

## Araştırma Makalesi

### **Acil durum araçlarının yönlendirilmesinde akıllı ulaşım çözümleri: Ambulans rota oluşturma optimizasyonu**

Ceren Özcan Tatar<sup>1,2\*</sup>, Zahra Khoda Karımı<sup>1</sup>, Murat Akın<sup>3</sup>, Emrah Yılmaz<sup>4</sup>, Ozan Kıvanç<sup>2</sup>, Mehmet Küçükpehlivan<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri A.B.D., Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye.

<sup>2</sup>Başarsoft Bilgi Teknolojileri A.Ş., Ankara, Türkiye.

<sup>3</sup> Mühendislik Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye.

<sup>4</sup> Cybertech Ar-Ge LTD. ŞTİ., Ankara, Türkiye.

\*Corespondance: [ceren.ozcan@basarsoft.com.tr](mailto:ceren.ozcan@basarsoft.com.tr); [ceren\\_ozcan@ogr.eskisehir.edu.tr](mailto:ceren_ozcan@ogr.eskisehir.edu.tr)

**DOI: 10.51513/jitsa.1532308**

**Özet:** Doğal afetler, can ve mal kaybına yol açabilen yıkıcı olaylardır. Deprem, sel, yangın gibi afetlerin yarattığı tahribat, insan hayatının kurtarılması ve maddi zararların önlenmesi için acil durum planlaması ve koordinasyon gerektirir. Afet bölgesindeki insanların güvenli tahliyesi ve acil durum araçlarının etkin yönlendirilmesi hayati bir öneme sahiptir. Bu çalışmada, Türkiye'nin özgün trafik koşulları ve acil durum araçlarının gereksinimleri dikkate alınarak ambulanslar için bir rota optimizasyon modeli geliştirilmiştir. Bu model, mevcut yol ağlarının ambulansların kullanımına uygun hale getirilmesini ve acil durum müdahale sürelerinin iyileştirilmesini hedeflemektedir. Yenilikçi çözümler arasında trafik ışıklarında ambulanslara öncelik verilmesi, gerektiğinde ters yönde seyahat edebilme senaryoları ve zorlu trafik koşullarında etkili rotaların belirlenmesi yer almaktadır. Bu sayede ambulans hizmetlerinin iyileştirilmesi ve müdahale sürelerinin kısaltılmasıyla hasta ve yaralıların hayatta kalma oranlarının artırılması amaçlanmaktadır. Sonuçlar, ambulans hizmetlerinin verimliliğini artırdığını ve müdahale sürelerini azalttığını göstermektedir. Çalışma, Türkiye için ambulans rotası optimizasyonu ve acil durum yönetimi alanında önemli bir adım olarak değerlendirilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Acil durum araçları, ambulans, rotalama, akıllı ulaşım sistemleri

### **Intelligent transportation solutions in the guidance of emergency vehicles: ambulance route optimization**

**Abstract:** Natural disasters are destructive events that can lead to loss of life and property. The devastation caused by disasters such as earthquakes, floods, and fires necessitate emergency planning and coordination to save lives and prevent material damage. The safe evacuation of individuals in disaster-stricken areas and the effective guidance of emergency vehicles are of vital importance. This study presents a route optimization model developed specifically for ambulances, considering Turkey's unique traffic conditions and the requirements of emergency vehicles. The model aims to adapt existing road networks for ambulance usage and to improve emergency response times. Innovative solutions include prioritizing ambulances at traffic lights, scenarios that allow for travel in the opposite direction when necessary and identifying effective routes under challenging traffic conditions. By enhancing ambulance services and reducing response times, the goal is to increase the survival rates of patients and injured individuals. The results indicate an increase in the efficiency of ambulance services and a reduction in response times. This study is considered a significant step towards ambulance route optimization and emergency management in Turkey.

**Keywords:** Emergency vehicles, ambulance routing, intelligent transportation systems

## 1. Giriş

Afet ve kriz zamanlarında acil durum araçlarının rotalarının oluşturulması, bu araçların zamanında ve verimli bir şekilde müdahale etmesini sağlamak açısından kritik bir öneme sahiptir. Doğal afetler veya beklenmedik krizler sırasında, yaşamların korunması ve kaynakların etkin şekilde tahsisi için optimize edilmiş bir araç yönlendirme çözümü gereklidir. Bu bağlamda, acil durum araçlarının hızlı ve güvenli bir şekilde yönlendirilmesi hem müdahale sürelerini azaltmada hem de hasta ve yaralıların hayatta kalma şansını artırmada kilit bir rol oynamaktadır.

Acil durum araçlarının rotalarının belirlenmesinde kullanılan çeşitli algoritmalar arasında Dijkstra, A\* ve genetik algoritmalar dikkat çekmektedir. Dijkstra algoritması, bir başlangıç noktasından hedef noktaya en kısa yolu bulmada etkin bir yöntem sunarken; A\* algoritması, sezgisel bir yaklaşımla bu süreci hızlandırarak zaman kazandırır. Genetik algoritmalar ise, çoklu hedefleri optimize etme ve karmaşık senaryolara uyum sağlama konusundaki esnekliğiyle öne çıkar. Bu çalışmada, Dijkstra algoritmasının yanı sıra A\* ve genetik algoritmaların acil durum araçlarının rotalarının optimize edilmesi üzerindeki etkileri de incelenmiştir.

Acil durum müdahalesi sırasında trafik yoğunluğu, yol durumu ve eğim gibi değişkenler, yönlendirme süreçlerini önemli ölçüde etkiler. Örneğin, eğimli güzergahlar ve yoğun trafikten kaynaklanan gecikmeler, müdahale sürelerini uzatabilir. A\* algoritması, bu tür dinamik koşulları dikkate alarak daha hızlı ve etkili rotalar sunabilirken, genetik algoritmalar, trafik yoğunluğu ve coğrafi engeller gibi birden fazla faktörü aynı anda optimize etme kapasitesine sahiptir. Bu nedenle, bu çalışmada hem sezgisel hem de evrimsel yaklaşımlar bir arada kullanılarak acil durum araçlarının rotalarının iyileştirilmesi hedeflenmiştir.

Bu çalışmanın amacı, Türkiye'ye özgü trafik koşulları ve acil durum araçlarının özel ihtiyaçlarını göz önünde bulundurarak bir ambulans rota optimizasyon modeli geliştirmektir. Çalışma, ambulansların trafik ışıklarında geçiş üstünlüğü, ters yön kullanımı ve eğimli güzergahlarda etkili rotaların belirlenmesi gibi faktörlere odaklanmıştır. Ayrıca, kullanılan algoritmaların performanslarının karşılaştırılması, bu alandaki yöntemlerin etkinliğini anlamaya yönelik önemli katkılar sağlamaktadır. Çalışmanın sağladığı katkılar maddeler halinde özetlenirse;

- Türkiye trafik koşullarında henüz uygulanmamış olan ambulanslara ait özel ihtiyaçlarını karşılanacağı bir rota optimizasyon modeli geliştirmek,
- Ambulansların ters yöne giriş yapabilmesi ve trafik ışıklarında geçiş üstünlüğü gibi özellikleri içeren zenginleştirilmiş ağ verisi oluşturmak,
- Eğimli güzergahlarda oluşabilecek trafik yavaşlamalarını dikkate alarak ambulanslara özel hızlı ve etkili rotalar çıkarmak,
- Acil durum müdahale sürelerini kısaltarak, hasta ve yaralıların hayatta kalma şanslarını artırmak hedeflenmiştir.

Çalışmanın 2. Bölümünde literatür çalışmaları özetlenmiş, 3. bölümünde ambulans rotası belirlemede kullanılan veri kümesi ve yöntem açıklanmış, deneysel bulgular 4. bölümde verilmiş ve sonuçlar tartışılmış, son bölümde ise çalışmanın değerlendirilmesi yapılmış ve öneriler sunulmuştur.

## 2. Literatür Çalışmaları

Acil durum araç yönlendirmesi üzerine olan çalışmalar, acil durum araçlarının zamanında afet bölgesine güvenli ve hızlı ulaşmasını sağlamak için gerekli olan çeşitli uygulamaları ve algoritmaları içerir. Bu uygulamaların ve algoritmaların geliştirilmesi üzerine yapılan çalışmalardan, McDaniel vd. (2023), afetler sırasında zamanında ve verimli araç yönlendirmesi sağlamak için hızlı araç yönlendirme algoritmaları geliştirilmiş ve kıyaslamıştır. Yapılan çalışma ile geliştirilen algoritmalar, acil durum müdahalesinin mevcut durum içerisindeki akışkanlığını ve belirsizliğini ele alarak acil durumlar için hızlı ve etkili araç yönlendirmesi sağlamak üzere tasarlanmıştır. Acil durum araçlarının yönlendirilmesinin bir diğer kritik yönü de kamu hizmeti araçları, acil durum malzemeleri, ilaç, gıda, yakıt ve altyapı onarım malzemeleri gibi kaynakların etkilenen bölgeye hızlı bir şekilde taşınmasıdır (Kula vd., 2012; Rout vd., 2020). Bu ihtiyacı karşılamak üzere, temel kaynakların zamanında teslim

edilmesini sağlamak için verimli rota oluşturma stratejileri geliştirilmiş, Sparse A\* ve Dijkstra algoritmaları acil durum rota yol bulma algoritmaları olarak uygulanmış, yangın veya terörizm gibi afetler sırasında kaçış yollarının bulunmasına yardımcı olmak ve güvenli tahliye için etkili rehberlik sağlamak için tercih edilmiştir (Kula vd., 2012; McDaniel vd., 2023). Bu çalışmalarda odaklanılan ve dikkat çeken konulardan biri de sosyal mesafenin tahliye zaman çizelgeleri ve gerekli acil durum araçlarının sayısı üzerindeki etkisidir. Tsai vd. (2021) acil durumlarda tahliyeler sırasında sosyal mesafenin yarattığı zorlukları ele almış, derin sinir ağı (Deep Neural Network- DNN) tabanlı araç yönlendirmesi de dahil olmak üzere yönlendirme algoritmalarını incelemişlerdir.

Acil durum araç yönlendirmenin özelleşmiş bir konusu olarak ele alınan ambulans rotasının oluşturulması, acil durum müdahalesinin kritik yönüyle ve ilgili zorluklarıyla ele alınarak çözülmeye çalışılmaktadır. Araştırmalar, ambulans rota problemi (ARP) ve ambulans konumu ile ilgili son gelişmeleri incelemek için kapsamlı literatür taramalarını içermekte, rota optimizasyonunun önemini ve hastalar için kaliteli sağlık hizmeti sonuçları sağlamada algoritmaların rolünü vurgulamaktadır (Tassone & Choudhury, 2020; Darwassh Hanawy Hussein vd., 2022; Sutherland & Chakraborty, 2023). Ek olarak, çalışmalar afet müdahale operasyonlarında ambulansların yönlendirilmesine odaklanmış ve yaralıların verimli bir şekilde alınıp hastanelere ulaştırılmasının önemini vurgulamıştır (Kula vd., 2012). En yaygın kullanılan algoritmalarından biri, graf yapısındaki iki düğüm arasındaki mesafeleri komşuluk matrisinde güncelleyerek en kısa yolu bulan Dijkstra'nın algoritmasıdır (Sayed vd., 2018). Ayrıca akıllı şehirlerde ambulans araç yönlendirmesi için Yarasa Algoritması Tabanlı Evrimsel Sinir Ağı Algoritmasının (Bat Algorithm Based Convolutional Neural Network - BA-CNN) kullanımını araştırmıştır (Darwassh Hanawy Hussein vd., 2022). BA-CNN algoritması, gerçek dünya kısıtlamalarını dikkate alarak ve yanıt süresini en aza indirerek ambulans rota oluşturma problemini optimize etmek için tasarlanmıştır. Ayrıca, simülasyon tabanlı modeller geliştirilmiş ve gerçek dünya kısıtları göz önünde bulundurularak birden fazla ambulans, sevk yeri ve hastane için en uygun yolu çizmek için kullanılmıştır (Darwassh Hanawy Hussein vd., 2022; Sutherland & Chakraborty, 2023). Ayrıca, araştırmalarda ambulans rota oluşturma sırasında, özellikle de tesisler arası hastane transferi sırasında güvenlik ölçütlerinin dahil edilmesinin önemini vurgulamıştır (Sayed vd., 2018; Tikani & Setak, 2019).

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı ambulans rotalama işleminin amacı, etkili acil durum müdahalesi için ambulans rotalarını optimize etmek üzere CBS teknolojisini ve altyapısını kullanmaktır. CBS kullanımının önemi düşük ve yüksek öncelikli çağrılar arasında ayırım yapmanın kritik olduğu acil durum yönetimi ortamlarında ortaya çıkmaktadır (Aringhieri vd., 2017). CBS teknolojisi, ambulans konuşlandırma planlamasına yardımcı olan zaman bazlı coğrafi modellerin sunulmasına olanak tanımaktadır (Ong vd., 2009). Buna ilaveten, CBS altyapısı kent içi acil durum müdahale altyapısının erişilebilirlik ve işlerlik derecesini değerlendiren bir modelle entegre olarak değerlendirilebilmekte ve CBS'nin sel gibi bir afet durumunda acil durum müdahalesini arttırabilmektedir (Albano vd., 2014).

Acil durum rota oluşturma esnasında hız sınırları, trafik koşulları ve sel nedeniyle yol ağının su altında kalması gibi acil durum hizmetlerinin kullanılabilirliği ve müdahale süresi üzerinde önemli bir etkiye sahip olan faktörlerin dikkate alınması önemlidir. Bu sorunu çözebilmek adına, ulaşılabilirliği ölçmek, yol kısıtlamalarını dikkate alarak hizmet hacmini tahmin etmek ve engelleri göz önünde bulundurarak en hızlı rotalama algoritmasını seçmek esastır (Johnson & Yu, 2020). En hızlı rota oluşturma için çalışmalarda sıklıkla yol ağları üzerinde A\* algoritması kullanılmakta olup rota optimizasyonunda gelişmiş algoritmaların kullanımı oldukça önemlidir (Mohd Nordin vd., 2011).

Şehir trafiğin yoğun olduğu bölgelerde acil sağlık hizmetlerinin önemli bir bileşeni, ambulans araçlarının emniyet şeritleri boyunca yönlendirilmesidir. Acil sağlık hizmetleri için etkili bir karar destek sağlama amacıyla, şerit önü temizleme ve hastane öncesi tarama gibi en son teknolojiler kullanılmaktadır (Zeng vd., 2021) ve ambulans rotası, belirlenmiş şeritlerin, maksimum hız sınırlarının ve trafik yönetim sistemlerinin kullanılmasıyla büyük ölçüde desteklenmektedir (Abdeen vd., 2022).

Şehir içi kalabalık trafikte ise ambulans ve normal araç sürüşü arasında ayırım yapmak, trafik koşullarına bağlı olarak şerit çizgileri için uyarlanabilir potansiyel işlevlerin geliştirilmesini gerektirmektedir (Zong vd., 2021). Bu ayırımın yapılması ve uyarlanabilir işlevler geliştirilmesi ambulans rotalama işleminin güvenliğini ve verimliliğini arttırıcı unsurlardır. Ek olarak acil durum araçlarına yönelik rotalama

çözümlerinde yol genişliği, viraj dönüş açıları ve geçiş hakkı gibi unsurlar da ambulans araçlarının rotalarının oluşturulmasında dikkate alınması gereken unsurlardır (Ozcan-Tatar vd., 2023).

Ambulansların etkin bir şekilde yönlendirilmesini sağlamanın ve acil müdahale sürelerini kısaltmanın en önemli yollarından biri, ambulans araçlarının rotaları için trafik sinyallerinde geçiş hakkının tanınmasıdır ve bu konuyu çok sayıda araştırma farklı açılardan ele almıştır. Örneğin; Amr vd. (2021), acil durumlarda gecikme sürelerini kontrol etmek amacıyla, acil durum araçlarının izleyeceği sürüş rotası planlamasını ve dağıtılmış acil durum kaynaklarının dağıtımını içeren bir Dağıtılmış Acil durum Ambulansı (DAA) yönlendirme modeli önermiştir. Bu modelin amacı, trafik kaynaklı insan muhakemesi zayıflatan koşullara bağımlı kalmadan rota belirleme ve acil durum ambulansının ulaşması için gereken sürenin kısaltılmasıdır. Benzer şekilde, afet müdahalesi için etkili bir rota oluşturmanın önemini vurgulayan Talarico vd. (2015) ambulans rotasının belirlenmesini, belirli bir hasta grubuna hizmet verecek bir ambulans kümesi içinden araç rotalarının belirlenmesi sorunu olarak tanımlamıştır.

Feroz vd. (2021) ise acil durum araçlarının yolunu açacak bir trafik sinyalizasyon modeli geliştirmiş, acil durum aracının kullandığı rota için yeşil sinyalin etkinleştirilmesini ve acil durum aracı rotadan çıkana kadar kırmızı sinyalin yanmamasını garanti edecek bir sistem önermiştir. Mascarenhas vd. (2013) de ambulanslar gibi acil durum araçlarına kesintisiz ve düzenli bir şekilde geçiş hakkı verirken müdahale sürelerini azaltmaya yardımcı olmak için sinyal önceliğini değerlendirmiştir.

Sarı (2017) yaptığı çalışmayla trafik sinyalleri, kasisler ve park durumu gibi acil durum araçlarını yavaşlatan ve müdahale sürelerini uzatan engelleri belirlemeye odaklanmıştır. Bu sayede acil durum araçları için mümkün olan en hızlı tepki süresi elde edilmiştir. Bu, ambulans yönlendirmesini en üst düzeye çıkarmak için trafik sinyal düzenlemeleriyle ilgilenmenin ne kadar önemli olduğunu vurgulamaktadır.

Acil sağlık hizmetlerinin önemli bir yönü de coğrafi eğiminin ambulansa özel yönlendirmedeki etkisidir. Ambulans yönlendirmesi, trafik, hasarlı altyapı ve eğim gibi topografik özellikler de dahil olmak üzere bir dizi değişkeni dikkate alarak hastanın bulunduğu yerden hastaneye giden en hızlı güzergahın belirlenmesini gerektirmektedir. Hem hasta sonuçları hem de ambulans taşıma süreleri eğim etkisinden büyük ölçüde etkilenebilir. Araştırmalara göre, ambulans yönlendirmesi, eğim gibi topografik özellikler, trafik düzenleri ve altyapısal bozulma gibi bir dizi değişkenden etkilenen karmaşık bir konudur (Talarico vd., 2015).

Ayrıca, ambulans görevlileri tarafından acil servise nakil ihtiyacını değerlendirmek için kullanılan ölçümlerin duyarlılığı ve özgüllüğü vurgulanarak, alternatif tedavi rotalarından faydalanabilecek hastaların etkili bir şekilde tespit edilmesindeki zorluklar ortaya konmuştur (Blodgett vd., 2021). Bunun yanında, bir çalışmada daha düşük rakımlı rotaların olduğu günlerde acil ambulans sevkiyatlarında daha yüksek rakımlı rotaların olduğu günlere göre daha büyük bir artış olduğu tespit edilmiş ve topografik faktörlerin ambulans sevkiyatları üzerindeki öneminin altı çizilmiştir (Ueda vd., 2012).

### 3. Materyal ve yöntem

Bu bölümde acil durum araçlarının yönlendirilmesinde akıllı bir ulaşım çözümü olarak ambulans araçlarının rotasının oluşturulması için geliştirilen optimizasyon modelinde kullanılan veri kümesi ve rota oluşturma algoritması anlatılmıştır.

#### 3.1. Veri kümesi

T.C. Sağlık Bakanlığı ile ortaklaşa yürütülen proje kapsamında hazırlanan bu çalışmada 29 Mayıs Hastanesi ve Liv Hastanesi'ne ait ambulans araç takip verisi, hastanelerin konum bilgisi ve Başarsoft Bilgi Teknolojileri AŞ'ye ait yol ağı verileri ve hipotetik olarak oluşturulan hasta noktaları kullanılmıştır.

Araç takip verisi kapsamında ambulanslara ilişkin kimlik numarası, enlem, boylam, açısız yön, anlık hız, yükseklik ve araca ait hız sınırı bilgisi kullanılmıştır. Tablo 1'de veriler ilişkin detay belirtilmiştir.

**Tablo 1.** Araç Takip Verisi

DeviceId	Lat	Lng	Direction	Speed	Altitude	SpeedLimit
16S1***	40.21334	29.01428	91.33	67.94	112	82
	↓	↓	↓	↓	↓	↓
	Enlem	Boylam	Açısal Yön	Anlık Hız	İrtifa	Araç Hız Limiti

Başarsoft Bilgi Teknolojileri AŞ'nin ürettiği yol ağı segment ve düğüm noktalarına ait kimlik numarası, yol adı, trafiğin akış yönü (DF), yol genişliği (WD), yol segmentinin tipi (TIPI), araç yasakları (VTR), yol segmentinin maksimum hız sınırı (HIZLIMIT) ve türetilmiş yaklaşık ortalama sürüş hızı (ORTALAMAHIZ) verileri kullanılmıştır. Tablo 2'de verilere ilişkin örnek ve detaylar belirtilmiştir.

**Tablo 2.** Yol Ağı Segment Bilgileri

ID	ADI	DF	WD	TIPI	VTR	HIZLIMIT	ORTALAM AHIZ
985764***	XYZ	1	2	Cadde	YYYYNYYN	90	70
		↓	↓	↓	↓		
		1: Trafik her iki yönde de akıyor 2: Trafik yol segmentinin çizim yönünün tersine tek yönlü akıyor 3: Trafik, yol segmentinin çizim yönünde tek yönlü akıyor 4: Yol segmenti araç trafiğine kapalı	Boş: Normal yol 1: Dar yollar (Tek Şeritli – İki araç yan yana geçemeyebi lir) 2: Dik Yol 3: Dar ve Dik yol	Otoyol Devlet Yolu İl Yolu Bulvar Cadde Sokak İç Yol	N:Yasak yok, İlgili araç türü girebilir Y: Yasak var, İlgili araç türü giremez 1: Araba 2: Kamyon 3: Taksi ... 9: Ambulans - İtfaiye Aracı		

Hastane ve hipotetik hasta konumlarına ait veriler ise enlem ve boylam olarak hazırlanmıştır.

### 3.2. A\* Algoritması

A\* algoritması, yönlü veya yönsüz bir graf üzerinde başlangıç noktasından hedef noktaya en kısa yolu bulmak için kullanılan sezgisel bir algoritmadır (Hart vd., 1968). Dijkstra algoritmasından farklı olarak, A\* algoritması yalnızca en kısa yolu değil, aynı zamanda belirli bir sezgisel fonksiyonu  $h(n)$  kullanarak daha hızlı arama yapar. Bu fonksiyon, düğümden hedefe olan tahmini maliyeti ifade eder ve arama sürecini hızlandırır.

A\* algoritması aşağıdaki adımları izler:

- Başlangıç düğümü seçimi:** Başlangıç düğümü açık listeye eklenir ve bu düğümün toplam maliyeti  $f(n)=g(n)+h(n)$  olarak hesaplanır. Burada:
  - $g(n)$ : Başlangıç düğümünden mevcut düğüme kadar olan gerçek maliyet,
  - $h(n)$ : Mevcut düğümden hedef düğüme olan tahmini maliyettir.

2. **En düşük maliyetli düğümün seçimi:** Açık listedeki düğümler arasında  $f(n)$  değeri en düşük olan düğüm seçilir.
3. **Komşuların değerlendirilmesi:** Seçilen düğümün komşuları incelenir ve her bir komşunun  $g(n)$  ve  $f(n)$  değerleri güncellenir. Eğer komşu düğüm daha iyi bir yolla keşfedilmişse, açık listeye eklenir.
4. **Hedefe ulaşma:** Hedef düğüme ulaşıldığında arama işlemi durdurulur ve en kısa yol belirlenir.

A\* algoritmasının en önemli avantajı, kullanılan sezgisel fonksiyon sayesinde arama alanını daraltarak daha hızlı sonuç vermesidir.

### 3.3. Genetik Algoritmalar

Genetik algoritmalar (GA), doğal seçim ve genetik mekanizmaları temel alan bir meta-sezgisel optimizasyon yöntemidir (Holland, 1975). Karmaşık optimizasyon problemlerini çözmek için kullanılan bu algoritma, büyük bir çözüm uzayında iyi sonuçlar sağlayabilir.

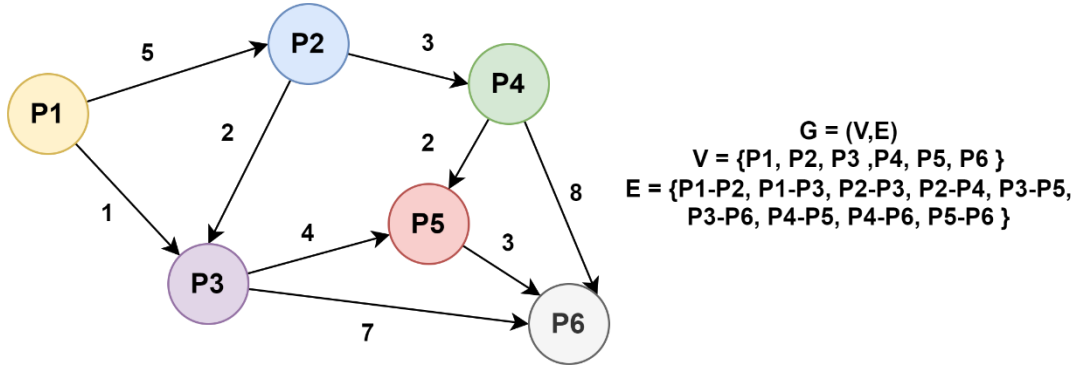
Genetik algoritmanın temel adımları şunlardır:

1. **Başlangıç popülasyonunun oluşturulması:** Olası çözümlerden oluşan bir başlangıç popülasyonu rastgele veya belirli bir yöntemle oluşturulur.
2. **Uygunluk değerlendirmesi (fitness):** Her bir çözüm, belirlenen hedef fonksiyona göre değerlendirilir. Daha uygun çözümler daha yüksek bir fitness değerine sahiptir.
3. **Seçim (selection):** Daha yüksek fitness değerine sahip çözümler, bir sonraki nesli oluşturmak için seçilir.
4. **Çaprazlama (crossover):** Seçilen çözümler arasında bilgi değişimi yapılarak yeni bireyler oluşturulur.
5. **Mutasyon (mutation):** Çeşitliliği artırmak ve yerel maksimumlara takılmayı önlemek için rastgele değişiklikler yapılır.
6. **Yeni nesil oluşturulması:** Yeni bireylerden oluşan bir popülasyon oluşturulur ve bu süreç belirli bir kriter karşılanana kadar tekrar edilir.

### 3.4. Dijkstra Algoritması

Dijkstra algoritması, graf teorisinde bir düğümden diğer bir düğüme en kısa yolu bulmak için kullanılan bir algoritmadır (Dijkstra, 1959). Dijkstra algoritmasında her bir nokta bir graf düğümü olarak adlandırılır ve graflar arası mesafeyi bulmak için arama sürecinde, herhangi bir yola bağlı olan düğümler ve gezinme düğümleri geçici olarak işaretlenmiş düğümler olarak ele alınır. Her arama döngüsünde bir başlangıç noktasından hedef noktaya en kısa yol uzunluğu, geçici olarak işaretlenmiş düğümlerden kalıcı olarak işaretlenmiş düğümler bulunacak şekilde aranır (Ngo vd., 2021).

Dijkstra algoritması etiketleme algoritması da olarak bilinen aç gözlü bir algoritmadır (Qing vd., 2017). Algoritma yönlü bir graf probleminde çalışır ve bu yönlü grafa  $G = (V,E)$  olarak temsil eden bir düzlemde düğümlerin kümesi  $V$ , düğümler arası yol kümesi de  $E$  ile ifade edilmekte olup yönlü bir graf örneği de Şekil 1 ile gösterilmiştir.



Şekil 1. Örnek bir yönlü graf

Dijkstra algoritmasında en kısa yolu bulmak için algoritmada öncelikle bir başlangıç düğümü seçilmelidir. Başlangıç düğümü olarak seçilen A düğümü ile B düğümü arasındaki “ağırlık” olarak ifade edilen C (A, B) mesafe değeri komşuluk matrisinde güncellenmeli eğer bir bağlantı yok ise  $C(A, B) = \infty$  olarak belirlenmelidir. Sonraki adımda başlangıç düğümüne komşu düğüm ele alınır ve komşu düğüm üzerinden A düğümü ile mesafesi ölçülerek komşuluk matrisi tekrar güncellenir. Bu işlem tüm düğümler arası en kısa mesafe bulununcaya kadar devam eder.

Dijkstra algoritmasında bir v düğümünden X düğümüne en kısa mesafe  $DIST(X)$  örnek olarak şu şekilde bulunur:

1. Başlangıç adımında çıkış düğümü A olarak belirlenir ve en kısa yol matrisi sadece A düğümünü içerecek küme  $S \cup \{A\}$  şeklinde oluşturulur.
2. V-S düğümleri arasında çıkış “v” noktasına en yakın “i” düğümü bulunur, en kısa maliyete sahip yol hesaplanarak “i” düğümü S kümesine eklenir.
3. Yeni çıkış noktası “i” düğümü olarak belirlenir ve “j” düğümüne uzaklık ölçülür ve eğer  $DIST(j) > DIST(i) + C(i, j)$  ise  $DIST(j) = DIST(i) + C(i, j)$  şeklinde komşuluk matrisi güncellenir.
4. 2. Ve 3. Adımda olan işlemler (n-1) kez tekrar edilir. Böylece ilk başlangıç düğümünden, ara düğümlere ve son düğümüne kadar graf üzerindeki en kısa mesafeler hesaplanmış olur.

Detayları yukarıda açıklanan A\*, genetik ve Dijkstra algoritmalarını içeren ambulans rota optimizasyon modelimize ait ilgili senaryolar ve bulgular bir sonraki başlıkta açıklanmış ve tartışılmıştır.

#### 4. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada ambulans rotası oluşturma için A\*, Genetik ve Dijkstra algoritmaları kullanılmış, 3 farklı senaryo için rota oluşturulmuştur.

Bu senaryolar:

- Geçiş üstünlüğü
- Ters yön
- Eğimli yol senaryolarıdır.

Geçiş üstünlüğü senaryosunda ambulans gibi acil durum araçlarının trafik ışıklarında bekleme zorunluluğu olmaması, dolayısıyla yolun mevcut trafiğinden etkilenmemesi senaryosu üzerinde çalışılmıştır. Bu kapsamda, 29 Mayıs Hastanesi’nden seçili noktaya (Hoşdere Cd. No:206) gidiş ve dönüş rotası normal bir araç rotası ile kıyaslanmıştır. A\* algoritması ile elde edilen örnek rota Şekil 2’de gösterilmektedir.

Yapılan kıyaslama sonucunda; geçiş üstünlüğü olan aracın Dijkstra algoritması ile oluşturulan rotası için toplamda 19 dakikalık bir seyahat süresi ve 5.8 km’lik bir mesafe hesaplanmıştır. A\* algoritması ile bu süre 17 dakikaya, genetik algoritma ile ise 18 dakikaya düşmüştür. Standart araç rotalaması için

ise Dijkstra algoritması ile 42 dakikalık bir seyahat süresi ve 10.9 km'lik bir mesafe hesaplanmış olup, A\* algoritması ile bu süre 40 dakikaya, genetik algoritma ile ise 41 dakikaya indirilebilmiştir. Trafik ışıklarında bekleme yapmama durumu yalnızca acil durum araçları için geçerli olduğundan, Dijkstra algoritmasına göre acil durum aracının 23 dakikalık bir kazancı olduğu görülmüştür. A\* algoritması ile bu kazanç 25 dakikaya, genetik algoritma ile ise 24 dakikaya yükselmiştir (Tablo 3).

**Tablo 3.** Geçiş üstünlüğü senaryosu kıyaslaması

		Standart Araç	Ambulans	Mesafe
A*	Hastaneden seçili noktaya	22 dk	8 dk	5,8 km
	Seçili noktadan Hastaneye	16 dk	9 dk	5,1 km
	<b>Toplam</b>	<b>38 dk</b>	<b>17 dk</b>	<b>10,9 km</b>
Genetik	Hastaneden seçili noktaya	23 dk	8.5 dk	5,8 km
	Seçili noktadan Hastaneye	17 dk	9.5 dk	5,1 km
	<b>Toplam</b>	<b>40 dk</b>	<b>18 dk</b>	<b>10,9 km</b>
Dijkstra	Hastaneden seçili noktaya	24 dk	9 dk	5,8 km
	Seçili noktadan Hastaneye	18 dk	10 dk	5,1 km
	<b>Toplam</b>	<b>42 dk</b>	<b>19 dk</b>	<b>10,9 km</b>

Bir diğer senaryo olan Ters Yön senaryosunda acil durum araçlarının gerekli durumlarda ters yöne girebilmesi senaryosu işlenmiştir. Bu kapsamda, Liv Ankara Hastanesi'nden seçili noktaya (Bestekar Sk. No.61) gidiş ve dönüş, normal bir aracın ters yön kullanmadığı senaryo ile kıyaslanmıştır A\* algoritması ile elde edilen örnek rota Şekil 3'te gösterilmektedir.

Acil durum araçlarının ters yön kullanma iznini göz önünde bulundurularak çalışılan senaryoda, standart araç için Dijkstra algoritması ile toplamda 24 dakikalık bir seyahat süresi ve 2.55 km'lik bir mesafe hesaplanmıştır. A\* algoritması kullanıldığında bu süre 22 dakikaya, genetik algoritma ile ise 23 dakikaya düşmüştür. Ambulans için ise Dijkstra algoritmasına göre toplamda 16 dakikalık bir seyahat süresi ve 1.46 km'lik bir mesafe hesaplanmıştır. A\* algoritması ile bu süre 14 dakikaya, genetik algoritma ile ise 15 dakikaya indirilebilmiştir. Acil durum aracının ters yöne girebilme yetkisine göre hazırlanan rota, Dijkstra algoritmasına göre toplamda 8 dakikalık bir kazanç sağlarken; A\* algoritması ile bu kazanç 10 dakikaya, genetik algoritma ile ise 9 dakikaya yükselmiştir (Tablo 4).

**Tablo 4.** Ters yön senaryosu kıyaslaması

		Standart Araç	Ambulans	Mesafe
A*	Hastaneden seçili noktaya	16 dk	9 dk	1,82 km/0,73 km
	Seçili noktadan Hastaneye	5 dk	5 dk	0,73 Km
	<b>Toplam</b>	<b>21 dk</b>	<b>14 dk</b>	<b>2,55/1,46 Km</b>
Genetik	Hastaneden seçili noktaya	17 dk	9.5 dk	1,82 km/0,73 km
	Seçili noktadan Hastaneye	5.5 dk	5.5 dk	0,73 Km
	<b>Toplam</b>	<b>22.5 dk</b>	<b>15 dk</b>	<b>2,55/1,46 Km</b>
Dijkstra	Hastaneden seçili noktaya	18 dk	10 dk	1,82 km/0,73 km
	Seçili noktadan Hastaneye	6 dk	6 dk	0,73 Km
	<b>Toplam</b>	<b>24 dk</b>	<b>16 dk</b>	<b>2,55/1,46 Km</b>

Son olarak eğimli yol senaryosunda acil durum araçlarına sunulan yol ortalama hızının, normal araçlardan farklı olması, mevcut yol trafiğinde karşılaşılan toplu taşıma aracı ve büyük araçların sebep



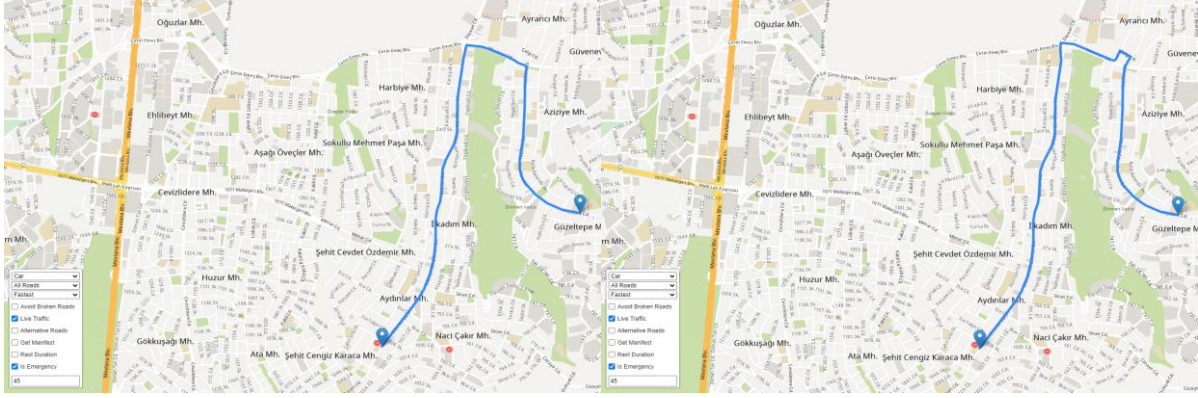
olduğu yavaşlamadan etkilenmediği durum çalışılmıştır. Senaryoda 29 Mayıs Hastanesi'nden seçili noktaya (Oğuzlar Mah. 1395 Sk. No:10) gidiş ve dönüşü standart bir araç ile kıyaslanmıştır. A\* algoritması ile elde edilen örnek rota Şekil 4'te gösterilmektedir.

Eğimli yol çalışılan senaryoda, standart araç için Dijkstra algoritması ile aynı rotada 32 dakikalık bir seyahat süresi ve 9.1 km'lik bir mesafe hesaplanmıştır. A\* algoritması kullanıldığında bu süre 30 dakikaya, genetik algoritma ile ise 31 dakikaya düşmüştür. Acil durum aracı için türetilmiş, trafikten arındırılmış yolda Dijkstra algoritması ile 15 dakikalık bir seyahat süresi ve 9.1 km'lik bir mesafe hesaplanmıştır. A\* algoritması ile bu süre 13 dakikaya, genetik algoritma ile ise 14 dakikaya indirilebilmiştir. Toplamda, acil durum aracı için Dijkstra algoritmasına göre 17 dakikalık bir kazanç sağlanırken; A\* algoritması ile bu kazanç 19 dakikaya, genetik algoritma ile ise 18 dakikaya çıkarılmıştır.

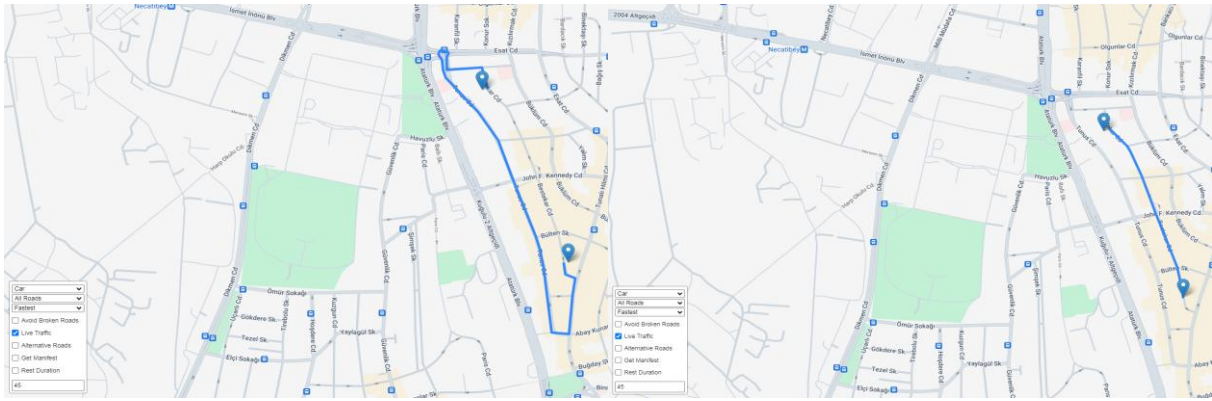
**Tablo 5.** Eğimli yol senaryosu kıyaslaması

		Standart Araç	Ambulans	Mesafe
A*	Hastaneden seçili noktaya	16 dk	5 dk	4,4 km
	Seçili noktadan Hastaneye	12 dk	8 dk	4,7 km
	Toplam	28 dk	13 dk	9,1 km
Genetik	Hastaneden seçili noktaya	17 dk	5.5 dk	4,4 km
	Seçili noktadan Hastaneye	13 dk	8.5 dk	4,7 km
	Toplam	30 dk	14 dk	9,1 km
Dijkstra	Hastaneden seçili noktaya	18 dk	6 dk	4,4 km
	Seçili noktadan Hastaneye	14 dk	9 dk	4,7 km
	Toplam	32 dk	15 dk	9,1 km

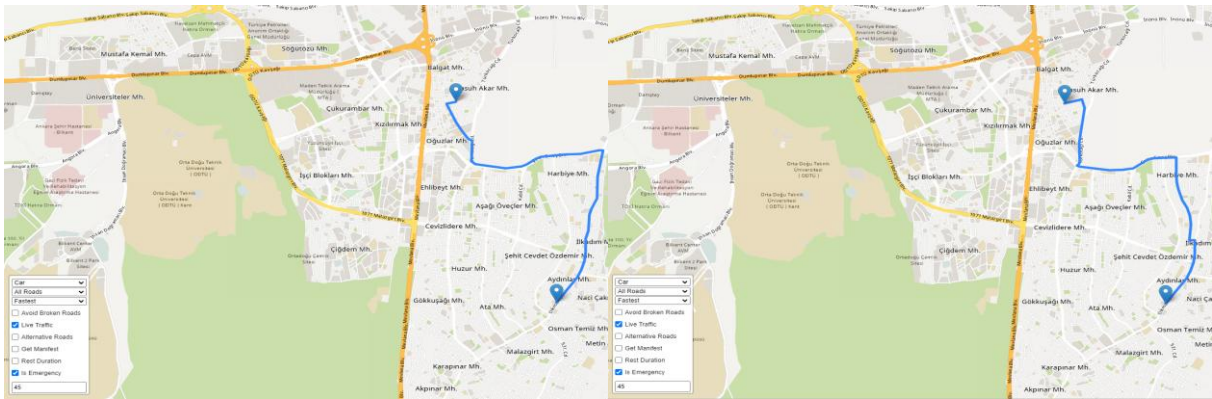
Çalışmada kullanılan Dijkstra, A\* ve genetik algoritmaların farklı sonuçlar üretmesi, algoritmaların maliyet fonksiyonlarında kullanılan ağırlıklar ve parametre ayarlarından kaynaklanmaktadır. Dijkstra algoritması, yalnızca mesafe odaklı statik bir yaklaşım sunarken, A\* algoritması, sezgisel bir fonksiyon kullanarak arama alanını daraltmış ve %10'a kadar daha hızlı sonuçlar elde edilmesini sağlamıştır. Örneğin, geçiş üstünlüğü senaryosunda Dijkstra algoritmasıyla 19 dakika olarak hesaplanan ambulans seyahat süresi, A\* algoritmasıyla 17 dakikaya düşmüştür. Genetik algoritmalar ise çoklu hedefleri optimize etme esnekliğiyle dikkat çekmiş, ancak Dijkstra'ya göre %5 oranında daha iyi sonuçlar sunarak A\* kadar hızlı olamamıştır. Bu farklılıklar, algoritmaların çözüm uzayına yaklaşım biçimlerinden kaynaklanmaktadır. A\* algoritmasının sezgisel maliyet fonksiyonu, dinamik faktörler (örneğin trafik yoğunluğu ve yol durumu) dikkate alındığında daha hızlı çözümler sunarken; genetik algoritmalar, parametre ayarlarının (fitness fonksiyonu, mutasyon oranı ve popülasyon boyutu gibi) doğru yapılandırılmasına bağlı olarak geniş ve karmaşık problem uzaylarında etkili olmuştur. Sonuçlar, her üç algoritmanın da acil durum senaryolarında uygulanabilir olduğunu, ancak senaryonun dinamik özelliklerine ve optimizasyon hedeflerine bağlı olarak performanslarının değişebileceğini göstermiştir.



**Şekil 2.** Geçiş Üstünlüğü Senaryosu: 29 Mayıs Hastanesi – Hoşdere Cd. No.206 Gidiş ve Dönüş Güzergâhı, A\* Algoritması Örnek Gösterimi



**Şekil 3.** Ters yön senaryosu: Liv Ankara Hastanesi – Bestekar Sk. No:61 Standart ve Acil Durum Araç Rotaları, A\* Algoritması Örnek Gösterimi



**Şekil 4.** Eğimli yol senaryosu: 29 Mayıs Hastanesi – Oğuzlar Mah. 1395 Sk. No:10 Gidiş ve Dönüş Güzergâhı, A\* Algoritması Örnek Gösterimi

Bu çalışma, Türkiye'deki trafik özelliklerini ve acil durum araçlarının özel ihtiyaçlarını dikkate alarak, ambulansların kullanımına özel olarak tasarlanmış bir rota optimizasyon modeli geliştirmeyi amaçlamıştır. Geliştirilen model, ambulansların trafik ışıklarında geçiş üstünlüğü, ters yöne giriş yapabilme ve eğimli güzergahlar gibi zorlu koşulları dikkate alarak, farklı algoritmalarla acil durum müdahale sürelerini önemli ölçüde kısaltmayı hedeflemiştir. Özellikle, Dijkstra algoritmasıyla belirlenen sürelerin A\* algoritması kullanılarak %10'a kadar iyileştirilebildiği, genetik algoritmalarla

ise %5'lik bir iyileştirme sağlandığı gözlemlenmiştir. Bu durum, A\* algoritmasının daha hızlı sonuçlar üretebilme yeteneğini, genetik algoritmaların ise farklı kısıtlarla başa çıkabilme esnekliğini ortaya koymaktadır.

Çalışma kapsamında incelenen araştırmalarda, acil durum araç yönlendirmesi ve ambulans rotalarının optimizasyonu konusunda mevcut çalışmaların geniş bir yelpazede ele alındığı görülmüştür. Özellikle, McDaniel vd. (2023) tarafından geliştirilen hızlı araç yönlendirme algoritmaları, afetler sırasında zamanında ve verimli araç yönlendirmesi sağlamak için önemli bir adım olarak değerlendirilmiştir (McDaniel vd., 2023). Bu çalışmalar, acil durum müdahalesinin mevcut durum içerisindeki akışkanlığını ve belirsizliğini ele alarak, acil durumlar için hızlı ve etkili araç yönlendirmesi sağlamak üzere tasarlanmıştır.

Ayrıca, Sparse A\* ve Dijkstra algoritmalarının acil durum rota bulma algoritmaları olarak uygulanmış, yangın gibi afetler sırasında kaçış yollarının bulunmasına yardımcı olmak ve güvenli tahliye için etkili yönlendirme sağladığı ifade edilmiştir (Rout vd., 2020; McDaniel vd., 2023). Bu gibi önemli algoritmaların uygulanması, zorlu trafik koşullarında ambulansların daha hızlı ve güvenli bir şekilde yönlendirilmesinde kritik bir rol oynamaktadır. Bu çalışmada ise A\* algoritmasının sezgisel yapısı sayesinde Dijkstra'ya kıyasla daha hızlı sonuçlar sağladığı, genetik algoritmaların ise çoklu hedef optimizasyonunda etkili olabileceği görülmüştür.

Bu çalışmanın literatürdeki önceki çalışmalardan ayıran önemli bir yönü, Türkiye trafik koşullarında ambulanslara yönelik özel ihtiyaçları karşılayacak bir rota optimizasyon modelinin geliştirilmesidir. Yapılan çalışmayla ambulansların ters yöne girebilmesi ve trafik ışıklarında geçiş üstünlüğü gibi özellikleri içeren zenginleştirilmiş ağ verisi oluşturulmuş ve acil durum müdahale sürelerinin hem Dijkstra, hem A\*, hem de genetik algoritmalarla kıyaslanarak kısaltıldığı gösterilmiştir. Bu yaklaşım, ambulans hizmetlerinin etkinliğini artırmak için trafik sinyallerinde geçiş hakkının tanınmasının önemini de ortaya koymaktadır.

Ayrıca, sunulan model ile acil durum müdahale sürelerini kısaltarak hasta ve yaralıların hayatta kalma şanslarının artırılması hedeflenmiş ve Türkiye'deki ambulans hizmetlerinin verimliliğini artırmak için pratik ve yenilikçi çözümler önerilmiştir. Geliştirilen optimizasyon modeli, acil sağlık hizmetlerinin kalitesini artırarak toplum sağlığı üzerinde olumlu bir etki yaratma potansiyeline sahip olup, gelecekteki araştırmalara yönelik bir temel oluşturarak, ambulans rotası optimizasyonu ve acil durum yönetimi alanında daha ileri çalışmalar için önemli bir kaynak olacaktır.

## 5. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışma, Türkiye'deki trafik özelliklerini ve acil durum araçlarının özel ihtiyaçlarını dikkate alarak, ambulansların kullanımına özel olarak tasarlanmış bir rota optimizasyon modeli geliştirmeyi amaçlamıştır. Çalışmanın sonuçları, ambulansların trafik ışıklarında geçiş üstünlüğü ve ters yöne giriş yapabileme gibi özelliklerle donatılmasını sağlayarak, acil durum müdahale sürelerini önemli ölçüde kısaltmayı hedeflemiştir. Özellikle, Dijkstra algoritmasıyla belirlenen sürelerin A\* algoritması kullanılarak %10'a kadar iyileştirilebildiği, genetik algoritmalarla ise %5 oranında iyileştirilebildiği görülmüştür. Bu iyileştirmeler, kullanılan algoritmaların çeşitli trafik senaryolarında sunduğu avantajları ve modelin esnek yapısını ortaya koymaktadır. Ayrıca, eğimli güzergahlarda oluşabilecek trafik yavaşlamalarını dikkate alarak ambulanslara özel hızlı ve etkili rotalar çıkarmak, çalışmanın önemli sonuçlarından biri olarak öne çıkmıştır.

Ancak, modelin gerçek dünya trafik koşullarında ve farklı türde acil durum senaryolarında nasıl performans göstereceği konusunda daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır. Bu çalışma, belirli bir coğrafi bölge ve trafik koşulları dikkate alınarak geliştirilmiştir; dolayısıyla, modelin farklı coğrafi bölgelerde uygulanabilirliği ve etkinliği konusunda ek çalışmalar gerekmektedir. A\* algoritmasının hızlı çözüm üretme kabiliyeti ve genetik algoritmaların çoklu hedef optimizasyonundaki başarısı, gelecekteki model geliştirme çalışmalarında önemli bir temel oluşturabilir.

Gelecek çalışmalarda, modelin genel geçerliliğini ve uygulanabilirliğini artırmak için daha geniş ve çeşitli veri setleri kullanılabilir. Ayrıca, modelin farklı trafik koşulları ve acil durum senaryoları altında nasıl performans gösterdiğini değerlendirmek için kapsamlı simülasyon çalışmaları yapılabilir. Modelin

farklı coğrafi bölgelerdeki uygulanabilirliğini test etmek amacıyla, farklı ülkelerin trafik özellikleri ve acil durum yönetim ihtiyaçları göz önünde bulundurularak adaptasyon çalışmaları gerçekleştirilebilir.

Bunun yanı sıra, gelecek çalışmalar, trafik sinyalizasyon sistemleri, yol ağının dinamik özellikleri ve acil durum araçlarının öncelikli geçiş hakları gibi faktörleri daha detaylı bir şekilde inceleyerek, modelin optimizasyonunu ve etkinliğini artırabilir. Ayrıca, yapay zekâ ve makine öğrenimi tekniklerinin modelin geliştirilmesi sürecine entegrasyonu, rota optimizasyonunun daha dinamik ve adaptif hale getirilmesine olanak sağlayabilir. A\* algoritmasının sezgisel yapısının bu süreçte etkili olabileceği, genetik algoritmaların ise karmaşık ve çok boyutlu optimizasyon problemlerine çözüm sunabileceği değerlendirilmektedir.

Sonuç olarak, bu çalışmanın ortaya koyduğu bulgular ve öneriler, acil durum yönetimi ve ambulans hizmetlerinin etkinliğinin artırılması konusunda politika yapıcılar ve ilgili kurumlar için değerli bilgiler sunmaktadır. Gelecek çalışmalar, bu çalışmanın sonuçlarını temel alarak, acil sağlık hizmetlerinin kalitesini ve toplum sağlığı üzerindeki olumlu etkilerini artırmaya yönelik politikaların ve uygulamaların geliştirilmesine katkıda bulunabilir.

### **Araştırmacıların Katkı Oranı Beyanı**

Sorumlu yazar, ikinci ve üçüncü yazar tarafından araştırmanın ilk versiyonu hazırlanmış, tüm yazarlar tarafından düzenlenerek gözden geçirilmiştir.

### **Destek ve Teşekkür Beyanı**

Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) 2244 programı tarafından 119C200 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.

Bu çalışma, 2-4 Mayıs 2024 tarihlerinde Ankara'da gerçekleşen SUMMITS'24 Uluslararası Akıllı Ulaşım Sistemleri Zirvesi'nde bildiri olarak sunulmuş, bildiriler kitabına ise bildiri özeti gönderilmiştir.

### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Çalışma kapsamında herhangi bir kurum veya kişi ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### **Referanslar**

**Abdeen, M. A. R., Ahmed, M. H., Seliem, H., Sheltami, T. R., Alghamdi, T. M., & El-Nainay, M.** (2022). A Novel Smart Ambulance System—Algorithm Design, Modeling, and Performance Analysis. *IEEE Access*, *10*, 42656-42672. IEEE Access. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3168736>

**Alamri, A.** (2023). A Smart Spatial Routing and Accessibility Analysis System for EMS Using Catchment Areas of Voronoi Spatial Model and Time-Based Dijkstra's Routing Algorithm. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *20*(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/ijerph20031808>

**Albano, R., Sole, A., Adamowski, J., & Mancusi, L.** (2014). A GIS-based model to estimate flood consequences and the degree of accessibility and operability of strategic emergency response structures in urban areas. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, *14*(11), 2847-2865. <https://doi.org/10.5194/nhess-14-2847-2014>

**Amr, M. F., Elgarej, M., Benmoussa, N., Mansouri, K., & Qbadou, M.** (2021). Towards a Distributed SMA-based Solution for the Interoperability of Hospital Information Systems for Better Routing of Emergency Ambulances. *International Journal of Online and Biomedical Engineering (iJOE)*, *17*(12), Article 12. <https://doi.org/10.3991/ijoe.v17i12.25455>

**Aringhieri, R., Bruni, M. E., Khodaparasti, S., & van Essen, J. T.** (2017). Emergency medical services and beyond: Addressing new challenges through a wide literature review. *Computers & Operations Research*, *78*, 349-368. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2016.09.016>

**Blodgett, J. M., Robertson, D. J., Pennington, E., Ratcliffe, D., & Rockwood, K.** (2021). Alternatives to direct emergency department conveyance of ambulance patients: A scoping review of the evidence.

*Scandinavian Journal of Trauma, Resuscitation and Emergency Medicine*, 29(1), 4. <https://doi.org/10.1186/s13049-020-00821-x>

**Darwassh Hanawy Hussein, T., Frikha, M., Ahmed, S., & Rahebi, J.** (2022). BA-CNN: Bat Algorithm-Based Convolutional Neural Network Algorithm for Ambulance Vehicle Routing in Smart Cities. *Mobile Information Systems*, 2022, e7339647. <https://doi.org/10.1155/2022/7339647>

**Dijkstra, E. W.** (1959). A note on two problems in connexion with graphs. *Numerische Mathematik*, 1(1), 269-271. <https://doi.org/10.1007/BF01386390>

**Feroz, B., Mehmood, A., Maryam, H., Zeadally, S., Maple, C., & Shah, M. A.** (2021). Vehicle-Life Interaction in Fog-Enabled Smart Connected and Autonomous Vehicles. *IEEE Access*, 9, 7402-7420. IEEE Access. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3049110>

**Hart, P. E., Nilsson, N. J., & Raphael, B.** (1968). A formal basis for the heuristic determination of minimum cost paths. *IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics*, 4(2), 100-107. <https://doi.org/10.1109/TSSC.1968.300136>

**Holland, J. H.** (1975). *Adaptation in natural and artificial systems: An introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence*. University of Michigan Press.

**Johnson, S., & Yu, D.** (2020). From flooding to finance: NHS ambulance-assisted evacuations of care home residents in Norfolk and Suffolk, UK. *Journal of Flood Risk Management*, 13(1), e12592. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12592>

**Kula, U., Tozanli, O., & Tarakcio, S.** (2012). *Emergency Vehicle Routing in Disaster Response Operations*. 23rd Annual Conference of the Production and Operations Management Society.

**Mascarenhas, N., G, P., Agrawal, M., P, S., & A, A.** (2013). A Proposed Model for Traffic Signal Preemption Using Global Positioning System (GPS). *Computer Science & Information Technology (CS & IT)*, 219-226. <https://doi.org/10.5121/csit.2013.3423>

**McDaniel, E. L., Akwafuo, S., Urbanovsky, J., & Mikler, A. R.** (2023). Benchmarking a fast, satisficing vehicle routing algorithm for public health emergency planning and response: “Good Enough for Jazz?”. *PeerJ Computer Science*, 9, e1541. <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.1541>

**Mohd Nordin, N. A., Kadir, N., Zaharudin, Z. A., & Nordin, N. A.** (2011). An application of the A\* algorithm on the ambulance routing. *2011 IEEE Colloquium on Humanities, Science and Engineering*, 855-859. <https://doi.org/10.1109/CHUSER.2011.6163858>

**Ngo, T.-G., Dao, T.-K., Thandapani, J., Nguyen, T.-T., Pham, D.-T., & Vu, V.-D.** (2021). Analysis Urban Traffic Vehicle Routing Based on Dijkstra Algorithm Optimization. İçinde H. Sharma, M. K. Gupta, G. S. Tomar, & W. Lipo (Ed.), *Communication and Intelligent Systems* (ss. 69-79). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-981-16-1089-9\\_7](https://doi.org/10.1007/978-981-16-1089-9_7)

**Ong, M. E. H., Ng, F. S. P., Overton, J., Yap, S., Andresen, D., Yong, D. K. L., Lim, S. H., & Anantharaman, V.** (2009). Geographic-time distribution of ambulance calls in Singapore: Utility of geographic information system in ambulance deployment (CARE 3). *Annals of the Academy of Medicine, Singapore*, 38(3), 184-191.

**Ozcan-Tatar, C., Tukel, E., Yilmaz, E., Cabuk, S. N., & Ozturk, G.** (2023). Routing and Navigation Solutions for Emergency Vehicles in Urban Emergency Management. *Resourceedings*, 3(1), 75-80. <https://doi.org/10.21625/resourceedings.v3i1.946>

**Qing, G., Zheng, Z., & Yue, X.** (2017). Path-planning of automated guided vehicle based on improved Dijkstra algorithm. *2017 29th Chinese Control And Decision Conference (CCDC)*, 7138-7143. <https://doi.org/10.1109/CCDC.2017.7978471>

**Rout, R. R., Vemireddy, S., Raul, S. K., & Somayajulu, D. V. L. N.** (2020). Fuzzy logic-based emergency vehicle routing: An IoT system development for smart city applications. *Computers & Electrical Engineering*, 88, 106839. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2020.106839>

**Sari, F.** (2017). A GIS Based New Navigation Approach for Reducing Emergency Vehicle's Response Time. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim Ve Teknoloji Dergisi*, 5(1), Article 1. <https://doi.org/10.15317/Scitech.2017.69>

**Sayed, S., Ibrahim, R., & Hefny, H.** (2018). *An Efficient Ambulance Routing System for Emergency Cases based on Dijkstra's Algorithm, AHP, and GIS.*

**Sutherland, M., & Chakraborty, R. K.** (2023). An optimal ambulance routing model using simulation based on patient medical severity. *Healthcare Analytics*, 4, 100256. <https://doi.org/10.1016/j.health.2023.100256>

**Talarico, L., Meisel, F., & Sörensen, K.** (2015). Ambulance routing for disaster response with patient groups. *Computers & Operations Research*, 56, 120-133. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2014.11.006>

**Tassone, J., & Choudhury, S.** (2020). *A Comprehensive Survey on the Ambulance Routing and Location Problems* (arXiv:2001.05288). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2001.05288>

**Tikani, H., & Setak, M.** (2019). Ambulance routing in disaster response scenario considering different types of ambulances and semi soft time windows. *Journal of Industrial and Systems Engineering*, 12(1), 95-128.

**Tsai, Y.-L., Rastogi, C., Kitanidis, P. K., & Field, C. B.** (2021). Routing algorithms as tools for integrating social distancing with emergency evacuation. *Scientific Reports*, 11(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-98643-z>

**Ueda, K., Shimizu, A., Nitta, H., & Inoue, K.** (2012). Long-range transported Asian Dust and emergency ambulance dispatches. *Inhalation Toxicology*, 24(12), 858-867. <https://doi.org/10.3109/08958378.2012.724729>

**Zeng, Z., Yi, W., Wang, S., & Qu, X.** (2021). Emergency Vehicle Routing in Urban Road Networks with Multistakeholder Cooperation. *Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems*, 147(10), 04021064. <https://doi.org/10.1061/JTEPBS.0000577>

**Zong, F., Zeng, M., Cao, Y., & Liu, Y.** (2021). Local Dynamic Path Planning for an Ambulance Based on Driving Risk and Attraction Field. *Sustainability*, 13(6), Article 6. <https://doi.org/10.3390/su13063194>