

## Araç-İHA İşbirliği ile Kargo Teslimatları İçin Ortak Rota Optimizasyonu

Hasan YETİŞ<sup>\*1</sup>, Zeynep GÜNGÖR<sup>2</sup>, Mehmet KARAKÖSE<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Bilgisayar Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye  
h.yetis@firat.edu.tr, zeynep.gungor95@outlook.com, mkarakose@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 12/02/2021;

Kabul/Accepted: 10/04/2021)

**Öz:** Teknolojik gelişmelerle birlikte artan e-ticaret işlemleri, beraberinde, müşterilerin daha kısa teslimat süresi beklenti ve ihtiyaçlarını da ortaya çıkarmıştır. Geleneksel yöntemlerle yapılan teslimatlar, işletme ve operatör maliyetlerine ilave olarak; teslimat sürelerini de artırmaktadır. İnsansız Hava Araçlarının (İHA), işletme maliyetlerini düşürmesi ve ulaşım sürelerini kısaltması nedeniyle, paket teslimatlarında bu araçların kullanımının önünü açmıştır. Bu çalışmada, araç ve İHA'nın birlikte teslimat yapacağı kargolar için yönlendirme problemi incelenmiştir. Araç-İHA işbirliğinde önemli problemlerden biri olan rotanın optimize edilme işlemi için çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla ilk olarak araç rotası en kısa yol algoritmasına göre belirlenmiştir. Araç bu rota üzerinden ilerlerken, sahip olduğu kısıtlamalar da göz önüne alınarak İHA'nın dağıtım için uygun ve etkili olup olmayacağı belirlenmiştir. Dağıtım uygun görülen müşterilerin paketleri İHA aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. Önerilen yöntem ve senaryo Python programlama dilinde simüle edilmiştir. Elde edilen sonuçlar araç-İHA işbirliği ile yapılan dağıtımda toplam mesafede artış olmasına rağmen, maliyette kazanç elde edildiğini göstermektedir. Problemin boyutuna göre %4-6.24 arasında kazanç elde edildiği görülmektedir.

**Anahtar kelimeler:** araç-İHA, optimizasyon, ortak rota, kargo teslimatı

### Common Route Optimization for Parcel Deliveries with Truck-UAV Collaboration

**Abstract:** E-commerce transactions, which increased with technological developments, also revealed the expectations and needs of customers for shorter delivery times. Deliveries made by traditional methods, in addition to operating and operator costs; It also increases delivery times. Unmanned aerial vehicles (UAVs) have paved the way for the use of these vehicles in parcel deliveries, as they reduce operating costs and shorten transportation times. In this study, the routing problem for the cargo that the truck and the UAV will deliver together has been examined. Efforts are made to optimize the route, which is one of the important problems in truck-UAV cooperation. For this purpose, firstly, the truck route is determined according to the shortest path algorithm. While the truck is moving on this route, it is determined whether the UAV would be suitable and effective for distribution, taking into account the restrictions it had. The packages of customers deemed suitable for distribution via UAV are carried with UAV. The proposed method and scenario is simulated in the Python programming language. The obtained results show that although there is an increase in the total distance in the distribution made in cooperation with the truck-UAV, there is a cost gain. It is seen that the gain between 4-6.24% is obtained depending on the size of the problem.

**Key words:** truck-UAV, optimization, common route, parcel delivery.

### 1. Giriş

Son yıllarda artan online alışveriş işlemleri ile birlikte, satın alınan paketlerin dağıtımını konusunda kargo taşımacılığına olan ihtiyaç artmıştır [1, 2]. Özellikle belirli zamanlarda yapılan özel alışveriş günlerinde bu istek maksimum seviyeye çıkmış ve müşterilerde de paket teslimatlarının daha hızlı yapılması ihtiyacı doğmuştur [3]. Online alışverişler ülkelerin her noktasından kolayca yapılabiliyorken, şehir merkezlerinden biraz daha uzakta ya da daha engebeli yerlerde yaşayan insanlar teslimatlarını daha geç alabilmektedirler [4]. İlave olarak şehir merkezinde, trafik yoğunluğunun yüksek olduğu yerlerde de ekstra maliyetler meydana gelmektedir [5]. Geleneksel yöntemlerle yapılan kargo taşımacılığı maliyet ve teslimat sürelerinde tatmin edici bir cevap veremediği için artan talebi karşılamada kullanımı pratik olan İHA'lara karşı ilgi artmıştır [6]. Teslimatlarda İHA kullanmanın 4 avantajını Ha ve arkadaşları [7] şöyle sıralamıştır:

- 1- Bir insanın yönlendirmesi olmadan kullanılabilir
- 2- Hedeflerine hava yolu ile ulaştıkları için karayollarındaki tıkanıklıklardan etkilenmez
- 3- Karayollarını kullanan araçlara nazaran daha hızlıdır
- 4- Km başına transfer maliyetleri daha düşüktür.

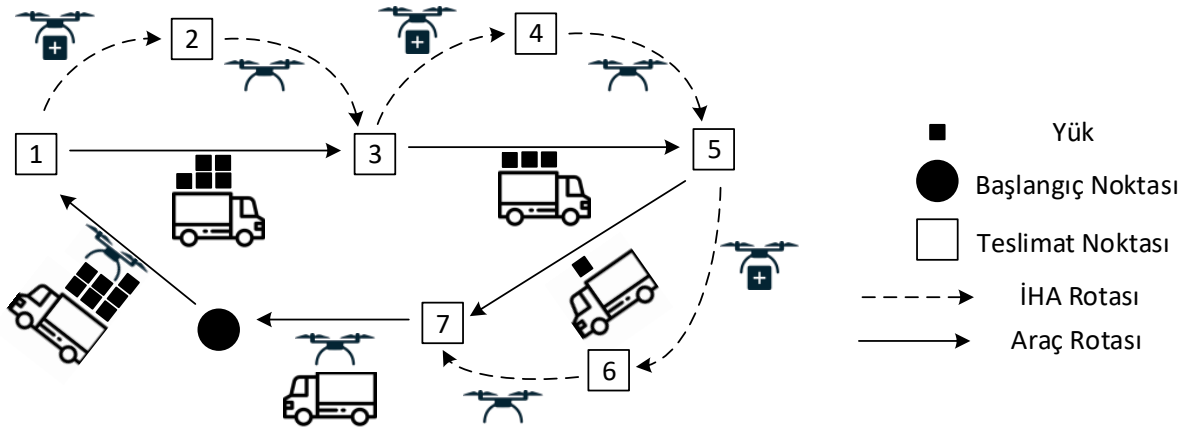
\* Sorumlu yazar: h.yetis@firat.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: <sup>1</sup>0000-0001-7608-3293, <sup>2</sup>0000-0002-3923-706X, <sup>3</sup>0000-0002-3276-3788

Tüm bu avantajlara karşı İHA kullanmanın birkaç dezavantajı vardır. İHA'ların taşıyabileceği yük miktarı belli bir değerin altında olmalıdır [8]. Yani İHA'lar kargo araçları gibi ağır paketleri taşıyamazlar. Kargo araçları daha uzun mesafe kat edebilirken, İHA bataryalarının limitli uçuş sürelerinden dolayı gidebilecekleri mesafe sınırlıdır. Tablo 1'de geleneksel araçların ve İHA'ların kullanılan yol, teslimat hızı, taşıyabileceği yük ve taşıyabileceği mesafe açısından karşılaştırmaları verilmiştir.

**Tablo 1.** İHA ve Araç Karşılaştırması.

	Kullanılan Yol	Teslimat Hızı	Taşıyabileceği Yük	Taşıyabileceği Mesafe
İHA	Hava Yolu	Hızlı	Hafif Paketler	Kısa
Araç	Kara Yolu	Yavaş	Ağır Paketler	Uzun

Her ne kadar İHA'ların dezavantajları olsa da, avantajlarına uygun olarak kullanımları giderek artmaktadır [9-11]. Amazon, DHL, Google teslimatlarda bu avantajları kullanan ilk şirketlerdendir [7,12,13]. Paket teslimatlarında İHA'ların kullanımının başlanması, çözülmesi gereken zorlukları da beraberinde getirmiştir. İHA'ların teslimat yapacağı müşterilerin seçimi, daha az enerji tüketimi için hangi rotayı takip ederek bu müşterilere ulaşacakları, batarya süresi sonunda batarya değişimini ya da şarj işlemi nerede yapacağı, iniş ve kalkış noktaları gibi zorluklar bunlara örnektir. Araç-İHA işbirliği ile kargo teslimatlarının gerçekleştirilmesine dair örnek Şekil 1'de verilmiştir. Burada siyah yuvarlak başlangıç noktası olmak üzere araç güzergahı depo→1→3→5→7→depo şeklindeyken; İHA güzergahı 1→2→3, 3→4→5, 5→6→7 şeklinde olmaktadır. Yük olarak araçtan uzaklaşan İHA'lar yüklerini bırakıp araca geri dönmektedir.



**Şekil 1.** Araç-İHA işbirliği ile kargoların dağıtılması örneği.

Optimizasyon işlemi birçok problemde uygulanmaktadır [14-16]. Araç-İHA alanında yapılan çalışmaların birinde, tek bir İHA'nın bir araçla nasıl kullanıldığı (FSTSP) ve paralel iki İHA'nın bir araç ile nasıl kullanıldığı (PDSTSP) anlatılmaktadır [12]. Makalede anlatılan FSTSP algoritması, bir araç ile birlikte çalışan İHA'nın müşteri rotasını belirleme amacı ile kullanılan gezgin satıcı probleminin bir çeşididir. Burada İHA'ya bir kargo aracı eşlik eder. Bu problem ise yardımcı gezgin satıcı (FSTSP) olarak ifade edilir. Murray ve Chu, öncelikle araç için bir rota çizip, sonrasında İHA'yı bu ana rota üzerinden ilerleterek, bir sonraki müşteriye hizmet verip veremeyeceğini belirleyen bir sezgisel yöntem önermişlerdir. Y. Liu ve arkadaşları [17], araç ve İHA'nın beraber teslimat yaptığı, aracın aynı zamanda İHA için bir gezici istasyon görevi gördüğü durumlardaki yönlendirme problemini araştırmışlardır. Aracın ağır, İHA'nın ise kendisinin taşıyabileceği kadar hafif yükleri müşterilere ulaştırması gereken bu çalışmada, Y.Liu ve arkadaşları, yapay tavlama algoritmasını kullanarak önce araç için bir rota çizmiş, daha sonra bu rota üzerinde ilerlerken İHA'nın rotası için her bir müşteriye analiz etmiştir. İHA-aracın işbirliği ile yapılan teslimatların rota maliyetleri kıyaslandığında, İHA-aracın işbirliğinin %17'lik bir kazanç elde ettiği sonucunu çıkarmışlardır. Ham [18], birden fazla İHA ve aracın yer aldığı senaryolarda, İHA'nın bir teslimatı yaptıktan sonra, diğer müşteriye direkt uçabileceği ya da önce depoya geleceği durumları incelemiştir. Kim ve Moon [19], İHA'nın şarj sorununa odaklanmış ve bunu çözebilmek için bir aracı, İHA istasyonu, yani İHA'ları ve

İHA'ların batarya ve diğer ekipmanlarını depolamak için kullanmışlardır. Önerdikleri algoritma ile optimal şekilde teslimatları yapabilmek için minimum kaç tane İHA ihtiyaç olacağını hesaplamaktadırlar.

Sundar and Rathinam [20], tek bir İHA'nın yakıt ikmali yaparken birden fazla depo kullanabildiği ve bu İHA'nın tüm müşterileri ziyaret ederken tüketeceği yakıt miktarını en aza indiren bir yönlendirme problemi ile uğraşmışlardır. San ve arkadaşları [21], paketleri müşterilere teslim ederken birden fazla İHA'dan efektif bir şekilde yararlanabilmek için kullanılacak algoritmalar üzerinde çalışmışlardır. Burada Genetik Algoritmalar (GA) kullanılmış olup, Şekil 2'den de görüleceği üzere dikey ve yatay olmak üzere 2 farklı uygunluk fonksiyonu ile optimal çözüm elde edilmeye çalışılmıştır. Yatay fonksiyonda İHA'ların yük paylaşımı yani birden fazla İHA kullanmak ve yükleri paylaşmak teslimat sürelerini kısaltmıştır. Tablo 2'de önerilen genetik algoritma hesaplamaları sonucunda, 34 paket taşıma için sonuçlar verilmiştir. Dikey ve dikey + yatay fonksiyonlara bakıldığında, dikey + yatay fonksiyonların beraber ele alınması teslimat süresini ciddi derecede düşürmüştür. Ancak kullanılan İHA süresi ve tüm İHA'ların toplam uçuş süresinde artışlar meydana gelmiştir.

**Dikey Uygunluk**

Sipariş	Sipariş	Sipariş	Sipariş
Konum	Konum	Konum	Konum
Kargo Paketi	Kargo Paketi	Kargo Paketi	Kargo Paketi
İHA	İHA	İHA	İHA

**Yatay Uygunluk**

**Şekil 2.** GA'da kullanılan Dikey ve Yatay uygunluk Fonksiyonların Gösterimi.

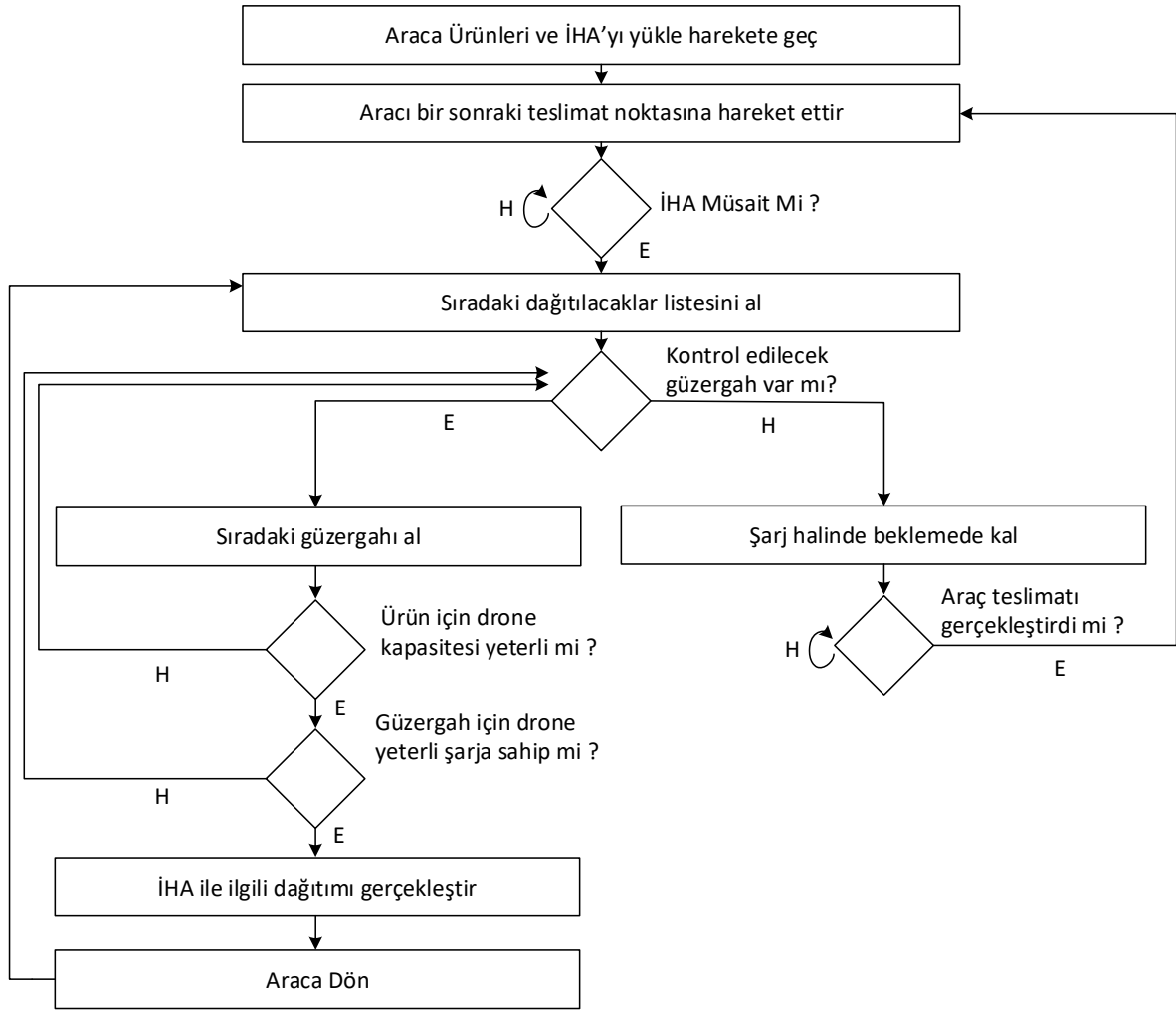
**Tablo 2.** 34 Teslimatın Yapıldığı Sonuçlar.

	Dikey	Dikey + Yatay
Toplam Görev Sayısı	34	34
Teslimat Süresi (dk.)	193.5	131.13
Toplam uçuş süresi (dk.)	387.63	471.14
Kullanılan İHA sayısı	2	4

Bu çalışmada İHA ve aracın işbirliği içinde olduğu durumda karşılaşılabilecek problemler incelenmiştir. İHA'nın enerji tüketimi, taşıdığı paketin ağırlığı, gideceği mesafe analiz edilmiş; hem aracın hem de İHA'nın rotaları önerilen algoritmalar ışığında çizilmiştir.

## 2. Önerilen Yöntem

Bu çalışmada İHA ve aracın iş birliği içinde, İHA'nın hafif paketleri, aracın ise daha ağır paketleri taşıyarak teslimatlarını tamamlamaları için birleşik bir yönlendirme rotası çıkarmak hedeflenmiştir. Bir aracın, bir İHA aldığı ve tüm paketlerin araca yüklendikten sonra depodan hareket edildiği varsayılmıştır. Ayrıca İHA'nın her seferinde tek bir müşteriye teslimat yapacağı varsayılmıştır. Yani İHA her seferinde tek bir paket taşıyacaktır. Amaç öncelikle en yakın komşuluk algoritması ile aracın rotasının çıkarılması, ardından bu ana rota üzerinden hareketle hangi müşterilere İHA'nın hizmet edebileceğini belirlemektir [22-24]. Araç İHA'yı sadece müşterideyken uçurabilir ve alabilir. Bu nedenle İHA bataryasının, İHA'nın aracın bir sonraki müşteri yakalaması için yeterli olup olmayacağı önemlidir ve dikkate alınmalıdır. İHA kontrolünün sağlanması ile ilgili akış diyagramı Şekil 3'te verilmiştir. Akış diyagramına göre araç teslimat noktasına ulaştığında İHA en yakın konumdan başlamak üzere gidebileceği yerleri inceleyecektir. İHA'nın taşıyabileceği yük kapasitesi taşınacak kargodan fazla ise, yani İHA kargoyu taşımaya elverişli ise sahip olduğu şarj miktarının işlem için yeterli olup olmadığına bakılacaktır. Yapılan incelemeler sonunda tahmini varış süreleri de hesaba katılarak İHA rotası çizilecektir. Tahmini İHA rotasının gidildikten sonra minimum 30% şarjı kaldığı hesaplanan İHA için yükleme ve gönderme işlemi başlatılacaktır.



Şekil 3. Araç-İHA işbirliğinin sağlanması için önerilen akış diyagramı.

Genel akış diyagramı Şekil 3'te verilen sistem için uygun rotaların hesaplanması işlemi gerçekleştirilecektir. Aracın rotası için optimum yol hesaplandıktan sonra uygun İHA rotası için çizilmektedir. Ardından maksimum tasarruf elde edecek şekilde İHA'nın rotası çizilmektedir.

## 2.1. Araç Rotasının Bulunması

Aracın depodan başlayarak, tüm müşterileri kapsayacak şekilde bir rota izlemesi için en yakın komşuluk algoritması kullanılmıştır. Bu algoritmaya göre depodan sonra gidilecek bir sonraki müşteri, ona en yakın koordinatlarda yer alan müşteridir. Bu şekilde rota tüm müşterileri kapsayacak şekilde genişletilir. Algoritmanın basit bir tanımı aşağıdaki şekilde yapılabilir.

- 1- Başlangıç\_düğümü =Depo\_düğümü
- 2- Başlangıç\_düğümü =mevcut\_düğüm
- 3- Rota = rota  $\cup$  mevcut\_düğüm
- 4- En\_yakın\_komsuluk(mevcut\_düğüm)  $\rightarrow$  sonraki\_düğüm
- 5- Sonraki\_düğüm =  $\emptyset$  ise sonlandır, değilse sonraki\_düğüm  $\rightarrow$  mevcut\_düğüm
- 6- Adım 3'e dön.

Burada en yakın komşuluk fonksiyonu koordinatları verilen 2 nokta arası Öklid uzaklığını hesaplar.

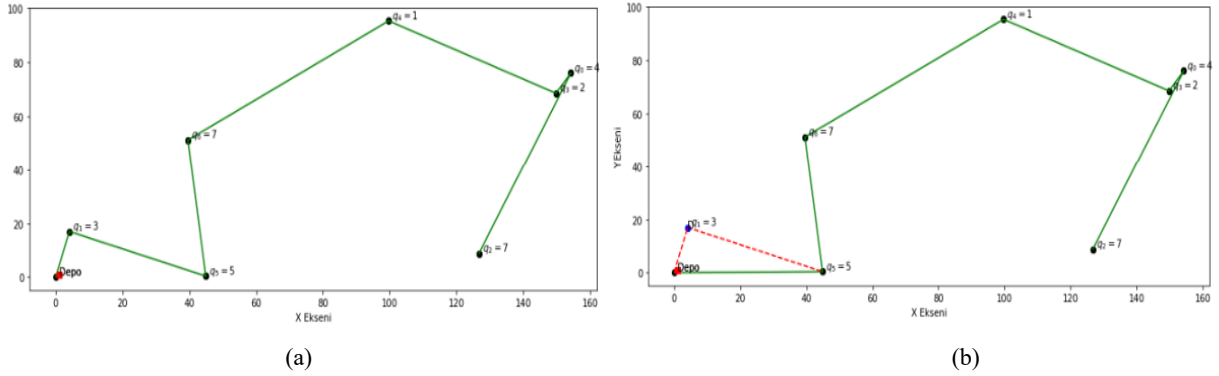
## 2.2. İHA Rotasının Bulunması

İHA'nın rotası ana rota üzerinde ilerlenerek tespit edilmektedir. Depodan başlayarak aracın gideceği bir sonraki müşterinin teslimatının İHA tarafından yapılıp yapılamayacağına bakılarak çizilmektedir. Bu kontrol işlemi aşağıdaki kısıtlamalar dikkate alınarak yapılmaktadır.

- Müşterinin paketi İHA tarafından taşınabilecek ağırlıkta olmalıdır
- İHA bu müşteriye teslimat yaptıktan sonra, araç ile buluşmak üzere gideceği müşteriye, araç daha önce varmalıdır. Bu kısıtlama İHA'nın güvenliği içindir.
- İHA'nın bataryası bu teslimatı yapmak için yeterli olmalıdır.
- Değişim sonucundaki toplam maliyet, bir önceki rota maliyetinden küçük olmalıdır.

Şekil 4 örneği ile açıklanacak olursa; (a)'da araç rotası görülmektedir. (b)'deki gibi q1'deki müşteriye İHA'nın servis yapılması için;

- q1 müşterisinin paketi İHA'nın taşıyacağı ağırlıkta olmalıdır.
- İHA (Depo → q1) (q1 → q5) rotasını tamamlamadan önce, araç (Depo → q5) rotasını tamamlamalıdır.
- İHA'nın (Depo → q1) (q1 → q5) için harcadığı güç, toplam batarya gücünün 30%'undan fazla olmamalıdır.
- İHA'nın ve aracın değişen düğümler arası maliyet toplamları, önceki durumdan küçük olmalıdır.  
 $Maliyet_{Kamyon}(Depo \rightarrow q5) + Maliyet_{İHA}(Depo \rightarrow q1 \rightarrow q5) < Maliyet_{Kamyon}(Depo \rightarrow q1 \rightarrow q5)$



Şekil 4. Bir Araç Rotasının İHA ile Değiştirilmesi (a) Araç rotası, (b) 1 paketin İHA ile dağıtılması.

İHA'nın müşteriye servis verebilmesi için gerekli kontroller arasında ağırlık, süre ve batarya durumları yer almaktadır. Bunun dışındaki şartlar optimizasyon için eklenebilecek şartlardır. Hizmetin İHA tarafından sunulabilmesi şartını değerlendiren sözde kod Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. İHA'nın Müşteriye Servis Verebilme Şartı Kontrolünü Sağlayan Sözde Kod.

	<b>Parametreler:</b> konum, hedef1, hedef2, İHABatarya, müşteriPaketAğırlığı
	<b>Çıkış Değeri:</b> Uçuş
	<b>Sabitler</b> : İHABirimMaliyet, İHAMaxBatarya, İHAKapasitesi
1	<b>Başla</b>
2	T İHA = TahminiİHASüresiHesapla(konum, hedef1, hedef2)
3	T Araç = TahminiAraçSüresiHesapla(konum, hedef2)
4	tahminiBataryaKullanımı = T İHA * İHABirimMaliyet
5	Uçuş = false;
6	İf (İHABatarya – tahminiBataryaKullanımı >= (30/100)*İHAMaxBatarya && İHAKapasitesi >= müşteriPaketAğırlığı && T İHA >= T Araç)
7	Uçuş = true;
8	Endif
9	<b>Bitir</b>

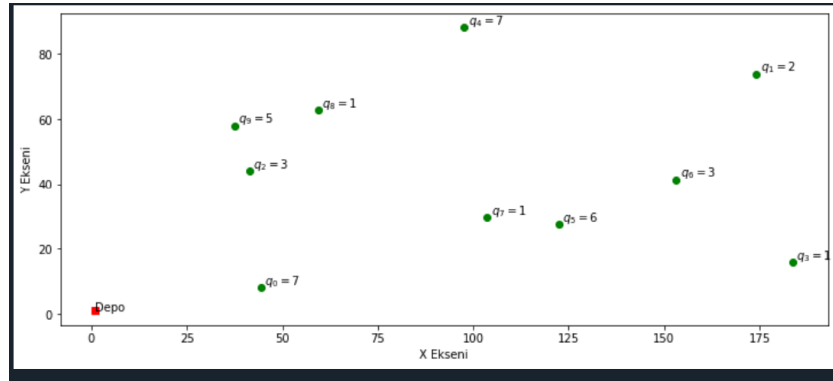
### 3. Simülasyon Sonuçları

İHA ve aracın beraber teslimat yapacağı yönlendirme problemi için geliştirilen simülasyonda Python programlama dili ve Spyder geliştirme ortamı kullanılmıştır. Hazırlanan simülasyonda müşteri sayısı isteğe bağlı olarak değiştirilmektedir. Müşterilerin koordinatları rastgele olarak x eksenini için 200, y eksenini için 100 olarak belirlenmiştir. Her müşterinin paket ağırlığı 1-8 birim arasında rastgele olarak atanmıştır. Her bir müşteri ağırlık, koordinat ve teslimatın hangi araç tarafından yapılacağına dair bir düğüme atanarak işlem görmektedir. İHA ve aracın sabit bilgileri ve müşteri bilgisi Tablo 4'teki gibi tanımlanmıştır. Aracın maliyeti İHA'nın 25 misli kadar olduğundan simülasyon başlangıç değerlerinde bu şekilde belirtilmiştir [17].

**Tablo 4.** Simülasyon Başlangıç Değerleri.

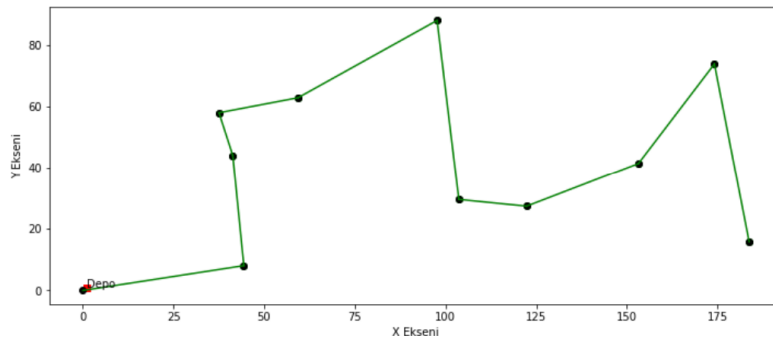
Taşınabilecek Azami Yük	3
İHA hızı	1
Araç hızı	2.5
Birim zaman İHA maliyeti	1
Birim zaman araç maliyeti	25
İHA batarya durumu	100

Araç ve İHA paketlerin teslimatına koordinatı (0,0) olarak belirlenen bir depodan başlayacaktır. Bu hazırlıklar ile birlikte müşterilerin ve depoların koordinat düzlemindeki gösterimleri 10 müşteri için Şekil 5'te gösterilmiştir. Her bir  $q$  değeri müşterileri ve müşterilerin teslim edilecek paket ağırlıklarını temsil etmektedir.



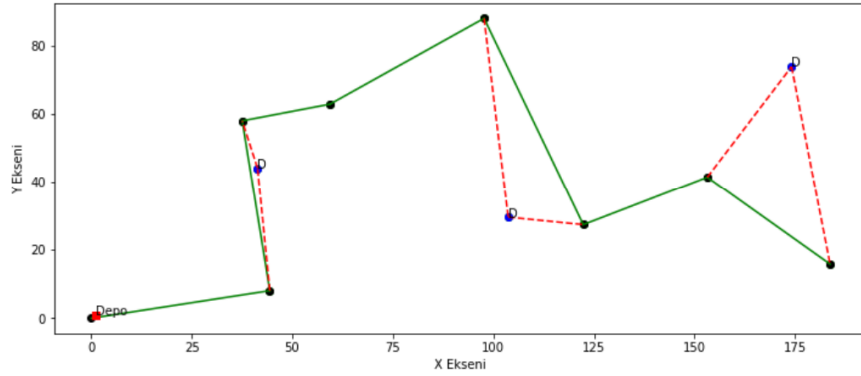
**Şekil 5.** 10 Müşterili Bir Düzlem.

Aracın rotasını belirlemek için başlangıç noktası olarak depo koordinatları, bitiş noktası olarak da rastgele üretilen son müşteri koordinatı kullanılmıştır. Rotanın tüm müşterileri kapsamaya şartıyla en yakın komşuluk algoritması kullanılmıştır. Bu fonksiyon sonrası oluşturulan araç rotası Şekil 6'da gösterilmiştir.



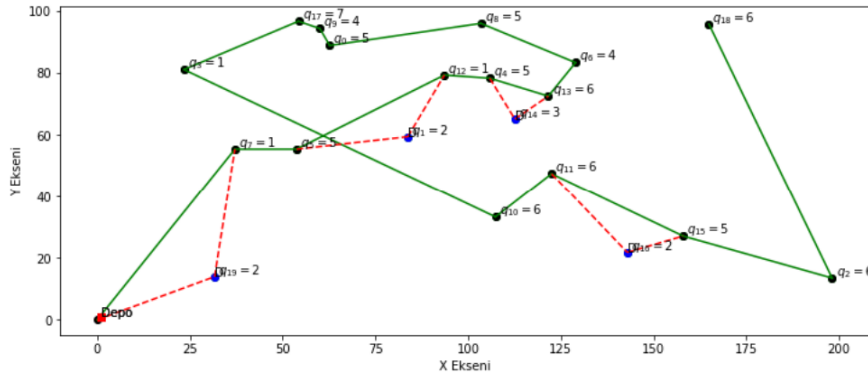
**Şekil 6.** Aracın 10 Müşteri için Teslimat Yaptığı Ana Rota.

Şekil 5'teki müşterilerin tamamını kapsayacak şekilde aracın ana rotası en yakın komşuluk algoritması ile çizilmiş ve Şekil 6'da ana rota gösterilmiştir. Bu ana rota üzerinden İHA'nın rotasını çizebilmek için yazılan fonksiyona ana rota girişi olarak verilir ve bir hibrit rota üretilir. İHA'nın bir sonraki müşteriye teslimatı gerçekleştirip gerçekleştirilemeyeceğinin kontrolü Tablo 3'te belirtilen sözde koddaki gibi gerçekleştirilir. İHA'nın teslimat yapıp yapmayacağı müşterinin paket ağırlığına, uçulacak mesafeye ve dolayısıyla İHA'nın bataryasının uçuş için yeterli olup olmadığına ve aracın buluşma noktasına İHA'dan önce gidip gidemeyeceğine bakılarak karar verilmiştir. İHA ile müşteriye gitmenin maliyeti daha düşük ise bu müşterinin teslimat şekli İHA olarak değiştirilmiştir. İHA'nın ana rotayı takip ederek hangi müşterilere teslimat yapacağı bu şekilde hesaplanmaktadır. İHA ve aracın birlikte gerçekleştirdikleri hibrit rota örneği Şekil 7'de gösterilmiştir. Şekilde kesikli çizgi İHA'nın, düz çizgi ise aracın rotasıdır.



Şekil 7. İHA ve Aracın Beraber Teslimat Yaptığı Rota.

Çalışmada gerçekleştirilen simülasyon için müşteri sayısı, ağırlıklar ve koordinatlar değiştirilerek farklı sonuçlar elde edilmiştir. Şekil 8'de koordinat ve paket ağırlıkları rastgele üretilen 20 müşteri için hibrit bir rota bulunmuştur. İlgili senaryoya ait bilgiler Tablo 5 ile verilmiştir.

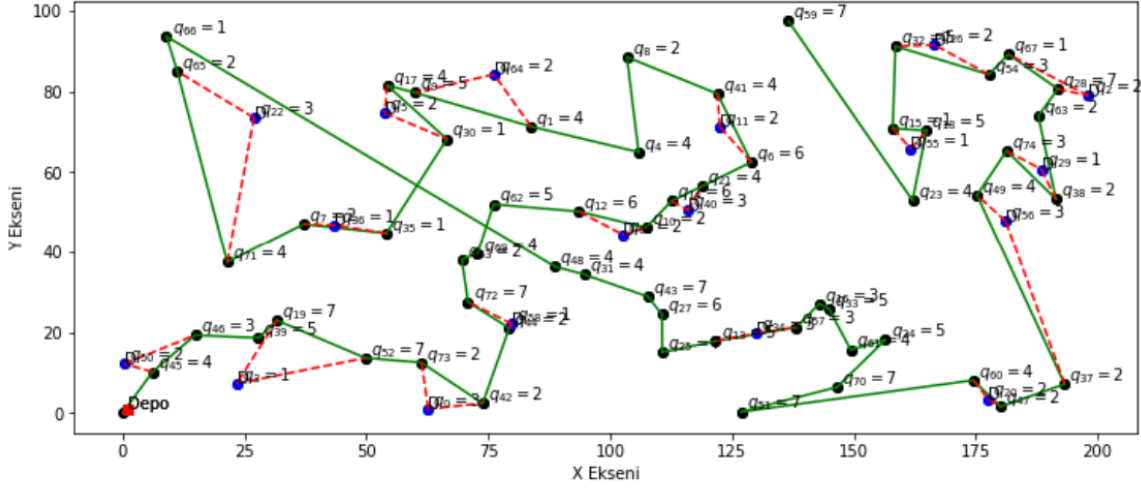


Şekil 8. 20 Müşterili Bir Teslimat İçin İHA Araç Hibrit Rotası.

Tablo 5. Şekil 8'deki Rotanın Analiz Sonuçları.

Müşteri Adedi	20
İHA taşıma kapasitesi	3
İHA Full Şarjlı Uçuş Süresi	100
Müşteri Paket Ağırlıkları	5, 2, 6, 1, 5, 5, 4, 1, 5, 4, 6, 6, 1, 6, 3, 5, 2, 7, 6, 2
Ana Araç Rotası Yaklaşık Toplam Mesafe	611
Araç + İHA Rotası Yaklaşık Toplam Mesafe	781
Ana Araç Rotası Yaklaşık Toplam Maliyet	15.277
Araç + İHA Rotası Yaklaşık Toplam Maliyet	14.651
Yaklaşık Maliyet Tasarrufu	4%

Tablo 5'teki sonuçlara göre sadece aracın teslimat yaptığı bir rotaya göre hibrit bir rota %4 tasarruf sağlamıştır. Şekil 9'da 75 müşteri için hibrit bir rota önerisinde bulunulmuştur. Tablo 6'da ise bu rotanın sonuçları analiz edilmiştir. Tablo 5'teki sonuçlardan, sadece aracın teslimat yaptığı rotaya göre üretilen hibrit rotanın yaklaşık %6.2 kadar maliyetten tasarruf sağladığı görülmektedir.



Şekil 9. 75 Müşterili Bir Teslimat İçin Araç-İHA Hibrit Rotası.

Tablo 6. Şekil 9.'daki Rotanın Analiz Sonuçları.

Müşteri Adedi	75
İHA taşıma kapasitesi	3
İHA Full Şarjlı Uçuş Süresi	100
Müşteri Paket Ağırlıkları	3, 4, 2, 1, 4, 2, 6, 2, 2, 5, 2, 2, 6, 5, 6, 1, 3, 4, 5, 7, 2, 4, 3, 4, 5, 7, 2, 6, 7, 1, 1, 4, 5, 5, 3, 1, 1, 2, 2, 5, 3, 4, 2, 7, 2, 4, 3, 2, 4, 4, 2, 7, 7, 2, 3, 1, 3, 3, 1, 7, 4, 4, 5, 2, 2, 2, 1, 1, 2, 4, 7, 4, 7, 2, 3
Ana Araç Rotası Yaklaşık Toplam Mesafe	1.087
Araç + İHA Rotası Yaklaşık Toplam Mesafe	1.427
Ana Araç Rotası Yaklaşık Toplam Maliyet	27.184
Araç + İHA Rotası Yaklaşık Toplam Maliyet	25.488
Yaklaşık Maliyet Tasarrufu	6.24%

## 5. Sonuçlar

Günümüzde sanayileşme ile seri üretim hızı oldukça yüksektir. Yerel olarak satışların yanında, üreticiler dünya geneline açılmayı hedeflemektedir. İnternet kullanımının yaygınlaşması ve elektronik ticarete olan güvenin de artmasıyla birlikte, tüketiciler ürünlerini farklı şehirlerden ve hatta farklı ülkelerden sipariş verebilmektedir. Siparişlerin teslim edilmesi işlemi kargo firmaları aracılığıyla gerçekleştirildiğinden dolayı, kargo şirketleri için yoğunluğa sebep olmaktadır. Öyle ki müşterinin bulunduğu şehirdeki dağıtım merkezine ulaşan kargolar, günlerce dağıtıma çıkmayı bekleyebilmektedir. Bu tarz yoğunluklar genellikle internet alışverişlerinin fazla olduğu indirim kampanyaları sürecinde oluşmaktadır. Kampanya süreleri dışında yoğunluğun nispeten daha düşük olduğu bir gerçektir. Kargo araçlarının ve çalışan personelin sayısını artırmak, dağıtımın az olduğu zamanlar için kargo firmalarına maliyet getirecektir. Diğer taraftan geleneksel yöntemlerle yapılan dağıtımlar kara yolu üzerinden gerçekleştiğinden, yolun engebeli olmasından veya trafiğin sıkışık olmasından olumsuz etkilenmektedir. Bu durum gün içerisinde dağıtılacak kargo miktarını düşürmekle birlikte kargo firmaları için ekstra maliyetlere yol açmaktadır. Sayılan dezavantajları gidermek adına dağıtım İHA kullanılması oldukça pratik bir çözüm sunmaktadır. Ancak günümüzde İHA'ların sahip oldukları kısıtlı taşıma kapasiteleri ve batarya süreleri bütün



kargoların İHA aracılığıyla yapılmasının önünde engel teşkil etmektedir. Dağıtımın tamamen İHA aracılığıyla gerçekleştirilmesinin mümkün olmadığı bu dönemde, araç-İHA işbirliği ile geleneksel yöntemlerle yapılan dağıtımların maliyetini nispeten düşürmek hedeflenmektedir. Bu çalışmada, teslimat hız ve kalitesini artırmak, geleneksel yöntemlere göre maliyetleri düşürmek için İHA ve araç iş birliği incelenmiştir. Araç-İHA işbirliği ile gerçekleştirilen dağıtımlarda hangi kargonun hangi araçla gerçekleştirileceğini belirlemek önemli bir konudur. Gerçekleştirilen çalışmada her iki aracın da artılarını kullanabilecek şekilde bir hibrit rota önerilmektedir. Hibrit rotanın belirlenmesi sürecinde öncelikle en yakın komşuluk algoritmasına göre araç güzergahı çizilmektedir. Ardından sahip oldukları kısıtlamalar göz önüne alınarak araç bir dağıtım gerçekleştirirken, diğer dağıtımın İHA aracılığıyla yapılıp yapılamayacağı incelenmiştir. İHA dağıtımını gerçekleştirmek için gerekli şartlar sağlanmışsa, yani kargonun ağırlığı ve İHA'nın şarjı dağıtım için uygun ise bu durumda dağıtımın İHA ile yapılmasının maliyet açısından kazanç sağlayıp sağlamadığı kontrol edilir. İHA ile gerçekleştirilen dağıtımlar daha kısa yoldan ve daha ucuz bir şekilde gerçekleştiğinden genellikle daha uygun olmaktadır. Dağıtım gerçekleştirilen İHA'nın aracı bir sonraki dağıtım noktasında yakalaması önemlidir. Tüm bu hususlar dikkate alınarak çalışma kapsamında bir simülasyon hazırlanmıştır. Hazırlanan simülasyonda rastgele konumlarda oluşturulan 10, 20 ve 75 müşteri için rastgele ağırlıkta kargolar atanmıştır. Yapılan simülasyonlarda, araç ve İHA'nın kargoyu teslim etmesi için alması gereken yol iki nokta arasındaki mesafe olarak ayarlanmıştır. Çeşitli müşteri sayıları ve rastgele koordinatlar ile yapılan simülasyonlarda toplam maliyetin % 4 ile 6.24 arasında azaldığı görülmektedir. Bu kazanç karşılık toplam kat edilen yolda bir artış olduğu göze çarpmaktadır. Ancak gerçek problemlerde aynı dağıtımın gerçekleşmesi için aracın alması gereken yol İHA'nın alması gerekenden daha fazla olacağından kat edilen yolun beklenenden yüksek çıktığı görülmektedir. Diğer taraftan yapılan simülasyonlarla problem boyutunun artması ile elde edilen kazancın arttığı görülmektedir. Ayrıca müşteri konumlarının yöntemin sağladığı kazanç üzerinde doğrudan etkisi olduğu açık bir şekilde görülmektedir.

Bu çalışmada tek araç ve tek İHA içeren bir araç-İHA işbirliği problemi için, rotayı optimize ederek dağıtımın daha az maliyetli bir şekilde gerçekleştirilmesi amaçlanmaktadır. Gelecek çalışmalarda birden fazla araç ve İHA içeren araç-İHA işbirliği problemi için optimizasyonların gerçekleştirilmesi planlanmaktadır.

### Kaynaklar

- [1] Dertwinkel-Kalt M, Köster M. Attention to Online Sales: The Role of Brand Image Concerns, 2020; s. 87.
- [2] Yetis, H, Karakose M. A New Smart Cargo Cabinet Application for Unmanned Delivery in Smart Cities, International Conference on Artificial Intelligence and Data Processing (IDAP), Malatya, Turkey, Eyl. 2018, ss. 1-5. doi: 10.1109/IDAP.2018.8620938.
- [3] Handayani S, Arda M. Effect Of Discount And Hedonic Shopping Motives Against Buying Impulse", 2019; 1(1). s. 9.
- [4] Conrad J. Costs and Challenges of Log Truck Transportation in Georgia, USA, Forests, c. 9, sy 10, s. 650, Eki. 2018, doi: 10.3390/f9100650.
- [5] Arnott R, Small K. The Economics of Traffic Congestion, s. 11, 2021.
- [6] Frachtenberg E. Practical Drone Delivery, Computer, c. 52, sy 12, ss. 53-57, Ara. 2019, doi: 10.1109/MC.2019.2942290.
- [7] Ha QM, Deville Y, Pham, QD, Hà MH. On the min-cost Traveling Salesman Problem with Drone, Transp. Res. Part C Emerg. Technol., c. 86, ss. 597-621, Oca. 2018, doi: 10.1016/j.trc.2017.11.015.
- [8] Dorling K, Heinrichs J, Messier GG, Magierowski S. Vehicle Routing Problems for Drone Delivery, IEEE Trans. Syst. Man Cybern. Syst., c. 47, sy 1, ss. 70-85, Oca. 2017, doi: 10.1109/TSMC.2016.2582745.
- [9] Boysen N, Briskorn D, Fedtke S, Schwerdfeger S. Drone delivery from trucks: Drone scheduling for given truck routes. Networks, c. 72, sy 4, ss. 506-527, Ara. 2018, doi: 10.1002/net.21847.
- [10] Chang YS, Lee HJ. Optimal delivery routing with wider drone-delivery areas along a shorter truck-route, Expert Syst. Appl., c. 104, ss. 307-317, Ağu. 2018, doi: 10.1016/j.eswa.2018.03.032.
- [11] Das DN, Sewani R, Wang J, Tiwari MK. Synchronized Truck and Drone Routing in Package Delivery Logistics, IEEE Trans. Intell. Transp. Syst., ss. 1-11, 2020, doi: 10.1109/TITS.2020.2992549.
- [12] Murray CC, Chu AG. The flying sidekick traveling salesman problem: Optimization of drone-assisted parcel delivery. Transp. Res. Part C Emerg. Technol., c. 54, ss. 86-109, May. 2015, doi: 10.1016/j.trc.2015.03.005.
- [13] Patrik A. GNSS-based navigation systems of autonomous drone for delivering items, s. 14, 2019.
- [14] Aydin I, Karakose M, Karakose E. A navigation and reservation based smart parking platform using genetic optimization for smart cities, 5th International Istanbul Smart Grid and Cities Congress and Fair (ICSG), Istanbul, Turkey, Nis. 2017, ss. 120-124. doi: 10.1109/SGCF.2017.7947615.
- [15] Yaman O, Karakose E, Karakose M. PSO Based Traffic Optimization Approach for Railway Networks. International Conference on Artificial Intelligence and Data Processing (IDAP), Malatya, Turkey, Eyl. 2018, ss. 1-4. doi: 10.1109/IDAP.2018.8620891.

- [16] Yetis H, Karakose M. Optimization of Mass Customization Process using Quantum-inspired Evolutionary Algorithm in Industry 4.0. IEEE International Symposium on Systems Engineering (ISSE), Vienna, Austria, Eki. 2020, ss. 1-5. doi: 10.1109/ISSE49799.2020.9272247.
- [17] Liu Y, Liu Z, Shi J, Wu G, Pedrycz W. Two-Echelon Routing Problem for Parcel Delivery by Cooperated Truck and Drone. IEEE Trans. Syst. Man Cybern. Syst., ss. 1-16, 2020, doi: 10.1109/TSMC.2020.2968839.
- [18] Ham AM. Integrated scheduling of m-truck, m-drone, and m-depot constrained by time-window, drop-pickup, and m-visit using constraint programming, Transp. Res. Part C Emerg. Technol., c. 91, ss. 1-14, Haz. 2018, doi: 10.1016/j.trc.2018.03.025.
- [19] Kim S, Moon I. Traveling Salesman Problem With a Drone Station. IEEE Trans. Syst. Man Cybern. Syst., c. 49, sy 1, ss. 42-52, Oca. 2019, doi: 10.1109/TSMC.2018.2867496.
- [20] Sundar K, Rathinam S. Algorithms for Routing an Unmanned Aerial Vehicle in the Presence of Refueling Depots. IEEE Trans. Autom. Sci. Eng., c. 11, sy 1, ss. 287-294, Oca. 2014, doi: 10.1109/TASE.2013.2279544.
- [21] San KT, Lee EY, Chang YS. The delivery assignment solution for swarms of UAVs dealing with multi-dimensional chromosome representation of genetic algorithm. IEEE 7th Annual Ubiquitous Computing, Electronics & Mobile Communication Conference (UEMCON), New York City, NY, USA, Eki. 2016, ss. 1-7. doi: 10.1109/UEMCON.2016.7777839.
- [22] Bhatia N, Author C. Survey of Nearest Neighbor Techniques. c. 8, sy 2, s. 4, 2010.
- [23] Biau G, Devroye L. Lectures on the Nearest Neighbor Method. Cham: Springer International Publishing, 2015. doi: 10.1007/978-3-319-25388-6.
- [24] Hoffmann M, Noé F. Generating valid Euclidean distance matrices. ArXiv191003131 Cs Stat, Kas. 2019, Erişim: Şub. 11, 2021. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <http://arxiv.org/abs/1910.03131>