştır. Çizelge 6.3, tur uzunlukları, toplam tur uzunluğu ve çözüm sürelerine ilişkin kaydedilen sonuçlara yönelik oluşturulmuştur.

Çizelge 6. 3. 20 boyutlu türetilmiş test problemleri sonuçları

Problem No	Yöntem	Tur 1	Tur 2	Tur 3	Toplam Tur	Süre(sn)
1	Model	211,7905	211,1438	208,2997	631,2341	605
	Sezgisel	176,5414	221,6037	201,3994	599,544	0,4893
2	Model	182,7294	172,8836	180,042	535,6554	41,67
	Sezgisel	105,7372	242,1948	159,8891	507,8212	0,307
3	Model	237,4384	226,8164	236,9967	701,2516	304,30
	Sezgisel	238,0671	273,1429	156,6330	667,8431	1,143
4	Model	200,1838	202,399	198,103	600,686	5821
	Sezgisel	218,186	159,255	197,788	575,229	0,4259
5	Model	175,088	179,00	181,296	535,3864	47,10
	Sezgisel	197,7274	179,1301	126,380	503,2381	0,4393
6	Model	241,4277	241,906	242,012	725,3471	3387,44
	Sezgisel	272,7663	205,408	201,3994	659,4779	0,2519
7	Model	192,7258	192,2680	189,2680	574,0202	255,08
	Sezgisel	198,6717	181,1771	152,8301	532,6790	0,2934
8	Model	203,4266	202,004	202,5170	607,9480	175,19
	Sezgisel	208,9451	171,9946	212,0097	592,9495	1,8690
9	Model	217,0402	225,3017	225,8364	668,1785	1270,87
	Sezgisel	283,7221	168,3822	137,6670	589,7714	0,3208
10	Model	196,2201	194,3825	190,7895	581,3921	1372,77
	Sezgisel	161,5491	176,0029	196,4391	533,9886	1,2883

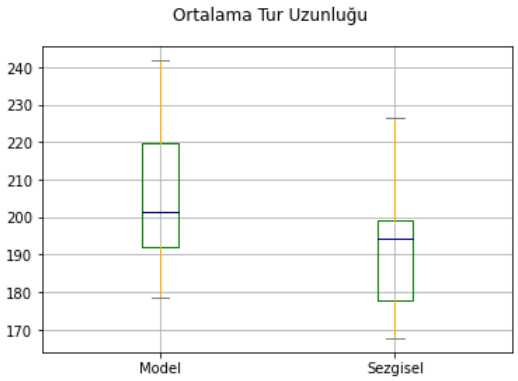
Çizelge 6.3'de verilen sonuç özetlerinin analizi Şekil 6.3.'de paylaşılan kutu grafikleri yardımıyla tartışılmıştır.



Şekil 6. 3. a: 20 boyutlu problem en uzun tur kutu grafiği; b: 20 boyutlu problem çözüm süresi kutu grafiği; c: 20 boyutlu problem toplam mesafe kutu grafiği

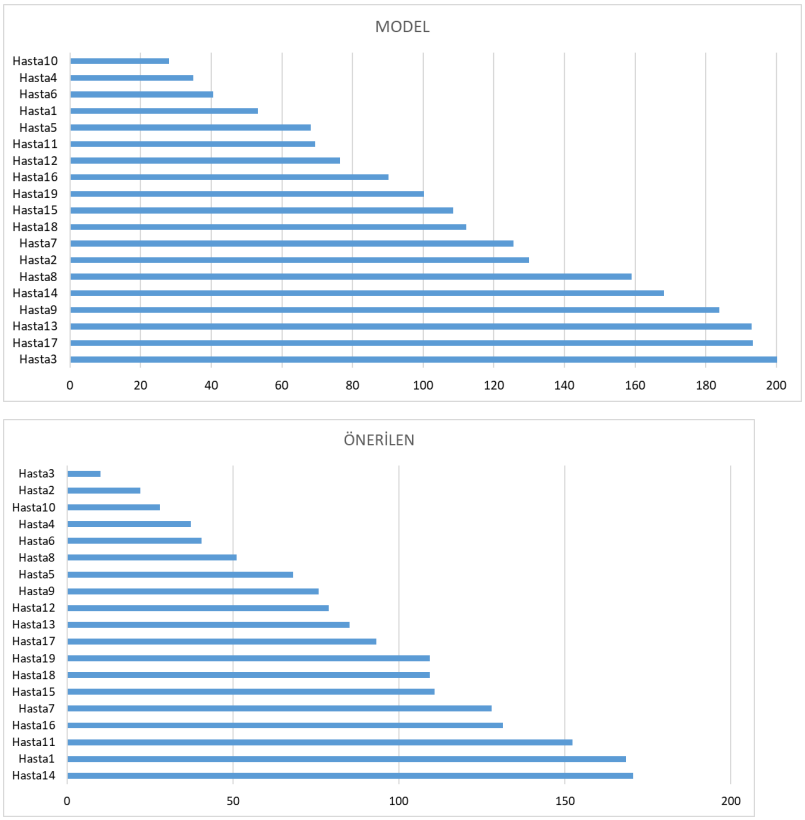
Rassal problemler üzerinde yapılan ölçümler sonucunda sezgisel yöntemin, en uzun tur kriterinde model sonuçlarına yakınsadığı diğer iki kriterde daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. En uzun tur, araçlar arası dengeli dağıtımın sağlanmış olmasının bir ölçütüdür. Bu amaçla geliştirilen model, dengeli dağıtımı sağlamaktadır ancak toplam mesafe dolayısı ile toplam maliyet yönlü artırıcı etkide bulunabilmektedir. Sezgisel yöntem ile iki amaçta meydana gelen ödünleşmenin olumsuz etkilerinin giderilmesi hedeflenmiştir. Diyaliz merkezine ait hasta sayıları veya adreslerinin günlük olarak değişmesi sebebi ile araç ziyaret noktaları değişebilmekte ve yeni rotaların oluşturulması için süreyi gözeten bir yaklaşıma da ihtiyaç duyulmaktadır. Çözüm süresi sonuçları baz alındığında yöntem üstün bir performans sergilemiştir.

Araçların kat ettikleri ortalama tur uzunluğuna ait kutu grafiği ise Şekil 6.4'de paylaşılmıştır. Bir araca ait ortalama tur uzunluğunun sezgisel yöntemde daha alt seviyede seyretmesi, modelin dengeli dağıtım yapabilmek adına gereksiz sapmalara izin verdiğinin bir diğer göstergesidir.

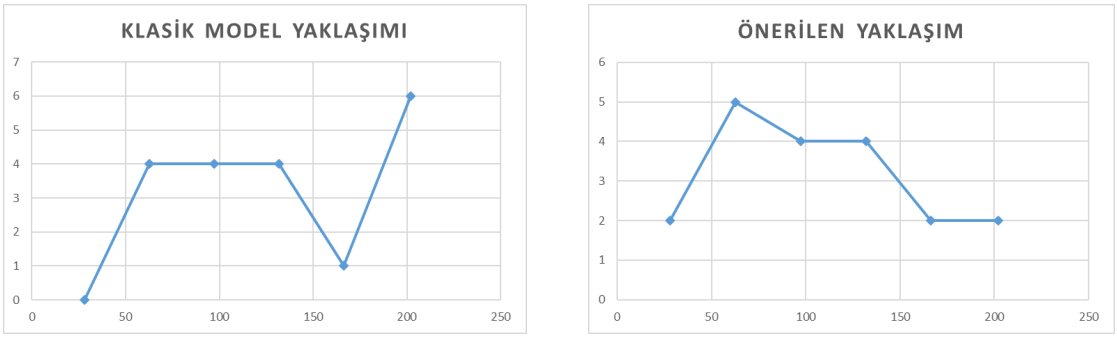


Şekil 6. 4. 20 boyutlu problem ortalama tur uzunluğu kutu grafiği

Diyaliz merkezleri hasta servisleri için geliştirilen bu çalışmada hastaların konforu ön plana alınmıştır. Hastaların servis içerisinde kat edecekleri mesafe ve diğer servisteki hastalarla olan farkın mümkün olduğunca az olması hedeflenmiştir. Analizleri yapılan 20 boyutlu rassal problem içerisinden bir tanesi rassal olarak belirlenmiş ve hasta başına gidilecek mesafe grafikleri ve mesafeyi gidilecek mesafeye göre hasta sayısı grafikleri model ve önerilen yaklaşım için oluşturulmuş Şekil 6.5 – 6.6'da verilmiştir.



Şekil 6. 5. Hasta başına gidilecek mesafe sütun grafiği



Şekil 6. 6. Hasta gidilecek mesafe ve frekans grafiği

Birinci nokta merkez olarak seçildiğinde 19 hastaya ilişkin gidilecek mesafe çıktıları incelendiğinde klasik model çözümlerinde daha uzun ve yaygın bir grafik karşımıza çıkarken önerilen yöntem daha kısa mesafeler kaydetmiştir. Şekil 6.6. da ise klasik model uzun mesafeleri gidecek hasta frekansı artış gösterirken önerilen yaklaşımda azalma eğilimindedir.

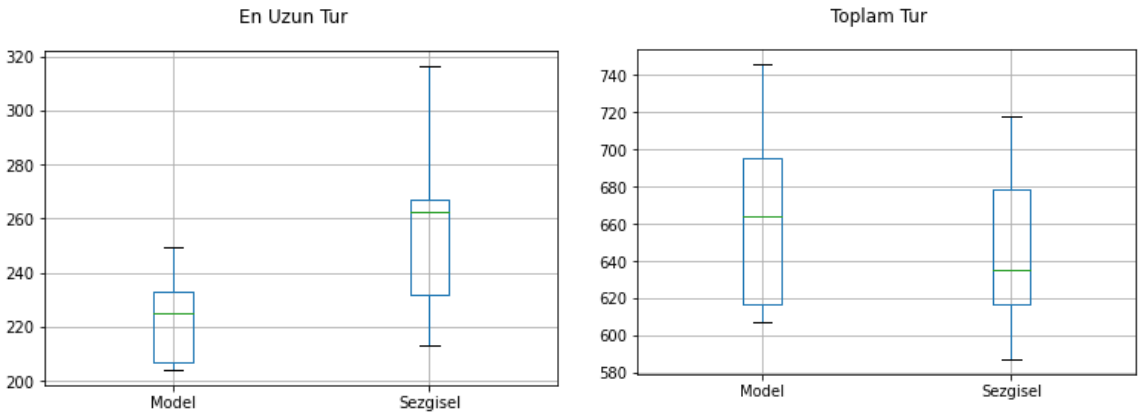
6.2.2. 30 boyutlu türetilmiş test problemlerinin çözümü

30 boyutlu rassal problem sonuçları bu bölümde verilmiştir. Model ve sezgisel yöntem ile elde edilen çıktılar Çizelge 6.4'de gösterilmektedir. Model çözümleri için süre sınırı 180 dakika olarak belirlenmiştir.

Çizelge 6. 4. 30 boyutlu türetilmiş test problemleri sonuçları

Problem No	Yöntem	Tur 1	Tur 2	Tur 3	Toplam Tur	Süre(sn)
1	Model	206,8761	204,3143	205,1375	616,3281	-
	Sezgisel	127,9463	204,1877	266,0938	598,2279	1,17
2	Model	221,9467	227,4279	220,1254	669,5001	-
	Sezgisel	192,3473	232,9858	198,4915	623,8247	3,47
3	Model	231,0156	232,4910	232,4361	695,9428	-
	Sezgisel	241,6716	263,9569	141,2875	646,9161	1,128
4	Model	222,1671	214,3033	222,2528	658,7233	-
	Sezgisel	239,2178	184,8548	261,1267	685,1994	0,34
5	Model	205,8375	206,7137	205,6771	618,2285	-
	Sezgisel	231,3732	149,0909	206,4751	586,9393	0,3551
6	Model	249,0490	247,2124	249,4613	745,7228	-
	Sezgisel	153,5619	316,2030	248,1459	717,9109	0,3653
7	Model	202,3805	201,8319	206,5315	610,7439	-
	Sezgisel	193,8887	200,9043	226,9759	621,7689	0,3443
8	Model	232,9463	232,7478	228,9792	694,6734	-
	Sezgisel	149,4794	306,0998	234,1595	689,7388	0,37
9	Model	201,6277	201,4859	204,0542	607,1679	-
	Sezgisel	213,1167	194,3844	207,4121	614,9132	0,389
10	Model	240,5215	242,4628	241,6261	724,6104	-
	Sezgisel	139,6581	249,5306	267,4889	656,6777	0,3234

Modele tanımlanan çözüm süresi dahilinde optimum çözümlere ulaşılamamıştır. 180 dk sonucunda varılan sonuçlar tabloya girilmiştir.



(a) (b)

Şekil 6. 7. a: 30 boyutlu problem en uzun tur kutu grafiği; b: 30 boyutlu problem toplam tur kutu grafiği

30 boyutlu problem sonuçlarının kutu grafiği analizi incelendiğinde yöntem en uzun tur kıstasında modele yaklaşık sonuçlar vermiş toplam turda ise daha iyi performans göstermiştir. Çözüm süresinde ise model 180 dakikadan aşağı optimum çözümlere ulaşamazken önerilen yaklaşımda tüm çözümler 4 sn altı sürelerde elde edilmiştir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sağlık işletmeleri bünyesindeki tüm süreçlerin optimizasyonu, yaşam kalitesi hastalık neticesinde düşük olan hastalara daha iyi hizmetin sağlanması ve önemli bir maliyet yükü ile başa çıkmak durumunda kalan işletme yönetime maliyetlerin düşürülmesine etkide bulunması nedenleri ile önemli bir gereksinimdir.

Son dönem böbrek yetmezliği, kronik böbrek yetmezliğinin son evresi olan ve maruz kalan kişinin yaşamını her boyutta olumsuz etkileyen ve tedavi alınmadığı takdirde yaşamı tehdit eden dünya çapında geniş bir yaygınlığa sahip bir sağlık problemidir. SDBY'li hastaların yaşamlarını devam ettirebilmeleri için Renal replasman tedavilerinden birini almaları gerekmektedir. RRT tedavilerinden en etkilisi böbrek nakli olup donör bulunamaması sebebi ile bu yöntem tüm hastalara uygulanamamaktadır. En yaygın tedavi yöntemi Hemodiyaliz tedavisi olup bir hemodiyaliz cihazı yardımıyla uygulanmaktadır. Dünya'da ve ülkemizde hemodiyaliz tedavisi bu hizmete özel olarak planlanmış merkezlerde verilmektedir. Diyaliz merkezleri, hastalara genellikle haftanın 3 günü ve hasta durumuna bağlı olarak değişebilen ancak ortalama 4 saat süren seanslar boyunca hizmet sağlamaktadır.

Diyaliz merkezleri, hastalara yalnızca tedavi hizmeti vermekle kalmayıp hastaların daha kaliteli bir tedavi süreci geçirip memnuniyetlerinin artırılması amacı ile farklı hizmet sunumları da sağlamaktadır. Bu hizmetlerin en başında taşıma hizmeti gelmektedir. Belirli lokasyonlardan servis aracı ile alınan hastaların merkeze ulaşımı ve seans sonrası tekrar bırakılması servis araçları ile sağlanmaktadır. Literatür incelendiğinde diyaliz merkezlerinde kullanılan servis araçlarına yönelik bir optimizasyon çalışmasına rastlanmamıştır. Bu nedenle bu çalışmada servis araçlarının rotalanmasına yönelik bir çalışma gerçekleştirilmiştir.

Servis araçlarının işleyişi, literatürde sık çalışılmış olan Çoklu Gezgin Satıcı Problemi'ne benzerlik göstermektedir. Çalışmada ÇGSP uygulamaları incelenmiş ve buna göre öneri sunulmuştur. Belirli sayıdaki araç bir merkezden çıkmakta tüm ziyaret noktalarına uğradıktan sonra tekrar merkeze dönmektedir. Bu işlem bir günde 3 seans olarak hizmet

verildiğinden bir gün içerisinde 3 defa tekrarlanmaktadır. Araçlar yeterli sayıda ve büyüklükte olduğundan bir kapasite sınırlamasına gidilmemektedir.

Çözüm geliştirme esnasında hasta konumlarının değişebileceği ve misafir hastaların eklenebileceği göz önünde bulundurularak hızlı ve etkin çözümlerin elde edilebildiği bir yöntem aranmıştır.

ÇGSP için kullanılan matematiksel modeller toplam mesafenin dolayısı ile maliyetin enküçüklenmesi ve araçlar arası mesafelerin dengeli dağıtılması şeklinde genel olarak iki gruba ayrılmıştır. İki amaç arasında ödünleşme meydana gelmekte olup iki amacı da gözeten bir yaklaşımın gerekliliği saptanmıştır. Problemin np- zor yapıda olması sebebi modeller kullanarak kısa sürede çözüm bulmak imkânsız hale gelmektedir. Bu çalışmada kümeleme ve rotalama ile iki aşamalı yöntem önerilmiştir. İlk aşamada k – ortalamalar yöntemi ile kümeleme yapılmış noktaların birbirine olan uzaklıkları baz alınarak k tane kümeye ayrılmıştır. Problemde k önceden belirli olup araç sayısına tekabül etmektedir. Elde edilen k adet küme içerisindeki noktalar, klasik GSP çözüm yöntemleri olan En yakın komşu sezgiseli ve 2 – opt algoritmasının ardışık kullanımı ile rotalanmıştır.

Önerilen yöntem sonuçları EnkEnb matematiksel model sonuçları ile karşılaştırımıştır. Yöntem dengeli dağıtımda model sonuçlarına yakınsamış toplam mesafede çoğunluklar daha iyi sonuçlar vermiştir. Çözüm süresi kriterinde ise model sürelerine göre oldukça başarılıdır.

Rotaların iyileştirilmesi ile hastaların araç içerisinde geçirecekleri mesafeler azaltılacak ve dengeli dağıtım sağlanarak hastaların birbirleri ile olan mesafeleri arasındaki fark mümkün olduğunca azaltılmış olacaktır. Bu nedenle hasta memnuniyetinin artırılması olan ilk hedef gerçekleştirilecektir. Diğer yandan servis aracı maliyetleri merkezler için tedavi işlemlerinden sonra en büyük ikinci maliyet kalemi olup iyileştirilerek merkezde sağlanan hizmetlerin devamlılığa katkı sağlanacaktır.

Gelecek çalışmalarda önerilen yöntem diyaliz merkezlerinden alınan gerçek verilerle denenerek etkinliği tartışılabilir. Servis araçları için bir optimizasyon yönelimi karar destek sistemi geliştirilerek yönetimin kullanımına sunulabilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Ahmed, M., Seraj, R., & Islam, S. M. S., 2020. The k-means algorithm: A comprehensive survey and performance evaluation. In Electronics (Switzerland) (Vol. 9, Issue 8, pp. 1–12). MDPI AG.

AHSEN, A., 2011. Hemodiyalizin akut komplikasyonları. Kocatepe Tıp Dergisi, 12(1), 54-60.

Akpolat, T., & Utas, C. 1997. Hemodiyaliz hekimi el kitabi. Türk Nefroloji Dernegi Yayini, Erciyes Ünv mat. Kayseri.

Alemayehu, T. S., & Kim, J. H., 2017. Efficient nearest neighbor heuristic TSP algorithms for reducing data acquisition latency of UAV relay WSN. Wireless Personal Communications, 95(3), 3271-3285... (n.d.-a).

Alwall, N., 1947. On the Artificial Kidney. I: Apparatus for Dialysis of the Blood in vivo. Acta Medica Scandinavica, 128(4), 317-325.

Angel, R. D., Caudle, W. L., Noonan, R., & Whinston, A., 1972. Computer-Assisted School Bus Scheduling. In Application Series (Vol. 18, Issue 6). https://about.jstor.org/terms

Asma, A., & Sadok, B., 2019. PSO-based dynamic distributed algorithm for automatic task clustering in a robotic swarm. Procedia Computer Science, 159, 1103–1112. https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.09.279

Ata Al-Furhud, M., & Hussain Ahmed, Z., 2020. Genetic Algorithms for the Multiple Travelling Salesman Problem. In IJACSA) International Journal of Advanced Computer Science and Applications (Vol. 11, Issue 7). www.ijacsa.thesai.org

Bansal, S., Ansons, A., & Vishwanath, M., 2014. Hypotension-induced blindness in haemodialysis patients. Clinical Kidney Journal, 7(4), 387–390.

Barnett, J., 2009. Early writings on graph theory: Hamiltonian circuits and the Icosian game. Resources for Teaching Discrete Mathematics: Classroom Projects, History Modules and Articles, 217-223.

Bektas, T., 2006. The multiple traveling salesman problem: An overview of formulations and solution procedures. Omega, 34(3), 209–219. https://doi.org/10.1016/j.omega.2004.10.004

Bektaş, T., & Gouveia, L., 2014. Requiem for the Miller-Tucker-Zemlin subtour elimination constraints? European Journal of Operational Research, 236(3), 820–832.

Bikbov, B., Purcell, C. A., Levey, A. S., Smith, M., Abdoli, A., Abebe, M., ... & Owolabi, M. O., 2020. Global, regional, and national burden of chronic kidney disease, 1990–2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. The lancet, 395(10225), 709-733.

Birmelé, B., le Gall, A., Sautenet, B., Aguerre, C., & Camus, V., 2012. Original Research Reports Clinical, Sociodemographic, and Psychological Correlates of Health-Related Quality of Life in Chronic Hemodialysis Patients.

Birmelé, B., Le Gall, A., Sautenet, B., Aguerre, C., & Camus, V., 2012. Clinical, sociodemographic, and psychological correlates of health-related quality of life in chronic hemodialysis patients. Psychosomatics, 53(1), 30-37.

Bolaños, R. I., Echeverry, M. G., & Escobar, J. W., 2015. A multiobjective non-dominated sorting genetic algorithm (NSGA-II) for the multiple traveling salesman problem. Decision Science Letters, 4(4), 559–568.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Brady, S. T., 1985. A novel brain ATPase with properties expected for the fast axonal transport motor. Nature, 317(6032), 73-75.

Brucato, C., 2013. The traveling salesman problem (Doctoral dissertation, University of Pittsburgh).

Calvet, L., Wang, D., Juan, A., & Bové, L., 2019. Solving the multidepot vehicle routing problem with limited depot capacity and stochastic demands. International Transactions in Operational Research, 26(2), 458–484.

Calvet, L., Wang, D., Juan, A., & Bové, L., 2019. Solving the multidepot vehicle routing problem with limited depot capacity and stochastic demands. International Transactions in Operational Research, 26(2), 458-484.

Carter, A. E., 2003a. Design and Application of Genetic Algorithms for the Multiple Traveling Salesperson Assignment Problem.

Carter, A. E., 2003b. Design and Application of Genetic Algorithms for the Multiple Traveling Salesperson Assignment Problem.

CERAN, Y., & Özdemir, Ş., 2013. SAĞLIK İŞLETMELERİNDE PAKET İŞLEM FİYAT UYGULAMASININ HEDEF MALİYETLEME YÖNTEMİ VE STRATEJİK PAZARLAMA MUHASEBESİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ VE ÖZEL X DİYALİZ MERKEZİNDE BİR UYGULAMA. Sosyal Ekonomik Araştırmalar Dergisi, 13(26), 450-478.

Chan, L., Tummalapalli, S. L., Ferrandino, R., Poojary, P., Saha, A., Chauhan, K., & Nadkarni, G. N., 2017. The Effect of Depression in Chronic Hemodialysis Patients on Inpatient Hospitalization Outcomes. Blood Purification, 43(1–3), 226–234.

Cheikhrouhou, O., & Khoufi, I., 2021. A comprehensive survey on the Multiple Traveling Salesman Problem: Applications, approaches and taxonomy. In Computer Science Review (Vol. 40). Elsevier Ireland Ltd.

Chen, C.-K., Tsai, Y.-C., Hsu, H.-J., Wu, I.-W., Sun, C.-Y., Chou, C.-C., Lee, C.-C., Tsai, C.-R., Wu, M.-S., & Wang, L.-J. 2010. Depression and Suicide Risk in Hemodialysis Patients With Chronic Renal Failure.

Chen, X., Zhang, P., Du, G., & Li, F., 2018. Ant Colony Optimization Based Memetic Algorithm to Solve Bi-Objective Multiple Traveling Salesmen Problem for Multi-Robot Systems. IEEE Access, 6, 21745–21757.

Christofides, N., 1976. Worst-case analysis of a new heuristic for the travelling salesman problem. Carnegie-Mellon Univ Pittsburgh Pa Management Sciences Research Group.

Cook, W. J. (2011). In pursuit of the traveling salesman. In *In Pursuit of the Traveling Salesman*. Princeton University Press.

Daniel, S. C., Azuero, A., Gutierrez, O. M., & Heaton, K., 2021. Examining the relationship between nutrition, quality of life, and depression in hemodialysis patients. Quality of Life Research, 30(3), 759–768.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Dantzig, G. B., & Ramser, J. H., 1959. The Truck Dispatching Problem. In Source: Management Science (Vol. 6, Issue 1).

Daugirdas, J. T., Blake, P. G., & Ing, T. S., 2012. Handbook of dialysis. Lippincott Williams & Wilkins.Davendra, D., 2010. Traveling Salesman Problem Theory and Applications.

Dayioglu Gulcu, S., & Kahramanli Ornek, H., 2019. International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering Solution of Multiple Travelling Salesman Problem using Particle Swarm Optimization based Algorithms. Original Research Paper International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering IJISAE, 7(2).

Deĭneko, V. G., Klinz, B., & Woeginger, G. J., 2006. Exact algorithms for the Hamiltonian cycle problem in planar graphs. Operations Research Letters, 34(3), 269–274.

Dikmen, A., 2016. Evaluation of hemodialysis centers in Turkey in terms of quality management systems and standards. Health Care Academician Journal, 3(4), 185.

Donabedian, A., 1988. The quality of care: how can it be assessed?. Jama, 260(12), 1743-1748.

Dong, X., Lin, Q., Xu, M., & Cai, Y., 2019. Artificial bee colony algorithm with generating neighbourhood solution for large scale coloured traveling salesman problem. IET Intelligent Transport Systems, 13(10), 1483–1491. https://doi.org/10.1049/iet-its.2018.5359

Dorigo, M., di Caro, G., & Gambardella, L. M., 1999. Ant algorithms for discrete optimization. Artificial Life, 5(2), 137–172.

Espinosa-Martinez, S., Custodio, E., & Loaso-Vierbucher, C. (2015). Comparison of groundwater recharge evaluated by soil water balance and atmospheric chloride deposition in a carbonate system in the semi-arid area of the Lower Ebre area, Catalonia, Spain. INGENIERIA DEL AGUA, 19(3), 135-155.

Featherstone, P. J., & Ball, C. M., 2019. A brief history of haemodialysis and continuous renal replacement therapy. Anaesthesia and Intensive Care, 47(3), 220–222.

Felce, D., & Perry, J., 1995. Quality of life: Its definition and measurement. Research in developmental disabilities, 16(1), 51-74.

Fenn, G. K., Nalefski, L. A., & Lasner, J., 1949. Transperitoneal lavage for twenty-six days in the treatment of azotemia. The American Journal of Medicine, 7(1), 35-44.

Feroze, U., Noori, N., Kovesdy, C. P., Molnar, M. Z., Martin, D. J., Reina-Patton, A., Benner, D., Bross, R., Norris, K. C., Kopple, J. D., & Kalantar-Zadeh, K., 2011. Quality-of-life and mortality in hemodialysis patients: Roles of race and nutritional status. Clinical Journal of the American Society of Nephrology, 6(5), 1100–1111. https://doi.org/10.2215/CJN.07690910

Fischer, T., & Merz, P., 2005. A distributed chained Lin-Kernighan algorithm for TSP problems. Proceedings - 19th IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium, IPDPS 2005, 2005.

Flood, M. M., 1956. The Traveling-Salesman Problem. Operations Research, 4(1), 61–75.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Garey, M. R., & Johnson, D. S., 1990. A Guide to the Theory of NP-Completeness. Computers and intractability, 37-79.Gavish, B. 1976. Note—A Note on "The Formulation of the M -Salesman Traveling Salesman Problem" . Management Science, 22(6), 704–705.

Gerasimoula, K., Lefkothea, L., Maria, L., Victoria, A., Paraskevi, T., & Maria, P. 2015. Quality of Life in Hemodialysis Patients. Materia Socio Medica, 27(5), 305.

Glover, F., 1990. Tabu Search: A Tutorial. Interfaces, 20(4), 74–94.

Gokal, R., & Mallick, N. P. 1999. Peritoneal dialysis. The Lancet, 353(9155), 823-828.

Goldstein, L., & Konigsberg, I.,1995. The Movies: a Centennial Issue. University of Michigan.

Gorenstein, S. 1970. Printing Press Scheduling for Multi-Edition Periodicals. In Source: Management Science (Vol. 16, Issue 6).

GÖKALP, K., & ARPACI, R. Diyaliz Hastalarının Psikolojik Durumlarının Değerlendirilmesi. Turkish Journal of Science and Health, 2(1), 22-30.Goldberg, D. E., & Holland, J. H. 1979. Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning David E. Goldberg The University of Alabama T. Machine Learning, 3(2), 95–99.

Graham, T. 1860. Liquid Diffusion Applied to Analysis. Proceedings of the Royal Society of London, 11, 243-247.

Graph Theory Tutorials. Retrieved June 7, 2022, from https://primes.utm.edu/graph/

Gunesen, B., & Kapanoğlu, M. Hasta Ergonomisi Açısından Servis Güzergâhlarının İyileştirilmesi. *International Journal of Engineering Research and Development*, *13*(3), 98-108.

Gunesen, B., & Kapanoğlu, M. İki Amaçlı Çoklu Gezgin Satıcı Problemi için Üç Aşamalı Çözüm Yaklaşımı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (26), 325-331.

Hekimi, H., & Kitabi, E. L. (n.d.). Türk Nefroloji Derneği Yayınıdır. www.tekinakpolat.net

Hopkins, B. (Ed.). (2009). Resources for teaching discrete mathematics: Classroom projects, history modules, and articles (No. 74). MAA.

Hreńczuk, M., Kozieł, W., & Małkowski, P., 2019. Health problems and restrictions of chronic haemodialysis patients. General Internal Medicine and Clinical Innovations, 4(1).

Jha, V., Garcia-Garcia, G., Iseki, K., Li, Z., Naicker, S., Plattner, B., Saran, R., Wang, A. Y. M., & Yang, C. W., 2013. Chronic kidney disease: Global dimension and perspectives. In The Lancet (Vol. 382, Issue 9888, pp. 260–272). Elsevier B.V.

Kara, B., 2012. Hemodiyalize giren son dönem böbrek yetmezlikli hastalarda öncelikli sorunlardan biri: Yaşam kalitesi. In TAF Preventive Medicine Bulletin (Vol. 11, Issue 5, pp. 631–638).

Kara, I., & Bektas, T., 2006. Integer linear programming formulations of multiple salesman problems and its variations. European Journal of Operational Research, 174(3), 1449–1458.

Karaboga, D., & Basturk, B., 2008. On the performance of artificial bee colony (ABC) algorithm. Applied Soft Computing Journal, 8(1), 687–697.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

KARAGÜL, K., 2019. Gezgin satıcı probleminin çözümü için macar algoritması esaslı yeni bir çözüm yaklaşımı. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 7(3), 561–571.

Kaufman, M. H., & Findlater, G. S., 2001. An unusual case of complete renal fusion giving rise to a 'cake'or 'lump'kidney. The Journal of Anatomy, 198(4), 501-504.

Ke, L., Zhang, Q., & Battiti, R., 2013a. MOEA/D-ACO: A multiobjective evolutionary algorithm using decomposition and AntColony. IEEE Transactions on Cybernetics, 43(6), 1845–1859.

Ke, L., Zhang, Q., & Battiti, R., 2013b. MOEA/D-ACO: A multiobjective evolutionary algorithm using decomposition and AntColony. IEEE Transactions on Cybernetics, 43(6), 1845–1859.

Kennedy, J., & Eberhart, R., 1995. Particle swarm optimization. In Proceedings of ICNN'95-international conference on neural networks (Vol. 4, pp. 1942-1948). IEEE..

KESKİNTÜRK, T., KİREMİTCİ, B., & KİREMİTCİ, S., 2016. 2-opt algoritması ve başlangıç çözümünün algoritma sonuçları üzerindeki etkisi. Endüstri Mühendisliği, 27(3), 2-12.: (2-12).

Khanra, A., Maiti, M. K., & Maiti, M., 2015. Profit maximization of TSP through a hybrid algorithm. Computers and Industrial Engineering, 88, 229–236.

Kitjacharoenchai, P., Ventresca, M., Moshref-Javadi, M., Lee, S., Tanchoco, J. M. A., & Brunese, P. A., 2019. Multiple traveling salesman problem with drones: Mathematical model and heuristic approach. Computers and Industrial Engineering, 129, 14–30.

Kolff, W. J., Berk, H. T. J., Welle, N. M., Van Der Ley, A. J. W., Van Dijk, E. C., & Van Noordwijk, J. ,1944. The artificial kidney: a dialyser with a great area. Acta Medica Scandinavica, 117(2), 121-134.

Kota, L., & Jarmai, K., 2015. Mathematical modeling of multiple tour multiple traveling salesman problem using evolutionary programming. Applied Mathematical Modelling, 39(12), 3410–3433.

Kurumlarında Maliyet Analizi, S., Merkezinde Bir Uygulama, D., Birlik, H., & Akbulut, Y., 2017. Sağlık kurumlarında maliyet analizi: diyaliz merkezinde bir uygulama (cost analysıs ın health servıces: case study for dıalysıs center), (Vol. 13, Issue 147).

KÜÇÜKSİLLE, E., & Tokmak, M. (2011). Yapay arı kolonisi algoritması kullanarak otomatik ders çizelgeleme. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 15(3), 203-210.

Latah, M., & Student, G., 2016. Solving multiple tsp problem by k-means and crossover based modified aco algorithm. Solving Multiple TSP Problem by K-Means and Crossover based Modified ACO Algorithm. In Article in International Journal of Engineering and Technical Research.

Lin, S., & Kernighan, B. W., 1973. An effective heuristic algorithm for the traveling-salesman problem. Operations research, 21(2), 498-516.

Little, J. D. C., Murty, K. G., Sweeney, D. W., & Karel, C., 1963. AN ALGORITHM FOR THE TRAVELING SALESMAN PROBLEM 1.

Liu, W., Li, S., Zhao, F., & Zhen, A., 2009. An ant colony optimization algorithm for the multiple traveling salesmen problem. 2009 4th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, ICIEA 2009.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Lu, L. C., & Yue, T. W., 2019. Mission-oriented ant-team ACO for min–max MTSP. Applied Soft Computing Journal, 76, 436–444.

Matai, R., Singh, S., & Lal, M., 2010a. Traveling Salesman Problem: an Overview of Applications, Formulations, and Solution Approaches. In Traveling Salesman Problem, Theory and Applications. InTech.

Matai, R., Singh, S., & Lal, M., 2010b. Traveling Salesman Problem: an Overview of Applications, Formulations, and Solution Approaches. In Traveling Salesman Problem, Theory and Applications. InTech.

Matsuura, T., & Numata, K., 2014. Solving min-max multiple traveling salesman problems by chaotic neural network. In International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications. Meeberg, G. A. (1993). Quality of life: a concept analysis. Journal of advanced nursing, 18(1), 32-38.

Meidani, K., Mirjalili, S., & Barati Farimani, A., 2022. Online metaheuristic algorithm selection. Expert Systems with Applications, 201.

Misra, M., 2005. The basics of hemodialysis equipment. Hemodialysis International, 9(1), 30-36.

Murray, G., Delorme, E., & Thomas, N., 1947. Development of an artificial kidney: experimental and clinical experiences. Archives of Surgery, 55(5), 505-522.

Nallusamy, R., Duraiswamy, K., Dhanalaksmi, R., & Parthiban, P., 2010. Optimization of Non-Linear Multiple Traveling Salesman Problem Using K-Means Clustering, Shrink Wrap Algorithm and Meta-Heuristics. In online) International Journal of Nonlinear Science (Vol. 9, Issue 2).

Nature, R. B., 1985. Optimization strategies gleaned from biological evolution. Nature.Com. Retrieved June 7, 2022, from https://www.nature.com/articles/317804a0.

Necula, R., Breaban, M., & Raschip, M., 2016a. Tackling the Bi-criteria facet of multiple traveling salesman problem with ant colony systems. Proceedings - International Conference on Tools with Artificial Intelligence, ICTAI, 2016-January, 873–880.

Necula, R., Breaban, M., & Raschip, M., 2016b. Tackling the Bi-criteria facet of multiple traveling salesman problem with ant colony systems. Proceedings - International Conference on Tools with Artificial Intelligence, ICTAI, 2016-January, 873–880.

Necula, R., Raschip, M., & Breaban, M., 2018. Balancing the Subtours for Multiple TSP Approached with ACS: Clustering-Based Approaches Vs. MinMax Formulation. Advances in Intelligent Systems and Computing, 674, 210–223.

Nilsson, C., 2003. Heuristics for the traveling salesman problem. Linkoping University, 38, 00085-9.

Nuriyeva, F., & Kizilates, G., 2017. A new heurıstıc algorıthm for multıple travelıng salesman problem.

Oberlin, P., Rathinam, S., & Darbha, S., 2009. A transformation for a multiple depot, multiple traveling salesman problem. Proceedings of the American Control Conference, 2636–2641.

Oonsrikaw, Y., & Thammano, A., 2018. Modified ant colony optimization algorithm for multiple-vehicle traveling salesman problems. International Journal of Networked and Distributed Computing, 7(1), 29–36.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

ÖZARI, Ç., EREN, Ö., & ALICI, A., 2019. K-ortalamalar yönteminin başlangıç merkez seçim sorunsalı üzerine bir çalışma. Business & Management Studies: An International Journal, 7(2), 1117–1135.

ÖZCAN, E., ALAKAŞ, H. M., YELEK, A., & EREN, T., 2020. Kısıt programlama ve hedef programlama entegrasyonu ile vardiya çizelgelemesi: hidroelektrik santral uygulaması. Konya Journal of Engineering Sciences, 8(4), 916–924.

Pan, J., & Wang, D., 2006. An ant colony optimization algorithm for multiple travelling salesman problem. First International Conference on Innovative Computing, Information and Control 2006, ICICIC'06, 210–213.

Patel, R. J., 2019. Multi-vehicle route planning for centralized and decentralized systems (Doctoral dissertation, University of Maryland, College Park).

Rego, C., Gamboa, D., Glover, F., & Osterman, C. 2011. Traveling salesman problem heuristics: Leading methods, implementations and latest advances. European Journal of Operational Research, 211(3), 427–441.

Reinelt, G., 1995. Tsplib95. Interdisziplinäres Zentrum für Wissenschaftliches Rechnen (IWR), Heidelberg, 338, 1-16.Ren, C. 2011. Solving min-max vehicle routing problem. Journal of Software, 6(9), 1851–1856.

Roderick, P., Jones, C., Drey, N., Blakeley, S., Webster, P., Goddard, J., ... & Tomson, C., 2002. Late referral for end-stage renal disease: a region-wide survey in the south west of England. Nephrology Dialysis Transplantation, 17(7), 1252-1259.

Romagnani, P., Remuzzi, G., Glassock, R., Levin, A., Jager, K. J., Tonelli, M., Massy, Z., Wanner, C., & Anders, H. J., 2017. Chronic kidney disease. In Nature Reviews Disease Primers (Vol. 3). Nature Publishing Group.

Sangwan, S., & Dahiya, C., 2018. Literature Review on Travelling Salesman Problem International Journal of Research Literature Review on Travelling Salesman Problem.

Sathya, N., & Muthukumaravel, A., 2015. A review of the optimization algorithms on traveling salesman problem. Indian Journal of Science and Technology, 8(29).

Sefiu Taiwo, O., Josiah, O., Taiwo, A., Dkhrullahi, S., & Kehinde Sade, O., 2013. Implementatıon of heurıstıcs for solvıng travellıng salesman problem usıng nearest neıghbour and nearest ınsertıon approaches. IJOAR. Org International Journal of Advance Research, IJOAR .Org, 1(3).

Seker, S. E. (2015). Çizge teorisi (graph theory). YBS ansiklopedi, 2(2), 17-29.

Shabanpour, M., Yadollahi, M., & Hasani, M. M., 2017. A New Method to Solve the Multi Traveling Salesman Problem with the Combination of Genetic Algorithm and Clustering Technique. In IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security (Vol. 17, Issue 5).

Shah, M. K., & Winkelmayer, W. C., 2021. A Global Accounting of Kidney Replacement Therapy. In American Journal of Kidney Diseases (Vol. 77, Issue 3, pp. 309–311). W.B. Saunders.

Shuai, Y., Yunfeng, S., & Kai, Z., 2019. An effective method for solving multiple travelling salesman problem based on NSGA-II. Systems Science and Control Engineering, 7(2), 121–129.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Sinaga, K. P., & Yang, M. S., 2020. Unsupervised K-means clustering algorithm. IEEE Access, 8, 80716–80727.

Singh, A., & Baghel, A. S., 2009. A new grouping genetic algorithm approach to the multiple traveling salesperson problem. Soft Computing, 13(1), 95–101.

Singh, A., 2016. A Review on Algorithms Used to Solve Multiple Travelling Salesman Problem. International Research Journal of Engineering and Technology.

Singh, S., & Lodhi, A., 2013. Study of Variation in TSP using Genetic Algorithm and Its Operator Comparison. In International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE) (Issue 3).

Sisodia, D., Singh, L., Sisodia, S., & Saxena, K., 2012. Clustering techniques: a brief survey of different clustering algorithms. International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology (IJLTET), 1(3), 82-87.

Skiscim, C. C., & Golden, B. L., 1983. Optimization by simulated annealing: A preliminary computational study for the tsp. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).

Sleegers, J., & van den Berg, D., 2020. Looking for the hardest hamiltonian cycle problem instances. IJCCI 2020 - Proceedings of the 12th International Joint Conference on Computational Intelligence, 40–48.

Somhom, S., Modares, A., & Enkawa, T., 1999. Competition-based neural network for the multiple travelling salesmen problem with minmax objective. In Computers & Operations Research (Vol. 26).

Soylu, B., 2015a. A general variable neighborhood search heuristic for multiple traveling salesmen problem. Computers and Industrial Engineering, 90, 390–401.

Soylu, B., 2015b. A general variable neighborhood search heuristic for multiple traveling salesmen problem. Computers and Industrial Engineering, 90, 390–401.

Sundar, K., & Rathinam, S., 2017. Algorithms for Heterogeneous, Multiple Depot, Multiple Unmanned Vehicle Path Planning Problems. Journal of Intelligent and Robotic Systems: Theory and Applications, 88(2–4), 513–526.

SUNGUR, İ. C., & AKPOLAT, T. Böbreklerin temel fonksiyonları ve düzenlenmesi.

Süleymanlar, G., Utaş, C., Arinsoy, T., Ateş, K., Altun, B., Altiparmak, M. R., ... & Serdengeçti, K., 2011. A population-based survey of Chronic REnal Disease In Turkey—the CREDIT study. Nephrology Dialysis Transplantation, 26(6), 1862-1871.

Sze, S., & Tiong, W., 2007. A comparison between heuristic and meta-heuristic methods for solving the multiple traveling salesman problem. World Academy of Science, Engineering and Technology, 1.

Şanlitürk, D., Ovayolu, N., Kes, D., 2018. Hemodiyaliz Hastalarında Sık Karşılaşılan Problemler ve Çözüm Önerileri Common Problems in Hemodialysis Patients and the Problem Solving Recommendations (Vol. 2018, Issue 13).

Şeker, M., & Bulduklu, Y., 2018. Neden kurumlarda değerler., 5-12.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Tang, L., Liu, J., Rong, A., & Yang, Z., 2000. A multiple traveling salesman problem model for hot rolling scheduling in Shanghai Baoshan Iron & Steel Complex. European Journal of Operational Research, 124(2), 267-282.

Tatar, M., Ergin, G., & Ecder, T., 2013. Cost analysis of private hemodialysis centers in turkey. Turkish Nephrology, Dialysis and Transplantation Journal, 22(3), 270–282.

Theofilou, P., 2012. Quality of life and mental health in hemodialysis and peritoneal dialysis patients: The role of health beliefs. International Urology and Nephrology, 44(1), 245–253.

Thurlow, J. S., Joshi, M., Yan, G., Norris, K. C., Agodoa, L. Y., Yuan, C. M., & Nee, R., 2021. Global epidemiology of end-stage kidney disease and disparities in kidney replacement therapy. In American Journal of Nephrology (Vol. 52, Issue 2, pp. 98–107). S. Karger AG.

Topal, M., & Özdemir, F. N., 2006. Acute complications of hemodialysis. Türkiye Klinikleri J Int Med Sci, 2, 24-29.

Tuna, D., Ovayolu, N., & Duygu, K. E. S., 2018. Hemodiyaliz hastalarında sık karşılaşılan problemler ve çözüm önerileri. Nefroloji Hemşireliği Dergisi, 13(1), 17-25.

Turkey-the CREDIT study. Nephrology Dialysis Transplantation, 26(6), 1862–1871.

Unruh, M. L., & Hess, R., 2007. Assessment of health-related quality of life among patients with chronic kidney disease. Advances in chronic kidney disease, 14(4), 345-352.

Utaş, C., 2007. Diyaliz Uygulamalarında Maliyet Analizi. Türk Nefroloji, Diyaliz ve Transplantasyon Dergisi, 16(1).

Vali, M., & Salimifard, K., 2017. A constraint programming approach for solving multiple traveling salesman problem. In The Sixteenth International Workshop on Constraint Modelling and Reformulation (pp. 1-17).

Venkatesh, P., & Singh, A., 2015. Two metaheuristic approaches for the multiple traveling salesperson problem. Applied Soft Computing, 26, 74–89.

Wang, Z., Fang, X., Li, H., & Jin, H., 2020. An Improved Partheno-Genetic Algorithm with Reproduction Mechanism for the Multiple Traveling Salesperson Problem. IEEE Access, 8, 102607–102615.

Webster, A. C., Nagler, E. v., Morton, R. L., & Masson, P., 2017. Chronic Kidney Disease. In The Lancet (Vol. 389, Issue 10075, pp. 1238–1252). Lancet Publishing Group.

Wei, C., Ji, Z., & Cai, B., 2020. Particle Swarm Optimization for Cooperative Multi-Robot Task Allocation: A Multi-Objective Approach. IEEE Robotics and Automation Letters, 5(2), 2530–2537.

Willis, M. A., Hein, L. B., Hu, Z., Saran, R., Argentina, M., Bragg-Gresham, J., Krein, S. L., Gillespie, B., Zheng, K., & Veinot, T. C., 2021. Feeling better on hemodialysis: User-centered design requirements for promoting patient involvement in the prevention of treatment complications. Journal of the American Medical Informatics Association, 28(8), 1612–1631.

Xie, Y., Bowe, B., Mokdad, A. H., Xian, H., Yan, Y., Li, T., Maddukuri, G., Tsai, C. Y., Floyd, T., & Al-Aly, Z., 2018. Analysis of the Global Burden of Disease study highlights the global, regional, and national trends of chronic kidney disease epidemiology from 1990 to 2016. Kidney International, 94(3), 567–581.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Xu, R., & Wunsch, D., 2005. Survey of clustering algorithms. In IEEE Transactions on Neural Networks, (Vol. 16, Issue 3, pp. 645–678).

Xu, X., Yuan, H., Liptrott, M., & Trovati, M., 2018. Two phase heuristic algorithm for the multiple-travelling salesman problem. Soft Computing, 22(19), 6567–6581.

Xu, Z., Li, Y., & Feng, X., 2008. Constrained multi-objective task assignment for UUVs using multiple ant colonies system. Proceedings - ISECS International Colloquium on Computing, Communication, Control, and Management, CCCM 2008, 1, 462–466.

Yang, F., Lau, T., & Luo, N., 2016. Cost-effectiveness of haemodialysis and peritoneal dialysis for patients with end-stage renal disease in Singapore. Nephrology, 21(8), 669–677.

Yavuz, D., Yavuz, R., & Altunoğlu, A., 2012. Hemodiyaliz hastalarında görülen psikiyatrik hastalıklar. Turkish Medical Journal, 6(1), 33-37.

Yeniçerioğlu Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Tıp Fakültesi Nefroloji, Y. B., Doç Özkan Güngör Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tıp Fakültesi Nefroloji, A. B., & Mustafa Arıcı Hacettepe Üniversitesi Tıp Fakültesi Nefroloji, K. B., 2019. NEFROLOJİ EDİTÖRLER.

Yousefikhoshbakht, M., Didehvar, F., & Rahmati, F., 2013. Modification of the Ant Colony Optimization for Solving the Multiple Traveling Salesman Problem. In ROMANIAN JOURNAL OF INFORMATION SCIENCE AND TECHNOLOGY (Vol. 16, Issue 1).

Yu, Q., Wang, D., Lin, D., Li, Y., & Wu, C., 2012. A Novel Two-Level Hybrid Algorithm for Multiple Traveling Salesman Problems. In LNCS (Vol. 7331).

Yuan, S., Skinner, B., Huang, S., & Liu, D., 2013. A new crossover approach for solving the multiple travelling salesmen problem using genetic algorithms. European Journal of Operational Research, 228(1), 72–82.

Zhang, T., Graver, W. A., & Smith, M. H., 1999. Team scheduling by genetic search. Proceedings of the 2nd International Conference on Intelligent Processing and Manufacturing of Materials, IPMM 1999, 2, 839–844.

Zhou, H., Song, M., & Pedrycz, W., 2018. A comparative study of improved GA and PSO in solving multiple traveling salesmen problem. Applied Soft Computing Journal, 64, 564–580.