



## **SFA Algoritma Parametre Değişimlerinin İncelenmesi ve Uygun Değerlerinin Tespiti**

**Serdar PAÇACI, Okan BİNGÖL\*, Uğur GÜVENÇ**

\*Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Isparta

(Alınış Tarihi/Received: 06.05.2019, Kabul Tarihi/Accepted: 24.05.2019)

\*İlgili yazar/Corresponding Author: [okanbingol@isparta.edu.tr](mailto:okanbingol@isparta.edu.tr)

### **Anahtar Kelimeler**

Sezgisel Optimizasyon,  
Stokastik Fraktal  
Arama Algoritması,  
CEC 2017

**Özet:** Stokastik fraktal arama algoritması Salimi tarafından geliştirilen sezgisel bir optimizasyon algoritmasıdır. Stokastik fraktal arama algoritmasında kullanıcının belirlemesi gereken maksimum yayılım sayısı, başlangıç fraktal sayısı ve yayılım fonksiyonunda kullanılacak Gauss yürüme fonksiyon seçimi parametreleri bulunmaktadır. Bu çalışmada, stokastik fraktal arama algoritması parametre değişimlerinin algoritma performansına etkileri incelenmiştir. Algoritma performansının değerlendirilmesi için CEC-2017 test fonksiyonları kullanılmıştır. Elde edilen test sonuçlarına göre en uygun parametre seçimleri belirlenmeye çalışılmıştır.

## **Investigation of SFS Algorithm Parameters and the Determination of Optimum Values**

### **Keywords**

Heuristic Algorithm,  
Stochastic Fractal  
Search Algorithm,  
CEC 2017

**Abstract:** Stochastic fractal search algorithm is a heuristic optimization algorithm developed by Salimi. The algorithm consists of the parameters, which are maximum diffusion number, starting fractal count or population size, and the Gaussian walking function selection. In this study, the effects of the algorithm parameters on the performance of the algorithm have been investigated. The CEC-2017 test functions have been used to evaluate the performance of the algorithm. According to the obtained test results, the optimum parameter selections was tried to be determined.

### **1. Giriş**

Optimizasyon bir problemin çözüm kümesi içerisinde en uygun çözümü bulma süreci olarak tanımlanabilir. Matematiksel olarak ifade edilirse, bir fonksiyonu minimum ya da maksimum yapan noktanın bulunması işlemidir. Optimizasyon problemlerine çözüm bulabilmek için optimizasyon algoritmaları geliştirilmiş olup, bu algoritmalar klasik matematiksel optimizasyon algoritmaları ve sezgisel optimizasyon algoritmaları olarak sınıflandırılmaktadır (Karaboğa, 2005). Klasik matematiksel algoritmalarında, optimum çözüm noktalarının bulunması için problemin matematiksel olarak tanımlanması ve genellikle uygun bir başlangıç çözüm noktasının belirlenmesi gerekmektedir. Gerçek hayat problemlerine bakıldığında problemi her zaman matematiksel olarak modellemek mümkün olmayabilir. Bu nedenle sezgisel algoritmalar geliştirilmiş ve literatürde daha sık kullanılmaya başlanmıştır.

Sezgisel algoritmalar esnek yapıda olmaları ve birçok probleme küçük değişiklik yaparak uygulanabilme özelliklerinden dolayı popüler hale gelmişlerdir. Ayrıca sezgisel algoritmalar, klasik algoritmaların optimum çözümü bulmak için çokça kullandıkları türev gibi bilgilere ihtiyaç duymamalarından dolayı daha sık tercih edilmektedir. Sezgisel algoritmalar mutlak optimum çözüm noktasını bulmayı garanti etmezler, ancak kabul edilebilir bir zaman içinde optimum çözüm noktasına yaklaşık bir çözüm üretebilirler (Karaboğa, 2005). Bunun için uygunluk fonksiyonu ismi verilen bir fonksiyon tanımlanır. Algoritma bu fonksiyona çözüm noktası parametrelerini göndererek, bir uygunluk değeri elde eder. Problem minimizasyon problemi ise en düşük uygunluk değeri, maksimizasyon işlemi ise en yüksek uygunluk değeri algoritma tarafından bulunmaya çalışılır.

Literatürde Darwin'in evim teorisinden esinlenerek Holland tarafından 1975'de geliştirilen genetik algoritma, Eberhart ve Kennedy'nin 1995 yılında geliştirdikleri parçacık sürü optimizasyonu, işleyişin genetik algoritma ile benzer olduğu Storn ve Price tarafından 1997 yılında geliştirilen diferansiyel gelişim algoritması, Dorigo ve Di Caro'nun karınca kolonisi algoritması, Karaboğa'nın 2005 yılında literatüre kazandırdığı arıların yiyecek arama davranışlarından esinlenerek geliştirilen yapay arı kolonisi algoritması, Yang'ın 2008 yılında geliştirdiği ateş böceği algoritması, Rashedi vd.'lerinin 2009 yılında geliştirdikleri yerçekimsel arama algoritması, Yang ve Deb'in 2009 yılında geliştirdikleri guguk kuşu arama algoritması, Mirjalili vd.'lerinin 2014 yılında gri kurt optimizasyon algoritması gibi birçok sezgisel algoritma bulunmaktadır.

Salimi 2015 yılında doğadaki fraktallerin yayılım yapmasından esinlenerek, fraktal arama (FA) ve stokastik fraktal arama (SFA) algoritmalarını geliştirmiştir. SFA üzerinde yapılan geliştirmeler incelendiğinde; Mellal ve Zio (2016), yaptıkları çalışmada uygunluk fonksiyonuna ceza fonksiyonu eklemişlerdir. Awad vd. (2016), yayılım sürecine diferansiyel gelişim algoritması ekleyerek olasılıksal olarak orijinal yayılım fonksiyonlarının kullanımı ya da diferansiyel gelişim algoritmasının kullanımını sağlamışlardır. Rahman ve Tokhi (2016), Gauss yürümesinde kullanılan ve rastgele olarak üretilen katsayı yerine kaotik haritalardan elde ettikleri sonuçları kullanmışlardır. Rahman vd. (2017), yaptıkları çalışmada 2016 yılında yaptıkları çalışmaya birinci güncelleme sürecinde yer alan ve rastgele olarak üretilen parametre yerine iki farklı kaotik haritalardan elde ettikleri değerleri koymuşlardır. Bingöl vd. (2017), yaptıkları çalışma ile SFA algoritması yayılım sürecindeki  $\log(g)/g$  fonksiyonuna 10 farklı kaotik haritalardan elde ettikleri değerleri ekleyerek 7 fonksiyon üzerinde test etmişlerdir. Zhou vd. (2018), yaptıkları çalışma ile yayılım sürecinde kullanılan Gauss yürümesi yerine Levy uçuşu metodunu kullanmışlardır.

SFA algoritmasında kullanıcı tarafından belirlenmesi gereken her jenerasyondaki her bir fraktalin maksimum yayılım sayısı, başlangıç fraktal sayısı ve Gauss yürüme fonksiyon seçimi gibi parametreler bulunmaktadır. Bu çalışmada bahsedilen parametrelere ait değişimlerin algoritmaya etkileri incelenmiş ve parametrelerin uygun değerlerinin tespit edilebilmesi amaçlanmıştır. Algoritma performansını test edebilmek için IEEE Evrimsel Hesaplama Kongresi (CEC) 2017 test fonksiyonları kullanılmıştır.

Bu çalışmada öncelikle 2. bölümde fraktal arama algoritması ile ilgili temel bilgiler sunulmuştur. Ardından 3. bölümde stokastik fraktal arama algoritması ayrıntılı bir biçimde anlatılmıştır. Bölüm 4' de simülasyon sonuçlarına ait bilgiler ve değerlendirmeler üç alt bölüm altında verilmiştir. Bölüm 4.1, 4.2 ve 4.3' de sırasıyla maksimum yayılım sayısı, başlangıç fraktal sayısı ve Gauss yürüme fonksiyonu seçimi parametrelerinin değişimlerinin algoritma performansına etkileri sunulmuştur. Sonuçlar ise 5. bölümde verilmiştir.

## 2. Fraktal Arama Algoritması

Salimi 2015' de geliştirdiği ilk algoritma olan fraktal arama algoritmasını geliştirirken, doğadaki fraktallerin yayılımlarından esinlenmiştir (Salimi, 2015). Fraktal kavramı ilk olarak Mandelbrot tarafından ortaya atılmış bir kavramdır. Fraktal bir nesne ya da niceliğin tüm ölçeklerde kendine benzerliğini ifade etmektedir. Fraktaller kendilerini tekrarlayarak sonsuza kadar gitmektedirler (Mandelbrot, 1979). Fraktal arama algoritması temelde üç basit kural çerçevesinde işletilmektedir. Bunlardan ilki her bir fraktalin bir elektriksel enerjisi vardır. İkincisi her fraktal arama uzayında yeni fraktaller oluşturma amacıyla yayılım yapar ve her fraktalin enerjisi oluşturulan yeni fraktallere aktarılır. Son olarak da en iyi uygunluk değerine sahip olan fraktallerin yalnızca belirlenen saydakileri yeni jenerasyona aktarılır, diğerleri elenir.

Algoritma başlangıçta arama uzayına rastgele olarak fraktaller yerleştirilerek başlar ve her bir fraktalin enerjisi aynıdır. Arama uzayında parçacıklar yayılırken Levy uçuşu veya gauss yürümesi metotları kullanılmaktadır. Levy uçuşu canlıların yiyecek arama davranışları incelenerek, bu davranışları sergilerlerken konumlarında yapmış oldukları değişikliklerin olasılıksal bir dağılım ile ifade edilmesi sonucu oluşturulmuştur. Bu metot kullanılarak yeni fraktaller oluşturulmaktadır. Yayılım işleminden sonra enerjiler fraktallerin uygunluk değerlerine göre dağıtılmaktadır. Daha iyi uygunluk değerine sahip olan fraktallere daha çok enerji verilirken, uygunluk değeri daha kötü olan fraktallere daha az enerji verilmektedir. Daha sonra belirlenen yüzdedeki fraktal bir sonraki jenerasyona aktarılmak üzere seçilirken, kalan kısmı da jenerasyondan atılmak üzere belirlenmektedir. Yeni jenerasyona aktarılmayacak olan fraktallerin enerjileri, aktarılacak olan fraktallere dağıtılmaktadır.

## 3. Stokastik Fraktal Arama Algoritması

Stokastik Fraktal Arama algoritması, fraktal arama algoritmasının optimize edilmek istenen probleme göre birçok parametrenin belirlenmesi gerektiği ve fraktaller arasında bilgi alışverişinin olmamasından dolayı geliştirilmiştir (Salimi, 2015). SFA algoritması iki temel süreç üzerine kurulmuştur. Bunlar yayılım ve güncelleme süreçleridir. Güncelleme süreci de kendi içerisinde birinci ve ikinci güncelleme süreçleri olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır. Yayılım süreci algoritmaya yerel arama özelliği katarken, güncelleme süreçleri ise

küresel arama işlevlerini gerçekleştirmektedir. Yayılım sürecinde fraktallerin yayılması için iki fonksiyon önerilmiştir. Bunlar Denklem (1) ve Denklem (2)'de verilmiştir.

$$GW_1 = Gaussian(\mu_{BP}, \sigma) + (\varepsilon \times BP - \varepsilon' \times P_i) \quad (1)$$

$$GW_2 = Gaussian(\mu_p, \sigma) \quad (2)$$

Denklem (1)' de yer alan  $\mu_{BP}$  o jenerasyona kadar bulunmuş en iyi uygunluk değerini veren fraktalin konumunu ifade ederken,  $\sigma$  değeri gauss yürüme fonksiyonunun adım uzunluğunu ifade eden standart sapma değeridir. Standart sapma ifadesi Denklem (3)'de verildiği gibi hesaplanmaktadır. BP en iyi uygunluk değerini veren fraktal ve  $P_i$  de yayılım yapan fraktali ifade etmektedir.  $\varepsilon$  ifadeleri de [0 1] aralığında rastgele olarak üretilen sayıları tanımlamaktadır. Ayrıca Denklem (2)' deki  $\mu_p$  ise yayılım yapan fraktalin konumunu ifade etmektedir.

$$\sigma = \left| \frac{\log(g)}{g} \times (P_i - BP) \right| \quad (3)$$

Denklem (3) incelendiğinde, en iyi uygunluk değerine sahip olan fraktal ile yayılım yapan fraktalin farkının  $\log(g)/g$  ifadesi ile çarpımı ile elde edildiği gözükmemektedir. Denklem (3)' e eklenen  $\log(g)/g$  ifadesindeki  $g$ , jenerasyon değerini ifade eder ve standart sapma fonksiyonunda bir sönümleme etkisi oluşturur. Yani, jenerasyon sayısı ilerledikçe standart sapmanın değeri düşer. Bu da daha yerel arama yapılmasına neden olurken, eğer bulunan çözüm noktası yakın çevresinde daha da iyi uygunluk değerine sahip olan bir çözüm varsa bunun bulunma olasılığını artırır. Salimi yayılım fonksiyonlarından hangisinin kullanılmasını noktasında optimize edilmek istenen problem kolaysa birinci gauss yürüme fonksiyonunun, zor ise ikinci gauss yürüme fonksiyonunun kullanılmasını önermiştir.

Yayılım süreci yapıldıktan sonra birinci ve ikinci güncelleme süreçleri işletilmektedir. Bu işlemler için öncelikle Denklem (4)' de verilen ifade ile her bir fraktale uygunluk değeri sırası dikkate alınarak bir olasılıksal değer verilmektedir. N burada jenerasyon içerisinde bulunan fraktal sayısını  $rank(P_i)$  ifadesi de fraktalin uygunluk değerine göre jenerasyon içerisindeki sırasını ifade etmektedir.

$$Pa_i = \frac{rank(P_i)}{N} \quad (4)$$

Olasılıksal değer hesaplanmasından sonra birinci güncelleme süreci başlamaktadır. Rastgele olarak üretilen  $\varepsilon$  ifadesinin olasılıksal değerden küçük ya da büyük olma durumuna göre ilgili fraktalin ilgili boyutu güncellenmektedir. Bu işlem Denklem (5)' de verildiği gibidir. Denklem (5)' de verilen  $r$  ve  $t$  alt indisleri jenerasyon içerisinde rastgele olarak seçilmiş fraktalleri ifade etmektedir.

$$P'_i(j) = \begin{cases} P_r(j) - \varepsilon \times (P_t(j) - P_i(j)) & \varepsilon > Pa_i \\ P_i(j) & \varepsilon \leq Pa_i \end{cases} \quad (5)$$

Birinci güncelleme sürecinin ardından Denklem (4) kullanılarak tekrar sıralama yapılır ve fraktallere olasılıksal değer atanır. Daha sonra üretilen rastgele sayı fraktalin olasılıksal değerinden büyük olanlar ikinci güncelleme sürecine alınır, diğerleri ikinci güncelleme sürecine girmeden jenerasyondaki konumlarını korurlar. İkinci güncelleme sürecine giren fraktaller için yine 0 ile 1 arasında rastgele olarak üretilen bir sayının 0,5 değerine göre küçük ya da büyük olmasına göre fraktalin konumu değiştirilir. Denklem (6)' da verilen ifade ile ikinci güncelleme süreci yapılmaktadır.

$$P''_i = \begin{cases} P'_i - \hat{\varepsilon} \times (P'_t - BP) & \varepsilon' \leq 0.5 \\ P'_i - \hat{\varepsilon} \times (P'_t - P'_r) & \varepsilon' > 0.5 \end{cases} \quad (6)$$

Algoritma sonlanma koşullarını sağlayıncaya kadar, yeni jenerasyon üretmeye dolayısıyla yeni çözüm noktaları üretmeye devam eder.

#### 4. Simülasyon Sonuçları

Bu çalışmada 2017 yılında evrimsel hesaplama kongresi (Congress on Evolutionary Computation) için hazırlanan test fonksiyonları kullanılmıştır (Awad vd., 2016). CEC-2017 30 farklı test fonksiyonundan oluşmaktadır ve tüm fonksiyonlar minimize edilmeye çalışılmaktadır. Arama uzayı her bir test fonksiyonu için [-100, 100] aralığı olarak belirlenmiştir. İlk üç fonksiyon tek bir minimum noktaya sahip olan ve unimodal olarak ifade edilen fonksiyonlardan, sonraki yedi fonksiyon birçok yerel minimum ve tek bir küresel minimum nokta içeren ve multimodal olarak adlandırılan fonksiyonlardan oluşmaktadır. 11-20 arasındaki fonksiyonlar hibrit ve geriye kalan fonksiyonlar da bileşim fonksiyonlarından oluşmaktadır. Ancak, CEC komitesi, 2. fonksiyonun özellikle yüksek boyutlardaki kararsız davranışlarından dolayı değerlendirmeye dahil etmemiştir. Fonksiyonların optimum nokta değerleri fonksiyon sırasının 100 katı ile ifade edilmiştir. Yani, ilk fonksiyonun optimum değeri 100 iken son fonksiyonun optimum değeri 3000'dir.

Algoritmalarda uygunluk fonksiyonu en fazla boyut sayısının 10000 katı olarak kullanılmaktadır. Örneğin; 30 boyut için uygunluk fonksiyonu 300000 kere kullanılabilir. Algoritma minimum değere 10-8' den daha yakın derecede yaklaşırsa hata 0 olarak kabul edilir ve algoritma sonlandırılır. Aksi halde maksimum uygunluk fonksiyonu kullanma sayısına kadar algoritma çalıştırılabilir. Ayrıca optimizasyon algoritmasının değerlendirilmesi için her bir algoritma CEC-2017 değerlendirme kriterlerinde 51 kez çalıştırılıp en iyi, en kötü, ortalama, orta ve standart sapma değerleri hesaplanmaktadır. Ancak, bu çalışmada her bir fonksiyon 10 kez birbirinden bağımsız olarak çalıştırılıp ilgili değerler hesaplanmıştır.

##### 4.1. Maksimum Yayılım Sayının Algoritma Performansına Etkisi

Maksimum yayılım sayısı parametresi (MYS), SFA algoritması yayılım sürecinde bir fraktalin kaç kez yayılım yapacağını belirleyen parametredir. Başlangıç fraktal sayısı 50 ve maksimum yayılım sayısı parametresi 1, 2 ve 3 olarak seçilmiştir. Ayrıca, Denklem (2)' de verilen Gauss yürüme fonksiyonu kullanılmıştır. 10 boyutta ve 30 boyutta elde edilen değerler Çizelge 1' de verilmiştir. Çizelgede Ort, SS, F, MYS, 10D ve 30D kısaltmaları sırasıyla ortalama hata, standart sapma, test fonksiyonu sırası, maksimum yayılım sayısı, 10 boyut ve 30 boyut terimlerini ifade etmektedir.

**Çizelge 1.** Maksimum yayılım sayısı parametresinin etkisi 10D-30D

F	10D						30D					
	MYS1		MYS2		MYS3		MYS1		MYS2		MYS3	
	Ort	SS	Ort	SS	Ort	SS	Ort	SS	Ort	SS	Ort	SS
1	1,57E-08	1,04E-08	1,33E-04	1,68E-04	1,19E-02	6,94E-03	9,56E-09	3,93E-10	5,22E-05	8,48E-05	8,07E-03	8,89E-03
2	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,87E+03	8,29E+03	2,34E+06	6,58E+06	3,74E+09	1,18E+10
3	7,90E-09	1,25E-09	8,04E-09	1,58E-09	1,13E-08	5,89E-09	1,40E-06	1,75E-06	2,17E-03	2,11E-03	1,84E-01	1,56E-01
4	1,91E-08	3,41E-08	1,08E-01	3,42E-01	3,84E-02	1,06E-01	9,18E+00	2,07E+01	1,64E+00	2,02E+00	3,01E+00	6,73E+00
5	2,75E+00	1,66E+00	3,73E+00	1,04E+00	4,78E+00	6,79E-01	4,15E+01	7,34E+00	4,71E+01	7,37E+00	4,68E+01	7,30E+00
6	8,79E-09	8,40E-10	9,20E-09	8,48E-10	8,48E-06	4,72E-06	9,41E-09	4,28E-10	2,23E-07	2,32E-07	1,95E-04	9,35E-05
7	1,30E+01	1,15E+00	1,56E+01	1,69E+00	1,67E+01	1,81E+00	6,70E+01	6,88E+00	7,65E+01	7,81E+00	8,00E+01	1,13E+01
8	2,42E+00	8,34E-01	4,61E+00	9,64E-01	4,73E+00	2,22E+00	3,86E+01	8,92E+00	4,38E+01	9,71E+00	4,50E+01	1,28E+01
9	8,28E-09	1,10E-09	8,42E-09	1,38E-09	8,56E-09	1,43E-09	2,50E+00	4,56E+00	3,72E+01	4,64E+01	2,46E+01	2,11E+01
10	4,56E+01	6,18E+01	1,37E+02	7,76E+01	2,22E+02	1,28E+02	2,01E+03	2,51E+02	2,08E+03	2,74E+02	2,06E+03	3,64E+02
11	1,99E-01	4,19E-01	5,08E-01	8,60E-01	1,22E+00	1,46E+00	2,37E+01	7,16E+00	2,51E+01	8,27E+00	2,86E+01	1,34E+01
12	2,65E-01	2,07E+01	6,33E+01	3,04E+01	1,49E+02	7,44E+01	3,90E+02	1,95E+02	9,03E+02	5,75E+02	1,70E+03	8,94E+02
13	2,14E+00	1,98E+00	4,99E+00	1,93E+00	6,40E+00	2,70E+00	4,16E+01	9,28E+00	5,68E+01	3,10E+01	7,90E+01	3,95E+01
14	6,00E-01	5,16E-01	1,30E+00	5,98E-01	2,19E+00	1,67E+00	2,58E+01	1,07E+01	3,07E+01	9,81E+00	3,85E+01	9,13E+00
15	1,89E-01	1,64E-01	5,85E-01	3,32E-01	9,45E-01	4,24E-01	1,56E+01	5,13E+00	1,16E+01	3,31E+00	1,91E+01	6,78E+00
16	2,48E-01	9,61E-02	5,68E-01	2,28E-01	7,93E-01	3,33E-01	4,47E+02	1,42E+02	4,00E+02	1,58E+02	4,48E+02	1,52E+02
17	9,77E-01	5,00E-01	1,92E+00	1,14E+00	4,84E+00	1,45E+00	4,31E+01	3,78E+01	6,09E+01	5,10E+01	8,82E+01	9,02E+01
18	3,75E-01	3,18E-01	2,48E+00	1,31E+00	5,38E+00	8,19E-01	2,84E+01	4,35E+00	3,45E+01	7,19E+00	3,36E+01	4,28E+00
19	8,90E-02	6,07E-02	3,69E-01	1,71E-01	7,24E-01	1,67E-01	1,20E+01	3,93E+00	1,54E+01	4,12E+00	1,69E+01	2,57E+00
20	7,21E-09	2,26E-09	2,04E-07	4,16E-07	7,87E-03	1,88E-02	9,46E+01	6,42E+01	1,23E+02	5,25E+01	1,06E+02	5,92E+01
21	1,11E+02	3,33E+01	1,11E+02	3,37E+01	1,22E+02	4,54E+01	2,41E+02	9,62E+00	2,47E+02	9,33E+00	2,47E+02	1,39E+01
22	7,61E+01	4,21E+01	1,00E+02	2,14E-01	6,65E+01	3,96E+01	1,00E+02	1,44E-13	1,00E+02	0,00E+00	1,00E+02	5,00E-13
23	3,05E+02	2,44E+00	3,06E+02	1,99E+00	3,06E+02	3,37E+01	3,99E+02	9,59E+00	4,04E+02	1,40E+01	4,08E+02	1,97E+01
24	1,57E+02	1,10E+02	1,23E+02	7,30E+01	1,23E+02	7,40E+01	4,79E+02	1,52E+01	4,91E+02	1,40E+01	4,91E+02	1,35E+01
25	3,98E+02	0,00E+00	3,98E+02	1,58E-01	3,68E+02	9,41E+01	3,87E+02	1,52E-01	3,87E+02	9,38E-02	3,86E+02	1,07E+00
26	2,40E+02	1,26E+02	2,30E+02	1,25E+02	1,90E+02	1,37E+02	8,50E+02	6,45E+02	8,00E+02	7,28E+02	5,09E+02	5,22E+02
27	3,91E+02	8,18E-01	3,90E+02	1,75E+00	3,92E+02	1,51E+00	5,11E+02	9,89E+00	5,10E+02	9,72E+00	5,13E+02	1,10E+01
28	2,70E+02	9,49E+01	2,40E+02	1,26E+02	3,00E+02	4,97E-11	3,10E+02	3,27E+01	3,00E+02	1,06E-07	3,11E+02	3,27E+01
29	2,48E+02	5,14E+00	2,51E+02	1,03E+01	2,52E+02	6,90E+00	4,86E+02	4,36E+01	4,96E+02	7,94E+01	4,98E+02	3,91E+01
30	3,98E+02	1,12E+00	4,10E+02	9,17E+00	4,46E+02	3,77E+01	2,21E+03	2,47E+02	2,17E+03	1,09E+02	2,27E+03	8,44E+01

Çizelge 1 incelendiğinde, MYS değerinin artması sonucunda ortalama hata değerleri göz önüne alındığında algoritma performansının düştüğü gözlemlenmektedir. Bunun nedeni, MYS değerinin artması ile bir

jenerasyonda kullanılan uygunluk fonksiyonu sayısının artmasıdır. Bu durum, daha az jenerasyon üreterek maksimum uygunluk fonksiyonu sayısına erişme anlamına gelmektedir. Ayrıca, algoritma daha fazla yerel arama yapmaktadır. Ortalama hata değerlerinin yanında Wilcoxon işaretli sıra testi uygulanmıştır ve sonuçları Ek 1' de verilmiştir. Bu sonuçlara göre, MYS' nin 1 olarak seçilmesi daha avantajlı olduğu görülmektedir. Wilcoxon testine göre MYS' nin 1 olarak seçilmesi MYS' nin 2 ve 3 olarak seçilmesine göre, 10 boyut için 13 ve 17 fonksiyonda daha iyi iken, diğer fonksiyonlarda benzer sonuçlar elde edilmiştir. 30 boyutta ise 8 ve 12 fonksiyonda daha iyi iken, diğer fonksiyonlarda benzer sonuçlar edilmiştir.

50 ve 100 boyutta elde edilen değerler Çizelge 2' de verilmiştir. 50 boyutta ortalama hata değerleri incelendiğinde MYS' nin 1 seçilmesi ile daha iyi sonuçların elde edildiği gözlemlenmektedir. Onu sırasıyla 2 ve 3 takip etmektedir. İstatistiksel analiz sonuçlarına göre MYS' nin 1 seçilmesi, 2 seçilmesine göre 6 fonksiyonda daha iyi sonuçların bulunmasını sağlamışken, diğer fonksiyonlarda benzer sonuçlar elde edilmiştir. MYS' nin 3 seçilmesi durumunda 12 fonksiyonda 1 seçimine göre daha kötü sonuçlar elde edilirken, diğer fonksiyonlarda benzer sonuçlar elde edilmiştir. 100 boyuttaki ortalama hata değerleri göz önüne alındığında ise, MYS' nin 1 olarak seçilmesi daha anlamlı gözükmemektedir. MYS' nin 2 seçilmesine göre 7 fonksiyonda daha iyi sonuçlar elde edilirken, 4 numaralı fonksiyonda daha kötü sonuç elde edilmiş, diğerlerinde benzer sonuçların elde edildiği gözlemlenmiştir. Ayrıca MYS' nin 3 seçilmesine göre 10 fonksiyonda daha iyi sonuçlar elde edilirken, 1. fonksiyonda da daha kötü sonuç değerleri elde edilmiştir.

**Çizelge 2.** Maksimum yayılım sayısı parametresinin etkisi 50D-100D

F	50D						100D					
	MYS1		MYS2		MYS3		MYS1		MYS2		MYS3	
	Ort	SS	Ort	SS	Ort	SS	Ort	SS	Ort	SS	Ort	SS
1	<b>1,47E+03</b>	3,91E+03	3,22E+03	3,56E+03	1,91E+03	1,56E+03	3,70E+03	3,18E+03	4,73E+03	3,91E+03	<b>2,64E+03</b>	1,89E+03
2	<b>2,22E+10</b>	6,80E+10	2,11E+14	6,65E+14	1,57E+14	3,96E+14	2,49E+48	7,87E+48	3,74E+49	1,18E+50	<b>2,70E+47</b>	8,53E+47
3	<b>3,52E-02</b>	4,35E-02	5,33E+00	7,00E+00	7,54E+01	4,61E+01	<b>7,54E+01</b>	3,38E+01	1,34E+03	6,57E+02	5,51E+03	1,54E+03
4	<b>4,96E+01</b>	4,08E+01	8,25E+01	4,25E+01	5,44E+01	3,07E+01	2,01E+02	5,32E+01	<b>1,48E+02</b>	4,16E+01	2,14E+02	4,79E+01
5	<b>1,12E+02</b>	1,67E+01	1,19E+02	1,79E+01	1,15E+02	1,53E+01	<b>3,72E+02</b>	3,09E+01	3,83E+02	5,09E+01	3,93E+02	3,35E+01
6	<b>5,06E-08</b>	1,17E-07	2,41E-06	6,03E-06	2,26E-03	2,42E-03	<b>2,26E-01</b>	2,46E-01	6,61E-01	5,14E-01	1,63E+00	7,94E-01
7	<b>1,58E+02</b>	1,09E+01	1,68E+02	2,12E+01	1,66E+02	2,29E+01	<b>5,52E+02</b>	3,38E+01	5,72E+02	8,05E+01	5,68E+02	7,32E+01
8	<b>1,11E+02</b>	8,41E+00	1,15E+02	1,10E+01	1,34E+02	1,84E+01	<b>3,76E+02</b>	3,61E+01	3,89E+02	4,95E+01	4,12E+02	4,83E+01
9	<b>5,28E+02</b>	1,77E+02	7,63E+02	2,06E+02	1,47E+03	4,64E+02	<b>6,47E+03</b>	1,76E+03	8,72E+03	1,60E+03	1,00E+04	1,80E+03
10	<b>3,91E+03</b>	4,66E+02	3,92E+03	5,22E+02	4,22E+03	5,81E+02	<b>1,10E+04</b>	1,00E+03	1,10E+04	3,99E+02	1,13E+04	9,15E+02
11	<b>6,34E+01</b>	1,08E+01	7,68E+01	2,31E+01	7,72E+01	1,54E+01	3,90E+02	6,16E+01	<b>3,69E+02</b>	5,48E+01	4,55E+02	5,82E+01
12	9,86E+03	6,69E+03	<b>5,33E+03</b>	2,36E+03	5,63E+03	1,70E+03	<b>3,08E+05</b>	1,46E+05	3,61E+05	6,85E+04	5,36E+05	2,54E+05
13	<b>3,79E+02</b>	2,45E+02	5,13E+02	3,42E+02	5,67E+02	4,52E+02	<b>1,27E+03</b>	8,91E+02	4,33E+03	4,03E+03	<b>2,70E+03</b>	1,51E+03
14	8,44E+01	1,21E+01	<b>7,80E+01</b>	1,18E+01	8,61E+01	9,28E+00	<b>1,68E+02</b>	2,05E+01	2,32E+02	5,64E+01	<b>2,12E+02</b>	3,24E+01
15	9,25E+01	2,94E+01	<b>8,75E+01</b>	2,63E+01	1,27E+02	4,72E+01	6,75E+02	3,96E+02	<b>5,35E+02</b>	4,05E+02	9,20E+02	8,10E+02
16	9,37E+02	2,71E+02	9,72E+02	1,86E+02	<b>8,23E+02</b>	1,57E+02	3,12E+03	3,77E+02	2,82E+03	3,56E+02	<b>2,78E+03</b>	4,70E+02
17	5,88E+02	1,50E+02	5,75E+02	1,43E+02	<b>5,66E+02</b>	1,05E+02	1,86E+03	3,71E+02	1,92E+03	2,43E+02	<b>1,85E+03</b>	2,29E+02
18	<b>8,28E+01</b>	3,33E+01	9,16E+01	2,56E+01	8,75E+01	2,38E+01	9,80E+03	5,35E+03	1,21E+04	6,79E+03	<b>9,74E+03</b>	1,92E+03
19	<b>3,61E+01</b>	5,90E+00	4,23E+01	1,21E+01	4,98E+01	1,57E+01	1,98E+03	1,48E+03	<b>1,08E+03</b>	1,37E+03	1,08E+03	1,45E+03
20	3,56E+02	1,44E+02	<b>3,33E+02</b>	9,21E+01	3,47E+02	1,31E+02	<b>1,63E+03</b>	2,31E+02	1,65E+03	2,85E+02	1,70E+03	1,79E+02
21	<b>3,07E+02</b>	2,35E+01	3,16E+02	2,74E+01	3,19E+02	1,92E+01	<b>5,82E+02</b>	4,73E+01	5,87E+02	4,24E+01	6,31E+02	4,51E+01
22	3,94E+03	2,06E+03	<b>2,73E+03</b>	2,34E+03	4,92E+03	6,96E+02	1,26E+04	1,05E+03	<b>1,22E+04</b>	1,25E+03	1,25E+04	7,01E+02
23	<b>5,51E+02</b>	1,47E+01	5,81E+02	2,13E+01	6,07E+02	3,12E+01	<b>8,23E+02</b>	4,61E+01	8,55E+02	3,32E+01	8,50E+02	4,40E+01
24	<b>6,56E+02</b>	2,24E+01	6,70E+02	2,96E+01	6,73E+02	2,91E+01	<b>1,28E+03</b>	4,90E+01	1,34E+03	5,49E+01	1,36E+03	6,00E+01
25	<b>4,95E+02</b>	2,98E+01	5,42E+02	2,11E+01	5,37E+02	2,97E+01	7,85E+02	6,20E+01	<b>7,66E+02</b>	5,68E+01	8,08E+02	5,36E+01
26	<b>2,80E+03</b>	2,41E+02	2,93E+03	2,69E+02	2,93E+03	2,29E+02	<b>8,38E+03</b>	6,23E+02	9,06E+03	1,02E+03	9,81E+03	9,62E+02
27	<b>5,73E+02</b>	4,87E+01	5,90E+02	2,66E+01	6,12E+02	3,44E+01	<b>7,56E+02</b>	5,13E+01	8,34E+02	5,92E+01	9,40E+02	1,12E+02
28	4,94E+02	2,00E+01	4,81E+02	2,48E+01	<b>4,73E+02</b>	1,97E+01	<b>5,57E+02</b>	3,08E+01	5,89E+02	4,27E+01	5,80E+02	3,15E+01
29	6,49E+02	1,98E+02	<b>6,47E+02</b>	1,50E+02	6,79E+02	1,51E+02	2,71E+03	4,14E+02	<b>2,59E+03</b>	3,99E+02	2,82E+03	3,77E+02
30	<b>7,10E+05</b>	7,19E+04	7,52E+05	1,13E+05	7,79E+05	8,86E+04	<b>4,47E+03</b>	1,25E+03	5,73E+03	2,33E+03	4,74E+03	1,21E+03

Elde edilen sonuçlara göre, MYS' nin 1 olarak seçilmesi yerel arama ile küresel arama arasında denge olduğunda daha iyi sonuçların elde edilebileceğini göstermektedir. Yerel aramaya ağırlık verilmesi ortalama hata değerlerini düşürmemiştir. Ancak, boyut sayısının artması ile birlikte benzer sonuçların elde edilme sayısının arttığı gözlemlenmiştir. Sonuç olarak MYS' nin 1 olarak seçilmesi ile algoritma daha iyi sonuçlar elde edebilmektedir.

#### 4.2. Başlangıç Fraktal Sayısının Algoritma Performansına Etkisi

SFA algoritması başlangıcında, belirlenen sayıda fraktal rastgele olarak arama uzayına yerleştirilir. Daha sonra yayılım ve güncelleme süreçleri ile yeni çözüm noktaları üretilerek, optimum çözüm noktası bulunmaya çalışılır. Bu bölümde başlangıç fraktal sayısının (BFS) algoritma performansına etkisi incelenmiştir. Bölüm 4.1' de simülasyonlardan elde edilen sonuçlara göre, MYS parametresi 1 olarak seçilmiştir. Ayrıca, Denklem (2)' de verilen Gauss yürüme fonksiyonu kullanılmıştır. BFS parametresi ise 25, 50, 75, 100 ve 125 olarak seçilmiştir.

Her bir simülasyon birbirinden bağımsız şekilde 10 kez çalıştırılmıştır. 10 boyutta elde edilen sonuçlar Çizelge 3' de, 30 boyutta elde edilen sonuçlar da Çizelge 4' de verilmiştir.

**Çizelge 3. Başlangıç fraktal sayısı parametresinin etkisi 10D**

F	10D									
	BFS25		BFS50		BFS75		BFS100		BFS125	
	Ort	SS	Ort	SS	Ort	SS	Ort	SS	Ort	SS
1	<b>8,04E-09</b>	1,55E-09	1,57E-08	1,04E-08	1,07E-02	5,89E-03	2,98E+00	9,77E-01	6,72E+01	2,49E+01
2	<b>0,00E+00</b>	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>	0,00E+00
3	8,65E-09	9,79E-10	<b>7,90E-09</b>	1,25E-09	4,01E-08	4,48E-08	2,99E-04	2,54E-04	3,36E-02	1,27E-02
4	1,66E+00	8,52E-01	<b>1,91E-08</b>	3,41E-08	2,66E-06	3,40E-06	1,00E-04	1,22E-04	6,45E-03	8,90E-03
5	4,38E+00	1,64E+00	<b>2,75E+00</b>	1,66E+00	5,09E+00	1,55E+00	6,20E+00	1,35E+00	6,37E+00	1,30E+00
6	<b>8,56E-09</b>	9,61E-10	8,79E-09	8,40E-10	1,42E-07	8,89E-08	4,99E-05	1,64E-05	9,71E-04	3,16E-04
7	1,45E+01	1,85E+00	<b>1,30E+01</b>	1,15E+00	1,59E+01	1,63E+00	1,63E+01	1,34E+00	1,75E+01	9,61E-01
8	4,78E+00	2,03E+00	<b>2,42E+00</b>	8,34E-01	5,35E+00	1,33E+00	5,33E+00	1,52E+00	7,22E+00	1,58E+00
9	8,15E-09	7,69E-10	8,28E-09	1,10E-09	7,82E-09	1,57E-09	<b>7,26E-09</b>	1,91E-09	1,22E-07	7,45E-08
10	1,70E+02	1,55E+02	<b>4,56E+01</b>	6,18E+01	2,18E+02	7,65E+01	2,24E+02	6,39E+01	2,66E+02	7,62E+01
11	1,06E+00	4,17E-01	<b>1,99E-01</b>	4,19E-01	1,68E+00	4,92E-01	2,09E+00	7,07E-01	2,45E+00	6,14E-01
12	4,90E+01	6,32E+01	<b>2,65E+01</b>	2,07E+01	8,92E+01	2,97E+01	2,11E+02	9,62E+01	5,31E+02	1,25E+02
13	3,59E+00	2,76E+00	<b>2,14E+00</b>	1,98E+00	5,21E+00	1,87E+00	9,63E+00	1,90E+00	8,79E+00	1,90E+00
14	1,29E+00	1,05E+00	<b>6,00E-01</b>	5,16E-01	3,36E+00	1,22E+00	6,73E+00	8,94E-01	8,08E+00	1,83E+00
15	4,81E-01	5,73E-01	<b>1,89E-01</b>	1,64E-01	1,17E+00	3,43E-01	1,72E+00	5,17E-01	2,57E+00	4,22E-01
16	1,24E+01	3,79E+01	<b>2,48E-01</b>	9,61E-02	6,51E-01	1,62E-01	1,50E+00	3,34E-01	1,86E+00	2,37E-01
17	9,91E-01	8,37E-01	<b>9,77E-01</b>	5,00E-01	3,43E+00	1,11E+00	7,35E+00	1,07E+00	1,09E+01	2,39E+00
18	4,12E-01	5,41E-01	<b>3,75E-01</b>	3,18E-01	5,38E+00	1,12E+00	1,18E+01	2,80E+00	1,54E+01	4,73E+00
19	<b>2,35E-02</b>	1,24E-02	8,90E-02	6,07E-02	7,95E-01	1,93E-01	1,33E+00	2,32E-01	2,12E+00	3,07E-01
20	1,99E-01	4,20E-01	<b>7,21E-09</b>	2,26E-09	5,34E-04	8,85E-04	6,65E-01	4,98E-01	3,46E+00	1,34E+00
21	1,43E+02	5,55E+01	1,11E+02	3,33E+01	1,11E+02	3,35E+01	<b>8,01E+01</b>	4,20E+01	1,01E+02	1,66E+00
22	9,36E+01	2,14E+01	7,61E+01	4,21E+01	5,43E+01	4,90E+01	6,49E+01	4,78E+01	<b>3,04E+01</b>	4,85E+01
23	3,07E+02	2,21E+00	<b>3,05E+02</b>	2,44E+00	3,05E+02	2,48E+00	3,07E+02	2,13E+00	3,09E+02	2,06E+00
24	2,40E+02	1,20E+02	1,57E+02	1,10E+02	1,66E+02	9,48E+01	1,70E+02	1,13E+02	<b>1,00E+02</b>	6,92E-04
25	4,21E+02	2,39E+01	3,98E+02	0,00E+00	3,98E+02	9,32E-02	<b>3,98E+02</b>	2,94E-10	3,98E+02	7,07E-04
26	3,00E+02	0,00E+00	2,40E+02	1,26E+02	3,00E+02	1,31E-12	<b>1,80E+02</b>	1,32E+02	2,72E+02	4,48E+01
27	3,93E+02	2,51E+00	3,91E+02	8,18E-01	<b>3,90E+02</b>	1,41E+00	3,91E+02	8,72E-01	3,92E+02	1,40E+00
28	2,70E+02	9,49E+01	2,70E+02	9,49E+01	2,70E+02	9,49E+01	2,70E+02	9,49E+01	<b>2,40E+02</b>	1,26E+02
29	2,49E+02	1,63E+01	<b>2,48E+02</b>	5,14E+00	2,52E+02	4,89E+00	2,59E+02	7,29E+00	2,57E+02	4,54E+00
30	4,17E+02	3,29E+01	<b>3,98E+02</b>	1,12E+00	4,43E+02	1,44E+01	5,18E+02	2,89E+01	6,85E+02	9,65E+01

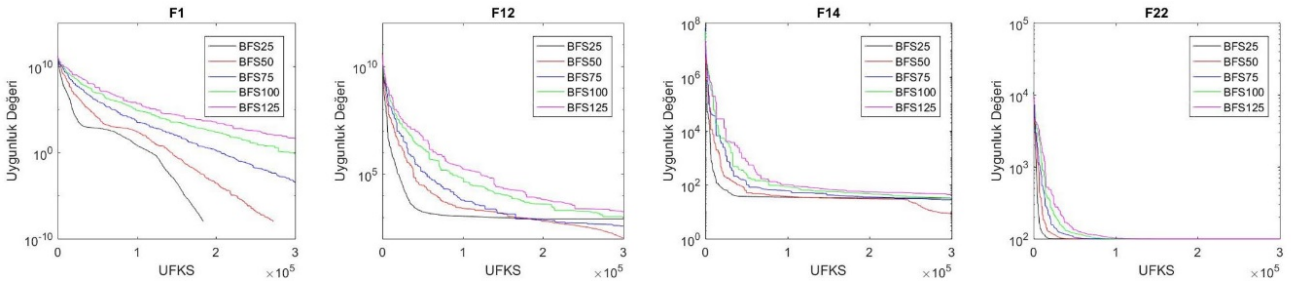
**Çizelge 4. Başlangıç fraktal sayısı parametresinin etkisi 30D**

F	30D											
	BFS25		BFS50		BFS75		BFS100		BFS125			
	Ort	SS	Ort	SS	Ort	SS	Ort	SS	Ort	SS	Ort	SS
1	2,13E+03	1,96E+03	<b>9,56E-09</b>	3,93E-10	3,06E-03	3,61E-03	2,20E+00	1,37E+00	9,06E+01	5,52E+01		
2	2,42E+09	7,05E+09	<b>2,87E+03</b>	8,29E+03	3,21E+07	7,68E+07	2,98E+08	3,92E+08	2,85E+10	4,11E+10		
3	<b>9,64E-09</b>	3,03E-10	1,40E-06	1,75E-06	4,18E-02	3,14E-02	1,01E+01	3,76E+00	2,07E+02	8,21E+01		
4	3,61E+01	3,54E+01	9,18E+00	2,07E+01	<b>1,34E+00</b>	1,97E+00	2,38E+01	3,48E+01	3,72E+01	3,80E+01		
5	5,73E+01	1,04E+01	4,15E+01	7,34E+00	<b>4,15E+01</b>	6,82E+00	5,42E+01	6,89E+00	5,42E+01	6,56E+00		
6	6,07E-05	1,56E-04	<b>9,41E-09</b>	4,28E-10	4,05E-06	3,12E-06	1,31E-03	6,97E-04	2,79E-02	6,60E-03		
7	9,76E+01	1,05E+01	<b>6,70E+01</b>	6,88E+00	7,51E+01	1,31E+01	8,52E+01	1,29E+01	8,47E+01	5,75E+00		
8	6,28E+01	1,06E+01	<b>3,86E+01</b>	8,92E+00	4,19E+01	1,03E+01	5,40E+01	8,86E+00	5,68E+01	6,92E+00		
9	1,89E+02	1,46E+02	2,50E+00	4,56E+00	<b>8,51E-09</b>	8,44E-10	5,83E-02	8,28E-02	5,61E+00	5,61E+00		
10	2,22E+03	3,29E+02	<b>2,01E+03</b>	2,51E+02	2,18E+03	2,90E+02	2,41E+03	1,83E+02	2,69E+03	1,87E+02		
11	4,99E+01	1,96E+01	2,37E+01	7,16E+00	<b>1,64E+01</b>	6,74E+00	3,20E+01	2,33E+01	4,00E+01	1,17E+01		
12	1,14E+04	9,76E+03	<b>3,90E+02</b>	1,95E+02	9,74E+02	3,35E+02	1,65E+03	3,43E+02	2,61E+03	4,20E+02		
13	4,94E+02	8,03E+02	<b>4,16E+01</b>	9,28E+00	6,76E+01	2,86E+01	8,87E+01	1,32E+01	1,43E+02	1,96E+01		
14	4,33E+01	8,68E+00	<b>2,58E+01</b>	1,07E+01	3,65E+01	5,00E+00	4,15E+01	5,86E+00	5,06E+01	5,39E+00		
15	3,58E+01	1,08E+01	<b>1,56E+01</b>	5,13E+00	1,93E+01	3,21E+00	2,78E+01	8,62E+00	3,98E+01	8,83E+00		
16	5,79E+02	1,05E+02	4,47E+02	1,42E+02	3,73E+02	9,76E+01	4,20E+02	8,70E+01	<b>3,60E+02</b>	1,34E+02		
17	1,32E+02	9,87E+01	<b>4,31E+01</b>	3,78E+01	4,65E+01	8,13E+00	6,73E+01	3,58E+01	7,44E+01	3,50E+01		
18	1,62E+02	1,13E+02	<b>2,84E+01</b>	4,35E+00	3,40E+01	4,36E+00	4,46E+01	4,00E+00	6,23E+01	6,43E+00		
19	2,18E+01	5,89E+00	<b>1,20E+01</b>	3,93E+00	1,45E+01	2,61E+00	1,80E+01	1,98E+00	2,58E+01	4,39E+00		
20	1,98E+02	8,73E+01	9,46E+01	6,42E+01	<b>8,57E+01</b>	6,20E+01	8,94E+01	6,03E+01	1,09E+02	4,42E+01		
21	2,54E+02	1,48E+01	<b>2,41E+02</b>	9,62E+00	2,42E+02	8,91E+00	2,54E+02	9,07E+00	2,55E+02	6,32E+00		
22	<b>1,00E+02</b>	2,40E-13	<b>1,00E+02</b>	1,44E-13	<b>1,00E+02</b>	3,59E-13	<b>1,00E+02</b>	5,92E-09	<b>1,00E+02</b>	1,06E-06		
23	4,20E+02	1,43E+01	3,99E+02	9,59E+00	<b>3,96E+02</b>	1,17E+01	4,02E+02	1,35E+01	4,06E+02	9,50E+00		
24	4,89E+02	2,51E+01	4,79E+02	1,52E+01	<b>4,72E+02</b>	1,30E+01	4,79E+02	1,31E+01	4,84E+02	8,40E+00		
25	3,87E+02	3,31E-01	3,87E+02	1,52E-01	<b>3,86E+02</b>	1,07E+00	3,87E+02	5,46E-02	3,87E+02	3,69E-02		
26	1,54E+03	7,01E+02	8,50E+02	6,45E+02	6,34E+02	5,92E+02	6,54E+02	6,41E+02	<b>5,33E+02</b>	5,72E+02		
27	5,28E+02	7,39E+00	<b>5,11E+02</b>	9,89E+00	5,13E+02	4,81E+00	5,12E+02	5,77E+00	5,20E+02	6,03E+00		
28	3,21E+02	4,51E+01	3,10E+02	3,27E+01	<b>3,00E+02</b>	1,96E-05	3,00E+02	3,21E-01	3,05E+02	1,48E+01		
29	6,10E+02	8,31E+01	4,86E+02	4,36E+01	<b>4,79E+02</b>	4,72E+01	5,29E+02	4,49E+01	5,46E+02	2,69E+01		
30	2,80E+03	5,17E+02	2,21E+03	2,47E+02	<b>2,17E+03</b>	8,34E+01	2,44E+03	8,11E+01	3,21E+03	2,72E+02		

Çizelge 3 incelendiğinde, ortalama hata değerlerine göre BFS50 BFS25' e göre, BFS25' de BFS75' e göre daha iyi sonuç elde etmektedir. Elde edilen sonuçlar üzerinde Wilcoxon istatistiksel analiz yöntemi uygulanmıştır ve sonuçları Ek 2' de verilmiştir. Bu sonuçlara göre, BFS50' nin BFS25' e göre 6 fonksiyonda daha iyi, 1 fonksiyonda daha kötü, diğerlerinde ise benzer sonuçlar elde ettiği, BFS75' e göre 16 fonksiyonda daha iyi sonuç elde ettiği gözlemlenmiştir. BFS100 ve BFS125' e göre BFS50, 21 fonksiyonda daha iyi sonuç vermiştir.

Elde edilen sonuçlara göre, BFS parametresinin 50 olarak seçilmesinin daha iyi olduğu görülmektedir. Ayrıca minimum hata değerleri incelendiğinde BFS25' in yerel minimum noktalara daha sık takıldığı gözlemlenmiştir. BFS sayısının fazla olması, algoritmanın başlangıçta arama uzayı hakkında daha fazla bilgi sahibi olmasını sağlarken, bir jenerasyonda kullandığı uygunluk fonksiyonu kullanım sayısını artırmaktadır. Dolayısıyla daha az jenerasyon üreterek algoritma sonlanmaktadır. BFS sayısının az olması halinde ise, daha fazla jenerasyon üretilebilir, ancak arama uzayı keşfedilemeden yerel minimum noktalara takılma olasılığı artmaktadır.

Çizelge 4 incelendiğinde, ortalama hata değerlerine göre BFS50 BFS75' e göre, BFS75' de BFS100' e göre daha iyi sonuç elde etmektedir. İstatistiksel analiz sonuçlarına göre BFS' nin 50 olarak seçilmesi 75 olarak seçilmesine göre 7 fonksiyonda daha iyi sonuç üretirken, 2 fonksiyonda daha kötü sonuç üretmesine sebep olmuştur. Ayrıca, en düşük hata değerlerin elde edilmesi noktasında BFS50' nin seçilmesi ile daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Şekil 1' de 30 boyutta test fonksiyonları için uygunluk değeri yaklaşım grafikleri verilmiştir. Şekil 1' den görüleceği üzere, BFS' nin uygunluk fonksiyonu kullanımına göre en hızlı yakınsama sıralamasının 25, 50, 75, 100, ve 125 olduğu görülmektedir. BFS sayısı arttıkça uygunluk fonksiyonu kullanımına göre yakınsama hızı azalmıştır.



**Şekil 1.** Fonksiyon uygunluk değeri yaklaşım grafikleri 30D

Çizelge 5' de 50 boyutta yapılan simülasyon sonuçları verilmiştir. Boyutun artması ile birlikte artan zorluk ve uygunluk fonksiyonu kullanma sayısından dolayı BFS' nin 25 seçilmesi yerine 150 seçilmesi test edilmiştir. Ortalama hata değerleri incelendiğinde BFS' nin 75 seçilmesi durumunda BFS100' e göre ve BFS100' ün de BFS50' ye göre daha iyi sonuçlar elde ettiği görülmektedir. İstatistiksel analizlere göre BFS' nin 75 seçilmesi 50 seçilmesine göre 5 fonksiyonda daha iyi, 2 fonksiyonda daha kötü sonuç verirken 23 fonksiyonda da benzer sonuçlar elde edilmesini sağlamıştır. Bu bilgiler doğrultusunda BFS75 50 boyut için daha uygun bir seçim olarak gözükmektedir.

Çizelge 6' da 100 boyutta yapılan simülasyon sonuçları verilmiştir. BFS75' in burada da daha uygun sonuçları verdiği görülmektedir. BFS75, BFS50 ve BFS100' e göre sırasıyla 10 ve 6 fonksiyonda daha iyi sonuçlar verirken, yine sırasıyla 1 ve 4 fonksiyonda daha kötü sonuç vermiştir. Kalan fonksiyonlarda benzer sonuçların üretildiği gözükmektedir. 50 boyutta olduğu gibi 100 boyutta da BFS' nin 75 olarak seçilmesi durumunda algoritmanın daha iyi sonuçlar elde ettiği söylenebilir.

Bu bölümde yapılan simülasyon sonuçları değerlendirildiğinde 10 ve 30 boyut için BFS' nin 50, 50 ve 100 boyut için de BFS' nin 75 olarak seçilmesi algoritma performansını artırdığı gözlemlenmektedir.

Çizelge 5. Başlangıç fraktal sayısı parametresinin etkisi 50D

F	50D									
	BFS50		BFS75		BFS100		BFS125		BFS150	
	Ort	SS	Ort	SS	Ort	SS	Ort	SS	Ort	SS
1	1,47E+03	3,91E+03	<b>1,97E+02</b>	2,48E+02	1,31E+03	1,23E+03	1,47E+03	2,31E+03	1,81E+03	1,89E+03
2	<b>2,22E+10</b>	6,80E+10	6,32E+16	1,98E+17	6,21E+20	1,39E+21	2,65E+23	7,55E+23	1,96E+28	6,19E+28
3	<b>3,52E-02</b>	4,35E-02	4,03E+00	2,47E+00	1,02E+02	5,84E+01	7,96E+02	3,85E+02	2,83E+03	1,07E+03
4	4,96E+01	4,08E+01	5,41E+01	3,75E+01	5,00E+01	3,02E+01	<b>4,10E+01</b>	2,49E+01	6,47E+01	3,70E+01
5	1,12E+02	1,67E+01	<b>1,02E+02</b>	9,63E+00	1,02E+02	1,61E+01	1,23E+02	9,20E+00	1,36E+02	1,98E+01
6	<b>5,06E-08</b>	1,17E-07	3,06E-06	3,55E-06	1,78E-03	6,36E-04	4,30E-02	1,61E-02	2,26E-01	5,86E-02
7	1,58E+02	1,09E+01	<b>1,48E+02</b>	1,61E+01	1,52E+02	1,98E+01	1,61E+02	1,92E+01	1,74E+02	2,12E+01
8	1,11E+02	8,41E+00	<b>1,01E+02</b>	1,45E+01	1,14E+02	2,42E+01	1,22E+02	1,37E+01	1,34E+02	1,31E+01
9	5,28E+02	1,77E+02	3,31E+02	1,92E+02	2,65E+02	1,67E+02	<b>2,24E+02</b>	1,16E+02	2,62E+02	1,01E+02
10	<b>3,91E+03</b>	4,66E+02	4,16E+03	3,55E+02	4,68E+03	4,66E+02	5,02E+03	2,37E+02	5,20E+03	2,40E+02
11	<b>6,34E+01</b>	1,08E+01	6,56E+01	6,52E+00	7,94E+01	2,47E+01	9,62E+01	1,40E+01	1,03E+02	1,19E+01
12	9,86E+03	6,69E+03	<b>3,54E+03</b>	1,37E+03	4,44E+03	7,65E+02	7,10E+03	1,09E+03	1,53E+04	3,66E+03
13	3,79E+02	2,45E+02	<b>2,05E+02</b>	4,87E+01	2,52E+02	4,79E+01	3,50E+02	4,71E+01	4,80E+02	8,25E+01
14	8,44E+01	1,21E+01	<b>6,73E+01</b>	1,38E+01	8,10E+01	1,03E+01	9,48E+01	8,69E+00	1,13E+02	1,41E+01
15	9,25E+01	2,94E+01	<b>7,04E+01</b>	1,57E+01	9,14E+01	2,14E+01	1,00E+02	1,55E+01	1,31E+02	1,74E+01
16	9,37E+02	2,71E+02	<b>8,47E+02</b>	3,38E+02	<b>8,25E+02</b>	1,75E+02	9,02E+02	1,04E+02	8,83E+02	1,71E+02
17	5,88E+02	1,50E+02	<b>5,40E+02</b>	1,48E+02	5,48E+02	1,51E+02	5,83E+02	1,02E+02	6,02E+02	1,23E+02
18	8,28E+01	3,33E+01	<b>5,75E+01</b>	1,00E+01	7,08E+01	7,37E+00	1,17E+02	1,06E+01	1,99E+02	3,45E+01
19	3,61E+01	5,90E+00	<b>3,26E+01</b>	9,07E+00	3,77E+01	6,08E+00	4,16E+01	8,10E+00	5,43E+01	7,99E+00
20	3,56E+02	1,44E+02	2,97E+02	1,90E+02	3,35E+02	6,97E+01	<b>2,71E+02</b>	8,78E+01	3,86E+02	9,26E+01
21	3,07E+02	2,35E+01	<b>2,98E+02</b>	1,94E+01	3,10E+02	1,37E+01	3,20E+02	1,86E+01	3,32E+02	1,63E+01
22	3,94E+03	2,06E+03	4,48E+03	1,60E+03	2,80E+03	2,86E+03	<b>2,40E+03</b>	2,97E+03	3,61E+03	3,03E+03
23	5,51E+02	1,47E+01	<b>5,51E+02</b>	2,73E+01	5,57E+02	3,00E+01	5,71E+02	1,94E+01	5,91E+02	1,79E+01
24	6,56E+02	2,24E+01	6,41E+02	2,71E+01	<b>6,35E+02</b>	1,72E+01	6,57E+02	1,91E+01	6,58E+02	2,06E+01
25	<b>4,95E+02</b>	2,98E+01	5,06E+02	2,69E+01	5,28E+02	2,39E+01	5,09E+02	3,82E+01	5,05E+02	2,73E+01
26	2,80E+03	2,41E+02	2,36E+03	7,43E+02	<b>2,23E+03</b>	7,53E+02	2,75E+03	1,39E+02	2,73E+03	1,97E+02
27	5,73E+02	4,87E+01	<b>5,52E+02</b>	2,01E+01	5,67E+02	3,44E+01	5,89E+02	1,63E+01	6,20E+02	2,98E+01
28	4,94E+02	2,00E+01	4,69E+02	1,85E+01	<b>4,59E+02</b>	1,95E-04	4,59E+02	2,78E-03	4,59E+02	2,61E-01
29	6,49E+02	1,98E+02	6,95E+02	1,24E+02	6,72E+02	1,60E+02	<b>6,35E+02</b>	1,48E+02	7,12E+02	1,25E+02
30	<b>7,10E+05</b>	7,19E+04	7,41E+05	8,24E+04	7,76E+05	6,07E+04	9,22E+05	1,16E+05	9,75E+05	9,53E+04

Çizelge 6. Başlangıç fraktal sayısı parametresinin etkisi 100D

F	100D									
	BFS50		BFS75		BFS100		BFS125		BFS150	
	Ort	SS	Ort	SS	Ort	SS	Ort	SS	Ort	SS
1	3,70E+03	3,18E+03	<b>4,94E+02</b>	4,77E+02	1,98E+03	1,05E+03	5,24E+03	4,79E+03	6,14E+03	4,50E+03
2	2,49E+48	7,87E+48	<b>2,79E+41</b>	6,72E+41	9,00E+46	2,68E+47	5,02E+54	1,35E+55	1,22E+61	3,73E+61
3	<b>7,54E+01</b>	3,38E+01	6,96E+02	3,21E+02	3,21E+03	8,55E+02	7,42E+03	1,52E+03	1,23E+04	4,04E+03
4	2,01E+02	5,32E+01	<b>1,74E+02</b>	4,65E+01	1,96E+02	4,58E+01	2,17E+02	3,63E+01	2,59E+02	3,53E+01
5	3,72E+02	3,09E+01	<b>3,36E+02</b>	2,89E+01	3,48E+02	5,06E+01	3,76E+02	4,34E+01	3,68E+02	2,04E+01
6	2,26E-01	2,46E-01	<b>7,98E-05</b>	1,37E-04	9,20E-04	6,10E-04	6,82E-02	5,32E-02	3,55E-01	6,07E-02
7	5,52E+02	3,38E+01	4,62E+02	3,63E+01	<b>4,25E+02</b>	3,04E+01	4,57E+02	5,63E+01	4,68E+02	4,87E+01
8	3,76E+02	3,61E+01	3,45E+02	3,82E+01	3,62E+02	3,24E+01	<b>3,26E+02</b>	2,66E+01	3,75E+02	3,40E+01
9	6,47E+03	1,76E+03	5,43E+03	1,74E+03	<b>5,16E+03</b>	1,29E+03	5,99E+03	1,89E+03	5,27E+03	1,14E+03
10	1,10E+04	1,00E+03	<b>1,09E+04</b>	7,74E+02	1,17E+04	6,28E+02	1,25E+04	3,34E+02	1,32E+04	4,63E+02
11	3,90E+02	6,16E+01	<b>3,17E+02</b>	8,04E+01	3,69E+02	5,71E+01	5,43E+02	7,56E+01	6,21E+02	6,00E+01
12	3,08E+05	1,46E+05	3,85E+05	1,20E+05	2,53E+05	1,20E+05	<b>1,47E+05</b>	9,17E+04	1,57E+05	8,90E+04
13	<b>1,27E+03</b>	8,91E+02	2,51E+03	1,59E+03	1,29E+03	7,05E+02	1,84E+03	1,23E+03	1,65E+03	1,03E+03
14	2,38E+02	2,05E+01	<b>1,80E+02</b>	1,55E+01	1,94E+02	3,82E+01	1,94E+02	1,94E+01	2,64E+02	3,47E+01
15	6,75E+02	3,96E+02	3,69E+02	1,87E+02	<b>3,00E+02</b>	5,54E+01	3,09E+02	4,89E+01	3,95E+02	5,94E+01
16	3,12E+03	3,77E+02	2,73E+03	4,46E+02	<b>2,62E+03</b>	3,01E+02	2,64E+03	2,61E+02	2,79E+03	4,39E+02
17	1,86E+03	3,71E+02	1,76E+03	1,70E+02	<b>1,75E+03</b>	3,26E+02	1,77E+03	2,28E+02	2,03E+03	1,47E+02
18	9,80E+03	5,35E+03	2,17E+03	9,21E+02	2,66E+02	6,69E+01	<b>2,49E+02</b>	2,06E+01	3,52E+02	3,87E+01
19	1,98E+03	1,48E+03	1,91E+02	4,62E+01	<b>1,36E+02</b>	1,79E+01	1,43E+02	2,60E+01	1,68E+02	3,56E+01
20	1,63E+03	2,31E+02	1,60E+03	2,01E+02	<b>1,46E+03</b>	1,93E+02	1,59E+03	1,83E+02	1,78E+03	2,33E+02
21	5,82E+02	4,73E+01	5,53E+02	4,15E+01	<b>5,41E+02</b>	4,86E+01	5,90E+02	1,93E+01	5,87E+02	4,25E+01
22	<b>1,26E+04</b>	1,05E+03	1,26E+04	7,62E+02	1,39E+04	5,36E+02	1,43E+04	5,74E+02	1,41E+04	5,01E+02
23	8,23E+02	4,61E+01	8,06E+02	5,65E+01	<b>7,64E+02</b>	3,00E+01	7,86E+02	4,17E+01	8,02E+02	4,42E+01
24	1,28E+03	4,90E+01	1,29E+03	5,17E+01	1,28E+03	3,28E+01	<b>1,24E+03</b>	5,97E+01	1,29E+03	5,59E+01
25	7,85E+02	6,20E+01	7,71E+02	4,66E+01	<b>7,44E+02</b>	5,22E+01	7,58E+02	4,22E+01	7,50E+02	3,79E+01
26	8,38E+03	6,23E+02	7,41E+03	5,12E+02	7,55E+03	5,45E+02	<b>7,17E+03</b>	5,42E+02	7,30E+03	7,85E+02
27	7,56E+02	5,13E+01	7,34E+02	3,98E+01	7,36E+02	2,49E+01	<b>7,29E+02</b>	6,50E+01	7,36E+02	6,48E+01
28	<b>5,57E+02</b>	3,08E+01	5,73E+02	2,73E+01	5,81E+02	2,35E+01	5,95E+02	4,27E+01	6,02E+02	1,39E+01
29	2,71E+03	4,14E+02	2,41E+03	3,76E+02	<b>2,39E+03</b>	3,22E+02	2,40E+03	3,30E+02	2,61E+03	3,19E+02
30	<b>4,47E+03</b>	1,25E+03	5,01E+03	1,61E+03	5,49E+03	1,73E+03	5,83E+03	1,17E+03	6,50E+03	1,41E+03



### 4.3. Gauss Yürüme Fonksiyon Seçiminin Algoritma Performansına Etkisi

SFA algoritmasında yayılım sürecinde iki farklı Gauss yürüme fonksiyonu kullanımı önerilmiştir. Kolay problemler için Denklem (1)' de gösterilen Gauss yürüme fonksiyonunun kullanılması önerilirken, zor problemler için Denklem (2)' de gösterilen Gauss yürüme fonksiyonunun kullanımı önerilmektedir. Bu bölümde daha önceki bölümlerde algoritmanın daha iyi sonuç vermesini sağlayan parametreler kullanılmıştır. Bir başka deyişle MYS değeri 1, BFS değeri de 10 ve 30 boyut için 50, 50 ve 100 boyut için 75 olarak seçilmiştir. Çizelge 7' de Gauss yürüme fonksiyon seçiminin sonuçları verilmiştir. Çizelgede G1 ve G2 Gauss yürüme fonksiyonlarını ifade etmek üzere sırasıyla Denklem (1) ve Denklem (2)' de verildiği şekliyle kullanılmaktadır. Çizelge incelendiğinde ortalama hata değerleri göz önüne alındığında G2' nin daha iyi değerler elde ettiği görülmektedir. Wilcoxon istatistiksel analizi sonuçları Ek 3' de verilmiştir. Bu sonuçlara göre, 10, 30, 50 ve 100 boyutta sırasıyla 7, 5, 10 ve 13 fonksiyonda daha iyi sonuçlar elde edilirken, 22, 25, 18 ve 17 fonksiyonda benzer sonuçlar elde edilmiştir. Buradan boyut sayısı arttıkça G2 Gauss yürümesi ile bulunan sonuçların daha iyi olduğu sonucu çıkarılmaktadır. Boyutun artması ile birlikte artan zorluk derecesinden dolayı G2 fonksiyonunu kullanmak algoritma performansını artırmaktadır. Minimum değerlerin bulunması noktasında yapılan analizlerde G1 fonksiyonunun daha başarılı olduğu gözükmemektedir. Buradan yapılacak çıkarım, arama uzayında optimum noktanın yakın bir çevresinde çözüm noktası elde edilmesi halinde, G1 fonksiyonu Gauss yürüme merkezine en iyi uygunluk değerine sahip olan fraktali aldığı için, optimum noktaya yaklaşılabilmektedir, en iyi uygunluk değerini veren fraktal optimum noktadan uzaksa yerel optimum noktalara takılabilmektedir.

**Çizelge 7. Gauss yürüme fonksiyonu seçiminin etkisi 10D-30D-50D-100D**

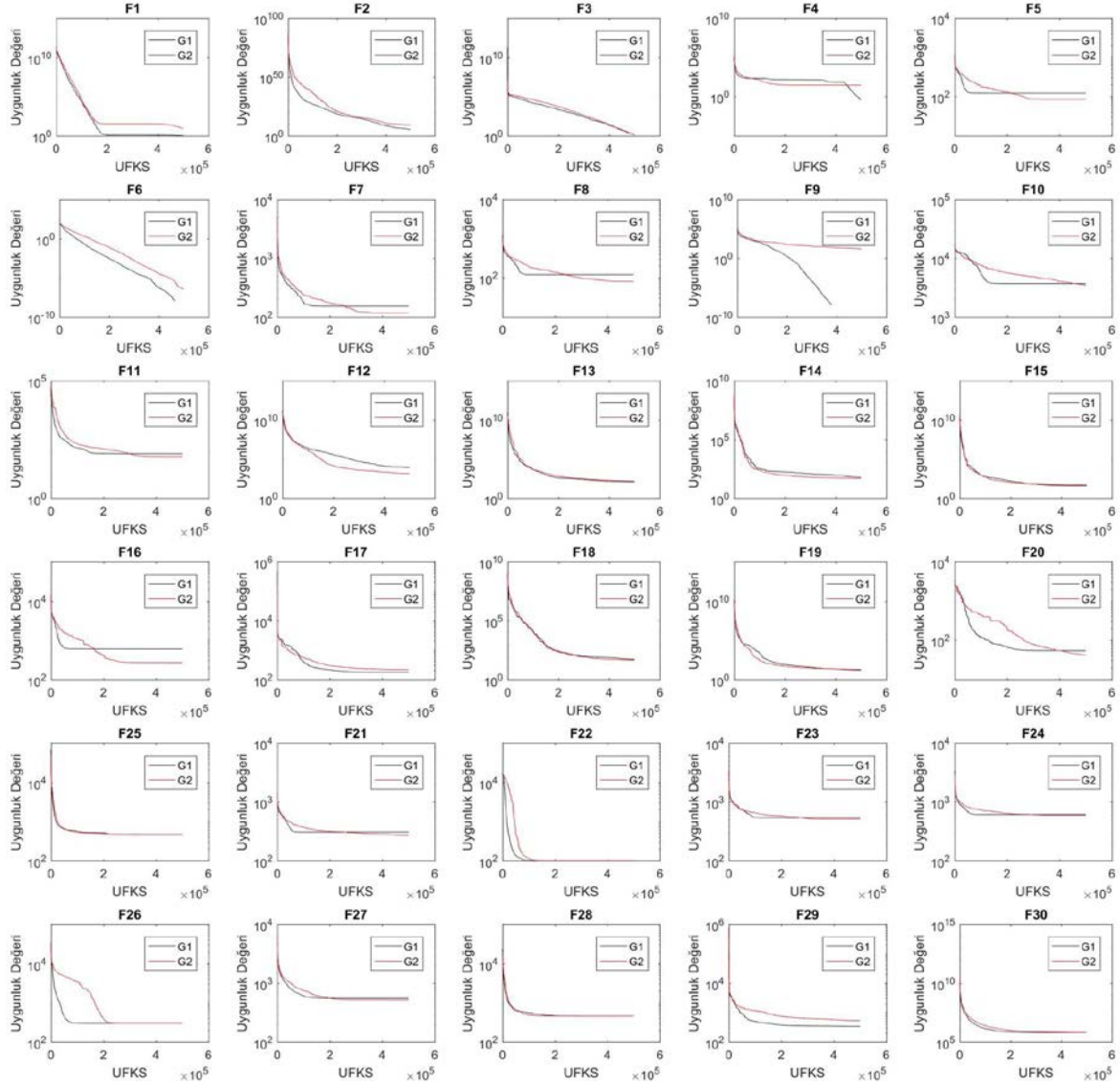
F	10D				30D				50D				100D			
	G1		G2		G1		G2		G1		G2		G1		G2	
	Ort	SS	Ort	SS	Ort	SS	Ort	SS	Ort	SS	Ort	SS	Ort	SS	Ort	SS
1	2,94E-06	2,02E-06	<b>1,57E-08</b>	1,04E-08	5,52E-07	1,27E-06	<b>9,56E-09</b>	3,93E-10	7,87E+02	1,26E+03	<b>1,97E+02</b>	2,48E+02	2,09E+03	4,16E+03	<b>4,94E+02</b>	4,77E+02
2	<b>0,00E+00</b>	0,00E+00	<b>0,00E+00</b>	0,00E+00	<b>2,44E+03</b>	5,53E+03	2,87E+03	8,29E+03	<b>6,99E+11</b>	2,13E+12	6,32E+16	1,98E+17	<b>1,60E+39</b>	4,83E+39	2,79E+41	6,72E+41
3	<b>7,86E-09</b>	1,91E-09	7,90E-09	1,25E-09	1,85E-06	3,59E-06	<b>1,40E-06</b>	1,75E-06	6,53E+00	4,62E+00	<b>4,03E+00</b>	2,47E+00	9,60E+02	5,01E+02	<b>6,96E+02</b>	3,21E+02
4	8,25E-07	1,05E-06	<b>1,91E-08</b>	3,41E-08	<b>7,27E+00</b>	2,01E+01	9,18E+00	2,07E+01	<b>4,71E+01</b>	3,41E+01	5,41E+01	3,75E+01	2,10E+02	3,48E+01	<b>1,74E+02</b>	4,65E+01
5	3,98E+00	2,48E+00	<b>2,75E+00</b>	1,66E+00	6,43E+01	2,05E+01	<b>4,15E+01</b>	7,34E+00	1,56E+02	4,02E+01	<b>1,02E+02</b>	9,63E+00	5,23E+02	8,45E+01	<b>3,36E+02</b>	2,89E+01
6	<b>7,92E-09</b>	2,05E-09	8,79E-09	8,40E-10	1,19E-02	3,77E-02	<b>9,41E-09</b>	4,28E-10	<b>9,60E-09</b>	2,69E-10	3,06E-06	3,55E-06	3,38E-01	6,62E-01	<b>7,98E-05</b>	1,37E-04
7	1,32E+01	1,32E+00	<b>1,30E+01</b>	1,15E+00	1,01E+02	1,64E+01	<b>6,70E+01</b>	6,88E+00	2,12E+02	4,50E+01	<b>1,48E+02</b>	1,61E+01	7,39E+02	1,17E+02	<b>4,62E+02</b>	3,63E+01
8	4,68E+00	2,44E+00	<b>2,42E+00</b>	8,34E-01	6,99E+01	1,09E+01	<b>3,86E+01</b>	8,92E+00	1,62E+02	3,98E+01	<b>1,01E+02</b>	1,45E+01	5,17E+02	7,06E+01	<b>3,45E+02</b>	3,82E+01
9	<b>8,05E-09</b>	1,31E-09	8,28E-09	1,10E-09	8,43E+00	2,60E+01	<b>2,50E+00</b>	4,56E+00	<b>8,35E+01</b>	1,56E+02	3,31E+02	1,92E+02	6,39E+03	4,91E+03	<b>5,43E+03</b>	1,74E+03
10	1,15E+02	6,91E+01	<b>4,56E+01</b>	6,18E+01	2,29E+03	5,24E+02	<b>2,01E+03</b>	2,51E+02	4,72E+03	5,19E+02	<b>4,16E+03</b>	3,55E+02	1,31E+04	7,74E+02	<b>1,09E+04</b>	7,74E+02
11	3,05E-01	4,77E-01	<b>1,99E-01</b>	4,19E-01	<b>2,11E+01</b>	9,79E+00	2,37E+01	7,16E+00	1,20E+02	2,60E+01	<b>6,56E+01</b>	6,52E+00	<b>2,65E+02</b>	6,21E+01	3,17E+02	8,04E+01
12	5,35E+01	3,52E+01	<b>2,65E+01</b>	2,07E+01	5,83E+03	5,14E+03	<b>3,90E+02</b>	1,95E+02	2,12E+04	1,39E+04	<b>3,54E+03</b>	1,37E+03	4,62E+05	2,26E+05	<b>3,85E+05</b>	1,20E+05
13	<b>3,96E+00</b>	1,65E+00	<b>2,14E+00</b>	1,98E+00	4,79E+01	1,27E+01	<b>4,16E+01</b>	9,28E+00	1,68E+02	3,25E+03	<b>2,05E+02</b>	4,87E+01	4,04E+02	4,41E+03	<b>2,51E+03</b>	1,59E+03
14	8,42E-01	9,04E-01	<b>6,00E-01</b>	5,16E-01	<b>1,67E+01</b>	7,26E+00	2,58E+01	1,07E+01	6,77E+01	6,34E+00	<b>6,73E+01</b>	1,38E+01	1,92E+02	3,21E+01	<b>1,80E+02</b>	1,55E+01
15	3,38E-01	1,67E-01	<b>1,89E-01</b>	1,64E-01	<b>1,31E+01</b>	4,00E+00	1,56E+01	5,13E+00	<b>6,53E+01</b>	2,26E+01	7,04E+01	1,57E+01	1,91E+03	2,21E+03	<b>3,69E+02</b>	1,87E+02
16	5,29E-01	2,60E-01	<b>2,48E-01</b>	9,61E-02	5,42E+02	2,00E+02	<b>4,47E+02</b>	1,42E+02	1,11E+03	2,97E+02	<b>8,47E+02</b>	3,38E+02	3,13E+03	7,38E+02	<b>2,73E+03</b>	4,46E+02
17	<b>3,96E-01</b>	4,42E-01	9,77E-01	5,00E-01	6,16E+01	5,85E+01	<b>4,31E+01</b>	3,78E+01	5,91E+02	2,40E+02	<b>5,40E+02</b>	1,48E+02	2,12E+03	4,59E+02	<b>1,76E+03</b>	1,70E+02
18	9,35E-01	4,80E-01	<b>3,75E-01</b>	3,18E-01	2,98E+01	4,45E+00	<b>2,84E+01</b>	4,35E+00	6,45E+01	7,26E+00	<b>5,75E+01</b>	1,00E+01	1,18E+04	5,50E+03	<b>2,17E+03</b>	9,21E+02
19	1,37E-01	5,83E-02	<b>8,90E-02</b>	6,07E-02	<b>1,06E+01</b>	2,99E+00	1,20E+01	3,93E+00	<b>3,13E+01</b>	7,87E+00	3,26E+01	9,07E+00	4,54E+03	3,84E+03	<b>1,91E+02</b>	4,62E+01
20	9,95E-02	3,15E-01	<b>7,21E-09</b>	2,26E-09	<b>7,90E+01</b>	7,22E+01	9,46E+01	6,42E+01	3,56E+02	2,53E+02	<b>2,97E+02</b>	1,90E+02	1,82E+03	4,48E+02	<b>1,60E+03</b>	2,01E+02
21	<b>1,00E+02</b>	2,20E-13	1,11E+02	3,33E+00	2,49E+02	1,48E+01	<b>2,41E+02</b>	9,62E+00	3,40E+02	3,18E+01	<b>2,98E+02</b>	1,94E+01	6,41E+02	6,02E+01	<b>5,53E+02</b>	4,15E+01
22	1,00E+02	2,62E-01	<b>7,61E+01</b>	4,21E+01	1,00E+02	2,20E-13	<b>1,00E+02</b>	1,44E-13	<b>3,51E+03</b>	2,43E+03	4,48E+03	1,60E+03	<b>1,08E+04</b>	5,69E+03	1,26E+04	7,62E+02
23	<b>3,05E+02</b>	3,80E+00	3,05E+02	2,44E+00	4,00E+02	1,05E+01	<b>3,99E+02</b>	9,59E+00	5,63E+02	2,03E+01	5,51E+02	<b>2,73E+01</b>	8,75E+02	3,92E+01	<b>8,06E+02</b>	5,65E+01
24	2,64E+02	1,13E+02	<b>1,57E+02</b>	1,10E+02	4,96E+02	2,37E+01	<b>4,79E+02</b>	1,52E+01	6,56E+02	3,28E+01	6,41E+02	<b>2,71E+01</b>	1,39E+03	7,49E+01	<b>1,29E+03</b>	5,17E+01
25	4,26E+02	2,37E+01	<b>3,98E+02</b>	0,00E+00	<b>3,87E+02</b>	3,72E+00	<b>3,87E+02</b>	1,52E+01	5,72E+02	3,68E+01	5,06E+02	<b>2,69E+01</b>	6,41E+02	5,80E+01	<b>7,71E+02</b>	4,66E+01
26	3,00E+02	0,00E+00	<b>2,40E+02</b>	1,26E+02	1,19E+03	8,23E+02	<b>8,50E+02</b>	6,45E+02	<b>1,71E+03</b>	2,02E+03	2,36E+03	7,43E+02	1,06E+04	4,32E+03	<b>7,41E+03</b>	5,12E+02
27	3,92E+02	2,51E+00	<b>3,91E+02</b>	8,18E-01	5,13E+02	8,39E+00	<b>5,11E+02</b>	9,89E+00	6,26E+02	6,20E+01	<b>5,52E+02</b>	2,01E+01	8,19E+02	9,13E+01	<b>7,34E+02</b>	3,98E+01
28	3,00E+02	0,00E+00	<b>2,70E+02</b>	9,49E+01	3,11E+02	3,60E+01	<b>3,10E+02</b>	3,27E+01	4,96E+02	1,98E+01	<b>4,69E+02</b>	1,85E+01	<b>5,60E+02</b>	3,46E+01	5,73E+02	2,73E+01
29	<b>2,44E+02</b>	7,54E+00	2,48E+02	5,14E+00	5,24E+02	9,55E+01	<b>4,86E+02</b>	4,36E+01	7,62E+02	1,99E+02	<b>6,95E+02</b>	1,24E+02	3,15E+03	5,46E+02	<b>2,41E+03</b>	3,76E+02
30	4,03E+02	6,52E+00	<b>3,98E+02</b>	1,12E+00	2,41E+03	3,78E+02	<b>2,21E+03</b>	2,47E+02	8,71E+05	1,49E+05	<b>7,41E+05</b>	8,24E+04	6,59E+03	3,37E+03	<b>5,01E+03</b>	1,61E+03

Şekil 2' de 50 boyutta yapılan simülasyonlarda en iyi değerlerin elde edildiği çalıştırmalara ait yakınsama her bir fonksiyonun yakınsama grafikleri verilmiştir. Grafiklerden de görülebileceği gibi G1' in kullanıldığı çalıştırmalarda yerel minimumlara takılma durumu gerçekleşmezse yakınsama G2' nin kullanılmasına göre daha hızlı gerçekleşebilmektedir.

### 5. Sonuçlar

Bu çalışmada, SFA algoritması parametrelerinin algoritmaya etkileri incelenmiştir. CEC-2017 test fonksiyonları üzerinde yapılan simülasyonlar ile en uygun parametre seçimleri belirlenmeye çalışılmıştır. Ortalama hata değeri ve Wilcoxon işaretli sıra testleri ile algoritma parametre değişim sonuçları incelenmiştir. Yapılan testlerde maksimum yayılım sayısı parametresinin 1 olarak seçilmesinin algoritmanın daha iyi sonuç vermesini sağladığı gözlemlenmiştir. Bir başka bakış açısı ile yerel arama ile küresel arama arasında bir dengenin olması halinde algoritma performansının arttığı sonucuna varılmıştır. Başlangıç fraktal sayısı parametresinin 10 ve 30 boyutlu problemler için 50, 50 ve 100 boyutlu problemler içinse 75 olarak seçilmesinin daha iyi sonuçlar elde edilmesini

sağladığı gözlemlenmiştir. Başlangıç fraktal sayısının düşük seçilmesi uygunluk fonksiyonu kullanımına göre daha hızlı yakınsama sağlayabilirken aynı zamanda algoritmanın yerel optimum noktalara takılma olasılığını artırdığı gözlemlenmiştir. Bu parametrenin yüksek seçilmesi ile başlangıçta arama uzayı hakkında daha fazla bilgi elde edilebildiği fakat her bir jenerasyonda daha fazla uygunluk fonksiyonu kullanıldığından dolayı optimum noktaların bulunma olasılığı azaldığı sonucuna varılmıştır. Gauss yürüme fonksiyonunun seçiminde ortalama hata değerlerine göre ikinci Gauss yürüme fonksiyonunun seçimi daha uygun gözükmektedir. Özellikle optimizasyon probleminin boyutunun ya da zorluk derecesinin artması durumunda G2 fonksiyonu ortalama daha iyi sonuçlar elde etmektedir. Ancak G1 fonksiyonunun kullanıldığı durumlarda algoritma yerel optimumlara yakalanmazsa, G2'nin kullanılma durumuna göre daha iyi sonuçların bulunabilmesi ve daha hızlı yakınsama sağlanabildiği gözlemlenmiştir.



Şekil 2. Gauss yürüme fonksiyonu uygunluk değeri yaklaşım grafiği 50D

## Ekler

Ek 1. MYS Wilcoxon analiz sonuçları

F	10D		30D		50D		100D	
	MYS1-MYS2	MYS1-MYS3	MYS1-MYS2	MYS1-MYS3	MYS1-MYS2	MYS1-MYS3	MYS1-MYS2	MYS1-MYS3
1	6,16E-05	6,39E-05	2,19E-03	6,39E-05	1,40E-02	1,13E-02	6,78E-01	6,23E-01
2	1,00E+00	1,00E+00	2,62E-03	2,97E-04	2,20E-03	1,83E-04	3,76E-02	2,83E-03
3	1,00E+00	1,00E+00	8,74E-05	8,74E-05	1,83E-04	1,83E-04	1,83E-04	1,83E-04
4	1,68E-01	7,79E-02	2,40E-01	2,12E-01	9,95E-02	1,84E-01	3,12E-02	4,73E-01
5	7,57E-02	7,28E-03	8,90E-02	7,57E-02	1,62E-01	3,26E-01	4,27E-01	1,62E-01
6	1,00E+00	1,62E-03	1,00E+00	6,34E-05	3,68E-01	6,39E-05	3,12E-02	4,40E-04
7	2,20E-03	4,40E-04	1,13E-02	9,11E-03	3,45E-01	5,21E-01	1,00E+00	4,73E-01
8	2,40E-04	8,98E-03	3,07E-01	2,12E-01	4,27E-01	2,83E-03	6,23E-01	1,04E-01
9	1,00E+00	1,00E+00	1,11E-02	6,11E-03	2,11E-02	2,46E-04	1,73E-02	2,20E-03
10	9,11E-03	1,31E-03	7,91E-01	6,23E-01	1,00E+00	1,04E-01	5,21E-01	5,21E-01
11	1,81E-02	6,83E-03	8,50E-01	6,23E-01	1,21E-01	3,12E-02	4,27E-01	3,76E-02
12	2,57E-02	3,30E-04	3,12E-02	1,83E-04	1,62E-01	1,40E-01	2,41E-01	3,76E-02
13	1,40E-02	2,20E-03	2,41E-01	3,61E-03	4,27E-01	2,73E-01	2,57E-02	2,57E-02
14	4,51E-03	1,70E-02	2,41E-01	2,11E-02	3,45E-01	7,34E-01	3,07E-01	8,90E-02
15	2,83E-03	4,40E-04	6,40E-02	2,41E-01	9,10E-01	3,76E-02	5,21E-01	9,10E-01
16	1,71E-03	2,46E-04	6,23E-01	1,00E+00	1,00E+00	3,85E-01	2,12E-01	1,04E-01
17	1,04E-01	1,83E-04	3,07E-01	6,40E-02	1,00E+00	5,71E-01	7,91E-01	9,10E-01
18	2,46E-04	1,83E-04	3,12E-02	1,73E-02	3,07E-01	7,91E-01	3,45E-01	6,78E-01
19	2,46E-04	1,83E-04	8,90E-02	7,28E-03	1,62E-01	3,12E-02	8,90E-02	1,40E-01
20	1,00E+00	7,47E-04	2,73E-01	6,78E-01	5,21E-01	8,50E-01	9,70E-01	4,73E-01
21	1,00E+00	5,04E-01	1,62E-01	3,07E-01	4,73E-01	1,62E-01	6,23E-01	3,76E-02
22	1,61E-01	5,70E-01	1,00E+00	1,00E+00	1,80E-01	4,27E-01	3,85E-01	7,91E-01
23	2,73E-01	1,86E-01	7,91E-01	1,21E-01	5,80E-03	4,40E-04	1,04E-01	3,45E-01
24	3,51E-01	4,02E-01	4,52E-02	8,90E-02	2,41E-01	2,73E-01	3,76E-02	9,11E-03
25	1,68E-01	3,68E-01	6,23E-01	3,45E-01	4,59E-03	1,73E-02	3,85E-01	2,73E-01
26	7,26E-01	2,62E-01	1,00E+00	5,31E-01	2,73E-01	2,73E-01	8,90E-02	3,61E-03
27	4,48E-01	1,30E-01	6,78E-01	6,78E-01	1,04E-01	2,57E-02	1,13E-02	7,69E-04
28	5,83E-01	3,68E-01	3,68E-01	5,84E-01	6,18E-01	2,25E-01	1,40E-01	1,86E-01
29	5,71E-01	1,40E-01	9,70E-01	4,27E-01	9,10E-01	6,78E-01	5,71E-01	3,45E-01
30	1,83E-04	1,83E-04	9,10E-01	1,13E-02	4,73E-01	1,21E-01	3,45E-01	4,73E-01

Ek 2. BFS Wilcoxon analiz sonuçları

F	10D		30D		50D		100D	
	BFS50-BFS25	BFS50-BFS75	BFS50-BFS75	BFS50-BFS100	BFS75-BFS50	BFS75-BFS100	BFS75-BFS50	BFS75-BFS100
1	1,00E+00	6,39E-05	6,39E-05	6,39E-05	8,50E-01	4,59E-03	1,13E-02	1,31E-03
2	1,00E+00	1,00E+00	5,29E-04	1,63E-04	3,30E-04	2,20E-03	5,39E-02	1,01E-03
3	1,00E+00	1,00E+00	8,74E-05	8,74E-05	1,83E-04	1,83E-04	1,83E-04	2,46E-04
4	6,39E-05	7,67E-02	9,10E-01	1,86E-01	3,78E-01	5,20E-01	4,73E-01	5,71E-01
5	9,49E-02	1,40E-02	7,34E-01	2,20E-03	3,85E-01	9,10E-01	2,11E-02	3,07E-01
6	1,00E+00	1,00E+00	7,67E-02	6,39E-05	1,67E-01	1,10E-04	1,63E-04	2,97E-04
7	1,04E-01	5,83E-04	1,04E-01	4,59E-03	1,21E-01	7,91E-01	5,83E-04	2,11E-02
8	6,62E-03	3,21E-04	4,27E-01	3,61E-03	5,39E-02	1,86E-01	6,40E-02	2,41E-01
9	1,00E+00	1,00E+00	3,50E-02	6,16E-01	3,12E-02	1,62E-01	3,07E-01	5,21E-01
10	3,42E-02	3,30E-04	3,07E-01	2,83E-03	3,07E-01	3,76E-02	9,70E-01	3,76E-02
11	2,10E-03	2,95E-04	4,52E-02	9,10E-01	2,73E-01	3,07E-01	4,52E-02	1,21E-01
12	4,72E-01	7,69E-04	7,69E-04	1,83E-04	5,80E-03	1,62E-01	1,62E-01	2,57E-02
13	6,77E-01	5,80E-03	7,28E-03	1,83E-04	2,41E-01	6,40E-02	6,40E-02	8,90E-02
14	2,80E-01	1,78E-04	1,73E-02	1,01E-03	1,73E-02	2,57E-02	3,30E-04	1,86E-01
15	9,70E-01	1,83E-04	1,04E-01	2,83E-03	8,90E-02	3,76E-02	1,21E-01	5,21E-01
16	3,45E-01	1,83E-04	2,41E-01	7,34E-01	6,78E-01	9,10E-01	4,52E-02	7,34E-01
17	7,34E-01	1,83E-04	1,62E-01	2,11E-02	6,23E-01	9,70E-01	6,23E-01	7,91E-01
18	6,23E-01	1,83E-04	2,11E-02	1,83E-04	5,39E-02	5,80E-03	2,46E-04	1,83E-04
19	2,13E-03	1,83E-04	1,21E-01	2,20E-03	2,73E-01	1,40E-01	1,83E-04	7,28E-03
20	1,67E-01	3,50E-02	1,00E+00	6,23E-01	4,73E-01	7,91E-01	9,10E-01	1,21E-01
21	1,24E-01	1,00E+00	8,50E-01	1,13E-02	3,85E-01	6,40E-02	1,86E-01	5,71E-01
22	1,37E-01	1,82E-01	1,00E+00	1,00E+00	5,70E-01	7,59E-01	8,50E-01	2,20E-03
23	5,39E-02	6,23E-01	5,71E-01	7,34E-01	3,07E-01	6,23E-01	2,73E-01	2,41E-01
24	1,91E-01	7,72E-01	1,86E-01	7,34E-01	2,12E-01	3,45E-01	9,10E-01	5,71E-01
25	5,97E-03	3,68E-01	1,73E-01	2,41E-01	6,23E-01	4,73E-01	3,85E-01	3,07E-01
26	1,67E-01	1,67E-01	9,07E-01	7,60E-01	2,57E-02	5,45E-01	2,83E-03	7,34E-01
27	4,08E-02	2,72E-01	5,71E-01	9,10E-01	6,23E-01	3,85E-01	3,45E-01	6,78E-01
28	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,75E-03	2,64E-02	3,20E-01	2,12E-01	6,23E-01
29	5,71E-01	5,39E-02	9,70E-01	2,57E-02	4,27E-01	6,23E-01	1,40E-01	7,91E-01
30	6,23E-01	1,83E-04	5,21E-01	2,83E-03	4,73E-01	4,73E-01	6,78E-01	4,73E-01

## Ek 3. Gauss yürüme fonksiyonu Wilcoxon analiz sonuçları

	10D	30D	50D	100D
F	BFS50-BFS25 P-Değeri	BFS50-BFS75 P-Değeri	BFS75-BFS50 P-Değeri	BFS75-BFS50 P-Değeri
1	3,68E-01	1,00E+00	4,73E-01	3,85E-01
2	1,00E+00	6,70E-01	2,20E-03	1,04E-01
3	1,00E+00	1,00E+00	1,86E-01	8,90E-02
4	1,00E+00	4,73E-01	6,22E-01	7,57E-02
5	4,93E-01	2,83E-03	1,83E-04	1,83E-04
6	1,00E+00	3,68E-01	1,67E-01	1,50E-02
7	9,70E-01	2,46E-04	5,83E-04	1,83E-04
8	1,98E-02	1,83E-04	4,40E-04	2,46E-04
9	1,00E+00	4,28E-01	9,08E-03	7,91E-01
10	2,26E-01	1,04E-01	2,11E-02	3,30E-04
11	8,07E-01	5,21E-01	2,46E-04	1,21E-01
12	7,57E-02	2,46E-04	1,83E-04	5,21E-01
13	3,76E-02	8,50E-01	1,13E-02	6,23E-01
14	2,71E-01	7,57E-02	9,70E-01	3,07E-01
15	1,73E-02	3,45E-01	3,85E-01	1,86E-01
16	1,73E-02	3,45E-01	1,21E-01	2,73E-01
17	1,40E-02	8,50E-01	3,85E-01	1,62E-01
18	7,28E-03	3,07E-01	6,40E-02	1,83E-04
19	5,39E-02	6,23E-01	9,10E-01	4,40E-04
20	3,68E-01	5,21E-01	5,71E-01	4,27E-01
21	3,68E-01	1,62E-01	2,83E-03	2,20E-03
22	1,92E-01	1,00E+00	4,48E-01	3,07E-01
23	1,00E+00	6,78E-01	2,41E-01	1,73E-02
24	8,58E-02	1,21E-01	5,21E-01	9,11E-03
25	7,51E-04	8,50E-01	4,27E-01	3,45E-01
26	1,67E-01	1,17E-01	4,63E-01	2,83E-03
27	4,72E-01	4,73E-01	3,61E-03	3,61E-03
28	3,68E-01	1,00E+00	1,00E-02	6,78E-01
29	2,73E-01	7,91E-01	2,12E-01	9,11E-03
30	5,80E-03	1,40E-02	8,90E-02	3,07E-01

**Kaynaklar**

Awad, N.H., Ali, M.Z., Suganthan, P.N., Jaser, E., 2016. Differential evolution with stochastic fractal search algorithm for global numerical optimization. In 2016 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC), 3154-3161.

Bingöl, O., Güvenç, U., Duman, S., Paçacı, S., 2017. Stochastic fractal search with chaos. In 2017 International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium (IDAP), 1-6.

Dorigo, M., Di Caro, G., 1999. Ant colony optimization: a new meta-heuristic. In Proceedings of the 1999 congress on evolutionary computation-CEC99, 2, 1470-1477.

Eberhart, R., Kennedy, J., 1995. A new optimizer using particle swarm theory. In MHS'95. Proceedings of the Sixth International Symposium on Micro Machine and Human Science, 39-43.

Holland, J.H., 1975. Adaptation in natural and artificial systems. University of Michigan Press, Ann Arbor, MI.

Karaboğa, D., 2005. An idea based on honey bee swarm for numerical optimization, Technical report-tr06, Erciyes University, Engineering faculty, Computer engineering department.

Mandelbrot, B.B., 1979. Fractals: form, chance and dimension. Fractals: form, chance and dimension., by Mandelbrot, BB. San Francisco (CA, USA): WH Freeman & Co., 365p.

Mellal, M.A., Zio, E., 2016. A penalty guided stochastic fractal search approach for system reliability optimization. Reliability Engineering & System Safety, 152, 213-227.

Mirjalili, S., Mirjalili, S.M., Lewis, A., 2014. Grey wolf optimizer. Advances in engineering software, 69, 46-61.

Rahman, T.A., Tokhi, M.O., 2016. Enhanced stochastic fractal search algorithm with chaos. In 2016 7th IEEE Control and System Graduate Research Colloquium (ICSGRC), 22-27.

- Rashedi, E., Nezamabadi-Pour, H., Saryazdi, S., 2009. GSA: a gravitational search algorithm. *Information sciences*, 179(13), 2232-2248.
- Salimi, H., 2015. Stochastic fractal search: a powerful metaheuristic algorithm. *Knowledge-Based Systems*, 75, 1-18.
- Storn, R., Price, K., 1997. Differential evolution—a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces. *Journal of global optimization*, 11(4), 341-359.
- Wilcoxon, F., 1945. Individual comparisons by ranking methods. *Biometrics bulletin*, 1(6), 80-83.
- Yang, X.S., 2008. Firefly algorithm. *Nature-inspired metaheuristic algorithms*, 20, 79-90.
- Yang, X.S., Deb, S., 2009. Cuckoo search via Lévy flights. In *2009 World Congress on Nature & Biologically Inspired Computing (NaBIC)*, 210-214.
- Zhou, C., Sun, C., Wang, B., Wang, X., 2018. An improved stochastic fractal search algorithm for 3D protein structure prediction. *Journal of molecular modeling*, 24(6), 125.