

Su Kalitesi Gözlem Ağlarında Örneklemeye İçin İzlenecek Yol Rotası Optimizasyonuna Bir Yaklaşım ve Gediz Havzasına Uygulanması

Cem Polat Çetinkaya¹, Alkım Engin²

¹Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir

²Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir

e-posta: cem.cetinkaya@deu.edu.tr

Geliş Tarihi:30.05.2017

; Kabul Tarihi:14.02.2018

Özet

Havzalarda su kalitesi gözlem ağlarının işletilmesinde numune alma ve örneklemeye çalışmaları büyük bir önem arz etmektedir. Örneklemeye çalışmaları esnasında belirlenmiş su kalitesi istasyonlarından numunelerin elde edilmesi ve laboratuvar analizleri için merkeze götürülmesi belirli fiziksel ve ekonomik kısıtlar dahilinde gerçekleştirilmek zorundadır. Örneklemeye işleminin aynı gün içinde bitirilmesi ve laboratuvara ulaştırılması diğer taraftan gözlem sıklığını da etkilemektedir. Yapılan çalışmada bu kısıtları gözetenek aylık örneklemeye sıklığına sahip bir ağda örneklemeye çalışması yapacak ekiplerin en az masraf ile hangi rotaları izlemeleri gerektiği sorusuna cevap aranmıştır. Problem, Gezgin Satıcı Problemine uyarlanarak En Yakın Komşu algoritması ile çözülmeye çalışılmıştır. Ortaya çıkan metodoloji Gediz Havzasında var olan su kalitesi gözlem ağına uygulanmış ve sonuçta örneklemeye çalışmalarının yedi gün içinde tamamlanabileceği bir rota tavsiyesi elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler

Su Kalitesi Gözlem Ağı;
Su Kalitesi Örneklemeye;
Optimizasyon; Gezgin
Satıcı Problemi, En
Yakın Komşu
Algoritması

An Approach to Route Optimization for Sampling in Water Quality Monitoring Networks and Application to Gediz River Basin

Abstract

Sampling works in river basin water quality monitoring networks have a big importance in operation. Extraction of samples from assigned monitoring stations and transfer of samples to laboratories for further analysis should be realized regarding some certain physical and economic constraints. Extraction of samples and their transfers to laboratories are due to be accomplished within a day and this situation affects the sampling interval of monitoring stations. The presented study seeks an answer to the question "which travel routes are to be followed in a monthly observed network in order to maintain minimum costs?" with the consideration of physical and economic constraints. Traveling Salesman Problem with a Nearest Neighbour algorithm approach is utilized to find a solution to the problem. The adapted methodology is applied to Gediz River Basin's current water quality monitoring network and a traveling route proposition, which carries out the sampling work in seven days, is obtained.

Keywords

Water Quality
Monitoring Network;
Water Quality
Sampling;
Optimization; Traveling
Salesman Problem,
Nearest Neighbour
Algorithm

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Günümüzde mevcut su kalitesi gözlem ağlarından elde edilen bilgi veriminde ve bu bilginin elde edilmesi sırasında gözlenen aksaklıklar, konuyla ilgili araştırmacı ve uzmanları, ölçüm ağlarının tasarımı, geliştirilmesi ve işletilmesi konusunda yeni tedbirler almaya zorlamaktadır (Harmancıoğlu ve ark. 1999). Birçok durumda, su kalitesinin izlenmesi yönünde harcanan tüm emek ve masraflara karşılık, hem gelişmiş hem gelişmekte olan ülkelerde mevcut ölçüm ağlarında beklenen faydaların elde edilemediği görülmektedir. Özellikle gelişmekte

olan ülkelerde, izleme sistemleri yeni yeni oluşturulmakta ve geliştirilmekte, bu çabalar için ise kayda değer miktarda finansal kaynak sarf edilmektedir. Bu açıdan bakıldığında Türkiye gibi kısıtlı ekonomik kaynaklara sahip ülkelerde su kalitesi izleme faaliyetleri de sınırlayıcı ekonomik koşullarda sürdürülmek zorunda kalmaktadır (İçağa, 1998, 2005; Cetinkaya ve Harmancıoğlu 2012). Bununla birlikte, Türkiye'de su kalitesi gözlem çalışmalarının detaylı bir maliyet analizine yer veren çalışmalar azdır. Ölçüm çalışmalarının tümü devlet

tarafından desteklenmiş ve ölçüm maliyetleri genel bütçe içinde bir bütün olarak değerlendirilmiştir.

Ülkemizde su kalitesini izleme çalışmalarını 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 hızla gelişerek hemen hemen tüm havzalarda bini aşkın izleme noktasını kapsar hale gelmiştir (Çetinkaya ve Özkul 2007). Bu hızlı gelişme ve ölçüm yoğunluğuna karşılık bugüne kadar mevcut sistemin performansı ve verimliliği tam olarak sınanmamıştır. Günümüzde ortaya çıkan en belirgin ihtiyaç ise ölçüm sisteminin iyileştirilmesi ve bundan sonraki ağ gelişiminin bu çerçevede sürdürülmesidir. Ölçüm sisteminin iyileştirilmesi için ilk adım mevcut sistemin performans ve verimlilik açısından irdelenmesi olmalıdır. Esas olarak, son yıllarda Avrupa Birliği uyum çalışmaları nedeniyle devletin ve bağlı kuruluşlarının yeniden yapılanması çerçevesinde, kamu kuruluşlarının faaliyetleri açısından bu tür irdeme etkinliklerine ihtiyaç duyulmakta, verimlilik etütleri gerekli görülmektedir (Çetinkaya ve Harmancıoğlu 2012).

Su kalitesi izleme faaliyetleri, üç safhadan oluşmaktadır:

- a) Arazi çalışmaları
- b) Laboratuvar analizleri
- c) Sonuç değerlendirme, arşivleme ve yayın faaliyetleri (Çetinkaya ve ark. 2001).

Maliyet açısından bakıldığında toplam izleme masraflarının en büyük bölümünü laboratuvar analizleri oluşturmaktadır. Laboratuvar analiz masrafları ise doğrudan izlenen değişken sayısına bağlı olarak artmaktadır. Analiz masraflarının yanında, bir diğer masraf kalemi arazi çalışmalarıdır (Çetinkaya ve ark. 2001). Su kalitesi izleme faaliyetinin doğası gereği uzaktan algılama teknolojilerinin kullanılabilmesi kısıtlı kalmaktadır. Uzaktan algılama ile ancak anında problemlerle ölçülebilen elektriksel iletkenlik, pH, sıcaklık vb. gibi fiziksel özellikler elde edilebilmektedir. Kimyasal analizlerin yapılabilmesi için ise bir laboratuvar ortamına ve uygun şekilde alınarak zamanında laboratuvara getirilmiş numunelere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu açıdan su kalitesi izleme faaliyetlerinde arazi çalışmaları her ne kadar oransal

olarak daha küçük bir masrafa tekabül etse de 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.

Tüm yukarıdaki koşullar göz önüne alındığında, maliyet kalemlerini oluşturan masraflar içinde arazi çalışmaları, optimize edilerek minimuma indirilebilecek bir unsur olarak görünmektedir.

Bu genel görünüm ışığında, bu çalışmanın amacı DSİ'nin arazi çalışmalarını irdelerek, su kalitesi gözlem faaliyetlerinin arazide örnekleme safhasında optimum rotalarını tayin etmektir. 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 "Gezici Satıcı Problemi" (GSP) ile çözüm aranmıştır. GSP "En Yakın Komşu" algoritması ile çözülmüş ve kısıtlar içinde kalan bir çözüme ulaşılmıştır.

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

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.

2. Materyal ve Metot

Su kalitesi gözlem ağlarında, örnekleme çalışmaları, yoğun arazi ziyaretlerini gerektirmektedir. DSİ'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 de kıyı suları da izleme çalışmasına dahil edilmektedir.

DSİ'nin taşra teşkilatlanmaları olan Bölge Müdürlükleri sorumlu oldukları havzaların bu hassas noktalarını da gözeterek su kalitesi gözlem ağlarını oluşturmaktadırlar. Tespit edilen bu gözlem noktaları, genelde her ay ya da iki ayda bir ziyaret edilmektedir. İzlenmesi gereken kalite değişkenlerinin o anki değerlerini tespit edebilmek için her noktadan su numuneleri uygun koşullar sağlanarak alınmakta ve alındığı gün ya da 24 saat içinde Bölge Müdürlüğü tarafından işletilen su kalitesi analiz laboratuvarlarına teslim edilmektedir.

Görüleceği üzere, örnekleme çalışmalarında genelde Bölge Müdürlüğü'nün bulunduğu tek bir noktadan hareket edilerek, rota dâhilinde tespit edilen gözlem noktalarına ulaşılmakta ve örnekleme yapıldıktan sonra tekrar aynı noktaya dönülmektedir. Özellikle Gediz Havzası ve K. Menderes gibi aylık numunelerin toplandığı havzalarda, her gözlem noktasının ayda en az bir kez ziyaret edilmesi gerekmektedir.

Ayda bir ziyaret koşulunun yanı sıra günlük rotanın tayininde, bir yandan örnekleme faaliyetine katılan çalışanların günlük mesai saati dâhilinde faaliyetlerini tamamlamaları kısıtı, diğer yandan da su numunelerinin 24 saat içinde laboratuvara teslim edilerek analizlerine başlanması zorunluluğu öne çıkmaktadır. Benzer şekilde, arazi çalışmaları için kullanılan araçlar, hizmet alımı yöntemi ile temin edildiğinden, günlük ve aylık toplam kilometre kısıtları da bulunmaktadır. Tüm bunlar ile birlikte, her ne kadar su numunesi alma işlemleri 10 dakika gibi kısa bir zaman tutsa da, özellikle akarsu kolları üstünden alınan su numunelerinin aynı zamanda eş zamanlı debilerinin de müteferrik olarak ölçülmesi

gerekmektedir. Memba kısımlarında yapılacak debi ölçümleri gerek kesitin gerekse su derinliğinin küçük olması nedeni ile kısa sürede tamamlanabilirken, mansap kısımlarında nehir kolunun derinleşmesi ve genişlemesi nedeni ile 35-40 dakikalık zamanlar alabilmektedir.

Yukarıdaki kısıtlar ve hedefler göz önüne alındığında, su kalitesi gözlem ağlarında örnekleme çalışmalarının, bir amaç fonksiyonu olan, belirli kısıtlara sahip bir optimizasyon problemi olduğu görülmektedir. Optimizasyon probleminde ise farklı günlerde farklı rotalar ile ziyaret edilen gözlem noktalarına ulaşmak için, belli kısıtlar altında en az masraflı yolu aramak temel hedeftir, diğer bir deyişle amaç fonksiyonunun minimumu aranmaktadır. Mevcut problem, daha önce de araştırılmış ve benzer sorunlara çözüm olarak önerilmiş Gezgin Satıcı Problemi ile irdelenerek çözülmeye çalışılmıştır.

2.1. Gezgin Satıcı Problemi (Traveling Salesman Problem)

Gezgin Satıcı Problemi (GSP) ilk olarak 1800'lü yılların ortasında Hamilton tarafından tanımlanmıştır. Hamilton iç içe geçmiş poligonlardan oluşan bir tahtada her poligonun uç noktasının en az bir kez ziyaret edilmesini amaçlayan bir problem tayin etmiştir. 1932 yılında ise Karl Menger GSP'nin günümüzde bilinen ilk tanımını yapmıştır (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 çalışılmaktadır. GSP'nin uygulanabilmesi için her nokta arasındaki uzaklıkların önceden bilinmesi ve iki nokta arasındaki karşılıklı gidiş gelişlerin masrafının aynı olması gerekmektedir. Bu açıdan bakıldığında problemin tanımı oldukça basit olmasına rağmen, uğranacak nokta sayısı arttıkça çözüm uzayındaki alternatif sayısı da çok büyük değerler almaktadır (Çolak, 2010).

GSP'de toplam nokta sayısı n adet ise, birinci 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 az olduğu durumlarda problemin kesin çözümüne ulaşmak kolay olmaktadır, ancak nokta sayısı arttıkça olası çözüm sayısı da giderek artmakta ve problemin çözüm süresi de uzamaktadır.

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

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

Problemin kısıtları:

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

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

$$\sum_{i, j \in K, i \neq j} x(i, j) \leq |K| - 1, \quad \forall K \subset \{1, 2, 3, \dots, n\} \quad (4)$$

GSP'nin amaç fonksiyonunda (Eşitlik 1) $d(i, j)$ ifadesi i ve j noktaları arasındaki mesafeyi göstermektedir. $x(i, j)$ ise i noktasından j noktasına gidilip gidilmediğini ifade etmektedir. Tanımlanan kısıtlar ise her bir noktaya yalnız bir kez uğranacağını belirtir. (2) numaralı eşitliğe göre her noktadan sadece bir kez çıkılacak, (3) numaralı eşitliğe göre de her noktaya yalnızca bir kez gidilecektir. (4) numaralı eşitlik ise oluşabilecek alt turları elemeye yönelik matematiksel ifadedir. Bu ifadelerden de anlaşılacağı üzere $x(i, j)$ değeri 0 ya da 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. Ancak nokta sayısı arttıkça bu tip bir çözüm için harcanan zaman giderek artmaktadır. Örnek olarak; 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 da olsa 20'nin üzerindeki noktaya sahip bir problemi çözmek insan ömrünü kat be kat aşacaktır. Yukarıda açıklandığı gibi yüksek sayıda noktanın bulunduğu durumlarda kaba kuvvet yerine daha ziyade "sezgisel" yöntemlerle optimale yakın çözümler elde edilmeye çalışılmaktadır. Bu yöntemlere örnek olarak, En Yakın Komşu, Karınca

Kolonisi, Christofides, En Kapsayıcı Ağaç gibi algoritmalar gösterilebilir (Çolak, 2010).

Tüm bu algoritmalar içinde uygulanması en kolay olanı "En Yakın Komşu" algoritması olarak öne çıkmaktadır. Ancak unutulmamalıdır ki bu algoritmalar her zaman optimum çözümü vermez. Burada yapılan işlem optimum çözümden feragat edilerek işlem süresinden kazanmaya çalışılmaktadır.

2.2. Gezgin Satıcı Problemi'nin "En Yakın Komşu" Algoritması ile Çözülmesi

GSP'nin çözümü için çalışma kapsamında kullanılan yöntem en yakın komşu yöntemidir. Problemin başlıca kısıtları, mevcut noktaların hepsinin ziyaret edilmesi, bunun bir aylık süreç içinde işgünleri dahilinde yapılması ve her günlük ziyaret 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 aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. Öncelikle, tüm noktaların birbirlerine olan mesafelerini, bu mesafelerin kat edilmesi için yapılan masrafları ve harcanan süreleri gösteren komşuluk matrisleri oluşturulur.
2. Oluşturulan matriste tayin edilemeyen yada ilişkisi bulunmayan elemanlar var ise mevcut değerlerin çok üzerinde değerler verilir.
3. Matris içinde bulunan en küçük değerdeki sayı bulunur ve işaretlenir.
4. İşaretlenen değerın bulunduğu satır ve sütundaki tüm değerler ilerde kullanılmamak üzere büyük sayılarla değiştirilir ve yeni bir matris oluşturulur.
5. En küçük değeri gösteren yeni matriste hangi noktadaysak satırda bulunan en küçük değere gidilir. Bu küçük değer bir önceki nokta ile şimdi bulunan nokta arasındaki mesafeyi gösterir.
6. Yeni bulunan noktanın satır ve sütunları yine mümkün mertebe büyük değerlerle değiştirilir ve yeni matris oluşturulur.
7. 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 $n!/2=60$ 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 delil bulunmadığından "optimuma yakın" olduğu kabul edilir.

3. Bulgular

3.1 DSİ 2. Bölge'den Elde Edilen Veriler

DSİ 2. Bölge Müdürlüğünde 2 Ocak 2013 tarihinde yapılan görüşme ile problemin çözümüne yönelik bilgiler temin edilmiş, örnekleme noktası koordinatları (Çiz. 1), mevcut noktalarda ne kadar vakit harcandığı, kiralanan araçların günlük maliyeti, şoförün ve DSİ çalışanlarının maaşları bu görüşme sonucunda tespit edilmiştir. Buna göre, Aralık 2012 itibari ile, bir DSİ çalışanının brüt maaşı 2890 TL, şoförün ise 1021,50 TL olarak belirlenmiştir. Araziye çıkan aracın günlük masrafı ise 140 TL'dir. Havzada toplamda 36 noktada örnekleme yapılmaktadır. Örnekleme noktaları arasındaki mesafeler, yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri ile ölçülmüş, mesafe değerleri belirlenmiş ve mesafe matrisi oluşturulmuştur. Ortaya çıkan güzergahların yol kalitesi göz önünde bulundurularak ortalama hız değerleri belirlenmiş ve ortalama hız değerleri matrisi tayin edilmiştir.

3.2 Örnekleme Çalışmasının Arazi Masrafları ve Masraf Fonksiyonu

Su kalitesi gözlem ağlarının, örnekleme noktası adedi, ölçüm sıklığı ve değişkenler bakımından optimum özelliklere sahip olmaları istenmektedir. Bu özelliklerin yanında en az masrafla en çok bilgiyi getiren gözlem ağı kombinasyonuna ulaşmak temel amaçtır (İçağa 2005).

Çalışma kapsamında örnekleme çalışmalarının arazi ayağı ve buna etkiyen masraf unsurları (örnekleme noktası adedi, noktalarda harcanan süre, birim mesafe masrafı, vb) değerlendirilmiştir.

Masraf fonksiyonunda göz önüne alınan unsurlar; örnekleme noktası adedi, bu noktaların ölçüm sıklığı, noktalarda harcanan süre, birim mesafe masrafı, günlük ve saatlik personel masrafı ve araç kirası olarak belirlenmiştir. Bu bileşenler dikkate alınarak genelleştirilmiş masraf fonksiyonu üç bileşenden oluşmaktadır. Bunlar km başına tutar (J_p), saatlik masraf (J_L) ve günlük masraf (J_L)'tır.

Buna göre;

J = maliyet; i = Örnekleme noktası sayısı; L = Günlük masrafların toplamı; Q =Saatlik masrafların toplamı; P = km başına masraf olmak üzere;

$X[N(i+1)*1]$ =Örnekleme Noktalarında Harcanan Süre, $Y[M(i+1)*(i+1)]$ = Örnekleme Noktaları arasındaki mesafe matrisi ve $Z[M(i+1)*(i+1)]$ = Örnekleme Noktaları arası Ortalama Hız matrisi olarak tanımlanmıştır. Örnekleme noktaları arası mesafe matrisinin değerleri, örnekleme noktaları arası ortalama hız matrisinin değerlerine bölündüğünde "i+1" boyutlarındaki süre matrisine ulaşılmış olur. Km başına masraf (P) ile mesafenin $Y[M(i+1)*(i+1)]$ çarpımı ise, toplam mesafe masrafını oluşturur. Buna göre yola bağlı masraflar (5)no.lu bağıntı ile hesaplanabilir.

$$J_p = P * [Y(M_{1,a}) + Y(M_{b,c}) + Y(M_{c,d}) + \dots + Y(M_{r,s}) + Y(M_{s,1})] \quad (5)$$

Zaman matrisi $[T(M(i+1)*(i+1))]$, mesafe matrisinin $[Y(M(i+1)*(i+1))]$ değerlerinin, hız matrisinin $[Z(M(i+1)*(i+1))]$ değerlerine bölünmesiyle elde edilir:

$$t(M(i+1) * (i+1)) = \frac{Y[M(i+1)*(i+1)]}{Z[M(i+1)*(i+1)]} \quad (6)$$

$$T \begin{bmatrix} M_{1,1} & \dots & M_{1,(1+i)} \\ \dots & \dots & \dots \\ M_{(1+i),1} & \dots & M_{(1+i),(1+i)} \end{bmatrix} \quad (7)$$

Yolda geçen süre $[T(M_{(i+1)*(i+1)})]$ ve örnekleme noktalarında harcanan süre $[X(M_{1*(1+i)})]$ toplamı ile saatlik masrafın çarpımı, toplam çalışma süresine bağlı masrafı oluşturur;

$$J_Q = Q * [T(M_{1,a}) + X(N_{1,a}) + T(M_{b,c}) + X(N_{1,b}) + \dots + T(M_{c,d}) + X(N_{1,c}) + \dots + T(M_{r,s}) + X(M_{1,s})] \quad (8)$$

$$J_L = L \quad (9)$$

$$J_T = J_L + J_Q \quad (10)$$

Saatlik ve günlük masrafların toplamı süre masrafları(J_T), km başına masraf ise mesafe $J = J_T + J_p$ masraflarını(J_p) gösterir. Bu iki masrafın toplamı masrafların tümünü kapsar. (11)

Çizelge 1. DSİ 2. Bölge Müdürlüğü tarafından 2012 yılı itibari işletilen su kalitesi gözlem istasyonları

No:	İstasyon Koordinat	İstasyon adı:	İstasyon NO:
1	(517138D/4255619K)	Bornova kuyu no:1	(05-02-10-064)
2	(573264D/4268480K)	Gediz nehri urganlı	(05-02-00-002)
3	(529066D/4281731K)	Gediz nehri muradiye köprüsü	(05-02-00-005)
4	(502417D/4279243K)	Gediz nehri menemen köprüsü	(05-02-00-006)
5	(612668D/4279243K)	Gediz nehri demirköprü baraj aksı	(05-02-02-049)
6	(561427D/4290208K)	Sarıköz Pınarları memba	(05-02-11-011)
7	(584299D/4284466K)	Akpınar kaynakları	(05-02-11-011)
8	(536890D/4256548K)	Kemalpaşa Petas kuyu	(05-02-10-012)
9	(506289D/4273234K)	Menemen acil icmesuyu depo	(05-02-12-013)
10	(561195D/4260519K)	Tugutlu Belediye kuyusu	(05-02-10-015)
11	(531727D/4256619K)	Kemalpaşa Fruko tamek kuyu no:1	(05-02-10-017)
12	(579033D/4291719K)	Sarıköz Kaynağı besgoz	(05-02-11-019)
13	(530559D/4283154K)	Göksu Kaynağı Emme havuzu	(05-02-11-020)
14	(523614D/4262386K)	Nif Çayı/çiçekli Memba	(05-02-00-023)
15	(548730D/4274459K)	Gediz nehri hacihaliller mansap	(05-02-00-024)
16	(550086D/4270429K)	Nif çayı Çoban isa mansap	(05-02-00-026)
17	(545450D/4255791K)	Nif Çayı Nif 2 köprüsü	(05-02-00-030)
18	(538437D/4377486K)	Gediz nehri manisa köprüsü	(05-02-00-038)
19	(559978D/4262848K)	Alasehir çayı,Akhisar Köprüsü	(05-02-00-041)
20	(631471D/4295497K)	Demirçayı borlu memba	(05-02-00-047)
21	(726309D/4306252K)	Gediz nehri, Gediz 1 köprüsü	(05-02-02-043)
22	(592243D/4291029K)	Gördes barajı membağı	(05-02-00-054)
23	(598877D/4264070K)	Gediz nehri, Akhisar köprüsü	(05-02-00-055)
24	(589536D/4295045K)	Çağlayan barajı aksı	(05-02-00-056)
25	(726309D/4306252K)	Küçükler barajı çıkışı	(05-02-02-043)
26	(515475D/4275805K)	Gediz nehri emiralem regülatörü	(05-02-00-022)
27	(587015D/4332400K)	Cemal deresi germe regülatörü aksı	(05-02-00-067)
28	(584190D/4324458K)	Demirbüken deresi baslamıs barajı aksı	(05-02-00-060)
29	(580133D/4322849K)	Gürdük çayı gürdük barajı aksı	(05-02-00-061)
30	(573820D/4259142K)	Gürlevik deresi akçapınar barajı aksı	(05-02-00-062)
31	(571642D/4257472K)	Çıkrıkçı barajı aksı	(05-02-00-063)
32	(701863D/4298550K)	Dikendere baraj aksı	(05-02-00-065)
33	(719700D/4288925K)	Zep barajı aksı	(05-02-00-066)
34	(553243D/4250672K)	Yiğitler barajı Aksı	(05-02-00-069)
35	(525121D/4273909K)	Gürle Kaynak gölü	(05-02-01-068)
36	(526400D/4302590K)	Kobaklar Deresi Aks yeri	(05-02-00-070)

3.3 Su Kalitesi Örnekleme Faaliyetinin Gezici Satıcı Problemine Uyarlanması

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

Bölüm 3.2 de de görüldüğü üzere, toplam arazi masraflarına etkiyen en önemli faktör, kat edilen mesafedir. 20 iş gününe sahip bir aylık periyot 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, $t_j \leq 8$ 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 aşağıdaki adımlar gözetilerek uygulanmıştır:

1. Başlangıç noktasından ($a_{1,1}$) en yakın noktaya gidilir ($a_{1,c}$).
2. Bu iki nokta arasında geçen süreye $t(M_{1,c})$ o sırada bulunan noktada ölçümlerin yapılması için geçen süre eklenir $t(M_{1,c})$.
3. Bulunulan noktadan ilk noktaya olan geri dönüş süresi toplama eklenir $t(M_{c,1})$.
4. Noktalar arası geçen süre iki nokta arası mesafenin $y(M_{1,c})$, noktalar arasındaki ortalama hız değeri $z(M_{1,c})$ 'ne bölünmesiyle bulunur.
5. Bu toplamın günlük çalışma süresinden küçük olması, rotanın problem şartlarına uygun olduğunu gösterir. Toplam süre ($\sum T$), günlük çalışma saatinden küçük ise bu toplamdan ilk noktaya geri dönüş süresi çıkartılır ($\sum T - t(M_{c,1})$) ve bulunulan noktadan, bir sonraki en yakın noktaya hareket edilir.
6. Noktalar arası geçen süre $t(M_{d,e})$, noktalarda kaybedilen süre $x(N_{e+1})$ ve bulunulan noktadan ilk noktaya geri dönüş sürelerinin toplamı $t(M_{e,1})$,

günlük çalışma saatini geçinceye kadar ekleme işlemine devam edilir.

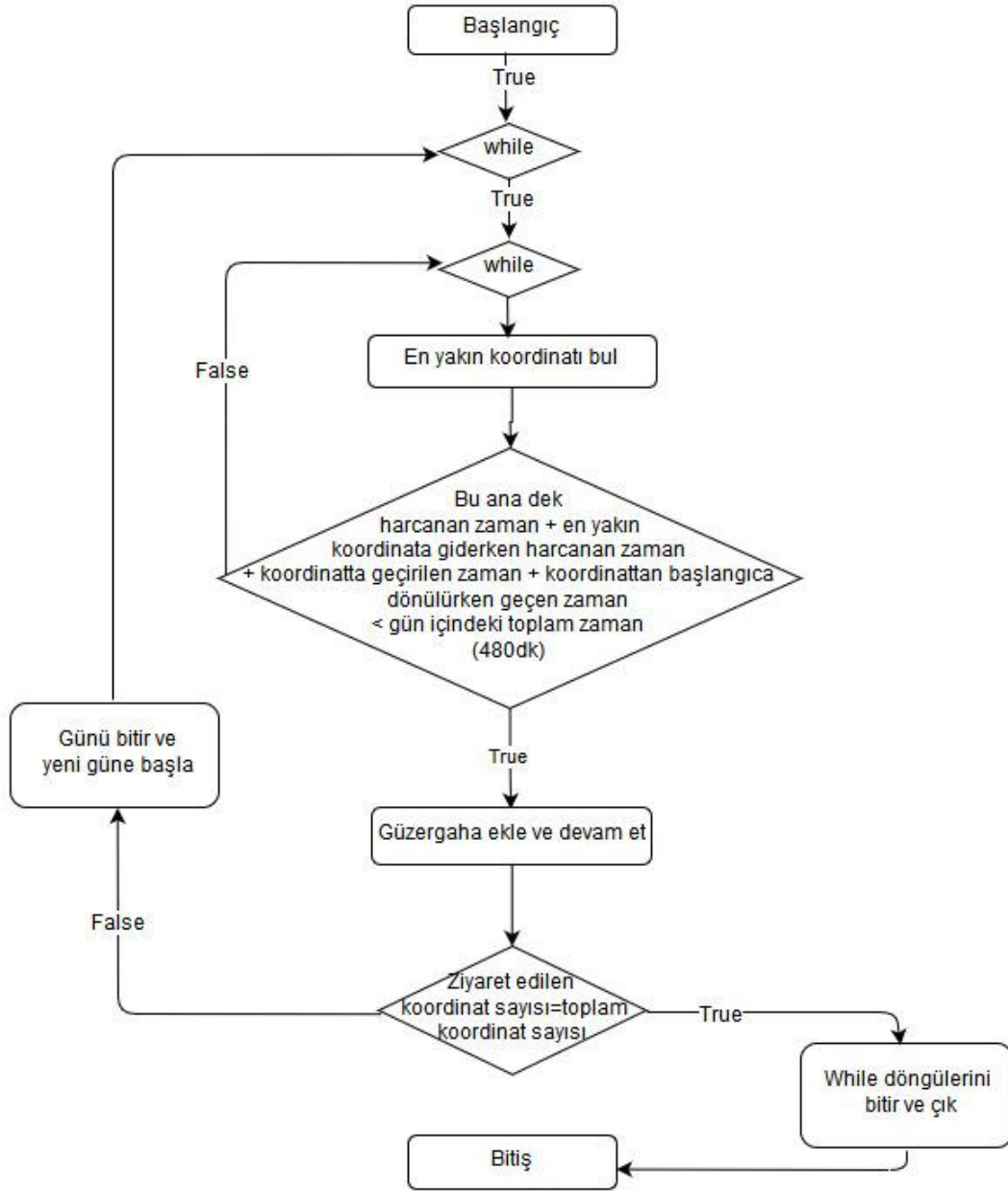
7. Toplam ($\sum T$), günlük çalışma saati (480dk)'ni geçtikten sonra ekleme işlemi durdurulur ve son noktaya gidiş süresi $t(M_{d,e})$, noktada geçirilen süre $x(N_{e+1})$ ve ilk noktaya dönüş süreleri toplamdan çıkartılır $t(M_{e,1})$.
8. Bir önceki nokta (a_{cd}) o günün sonuncu noktası olur. Güzergah içinde son kalan noktadan başlangıç noktasına geri dönülerek "günlük rota" tamamlanır ve gün bitirilir.
9. 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.
10. Bu işlem tüm koordinatlar tamamlanana kadar devam eder.

Yukarıda geçen adımların hesaplanması için Java programlama dilinde yazarlar tarafından yazılan bir bilgisayar programından yararlanılmıştır. Yazılan bilgisayar programında izlenen algoritmanın akış şeması Şekil 1 de görülmektedir. Bilgisayar programı 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 bağlı olmayan masraf girdileri olarak araziye iki memur ve bir şoförün çıktığı varsayılmıştır. 2012 yılı fiyatları ile iki memurun aylık brüt maaşları 2890 TL, ve buna bağlı olarak bir çalışanın hafta boyunca haftalık 40 saat çalıştığı göz önüne alınarak saatlik ücreti 18,125 TL bulunmuştur. İki çalışanın toplam saatlik ücreti 36,25 TL olarak hesaplanmıştır.

Araziye çıkan araç özel bir şirket tarafından DSİ'ye 140 TL fiyat ile tahsis edilmektedir. Aracı kullanan şoförün günlük yevmiyesi 30,08 TL, toplam günlük

araç masrafı 170,08 TL olarak oluşmuştur. Arazi aracının 100 km



Şekil 1. Java dilinde yazılan bilgisayar programının akış şeması.

mesafede 10 litre benzin yaktığı kabul edilmiştir. Benzinin litre fiyatı 2012 yılı itibari ile 4,50 TL'dir. Araç km başına 0,45 TL benzin 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 verdiğiinde 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 8 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 ½ saatlik üstlere 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. Rota'nın toplam uzunluğu ile birim mesafe masrafı çarpılarak gün içinde gidilen yolda ne kadar yakıt masrafı yapıldığı bulunmuştur. Günlük rota'nın toplam masrafı günlük yakıt masrafı ile günlük personel masraflarının toplamı ile bulunmuştur.

İlk günlük rota'nın 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 rota'nın masraf toplamını bulmuştur. Elde edilen günlük toplam masrafların toplamı En Yakın Komşu Algoritması ile elde edilen ve problemin kısıtlarını sağlayan çözümün toplam masrafını vermektedir.

3.4 Sonuçlar

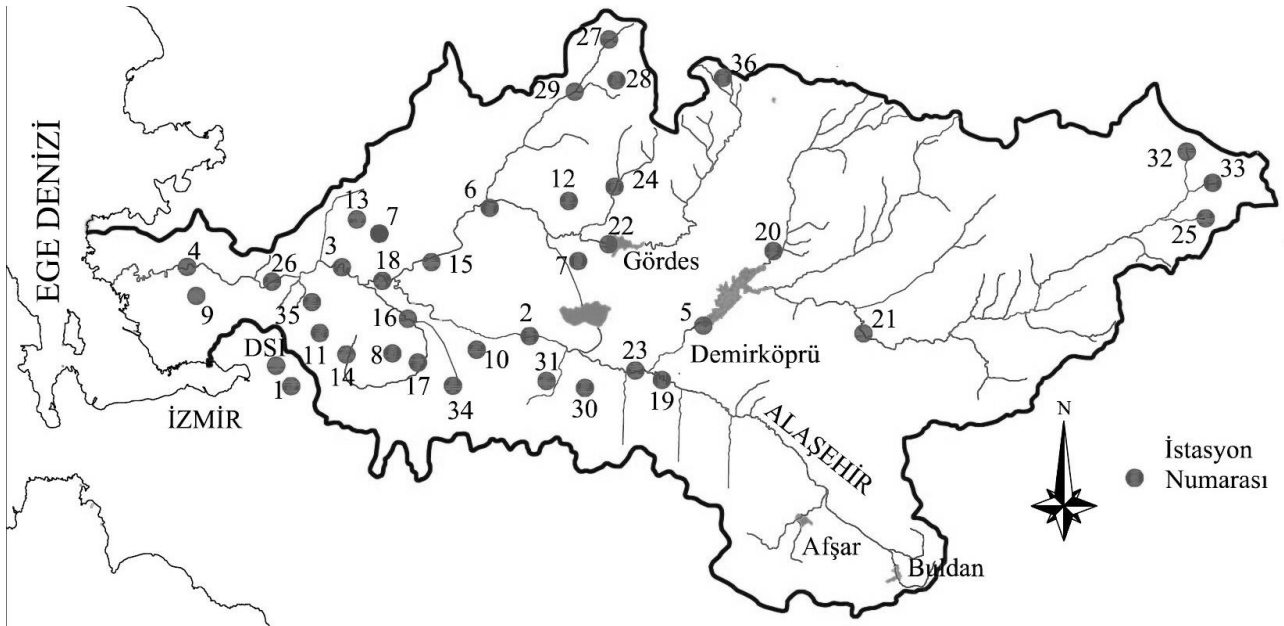
Program, örnekleme noktaları arası mesafeler, hız matrisi, örnekleme için harcanan süreler, birim

kilometre masrafı, ve saatlik ve günlük masraflar göz önünde bulundurularak yapılmış, hesapların sonucunda optimuma yakın bir güzergah elde edilmiştir.

Şekil 2 de verilen kalite gözlem noktaları dikkate alınarak elde edilen günlük rotalar yol ağı göz önüne alınarak belirlenmiştir.

3.4.1. Rotaların oluşturulması

Programla hesaplanan veriler dahilinde ilk gün için hesaplanmış olan güzergah DSİ 2. Bölge Müdürlüğü'nden başlar, ilk olarak "1" noktasına gider ve sırasıyla, "14", "11", "8", "17", "10", "34", "31", "30", ve "2" 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 günler hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda havzada bulunan numune alma noktalarına yapılacak ziyaretler 7 iş gününde tamamlanabilmektedir. Çizelge 2'de günlere göre izlenmesi gereken rotalar, toplam geçirilen zaman, kat edilen yol ve masraflar özetlenerek verilmiştir.



Şekil 2. Gediz Havzası'nda DSİ 2. Bölge Müdürlüğü tarafından 2012 yılında işletilen su kalitesi gözlem istasyonları

Çizelge 2. Günlere göre elde edilen güzergahlar, geçirilen süre, kat edilen mesafe ve masraflar.

Gün	Süre (saat)	GÜZERGAH	Mesafe (Km)	Yakıt (TL)	Personel (TL)	Toplam (TL)
1. Gün	7,81	DSİ> 1> 14> 11> 8> 17> 10> 34> 31> 30> 2> DSİ	208,40	93,78	283,21	547,07
2. Gün	7,53	DSİ> 9> 25> 32> 21> 23> DSİ	336,90	151,61	273,04	594,73
3. Gün	7,83	DSİ> 18> 16> 15> 6> 12> 7> 22> DSİ	280,20	126,09	283,80	579,97
4. Gün	6,16	DSİ> 35> 3> 13> 26> 4> 36> DSİ	233,60	105,12	223,23	498,43
5. Gün	7,22	DSİ> 29> 28> 27> 24> DSİ	320,30	144,14	261,83	576,05
6. Gün	7,14	DSİ> 19> 5> 20> DSİ	323,50	145,58	258,94	574,59
7. Gün	7,93	DSİ> 33> DSİ	456,00	205,20	287,58	662,86
					Aylık Toplam (TL)	4033,71

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışma, Gediz Havzası'nda daha önce karşılaşılan problemler göz önünde bulundurularak su kalite gözlem ağlarının maliyet açısından irdelenmesi amacıyla yapılmıştır. Araştırma sonucunda noktalar arasında birden fazla kriterlere uygun rotanın çıkartılabildiği görülmüştür.

Uygulamada tahlil ve laboratuvar masrafları genel giderler olarak düşünüldüğünden çalışmaya dahil edilmemiştir. Yapılan hesap sadece yol maliyeti üzerinedir. Örnekleme noktalarında geçirilen sürelerin aynı alınması ve birbirinden farklı alınması durumlarında güzergahların farklılık gösterdiği gözlemlenmiştir. Her noktada geçirilen sürenin otuz dakika olduğu kabul edildiği güzergah sekiz günlük, kuyularda on beş, nehir kenarlarında yirmi, mansap çıkışlarında otuz beş dakika olarak alındığında ise yedi gün sürmüştür. Bu durum örnekleme noktalarında geçirilen sürenin önemini göstermektedir.

Gözlem noktaları arasındaki mesafelerin ölçümü coğrafi bilgi sistemleri ile belirlenmiş olup, arazide ölçülmüş kesin değerler değildir bu nedenle gerçek değerler ile dijital haritalardan elde edilen veriler arasında farklılıklar olabilir.

Çalışmada kullanılan yazılım her seferinde tek bir güzergahı sonuç olarak vermektedir. Elde edilen bu güzergahın uygulayıcı kurum ve çalışanları tarafından irdelenip alternatiflerinin de değerlendirilmesi gereklidir. Tespit edilen günlük rotalar en yakın komşu algoritması ile belirlenmiş olup, kaba kuvvet yöntemi ile çözüm aranmış olsa idi daha iyi bir alternatifin var olabileceği unutulmamalıdır. Ancak nokta sayısının fazla olması kaba kuvvet yönteminin uygulanmasını olanaklı kılmamaktadır. Çalışmada ele alınan 36 noktanın optimum güzergahını tayin için Bölüm 2.1'de de belirtildiği üzere $35!/2 = 1,03 \times 10^{40}$ adet işlem yapılması gereklidir. En yakın komşu algoritması ile işlem sayısı oldukça düşmekte ve kısıtları sağlayan

çözümlerden birine ulaşılması oldukça hızlı olmaktadır.

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 maliyet analizine bir ön yaklaşım niteliği taşımaktadır. İlerideki çalışmalarda mesafe üzerinden hesap yerine mesafelerin ve örnekleme noktalarında kaybedilen zamanın ekonomik karşılığı 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 artırılmasını 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.

Teşekkür

Yazarlar, çalışmada kullanılan verilerin temininde yardımcı olan DSİ 2. Bölge Müdürlüğü çalışanlarına, ayrıca, programın yazılmasında destek ve yardımlarını esirgemeyen Mert Ahmet Güneş'e şükranlarını sunar.

Kaynaklar

- Çetinkaya C.P., Özkul S., 2007. The evaluation of DSİ's water quality monitoring network performance in Gediz Basin in terms of sampling intervals. Proceedings of International Congress on River Basin Management, Ch.III, 317-333
- 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., Çetin C., Harmancıoğlu, N.B., Akyar H., 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. *Ç.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, **Cilt 19, Sayı 3, 2010**, 423-438
- Dantzig G., Fulkerson R., ve Johnson S., 1954. "Solution of a large-scale traveling salesman problem", *Operations Research*, **2**, 393-410.
- Evans J. R., Minieka E., 1992. Optimization Algorithms for network and Graphs. Marcel Dekker Inc., cilt 2 317-328
- Harmancıoğlu, N.B., Fistikoglu, O., Ozkul, S.D., Singh, V.P., and Alpaslan, N., 1999. Water quality monitoring network design. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands.
- İcaga, Y., 2005. Genetic algorithm usage in water quality monitoring networks optimization in Gediz (Turkey) River Basin. *Environ. Monit. Assess.*, **108**, 261–277, doi: 10.1007/s10661-005-4328-z.
- İçaga, Y., 1998. Spatial optimization of hydrometric data networks by system analysis techniques. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 102.

İnternet kaynakları

- 1- <http://www.suyonetimi.gov.tr> (04.05.2013)