

Samsun İli İlkadım İlçesi Kalkancı Bölgesinde Sürdürülebilir Atık Yönetiminin Ağ Analizi ile Değerlendirilmesi

Evaluation of Sustainable Waste Management in the Kalkancı Region of İlkadım District, Samsun Province, with Network Analysis

Prof. Dr. Ayşe KULEYİN

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Samsun, Türkiye
akuleyin@omu.edu.tr
ORCID: 0000-0001-6825-710X

Yasin ASLAN

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Samsun, Türkiye
hulyasinaslan@gmail.com
ORCID: 0009-0008-7547-1655

Makale Türü:

ARAŞTIRMA

Gönderilme Tarihi:

28 Nisan 2025

Kabul Tarihi:

21 Mayıs 2025

Öz

Çalışma kapsamında Samsun ili, İlkadım ilçesinde yoğunlukla konutların bulunduğu Kalkanca, Karasamsun ve Baruthane mahallelerinde üretilen kentsel katı atıkların toplama ve taşıma işlemleri incelenmiş olup kentsel katı atık toplama rotaları ağ analizi yöntemi ile optimize edilmiştir. Optimizasyon işleminde gelişmiş bir coğrafi bilgi sistemi yazılımı olan ArcGIS Pro kullanılmıştır. Rota optimizasyonunda Samsun ili İlkadım Belediyesi Temizlik İşleri Müdürlüğünden alınan veriler kullanılmıştır. Genel olarak kullanılan rotalar, ilgili bölge aracının GPS kayıtları ile belirlenmiştir. Bu çalışmada mevcut kentsel katı atık toplama taşıma rotalarının kısaltılması, kaynakların daha verimli kullanılması ve toplama işlemi verimliliğini artırmak amacı ile yapılmıştır. Atık toplama işlemi için gereken sürenin, harcanan performansın ve yakıtın azaltılması amacıyla optimize edilmiş sonuçlar, %28,05 ve %37,34'lük bir mesafe azaltma oranına işaret etmektedir. Bu veriler kentsel katı atık toplama işlemlerinde önemli bir maliyet azaltımı gerçekleştirecektir. Bu kapsamda ağ analizi yöntemi ile yapılan çalışmamızda elde edilen yeni rotalarda seyredecek araçların karbondioksit (CO₂) emisyonları da aldıkları yol oranında azalacağı değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Katı Atık Toplama, Atık Yönetimi, Rota Analizi, ArcGIS Yazılımı, Coğrafi Bilgi Sistemleri.

Abstract

Within the scope of the study, the collection and transportation processes of urban solid waste produced in Kalkanca, Karasamsun and Baruthane neighborhoods, which are mostly residential in İlkadım district of Samsun Province, were examined and urban solid waste collection routes were optimized with the network analysis method. ArcGIS Pro, an advanced geographic information system software, was used in the optimization process. Data obtained from the Samsun İlkadım Municipality Cleaning Affairs Directorate were used in the route optimization. The generally used routes were determined with the GPS records of the relevant regional vehicle. This study was conducted with the aim of shortening the existing urban solid waste collection transportation routes, using resources more efficiently and increasing the efficiency of the collection process. The optimized results, which were aimed at reducing the time required for waste collection, the performance spent and the fuel, indicate a distance reduction rate of 28.05% and 37.34%. These data will provide a significant cost reduction in urban solid waste collection operations. In this context, it is evaluated that the carbon dioxide (CO₂) emissions of the vehicles traveling on the new routes obtained in our study conducted with the network analysis method will also decrease in proportion to the distance they travel.

Keywords: Solid Waste Collection, Waste Management, Route Analysis, ArcGIS software, Geographic Information Systems.

1. Giriş

Sürdürülebilir kentsel katı atık yönetimi, çevresel, ekonomik ve sosyal boyutları dikkate alarak atık üretimini azaltmayı, geri dönüşümü teşvik etmeyi, kaynakları verimli bir şekilde kullanmayı ve çevresel etkileri minimize etmeyi hedefler. Sürdürülebilir kentsel katı atık yönetimi, yenilikçi çözümler ve teknolojilerin kullanılmasını teşvik eder. Örneğin, akıllı atık toplama sistemleri, atık miktarını izler ve toplama rotalarını optimize eder. Birçok araştırmacı araç rotalama problemlerini, bir veya daha fazla depodan, belirli bir müşteri grubuna hizmet etmek için kullanılan araç filosunun optimum rotasının belirlenmesi olarak tanımlamıştır ve bu konuyla ilgili ilk çalışma Dantzig vd. tarafından 1954 yılında yapılmıştır (Rego 2001, Toth ve Vigo 2002, Dantzig, vd. 1954).

Araç rotalama problemleri, çeşitli kriterlere göre kendi içinde farklılaşmaktadır. Bu kriterler genellikle kısıtların, araçların, müşterilerin, yolların ve rotaların özelliklerine göre ortaya çıkmaktadır. Araç rotalama problemi bu kriterlere göre şu şekilde sınıflandırılmıştır: dinamik veya statik araç rotalama problemi türleri, rotaların durumuna göre araç rotalama problemi türleri, kısıtlarına göre araç rotalama problemleri türleri, yolların durumuna göre araç rotalama problemleri ve dağıtım ve toplamalı araç rotalama problemleri (Erol, 2006, Kuşçu, 2009, Wassan vd., 2008). Araç rotalama problemlerine uygun çözümler bulmak gün geçtikçe zorlaşmaktadır. Çünkü rotalama da kullanılan kısıtların farklılığı ve fazlalığı araç rotalama problemlerini daha da karmaşık bir hale getirmektedir (Malakahmad vd., 2013). Araç rotalama problemlerini çözmek için geliştirilen yöntemler Tablo I’de listelenmiştir (Erol, 2006). Atık toplama rotalarının iyileştirilmesine yönelik birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalarda, toplama rotasını optimize etmek için doğrusal programlama, toplama işlemlerini izlemek için Nesnelerin İnterneti ve akıllı çöp kutuları ile küçük bir şehirde atık toplama araçlarının simülasyonunu yapma gibi yöntemler kullanılmaktadır (Rizvanoglu O, Kaya S, 2019, Che Soh v.d., 2019). Ancak, bu tür analizlere coğrafi ve mekânsal yazılımlar da uygulanabilir. ArcGIS Pro, bu tür analizlere olanak tanıyan yazılımlardan biridir ve bu yöntemi ele alan birçok çalışma bulunmaktadır (Lan Vu, vd., 2018, Le Dinh, vd., 2021, Lan Vu vd., 2019 ve Baras and Ziouzos, 2021).

Tablo I: Araç Rotalama Problemleri için Geliştirilen Yöntemler (Erol, 2006).

Sezgisel Algoritmalar	Meta Sezgisel & Algoritmalar
1) İyileştirmeli Sezgisel Algoritmalar	1) Tavlama Benzetme Algoritması
Tek Rota İyileştirmeli Sezgisel Algoritmalar	2) Tabu Arama Yöntemi
Çok Rota İyileştirmeli Sezgisel Algoritmalar	3) Karınca Kolonisi Optimizasyon Yöntemi
2) Yapısal Sezgisel Algoritmalar	4) Genetik Algoritmalar
Clarke ve Wright Tasarruf Algoritması	5) Yapay Sinir Ağları
Eşleme Tabanlı Tasarruf Algoritması	
Sıralı Ekleme Sezgisel Algoritması	
En Kısa Yol Yöntemi	
3) Çok Aşamalı Sezgisel Algoritmalar	
İlk Grupla Sonra Rotala Yöntemi	
İlk Rotala Sonra Grupla Yöntemi	

Bu çalışma, Samsun ili İlkadım ilçesindeki Kalkanca, Karasamsun ve Baruthane mahallelerinde üretilen kentsel katı atıkların toplanması ve taşınması süreçlerini incelemekte ve bu süreçlerin optimizasyonunu hedeflemektedir. ArcGIS Pro yazılımının Ağ Analizi aracı kullanılarak mevcut çöp toplama rotaları analiz edilmekte ve iyileştirilmektedir. Çalışmada, Samsun İlkadım Belediyesi’nden alınan veriler ve GPS kayıtlarıyla belirlenen mevcut rotalar üzerinden, atık toplama süresinin, yakıt tüketiminin ve maliyetlerin azaltılması amaçlanmaktadır. Bu çalışma, yerel yönetimlerin sürdürülebilir atık yönetimi stratejilerini geliştirmelerine katkıda bulunarak, toplumun genel refahını artırmayı amaçlamaktadır.

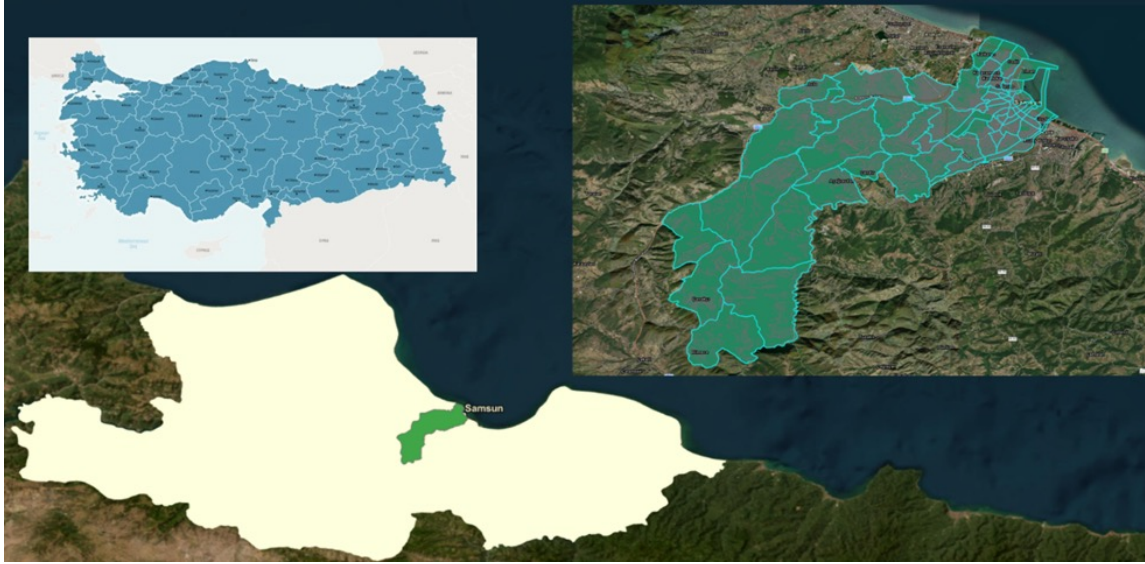
2. Materyal Metot

2.1. Çalışma Alanı

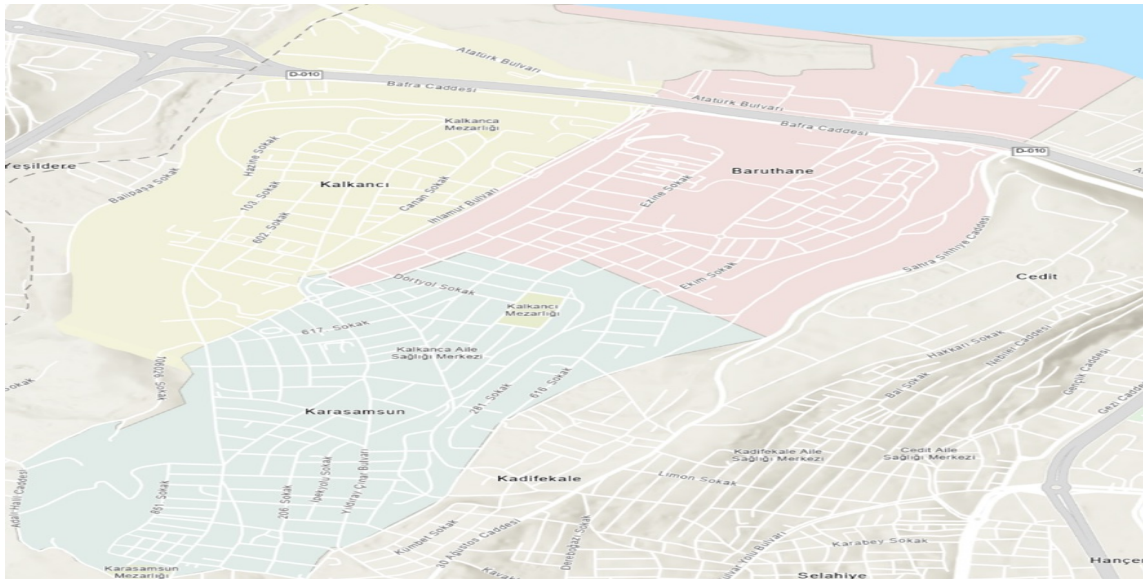
İlkadım Samsun ilinin merkezinde yer alan bir ilçedir. Kürtün çayı ile Mert ırmağı arasında kalan eski Samsun olarak da adlandırılan bir bölgedir. Bu nedenle İlkadım ilçemiz gündüz nüfusu ile gece nüfusu farklıdır. Çalışmada Samsun şehrinin İlkadım ilçesinde yer alan Kalkanca, Karasamsun ve Baruthane mahalleleri incelenmiştir. Bu

mahallelerin seçilme nedeni Konut Yoğun Mahalle (KYM) olmalarıdır, bir diğer nedeni ise yerleşik nüfusun sabit olmasıdır. İlkadım ilçe nüfusu, 2023 adrese dayalı nüfus kayıt sistemi (ADNKS) verilerine göre 322.228'dir. 2023 yılı nüfus artış hızı ise binde -34,4'tür ve ilçe son yıllarda göç vermektedir.

Şekil 1'de Çalışma Alanının Konumu, Şekil 2'de ise Kalkanca, Karasamsun ve Baruthane Mahalleleri gösterilmiştir. 2023 nüfus verilerine göre üç mahallenin toplam nüfusu 26.858 kişidir.



Şekil 1. İlkadım İlçesinin Türkiye'deki Konumu.



Şekil 2. Çalışma Alanına Ait Harita.

Tablo II: İlkadım İlçesi 2019-2023 Kentsel Katı Atık Miktarları (Ton).

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
2023	6.613	5.565	6.425	6.422	6.632	7.658	6.632	6.972	7.501	7.121	7.043	7.469
2022	7.223	7.324	7.324	7.123	7.155	7.714	8.229	8.562	7.822	7.682	7.516	7.798
2021	7.599	7.355	7.668	7.234	7.750	8.567	7.594	7.510	8.503	8.813	7.766	7.615
2020	8.471	7.571	8.323	7.520	7.722	8.581	9.342	8.745	8.410	8.231	7.855	8.016
2019	8.546	7.719	8.328	8.059	8.291	8.797	8.786	9.758	8.523	8.779	8.635	8.613

Kaynak: İlkadım Belediyesi Temizlik İşleri Müdürlüğü

İlkadım İlçesinde atık toplama işlemi mekanik olarak, 5.000 litre ve 3.500 litrelik vinçli sistemli konteynerler ve ortalama 9,5 ton kapasiteli sıkıştırma kapasiteli vinçli kamyonlar kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Normal hidrolik sıkıştırmalı kentsel katı atık toplama araçları ise büyük, orta ve küçük olarak nitelendirilen 3 sınıftan oluşmaktadır. Araçlardaki ekip, iş sağlığı ve güvenliği gereği kamyonlardan asla inmeyen bir sürücü ve biri kamyonun hidrolik kaldırma mekanizmasını çalıştırmakla görevli olan çöp kutularını araca yükleyip boşaltan iki işçiden oluşmaktadır. Çöp konteynerlerinin çoğu 1.100 ve 770 litrelik kapasiteli olup tekerlekli sistem kullanılmaktadır, ancak bazı merkezi noktalarda daha büyük olanları da bulunmaktadır. İlkadım özelinde konut ve işyeri sayıları incelendiğinde özellikle site tarzı yapılaşması ve ilçe geneline oranla yüksek katlı konut yapılaşma tarzından dolayı Kalkanca, Karasamsun ve Baruthane mahallelerin yer aldığı bölge ikili toplama sistemine uygun konut ağırlıklı bir yapıya sahiptir. Bu kapsamda bu üç mahalle Konut Yoğun Mahalleler (KYM) olarak değerlendirilmeye alınmıştır.

2.2. Metodoloji

Çalışma alanında üretilen kentsel katı atıkların toplanmasından sorumlu kurumdan alınan veriler ve saha çalışmasından elde ettiğimiz mekânsal verilerin ekonomik, sosyal ve teknik unsurlarla birleştirilmesinde güçlü bir araç olan Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) analizi ile atık toplama rotasının hangi alanlarda optimize edilebileceği analiz edilmiştir. Metodolojiye değinmeden önce neden bu araçların kullanıldığı açıklanmalıdır. Gezgin Satıcı Problemi olarak da bilinen Araç Rotalama Problemi, rota optimizasyonunu çözmeye yönelik bir matematik problemi ve denklemler dizisidir. Araç Rotalama optimizasyonu, teslimatları, alımları, hizmetleri veya denetimleri içeren tüm taşımacılık tabanlı sektörler için önemlidir. En verimli rotanın hesaplanmasıyla işgücü, zaman, para ve emisyon gibi önemli maliyetlerden tasarruf edilebilir.

Hali hazırda İlkadım ilçesinde araç rotalama işlemleri yapılmamakta araçların toplama güzergahı şoför inisiyatifinde

gitmektedir. Genellikle günlük olarak bölge turlanmakta, dolan konteynerler alınmakta araç kapasitesi ve günlük iki ya da üç döküm yapacak şekilde araçlar doldurulmakta ve amirler tarafından bölgeden verilen notlar ek olarak değerlendirilmektedir.

Günümüzde gerek coğrafi bilgi sistemlerinin gelişmesi gerekse atık toplama taşıma ekipmanlarının yüksek ilk yatırım ve işletme maliyetleri gereği atıkların daha ekonomik ve sürdürülebilir bir şekilde toplanmasını zaruri hale getirmiştir. Çalışma alanındaki konteynerlerde toplanacak olan atıkların hacim ve ağırlık bilgisine net olarak ulaşmak mümkün değildir. Bunun nedeni atık üretim miktarının sürekli olarak değişiklik göstermesidir. Bu değişkenliğin nedenleri ise sırasıyla, atık konteynerini kullanan kişi sayısı, atık çıkartma periyodu, tüketim alışkanlıklarındaki farklılar gibi etmenlerdir. Optimizasyon, sınırlı araç kapasitesi ile belirli bir alanda ya da belirli bir nüfusun ürettiği kentsel katı atıkların toplama ekipmanlarından taşarak çevre kirliliğine ya da etrafa pis koku saçmadan toplanması ve taşınması işinin yapılması olarak nitelendirilebilir. Bu kapsamda gerçek dünya uygulamalarında yaz ve kış aylarında farklı toplama periyotları ve rotaları belirlenebilir.

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), kentsel katı atık toplama ve taşıma süreçlerinin optimizasyonunda oldukça etkili bir araçtır. CBS'nin kullanımıyla atık toplama rotalarının planlanması ve iyileştirilmesi, maliyetlerin düşürülmesi, zamanın etkin kullanılması ve çevresel etkilerin azaltılması mümkündür. CBS, katı atık yönetiminde atık üretiminden, bertaraf/geri kazanım süreçlerini içerecek bütünsel bir şekilde yönetilmesini sağlar. Bu entegre yaklaşım, atık yönetiminin çevresel ve ekonomik sürdürülebilirliğini artırır.

Bu kapsamda, CBS'nin farklı atık yönetim teknolojileri ile nasıl entegre edildiği ve optimum çözümler sunduğu üzerine birçok çalışma bulunmaktadır (Şahin, 2014, Kuru, 2018, Apaydın, 2004). CBS ve Nesnelerin İnterneti teknolojilerinin birleşimi, atık toplama rotalarının optimizasyonunda yeni yöntemler sunar. Bu yaklaşımla, atık toplama

araçları için en uygun rotalar belirlenir ve atık toplama için kat edilen yol ve süre minimize edilir.

Çalışma da yazılım olarak Esri firmasının Lisanslı ArcGIS Pro 3.3 kullanılmıştır. Coğrafi verileri oluşturan, görüntüleyen ve analiz eden, atık toplama taşıma ve transfer süreci için araç rotalama problemlerini çözen ve sonuçları gösteren bir yazılımdır. ArcGIS Pro 3.3 Ağ Analisti Fonksiyonu, her rotayla ilişkili araçların seyahat mesafeleri ve çalışma sürelerine göre en uygun rotaları belirlemek için kullanılır. CBS, kentsel katı atık toplama işinin optimize edilmesi de dahil olmak üzere birçok kentsel katı atık yönetimi çalışmasında kullanılmaktadır (K. Nguyen-Trong vd., 2017).

3. Senaryo ve Analiz

İlkadım Belediyesi Temizlik İşleri Müdürlüğünden ve saha çalışması ile elde edilen verilerden yola çıkılarak Kalkanca, Karasamsun ve Baruthane Mahallelerini kapsayan alanda konumlarının yakınlığı nedeniyle birlikte analiz edilmesine karar verilmiştir. Bölgede değişik kapasitelerde 2 tip atık toplama konteyneri (vinçli ve standart) ile sokaklardan, kaldırım kenarından yer çöpü de toplanmaktadır. Bu kapsamda İlkadım ilçesinin kentsel katı atıklarını en optimum rotayı kullanarak yakıt ve emisyon gibi mesafeye dayalı maliyetlerden tasarruf etmenin yanı sıra konteynerlere zamanında müdahale ederek kentsel katı atık kaynaklı çevre kirliliğinin de önüne geçilmesi planlanmaktadır. 3.500 litrelik yer üstü vinçli ve 770 litrelik normal kentsel katı atık konteynerlerinin toplama işlemlerinin yapılacağı rotalarının belirlenmesi ve ağ analiz ile analiz edilmesi

mevcut rota ile karşılaştırılması yapılacaktır. Çalışma alanında normalde 3 rotaya bölünmüş ve 285 toplama noktası mevcuttur ve operasyon için her rotayı farklı bir kamyonla yöneterek biri vinçli olmak üzere toplam 2 kamyon olacak şekilde optimize çalışması yürütülmüştür.

Kurumdan ve saha çalışması ile elde edilen veriler Esri firmasına ait ArcGIS Pro yazılımında yer alan VRP (Vehicle Routing Problem) çözümleyicisini kullanarak mevcut veriler ile optimize rotalar oluşturarak mevcut rotaların optimize edilmesini sağlanmıştır. Şekil 3'te yer alan akış diyagramında görüldüğü gibi, yeni bir ArcGIS Pro projesinde, Analysis sekmesinden Workflows grubu içerisinde Network Analiz Sekmesini seçilir ve açılan pencerede Vehicle Routing Problem Sekmesi seçilir. Bu şekilde yeni bir analiz katmanı oluşturulur.

Ağ Analisti VRP sekmesi ile "Giriş Verileri" bölümünde "Konteyner Noktaları", "Garaj", transfer istasyon ve yeni rotalar (araçlar için) oluşturabilir. Bu seçenekler senaryo özelleştirilmesine olanak tanımaktadır. Atık toplama nokta verilerinin toplu olarak içe aktarılması seçenekleri gibi, bazı seçenekler ArcGIS Pro projesine daha önceden oluşturulan mevcut özelliklerin getirilmesine olanak tanır. Alternatif olarak, "Özellik Oluştur" seçeneği, Araç Rotalama Probleminin tüm parçalarını önceden var olan herhangi bir veriye ihtiyaç duymadan oluşturulmasına olanak tanır. Basit bir Kentsel Katı Atık Aracı Rotalama Probleminde bir garaja, toplama ekipmanlarına ve lokasyonlarına, kapasitelerine, bir rotaya ve aktarma istasyonuna ihtiyaç vardır. Ayrıntılı olarak araç rotalama probleminde ihtiyaç duyulan veriler aşağıda verilmiştir.

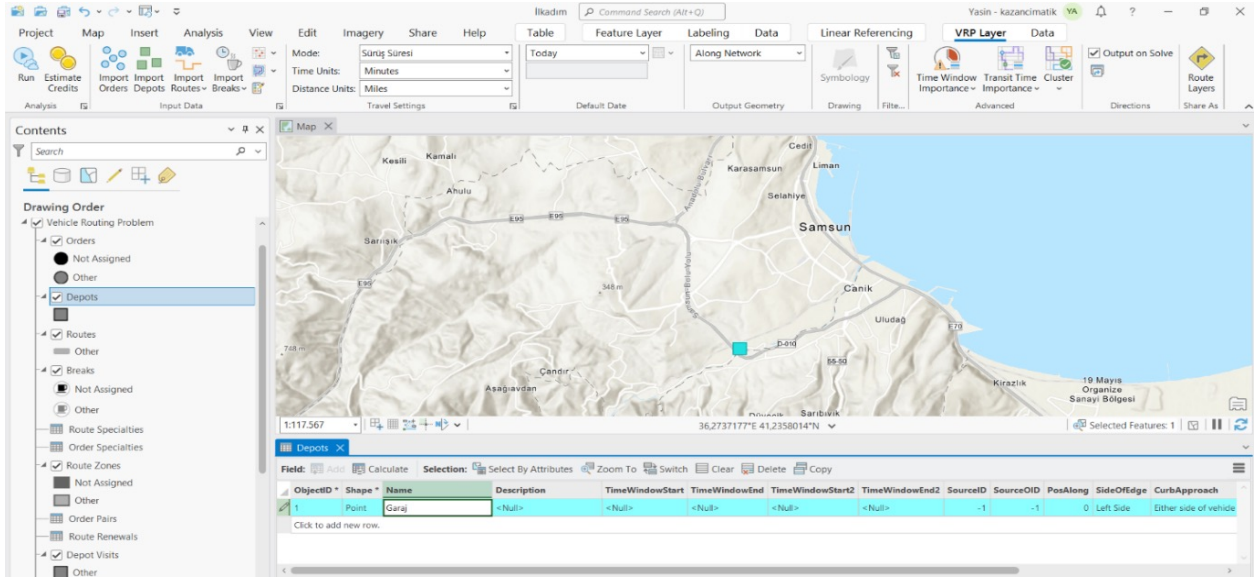


Şekil 3. ArcGIS PRO'da Network Analiz Modülüne Geçiş.

3.1. Garajın ve Aktarma İstasyonunun Kurulması

Depo Noktaları (“Depods”) belirlenir ve VRP katmanına eklenir. “Depots” Özellik Sınıfında Araç Rotalama Problemini çözmek için çeşitli veriler saklanmaktadır. Bu verilerin başlıcaları aşağıda yer almaktadır; Bir kentsel katı atık toplama aracının iş gününün başında yola çıktığı, işe başladığı ve gün sonun da geri döndüğü yer olarak nitelendirilebilir. Ağ Analisti “VRP Özellik Oluştur” bölümünde, Garaj konumunu oluşturmak için Depotsu seçilir. İlkadım ilçesinin

güneyinde Mert Irmağının üstünde Irmak Caddesinde yer alan İlkadım Belediyesi Temizlik İşleri Şantiyesinin yeri seçilir. Şekil 4’de gösterilen İlkadım Belediyesi Temizlik İşleri Garajının adı veri tabanının da “Garage” olarak değiştirilir. Aktarma İstasyonu ise “Transfer” olarak belirtilmiştir ve operasyon sonucu dolan kentsel katı atık toplama araçlarının boşaltılabileceği bir yenileme konumu olarak işlev görür. Aracın içerisindeki atıklar daha büyük hacimli bir araca aktarıldıktan sonra araç görevine kaldığı yerden devam eder. Şekil 4’de İlkadım Belediyesi temizlik işleri garajı gösterilmektedir.

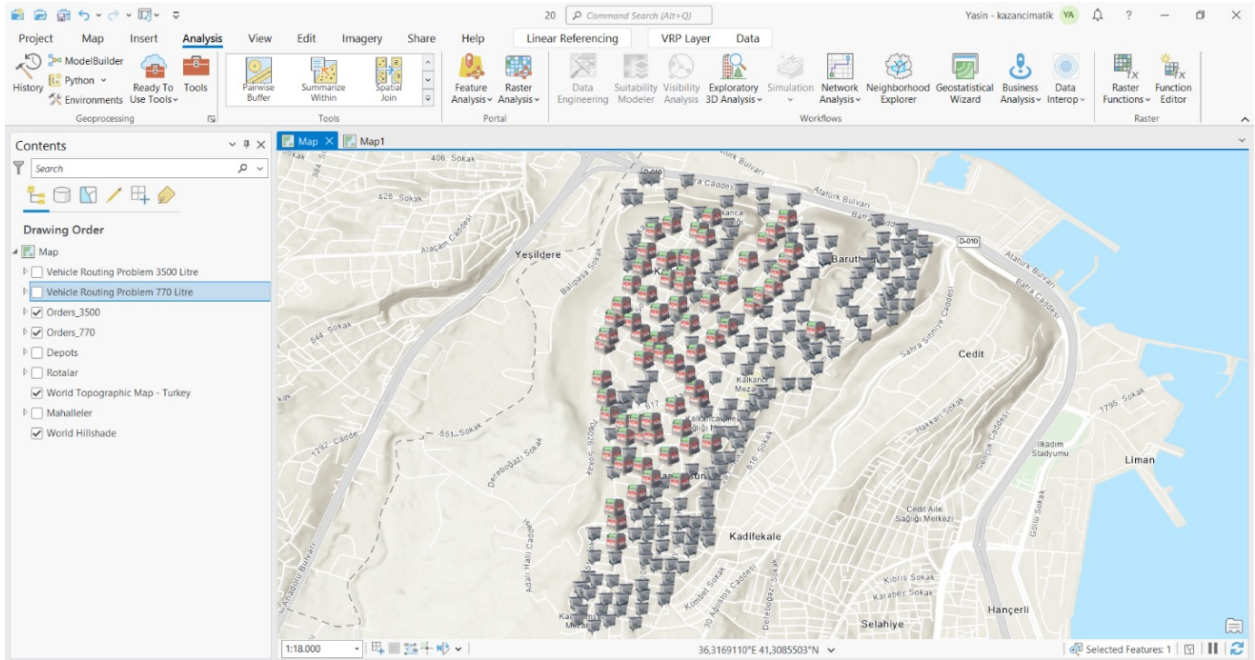


Şekil 4. İlkadım Belediyesi Temizlik İşleri Garajının ArcGIS Pro Üzerinde Gösterimi.

3.2. Emir/Sipariş/Konteyner Operasyonu

Atık toplama noktaları, bölge sayısı ve araçların gruplanması. Garaj eklendiği gibi, Ağ Analisti VRP Özellikler Oluştur bölümünde konteyner konumlarını oluşturulmuştur ve Şekil 5’te verilmiştir. Orders özellik sınıfı, belirli bir araç rotalama problemi analiz katmanının parçası olan emirleri saklar. Söz konusu emirlerde teslim alınacak öğeler

varsa öğeler bir veya daha fazla kapasiteye sahip olabilir; bu kapasite, ağırlık, hacim veya birim sayısı gibi istediğiniz herhangi bir biçime veya ölçüm kombinasyonuna bağlı olabilir. Bir teslim almanın veya bir tür hizmetin veya operasyonun varış yerini temsil edebilir. Bu senaryoda, kentsel katı atık konteynerlerinin hidrolik sıkıştırılmalı ve vinçli sistem hidrolik sıkıştırılmalı araçları tarafından kaldırılması ve içerisindeki kentsel katı atıkların araca aktarılması işlemi temsil etmektedir.



Şekil 5. Çalışma Alanındaki Atık Toplama Ekipmanlarının ArcGIS Pro Üzerinde Gösterimi.

3.3. Hesaplama Verileri

Aşağıda yer alan Tablo III'te listelenmiş ve devamında senaryo için belediyeden alınan veriler özetlenmiştir. İlkadım Belediyesi'nden alınan veriler sisteme manuel olarak girilmiştir.

Tablo III: Hesaplama Verileri.

Araç Kapasitesi	Konteyner Kapasitesi	Doluluk Oranı	Sıkıştırma Katsayısı
7+1 m ³	770 L	%50	4

- Konteynerlerin Yarım Dolu Hacmi:
 - Bir konteynerin yarım dolu hacmi: 770 litre × 0,5 = 385 litre = 0,385 m³
- Sıkıştırma Katsayısını Uygulama:
 - Konteynerlerin sıkıştırma faktöründen dolayı kapladığı hacim: 0,385 m³/4 = 0,09625 m³ (Bir konteynerin araç içinde kapladığı yer)
- Araç Kapasitesini Kullanma:
 - Araçın toplam kapasitesi: 7+ 1 m³
 - Bir konteynerin kapladığı yer: 0,09625 m³

4. Konteyner Sayısını Hesaplama:

o Araçın alabileceği konteyner sayısı: $7+ 1 \text{ m}^3 / 0,09625 \text{ m}^3 \approx 83$ adet

Bu durumda, araç tam olarak 83 konteyneri alabilir. 7 m³ kapasitesiyle, yarım dolu ve sıkıştırma katsayısı 4 olan 83 adet 770 litrelik konteyner taşıyabilir.

3.4. VRP Çözümlemesini Çalıştırma

Veriler değerlendirilerek rota optimize edilmesi gerekmektedir. Network Analyst VRP sekmesinde Rotaları İçer Aktar'a tıklanır ve Rota Ekle seçilir. Araç Rotalama Sorunlu Rotaları Ekle adı verilen bir coğrafi işlem bölmesi açılacaktır. Bu senaryoda, yalnızca bir rota kullanılacaktır, "Rota Sayısı" kutusuna 1 girilir. Rotaya 'Rotal' adını verilir. Başlangıç Deposu Adı 'Garage' ve Bitiş Deposu Adı için 'Transfer' i girilir. İstenirse "En Erken" ve "En Geç Başlangıç Saatleri" ayarlanabilir. Bu çalışmada bir aralık verilmemiştir, araçların çalışma saatlerinde işe başlayacak şekilde veri girişi yapılmıştır. Araç Rotalama Sorunu Rotaları Ekle coğrafi işlem bölümünde, rotaları Araç Rotalama Sorununa eklemek için "Çalıştır" komutu seçilir.

4. Çıktılar ve Tartışma

ArcGIS Pro'da oluşturulan rotalar analiz edilir. Rotaların yoğunlukları, toplam mesafe, zaman ve diğer ilgili metrikler incelenir. Temizlik İşleri Garajı, konteyner noktaları oluşturulmuştur ve sistemde Kalkanca bölgesi için Vinçli Araç Rotasını eklenmiştir. Network Analyst VRP sekmesinin Analysis bölümünde Run seçeneğine tıklanarak Araç Rotalama Problemini çalıştırıldığında tüm konteyner

noktalarını aktarma istasyonuna bağlayan bir rota çıktı-sı belirlenmiştir. Bu, rota, sistemde yer alan ayarlar kapsamında, sisteme eklediğimiz vinçli sistem 3.500 litrelik kentsel katı atık konteynerlerini toplamak için en verimli rotadır. Ayrıca bölgedeki 770 litrelik konteynerler için ise 2 adet optimum rota oluşturulmuştur. Yapılan optimizasyon ile elde edilen yeni rotaların verileri Tablo IV'te listelenmiştir. Bölgede 211 adet 770 litrelik ve 74 adet 3.500 litrelik, toplam 285 konteyner bulunmaktadır.

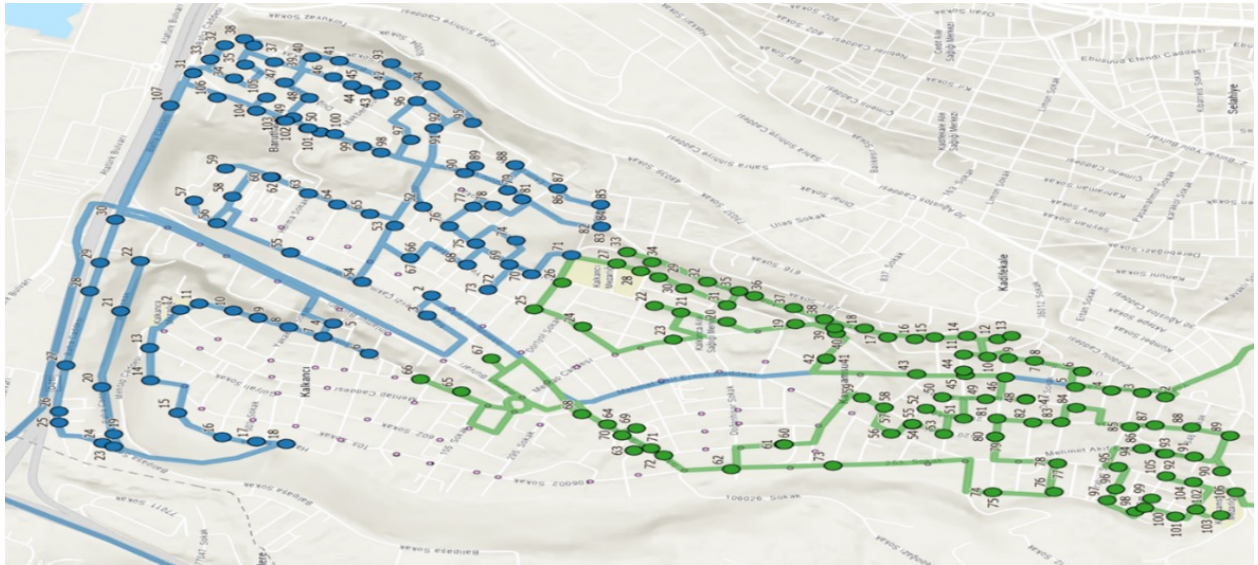
Tablo IV: Rotalar için ArcGIS Pro Optimizasyonu ile Elde Edilen Süreler ve Yol Uzunlukları.

Rota	Konteyner Sayısı	Kapasite	Yolda Geçen Süre (Dakika)	Konteyner Kaldırma Süresi (Dakika)	Toplam Süre (Dakika)	Toplam Yol (km)	Döküm İçin Gerekli Yol (km)	Optimize Yol (km)
1*	106	770	71,70	106	177,70	36,61	18	18,61
2*	105	770	58,58	105	163,58	27,97	18	9,97
3**	74	3.500	55,93	148	203,93	31,62	18	13,62

*1-2 Normal Hidrolik Sıkıştırılmalı 770 litrelik konteynerleri toplayan araç. **3- Vinçli Hidrolik sıkıştırılmalı 3.500 litrelik konteynerleri toplayan araç.

Şekil 6'da çalışma alanında bulunan 770 litrelik, Şekil 7'de ise 3.500 litrelik konteynerleri kaldıran hidrolik sıkıştırılmalı

araçların optimize edilmiş rotaları verilmiştir.



Şekil 6. 770 Litrelik Konteynerlerin Bölgedeki Yerleşimi ve İki Aracın Bölge Rotaları.



Şekil 7. 3.500 Litrelik Konteynerleri Kaldıran Vinçli Araç Rotası.

5. Sonuç ve Değerlendirme

ArcGIS Pro'nun araç rotalama problemi ağ analistinin Samsun şehrindeki İlkadım ilçesinde bulunan çalışma bölgesinden, gerçek atık toplama operasyonlarından elde edilen verilerle birleştirilmesiyle, mevcut atık toplama taşıma süreçlerinin iyileştirilmesi sağlanabilir. Çalışmamızda kullandığımız modelimizde trafik kaynaklı etkileri veri elde edilemediğinden dikkate alınmamıştır. Konteynerlerin yarı dolu olduğu kabul edilmiştir.

İyi bir çözüm nasıl olmalıdır;

- Mesafeyi ve süreyi minimize etmelidir,
- İyi bir kümeleme yapmalıdır,
- Cadde ve sokaklardan bir ya da iki kere geçilerek trafik yoğunluğu oluşturmamalıdır.
- Yüklü büyük araçlar ile U dönüşlerinden kaçınılmalıdır.

Mevcut ve Önerilen Rotaların Performans Karşılaştırılması

Çalışma bölgesi İlkadım İlçesi Kalkanca Karasamsun ve Baruthane Mahallelerinde mahalleler içi toplama rotası sürücü inisiyatifine bırakıldığı daha önce belirtilmişti. Araçların hangi rotayı takip edecekleri sürücü inisiyatifine bırakılmasının sonucu olarak sürücü değişikliklerinde rota değişimi de yaşanmakta ve bu değişim maliyetler konusunda çelişiklere neden olmaktadır. Çalışmada önerilen rotaların mevcut durumla karşılaştırılmasının yapılabilmesi, ancak araç sürücüsünün takip edilerek hangi rotayı izlediğinin tespitiye bağlı olması, uygulama açısından bazı olanaksızlıklar içerse de genel olarak kullanılan rotalar ilgili bölge aracının GPS kayıtlarından alınmak sureti ile belirlenmiştir. Saha çalışmaları ve optimizasyon sonucu elde edilen veriler Tablo V'de listelenmiştir.

Tablo V: Mevcut Durum ve Optimizasyon Sonucu Elde Edilen Verilerin Karşılaştırılması.

Rota	Mesafe	Önerilen Rota için Net Mesafe	Azalma (%)
Rota1 -1. Araç	18,77		
Rota2 - 2. Araç	20,96		
Optimize Rota 1-2		28,58	
Toplam	39,73	28,58	28,05
Rota3-3. Araç	21,74	13,62	
Toplam	21,74	13,62	37,34

Atık toplama işlemi için gereken sürenin, harcanan performansın ve yakıtın azaltılması amacıyla optimize edilmiş sonuçlar, Normal hidrolik sıkıştırılmalı araçlarda %28,05 ve vinçli hidrolik sıkıştırılmalı araçlarda %37,34'lük bir mesafe azaltma oranına işaret etmektedir. Bu veriler operasyonel olarak gerçekleştirilecek kentsel katı atık toplama işlemlerinde gerçek manada önemli bir maliyet azaltımını işaret etmektedir. Bu kapsamda yeni rotalarda seyredecek araçların karbondioksit (CO₂) emisyonları da aldıkları yol oranında azalacağı değerlendirilmektedir. Sürdürülebilir

bir atık yönetimi stratejisi, yaşama alanlarımızın gelişmesine ve toplumun genel refahına katkıda bulunabilir. Bu kapsamda sürüş mesafesinde yaşanan oransal azalmalar şehrin daha yaşanabilir bir hal almasına büyük katkılar koyacağı değerlendirilmektedir. Bu çalışmadaki genel amaç; CO₂ emisyonlarının azaltılması ve atık toplamaya yönelik güzergâh optimizasyonu çalışmaları için diğer birçok atık toplama sorumluluğu olan yerel yönetimlere daha çevreci daha sürdürülebilir ve iklim dostu bir yol uygulama arayışıdır.

Kaynakça

- Apaydın, Ö. (2004). Trabzon Şehri için Katı Atık Yönetim Alternatiflerinin Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) Destekli Optimizasyonu (Doktora Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Baras, N., & Ziouzos, D. (2021). Waste Collection Vehicle Navigation in Modern Cities. 6th South-East Europe Design Automation, Computer Engineering, Computer Network and Social Media Conference (SEEDACECNSM).
- Che Soh, Z. H., & Husa, M. A. A. (2019). Smart Waste Collection Monitoring and Alert System via IoT. 9th Symposium on Computer Applications & Industrial Electronics (ISCAIE).
- Dantzig, G. B., Fulkerson, D. R., & Johnson, S. M. (1954). Solution of a Large-Scale Traveling Salesman Problem. Operations Research, 2, 393.
- Erol, V. (2006). Araç Rotalama Problemleri için Populasyon ve Komşuluk Tabanlı Metasezgisel bir Algoritmanın Tasarımı ve Uygulaması (Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Kuru, H. (2018). Atık Yönetiminde Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Kullanımı: Beykoz İlçesi Örneği (Yüksek Lisans Tezi). Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kuşçu, Ö. (2009). Araç Rotalama Sistemlerinde Sezgisel Yöntem (Yüksek Lisans Tezi). Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Lan Vu, H., Bolinbroke, D., Wai Ng, K. T., & Fallah, B. (2018). Assessment of Waste Characteristics and Their Impact on GIS Vehicle Collection Route Optimization using ANN Waste Forecasts. Waste Management, 88, 118-130.
- Lan Vu, H., Wai Ng, K., & Richter, A. (2019). Interactions of Residential Waste Composition and Collection Truck Compartment Design on GIS Route Optimization. Waste Management, 102, 613-623.
- Le Dinh, C., & Fujiwara, T. (2021). Optimization of Solid Waste Collection System in a Tourism Destination. Global Journal of Environmental Science and Management, 8(3), 1-18.
- Malakahmad, A., Bakri, P. M., Mokhtar, M. R. M., & Khalil, N. (2013). Solid Waste Collection Routes Optimization via GIS Techniques in Ipoh City, Malaysia. Procedia Engineering, 77, 20-27. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.07.023>
- Nguyen-Trong, K., Nguyen-Thi-Ngoc, A., Nguyen-Ngoc, D., & Dinh-Thi-Hai, V. (2017). Optimization of Municipal Solid Waste Transportation by Integrating GIS Analysis, Equation-Based and Agent-Based Model. Waste Management, 59, 14-22. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.10.048>
- Rego, C. (2001). Node Ejection Chains for The Vehicle Routing Problem: Sequential and Parallel Algorithms. Parallel-Computing, 27, 201-222.
- Rizvanoglu, O., & Kaya, S. (2019). Optimization of Municipal Solid Waste Collection and Transportation Routes Through Linear Programming And Geographic Information System: A Case Study from Sanliurfa, Turkey. Environmental Monitoring and Assessment.
- Şahin, C. (2014). Sinop İli Kentsel Katı Atık Toplama ve Taşıma Optimizasyonu (Yüksek Lisans Tezi). Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Toth, P., & Vigo, D. (2002). Models, Relaxations and Exact Approaches for the Capacitated Vehicle Routing Problem. Discrete Applied Mathematics, 123(1), 487-512.
- Wassan, N. A., Wassan, A. H., & Nagy, G. (2008). A Reactive Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pickups and Deliveries. Journal of Combinatorial Optimization, 15(4), 168-386.