

TÜRKİYE CUMHURİYETİ
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ



GENETİK ALGORİTMA İLE ALAN TARAMA PROBLEMİ

16011059 – Ahmet Onur AKMAN

BLM4510 - YAPAY ZEKA DERSİ BİRİNCİ DÖNEM ÖDEVİ

Doç. Dr. Mehmet Fatih Amasyalı

Mayıs, 2021

İÇİNDEKİLER

ŞEKİL LİSTESİ	iii
1 Giriş	1
1.1 Problem	1
1.2 Programlama Ortamı	2
2 Tanımlamalar	3
2.1 Genetik Algoritmalar	3
2.1.1 Fitness Fonksiyonları	4
2.1.2 Crossover	4
2.1.3 Mutasyon	5
3 Yaklaşım	7
3.1 Parametreler	7
3.2 Drone Hareketleri	8
3.2.1 Hareket Maliyetleri	8
3.3 Bireyler	9
3.4 Fitness Fonksiyonları	9
3.5 Mutasyonlar	9
3.6 Crossover için Birey Seçimi	10
3.7 Başarı Tespiti	10
3.8 Kütüphaneler	10
4 Program Çıktıları	11
4.1 Farklı Drone Sayısı	11
4.1.1 Bir Drone	11
4.1.2 İki Drone	13
4.1.3 Dört Drone	14
4.2 Farklı Başlangıç Noktası	16
4.2.1 Başlangıç Noktası: (4, 0)	16
4.2.2 Başlangıç Noktası: (4, 4)	18
4.3 Farklı Popülasyon Büyüklüğü	19
4.3.1 5000 Bireylik Popülasyon	20

4.3.2	2500 Bireylik Popülasyon	21
4.4	Farklı Mutasyon Oranı	22
4.4.1	%2'lik Mutasyon Oranı	23
4.4.2	%0'lık Mutasyon Oranı	24
4.5	Diğer Parametreler	25
4.5.1	Tek Noktadan Crossover	25
4.5.2	Bir Sonraki Nesle Daha Çok Kopyalama	27
5	Sonuç	30
5.1	Gözlem	30
5.1.1	Farklı Drone Sayısı	30
5.1.2	Farklı Başlangıç Noktaları	30
5.1.3	Farklı Popülasyon Büyüklükleri	31
5.1.4	Farklı Mutasyon Oranları	31
5.1.5	Diğer Parametreler	32
5.2	Çıkarım	32
	Referanslar	34

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1	Spyder, the Scientific Python Development Environment.	2
Şekil 2.1	Genetik Algoritma Akış Şeması	4
Şekil 2.2	Bazı Crossover Çeşitleri	5
Şekil 2.3	Reproduction Sürecinde Crossover ve Mutasyon [2]	6
Şekil 3.1	Her Bir Drone İçin Belirlenmiş Adımlar ve Sembolizasyonları . .	8
Şekil 4.1	Tek Drone İçin Rota Bulma Program Boyunca Her 150. Nesilde Çizilmiş Yollar	12
Şekil 4.2	Tek Drone İçin Rota Bulma Programının Sonuncu Nesli Hakkında Bilgiler	12
Şekil 4.3	Tek Drone İçin Rota Bulma Program Boyunca Her Nesil İçin Ortalama ve En İyi Fitness Fonksiyonu Değerleri Değişimi	13
Şekil 4.4	İki Drone İçin Rota Bulma Program Boyunca Her 150. Nesilde Çizilmiş Yollar	13
Şekil 4.5	İki Drone İçin Rota Bulma Programının Sonuncu Nesli Hakkında Bilgiler	14
Şekil 4.6	İki Drone İçin Rota Bulma Program Boyunca Her Nesil İçin Ortalama ve En İyi Fitness Fonksiyonu Değerleri Değişimi	14
Şekil 4.7	Dört Drone İçin Rota Bulma Program Boyunca Her 150. Nesilde Çizilmiş Yollar	15
Şekil 4.8	Dört Drone İçin Rota Bulma Programının Sonuncu Nesli Hakkında Bilgiler	15
Şekil 4.9	Dört Drone İçin Rota Bulma Program Boyunca Her Nesil İçin Ortalama ve En İyi Fitness Fonksiyonu Değerleri Değişimi	16
Şekil 4.10	(4, 0) Başlangıç Noktalı Rota Bulma Program Boyunca Her 70. Nesilde Çizilmiş Yollar	17
Şekil 4.11	(4, 0) Başlangıç Noktalı Rota Bulma Programının Sonuncu Nesli Hakkında Bilgiler	17
Şekil 4.12	(4, 0) Başlangıç Noktalı Rota Bulma Program Boyunca Her Nesil İçin Ortalama ve En İyi Fitness Fonksiyonu Değerleri Değişimi . .	18
Şekil 4.13	(4, 4) Başlangıç Noktalı Rota Bulma Program Boyunca Her 70. Nesilde Çizilmiş Yollar	18

Şekil 4.14 (4, 4) Başlangıç Noktalı Rota Bulma Programının Sonuncu Nesli Hakkında Bilgiler	19
Şekil 4.15 (4, 4) Başlangıç Noktalı Rota Bulma Program Boyunca Her Nesil İçin Ortalama ve En İyi Fitness Fonksiyonu Değerleri Değişimi . .	19
Şekil 4.16 5000 Bireylik Popülasyon ile Rota Bulma Program Boyunca Her 70. Nesilde Çizilmiş Yollar	20
Şekil 4.17 5000 Bireylik Popülasyon ile Rota Bulma Programının Sonuncu Nesli Hakkında Bilgiler	20
Şekil 4.18 5000 Bireylik Popülasyon ile Rota Bulma Program Boyunca Her Nesil İçin Ortalama ve En İyi Fitness Fonksiyonu Değerleri Değişimi	21
Şekil 4.19 2500 Bireylik Popülasyon ile Rota Bulma Program Boyunca Her 70. Nesilde Çizilmiş Yollar	21
Şekil 4.20 2500 Bireylik Popülasyon ile Rota Bulma Programının Sonuncu Nesli Hakkında Bilgiler	22
Şekil 4.21 2500 Bireylik Popülasyon ile Rota Bulma Program Boyunca Her Nesil İçin Ortalama ve En İyi Fitness Fonksiyonu Değerleri Değişimi	22
Şekil 4.22 %2'lik Mutasyon Oranı ile Rota Bulma Program Boyunca Her 70. Nesilde Çizilmiş Yollar	23
Şekil 4.23 %2'lik Mutasyon Oranı ile Rota Bulma Programının Sonuncu Nesli Hakkında Bilgiler	23
Şekil 4.24 %2'lik Mutasyon Oranı ile Rota Bulma Program Boyunca Her Nesil İçin Ortalama ve En İyi Fitness Fonksiyonu Değerleri Değişimi	24
Şekil 4.25 Mutasyonsuz Rota Bulma Program Boyunca Her 70. Nesilde Çizilmiş Yollar	24
Şekil 4.26 Mutasyonsuz Rota Bulma Programının Sonuncu Nesli Hakkında Bilgiler	25
Şekil 4.27 Mutasyonsuz Rota Bulma Program Boyunca Her Nesil İçin Ortalama ve En İyi Fitness Fonksiyonu Değerleri Değişimi	25
Şekil 4.28 Tek Kesimli Crossover ile Rota Bulma Program Boyunca Her 70. Nesilde Çizilmiş Yollar	26
Şekil 4.29 Tek Kesimli Crossover ile Rota Bulma Programının Sonuncu Nesli Hakkında Bilgiler	26
Şekil 4.30 Tek Kesimli Crossover ile Rota Bulma Program Boyunca Her Nesil İçin Ortalama ve En İyi Fitness Fonksiyonu Değerleri Değişimi . .	27
Şekil 4.31 Neslin En İyi Yarımının Aynen Aktarıldığı Program Boyunca Her 70. Nesilde Çizilmiş Yollar	28
Şekil 4.32 Neslin En İyi Yarımının Aynen Aktarıldığı Rota Bulma Programının Sonuncu Nesli Hakkında Bilgiler	28

Şekil 4.33 Neslin En İyi Yarımının Aynen Aktarıldığı Rota Bulma Program Boyunca Her Nesil İçin Ortalama ve En İyi Fitness Fonksiyonu Değerleri Değişimi	29
---	----

Bu bölümde, proje kapsamında ele alınan problem ve bu problemin yapı taşları ele alınacaktır.

1.1 Problem

Bu çalışmada, drone ile bir bölgeyi en efektif biçimde taramak amacıyla rota oluşturma probleminin basitleştirilmiş bir versiyonu, değişik paramtere değerleri ve seçilen algoritma türü ile çözülmüştür. Bulunacak çözümde aranan en önemli kriterler, en fazla alanın taranması ve keskin dönüşlerden kaçınılması olmuştur. Ödevin kapsam açıklamasında, problemin çözümü için genetik ve tepe tırmanma algoritmalarından öğrencinin tercihinine bağlı olarak birinin seçilmesi ve seçilen algoritmanın belirtilen parametrelerle sınanıp analizinin yapılması istenmiştir.

Bu çalışmada tercih genetik algoritmadan yana kullanılmıştır. Dersin kapsamında detaylarıyla işlenmiş bu algorithmada temel amaç, problemin analiz edilmesiyle oluşturulacak fitness fonksiyon veya fonksiyonlarının, elde edilen değerler ile minimize veya maksimize edilmesidir. Bu değerlerin nesilden nesile reproduce edilmesi, başka bir deyişle, başlangıçta oluşturulan değerler kümesinin (popülasyon da denir) elemanlarının, belirlenen kriterlere göre her adımda seçilerek crossover yöntemiyle reproduce edilmesi ve yeni değerlerin üretilmesiyle algoritma ilerler. Bu üretilen her yeni değerler kümesi bir jenerasyonu temsil eder. Algoritma, başta belirlenen jenerasyon sayısı kadar ilerledikten sonra oluşturabildiği en ideal değerler kümesini çıktı olarak verir.

Bu problem özelinde bu değerler kümesi her bir drone için alanda yapacakları hareketler, nesildeki değerler kümesini oluşturacaktır. Her nesildeki hareketler kombinasyonları fitness fonksiyonlarına göre değerlendirilecek ve bu değerlendirme sonucu aldıkları skorlarla doğru orantılı olacak şekilde gelecek nesile değerlerinden kesitler bırakma şansını yakalayacaklardır. Bu kalıtımın skorumlama yöntemi ile yürütülüyor oluşu, her nesildeki kombinasyonların problemin amacına gittikçe daha

da uygun hale gelmesine yol açacaktır.

1.2 Programlama Ortamı

Bu proje kapsamında, hem şahsi aşinalığım, hem daha önce yaptığım benzer çalışmalarda konfor ve başarı oranları, hem kütüphane desteğinin zengin olması, hem de veri görselleştirme konusunda yeterli desteğin sağlanması sebebiyle programlama dili Python, IDE olarak ise bu konuda önde gelen seçimlerden biri olan Anaconda Spyder kullanılmıştır.



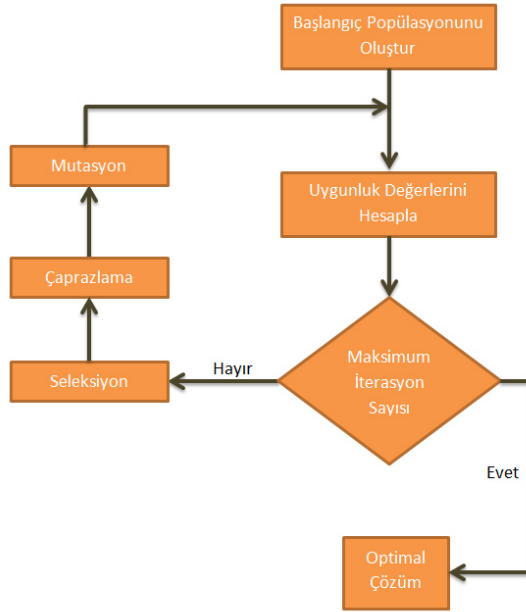
Şekil 1.1 Spyder, the Scientific Python Development Environment.

2 Tanımlamalar

Bu bölümde çalışmada adı geçen bazı temel terimlerin tanımlaması yapılacaktır.

2.1 Genetik Algoritmalar

Prof. Whitley'in "A genetic algorithm tutorial" adındaki yayınında [1] genetik algoritmalar temel olarak evrimsel yaklaşıma sahip, kromozom benzeri veri yapılarının kombinasyonlarının alınmasıyla ilerleyen, genel olarak fonksiyon optimize edici olarak görülse de daha geniş çaplı başka problemlerde de başarılı sonuç verebilen algoritmalar olarak tanımlanmıştır. Bu tanım bu algoritmaların konseptini başarılı bir şekilde yansıtmaktadır. Farklı bir perspektiften tanımlama yapmak gerekirse, genetik algoritmaların başlangıçta elimizde bulunan ve elimizdeki problemin çözümü için ideal sonuçlar vermeyen verilerin, problemin çözümünde kullanılabilmesi adına doğal seçim benzeri bir yaklaşımla elenerek veya seçilerek bir sonraki versiyonlarının üretimi için kullanılması da eklenebilir. Bu seçme, kombinleme ve bir sonraki nesil için çeşitlilik / farklılık oluşturma işlevlerinin konseptlerini daha iyi kavramak adına, genetik algoritmaların kapsamındaki diğer terimleri de yakından tanımak gereklidir. Bu bölümde özellikle bu çalışmanın içeriğinde bulunan terimlere odaklanılacaktır.



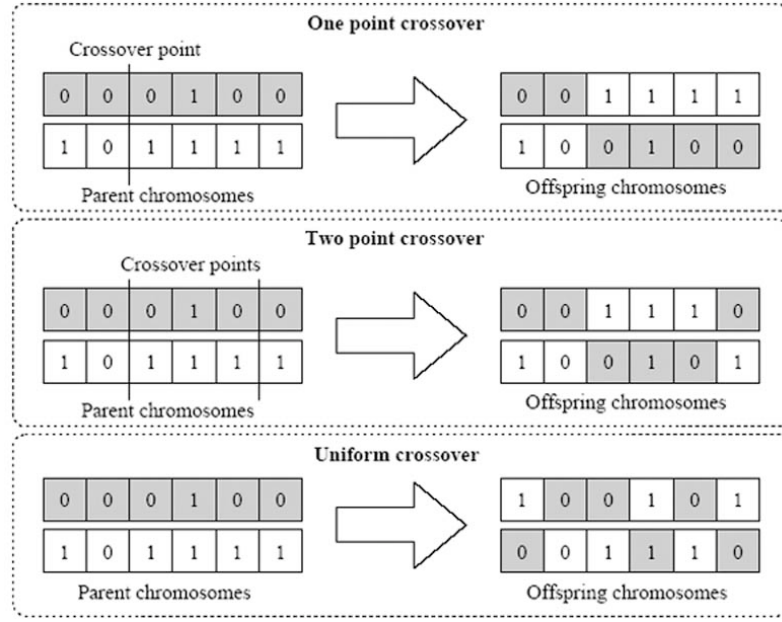
Şekil 2.1 Genetik Algoritma Akış Şeması

2.1.1 Fitness Fonksiyonları

Genetik algoritmalarda fitness fonksiyonları, her nesilde ortaya çıkan yeni değerlerin problem çözümü için optimalliğini ölçmek, bu optimalliği skorlamak ve bir sonraki neslin reproduksyonunda kullanılacak değerlerin seçiminde bu skorlar vasıtasıyla faktör yaratmak amacıyla kullanılır. Fonksiyon formülizasyonları problem çözümünde aranan kriterlere bağlı olarak oluşturulur. Birden fazla fitness fonksiyonu kullanılan senaryolarda (bu çalışma gibi), bu fonksiyonların verdiği çıktıların kombinasyonu ile tek bir skor oluşturulabilir. Eğer her fonksiyonun önem derecesi farklıysa ağırlıklandırma kullanılabilir.

2.1.2 Crossover

Bir nesildeki bireylerin seçilmesinden sonra seçilen bireylerle bir sonraki neslin üretilmesi süreci, crossover yaklaşımı ile gerçekleştirilir. Biyolojideki karşılığına benzer olarak, kromozom metaforuyla belirtilen iki değer kümesi, iki veya daha çok yerden kesilir. Bu kesimden sonra oluşan parçalar kombine edilerek, yeni birey veya bireyler oluşur. Bu yeni birey oluşturma sürecinde iki kromozomdan bir veya daha fazla yeni değer kümesi oluşturulabilir.



Şekil 2.2 Bazı Crossover Çeşitleri

Bu çalışma özelinde yeterli olacağı düşünüldüğü için geleneksel Crossover yöntemi takip edilmiştir. Bu yöntemin yanı sıra farklı yöntemlerle yapılan ve bazı dezavantajları ortadan kaldıran başka Crossover yöntemleri örneklendirilebilir.

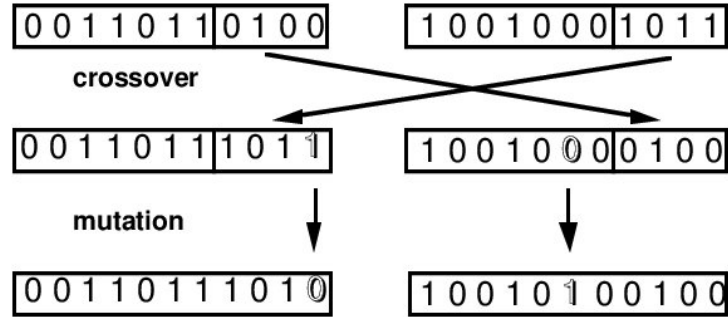
2.1.3 Mutasyon

Crossover'ın bize bir nesildeki bireyleri farklı kombinlerde kullanarak farklı nitelikteki bireyleri oluşturma şansı verdiğinden bahsedilmişti. Ancak Crossover öncesi yapılan seçim, özellikle algoritma yüksek jenerasyon iterasyonlarına ulaştığında, jenerasyon içerisindeki birey çeşitliliği azalması durumunda fazla çeşitlilik sağlayamayacak duruma gelebilmektedir. Bu da çeşitlilik için kullanıyor olduğumuz Crossover yaklaşımının çok benzer veri kümeleri arasında gerçekleştirilmesi sonucu, çeşitliliğin yitirilmesi durumunu oluşturabilir.

Hem programın erken evrelerinde, hem de bahsedilen geç evrelerde bize çeşitlilik, daha doğrusu farklılık kazandırabilecek başka bir yaklaşım da mutasyonlardır. Mutasyonlar, önceden belirlenen oranlar ile elimizdeki veri kümesine uygulanır ve belirtilen oranla orantılı sayıdaki birim veri rastgele bir değerle değiştirilir. Bu mutasyon oranı önceden belirlendiği gibi sabit kalabileceği gibi, program optimal sonuca yaklaştıkça azaltılabilir.

Mutasyonun sağladığı çeşitlilik bize çözümü arayış yolculuğunda algoritmanın belki de eldeki durumda bulamayacağı çözüm yollarına ulaşma ihtimalini getirir. Böylelikle jenerasyon değişiminde bir süre sonra gözlemlenmesi muhtemel sabitlik

kırılabilir ve dilendiği takdirde program akışına dinamiklik kazandırılabilir. Mutasyon oranının programın çıktılarının sonucuna yaptığı direkt etki, bu dokümanın ilerleyen kısımlarında daha detaylı olarak ele alınacaktır.



Şekil 2.3 Reproduction Sürecinde Crossover ve Mutasyon [2]

Bu bölümde çalışma boyunca temel olarak izlenen yöntemlerden ve bu yöntemlerin seçimindeki motivasyonlardan bahsedilecektir.

3.1 Parametreler

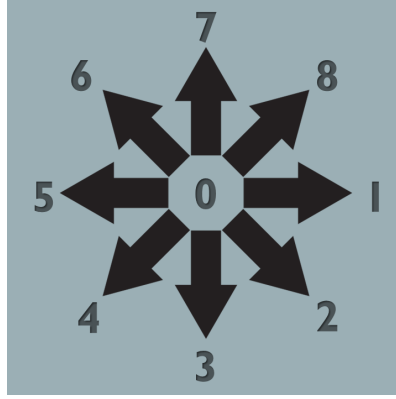
Çalışma sürecinde aynı program yapısı kullanılarak farklı parametrelerin verdiği sonuçların adil bir ortamda gözlemlenebilmesi hedeflenmiştir. Programın çalışması boyunca hakkında gözlem yapılan parametreler şu şekildedir:

- Drone Sayısı
- Mutasyon Oranı
- Nesil Sayısı
- Başlangıç Noktası
- Popülasyon Büyüklüğü
- Crossover kesim noktaları sayısı
- Her iterasyonda yeni nesile aynen kopyalanacak en iyi bireylerin sayısı

Bu parametrelerden özellikle çalışma kapsamı talimatlarında belirtilmiş olan başlangıç noktası, nesil sayısı, drone sayısı, popülasyon büyüklüğü ve mutasyon büyüklüğü üzerinde denemeler yapılmıştır. Bu denemeler arasından en dikkate değer olanları, çalışma talimatlarına da uyacak şekilde, bir sonraki aşamada detaylı olarak gösterilecektir.

3.2 Drone Hareketleri

Dronelerin yapabildiği hareketler yerinde kalmak, sağa, sağ aşağı, aşağı, sol aşağı, sola, sol yukarı, yukarı ve sağ yukarı olacak şekilde belirlenmiştir. Bu hareketlerin her biri, az önce bahsedildiği sırayla, sıfırdan sekize kadar doğal sayılarla simgelenmiştir. Bu simgelemeye ilgili görsel Şekil-3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1 Her Bir Drone İçin Belirlenmiş Adımlar ve Sembolizasyonları

Tahmin edilebileceği üzere, hem başlangıçtaki rastgele nesil üretimi, hem de Crossover ve mutasyon ile gelen öngörülemeslik sonucu, elde edilen hareketler kümesi drone’u harita sınırlarından çıkaracak bir rotayı ifade ediyor olabilir. Bu durumun önüne geçmek adına bireylerin hareketlerinden yapılan rota çizimi esnasında, harita dışına çıkma anında yapılan hareketler 0, yani yerinde durma olarak değiştirilmektedir. 0 hareketi maliyetli bir hareket türü olarak belirlendiği için, bu düzenleme sonucu içerisinde 0 hareketini barındıran bireyin bir sonraki nesile kalıtım bırakmasının ihtimali düşürülmüştür.

3.2.1 Hareket Maliyetleri

Çalışmanın kapsamında, dronelerin keskin dönüşlerden olabildiğince kaçınması şart olarak belirlenmişti. Bu amaçla hangi tür hareketlerden kaçınılması gerektiğine dair fikir sahibi olunması amacıyla her bir hareket türünün diğer bir hareket türüyle ardışık olarak yapılmasının ne gibi bir maliyeti olacağına dair basit bir hesaplama yapılmıştır. Bu hesaplama, birinci hareketten sekizinci harekete kadar her bir hareketin 45 derece aralıklarla 0-360 derece arasında açısal bir değere atanması ve bu açısal değerlerin arasındaki farkların hesaplanması yöntemiyle yapılmıştır. En maliyetli hareketin 180 dercelik bir dönüş olması sağlanmıştır.

Programın işleyişi boyunca dronelerin sıfırıncı hareketi, yani yerinde durmayı yapmaması amaçlanmıştır. Bu sebeple her bir hareket ve sıfırıncı hareket arası maliyet

180 derecelik bir fark olarak belirlenmiştir.

3.3 Bireyler

Her bir nesil, belirlenen popülasyon büyüklüğü kadar birey taşır. Bireyler, hareketlerden, yani 0 ve 8 arasındaki doğal sayılardan oluşur. Programdaki değişkenlerin değerlerine bağlı olarak, bir bireyin uzunluğu değiştirilebilir. Bu uzunluk, dronelerin atacağı adımların sayısının toplamının, matrisin hücre sayısına eşit olmasını sağlayacak biçimde belirlenmiştir.

3.4 Fitness Fonksiyonları

Bu çalışmada üç adet fitness fonksiyonu kullanılmıştır. Bu fonksiyonların oluşturulmasında, problemin analizinden yapılan çıkarımlardan ilham alınmıştır.

- Fitness Function 1: Haritada herhangi bir drone tarafından ziyaret edilmemiş noktaların sayısı.
- Fitness Function 2: Bir veya daha fazla drone tarafından, birden çok kez ziyaret edilmiş noktaların sayısı.
- Fitness Function 3: Değer kümesinde birbirini takip eden her bir hareket değeri arasındaki maliyetlerin toplamı.

Belirlenen bu fonksiyonların değerlerinin minimize edilmiş olması istenmektedir. Bu fonksiyonlarının verdiği değerlere göre skorlamalı reproduksiyon yaparak olabildiğince noktanın ziyaret edildiği, farklı rotaların takip edilmesiyle aynı noktalar üzerindeki ziyaretin minimize edildiği ve sert dönüşler içermeyen bir rota planlanmasının yapılması hedeflenmiştir.

Bu üç fitness fonksiyonunun değerleri normalize edildikten sonra toplanarak birleştirilmiştir.

3.5 Mutasyonlar

Her bir birey için, tuttuğu değerler üzerinde belirlenen mutasyon oranına göre hesaplanmış birey sayısı kadar rastgele değişim yapılması sağlanmıştır.

3.6 Crossover için Birey Seçimi

Reprodüksiyon sürecinde Crossover için birey seçiminde, bireylerin fitness fonksiyonu skorlarının göz önünde bulundurulduğu söylenmişti. Bu seçimin yapılması sürecinde tam olarak bu skorların birbirine oranının takip edilmesi yerine, sıralamalı seçim yöntemi takip edilmiştir. Bu yöntemle beraber, iyilik durumlarına göre sıralanan bireylerin seçim şansları, sıralanmış bu dizideki indislerine göre belirlenmiştir. Bu yolla tekdüzeliğin önüne geçilmesi hedeflenmiştir.

3.7 Başarı Tespiti

Başarı tespiti, elde edilen en optimal çözüm ve bu çözümün elde edilmesi sürecinde her nesildeki değer kümelerine uygulanan fitness fonksiyonlarından elde edilen skorların gözlemlenmesi ve son çözümün grafik gösterimindeki rotasının değerlendirilmesi ile yapılmaktadır. Bu öğeler ilerleyen bölümlerde paylaşılacaktır.

3.8 Kütüphaneler

Çalışma kapsam tanımlamasındaki talimatlar ile kütüphane kullanımı kısıtlanmıştır. Bu sebeple bu çalışmada kütüphane kullanımının program akışını etkileyecek seviyede olmamasına özen gösterilmiştir. Kullanılan kütüphaneler ve kullanım amaçları şu şekildedir;

- numpy: Dizi işlemleri.
- random: Random değer ve dizi elemanı elde edilmesi.
- matplotlib: Grafik gösterimleri.

4 Program Çıktıları

Bu bölümde programın farklı senaryolarda verdiği başarı oranları paylaşılacaktır. Bu çıktılar bir sonraki bölümde değerlendirilecektir.

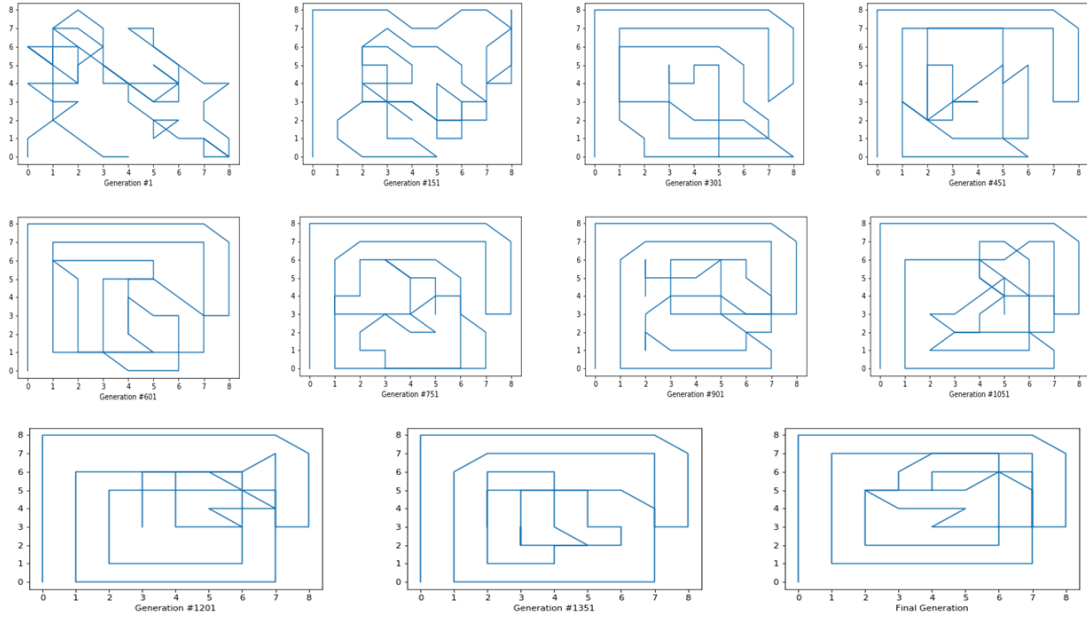
4.1 Farklı Drone Sayısı

Bu kısımda, çalışmanın kapsamında belirtilen 1, 2 ve 4 drone için yapılan rota bulma süreçleri ve sonuçları paylaşılacaktır. Drone sayısının değişken olduğu bu denemelerde, sabit kalan diğer parametreler şu şekildedir:

- Mutasyon Oranı: Her nesil için %1
- Nesil Sayısı: 1500
- Popülasyon Büyüklüğü: 10000
- Crossover Kesimi Sayısı: 2
- Başlangıç Noktası: (0, 0)
- Her bir drone için adım sayısı: Matris büyüklüğü / Drone sayısı + 2
- Bir Sonraki Nesle Aynen Kopyalanan En İyi Birey Oranı: 1/3

4.1.1 Bir Drone

İlk deneme tek drone için yapılmıştır. 1500 nesil sonunda, her 150. neslin verdiği yollar Şekil-4.1'da gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Tek Drone İçin Rota Bulma Program Boyunca Her 150. Nesilde Çizilmiş Yollar

Son reproduksiyon sonucu elde edilen en iyi bireyin içeriği ve nesil hakkındaki bilgiler Şekil-4.2’da gösterilmiştir.

RESULT:

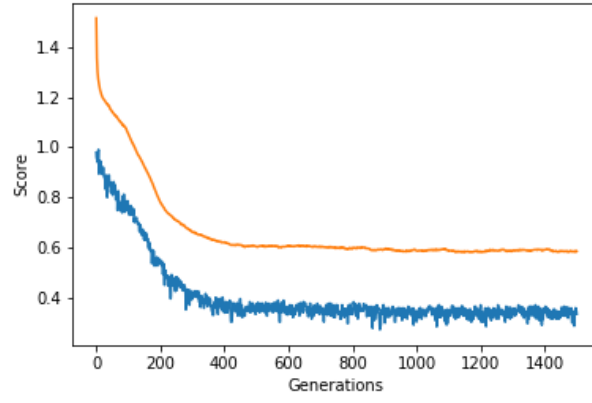
```
Best individual # 1 : [7 7 7 7 7 7 7 7 7
1 1 1 1 1 1 2 3 3 3 3 5 7 7 7 7 5 5
5 5 5 5 3 3 3 3 3 1 1 1 1 1 7 7 7
7 6 4 5 5 5 3 3 3 1 1 1 1 7 7 7 7 5
5 4 3 5 2 1 1 4 1 1 1 7 7 7 5 5 5 3]
```

Best score: 0.332650987224158

Mean score: 0.5844566594076656

Şekil 4.2 Tek Drone İçin Rota Bulma Programının Sonuncu Nesli Hakkında Bilgiler

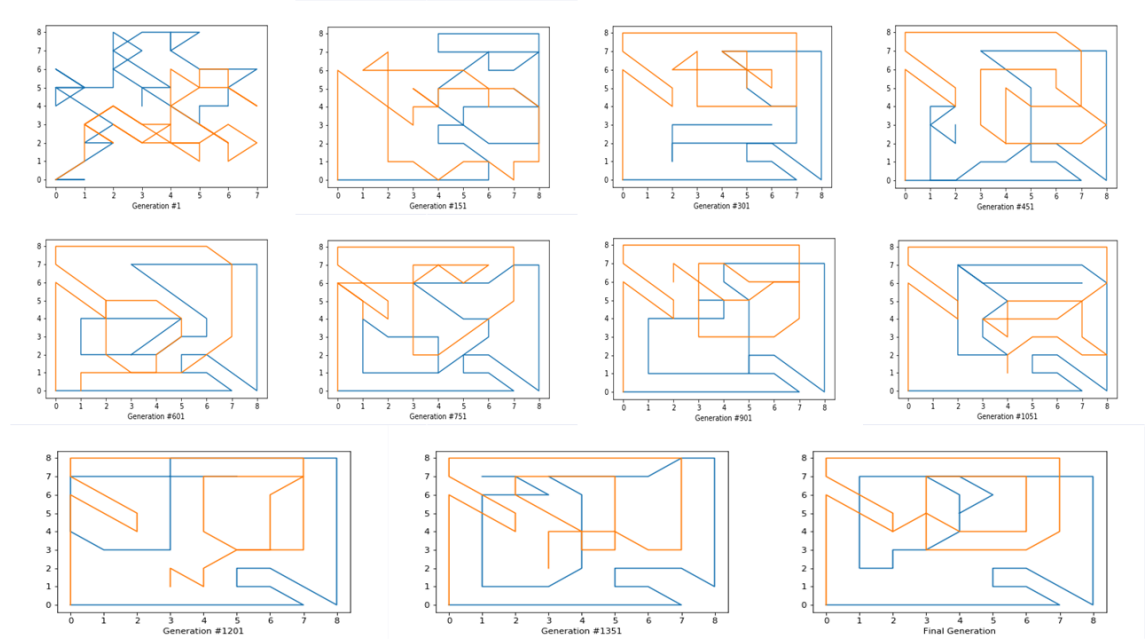
Bu süreçte alınan fitness fonksiyonları skorlarının toplanmasıyla oluşan, her nesil için en iyi ve ortalama fitness skorlarının grafiği Şekil-4.3’da gösterilmiştir.



Şekil 4.3 Tek Drone İçin Rota Bulma Program Boyunca Her Nesil İçin Ortalama ve En İyi Fitness Fonksiyonu Değerleri Değişimi

4.1.2 İki Drone

İkinci deneme çift drone için yapılmıştır. 1500 nesil sonunda, her 150. neslin verdiği yollar Şekil-4.4'da gösterilmiştir.



Şekil 4.4 İki Drone İçin Rota Bulma Program Boyunca Her 150. Nesilde Çizilmiş Yollar

Son reproduksiyon sonucu elde edilen en iyi bireyin içeriği ve nesil hakkındaki bilgiler Şekil-4.5'da gösterilmiştir.

```

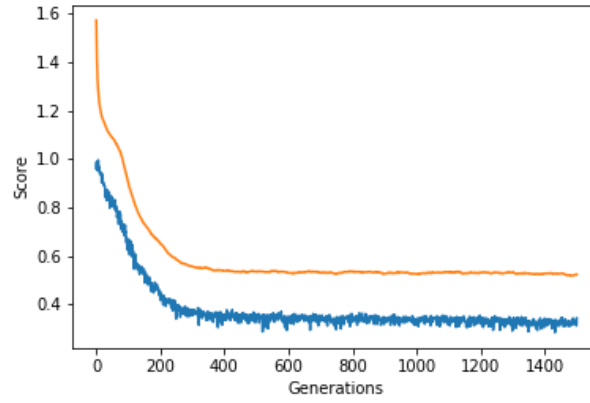
RESULT:
Best individual # 1 : [1 1 1 1 1 1 1 6 5 7 1 2 2 7 7 7 7
7 7 7 5 5 5 5 5 2 3 3 4 5 3 5 7 7 7 7 7 1 1 1 2 4]
Best individual # 2 : [7 7 7 7 7 7 2 2 7 6 6 7 1 1 1 1 1
1 1 3 3 3 3 4 5 5 5 7 7 7 7 1 1 1 3 3 3 5 5 6 4 0]

Best score: 0.34368264322178105
Mean score: 0.5239389343448667

```

Şekil 4.5 İki Drone İçin Rota Bulma Programının Sonuncu Nesli Hakkında Bilgiler

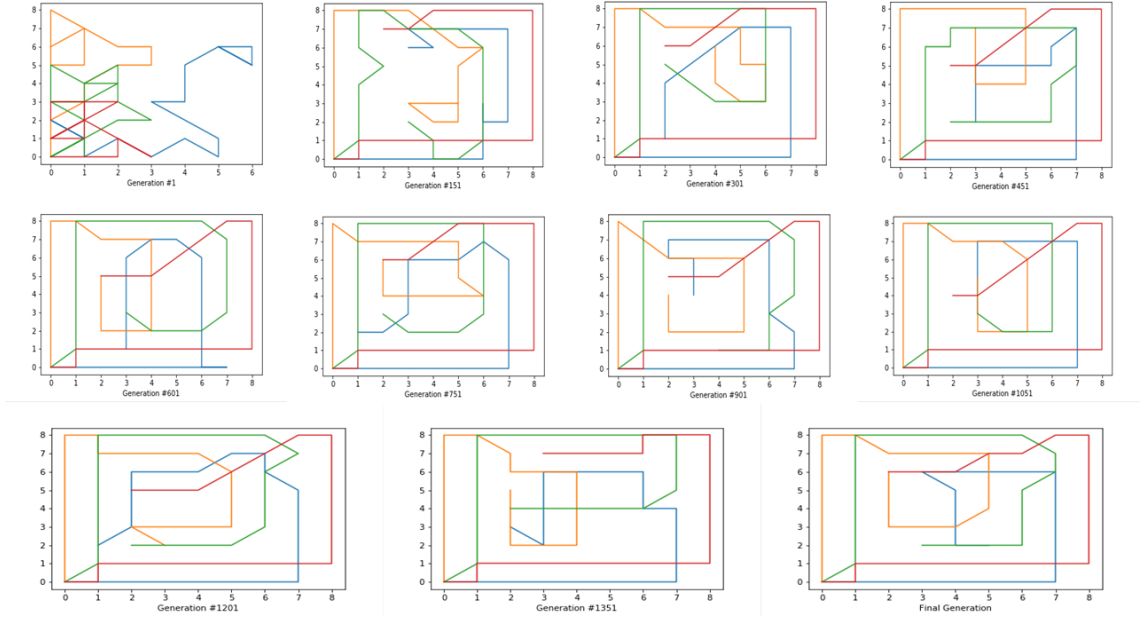
Bu süreçte alınan fitness fonksiyonları skorlarının toplanmasıyla oluşan, her nesil için en iyi ve ortalama fitness skorlarının grafiği Şekil-4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6 İki Drone İçin Rota Bulma Program Boyunca Her Nesil İçin Ortalama ve En İyi Fitness Fonksiyonu Değerleri Değişimi

4.1.3 Dört Drone

Üçüncü deneme dört drone için yapılmıştır. 1500 nesil sonunda, her 150. neslin verdiği yollar Şekil-4.7'da gösterilmiştir.



Şekil 4.7 Dört Drone İçin Rota Bulma Program Boyunca Her 150. Nesilde Çizilmiş Yollar

Son reproduksiyon sonucu elde edilen en iyi bireyin içeriği ve nesil hakkındaki bilgiler Şekil-4.8’da gösterilmiştir.

```

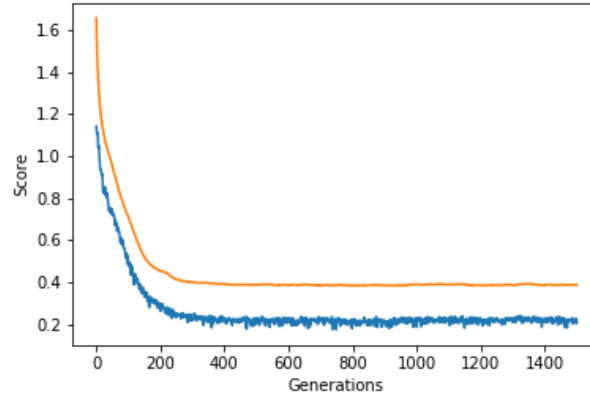
RESULT:
Best individual # 1 : [1 1 1 1 1 1 7 7 7 7 7 7 5 5 5 5 2 3 3 3 1]
Best individual # 2 : [7 7 7 7 7 7 7 7 1 2 1 1 1 3 3 3 4 5 5 7 7 7]
Best individual # 3 : [8 7 7 7 7 7 7 7 1 1 1 1 1 2 3 4 3 3 3 5 5 5]
Best individual # 4 : [1 7 1 1 1 1 1 1 1 7 7 7 7 7 7 7 5 4 5 4 5 5]

Best score: 0.20626293995859213
Mean score: 0.38862210662525876

```

Şekil 4.8 Dört Drone İçin Rota Bulma Programının Sonuncu Nesli Hakkında Bilgiler

Bu süreçte alınan fitness fonksiyonları skorlarının toplanmasıyla oluşan, her nesil için en iyi ve ortalama fitness skorlarının grafiği Şekil-4.9’da gösterilmiştir.



Şekil 4.9 Dört Drone İçin Rota Bulma Program Boyunca Her Nesil İçin Ortalama ve En İyi Fitness Fonksiyonu Değerleri Değişimi

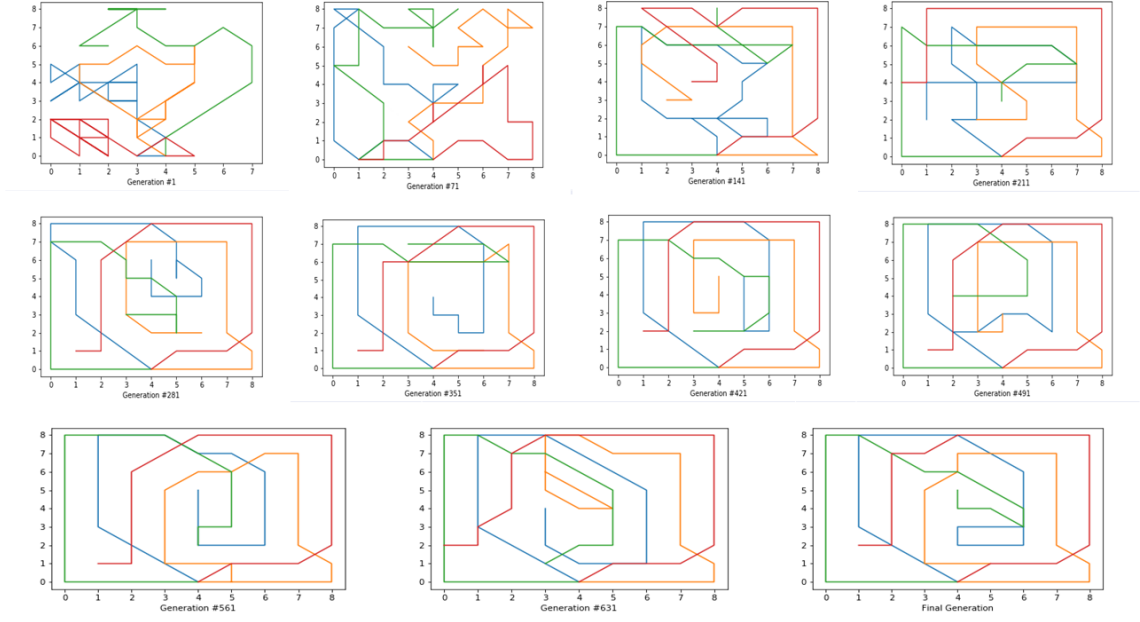
4.2 Farklı Başlangıç Noktası

Önceki kısımda, bütün denemeler (0, 0) başlangıç noktasından yapılmıştı. Bu kısımda, farklı başlangıç noktalarından başlandığı zaman alınan sonuçlar paylaşılacaktır. Başlangıç noktasının değişken olduğu bu denemelerde, sabit kalan diğer parametreler şu şekildedir:

- Drone Sayısı: 4
- Mutasyon Oranı: Her nesil için %1
- Nesil Sayısı: 700
- Popülasyon Büyüklüğü: 10000
- Crossover Kesimi Sayısı: 2
- Her bir drone için adım sayısı: Matris büyüklüğü / Drone sayısı + 2
- Bir Sonraki Nesle Aynen Kopyalanan En İyi Birey Oranı: 1/3

4.2.1 Başlangıç Noktası: (4, 0)

İlk deneme (4, 0) noktasından başlanarak yapılmıştır. 700 nesil sonunda, her 70. neslin verdiği yollar Şekil-4.10'da gösterilmiştir.



Şekil 4.10 (4, 0) Başlangıç Noktalı Rota Bulma Program Boyunca Her 70. Nesilde Çizilmiş Yollar

Son reproduksiyon sonucu elde edilen en iyi bireyin içeriği ve nesil hakkındaki bilgiler Şekil-4.11’da gösterilmiştir.

```

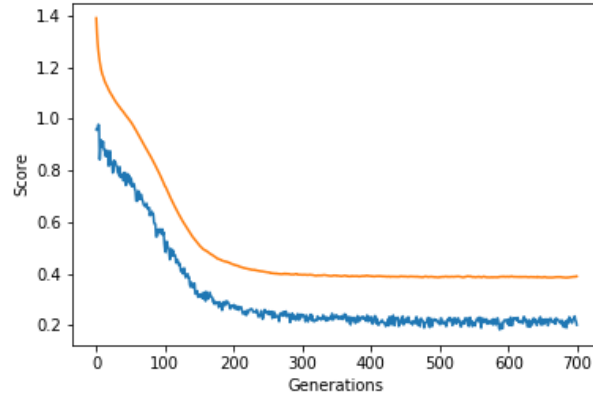
RESULT:
Best individual # 1 : [6 6 6 7 7 7 7 7 1 1 1 2 2 3 3 3 3 5 5 7 1 1]
Best individual # 2 : [1 1 1 1 7 6 7 7 7 7 7 5 5 5 3 4 3 3 3 1 1]
Best individual # 3 : [5 5 5 5 7 7 7 7 7 7 7 7 1 2 2 1 2 2 3 6 5 7]
Best individual # 4 : [8 1 1 8 7 7 7 7 7 7 5 5 5 5 4 5 3 3 3 3 5]

Best score: 0.20209627329192545
Mean score: 0.38999038043478257

```

Şekil 4.11 (4, 0) Başlangıç Noktalı Rota Bulma Programının Sonuncu Nesli Hakkında Bilgiler

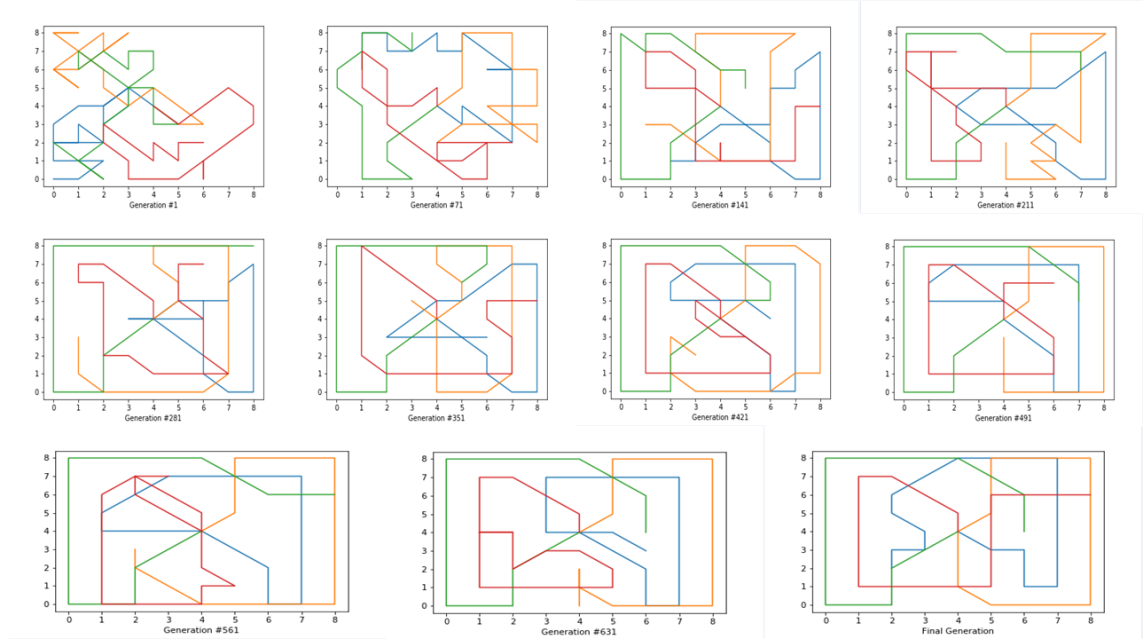
Bu süreçte alınan fitness fonksiyonları skorlarının toplanmasıyla oluşan, her nesil için en iyi ve ortalama fitness skorlarının grafiği Şekil-4.12’da gösterilmiştir.



Şekil 4.12 (4, 0) Başlangıç Noktalı Rota Bulma Program Boyunca Her Nesil İçin Ortalama ve En İyi Fitness Fonksiyonu Değerleri Değişimi

4.2.2 Başlangıç Noktası: (4, 4)

İkinci deneme, (4, 4) noktasından başlanarak yapılmıştır. 700 nesil sonunda, her 70. neslin verdiği yollar Şekil-4.13'da gösterilmiştir.



Şekil 4.13 (4, 4) Başlangıç Noktalı Rota Bulma Program Boyunca Her 70. Nesilde Çizilmiş Yollar

Son reproduksiyon sonucu elde edilen en iyi bireyin içeriği ve nesil hakkındaki bilgiler Şekil-4.14'da gösterilmiştir.


```

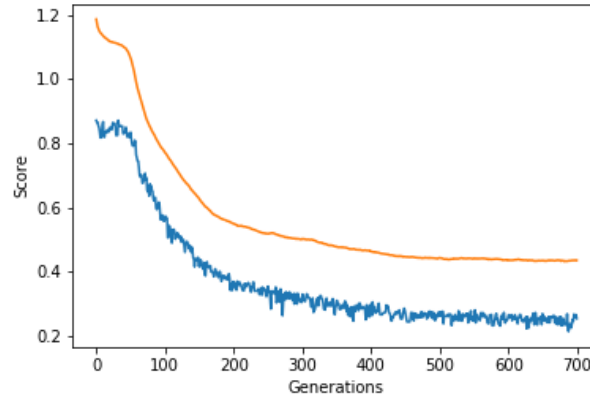
RESULT:
Best individual # 1 : [2 1 3 3 1 7 7 7 7 7 7 5 5 5 4 4 3 2 3 5 3]
Best individual # 2 : [8 7 7 7 1 1 1 3 3 3 3 3 3 5 5 5 6 7 7 7]
Best individual # 3 : [4 4 3 3 5 5 7 7 7 7 7 7 7 1 1 1 1 2 2 3 3]
Best individual # 4 : [7 6 6 5 3 3 3 3 3 3 1 1 1 1 7 7 7 7 1 1 1]

Best score: 0.255667701863354 |
Mean score: 0.4361870626293996

```

Şekil 4.14 (4, 4) Başlangıç Noktalı Rota Bulma Programının Sonuncu Nesli Hakkında Bilgiler

Bu süreçte alınan fitness fonksiyonları skorlarının toplanmasıyla oluşan, her nesil için en iyi ve ortalama fitness skorlarının grafiği Şekil-4.15’da gösterilmiştir.



Şekil 4.15 (4, 4) Başlangıç Noktalı Rota Bulma Program Boyunca Her Nesil İçin Ortalama ve En İyi Fitness Fonksiyonu Değerleri Değişimi

4.3 Farklı Popülasyon Büyüklüğü

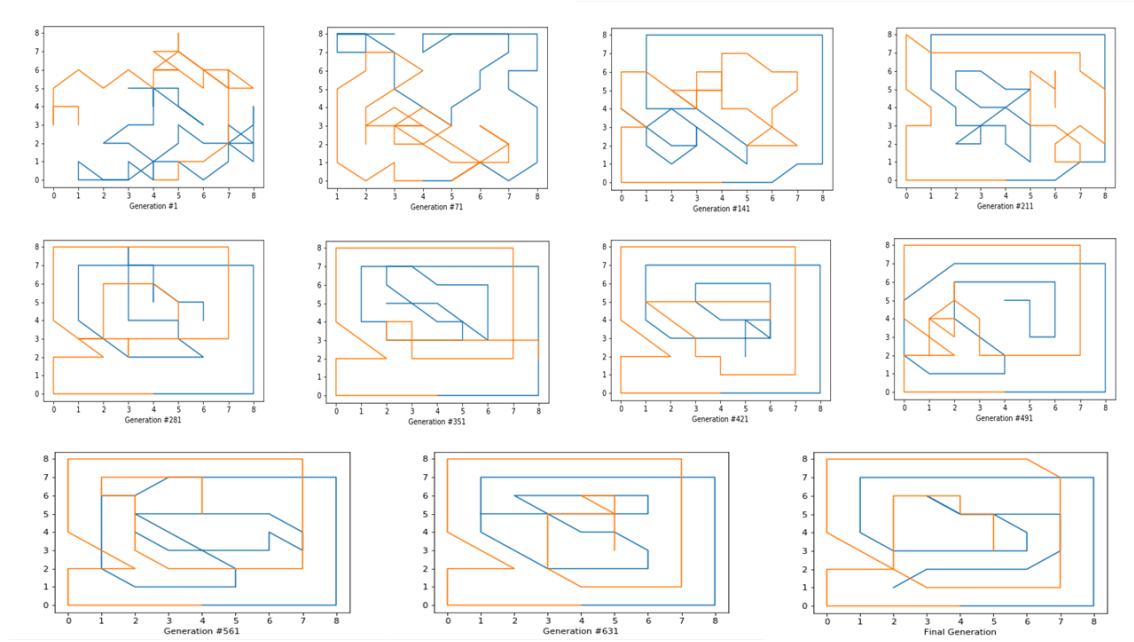
Önceki kısımlarda, bütün denemeler 10000 popülasyon büyüklüğü değeri ile yapılmıştı. Bu kısımda, farklı popülasyon büyüklükleri kullanılarak alınan sonuçlar paylaşılacaktır. Popülasyon büyüklükleri değişken olduğu bu denemelerde, sabit kalan diğer parametreler şu şekildedir:

- Drone Sayısı: 2
- Mutasyon Oranı: Her nesil için %1
- Nesil Sayısı: 700
- Crossover Kesimi Sayısı: 2
- Her bir drone için adım sayısı: Matris büyüklüğü / Drone sayısı + 2

- Başlangıç Noktası: (4, 0)
- Bir Sonraki Nesle Aynen Kopyalanan En İyi Birey Oranı: 1/3

4.3.1 5000 Bireylik Popülasyon

İlk deneme, 5000 bireylik bir popülasyon kullanımı ile yapılmıştır. 700 nesil sonunda, her 70. neslin verdiği yollar Şekil-4.16'da gösterilmiştir.



Şekil 4.16 5000 Bireylik Popülasyon ile Rota Bulma Program Boyunca Her 70. Nesilde Çizilmiş Yollar

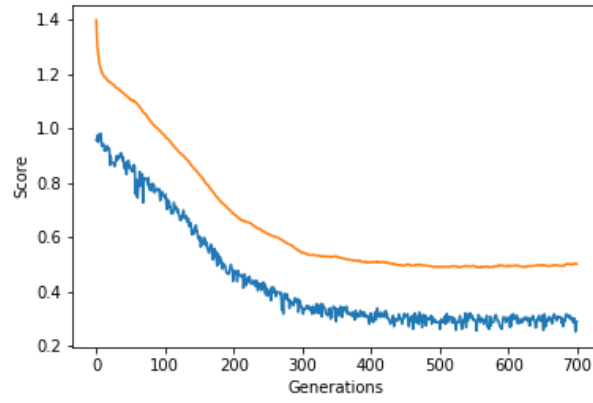
Son reproduksiyon sonucu elde edilen en iyi bireyin içeriği ve nesil hakkındaki bilgiler Şekil-4.17'da gösterilmiştir.

```
Best individual # 1 : [1 1 1 1 7 7 7 7 7 7 5 5 5 5 5 5
5 3 3 3 2 1 1 1 1 7 6 5 6 2 1 1 1 3 3 4 5 5 5 4 0]
Best individual # 2 : [5 5 5 5 7 7 1 1 6 6 7 7 7 7 1 1 1
1 1 1 2 3 3 3 3 3 5 5 5 5 6 7 7 7 7 1 1 3 1 3 3]

Best score: 0.29124361883153715
Mean score: 0.5032194682359614
```

Şekil 4.17 5000 Bireylik Popülasyon ile Rota Bulma Programının Sonuncu Nesli Hakkında Bilgiler

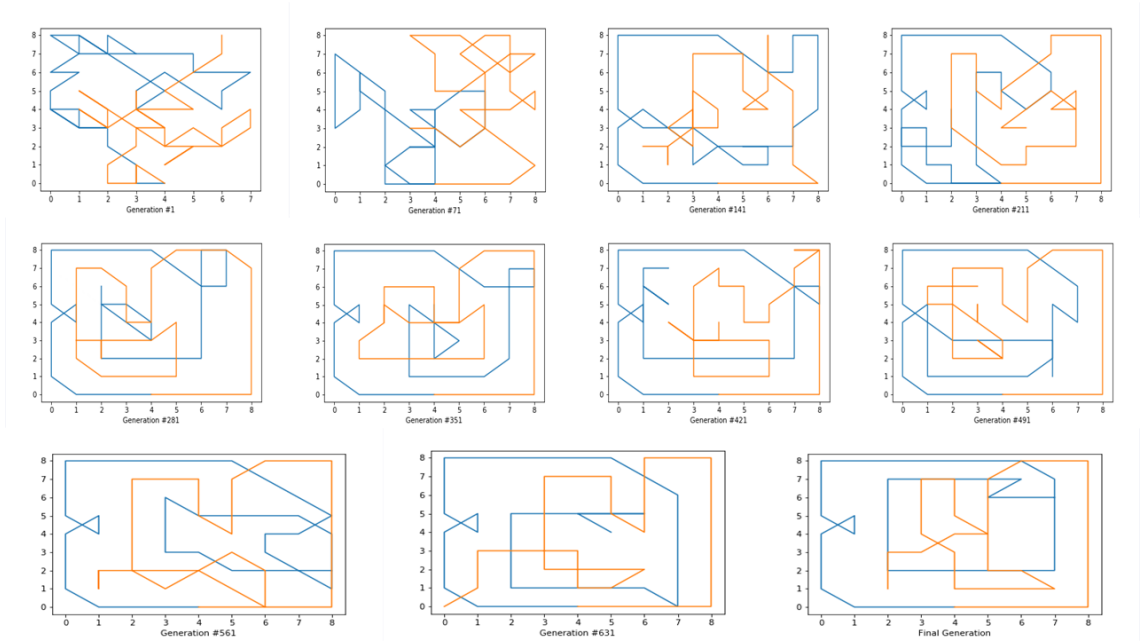
Bu süreçte alınan fitness fonksiyonları skorlarının toplanmasıyla oluşan, her nesil için en iyi ve ortalama fitness skorlarının grafiği Şekil-4.18'da gösterilmiştir.



Şekil 4.18 5000 Bireylik Popülasyon ile Rota Bulma Program Boyunca Her Nesil İçin Ortalama ve En İyi Fitness Fonksiyonu Değerleri Değişimi

4.3.2 2500 Bireylik Popülasyon

İkinci deneme, 2500 bireylik bir popülasyon kullanımı ile yapılmıştır. 700 nesil sonunda, her 70. neslin verdiği yollar Şekil-4.19’da gösterilmiştir.



Şekil 4.19 2500 Bireylik Popülasyon ile Rota Bulma Program Boyunca Her 70. Nesilde Çizilmiş Yollar

Son reproduksiyon sonucu elde edilen en iyi bireyin içeriği ve nesil hakkındaki bilgiler Şekil-4.20’da gösterilmiştir.

```

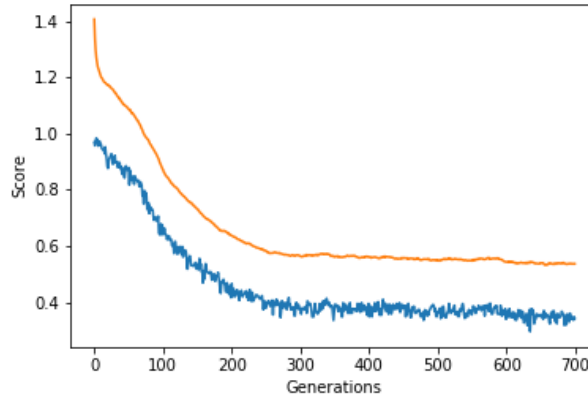
Best individual # 1 : [5 5 5 6 7 7 7 8 3 6 7 7 7 1 1 1 1 1 1
2 3 3 3 3 3 5 5 5 5 7 7 7 7 7 1 1 1 4 1 1]
Best individual # 2 : [1 1 1 1 7 7 7 7 7 7 7 7 7 5 5 4 3 3 3 6
7 7 5 3 3 3 2 3 3 1 1 1 6 5 7 7 5 4 5 3 3 0 0]

Best score: 0.3433777651730056
Mean score: 0.5373822036301759

```

Şekil 4.20 2500 Bireylik Popülasyon ile Rota Bulma Programının Sonuncu Nesli Hakkında Bilgiler

Bu süreçte alınan fitness fonksiyonları skorlarının toplanmasıyla oluşan, her nesil için en iyi ve ortalama fitness skorlarının grafiği Şekil-4.21’da gösterilmiştir.



Şekil 4.21 2500 Bireylik Popülasyon ile Rota Bulma Program Boyunca Her Nesil İçin Ortalama ve En İyi Fitness Fonksiyonu Değerleri Değişimi

4.4 Farklı Mutasyon Oranı

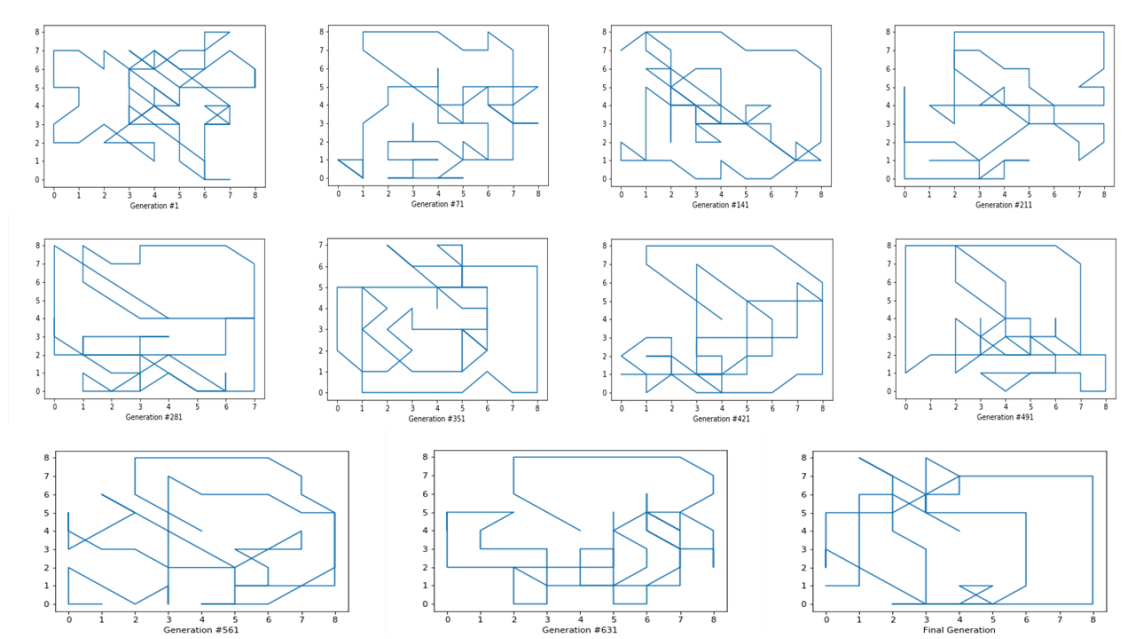
Önceki kısımlarda, bütün denemeler %1’lik mutasyon oranı değeri ile yapılmıştı. Bu kısımda, farklı mutasyon oranları kullanılarak alınan sonuçlar paylaşılacaktır. Mutasyon oranları değişken olduğu bu denemelerde, sabit kalan diğer parametreler şu şekildedir:

- Drone Sayısı: 1
- Nesil Sayısı: 700
- Popülasyon Büyüklüğü: 5000
- Crossover Kesimi Sayısı: 2
- Her bir drone için adım sayısı: Matris büyüklüğü / Drone sayısı + 2

- Başlangıç Noktası: (4, 4)
- Bir Sonraki Nesle Aynen Kopyalanan En İyi Birey Oranı: 1/3

4.4.1 %2'lik Mutasyon Oranı

İlk deneme, %2'lik mutasyon oranı değeri ile yapılmıştır. 700 nesil sonunda, her 70. neslin verdiği yollar Şekil-4.22'da gösterilmiştir.



Şekil 4.22 %2'lik Mutasyon Oranı ile Rota Bulma Program Boyunca Her 70. Nesilde Çizilmiş Yollar

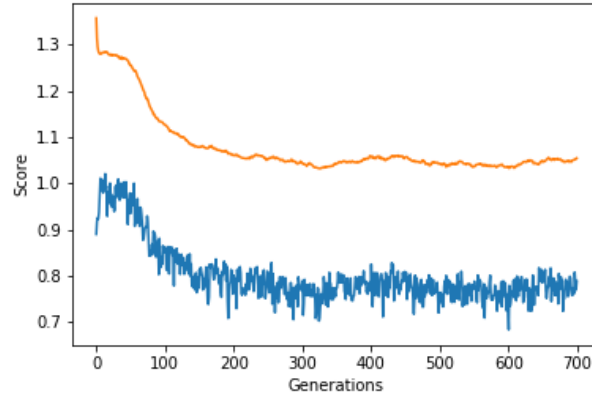
Son reproduksiyon sonucu elde edilen en iyi bireyin içeriği ve nesil hakkındaki bilgiler Şekil-4.23'da gösterilmiştir.

```
Best individual # 1 : [6 7 1 7 1 1 1 1 0 3 3 3 3 3 3 5 5 5 5 5
7 7 7 6 7 7 2 1 1 1 3 3 3 3 4 0 5 5 5 1 5 0 1 1 1 6 1 4 5 0 6 6
7 7 7 7 1 7 0 6 0 2 2 7 7 2 4 3 7 4 5 5 3 3 0 3 0 7 2 3 5 0]
```

Best score: 0.7884436701509872
Mean score: 1.0546647386759582

Şekil 4.23 %2'lik Mutasyon Oranı ile Rota Bulma Programının Sonuncu Nesli Hakkında Bilgiler

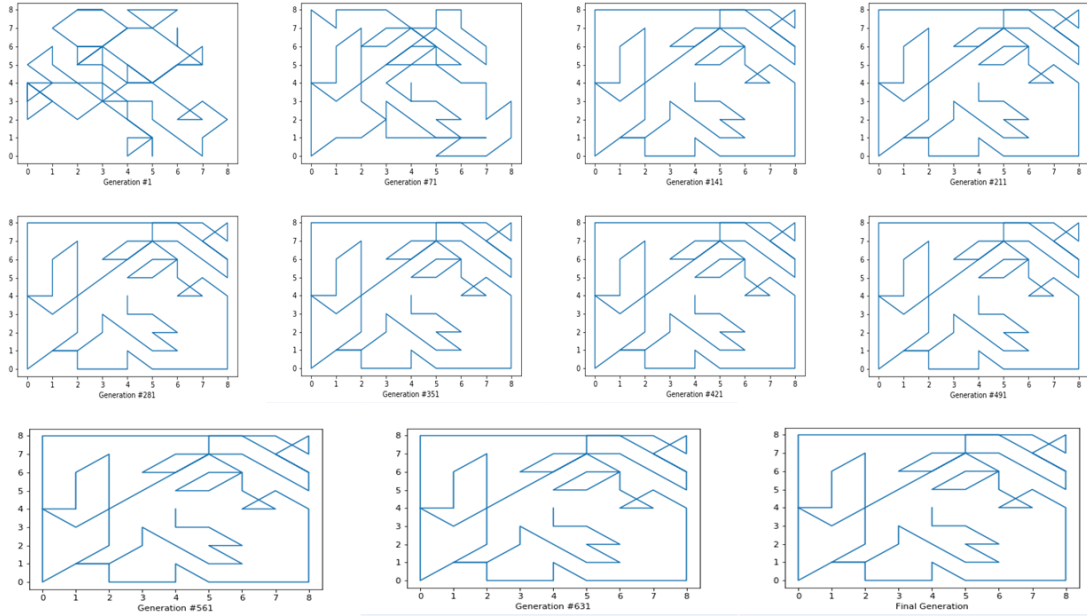
Bu süreçte alınan fitness fonksiyonları skorlarının toplanmasıyla oluşan, her nesil için en iyi ve ortalama fitness skorlarının grafiği Şekil-4.24'da gösterilmiştir.



Şekil 4.24 %2'lik Mutasyon Oranı ile Rota Bulma Program Boyunca Her Nesil İçin Ortalama ve En İyi Fitness Fonksiyonu Değerleri Değişimi

4.4.2 %0'lık Mutasyon Oranı

İkinci deneme, %0'lık mutasyon oranı değeri ile, yani mutasyon olmadan yapılmıştır. 700 nesil sonunda, her 70. neslin verdiği yollar Şekil-4.25'da gösterilmiştir.



Şekil 4.25 Mutasyonsuz Rota Bulma Program Boyunca Her 70. Nesilde Çizilmiş Yollar

Son reproduksiyon sonucu elde edilen en iyi bireyin içeriği ve nesil hakkındaki bilgiler Şekil-4.26'da gösterilmiştir.

```

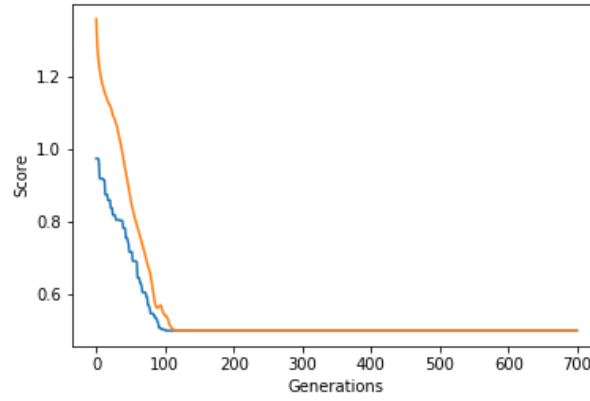
RESULT:
Best individual # 1 : [3 1 2 5 2 5 6 6 3 4 5 4 0 7 7 7
7 2 8 8 8 8 7 1 0 2 2 3 6 6 5 5 4 1 8 2 5 4 1 8 3 2 5
8 2 3 3 3 3 5 5 5 6 3 5 5 7 5 8 7 7 7 7 7 4 3 3 5 7 7
7 7 1 1 1 1 1 1 1 2 7 4 2]

Best score: 0.49972415795586533
Mean score: 0.4997241579558654

```

Şekil 4.26 Mutasyonsuz Rota Bulma Programının Sonuncu Nesli Hakkında Bilgiler

Bu süreçte alınan fitness fonksiyonları skorlarının toplanmasıyla oluşan, her nesil için en iyi ve ortalama fitness skorlarının grafiği Şekil-4.27’da gösterilmiştir.



Şekil 4.27 Mutasyonsuz Rota Bulma Programı Boyunca Her Nesil İçin Ortalama ve En İyi Fitness Fonksiyonu Değerleri Değişimi

4.5 Diğer Parametreler

Bu kısımda, diğer kısımlarda bahsedilmeyen diğer parametrelerin değişimiyle yapılmış denemelerden en dikkat çekici olan sonuçlar paylaşılacaktır.

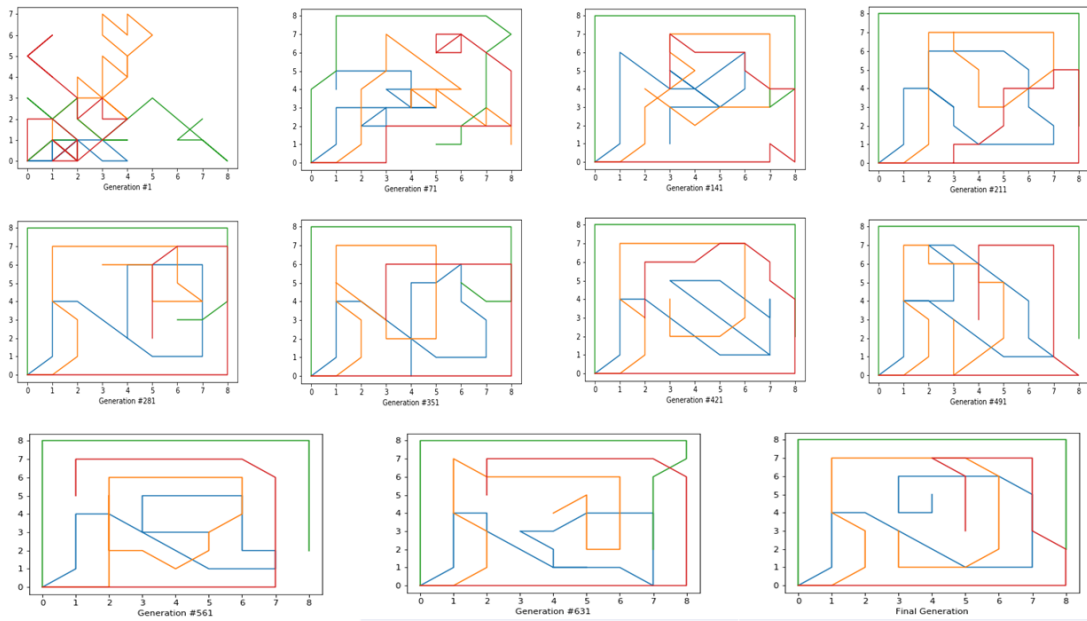
4.5.1 Tek Noktadan Crossover

Önceki denemelerde hep çift noktadan kesmeli crossover tekniği uygulanmıştı. Bu bölümde, aşağıdaki parametrelerle deneme yapılmıştır.

- Drone Sayısı: 4
- Mutasyon Oranı: %1
- Nesil Sayısı: 700

- Popülasyon Büyüklüğü: 5000
- Crossover Kesimi Sayısı: 1
- Her bir drone için adım sayısı: Matris büyüklüğü / Drone sayısı + 2
- Başlangıç Noktası: (0, 0)
- Bir Sonraki Nesle Aynen Kopyalanan En İyi Birey Oranı: 1/3

700 nesil sonunda, her 70. neslin verdiği yollar Şekil-4.28’da gösterilmiştir.



Şekil 4.28 Tek Kesimli Crossover ile Rota Bulma Program Boyunca Her 70. Nesilde Çizilmiş Yollar

Son reproduksiyon sonucu elde edilen en iyi bireyin içeriği ve nesil hakkındaki bilgiler Şekil-4.29’da gösterilmiştir.

```

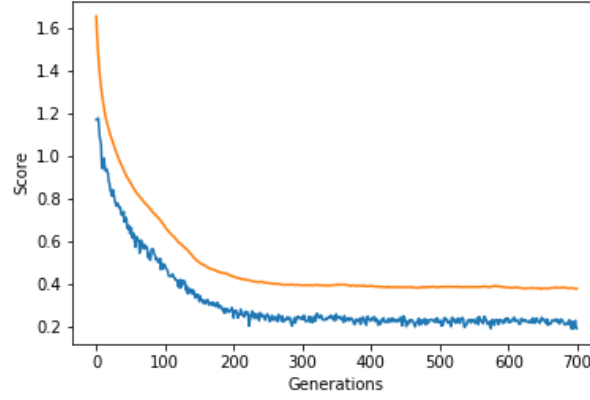
RESULT:
Best individual # 1 : [8 7 7 7 1 2 2 2 1 1 7 7 7 7 6 5 5 5 3 3 1 7]
Best individual # 2 : [1 8 7 7 6 7 7 7 1 1 1 1 2 3 3 3 3 4 5 5 7 7]
Best individual # 3 : [7 7 7 7 7 7 7 7 1 1 1 1 1 1 1 1 3 3 3 3 3 3]
Best individual # 4 : [1 1 1 1 1 1 1 1 7 7 6 7 7 7 7 5 5 5 2 3 3 3]

Best score: 0.19376293995859212
Mean score: 0.37989436853002073

```

Şekil 4.29 Tek Kesimli Crossover ile Rota Bulma Programının Sonuncu Nesli Hakkında Bilgiler

Bu süreçte alınan fitness fonksiyonları skorlarının toplanmasıyla oluşan, her nesil için en iyi ve ortalama fitness skorlarının grafiği Şekil-4.30'da gösterilmiştir.



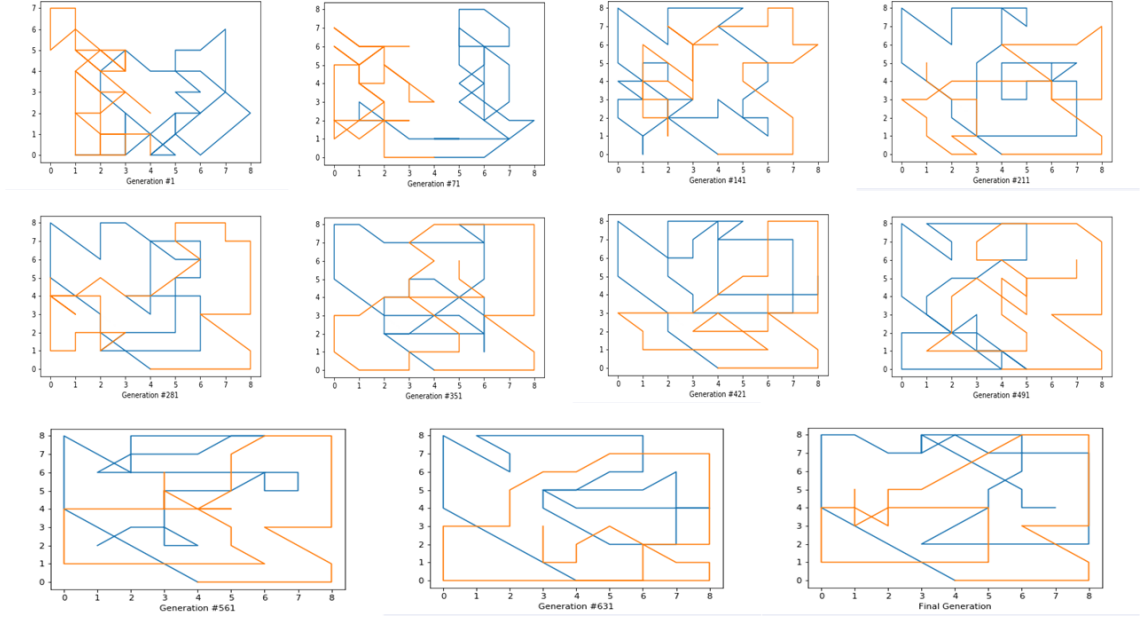
Şekil 4.30 Tek Kesimli Crossover ile Rota Bulma Programı Boyunca Her Nesil İçin Ortalama ve En İyi Fitness Fonksiyonu Değerleri Değişimi

4.5.2 Bir Sonraki Nesle Daha Çok Kopyalama

Önceki denemelerde bir nesilden sonrakine aynen aktarılan nesil büyüklüğü 1/3 olarak oranlanmıştır. Bu bölümde, neslin yarısının kopyalanmasıyla birlikte, aşağıdaki parametrelerle deneme yapılmıştır.

- Drone Sayısı: 2
- Mutasyon Oranı: %1
- Nesil Sayısı: 700
- Popülasyon Büyüklüğü: 5000
- Crossover Kesimi Sayısı: 1
- Her bir drone için adım sayısı: Matris büyüklüğü / Drone sayısı + 2
- Başlangıç Noktası: (4, 0)
- Bir Sonraki Nesle Aynen Kopyalanan En İyi Birey Oranı: 1/2

700 nesil sonunda, her 70. neslin verdiği yollar Şekil-4.31'da gösterilmiştir.



Şekil 4.31 Neslin En İyi Yarımının Aynen Aktarıldığı Program Boyunca Her 70. Nesilde Çizilmiş Yollar

Son reproduksiyon sonucu elde edilen en iyi bireyin içeriği ve nesil hakkındaki bilgiler Şekil-4.32’da gösterilmiştir.

```

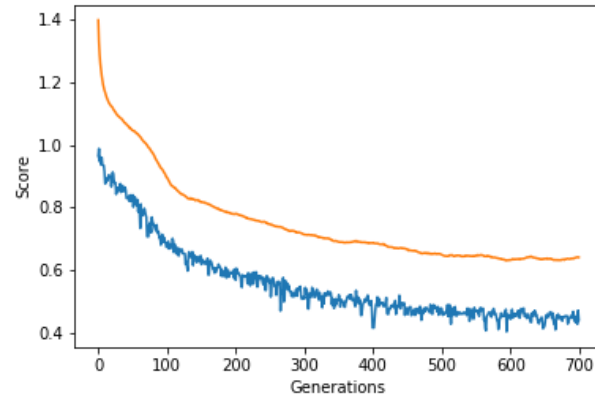
RESULT:
Best individual # 1 : [6 6 6 6 7 7 7 7 1 2 1 7 1 1 1 3 3 4 3 4 4
1 1 1 1 1 7 7 7 7 7 5 5 5 6 4 7 2 2 2 3 1]
Best individual # 2 : [1 1 1 1 7 6 6 1 1 7 7 7 7 5 5 4 4 4 5 3
3 6 5 3 3 3 1 1 1 1 0 1 7 7 7 5 5 5 4 7 7]

Best score: 0.4397192285876347
Mean score: 0.6401586471922859

```

Şekil 4.32 Neslin En İyi Yarımının Aynen Aktarıldığı Rota Bulma Programının Sonuncu Nesli Hakkında Bilgiler

Bu süreçte alınan fitness fonksiyonları skorlarının toplanmasıyla oluşan, her nesil için en iyi ve ortalama fitness skorlarının grafiği Şekil-4.33’da gösterilmiştir.



Şekil 4.33 Neslin En İyi Yarımının Aynen Aktarıldığı Rota Bulma Program Boyunca Her Nesil İçin Ortalama ve En İyi Fitness Fonksiyonu Değerleri Değişimi

Bu bölümde programın farklı senaryolarda verdiği sonuçların nedenleri irdelenecektir.

5.1 Gözlem

5.1.1 Farklı Drone Sayısı

Drone sayılarının değiştirilmesiyle yapılan denemelerde, drone sayısının artımı ile haritanın taranması konusunda sistemin daha etkin hale geldiği ve bunu yaparken yapılan sert dönüşlerin azaltıldığı rota çizimlerinden gözlemlenmiştir. Bunun yanı sıra gelinen son nesillere bakıldığı zaman, dört drone ile çalışan sistemin 1500 nesil sonucunda çok daha iyi skorlara eriştiği gözlemlenmektedir. Son nesilinin aldığı skorlar bu kadar tatmin ediciyken, aynı zamanda eğitim esnasında en iyi birey skorunun 748. denemede 0.175 gibi etkileyici bir skoru gördüğünü, bir nesil için ortalama skorun ise 821. denemede 0.383'e kadar düştüğü gözlemlenmiştir.

Her ne kadar taranan nokta ve hareket maliyeti konusunda 4 drone ile çalışan sistem çok daha üstün olsa da, diğer sistemlerin de 1500 nesil sonunda haritanın hemen her yerini tarayan ve ilk nesilden itibaren manevralarının maliyetinde gelişim gösteren bir rota geliştirme süreci geçirdikleri görülmektedir.

5.1.2 Farklı Başlangıç Noktaları

Bu kez drone sayısının dört ile sabit olduğu denemelerde, haritadaki başlangıç pozisyonu değiştirildiği zaman rota optimizasyon sürecindeki iyileşme hızında çok büyük bir değişim olmadığı görülmüştür. Fakat yine de (0, 0) ve (4, 0) noktalarından yapılan başlangıçların 700 nesil sonunda ulaştığı skorun, haritanın ortasından başladığında alınan skora göre üstün olduğu, 700. nesle gelindiği zaman haritanın ortasından başlanan senaryodaki optimal değerlere yakınsama eğiliminin hala geçerli olduğu görülmektedir. Bu sayısal değerlerin yanı sıra, sonda oluşan bireyler ve grafiksel gösterimdeki rotalarından yola çıkılarak, haritanın kenarlarından başlanan

senaryolarda bireylerin harita üzerinde iş bölümü yapabilme yetisinin daha iyi olduğu söylenebilmektedir.

Diğer senaryolarda en iyi bireyin skor değeri bazı iterasyonlarda 0.183 ve 0.175 gibi etkileyici skorları görürken, her ne kadar kesinlikle kötü bir değer olmasa da, haritanın ortasından başlanan senaryoda herhangi bir iterasyonda rastlanan en düşük skor 0.215'te kalmıştır.

5.1.3 Farklı Popülasyon Büyüklükleri

Drone sayıları değişkenine göre yapılan denemelerin ikincisi ve bu kısımda yapılmış olan iki deney birleştirilerek, aynı senaryoda 10000, 5000 ve 2500 bireylik bir nesil kullanımının oluşan sonuç ve sonuca yakınsama ivmesine değişimi gözlemlenebilir. Bu gözlemler sonucu 10000 ve 2500 bireylik nesil kullanımında 700 nesil sonucunda hemen hemen aynı skorlar elde edilmişken, 5000 bireyin kullanımı sonucu elde edilen skorların diğerlerine oranla üstün olduğu görülmüştür. Rotalarına yakından bakıldığında, bütün senaryolarda 700 nesil sonunda haritanın hemen her yerini başarıyla gezen bir sistem elde edilse de, 5000 bireylik kullanımda dronelar arası iş bölümünün daha iyi olduğu gözlemlenmektedir.

Bunların yanında büyük resme bakıldığı zaman, bütün iterasyonlarda 10000 ve 2500 bireylik nesillerin gördüğü en iyi skorlar sırasıyla 0.284 ve 0.296 olmuştur. Bu değer 5000 bireylik nesil için 0.253'tür.

5.1.4 Farklı Mutasyon Oranları

Senaryolar arası en çarpıcı fark, mutasyon oranı değişimiyle ortaya çıkmıştır. Diğer denemeler her nesilde %1'lik, bu bölümdeki denemeler ise sırasıyla %2 ve %0'lık mutasyon oranları ile gerçekleştirilmiştir. Bu denemelerde %1'lik mutasyon oranının algoritmanın optimal çözüme yakınsama sürecine başarılı bir şekilde çeşitlilik ve hareketlilik kattığı gözlemlenmiştir. Fakat Bu bölümdeki %0 ve %2 için durum böyle olmamıştır. %2 oranıyla yapılan algoritmanın tutarsız bir biçimde, herhangi bir yakınsama yapmadan ilerleyerek tatmin etmeyen bir skorun etrafında inişli çıkışlı bir hareket sergilediği görülmüştür. Mutasyonsuz denemede ise bir yerden sonra çeşitliliğin tamamen kaybolduğu ve elde kalan değerler kümesinin fitness fonksiyonu ile verdiği değerin beklenenden çok daha kötü olduğu görülmüştür.

5.1.5 Diğer Parametreler

Diğer denemelerin aksine tek kesimli Crossover uygulanarak çalışılan deneme üzerinde yapılan gözlemlerde algoritmanın yine optimal sonuca yakınsadığı ve 700. neslin sonunda bütün çalışmadaki en başarılı skorlardan birini verdiği görülmüştür.

Çalışma boyunca bir sonraki nesile aynen aktarılacak en iyi bireyler oranı 1/3 olarak sabit tutulmuştu. Yapılan son denemede bu oran 1/2'ye çıkarılmıştır. Bu değişikliğin sonucu iki droneli sistemde gözlemlenmiştir. 700 nesil sonunda, sistemin hala optimal değerler kümesine yakınsıyor olduğu ve 700. neslin verdiği fitness skorlarının optimal olmaktan uzak olduğu gözlemlenmiştir. Her ne kadar dronelar arası haritada iş bölümü yeteneği her iterasyonla artmış olsa da, 700 neslin bu şartlar altında optimal sonuca ulaşmak için yeterli olmayacağı ortaya çıkmıştır.

5.2 Çıkarım

Bu kısımda, önceki bölümde anlatılan gözlemlerden çıkarım yapılmaya çalışılacaktır.

İlk kısımdaki denemelerde hem sayısal hem de görsel olarak 4 drone ile yapılan denemenin çok daha optimal değerlere ulaştığı gözlemlenmiştir. Bunda en çok da yapılan hareketler dizilerinin birbirinden bağımsız oluşunun etkisi olduğu düşünülmüştür. Öyle ki, ayrı 4 farklı hareketler dizisinin optimal kombinasyonlara yakınsamasının, (örnek olarak) tek bir büyük hareketler dizisinin yakınsamasına oranla çok daha hızlı ve kolay olduğu fark edilmiştir. Drone sayısının başarıya olan direkt etkisi, çalışmanın diğer kısımlarındaki diğer denemelerde de açık bir biçimde görülmüştür.

Başlangıç noktasının değişiminin etkisinin gözlemlendiği kısımda yapılan iki deneme ve bunlara ek olarak farklı başlangıç noktası kullanılarak yapılan ilk kısımdaki diğer eşdeğer denem sonucunda, başlangıç noktasının algoritmanın başarısına etkisinin önemli bir ölçüde etkisi olmadığı görülmüştür. Buna rağmen kenar ve köşelerden başlanan programlarda elde edilen skorların, haritanın ortasından başlamayla kıyasla daha optimal olduğu ve diğer ikisine kıyasla ortadan başlanan senaryoda optimal değere yakınsamada daha yavaş kalındığı görülmüştür. Buradan yola çıkarak, özellikle dronelerin çok sayıda olduğu senaryolarda, haritanın kenarlarından başlandığı zaman dronelerin iş birliği konusunda daha başarılı hale gelebildiği anlaşılmıştır. İstenen rota biçimlerine çok daha hızlı olunduğu fark edilmiştir.

Popülasyon büyüklüğünün programın sonucuna etkisi incelendiğinde, bu çalışmada seçilen parametreler için denemeler arasından en uygun popülasyon büyüklüğünün 5000 birey olduğu gözlemlenmiştir. Nesil sayısı üzerine yapılabilen denemeler

oldukça sınırlı olduğu için, sadece 700-1500 nesil sayıları aralığı için yorum yapmak gerekirse, bu nesil sayılarının 10000 bireylik çeşitliliği optimal değere yakınsatmada yetersiz kaldığı ve 2500 bireylik nesilden elde edilebilen çeşitlilikten de çıkarılabilen en optimal çözümün tatmin edemediği düşünülmüştür. 5000 bireylik popülasyon büyüklüğü hem programın çalışma süresini 10000 bireye göre oldukça kısaltmış, hem de verdiği sonuçlarla tatmin etmiştir.

Çalışmada üzerine denemeler yapılan parametrelerden belki de en çarpıcı fark, mutasyon oranındaki değişimle elde edilmiştir. Mutasyonun, genetik algoritmalar için öneminden daha önceki bölümlerde bahsedilmişti. Bu önem deneysel olarak da ortaya konulmuştur. Bu fark öylesine net bir şekilde gözlemlenmektedir ki, çıkarım yapmak için sayısal değerlere pek de ihtiyaç duyulmamıştır. Gözlemlendiği üzere, %2'lik mutasyon oranı bu parametreler için algoritmayı yakınsamaktan alıkoyacak kadar büyük bir randomizasyon katmıştır. Bunun yanında mutasyonsuz denemeler, genetik algoritmanın bir anlamda bağlı olduğu belli seviyedeki randomizasyonu tamamen ortadan akdırarak, en başta elde olan değerlere (yani random sayılara) bağlı kalarak çıkarılabilecek en iyi sonucu çıkarmaya çalışmıştır. Bunlara kıyasla %1'lik mutasyon bu program özelinde son derece yeterli olmuş ve sağladığı çeşitlilik, diğer denemelerde başarıyla optimal değere yakınsanmasına yardımcı olmuştur.

Son kısımda yapılan denemelerde ise bütün çalışmada kullanılan çift kesmeli Crossover'ın yerine kullanılabilecek tek kesmeli Crossover uygulamasından da çok iyi sonuçlar alınabileceği ancak bir sonraki nesle aynen aktarılacak bireylerin neslin yarısını oluşturmasının optimal değere yakınsama sürecini önemli ölçüde yavaşlattığı anlaşılmıştır.

Bütün bu çıkarımları kısaca özetlemek gerekirse, bu tip çalışmalarda "en iyi" parametre değeri diye bir kavram olmadığı, bunun yerine "en uyumlu" parametre değerlerinin aranması gerektiği anlaşılmıştır. Bu değerlerle kullanıldığında tatmin etmeyen skorlar üreten parametre değerlerinin, başka senaryolarda çok daha iyi sonuçlar verebileceği bilinmelidir. Bu çalışmayla bulunan en uygun parametre değerlerinin iyiliği, diğer parametre değerleri ile oluşturdukları kombinasyonun iyiliğine bağlıdır.

- [1] D. Whitley, "A genetic algorithm tutorial," *Statistics and computing*, vol. 4, no. 2, pp. 65–85, 1994.
- [2] F. Comellas and J. Ozon, "Graph coloring algorithms for assignment problems in radio networks," *Applications of Neural Networks to Telecommunications*, vol. 2, pp. 49–56, 1995.