

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

NEHİR HAVZASI SU KALİTESİ GÖZLEM
AĞLARINDA ÖRNEK TOPLAMA PRATİĞİNİN
OPTİMİZASYONU VE MALİYET ANALİZİ

Alkım ENGİN

Şubat, 2020
İZMİR

**NEHİR HAVZASI SU KALİTESİ GÖZLEM
AĞLARINDA ÖRNEK TOPLAMA PRATİĞİNİN
OPTİMİZASYONU VE MALİYET ANALİZİ**

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Hidrolik, Hidroloji ve Su Kaynakları Programı

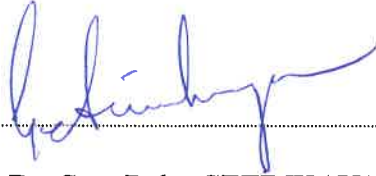
Alkım ENGİN

Şubat, 2020

İZMİR

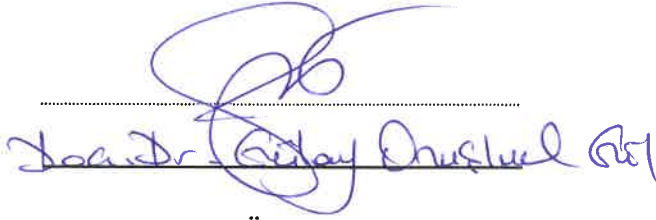
YÜKSEK LİSANS TEZ SINAV SONUÇ FORMU

ALKİM ENGİN, tarafından DOÇ. DR. CEM POLAT ÇETİNKAYA yönetiminde hazırlanan “NEHİR HAVZASI SU KALİTESİ GÖZLEM AĞLARINDA ÖRNEK TOPLAMA PRATİĞİNİN OPTİMİZASYONU VE MALİYET ANALİZİ” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

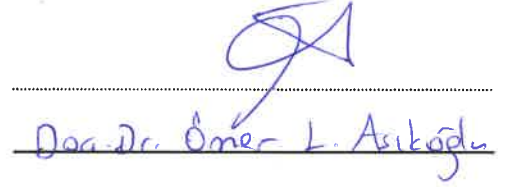


Doç. Dr. Cem Polat ÇETİNKAYA

Yönetici



Jüri Üyesi



Jüri Üyesi



Prof. Dr. Kadriye ERTEKİN

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın hazırlanmasında büyük emeği olan, engin bilgi ve tecrübelerinden daima yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel şekillendiren, yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen ve her zaman anlayışlı olan tez danışmanım, değerli hocam Doç. Dr. Cem Polat ÇETİNKAYA'ya teşekkürü bir borç bilirim.

Yüksek lisans ve iş yaşantım içerisinde bana hidrolik ve su kaynaklarını çok sevdiren, daima örnek aldığım, Özgür ULUSOY, Dr. İ. İlker ATIŞ, Dr. Esra BİBEROĞLU YILMAZ, Yakup UZ ve Hasan KELEŞ'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Beni dünyaya getiren, yetiştiren ve her zaman yanımda olan en büyük desteğim annem Letafet ENGİN'e, hayatımın, lisans ve yüksek lisans çalışmalarımın en büyük manevi desteği ve sonsuza kadar yanımda olacak çok sevgili babam Sadettin ENGİN'e ve hiçbir zaman desteğini esirgemeyen değerli ablam Gizem ENGİN GÜL'e teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışmam boyunca hep yanımda olan Anastasia KOTSIDOU'ya, Mert Ahmet GÜNEŞ'e, tüm arkadaşlarıma ve manevi destek sağlayan herkese teşekkürlerimi sunarım.

Alkım ENGİN

NEHİR HAVZASI SU KALİTESİ GÖZLEM AĞLARINDA ÖRNEK TOPLAMA PRATİĞİNİN OPTİMİZASYONU VE MALİYET ANALİZİ

ÖZ

Günümüzde su kalitesi gözlemleri sürdürülebilir su politikalarını yönlendirme amaçlı temel prensipleri ortaya koymaktadır. Örnekleme çalışmaları su kaynaklarının korunması, geliştirilmesi ve kalitedeki kötüye gidişin engellenmesi; su kaynaklarının uzun dönemli korunmasına yönelik örneklerin alınması ve analiz için laboratuvara götürülmesi dahilinde gerçekleştirilen fiziki kısıtlarla sınırlanmış zorunluluklardır. Örnekleme prosedürünün kısıtlı süre içerisinde bitirilmesi ve gerekli tetkiklerin yapılması için ulaştırılması gözlem sıklığını da etkilemektedir. Yapılan çalışmada bahsedilen sınırlar gözetilerek izlenmesi gereken istasyonların minimum masrafi elde edebileceğimiz rota veya rotaların nasıl seçileceği aranmıştır. Önümüzdeki durum Gezgin Satıcı Probleminin En Yakın Komşu algoritmasına uyarlanarak bir yaklaşımda bulunmuş ve Araç Rotalama Probleminin Geniş Komşu Arama algoritması ile çözülmeye çalışılmıştır. Ortaya çıkan metodoloji Devlet Su İşleri 2. Bölge Müdürlüğü'nün yetki alanı içerisinde bulunan Gediz ve Büyük Menderes Havzasında var olan istasyonlara çeşitli programlarla denenmiş ve çalışmalarının kendi içlerinde nasıl tamamlanabileceği hakkında rota tavsiyeleri bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: En yakın komşu algoritması, araç rotalama problemi, geniş komşu araması, su kalitesi örnekleme

OPTIMIZATION OF SAMPLING PRACTICE AND COST ANALYSIS IN WATER QUALITY MONITORING NETWORKS ON RIVER BASINS

ABSTRACT

Today, water quality monitoring sets out the basic principles for guiding sustainable water policies. Sampling activities include conservation, improvement of water resources and prevention of deterioration in quality; Obtaining samples for long-term conservation of water resources and taking them to the center for laboratory analysis are limited by physical and economic constraints. Completing the sampling procedure within a limited time and delivering it to perform the necessary tests also affects the frequency of observation. In the study, it was sought to answer the question of how to choose the route or routes where we can get the minimum cost of the stations that should be followed by considering the limits mentioned. In the next situation, an approach has been made by adapting to the Nearest Neighbor Algorithm of the Mobile Vendor Problem and the Vehicle Routing Problem has been tried to be solved with the Large Neighbor Search algorithm. The resulting methodology It has been applied to the existing stations in Gediz and Büyük Menderes Basin within the jurisdiction of the 2nd Regional Directorate of State Hydraulic Works with various programs and as a result route recommendations have been obtained on how sampling activities can be completed within themselves.

Keywords: Nearest neighbour algorithm, vehicle routing problem, large neighborhood search, water quality sampling

İÇİNDEKİLER

| | Sayfa |
|---|-----------|
| YÜKSEK LİSANS TEZ SINAV SONUÇ FORMU | ii |
| TEŞEKKÜR..... | iii |
| ÖZ | iv |
| ABSTRACT..... | v |
| ŞEKİLLER LİSTESİ | viii |
| TABLolar LİSTESİ | ix |
| BÖLÜM BİR - GİRİŞ..... | 1 |
| 1.1 Çalışmanın Amacı | 1 |
| 1.2 Çalışmanın Kapsamı | 3 |
| BÖLÜM İKİ - GEÇMİŞ ÇALIŞMALAR VE LİTERATÜR TESPİTİ..... | 5 |
| BÖLÜM ÜÇ - YÖNTEM..... | 10 |
| 3.1 Gezgin Satıcı Problemi (Travelling Salesman Problem) | 11 |
| 3.1.1.En Kısa Yol (Shortest Path) | 11 |
| 3.1.2 En Yakın Komşu Algoritması (Nearest Neighbor) | 14 |
| 3.2 Araç Rotalama Problemi (Vehicle Routing Problem) | 15 |
| 3.2.1 Giriş | 15 |
| 3.2.2 Araç Rotalama Problem Çeşitleri | 15 |
| 3.2.2.1 Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi | 16 |
| 3.2.2.2.Dağıt Topla Araç Rotalama Problemleri..... | 18 |
| 3.2.2.3 Çok Depolu Araç Depolama Problemi | 18 |
| 3.2.2.4 Zaman Pencere Reli Araç Rotalama Problemi | 18 |
| 3.3. Büyük Komşuluk Araştırması (Large Neighborhood Search) | 19 |

**BÖLÜM DÖRT - GEDİZ HAVZASI SU KALİTESİ GÖZLEM AĞLARINDA
ÖRNEK TOPLAMA PRATİĞİNİN ROTA BELİRLEME YÖNTEMLERİ İLE
DEĞERLENDİRİLMESİ 25**

4.1 Genel 25

4.1.1 Gediz Havzası..... 27

4.1.2 Küçük Menderes Havzası 30

4.1.3 Büyük Menderes Havzası 31

4.1.4 Kuzey Ege Havzası..... 33

4.2 Yöntem 35

4.3 Su Kalitesi Örnekleme Faaliyetinin Gezici Satıcı Problemine Uyarlanması..... 37

4.3.1 En Yakın Komşu Yöntemiyle Rotaların Oluşturulması..... 41

4.4 Su Kalitesi Örnekleme Faaliyetinin Araç Rota Problemine Uyarlanması 45

4.4.1 Araç Rotalama Problemi Yöntemiyle Rotaların Oluşturulması 45

4.5 Su Kalitesi Örnekleme Faaliyetinin Optaplanner ile Çözülmesi 48

4.5.1 Optaplanner Rotalarının Oluşturulması..... 51

4.6 Su Kalitesi Örnekleme Faaliyetinin Optaplanner ile Çözülmesi 54

BÖLÜM BEŞ - TARTIŞMA VE SONUÇ 56

KAYNAKLAR..... 59

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

| | |
|--|----|
| Şekil 3.1 İmha işleminden önce bir CVRP çözümü..... | 20 |
| Şekil 3.2 Altı noktanın çıkartılmanın ardından mevcut yollarla bağlantısı kesilmiş bir imha işleminden sonraki çözümü göstermektedir | 20 |
| Şekil 3.3 Onarım işleminin ardından müşterilerin tekrar yerleştirildiği çözüm..... | 20 |
| Şekil 3.4 LNS meta-sezgisel akış şeması..... | 22 |
| Şekil 4.1 Gediz Havzası | 29 |
| Şekil 4.2 Küçük Menderes Havzası | 31 |
| Şekil 4.3 Büyük Menderes Havzası | 33 |
| Şekil 4.4. Kuzey Ege Havzası..... | 35 |
| Şekil 4.5 DSİ 2. Bölge Sorumluluk Alanı Ölçüm Noktaları | 37 |
| Şekil 4.6 En yakın komşu algoritması için yazılan programın akış şeması..... | 40 |
| Şekil 4.7 DSİ 2. Bölge Müdürlüğü görev alanı içerisinde bulunan 2019 yılında işletilen su kalitesi gözlem istasyonları | 41 |
| Şekil 4.8 VRP solver için uyarlanmış excel şeridi | 42 |
| Şekil 4.9 Yer listesinin oluşturulduğu sekme | 43 |
| Şekil 4.10 Mesafe listesi oluşturulan sekme | 44 |
| Şekil 4.11 LNS algoritması ile çözüm oluşturma | 46 |
| Şekil 4.12 Optaplanner isimlendirme örneği | 49 |
| Şekil 4.13 Optaplanner veri dosyası örnek 1 | 50 |
| Şekil 4.14 Optaplanner veri dosyası örnek 2 | 50 |
| Şekil 4.15 Optaplanner veri dosyası örnek 3 | 51 |
| Şekil 4.16 Optaplanner veri dosyası örnek 4 | 51 |
| Şekil 4.17 Optaplanner çözüm rotası | 51 |

TABLolar LİSTESİ

Sayfa

| | |
|--|----|
| Tablo 4.1 DSİ 2. Bölge Gediz Havzası gözetim ve korunan alan su kalitesi gözlem ağı istasyonu..... | 36 |
| Tablo 4.2 En kısa yol algoritmasına göre elde edilen güzergahlar, geçirilen süre, kat edilen mesafe ve masraflar | 42 |
| Tablo 4.3 DSİ 2. Bölge sorumluluk alanı örnekleme noktaları..... | 46 |
| Tablo 4.4 LNS Çözüm sağlanan ilk gün rotası | 48 |
| Tablo 4.5 LNS Günlere göre elde edilen güzergahlar, geçirilen süre, kat edilen mesafe ve masraflar | 48 |
| Tablo 4.6 Optaplanner ile çözüm sağlanan ilk gün rotası | 52 |
| Tablo 4.7 Optaplanner ile günlere göre elde edilen güzergahlar, geçirilen süre, kat edilen mesafe ve masraflar | 53 |

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Amacı

Günümüzde mevcut su kalitesi gözlem ağlarından temin edilen verinin kalitesinde ve bu verinin temin edilmesi sırasında karşılaşılan aksaklıklar, konuyla ilgilenen araştırmacı ve uzmanları, ölçüm ağlarının dizaynı, geliştirilmesi ve işletilmesi hususunda yeni tedbirler almaya zorlamaktadır (Harmancıoğlu ve diğer., 1999). Birçok durumda, su kalitesinin izlenmesine yönelik harcanan çaba ve masraflara rağmen, hem gelişmiş hem gelişmekte olan ülkelerde mevcut ölçüm ağlarında beklenen verimin sağlanamadığı görülmektedir. İzleme sistemleri tüm dünyada gelişmektedir ve geliştirme için ise yüksek miktarda finansal kaynak harcanmaktadır. Bu perspektiften yaklaşıldığında Türkiye ve benzer ekonomik yapıya sahip ülkelerde su kalitesi izleme faaliyetleri de sınırlı ekonomik şartlarda sürdürülmek zorunda kalmaktadır (İçağa, 1998, 2005; Çetinkaya ve Harmancıoğlu, 2012). Türkiye’de detaylı bir maliyet analizine yer veren su kalitesi gözlem çalışmaları az sayıdadır. Ölçüm çalışmalarının tümü devlet tarafından desteklenmiş ve ölçüm maliyetleri genel bütçe içinde bir bütün olarak değerlendirilmiştir.

Su kalitesini izleme çalışmalarını ülkemizde en yaygın biçimde sürdüren kuruluş olan Devlet Su İşleri’nin (DSİ), 1979 yılında 6 bölge müdürlüğünde ve 65 ölçüm noktasında başlattığı sistematik nitelikteki su kalitesi izleme çalışmaları zaman içerisinde gelişmeli olarak tüm havzalarda bini aşkın izleme noktasını kapsar hale gelmiştir (Çetinkaya ve Özkul, 2007). Yıllar içinde oluşan bu gelişme ve ölçüm yoğunluğunda oluşan bu değişim günümüze kadar hali hazır sistemin performansı ve verimliliğini tam anlamıyla bir teste tabi tutmamıştır. Ölçüm sisteminin iyileştirilmesi ve bundan sonraki ağ gelişiminin bu çerçevede sürdürülmesi günümüzde ortaya çıkan en göze çarpan gerekliliktir. Mevcut halde devam eden sistemin performans ve verimlilik açısından gözden geçirilmesi ölçüm sisteminin iyileştirilmesi için ilk adım olmalıdır. Günümüzde Avrupa Birliği uyum çalışmaları sebebi ile devletin ve devlet kuruluşlarının bu kapsamda tekrar yapılması çerçevesinde, kamu kuruluşlarının

faaliyetleri açısından bu tür irdeleme faaliyetlerine gerek görülmekte ve verimlilik çalışmalarına gereksinim duyulmaktadır (Çetinkaya ve Harmancıoğlu, 2012). Avrupa komisyonu, AB su politikası ile ilgili görüş birliğine 1996 yılında varmıştır. Su ile ilgili diğer tüm direktifleri tek bir yönetmelikte toplama düşüncesi ile Su Çerçeve Direktifi oluşturulmuş ve 22 Kasım 2000 yılında yürürlüğe girmiştir. Direktifler geliştirilerek değiştirilmiş ve gözetim yöntemi olarak nehir alt havzası bazında önlemleri içeren nehir havzası yöntemini yöntem olarak kabul edilmiştir (Moens, 2003).

Su kalitesi izleme faaliyetleri, arazi çalışmaları, laboratuvar analizleri ve sonuç değerlendirme, arşivleme ve yayın faaliyetleri olmak üzere üç safhadan oluşmaktadır (Çetinkaya ve diğer., 2001). Laboratuvar analizleri maliyet açısından bakıldığında toplam izleme masraflarının en büyük bölümünü oluşturmaktadır. Doğrudan izlenen değişken sayısına bağlı olarak laboratuvar analiz masrafları ise artmaktadır. Arazi çalışmaları analiz masraflarının yanında, bir diğer masraf kalemidir (Çetinkaya ve diğer., 2001). Uzaktan algılama teknolojilerinin kullanılabilirliği su kalitesi izleme faaliyetinin doğası gereği kısıtlı kalmaktadır. Uzaktan algılama ile ancak basit fiziksel özellikler elde edilebilmektedir. Kimyasal analizlerin yapılabilmesi laboratuvar ortamının mevcut olması ve donelerin uygun şekilde alınarak vaktinde laboratuvara getirilmiş olunmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bağlamda su kalitesi izleme faaliyetlerinde arazi çalışmaları laboratuvar ölçümleri ile oransal olarak daha küçük bir masrafa tekabül etse de maliyeti arttıran büyük öneme sahiptir.

Halihazırda Türkiye’de de örnekleme çalışmaları araziye çıkılarak yapılmaktadır. DSİ’nin taşra teşkilatları, havza bazında Bölge Müdürlükleri olarak örgütlendiğinden, çoğu bölge müdürlüğünde su numunelerinin analizini yapacak olan laboratuvar sayısı tektir. Bu açıdan örnekleme çalışmaları genelde tek merkezden hareket ile örnekleme noktalarının ziyareti ve yine aynı merkeze dönüş şeklinde gerçekleşmektedir.

Mevcut şartlar göz önüne alındığında, maliyet bileşenlerini oluşturan masraflar içinde arazi çalışmaları, optimize edilerek minimuma indirilebilecek bir kıstas olarak görünmektedir.

Bu genel görünüm ışığında, bu çalışmanın amacı DSİ'nin arazi çalışmalarının irdelenmesi, su kalitesi gözlem faaliyetlerinin arazide örnekleme safhasında optimum rotalarını tayin etmesidir. Arazi çalışmalarının masraflarını etkileyen en büyük faktörler, kat edilen yol ve örnekleme için çalışan personel sayısıdır. Her iki durum içinde gerçekte kat edilen yol asıl belirleyici olmaktadır. Çalışma kapsamında da DSİ 2. Bölge örnek alınarak, bir ay içinde en kısa toplam yolu veren izleme rotaları çıkarılmaya çalışılmıştır.

Çalışmada üç adet yaklaşım denenmiş ilk olarak “Gezici Satıcı Problemi” (GSP) ile çözüm aranmıştır. GSP “En Yakın Komşu” algoritması ile çözülmüş ardından “Araç Rotalama Problemi” (ARP) ile farklı bir çözüm aranmış ve son olarak “Büyük Komşuluk Algoritması” (LNA) ile bir çözüm yapılarak kısıtlar içinde kalan çözümler elde edilmiş ve tezin sonuç kısmında karşılaştırma yapılmıştır.

DSİ 2. Bölge'nin mevcut arazi çalışması pratiği yapılan bireysel görüşmeler ile elde edilmiştir. Benzer şekilde Bölge Müdürlüğünde çalışan ilgili uzmanlardan temin edilen arazi çalışmalarını etkileyen masraf bileşenleri kullanılmıştır.

1.2 Çalışmanın Kapsamı

Çalışma, kapsamı itibari ile mevcut ölçüm pratiğini iyileştirmeyi hedeflemekten ziyade, yeni ağlarda yapılacak olan arazi çalışmalarının planlanmasında bir metodoloji ortaya koymayı amaçlamaktadır. Gerek hava şartları gerekse her an ortaya çıkabilecek özel durumlar arazi çalışmasının planlanmasını doğrudan etkileyebilmektedir. Bu nedenle, eldeki çalışma, mevcut arazi pratiğini irdelemek için kullanılmak istenirse, ancak her koşulun uygun olduğu durumlarda ne yapılması gerektiği konusunda genel bir fikir verebilir.

Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) verilerinden elde edilen örnekleme noktaları farklı yaklaşımlar ile çözümler oluşturulmuş ve değerlendirilmiştir

Çalışmanın ikinci bölümünde literatürde su kalitesi gözlem ağlarında örnek toplama pratiğinin optimizasyonu yöntemleri üzerine dünyada ve ülkemizde yapılmış çalışmalar tanıtılmış, yapılan çalışmanın önemi, iyi ve geliştirilmesi gereken yanları irdelenmiştir.

Üçüncü bölümde örnek toplama pratiğinin optimizasyonu için kullanılan yöntemler irdelenmiştir. Gezgin Satıcı Problemi, Araç Rotalama Problemi, Büyük Komşuluk Algoritması ile ilgili bilgiler verilmiş ve yöntemlerin özellikleri tartışılmıştır.

Dördüncü bölümde, Ege Bölgesinin içerisinde bulunan Gediz Havzası, Kuzey Ege Havzası, Büyük Menderes ve Küçük Menderes Havzaları tanıtılmış ve havzalarda bulunan örnekleme noktalarının fiziksel, çevresel, sosyolojik ve topografik özellikleri, mevcut su yapıları, ekonomik faaliyetler ve havzada yürütülen politikalarla ilgili ayrıntılı bilgilere yer verilmiştir. Gezgin Satıcı Problemi, Araç Rotalama Problemi, Büyük Komşuluk Algoritması yöntemleri ile gözlem ağlarında örnek toplama pratiğinin optimizasyonu değerlendirmesi uygulamaları yapılmıştır.

Beşinci bölümde ise sonuçların değerlendirmesi yapılmıştır. Sonuçların irdelenmesiyle hangi yöntemin ne gibi durumlarda kullanılmasının daha gerekli olduğu üzerine tartışılmıştır.

BÖLÜM İKİ

GEÇMİŞ ÇALIŞMALAR VE LİTERATÜR TESPİTİ

Araç rotalama, lojistik sisteminde bir veya birkaç depodan belirli müşterilere ürün dağıtımını ve müşterilerden ürün toplanması olarak tanımlanabilmektedir. Araç rotalama problem (ARP) çok aşamalı bir lojistik sisteminde incelendiğinde, ürünleri depoya sevk eden üretici bir firma, siparişlerin toplanıp müşterilere sevk edildiği depo ve ürünleri talep eden müşteri bileşenlerinden oluşmaktadır. Dolayısıyla tüm bunlar göz önüne alındığında ürün toplama veya dağıtımının oldukça yoğun iş gücü gerektiren ve maliyetli bir faaliyet olduğu sonucuna varılmaktadır. Yıllar içerisinde bu maliyet ve iş gücünün düşürülmesi adına çalışmalar yapılmıştır (Keskintürk ve diğer., 2015).

ARP ilk olarak Dantzig ve Ramser (1959) tarafından literatüre kazandırılmıştır. Bu çalışmayı, servis istasyonlarına benzin dağıtım probleminin çözümü için matematiksel programlama modeli ve buna uygun algoritmik bir yaklaşım çıkartmışlardır. Kendi deposundan hareket eden ve yine bir depoya dönen, müşterilerin ihtiyaçlarını belirlenen kısıtlar altında karşılayan ve taşıma maliyetlerinin veya kat edilen yolun her bir araç için minimize edildiği rotalar kümesi belirlenmiştir. (Keskintürk ve diğer., 2015).

Tedarik zinciri yönteminde ürün veya hizmetin fiziksel olarak iletilmesi süreci ile alakalı olan bu problem için Clarke ve Wright (1964), Dantzig ve Ramser (1959) tarafından önerilen yöntemi geliştirerek Tasarruf (savings) adını verdiği bir yöntem önermiştir. Bu çalışmadan itibaren ARP'ye yeni kısıtlar eklenerek pek çok farklı tür ortaya konmuş ve bu problem türleri için birçok model ve algoritma geliştirilmiştir (Bayzan, 2014).

1963 yılında Little ve diğer dal ve sınır algoritmasını geliştirmiştir Dal - Sınır yöntemi, optimal çözüme götürmeyen bazı çözüm seçeneklerini önceden eleme koşuluyla, tüm uygun çözüm seçeneklerini belirlemeyi amaçlayan bir tekniktir. Bu sebeple gerekli değerlendirmelerin sayısı, genellikle çözüm alanını küçük alt kümelere

böler. Bu alt kümeler “dallandırma noktaları” adı verilir. Her alt küme, daha fazla araştırma gerekip gerekmediğini belirlemek üzere değerlendirilir. Değerlendirme, amaç fonksiyon değerlerini sınırlarla karşılaştırarak gerçekleştirilir. Maliyet minimizasyonu problemlerinde alt kümenin olurlu çözümleri için amaç fonksiyon değerlerine bir alt sınır hesaplanır. Eğer alt sınır başlangıçta kullanılan bir üst sınırdan büyük veya eşit ise tüm alt kümeler elenir. Algoritma, her değerlendirmeden sonra üst sınırın yeniden düzenlenmesini olanaklı kılacak biçimde tasarlanmıştır. Dallandırma elenmemiş ve en küçük alt sınırlı alt kümelerde yapılır. Sınırlar arası fark, daha iyi çözümler buldukça azalır ve en iyi çözüme bu şekilde ulaşılır (Yıldırım 2014).

Carpaneto ve Toth (1980) TSP algoritmasının bir modifikasyonuna dayanan bu algortmada bir gelişme yapmış ve bu Laporte ve diğer. (1986) tarafından önerilmiştir. Christofides (1976) makalesi, “araç rotalama problemi” adını ilk kullanan kişi olarak görünmektedir. Branş ve sınır algoritması, dalları yaylardan ziyade rotalarda tanımlamaktadır. Sonuçta ortaya çıkan arama ağacı oldukça geniştir, ancak m ile sınırlı bir derinliğe sahiptir. Bu iki algoritmanın hiçbiri, küçük veya kolay durumlar dışında, hiçbir şeyi çözmede çok başarılı değildi.

Christofides ve diğer. (1981) k derece merkez ağaçlarına (k -DCT) ve q -rotalarına dayalı iki keskin alt sınırın türetilmesiyle ilk dal ve sınır algoritmalarının performansını büyük ölçüde arttırdı. Problem, bölümün üç elemanı ile bağlantılı, değişken kısıtlamalarla bağlantılı üç değişken grubu şeklinde formüle edilmiştir. Alt sınırlar daha sonra, her bir değişken tipi tarafından tanımlanan alt problem için, bağlama kısıtlamalarını objektif fonksiyonda bir Lagrangean tarzda birleştirerek hesaplanır.

Christofides ve diğer. (1981) bu iki alt sınırla birlikte örnekleri 10 ila 25 nokta arasındaki kümeleri başarıyla çözdüler. Q -yollarından türetilen bağ genellikle k -DCT bağından daha iyidir. Aynı sınırları kullanarak, Hadjiconstantinou ve diğer. (1995) 50'den düşük örnekleri en iyi şekilde çözüme yeteneğine sahip gelişmiş bir branchan-bağlı algoritma geliştirmiştir.

VRP için iki indeksli araç akış formülasyonları, Laporte ve Nobert (1983) ile, Laporte ve diğer. (1985) 'nin çalışmalarına dayanmakta ve Dantzig ve diğer. (1954) klasik TSP formülasyonunu genişletmektedir. Laporte ve diğer. (1985) rota uzunluğu kısıtlamaları varlığında bir dallandır-ve-kes planı (branch and cut scheme) içerisinde nasıl hesaplanacağını göstermiştir.

Fisher (1994), daha sonra, depo ile bir müşteri arasında geri dönüş yolculuklarının yasaklandığı VRP'nin sınırlı bir sürümü için bir dal ve kesim algoritması içinde k-DCT alt sınırını dahil etmiştir. Bu çalışmada küçük bir tolerans dahilinde, 134 köşeye kadar olan birkaç örneği başarıyla çözebildi.

Araç akışı tarafından tanımlanan model, geçerli eşitsizliklerin dahil edilmesiyle pekiştirilebilir. Bunlar arasında genel kapasite kısıtlamaları, çerçeve kapasitesi kısıtlamaları, ARP tarak eşitsizlikleri, kutu ambalajını ve TSP'yi birleştiren eşitsizlikler ve kararlı küme sorununa dayanan bazı eşitsizlikler bulunmaktadır. Genel bir bakış için Naddef ve Rinaldi (2002)'nin yapmış olduğu çalışmalar incelenebilir. Bu yazarlar, dallanma olmadan 22 ve 45 arasındaki altı örneği ve 51 ve 135 arasındaki dokuz örneği az dallanma ile çözmelerini sağlayan bir dallandır-ve-kes algoritması geliştirmiştir. Araç akış formülasyonuna dayanan daha yeni bir dallandır-ve-kes algoritması için Lysgaard ve diğer. (2004) incelenmeye değerdir.

Emtia akışı formülasyonları ve algoritmalarında değişkenler yay üzerinde taşınan araç yükünü tanımlar. Erken bir örnek Gavish ve Graves (1979)'de bulunabilir, ancak bu yazarlar hesaplamaların sonuç vermediğini bildirmiştir. Daha yeni bir örnek, Finke ve diğer. (1984) TSP modeline dayanan Baldacci ve diğer. (2004)'in formülasyonudur. Bu problem geçerli VRP eşitsizlikleri ile çözüldü. 16 ila 135 arasındaki birkaç örnek optimal olarak çözüldü. Müşteri sayısı 30 ila 60 arasındaysa ve depo sayısı 3 ila 5 ise, başarı oranı çok yüksektir.

Bölümleme formülasyonlarını ve algoritmaları için VRP'nin basit bir set bölümleme formülasyonu ilk olarak Balinski ve Quandt (1964) tarafından sağlandı. Bu formülasyonun doğrudan uygulanması, en önemsiz durumlarda karşılaşılan çok sayıda potansiyel yollu ve NP-zor bir problemin üssel bir sayı çözülmesini gerektiren katsayıları hesaplama zorluğundan dolayı pratik değildir.

Bu sorunu çözmek için bir dizi sütun üretme algoritması önerilmiştir. İlk olarak, Rao ve Zionts (1968) tarafından sayısal olarak test edilmiş görünmüyor. Foster ve Ryan'ın (1976) ikinci bir yöntemi, dinamik programlama yoluyla yollar oluşturur, ancak tamamlanmadı. Agarwal ve diğer. (1989) tarafından 15 ila 25 arasındaki örnekleri çözen tam sütun üretme algoritması geliştirmiştir. Son yıllarda geliştirilen en başarılı VRP algoritmalarından ikisi, belirli bir bölümleme formülasyonunu kısmen kullanmaktadır. Fukasawa ve diğer. (2006), kolonların q-yollarına karşılık geldiği set bölümleme formülasyonu ile çalışmışlardır.

ARP hedefi üzerinde daha düşük bir sınırlama, Letchford ve diğer. (2002) ve Lysgaard ve diğer. (2004) tarafından önerilen (VF-SP ') nin doğrusal gevşemesinin çözülmesi çerçeveli kapasite eşitsizlikleri, güçlendirilmiş petekler, çokluyıldız, kısmi çoklu yıldız ve genelleştirilmiş çoklu yıldız eşitsizlikleri ve içturlama kesintileriyle hesaplanır. Bu ana problem dallandır-ve-kes planını fiyat algoritmasına dahil etmek için yazdı. Yazarlar 135'e kadar köşe içeren örnekleri bu yöntemle çözebildiler. Baldacci ve diğer. (2008) ikinci algoritması, Araç Akışı için geçerli olan bazı eşitsizliklerle güçlendirilmiş olan küme düzeltme formülasyonu ile çalışır. Bu, Baldacci ve diğer. (2008)'de kanıtlanmış aşağıdaki kimlikleri kullanarak mümkün olur. Bölünmeyi ayarlayarak bazı kısıtlamalar ile birlikte kullanır. Üç yükseliş sezgisi uygulayarak elde edilen bu problemin lineer açılımının ikilisinde daha düşük sınırlar hesaplarlar. Nihai ikili çözüm, üst sınır ile elde edilen alt sınır arasında düşük maliyetli sütunlar içeren azaltılmış bir problem üretmek için kullanılır. Bu problem bir tamsayı doğrusal programlama çözücüsü ile çözülür. Bu algoritma 37 ila 121 olan örnekleri çözme yeteneğine sahiptir ve Fukasawa ve diğer. (2006), biraz daha iyi bir sonuçlama sağlar.

Klasik sezgisel için tasarruf algoritması Clarke ve Wright (1964) tarafından ortaya atılmış, açıklaması ve uygulanması kolay olan ve oldukça iyi çözümler sunan bir algoritmadır.

Yukarıda özetlenen çalışmaların ışığında, su kalitesi gözlem ağlarında örnekleme çalışmalarının bir optimizasyon problem olduğu, ve belirli sınırlamalara sahip olan bir amaç fonksiyonu olduğu görülmektedir. Optimizasyon probleminde temel hedef farklı günlerde farklı rotalar ile ziyaret edilen gözlem noktalarına belli kısıtlar altında ulaşmak için, en az masraflı yolu aramaktır, diğer bir deyişle amaç fonksiyonunun minimumu aranmaktadır. Mevcut problem çalışma kapsamında benzer sorunlara çözüm olarak önerilmiş “Gezgin Satıcı Problemi”, “Araç Rotalama Problemi” ve “Büyük Komşuluk Araştırması” yöntemleri ile optimal bir çözüm aranmıştır.

BÖLÜM ÜÇ YÖNTEM

Su kalitesi gözlem ağlarında, örnekleme çalışmaları, yoğun arazi ziyaretlerini gerektirmektedir. DSI'nin işlettiği su kalitesi gözlem ağlarında, yer seçimi genelde mevcut akım gözlem istasyonları gözetilerek yapılmaktadır. Bu istasyonların yanında, gerek yeraltı gerekse yüzeysel su kütlelerinin fiziko-kimyasal kalite durumunu tespit için, içme ve kullanma suyu temin edilen barajlar, kuyular, ekolojik öneme sahip göller ve en son olarak 2012 yılı Kasım ayında yürürlüğe giren “Yüzeysel Su Kalitesi Yönetimi Yönetmeliği”ne göre kıyı suları da izleme çalışmasına dahil edilmektedir.

DSI'nin taşra teşkilatı olan Bölge Müdürlükleri, sorumlu oldukları havzaların bu hassas noktalarını göz önünde bulundurarak su kalitesi gözlem ağları oluşturmaktadır. İzlenmekte bulunan bu gözlem noktaları genellikle her ay veya her iki ayda bir ziyaret edilir. İzlenecek kalite değişkenlerinin mevcut değerlerini belirlemek için, su numuneleri uygun noktalarda tüm noktalardan alınır ve alındığı tarihten itibaren 24 saat içinde Bölge Müdürlüğü tarafından işletilen su kalitesi analiz laboratuvarlarına teslim edilir.

Görülebileceği gibi, örnekleme çalışmalarında, Bölge Müdürlüğünün bulunduğu tek bir noktadan hareket edilerek, güzergâhta belirlenen gözlem noktalarına ulaşılmış ve örnekleme yapıldıktan sonra aynı noktaya getirilmiştir. Özellikle Gediz Havzası ve Büyük Menderes gibi aylık örneklerin toplandığı havzalarda her gözlem noktası ayda en az bir kez ziyaret edilmelidir.

Aylık ziyaret koşuluna ek olarak, günlük rotanın belirlenmesi, bir yandan, örnekleme faaliyetine katılan çalışanların günlük çalışma saatleri içinde faaliyetlerini tamamlama zorunluluğu, diğer yandan, su numunelerini 24 saat içinde laboratuvara gönderme ve analize başlama zorunluluğudur. Benzer şekilde, saha çalışmaları için kullanılan araçlar hizmet alım yöntemi ile sağlandığından günlük ve aylık toplam kilometre kısıtlamaları vardır. Bununla birlikte, su örnekleme işlemi 15 dakika gibi

kısa bir zaman alsa da, özellikle derelerden alınan su numunelerinin eşzamanlı akışları da ölçülmelidir. Memba kısımlarda yapılacak akış ölçümleri, bölümün küçük boyutu ve su derinliği nedeniyle kısa sürede tamamlanabilirken, mansap kısımlardaki nehir dalının derinleşmesi ve genişlemesi nedeniyle 35-40 dakika sürebilir, ancak uygulama sırasında değişken süreler tanımlanabilse de, her nokta için 15 dakika esas alınacaktır.

Problem çözümü için kullanılan yöntemlerin endüstri içerisinde pek çok kullanım yeri vardır ve ihtiyaç dahilinde farklı çözüm yaklaşımları ile uygulanır. Bunların ilki okul ve fabrika servis araçlarını rotalamaktır. Belli bir kapasiteye sahip okul servisi veya fabrika servis araçlarının her sabah öğrencileri veya çalışanları belirlenen noktalardan alınıp, mesai bitiminde tekrar aynı noktaya bırakılması işinde seyahat süresini minimuma indirerek aracın kat ettiği mesafeyi en aza indirgeyerek rotalanması için ARP kullanılır. Kargo şirketlerinin gelen paketleri dağıtmada ve gönderilecek paketleri müşteriden toplamada araçların takip edecekleri en uygun güzergahların belirlenmesinde gereklidir Gıda malzemeleri teslimatında üretici firmanın ürünlerini bakkal ve marketlere dağıtmakta kullandıkları araçların gidecekleri en uygun rotaların belirlenmesi için aynı şekilde araçların rotalanmasını gerektirmektedir. Bankalar ve ATM'lerde toplanan paraların gün sonunda merkez bankaya getirilmesinde kullanılan araçların güzergâhlarının belirlenmesi de araç rotalama işlemi gerektirmektedir. Belediyeler ve tıbbi atık yönetimi yapan şirketler her bir atık toplayan araç için, yerleşim yerlerinden topladıkları atıkları, düzenli depolama alanlarına getirecekleri optimal rotaların belirlenmesi için araç rotalanmaya ihtiyaç duyarlar (Bayzan,2005)

3.1 Gezin Satıcı Problemi (Travelling Salesman Problem)

3.1.1 En Kısa Yol (Shortest Path)

Gezin Satıcı Problemi (GSP) ilk olarak Hamilton tarafından 1800'lü yılların ortasında tanımlanmıştır. Gezin Satıcı Problemi (GSP) ilk olarak 1800'lü yılların ortalarında Hamilton tarafından tanımlanmıştır. Hamilton, her poligonun uç noktasını en az bir kez ziyaret etmeyi amaçlayan iç içe çokgenler panosunda bir sorun tanımladı. 1932'de Karl Menger, bugün bilinen GSP'nin ilk tanımını yaptı (Evans ve Minieka, 1992). GSP'de, belirli bir noktadan çıkarak bir poligon üstünde ziyaret edilmesi

gereken her noktaya en az bir kez uğrayan ve sonunda çıktığı noktaya tekrar dönen bir satıcının izlemesi gereken en kısa yol tanımlanmaya çalıştı. GSP'nin uygulanabilmesi için her nokta arasındaki uzaklıkların önceden bilinmesi ve iki nokta arasındaki karşılıklı gidiş gelişlerin masrafının aynı olması gerekmektedir. Bu bakış açısından, sorunun tanımı oldukça basit olmasına rağmen, ziyaret edilecek noktaların sayısı arttıkça, çözüm alanındaki alternatiflerin sayısı da büyük değerler almaktadır (Çolak, 2010).

GSP'de toplam nokta sayısı n adet ise, ilk nokta için $(n-1)$ adet, ikinci nokta için $(n-2)$ adet, üçüncü nokta için $(n-3)$ adet gidilebilecek nokta vardır. Burada n problemin boyutunu ifade etmektedir ve problem için olurlu tur sayısı $(n-1)!$ adettir. Nokta sayısının düşük olduğu durumlarda, sorunun kesin çözümüne ulaşmak kolaydır, ancak nokta sayısı arttıkça olası çözümlerin sayısı giderek artar ve sorunun çözüm süresi artar.

Gezgin satıcı probleminin tanımı aşağıdaki gibidir (Dantzig ve diğer., 1954):

$$\text{Min } z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1, i \neq j}^n x(i, j) d(i, j) \quad (3.1)$$

Problemin kısıtları:

$$\sum_{j=1, j \neq i}^n x(i, j) = 1, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (3.2)$$

$$\sum_{i=1, i \neq j}^n x(i, j) = 1, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (3.3)$$

$$\sum_{i, j \in K, i \neq j}^n x(i, j) \leq |K| - 1, \quad \forall K \subset \{1, 2, 3, \dots, n\} \quad (3.4)$$

GSP'nin (Eşitlik 3.1) amaç fonksiyonunda $d(i,j)$ ifadesi i ve j noktaları arasındaki mesafeyi göstermektedir. $x(i,j)$ ise i noktasından j noktasına gidilip gidilmediğini gösterir. Tanımlanan kısıtlar her noktanın yalnızca bir kez ziyaret edileceğini gösterir. Denklem (3.2)'deki eşitliğe göre her noktadan sadece bir kez çıkılacak, (3.3) numaralı eşitliğe göre de her noktaya yalnızca bir kez gidilecektir. (3.4) numaralı eşitlik ise oluşabilecek alt turları elemeye yönelik matematiksel ifadedir. Bu ifadelerden de görülebileceği üzere $x(i,j)$ değeri 0 veya 1 değerini almaktadır.

GSP, birçok farklı yöntem ile çözülebilmektedir. Uğranacak nokta sayısının az olduğu durumlarda tüm seçeneklerin sıralanarak irdelenmesi ve küçükten büyüğe doğru sıraya sokularak en kısa yolun bulunması yaygın yöntemdir ve “kaba kuvvet” algoritması olarak bilinir. Bununla birlikte nokta sayısı arttıkça bu tip bir çözüm için harcanan zaman giderek fazlalaşmaktadır. Örnek verilmesi gerekirse; 10 nokta içeren bir örneğin en kısa yolunun bulunması için gereken tur sayısı $9! / 2 = 181.400$ olmaktadır. Her ne kadar günümüzde bilgisayarların işlemci hızları ve kapasiteleri artmış olsa da 20'nin üzerindeki noktaya sahip bir problemi çözmek insan ömrünü birçok kez aşacaktır. Yukarıda açıklandığı gibi yüksek sayıda noktanın bulunduğu durumlarda kaba kuvvet yerine daha ziyade “sezgisel” yöntemler kullanılarak en uygun çözümlere ulaşılmaya çalışılır. Bu yöntemlere örnek olarak, En Yakın Komşu, Karınca Kolonisi, Christofides, En Kapsayıcı Ağaç gibi algoritmalar gösterilebilir (Çolak, 2010).

Tüm bu algoritmalar arasında en basit uygulanabilirlikte olan “En Yakın Komşu” algoritması öne çıkmaktadır. Fakat, bu algoritmanın her zaman optimum çözümü vermediği unutulmamalıdır. Burada yapılan işlem optimum çözümden feragat edilerek işlem süresinden kazanmaya çalışılmaktadır.

3.1.2 En Yakın Komşu Algoritması (Nearest Neighbor)

GSP'nin çözümü için çalışma kapsamında en yakın komşu yöntemi kullanılmıştır. Problemin başlıca kısıtları, mevcut noktaların hepsinin ziyaret edilmesi, bunun bir aylık süreç içinde, işgünleri dahilinde yapılması ve günlük ziyaretler sonrasında başlangıç noktasına tekrar geri dönülmesidir. Mevcut noktaların sayısı “n” ise noktalar arası seyahat edilecek mesafe sayısı “n-1” olacaktır. Problemin amaç fonksiyonunun kapsamı ise “n-1” yolun toplam masrafının minimum olmasıdır. En yakın komşu algoritmasının adımları özetlenebilir: İlk olarak, tüm noktaların birbirlerine olan mesafelerini, bu mesafelerin kat edilmesi için yapılan masrafları ve harcanan süreleri gösteren komşuluk matrisleri oluşturulur. Oluşturulan matriste tayin edilemeyen yada ilişkisi bulunmayan elemanlar var ise sonsuzu temsil etmesi için mevcut değerlerin çok üzerinde değerler verilir. Matris içinde bulunan en küçük değerdeki sayı bulunur ve işaretlenir. İşaretlenen değer bulunduğ u satır ve sütundaki tüm değerler ileride kullanılmamak üzere büyük sayılarla değiştirilir ve yeni bir matris oluşturulur. En küçük değeri gösteren yeni matriste hangi noktadaysak satırda bulunan en küçük değere gidilir. Bu küçük değer bir önceki nokta ile şimdi bulunulan nokta arasındaki mesafeyi gösterir. Yeni bulunan noktanın satır ve sütunları tekrar mümkün mertebeye büyük değerlerle değiştirilir ve yeni matris oluşturulur. Tüm bu işlemler tüm noktalar gezilene kadar devam eder.

Örneğin; 5 noktalı bir problemde bu yöntem ile kısıtları sağlayan seçeneklerden bir tanesine 7 adımda ulaşılabilir; ancak kaba kuvvet yöntemi ile en kısa rotaya ulaşmak için $n!/2=60$ adım gereklidir. Nokta sayısının artması durumunda kaba kuvvet yönteminin denemesi gereken seçenek sayısı da hızla artmakta ve hesaplama zamanları imkansız hale gelmektedir. Ancak “En Yakın Komşu” algoritması ile bu adım sayıları azalmakta, bu nedenle problemin kısıtlarını sağlayan bir çözüm elde edilebilmektedir. Elde edilen bu çözümün olası çözümler içindeki optimum çözüm olduğuna dair bir ispat bulunmadığından “optimuma yakın” olduğu kabul edilir.

3.2 Araç Rotalama Problemi (Vehicle Routing Problem)

3.2.1 Giriş

1959'da Dantzig ve Ramser petrol istasyonlarına akaryakıt dağıtımını optimize etmek amacıyla Araç Rotalama Problemi (ARP) çalışmasını gerçekleştirmiştir. Yapılan çalışmada merkezi bir depodan sipariş edilen malların müşterilere en kısa yoldan temin edilmesini sağlayacak bir algoritma geliştirilmiştir. Geliştirilen ARP algoritmasının amacı toplam yol maliyetini veya toplam süreyi en aza indirmektir. 1964 yılında Clarke ve Wright, tasarruf algoritması adı verilen yeni bir yaklaşımla Dantzig ve Ramser'in yaklaşımını geliştirmişlerdir.

ARP yukarıda da bahsedilen GSP yöntemini kapsayan bir yöntem olarak karşımıza çıkmış ve temel bir örnek olarak çalışılmıştır. GSP kapasitesiz, zaman aralıksız ve tek araçlı bir ARP problemidir. ARP problemi her rotanın depodan başlayıp müşterilere bir kez uğrayıp tekrar depoya döndüğü kısıtı sağlayan rotalar kümesidir. Problemin içeriğine göre kapasite, zaman aralığı, toplam süre, maksimum talep noktası, gibi kısıtların sağlanması beklenir.

ARP çözümü nondeterministic-hard (NP-hard) sınıfında bir optimizasyon problemidir. Problem boyutu büyüdükçe çözüme de daha uzun sürede ulaşılır. Amaç en düşük kısıta ulaşmak yerine, olabilecek en kısa sürede örnek uzaydaki en iyiye yakın bir sonuç elde etmektir. Böylece kaba kuvvet yönteminin hesabı için gereken süre gerekmeyecek, ihmal edilebilir bir hata payı ile en iyiye yakın bir çözüm ortaya çıkacaktır (Dursun, 2009).

3.2.2 Araç Rotalama Problemi Çeşitleri

ARP'de uygulama ihtiyaçları doğrultusunda kısıtlar değişiklik gösterebilir. Uygulama esnasında araç kapasiteleri, depo ve müşteri sayıları, müşterilerin çalışma zaman aralıkları, mesafe, ve toplam araç sayıları gibi farklı kısıtlar olabilir. ARP problemi çeşitleri arasında kapasite kısıtına ve zaman aralığı kısıtına sahip olan

problem çeşitleri en çok kullanılanlardır.

3.2.2.1 Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi

Dağıtım ağı optimizasyonunun en temel ve en yaygın uygulamalarından biri olan Kapasite Kısıtlı ARP'de, her aracın taşıyabileceği sınırlı bir hacim vardır ve aracın rotasının ihtiyacı bu hacimden karşılanır. Kapasite kısıtlı ARP probleminde, her aracın kapasitesi eşittir ve araçlar belli bir depodan başlama ve tekrar aynı depoya geri dönme prensibi ile çalışır.

Bu çalışmada, her müşterinin belli bir miktar talebi vardır ve her müşteri tek bir araç tarafından bir kere ziyaret edilir. Depo ve müşterilerin birbirlerine olan uzaklıkları her daim aynıdır. Bu problemde amaç, talep kısıtları göz önünde bulundurularak toplam yol maliyetini veya toplam süreyi en aza indirmektir

NP-hard sınıfında olan ARP için, tur zamanında optimum çözümü bulabilecek etkili bir yöntem yoktur. Matematiksel kaba kuvvet yöntemlerinin kullanımı en iyi çözümü verecektir, ancak bu kesin yöntemler çözüm uzayını arayacağından, çözüm için gereken süre, hesaplama karmaşıklığına sahip olan ARP için katlanarak artacaktır.

ARP için düzenlenmiş çok sayıda algoritma bulunmaktadır, literatürde yer alan Christofides ve diğer., (1981) yılında yaptığı çalışmasındaki tamsayılı modelde M araç sayısını ve N müşteri sayısını göstermektedir x_{ijk} değişkeni, i müşterisinden j müşterisine k aracı ile gidilip gidilmediğini belirten değişkenler olarak alınır;

$x_{ijk} = 1$, eğer k nolu araç i müşterisinden j müşterisine gidiyorsa 0, aksi takdirde

$c_{ij} = i$ müşterisi ile j müşterisi arasındaki mesafe

$Q =$ Araç maksimum kapasitesi

$q_i = i$ Müşteri isteği

$y_i =$ Alt turları engellemek için kullanılan rastgele

değişken

Matematiksel model;

$$\text{Min } Z = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N (C_{ij} \sum_{k=0}^M x_{ijk}) \quad (3.5)$$

Öyle ki

$$\sum_{i=0}^N \sum_{k=0}^M x_{ijk} = 1, j=1, \dots, N \quad (3.6)$$

$$\sum_{i=0}^N x_{ipk} - \sum_{j=0}^N x_{pjk} = 0, j=1, \dots, M, p=0, \dots, N \quad (3.7)$$

$$\sum_{i=0}^N (q_i \sum_{j=0}^N x_{ijk}) \leq Q, k = 1, \dots, M \quad (3.8)$$

$$\sum_{i=0}^N x_{0jk} = 1, k=1, \dots, M \quad (3.9)$$

$$y_i - y_j + N \sum_{k=1}^M x_{ijk} \quad (3.10)$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\}, \forall_{ijk} \quad (3.11)$$

$$y_i \text{ iřareti serbest} \quad (3.12)$$

Amaç, maliyetin minimize edilmesidir. (3.6) numaralı kısıta göre her müşteri sadece tek bir defa ziyaret edilecektir. (3.7) numaralı kısıtta ise şayet bir araç başka müşteriyi ziyaret ediyorsa bu müşteriden tekrar hareket etme zorunluluğunu belirtir. Her aracın taşıyabileceği toplam ürün miktarının bir sınırı vardır ve bununla ilgili

kapasite kısıtı (3.8) numaralı ifade ile belirtilmiştir. (3.9) numaralı kısıta göre her araç sadece bir kez kullanılmalıdır. Problemin çözümünde tekrar eden turların oluşmaması için (3.10) numaralı kısıt eklenmiştir. Bu kısıt, her rotanın depoya uğramasını zorunlu kılar. Christofides ve diğ. çalışmasında bu kısıtlara ek olarak her aracın toplam giderini de eklemiştir.

3.2.2.2 Dağıt Topla Araç Rotalama Problemleri

ARP'nin bu tipinde müşteriler, ürün teslim alınacaklar ve verilecekler olmak üzere ikiye ayrılır. Tam kapasite dolu olarak depodan çıkan aracın rota içerisinde, araç kapasitesinde yer açması gerektiğinden öncelikle ürün dağıtımını yapacağı müşterilere uğrama koşulu aranmaktadır.

Kısıt dahilinde dağıtılacak ve geri alınacak miktarlar önceden bilinmektedir ve tüm araçlar aynı kapasitede olmalıdır, Bu problem kısıtında göz önünde bulundurulması gereken durum dağıtım yapılacak miktarın ve teslim alınacak ürünlerin toplamının araç kapasitesini geçmemesi gerektiğidir.

3.2.2.3 Çok Depolu Araç Depolama Problemi

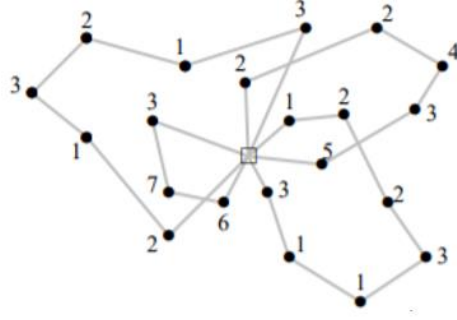
Daha önce anlatılan ARP'lerde müşterilerin istekleri tek depo tarafından karşılanmıştır fakat bir işletme müşterilerine tek bir depodan hizmet vermek yerine bu hizmeti birden çok depo ile de yapabilir. Çok depolu ARP'nin amacı seyahat mesafesini ve araç sayısını tek depo kullanmak yerine birden fazla depo kullanarak minimize etmektir. Bu yaklaşımda tüm araçlar hareket ettiği depoya geri dönmek durumundadır. Bu problemdeki amaç fonksiyonu, toplam ürün talepleri bir çok depodan karşılanırken araç filosunu ve toplam seyahat süresini minimizasyonudur. Çözüm, her rota standart ARP kısıtlarını karşıladığında ve aynı depoda başlayıp bitmesi durumunda fizibildir (Yılmaz, 2008).

3.2.2.4 Zaman Pencerele Araç Rotalama Problemi

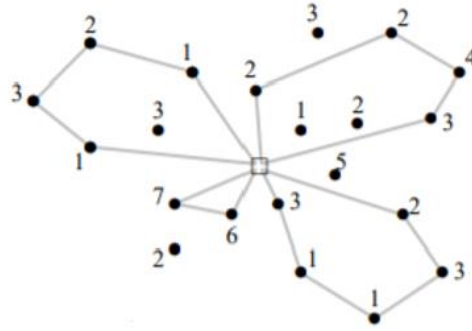
Bu tez çalışmasında çalışılan ARP çeşidi Zaman Pencerele ARP'dir. Kapasite Kısıtına sahip ARP'deki gibi belirli sayıda ve aynı kapasitede özdeş araçlar mevcuttur, konumları ile ürün talep miktarları bilinen müşteriler ve yine konumu bilinen bir veya daha fazla sayıda depo mevcuttur. Bu tip problemde problemi karmaşıklaştıran kısım, her müşterinin belli bir zaman periyodu kadar sürede ziyaret edilebilir olmasıdır. Yalnızca belirtilen zaman aralığı içinde müşteriye hizmet verilmelidir. Her müşterinin dağıtım ve toplama işlemleri için belirli zaman aralıkları vardır ve araç müşteriye geldiğinde bu süre kadar vakit müşteriye ayrılacaktır ve sonrasında ya sonraki müşteriye veya depoya dönüş gerçekleşecektir.

3.3 Büyük Komşuluk Araştırması (Large Neighborhood Search)

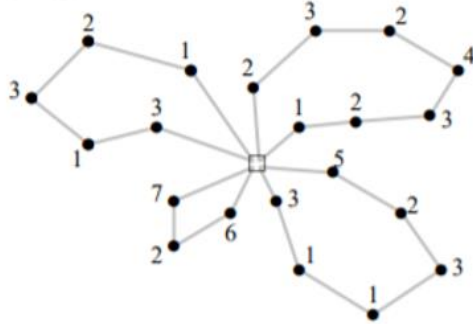
Büyük Komşuluk Araştırması (LNS) Shaw (1998) tarafından başlangıç çözümünü yok edip onararak sonucu kademeli olarak iyileştiren meta-sezgisel bir çözüm yöntemidir. LNS meta-sezgiseli Çok Büyük Ölçekli Komşuluk Araştırması (VLSN) algoritmaları olarak bilinen sezgisel (heuristic) sınıfına aittir. Tüm VLSN algoritmaları, büyük bir komşuluğu aramanın yüksek kalitede yerel optima bulmakla sonuçlandığı ve bu nedenle genel olarak bir VLSN algoritmasının daha iyi çözümler getirebileceği gözlemine dayanmaktadır (Pisinger ve Ropke, 2010). Ancak, geniş bir mahallede arama yapmak zaman alıcıdır, bu nedenle aramayı sınırlandırmak için çeşitli filtreleme teknikleri kullanılır. VLSN algoritmalarında, komşuluk tipik olarak verimli bir şekilde aranabilen çözümlerin bir alt kümesi ile sınırlandırılmıştır. LNS'de komşuluk dolaylı olarak, yerleşik bir çözümü imha etmek ve onarmak için kullanılan yöntemler ile tanımlanmaktadır



Şekil 3.1 İmha işleminden önce bir CVRP çözümü



Şekil 3.2 Altı noktanın çıkartılmasının ardından mevcut yollarla bağlantısı kesilmiş bir imha işleminden sonraki çözümü göstermektedir



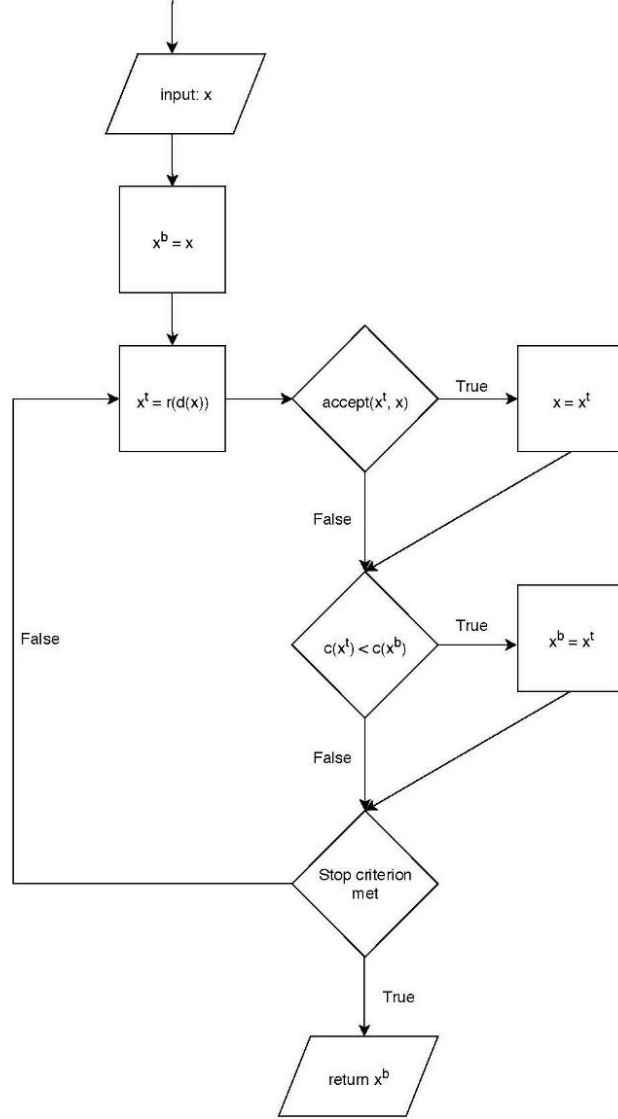
Şekil 3.3 Onarım işleminin ardından müşterilerin tekrar yerleştirildiği çözüm

Bir imha yöntemi mevcut çözümün bir parçasını imha ederken, onarım yöntemi imha edilen çözümü yeniden oluşturur. Yok etme yöntemi tipik olarak, çözümün farklı kısımlarını, yöntemin her aramasında imha edilecek şekilde stokastik bir eleman içerir. Bir x çözümünün komşusu olacak $N(x)$, önce yok etme yöntemini ve sonrasında onarım yöntemini uygulayarak erişilebilecek bir dizi çözüm olarak tanımlanır.

CVRP’de imha ve onarım kavramlarını örnek vermek gerekirse, imha yöntemi, mevcut çözümdeki müşterilerin %15’ini kaldırabilir ve müşterilerin kaldırıldığı rotaları kısaltabilir. Çok basit bir imha yöntemi, rasgele kaldırılacak müşterileri seçer. Herhangi bir onarım yöntemi, açgözlü bir sezgisel yöntem kullanarak çıkarılan müşterileri ekleyerek çözümü yeniden inşa edebilir. Böyle bir buluşsal yöntem, boştaki tüm müşterileri kolayca tarayabilir, ekleme maliyeti en düşük olanı ekleyebilir ve tüm müşteriler girene kadar eklemeyi tekrarlayabilir. Yok etme ve tamir basamağı, Şekil 3-1, Şekil 3-2 ve Şekil 3-3’de gösterilmektedir. Yok etme yöntemi, çözümün büyük bir bölümünü tahrip edebileceğinden, komşuluk, sezgiselin adını açıklayan çok sayıda çözüm vardır. 100 müşterili bir CVRP örneği ele alındığında çözümün imha yüzdesi veya derecesi % 15 ise müşterileri çıkartmanın $100!/(15! \times 85!) = 2,5 \times 10^{17}$ farklı yolu vardır ve her bir çıkarma seçeneği için çözümü onarmanın da benzer şekilde birçok olasılığı vardır, ancak farklı temizleme seçenekleri elbette onarımdan sonra aynı çözüme yol açabilir.

LNS meta-sezgisel için gereken akış şeması şekil 3-4’de gösterilmiştir. Algoritmada üç değişken korunur: Değişken x^b , arama sırasında gözlemlenen en iyi çözümdür, x mevcut çözümdür ve x^t , mevcut çözümün durumuna atılabilecek veya yükseltilebilecek geçici bir çözümdür. $d(\cdot)$ işlevi imha yöntemi, $r(\cdot)$ onarım yöntemidir. Daha spesifik olarak, $d(x)$ kısmen tahrip olmuş x kopyasını verir. Kısmen imha edilmiş bir çözüme $r(\cdot)$ ’yi uygulamak çözümü onarır, bu şekilde imha olandan uygulanabilir bir çözüm üretilir. $x^b=x$ denkliğiyle global en iyi çözüm başlatılır. Satır $x^t=r(d(x))$ ile sezgisel yöntem önce imha yöntemini, sonra da yeni bir çözüm elde etmek için onarım yöntemini uygular. Ardından gelen kısım çözüm değerlendirilir ve sezgisel çözüm bu çözümün yeni mevcut çözüm olup olmayacağını veya reddedilip edilmeyeceğini belirler. Kabul etme fonksiyonu farklı şekillerde uygulanabilir. En basit seçenek yalnızca iyileştirme çözümlerini kabul etmektir. Ardından gelen adımda yeni çözüm $(c(x^t))$ ’nin en iyi bilinen çözüm $(c(x^b))$ ’den daha iyi olup olmadığı kontrol edilir. Burada $c(x)$, x çözümünün nesnel değerini belirtir. Koşulun sağlanması durumunda en iyi çözüm güncellenir ve ardından sonlandırma koşulu kontrol edilir. Sonlandırma ölçütünü seçmek uygulayıcıya bağlıdır, ancak yineleme sayısındaki veya çözüm için ayrılan zaman sınırı gibi tipik seçimler bu noktada uygulanabilir. Kriterlerin

sağlanmasının ardından bulunan en iyi yazdırılır. Mevcut algortmada LNS meta-sezgiselinin bir çözümün tüm komşuluğunu aramadığı, ancak yalnızca bu komşuluğu örneklediği fark edilebilir.



Şekil 3.4 LNS meta-sezgisel akış şeması

LNS sezgisel yönteminin temelinde yatan fikir, sıkı kısıtlara sahip olsa da, buluşsal alanın çözüm uzayında kolayca gezinmesine izin vermesidir. Bu, çözüm alanındaki gezinmeyi daha da zorlaştırabilecek küçük bir komşuluğa karşı gelmektedir.

Shaw (1998)'ın kabul yöntemi yalnızca iyileştirme çözümlerine izin vermiştir. Schrimpf ve diğer (2000) sertleştirilmiş simülasyon kabul kriterlerini çalışmalarında kullandılar. Böyle bir kabul kriteri ile, $e^{-(c(x^t)-c(x))/T}$ olasılığı ile $c(x) < c(x^t)$ ve $c(x^t) \leq c(x)$ ile her zaman geçici çözüm x^t kabul edilir. Burada $T > 0$ geçerli sıcaklıktır. Sıcaklık $T_0 > 0$ 'da başlatılır ve kademeli olarak düşürülür, her güncellemede $0 < \alpha < 1$ parametrelili $T_{\text{yeni}} = T_{\text{eski}}$ iterasyonu yapıldığında. T 'nin başlangıçta göreceli olarak yüksek olması, dolayısıyla kötüleşen çözümlerin kabul edilmesine izin verilmektedir. Arama ilerledikçe T azalır ve aramanın sonuna doğru sadece çok az sayıda veya hiç bir bozucu çözüm kabul edilmeyecektir. Eğer böyle bir kabul kriteri kullanılırsa, LNS sezgisi karmaşık bir komşuluk tanımına sahip standart benzetilmiş tavlama sezgisi olarak görülebilir (Pisinger ve Ropke, 2010).

Yok etme yöntemi LNS meta-sezgiselinin önemli bir parçasıdır. İmha yöntemini uygularken en önemli adım imha derecesidir. Çözümün yalnızca küçük bir kısmı tahrip edilirse, sezgisel taramada geniş komşuluk etkisi kaybolduğu için arama alanını keşfetmekte zorlanabilir. Çözümün çok büyük bir kısmı imha edilirse, LNS sezgisel yöntemi kendini tekrarlayan optimizasyona (re-optimization) dönüşür. Bu zaman alıcı olabilir veya kısmi çözümün nasıl onarıldığına bağlı olarak düşük kaliteli çözümler verebilir. Shaw (1998) imha derecesini kademeli olarak artırmayı teklif ederken, Pisinger ve Ropke (2010) her bir iterasyonda imha derecesini rastgele seçerek örnek boyutuna bağlı olarak belirli bir aralıktan derece seçmeyi tercih eder. İmha yöntemi, örnek uzayının tamamını veya genel optimumun bulunması beklenen arama alanının ilgisini çeken kısmını kapsayacak şekilde seçilmelidir. Bu nedenle algoritma her zaman çözümün belirli bir bileşenini yok etmek yerine, çözümün her bölümünü yok etmeyi mümkün kılmalıdır.

LNS meta-sezgiselinin uygulayıcısı onarım yöntemini seçme konusunda bağımsızdır. Alınması gereken başlangıç kararı, optimal onarım işlemi ile kısmi çözümden tam sonucun mu oluşturulacağı veya kısmi çözümden sezgisel bir yöntem ile sağlanan, iyi bir çözüm ile mi oluşturulacağıdır. Optimal onarım işlemi sezgisel bir işlemde daha yavaştır, fakat birkaç iterasyonla yüksek kaliteli çözümlere ulaşılabilir.

Bununla birlikte, optimal onarım işlemi çeşitlilik isteğini karşılamayabilir. Çerçeve aynı zamanda uygulayıcının onarım yönteminin elle kodlanıp kodlanmayacağını veya karma bir tamsayılı programlama (MIP) gibi genel amaçlı bir çözücüye veya kısıtlayıcı programlama çözücüsüne müsaade edilmesine karar vermesini sağlar.

LNS yönteminde uygulanamaz bir çözüm ile uygulanabilir çözüm arasında sırayla değişim gözlemlenir. İmha işlemi onarım tarafından geri getirilebilir hale gelebilen bir çözüm yaratır. Öte yandan imha ve onarım işlemleri düzeltme/optimize etme işlemleri olarak görülebilir: İmha yöntemine karşılık gelen düzeltme yöntemi çözümün bir kısmını mevcut değerinde sabitlerken geri kalanını serbest bırakır, onarım yöntemine karşılık gelen optimize etme düzeltilen değerleri sabit tutarken mevcut çözümü iyileştirmeye çalışır. Onarım yöntemi karışık tamsayı mixed integer programming (MIP) veya kısıt programlama çözücüler kullanılarak uygulandığında sezgisel yöntemin bu şekilde yorumlanması (interpretation) daha normal olabilir.

Büyük komşulukdaki (Large Neighborhood) imha ve onarım yöntemleri kavramı, doğal olarak gerçekleştirilecek bir takım görevleri ve bazı kısıtlamaları yerine getirmek için gereken bir takım alt problemleri kapsayan bir ana sorunun ayrıştırılabilecek altsorunlarına en iyi şekilde katkıda bulunur. Yok etme yöntemleri bazı görevleri geçerli çözümden kaldırır ve onarım yöntemleri işleri yeniden bu görevlerin içerisine yerleştirir. Bu nedenle, Dantzig-Wolfe ayrışmasının başarı ile kullanıldığı problemler, LNS sezgisel yöntemi için iyi sonuçlar vermektedir.

BÖLÜM DÖRT

DSİ 2 BÖLGE SU KALİTESİ GÖZLEM AĞLARINDA ÖRNEK TOPLAMA PRATIĞİNİN ROTA BELİRLEME YÖNTEMLERİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

4.1 Genel

Su Çerçeve Direktifi (SÇD) Avrupa Birliği'nde sürdürülebilir su politikalarını yönlendirmek ve temel prensipleri ortaya koymayı amaçlar. Direktif, su kaynaklarını korumak, geliştirmek ve kalitedeki kötüye gidişi engellemek; su kaynaklarının uzun dönemli korunmasına yönelik sürdürülebilir ve dengeli bir şekilde su kullanımını sağlamak; öncelikli maddelerin deşarjı ve emisyonunu azaltmak ve öncelikli tehlikeli maddelerin deşarjını engellemek veya durumu iyileştirmeyi sağlama; yeraltı suyu kirliliğini azaltmak ve daha fazla kirlenmesinin önüne geçmek, taşkın ve kuraklıkların neden olduğu etkileri hafifletmek gibi amaçları kapsar.

Bir su kütesinin sahip olduğu fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerin tümü, o kütleli oluşturulan suyun kalitesini göstermektedir. Su kalitesinin izlemesine ilişkin hususlar Su Çerçeve Direktifi Madde 8 ve Ek-5'te tanımlanmıştır. SÇD'nin ülkemiz mevzuatına uyumlaştırılması kapsamında Yüzeysel Sular ve Yer altı Sularının İzlenmesine Dair Yönetmelik, 11.02.2014 tarih ve 28910 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Bu yönetmelik ile SÇD'nin Madde 8 ve Ek-5 hükümleri tamamen ulusal mevzuatımıza aktarılmıştır. Yönetmelik, ülke genelindeki bütün yüzeysel sular ve yeraltı sularının miktar, kalite ve hidromorfolojik unsurlar bakımından mevcut durumunun ortaya konulmasını, suların ekosistem bütünlüğünü esas alan bir yaklaşımla izlenmesini, izlemede standardizasyonun ve izleme yapan kurum ve kuruluşlar arasında koordinasyonun sağlanmasını amaçlamaktadır (Gediz Revize İzleme Programı [GRİP], 2017, s.1).

Yönetmeliğin ana hedefi İzleme programlarının hazırlanarak Ulusal İzleme Ağının oluşturulması ve elde edilen verilerin Ulusal Su Bilgi Sistemi altında toplanmasıdır. Yönetmelik, jeotermal kaynaklar ve deniz suları hariç, kullanım

maksadına bakılmaksızın su kaynaklarının denize döküldüğü noktalardaki kıyı suları dahil, diğer kıyı suları hariç kıta içi yüzeysel, yeraltı, geçiş ve doğal mineralli suların izlenmesine ilişkin hususları kapsamaktadır. (GRİP, 2017, s.2).

Mevcut durumda izleme ağı oluşturulurken su kütlelerinin kategorize edilmesi ve risk analizi yapılarak izleme öncelikleri, sıklıkları ve önem değerine göre parametrelerin çıkartılması gereklidir. Yönetmeliğe göre üç temel izleme türü bulunmaktadır. Kütleleri üzerinde tabii şartlardan ve insan faaliyetlerinden kaynaklanan uzun vadeli değişikliklerin değerlendirilmesi maksadıyla yapılan izleme çeşidi Genel amaçlı izleme çeşididir. Kirleticiler açısından risk altında bulunan su kütlelerinde, kirletici girişinin olduğu yerlerde yapılan izleme çeşidi Operasyonel izleme çeşididir. Çevresel hedeflere ulaşamama sebebinin ve kazara, kasten, doğal afet veya diğer sebeplerle oluşan kirliliğin boyutunun ve etkisinin belirlenmesi maksadıyla yapılan izleme araştırmacı izleme çeşididir (GRİP, 2017). İzleme biçimlerine ilave olarak korunan alanların da izlenmesi şarttır. Buna ek olarak referans alanların ve referans alanlara ilişkin değerlendirmelerin teyit edilmesi gerekmektedir. Referans izleme koşulları belirlenince kadar birkaç yıla kadar yapılan analizler ışığında izlemeye devam edilir.

Gözlem noktalarında izlenen parametrelerin senede bir, mevsimde bir gibi sürelerde ölçümü istenenleri olsa da en düşük periyotta olan ölçüm, öncelikli maddeler analizleridir. Bu analizler ayda bir olacak şekilde yapılmaktadır ve bu hususta elde bulunan her gözlem noktasına her ay en az bir kere gitme gerekliliği vardır.

DSİ 2. Bölge Müdürlüğünde 11 Nisan 2019 tarihinde problem çözümüne yönelik bilgiler temin edilmiş olan görüşme ile, örnekleme noktası koordinatları, mevcut geçirilen süre, şoförün ve DSİ çalışanlarının maaşları, kiralanan araçların aylık maliyeti, tespit edilmiştir. Her noktanın veri toplama periyodu, sıklığı, her değişken için toplam gözlem sayısı, kalite değişkenlerinin noktaları göz önüne alınmıştır. Edinilen veriler ışığında Gediz Havzasında 30 genel amaçlı ve 35 operasyonel olmakla beraber toplam 65 izleme noktası ve Büyük Menderes Havzasında 68 genel amaçlı ve 52 operasyonel olmakla beraber toplam 120 izleme noktasında örnekleme

yapılmaktadır. DSİ 2. Bölge Müdürlüğü'nün hizmet alanı İzmir, Manisa ve Uşak illeridir. Gediz, Küçük Menderes, Büyük Menderes ve Kuzey Ege Havzaları içerisinde bulunan 185 izleme noktasının 69 tanesi bu iller içerisinde kalmaktadır ve yapılan çalışmalar DSİ 2. Bölge tarafından verilen bu noktalar üzerinde yapılmıştır. Örnekleme noktalarının bulunduğu havzaların temel özellikleri alt başlıklarda anlatıldığı gibidir. Örnekleme noktalarının koordinatları çeşitli programlar kullanılarak, noktaların birbirlerine olan mesafe ve süreleri çıkartılmıştır.

4.1.1 Gediz Havzası

Gediz Havzası, Türkiye'nin batısında Kuzey Ege, Susurluk, Sakarya, Küçük Menderes ve Büyük Menderes Havzaları arasındaki sahayı kapsamaktadır. (Şekil 4.1) Sularını Gediz nehri ve nehre bağlanan kolları vasıtasıyla Ege Denizine boşaltan havza kuzeyde Kuzey Ege ve Susurluk Havzalarının güney sınırını oluşturan Kara, Dumanlı, Kılıç, Karaoğlan, Demirci, Simav; doğuda Sakarya ve Murat, Koca, Kışla, Umurbaba, Uysal; güneyde Çal, Çulha, Bozdağ, Çatma, Çallıbaba, Mamut, Nif ve Yamanlar Dağı su ayırım hattına ve batıda Ege Denizi'ne kadar uzanmaktadır. Havzanın adını aldığı Gediz Nehri 275 km uzunluğundadır. Havza, 17,04 km² alanı kaplamakta olup, Türkiye genel yüzölçümünün %2,17'sini oluşturmaktadır. Drenaj alanı 17.034 km², yıllık ortalama su potansiyeli yaklaşık olarak yıllık 126 mm dir. Gediz Nehri, Gediz ilçesinin 26 km doğusundaki Murat Dağları'ndan doğup Deli İniş (Kocaçay), Demrek (Demirci), Kum, Alaşehir ve Nif dereleri ile birleşir. Gediz Nehri'yle birleşen diğer akarsulardan Kurşunlu, Tabak, Sart, Gencer, Yeniköy, Karaçalı, Irlanmaz ve Keçili ise diğer önemli akarsulardır. Gediz Nehri, Salihli ve Menemen Ovaları boyunca devam ederek bu ovalar için sulama suyu sağlamaktadır. Nehir, Foça ve Çamaltı tuzlası yanından Ege Denizi'ne dökülür (Yiğit, 2019, s.38).

Havzada az sayıda göl mevcuttur. Havzada yer alan en önemli doğal göl, Manisa ili Akhisar ilçesinin Marmara beldesi yakınlarındaki Gölarmara'dır. Manisa Ovası'nı sulamak ve taşkınlarla gelen suları rezerve edebilmek için bu göl çevresinde geniş bir

alan kamulaştırılmıştır. Havzada Gölarmara'nın dışında doğal krater gölü Gölçük Gölü vardır. Havzada 5 baraj ve 2 gölet bulunmaktadır. En büyük baraj 1.022 milyon m³ depolama kapasitesiyle Demirköprü Barajı'dır. Gördes ve Küçükler Barajları içmesuyu temini amacıyla da kullanılmakta, diğer barajlar sulama, taşkın koruma ve enerji üretimi amaçlı kullanılmaktadır. Havzanın %50'si tarımsal alan, %47'si orman ve yarı doğal alan, %2'lik kısmı ise insan yapımı bölgeleri içeren yapay alanlardır (TÜBİTAK MAM Gediz Havzası, 2013).

Havza'da Akdeniz iklim tipi görülmektedir. Havzada yapılan meteoroloji istasyonu gözlemlerine göre yıllık toplam yağış 450–800 mm arasında değişmektedir. Yıl boyunca yazlar kurak, kışlar bol yağışlı olmaktadır. Havzanın sıcaklık ortalaması 15,1 °C'dir. Yaz mevsiminde bitkilerin su ihtiyacı üzerine büyük etkisi olan bağıl nem kuvvetli rüzgârların etkisiyle %46-51'e düşmektedir (Yiğit, 2019). Temmuz ayında maksimum ortalama 269,9 mm, buharlaşma değerini göstermektedir. Gediz Nehri 17,04 km². Drenaj alanına sahiptir. Günümüzde, ortalama olarak tüm havzadaki kullanılabilir su miktarı 61 mm/yıl civarındayken, toplam su talebi 50 mm/yıl'a ulaşmaktadır (TÜBİTAK MAM Gediz Havzası, 2013).

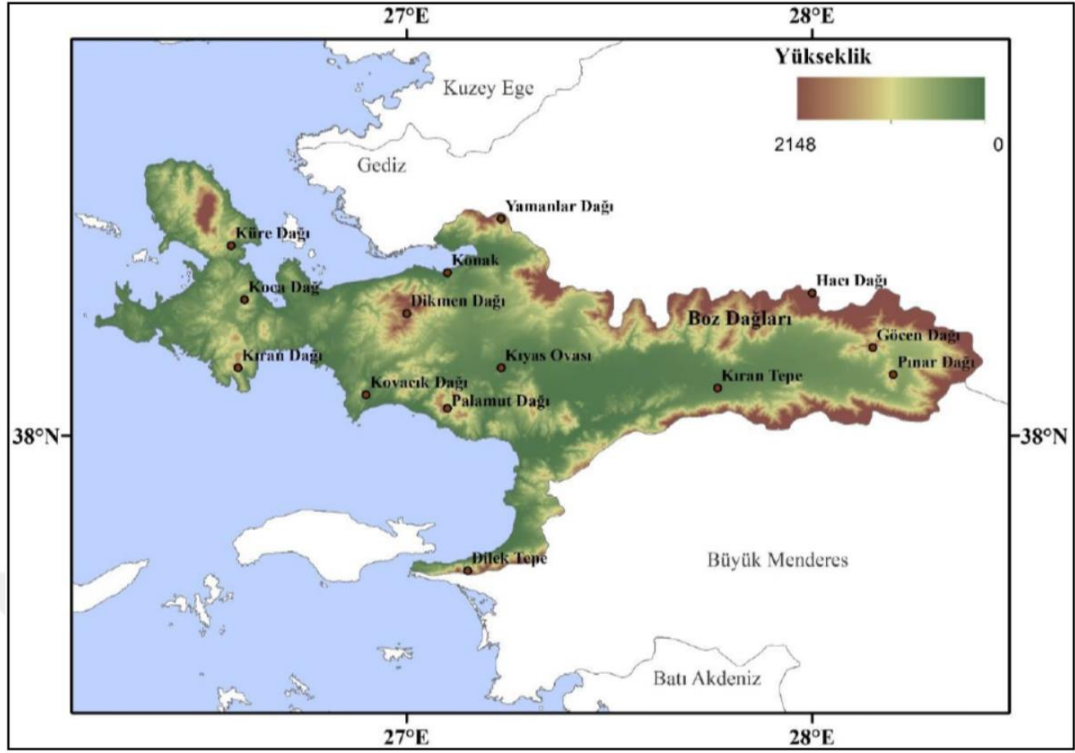
Havza genelinde tarımsal sulama, kentsel su kullanımı, endüstriyel su kullanımı, hidroelektrik santrallerin ihtiyacı olan su kullanımı ve çevresel koruma amaçlı su kullanımı şeklinde su kullanımı mevcuttur. Havzadaki sulama amaçlı su temini önemli ölçüde Demirköprü Barajı, Gölarmara Afşar ve Küçükler Barajlarından yapılmaktadır. Gördes Barajı ise hem içmesuyu temini hem de sulama amaçlı yapılmış bir barajdır. Havzanın ihtiyacını karşılamak amaçlı içme ve kullanma suyu ise hem yüzeysel hem de yeraltı suyu kullanılmaktadır. Havzada su kullanıcıları arasında önemli bir yere sahip Manisa ve Kemalpaşa sanayi bölgeleri bulunmakta ve atıksularını Gediz Nehri'ne boşaltmaktadırlar. Ayrıca daha küçük ölçekli Menemen yakınlarında deri serbest bölgesi de bulunmaktadır. Tarımsal kullanımda büyük ve küçük ölçekli yüzeysel sulama projeleri olduğu gibi yeraltı suyundan da yoğun olarak yararlanılmaktadır. Kentsel su kullanımında ise Gediz Havzası kendi sınırlarındaki belediyelere su sağladığı gibi büyük oranda havza dışında olan İzmir şehrine de Gördes

4.1.2 Küçük Menderes Havzası

Küçük Menderes Havzası'nda, yaz aylarının sıcak ve kurak geçtiği, ilkbahar ve kış aylarının ise ılık olup, yağışların yağmur şeklinde gözlemlendiği Akdeniz iklimi hakimdir. Havzadaki meteoroloji istasyonu gözlemlerine göre 727 mm yıllık toplam yağış ortalaması vardır. Yıllık ortalama akış değeri 17,16 m³/s ve 0,54 hm³ yıllık ortalama akış yüksekliği 693 mm, yıllık ortalama verim 2,4 L/s/km² akış yağış oranı 0,1 ve iştirak oranı 0,29 olarak belirlenmiştir. Yıl boyunca yazlar kurak, kışlar bol yağışlı olmaktadır. Küçük Menderes Havzası (şekil 4.2) 6.963 km² ' lik bir yağış alanından beslenmektedir. (OSİB,2010) Havza genelinde tarımsal sulama, kentsel su kullanımı, endüstriyel su kullanımı, su kullanımı ve çevresel koruma amaçlı su kullanımı şeklinde su kullanımı mevcuttur.

Küçük Menderes Havza sınırları içerisinde yer alan yerleşimlerin büyük bir kısmı kanalizasyon şebekesine bağlı durumdadır. Havzada atıksu arıtma tesisi ile hizmet edilen yerleşik nüfusun toplam yerleşik proje nüfusuna (N>2000 olan 45 yerleşim) oranı 2016 yılı itibariyle %95,6'dır (GRİP, 2017). Havzadaki turizm faaliyetleri nedeniyle nüfusta yaşanan mevsimler değişimleri göz önüne alındığında, atıksu arıtma tesisi ile hizmet edilen mevsimsel etkiye göre hesaplanmış eşdeğer nüfusun, havzanın eşdeğer proje nüfusuna oranı ise %92,4'tür.

Küçük Menderes Havzası'nda mevcut durumda 2000 üzeri nüfusa sahip yerleşimlerden Kiraz, Beydağ, Ödemiş, Tire ve Kuşadası'nda toplam 10 noktada doğrudan deşarj yapılmaktadır. Bunun yanında havzadaki yerleşimlere hizmet veren 6 adet ikincil arıtma, 12 adet ileri arıtma tesisi bulunmaktadır.



Şekil 4.2 Küçük Menderes Havzası (Tübitak MAM, 2010)

4.1.3 Büyük Menderes Havzası

Büyük Menderes Havzası Türkiye’de Ege Bölgesi’nde yer alan, Kuzeyinde Gediz ve Büyük Menderes ve Sakarya Havzaları, doğuda Akarçay ve Burdur Kapalı Havzasıyla Antalya Havzası ve güneyinde Batı Akdeniz Havzasının arasındaki bölgeden oluşmaktadır. (Şekil 4.3) Havza Kuzeyde Samsun Dağı, Cevizli Dağı, Elma Dağı ve Murat Dağı, doğuda Sandıklı Dağları, güneyde Madran Dağı ve Babadağ ve Bozdağları ile çevrilidir.(Büyük Menderes Nehir Havzası Yönetim Planı [BMNHYP], 2018) Havzanın adını aldığı Büyük Menderes Nehri 584 km uzunluğundadır. Havza, 2.600.967 ha alanı drenaj alanına sahip olup, Türkiye genel yüzölçümünün %3,31’ini oluşturmaktadır. 1951- 2000 döneminde yıllık ortalama yağış yüksekliği 643 mm dir. Büyük Menderes Nehri İç Batı Anadolu’da Çivril ve Honazdan doğar ve yan kolları olan Banaz Çayı ve Çine Çayını bünyesine katarak güçlenir. Kufi Çayı Çürüksu Çayı, Dandalaz Çayı, Akçay, Yukarı Akçay, Geyre Çayı, Dipsiz Çayı ve Hamam Çayları ile birçok dereyi içine katarak Ege Denizine ulaşır.

Havzada az sayıda göl mevcuttur. Büyük Menderes Nehrinin doğduğu kaynaklar ile Kufi Çayının beslediği Işıklı Gölü, Karakuyu Sazlıkları Büyük Menderes Deltasının güney doğusunda kalan Bafa Gölü, ve Sazak Gölü doğal yolla oluşmuş başlıca su kütleleridir.

Havzada işletme ve inşaa aşamasında 48 adet baraj, göle ve HES bulunmaktadır. Bunların sadece 37'si halihazırda işletilmekte veya yapım aşamasının sonlarında bulunmaktadır Havza %2,18 yapay bölgeler, %44,21 tarımsal alanlar, %52,77 orman ve doğal alanlar ve geri kalan bölüm sulak alanlar ve su kütleleri şeklindedir.

Büyük Menderes Havzası, Ege, İç Anadolu ve Akdeniz Bölgeleri arasında bir geçit özelliği taşır. İklimi doğudan batıya farklılıklar gösterir. Havzanın doğduğu yerde karasal iklim hakimken havzanın denizle buluştuğu bölgelerde Akdeniz iklimi hüküm sürer (Tübitak MAM B. Menderes, 2010).

Meteoroloji istasyonu gözlemlerine göre yıllık toplam yağış ortalaması 635 mm'dir Büyük Menderes Havzası 26.361 km² 'lik yağış alanından beslenmektedir. Havza genelinde tarımsal sulama, kentsel su kullanımı, endüstriyel su kullanımı, ve çevresel koruma amaçlı su kullanımı şeklinde su kullanımı mevcuttur.

Büyük Menderes Havza sınırları içerisinde yer alan yerleşimlerin nüfusu kaplayan büyük bir kısmı kanalizasyon şebekesine bağlı durumdadır. Havza sınırları içerisindeki 185 yerleşimin 57'sinde kanalizasyon sistemi mevcuttur ve bu kapsam nüfusun %85'ine denk gelmektedir. 185 belediyenin yalnız 18'inde atıksu arıtma mevcut olmasına rağmen nüfusun büyük kentlerde yoğunlaşmasından ötürü %63 atıksu arıtma oranı havzada gözlemlenir.

Büyük Menderes Havzası'nda 20 adet atıksu arımadan 6'sı doğal arıtma, 2'si ileri arıtma ve geri kalan 12 adedi aktif çamur sistemleridir.



Şekil 4.3 Büyük Menderes Havzası (Tübitak MAM, 2010)

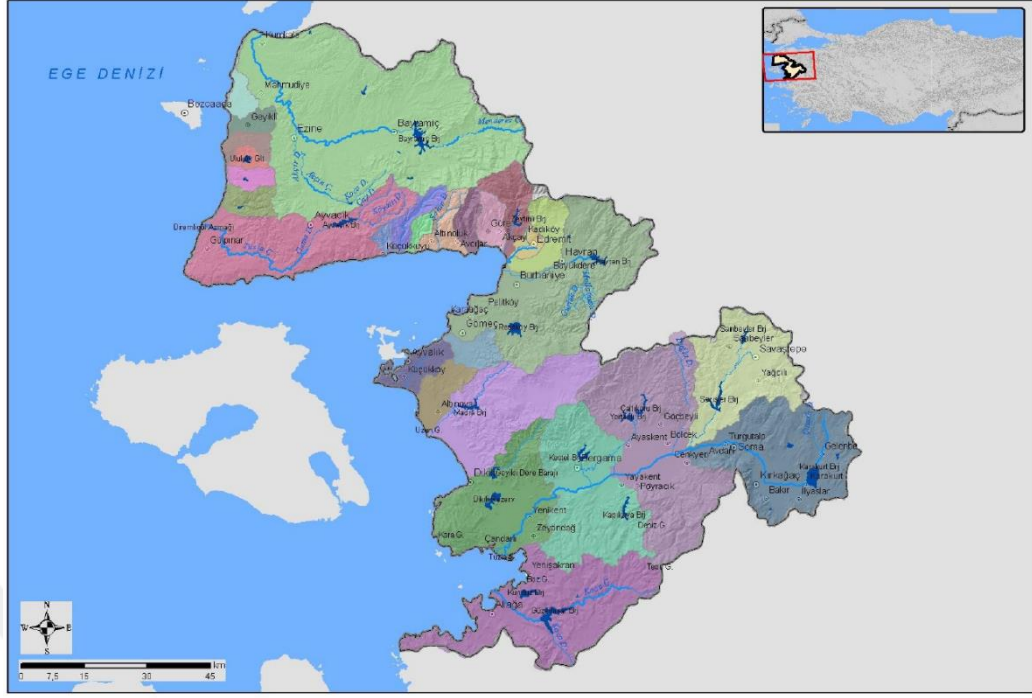
4.1.4 Kuzey Ege Havzası

Kuzey Ege Havzası Türkiye'nin batısında Ege Bölgesi'nde yer alan, Marmara, Susurluk ve Gediz Havzaları arasındaki bölgeden oluşmaktadır. (Şekil 4.4) Havza Çanakkale Boğazı'ndan başlayıp İzmir-Foça ilçesi'nden Ege Denizi'ne dökülür. Havza, 9.032 km² drenaj alanına sahip olup, Türkiye genel yüzölçümünün %0,12'sini oluşturmaktadır. Yıllık ortalama su potansiyeli yaklaşık olarak 624 mm dir. Kuzey Ege Havzası'nın sınırı Çanakkale Boğazı'ndan başlayıp İzmir-Foça ilçesi yakınlarında Ege Denizi'ne bağlanmaktadır. Bu akış esnasında havzada ki su sırasıyla Kayalıdağ, Kazdağ ile Kocakatran Dağları su bölümü çizgisinden geçip doğu kanadında Havran, Bergama, Soma ve Kırkağaç ilçe sınırlarını takip eder. Güneyde Kılıçdağ, Dumanlıdağ su bölümü çizgisinden Foça ilçesine bağlanıp denize dökülmektedir (Tübitak MAM Kuzey Ege, 2010). Kuzey Ege Havzası toplam 9 adet nehirden oluşur Bakırçay, Karamenderes Çayı, Madra Çayı, Tuzla Çayı, Koca Çayı, Güzelhisar Çayı, Havran Çayı, Edremit Çayı ve Akçin Çayı havzanın öne çıkan nehirlerindedir.

Havza sınırları içerisinde kayda değer önemli bir göl yoktur. Balıkesir ve İzmir ili sınırları içerisinde kalan alanda doğal göl bulunmamaktadır. Havzada işletmede 7 adet baraj ve 5 gölet, inşaat aşamasında 3 adet baraj ve 3 adet gölet, proje ve öninceleme aşamalarında 10 adet baraj ve 14 adet gölet vardır. Mevcut barajlardan Güzelhisar Barajı Aliağa ilçesinde bulunan PETKİM'in sanayi su ihtiyacını karşılamak amacıyla yapılmıştır. Bayramiç Barajı ise sulama ve içme suyu ihtiyacını karşılamının yanında havzada enerji üretimi yapılan tek barajdır. Diğer barajlar sulama, içme suyu temini ve taşkın kontrolü amaçlı kullanılmaktadır. Göletlerin ise tümü sulama temini amaçlı olarak yapılmış olup taşkın kontrolü amaçlı kullanılmaktadır.

Havzanın %2,60'sı yapay bölgeler, %39,52 tarımsal alanlar, %56,88 orman ve doğal alanlar ve geri kalan bölüm sulak alanlar ve su kütleleri şeklindedir. Kuzey Ege Havzası'nda, iklim Akdeniz iklimini andırır. Yazları kurak ve sıcak, kışları ılık ve yağışlı mezotermal, su fazlası kış, su eksikliği yaz mevsiminde olan bir iklim sınıfındadır. Kuzey Ege Havzası 9.032 km² ' lik bir yağış alanından beslenmektedir. Havza genelinde tarımsal sulama, kentsel su kullanımı, endüstriyel su kullanımı, su kullanımı ve çevresel koruma amaçlı su kullanımı şeklinde su kullanımı mevcuttur.

Kuzey Ege Havza sınırları içerisinde yer alan yerleşimlerin %87'si kanalizasyon şebekesine bağlı durumdadır. Havzada atıksu arıtma tesisi ile hizmet edilen yerleşik nüfusun toplam yerleşik proje nüfusuna (N>2000 olan 51 yerleşim) oranı 2009 yılı itibariyle %32' dir. (Tübitak MAM Kuzey Ege, 2010).



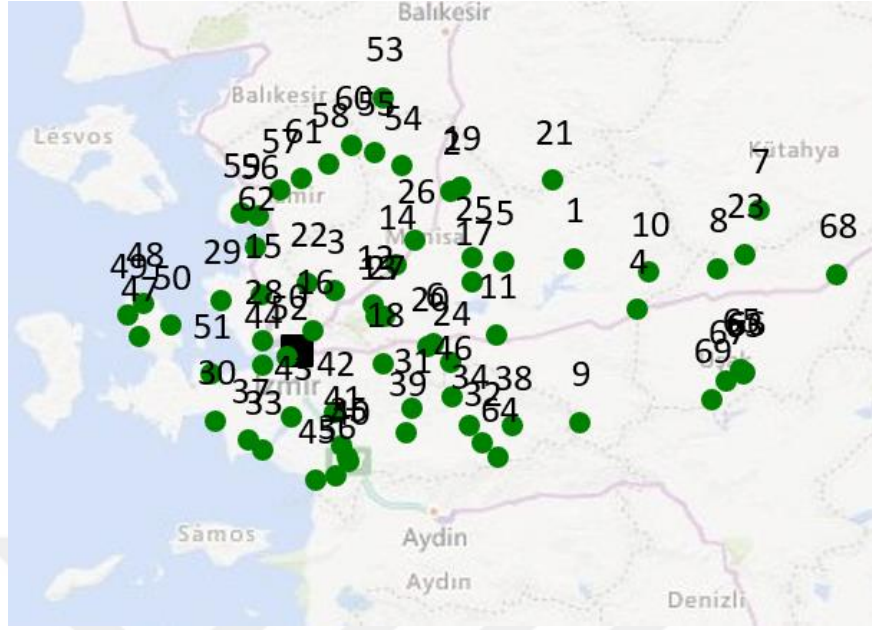
Şekil 4.4 Kuzey Ege Havzası (Tübitak MAM, 2013)

4.2 Yöntem

DSİ 2. Bölgenin sorumluluk alanında yer alan 42 adet gözlem ve 27 adet koruma alanının koordinatları harita üzerinde işlenmiş ve Şekil 4.5’de verilmiştir. Tablo 4.1’de listelenen ölçüm konumlarında, 42 adedinde genel kimyasal ve fizikokimyasal, 45 adedinde öncelikli madde analizi, 116 adedinde belirleyici kirletici analizi, 101 adedinde pestisit, 3 adedinde mikrobiyolojik, 8 adedinde biyolojik analiz, akarsularda eş zamanlı debi ölçümü ve göllerde ise seviye ölçümü belirli aralıklarla yapılmaktadır.

Tablo 4.1 DSİ 2. Bölge Gediz Havzası gözetim ve korunan alan su kalitesi gözlem ağı istasyonları

| No | Yeni Kod | Eski Kod | Mevkii | Su Kütlesi Adı |
|----|----------------|-----------|---|----------------------------|
| 1 | TR050105750519 | GEĞİN001 | Demirci Çayı Saraycık Köyü Yol Ayrımı Mevkii Demirci Manisa | Demirci Çayı |
| 2 | TR050106170538 | GEĞİN002 | Gördük Çayı Zeytinlibağ Köyü Mevkii Akhisar Manisa | Gördük Çayı |
| 3 | TR050106330550 | GEĞİN003 | Gediz Nehri Evrenos Köyü Tarlalar Arası Yol Merkez Manisa | Gediz Nehri |
| 4 | TR050105650514 | GEĞİN004 | Gediz Nehri İzmir Uşak Yolu Gediz-1 Köprüsü Kula Manisa | Gediz Nehri |
| 5 | TR050106080533 | GEĞİN005 | Dalkara Köyü Malkoca Köyü Arası Yol Üzeri Köprü Gördes Manisa | Yakaköy Deresi |
| 6 | TR050105990530 | GEĞİN006 | DSİ Gürlevik Deresi Akçapınar Barajı Aksı SKİ Turgutlu Manisa | Gürlevik Deresi |
| 7 | TR050105620510 | GEĞİN007 | Gediz-Dörtdeğirmen köyü yolu üzeri Köprü Gediz Kütahya | Bahceler Deresi |
| 8 | TR050105640512 | GEĞİN008 | Diken Deresi Kütahya-Uşak Yolu Üzeri Köprü Merkez Uşak | Diken Deresi |
| 9 | TR050105820525 | GEĞİN009 | Derbent Çayı Uluderbent Köyü Köprüsü Alaşehir Manisa | Derbent Çayı |
| 10 | TR050105690517 | GEĞİN010 | Selendi Çayı Selendi Köprüsü Selendi Manisa | Selendi Çayı |
| 11 | TR050105920527 | GEĞİN011 | Alaşehir Çayı Akhisar Salihli Yolu Üzeri Köprü | Alaşehir Çayı |
| 12 | TR050106000531 | GEĞİN012 | Gediz Nehri Hacıhaliller Köyü Sonrası Köprü Merkez Manisa | Gediz Nehri |
| 13 | TR050106270543 | GEĞİN013 | Nif Çayı Aşağıçobanisa Köyü Yolu Üzeri Köprü Merkez Manisa | Nif Çayı |
| 14 | TR050106240541 | GEĞİN014 | Akhisar Çayı Nuriye Köyü Yolu Üzeri Köprü Saruhanlı Manisa | Sarıncık Pınarları |
| 15 | TR050106360555 | GEĞİN015 | Gediz Nehri İzmir Çanakkale Yolu Üzeri Buruncuk girişi Köprü Menemen İzmir | Canburt Deresi |
| 16 | TR050106270546 | GEKAİN003 | Karaçam Göleti Aksı Bornova İzmir | İndere |
| 17 | TR050106160536 | GEKAİN004 | Çağlayan Barajı Aksı Gölarmara Manisa | Kayacık Çayı |
| 18 | TR050106280547 | GEKAİN005 | Yiğitler Barajı Aksı Kemalpaşa İzmir | Yiğitler Deresi |
| 19 | TR050106170537 | GEKAİN006 | Başlamış Barajı Aksı Akhisar Manisa | Demirbükten Deresi |
| 20 | TR050105950528 | GEKAİN007 | Çıkrıkçı Barajı Aksı Turgutlu Manisa | Karacaali Deresi |
| 21 | TR050106010532 | GEKAİN008 | Kobaklar Göleti Aksı Gördes Manisa | Gökpınar Deresi |
| 22 | TR050106360554 | GEKAİN009 | Beydere Göleti Aksı Merkez Manisa | Kızıldere |
| 23 | TR050105640513 | GEKAİN010 | Dikendere Barajı Aksı Gediz Kütahya | Diken Deresi |
| 24 | TR050105970529 | GEKAİN011 | Kelebek Barajı Aksı Salihli Manisa | Ahmetli Çayı |
| 25 | TR050106140535 | GEKAİN012 | DSİ Gördes Çayı Çağlayan Barajı Aksı SKİ Akhisar Manisa | Gördes Barajına giren kol |
| 26 | TR050106200539 | GEKAİN013 | Gördük Çayı Kapaklı Rahmiye Köyü Arası Yol Üzeri Köprü Akhisar Manisa | Gördük Çayı (2) |
| 27 | TR050106290548 | GEKAİN014 | Hamzabeyli Köyü mevki Merkez Manisa | İrlamaz Çayı |
| 28 | TR050106350551 | GEKAİN015 | Ahmet Pıştına Cad. ile Çevre yolunu bağlayan yol üzeri köprü Çiğli İzmir | Gediz Nehri (İzmir ili) |
| 29 | TR050106370556 | GEKAİN016 | Foçaköye gelmeden önce köprü Foça İzmir | Gediz Nehri (İzmir ili) |
| 30 | TR060106820600 | KMGİN001 | Yassidere Tuzla Caddesi Üzeri Köprü Seferihisar İzmir | Yassidere |
| 31 | TR060106690584 | KMGİN002 | Falaka Çayı Karapınar Yolu üzeri Köprü Bayındır İzmir | Falaka Çayı |
| 32 | TR060106610578 | KMGİN003 | Pirinççi Çayı Kemenler Köyü Yolu Üzeri Köprü Ödemiş İzmir | Pirinççi Çayı |
| 33 | TR060106780594 | KMGİN004 | Tahtalı çayı Tahtalı Barajı Sonrası İzmir Caddesi Üzeri Köprü Menderes İzmir | Tahtalı Çayı |
| 34 | TR060106630579 | KMGİN005 | Küçük Menderes Nehri Ödemiş Ovakent yolu Üzeri Köprü Ödemiş İzmir | Küçük Menderes Nehri |
| 35 | TR060106740588 | KMGİN006 | Belevi Mevkii Lokma Çiftliği Karşısı Torbalı İzmir | Eski Küçük Menderes Yatağı |
| 36 | TR060106750590 | KMGİN007 | DSİ Selçuk AĞI Selçuk İzmir | Küçük Menderes Nehri |
| 37 | TR060106790596 | KMGİN008 | Ürkmez Barajı Yukarısı Payamlı Köyünden Giden Yol Üzeri Köprü Seferihisar İzmir | Ürkmez Barajına giren kol |
| 38 | TR060106590576 | KMGİN009 | Karaman Köyü Mevkii Kiraz İzmir | Küçük Menderes |
| 39 | TR060106680581 | KMGİN010 | İzmir-Ödemiş Yolu Üzeri Sanayi Sonrası Köprü Tire İzmir | Küçük Menderes Nehri |
| 40 | TR060106680582 | KMGİN011 | Küçük Menderes Nehri İzmir Aydın yolu Köprüsü Torbalı İzmir | Küçük Menderes Nehri |
| 41 | TR060106700585 | KMGİN012 | Subaşı-Sağlık Köyleri Arası Köprü Torbalı İzmir | Çevlik Çayı |
| 42 | TR060106720586 | KMGİN013 | Ortaköy Mevkii Taştepe Caddesi Üzeri Köprü Torbalı | Fetrek Çayı |
| 43 | TR060106770593 | KMGİN014 | Tahtalı Barajı Öncesi Develi Köprüsü Menderes İzmir | Tahtalı Çayı |
| 44 | TR060106930607 | KMGİN015 | Mithat Paşa Cad. Balçova Barajı Sonrası Kaplıcalar Mevkii Köprü | İlca Deresi |
| 45 | TR060106750592 | KMKAİN001 | Bayraklıdede-Yonca Arası Köprü Selçuk İzmir | Küçük Menderes Nehri |
| 46 | TR060106650580 | KMKAİN002 | Rahmanlar Deresi Rahmanlar Barajı Aksı Ödemiş İzmir | Rahmanlar Deresi |
| 47 | TR060106860603 | KMKAİN003 | Karareis Braji Aksı Karaburun İzmir | Cami Boğazı Deresi |
| 48 | TR060106950610 | KMKAİN004 | Uzundere Bozköy Göleti Aksı Karaburun İzmir | Uzundere |
| 49 | TR060106960611 | KMKAİN005 | Salman Göleti Aksı Karaburun İzmir | Sudeğirmeni Deresi |
| 50 | TR060106890605 | KMKAİN006 | Karaburun Mordoğan yolu tatil siteleri sonrası köprü Karaburun İzmir | Kuskudan Deresi |
| 51 | TR060106900606 | KMKAİN007 | Maraşal Fevzi Çakmak Cd. köprü | - |
| 52 | TR060106940609 | KMKAİN008 | Atakalp Hastanesi arkası Köprü Konak İzmir | Yeşildere |
| 53 | TR040105170462 | KEĞİN001 | Savaştepe Sarıbeyler Barajı Sonrası Köprü(DSİ Çıtalın Deresi SKİ) Savaştepe Balıkesir | Çıtalın Deresi |
| 54 | TR040105190465 | KEĞİN003 | Bakır Çayı Öğreçli Musahoca Köyü Arası Yol Üzeri Köprü Kırkağaç Manisa | Bakır Çayı |
| 55 | TR040105200467 | KEĞİN005 | Bakır Çayı Turgutalp Kum Köyü Yolu Üzeri Köprü Soma Manisa | Bakır Çayı |
| 56 | TR040105270475 | KEĞİN006 | Bakır Çayı Çandarlı Yolu Üzeri Köprü | Bakır Çayı |
| 57 | TR040105270473 | KEĞİN013 | Bakır Çayı Eğrigöl Köyü Köprüsü Bergama İzmir | Bakır Çayı |
| 58 | TR040105210469 | KEĞİN014 | Bakır Çayı Poyracık Ayasent Yolu Üzeri Köprü Bergama İzmir | Bakır Çayı |
| 59 | TR040105360483 | KEKAİN014 | Çandarlı Göleti Aksı Dikili İzmir | Değirmendere |
| 60 | TR040105210468 | KEKAİN015 | Sarıcalar Barajı Aksı Bergama İzmir | İlca Deresi |
| 61 | TR040105260472 | KEKAİN019 | Cezaevi Arkası köprü Bergama İzmir | Kestel Deresi |
| 62 | TR040105300478 | KEKAİN020 | Guzelhisar Çayı İzmir Çanakkale Yolu Köprüsü Aliğa İzmir | Guzelhisar Çayı |
| 63 | TR070108210711 | BMGİN002 | Uşak Ulubey Banaz Çayı Birleşim Öncesi | Karınçalı Deresi |
| 64 | TR070107880682 | BMGİN005 | İzmir Beydağ Ovacık Yaylası Mevki | Malkoç Çayı |
| 65 | TR070107630653 | BMGİN019 | Uşak Ulubey Dokuzsele Deresi Banaz Çayı Öncesi Köprü | Dokuzsele |
| 66 | TR070107620648 | BMGİN022 | Uşak Ulubey Hasköy-Ulubey Arası Yol Üzeri Köprü DSİ Demirler SKİ | Banaz Çayı |
| 67 | TR070107640654 | BMGİN023 | Uşak UlubeyGerdime Köyü Köprüsü | Banaz Çayı |
| 68 | TR070107610646 | BMGİN026 | Uşak Banaz Adnan Menderes Cad. Yol Üzeri Köprü | Banaz Çayı |
| 69 | TR070107650655 | BMKAİN004 | Uşak Ulubey Güllü-Hanyeri Köyleri Arası Köprü | Hamam Çayı |



Şekil 4.5 DSİ 2. Bölge sorumluluk alanı ölçüm noktaları

4.3 Su Kalitesi Örnekleme Faaliyetinin Gezici Satıcı Problemine Uyarlanması

Daha önceki bölümlerde de belirtildiği gibi, arazide yapılan örnekleme çalışması belirli kısıtlara sahip, minimize edilmesi gereken bir amaç fonksiyonuna sahip olan bir optimizasyon problemidir.

Bölüm 3.2 de bahsi geçen yöntemler incelendiğinde, toplam arazi masraflarına etkiyen en önemli faktörün kat edilen mesafe olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle 20 iş gününe sahip, bir aylık ölçüm periyodu dahilinde, j kadar günde tüm noktaların ziyaret edilmesi ile her günün kat edilen mesafesi olan Y_j lerin toplamının ($\sum Y_j$) minimum olması, masrafları da minimum kılacaktır. Bu açıdan optimizasyon probleminin amaç fonksiyonu aylık toplam mesafenin ($\sum Y_j$) minimize edilmesi olarak ortaya çıkmaktadır. Kısıtlar toplam j gününün 20 den küçük olması ($\sum j \leq 20$) ve herhangi bir j günü içinde seyahat edilebilecek günlük toplam sürenin, $t_j \leq 9$ saat olmasıdır. Bunların yanında, her bir j gününde çıkış ve dönüş noktası DSİ 2. Bölge Müdürlüğü'dür.

GSP'nin çözümü için kullanılan En Yakın Komşu algoritması uygulanmasında başlangıç noktasından (a1,1) en yakın noktaya gidilir(a1,c).Bu iki nokta arasında geçen süreye $t(M1,c)$ o sırada bulunan noktada ölçümlerin yapılması için geçen süre eklenir $t(M1,c)$.ve bulunulan noktadan ilk noktaya olan geri dönüş süresi toplama eklenir $t(Mc,1)$. Noktalar arası geçen süre iki nokta arası mesafenin $y(M1,c)$, noktalar arasındaki ortalama hız değeri $z(M1,c)$ 'ne bölünmesiyle bulunur. Bu toplamın günlük çalışma süresinden küçük olması, rotanın problem şartlarına uygun olduğunu gösterir. Toplam süre (ΣT), günlük çalışma saatinden küçük ise bu toplamdan ilk noktaya geri dönüş süresi çıkartılır($\Sigma T-t(Mc,1)$) ve bulunulan noktadan, bir sonraki en yakın noktaya hareket edilir. Noktalar arası geçen süre $t(Md,e)$, noktalarda kaybedilen süre $x(Ne*1)$ ve bulunulan noktadan ilk noktaya geri dönüş sürelerinin toplamı $t(Me,1)$, günlük çalışma saatini geçinceye kadar ekleme işlemine devam edilir. Toplam (ΣT), günlük çalışma saati (540dk)'ni geçtikten sonra ekleme işlemi durdurulur ve son noktaya gidiş süresi $t(Md,e)$, noktada geçirilen süre $x(Ne*1)$ ve ilk noktaya dönüş süreleri toplamdan çıkartılır $t(Me,1)$. Bir önceki nokta (acd) o günün sonuncu noktası olur. Güzergah içinde son kalan noktadan başlangıç noktasına geri dönülerek "günlük rota" tamamlanır ve gün bitirilir. Mevcut güzergahın içinde bulunan koordinat sayısı, toplamda gezilen koordinat sayısına eşit değil ise yeni güne başlanır. İlk noktadan, en yakın yeni noktalara gidilerek yeni günlük güzergahlar çıkartılır ve bu işlem tüm koordinatlar tamamlanana kadar devam eder.

Bahsi geçen adımların uygulaması için excel üzerinde bir bilgisayar programından yararlanılmıştır. Yazılan programda izlenen algoritmanın akış şeması Şekil 4.6'da görülmektedir. Excel program, güzergah için gerekli hesaplar ile beraber toplam aylık örnekleme çalışmalarının arazi masraflarının belirlenmesinde de kullanılmıştır. Bölüm 3.2'de açıklanan masraf fonksiyonuna bağlı olarak DSİ 2. Bölge Müdürlüğü'nden elde edilen verilere göre aylık toplam masraf elde edilmiştir. Programın girdi kütüğü, mesafe matrisi, hız matrisi, örnekleme noktalarında harcanan süre matrisi, toplam örnekleme noktası sayısı, günlük/saatlik ücretler ve kat edilen birim mesafe başına yapılan masrafları içermektedir.

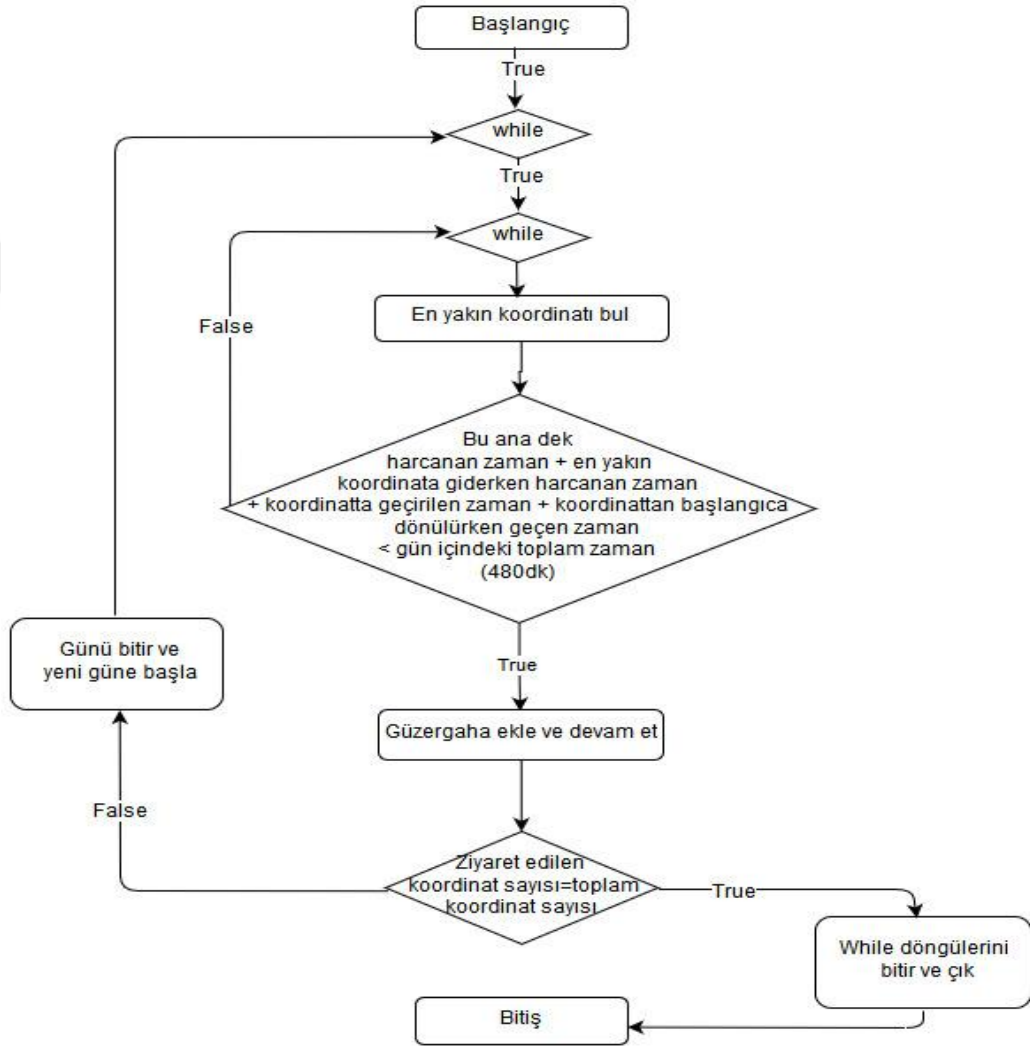
Bilgisayar programında zamana bağı olmayan masraf girdileri olarak araziye iki memur ve bir şoförün çıktığı varsayılmıştır. 2019 yılı fiyatları ile iki memurun aylık brüt maaşları 8000 TL, ve buna bağı olarak bir çalışanın hafta boyunca haftalık 40 saat çalıştığı göz önüne alınarak saatlik ücreti 50,00 TL bulunmuştur. İki çalışanın toplam saatlik ücreti 100,00 TL olarak hesaplanmıştır.

Araziye çıkan araç özel bir şirket tarafından DSİ'ye 250 TL fiyat ile tahsis edilmektedir. Aracı kullanan şoförün günlük yevmiyesi 130,00 TL, toplam günlük araç masrafı 380,00 TL olarak oluşmuştur. Arazi aracının 100 km mesafede 7,5 litre mazot yaktığı kabul edilmiştir. Mazot litre fiyatı 2019 yılı Aralık ayı itibari ile 6,59 TL'dir. Araç 100 km'de ortalama 7,5 TL mazot harcamaktadır.

Daha önce belirtildiği üzere ilk çıkış noktası DSİ 2. Bölge Müdürlüğü'dür. Problemin uygulamasında program en yakın noktaya uğramış, örnekleme noktasında harcanan zamanı eklemiş ve bu noktadan geri dönüp dönemediğini kontrol etmiştir. Kontrol olumlu sonuç verdiğinde bu noktaya en yakın diğer noktaya uğramış, örnekleme noktasında harcanan zamanı eklemiş ve geri dönebildiğini kontrol etmiştir. Örnekleme noktası ekleme işlemlerini geri dönemediği noktaya kadar sürdürmüştür. DSİ 2. Bölge Müdürlüğü'ne 9 saatlik çalışma süresi içinde dönemediği örnekleme noktası rota içinden çıkartılmış ve bir önceki örnekleme noktası o günün rotasının son noktası haline gelmiştir.

Toplam çalışılan süre yarım saatlik üslere yuvarlanmıştır. Bulunan süre ile çalışanların saatlik ücretleri çarpılmış ve günlük masraf haline getirilmiştir. Saatlik ücretlerden elde edilen günlük masrafa, arazi aracı ve şoförün masrafları eklenerek örnekleme için harcanan toplam günlük personel masrafı elde edilmiştir. Örnekleme noktaları arasında oluşturulan rotanın uzunluğu, mesafe matrisinden elde edilmiştir. Rotanın toplam uzunluğu ile birim mesafe masrafı çarpılarak gün içinde gidilen yolda ne kadar yakıt masrafı yapıldığı bulunmuştur. Günlük rotanın toplam masrafı günlük yakıt masrafı ile günlük personel masraflarının toplamı ile bulunmuştur.

İlk günlük rotanın belirlenmesinden sonra geri kalan noktalar için aynı işlemler yapılmıştır. Program, kalan noktaları eski örnekleme noktalarını hesap içine katmadan yeni bir küme haline getirip en baştan çözmüş ve çıkan rotanın masraf toplamını bulmuştur. Elde edilen günlük toplam masrafların toplamı En Yakın Komşu Algoritması ile elde edilen ve problemin kısıtlarını sağlayan çözümün toplam masrafını vermektedir.

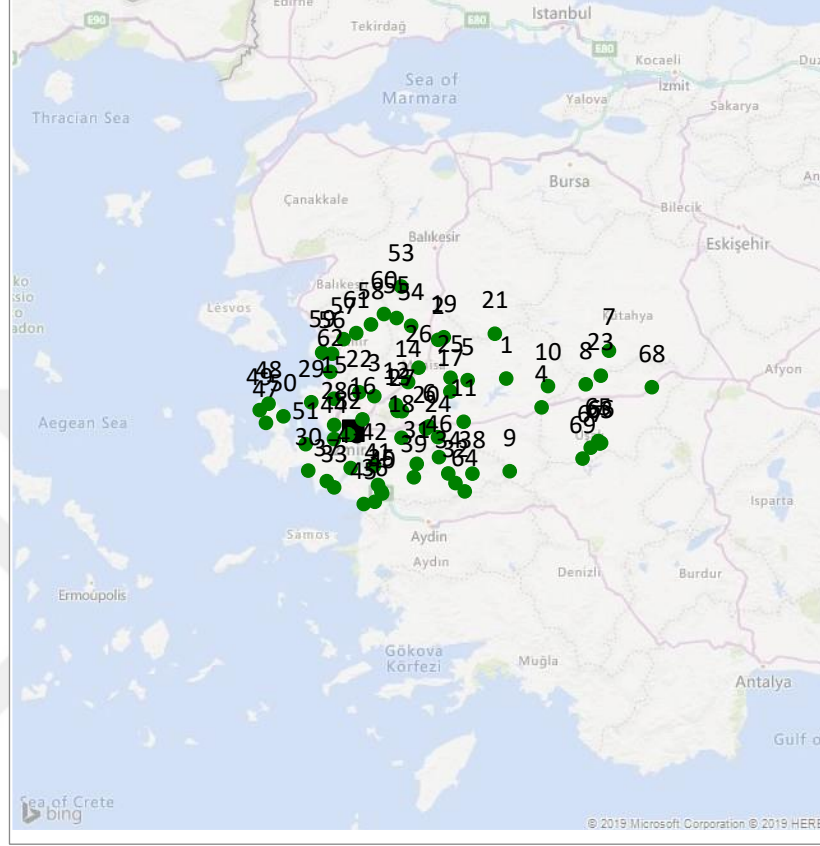


Şekil 4.6 En yakın komşu algoritması için yazılan programın akış şeması

4.3.1 En Yakın Komşu Yöntemiyle Rotaların Oluşturulması

Program tarafından şekil 4.7’de koordinatları harita üzerinde gösterilen örnekleme noktalarından hesaplanan veriler dahilinde ilk gün için hesaplanmış olan güzergah DSİ 2. Bölge Müdürlüğü’nden başlayarak, ilk olarak “52” noktasına gider ve sırasıyla, “16”, “28”, “15”, “62”, “56”, “57”, “59”, ve “61” noktaları ziyaret edilerek “DSİ” noktasına

geri döner. Benzer şekilde, ancak bir önceki günde ziyaret edilen numune alma noktaları işlem dışında bırakılarak, önceki bölümde açıklanan kısıtlar dahilinde diğer rotalar hesaplanmıştır.



Şekil 4.7 DSİ 2. Bölge Müdürlüğü görev alanı içerisinde bulunan 2019 yılında işletilen su kalitesi gözlem istasyonları

Yapılan hesaplamalar sonucunda havzada bulunan numune alma noktalarına yapılacak ziyaretler 18 iş gününde tamamlanabilmektedir. Tablo 4.2’de günlere göre izlenmesi gereken rotalar, toplam geçirilen zaman, kat edilen yol ve masraflar özetlenerek verilmiştir. Rota toplamda 6874,19 km mesafede örnekleme noktalarını gezerken toplam masraf 24.737,57 TL olarak hesaplanmıştır.

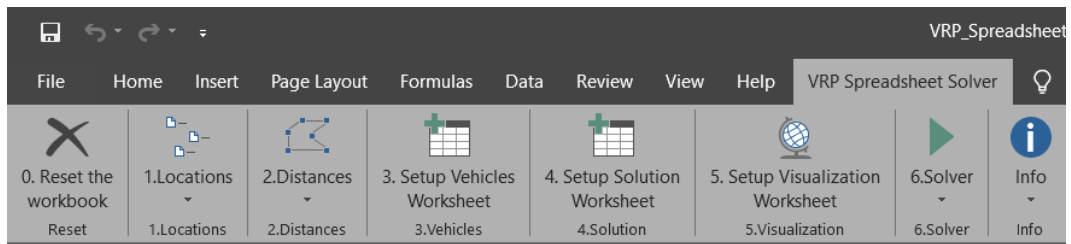
Tablo 4.2 En yakın komşu algoritmasına göre elde edilen güzergahlar, geçirilen süre, kat edilen mesafe ve masraflar

| Gün | Süre | GÜZERGAH | Mesafe (Km) | Yakıt (TL) | Personel (TL) | Toplam (TL) |
|---------|------|---------------------------------------|----------------|------------|--------------------------|-------------------|
| 1. Gün | 8:51 | DSİ>52>16>28>15>62>56>57>59>61>DSİ | 332,42 | ₺164,30 | ₺900,00 | ₺1.444,30 |
| 2. Gün | 8:22 | DSİ>44>51>36>35>40>41>42>43>30>33>DSİ | 430,35 | ₺212,70 | ₺850,00 | ₺1.442,70 |
| 3. Gün | 8:33 | DSİ>18>13>12>27>20>6>10>4>DSİ | 438,57 | ₺216,76 | ₺850,00 | ₺1.446,76 |
| 4. Gün | 9:00 | DSİ>22>5>14>26>2>19>26>25>DSİ | 317,49 | ₺156,92 | ₺900,00 | ₺1.436,92 |
| 5. Gün | 8:15 | DSİ>29>45>33>39>DSİ | 437,18 | ₺216,08 | ₺850,00 | ₺1.446,08 |
| 6. Gün | 9:00 | DSİ>11>1>21>54>DSİ | 440,03 | ₺217,48 | ₺900,00 | ₺1.497,48 |
| 7. Gün | 6:36 | DSİ>50>49>48>47>DSİ | 325,82 | ₺161,04 | ₺650,00 | ₺1.191,04 |
| 8. Gün | 7:45 | DSİ>37>34>32>DSİ | 346,97 | ₺171,49 | ₺800,00 | ₺1.351,49 |
| 9. Gün | 7:45 | DSİ>55>53>60>58>DSİ | 360,97 | ₺178,41 | ₺800,00 | ₺1.358,41 |
| 10. Gün | 8:53 | DSİ>31>46>38>DSİ | 332,73 | ₺164,45 | ₺900,00 | ₺1.444,45 |
| 11. Gün | 8:52 | DSİ>24>9>DSİ | 358,63 | ₺177,25 | ₺900,00 | ₺1.457,25 |
| 12. Gün | 5:47 | DSİ>17>DSİ | 243,42 | ₺120,31 | ₺600,00 | ₺1.100,31 |
| 13. Gün | 8:54 | DSİ>8>7>68>DSİ | 579,62 | ₺286,48 | ₺900,00 | ₺1.566,48 |
| 14. Gün | 5:55 | DSİ>64>DSİ | 333,89 | ₺165,02 | ₺600,00 | ₺1.145,02 |
| 15. Gün | 6:03 | DSİ>5>DSİ | 266,41 | ₺131,67 | ₺600,00 | ₺1.111,67 |
| 16. Gün | 8:57 | DSİ>63>66>65>67>DSİ | 452,51 | ₺223,65 | ₺900,00 | ₺1.503,65 |
| 17. Gün | 7:21 | DSİ>69>DSİ | 420,18 | ₺207,67 | ₺750,00 | ₺1.337,67 |
| 18. Gün | 8:21 | DSİ>23>DSİ | 457,04 | ₺225,89 | ₺850,00 | ₺1.455,89 |
| | | Aylık Toplam Mesafe | 6874,19 | | Aylık Toplam (TL) | ₺24.737,57 |

4.4 Su Kalitesi Örnekleme Faaliyetinin Araç Rota Problemine Uyarlanması

ARP araştırma alanı birçok çözüm algoritmasına sahiptir. En bilinen sezgisel algoritma Clarke ve Wright (1964) tasarruf algoritması sezgiselidir. Son on yılda Büyük Mahalle Arama (LNS), Yenilenen Yerel Arama ve Genetik Algoritmanın içinde bulunduğu birçok meta-sezgisel algoritma bu problemin çözümü için önerilmiştir. ARP çözümünü için, Excel programının Solver uzantısı içinde bulunan LNS algoritması kullanılmıştır (Şekil 4.8).

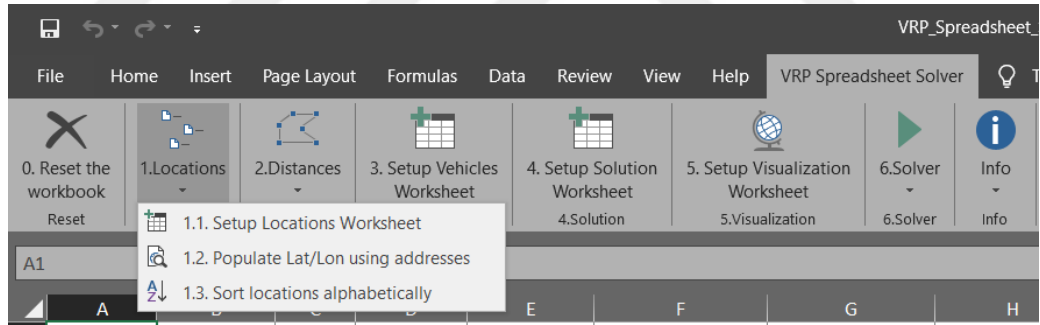
Excel eklentisi olan macro tabanlı “VRP Spreadsheet Solver”, Coğrafi Bilgi Sistemine (CBS) sahip araç rotalama probleminin bir alt programıdır. 200 noktaya kadar olan ağların çözümü için ideal olan program, kullanım kolaylığı sağlamasından dolayı giriş ve orta seviye kullanıcılar ile küçük işletmelerin kullanımı için hazırlanmıştır.



Şekil 4.8 VRP solver için uyarlanmış excel şeridi

Girdi olarak gerekli olan Bing maps kullanım anahtarı, Merkez noktası sayısı ile örnekleme noktaları sayısı girilmiştir, mesafe/süre hesaplama şeklinin ne olduğu araç sayısı (bizim için kaç günde çözüleceği) araçların depoya dönüp dönmemesi gerektiği ve solver ile nasıl bir başlangıç yapılacağı hakkındaki kararlar konsolda seçilerek işlem yapılmıştır.

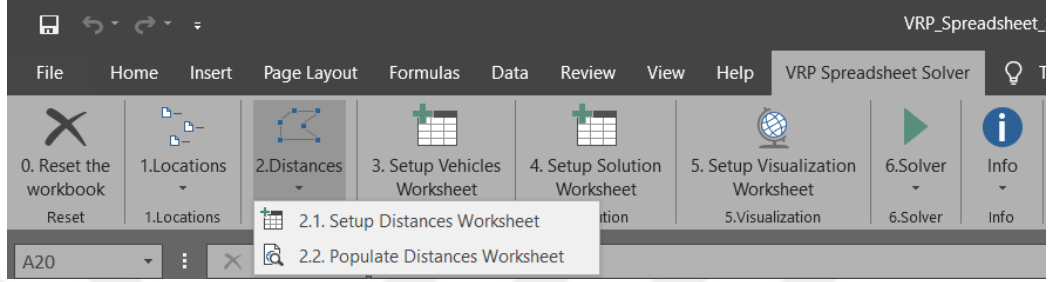
Locations sekmesinde Şekil 4.9’da görülen “1.1 setup locations worksheet” kısmında depo ve müşterilerin olduğu boş bir liste oluşturulmuştur. Burada bulunan adres sekmesine açık adres girildiği takdirde Bingmaps bu adresin koordinat noktalarını “1.2 Populate Lat/Lon using addresses” komutu ile doldurur. Adres bölümü her zaman koordinatları işleyemeyebilir. Tez çalışması dahilinde ele alınan örnekleme noktaları derece/dakika formatındadır. Çalışma kapsamında koordinat noktaları bu bölüme girilerek liste doldurulmuştur. Problemin kısıtlarında zaman penceresi olmasından dolayı örnekleme noktalarında harcanan zaman, her noktada 15 dakika olacak şekilde eklenmiştir.



Şekil 4.9 Yer listesinin oluşturulduğu sekme

Koordinatların birbirlerine olan mesafesinin listesi Şekil 4.10’da görülen “2.1 Setup Distances Worksheet” ile oluşturulmuştur. Koordinatlar arasındaki gerçek mesafeyi “2.2. Populate Distances Worksheet” ile belirlemek için “Bingmaps api anahtarı” ile aktif bir internet bağlantısına ihtiyaç vardır. Öklidyen mesafeler yerine gerçek yolların kullanılması problemin daha gerçekçi sonuç vermesini sağlayacaktır. Anahtar kodu kullanılarak örnekleme noktaları arasındaki mesafe ve araçların bu mesafeleri ne kadar zamanda kat ettiklerinin bulunması sağlanmıştır. Örnekleme noktalarının izlenmesinde kullanılan araç günlük kullanılan araçlardan daha yavaş olan bir araç ise bu durum çözüm esnasında göz önünde bulundurulmalıdır. Bingmaps tarafından

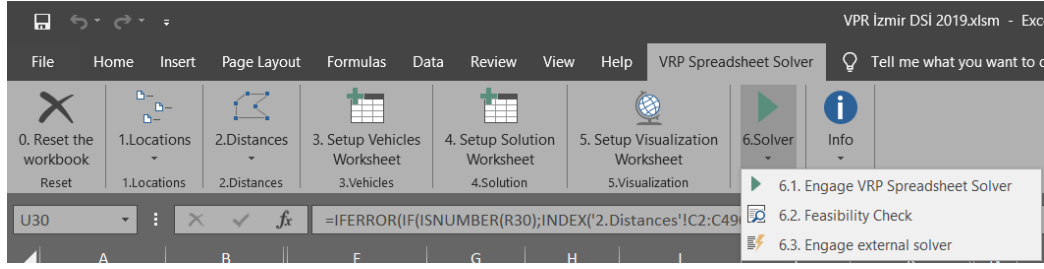
alınan rota seçenekleri ‘en kısa’, ‘en hızlı’ ve ‘en hızlı - gerçek zamanlı trafik’tir. En kısa seçenek, genellikle şehir merkezlerinden geçen en kısa yolları göz önüne almaktadır. Alınan hız ve mesafe süreleri, programın çalıştırıldığı ülkenin yasalarına uygun katı hız limitlerine tabidir.



Şekil 4.10 Mesafe listesi oluşturulan sekme

Araç ismi, kapasitesi, sabit maliyet, birim mesafe gideri, mesafe kısıtı, çalışma başlangıcı saati, sürüş süresi, çalışma süresi hangi depoya döneceği gibi verilerin girildiği sekme “3.Setup vehicles worksheet” ile oluşturulmuş ve veri isteği doğrultusunda oluşan sayfa program tarafından doldurulmuştur. Girilen verilere göre “4.Setup Solution Worksheet” ile araç sayısı ve gidilecek koordinat sayısına göre liste oluşturulmuş ve algoritma çalışmaya hazır hale getirilmiştir. Rotaların harita üzerinde görsel olarak oluşturulması için “5. Setup Visualization Worksheet” sekmesi kullanılarak harita elde edilmiştir.

Şekil 4.11’de görülen “6.1 Engage VRP Solver” ile Geniş Komşu Arama Algoritmasını yürütülerek programın optimizasyon işlemlerine başlaması sağlanmıştır. Uzun bir süre boyunca işlemin yapılması rotaların çıkartılması açısından daha optimal sonuç elde etmeye olanak sağlamaktadır.



Şekil 4.11 LNS algoritması ile çözüm oluşturma

Çıkan sonuçlara göre, seyahat sürelerinde oluşabilecek tutarsızlıklar gözden geçirilerek, bu sürelerin tekrar düzeltilmesi ile algoritma tekrar çalıştırılarak iyileştirmeler program kapsamında yapılabilir durumdadır. Buna örnek olarak örnekleme noktasında geçirilen sürenin değiştirilmesi veya aracın bir noktadan diğer noktaya gidiş süresinin düzeltilmesi verilebilir.

4.4.1 Araç Rotalama Problemi Yöntemiyle Rotaların Oluşturulması

Program tarafından hesaplanan veriler dahilinde ilk gün için hesaplanmış olan güzergah, DSİ 2. Bölge Müdürlüğü'nden başlayarak, ilk olarak "52" nolu gözlem konumuna gitmiş ve sırasıyla, "51", "50", "48", "49", "47", "30" ve "44" konumlarını ziyaret ederek "DSİ" konumuna geri dönmüştür. Benzer şekilde, bir önceki günde ziyaret edilen numune alma noktaları işlem dışında bırakılarak, önceki bölümde açıklanan kısıtlar dahilinde diğer rotalar hesaplanmıştır. Tablo 4.3'de DSİ 2. Bölgenin sorumluluk alanının içerisinde ziyaret edilmesi gereken örnekleme noktaları ve koordinatları verilmiştir. Bölüm 4.4'de anlatılan hesap adımlarının sonucunda havzada bulunan örnekleme noktalarına yapılacak ziyaretlerin 13 iş gününde tamamlanabilmekte olduğu sonucuna varılmıştır.

Tablo 4.3 DSİ 2. Bölge sorumluluk alanı örnekleme noktaları

| Location ID | Name | Address | Latitude (y) | Longitude (x) |
|-------------|--|---------|--------------|---------------|
| 0 | DSİ | | 38,4490130 | 27,1956350 |
| 1 | Demirci Çayı Saraycık Köyü Yol Ayrımı Mevkii Demirci Manisa | | 38,7946783 | 28,5118273 |
| 2 | Gördük Çayı Zeytinlibağ Köyü Mevkii Akhisar Manisa | | 39,0504589 | 27,9257537 |
| 3 | Gediz Nehri Evrenos Köyü Tarlalar Arası Yol Merkez Manisa | | 38,6775093 | 27,3757720 |
| 4 | Gediz Nehri İzmir Uşak Yolu Gediz-1 Köprüsü Kula Manisa | | 38,6034454 | 28,8156380 |
| 5 | Dalkara Köyü Malkoca Köyü Arası Yol Üzeri Köprü Gördes Manisa | | 38,7833861 | 28,1797644 |
| 6 | DSİ Gürlevik Deresi Akçapınar Baraj Aksı SKİ Turgutlu Manisa | | 38,4775428 | 27,8463484 |
| 7 | Gediz-Dörtdeğirmen köyü yolu üzeri Köprü Gediz Kütahya | | 38,9784515 | 29,3960171 |
| 8 | Diken Deresi Kütahya-Uşak Yolu Üzeri Köprü Merkez Uşak | | 38,7563154 | 29,1967775 |
| 9 | Derbent Çayı Uluderbent Köyü Köprüsü Alaşehir Manisa | | 38,1815633 | 28,5426188 |
| 10 | Selendi Çayı Selendi Köprüsü Selendi Manisa | | 38,7447117 | 28,8710820 |
| 11 | Alaşehir Çayı Akhisar Salihli Yolu Üzeri Köprü | | 38,5085031 | 28,1453115 |
| 12 | Gediz Nehri Hacıhalliler Köyü Sonrası Köprü Merkez Manisa | | 38,6198522 | 27,5618131 |
| 13 | Nif Çayı Aşağıçobanisa Köyü Yolu Üzeri Köprü Merkez Manisa | | 38,5806155 | 27,5755151 |
| 14 | Akhisar Çayı Nuriye Köyü Yolu Üzeri Köprü Saruhanlı Manisa | | 38,7708406 | 27,6668201 |
| 15 | Gediz Nehri İzmir Çanakkale Yolu Üzeri Buruncuk girişi Köprü Menemen İzmir | | 38,6613754 | 27,0280967 |
| 16 | Karaçam Göleti Aksı Bornova İzmir | | 38,5248157 | 27,2744779 |
| 17 | Çağlayan Barajı Aksı Gölarmara Manisa | | 38,7084760 | 28,0308522 |
| 18 | Yiğitler Barajı Aksı Kemalpaşa İzmir | | 38,4027722 | 27,6098481 |
| 19 | Başlamış Barajı Aksı Akhisar Manisa | | 39,0669627 | 27,9746154 |
| 20 | Çıkrıkçı Barajı Aksı Turgutlu Manisa | | 38,4630962 | 27,8210879 |
| 21 | Kobaklar Göleti Aksı Gördes Manisa | | 39,0901540 | 28,4138430 |
| 22 | Beydere Göleti Aksı Merkez Manisa | | 38,7035214 | 27,2465360 |
| 23 | Dikendere Baraj Aksı Gediz Kütahya | | 38,8128335 | 29,3257870 |
| 24 | Kelebek Barajı Aksı Salihli Manisa | | 38,4070488 | 27,9249829 |
| 25 | DSİ Gördes Çayı Çağlayan Baraj Aksı SKİ Akhisar Manisa | | 38,7998972 | 28,0316269 |
| 26 | Gürdük Çayı Kapaklı Rahmiye Köyü Arası Yol Üzeri Köprü Akhisar Manisa | | 38,8660618 | 27,7572470 |
| 27 | Hamzabeyli Köyü mevki Merkez Manisa | | 38,5782762 | 27,6139721 |
| 28 | Ahmet Priştina Cad. ile Çevre yolunu bağlayan yol üzeri köprü Çiğli İzmir | | 38,4874772 | 27,0301928 |
| 29 | Foçaköye gelmeden önce köprü Foça İzmir | | 38,6376767 | 26,8332400 |
| 30 | Yassidere Tuzla Caddesi Üzeri Köprü Seferihisar İzmir | | 38,1863062 | 26,8069924 |
| 31 | Falaka Çayı Karapınar Yolu üzeri Köprü Bayındır İzmir | | 38,2306389 | 27,7411421 |
| 32 | Pirinççi Çayı Kemenler Köyü Yolu Üzeri Köprü Ödemiş İzmir | | 38,1037375 | 28,0753495 |
| 33 | Tahtalı çayı Tahtalı Barajı Sonrası İzmir Caddesi Üzeri Köprü Menderes İzmir | | 38,0749919 | 27,0303918 |
| 34 | Küçük Menderes Nehri Ödemiş Ovakent yolu Üzeri Köprü Ödemiş İzmir | | 38,1672214 | 28,0133988 |

Tablo 4.3 devamı

| | | | |
|----|---|------------|------------|
| 35 | Belevi Mevkii Lokma Çiftliği Karşısı Torbalı İzmir | 38,0477612 | 27,4361381 |
| 36 | DSİ Selçuk AĞI Selçuk İzmir | 37,9796748 | 27,3800165 |
| 37 | Ürkmez Barajı Yukarısı Payamlı Köyünden Giden Yol Üzeri Köprü Seferihisar İzmir | 38,1163508 | 26,9673517 |
| 38 | Karaman Köyü Mevkii Kiraz İzmir | 38,1658402 | 28,2202191 |
| 39 | İzmir-Ödemiş Yolu Üzeri Sanayi Sonrası Köprü Tire İzmir | 38,1417749 | 27,7166771 |
| 40 | Küçük Menderes Nehri İzmir Aydın yolu Köprüsü Torbalı İzmir | 38,0343229 | 27,4434515 |
| 41 | Subaşı-Sağlık Köyleri Arası Köprü Torbalı İzmir | 38,0902774 | 27,4076485 |
| 42 | Ortaköy Mevkii Taştepe Caddesi Üzeri Köprü Torbalı | 38,2172136 | 27,3744082 |
| 43 | Tahtalı Barajı Öncesi Develi Köprüsü Menderes İzmir | 38,2022913 | 27,1719170 |
| 44 | Mithat Paşa Cad. Balçova Barajı Sonrası Kaplıcalar Mevkii Köprü | 38,3947840 | 27,0293858 |
| 45 | Bayraklıdede-Yonca Arası Köprü Selçuk İzmir | 37,9646038 | 27,2848396 |
| 46 | Rahmanlar Deresi Rahmanlar Barajı Aksı Ödemiş İzmir | 38,2752016 | 27,9324033 |
| 47 | Karareis Brajı Aksı Karaburun İzmir | 38,5016800 | 26,4426142 |
| 48 | Uzundere Bozköy Göleti Aksı Karaburun İzmir | 38,6283601 | 26,4656561 |
| 49 | Salman Göleti Aksı Karaburun İzmir | 38,5856034 | 26,3892447 |
| 50 | Karaburun Mordoğan yolu tatil siteleri sonrası köprü Karaburun İzmir | 38,5450351 | 26,5932317 |
| 51 | Maraşal Fevzi Çakmak Cd. köprü | 38,3602173 | 26,7848172 |
| 52 | Atakalp Hastanesi arkası Köprü Konak İzmir | 38,4265927 | 27,1519299 |
| 53 | Savaştepe Sarıbeyler Barajı Sonrası Köprü(DSİ Çitalan Deresi SKİ) Savaştepe Balıkesir | 39,4026017 | 27,6077083 |
| 54 | Bakır Çayı Ögeçli Musahoca Köyü Arası Yol Üzeri Köprü Kırkağaç Manisa | 39,1436371 | 27,6929113 |
| 55 | Bakır Çayı Turgutalp Kum Köyü Yolu Üzeri Köprü Soma Manisa | 39,1939248 | 27,5675885 |
| 56 | Bakır Çayı Çandarlı Yolu Üzeri Köprü | 38,9578931 | 27,0116513 |
| 57 | Bakır Çayı Eğrigöl Köyü Köprüsü Bergama İzmir | 39,0551216 | 27,1113915 |
| 58 | Bakır Çayı Poyracık Ayaskent Yolu Üzeri Köprü Bergama İzmir | 39,1523180 | 27,3475723 |
| 59 | Çandarlı Göleti Aksı Dikili İzmir | 38,9659450 | 26,9268860 |
| 60 | Sancalar Barajı Aksı Bergama İzmir | 39,2206332 | 27,4583250 |
| 61 | Cezaevi Arkası köprü Bergama İzmir | 39,0949997 | 27,2204499 |
| 62 | Guzelhisar Çayı İzmir Çanakale Yolu Köprüsü Aliğa İzmir | 38,8390408 | 26,9969431 |
| 63 | Uşak Ulubey Banaz Çayı Birleşim Öncesi | 38,3649293 | 29,3186400 |
| 64 | İzmir Beydağ Ovacık Yaylası Mevki | 38,0478270 | 28,1541556 |
| 65 | Uşak Ulubey Dokuzsele Deresi Banaz Çayı Öncesi Köprü | 38,3812549 | 29,3057543 |
| 66 | Uşak Ulubey Hasköy-Ulubey Arası Yol Üzeri Köprü DSİ Demirler SKİ | 38,3689092 | 29,3289132 |
| 67 | Uşak UlubeyGerdime Köyü Köprüsü | 38,3373506 | 29,2391946 |
| 68 | Uşak Banaz Adnan Menderes Cad. Yol Üzeri Köprü | 38,7374839 | 29,7657219 |
| 69 | Uşak Ulubey Güllü-Hanyeri Köyleri Arası Köprü | 38,2656809 | 29,1690115 |

Yapılan optimizasyon çalışmasının bir günlük rotası Tablo 4.4'de verilmiştir. Günlük rotanın hesap sütunlarında başlangıç noktası, örnekleme noktaları arasındaki mesafe, bu noktalar arasında geçen süre, varış zamanı, örnekleme noktasından çıkış zamanı ile çalışma süresi verilmiştir.

Tablo 4.4 LNS Çözüm sağlanan ilk gün rotası

| Vehicle: | V1 (T1) | Stops: | 9 | Net profit: | -320,55 | |
|------------|-------------------|--------------------|--------------|--------------|----------------|--------------|
| Stop count | Location name | Distance travelled | Driving time | Arrival time | Departure time | Working time |
| 0 | DSİ | 0,00 | 0:00 | | 08:00 | 0:00 |
| 1 | Atakalp Hastane | 9,51 | 0:18 | 08:18 | 08:33 | 0:33 |
| 2 | Maraşal Fevzi Ç | 52,52 | 1:07 | 09:22 | 09:37 | 1:37 |
| 3 | Karaburun Mord | 107,17 | 2:09 | 10:39 | 10:54 | 2:54 |
| 4 | Uzundere Bozkö | 131,32 | 2:48 | 11:33 | 11:48 | 3:48 |
| 5 | Salman Göleti A | 152,12 | 3:21 | 12:21 | 12:36 | 4:36 |
| 6 | Karareis Braji Ak | 169,72 | 3:56 | 13:11 | 13:26 | 5:26 |
| 7 | Yassidere Tuzla C | 246,78 | 5:28 | 14:58 | 15:13 | 7:13 |
| 8 | Mithat Paşa Cad | 285,90 | 6:12 | 15:57 | 16:12 | 8:12 |
| 9 | DSİ | 320,55 | 6:53 | 16:53 | | 8:53 |

Tablo 4.5’de günlere göre izlenmesi gereken rotalar, toplam geçirilen zaman, kat edilen yol ve masraflar özetlenerek verilmiştir. Bölüm 4.3’de masraflar için kullanılan hesap esasları burada da uygulanmıştır ve aylık rotanın toplam masrafı çıkartılmıştır. Rota toplamda 3947,48 km kat ederek örnekleme noktalarını gezerken toplam masraf 14.851,04 TL olarak hesaplanmıştır. Rota tamamlanırken günde maksimum çalışılacak süre kısıtı olan 9 saatlik çalışma saatinin 10. gün ve 13. günlerde aşıldığı görülmüştür.

Tablo 4.5 LNS Günlere göre elde edilen güzergahlar, geçirilen süre, kat edilen mesafe ve masraflar

| Gün | Süre | GÜZERGAH | Mesafe (Km) | Yakıt (TL) | Personel (TL) | Toplam (TL) |
|---------|-------|---------------------------------------|----------------|------------|--------------------------|-------------------|
| 1. Gün | 8:53 | DSİ>52>51>50>48>49>47>30>44>DSİ | 320,55 | ₺158,43 | ₺900,00 | ₺1.438,43 |
| 2. Gün | 8:47 | DSİ>54>53>55>60>58>15>DSİ | 367,95 | ₺181,86 | ₺900,00 | ₺1.461,86 |
| 3. Gün | 8:56 | DSİ>22>59>56>57>61>62>29>28>DSİ | 304,06 | ₺150,28 | ₺900,00 | ₺1.430,28 |
| 4. Gün | 8:40 | DSİ>9>38>64>32>DSİ | 398,67 | ₺197,04 | ₺850,00 | ₺1.427,04 |
| 5. Gün | 8:44 | DSİ>39>46>31>18>DSİ | 281,67 | ₺139,21 | ₺850,00 | ₺1.369,21 |
| 6. Gün | 8:29 | DSİ>16>43>37>33>45>36>40>35>41>42>DSİ | 264,01 | ₺130,49 | ₺850,00 | ₺1.360,49 |
| 7. Gün | 8:53 | DSİ>24>20>13>27>3>DSİ | 232,37 | ₺114,85 | ₺900,00 | ₺1.394,85 |
| 8. Gün | 8:41 | DSİ>14>26>25>17>DSİ | 296,34 | ₺146,46 | ₺850,00 | ₺1.376,46 |
| 9. Gün | 7:48 | DSİ>11>5>22>DSİ | 311,12 | ₺153,77 | ₺800,00 | ₺1.333,77 |
| 10. Gün | 10:45 | DSİ>68>23>DSİ | 367,95 | ₺181,86 | ₺1.050,00 | ₺1.611,86 |
| 11. Gün | 8:08 | DSİ>2>19>21>1>DSİ | 390,24 | ₺192,87 | ₺800,00 | ₺1.372,87 |
| 12. Gün | 8:25 | DSİ>8>7>10>4>DSİ | 390,24 | ₺192,87 | ₺850,00 | ₺1.422,87 |
| 13. Gün | 9:35 | DSİ>63>66>65>67>69>DSİ | 472,61 | ₺233,59 | ₺1.000,00 | ₺1.613,59 |
| | | Aylık Toplam (KM) | 4397,78 | | Aylık Toplam (TL) | ₺18.613,60 |

4.5 Su Kalitesi Örnekleme Faaliyetinin Optaplanner ile Çözülmesi

Java tabanlı Optaplanner açık kodlu bir planlama programıdır. Program, literatürde karşımıza çıkan nöbet listesi çıkartma, ders ve sınav çizelgeleme, iş akış programı çıkartma gibi işlemlere sahip olmakla birlikte araç rotalama problemini de optimize edebilmektedir.

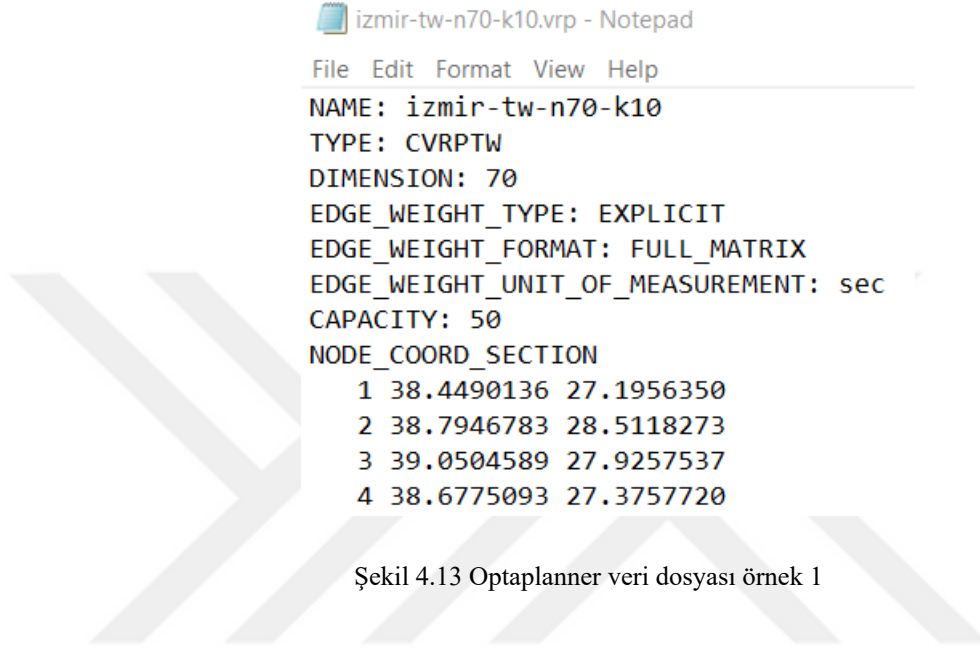
Programın kullanılması için Java'nın son sürümünün bilgisayarda yüklü olması gerekmektedir. Optaplanner yüklendikten sonra karşımıza çıkan arayüzde "Vehicle Routing" seçeneğine girildiğinde Araç Rotalama problemine ait ekrandan açılan arayüzde araç rotalama program için hazırlanmış olan veri dosyası "import" edilmiştir. Optaplanner tarafından okunabilir olması için kullanılan dosyanın adının belli bir standartta olması gereklidir. Optimizasyon probleminde kullanılan "Zaman Pencereci Kapasiteli Araç Rotalama Problemi (ZPKARP)"ni kullanabilmek için Time Window (TW) ibaresini programa okutabilmek adına yer isminden sonra "TW" gelmelidir. Örnekleme noktalarına ek olarak depoyu da ekleyerek girilen nokta sayısı n ile ve araç sayısı k ile okutulmuştur. Şekil 4.12'de DSİ 2. Bölge örnekleme noktası optimizasyonu için hazırlanan dosyasının nasıl isimlendirilmesi gerektiği gösterilmiştir.

zaman penceresi araç sayısı
izmir-tw-n70-k10.vrp
Koordinat+depo sayısı

Şekil 4.12 Optaplanner isimlendirme örneği

Şekil 4.13'de rotalama programın veri dosyasının temel girdilerinin olduğu bölüm gösterilmiştir. Veri dosyasında 'name' kısmı ile dosyanın adının aynı olması gerekmektedir. Type bölümüne programın hangi araç rotalama problemine dahil olduğu eklenir. ZPKARP optimizasyonu araştırıldığından 'type' bölümüne CPRTW eklenmiştir. Dimension kısmına 69 örnekleme noktası ve DSİ 2. Bölgenin oluşturacağı matrisin boyutunu oluşturmak amacıyla 70 yazılmıştır. Rotanın öklidyen mesafeler yerine gerçek mesafe ve süre ile çözülmesi istendiğinden "explicit" ifadesi "edge weight type" kısmına eklenmiştir. Örnekleme noktalarının birbirlerine olan uzaklığı bir matris halinde olduğundan "edge weight format" kısmına "full matrix" ifadesi eklenmiştir. Veri dosyasına girilecek matris değerleri mesafe şeklindeyse "km", süre cinsindense "sec" olarak "edge weight unit of measurement" satırına girilir. Süre kısıtı amaç fonksiyonunda maliyete, mesafe kısıtından daha fazla etki etmektedir. Bu önem göz önünde bulundurularak optimizasyonun yapılması için süre kısıtı tercih edilmiştir. Araçlarda kapasite kısıtı varsa bu "capacity" kısmına girilir. Kapasite, çözümün elde edilmesinde önemli bir etken değilse günlük rotada gezilebilecek nokta sayısının çok

üzerinde bir büyüklükte herhangi bir sayının bu kısma eklenmesi, kapasitenin sert kısıt olması durumunun aşılmasına olanak sağlar. Rotalar optimize edilirken hiç bir gün 10 örnekleme noktasından fazla yere gidilmeyeceği öngörüldüğünden kapasite olarak 50 seçilmiştir. Ardından gelen kısımda noktaların görsel olarak program içerisinde yerleşebilmesi için koordinatlar girilmiştir.



```
izmir-tw-n70-k10.vrp - Notepad
File Edit Format View Help
NAME: izmir-tw-n70-k10
TYPE: CVRPTW
DIMENSION: 70
EDGE_WEIGHT_TYPE: EXPLICIT
EDGE_WEIGHT_FORMAT: FULL_MATRIX
EDGE_WEIGHT_UNIT_OF_MEASUREMENT: sec
CAPACITY: 50
NODE_COORD_SECTION
1 38.4490136 27.1956350
2 38.7946783 28.5118273
3 39.0504589 27.9257537
4 38.6775093 27.3757720
```

Şekil 4.13 Optaplanner veri dosyası örnek 1

Koordinat noktalarının girilmesinin ardından şekil 4.14’de Edge Weight Section kısmına süre matrisi girilmiştir. Girilen verilerin “Edge Weight Unit of Measurement” kısmına girilen birim ile verilerin doldurulması önem arz etmektedir. Bu yapılmadığında kısıtlar yanlış rotalar çıkartır.

| EDGE_WEIGHT_SECTION | | | | | |
|---------------------|------|------|-------|------|-------|
| 0 | 8760 | 5640 | 4140 | 7680 | 10440 |
| 8760 | 0 | 5460 | 9660 | 4560 | 6480 |
| 5640 | 5460 | 0 | 5160 | 7560 | 9120 |
| 4140 | 9660 | 5160 | 0 | 8580 | 11340 |
| 7680 | 4560 | 7560 | 8580 | 0 | 8520 |
| 10440 | 6480 | 9120 | 11340 | 8520 | 0 |

Şekil 4.14 Optaplanner veri dosyası örnek 2

Ardından koordinatların talep bilgileri şekil 4.15’de görülen şekilde “Demand Section” kısmında doldurulmuştur. Satırdaki ilk sayı koordinatın numarasıdır ve DSİ

2. Bölge Müdürlüğü ve örnekleme noktaları ardışık olarak numaralandırılmıştır. Satırda gelen ikinci sayı matriste karşılık gelen noktanın kapasite gereğidir ve depo noktasında kapasite gereksinimi olmadığından sıfır ile ifade edilir. Arkasından gelen iki sayı zaman penceresinde örnekleme noktasına gidilebilecek zaman aralığını dakika cinsinden gösterir. Günün 24 saatini dakika cinsinden okuyan program için 510 sayısı ile saat 8:30, 1050 sayısı ile saat 17:30 ifade edilmiştir. Son girilen sayı ile örnekleme noktasında numune alınması için geçen 15 dakikalık süre işlenmiştir.

```
DEMAND_SECTION
1 0 510 1050 0
2 1 510 1050 15
3 1 510 1050 15
4 1 510 1050 15
5 1 510 1050 15
6 1 510 1050 15
```

Şekil 4.15 Optaplanner veri dosyası örnek 3

Veri dosyasının şekil 4.16’da gösterilen son kısmında “Depot Section” bölümüne hangi kordinatın depo noktası olduğu belirtilmiştir. Örnek toplama pratiği araç rotalama problemi kısıtlarının minimize edildiği bir optimizasyon problemidir. Optimizasyonun toplam süresini düşürme işlemi için depot section bölümünün ikinci satırına “-1” yazılmıştır. Veri dosyasının okunmasını sonlandırmak için “end of file” anlamında EOF kısaltması eklenmiştir.

```
DEPOT_SECTION
1
-1
EOF
```

Şekil 4.16 Optaplanner veri dosyası örnek 4

Veri dosyasının hazırlanmasının ardından programda import edilmesi ve çalıştırılmasıyla optimizasyon işlemi başlar ve kısıtlar dahilinde çözümü oluşturur. DSİ 2. Bölgenin örnekleme noktalarına ait ZPKARP probleminin çözüm rotası şekil 4.18’de gösterilmiştir.

4.5.1 Optaplanner ile Rotaların Oluşturulması

Program tarafından hesaplanan veriler dahilinde ilk gün için hesaplanmış olan güzergah, DSİ 2. Bölge Müdürlüğü'nden başlayarak, ilk olarak "47" nolu gözlem konumuna gitmiş ve sırasıyla, "49", "48", "50" ve "51" konumlarını ziyaret ederek "DSİ" konumuna geri dönmüştür. Benzer şekilde, bir önceki günde ziyaret edilen numune alma noktaları işlem dışında bırakılarak, önceki bölümde açıklanan kısıtlar dahilinde diğer rotalar hesaplanmıştır. Tablo 4.5'de DSİ 2. Bölgenin sorumluluk alanının içerisinde ziyaret edilmesi gereken örnekleme noktaları ve koordinatları verilmiştir. Bölüm 4.5'de anlatılan hesap adımlarının sonucunda havzada bulunan örnekleme noktalarına yapılacak ziyaretlerin 14 iş gününde tamamlanabilmekte olduğu sonucuna varılmıştır.

Yapılan optimizasyon çalışmasının bir günlük rotası Tablo 4.6'de verilmiştir. Günlük rotanın hesap sütunlarında başlangıç noktası, örnekleme noktaları arasındaki mesafe, bu noktalar arasında geçen süre, varış zamanı, örnekleme noktasından çıkış zamanı ile çalışma süresi verilmiştir.

Tablo 4.6 Optaplanner ile çözüm sağlanan ilk gün rotası

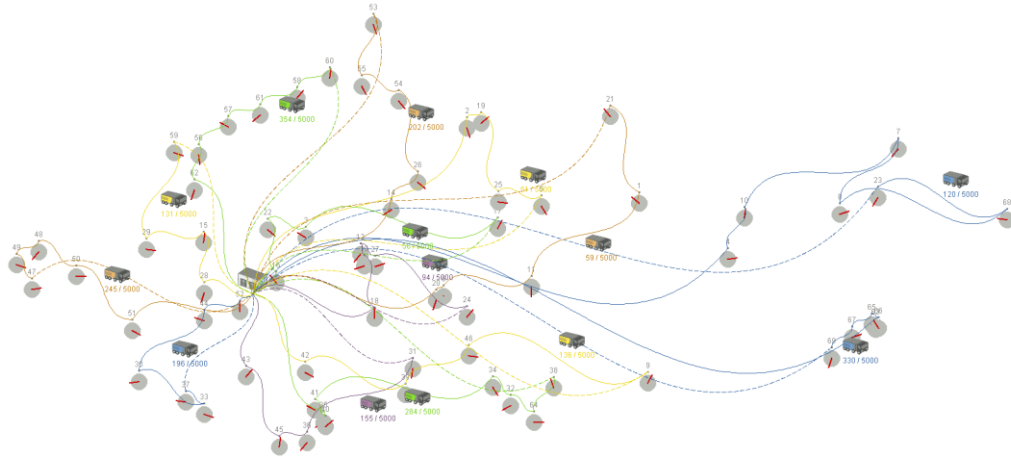
| Vehicle: | V1 (T1) | Stops: | 6 | Net profit: | -338,15 | |
|------------|-------------------|--------------------|--------------|--------------|----------------|--------------|
| Stop count | Location name | Distance travelled | Driving time | Arrival time | Departure time | Working time |
| 0 | DSİ | 0,00 | 0:00 | | 08:00 | 0:00 |
| 1 | Karareis Braji Ak | 116,34 | 1:44 | 09:44 | 09:59 | 1:59 |
| 2 | Salman Göleti Ak | 133,94 | 2:19 | 10:34 | 10:49 | 2:49 |
| 3 | Uzundere Bozkö | 154,74 | 2:52 | 11:22 | 11:37 | 3:37 |
| 4 | Karaburun Mord | 178,90 | 3:31 | 12:16 | 12:31 | 4:31 |
| 5 | Maraşal Fevzi Ç | 273,90 | 5:11 | 14:11 | 14:26 | 6:26 |
| 6 | DSİ | 338,15 | 6:08 | 15:23 | | 7:23 |

Tablo 4.7'de günlere göre izlenmesi gereken rotalar, toplam geçirilen zaman, kat edilen yol ve masraflar özetlenerek verilmiştir. Bölüm 4.3'de masraflar için kullanılan hesap esasları burada da uygulanmıştır ve aylık rotanın toplam masrafı çıkartılmıştır. Rota toplamda 4671,50 km kat ederek örnekleme noktalarını gezerken toplam masraf 18.978,89 TL olarak hesaplanmıştır. Rota tamamlanırken günde maksimum çalışılacak süre kısıtı olan 9 saatlik çalışma saatini 11. gün ve 12. günlerde aştığı görülmüştür.

Tablo 4.7 Optaplanner program ile günlere göre elde edilen güzergahlar, geçirilen süre, kat edilen mesafe ve masraflar

| Gün | Süre | GÜZERGAH | Mesafe (Km) | Yakıt (TL) | Personel (TL) | Toplam (TL) |
|---------|-------|------------------------------|----------------|------------|--------------------------|-------------------|
| 1. Gün | 7:23 | DSİ>47>49>48>50>51>DSİ | 338,15 | ₺167,13 | ₺750,00 | ₺1.297,13 |
| 2. Gün | 6:03 | DSİ>52>44>30>33>37>DSİ | 193,51 | ₺95,64 | ₺600,00 | ₺1.075,64 |
| 3. Gün | 5:56 | DSİ>59>29>15>DSİ | 243,30 | ₺120,25 | ₺600,00 | ₺1.100,25 |
| 4. Gün | 7:55 | DSİ>60>58>61>57>56>62>DSİ | 296,25 | ₺146,42 | ₺800,00 | ₺1.326,42 |
| 5. Gün | 5:54 | DSİ>53>55>54>26>14>DSİ | 267,03 | ₺131,98 | ₺600,00 | ₺1.111,98 |
| 6. Gün | 8:27 | DSİ>5>25>19>2>DSİ | 311,53 | ₺153,98 | ₺850,00 | ₺1.383,98 |
| 7. Gün | 6:36 | DSİ>31>36>45>43>DSİ | 271,33 | ₺134,11 | ₺650,00 | ₺1.164,11 |
| 8. Gün | 8:48 | DSİ>38>64>32>34>41>40>35>DSİ | 377,39 | ₺186,52 | ₺900,00 | ₺1.466,52 |
| 9. Gün | 8:33 | DSİ>9>46>39>42>DSİ | 372,77 | ₺184,24 | ₺850,00 | ₺1.414,24 |
| 10. Gün | 8:59 | DSİ>21>1>11>6>20>DSİ | 389,44 | ₺192,48 | ₺900,00 | ₺1.472,48 |
| 11. Gün | 8:55 | DSİ>63>66>65>67>69>DSİ | 472,61 | ₺233,59 | ₺1.000,00 | ₺1.613,59 |
| 12. Gün | 13:40 | DSİ>23>68>8>7>10>4>DSİ | 618,52 | ₺305,70 | ₺1.250,00 | ₺1.935,70 |
| 13. Gün | 7:58 | DSİ>17>3>22>16>DSİ | 284,22 | ₺140,47 | ₺800,00 | ₺1.320,47 |
| 14. Gün | 7:58 | DSİ>24>27>12>13>18>DSİ | 235,47 | ₺116,38 | ₺800,00 | ₺1.296,38 |
| | | Aylık Toplam Mesafe | 4671,50 | | Aylık Toplam (TL) | ₺18.978,89 |

Optaplanner optimizasyon programı ile çıkartılan örnekleme noktaları ve günlük rotaların yerleşimi şekil 4.18'deki gibidir. Programın entegre edilmiş herhangi bir harita altlık alma fonksiyonu bulunmamaktadır. Programın 50 hedef noktası ve 8 araca kadar Leaflet, Openstreetmaps ve Google Maps üzerinde rotaların gösterilebildiği java tabanlı açık kodlu eklentiler mevcuttur. Optimize edilen çözümün 14 gün olması ve örnekleme noktası sayısının 69 olmasından dolayı bu eklentiler kullanılmamıştır.



Şekil 4.18 Optaplanner örnekleme noktaları rotaları

4.6 Sonuçların Karşılaştırılması

DSİ 2. Bölge Müdürlüğünün laboratuvar tahlillerinin yapılması amacıyla DSİ Genel Müdürlüğünce ölçüm örnekleme noktaları tespit edilmiştir. Örnekleme noktalarının gözlem ağlarını çıkartmak, örnek toplama pratiğinin optimizasyonu ve masraf analizini yapmak amacıyla literatürde bulunan yöntemler irdelenmiştir. Gezginsatıcı probleminin (GSP), En Yakın Komşu (EYK) algoritmasına göre oluşturulan gözlem ağı rotası ile 18 gün içerisinde tüm örnekleme noktaları gezilebilmiştir. Araç Rotalama Problemi (ARP) ile yapılan iki çözüm yönteminden biri olan LNS algoritması ile çıkartılan rota 13 gün içerisinde tamamlanmıştır. Bir optimizasyon programı olan Optaplanner ile ARP hesaplaması yapılarak 14 günde örnekleme noktalarının gezilebildiği bir seçenek daha elde edilmiştir.

EYK ile yapılan optimizasyonda başlangıç noktası olan DSİ 2. Bölge müdürlüğüdür. Problem uygulamayı gerçekleştirirken en yakın noktaya uğramış, örnekleme noktasında harcanan zaman eklenmiş ve kısıtlar göz önünde bulundurularak bu noktadan geri dönüp dönemediği kontrol edilmiştir. Kontrol olumlu sonuç verdiğinde bu noktaya en yakın diğer noktaya uğramış, örnekleme noktasında harcanan zamanı eklemiş ve geri dönebildiğini kontrol etmiştir. Örnekleme noktası ekleme işlemlerini geri dönemediği noktaya kadar sürdürmüştür. DSİ 2. Bölge Müdürlüğü'ne 9 saatlik çalışma süresi içinde dönemediği örnekleme noktası rota içinden çıkartılmış ve bir önceki örnekleme noktası o günün rotasının son noktası haline gelmiştir.

Yapılan hesaplamalar sonucunda havzada bulunan numune alma noktalarına yapılacak ziyaretler 18 iş gününde tamamlanabilmekte olduğu sonucuna varılmıştır. Rota toplamda 6874,19 km mesafede örnekleme noktalarını gezerken toplam masraf 24.737,57 TL olarak hesaplanmıştır.

ARP'nin LNS algoritması ile VRP solver programının optimize ettiği çözümünde rota 13 gün içerisinde toplamda 4397,78 km kat ederek örnekleme noktalarını gezerken toplam masraf 18.613,60 TL olarak hesaplanmıştır.

ARP'nin LNS algoritması ile çözüm elde edilen Optaplanner optimizasyonu bizlere 14 gün içerisinde çözüm sağlamıştır. Rota toplamda 4671,50 km kat ederek örnekleme noktalarını gezerken toplam masraf 18.978,89 TL olarak hesaplanmıştır.

EYK algoritması ve LNS algoritmaları geniş gözlem ağlarında en iyi sonucu vermez fakat bu algoritmaların amacı kısa sürede en iyiye yakın bir sonuç üretebilmektir. GSP'nin EYK algoritması ile yapılan çözüm her kısıtı sağlayarak optimal bir çözüme ulaşmıştır. Rotaların tamamlandığı hiçbir gün 9 saatlik çalışma süresini aşmadan gözlem ağı rotasını 18 günlük sürede tamamlamıştır. VRP solver ile yapılan optimizasyonda elde edilen rotanın 2 gününde 9 saatlik kısıt aşılmış ve optimizasyon 13 günlük sürede tamamlanmıştır. İki yöntem arasında 5 günlük fark oluşmuş ve 9.886,53 TL'lik masraf farkı çıkmıştır. Bu rotayı seçecek kişi ve kişilerce irdelenmesi gereken bir durumdur.

LNS algoritması ile iki farklı optimizasyon işlemi gerçekleştirilen VRP solver ile 13 günde 18.613,60 TL masraf hesap edilmiş ve Optaplanner optimizasyon programı 14 gün içerisinde 18.978,89 TL masraf hesap edilmiştir. Optimizasyon yöntemleri arasındaki masraf farkı 365,29 TL'dir İki çözüm yönteminde de 9 saatlik günlük çalışma saati kısıtı 2 gün aşılmıştır. VRP solver toplamda 2 saat 25 dakika bu kısıtı aşarken Optaplanner 3 saat 25 dakika aşmıştır. VRP solver'ın elde ettiği rotalarda sadece tek bir gün 8 saatlik sürenin altındadır. Geri kalan günlerde elde edilen rotalar 9 saatlik çalışma süresine yakın saatlerdir ve günlük çalışma süresini tam dolduracak çalışma süreleri çıkartmıştır. Optaplanner ile yapılan çalışmada 3 gün boyunca 6 saatlik çalışma süresinde rotalar çıkartılmış olup 9 saatlik çalışma sürelerine tam olarak istenildiği ölçüde yaklaşamamış rotalar hesaplanmıştır. ARP ile çözülmüş bu çalışmada günlük çalışma süresi kısıtını aynı gün sayısında aşmış bu iki yöntem arasında bir seçim yapılırken kaç günde rotanın tamamlandığı, masraf analizi, rotaların kaç saatte tamamlandığı ve bu sürelerin birbirleriyle ne kadar tutarlı farklılıklara sahip olduğu gözden geçirilmelidir.

BÖLÜM BEŞ TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışma, Gediz, Kuzey Ege, Küçük Menderes ve Büyük Menderes Havzalarında karşılaşılmış problemler düşünülerek su kalite gözlem ağlarının maliyet açısından irdelenmesi amacıyla hayata geçirilmiştir. Araştırma sonucunda noktalar arasında farklı çözüm yöntemleri ile birden fazla kriterlere uygun rotanın çıkartılabildiği görülmüştür.

Uygulamada tahlil ve laboratuvar masrafları her analizde eşit olduğu için genel gider kapsamında ele alınmış ve çalışmaya dahil edilmemiştir. Yapılan optimizasyon çalışmaları bu nedenle yalnızca örnek toplama maliyetinin minimizasyonunu amaçlamaktadır.

Gezgin satıcı problemi en yakın komşu algoritmasında ve Araç rotalama probleminin algoritmalarında her seferinde tek bir güzergah alternatifi değerlendirilmiştir. Elde edilen bu güzergahların uygulayıcı kurum ve çalışanları tarafından irdelenip alternatiflerinin de değerlendirilmesi gereklidir Kaba kuvvet yönteminin uygulanması mevcut bilgisayar imkanları dahilinde çözüm süresi oldukça uzun olduğundan irdelenmememiştir. Çalışmada ele alınan 70 noktanın global optimum güzergahını tayin için Bölüm 2.1’de de belirtildiği üzere $70!/2 = 5,98 \times 10^{99}$ adet işlem yapılması gereklidir. Halihazırdaki i7 tabanlı bilgisayarlarda saniyede yapılan işlem sayısının 1,4 milyar adet olduğu düşünüldüğünde kaba kuvvet ile çözüme ulaşılması yaklaşık 10^{21} yıl sürecektir. Bu açıdan en yakın komşu algoritması ile işlem sayısı oldukça düşmekte ve kısıtları sağlayan optimuma yakın çözümlerden birine ulaşılması oldukça hızlı olmaktadır.

GSP’nin EYK algoritması ile yapılan çözüm her kısıtı sağlayarak optimal bir çözüme ulaşmıştır. Rotaların tamamlandığı hiçbir gün 9 saatlik çalışma süresini aşmadan gözlem ağı rotasını 18 günlük sürede tamamlamıştır. Optaplanner ile yapılan

optimizasyonda elde edilen rotanın 2 gününde 9 saatlik kısıt aşılmış ve optimizasyon 14 günlük sürede tamamlanmıştır. İki yöntem arasında 4 günlük fark oluşmuş ve 5.758,68 TL'lik masraf farkı çıkmıştır. Optaplanner ile yapılan optimizasyon işleminde daha kısa süre ve daha düşük bir masraf olmasına karşın GSP'nin EYP algoritması ile oluşturulan çözümde süre kısıtının aşılmaması yöntemlerin seçimi için önem arz eden bir kriterdir.

Yapılan üç farklı optimizasyon analizlerinden sadece GSP'nin EYK algoritması ile yapılan çözüm tüm kısıtları sağlayarak tek bir çözüm üretmiştir. ARP ile yapılan diğer iki optimizasyonda çalışma saati kısıtı iki gün ile aşılmıştır. Masraf fonksiyonları ARP ile yapılan iki çözüm yönteminde de EYK algoritması ile yapılan yöntemden düşük çıkmıştır. Masraflar arasında bir sıralama yapmak gerekirse en düşük masraf VRP solver ile edilmiştir. Daha sonra sırasıyla optaplanner ile yapılan çözüm ve EYK algoritması gelmektedir. VRP solver ile optimize edilen çözüm ve optaplanner ile yapılan arasında bir günlük fark vardır. İki çözüm yönteminde de günlük rota sınırı aşılmıştır. Optaplanner'ın yapmış olduğu optimizasyonda bir günde gezilen örnekleme noktası sayıları günlük çalışma saatlerinde, düşük çalışma süreleri gözlemlenmiştir. VRP solver ve EYK algoritması ile yapılan optimizasyonlarda bu süreler günlük 9 saatlik çalışma süresine daha yakın rotalar çıkartılmıştır.

Çalışma saati süresi kısıtlarının iki gün aşılması göz ardı edildiğinde, düşük maliyet ve tüm örnekleme noktalarının 13 gün ile en kısa sürede gezilmesi VRP solver ile optimize edilmiş olan rotayı diğer sonuçlar arasında öne çıkartmaktadır. GSP'nin EYK algoritması ile optimize edilen rota 18 gün sürmekte ve maliyeti en fazla olan seçenek olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu çözümün seçilmesi için tek uygun durum günlük çalışma saati kısıtını aşmamasıdır. Optaplanner optimizasyonu 14 günlük rotasıyla VRP Solver'in maliyetine daha yakın bir çözüm sunsa da sonuçlar arasında düşük verimli olarak göze çarpmaktadır.

Bu çalışma, DSİ 2. Bölge Müdürlüğü'nün su kalitesi gözlem çalışmalarında örnekleme amacıyla gerçekleştirilen arazi çalışmalarında daha az masraflı ve

optimuma yakın bir yol haritası çıkarılması amacını güderek gerçekleştirilmiştir. Bu amaca masraf analizi de dahil edilmiştir. Sunulan çalışma, esas olarak su kalitesi gözlem ağlarının örnekleme maliyetine bir ön yaklaşım niteliği taşımaktadır. İlerideki çalışmalarda mesafe üzerinden hesap yerine mesafelerin ve örnekleme noktalarında kaybedilen zamanın ekonomik karşıtı üzerinden hesapların yapılması hedeflenmektedir. Diğer taraftan alternatif rotaların da oluşturulması örnek toplama çalışmalarında değişen koşullara göre daha esnek uygulama pratiklerinin oluşmasına yardımcı olacaktır.

Yapılan çalışma su kalitesi gözlem noktalarından numune alma çalışmalarında verimliliğin arttırılmasını hedeflemekte ve yeni oluşturulan ya da güncellenen gözlem ağlarının ölçüm pratiklerinde bilimsel bir yaklaşımı temel almaktadır. Benzer çalışmaların diğer havzalarda ve farklı koşullarda tekrarlanması su kalitesi gözlem noktalarından numune alma sürelerinin kısalmasına ve daha sık veri toplanmasına olanak sağlayabilecektir.

KAYNAKLAR

- Badeau, P. ve Guertin, F., (1997). A parallel tabu search heuristic for the vehicle routing problem with time windows. *Transportation Research*, 5 (2), 109-122.
- Balinski M. L. ve Quandt R. E., (1963). On an integer program for a delivery problem. *Operations Research*, 12 (2), 300-304.
- Bayzan, Ş. (2005). *Araç rotalarının en kısa yol algoritmaları kullanılarak belirlenmesi ve net ortamında simülasyonu*. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli.
- Bianchessi, N. ve Righini, G., (2007). Heuristic algorithms for the vehicle routing problem with simultaneous pick- up and delivery. *Computers & Operations Research*, 34 (2), 578-594.
- Brandão, J. (2004). A tabu search algorithm for the open vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research*, 157 (3), 552-564.
- Brandão, J., (2006). A new tabu search algorithm for the vehicle routing problem with backhauls. *European Journal of Operational Research*, 173 (2), 540-555.
- Chiang, W.-C. ve Russell R. A., (1996). Simulated annealing metaheuristics for the vehicle routing problem with time windows. *Annals of Operations Research*, 63 (1), 3-27.
- Christofides N. ve Mingozzi A. (1981). Exact algorithms for the vehicle routing problem, based on spanning tree and shortest path relaxations. *North-Holland Publishing Company*, 20 (1), 255-282.
- Çetinkaya, C.P. ve Harmancıoğlu, N. B., (2012). Assessment of water quality sampling sites by a dynamic programming approach. *Journal of Hydrologic Engineering*, 17 (2), 305-317.
- Çetinkaya, C. P. (2001). Su kalitesi gözlem ağlarında maliyet analizi. *III. Ulusal Hidroloji Kongresi Bildiriler Kitabı*, 185-192

- Çolak S. (2010). Genetik algoritmalar yardımı ile gezgin satıcı probleminin çözümü üzerine bir uygulama. *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 19 (3), 423-438
- Dantzig G. ve Fulkerson R. (1954). Solution of a large-scale traveling salesman problem. *Operations Research*, 12 (2), 393-410.
- Dantzig G. B. ve Ramser, J. H. (1959). The truck dispatching problem, management science. *Informs*, 6 (1), 80-91.
- Evans J. R. ve Minieka E. (1992). Optimization Algorithms for network and graphs. *Marcel Dekker New York*, 8 (2) 317-328
- Gendreau, M. ve Laporte, G., (1996). Stochastic vehicle routing. *European Journal of Operational Research*, 88 (1), 3-12.
- Hemmelmayr, V. C., ve Doerner, K. F., (2007). A variable neighborhood search heuristic for periodic routing problems. *European Journal of Operational Research*, 195 (3), 791- 802.
- Ho, W. ve Ho, G., (2008). A hybrid genetic algorithm for the multi-depot vehicle routing problem. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 21 (4), 548-557.
- İçağa, Y., (2005). Genetic algorithm usage in water quality monitoring networks optimization in Gediz (Turkey) River Basin. Environment. *Monitoring Assessment*, 12 (108), 261–277,
- İçağa, Y., (1998). *Spatial optimization of hydrometric data networks by system analysis techniques*. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Jin, M. ve Liu, K., (2008). A column generation approach for the split delivery vehicle routing problem. *Operations Research Letters*, 36 (2), 265-270.
- Kikpatrick, S. ve Gelatt, C. D. (1983). Optimization by simulated annealing. *Science*, 220 (4598), 671-680.

- Keskintürk T. ve Topuk N. (2015) Araç rotalama problemleri ile çözüm yöntemlerinin sınıflandırılması ve bir uygulama. *İşletme Bilimi Dergisi*, 3 (2), 77-107
- Laporte, G., (1992). The vehicle routing problem: an overview of exact and approximate algorithms. *European Journal of Operational Research*, 59 (3), 345-358.
- Lin, S.-W., ve Yu, V. F. (2009). Solving the truck and trailer routing problem based on a simulated annealing heuristic. *Computers & Operations Research*, 36 (5), 1683-1692.
- Lin, S-W., ve Lee., Z-J., 2009). Applying hybrid meta- heuristic for capacitated vehicle routing problem. *Expert Systems with Applications*, 36 (2), 1505-1512.
- Magnanti, T. L., (1981). Combinatorial optimization and vehicle fleet planning: perspectives and prospects. *Massachusetts Institute of Technology, Operations Research Center*, 11 (2), 179-213
- Moens. R.P. (2003). *Su çerçeve direktifi' nin Türkiye' de uygulanması, uygulama el kitabı*. (F. Barbaros. Çev.). 18 Ekim 2019, <http://kisi.deu.edu.tr/filiz.barbaros/AB%20su%20c3%a7er%c3%a7eve%20direktifi%20uygulama%20el%20kitab%c4%b1.pdf>
- Ralphs, T. K. ve Kopman, L., (2003). On the capacitated vehicle routing problem. *Mathematical Programming*, 94 (2), 343-359.
- Smith, V. J. R. ve Osman, I. (1996). Modern heuristic search methods, *John Wiley and Sons Ltd*. (1. baskı) içinde (102-137). Massachusetts: MIT Press.
- Shaw. P. (1998). Using constraint programming and local search methods to solve vehicle routing problems. *Lecture Notes in Computer Science*, 1520 (98), 417–431
- Su Yönetimi Genel Müdürlüğü (2017). Gediz Havzası Su Kalitesi İzleme Programı, Destekleyen Kuruluş: T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı

Toth, P. ve Vigo, D., (2002). The Vehicle Routing Problem, *Society for Industrial and Applied Mathematics*. (3. baskı) Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics

TÜBİTAK (2010). Havza Koruma Eylem Planlarının Hazırlanması Projesi Nihai Raporu, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu Marmara Araştırma Merkezi Çevre Enstitüsü. Destekleyen Kuruluş: T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı.

TÜBİTAK MAM (2013). Türkiye’de Havza Bazında Hassas Alanların ve Su Kalitesi Hedeflerinin Belirlenmesi Projesi II. İlerleme Raporu. Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu Marmara Araştırma Merkezi Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü.

TÜBİTAK MAM (2013). Büyük Menderes Havzası Nihai Raporu. Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu Marmara Araştırma Merkezi Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü.

TÜBİTAK MAM (2013). Gediz Havzası Nihai Raporu. Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu Marmara Araştırma Merkezi Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü.

TÜBİTAK MAM (2013). Kuzey Ege Havzası Nihai Raporu. Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu Marmara Araştırma Merkezi Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü.

TÜBİTAK MAM (2013). Küçük Menderes Havzası Nihai Raporu. Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu Marmara Araştırma Merkezi Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü.

Vob, S.ve Martello, S., (1999). Meta-Heuristics. *Advances and trends in total search paradigms for optimization*, (2. baskı) içinde (63-76). Dordrecht: Kluwer Academic Publisher.

Yiğit S.D. (2019) *Akarsularda su kalitesi gözlem ağı optimizasyonu*. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir