

EVSEL KATI ATIK TOPLAMA ARAÇLARININ ROTALANMASI: DENİZLİ İLİNDE BİR PİLOT ÇALIŞMA

Banu Yetkin Ekren, Aşkner Güngör

Pamukkale Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 20100, Denizli

Özet: Katı atık yönetiminde oluşan maliyetlerin yüzde seksenine yakını, katı atıkların toplanması ve taşınmasıyla ilgilidir. Bu nedenle, atık toplama araçlarının belirlenen amaçlar doğrultusunda tespit edilmiş güzergahlarda hareket etmelerini sağlayacak ve maliyeti minimuma indireyecek rotaların bulunması önemlidir.

Bu çalışmanın amacı; Denizli İli Kuşpınar Mahallesi pilot bölgesinde geri kazanılabilir evsel atıkları toplayacak araçların tur optimizasyonudur. Bu tür problemlerin amacı, şebeke üzerindeki tüm yolların minimum maliyetle en az bir kez ziyaretidir. Problemin çözümünde, Euler tur tespiti için bölge grafiğinde sadeleştirmeye gidilerek, tek dereceli düğüm sayısı minimize edilmiş ve tur tespiti için şebeke, Edmonds'ın geliştirdiği, "eşleme (matching)" sezgisel algoritması kullanılarak Eulerize edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Euler Tur, Atık Toplama, Taşıma Problemi, Tur Belirleme

Abstract: Approximately eighty percent of total costs associated with solid waste management practices are related to collection and transportation of solid waste. Therefore, it is important to find the optimum routes for waste collection vehicles.

This paper provides an algorithm to find an optimum tour for waste collection vehicles in Kuşpınar, Denizli. The objective of these kinds of problems is to traverse all arcs of the network at least once to ensure that waste is collected with minimum cost. In the solution of the problem, the graph of the district area is simplified by minimizing the number of odd degree nodes and found an Euler tour via the Edmonds's heuristic algorithm called the "matching algorithm".

Keywords: Euler Tour, Waste Collection, Transportation Problem, Routing

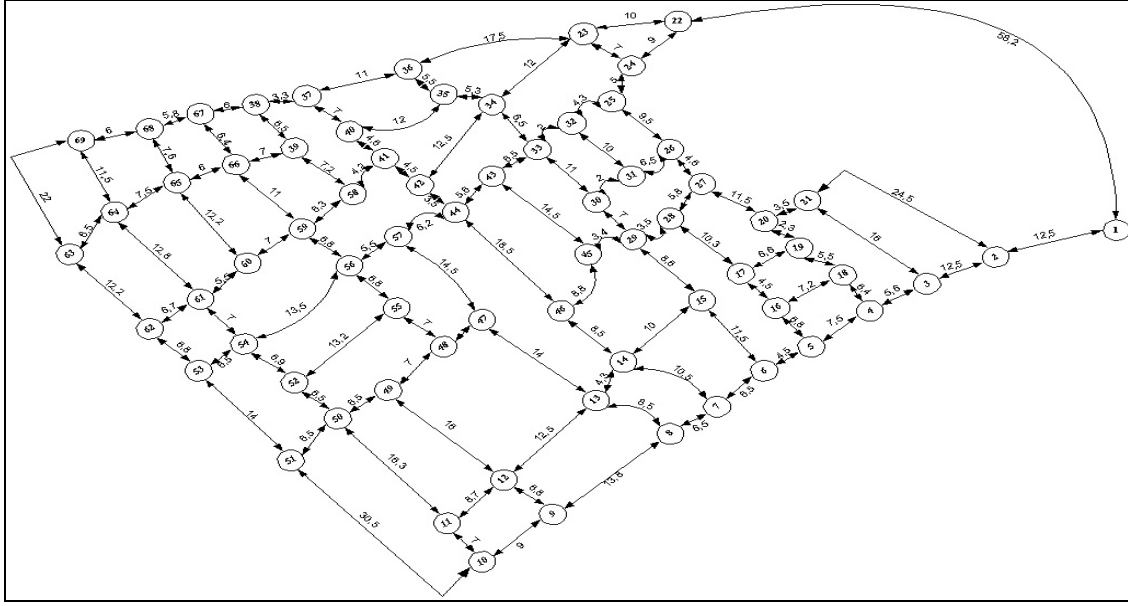
1. Giriş

Son yıllarda, özellikle belediyelerin öncülüğünde atık azaltımı ve geri kazanımına yönelik çöplerin ayrıştırılarak biriktirilmesi ve toplanması amacıyla halkın bilinçlendirilmesi için çeşitli tanıtım ve eğitim programları uygulanmaya başlanmıştır. Çalışmamızda, Denizli Belediyesi'nin geri kazanım projesini uygulamaya koyduğu pilot bölgelerden Kuşpınar Mahallesi'nde, geri kazanılabilir evsel atıkları toplama araçlarının tur optimizasyonu incelenmiş, her bir sokağı en az bir kez ziyaret eden, en düşük maliyetli turun uzunluğu tespit edilmeye çalışılmış ve duruma uygun sezgisel bir algoritma geliştirilerek uygulamaya konmuştur.

Çalışmamızda ele aldığımız problem olan Euler turlu problemler, ayrıtları gezecek gezgin için tur belirlenmesidir. Euler tur, şebekede bir düğümden başlayıp her ayrıtı (yolu) bir kez ziyaret edip, tekrar aynı veya başka düğüme giden turdur. Bir şebekede Euler tur, şebekede tek dereceli düğüm sayısının sıfır olması şartıyla sağlanır. Şayet şebekede tek dereceli düğümler varsa, bazı ayrıtlardan bir kaç kez geçilmesi zorunlu olur. Bu nedenle, asıl amaç, ayrıtlardan birkaç kez geçilmesinin minimize edilmesidir (Bodin ve Beltrami, 1974).

2. Problemin Tanımı ve Algoritma

Kuşpınar mahallesi grafiği, $G(N,A)$ ile gösterilen kuvvetli bağlı ve yönsüz yollardan oluşan bir şebekedir. Şebekede başlangıçta ziyaret edilmesi gereken toplam 10,3 km'lik uzunluğa sahip, 112 adet ayrıt (yol) vardır. Şekil 1'de Kuşpınar Mahallesi'nin 1/1000 ölçeğinde küçültülmüş krokisinin yol uzunlukları cm cinsinden gösterilmiştir. Görüldüğü gibi $G(N,A)$ şebekesi, çift ve tek dereceli düğümlerden oluşmaktadır. Her ayrıtın uzunluğunun pozitif bir sayı olması koşuluyla; bu tür bir problem, Edmonds'ın geliştirmiş olduğu, tek dereceli düğümler arası en kısa yol uzunluklarının bulunarak, bu yolların sanal yollarla eşlenmesi ile sezgisel olarak çözülebilmektedir (Edmonds ve Johnson; 1973). Çalışmamızda mevcut algoritmadan farklı olarak, şebeke Eulerize edilmeden önce tek dereceli düğüm sayısı minimize edilmeye çalışılmıştır. Bunun için maliyetlere dayalı bir algoritma geliştirilmiş ve bazı ayrıtların araçla ziyaretinin toplayıcının yürüyerek ziyaretinden daha maliyetli olacağı tespit edilmiştir.



Şekil 1. Denizli ili Kuşpınar Mahallesi ağırlıklandırılmış şebekesi

2.1. Algoritma

Adım 1: $G(N,A)$ şebekesinde (1)'de verilen ifadelerle, tek dereceli düğümler tespit edilir:

$$I_i = \sum_{\forall i \in N} X_{ij}, \forall j \in N, \begin{cases} X_{ij} = 0, \text{ eger } (i, j) \notin A \\ X_{ij} = 1, \text{ eger } (i, j) \in A \end{cases} \quad (1)$$

$$I_i \in Z^0 \Rightarrow i \in N^0$$

$$I_i \in Z^e \Rightarrow i \in N^e$$

Z^0 : Tek tamsayılar sayılar kümesi

Z^e : Çift tamsayılar kümesi

N^0 : Tek dereceli düğümler kümesi

N^e : Çift dereceli düğümler kümesi

I_i : Bir düğüme bağlı toplam ayrıt sayısı

Adım 2: Tespit edilen tek dereceli düğümlere bağlı, her $C_{ij}^w < C_{ij}^v \left\{ \begin{array}{l} \forall i, j \in N^0 \\ \forall (i, j) \in A \end{array} \right\}$ koşulunu sağlayan,

araçla ziyaret edilmesine gerek duyulmayan ayrıt veya ayrıtların varlığı, araştırılır ve varsa eşleme algoritması ile iptal edilir; $G_1(N_1, A_1)$ elde edilir:

- $C_{ij}^w < C_{ij}^v, \forall i, j \in N^0, \forall (i, j) \in A$ koşulunu sağlayan, düğümler arasındaki uzunluklar (d_{ij} 'ler) bulunur ve bir matris formunda yazılır.
- En büyük d_{ij} 'ler sırayla seçilir. Seçilen ayrıta bağlı düğümler matrisin satır ve sütunundan silinir. Bu işlem matrisin bütün satır ve sütunları silinene kadar devam eder. Burada not etmek gerekir ki, iptal etme işlemi yapılırken, şebekenin kuvvetli bağlı olma yani bir düğümden, herhangi başka bir düğüme geçilebilir özelliği korunmalıdır.

Yukarıdaki $C_{ij}^w < C_{ij}^v$ eşitsizliği, aşağıdaki matematiksel işlemlerle bulunur:

$$C_{ij}^w = 2 \times cp \times T_{ij}^w \quad (2)$$

$$C_{ij}^v = (cp + cr) \times T_{ij}^r \quad (3)$$

$$T_{ij}^w = \frac{d_{ij}}{V^w} \times \left[\frac{q_{ij}}{8} \right] \quad (4)$$

$$T_{ij}^r = \frac{1,5 \times d_{ij}}{V^v} \quad (5)$$

C_{ij}^w : işçinin (i,j) ayrırtını yürüme maliyeti (TL)

cr : aracın birim hareket maliyeti (TL/dk)

C_{ij}^v : aracın (i,j) ayrırtını ziyaret maliyeti (TL)

V^w : işçinin yürüme hızı

T_{ij}^w : işçinin (i,j) ayrırtını yürüme süresi (dk)

V^v : aracın hızı

T_{ij}^r	: aracın (i,j) ayrıtını ziyaret süresi (dk)	q_{ij}	: (i,j) ayrıtındaki toplam hane sayısı
cp	: işçinin birim zaman maliyeti (TL/dk)	$\lceil x \rceil$: x bir kesirli sayı ise bir sonraki tamsayıya yuvarlanır (tavan değeri)

Yukarıda, (2) no'lu denklem işçinin (i,j) ayrıtını yürüyerek atıkları toplama maliyetini, (3) no'lu denklem ise, araç ile atıkların toplanma maliyetini göstermektedir. Bir işçi bir elinde 4, diğerinde 4 olmak üzere toplam 8 adet atık poşeti taşıyabilmektedir. Bu varsayım altında, şayet ayrıt üzerindeki toplam poşet sayısı 8'den büyük olursa, işçi ayrıt ile araç arasında birkaç kez gidip gelmek zorunda kalacaktır. Bu durum (4) no'lu denklemde gösterilmiştir.

Adım 3: $G_1(N_1, A_1)$ grafiği, Edmonds'ın eşleme algoritması ile çözülür.

- Elde edilen $G_1(N_1, A_1)$ şebekesinde, her bir tek dereceli düğümler arası en kısa mesafeler, en kısa yol algoritması ile bulunur ve $m_0 \times m_0$ matrisi olarak yazılır. m_0 , şebekedeki tek dereceli düğüm sayısıdır. Ek 1'de matrisin örneği görülebilir.
- Matristeki en kısa yol mesafeleri sırayla seçilir. Bulunan her yolun başlangıç ve bitiş noktaları, matrisin satır ve sütunundan silinir. Bu işlem $m_0/2$ adet kısa mesafe seçilene kadar tekrar edilir.
- G_1 şebekesine, seçili ayrıtlar ilave edilerek G^* elde edilir. Daha sonra devamında, G^* şu şekliyle geliştirilir: Şayet, (a,b) ve (c,d) gibi iki yol; (e,f) gibi ortak bir yola sahipse, ilave edilecek sanal yol buradan çıkarılır ve kalan (a,e,c) ve (b,f,d) yolları kullanılır.

Adım 4: Euler tur belirlenir.

3. Problemin Çözümü

Problemin çözümü sonrası, $q \leq 16$ olan tüm ayrıtların araç yerine, yürüyerek ziyaret edilmesi daha ekonomik olacağı görülmüştür. Buna geçmeden önce aracın geçmesine müsaade etmeyecek kadar dar ayrıtlar şebekeden iptal edilmiştir. Bu ayrıtlar; (28-31), (31-32), (23-24), (23-34), (34-42), (64-69), (38-39) ayrıtlarıdır. Hane sayısına bağlı olarak, Adım 2'de eşleme algoritması ile iptal edilen ayrıtlar ise şunlardır: (7,8), (4,18), (5,16), (20,27), (25,26), (36,37), (45,46), (48,55), (41,58), (67,68). Adım 3'ten sonra ise, (2,3), (6,15), (10,11), (19,21), (17,28), (22,30), (35,40), (47,49), (51,52), (43,57), (53,62), (63,64), (9,60) yollarına sanal yollar eklenmiştir. Sonuçta Buna göre sanal yolların toplamı, $Z^* = 1,96$ km bulunmuştur. Ancak, adım 3'ün iii. maddesi gereğince, 50-52 sanal ayrıtı şebekeden iptal edilerek, (51,52) için en kısa yol (51,50) ve (9,60) için de en kısa yollar, (9,50), (52,60)'a olan yol kabul edilmiştir. Buna göre yeni $Z^* = 1,957 - (2 \times d_{50,52}) = 1,957 - (2 \times 0,065) = 1,83$ km'dir. Toplamda ziyaret edeceği yol, $Z = 8,927 + 1,827 = 10,76$ km'dir.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, geri kazanılabilir evsel atıkları toplama araçlarının kapalı Euler turda alacağı tur mesafesi, probleme özgü geliştirilen bir algoritma ile hesaplanmıştır. Mevcut algoritmalarından farklı olarak, maliyete dayalı bir karşılaştırma formülasyonu belirlenerek, şebekede tek dereceli düğümler sayısı minimize edilmiştir. Bu algoritma, 3500 haneli ve 69 adet düğümlü Denizli ili, Kuşpınar Mahallesi pilot bölgesi şebekesine uygulanmış ve turun optimum uzunluğu bulunmuştur. Problemden optimum rota uzunluğu bulunurken hesaplamalarda, başlangıçta araca ait hiçbir kısıtın olmadığı varsayılmıştır. Sonuçta, aracın atık toplamadan ziyaret edeceği yol uzunluğu, toplam 1,96 km olarak bulunmuştur. Bulunan Euler turun, ihtiyaç duyulan araç sayısına ve aracın atık toplama kapasitesine bağlı olarak, alt turlara bölünerek kümelenmesi daha sonraki çalışmada ele alınacaktır.

Kaynaklar

- Beltrami E. And Bodin L.,** Networks and vehicle routing for municipal waste collection. *Networks*. 4, 65-94, 1974.
- Dror M.,** *Arc Routing Theory, Solutions and Applications*, Kluwer Academic Publishers. London, 483 pages, 2000.
- Edmonds, J., Johnson, E.L.,** Matching Euler Tours and Chinese Postman Problem. *Mathematical Programming*. 5, pp 88-124, 1973.
- Or İ., Curi K.,** İzmir Şehrinin Katı Atık Toplama ve Taşıma Sisteminin Matematiksel Programlama ve Serim Teknikleri Kullanılarak İncelenmesi. *Araştırma Raporu*. İstanbul, Ekim 1989.