

Petrol ve Doğal Gaz Platformlarının Optimal Yerleştirilmesi ve Entegrasyonu Problemi Üzerine

Elnur NURİ*¹

¹Ege Üniversitesi, Fen Fakültesi, Matematik Bölümü, 35100, İzmir

(Alınış / Received: 04.02.2017, Kabul / Accepted: 17.06.2017, Online Yayınlanma / Published Online: 16.08.2017)

Anahtar Kelimeler

Optimal yerleştirme ve entegrasyon,
Matematiksel modelleme,
Veri kümeleme,
Minimum kapsayan ağaç,
K-Means algoritması,
Kruskal algoritması

Özet: Bu çalışmada, denizde yer alan petrol ve doğal gaz yataklarının yönlü kuyularla işlenmesi için platformların optimal yerleştirilmesi ve onların entegrasyonu problemi ele alınmış, ilgili problemin matematiksel modelleri incelenmiş ve bu modellerin eksik yanları göz önüne alınarak daha kapsamlı bir matematiksel model geliştirilmiştir. Önerilmiş model için Graflarda Minimum Kapsayan Ağaç problemi için geliştirilmiş Kruskal ve Veri Kümeleme problemlerinde kullanılan K-Means algoritmalarına dayanarak bir yaklaşık çözüm algoritması hazırlanmış ve yukarıda adı geçen problemi çözmek için C# programlama dilinde bir yazılım sistemi geliştirilmiştir.

On the Problem of Optimal Placement and Integration of Oil and Gas Platforms

Keywords

Optimal placement and integration,
Mathematical modelling,
Clustering,
Minimum spanning tree,
K-Means algorithm,
Kruskal algorithm

Abstract: In this study, the problem of optimal placement of offshore oil and gas platforms and bounding them with each others is studied, mathematical models of the problem analyzed and considering lacking parts of the models, a new extensive model is submitted. Based on the model with regards to the Kruskal algorithm which is improved for the Minimum Spanning Tree problem and k-means that is used for clustering problems, a solution algorithm is prepared and a software system is developed in C# programming language.

1. Giriş

Günümüzde karadaki petrol ve doğal gaz rezervlerinin büyük çoğunluğu tükenmiş durumdadır. Bu nedenle denizdeki rezervlerin işlenmesi ekonomik açıdan büyük önem taşımaktadır [1].

Denizdeki petrol ve doğal gaz yataklarına yönlü güzergahlarla erişilmesi için kazılması gereken kuyuların sayısı ve bulunduğu koordinatlar jeoloji uzmanları tarafından belirlenmektedir. Sonraki süreçte ise kazı işlemlerinin yapılması, petrol ve doğal gaz üretimi için platformlar kurulması ve bu platformların iletişim ve ulaşım hatları ile birleştirilmesi gerekmektedir [2]. Bilindiği üzere bu işlemler çok yüksek maliyet gerektirmektedir. Bu nedenle bütün bu sürecin optimal bir şekilde gerçekleştirilmesini konu alan problemler modellemek, bu problemleri çözmek için verimli algoritmalar geliştirmek ve bu algoritmaları kullanan yazılım sistemleri tasarlamak büyük önem taşımaktadır [3].

Bu çalışmada denizde yer alan petrol ve doğalgaz yataklarının yönlü kuyularla işlenmesi için platformların optimal yerleştirilmesi ve onların birbirleri ile birleştirilmesi problemi ele alınarak, ilgili problemin matematiksel modelleri incelenmiş, bu modellerin eksik yanları göz önüne alınarak kesin verilere dayanan daha kapsamlı bir matematiksel model geliştirilmiştir. Bu modele uygun rasyonel çözümü bulmak için Veri Kümeleme Problemleri'nde kullanılan K-Means ve Graflarda Kapsayan Ağaç Problemi için geliştirilmiş Kruskal algoritmalarına dayanarak yaklaşık çözüm algoritması önerilmiş, bu algoritmayı gerçekleştiren bir bilgisayar yazılım sistemi tasarlanmıştır.

Makale 5 bölüm ve sonuçtan oluşmaktadır. Giriş kısmında, problemin önemine değinilmiş ve yapılmış işlerin kısa özeti verilmiştir. İkinci bölümde, ele alınan problemin formülasyonu verilmiştir. Üçüncü bölümde, problemin matematiksel modellerine değinilmiştir. Dördüncü bölümde, ele alınan problem için önerilmiş matematiksel modellere değinilmiştir.

*İlgili yazar: nurielnur@gmail.com

Beşinci bölümde, kesin verilere dayanan matematiksel model için yaklaşık çözümü bulmak üzere önerilen yöntem açıklanmıştır. Önerilmiş yöntem veri kümeleme problemlerinde kullanılan K-Means ve graflarda kapsayan ağaç problemi için geliştirilmiş Kruskal Algoritmalarına dayanır, bu nedenle önce bu algoritmalara değinilmiş, sonra ise önerilen algoritma açıklanmıştır.

2. Problemin Formülasyonu

Bilindiği üzere, denizdeki petrol ve doğal gaz kuyularının yönlü güzergahlarla kazılması planlandığında belirli merkezlerde platformlar kurulur ve bu platformların her birinden belirli sayıda yönlü güzergahlarda kuyular kazılır [1].

Burada her bir kuyu yalnız bir platforma bağlı olarak kazılabilir. Bu durumda problemin amacı bir platformdan diğer platformlara ve kara parçasına (veya zaten kurulu olan bir platforma) iletişimin ve ulaşımın sağlanması için gereken toplam maliyeti indirmektedir. Bunun için aşağıdaki sorulara cevap aranmalıdır:

- Minimum maliyet için platformlar denizin hangi bölgesinde kurulmalıdır?
- Hangi kuyu hangi platformdan kazılmalıdır?
- Platformların birbirleri ve kara parçası (veya zaten kurulu platformlar) ile birleştirilme şekli nasıl olmalıdır?

İlk bakışta en az maliyet için platform sayısının azaltılması gerektiği düşünülebilir. Fakat bu her zaman doğru değildir. Çünkü platform sayısının azaltılması, bu platformlar arasındaki ve kazılacak kuyulara kadar olan mesafelerin artması anlamına geleceğinden, bunları birbirlerine bağlamak için gereken ulaşım ve iletişim hatlarının maliyetlerinin artmasına sebep olacaktır. Bu yüzden amaç yalnızca platform maliyetini azaltmak değil, aynı zamanda iletişim ve ulaşım hatlarıyla beraber toplam maliyeti azaltmaktır.

Amaç, denizde yer alan petrol ve doğal gaz yataklarının yönlü kuyularla işlenmesi için platformların optimal yerleştirilmesi ve bunların birbirleri ile birleştirilmesi için maliyeti minimum yapan matematiksel model hazırlayarak, bu modele uygun rasyonel çözümü bulmak için yaklaşık çözüm algoritması hazırlamak ve bu algoritmayı gerçekleştiren bir bilgisayar yazılım sistemi tasarlamaktır.

3. Problemin Matematiksel Modellemesi

Bu bölüm 2 kısımdan oluşmaktadır. İlk kısımda petrol ve doğal gaz kuyularının yerleştirilmesi ve bunların optimal şekilde kazılması ile ilgili çalışmalara yer verilmiştir.

İkinci kısımda ise petrol ve doğal gaz platformlarının denizde optimal yerleştirilmesi ve onların entegrasyonu ile ilgili çalışmalara değinilmiştir.

3.1. Petrol ve doğal gaz kuyularının yerleştirilmesi ile ilgili çalışmalar

Güyağüler ve Horne [4], kuyu yerleştirme optimizasyonu ile ilgili yeni bir algoritma sunmuşlardır. Bu çalışmada petrol, doğal gaz ve su kuyularının optimal yerlerinin bulunması için gereken rezervuar ve sıvı özellikleri, kuyu ve yüzey ekipmanlarının özellikleri ve ekonomik parametreler gibi birçok değişkenin değerlendirilmesine olanak sağlayan bir optimizasyon yaklaşımı sunulmuştur. Önerilen yöntem genetik algoritma (GA) yaklaşımı temelli hibrit bir metottur.

Abukhamsin [5], yapmış olduğu tez çalışmasında "gerçek sahada kuyu dizaynı ve yerleşiminin optimizasyonu" problemini ele almıştır.

Bu çalışmanın amacı Suudi Arabistan'da olan gerçek bir sahaya optimum kuyu yerleşimi, kuyu tipi, yönlü kuyu sayısı, kuyu ve yanal kuyu yörüngesi belirleyecek olan verimli bir optimizasyon tekniği sunmaktır. Bu çalışmada, yüksek zorluk dereceli, çok boyutlu ve doğrusal olmayan problemlerdeki yüksek başarı yüzdesi nedeniyle Genetik Algoritma yaklaşımı tercih edilmiştir. Çözümde kullanılan her iki Genetik Algoritma tipi; ikili GA (bGA) ve sürekli GA (cGA), başlangıç çözümlere oranla önemli bir gelişim göstermiştir. Fakat bu çalışmada probleme daha dirençli olacağı düşünülerek cGA kullanılmıştır [5].

Nasrabadi vd. [6], tarafından yapılan bir başka çalışmada doğal gaz ve gaz-kondensat rezervuarları üzerine özel odaklı bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada kuyu yerleştirme optimizasyonu üzerine bir literatür taraması yapılmıştır. Özellikle optimizasyon algoritmaları, rezervuara müdahale modeli, belirsizliği idare etme yaklaşımı, ve gaz/gaz-kondensat sahalarının optimal yerleştirilmesi üzerine ayrıntılı analizler çalışmanın kapsamını oluşturmaktadır. Yapılan çalışmada ayrıca güncel yaklaşımlardaki başlıca sorunlar ve bu sorunlara çözüm getirebilecek fikirlerin gelecek çalışmalarının konusu olacağı ifade edilmiştir [6].

Babayev [7], çok tabakalı petrol ve gaz sahalarında optimal kazma sürelerinin matematiksel modelleri üzerine bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada çok tabakalı petrol ve gaz sahalarının optimal kontrolü problemi formüle edilmiştir: Teknolojik kısıtlamaları ve gereksinimleri karşılamak için, verilen planlama ufkuna göre her tabakada kazılacak optimal kuyu sayısını ve tabakalar arasında transfer edilecek sayıyı zamana bağlı fonksiyon olarak belirlemek, kullanılan ünite başına minimum toplam maliyeti sağlamak amaçlanmıştır. Optimal kontrol problemi ayrılabilen içbükey fonksiyonlar ve ayrılabilen içbükey kısıtlar içeren, lineer olmayan kesirli amaç fonksiyonlu matematiksel programlama problemi formunda gösterilmiştir. Petrol ve gaz sahalarının belirli özelliklerini tanımlayan kısıtlar dikkate alınmıştır. Çözüm süreci ve uygulamaları tartışılmıştır [7].

Ayda-zade ve Bagirov [8], çalışmalarında ise yeni kazılan kuyuların yerleştirilmesi ve petrol çıkarılma rejiminin optimizasyonu problemi ele alınmıştır.

3.2. Platformların optimal yerleştirilmesi ile ilgili çalışmalar

Petrol rezervlerine yönlü güzergahlarla kuyu kazılması için platformların optimal yerleştirilmesi probleminin matematiksel modeli [9] çalışmasında verilmiştir.

Bu modeli kısaca açıklayalım: Ele alınan rezervde n tane kuyunun kazılması gerektiğini varsayalım. Bu kuyuları j ($j = \overline{1, n}$) ile gösterelim. Deniz platformlarının kurulması için mümkün olan m tane merkezin seçilmiş olduğunu kabul edelim ve bunları i ($i = \overline{1, m}$) ile gösterelim. Doğal olarak, bu merkezlerin hepsinde platform kurulmayacaktır.

j numaralı kuyunun i numaralı platformdan kazılmasının maliyetini c_{ij} ($i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}$) ile gösterelim. Eğer denizin derinliği ve platformun kapladığı eğim açısı verilirse, o zaman c_{ij} maliyetini bilinen yöntemlerle hesaplayabiliriz. i numaralı merkezde platformun kurulum maliyetini a_i ile gösterelim.

Bu maliyet, platformdaki kazılacak kuyuların sayısına bağımlı olmayan iki kısımdan oluşur: $a_i = a_i' + a_i''$. Burada a_i' platformun kurulum maliyetini, a_i'' platformun tam montajı için gereken maliyeti gösterir.

O halde, i numaralı platformun kurulması durumunda, bu platformdan kazılacak olan kuyuların toplam maliyetine, a_i ($i = \overline{1, m}$) maliyeti de eklenecektir.

Her platformun belli bir kapasitesi vardır. O halde, i numaralı ($i = \overline{1, m}$) platformdan kazılacak kuyuların maksimum sayısını p_i ($i = \overline{1, m}$) ile gösterelim.

x_{ij} ve y_i değişkenlerini aşağıdaki şekilde belirleyelim:

Eğer j . Kuyu i . platformdan kazıldıysa x_{ij} 1 değerini, aksi durumda 0 değerini alır.

Eğer i . platform kurulduysa y_i 1 değerini, aksi durumda 0 değerini alır.

O halde platformlardan kuyuların kazılması için gereken maliyet $\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}$ ve platformların

kurulumu için gereken maliyet ise $\sum_{i=1}^m a_i y_i$ şeklinde olur.

Her bir kuyu yalnız bir platformdan kazılmalıdır. Bunu aşağıdaki kısıtlarla garantileyebiliriz:

$\sum_{i=1}^m x_{ij} = 1, j = \overline{1, n}$ i . platformdan en fazla p_i ($i = \overline{1, m}$) kadar kuyu kazılmasını temin etmek için aşağıdaki kısıtların sağlanması gerekir: $\sum_{i=1}^m x_{ij} \leq p_i \cdot y_i, i = \overline{1, m}, x_i = \sum_{j=1}^n x_{ij}$ bir i platformundan kazılacak kuyuların sayısını gösteriyor, o halde $c_i = f(x_i) = a_i + k_i x_i$ dir. Burada k_i , i . platformdan kazılacak kuyuların sayısına bir eklendiği zamanki marjinal maliyet artışına denk gelir.

Böylece anlatılan problemin matematiksel modeli aşağıdaki gibi olur :

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} + \sum_{i=1}^m a_i y_i \rightarrow \min \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = 1, j = \overline{1, n} \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq p_i \cdot y_i, i = \overline{1, m}, \quad (3)$$

$$x_{ij} = 1 \vee 0, y_i = 1 \vee 0, i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n} \quad (4)$$

Memmedov vd. [10] çalışmasında bu modele uygun bir çözüm algoritması önermişlerdir.

Memmedov vd. [11] çalışmasında ise bu model geliştirilerek platformların birleştirilmesi de göz önüne alınmıştır ve bunun için amaç fonksiyonuna $\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^m l_{ik} y_i y_k$ toplamı ilave edilmiştir. Burada l_{ij} i . platformun j . platform ile birleştirilmesi (iletişim ve ulaşım maliyetleri toplamı) için gereken masraftır. Böylece amaç fonksiyonu aşağıdaki şekilde değişmiştir.

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} x_{ij} + \sum_{i=1}^m a_i y_i + \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^m l_{ik} y_i y_k \rightarrow \min \quad (5)$$

Yukarıda da görüldüğü gibi (1)-(4) modeli 0-1 değişkenli doğrusal kombinatoriyal optimizasyon problemidir. (2)-(5) modeli ise 0-1 değişkenli doğrusal olmayan kombinatoriyal optimizasyon problemidir. Memmedov vd. [11] çalışmasında ise (2) - (5) probleminin çözümü için algoritma da önermişlerdir.

Yukarıdaki problemin bazı parametrelerinin bulanık veriler olduğu durumun matematiksel modeli ve bu durumda problemin çözümü için interaktif bir algoritma [12] çalışmasında önerilmiştir.

Yukarıdaki (2)-(5) modelinde platformlarının birleştirilme şekli göz önüne alınmamıştır. Aşağıdaki bölümde platformların birleştirme şekli de göz önüne alınarak yeni matematiksel modeller geliştirilmiştir.

4. Önerilen Modeller

Bu bölümde denizde petrol ve doğal gaz platformlarının optimal yerleştirilmesi ve entegrasyonu problemi için önerilmiş modele değinilmiştir. Yukarıda verilen (2)-(5) modelinde kullanılan değişkenlerden öneceğimiz modellerde de yararlanacağız. Bunlara ek olarak modelde birleştirme maliyetini göstermek için z_{ij} değişkenleri aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır:

Eğer j . platform i . platform ile birleştirildiyse z_{ij} 1 değerini, aksi durumda 0 değerini alır.

0 zaman, platformların birbirleri ile birleştirme maliyeti $\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^m l_{ik} z_{ik}$ olacaktır. Açıktır ki, herhangi iki platformun birleştirilebilmesi için bu platformların her ikisinin de kurulu olması gerekiyor: $z_{ik} \leq y_i \cdot y_k$, $i, k = \overline{1, m}$. Öte yandan, platformlar en az bir platform aracılığıyla kıyıya (veya önceden kurulu olan platforma) birleştirilmelidir. Kıyıyı (veya önceden kurulu olan platformu) sembolik olarak 0. platform olarak işaretlersek: $\sum_{i=1}^m z_{0i} = 1$ olması gerekiyor. Ayrıca, her bir platformun en az bir başkasıyla birleştirilmesi gerekiyor: $\sum_{i=1}^m z_{ik} \geq y_k$, $k = \overline{1, m}$. Böylece, anlatılan problemin matematiksel modeli aşağıdaki gibi olacaktır:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} + \sum_{i=1}^m a_i y_i + \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^m l_{ik} z_{ik} + \sum_{i=1}^m l_{0i} z_{0i} \rightarrow \min \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = 1, \quad j = \overline{1, n} \quad (7)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq p_i \cdot y_i, \quad i = \overline{1, m} \quad (8)$$

$$z_{ik} \leq y_i \cdot y_k, \quad i, k = \overline{1, m} \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^m z_{0i} = 1 \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^m z_{ik} \geq y_k; \quad k = \overline{1, m} \quad (11)$$

$$x_{ij} = 1 \vee 0, \quad y_i = 1 \vee 0, \quad z_{ik} = 1 \vee 0, \quad i, k = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, n}. \quad (12)$$

Görüldüğü gibi (6) – (12) problemi 0-1 programlama problemidir [13]. Ama yukarıdaki (9) koşulunu $z_{ik} \leq \frac{1}{2}(y_i + y_k)$, ($i, k = \overline{1, m}$) olarak değiştirsek model doğrusal olur [14].

(2) - (5) modelinde platformların birleştirilme şekli göz önüne alınmamıştır, ama (6) – (12) modelinde platformların birleştirilmesinin minimal kapsayan ağaç şeklinde olması istenilmiştir.

Önerilen modelin doğruluğunu kontrol etmek için birkaç küçük boyutlu problem GAMS'da modellenerek NEOS'da MILP çözücüsü ile hesaplama denemeleri yapılmıştır.

Problem, graf teorisi açısından "Minimal Örtün Ağaç" (Minimum Spanning Tree) ile "Basit Yerleştirme (Simple Location)" problemlerinin bir model şeklinde birleşmesidir ve ikinci problemin NP-zor olduğu bilinmektedir [14]. Bu nedenle problemi çözmek için aşağıda yaklaşık çözüm yöntemi önerilmiştir.

5. Problemin Çözüm Yöntemi

Denizde kazılacak olan kuyuların yerlerinin saptanması ve sayılarının belirlenmesinden sonra, maliyeti minimuma indirmek için platformları optimum sayıda yapmak ve platformları tüm kazılacak kuyuları kapsayabilecek şekilde yerleştirmek gerekiyor. Bu nedenle kazılacak olan kuyuların optimum şekilde kümelenebilir. Bu kümeleme işlemini yapmak için k -means algoritmasından yararlanır. Optimum küme sayısını belirlemek için algoritma $k = 2$ den başlayarak karar vericinin belirlediği sayıya kadar tekrarlı şekilde çalıştırılır ve bulunan birkaç en iyi sonuç (kaç adet sonucun hafızada tutulacağına kullanıcı karar vermektedir) kaydedilir ve son olarak bu çözümler içerisinde karar vericinin seçtiği çözüm *rasyonel çözüm* olarak kabul edilir.

Bundan sonra seçilmiş platformların en az masrafla birbirleriyle ve kara ile birleştirilmesi gerekmektedir. Bu problemi çözmek için ise minimum kapsayan ağacı belirleyen Kruskal algoritmasından yararlanır.

5.1. K-Means Kümeleme Algoritması

K -means kümeleme yönteminde amaç N adet veri nesnesinden oluşan bir veri kümesini giriş parametresi olarak verilen k adet kümeye bölümlenektir. Gerçekleştirilen bölümlenme işlemi sonunda elde edilen kümelerin, küme içi benzerliklerinin maksimum ve kümeler arası benzerliklerinin ise minimum olması beklenmektedir. Büyük ölçekli veri setlerinde bile uygulama kolaylığı sebebiyle en sık kullanılan kümeleme algoritmalarındandır. " K " değeri algoritma çalıştırılmadan önce genellikle konunun uzmanı tarafından öngörülen pozitif bir tam sayı değeridir.

Her bir aşamada yeni küme desenleri oluşur. Her bir nokta kendisine en yakın merkeze atanacak şekilde toplam uzaklık fonksiyonu minimize edilmeye çalışılır ve k -means algoritması karesel hatayı en küçük yapacak olan k adet kümeyi tespit etmeye çalışmaktadır. K -means ile küme içi benzerlik büyük, kümeler arası benzerlik ise küçük olduğu sürece kümelenmenin doğruluğundan söz edilebilir. Problem NP-zor olmasına rağmen k -means algoritması bir iteratif (tekrarlayıcı) yaklaşım ile genelde iyi bir çözüm verir [15].

Algoritma önce k parametresini yani küme sayısını belirler. k küme sayısı iki şekilde belirlenir: Birincisi nesnelere arasından küme sayısı için rastgele k adet nokta seçilir. İkincisi ise tüm nesnelere ortalaması alınarak k küme sayısı bulunur.

Her iki şekilde de hesaplanan k parametresi başlangıçta kümenin ortalamasını (merkezini) temsil etmektedir. Veri setinde bulunan her bir nesne kendisi ile küme ortalaması arasındaki uzaklığa göre kendisine en çok benzeyen kümeyle atanır ve tekrar her bir küme için küme ortalamaları hesaplanır. Kriter fonksiyonu ortak bir noktada birleşene kadar bu iterasyon devam eder. Genellikle kriter fonksiyonu Denklem 13 şeklinde tanımlanmaktadır [15].

$$E = \sum_{i=1}^k \sum_{p \in C_i} |p - m_i|^2 \quad (13)$$

Burada p ve m_i çok boyutludur ve
 E : Veri tabanında bulunan bütün nesnelere için karesel hata toplamını,
 p : Belli bir nesneyi temsil eden noktayı,
 m_i : C_i kümelerinin ortalamasını temsil etmektedir.
 K -means algoritması aşağıdaki şekilde özetlenebilir [15]:

Girdi: n nesneden oluşan veri tabanı ve k küme sayısı
Çıktı: Hata kareler toplamını minimum yapan k küme takımı

Adım 1: Başlangıç küme merkezleri belirlenir.
Adım 2: Her nesnenin seçilen merkez noktalara olan uzaklığı hesaplanır. Elde edilen sonuçlara göre tüm nesnelere k adet kümeden kendilerine en yakın olan kümeyle atanır.
Adım 3: Oluşan kümelerin yeni merkez noktaları o kümedeki tüm nesnelere ortalaması değeri ile değiştirilir.
Adım 4: Merkez noktalar değişmeye kadar Adım 2 ve Adım 3 tekrarlanır.

K -means kümeleme algoritmasının hesaplama karmaşıklığı $O(tkn)$ 'dir, bu nedenle de oldukça kullanışlı bir algoritmadır. Burada; n : nesne sayısı, k : küme sayısı, t : tekrar (iterasyon) sayısıdır. Ayrıca algoritma, büyük veri setleri için oldukça etkilidir. Genellikle lokal optimum ile son bulur. Sadece sayısal veriler için geçerli bir algoritmadır ve elde edilen kümeler dışbükey şekillere sahiptir [15].

5.2. Kapsayan ağaç problemi

Kapsayan Ağaç (Spanning Tree), bir grafta bütün düğümleri örten ağaç şeklinde bir altgraftır. Ağaç yapısında olduğundan çevre içermez. Ele alınan bir grafta birden fazla kapsayan ağaç bulunabilir. Ağırlıklı bir grafta en az toplam maliyete sahip olan en küçük kapsayan ağaç *Minimum Kapsayan Ağaç (Minimum Spanning Tree)* olarak adlandırılır [14].

En küçük kapsayan ağacı bulmak için geliştirilmiş açgözlü yöntemler grafta dolaşırken sonraki düğümün belirlenmesinde o an için eldeki seçenekler içerisinde en iyisini (en küçük ağırlığa sahip olanını) seçerler. *Açgözlü tabanlı yöntemler* yerel minimuma yakınsayan yöntemler oldukları için her zaman global minimumu bulmayı garanti etmezler. Fakat bazı problemler için Açgözlü Yöntemler de en iyi sonuca götürebilir. Minimum Kapsayan Ağaç Problemi de bu problemlerden biridir [14].

Açgözlü tabanlı algoritmalarından olan Prim ve Kruskal algoritmaları minimum kapsayan ağaç problemini çözmek için geliştirilmişlerdir.

5.2.1 Kruskal algoritması

Kruskal algoritmasında graf üzerindeki düğümler, aralarında bağlantı olmayan N tane bağımsız küme gibi düşünülerek her bir küme tek tek maliyeti en az olan kenarlarla çevre oluşturmayacak şekilde birleştirilir. Burada amaç düğümler arasında bağlantının olduğu tek bir küme oluşturmaya çalışmaktır. Küme birleştirme işleminde en az maliyetli olan kenardan başlanılır, daha sonra kalan kenarlar arasından en az maliyetli olan seçilir [14].

5.3 Problemin çözüm algoritması

Yukarıda söylediğimiz gibi (6)-(12) problemi NP-zor sınıftadır. NEOS'da MILP çözücüsü ile yaptığımız hesaplama denemelerinde problemin boyutu arttıkça hesaplama zamanının üstsel şekilde arttığı gözlemlenmiştir. Bu nedenle problemin çözümü için zaman karmaşıklığı $O(m^2n)$ olan yöntem aşağıda önerilmiştir.

Öncelikle verilen noktaların kaç merkezde kümeleneceği k -means algoritması kullanılarak bulunur ve Kruskal algoritması ile dış nokta ve merkezleri kapsayan minimum ağaç belirlenir, oluşan durumların toplam maliyet analizi yapıldıktan sonra en düşük maliyetli olan birkaç çözüm seçilir ve son olarak karar vericinin bu çözümlerin içerisinde subjektif uzman bilgileri ve deneyimlerini kullanarak daha gerçekçi kararlar vermesi sağlanabilir.

Yukarıda anlattığımız prosedürü gerçekleştiren algoritmayı aşağıdaki şekilde yazabiliriz:

Adım 1: Kazılacak kuyuların koordinatları girilir (n tane).

Adım 2: Kurulacak platformların mümkün yerlerinin koordinatları girilir (m tane).

Adım 3: Problemin rasyonel çözümlerinin içerisinde en iyi kaç tanesinin bellekte tutulacağı belirlenir (l tane).

Adım 4: K-means algoritmasını n tane nokta ve k merkez için $k = 2$ 'den başlayarak $k = m$ değerine kadar çalıştırılır. Sonra her k için Kruskal algoritması ile en iyi birleştirme maliyeti de toplam maliyete eklenir ve bellekte maliyeti en iyi olan l tane çözüm tutulur.

Adım 5: Karar verici bu l çözümün içerisinde subjektif uzman bilgileri ve deneyimlerini kullanarak en uygun olan çözümü seçer.

6. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada, denizde yer alan petrol ve doğal gaz yataklarının yönlü güzergaha sahip kuyularla erişilebilmesi için platformların optimal yerleştirilmesi ve onların birleştirilmesi problemi ele alınarak bu problemle ilgili matematiksel modeller incelenip, analiz edilmiştir. İncelenen matematiksel modellerin uygulamada eksik-yetersiz kalan kısımları dikkate alınarak kesin verilere dayanan yeni bir matematiksel model geliştirilmiştir.

Veri kümeleme problemlerinde kullanılan k-means ve graflarda minimum kapsayan ağaç problemi için geliştirilmiş Kruskal algoritmalarına dayanarak önerilen model için yaklaşık çözüm algoritması hazırlanmış ve önerilen algoritma C# programlama dilinde bir yazılım sistemi şeklinde gerçekleştirilmiştir. Küçük boyutlu problemler için NEOS'da ve önerilmiş algoritmayı gerçekleştiren programla yapılan hesaplama denemelerinde elde edilen çözümlerin aynı olduğu görülmüştür.

Bazı parametreler (yönlü kazma açısının en büyük değeri, kazma masrafları vd.) bulanık sayılar şeklinde verilirse, buna uygun olarak hazırlanacak program sisteminin performansı daha yüksek olur, esnekliği ve gerçek hayat problemine uygunluğu da artar [3,12]. Böylece, karar vericinin subjektif uzman bilgileri ve deneyimlerini kullanarak daha gerçekçi kararlar vermesi sağlanabilecektir. Yukarıda söylediğimiz nedenlerle hazırlanacak interaktif yazılım sisteminde bazı parametrelerin bulanık olduğu durumlar da göz önüne alınarak sistemin esnekliğinin artırılması düşünülmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma Ege Üniversitesi Rektörlüğü Araştırma Fonu tarafından 2016/Fen/056 numaralı proje olarak desteklenmiştir. Katkılarından dolayı Araştırma Fonuna, Prof. Dr. İbrahim KOCABAŞ'a ve Doç. Dr. Burak ORDİN'e teşekkürlerimi sunarım.

Kaynakça

[1] Lake, L.W. 2006. Petroleum Engineering Handbook, Copyright Society of Petroleum Engineers. 721p.

- [2] Guluzade, M.P., Babaev, D.A., Khalimbekov B.M., Amiragov, K.A. 1971. Optimal drilling of offshore wells collectively. Oil and Gas, 3(2011), 27-33. (in Russian).
- [3] Pacheco, M.A.C., Vellasco, M. M. B. R. 2009. Intelligent Systems in Oil Field Development under Uncertainty, Studies in Computational Intelligence, Ed. Springer. Berlin/Heidelberg, 288p.
- [4] Guyaguler, B., Horne, R. 2000. Optimization of Well Placement. Journal of Energy Resources Technology, 122 (2), 64-70.
- [5] Abukhamsin, A. Y. 2009. Optimization of well design and location in a real field. Dissertation for the Degree of Doctor of Philosophy. Stanford University, 81 p. California.
- [6] Nasrabadi, H., Morales, A., Zhu, D. 2012. Well placement optimization: A survey with special focus on application for gas/gas-condensate reservoirs. Journal of Natural Gas Science and Engineering, 5(2012), 6-16.
- [7] Babayev, D.A. 1975. Mathematical Models for Optimal Timing of Drilling on Multilayer Oil and Gas Fields. Management Science, 21(12), 1361-1369.
- [8] Ayda-zade, K.R., Bagirov, A.G. 2006. On the problem of spacing of oil wells and control of their production rates. Automation and Remote Control, 67(1), 44-53.
- [9] Memmedov, K.Ş., Yusifov, M.M. 1995. On the problem of optimal placement of oil and gas platforms for directional drilling. Azerbaijan Neft Teserrüfatı, 3(4), s. 38-61, (in Azerbaijani).
- [10] Memmedov, K.Sh., Yusifov, M.M., Shahuvarova, G.M., Baxshaliyeva, I.I. 2001. Determination of Optimal Location of Some Platforms when Designing Exploitation of Sea Oil-Gas Fields. Transactions of Azerbaijan National Academy of Sciences, Series of Physical-Technical and Mathematical Sciences: Informatics and Control Problems, 21(2), 116-118. (in Azerbaijani).
- [11] Memmedov, K.Sh., Yusifov, M.M., Baxshaliyeva, I.I. 2008. Model and algorithm of the problem of optimal placement and connection of the sea oil-and-gas platforms. Transactions of Azerbaijan National Academy of Sciences: Series of Physical-Technical and Mathematical Sciences : Informatics and Control Problems, 28(6), 9-12. (in Russian).
- [12] Mamedov, K.Sh., Nasibov, E.N., Nasibova, R.A. 1998. Optimal Location of Oil and Gas Platform of the Sea on the Bases of Fuzzy Information. Transactions of Azerbaijan National Academy of Sciences, Series of Physical-Technical and Mathematical Sciences: Informatics and Control Problems, 18(6), 18-21. (in Russian).

- [13] Papadimitriou, C.H., Steiglitz, K. 1998. Combinatorial Optimization: Algorithms and Complexity. Prentice Hall, New Jersey, 496p.
- [14] Christofides, N. 1986. Graph Theory: An Algorithmic Approach. Academic Press Inc, Orlando, 404 p.
- [15] Xu, R., Wunsch, D.C. 2009. Clustering. IEEE Press, New Jersey, 358 p.