



Contents lists available at *Dergipark*

## Journal of Scientific Reports-B

journal homepage: <https://dergipark.org.tr/en/pub/jsrb>



E-ISSN: 2717-8625

Sayı(Number) 8, Aralık(December) 2023

### ARAŞTIRMA MAKALESİ/RESEARCH ARTICLE

Geliş Tarihi(Receive Date): 15.06.2023

Kabul Tarihi(Accepted Date): 04.09..2023

## Otonom Mobil Robotlar İçin Metasezgisel Algoritmaların Çeşitli Yol Planlama Problemlerinde Performanslarının Karşılaştırılması

Esra DOĞAN<sup>1\*</sup>, Burhanettin DURMUŞ<sup>2</sup>

<sup>a\*</sup>Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği ABD, Kütahya 43000, Türkiye, ORCID:0009-0005-9275-994X

<sup>b</sup>Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Kütahya 43000, Türkiye, ORCID:0000-0002-8225-3313

### Özet

Otonom mobil robotların, engellerin olduğu bir ortamda engellere çarpmadan başlangıç noktasından hedef noktaya kadar olan yolu planlaması zor bir problemdir. Bu amaçla, başlangıç noktasından hedef noktaya giden yolu bulmak ve engellere çarpmamak için geliştirilen metasezgisel optimizasyon algoritmaları kullanılmaktadır. Bu çalışmada, robotun belirli bir alanda yol planlama problemini çözen bazı algoritmalar kullanılarak robotun çeşitli yol planlama problemlerindeki performansının karşılaştırılmasına değinilmiştir. Bu amaçla Farksal Gelişim Algoritması (DE), Parçacık Sürüsü Optimizasyon Algoritması (PSO), Gri Kurt Optimizasyon Algoritması (GWO) ve Karınca Aslanı (ALO) algoritmalarının aynı ve farklı engelli ortamlardaki performansları karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçlarında bu algoritmaların engele çarpmayan uygun bir yol güzergahı planladıkları ve algoritmaların rekabetçi sonuçlar ürettikleri görülmektedir. Algoritmalar aynı ve farklı şekilli engellerin olduğu ortamlardaki performans sonuçları incelendiğinde yakın sonuçlar elde edildiği değerlendirilmiştir. Engellerin sayısının artırılması algoritmaların yol planlamada performans düşmesine neden olduğu görülmekle beraber ortalama bir tekrar sayısında (5 ve 10 tekrar arası) algoritmaların gerekli optimum performansa ulaştıkları değerlendirilmektedir.

*Anahtar kelimeler:* Robot Yol Planlaması, Metasezgisel Algoritmalar, Otonom Mobil Robotlar.

## Comparison of Performances of Metaheuristic Algorithms for Autonomous Mobile Robots In Various Path Planning Problems

### Abstract

It is a difficult problem for autonomous mobile robots to plan the path from the starting point to the target point without hitting the obstacles in an environment with obstacles. For this purpose, heuristic optimization algorithms developed to find the way from the starting point to the target point and not to hit the obstacles are used. In this study, the comparison of the robot's performance in various path planning problems is discussed by using some algorithms that solve the robot's path planning problem in a certain area. For this purpose, the performances of Differential Enhancement Algorithm (DE), Particle Swarm Optimization Algorithm (PSO), Gray Wolf Optimization Algorithm (GWO) and Ant Lion (ALO) algorithms in the same and different handicapped environments were compared. In the comparison results, it is seen that these algorithms plan a suitable road route that does not hit the obstacle and the algorithms produce competitive results. When the performance results of the algorithms in the environments with the same and different shaped obstacles are examined, it is evaluated that close results are

obtained. Although it is seen that increasing the number of obstacles causes a decrease in the performance of the algorithms in path planning, it is evaluated that the algorithms reach the required optimum performance in an average number of repetitions (between 5 and 10 repetitions).

*Keywords:* Robot Path Planning, Meta-heuristic Algorithms, Autonomous Mobile Robots.

---

\* Esra DOĞAN. Tel.: +9-0507-974-71-26  
E-mail address: esra.altun@ogr.dpu.edu.tr

## 1. Giriş

Metasezgisel algoritmalar optimizasyon problemlerinin çözümünde son yıllarda çokça kullanılmaktadır. Metasezgisel algoritmalar genel olarak doğadaki sürülerin sosyal davranışlarını ilham alır ve taklit eder [1]. Mobil robotlar için yol planlamasında metasezgisel algoritmalar ile, belirli koşullar altında ve belirli bir alanda bir başlangıç noktasından bir hedef noktasına optimal veya optimale yakın olacak şekilde engellere çarpmayan bir yol oluşturulması amaçlanmaktadır [2]. Son yıllarda özellikle engellerden kaçan yol planlaması problemi ile ilgili birçok araştırma ve çalışma yapılmıştır [3,4].

Bu çalışmalarda amaç robotun nereden nereye ve engellere çarpmadan nasıl gideceğini bulmaktır. Bu sebeple robotun engellere çarpmadan, başlangıç noktası ile hedef noktası arasında mümkün olan en kısa ve en az maliyetli yoldan hareket etmesi amaçlanmaktadır [5]. Bu çalışmada popüler sezgisel optimizasyon algoritmalarından DE [6], PSO [7], GWO [8] ve ALO [9] algoritmalarının çeşitli yol planlama senaryolarındaki performanslarının karşılaştırılmasından bahsedilmektedir. Bu algoritmaların temel ve popüler algoritmalar olmasından dolayı yol planlamasındaki performansları incelenmiştir [5-9]. Bu amaçla ele aldığımız algoritmaları birçok farklı senaryoda performanslarını karşılaştırarak hangi algoritmaların hangi yol planlama problemlerinde daha iyi sonuç verdiği değerlendirilmektedir. Farksal Gelişim Algoritması (DE), Parçacık Sürüsü Optimizasyon Algoritması (PSO), Gri Kurt Optimizasyon Algoritması (GWO) ve Karınca Aslanı Optimizasyon (ALO) algoritmaları tek tip ve farklı engellerdeki performansları ve farklı tip ve sayıdaki engellerdeki performansları karşılaştırmalı olarak sunulmaktadır.

## 2. Yol Planlama Problemi

Günümüz teknolojik gelişmeleri dikkate alındığında özellikle endüstride mobil robotlara daha fazla ihtiyaç duyulmakta, bu da robotlar ile ilgili çalışmaların artmasına neden olmaktadır [10]. Robot teknolojisinin, askeri, bilimsel, endüstri gibi alanlarda çokça kullanıldığı görülmektedir [11]. Robot teknolojisindeki bu ihtiyaçların giderek artması robotların yol problemini de beraberinde getirmektedir. Robotların yol problemini mümkün olan en az maliyetle çözmesi gerekmektedir. Yol planlama problemi, başlangıç noktasından hedef noktaya uygun bir yol bulmayı amaçlar. Ayrıca robotların hareketli oluşları beraberinde yüksek enerji kullanım sorununu ortaya çıkarmaktadır. Bu nedenle mobil robotlar için en kısa yol bulunması problemi daha önemli hale gelmektedir. Mobil robot için yol planlaması, engelli bir alanda bir başlangıç konumundan bir hedef konumuna engellere çarpmadan mümkün olan en kısa güzergahı bulmaktır. Literatürde yol planlaması ile ilgili metasezgisel algoritmaların tekil ve hibrit kullanılması gibi çeşitli yaklaşımlar bulunmaktadır [11,19,20]. Bu çalışmada güncel ve popüler bazı algoritmalar yardımıyla yol planlaması probleminin çözümünün karşılaştırmalı olarak incelenmesi amaçlanmaktadır. Yol planlama probleminin amaç fonksiyonu aşağıda verilmiştir:

$$J = \min_{x,y} Q(1 + \beta V) \quad (1)$$

Burada  $\beta$  ihlal katsayısı (100),  $V$  ihlal maliyetini belirtir,  $Q$  başlangıç ve hedef noktalar arasındaki toplam mesafeyi gösterir.

## 3. Metasezgisel Algoritmalar

Metasezgisel algoritmalar, bir problemi çözmek için doğal olaylardan ilham alan ve buna göre matematiksel olarak modellenen algoritmalarlardır. Bu algoritmalar kesin çözümü garanti etmezler ama yakınsama özelliğine sahip olduklarından doğruya yakın bir çözüm bulurlar. Optimizasyon kelime olarak en uygun, en iyileme anlamına gelmektedir. Bir problemin çözümü için, belirli şartlar dahilinde tüm çözümler arasından en iyi ya da en uygun çözümü elde etme işlemidir.

Birçok metasezgisel algoritma bulunmaktadır. Çalışmada DE, PSO, GWO ve ALO algoritmalarından yararlanarak yol planlama probleminin performansları karşılaştırılmıştır. DE, Price ve Storn tarafından geliştirilen, işleyiş bakımından genetik algoritmaya dayanan popülasyon temelli sezgisel bir optimizasyon tekniğidir. Algoritma, sürekli parametrelerin söz konusu olduğu durumlarda başarılı sonuçlar veren bir algoritmadır [12]. PSO, sosyolog-psikolog James Kennedy ve Russel Eberhart

tarafından geliştirilen, kuş ve balık sürü hareketlerinden ilham alarak doğrusal olmayan nümerik problemlere optimum çözümler bulmak için geliştirilmiş popülasyon tabanlı bir optimizasyon yöntemidir [13]. GWO, Seyedali Mirjalili ve arkadaşları tarafından önerilmiştir. GWO doğadaki gri kurtların liderlik hiyerarşisini ve avlanma mekanizmasını taklit eder. Liderlik hiyerarşisini simüle etmek için alfa, beta, delta ve omega gibi dört tür gri kurt kullanılır [14]. Ayrıca avlanma, av arama, avın etrafını sarma ve ava saldırma üzere üç ana adım uygulanmaktadır [15]. ALO, Seyedali Mirjalili tarafından önerilen sürü zekası tabanlı bir algoritmadır. Karınca aslanlarının doğadaki avlanma mekanizmasını taklit eder [16]. Karıncaların gelişigüzel yürümesi, tuzak kurma, karıncaları tuzaklara hapsetme, av yakalama ve tuzakları yeniden kurma gibi beş ana adımı uygulamaktadır [17].

#### 4. Metasezgisel Algoritmalar İle Yol Planlamasında Literatür Çalışmaları

Literatürde metasezgisel algoritmalar kullanılarak mobil robotlar için yol planlaması problemi ile ilgili çeşitli çalışmalar bulunmaktadır [18]. Literatürde daha önce yol planlamasında kullanılan algoritmalarından öne çıkan PSO ile yapılan yol planlamasında elde edilen sonuçlara bakıldığında en iyi sonuç üreten algoritmalarından biri olarak öne çıktığı görülmektedir [19]. Fakat PSO'nun arama ve uygulamada dengeleme güçlükleri olması ayrıca durgunluk yaşaması bazen yol planlamasını çözmedeki etkinliğini kısıtlamaktadır. Bunun üstesinden gelen ve verimli bir şekilde yol planlamasını amaçlayan farklı çalışmalar da mevcuttur. Literatürde ayrıca hibrit çalışmalar olduğu da görülmektedir. Örneğin, bahsettiğimiz PSO'nun eksiklerinin olmasından kaynaklı, Karınca Kolonisi Algoritması (ACO) ve PSO hibrit yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntem, robotun engelli yol boyunca karşılaştığı engellerden kaçınarak en uygun yolu bulmak için kullanılır. Bu çalışmadaki hibrit yöntem sonuçları incelendiğinde, geleneksel yöntemlere göre (ACO ve PSO) daha iyi sonuçlar sağladığı görülmektedir [20].

Yol planlamasında kullandığımız algoritmalar incelendiğinde, engel sayısı, engellerin şekli ve büyüklüğü, robotun bulunduğu alan büyüklüğü gibi değişkenler algoritmaların yol planlamasında avantaj ve dezavantajlarının olduğu görülmektedir. Bu çalışma ile elde edilen sonuçlara bakarak mobil robot yol planlamasının DE, PSO, GWO ve ALO algoritmalarının yol problemindeki performanslarının karşılaştırılması ve engel sayısı, engellerin şekli ve büyüklüğü gibi değişkenler karşısında avantaj ve dezavantajlarının ortaya çıkarılması amaçlanmaktadır. Literatürde yol planlama probleminde özellikle algoritmaların farklı tip ve sayıda engeller karşısında ve aynı tip engellerin olduğu ortamlarda nasıl bir performans gösterdikleri ile ilgili çalışmaların eksik olduğu görülmektedir. Bu çalışma ile bahsedilen algoritmaların çeşitli yol problemi simülasyonlarındaki performansları karşılaştırılmıştır.

#### 5. Deneysel Çalışmalar

Yapılan bu çalışmada ağırlıklı olarak popüler bazı metasezgisel optimizasyon algoritmaları ile yol planlamasını yapıp, farklı yol problemlerinde bu algoritmaların performanslarını karşılaştırarak yol planlamadaki başarımlarının matlab geliştirme ortamında incelenmesi sunulmuştur.

DE, PSO, GWO ve ALO metasezgisel algoritmaların kodları, Intel(R) Core(TM) i5-3230M CPU@2.60GHz RAM/8 özellikli bir bilgisayarda çalıştırılmıştır. Popülasyon büyüklüğü 50, maksimum iterasyon sayısı 100'dür. Robot yol planlama problemi için Tablo 1, Tablo 2, Tablo 3, Tablo 4 ve Tablo 5'te farklı robot yol planlaması simülasyonları için 4 sezgisel algoritmanın 1, 5, 10 ve 50 tekrar ve 100 iterasyonda 10x10 birimlik bir alandaki koşmaların karşılaştırmalı sonuçları sunulmuştur. Algoritma performanslarının karşılaştırılmasının tam olarak doğru olması için yol problemi simülasyonu oluşturulurken bütün koşullar eşit tutulmuştur.

Tablo 1. Engel şekline göre(daire, kare, üçgen, çokgen) DE, PSO, GWO ve ALO algoritmalarının performanslarının karşılaştırılması.

Algoritma	Yol Problemi Modeli (5 engel)	Ortalama Maliyet	En İyi Maliyet	En Kötü Maliyet	Standart Sapma	Tekrar sayısı	İterasyon Sayısı
DE	Daire	11.7491	<b>11.7491</b>	11.7491	0	1	100
	Kare	11.9309	11.9309	11.9309	0		
	Üçgen	13.5295	13.5295	13.5295	0		
	Çokgen	11.7733	11.7733	11.7733	0		
PSO	Daire	11.6557	11.6557	11.6557	0	1	100
	Kare	11.6533	11.6533	11.6533	0		
	Üçgen	11.6551	11.6551	11.6551	0		
	Çokgen	11.4803	<b>11.4803</b>	11.4803	0		
GWO	Daire	11.7465	11.7465	11.7465	0	1	100
	Kare	12.0762	12.0762	12.0762	0		

ALO	Üçgen	11.7221	<b>11.7221</b>	11.7221	0	1	100
	Çokgen	12.1944	12.1944	12.1944	0		
	Daire	11.7202	11.7202	11.7202	0		
	Kare	11.8097	11.8097	11.8097	0		
	Üçgen	11.7504	11.7504	11.7504	0		
	Çokgen	11.4979	<b>11.4979</b>	11.4979	0		

Tablo 1 de, aynı büyüklükteki daire, kare, üçgen ve çokgen şekillerdeki engellerde 1 tekrar 100 iterasyon koşturma sonucundaki DE, PSO, GWO ve ALO optimizasyon algoritmalarının performansları sunulmuştur. Her bir algoritma için aynı sayı ve şekildeki engellerde en iyi maliyet değeri incelenmiştir. Matlab ortamında, yol planlamasında algoritmaların performanslarının incelenmesi için yapılan deneysel çalışmalarda engel şeklinin değişmesi, algoritmaların yol planlaması performansını önemli derecede etkilemediği görülmektedir. Bununla beraber DE algoritması daire, PSO algoritması çokgen, GWO algoritması üçgen ve ALO algoritmasının çokgen engellerde belirtilen koşullarda en iyi sonucu verdiği görülmektedir.

Tablo 2. 6,8 ve 10 engelli karışık şekilli engel ortamlarında DE, PSO, GWO ve ALO algoritmalarının performanslarının karşılaştırılması.

Algoritma	Yol Problemi Modeli	Ortalama Maliyet	En İyi Maliyet	En Kötü Maliyet	Standart Sapma	Tekrar sayısı	İterasyon Sayısı
DE	Yol Problemi 1 (6 engelli ortam)	11.4038	11.4038	11.4038	0	1	100
PSO		11.3862	<b>11.3862</b>	11.3862	0		
GWO		11.7381	11.7381	11.7381	0		
ALO		11.5447	11.5447	11.5447	0		
DE	Yol Problemi 2 (8 engelli ortam)	12.2973	12.2973	12.2973	0	1	100
PSO		11.3036	<b>11.3036</b>	11.3036	0		
GWO		13.4690	13.4690	13.4690	0		
ALO		11.3134	11.3134	11.3134	0		
DE	Yol Problemi 3 (10 engelli ortam)	11.4425	<b>11.4425</b>	11.4425	0	1	100
PSO		13.4220	13.4220	13.4220	0		
GWO		12.2608	12.2608	12.2608	0		
ALO		11.5349	11.5349	11.5349	0		

Tablo 2 de, 1 tekrar 100 iterasyon koşturma sonucundaki DE, PSO, GWO ve ALO optimizasyon algoritmalarının yol problemi 1 (6 karışık şekilli engel ortam), yol problemi 2 (8 karışık şekilli engel ortam) ve yol problemi 3 (10 karışık şekilli engel ortam) için performansları sunulmuştur. Her bir algoritma için ilgili yol problemlerindeki en iyi maliyet, en kötü maliyet, ortalama maliyet ve standart sapma değerleri karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Tablodaki değerlere göre yol problemi 1 ve yol problemi 2’de en iyi performansı PSO, yol problemi 3’te DE algoritmasının daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Algoritma bazlı incelendiğinde üç yol planlama probleminde de ALO algoritmasının istikrarlı ve iyi bir performans gösterdiği diğer algoritmalarda engel sayısının değişmesi bir istikrarsızlığa neden olduğu görülmektedir.

Tablo 3. 6,8 ve 10 engelli karışık şekilli engel ortamlarında DE, PSO, GWO ve ALO algoritmalarının performanslarının karşılaştırılması.

Algoritma	Yol Problemi Modeli	Ortalama Maliyet	En İyi Maliyet	En Kötü Maliyet	Standart Sapma	Tekrar sayısı	İterasyon Sayısı
DE	Yol Problemi 1 (6 engelli ortam)	11.5439	11.4031	11.6615	0.0933403	5	100
PSO		11.3866	<b>11.3740</b>	11.3963	0.010638		
GWO		11.6042	11.5445	11.7077	0.0662461		
ALO		12.0393	11.6262	12.644	0.45935		
DE	Yol Problemi 2 (8 engelli ortam)	12.6191	12.3179	13.5153	0.508912	5	100
PSO		11.3016	<b>11.2956</b>	11.3065	0.0047636		
GWO		13.3663	11.5306	14.6062	1.24282		
ALO		13.9581	12.3762	16.0515	1.57479		
DE	Yol Problemi 3 (10 engelli ortam)	12.6889	12.2797	13.5312	0.506424	5	100
PSO		11.2864	<b>11.2390</b>	11.4667	0.100785		
GWO		15.7456	13.4995	21.7908	3.40753		

ALO	12.8879	11.2493	18.2921	3.03608
-----	---------	---------	---------	---------

Tablo 3 de, 5 tekrar 100 iterasyon koşturma sonucundaki DE, PSO, GWO ve ALO optimizasyon algoritmalarının yol problemi 1, yol problemi 2 ve yol problemi 3 için performansları sunulmuştur. Her bir algoritma için ilgili yol problemlerindeki en iyi maliyet, en kötü maliyet, ortalama maliyet ve standart sapma değerleri karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Tablodaki değerlere göre yol problemi 1, yol problemi 2 ve yol problemi 3’de PSO algoritmasının en iyi performansı verdiği görülmektedir. Tablodaki tekrar ve iterasyon sayısı kadar yapılan deneyde engel sayısı arttıkça DE ve GWO algoritmalarının yol planlama performanslarının düşme eğiliminde olduğu görülmektedir.

Tablo 4: 6,8 ve 10 engelli karışık şekilli engel ortamlarında DE, PSO, GWO ve ALO algoritmalarının performanslarının karşılaştırılması

Algoritma	Yol Problemi Modeli	Ortalama Maliyet	En İyi Maliyet	En Kötü Maliyet	Standart Sapma	Tekrar sayısı	İterasyon Sayısı
DE	Yol Problemi 1 (6 engelli ortam)	11.6410	11.3696	13.1618	0.542194	10	100
PSO		11.4462	<b>11.3627</b>	11.5203	0.0732188		
GWO		12.0351	11.4635	15.819	1.33486		
ALO		11.7915	11.4403	12.3211	0.300045		
DE	Yol Problemi 2 (8 engelli ortam)	12.7809	11.4216	13.5545	0.676772	10	100
PSO		11.3570	<b>11.2960</b>	11.4607	0.0743957		
GWO		13.6809	11.4936	15.3685	1.39645		
ALO		12.2026	11.7823	13.0542	0.355809		
DE	Yol Problemi 3 (10 engelli ortam)	12.9794	11.8444	14.4368	0.849694	10	100
PSO		11.4073	<b>11.2387</b>	12.0945	0.263139		
GWO		13.7759	11.6774	19.9162	2.50294		
ALO		13.6918	11.2457	15.9837	1.37602		

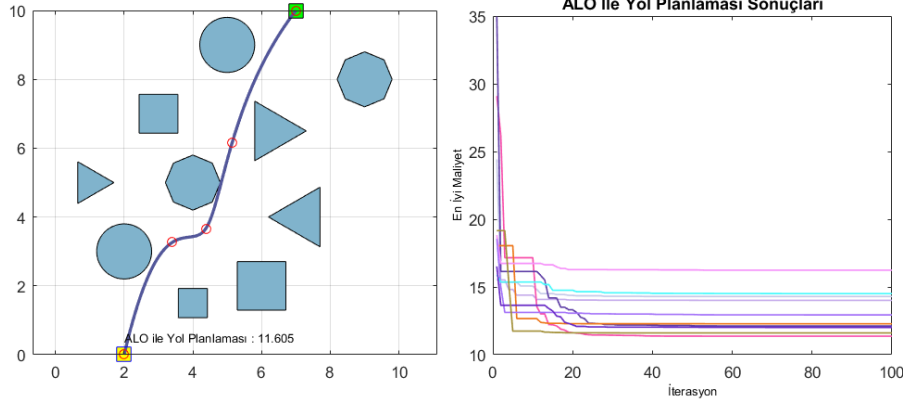
Tablo 4’de, 10 tekrar 100 iterasyon koşturma sonucundaki DE, PSO, GWO ve ALO optimizasyon algoritmalarının yol problemi 1, yol problemi 2 ve yol problemi 3 için performansları sunulmuştur. Her bir algoritma için ilgili yol problemlerindeki en iyi maliyet, en kötü maliyet, ortalama maliyet ve standart sapma değerleri karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Tablodaki değerlere göre yol problemi 1, yol problemi 2 ve yol problemi 3’de PSO algoritmasının en iyi performansı verdiği görülmektedir. Algoritma bazlı incelendiğinde engellerin sırayla artırıldığı üç yol planlama probleminde de DE’nin performansının düştüğü, PSO’nun önemli derecede bir performans değişimi olmadığı görülmele beraber iyi bir performans gösterdiği, GWO’nun biraz düştüğü, ALO’ nunda düşüp tekrar yükseldiği fakat iyi bir performans gösterdiği görülmektedir. Bu bölümdeki koşturmalarda genel olarak engel sayısı arttıkça algoritmaların yol planlama performanslarının iyi olduğu ve önem arz eden bir performans değişiminin olmadığı görülmektedir.

Tablo 5: 6,8 ve 10 engelli karışık şekilli engel ortamlarında DE, PSO, GWO ve ALO algoritmalarının performanslarının karşılaştırılması.

Algoritma	Yol Problemi Modeli	Ortalama Maliyet	En İyi Maliyet	En Kötü Maliyet	Standart Sapma	Tekrar sayısı	İterasyon Sayısı
DE	Yol Problemi 1 (6 engelli ortam)	11.6513	11.3933	13.2039	0.439353	50	100
PSO		11.4800	<b>11.3888</b>	11.5278	0.0535691		
GWO		12.0152	11.3974	14.1996	0.700801		
ALO		11.6846	11.5082	13.8635	0.370656		
DE	Yol Problemi 2 (8 engelli ortam)	12.5751	11.3431	14.3761	0.875183	50	100
PSO		11.5813	<b>11.296</b>	14.1676	0.44189		
GWO		13.0848	11.3208	15.0326	0.919037		
ALO		12.4175	11.3026	15.2467	1.43908		
DE	Yol Problemi 3 (10 engelli ortam)	13.1812	11.2921	14.5759	1.01803	50	100
PSO		12.7696	<b>11.2392</b>	14.3132	1.41997		
GWO		15.0386	11.5661	23.809	3.24936		
ALO		13.9134	11.47	20.0639	2.2204		

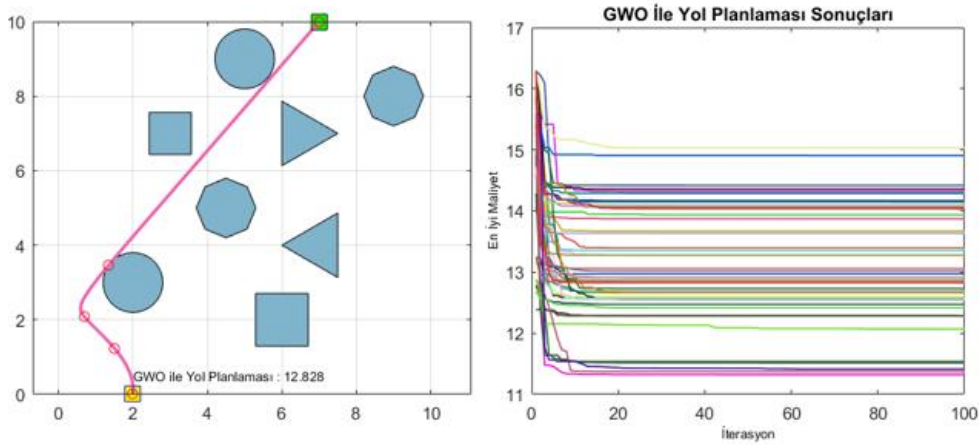
Tablo 5 de, 50 tekrar 100 iterasyon koşturma sonucundaki DE, PSO, GWO ve ALO optimizasyon algoritmalarının yol problemi 1, yol problemi 2 ve yol problemi 3 için performansları sunulmuştur. Her bir algoritma için ilgili yol problemlerindeki en iyi maliyet, en kötü maliyet, ortalama maliyet ve standart sapma değerleri karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Tablodaki değerlere göre yol problemi 1, yol problemi 2 ve yol problemi 3’de PSO algoritmasının en iyi performansı verdiği görülmektedir. Tabloda PSO’nun en iyi performansı gösterdiği görülmekle beraber diğer algoritmalarında yakın performans gösterdiği görülmektedir. Bu bölümde yapılan koşturmalarda genel olarak engel sayısı arttıkça algoritmaların yol planlama performanslarının iyi olduğu fakat tekrar sayısı değişimden dolayı düşük bir düşüş performansı değişiminin olduğu görülmektedir.

Şekil 1, Şekil 2, Şekil 3 ve Şekil 4 de matlab ortamında yapılan bazı deneysel çalışmalar sunulmuştur. Şekillerde algoritmanın yol planlama simülasyonu ve iterasyonlar boyunca izlediği performans grafiği gösterilmektedir. Şekillerin solunda tekrarlı çalıştırılan deneylerde, programın son tekrarda verdiği simülasyondur. Tablolarda ise bu tekrarlar içerisindeki en iyi ve en kötü değer gösterilmektedir. Ayrıca tekrar sayısına göre ortalama değer hesaplanarak ortalama maliyet olarak belirtilmektedir.



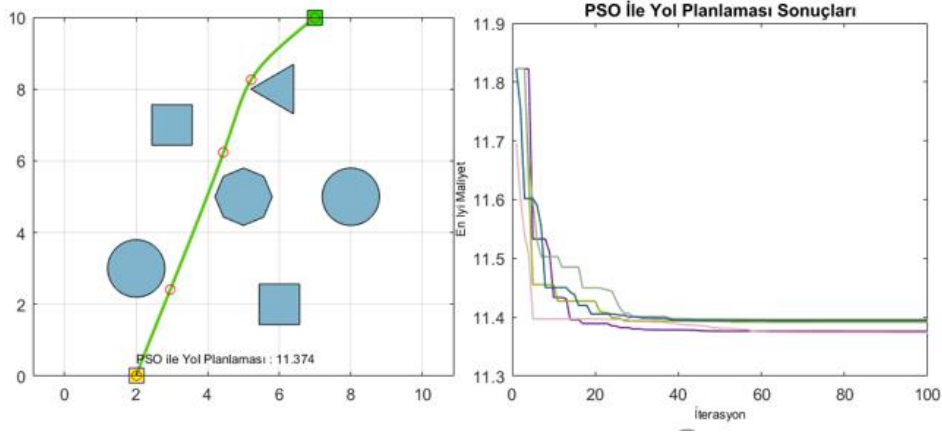
Şekil 1. ALO optimizasyon algoritmasının karışık tip 10 engelli ortamda 10 tekrar 100 iterasyon koşturmadaki performans değer ve grafiği

Şekil 1’de 10 karışık tip engelli bir alanda 10 tekrar 100 iterasyonluk koşturma sonucunda ALO’nun yol planlamasındaki performansı ve her tekrar için bir grafik olacak şekilde maliyet grafiği gösterilmektedir. Her 100 iterasyonluk tekrar için bir yol güzergahı çizilmektedir. Şekilde gösterilen yol güzergahı son tekrar olan 10’uncu tekrarin güzergahıdır.



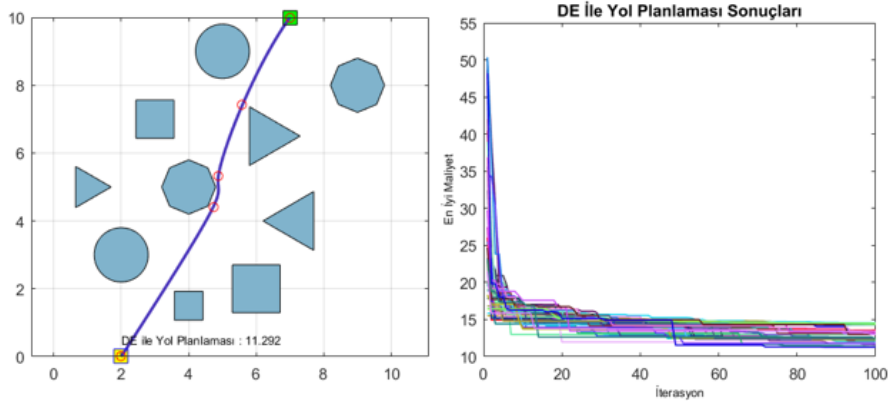
Şekil 2. GWO optimizasyon algoritmasının karışık tip 8 engelli ortamda 50 tekrar 100 iterasyon koşturmadaki performans değer ve grafiği

Şekil 2’de 8 karışık tip engelli bir alanda 50 tekrar 100 iterasyonluk koşturma sonucunda GWO’nun yol planlamasındaki performansı ve her tekrar için bir grafik olacak şekilde maliyet grafiği gösterilmektedir. Her 100 iterasyonluk tekrar için bir yol güzergahı çizilmektedir. Şekilde gösterilen yol güzergahı son tekrar olan 50’nci tekrarin güzergahıdır.



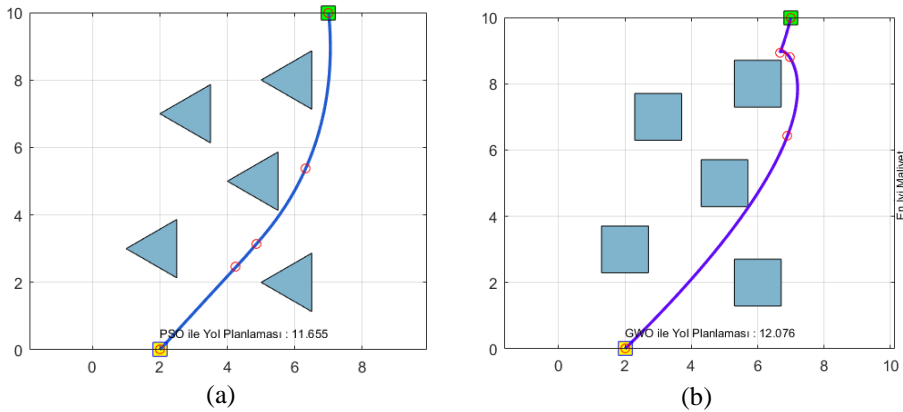
Şekil 3. PSO optimizasyon algoritmasının karışık tip 6 engelli ortamda 5 tekrar 100 iterasyon koşturmadaki performans değer ve grafiği

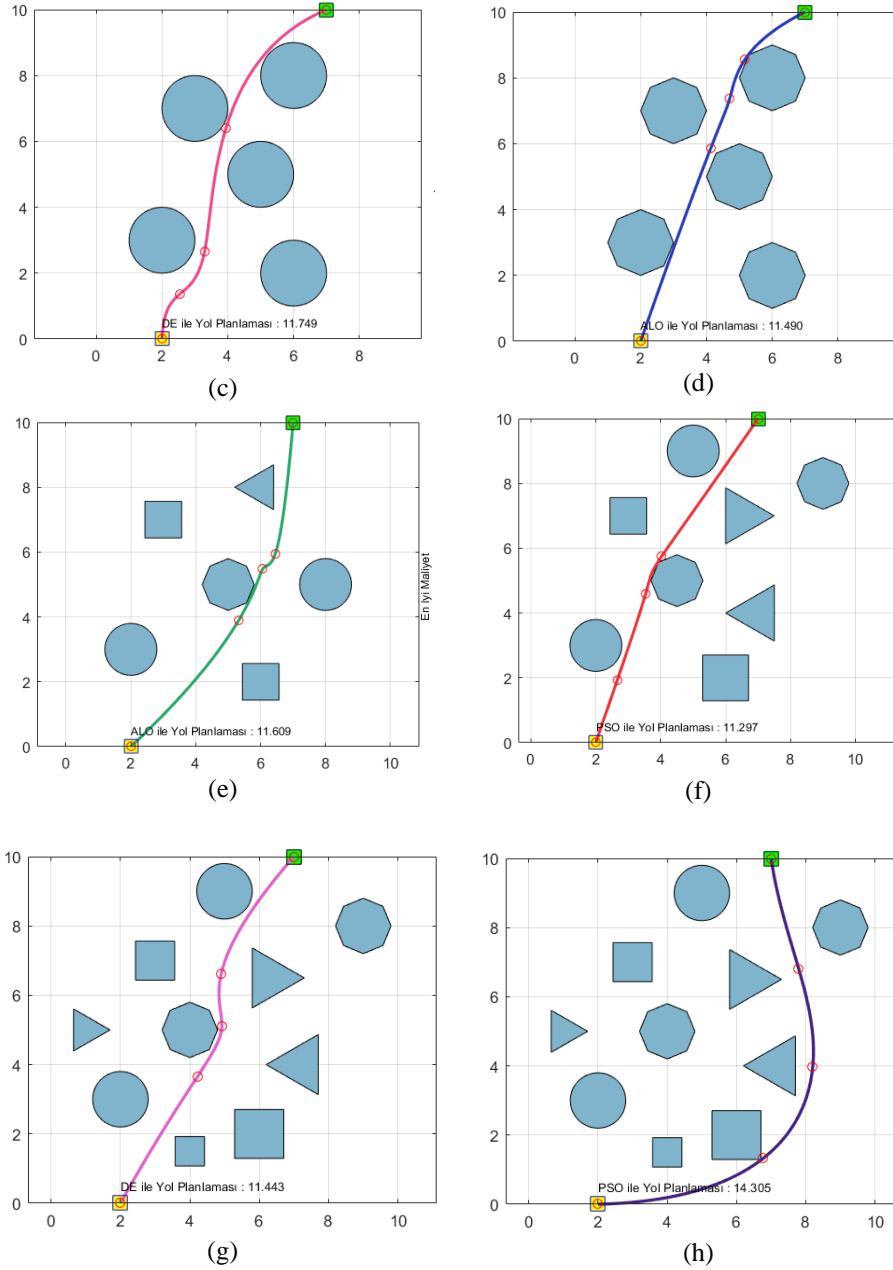
Şekil 3’de 6 karışık tip engelli bir alanda 5 tekrar 100 iterasyonluk koşturma sonucunda PSO’nun yol planlamasındaki performansı ve her tekrar için bir grafik olacak şekilde maliyet grafiği gösterilmektedir. Her 100 iterasyonluk tekrar için bir yol güzergahı çizilmektedir. Şekilde gösterilen yol güzergahı son tekrar olan 5’nci tekrarın güzergahıdır.



Şekil 4. DE optimizasyon algoritmasının karışık tip 10 engelli ortamda 50 tekrar 100 iterasyon koşturmadaki performans değer ve grafiği

Şekil 4’de 10 karışık tip engelli bir alanda 50 tekrar 100 iterasyonluk koşturma sonucunda DE’nin yol planlamasındaki performansı ve her tekrar için bir grafik olacak şekilde maliyet grafiği gösterilmektedir. Her 100 iterasyonluk tekrar için bir yol güzergahı çizilmektedir. Şekilde gösterilen yol güzergahı son tekrar olan 50’nci tekrarın güzergahıdır.





Şekil 5. (a,b,c,d,e,f,g,h), Çalışmada kullanılan yol problemleri ve sezgisel algoritmaların yol planlamadaki performansları

Şekil 5'te, çalışmada kullanılan tüm yol problemleri için bazı deneysel çalışmalar sonucunda metasezgisel algoritmaların yol planlamadaki performansları gösterilmiştir. Deneysel çalışmada çeşitli tip ve farklı sayıdaki engellerle yol planlama sonuçları örnek olarak sunulmuştur. Şekilde a, b, c, d ile gösterilen; 5 adet üçgen, kare, daire, çokgen engelin olduğu yol simülasyonunu göstermektedir. e, f, g, h ile gösterilen sırasıyla 6, 8, 10, 10 karışık tip şekilli engellerin olduğu yol simülasyonunu göstermektedir.

## 6. SONUÇLAR

Çalışmada 10x10 birimlik bir ortamda popüler dört metasezgisel algoritmanın yol planlama performansları karşılaştırılmıştır. Çalışmada kullanılan metasezgisel algoritmaların aynı tip ve farklı tip engellerdeki performansları incelendiğinde yakın sonuçlar elde edildiği görülmektedir. Engel sayısının artması performans düşmesine neden olduğu görülmektedir. Çalışmada 1, 5, 10 ve 50 tekrar 100 iterasyonlu koşurma sonuçları incelendiğinde özellikle 5 ile 10 arası 100 iterasyonluk koşurmaların algoritmanın yol



planlamadaki performansının anlaşılması için yeterli olduğu görülmektedir. Ayrıca iterasyon sayısının 100 olarak belirlenmesinde yapılan deneysel çalışmalarda bu iterasyon değerinde, algoritma optimum performansı verdiği bundan sonraki iterasyon sayılarında stabil hale geldiği görülmektedir. Yapılan deneysel çalışmaların sayısal sonuçları 5. bölümde tablolarda karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Algoritmaların yol planlamasını kaç birim mesafe ile gerçekleştirdiği en iyi maliyetle ifade edilmiştir. Bunun yanında en kötü maliyet, ortalama maliyet, standart sapma değerleri tablolarda karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Tüm deneysel çalışma ve yol problemlerinde PSO algoritmasının daha iyi ve daha istikrarlı bir performans gösterdiği görülmektedir. Tekrar sayısının belirli bir norma getirilmesiyle beraber tüm algoritmalar rekabetçi bir performans göstermektedir. Daha sonra yapılacak çalışmalarda bu algoritmalarla beraber daha fazla algoritma ve farklı şekil ve sayıdaki engelli yol planlama problemlerindeki performansları karşılaştırılıp en iyi performans veren algoritmaların sonuçları karşılaştırmalı olarak sunulacaktır.

## 7. TARTIŞMA

Bu çalışmada robot yolu planlama problemi için DE, PSO, GWO ve ALO algoritmalarının çeşitli yol problemlerindeki performansları incelenmiştir. Algoritmaların yol planlama problemini çözme performansının değerlendirilmesi için dört tanınmış metasezgisel algoritma (DE, PSO, GWO ve ALO) kullanılmıştır. Karşılaştırma sonuçlarına bakıldığında algoritmaların iyi ve rekabetçi sonuçlar ürettikleri görülmekle beraber, PSO algoritmasının daha iyi bir performans ortaya koyduğu görülmektedir.

## Teşekkür

Bu makalenin her aşamasında bilgi ve yardımını esirgemeyen, önerileriyle bana rehberlik eden değerli danışmanım Doç. Dr. Burhanettin DURMUŞ'a teşekkür ediyorum.

## Kaynakça

- [1] Beheshti, Z., Shamsuddin, S. M. H. (2013). A review of population-based meta-heuristic algorithm. *International Journal of Advances in Soft Computing and its Applications*, 5(1), 1-35.
- [2] Alexopoulos, C., Griffin, P. M. (1992). Path planning for a mobile robot. *IEEE Trans. Syst. Man. Cybern.*, 22(2), 1132-1139.
- [3] Sariff, N., Buniyamin, N. (2006). "An overview of autonomous mobile robot path planning algorithms. 4th Student Conference on Research and Development, 183-188.
- [4] Hofner, C., Schmidt, G. (1995). Path planning and guidance techniques for an autonomous mobile cleaning robot. *Rob. Auton. Syst.*, 14(2-3), 199-212.
- [5] Yarpiz. "Optimal Robot Path Planning using PSO", 31 Ekim 2019, 5 Haziran 2023, <http://yarpiz.com/403/ypap115-path-planning>.
- [6] Storn, R., Price, K. (1997). Differential Evolution – A Simple and Efficient Heuristic for global Optimization over Continuous Spaces. *J. Glob. Optim.*, 11(4), 341-359.
- [7] Kennedy, J., Eberhart, R. (1995). Particle swarm optimization. *Proceedings of ICNN'95-International Conference on Neural Networks 4*, 1942-1948.
- [8] Mirjalili, S., Mirjalili, S. M., Lewis, A. (2014). Grey Wolf Optimizer. *Adv. Eng. Softw.*, 69, 46-61.
- [9] Mirjalili, S. The ant lion optimizer. *Adv. Eng. Softw.*, 83, 80-98.
- [10] Alomari, A., Phillips, W., Aslam, N., Comeau, F. (2017). Swarm intelligence optimization techniques for obstacle-avoidance mobility-assisted localization in wireless sensor networks. *IEEE*, 6, 22368-22385.
- [11] Garip, Z. (2018). Mobil robotların yol planması için metasezgisel hibrit algoritmalar geliştirilmesi ve uygulanması, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mekatronik Ana Bilim Dalı, Sakarya, 167s.
- [12] Price, K. V., Storn, R. M., Lampinen, J. (2005). *Differential Evolution: A Practical Approach to Global Optimization (Natural Computing Series)*. 28.
- [13] Clerc, M., Kennedy, J. (2002). The particle swarm - explosion, stability, and convergence in a multidimensional complex space. *IEEE Trans. Evol. Comput.*, 6(1), 58-73.
- [14] Mirjalili, S., Mirjalili, S. M., Lewis, A. (2014). Grey Wolf Optimizer. *Advances in Engineering Software*, 69, 46-61.
- [15] Geeksforgeeks. "Gray wolf optimization – introduction", 16 Mart 2021, 10 Nisan 2023, <https://www.geeksforgeeks.org/grey-wolf-optimization-introduction/>.
- [16] Mirjalili, S. (2015). The Ant Lion Optimizer. *Advances in Engineering Software*, 83, 80-98.
- [17] Kumar, S., Kumar, A., (2018). A brief review on antlion optimization algorithm. *International Conference on Advances in Computing, Communication Control and Networking (ICACCCN2018)*, 236-240.
- [18] Gürgüze, G., Türkoğlu, İ. (2019). Robot Sistemlerinde Kullanılan Algoritmalar. *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 8(1), Sayfa 17-31.

- [19] Beşkirli, M., Tefek, M. F. (2019). Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritması Kullanılarak Optimum Robot Yolu Planlama. *European Journal of Science and Technology, (Special Issue)*, 201–213.
- [20] Gigras, Y., Choudhary, K., Gupta, K., Vandana. (2015). A hybrid ACO-PSO technique for path planning. *2nd International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom)*, 1616-1621.