

# BİYOGAZ ENERJİ ÜRETİM TESİSİ İÇİN BİYOKÜTLE LOJİSTİK YÖNETİMİ

Kürşad DERİNKUYU<sup>1\*</sup>, Berke TARAKÇIOĞLU<sup>2</sup>, İrem Melis KOÇ<sup>1</sup>, Eren SAZAK<sup>1</sup>, Doğaç ZENGİN<sup>1</sup>

<sup>1</sup>TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara  
kderinkuyu@etu.edu.tr, iremmelis94@gmail.com, erensazak94@gmail.com, zengin.dogac@gmail.com

<sup>2</sup>BENDİS Holding A.Ş., Ankara  
btarakcioglu@bendisenergy.com

Geliş Tarihi: 02.11.2017; Kabul Ediliş Tarihi: 12.12.2017

## ÖZ

Yenilenebilir enerji türlerinden olan biyokütleden biyogaz elde eden elektrik santrali, enerji üretim hedefine ulaşabilmesi için hayvansal atık kullanmakta olup, bunun için çevredeki yaklaşık 150 çiftlikle iş birliğine gitmiştir. Bu çalışmada, tesisin atık ihtiyacını mevcut çiftliklerden taşımak için atık miktarı, çiftlik sayısı ve birbirlerine yakınlığı çoklu amaç fonksiyonları altında incelenmesi yapılmış olup araç sayısı ve her bir aracın günlük rota maliyeti en küçüklenmiştir. Çalışmada bir matematiksel model önerilmiş ve 4 aşamalı bir çözüm geliştirme sezgisel oluşturulmuştur. Sezgiselin ilk aşamasında Fisher ve Jaikumar kümelendirme algoritması modifikasyondan geçirilerek çiftliklerin atık miktarı, çiftlik sayısı ve birbirlerine yakınlık ölçütlerini amaç fonksiyonu olarak ele alan matematiksel bir alt model oluşturulmuştur. Bu ilk modelden elde edilen küme bilgileri doğrultusunda ikinci aşamada her bir küme için Gezgin Satıcı Problemi çözülmüştür. Üçüncü aşamada, ilk iki aşamada elde edilen çıktılar ile birlikte çiftlikler arası mesafe, mesai saatleri ve operasyonel süre kısıtları gözetilerek araç sayısını minimize eden bir alt model geliştirilmiştir. Son aşamada, Çok Yüksek Boyutlu Komşuluk Arama Sezgiseli geliştirilmiştir. İnşa edilen sezgisel, ilk aşamada geliştirme öncesi toplam yolu ortalama %10 civarında azaltmıştır. Çok Yüksek Boyutlu Komşuluk Arama Sezgiseli sonrasında ise ilave olarak %7'lik bir düşüş gözlemlenmiştir. Son olarak, ihtiyaç duyulan araç sayısında ise %30'luk bir iyileşme sağlanmıştır. Bu iyileştirmelerin sonucunda işçi, araç ve yakıt masrafları olarak yıllık yaklaşık 573.944 TL kazanç sağlanacağı öngörülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Biyokütle, çok amaçlı kümelendirme, çok yüksek boyutlu komşuluk arama sezgiseli, araç rotalama problemi

## BIOMASS LOGISTICS MANAGEMENT FOR BIOGAS POWER PRODUCTION FACILITY ABSTRACT

The biogas power plant, which generates energy from biomass, uses animal waste to reach its energy production target, and it has started to collaborate with about 150 farms within the area. In this project, the amount of waste in farms, the number of farms and their proximity to each other are examined under multi-objective functions to transport the waste needs of the plant from the farms, then the number of vehicles and the costs of daily routes of these vehicles are minimized. In this study, a mathematical model is introduced and a 4-step solution development heuristic has been built. In the first stage of the heuristic, by modifying the Fisher and Jaikumar clustering algorithm, a mathematical sub-model which takes the amount of waste of farms, the number of farms and their closeness to each other as objective function is formed. With the cluster information obtained from the first model, the Travelling Salesman Problem was solved for each cluster in the second stage. In the third phase, a sub-model which minimizes the number of vehicles considering the distances between the farms, working hours and operational time constraints is developed in the light of the outputs obtained from the first two phases. At the last stage, Very Large Scale Neighborhood Search algorithm is developed. The heuristic has reduced the total path near 10% in the first stage. After the VLSN Search, an additional 7% decrease is observed. Lastly, 30% reduction is achieved in the number of vehicles. As a result of these improvements, it is predicted that approximately 573.944 Turkish Liras would be gained annually from the cost of labor, vehicle and fuel.

**Keywords:** Biomass, multi objective clustering, very large scale neighborhood search, vehicle routing problem

\* İletişim yazarı

37. Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği Ulusal Kongresi Öğrenci Proje Yarışması'nda ödül kazanan çalışma ilgili öğretim üyelerinin katkılarıyla düzenlenmiş halini EM Dergisi yayın politikası doğrultusunda yayımlıyoruz.

## 1. GİRİŞ

Dünyada yenilenemez enerji kaynak rezervlerinin azalması insanları yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yöneltmiştir. Enerji ithalat kaleminin cari açığın önemli bir kısmını oluşturduğu ülkemizde, sürdürülebilir biyogaz tesisleri kurmak ekonomimiz açısından faydalı görülmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan biyokütle hem ülke ekonomisi açısından hem de atık bertarafı açısından önem arz etmektedir. Buna ek olarak, artmakta olan kentleşme ile dünya, CO<sub>2</sub> emisyonunun azaltılmasına odaklanmıştır. Bu tesisler karbon ayak izinin azaltılmasında da önemli rol oynamaktadırlar. Bu proje sayesinde biyogaz tesislerinin lojistik maliyetleri azaltılarak değişken elektrik piyasası fiyatlarına karşı yatırımların direnci artırılmış olacaktır. Böylelikle daha fazla yere biyogaz tesisi açılması mümkün olabilecektir.

Projede birlikte çalışılan firma, Türkiye'nin gelişmekte olan enerji talebini ve bununla birlikte dışa olan bağımlılığı gözlemleyerek İzmir'in Kiraz ilçesinde biyogaz enerji santrali kurma kararı almış ve bununla ilgili çalışmalarını 2014 yılında başlatmıştır. Santralin, bir tanesi 2,4 MW kurulu güce sahip olmak üzere 2 adet kojeneratör ile çalışması planlanmaktadır. Bu da günlük 53 MWh elektrik enerjisi üretilmesini sağlayacaktır. Tesisin konumuna karar veren firma 2019 yılında tesisi devreye almayı planlamaktadır. Hedeflenen elektrik enerjisinin elde edilmesi için günlük yaklaşık 500 ton atığın tesise taşınması gerektiği firma yetkilileri tarafından iletilmiştir. Bu amaçla tesisin yakın çevresindeki büyükbaş ve küçükbaş hayvan çiftlikleriyle anlaşmalar imzalanmaktadır. Mevcut durumda anlaşma imzalanmış 150 çiftlik bulunmaktadır. Şirket, çiftlik sahiplerinin ve biyogaz üretim tesisinin talepleri karşılanacak şekilde atıkların toplanmasını ve tesise ulaştırılmasını planlamak istemektedir. Atık taşıyacak araçların iyi rotalanması hem enerji üretim sürekliliğini sağlamak hem de tesisin işletim maliyetlerini azaltmak açısından önemlidir.

Bu çalışmada, 4 aşamalı yeni bir çözüm yöntemi geliştirilmiş, Çok Amaçlı Kümelendirme modeli önerilmiş ve Çok Yüksek Boyutlu Komşuluk Arama Sezgiseli

hayata geçirilmiştir. Bildiğimiz kadarıyla, geliştirilen bu yöntem literatürde bir ilk olmaktadır.

Bu çalışmanın ikinci bölümünde kaynakça taraması yapılmış; probleme çözüm yöntemleri geliştirmek amacıyla incelenen benzer akademik çalışmalara ve tesisin ülkeye sağlayacağı katkılar konusunda yapılan araştırmalara yer verilmiştir. Üçüncü bölümde, firmanın beklenti ve şikâyetleri açıklanarak mevcut sistemin yapısından bahsedilmiştir. Yapılan SWOT analizi ile sistemin güçlü ve zayıf yanları ile tehdit ve fırsatları ele alınmıştır. Dördüncü bölümde, problemin geniş tanımı yapılarak toplanan verilere ve problemin tasarımını etkileyen faktörlere değinilmiştir. Beşinci bölümde ise önerilen çözüm yöntemlerinden bahsedilmiş olup kullanılan metotlara değinilmiş, geliştirilen matematiksel ve sezgisel modeller detaylı olarak anlatılmıştır. Son olarak, projenin firmaya getireceği katkıları daha iyi gözlemleyebilmek için yapılan analizler değerlendirilmiş ve ileriye yönelik öneriler verilmiştir.

## 2. KAYNAKÇA TARAMASI

Çalışma kapsamında araç rotalama problemlerinin genel özellikleri, çözüm yöntemleri, biyokütle taşınması ve Türkiye'de kullanılan enerji kaynakları arasında biyokütlenin yeri konularında taramalar yapılmıştır.

### 2.1 Araç Rotalama Problemleri

Araç rotalama probleminin Dantzing ve Ramser (1959) tarafından 1959 yılında temellerinin atılmasından sonra pek çok araç rotalama optimizasyon modeli geliştirilmiştir. Paolo ve Vigo (2014), araç rotalama problemlerinin genel özelliklerini turu başladığı noktada tamamlaması, araçların her müşteriye o turda sadece bir kez uğraması, aracın kapasite sınırının oluşu ve minimum maliyeti hedeflemesi olarak tanımlamışlardır. Bizim çalışmamızda bunlara ek olarak, araçlar günde birden fazla tur yapabilmektedir. Üzerinde çalıştığımız probleme yakınlığı sebebiyle, Akça vd. (2012) tarafından yapılan periyodik araç rotalama çalışması da incelenmiştir. İlgili çalışmada, biyodizel üretiminde kullanılacak atık yağların toplanması rotalanmaktadır.

Kumar ve Panneerselvam'ın (2012) makalesinde, araç rotalama problemlerinin, NP-Zor problemler olması sebebiyle değişken ve kısıt sayılarına göre değişiklik göstermekle birlikte, 50-100 noktalık bir kapasite sınırı olduğu belirtilmiştir. Bu nedenle büyük boyutlu araç rotalama problemlerinin çözümü için kısa sürede kabul edilebilir sonuçlar veren sezgisel algoritmalar üzerinde çok sayıda çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalardan birisinde Bodin ve Sniezek (2006), 500 nokta ve 4 farklı çeşitte 10 adet araç ile kurdukları araç rotalama probleminden matematiksel programlama ile makul sürede sonuç alamamışlar ve bu da onları problemi parçalara ayırarak çözmeye yönlendirmiştir. Çalışmada ilk olarak, kümelendirme yöntemlerinden birisi olan K-Ortalama kullanılmıştır. K-Ortalama algoritması, her bir noktayı belirlenen merkezlere en yakın olan kümeye atamaktadır. Her bir nokta yalnızca bir kümeye ait olabilmektedir. Yine bir başlangıç çözümü oluşturmak amacıyla Fisher ve Jaikumar'ın (1981) geliştirdiği kümeleme tekniğinden yola çıkılarak farklı kümeler oluşturulmuştur.

## 2.2 Dünyada Biyogazın Yeri

Kaygusuz ve Şekerci (2016), biyogazı temel olarak organik maddelerin oksijensiz ortamda fermente elde edilmesi sonucu karbondioksit ve metan gazına dönüştürülmesi olarak tanımlamışlardır. Biyogaz üretiminde organik atıklar, hayvansal gübreler ve endüstriyel atıklar kullanılmaktadır. Toklu (2017) makalesinde, Türkiye'nin biyokütle potansiyelini analiz etmiş ve 1 adet büyükbaş hayvandan 1 yılda 3,6 ton, 1 adet küçükbaş hayvandan 0,7 ton ve 1 adet kümes hayvanından 0,022 ton yaş gübre elde edildiğini belirtmiştir. 1 m<sup>3</sup> biyogaz 4700- 5700 kcal/m<sup>3</sup> ısı sağlamakta ve bu aynı zamanda 4.70 kWh elektrik enerjisine, 0.66 litre motorine, 0.75 litre benzine ve 0.25 m<sup>3</sup> propana eşdeğer yakıt miktarıdır (EİE 2017).

Dünyada 1 yılda üretilen biyokütle miktarı yaklaşık 146 milyar metrik tondur. Başka bir deyişle, biyokütle miktarı birincil enerji kaynaklarının %35'ini oluşturmaktadır. Buna karşılık gelişmiş ülkelerde toplam enerji tüketiminin yalnızca %5'i biyokütleden karşılanmaktadır (World Energy 2017). Türkiye'nin büyük petrol ve doğalgaz rezervlerine sahip olmaması nedeniyle enerji ihtiyacının büyük bir kısmı ithal edilmektedir. Oysaki

Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynak potansiyeli coğrafi konumu nedeniyle oldukça yüksektir. Buna rağmen, elektrik üretiminde biyogaz ve biyokütlenin kullanımı %2'yi geçmemektedir (EPIAŞ 2017).

## 3. MEVCUT SİSTEMİN ANALİZİ

### 3.1 Firma Beklentileri

Firmanın beklentisi; günlük atık ihtiyacının çevredeki çiftliklerden, belirlenen kısıtlara uygun olarak ve lojistik maliyetlerini minimize ederek, en verimli şekilde toplanmasıdır. Bu amaçla atık taşıyacak araçların sayısının, kapasitelerinin ve rotalarının belirlenmesi gerekmektedir. Araçların rotaları belirlendikten sonra bu araçların ortalama yakıt tüketimleri de hesaba katılarak ortalama günlük maliyet belirlenecektir.

### 3.2 Mevcut Sistemin Yapısı

Kurulacak olan biyogaz tesisinin günlük 54 MWh üretim yapması beklenmektedir. Bu üretimin gerçekleştirilebilmesi için tesiste her gün yaklaşık 500 ton atık işlenmesi gerektiği ön görülmüştür. Bu hedef doğrultusunda anlaşmaya varılan 150 çiftlikte bulunan atıklar her gün toplanarak tesise getirilecektir. Çalışmanın amacı ise tesise ulaştırılan günlük atık miktarının sürekliliğinin sağlanması ve bunu sağlayacak araçların maliyetleri en küçükleyecek şekilde rotalarının oluşturulmasıdır. Sistemi daha iyi anlamak amacıyla SWOT Analizi yapılmıştır. Bu doğrultuda, sistemin güçlü ve zayıf yönleri ile fırsat ve tehditleri irdelenmiş ve elde edilen veriler Tablo 1'de gösterilmiştir.

Sistemin günlük rutinine baktığımızda, şoförler ve tesis yöneticisi rotalara gün başında veri tabanından ulaşırlar. Sistem belirlenen sayıda araçla ve hali hazırda her gün çalışan şoförlerle birlikte belirlenen rotalar takip edilecek şekilde çalışmaya başlar. Bu sisteme göre, her bir şoföre atanmış belirli çiftlik kümeleri vardır. Her tur tesiste başlar. Kümesinde bulunan bütün çiftliklere uğrayan kamyonlar tekrar tesise döner ve rotalar tesiste son bulur. Kamyonların atandığı çiftlik kümeleri, şoförlerin mesai saatleri ve toplama işlemleri için gereken süre göz önünde bulundurularak oluşturulur.

Tablo 1. SWOT Analizi

GÜÇLÜ YÖNLER	ZAYIF YÖNLER
<p>-Çiftliklerin atıklarını bertaraf etme zorunluluğu bulunduğu için sistemin sürekliliğinin sağlanmasının diğer kaynaklara göre daha kolay olması</p> <p>-Devletin yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektrige satın alım garantisi sunması ve Gün Öncesi Piyasası Piyasa Takas Fiyatından daha yüksek bir bedel ile satın alması</p>	<p>-Hayvan atıklarının taşınması sırasında karşılaşılan zorluklar</p> <p>-Yakıt olarak kullanılan hayvansal atıkların kalorifik değerlerinin değişken olması sebebiyle sistemde açığa çıkan aksaklıklar</p>
FIRSATLAR	TEHDİTLER
<p>-Çalışma süresi esnasında oluşacak kamuyla iş birliği olanakları</p> <p>-Enerji üretimi sonrası kalan atığın yeniden kullanılabilme imkânı</p> <p>-Hayvancılık sektörünün gelişmesi</p>	<p>-Verimsiz atık oranının artması durumunda enerji üretiminin durma sınırına gelebilmesi</p> <p>-Atık lojistiği sırasında bulaşıcı hastalıkların baş göstermesi durumunda hayvan eksikliği sebebiyle tesisin atık talebinin karşılanamaması</p> <p>-Teşviklerin yüksekliği nedeniyle rakip santrallerin kurulması</p>

#### 4. PROBLEM TANIMI

Şirket İzmir’inde Kiraz ilçesinde kurulacak olan biyogaz tesisinin yerine karar vermiş ve yapımına başlamıştır. 2019 yılında faaliyete geçmesi planlanan biyogaz santrali enerji üretim hedeflerine ulaşabilmek için günlük yaklaşık 500 ton atığa ihtiyaç duymaktadır. Bu talebi karşılamak amacıyla, şirket çevredeki mevcut çiftliklerle anlaşma imzalayarak, çiftliklerden çıkan atıkların toplanmasını garanti altına almaya çalışmaktadır.

Lojistik faaliyetleri genel olarak işletmenin yerinin seçilmesi, ürünlerin depolanması ve paketlenmesi, stokların talep ve siparişlerin yönetilmesi, nakliye ve dağıtım faaliyetlerini kapsamaktadır. Bütün bu lojistik faaliyetlerinin %50’sini nakliye ve dağıtım faaliyetleri oluşturur. Bu maliyetleri en küçüklemek amacı ile filo büyüklüğünün belirlenmesi ve bu filodaki araçların yıl boyunca takip edeceği rotaların hazırlanması çalışma kapsamında araştırılmıştır.

Çalışma kapsamında, her gün 150 çiftliğe uğranarak 500 ton atık toplanmasını sağlayacak şekilde araçların sayısı ve bu araçların kapasiteleri belirlenmiş olup ayrıca günlük rotaları oluşturulmuştur. Bunlara ek olarak araç sayısı ve araçların rotalarına karar verildikten sonra, firmanın çıktılarını kullanmasını kolaylaştırmak amacıyla Microsoft Office Access programı ile ara yüz veritabanı tasarlanmıştır.

#### 5. ÖNERİLEN YÖNTEM

##### 5.1 Genel Yaklaşım

İlk olarak, belirlenen kısıtlar doğrultusunda mümkün olan en kısa yolu katetmeyi hedefleyen tam sayılı araç rotalama problemi için matematiksel model oluşturulmuştur. Problemin NP-Zor olması nedeniyle oluşturulan matematiksel model makul sürede sonuç vermemektedir. Ayrıca, firma ticari en iyileme yazılımlarından birine sahip olmadığından bu programlardan birinin kullanılması şirkete ek maliyete neden olacaktır. Bu nedenler ile sezgisel yaklaşıma ihtiyaç duyulmuş ve 4 aşamalı bir çözüm yöntemi geliştirilmiştir. İlk aşamada Fisher ve Jaikumar kümelendirme algoritması modifikasyondan geçirilerek çiftliklerin atık miktarı, çiftlik sayısı ve birbirlerine yakınlık ölçütlerini amaç fonksiyonu olarak ele alan matematiksel bir alt model oluşturulmuş ve optimal olarak çözülmüştür. Bu ilk modelden gelen küme bilgileri doğrultusunda ikinci aşamada her bir küme için Gezgin Satıcı Problemi çözülmüştür. Üçüncü aşamada, ilk iki aşamada elde edilen çıktılar ile birlikte çiftlikler arası mesafe, mesai saatleri ve operasyonel süre kısıtları gözetilerek araç sayısını minimize eden bir alt model geliştirilmiştir. Son aşamada ise çok yüksek boyutlu komşuluk araması ile ilk üç aşamada elde edilen çözüm kalitesi iyileştirilmiştir.

## 5.2 Geliştirilen Modeller ve Çözüm Yöntemleri

Şirketin taleplerini karşılayacak doğrultuda matematiksel model oluşturulmuştur. Matematiksel model bu aşamada yalnızca planlanan zaman ufunda kat edilecek yolun en küçüklenmesi üzerine kurulmuştur. Model, temel anlamda her gün her turda her kamyonun biyogaz enerji üretim tesisini terk edip, çiftliklerde bulunan atıkları toplanmasını ve tesise geri dönmesini sağlar. Tur esnasında taşıdığı yük parametre olarak tanımlanan kapasite miktarını hiçbir zaman aşamaz ve şirketin isteği doğrultusunda bütün tesisler her gün ziyaret edilmelidir. Model her gün bu kısıtlar altında yapılması gereken rotayı belirlemektedir.

## 5.3 Matematiksel Model

Problem tanımlanırken ilk olarak gün, tur, kamyon ve çiftlik sayılarının kümeleri oluşturulmuştur. Her bir kamyon sabit  $c_k$  kapasitesine sahiptir. Her bir çiftliğin birbirlerine ve tesise olan uzaklığını  $d_{ij}$  parametresi gösterir. Her çiftlikten günlük  $w_{jl}$  kadar atık çıkar. Amaç fonksiyonu  $G$ , gün boyunca kamyonların her turda kattıkları turların toplam mesafesinin en küçüklenmesini sağlar.

Aşağıdaki kısıtları gözeterek;

$$Z_{ktl} \leq c_k \quad \forall k \in A, \forall t \in B, \forall l \in G \quad (1)$$

$$\sum_{k=1}^A \sum_{t=1}^B Z_{ktl} = \sum_{j=1}^F w_{jl} \quad \forall l \in G \quad (2)$$

$$\sum_{j=0}^F X_{0jktl} = 1 \quad \forall k \in A, \forall t \in B, \forall l \in G \quad (3)$$

$$\sum_{i=0}^F X_{i0ktl} = 1 \quad \forall k \in A, \forall t \in B, \forall l \in G \quad (4)$$

$$\sum_{j=0}^F X_{ijktl} = \sum_{i \neq j}^F X_{jiktl} \quad \forall i \in F, \forall k \in A, \forall t \in B, \forall l \in G \quad (5)$$

$$Y_{jktl} + c_k \geq c_k X_{ijktl} + Y_{iktl} + w_{jl} \quad \forall i \in F, \forall j \in D, \forall k \in A, \forall t \in B, \forall l \in G \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^F \sum_{k=1}^A \sum_{t=1}^B X_{ijktl} \leq 1 \quad \forall j \in D, \forall l \in G \quad (7)$$

$$Z_{ktl} \geq Y_{jktl} \quad \forall i \in F, \forall j \in D, \forall k \in A, \forall t \in B, \forall l \in G \quad (8)$$

$$\sum_{i=0}^F \sum_{j=1}^F X_{ijktl} w_{jl} = Z_{ktl} \quad \forall k \in A, \forall t \in B, \forall l \in G \quad (9)$$

$$Y_{jktl} \leq M \sum_{i=0}^F X_{ijktl} \quad \forall j \in D, \forall k \in A, \forall t \in B, \forall l \in G \quad (10)$$

$$X_{ijktl} \in \{0, 1\}, Y_{jktl}, Z_{ktl} \geq 0 \quad \forall i, j \in D, \forall k \in A, \forall t \in B, \forall l \in G \quad (11)$$

Modelin indisleri şu şekildedir:

$$G = \{1, \dots, G\} \quad \text{Günlerin Kümesi}$$

$$B = \{1, \dots, B\} \quad \text{Turların Kümesi}$$

$$A = \{1, \dots, A\} \quad \text{Kamyonların Kümesi}$$

$$F = \{0, \dots, F\} \quad \text{Çiftliklerin Kümesi}$$

$$D = \{1, \dots, D\} \quad \text{Depo Dahil Çiftliklerin Kümesi}$$

Modelin parametreleri şu şekildedir:

$$c_k \quad k \in A \quad \text{kamyonunun kapasitesi}$$

$$d_{ij} \quad i \in F \quad \text{çiftliğinin } j \in D \quad \text{çiftliğine olan uzaklığı}$$

$$w_{jl} \quad j \in D \quad \text{çiftliğinde } l \in G \quad \text{gününde bulunan gübre}$$

$$M \quad \text{kamyon kapasitesinden büyük bir sayı}$$

Modelin karar değişkenleri şu şekildedir:

$X_{ijkl}$   $i \in F$  çiftliğinden  $j \in D$  çiftliğine  $k \in A$  aracı  $t \in B$  turunda  $l \in G$  gününde gidiyorsa bir değerini alır, yoksa sıfır olur,

$Y_{jktl}$   $l \in G$  gününde  $k \in A$  kamyonu  $t \in B$  turunda  $j \in D$  çiftliğinden çıkarken taşıdığı gübre miktarı

$Z_{ktl}$   $l \in G$  gününde  $k \in A$  kamyonun  $t \in B$  turunda topladığı toplam atık miktarı

Modelin amaç fonksiyonu;

$$\text{en azla} \quad \sum_{i=0}^F \sum_{j=1}^F \sum_{k=1}^A \sum_{t=1}^B \sum_{l=1}^G X_{ijktl} d_{ij}$$

- *Araç kapasite kısıtı* (1):  $Z_{ktt}$  her turda her kamyon ve her gün için kamyonun depoya dönerken topladığı kümülatif atık miktarını gösteren karar değişkenidir. Karşılık gelen  $Y_{jktl}$  değişkeninin maksimum miktarına eşittir. Kısıt, kamyon kapasitesinin aşılmamasını sağlar.

- *Günlük talep kısıtı* (2): Kısıt her gün tesise girmesi gereken atık miktarını ifade eder.

- *Aracın tesisi terk etmesini sağlayan kısıt* (3): Kısıt her gün her kamyonun her turda tesisi terk etmesini garanti eder.

- *Aracın tesise geri dönmesini sağlayan kısıt* (4): Kısıt her gün her kamyonun her turda tesise geri dönmesini garanti eder.

- *Flow in flow out kısıtı* (5): Kısıt aracın herhangi bir tesise girdiğinde o tesisten ayrılmasını sağlar.

- *Miller-Tucker-Zemlin kısıtı* (6): Kısıt alt turların oluşmasını engellerken aynı zamanda aracın tesisten ayrılırken içinde bulundurduğu atık miktarını kümülatif karar değişkenine yansıtır.

- *Ziyaret sayısı kısıtı* (7): Kısıt her gün herhangi bir çiftliğe en fazla bir kez uğranabilmesini sağlar.

- Çiftliklerde bulunan bütün atıkların toplanmasını sağlayan kısıtlar (8), (9): Bir çiftlikten çıkarken kamyon-

da bulunan atık miktarının o çiftlikte bulunan miktara eşit ya da o miktardan daha fazla olmasını sağlar. Aynı zamanda kamyonunda bulunan atık miktarı da kümülatif olarak artar.

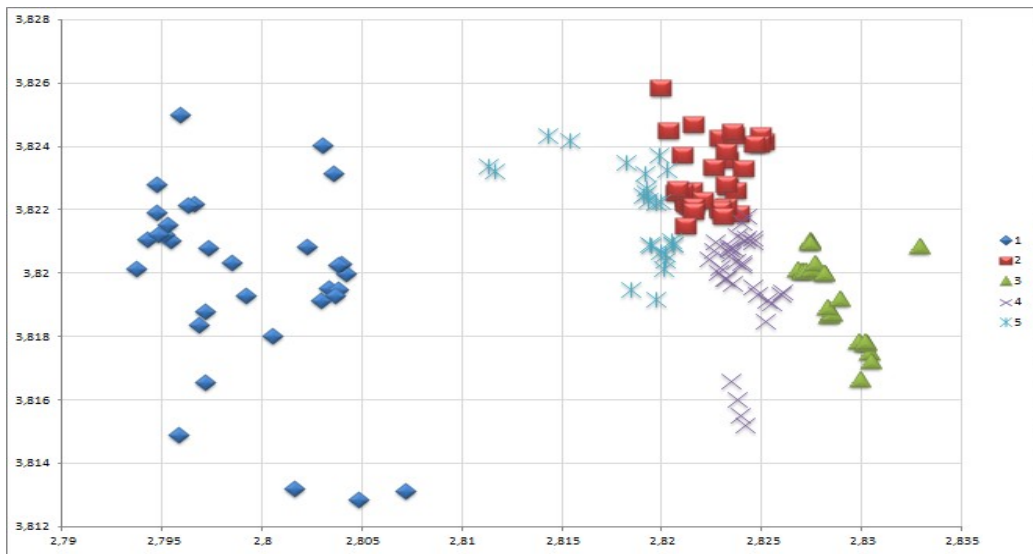
- *Rotada olmayan çiftlikten atık toplanmamasını sağlayan kısıt* (10): Çiftlikten ayrılırken kamyonun topladığı atık miktarını o tesise uğranmamışsa sifira eşitler.

## 5.4 Sezgisel Model

Sezgisel model geliştirme aşamasında problem ilk önce kümelere ayrıştırılmış, sonrasında ise çok yüksek boyutlu komşuluk araması ile bu küme atamaları iyileştirilmiştir. Ayrıca, her bir küme için ne kadar araç kullanılması gerektiğine dair bir model zaman ve kapasite kısıtları altında oluşturulmuştur.

### 5.4.1 Kümeleme Yöntemi

Problem boyutunun küçültülmesi amacıyla çiftlikler K-Ortalama metodu kullanılarak 5 kümeye ayrılmıştır. Bu amaçla ilk adımda rastgele 5 tane merkez belirlenmiştir. Her çiftliğin bu merkezlere olan öklid uzaklıkları hesaplandıktan sonra bu çiftlikler kendisine en yakın olan merkeze ait kümeye atanır. Daha sonra, merkezler tekrar hesaplanarak çiftlikler merkezlere uzaklıklarına göre yeniden kümelere ayrılır. Bu işlemler değişiklik gözlemlenmeyene kadar devam eder. K-Ortalama me-



Şekil 1. K-Ortalama Sonucu Kümeler

totu ile oluşturulan kümelerin harita görünümüne Şekil 1’de yer verilmiştir.

K-ortalama metodu ile oluşturulan kümeler modelin uygun zamanda sonuç vermesi için yeterli büyüklüğe indirgenememiştir. Bu nedenle Fisher ve Jaikumar algoritması kullanılarak mevcut çiftlikler, araç kapasitesi ve çiftliklerden çıkan atık miktarları dikkate alınarak kümeleme yöntemi elden geçirilmiş ve oluşan her bir kümenin diğerlerinden bağımsız olarak çözülebilmesi sağlanmıştır. Böylece araç rotalama problemlerinin nispeten çözümü daha kolay olan gezgin satıcı problemine (GSP) indirgenerek çözüme ulaşılabileceği gösterilmiştir. Araçların kapasitesi ve günlük toplam atık miktarı göz önünde bulundurularak sistem 15-25 adet kümeye ayrılmış; sonuçlar analiz edildiğinde, 15-18 adet küme için olurlu sonuç vermezken en iyi sonucun 19 kümeye ayrılması olduğu gözlemlenmiştir. Bu nedenle problemin devamında küme sayısı 19 kabul edilmiştir.

GSP ile çözülebilen kümelerin her biri oluşturulurken Fisher ve Jaikumar algoritmasından yola çıkılarak mevcut probleme ihtiyaçlar doğrultusunda uyarlanmış bir algoritma geliştirilmiştir. Algoritmanın adımları şu şekilde sıralanabilir:

1. İlk olarak, haritadaki bütün çiftliklerin içinden oluşturulmak istenen küme sayısı kadar referans noktası seçilir. Bu referans noktaları tesise en uzak uç noktalardan seçilmiştir.
2. Karar verici her bir kümede yaklaşık olarak kaç eleman ve kaç ton çıktı olması gerektiğini belirler.
3. Modelde referans alınan çiftliklerin numaraları “Referans Noktaları Kümesi” olarak belirlenen kümeye eklenir.
4. Çıktı analizinde her bir referans noktasına ait kümenin toplam çıktıları ve her bir kümenin sahip olduğu tesis sayıları incelenir.
5. Karar vericinin isteği doğrultusunda toplam atık

miktarı ve tesis sayılarının eksik veya fazla olmaları önemine göre değişik katsayılar ile cezalandırılarak modelde istenen kümeler oluşturulur.

Modelin indisleri şu şekildedir:

$F = \{1, \dots, F\}$  Çiftliklerin Kümesi

$R = \{1, \dots, R\}$  Referans Alınan Çiftliklerin Kümesi

Modelin parametreleri şu şekildedir:

$d_{ij}$   $i \in F$  çiftliğinin  $j \in D$  çiftliğine olan uzaklığı

$w_i$   $i \in F$  çiftliğinde bulunan gübre

$K_1$  Herhangi bir kümede hedeften eksik tesis sayısının önem katsayısı

$K_2$  Herhangi bir kümede hedeften fazla tesis sayısının önem katsayısı

$K_3$  Herhangi bir kümede hedeften eksik atık bulunmasının önem katsayısı

$K_4$  Herhangi bir kümede hedeften fazla atık bulunmasının önem katsayısı

$T$  Bir kümede bulunması hedeflenen tesis sayısı

$A$  Bir kümede bulunması hedeflenen toplam atık miktarı

Modelin karar değişkenleri ise şu şekildedir:

$X_{ir}$   $i \in F$  çiftliği referans noktası  $r \in R$  çiftliği olan alt kümeye atandıysa bir değerini alır, yoksa sıfır

$Ek_r$   $r \in R$ alt kümesinde eksik olan çiftlik sayısı

$Fa_r$   $r \in R$ alt kümesinde fazla olan çiftlik sayısı

$Ekg_r$   $r \in R$ alt kümesinde eksik olan atık miktarı

$Fag_r$   $r \in R$ alt kümesinde fazla olan atık miktarı

Modelin amaç fonksiyonu;

$$\text{en azla} \sum_{i=1}^F \sum_{r=1}^R X_{ir} d_{ir} + K_1 \sum_{r=1}^R Ek_r +$$

$$K_2 \sum_{r=1}^R Fa_r + K_3 \sum_{r=1}^R Ekg_r + K_4 \sum_{r=1}^R Fag_r$$

Aşağıdaki kısıtları gözeterek;

$$\sum_{j=1}^F X_{ir} + Ek_r + Fa_r = T \quad \forall r \in R \quad (12)$$

$$\sum_{j=1}^F X_{ir} w_i + Ekg_r + Fag_r = A \quad \forall r \in R \quad (13)$$

$$\sum_{j=1}^R X_{ir} = 1 \quad \forall i \in F \quad (14)$$

$$X_{rr} = 1 \quad \forall r \in R \quad (15)$$

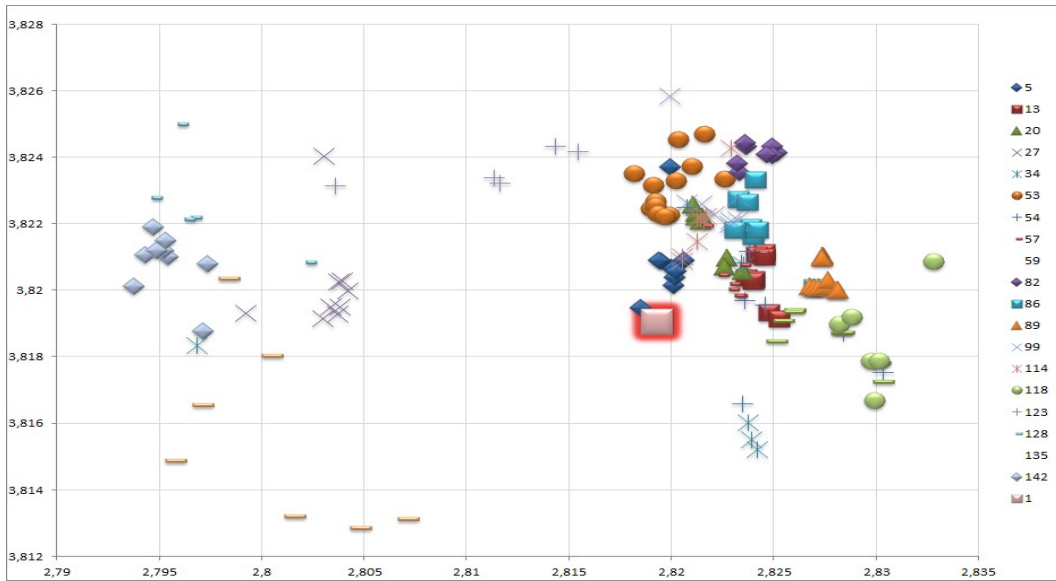
$$X_{ir} \in \{0, 1\}, Ek_r, Fa_r, Ekg_r, Fag_r \geq 0 \quad \forall i \in F, \forall r \in R \quad (16)$$

İlk kısıt, hedeflenen tesis miktarından az ya da fazla olmasını cezalandırırken, ikinci kısıt ise hedeflenen atık miktarından sapmaları cezalandırmaktadır. Amaç fonksiyonumuz hem mesafeyi hem de cezaları en azlamaya çalışmaktadır.

Probleme özel modelde, şirket tarafından “*Ek*” ve “*Fa*” karar değişkenlerinin önem katsayıları 50, “*Ekg*” karar değişkeninin önem katsayısı 100 ve “*Fag*” karar değişkeninin önem katsayısı 500 olarak belirlenmiştir. Atık miktarının araç kapasitesinden fazla olması durumu başka alt kontratları da etkilediğinden pahalı bir yöntemdir ve bu yüzden cezai önem katsayısı yüksek verilmektedir.

olası tüm komşular işleme alınmıştır. Her bir komşuluk aramasında eğer tanımlı genişletip ilgili çözüm çevresi kombinasyonel olarak artacak şekilde oluşturulmuş ise veya oluşan komşuluk problemi bir NP-Zor probleme dönüşmüş ise uygulanan çözüm yöntemi literatürde çok yüksek boyutlu komşuluk araması (VLSN) olarak isimlendirilir. Bizim komşuluk aramamız her bir adımda GSP çözdüğünden bir VLSN yöntemidir.

Oluşturulan algoritma önceden oluşturulan 19 kümeyi girdi olarak alır. Buna ek olarak, mesafe matrisi ve çiftliklere ait atık miktarı tablosu da algoritma tarafından tutulur. İlk olarak her küme için GSP çözümlenir, toplam mesafesi en az olan rota çıktı olarak elde edilir. Ardından



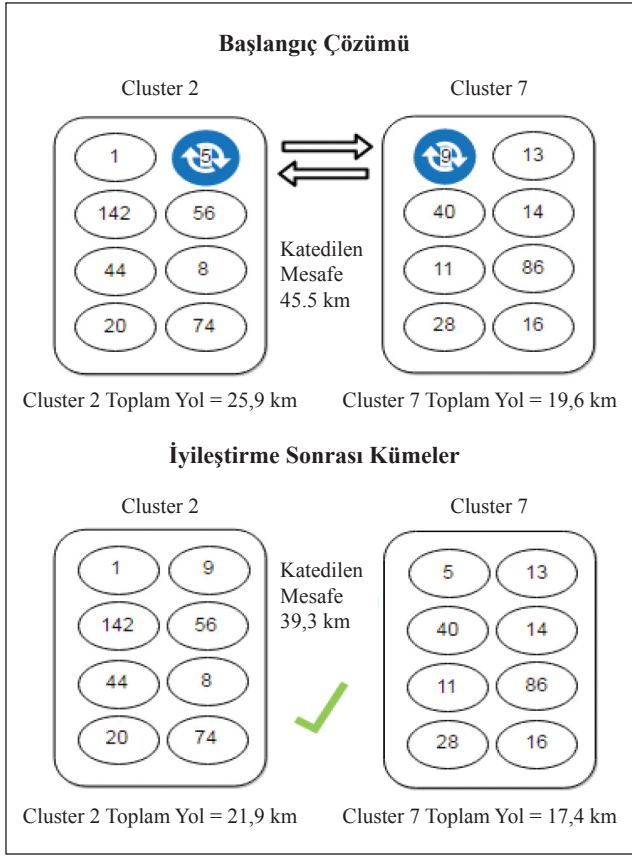
Şekil 2. Fisher ve Jaikumar Metodu ile Oluşturulan Kümeler

#### 5.4.2 Küme İyileştirme Algoritması

Komşuluk arama algoritması mevcut problemi çözmek için kullanılan etkili bir yaklaşımdır. Mevcut çözümde, en yaygın kullanılan metot olan ikili yer değiştirme komşuluk araması algoritması kullanılmıştır. Komşuluk arama algoritması olurlu bir çözüm ile başlar, durma kriteri sağlanana kadar yer değiştirme işlemleri yapılır ve iyileştirilmiş çözümler elde edilir. Literatürde görülen komşuluk arama algoritmaları genellikle küçük çaplı komşu tanımlarında kullanılmış ve

seçilen küme ile diğer kümeler arasında karşılıklı olarak iki çiftliğin yerleri değiştirilir. Bu değişim sırasında araçların kapasite sınırları kontrol edilir. Her değiştirme işleminde değişiklik yapılan kümelerin rotaları tekrar hesaplanır. Sonuç, orijinal kümelerin rotasından daha kısa olup, kapasite sınırını aşmıyor ise değişiklik kaydedilir. Böylece yeni kümeler oluşmuş olur. Yeni oluşmuş kümeler için yeni iyileştirmeler gözlemlenmeye kadar işlem tekrarlanır. Oluşturulan algoritmanın akış şeması Ek-1’de gösterilmiştir.





Şekil 3. Algoritmanın Şematik Gösterimi

### 5.4.3 Araç Atama Modeli

Kamyonları kümelere atayan matematiksel model, zaman kısıtını aşmadan bir gün içinde bütün çiftliklere uğrayabilecek en az kamyon sayısının bulunmasını sağlar ve aynı zamanda hangi kümelerin hangi kamyonlara atandığını belirler.

Modelde, her kümede her çiftliğe uğranıp tesise geri dönecek şekilde bulunan optimal turların mesafeleri, her küme için araç sayıları ve her kümeden çıkan toplam atık miktarları parametre olarak alınmıştır. Kullanılabilecek maksimum kamyon sayısı 50 olarak belirlenmiştir.

Modelin indisleri şu şekildedir:

$T = \{1, \dots, T\}$  Kümelere atanabilecek kamyonların kümesi

$C = \{1, \dots, C\}$  Alt kümelerin kümesi

Modelin parametreleri şu şekildedir:

$m_c$   $c \in C$  kümesindeki toplam mesafe

$g_c$   $c \in C$  kümesinden çıkan toplam gübre miktarı

$s_c$   $c \in C$  kümesindeki tesis sayısı

$h_t$   $t \in T$  kamyonunun ortalama hızı

$w$  günlük mesai saati (sa)

$v$  birim atığın toplanma hızı (ton/sn)

$d$  işleme hazırlık sırasında geçen süre (sa)

Modelin karar değişkenleri ise şu şekildedir:

$X_{tc}$   $t \in T$  kamyonu  $c \in C$  alt kümesine atandıysa bir değerini alır, yoksa sıfır

$V_t$   $t \in T$  kamyonu kullanılmış ise bir değerini alır, yoksa sıfır

Modelin amaç fonksiyonu;

$$\text{en azla } \sum_{t=1}^T V_t$$

Aşağıdaki kısıtları gözeterek;

$$\sum_{t=1}^T X_{tc} = 1 \quad \forall c \in C \quad (17)$$

$$\sum_{c=1}^C X_{tc} \left( \frac{m_c}{h_t} + v g_c + d s_c \right) \leq w \quad \forall t \in T \quad (18)$$

$$V_t \geq X_{tc} \quad \forall c \in C, \forall t \in T \quad (19)$$

$$X_{tc}, V_t \in \{0, 1\} \quad \forall c \in C, \forall t \in T \quad (20)$$

$X_{tc}$  karar değişkeni  $t$  kamyonu  $c$  numaralı kümeye atandıysa 1, diğer durumda 0 alan bir (1,0) değişkenidir.  $V_t$  ise  $t$  kamyonu herhangi bir kümeye atandıysa 1 değerini, diğer durumda 0 değerini alan karar değişkenidir. Amaç fonksiyonunda kullanılması gereken toplam kamyon sayısının en küçüklenmesi hedeflenmiştir.

Birinci kısıt her kümenin mutlaka bir kamyon tarafından ziyaret edilmesini sağlar. İkinci kısıt bir şoförün günlük çalışma saati olan 10 saatten fazla çalışmayacağını belirtir. Kamyonun hareket hızı ortalama 35 km/saat olarak kabul edilmiştir. Bir kamyonun çiftliğe vardığında atık alımı için hazırlanması ve atık toplama hızı ilgili katsayılarla bu zaman kısıtına entegre edilmiştir. Üçüncü kısıt ise bir kamyon bir kümeye atandıysa o kamyonun kullanılmak zorunda olmasını açıklar.

### 5.5 Veritabanı

Yukarıda bahsedilen bütün çalışmalar sonucunda elde edilen araç sayısı ve rota bilgileri bu araçların

günlük rotaları belirlendikten sonra elde edilen veriler veritabanına aktarılmıştır. Bunun yanında, oluşturulan veritabanı anlaşma yapılan bütün çiftliklere ait detaylı bilgilere ve aynı zamanda şoför bilgilerine ulaşılabilir şekilde tasarlanmıştır. Ayrıca, bu veritabanı sayesinde şoför ve çiftlik bilgilerinde gerektiği zaman güncellemeler yapılabilmektedir.

Veritabanının ana sayfasında iki ayrı kullanıcı girişi bulunmaktadır. Araç sürücüleri, araç sürücü girişine tıklayıp kendilerine önceden atanmış olan şoför numaralarını girerek kendilerine ait olan rotaya ulaşırlar. Yetkili girişi kısmında ise “Şoför Bilgileri”, “Araç Bilgileri”, “Çiftlik Bilgileri”, “Rota Bilgileri”, “Gübre Miktarları” ve “Çiftliklerin Uzaklık Bilgileri” bulunur. Araç Bilgileri butonuna tıkladığında açılan pencerede kullanıcının araç numarasını girmesi beklenir. Kullanıcı araç numarasını girdiği araca ait plaka ve kapasite bilgilerine ulaşabilir. Kullanıcı tarafından yeni araç eklenebilir ve var olan araç kullanımdan kaldırıldıysa silinebilir. Çiftlik Bilgilerinde ise çiftlik numarası girilerek çiftlik yetkilisinin bilgilerine ulaşılabilir. Rota Bilgileri butonuna tıkladığında gün içinde yapılacak rotaların bilgisi elde edilir. Gübre Miktarları bölümünde çiftlik numarası girilerek o çiftliğe ait gübre miktarı bilgisine ulaşılabilir. Çiftliklerin uzaklık bilgilerine tıkladığında kullanıcıdan uzaklığını görmek istediği iki çiftliğin numaralarının girilmesi istenir. Bu iki numara girildikten sonra uzaklık bilgisine kullanıcı ulaşır.

## 5.6 Doğrulama ve Geçerleme

Problemin çıktılarını analiz ettiğimizde, Tablo 2’de görüldüğü üzere, her bir kümede toplam 30 ton civarı atık bulunmaktadır. 30 ton olan kamyon kapasitesinin üstü açık yüklemelerde 32 tona kadar çıkabilmesi göz önünde bulundurulduğunda, mevcut kümeler araç kapasitesini aşmamaktadır. Burada görülen her bir küme, aracın bir turunu temsil etmektedir ve günlük toplanması gereken 500 ton atık miktarı mesai saatleri içerisinde toplanmaktadır.

Nihai olarak 19 adet küme elde edilmiştir. Bu kümelerin içerdiği çiftliklere baktığımızda, toplam 150 adet çiftliğin hepsinin ziyaret edildiği Tablo 2’de görülmektedir.

## 6. YÖNTEMİN UYGULANMASI

### 6.1 Veri Analizi

Problemin çözümünde kullanılması gereken parametreler aşağıdaki gibidir:

- **Mesafe Matrisi:** Firma tarafından edinilen çiftlik koordinatları elde edildi. Mesafe matrisini oluşturmak üzere çiftliklerin diğer bütün çiftliklere ve tesise olan gerçek uzaklıkları tespit edildi. Tek yön sokaklar ve alternatif rotalar göz önünde bulundurulduğunda uzaklık matrisinin simetrik olmadığı gözlemlenmiştir.

**Tablo 2.** Kümelerin Sahip Olduğu Atık Miktarı ve Çiftlik Sayısı

	1. Küme	2. Küme	3. Küme	4. Küme	5. Küme	6. Küme	7. Küme	8. Küme	9. Küme	10. Küme
<b>ATIK MİKTARI</b>	26,93 Ton	27,28 Ton	29,28 Ton	27 Ton	30,57 Ton	29,71 Ton	27,29 Ton	31,87 Ton	29 Ton	28 Ton
<b>ÇİFTLİK SAYISI</b>	9	8	8	8	7	9	8	8	8	8
	11. Küme	12. Küme	13. Küme	14. Küme	15. Küme	16. Küme	17. Küme	18. Küme	19. Küme	<b>TOPLAM</b>
<b>ATIK MİKTARI</b>	28,14 Ton	27,85 Ton	23,71 Ton	25,58 Ton	26 Ton	28 Ton	29 Ton	28 Ton	20,30 Ton	523,51 Ton
<b>ÇİFTLİK SAYISI</b>	8	8	9	7	8	5	8	7	9	150

- **Çiftliklerden Çıkan Atık Miktarları:** Atık miktarları çiftliklerin hayvan kapasitelerinden yola çıkılarak hesaplanmıştır. Hesaplama yapılırken, bir büyükbaş hayvanın günlük çıkardığı ortalama gübre göz önünde bulundurulmuştur.
- **Kullanılacak Araçların Kapasitesi:** Bu aşamada şirketin filosunda henüz herhangi bir kamyon bulunmadığı için piyasa araştırması yapılarak kamyon kapasitesi 30 ton olarak kabul edilmiştir.

### 6.2 Deney Koşulları, Kullanılan Yazılım ve Donanım ile İlgili Bilgi

Çalışmada ticari en iyileme programı olarak CPLEX OPL kullanılmıştır. Java dilinde yazılan algoritma kodlanırken editör olarak Eclipse IDE tercih edilmiştir. Oluşturulan veritabanı ise Microsoft ACCESS programında hazırlanmış ve arayüzü oluşturulmuştur. Programlar çalışırken kullanılan bilgisayar INTEL® CORE™ i5 – 6200 CPU @ 2.30 GHz 2.40 GHz 4GB (Yüklü Ram) ve 64 bit işletim sistemine sahiptir.

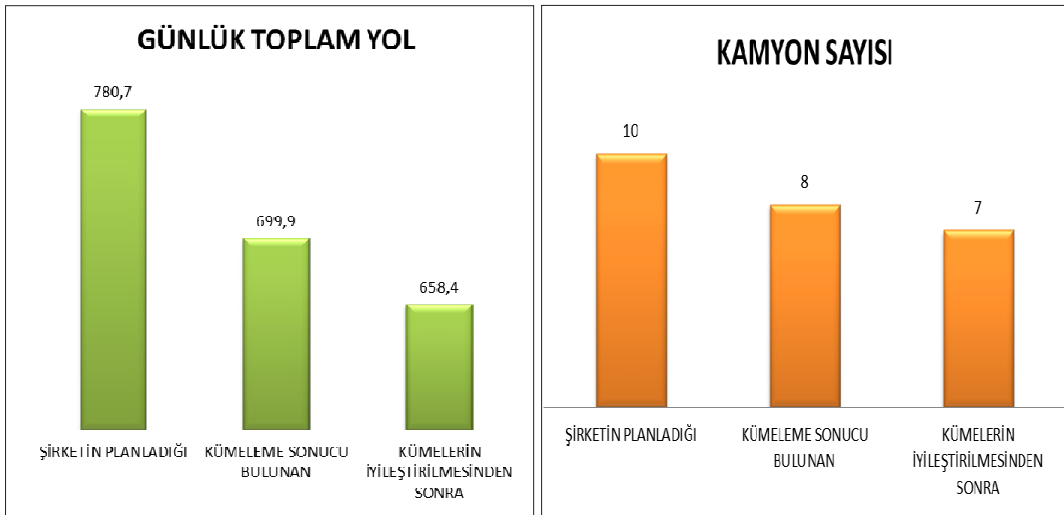
### 6.3 Koşturumun Sonuçları ve Performansın Ölçülmesi

Yapılan çalışmanın sonucunda çiftliklerin hepsi 19 adet kümeye bölünmüştür. Oluşan kümelerin hepsi için ayrı ayrı Gezgin Satıcı Problemi optimal olarak çözülmüş ve sonuçlar kaydedilmiştir.

Bu sonuçlarla beraber;

- Kamyonların kümeler içinde takip etmesi gereken güzergâhlar,
- Hangi kamyonun hangi kümeye atandığı,
- Kamyonların her turda tesisten çıkış ve tesise dönüş çizelgeleri,
- Kamyonların türü ve kapasiteleri,
- Yasal olarak bir şoförün çalışma saati olan 10 saati aşmadan en az kaç kamyonla sistemin devamlılığının sağlanabileceği,
- Günlük olarak yapılan bu yolların sabit ve değişken maliyetleriyle birlikte yıllık maliyete çevrilmesi,
- Şirket çalışanlarının kullanabileceği kullanıcı dostu bir veritabanı elde edilmiştir.

Kurulu bir sistem olmadığından elde edilen veriler ile eski sistem arasında karşılaştırma yapılarak elde edilen iyileşme gözlemlenmemektedir. Ancak şirket çalışanlarına daha da somut bir sonuç sunabilmek amacıyla proje kapsamında çalışan 5 mühendis ile görüşülmüş ve problem bir vaka analizi olarak kendilerine sunulmuştur. Çiftliklerin ve tesisin konumuna sahip ve üzerlerinde çiftliklere ait büyükbaş sayısı bilgileri bulunan haritalar çalışanlara dağıtılmıştır. Ardından, onlardan bu haritayı kamyon kapasite sınırını da göz önünde bulundurarak kümelere ayırmaları istenmiştir. Elde edilen kümeler girdi olarak alınarak yukarıda bahsedilen modeller tekrar çalıştırılmıştır. Bu koşturum sonucunda şirketin planladığı



Şekil 4. Sonuçların Karşılaştırması

ğ i sisteme göre toplam kat edilmesi gereken günlük yol 780,7 kilometre iken, gerekli kamyon sayısı ise 10 olarak belirlenmiştir. İnşa edilen sezgisel metot ile günlük toplam yol %10,35 azaltılarak 699,9 kilometreye düşürülmüş, gerekli araç sayısı ise 8 olarak bulunmuştur. Çözüm yöntemleri oluşturulurken yapılan kabullerde değişiklik olması durumunda, bunun sonucu etkileyebileceği ön görüldüğünden bir küme iyileştirme algoritması geliştirilmiştir. Bu algoritma ile yeniden oluşturulan kümeler ve bu kümelere ait rotaların belirlenmesi ile toplam yol 658,4 kilometreye düşürülmüştür. Gerekli araç sayısı da 7 olarak bulunmuştur. Şekil 4’te de görüleceği gibi, koşuturum sonucunda günlük toplam yol 122,3 kilometre azalırken araç sayısı da 7’ye düşürülmüştür.

Bu 3 çözüm için araç kiralama, yakıt ve işçi maliyetleri araştırılarak toplam günlük operasyon maliyetleri hesaplanmıştır. Elde edilen veriler Tablo 3’te gösterilmiştir. Bunlar sonucunda referans çözümüne göre günlük 1.360,21 TL, yıllık 496.476,65 TL kar sağlanmıştır.

#### 6.4 Duyarlılık Analizleri

Projede oluşturulan modeller mevcut problem için oluşturulmuştur ancak benzer bir probleme kolaylıkla entegre edilebilecek şekilde hazırlanmıştır. Aynı zamanda değişen koşullarda kolaylıkla revize edilebilir. Bu durumlar tesislerden çıkan atıkların artması, yeni çiftliklerle sözleşmeler imzalanıp uğranması gereken tesis sayısının artması ve kurulan filodaki kamyonların ve kapasitelerinin değişmesi şeklinde üç ana başlıkta incelenebilir. Üç durum içinde modellerdeki farklı parametrelerinin değişmesiyle hızlı ve iyi çözümler elde edilebilir. Çözümler değiştirilmek istendiği takdirde modellerin esnekliği sayesinde karar vericilerin istekleri doğrultusunda pareto optimal çözümler elde edilebilir.

**Tablo 3.** Maliyet Hesapları

	Araç Kiralama Maliyeti	Yakıt Maliyeti	İşçi Maliyeti	Toplam Günlük Maliyet	Yıllık Maliyet
<b>Şirketin Planladığı</b>	3.333,30 TL	1.092,98 TL	630,00 TL	5.056,28 TL	1.845.542,20 TL
<b>Kümeleme Sonucu Bulunan</b>	2.666,64 TL	979,86 TL	504,00 TL	4.150,50 TL	1.514.932,50 TL
<b>İyileştirmeden Sonra</b>	2.333,31 TL	921,76 TL	441,00 TL	3.696,07 TL	1.349.065,55 TL

#### • Çiftliklerden Çıkan Atıkların Artması Durumu:

Çiftliklerin bulundurduğu atık miktarı arttığında oluşturulan kümeleme algoritmasında hedef programlama kısıtlarının değişmesi gerekmektedir. Yeni toplam, çıkan atık miktarı istenen küme sayısına bölünüp elde edilen sayı her kümede çıkan toplam atık miktarı kısıtına parametre olarak yazılmalıdır. Model bu haliyle çalıştığında yeni atık toplamlarına göre kümelenecek GSP olarak çözüldüğünde toplam mesafe bakımından iyi olan bir kümeleme oluşturur. Başlangıç çözümü olarak yeni bulunan kümeler belirlenir ve iyileştirmeler yapıldıktan sonra kamyon sayıları, en az kamyon sayısını bulan modelde yeni kümelere göre bulunur.

#### • Yeni Çiftliklerin Eklenmesi Durumu:

Yeni çiftlikler eklendiğinde modelde sonuç alabilmek için eklenen çiftliklerin mesafe matrisi mevcut mesafe matrisine ve çıktılarını mevcut çıktı matrisine eklenmelidir. Eklenen çiftlik sayısına göre 8-10 çiftlik eklendiğinde bir yeni küme gelecek şekilde küme sayısı baştan belirlenip referans noktaları yeniden belirlenir. Bu referans noktaları temel alınarak yeni kümeler oluşturulur ve kalan işlemler eski sistemle aynı şekilde devam eder.

#### • Kamyonların Kapasitelerinin Değişmesi:

Kamyonların kapasiteleri değiştiğinde kümeleme algoritmasında her kümeden yaklaşık çıkması gereken atık miktarı kısıtında atık parametresi kamyonun yeni kapasitesi kadar yazılmalıdır. Toplam çıktı miktarının yeni kapasiteye bölünerek yeni küme sayısı bulunup model yeniden yazılmalıdır. Modelin sonucunda geri kalan iyileştirmeler aynı şekilde yapılarak araç sayısı bulunur.

## 7. ÖNERİLEN ÇÖZÜMÜN KURULUŞTA UYGULAMA PLANI

### 7.1 Uygulama Planı

Projede firmanın taleplerini karşılayacak bir lojistik sistemi kurulmuş ve bu doğrultuda kiralanacak kamyon sayısı, bu kamyonların kapasiteleri ve günlük rotaları belirlenmiştir. Uygulama sırasında denetimin ve operasyonun kolay yapılmasını sağlamak amacıyla operatörlerin kolayca anlayacağı bir veri tabanı hazırlanarak firmaya sunulmuştur.

Biyogaz tesisinin inşaatı henüz tamamlanmamıştır. Tesis faaliyette olmadığından bulunan çözüm uygulamasının gerçekleştirilmesi şu an için mümkün değildir. Uygulama aşamasında çiftliklerde bulunan büyükbaş sayılarının, kamyonların doluluk oranlarının ve zaman kısıtlarının düzenli olarak takip edilmesi, belirli periyotlarda verilerin analiz edilerek sistemde gerekli güncellemelerin yapılması gerektiği düşünülmektedir. Bu güncellemeler yapılırken Bilişim Sistemleri Birimi ile ortak bir çalışma yürütülmesi önerilmiştir.

### 7.2 Öneriler

Sistemin etkinliğini arttırmak ve olası olumsuz durumların önceden ön görülmesini sağlamak amacıyla firmaya aşağıdaki öneriler sunulmuştur:

- Tesisin talebinin karşılanamadığı olası bir durumun önüne geçmek amacıyla anlaşma imzalanan çiftlik sayısının artırılması
- Her çiftlikte atık havuzu oluşturulması operasyonun hızlanmasını ve araçların daha fazla çiftlik gezebilmesini sağlayacağı için çiftliklerle bu doğrultuda görüşmeler yapılması
- Atık havuzu bulunan çiftliklerde günlük atık miktarını dinamik olarak takip edebilmek amacıyla ağırlık sensör sistemlerinin kurulması, gerekirse bu uygulama için çiftliklere teşvik verilmesi

## 8. GENEL DEĞERLENDİRMELER VE SONUÇ

### 8.1 Projenin Firmaya Getirmesi Beklenen

#### Katkılar

Rotalarının iyileştirilmesi sonucunda, başlangıç referans çözümüne göre araçların günlük toplam 122,3

kilometre daha az yol kat etmesi sağlanmıştır. Referans çözümü sonrası 10 olarak belirlenmiş araç sayısı ise 7'ye düşürülmüştür. Her araca bir şoför atıldığı durumda anket sonucu belirlenen duruma göre günlük 1572,45 TL kar sağlandığı görülmüştür.

Anlaşma imzalanan çiftliklerin hayvan sayıları ve günlük atık miktarları oluşturulan veritabanı sayesinde anlaşılır bir şekilde raporlanmıştır. İhtiyaç duyulduğu durumda çiftlik bilgileri güncellenebilecek, yeni çiftlikler eklenebilecektir. Aynı zamanda oluşturulan rotalar da veritabanından takip edilebilecektir. Çiftlik sayıları ve atık miktarlarında değişiklik olması durumunda yeni kümeler ve rotalar rahatlıkla belirlenebilmektedir.

Projenin henüz faaliyette olmaması sebebiyle yapılan proje ve araştırmalar şirketin maliyet raporlaması, filo oluşumu ve rota raporlarına yansıtacak; yatırımcı ve yöneticiler için projenin geleceğinin öngörüsünün daha somut bir şekilde yapılabilmesini sağlayacaktır.

### 8.2 İleriye Dönük Güncelleme / Geliştirme

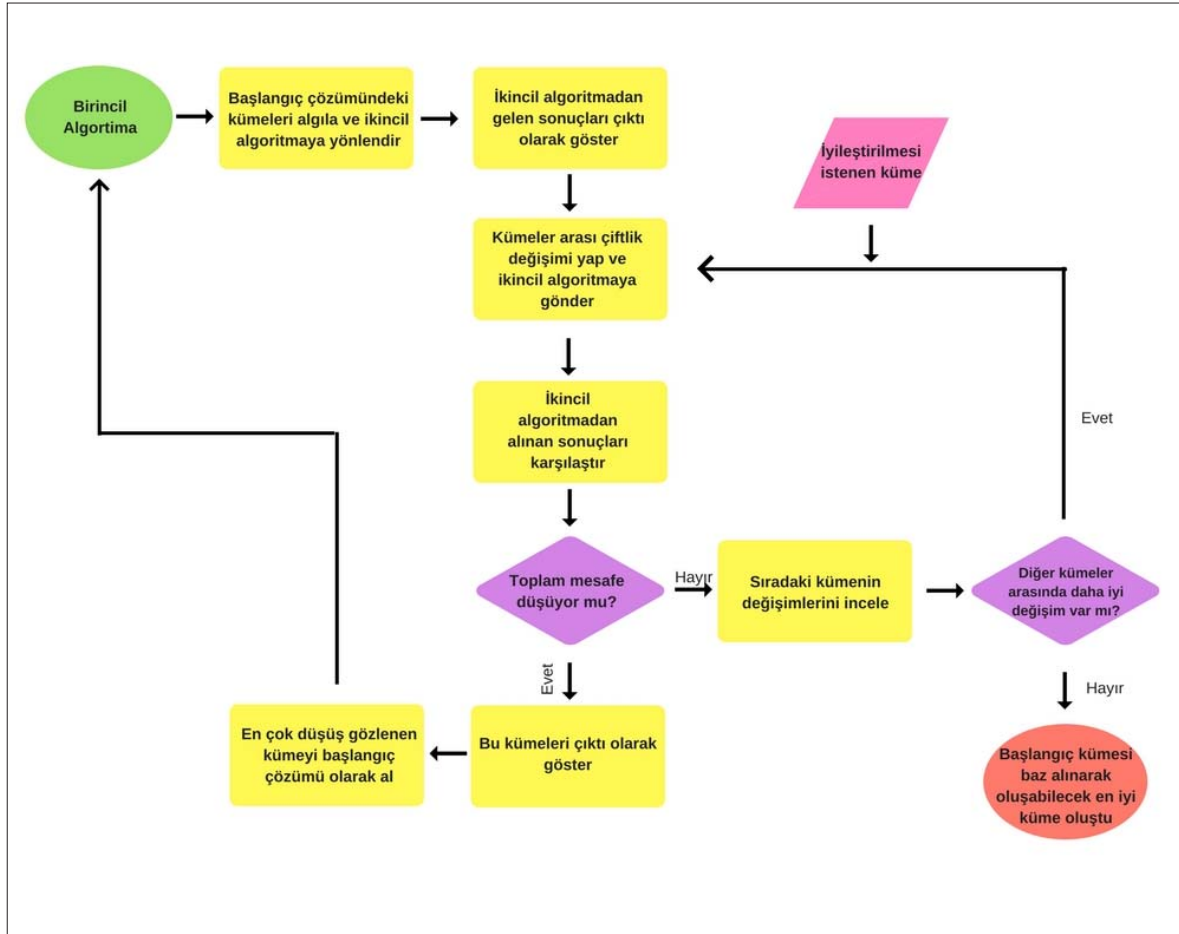
Problemin çözüm kısmında Gezgin Satıcı Problemi çözümü için uygulanan algoritma, optimal rotayı bulmaktadır. Geliştirilen kümeleme yönteminde bir kümedeki toplam atık miktarının kamyon kapasitesini geçmemesi bir kısıt olarak alınmıştır. Bu kısıt doğrultusunda bir kümede en fazla 9 adet çiftlik olması nedeniyle mevcut problemde çözüm süresi ile ilgili bir sıkıntı yaşanmamaktadır. Problemin boyutu artar ise bu doğrultuda küme sayısı da artırılabilir. Çözüm yöntemi makul sürede sonuç vermeye devam edecektir. Atık miktarının çok değişken olması sebebiyle şirkete araç kiralaması önerilmiştir. İlerleyen aşamalarda elde edilen çözüm yöntemleri bir karar destek sistemi ile desteklenebilir.

## KAYNAKÇA

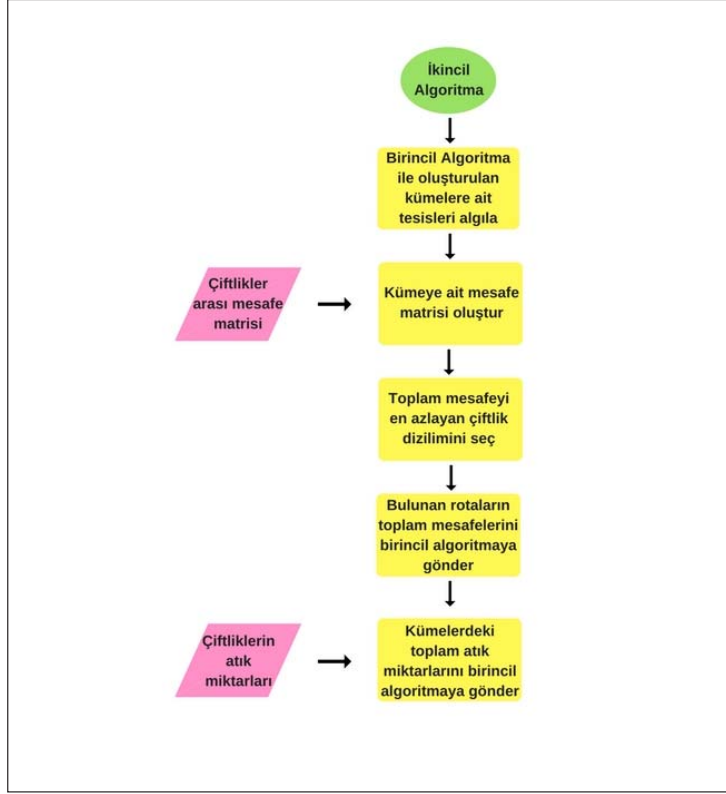
1. Ahuja, R. K., Orlin, J. B., Sharma, D. 2000. "Very Large-Scale Neighborhood Search," International Transactions in Operational Research, vol. 7, p. 301-317.
2. Akça, Y., Aksen, D., Kaya, O., Salman, F. S. 2012. "Selective and Periodic Inventory Routing Problem for Waste Vegetable Oil Collection," Optimization Letters, vol. 6, p. 1063-1080.
3. Alkan, A., Bozyer, Z., Fıçlalı, A. 2014. "Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Probleminin Çözümü için Önce Grupla

- Sonra Rotala Merkezli Sezgisel Algoritma Önerisi,” Bilişim Teknolojileri Dergisi, sayı 7 (2), s. 29-37.
4. **Bodin, L., Sniezek, J.** 2006. “Using Mixed Integer Programming for Solving the Capacitated Arc Routing Problem with Vehicle/Site Dependencies with an Application to the Routing of Residential Sanitation Collection Vehicles,” Annals of Operatios Research, vol. 144, p. 33-58.
  5. **Dantzig, G. B., Ramser, J. H.** 1959. “The Truck Dispatching Problem,” Management Science, vol. 6, p. 80-91.
  6. EİE. 2017. <http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/biyogaz>, son erişim tarihi: 15.02.2017.
  7. EPIAŞ. 2017. <https://seffaflik.epias.com.tr/transparency>, son erişim tarihi: 15.02.2017.
  8. **Hansen, P., Mladenovic, N.** 2001. “Variable Neighborhood Search: Principles and Applications,” European Journal of Operational Research, vol. 130, p. 449-467.
  9. **Kaygusuz, K., Sekerci, T.** 2016. “Biomass for Efficiency and Sustainability Energy Utilization in Turkey,” Journal of Engineering Research and Applied Science, vol. 1 (1), p. 34- 43.
  10. **Kumar, S., Panneerselvam, R.** 2012. “A Survey on the Vehicle Routing Problem and its Variants,” Intelligent Information Management, vol. 4, p. 66-74.
  11. **Paolo, T., Vigo, D.** 2014. “Vehicle Routing Problems, Methods and Applications,” Mathematical Optimization Society and the Society for Industrial and Applied Mathematics, İtalya.
  12. **Toklu, E.** 2017. “Biomass Energy Potential and Utilization in Turkey,” Renewable Energy, vol. 107, p. 235-244.
  13. World Energy. 2017. <https://www.worldenergy.org/wpcontent/uploads/>, son erişim tarihi: 15.02.2017.

Ek 1a. Küme İyileştirme Algoritması (Birincil Algoritma)



Ek 1b. Küme İyileştirme Algoritması



Ek 2. Kamyonlara ait Tur Bilgileri

Kamyon No	Tur No	Tesisten Çıkış Saati	Tesise Dönüş Saati	Mola	Turlarda Uğranan Çiftlik Sayısı	Turdaki Toplam Gübre(ton)	Turdaki Toplam Yol(km)
1	1	08:00	10:27		9	26,93	13,3
1	8	10:42	13:35	13:50-14:50	8	31,87	23
1	10	14:50	17:35		8	28	24,6
2	3	08:00	10:30		8	29,28	13,6
2	11	10:45	13:19	13:34-14:34	8	28,14	18,1
2	16	14:34	17:49		5	28	50,9
3	15	08:00	11:10		8	26	42,8
3	17	12:25	16:25	11:25-12:25	8	29	69,4
4	4	08:00	11:30		8	27	37,7
4	13	12:45	15:15	11:45-12:45	9	23,71	20,6
4	19	15:30	17:58		9	20,3	57,6
5	6	08:00	12:11		9	29,71	71,9
5	18	13:26	17:10	12:26-13:26	7	28	62,2
6	2	08:00	10:38		8	27,28	21,9
6	7	10:53	13:23	13:38-14:38	8	27,29	17,4
6	14	14:38	17:17		7	25,58	23
7	5	08:00	11:09		7	30,57	34,1
7	9	11:24	14:24	14:39-15:39	8	29	31,9
7	12	15:39	18:00		8	27,85	24,4

7 KAMYON

19 TUR

%92  
DOLULUK

658.4  
KM