

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

Banu Yetkin Ekren, Aşkiner Güngör

Pamukkale Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 20100, Denizli.

byetkin@pamukkale.edu.tr, askiner@pamukkale.edu.tr

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. Burada hedeflenen Kuşpınar Mahallesinde, her evin kapısı önünden atıkların minimum maliyetle toplanmasıdır. 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 aim is to find the collection route that collects recyclable wastes from houses with minimum cost. 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".

Key Words: Euler tour, Waste collection, Transportation problem, Routing

1. Giriş

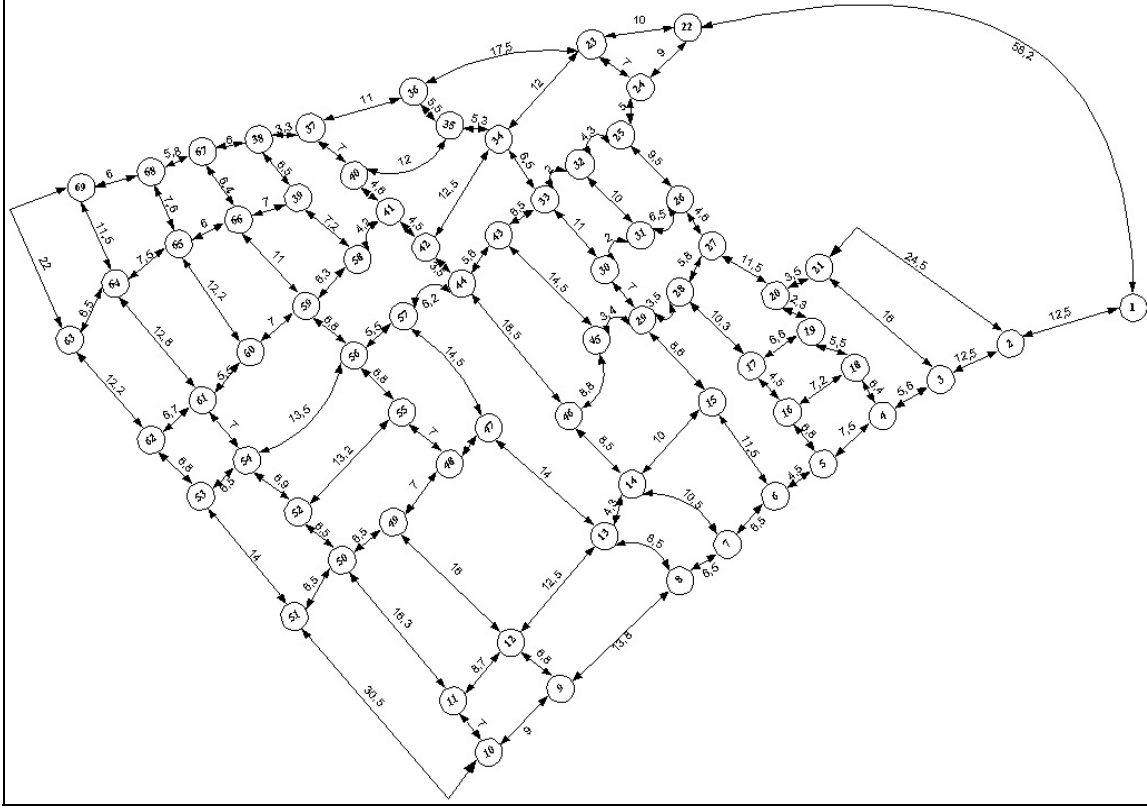
Son yıllarda özellikle belediyelerin öncülüğünde atık azaltımı ve geri kazanımına yönelik çöplerin ayrıştırılarak biriktirilmesi ve toplanması amacıyla halkın bilinçlendirilmesi için çeşitli tanıtım ve eğitim programları uygulanmaya başlanmıştır. Burada temel hedef, geri kazanılabilir evsel atıkların değerlendirilmesini maksimize etmektir. Ülkemizde, Denizli Belediyesi ile birlikte sayılı il belediyeleri tarafından yürütülmekte olan bu projenin yaygınlaştırılması, belediyelerin öncelikli hedeflerinden biridir.

Belediyelerin en zor operasyonel problemlerinden biri olan evsel atık toplama işlemi, bir veya birden fazla toplama aracıyla, önceden belirlenen bir güzergahta, atıkların toplanması işlemidir (Dror, 2000). Aracın, atık toplamak için bir noktadan başlayıp yine aynı noktaya döndüğü güzergaha **tur** denilmektedir. Tur belirleme problemi, harcamaların en yüksek maliyetli kısmını oluşturduğundan belediyeler, daha sistematik çözümlere yönelmekte, bilimsel yöntemler araştırmaktadırlar. Bu nedenle 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.

Şekil 1'de krokisi görülen Kuşpınar Mahallesi, 3500'e yakın haneden oluşmaktadır. Mahalle sakinlerine her ay belediye tarafından, geri kazanılabilir evsel atıkların ayrı biriktirildiği özel poşetler (sarı renkte) dağıtılmakta ve her hafta Pazartesi günü de bu poşetler, yine belediye ekiplerince kapı kapı dolaşarak her evin önünden toplanmaktadır. Toplama işlemi, bir şoför, bir yazıcı ve bir de toplayıcı olmak üzere, toplam 3 kişi tarafından yapılmaktadır. Toplayıcı, evlerin önüne bırakılan poşetleri araca taşımaktan, yazıcı ise toplanan poşetlerin sayısını kayıt etmekten sorumludur. Her hafta toplanan toplam poşet sayısının, mahallenin hane sayısı kadar (3500 adet) olması beklenmektedir.

Çalışmanın ikinci bölümünde tur belirleme problemlerine ve bunlardan Euler turlu problemlerin tanımına çok kısa olarak değinilmiştir. Üçüncü bölümde ise, problemin tanımı ve problem için geliştirilen

algoritma verilmiştir. Dördüncü bölümde geliştirilen algoritma, Denizli ili evsel atık toplama pilot bölgelerinden Kuşpınar Mahallesi'ne uygulanmış ve optimum tur belirlenmiştir. Son bölümde ise, sonuç ve öneriler tartışılmıştır.



Şekil 1. Denizli ili Kuşpınar Mahallesi ağırlıklandırılmış şebekesi (Ayrıtlar üzerindeki değerler 1/1000 ölçekli krokiden cm olarak alınmıştır.)

2. Tur Belirleme Problemleri ve Euler Turlu Problemler

Genel olarak tur belirleme problemleri, Euler turlu problemler ve Hamilton turlu problemler olmak üzere iki başlıkta incelenmektedir. Euler turlu problemler, ayrıtları gezecek gezgin için tur belirlenmesi; Hamilton turlu problemler ise düğümleri gezecek gezgin için tur belirlenmesi problemidir. Her iki problem türü için farklı modeller ve farklı çözüm yaklaşımları geliştirilmiştir (Sipahioğlu, 1996). Euler turun söz konusu olduğu en temel problem, Çinli Postacı Problemidir (ÇPP). Kesiksiz bir güzergahta, minimum maliyetle, her sokağın en az bir kez ziyaret edilmesi problemine ÇPP denilmektedir (Edmonds ve Johnson, 1973). Euler tur, şebekede bir düğümden başlayıp her ayrıtı (yolu) bir kez ziyaret eden turdur. Bir şebekede Euler tur, şebekede tek dereceli düğüm sayısının sıfır olması şartıyla sağlanır. Şayet şebekede tek dereceli düğümler varsa, bazı ayrıtlardan birkaç kez geçilmesi zorunlu olur. Bu nedenle, asıl amaç, ayrıtlardan birkaç kez geçilmesinin minimize edilmesidir (Bodin ve Beltrami, 1974). Bu çalışmada, yolağı ve sınırları belli bir bölgede atık toplama aracının her kapiya uğrayarak atık toplama durumu söz konusu olduğundan, problemimiz ÇPP olarak tanımlanabilir ve ÇPP için geliştirilen çözüm yöntemleri kullanılabilir (Or ve Curi 1989).

ÇPP, yollardan geçme yönünün kısıtına göre, Yönlü (Directed) ÇPP, Yönsüz (Undirected) ÇPP ve Karma (Mixed) ÇPP adlarını almaktadır (Dror, 2000). Kuşpınar Mahallesi'nde, yollar çift yönlü olduğundan bu bölgede ele alacağımız tur belirleme problemi aslında bir yönsüz ÇPP'dir.

ÇPP, bir NP-hard problemidir (Dror, 2000). Bu nedenle, problemin çözümünde büyük oranda sezgisel algoritmalara başvurulmaktadır. Edmonds'ın 1973 yıllarında geliştirmiş olduğu eşleme algoritması (matching algorithm) bu algoritmalarından biridir. Euler tur tespitinde sezgisel bir çözüm yöntemi sunan bu algoritma, şebekedeki tüm tek dereceli düğümleri, şebekeye sanal ayrıtlar eklenmesi ile çift dereceli yaparak şebekeyi Eulerize eden bir yöntem sunmaktadır (Edmonds ve Johnson; 1973).

3. Problemin Tanımı ve Algoritma

Katı atık toplanması ve taşınması, sorunla ilgili harcamaların %80'inin yapıldığı alanlardır (Or ve Curi 1989). Toplama ve taşınmanın maliyetini artıran en önemli unsur ise, atık toplama araçlarının katedeceği toplam tur mesafesidir. Bu nedenle, katı atık toplama problemlerinde optimum turların tespiti çok önemlidir. Katı atık toplama ve taşıma problemleri ile ilgili literatürde çok çeşitli çalışmalar vardır. Ancak her bir çalışma, toplama alanının ve koşulların kendine özgü yapısından dolayı farklı modeller içermektedir. Bu çalışmada ele alınan problemde de mahallenin yapısına uygun bir sezgisel model geliştirilmiş ve çözülmüştür.

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 yol vardır. Ancak, bunların bir kısmına yolun çok dar olması nedeniyle toplama aracı girememektedir. Yönsüz bir şebekede kapalı Euler turun olabilmesi yani, bir düğümden başlayıp aracın tüm ayrıtları bir kez ziyaret ederek tekrar aynı düğüme geri dönebilmesi için, G şebekesinde tek dereceli düğümlerin bulunmaması gerekmektedir. Bir düğüm, o düğüme gelen ve o düğümden çıkan ayrıtların sayısının toplamı tek sayı ise tek derecelidir. 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 ayrıtlın 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). Ancak, çalışmamızda bu algoritmadan farklı olarak, şebeke Eulerize (tek dereceli düğümlerin sanal yollarla çift dereceli duruma getirilmesi) 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. Dolayısıyla bu ayrıtlar şebekeden çıkarılarak araçla ziyareti engellenmiştir.

3.1. Algoritma

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

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

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

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

Yukarıdaki ifadelerde;

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 ayrıtlar sayısı

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

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

i) $C_{ij}^w < C_{ij}^v, \forall i, j \in N^0, \forall (i, j) \in A$ koşulunu sağlayan, düğümler arasındaki uzunluklar (d_{ij} 'ler) bulunur ve bir matris formunda yazılır.

ii) En büyük d_{ij} 'ler sırayla seçilir. Seçilen ayrıtların 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:

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

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

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

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

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

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

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

T_{ij}^r : aracın (i,j) ayrıtını ziyaret süresi (dk)

cp : işçinin birim zaman maliyeti (TL/dk)

cr : aracın birim hareket maliyeti (TL/dk)

V^w : işçinin yürüme hızı

V^v : aracın hızı

q_{ij} : (i,j) ayrıtındaki toplam hane sayısı

$\lceil x \rceil$: x bir kesirli sayı ise bir sonraki tamsayıya yuvarlanır (tavan değeri)

Yukarıda adım 2’de bahsedilen $C_{ij}^w < C_{ij}^v$ olması durumu, bir ayrıttaki atıkların işçi tarafından yürüyerek toplanmasının, araçla toplanmasından daha ekonomik olduğunu göstermektedir. Başka bir deyimle, $\forall i, j \in N^o, \forall (i, j) \in A$ için, bir ayrıtın $G(N, A)$ şebekesinden çıkarılmasının, şebekeden çıkarılmamasına göre daha düşük maliyetli olduğunu göstermektedir. Maliyet hesaplanırken, poşetlerin bırakılan yerlerden toplanma süreleri ihmal edilmiştir. (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. $T_{ij}^w, \left\lceil \frac{q_{ij}}{8} \right\rceil$ ’yle doğru

orantılıdır yani (i,j) ayrıtı üzerindeki hane sayısına bağlı olarak artmaktadır. Çünkü ayrıt üzerindeki hane sayısı arttıkça atık miktarı da artacak dolayısıyla işçinin atıkları yürüyerek toplama süresi de artacaktır. (5) no’lu denklemde ise, (i,j) ayrıtının araç ile ziyaret maliyeti verilmektedir. Burada kullanılan 1,5 katsayısı, düğümün tek dereceli olarak kalmasının tur zamanına etkisini göstermektedir. Tek dereceli düğüm, kendisine bağlı bazı ayrıtlarda iki kez geçmeye neden olabileceğinden, bu maliyeti en fazla iki kat artırabilir. Çalışmamızda, iyimser bir yaklaşımla bu oran 1,5 olarak alınmıştır. Atık toplama aracının hızı ise, işçinin yürüme hızının iki katı olarak alınmıştır.

Elde edilen yeni $G_1(N_1, A_1)$ şebekesi, tüm düğümleri çift dereceli bir şebeke ise, $G^* = G_1$ ’dir ve $Z^* = 0$ ’dır. Dolayısıyla 4. adıma geçilir. (Z^* : ilave edilen sanal ayrıtlar toplam uzunluğu, G^* : bütün düğümleri çift dereceli olan şebeke)

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

- i) 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.
- ii) 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.
- iii) 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.

4. Problemin Çözümü

Kuşpınar Mahallesi’nde atık toplama araçlarının toplam tur mesafesinin tespiti için, araçla ziyareti engellenen ayrıtlar belirlenerek öncelikle şebekede sadeleştirmeye gidilmiştir. Aracın bir ayrıtı ziyareti,

ayrıtın yapısına bağlı olarak yani, ayrıtın dar veya tek dereceli düğümler arasında olmasına bağlı olarak engellenmiştir. Elde edilen sadeleştirilmiş şebekede tek dereceli düğümler eşleme algoritması ile çift dereceli duruma getirilerek Eulerize edilmiş, turun toplam uzunluğu bulunmuştur. Aşağıda problemin çözümü detaylandırılmıştır.

Atık toplama araçları yakıt olarak mazot kullanmaktadır. Mazotun 1 lt'sinin maliyeti yaklaşık olarak 1.300.000 TL/lt dir. Araç, atık toplama esnasında 8 saatte, yaklaşık olarak 27,5 lt mazot yakmaktadır. Hesaplmalarda, aracın işçinin yürüme esnasında dururken yakmış olduğu mazot maliyeti ihmal edilmiştir. Toplama işlemini yürüten işçilere, aylık 303 milyon olan asgari ücret verilmektedir. Buna göre birim maliyetler ve buna bağlı formülasyonlar şöyle hesaplanır:

$$cp = 31.562 \text{ TL/dk} \quad cr \cong 74.000 \text{ TL/dk}$$

$$C^w = 31.562 \times T^{w_{ij}} \quad C^v = (31.562 + 74.000) \times T^r$$

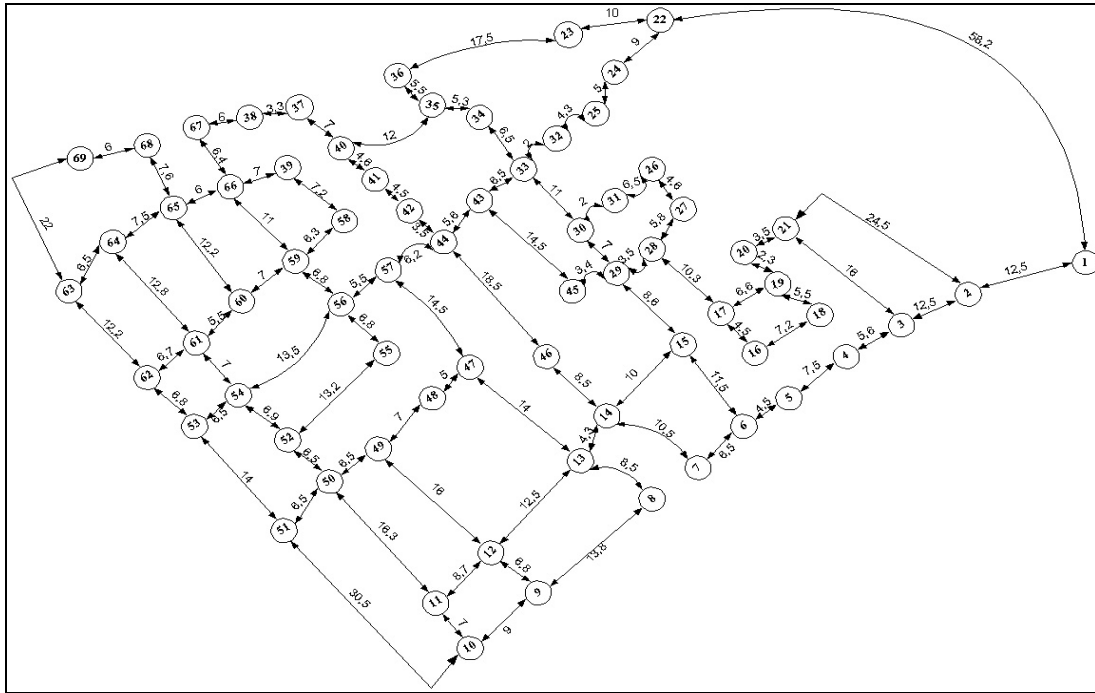
$$C^w_{ij} < C^v_{ij} \text{ için, } 31562 \times T^{w_{ij}} < 105562 \times T^r_{ij} \text{ olmalı.} \quad (5)$$

$$T^{w_{ij}} < 3,34 \times T^r_{ij} \Rightarrow \frac{d_{ij}}{V^w} \times \left[\frac{q_{ij}}{8} \right] < 3,34 \times \frac{1,5 \times d_{ij}}{V^v} \Rightarrow \frac{1}{v} \times \left[\frac{q_{ij}}{8} \right] < \frac{5,01}{2v} \Rightarrow \left[\frac{q}{8} \right] < 2,5 \Rightarrow q \leq 16$$

(6)

Yukarıdaki hesaplama sonucunda, $\left[\frac{q}{8} \right]$ sadece 1 ve 2 değerlerini alabilir. Bunun anlamı toplayıcı

kişinin bir ayrıtı ikiden fazla ziyaretinin getireceği maliyet, aracın bu ayrıtı girerek toplama yapmasından yüksektir. Bu nedenle $q \leq 16$ olan tüm ayrıtıların araç yerine, yürüyerek ziyaret edilmesi daha ekonomik olacaktır. Başka bir ifadeyle, 16 haneden fazla hane sayısına sahip ayrıtılarda işçi, elinde taşıyabileceği maksimum poşet sayısı kısıtından dolayı ikiden fazla sefer yapacak ve yürüme maliyeti zamana bağlı olarak artacaktır. Hesaplmalarda, düğümün tek dereceli olarak kalmasının diğer ayrıtlara etkisi ihmal edilmiştir. Algoritmanın 1. adımı sonunda elde edilen şebeke $G_1(N_1, A_1)$, Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 2. Denizli ili Kuşpınar Mahallesi $G_1(N_1, A_1)$ şebekesi

Şekil 2'de aracın geçmesine müsaade etmeyecek kadar dar ayrıtılar şebekeden iptal edilmiştir. Bu ayrıtılar; (28-31), (31-32), (23-24), (23-34), (34-42), (64-69), (38-39) ayrıtıdır. Hane sayısına bağlı olarak, eşleme algoritması ile iptal edilen ayrıtılar ise şunlardır: (7,8), (4,18), (5,16), (20,27), (25,26), (36,37), (45,46), (48,55), (41,58), (67,68).

Adım 3, Şekil 2'deki şebeke düğümlerinden en az birinin tek dereceli düğüm olması durumunda işletilmektedir. Görüldüğü üzere, Şekil 2'de toplam 26 adet tek dereceli düğüm vardır. Bu düğümler,

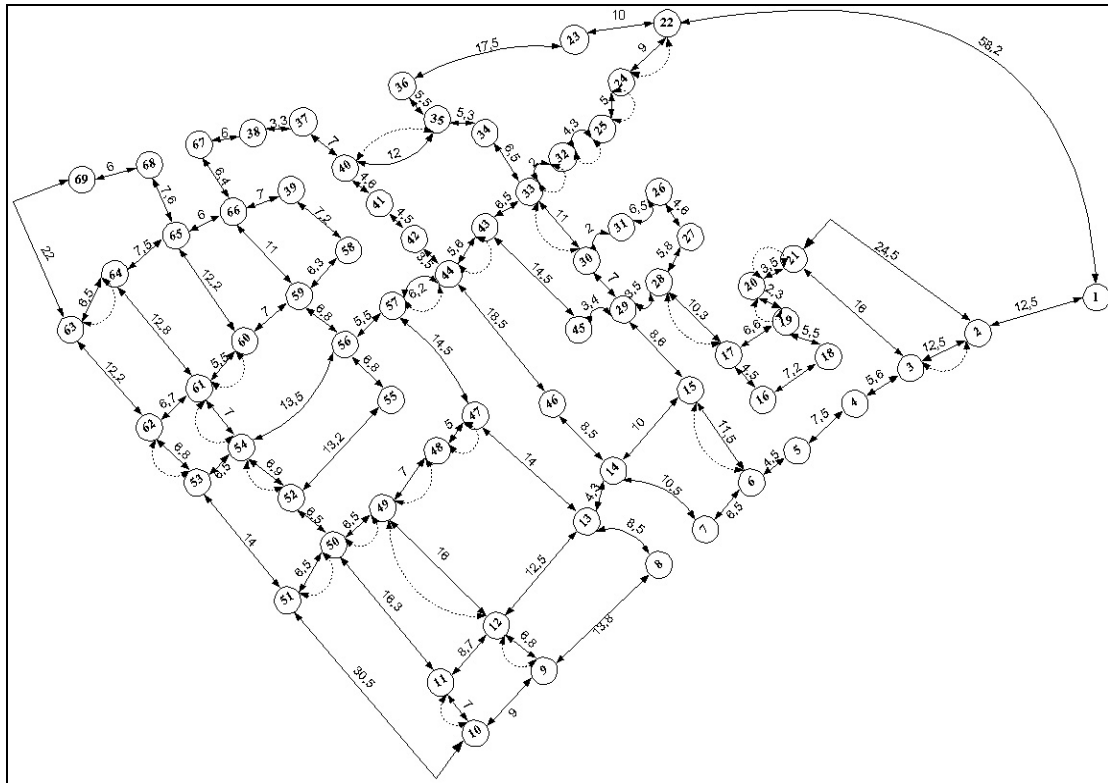
Adım 3'te anlatıldığı üzere, eşleme algoritması ile sanal yollar eklenerek çift dereceli duruma getirilmiştir. (Ek 1)

Şekil 3'te, mahalle şebekesinin son hali görülmektedir. Kesikli işaretlerle gösterilen sanal yollar, şebekede aracın iki kez geçmek zorunda kaldığı yolları göstermektedir. Bu yolların tespit edildiği matris, Ek 1'de görülmektedir. Ek 1'deki matris değerleri, Şekil 2'deki tek dereceli düğümler arası en kısa mesafeleri göstermektedir. Bu değerler, Win QSB programı, Network Modeling/Shortest Path menüsü ile hesaplanmıştır. Eşleme işlemine, en küçük rakamdan başlanır ve yolların baş ve son düğümleri tablonun satır ve sütunundan silinir. Bu işlem $m_0/2$ adet tek dereceli düğüm seçilene kadar devam edilir. Ek 1'de de görüldüğü üzere, kare içine alınan işaretli yollar, sanal yolların ilave edildiği düğümler arası en kısa mesafelerdir. Bu yollar, satır ve sütundan okunarak bulunursa: (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) yollarıdır.

Buna göre sanal yolların toplamı, $Z^* = 125 + 115 + 70 + 58 + 103 + 313 + 120 + 120 + 130 + 118 + 68 + 65 + 552 = 1957$ mm = 1,96 km. Yani aracın atık toplamadan gideceği toplam mesafe 1,96 kilometredir.

Aşağıda eşleme algoritmasında 51-52 en kısa mesafeli yolu ile 9-60 yolu ortak 50-52 ayrıtı içermektedirler. Bu durumda 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 edilir. Buna göre yeni $Z^* = 1,957 - (2 \times d_{50,52}) = 1,957 - (2 \times 0,065) = 1,83$ km'dir. Yani son durumda aracın evsel katı atık toplamadan gideceği yol, 1,83 km'dir. Toplamda ziyaret edeceği yol ise, $Z = 8,927 + 1,827 = 10,75$ km'dir.

Başlangıçta $G(N,A)$ şebekesinin tüm ayrıtıları uzunluğu 10,29 km idi. Şebeke, tek dereceli düğümlere sahip olduğundan, iyileştirme yapılmadan hesaplar yapılsaydı, aracın tur uzunluğu $Z = 10,29 + 1,957 = 12,247$ 'den fazla olacaktı. Ancak, şebeke Eulerize edilmeden önce maliyet fonksiyonuna bağlı olarak tek dereceli düğümler sayısında bir sadeleşmeye gidildiğinden ilk duruma göre tur uzunluğunda yaklaşık olarak %14'ten fazla bir azalma söz konusu olmuştur.



Şekil 3. Denizli ili Kuşpınar Mahallesi Eulerize edilmiş şebeke

5. 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 algoritmalardan 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.

Problemde optimum rota uzunluğu bulunurken hesaplamalarda, başlangıçta araca ait hiçbir kısıtın olmadığı varsayılmıştır. Euler turun belirlendiği şebekenin son hali Şekil 3'te gösterilmiştir. Kesikli işaretlerle gösterilen yollar, aracın atık toplamadan geçtiği yollardır. Bu yolların uzunluğu, toplam 1,96 km'dir. Bu çalışmada amaç, toplam tur mesafesi bulmak olduğundan şebekenin son hali bulunduğundan sonra tur rotası, toplam tur mesafesi değişmeyeceğinden gösterilmemiştir.

Bulunan Euler turun, ihtiyaç duyulan araç sayısına ve aracın atık toplama kapasitesine bağlı olarak, alt turlara bölünerek kümelenmesi daha sonraki çalışmada ele alınacaktır. Bu çalışmanın devamında Kuşpınar Mahallesi'ndeki tüm hanelerin, haftada bir toplanan atık poşetlerini düzenli olarak çıkarması varsayımı altında, ihtiyaç duyulan atık toplama araç sayısının ve rotalarının belirlenmesi hedeflenmektedir.

Kaynaklar

Beltrami E. And Bodin L., Networks and vehicle routing for municipal waste collection. *Networks*. 4, 65-94, 1974.

Christofides N., The Optimum Traversal of a Graph. *Omega*. Vol.1, No.6, pp. 719-732, 1973.

Dror M., *Arc Routing Theory, Solutions and Applications*, Kluwer Academic Publishers. London, 483 pages, 2000.

Dror M., Stern Helman I., Routing Electric Meter Readers. *Computers & Operations Research*. Vol. 6, pp. 209-223, 1979.

Edmonds, J., Johnson, E.L., Matching Euler Tours and Chinese Postman Problem. *Mathematical Programming*. 5, pp 88-124, 1973.

Erkip N., Kırca ., Katı Atık Yönetim Sistem Tasarımı. *Endüstri Mühendisliği*. Yıl:2, Sayı:5, 1990.

Or İ., Curi K., İzmir Őehrinin Katı Atık Toplama ve Taşıma Sisteminin Matematiksel Programlama ve Serim Teknikleri Kullanılarak İncelenmesi. *Araştırma Raporu*. İstanbul, Ekim 1989.

Pearn, W.L., Wu, T.C., Algorithms for Rural Postman Problem. *Computers & Operations Research*. Vol. 22, No. 8, pp. 819-828, 1995.

Sipahioğlu Aydın, Gezin Satıcı ve Araç Turu Belirleme Problemleri İçin Yeni Alt Tur Engelleme Kısıtları. Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, *Doktora Tezi*, 80 sayfa, Aralık 1996.

Slavenko Cugalj, Application of The Chinese postman Problem Model To The Toronto Transportation Network Within GIS-Based Software. University of Toronto, Applied Science, *Thesis of Master*, 103 sayfa, 2001.

Ek 1. Eşleme algoritması matrisi; tek dereceli düğümler arası en kısa mesafeler (Değerler 1/1000 ölçekle mm cinsiden verilmiştir.)

	2	3	6	9	10	11	15	17	19	21	22	28	30	35	40	43	47	49	51	52	53	57	60	62	63	64
2	-	125	301	707	796	726	416	369	303	245	707	472	572	800	863	681	654	774	904	904	1038	799	992	1106	1228	1167
3	125	-	176	582	671	601	291	284	218	160	760	387	447	675	738	556	529	649	779	779	913	674	867	981	1103	1042
6	301	176	-	406	495	425	115	339	394	336	584	236	271	499	562	380	353	473	603	603	737	498	691	805	927	866
9	707	582	406	-	90	155	336	560	626	684	805	457	492	720	632	562	333	228	358	358	492	478	552	560	682	625
10	796	671	495	90	-	70	425	649	715	773	894	546	581	809	721	651	418	298	298	298	432	553	492	500	622	565
11	726	601	425	155	70	-	355	579	645	703	824	476	511	739	651	581	348	228	228	228	362	483	422	430	552	495
15	416	291	115	336	425	355	-	224	290	348	469	121	156	384	447	265	283	403	533	533	638	383	576	698	816	751
17	369	284	339	560	649	579	224	-	66	124	521	103	208	436	499	317	507	627	757	690	690	435	628	750	868	803
19	303	218	394	626	715	645	290	66	-	58	587	169	274	502	565	383	573	693	823	756	756	501	694	816	934	869
21	245	160	336	684	773	703	348	124	58	-	645	227	332	560	623	441	631	751	881	814	814	559	752	874	992	927
22	707	760	584	805	894	824	469	521	587	645	-	418	313	321	441	268	531	651	771	641	641	386	579	701	819	754
28	472	387	236	457	546	476	121	103	169	227	418	-	105	333	396	214	404	524	654	587	587	332	525	647	765	700
30	572	447	271	492	581	511	156	208	274	332	313	105	-	228	348	175	438	558	678	548	548	293	486	608	726	661
35	800	675	499	720	809	739	384	436	502	560	321	333	228	-	120	183	446	566	686	556	556	301	494	616	547	482
40	863	738	562	632	721	651	447	499	565	623	441	396	348	120	-	182	333	453	573	443	443	188	381	503	427	362
43	681	556	380	562	651	581	265	317	383	441	268	214	175	183	182	-	263	383	503	373	373	118	311	433	551	486
47	654	529	353	333	418	348	283	507	573	631	531	404	438	446	333	263	-	120	250	250	384	145	338	452	574	513
49	774	649	473	228	298	228	403	627	693	751	651	524	558	566	453	383	120	-	130	130	264	265	324	332	454	397
51	904	779	603	358	298	228	533	757	823	881	771	654	678	686	573	503	250	130	-	130	140	385	324	208	330	395
52	904	779	603	358	298	228	533	690	756	814	641	587	548	556	443	373	250	130	130	-	134	255	194	202	324	267
53	1038	913	737	492	432	362	638	690	756	814	641	587	548	556	443	373	384	264	140	134	-	255	190	68	190	255
57	799	674	498	478	553	483	383	435	501	559	386	332	293	301	188	118	145	265	385	255	255	-	193	315	433	368
60	992	867	691	552	492	422	576	628	694	752	579	525	486	494	381	311	338	324	324	194	190	193	-	122	244	183
62	1106	981	805	560	500	430	698	750	816	874	701	647	608	616	503	433	452	332	208	202	68	315	122	-	122	187
63	1228	1103	927	682	622	552	816	868	934	992	819	765	726	547	427	551	574	454	330	324	190	433	244	122	-	65
64	1167	1042	866	625	565	495	751	803	869	927	754	700	661	482	362	486	513	397	395	267	255	368	183	187	65	-