

# SEKTÖREL GRİD TEMELLİ MİHVERLEME YÖNTEMİ VE GENETİK ALGORİTMALARLA İNSANSIZ KARA ARACI NAVİGASYONU

**Yzb. Rafet AKSOY \***

HHO Havacılık ve Uzay Teknolojileri Enstitüsü  
Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı  
34149, Yeşilyurt, İstanbul  
rafetaksoy@live.com

**Alb. Sefer KURNAZ**

HHO Havacılık ve Uzay Teknolojileri Enstitüsü  
Müdürü  
34149, Yeşilyurt, İstanbul  
skurnaz@hho.edu.tr

*Geliş Tarihi: 29 Temmuz 2008, Kabul Tarihi: 21 Ocak 2009*

## ÖZET

*Bu çalışmada, bilinmeyen bir çevrede hareket eden İnsansız Kara Aracı'nın otonom navigasyonu Genetik Algoritmalar kullanılarak, Sektörel Grid Temelli Mihverleme Yöntemi'yle gerçekleştirilmiştir. Algoritma için üç boyutlu çevre iki boyutlu sayısal bir matrise indirgenmiş ve arazi yapısı ile engeller matrise birebir yansıtılmıştır. Hata oranları da dahil gerçek algılama girdileri ile lokalizasyon verilerinin matrise entegre edilebilmesi için modüler bir kod yapısı hakim kılınmıştır. Matematiksel altyapı Kartezyen Koordinat Sistemi'ne oturtularak işlem basitliği ön plana çıkarılmıştır. Simülasyonlar bilgisayar ortamında yoğun engelli ve aşırı bozuk arazilerde gerçekleştirilerek algoritmanın çalışırılığı test edilmiştir.*

***Anahtar Kelimeler:** Robot, İnsansız Kara Aracı, Genetik Algoritmalar, Otonomi, Navigasyon, Güzergâh Planlama.*

## UNMANNED GROUND VEHICLE NAVIGATION WITH SECTORAL GRID BASED AXISING METHOD AND GENETIC ALGORITHMS

### ABSTRACT

*In this study, autonomous navigation of an Unmanned Ground Vehicle moving in an unknown environment is realized with Genetic Algorithms using Sectoral Grid Based Axising Method. For the algorithm, three dimensional environment is reduced to two dimensional numerical matrix. Terrain structure as well as obstacles are mapped one to one to the matrix. Coding is based upon modularity for integrating real sensing and localization inputs into the matrix including error rates. Mathematical formulization is build over Cartesian Coordinate System for computational simplicity. Simulations are made in intense obstacle and severe terrain conditions. The algorithm's performance is tested and the results are discussed.*

***Keywords:** Robot, Unmanned Ground Vehicles, Genetic Algorithms, Autonomy, Navigation, Path Planning.*

## 1. GİRİŞ

Otonom araç, kendi gücüyle hareket edebilen, çevresinde meydana gelen değişimlere adapte olarak gözle görülebilir akıllılıkta tepki verebilen ve tüm karar verme faaliyetini kendi makine sistemi içerisinde yürütebilen araçtır. Bu grubun bir üyesi olan İnsansız Kara Araçları (İKA), görev gerektirmedikçe içinde veya üzerinde insan unsuru bulundurmayan ve önceden belirlenmiş görevleri icra eden tekerlekli,

paletli, eklem bacaklı veya hibrit lokomasyon mekanizmasına sahip kritik teknolojilerdir.

Tanımda yer alan otonomi kavramı güzergâh tespiti, hedef seçimi ve hedef noktalara intikali sensörler, kontrol ve navigasyon yazılımları ile hiçbir dış müdahaleye ihtiyaç duymadan kendi başına yapabileceği ve karar verebilme yeteneği olarak ifade edilebilir.

Bu kavram içinde geçen güzergâh planlaması, operasyon çevresine ait sayısal bir harita, bir başlangıç ve bitiş noktası, bu noktalar arasında çarpışmasız

\* Sorumlu Yazar

ilerleme ve aynı zamanda da belirli optimizasyon kriterlerini sağlama işidir.

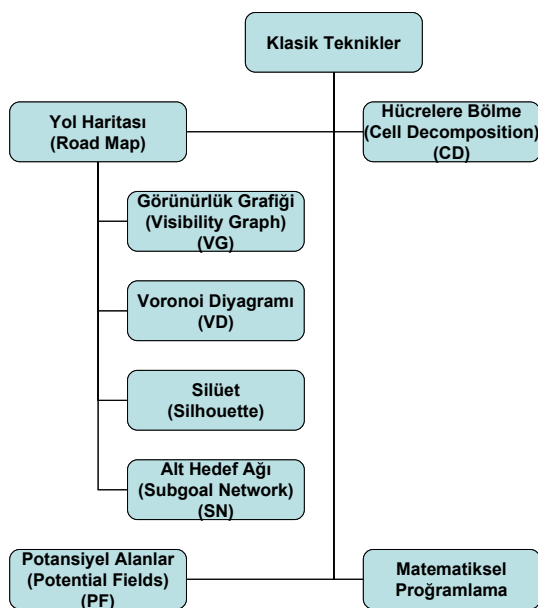
Güzergâh planlama süreci evrensel planlama ve yerel planlama olmak üzere ikiye ayrılır. Evrensel güzergâh planlamada çevre tamamen bilinmeli ve arazi statik olmalıdır, kısaca çevre haritası önceden sağlanmalıdır. Bu yaklaşımda algoritma, verilen bir başlangıç noktasından hedefe kadar olan tüm güzergâhı robot daha harekete başlamadan planlar. Diğer taraftan yerel güzergâh planlamada ise planlama robot hareket halindeyken yapılır yani robot çevresel değişimlere tepki verir [1].

Robotik literatürde “Dünya uzayı” kavramı robotun içinde hareket edeceği ve her türlü engel ve hedefleri barındıran tüm fiziksel operasyon arazisini ifade eder. Serbest uzay ise dünya uzayının bir alt kümesidir ve engeller dışında robota manevra imkânı veren fiziksel uygun bölgelerdir. Robotun başlama noktasından engellere çarpmadan hedefe ilerleyeceği güzergâh ise serbest uzay içerisinde bir alt kümedir [2].

Güzergâh planlama faaliyeti işlemsel olarak çok yoğun ve konfigürasyon uzayı boyutlarına bağlı olarak üstel artan karmaşıklık düzeyine sahiptir. Bu nedenle kombinasyonel patlamaya maruz kalınır ve bu durum “NP-Hard veya P-SPACE” zorluk dereceli problem olarak bilinir [3].

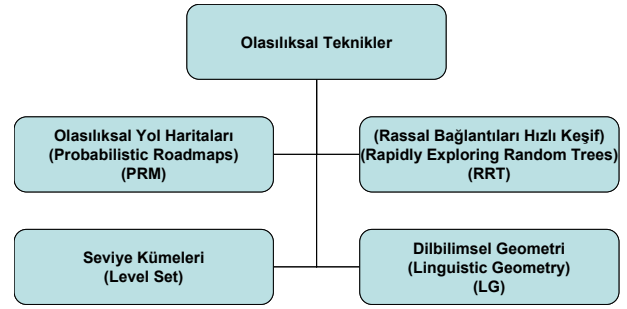
Güzergâh planlayıcılar pratikte genelde işlemsel zorluklardan kaçınmak için optimal bir güzergâh yerine kabul edilebilir güzergâhlar bulurlar. Gelişim evresi itibarıyla güzergâh planlama teknikleri üçe ayrılmaktadır. Klasik, olasılığa dayalı ve sezgisel teknikler.

Klasik Güzergâh Planlama Teknikleri (Şekil 1),



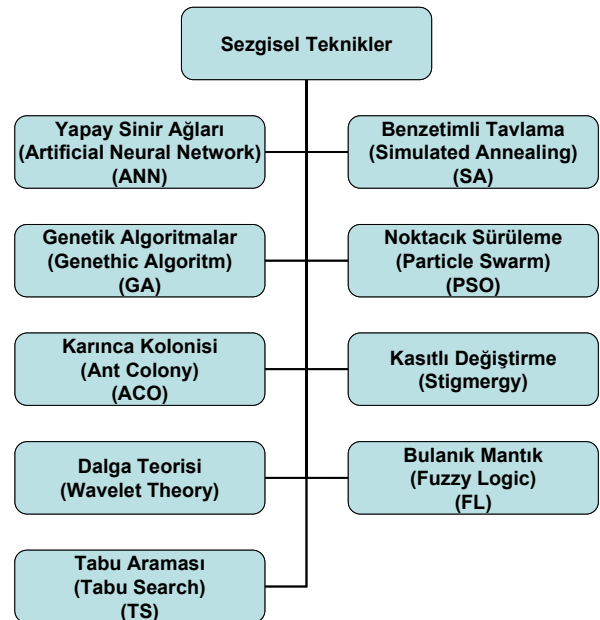
Şekil 1. Klasik Güzergâh Planlama Teknikleri

Olasılığa Dayalı Güzergâh Planlama Teknikleri (Şekil 2),



Şekil 2. Olasılığa Dayalı Güzergâh Planlama Teknikleri

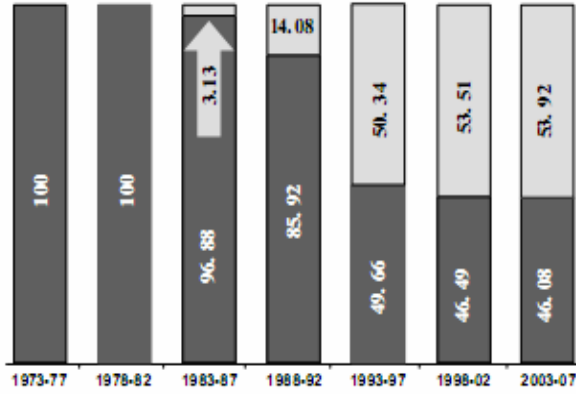
Sezgisel Güzergâh Planlama Teknikleri (Şekil 3),



Şekil 3. Sezgisel Güzergâh Planlama Teknikleri

1973 ile 2007 yılları arasında robot manevralarına yönelik yayımlanan 1381 makale incelemesinde Şekil 4’de gösterilen tablo elde edilmiştir. Tabloya göre makalelerin,

- 1973-1982 Yıllarında % 100’ünün ve 1983-1987 yıllarında % 97’sinin klasik yöntemleri içerdiği,
- 1988-1992 Yıllarında 1/6, 1993-1997 yıllarında 1 ve 1998-2007 yıllarında sezgisel/klasik oranının 1,17 olduğu görülmüştür.



Şekil 4. Yıllara Göre Güzergâh Planlama Teknikleri Kullanımı

İncelemenin genelinde makalelerin %53,84'ünün klasik yöntemleri ve %46,16'sının sezgisel yöntemleri içerdiği tespit edilmiştir. Sezgisel yöntemlerle yazılan makalelerin incelemesinden de Tablo 1 elde edilmiştir.

Tablo 1. Yıllara Göre Sezgisel Güzergâh Planlama Teknikleri Kullanımı

Teknik	83-87	88-92	93-97	98-02	03-07	Toplam
ANN	0	60	36	44.26	25.53	34.38
GA	0	20	34,67	32.24	37.23	34.54
SA	0	5	4	1.09	2.13	2.35
PSO	0	0	0	0.55	4.26	2.04
ACO	0	0	1.33	3.83	10.64	6.12
Stigmergy	0	0	1.33	1.64	3.55	2.35
Wavelet	0	5	0.67	1.64	1.77	1.57
FL	100	10	22	14.75	14.89	16.64
Toplam	100	100	100	100	100	100

Tablo 1'e göre Genetik Algoritmalar'ın (GA) sezgisel teknikler içerisinde %34.54'lük dilimle en çok kullanılan tekniklerden biri olduğu görülmektedir [4].

GA'lar rassal arama teknikleriyle çözüm bulmaya çalışan, parametre kodlama esasına dayalı iteratif bir arama tekniği ve makine öğrenmesi modelidir.

GA'larla gerçekleştirilen evrim sürecinde genellikle üç operatör kullanılır. Bu operatörler seçim, çaprazlama ve mutasyondur. Operatörler, mevcut populasyon üzerine uygulanan işlemlerdir. Bu işlemlerin amacı, daha iyi özelliğe sahip yeni nesiller üretmek ve arama algoritmasının alanını genişletmektir. Bu sayede probleme bir nevi evrim geçirilmektedir [5].

GA'lar çözümün nerede sonuçlanacağını bilmezler, yakınsamanın sağlandığı an çözüm olarak kabul edilir ve bu yüzden bulunan değer garantili en iyi çözüm değil yerel optimum bir çözümdür. Algoritmanın tamamen aynı verilerle yeniden çalıştırılmasıyla yeni bir çözüme daha ulaşılabilir. Bu nedenle de en iyiye

karar verebilmek oldukça güçtür. Ancak bulunan birçok çözüm mühendisçe iyi bir yaklaşım olabilmektedir [6].

## 2. SEKTÖREL GRID TEMELLİ MİHVERLEME ALGORİTMASI

Mobil bir aracın otonom navigasyonu için algoritma geliştirilirken çok basit birkaç prensip akılda tutularak yola çıkılmıştır. Bu prensipler;

- İki nokta arasındaki en kısa mesafe, bu noktaları birleştiren düz doğrudur.
- En basit çözüm, içinde en az matematik barındıran ve matematiksel olarak sağlanabilen çözümdür.
- En işlevsel algoritma, gerçek hayatı olabildiğince yansıtan, modüler yapıda kodlanan ve bellek fakiri algoritmadır.

Operasyon ihtiyaçları, fonksiyonel beklentiler ve teknolojik talepler dile getirilen bu prensiplerle birlikte algoritma mantığına hem yön vermiş hem de algoritmayı temel bir çerçeveye oturtmuştur.

### 2.1. Çevre Matrisi Oluşturma

Algoritma, üç boyutlu sayısal bir çevreyi iki boyutlu bir matrise indirgeyerek kullanmaktadır. Oluşturulan iki boyutlu çevre matrisinin satır ve sütun numaraları araç, hedef veya engelin konumunu, ilgili göz değeri ise araziye yüklenen özellikleri göstermektedir. Örnek bir matris yapısı Şekil 5'dedir.

	53	54	55	56	57	58	59	60
46	5	3	1	10000	10000	10000	10000	10000
47	1	0	1	10000	10000	10000	10000	10000
48	3	5	3	10000	10000	10000	10000	10000
49	4	5	5	10000	10000	10000	10000	10000
50	5	4	4	10000	10000	10000	10000	10000
51	0	2	5	10000	10000	10000	10000	10000
52	2	0	1	10000	10000	10000	10000	10000
53	4	1	5	10000	10000	10000	10000	10000
54	3	1	5	10000	10000	10000	10000	10000
55	3	2	3	10000	10000	10000	10000	10000
56	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
57	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
58	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
59	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
60	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000

Şekil 5. 60\*60'luk Çevre Matrisi Örneği

Operasyon arazisi sabit ve çok yüksek bir sayıyla (10.000) çevrelenmektedir. Araç bu sayede bölge dışına çıkamamaktadır. Eşik değeri üzerinde kalan yükselti, çukur, pozitif ve negatif eğimler yüksek değerlerle (10.000) tanımlanmaktadır. Engel tipi ne olursa olsun araç engele çatmadan ilerleyebilmektedir. Algılanan engeller pozitif eşik değerinden yüksek veya negatif eşik değerinden düşük iseler 10.000 değeri olarak matrise aktarılmaktadırlar.

Örnek 1:

Taş Engel

: +25 cm Yüksek

Pozitif Eşik Değeri : +20 cm  
Matris Değeri : +10.000

Örnek 2:

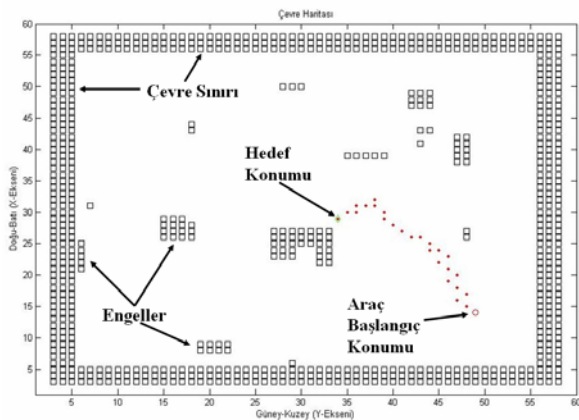
Çukur Engel : -30 cm Derin  
Negatif Eşik Değeri : -15 cm  
Matris Değeri : +10.000

Araç ve hedef çevre matrisinde engel özelliği olmayan konumlara rasgele yerleştirilmektedir. Çekim oluşturmak için matristeki hedef gözü değeri -100 yapılmaktadır.

Çevre matrisine gerçek dünyayı modelleyebilmek için arazi özelliği de yansıtılmıştır. Bunun içinde arazi yapıları derecelendirilmiştir. Asfalt bir yolla taşlı, engebeli ve ıslak bir arazi arasındaki fark önemli bir ayrıntıdır. Derecelendirmede temiz ve sorunsuz bir arazi sıfır iken en zor arazi koşuluna 100 değeri verilmiştir.

Engel vasfı taşımayan her türlü yükselti, pozitif eğim, çukur ve negatif eğim değerleri matrise aktarılan arazi özelliği değerleriyle çarpılarak aynı gözler güncellenmektedir.

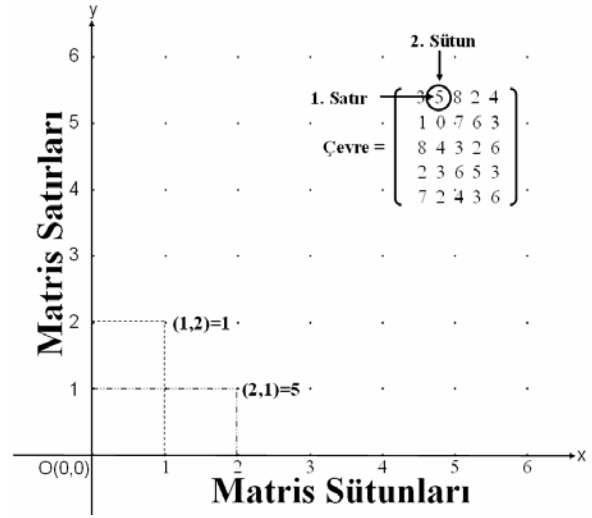
Buraya kadar algoritmanın çalışmasına temel teşkil eden sayısal harita matrisi tanıtılmıştır. Önerilen bu matris önceden sağlanabilir veya intikal esnasında oluşturulabilir. Her iki durumda da algoritma matrisin sadece o an bulunulan konumu çevreleyen kısmını kullanmaktadır. Nedeni ise algılama teknolojilerinin görme bölgesinin bir sınırı olmasıdır. Gerçek dünyada araçla arasında bir metre mesafe bile olsa yüksek bir duvarın arkasını veya yağmurlu ve sisli bir havada 500 metre ileriye çoğu görsel, infrared veya ultrasonik sensörler istenilen doğrulukla sayısallaştırılamaz. Tanımlanan sayısal haritanın görselleştirilmiş hali Şekil 6'dadır.



Şekil 6. Görselfleştirilmiş Örnek Sayısal Harita

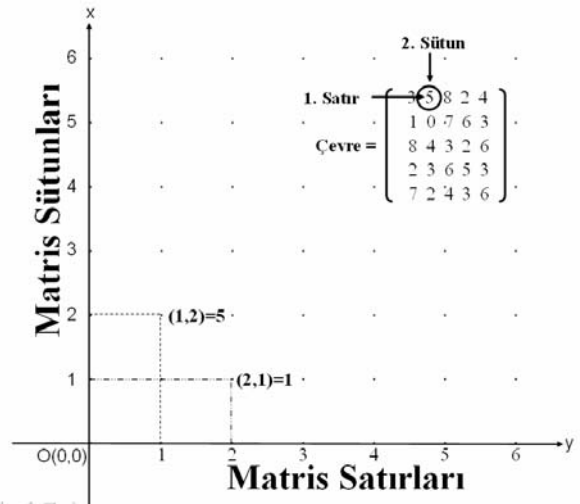
Görselfleştirmeyle ilgili önemli bir ayrıntı indis değerlerinin kolaylıkla karıştırılabilesidir. Matris gösteriminde A(1,2) noktası matrisin birinci satır ve ikinci sütununa işaret etmekteyken, kartezyen

koordinat sistemindeki x=1 matrisin 1 nci sütununu ve y=2 ise matrisin 2 nci satırını göstermektedir. Bu durum Şekil 7'de resmedilmiştir.



Şekil 7. Matris ve Koordinat Sistemi Uyumsuzluğu

Bu uyumsuzluğun çözümü için gösterimde kullanılan koordinat sisteminin yatay eksenini "Y" ve düşey eksenini "X" olarak değiştirilmiştir ve senkronizasyon sağlanmıştır. Senkronize edilmiş gösterim Şekil 8'dedir.

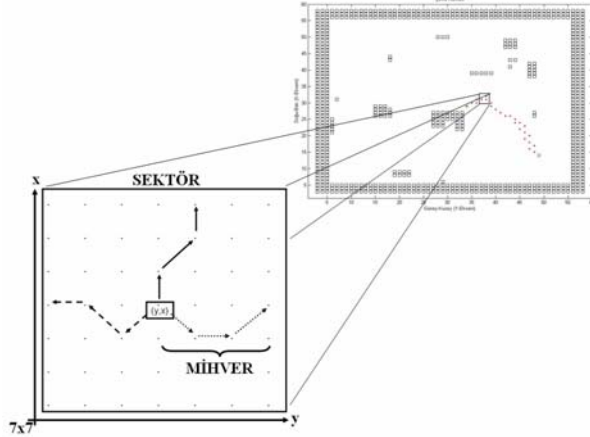


Şekil 8. Senkronize Edilmiş Matris ve Koordinat Sistemi

## 2.2. Sektör ve Mihver

Sektör, aracın o anda bulunduğu noktayı çevreleyen 7\*7'lik bir arazi kesimidir. Mihver ise aracın bulunduğu nokta hariç sıçrmasız ilerleyebileceği ve sektör içinde kalan üç noktayı birleştiren doğrular kümesidir. Şekil 9'da Sektör ve Mihver kavramları görselfleştirilmiştir.

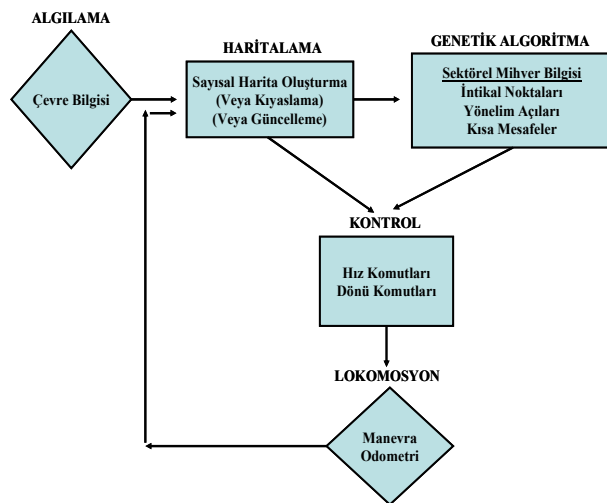
Algoritmanın çalışma mantığının temelinde başlangıçtan hedefe kadar güzergâh bulmak yoktur. Bu sebeple işlem çevresi sektörlere bölünmüştür. Algoritma gücünü de buradan almakta ve sadece üzerinde bulunulan sektörü optimize ederek ilerleme mihveri üretmektedir. Bu üretim tıpkı intikalin kendisi gibi süreklidir. Dolayısıyla genetik algoritmada sürekli optimizasyon yapmaktadır.



Şekil 9. Sektör ve Mihver Gösterimi

### 2.3. Kapalı Döngü ve Algoritma Akış Diyagramı

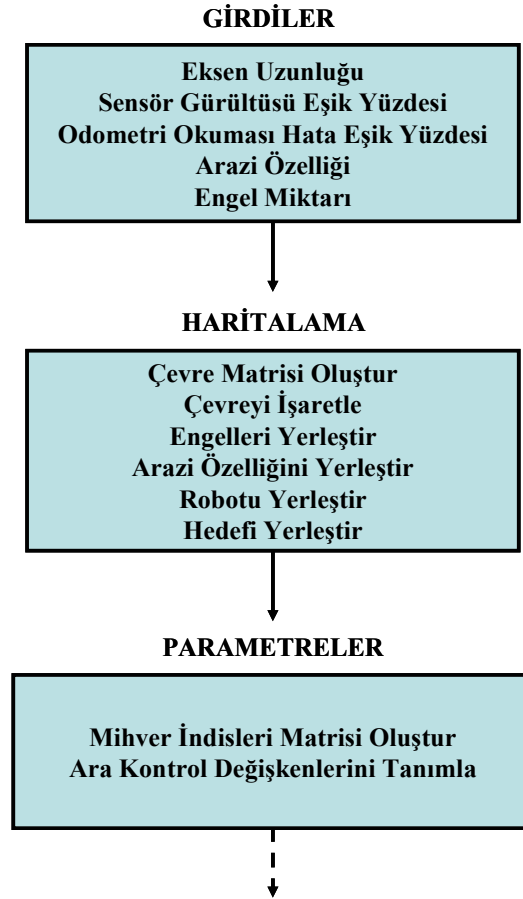
Kapalı döngü (Şekil 10) aracın sürekli hareket halinde olduğu durumu yansıtmaktadır. Sensör verilerinden ve lokomasyon mekanizmasından gerekli girdiler alınarak sayısal haritaya dönüştürülmekte, genetik algoritma müteakip sektörün intikal mihverlerini üretmekte ve kontrol ünitesine göndermekte, kontrol ünitesi ise karar mekanizması olarak tüm sistemin çalışırılığını düzenleyerek sayısal matristen arazi özelliği değerlerini de alıp hız ve dönü komutları olarak lokomasyon mekanizmasına aktarmaktadır. Lokomasyon mekanizması da sisteme dönüt olarak odometri beslemesi yapmaktadır.



Şekil 10. Kapalı Döngü Akış Diyagramı

Önerilen sistemin esas motoru genetik algoritmadır ve sürekli çalışarak hedefe kadar bulunulan her sektörde optimizasyon yapmaktadır. Genetik algoritma tüm

algoritma içerisinde bir alt döngüdür. Algoritmanın başlangıç kısmı (Şekil 11) algılama girdileri ile lokomasyon dönütlerini oluşturmakta ve buna bağlı olarak da sayısal ve görsel haritayı şekillendirmektedir.

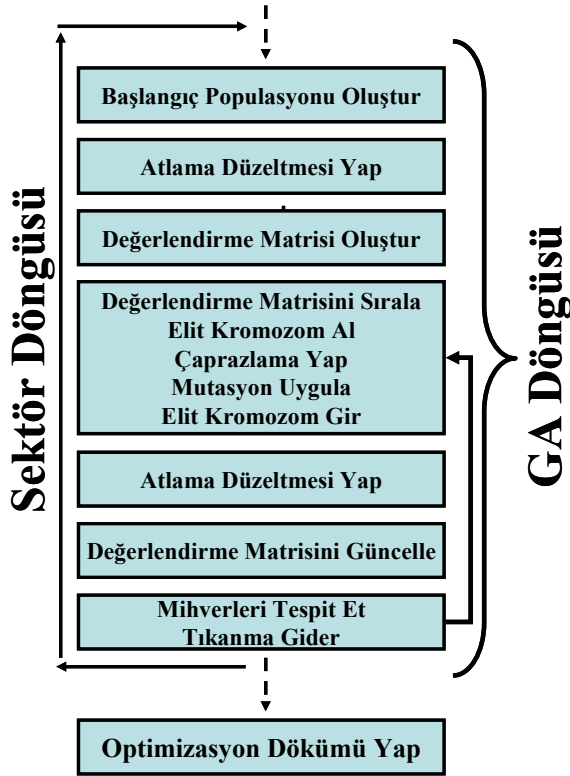


Şekil 11. Algoritma Başlangıç Bölümü

Harita eksen uzunluğu, sensör hata yüzdesi, odometri (başlangıç noktasına göre bağlı konum tahmini) okuma hatası yüzdesi, arazi özelliği ve engel miktarı kullanıcı tarafından girilebilmektedir. Bu girdilerle çevre matrisine ve görsel haritaya rassal olarak engeller yerleştirilmekte, arazi özelliği yayılmakta, araç başlangıç konumu ile hedef konumu işaretlenmektedir.

Her çalıştırmada farklı bir arazi yapısı ve farklı konumlar oluşturularak algoritma objektif olarak test edilebilmektedir. Sektörel döngü (Şekil 12) bölümünde başlangıç bölümünden alınan ve her sektörde de sürekli alınmaya devam edilen bilgilerle GA çalışmakta ve intikal için sıradaki optimal mihver üretilmektedir.

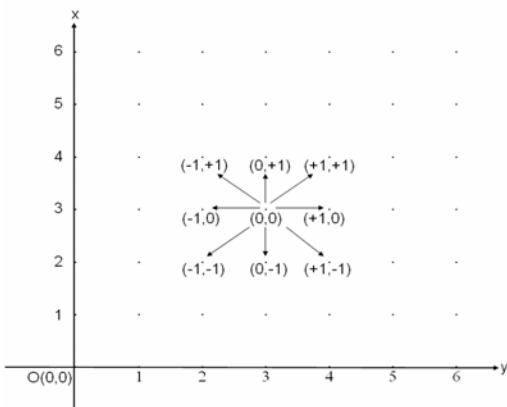
Algoritmanın son kısmında ise istatistik bilgileri hesaplanarak optimizasyon dökümü yapılmaktadır.



Şekil 12. Algoritma Sektörel Döngüsü

#### 2.4. Mihver İndisleri Oluşturma

Doğal sayılar kümesiyle oluşturulacak kartezyen koordinat sisteminde herhangi bir noktadan komşu noktaya intikal edilebilecek ve Şekil 13'de gösterilen 8 adet alternatif nokta bulunmaktadır. Araç başlangıç konumu görece  $O(0,0)$  alınırsa komşu noktalar Şekil 13'deki gibi olacaktır. Aracımız görece  $(0,0)$  noktasındayken ilk intikalini bulunduğu konumu çevreleyen ve bu 8 noktaya yapabilmektedir.

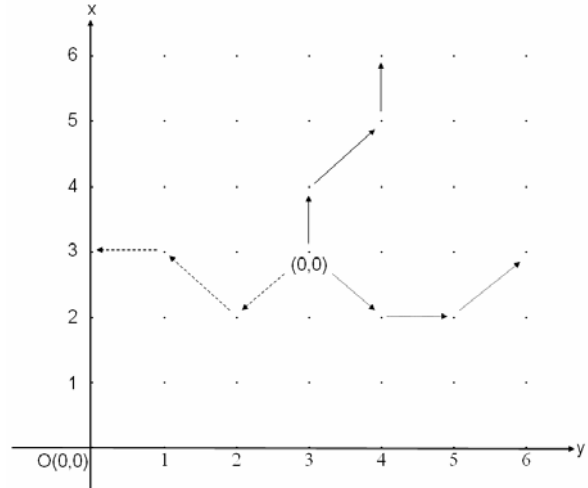


Şekil 13. Muhtemel İntikal Nokta ve Mihverleri

Bu noktaların "x" ve "y" gibi iki matrise aktarılmasıyla mihver indis matrisleri elde edilmektedir.

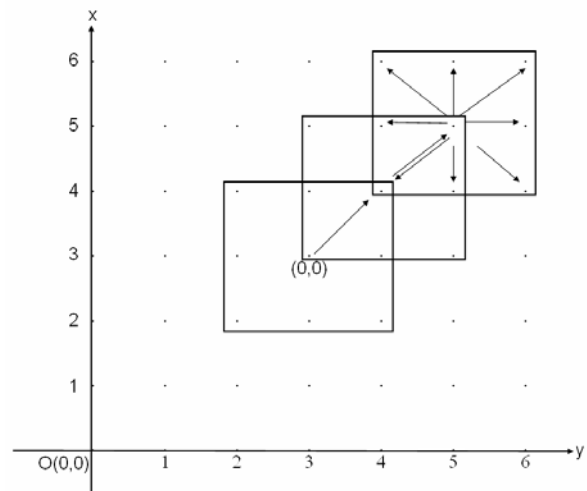
$$x = \begin{pmatrix} +1 & +1 & +1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 \end{pmatrix} \quad y = \begin{pmatrix} -1 & 0 & +1 \\ -1 & 0 & +1 \\ -1 & 0 & +1 \end{pmatrix}$$

Amaç, sektör olarak tanımlanan ve Şekil 14'de gösterilen ilk üç komşuluk bölgesini kullanmaktır. Görece  $(0,0)$  veya  $(a,b)$  gibi bir başlangıç noktasında bulunan araç sürekli olarak algıladığı ve sayısallaştığı yakın çevresi içinde kısa güzergâhlar tespit ederek hedefe ilerleyecektir.



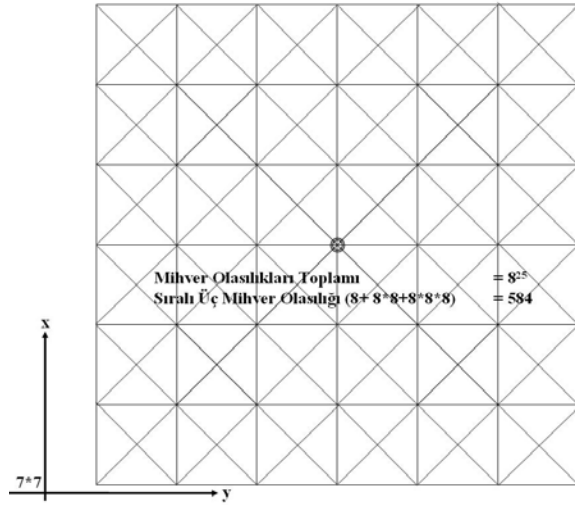
Şekil 14. Muhtemel Komşuluk Bölgeleri

Komşu her üç ardışık noktada hesaplar göreceli yapılmakta ve geriye dönüşlere müsaade edilmektedir. Bu durum Şekil 15'de gösterilmiştir. Geri dönüşlere müsaade edilmesinin sebebi engellerle çevrili bir bölgede mahkûm kalabilecek aracı tıkanıklıklardan kurtarabilmektir.



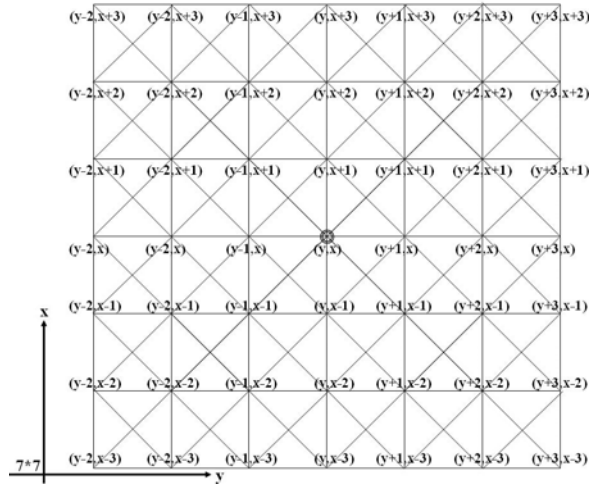
Şekil 15. İlerleme Alternatifleri ve Geri Dönüşler

Sektörleme yapıldığı halde bile komple bir sektörde oluşan ilerleme alternatifleri  $8^{25}$ 'dir. Sektör içindeki sıralı üç mihverin seçilme olasılığı ise  $1/584$ 'dür. (Şekil 16)



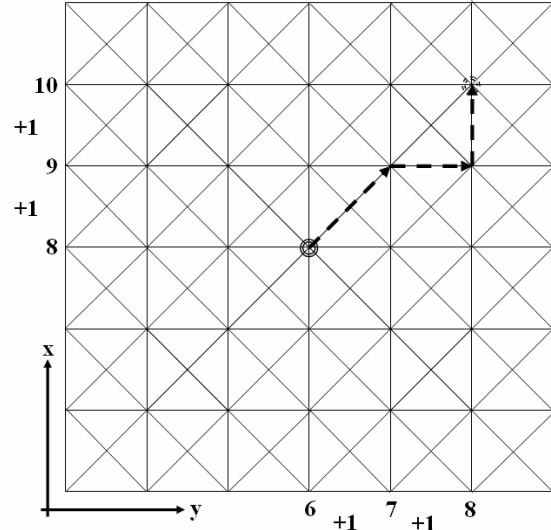
Şekil 16. Mihver Olasılıkları

Sektör sınır boyutunun kısıtlı tutulmasının ve sadece üç noktalı bir mihver seçilmesinin sebebi bu olasılık değeridir. Genel bir sektörün görece koordinatları ve mihver alternatifleri Şekil 17'dedir.



Şekil 17. Sektör İlerleme Mihverleri ve Görece Koordinatları

Aracın konumu (6,8) noktası olsun ve (+1,+1) gibi rasgele bir mihver indisi ikilisi seçelim. Şimdi araç konumumuz (7,9) noktasıdır. Bu noktaya göre bir tane daha rassal mihver indisi ikilisi, örneğin (+1,0) seçelim. Şimdiki konumumuzda (8,9) noktasıdır. Son rasgele mihver indisi ikilisi seçimimiz de (0,+1) olsun. Bu durumda aracımızın son konumu da (8,10) noktası olacaktır. Artık elimizde Şekil 18'de gösterilen üç noktalı sıçramasız bir ilerleme mihveri bulunmaktadır.



Şekil 18. Örnek Sıçramasız İlerleme Mihveri

## 2.5. Kromozom Yapısı

Bir kromozom yan yana dizilmiş üç adet ilerleme noktasından oluşmakta ve her kromozom da alternatif bir mihveri temsil etmektedir. Örnek bir kromozom yapısı aşağıdadır.

Araç konumu (6,8) olmak kaydıyla,  
Kromozom 1 = (7,9) (8,9) (8,10) ; Fenotip  
Kromozom 1 = [79 89 810] ; Genotip

## 2.6. Başlangıç Populasyonu

Her sektörde araç konumuna bağlı olarak rasgele 30 adet mihver (kromozom) üretilmektedir. Genetik algoritma bu başlangıç populasyonu ile döngüye girerek optimizasyon yapmaktadır.

## 2.7. Uygunluk Fonksiyonu Matrisi

Kromozom ve populasyonların değerlendirilmesinde minimizasyon uygulanmaktadır. Bunun için Tablo 2'de örneği bulunan bir değerlendirme matrisi yaratılmakta ve elde edilen veriler her kromozom için matrisin bir satırına girilmektedir. Matrisin ilk 6 sütünü üretilen mihver noktalarını, 7, 8 ve 9 ncu sütünü sırasıyla ilk 6 sütunda üretilen üç noktaya ait çevre matrisinin ilgili gözünden alınan arazi penaltılarını göstermektedir. 10 ncu Sütünü üretilen üç noktayla oluşturulan mihverin uzunluğunu yani kısa intikal mesafeleri toplamını, 11 nci sütünü son noktanın hedefe olan düz mesafesini ve 12 nci sütünü ise yine üç noktanın hedefe olan yönelim açıları toplamını göstermektedir. 13 ncu Sütünü ise 7, 8, 9, 10, 11 ve 12 nci sütunlar toplamını vermektedir. Uygunluk fonksiyonu sütünü ve minimize edilmeye çalışılan sütun 13 numaraları sütundur.

**Tablo 2.** Değerlendirme Matrisi

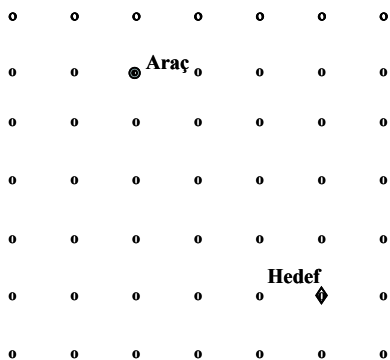
Değerlendirme Matrisi (Uygunluk Matrisi)													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Kromozom Numarası	Muhtemel Mihver Koordinatları						Arazi Penaltıları			Kısa Mesafeler Toplamı	Hedef Mesafesi	Yönelim Açılımları Toplamı	Toplam
	Nokta 1		Nokta 2		Nokta 3		Nokta 1	Nokta 2	Nokta 3				
	Y1	X1	Y2	X2	Y3	X3	P1	P2	P3				
	1	6	8	7	9	7	10	17	56				
2	5	7	4	6	4	5	26	48	39	3.5	24	181	321.5
30	5	7	5	6	5	5	27	32	88	3	21	180	351

### 2.8. Mesafe Hesabı

Elinde bir adres pusulasıyla bilmediği bir şehrin merkezine ulaşmış bir ziyaretçi düşünelim. Elbette ilk yapacağı şey “Ben neredeyim?” sorusuna cevap aramak ve bulunduğu noktayı tanımlamak olacaktır. Ancak daha sonra birilerinden yol tarifi isteyerek gideceği adresi, yani hedefini konumlandıracaktır. Ziyaretçinin şöyle iki tarif aldığını varsayalım.

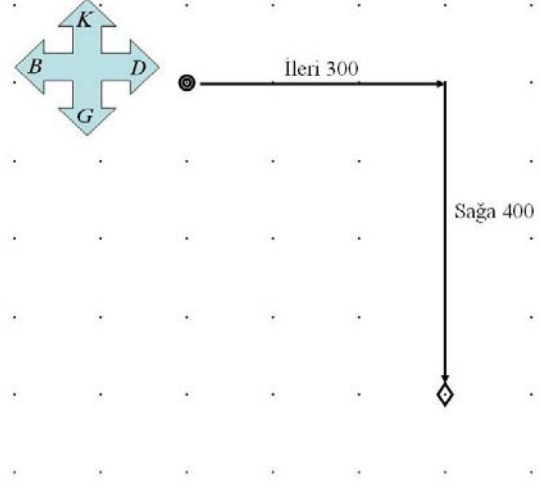
- 300 m. ileriden sağa dön, 400 m. kadar yürü ...
- 50 m. sonra sağa dön, 20 m. yürü ve sola dön, 100 m. yürü ve tekrar sağa dön oradan da bir sağ ve iki sol yap ve 80 m. kadar daha yürü ...

Çok muhtemelen ziyaretçi birinci seçeneği uygulayacaktır. Çünkü tarif olabildiğince basit ve bellek fakiridir. Bu mantık bizi hedefe götürebiliyorsa aracı da götürmelidir. Bilinmeyen bir çevreye yerleştirilen araç ve hedef Şekil 19’da resmedilmiştir.



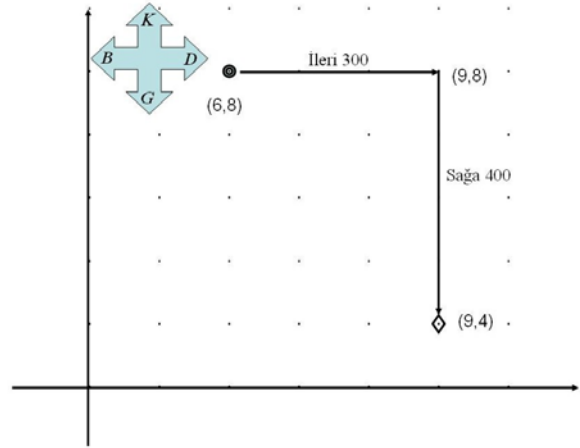
**Şekil 19.** Bilinmeyen Bir Çevreye Yerleştirilen Araç ve Hedef

Araca basit travers mantığıyla manuel olarak örneği Şekil 20’de gösterilen, “ileri (doğu) 300 m. ve sağa (güney) 400 m. git” gibi önceden hesaplanan bir değer girilse kuşkusuz aracımız engelsiz bir arazide hedefe sorunsuz olarak gidebilecektir.



**Şekil 20.** Aracın Travers Mantığıyla Yönlendirilmesi

Peki aracımız bir lokalizasyon kaynağına sahip olsa (GPS, DGPS, Sensör Ağı vb.) ve kendi konum koordinatlarını belirlese, böyle bir kaynak olmadığında da rassal olarak Şekil 21’deki gibi kartezyen koordinat sisteminde bir başlangıç nokta üretse?



**Şekil 21.** Koordinatları Belli Araç ve Hedef Konumu

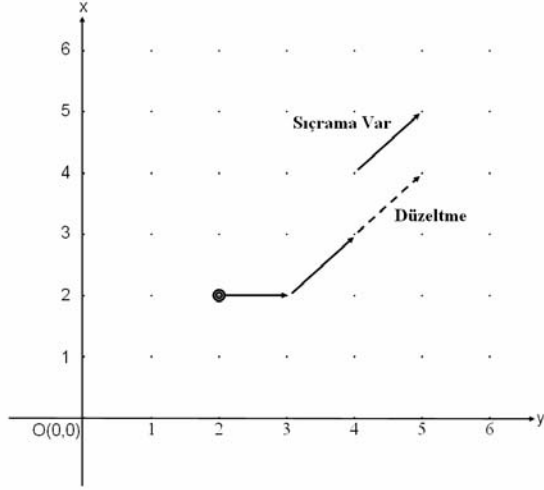
Bu durumda dönüş noktasını, hedef konumunu ve intikal mesafesini basitçe hesaplayabilecektir. Artık elimizde bir başlangıç koordinatı, bir hedef koordinatı, dönüş noktası ve 700 m. uzunluğunda bir intikal mesafesi bulunmaktadır. Şimdi sorulacak soru bu mesafeden daha kısa bir yolun olup olmadığıdır.

Kartezyen Koordinat Sistemi’nde (Şekil 22),  $O(0,0)$  noktası orijin başlangıcı,  $A(x_1,y_1)$  noktası araç konumu ve  $B(x_2,y_2)$  noktası da hedef konumu ise,









Şekil 27. Sıçramalı Kromozom

#### 2.14. Tıkanma Giderme

Sektör optimizasyonu sonucunda elde edilen optimal mihver son dört sektörün optimal değerleriyle aynı ise yani araç dört ana iterasyon süresince ilerleme kaydedememişse beş sektör önceki araç konumuna dönülerek bu tıkanıklıktan kurtulmaya çalışılmaktadır.

#### 2.15. Optimizasyon Dökümü

Algoritmanın son bölümünde girdiler ve bu girdilerle ulaşılan sonuçların dökümü yapılmaktadır. Örnek bir Optimizasyon Dökümü Şekil 28'de ve Örnek İterasyon/Araç-Hedef Mesafe Grafiği Şekil 29'dadır.

OPTİMİZASYON DÖKÜMÜ		
Eksen Uzunluğu	: 150	km
Sensör Gürültüsü Eşik Değeri	: 4	%
Odometri Okuması Hata Eşik Değeri	: 6	%
Arazi Arızası Yüzdesi	: 32	%
Engel Yüzdesi	: 150	%
Toplam İterasyon Sayısı	: 63	Adet
Katedilen Toplam Mesafe	: 197	km
Hedefe Olan Düz Doğru Mesafesi	: 115	km
İntikal/Mesafe Oranı	: 171	%
Optimizasyon Süresi	: 20 sn	(Eşik Değeri = 60sn)
Optimizasyon Tarihi	: 07/26/08	

GÖREV BAŞARIYLA TAMAMLANMIŞTIR

Şekil 28. Örnek Optimizasyon Dökümü

Eksen Uzunluğu, Sensör Gürültüsü Eşik Değeri, Odometri Okuması Hata Eşik Değeri, Arazi Arızası Yüzdesi ve Engel Yüzdesi başlangıçta kullanıcılardan istenen, gerçek dünyada ise sensörlerden ve lokalizasyon biriminden sağlanan temel girdilerdir. Algoritma bu girdileri alarak optimizasyona başlamakta ve aynı zamanda intikal geliştikçe de sürekli güncellenen aynı verileri kullanmaktadır.

Toplam İterasyon Sayısı, kapalı döngü çevrim sayısıdır. Her çevrimde GA tekrar çalışmakta ve üçlü mihver üretimine devam etmektedir. Dolayısıyla bu

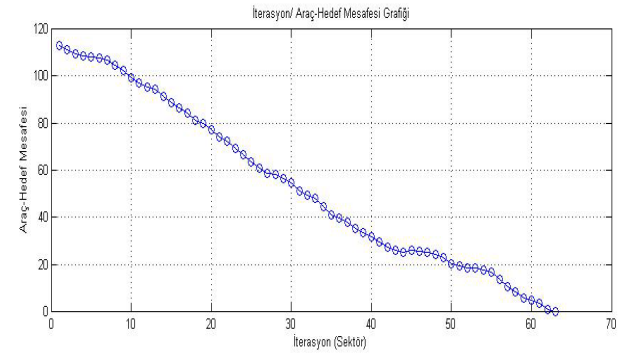
sayı aynı zamanda optimizasyon yapılan sektör sayısında göstermektedir.

Katedilen toplam mesafe, toplam sektörler boyunca tıkanıklık sonucu yaşanan geri dönüşler de dâhil her sektörde elde edilen üçer mihverin uzunlukları toplamını vermektedir.

Hedefe olan düz doğru mesafesi, optimizasyon başlangıcında aracın bulunduğu konumla hedef arasındaki düz mesafedir.

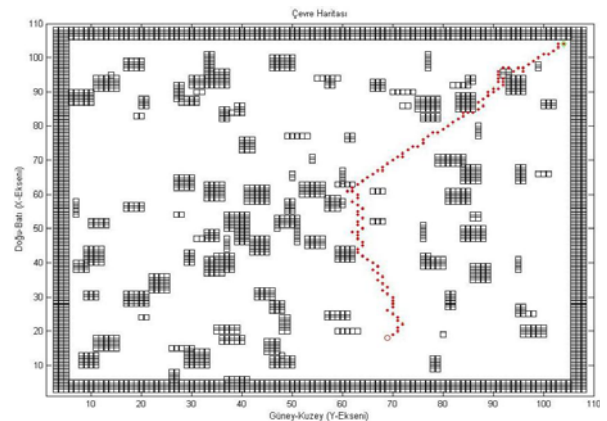
İntikal/mesafe oranı, katedilen toplam mesafenin hedefe olan düz doğru mesafesine oranıdır.

Optimizasyon süresi, intikal başlangıcından hedefe ulaşana kadar yapılan optimizasyonların toplam süresidir. Bu süre toplam iterasyon sayısına bölündüğünde sektör başına harcanan süre bulunur.

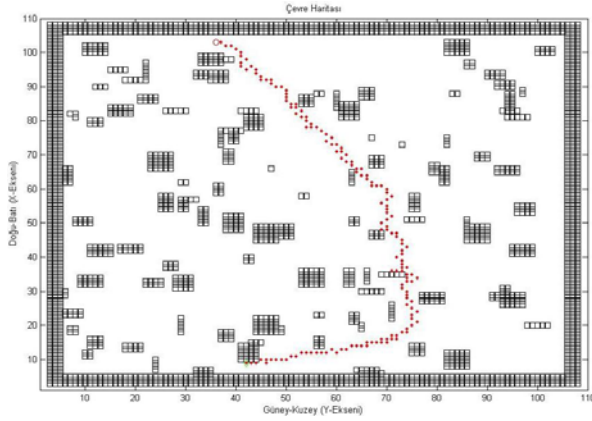


Şekil 29. Örnek İterasyon/Araç-Hedef Mesafe Grafiği

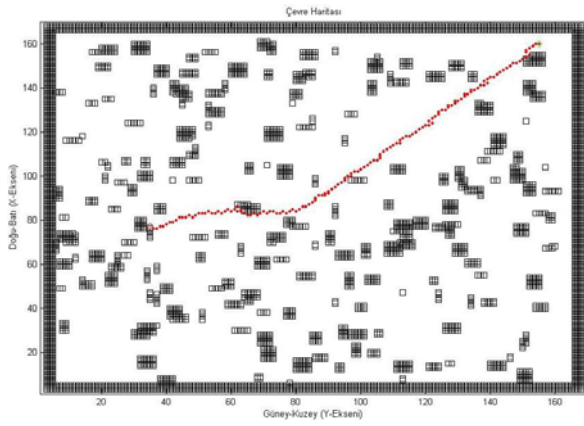
Algoritmanın birbirinden farklı girdilerle çalıştırılmasıyla elde edilen ve arazi, engel ve intikal güzergâhını gösteren haritalar Şekil 30, Şekil 31 ve Şekil 32'dedir.



Şekil 30. Arazi, Engel ve İntikal Haritası



Şekil 31. Arazi, Engel ve İntikal Haritası



Şekil 32. Arazi, Engel ve İntikal Haritası

### 3. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, bilinmeyen bir çevrede hareket eden İnsansız Kara Aracı'nın otonom navigasyonu Genetik Algoritmalar'la, Sektörel Grid Temelli Mihverleme Yöntemi'yle gerçekleştirilmiştir. İçinde yükselti, çukurlar, pozitif ve negatif eğimli kesimler bulunan üç boyutlu çevre ve arazi yapısı iki boyutlu bir matrise indirgenmiştir.

Önerilen sistemin esas motoru Genetik Algoritma'dır ve tüm algoritma içerisinde bir alt döngü olarak hedefe kadar bulunulan her sektörde optimizasyon yapmaktadır.

Bu çalışmanın bir ileri aşaması sektör boyutunun kademeli olarak büyütülmesi, gerçek sensör ve lokalizasyon verisinin kullanılması ve kodlamanın C veya C++'da yapılması olacaktır. Bu sayede hem algoritmanın gücü ve sınırlarının belirlenebileceği hem de gerçek uygulamalar öncesinde bilgisayar ortamında detaylı analizlerin yapılabileceği değerlendirilmektedir.

### KAYNAKLAR

- [1] SEDIGHI, Karman H.(a.), ASHENAYI, Kaveh(b.), MANIKAS, Theodore W.(c.), WAINWRIGHT, Heng-Ming T.(d.), "Autonomous Local Path Planning For A Mobile Robot Using A Genetic Algorithm", Electrical Engineering And Computer Science Department, University Of Tulsa, Tulsa, Oklohama, USA, pp. 3-6
- [2] ASHLOCK, Daniel A.(a.), MANIKAS, Theodore W.(b.), ASHENAYI, Kaveh(c.), "Evolving A Diverse Collection Of Robot Path Planning Problems", IEEE Congress On Evolutionary Computation, Sheraton Vancouver Wall Centre Hotel, Vancouver, BC, Canada, July 16-21, 2006, pp. 1837-1843
- [3] CANDIDO, Salvatore, "Autonomous Robot Path Planning Using A Genetic Algorithm", Department of Electrical and Computer Engineering, University of Illinois, Urbana, Illinois, USA, pp. 4-7
- [4] MASEHIAN, Ellips(a.), SEDIGHIZADEH, Davoud(b.), "Classic and Heuristic Approaches in Robot Motion Planning- A Chronological Review", Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology, Volume 23, August 2007, pp. 101-104
- [5] GAGE, Douglas W., "A Brief History of Unmanned Ground Vehicle (UGV) Development Efforts", Special Issue on Unmanned Ground Vehicles, Unmanned Systems Magazine, Volume 13, Number 3, Summer 1995, pp. 2-7
- [6] HAUPT, Randy L., HAUPT, Sue E., "Practical Genetic Algorithms 2 nd Edition", Wiley Interscience, John Wiley and Sons Inc., Habookon, New Jersey, USA, 2004, pp. 2-47
- [7] KREYSZIG, Erwin, "Advanced Engineering Mathematics 9 th Edition", Wiley International Edition, John Wiley and Sons Inc., 2006, pp. 371-375

### ÖZGEÇMİŞLER

#### Bkm.Yzb. Rafet AKSOY

1971 Yılında Çorum'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Çorum'da tamamladı. 1990 Yılında Kuleli Askeri Lisesi'ni bitirdi. 1994 Yılında Kara Harp Okulu'ndan Sistem Mühendisi olarak ve Orudonatım Teğmen rütbesiyle mezun oldu. 1995 Yılında Orudonatım Okulu ve Eğitim Merkezi Komutanlığı/BALIKESİR 'de Subay Temel Eğitimi'ni tamamladı. Sırasıyla 1995-1998 yıllarında 66 ncı Zh.Tug.K.Ord.Bl. İşlt.Ks.A.liği (İSTANBUL), 1998-2000 yıllarında 1/1 İç Güv.P.Tb.Muh.Hiz.Ds.Tk.K.liği (ŞIRNAK), 2000-2002 yıllarında 39 ncu Mknz.P.Tug.Ord.Bl. İşlt.Ks.A.liği (İSKENDERUN), 2002-2006 yıllarında Ord.Okl. ve Eğt.Mrk.Ord.Okl.Slh.Krl. Özel Silah

Öğretmenliği görevlerinde bulundu. 2008 Yılında Kara Kuvvetleri Komutanlığı nam ve hesabına Hava Harp Okulu Havacılık ve Uzay Teknolojileri Enstitüsü Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans Eğitimi'ni tamamladı. İngilizce ve Almanca bilmektedir.

**Yrd.Doç.Dr.Hv.Müh.Alb. Sefer KURNAZ**

Hava Harp Okulu Elektronik Mühendisliği Bölümünden lisans, Ege Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümünden yüksek lisans, İstanbul Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümünden doktora derecesi aldı. Halen Hava Harp Okulu Havacılık ve Uzay Teknolojileri Enstitüsü Müdürü olarak görev yapmaktadır.