



Comparison of the 10, 30, 50 and 100 dimensional results of the Developed Tree Seed Algorithm

İmral Güngör and Bülent Gürsel Emiroğlu

EasyChair preprints are intended for rapid dissemination of research results and are integrated with the rest of EasyChair.

July 5, 2021

Geliştirilen Ağaç Tohum Algoritması'nın 10, 30, 50 ve 100 boyutlu sonuçlarının karşılaştırılması

*İmral Güngör
Bilgi İşlem Daire
Başkanlığı
Kırıkkale Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
06800 Ankara, Türkiye
imralgungor@gmail.com

Bülent Gürsel Emiroğlu
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü
Kırıkkale Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
71450 Kırıkkale, Türkiye
bulentgursel@gmail.com

Özet— Ağaç Tohum Algoritması (TSA) doğadan esinlenen meta-sezgisel sürekli bir optimizasyon algoritmasıdır. Bu algoritma geliştirilerek 2019 yılında 5 farklı fark denklemleri tohum üretim stratejisi olarak algoritmaya eklenmiştir. Çünkü TSA'nın temel hali düşük boyutlu problemler için etkili çözümler sağlarken problemin boyutunun artmasıyla birlikte bazı performans kayıplarının olduğu görülmüştür. Bu çalışmada tohum üretim stratejileri güncellenen TSA algoritması 10,30,50 ve 100 gibi farklı boyutlarda sayısal fonksiyonları çözmek çalıştırılmıştır. Ağaç Tohum Algoritmasının test sonuçları elde edilerek çok iyi bilinen bazı optimizasyon yöntemleri ile karşılaştırılmıştır. Yapılan deneylerde, CEC2015 kıyaslama fonksiyonları kullanılmış ve geliştirilen TSA, TSA'nın temel hali yapay arı kolonisi, parçacık sürüsü optimizasyonu ve diferansiyel evrim algoritmasının bazı varyantlarıyla karşılaştırılmış deneysel sonuçlar ortalama, maksimum, minimum çözümler ve standart sapma olarak rapor edilmiştir.

Anahtar Kelimeler— Ağaç-Tohum algoritması, boyutluluk, karşılaştırma, deneysel sonuçlar

I. GİRİŞ

Ağaç Tohum Algoritması, 2015 yılında (Kiran 2015) tarafından önerilen, doğadaki ağaçların tohumdan oluşma sürecinden ilham alınarak geliştirilen bir optimizasyon algoritmasıdır. Sürekli optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılan bu algoritma esasında meta-sezgisel olup en uygun sonucun elde edilmesini hedefler. Böylece doğadaki ağaçların tohumlarını etrafa saçması ve bunların bazılarının büyüyerek yeni bir ağaç olma sürecinden yola çıkılarak önerilmiştir.

ATA 2015 yılından beri sürekli geliştirilen bir algoritma olmuştur.(Cinar and Kiran 2016) yılında ATA'yı CUDA platformu için paralel hale getirdiler. Yine 2016 yılında TSA-MPC (Zheng, Zhou et al. 2016) adı verilen dengeli voltaj regülasyonu üzerine bir çalışma yapıldı. Diğer bir çalışma ise RBF-TSA (Muneeswaran and Rajasekaran 2016) olarak adlandırılmış olup radyal tabanlı fonksiyon sinir ağıdır. Gürültü azaltma filtre katsayılarını belirlemek için (Muneeswaran and Rajasekaran 2017) TSA kullanıldı. TSA ile (Chen, Tan et al.

2017) temel Li-ion piller için eşdeğer devre modellerinin parametreleri belirlendi. 2018 de (Cinar and Kiran 2018) paralel TSA geliştirildi. Aynı yıl değişken uzunluklu ağaç tohum algoritması (Zhou, Zheng et al. 2018) VTSA önerildi. Daha sonra bu yaklaşım geliştirilerek VTSA-CA oluşturulmuştur. VTSA-CA bulanık bir kümeleme algoritmasıdır. TSA yapısal hasar tanımlama problemini karşılaştırmak için kullanıldı. TSA ve K-ortalama kümeleme algoritması ile C-TSA (Ding, Li et al. 2019) olarak adlandırılan yeni bir yapısal hasar tanımlama yaklaşımı önerildi. Yine görüntü segmentasyonu için TSA kullanılmıştır. Yapılan çalışmalarda TSA'nın görüntü bölümlenme için diğer çok seviyeli eşikleme problemi yöntemlerinden daha iyi performansa sahip olduğu gözlemlenmiştir. TSA kullanılarak optimize edilen (Li, Muneeswaran et al. 2019) FIR filtreli görüntülerin kenarları tespit edilip yeni bir veri sıkıştırma yöntemi önerilmiş ve JPEG gibi iyi bilinen sıkıştırma teknikleriyle karşılaştırılmıştır. 2019 yılında TSA (Gungor, Emiroglu et al. 2020), sürekli optimizasyon probleminin yüksek boyutlularda çözümü için tohum üretme stratejileri güncellendi.

Bu makale, Ağaç Tohum algoritmasının 10 boyutlu, 30 boyutlu, 50 boyutlu ve 100 boyutlu sayısal fonksiyonların çözümünde kullanılmasını konu alır. CEC2015 kıyas fonksiyonları deney seti olarak kullanılır. Geliştirilen Ağaç Tohum algoritması, Ağaç Tohum algoritmasının temel haliyle, yapay arı optimizasyon algoritması, parçacık sürü optimizasyon algoritması ve diferansiyel evrim algoritmasının bazı varyantları ile karşılaştırılır. Deneysel sonuçlar 60 farklı çalışmanın ortalama, standart sapma ve maksimum ve minimum değerleri olarak gösterilir. Böylece geliştirilen Ağaç Tohum Algoritmasının çözüm kalitesi, farklı boyutlarda elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve algoritmanın temel halinden ve bazı iyi tanınan optimizasyon algoritmalar ile yarışacak seviyede bir başarıya sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Makalenin bölümlerine gelince Ağaç Tohum algoritması ile ilgili olarak başlangıç aşamasında genel bir tarihçe bilgisi verilmiştir. İkinci bölümde Ağaç-Tohum Algoritması (ATA)'nın geliştirilen algoritması ile ilgili deneylerin neler

olduğundan bahsedilerek terimsel ifadeler açıklanmıştır. Üçüncü bölümde kullanılan kıyas fonksiyonlarından bahsedilmiş, deneysel çalışmalar gösterilmiş ve sonuç değerleri standart sapma, ortalama, maksimum ve minimum değerleri tablolar halinde sunularak sonuçlar yorumlanmıştır. Dördüncü bölümde sonuçlar yorumlanarak, geleceğe yönelik yapılabilecek çalışmalar ve araştırılabilir konular üzerinde durulmuştur.

II. AĞAÇ TOHUM ALGORİTMASI (ATA)

Ağaç ağaçlar ve tohumları arasındaki ilişkiden ilham alan popülasyon tabanlı bir arama algoritmasıdır. Doğal ortamda ağaçların tohumlarının yayılması sonucu bazı tohumlar ağaç olur. Bu çözümler, optimizasyon problemi için belirli bir amaç fonksiyonunun uygunluğunu elde etmek için kullanılır. Tohum üretim süreci, Arama Eğilimi (ST) adı verilen bir parametre tarafından kontrol edilir. Tohum üretim süreci için iki çözüm güncelleme kuralı. ST, başlangıçta ayarlanan $[0, 1]$ aralığında sabit bir sayıdır. Tohum sayısı, popülasyon büyüklüğünün % 10'u ile popülasyon büyüklüğünün % 25'i arasında rastgele bir sayı ile belirlenir. k tohum sayısını gösterir.

$$S_{k,j} = T_{i,j} + \alpha_{i,j} \times (Best_j - T_{r,j}) \quad (1)$$

$$S_{k,j} = T_{i,j} + \alpha_{i,j} \times (T_{i,j} - T_{r,j}) \quad (2)$$

burada $S_{k,j}$ i ağacın k. tohumunun j. boyutudur. $T_{i,j}$ i. Ağacın j. boyutudur, $Best_j$, şimdiye kadar elde edilen en iyi ağacın j. boyutudur. $T_{r,j}$ sahadan rastgele seçilen ağacın boyutudur, $\alpha_{i,j}$, i. Ağacın ölçekleme faktörü olup $[-1,1]$ aralığında değer alır. (1). Denklem tohumun üretileceği ağaç konumunu ve tüm ağaçlarda en iyi konumu hesaba katar. Bu arama denklemi yerel aramayı düzenler ve önerilen aramanın yeteneklerini güçlendirir. (2). Denklemde ağaçtan yeni bir tohum üretilmesi için iki farklı ağaç pozisyonu kullanılır. Bu denklem ile arama yapılırken yeni bölgeler keşfedilir. Tohum üretme mekanizmasından önce (3). Denklem kullanılarak saha hazır hale getirilmelidir:

$$T_{i,j} = Low_j + r_{i,j}(High_j - Low_j) \quad (3)$$

Burada, Low_j , arama uzayının alt sınırınıdır. $High_j$, arama uzayının üst sınırınıdır. $r_{i,j}$ $[0,1]$ aralığındaki her bir boyut için rastgele üretilen bir sayıdır.

III. GELİŞTİRİLEN AĞAÇ TOHUM ALGORİTMASI

Ağaç tohum algoritması sürü zekâsı temelli bir algoritma olduğundan, keşfetme ve sömürme olarak adlandırılan iki ana aşama vardır. Keşif aşamasında arama uzayına dağılımı rastgele noktalarda yerleşmiş ağaçlar bulunmaktadır Bu yüzden algoritmanın keşfedilen noktalar etrafında araştırma yapma yeteneği oldukça iyidir. Bununla birlikte, ağaç popülasyonu belirli bir alanda sabit hale gelirse, yeni tohumlar bulmak zor olabilir. Bu tür kısıtlamaları ortadan kaldırmak için arama kabiliyetinin artırılması gerekmektedir. Faydalanma aşamasında ise ağaçlar ile aynı özellikteki tohumlar kullanılmaktadır. Bu durum da yeni tohum üretme stratejilerini

de zorunlu hale getirmiştir. Bu nedenlerle, fonksiyonun temel formuna bazı iyileştirme yöntemleri eklenmiştir.

Bunlardan biri soldurma işlemi denilen kontrol parametresinin algoritmaya eklenmesidir. Problemin büyüklüğüne göre hesaplanan c parametresi, geliştirilen ağaç tohum algoritmasının temel yapısına eklenmiştir. Ayrıca, temel algoritma için farklı bir yaklaşım önerilmiş ve güncellemelerin kısıtlayıcı boyutuna dayalı yeni bir yaklaşım önerilmiştir. Kontrol parametresi olan ST parametresine bağlı olarak, üst ve alt sınırlara bazı kısıtlamalar getiren beş yeni denklem eklenmiştir. Bu denklemler yine Diferansiyel Evrim denklemlerinden ve varyantlardan esinlenmiştir. Bu denklemler aşağıdaki gibidir:

$$S_{(j,d)} = B_d + (T_{(r1,d)} - T_{(r2,d)}) * rand(-1,1) \quad (4)$$

$$S_{(j,d)} = T_{(r1,d)} + (T_{(r2,d)} - T_{(r3,d)}) * rand(-1,1) \quad (5)$$

$$S_{(j,d)} = T_{(i,d)} + \left((B_d - T_{(i,d)}) + (T_{(r1,d)} - T_{(r2,d)}) \right) * rand(-1,1) \quad (6)$$

$$S_{(j,d)} = B_d + \left((T_{(r1,d)} - T_{(r2,d)}) + (T_{(r3,d)} - T_{(r4,d)}) \right) * rand(-1,1) \quad (7)$$

$$S_{(j,d)} = T_{(r1,d)} + \left((T_{(r2,d)} - T_{(r3,d)}) + (T_{(r4,d)} - T_{(r5,d)}) \right) * rand(-1,1) \quad (8)$$

Burada d problemin boyutudur, j i. ağacın j. tohumudur. $rand(-1,1)$, -1 ve 1 arasında tekdüze rastgele sayıdır, B_d en iyi ağaç değeridir, $T_{(i,d)}$, $T_{(r1,d)}$, $T_{(r2,d)}$, $T_{(r3,d)}$, $T_{(r4,d)}$, $T_{(r5,d)}$ rastgele ağaçlardır. Burada $r1$, $r2$, $r3$, $r4$, $r5$ popülasyon sayısı üzerinden üretilen ve birbirinden farklı rastgele tam sayılardır. $T_{(i,d)}$, mevcut ağaçtır.

F ölçekleme faktörü yerine $(-1, 1)$ arasında random bir değer kullanırız. 6, 7 ve 8. Eşitliklerde fark vektörünü sınırlamak için iki farklı F ölçekleme faktörü kullanılıyordu. Çalışmamızda, onların birisini silip diğeri yerine $(-1, 1)$ aralık değerleri kullanılır.

IV. DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE ELDE EDİLEN BULGULAR

CEC2015 tek amaçlı kıyas fonksiyonları kaydırılmış, döndürülmüş, karma ve kompozisyon tipi fonksiyonları içerir. Arama aralığı -100 ile 100 arasındadır. 15 fonksiyonun tamamı minimizasyon problemleridir. Fonksiyonlar ile ilgili daha ayrıntılı bilgi için Liang, Qu ve arkadaşlarının çalışmalarına bakınız.

Deneysel çalışmalarda CEC2015 kıyas fonksiyonları geliştirilen ağaç tohum algoritması ile bu algoritmanın temel hali, yapay arı algoritması, parçacık sürü algoritması, diferansiyel evrim algoritması ile varyantları gibi algoritmalarla çözülmüştür. Elde edilen sonuçlar karşılaştırılıp tablolar halinde çalışmaya eklenir. Hangi algoritmanın hangi fonksiyon üzerinde daha iyi sonuçlar verdiği bazı istatistiksel değerlerine bakılarak koyu renkte işaretlenmiştir. Deneysel çalışmalarda popülasyon sayısı 50 olarak seçilmiştir. Arama eğilimi parametresi (ST) değeri 0.1 olarak seçilmiş ve problemlerin boyutluluğu 10, 30, 50 ve 100 olarak belirlenmiştir.

10-D:

ABC, PSO, ATA ve iTSA arasında PSO 23 rank değeri ile birinci, iTSA 31 rank değeri ile ikinci sırada yer almıştır. TSA'nın rank değeri 37 ABC ise 57 dir. Burada iTSA burada iyi bilinen optimizasyon algoritmaları ile başa çıkacak bir seviyeye gelmiştir. PSO F2,F6,F7,F8,F9,F10,F11 ve F12 arasında en iyi sonuçları vermiştir. Daha sonra iTSA, F4,F8 ve F14 te başarılı sonuçlar vermiştir. TSA ise F1,F3 ve F13 fonksiyonlarında en iyi sonuçları vermiştir.

TABLE I. CEC2015 KİYAS FONKSİYONLARINDA PSO VE İTSA'NIN KARŞILAŞTIRILMASI

	PSO			
	<i>Std</i>	<i>Mean</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
F1	6809,680374	8502,344614	127,8157048	24864,11599
F2	997,1840709	1920,697911	471,7157502	4469,306603
F3	1,167933809	300,8795514	300	304,0482783
F4	87,61552363	506,2704097	403,664779	714,8002574
F5	0,185903946	500,6970771	500,366237	501,1891263
F6	0,043553873	600,0831291	600,0187015	600,1812579
F7	0,046277547	700,1207489	700,0335419	700,2635472
F8	0,255204279	801,0158863	800,5568802	801,6782564
F9	0,486893684	902,1562994	900,9511082	902,9371806
F10	2238,95895	4403,191555	1988,518432	10779,47702
F11	0,592961903	1102,068904	1101,412895	1103,756474
F12	4,452918632	1230,818525	1224,425177	1247,0884
F13	0,35366	1615,3	1614,9	1615,7
F14	4,498884438	1591,209869	1581,788345	1604,733443
F15	119,740385	1541,040339	1500,572714	1901,381812

	iTSA			
	<i>Std</i>	<i>Mean</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
F1	9919,740842	20387,51082	4214,888026	52798,60672
F2	2844,875861	6739,869951	2641,704883	18518,80854
F3	0,806263427	303,0167512	301,5159416	304,8230591
F4	1,221014195	400,4572598	400	406,8299214
F5	0,163921305	500,6709818	500,2696111	500,9568648
F6	0,032255352	600,1639521	600,0749093	600,2466663
F7	0,04556069	700,1580433	700,06308	700,2377747
F8	0,226407178	801,0298048	800,5958825	801,5070757
F9	0,312924672	902,7240419	901,4347895	903,195716
F10	3134,465962	5998,995139	2701,224218	15387,29772
F11	0,647639556	1103,322741	1102,07224	1104,756605
F12	6,076341953	1233,737996	1225,52868	1251,770702

	iTSA			
	<i>Std</i>	<i>Mean</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
F13	0,368138337	1615,308876	1614,937964	1615,817098
F14	2,860299207	1587,933487	1582,477401	1595,581901
F15	1,49094906	1509,414882	1506,95654	1513,449007

DE ve varyantları arasında iTSA ise F4,F5,F8 ve F12 değerlerinde en iyi sonuçları vermiş olup ilk sırada yer almaktadır. DE/cur-to-best/1 F2,F4 ve F10 fonksiyonlarında en iyi sonuçları vermiştir, DE/rand-to-best/1 ise F1,F3 ve F6 fonksiyonlarında en iyi sonuçları vermiştir. DE/cur-to-best/1 rank değeri 41, DE/rand-to-best/1 46 ile ikinci ve iTSA 47 rank değeri ile üçüncü sırada yer almıştır.

TABLE II. CEC2015 KİYAS FONKSİYONLARINDA DE VE VARYANTLARI İLE İTSA'NIN KARŞILAŞTIRILMASI

	DE/cur-to-best/1			
	<i>Std</i>	<i>Mean</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
F1	6923,723392	8815,446341	270,2050965	25439,74381
F2	862,8966808	2339,105661	639,7602996	3984,023821
F3	1,362973578	301,1076608	300	304,6259132
F4	32,78340273	412,3977063	400	525,3931649
F5	0,205846484	500,9926831	500,509417	501,4807111
F6	0,026091979	600,1331183	600,0821605	600,1801553
F7	0,073656185	700,1935802	700,0759895	700,3716779
F8	0,217740418	801,2316156	800,6672973	801,6271829
F9	0,343049634	902,4769235	901,5196624	902,9855621
F10	1382,137518	4562,235414	1917,920128	8712,579197
F11	0,49100915	1102,473068	1101,803535	1103,809118
F12	17,82737014	1236,192283	1225,149313	1356,659223
F13	0,333885391	1615,42692	1614,937963	1615,650577
F14	4,223162315	1587,140372	1580,532034	1596,252541
F15	55,72651781	1510,651744	1501,469534	1900,767794

	DE/rand-to-best/1			
	<i>Std</i>	<i>Mean</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
F1	6720,63497	8110,77986	165,3873471	26234,8132
F2	2440,263511	3033,540173	903,0583613	18159,21741
F3	1,168212544	300,7267768	300	304,0848721
F4	56,29689571	449,2473637	400,3122722	685,0942558
F5	0,200259445	501,0244347	500,573686	501,4071725
F6	0,025198999	600,1297439	600,0626405	600,1823937
F7	0,083795078	700,2089276	700,0767374	700,3930121
F8	0,214298294	801,2495571	800,7958107	801,7407328
F9	0,258967517	902,4011406	901,7551619	903,0036169
F10	1759,182648	5278,515289	2221,335275	9154,268935
F11	0,651285325	1102,540771	1101,460412	1104,347541
F12	8,736168083	1234,946444	1226,796572	1286,201542
F13	0,343866569	1615,398973	1614,937963	1615,650608
F14	3,773441543	1589,005041	1583,449178	1598,19016
F15	87,03180973	1527,409367	1500,875538	1883,030917

	iTSA			
	<i>Std</i>	<i>Mean</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
F1	9919,740842	20387,51082	4214,888026	52798,60672

	iTSA			
F2	2844,875861	6739,869951	2641,704883	18518,80854
F3	0,806263427	303,0167512	301,5159416	304,8230591
F4	1,221014195	400,4572598	400	406,8299214
F5	0,163921305	500,6709818	500,2696111	500,9568648
F6	0,032255352	600,1639521	600,0749093	600,2466663
F7	0,04556069	700,1580433	700,06308	700,2377747
F8	0,226407178	801,0298048	800,5958825	801,5070757
F9	0,312924672	902,7240419	901,4347895	903,195716
F10	3134,465962	5998,995139	2701,224218	15387,29772
F11	0,647639556	1103,322741	1102,07224	1104,756605
F12	6,076341953	1233,737996	1225,52868	1251,770702
F13	0,368138337	1615,308876	1614,937964	1615,817098
F14	2,860299207	1587,933487	1582,477401	1595,581901
F15	1,49094906	1509,414882	1506,95654	1513,449007

30-D:

ABC, PSO, TSA ve iTSA arasında PSO 22 rank değeri ile birinci, iTSA 25 rank değeri ile ikinci sırada yer alarak PSO'ya yakın bir değer elde edilmiştir. PSO F2,F3,F6,F7,F8,F9,F10,F11 ve F13,F14 ve F15 fonksiyonlarında en iyi sonuçları vermiştir. Daha sonra iTSA, F1,F4,F9 ve F12 ve F13 te başarılı sonuçlar vermiştir.

TABLE III. CEC2015 BENCHMARK FONKSİYONLARINDA PSO VE iTSA'NİN KARŞILAŞTIRILMASI

	PSO			
	<i>Std</i>	<i>Mean</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
F1	2509,004642	2455,163699	100,2841385	10048,4738
F2	1525,219945	4317,549642	1882,101484	7372,289481
F3	2,845909099	308,0411395	302,4056137	317,2997807
F4	496,403776	2169,833688	1215,313558	3269,011258
F5	0,287200843	501,5683348	501,0491083	502,1495921
F6	0,063517766	600,222483	600,1236806	600,3618557
F7	0,102010681	700,259284	700,1273148	700,6308982
F8	2,309802891	808,1027332	802,7864044	813,677646
F9	0,310402863	912,4247768	911,346725	912,9276579
F10	269760,3295	333099,793	29990,44557	1159810,065
F11	1,961380242	1118,524527	1114,568506	1122,630324
F12	150,2461076	1497,739072	1270,700799	1845,104274
F13	4,59272E-13	1627,642339	1627,642339	1627,642339
F14	5,708562972	1616,989104	1605,06964	1630,024663
F15	90,09610833	2004,626522	1877,985527	2396,453052

	iTSA			
F1	7502176.732	33526545.01	14838940.89	49871332.28
F2	3612.683926	5687.495533	1462.652428	19697.2012
F3	0.040820888	320.6243062	320.543303	320.6933242
F4	15.01811416	600.9922309	562.5147506	628.7786901
F5	400.0789725	7765.063368	6711.046146	8537.381382
F6	1557625.746	3917453.415	1554282.162	7230398.171
F7	13.67045879	743.342026	717.906645	761.0851671
F8	933230.799	2593271.511	828636.2337	5205814.625
F9	0.214407026	1005.32365	1004.880194	1005.829712
F10	254039.3456	665426.8687	187081.5553	1266207.003
F11	96.36394482	1552.569972	1471.839198	2135.341645

	iTSA			
F12	0.815872138	1310.600726	1308.635281	1312.279796
F13	0.003771493	1300.094367	1300.085871	1300.100778
F14	9143.070713	61390.11488	50915.76423	74529.29797
F15	4.50394E-07	1600.000002	1600.000001	1600.000003

TSA'nın temel hali ile iTSA arasında ise iTSA F2,F4,F5F6,F7,F8,F9,F10,F11,F12,F13 ve F14 fonksiyonlarında en iyi sonuçları vermiştir. Buna mukabil TSA'nın temel halinde ise F1,F3 ve F15 fonksiyonlarında en uygun değerleri vermiştir.

TABLE IV. CEC2015 KIYAS FONKSİYONLARINDA TSA VE iTSA'NİN KARŞILAŞTIRILMASI

	Basic TSA			
	<i>Std</i>	<i>Mean</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
F1	744,7442009	1293,275499	250,479255	3069,565737
F2	4085,074704	28598,85517	19373,30777	40059,54746
F3	6,041421333	311,221393	300,5346496	322,7758642
F4	1320,994306	4157,25285	536,4464445	5988,131555
F5	0,22115459	502,5238544	501,9987666	503,0546887
F6	0,058407501	600,3966231	600,2508728	600,5280594
F7	0,032218	700,2895714	700,1710068	700,3742805
F8	0,835487985	818,0012737	816,2003968	819,6038699
F9	0,208665987	912,8913184	911,9662564	913,1714156
F10	1127126,839	3469081,908	1446750,858	6290777,702
F11	3,992308558	1128,491527	1118,527924	1137,635098
F12	137,3624537	1905,964099	1544,365067	2108,840858
F13	3,50943E-06	1627,642346	1627,642341	1627,642357
F14	5,020915773	1637,140814	1624,452111	1646,184125
F15	1,249624887	1803,790109	1802,227927	1807,942909

	iTSA			
	<i>Std</i>	<i>Mean</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
F1	1530,335775	1464,567034	100,2946854	5734,735282
F2	3522,733534	22084,04826	15087,63724	29433,13246
F3	2,14015329	323,1049278	318,3843652	326,8211841
F4	0,943753701	400,7221613	400,1040962	404,0474796
F5	0,256296022	501,389534	500,6294194	501,9045545
F6	0,040018558	600,3134584	600,2424017	600,3978375
F7	0,033490922	700,2629413	700,1803831	700,3671588
F8	1,375831152	811,0625968	807,8998382	813,7174307
F9	0,293840937	912,351571	911,7020013	912,9076085
F10	307928,7256	725038,7412	92862,93912	1396016,817
F11	1,477468906	1119,529459	1116,53544	1122,901908
F12	81,67827621	1422,380745	1268,799736	1605,96715
F13	0	1627,642339	1627,642339	1627,642339
F14	3,147556797	1624,784817	1618,157274	1632,465946
F15	82,72634851	2068,244447	1956,243791	2258,568861

DE ve varyantları arasında iTSA ise F1,F3,F4,F6,F7,F8,F11 ve F12 değerlerinde en iyi sonuçları vermiş olup ilk sırada yer almaktadır. DE/cur-to-best/1 F2,F10,F11 ve F14 fonksiyonlarında en iyi sonuçları vermiştir, DE/rand-to-best/1 ise F3, F6 ve F15 fonksiyonlarında en iyi sonuçları vermiştir.

Rank değerleri açısından ise iTSA 38 rank değeri ile ilk sırada yer alırken DE/rand-to-best/1 45 rank değeri ile ikinci ve sırada yer alırken, DE/cur-to-best/1 rank değeri 47 ile 3. sırada yer almıştır.

DE/cur-to-best/1				
	<i>Std</i>	<i>Mean</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
F1	950580,6897	208025,987	110,8103265	5484888,56
F2	1218,069862	3276,469062	1831,883068	9058,355401
F3	2,919257086	305,1314024	300,0663832	311,1962193
F4	304,5450198	932,0087138	414,5563604	1529,701066
F5	0,257022449	502,4618863	501,924826	502,8088315
F6	0,043692618	600,2519273	600,1741899	600,3533431
F7	0,105492435	700,3365498	700,2176355	700,68212
F8	1,503463201	813,0995232	808,445607	816,2448693
F9	0,214733831	912,6022057	911,7396074	912,9547239
F10	263998,1677	716110,2105	287689,8616	1597220,964
F11	2,313210755	1116,361012	1110,114935	1120,86237
F12	119,785884	1572,37596	1352,273774	1826,908319
F13	0,82024921	1628,039819	1627,64234	1632,789981
F14	2,714922848	1612,232983	1600,000001	1618,451236
F15	62,84476827	1907,954812	1802,305864	2119,492487

DE/rand-to-best/1				
	<i>Std</i>	<i>Mean</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
F1	512856,8772	96401,14838	100,4452784	3425377,931
F2	917,2784993	3438,751496	1868,733026	6205,597032
F3	2,773811266	304,3876767	300,142386	310,5528433
F4	112,1935609	583,9186502	412,4819267	885,1609564
F5	0,264236266	502,4888462	501,4840112	502,9956057
F6	0,028520746	600,2298416	600,1572081	600,3046946
F7	0,070132799	700,3313493	700,2031174	700,5683406
F8	1,000484616	812,8261446	810,4090835	814,7935131
F9	0,294648467	912,5965253	911,7615096	912,9821591
F10	370662,9383	1368379,451	740513,6584	2359577,803
F11	2,172801089	1117,742607	1113,41273	1122,338329
F12	106,4654497	1690,350417	1403,48485	1956,41568
F13	0,302806597	1627,73177	1627,642339	1629,635212
F14	3,313006917	1614,523236	1600,431517	1620,239572
F15	56,38063746	1880,094205	1800,658392	2034,897712

iTSA				
	<i>Std</i>	<i>Mean</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
F1	1530,335775	1464,567034	100,2946854	5734,735282
F2	3522,733534	22084,04826	15087,63724	29433,13246
F3	2,14015329	323,1049278	318,3843652	326,8211841
F4	0,943753701	400,7221613	400,1040962	404,0474796
F5	0,256296022	501,389534	500,6294194	501,9045545
F6	0,040018558	600,3134584	600,2424017	600,3978375
F7	0,033490922	700,2629413	700,1803831	700,3671588
F8	1,375831152	811,0625968	807,8998382	813,7174307
F9	0,293840937	912,351571	911,7020013	912,9076085
F10	307928,7256	725038,7412	92862,93912	1396016,817
F11	1,477468906	1119,529459	1116,53544	1122,901908
F12	81,67827621	1422,380745	1268,799736	1605,96715

iTSA				
	<i>Std</i>	<i>Mean</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
F13	0	1627,642339	1627,642339	1627,642339
F14	3,147556797	1624,784817	1618,157274	1632,465946
F15	82,72634851	2068,244447	1956,243791	2258,568861

50-D:

ABC, PSO, TSA ve iTSA arasında iTSA ile PSO 29 rank değeri ile birinci sırada yer almış olup, iTSA F7, F11,F12,F13,F14 ve F15 fonksiyonlarında en iyi sonuçları vermiştir. PSO ise F4,F5 ve F13 te iyi sonuçlar vermiştir.

PSO				
	<i>Std</i>	<i>Mean</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
F1	395360,2912	768296,1144	208610,1073	2181596,199
F2	6267,812388	6587,480881	201,2878488	24411,19308
F3	0,088464718	320,8298096	320,6726889	321,0501822
F4	24,20173438	497,2458142	444,7731262	576,10681
F5	952,3963447	7899,538476	5099,543271	9355,219085
F6	175530,0968	268158,8136	53577,28764	1021030,359
F7	16,68101012	755,9670237	713,6885364	794,6155925
F8	103104,0776	171731,0703	46265,03057	483698,775
F9	0,255730595	1004,435781	1003,668993	1005,049886
F10	4517,576985	8344,145283	3584,452762	26701,03295
F11	87,64459436	1925,330161	1726,126237	2104,063004
F12	32,1231333	1387,583354	1307,152462	1400,28723
F13	0,008160521	1300,090836	1300,076134	1300,125903
F14	7300,616565	68592,62116	60423,93768	77430,62918
F15	0,06386078	1600,008942	1600	1600,456057

iTSA				
	<i>Std</i>	<i>Mean</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
F1	7502176,732	33526545,01	14838940,89	49871332,28
F2	3612,683926	5687,495533	1462,652428	19697,2012
F3	0,040820888	320,6243062	320,543303	320,6933242
F4	15,01811416	600,992309	562,5147506	628,7786901
F5	400,0789725	7765,063368	6711,046146	8537,381382
F6	1557625,746	3917453,415	1554282,162	7230398,171
F7	13,67045879	743,342026	717,906645	761,0851671
F8	933230,799	2593271,511	828636,2337	5205814,625
F9	0,214407026	1005,32365	1004,880194	1005,829712
F10	254039,3456	665426,8687	187081,5553	1266207,003
F11	96,36394482	1552,569972	1471,839198	2135,341645
F12	0,815872138	1310,600726	1308,635281	1312,279796
F13	0,003771493	1300,094367	1300,085871	1300,100778
F14	9143,070713	61390,11488	50915,76423	74529,29797
F15	4,50394E-07	1600,000002	1600,000001	1600,000003

TSA'nın temel hali ile iTSA arasında ise iTSA F2,F4,F5,F6,F7,F8,F9,F10,F11,F12,F13 ve F14 fonksiyonlarında en iyi sonuçları vermiştir. Buna mukabil TSA'nın temel halinde ise F1,F3 ve F15 fonksiyonlarında en uygun değerleri vermiştir.

TABLE V. CEC2015 KIYAS FONKSİYONLARINA GÖRE TSA SONUÇLARI

Basic TSA				
	<i>Std</i>	<i>Mean</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
F1	48712879	277816296.9	1.82E+08	387857232.3
F2	15006111	42822184.04	21479684	110385300
F3	0.041474	321.1332529	320.98	321.190902
F4	11.9939	844.7727111	822.5568	866.3508148
F5	372.8728	13448.17374	12585.74	14142.98007
F6	3073413	12168519.68	5603459	18607454.99
F7	11.29366	767.6224458	748.9824	790.7171859
F8	1111511	4673291.79	2563417	7659872.82
F9	0.400297	1007.813448	1006.913	1008.578995
F10	454383.4	1767773.213	1030667	2789303.309
F11	61.40245	2548.805597	2414.722	2662.509389
F12	1.081416	1313.190033	1311.188	1316.857073
F13	0.032049	1300.427584	1300.342	1300.491383
F14	6542.491	69897.24874	57462.97	79839.729
F15	1.748561	1619.560364	1616.408	1623.904093

DE/cur-to-best/1				
F10	46242,60462	99713,45893	26376,56029	239933,3751
F11	95,22216464	1700,71901	1407,184202	1909,646562
F12	42,73278901	1371,692546	1307,359066	1400,340963
F13	0,021181783	1300,125859	1300,096121	1300,214544
F14	6813,736431	73804,89886	53702,12212	82464,47451
F15	5,803536994	1612,739496	1603,136022	1628,896961

iTSA				
	<i>Std</i>	<i>Mean</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
F1	7502176,732	33526545,01	14838940,89	49871332,28
F2	3612,683926	5687,495533	1462,652428	19697,2012
F3	0,040820888	320,6243062	320,543303	320,6933242
F4	15,01811416	600,9922309	562,5147506	628,7786901
F5	400,0789725	7765,063368	6711,046146	8537,381382
F6	1557625,746	3917453,415	1554282,162	7230398,171
F7	13,67045879	743,342026	717,906645	761,0851671
F8	933230,799	2593271,511	828636,2337	5205814,625
F9	0,214407026	1005,32365	1004,880194	1005,829712
F10	254039,3456	665426,8687	187081,5553	1266207,003
F11	96,36394482	1552,569972	1471,839198	2135,341645
F12	0,815872138	1310,600726	1308,635281	1312,279796
F13	0,003771493	1300,094367	1300,085871	1300,100778
F14	9143,070713	61390,11488	50915,76423	74529,29797
F15	4,50E-07	1600,000002	1600,000001	1600,000003

DE ve varyantları arasında Rank değerleri açısından ise iTSA 37 rank değeri ile ilk sırada yer alırken DE/best/2, 49 rank değeri ile ikinci ve sırada yer alırken, DE/cur-to-best/1 rank değeri 53 ile 3. sırada yer almıştır. DE ve varyantları arasında fonksiyon değerleri açısından ise iTSA F3,F4,F5,F7,F11, F12 ve F14 değerlerinde en iyi sonuçları vermiş olup ilk sırada yer almaktadır. DE/cur-to-best/1 F6,F8 ve F10 fonksiyonlarında başarılıdır. DE/best/2, ise F1 ve F2 fonksiyonlarında en iyi sonuçları vermiştir.

DE/best/2				
	<i>Std</i>	<i>Mean</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
F1	34574033,53	130014205,6	77943564,28	255315293,6
F2	103,9290675	303,8324609	200,9792706	596,9045587
F3	0,043716799	321,0141138	320,8602203	321,0943373
F4	16,20723865	732,0864479	690,6424061	768,1412847
F5	396,7578348	12193,97751	11394,12722	12942,72334
F6	2527456,436	8267888,666	3158652,76	14208508,01
F7	8,938487497	750,9797005	741,5844674	788,3435607
F8	1572675,857	3258746,049	815308,9472	8449167,563
F9	0,228668266	1004,661448	1004,288066	1005,816915
F10	203071,8286	376761,0349	103819,6418	1066078,794
F11	138,8415103	1748,839145	1518,698559	2241,700847
F12	31,8343769	1387,696435	1308,138594	1400,268654
F13	0,004816847	1300,086488	1300,074034	1300,102671
F14	6178,543601	67647,23448	60422,48319	77878,34124
F15	0,803114583	1600,112459	1600	1605,735385

DE/cur-to-best/1				
	<i>Std</i>	<i>Mean</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
F1	5340096,011	14260388,35	3703047,99	24478252,95
F2	48991086,46	38838887,3	843900,6599	247994001,3
F3	0,038658817	321,0332438	320,9317003	321,1048393
F4	17,20107629	675,808021	640,0136991	713,968121
F5	358,7685509	11652,8367	10787,88082	12316,87603
F6	574407,5802	1954617,837	877425,0156	3235845,481
F7	23,73870461	756,8784338	708,704506	795,996854
F8	463594,9233	1259839,671	552549,4687	2456029,37
F9	88,00986409	1026,487794	1003,698392	1389,962367

100-D:

ABC, PSO, TSA ve iTSA arasında iTSA'nın rank değeri en düşük olup PSO ise iTSA ile yakın sonuçlara sahip olup başarılıdır.

PSO				
	<i>Std</i>	<i>Mean</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
F1	666013,5675	2158585,213	920971,0437	4846302,239
F2	4571,953358	2640,071998	200,1840919	23594,61567
F3	0,087935705	321,0032423	320,6521447	321,1497696
F4	41,56126565	676,253732	563,1730989	766,8924965
F5	1319,547248	19276,28854	15604,54132	21303,6329
F6	288781,1533	676915,5547	323539,2389	1849139,298
F7	31,4423684	842,478061	728,0987893	874,084307
F8	145116,0731	278448,6392	75608,18485	785009,5882
F9	0,522841196	1008,06523	1006,851333	1009,147884
F10	778,4773101	6454,437755	5020,056089	8654,872555
F11	170,7361793	3074,159701	2725,738629	3441,896821
F12	11,81727558	1398,851926	1316,118587	1400,952428
F13	0,017850431	1300,075727	1300,062472	1300,162155
F14	18105,03847	120220,3625	110242,3469	176142,7676
F15	1,575440929	1602,531188	1600,986948	1612,236759

iTSA				
	<i>Std</i>	<i>Mean</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
F1	30358931,2	187836320,5	120253693,3	242355118,7
F2	1381,085568	1422,442322	241,7539937	6170,821452
F3	0,030608568	320,910958	320,8134335	320,9634482
F4	29,45997645	1039,322851	967,3970252	1093,611384
F5	681,5343263	20885,49928	18400,45997	21881,15458

iTSA				
F6	5934541,12	26205879	15012974,19	38591917,93
F7	12,02071801	845,5059999	822,1164762	875,1773682
F8	3754256,536	13873601,85	5584667,117	21739989,82
F9	0,330728934	1009,37253	1008,411242	1009,86738
F10	855258,3068	2168390,493	990933,8943	5428373,505
F11	898,8734378	2956,642211	1805,624486	3891,283706
F12	0,747951263	1317,724387	1316,36164	1319,76764
F13	0,001500025	1300,076402	1300,073435	1300,079218
F14	17,1624715	110277,9481	110249,6566	110307,3644
F15	0,295501204	1600,375039	1600,004729	1601,340954

DE ve varyantları arasında Rank değerleri açısından ise iTSA 40 rank değeri ile ilk sırada yer alırken DE/rand/1, 44 rank değeri ile ikinci ve sırada yer alırken, DE/best/2 rank değeri 50 ile 3. sırada yer almıştır. DE ve varyantları arasında fonksiyon değerleri açısından ise iTSA F1,F3,F4,F5 ve F12 değerlerinde en iyi sonuçları vermiş olup ilk sırada yer almaktadır. DE/rand/1 F6,F13 ve F15 fonksiyonlarında başarılıdır. DE/best/2, ise F10 ve F11 fonksiyonlarında başarılıdır.

DE/rand-to-/best/1				
	<i>Std</i>	<i>Mean</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
F1	10005910,46	35912281,35	11119727,33	71891303,97
F2	261905525,1	380034415,2	83940144,64	1553458937
F3	0,023650617	321,2906254	321,1959564	321,3318784
F4	25,88817043	1158,885053	1091,343313	1218,856096
F5	506,2030068	29126,54227	27974,06691	30132,07516
F6	5210049,948	20456644,7	11374922,2	31990733,78
F7	13,48974604	861,2415467	823,5167014	892,0365152
F8	3584095,704	13652270,98	8198521,624	24022878,66
F9	2,055292296	1009,616481	1007,148564	1017,655407
F10	108872,9658	155113,1814	18090,45186	489017,9288
F11	120,6457161	2257,69504	2058,658571	2597,283728
F12	39,3527863	1366,069044	1312,707275	1401,036406
F13	0,019022822	1300,11387	1300,083416	1300,180735
F14	6756,720228	160248,0744	146754,0553	175866,7831
F15	12,77048646	1647,822828	1624,360148	1680,135305

DE/rand/1				
	<i>Std</i>	<i>Mean</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
F1	219402821,6	1921416128	1360378806	2365933388
F2	5478,794863	3966,170697	200,8871138	25989,86453
F3	0,030483086	321,2853355	321,1535868	321,333272
F4	18,82958632	1290,461784	1249,476182	1330,614923
F5	481,4499905	29887,76471	28266,42311	30613,6467
F6	20802567,17	146465112	86758974,84	181585729
F7	4,213134583	857,3893446	829,8244044	861,0409385
F8	9957938,835	54850901,87	33568292,17	75008980,77
F9	0,304023771	1008,271801	1007,62167	1008,894849
F10	506117,2317	1627425,841	618874,9211	2770301,878
F11	355,5502402	4370,766749	2248,283935	4759,972284
F12	8,44352912	1399,167946	1340,118348	1400,406439
F13	0,000857427	1300,062193	1300,060333	1300,064607
F14	12,35969288	110237,8487	110223,0285	110262,2922
F15	7,44E-13	1600	1600	1600

iTSA				
	<i>Std</i>	<i>Mean</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
F1	30358931,2	187836320,5	120253693,3	242355118,7
F2	1381,085568	1422,442322	241,7539937	6170,821452
F3	0,030608568	320,910958	320,8134335	320,9634482
F4	29,45997645	1039,322851	967,3970252	1093,611384
F5	681,5343263	20885,49928	18400,45997	21881,15458
F6	5934541,12	26205879	15012974,19	38591917,93
F7	12,02071801	845,5059999	822,1164762	875,1773682
F8	3754256,536	13873601,85	5584667,117	21739989,82
F9	0,330728934	1009,37253	1008,411242	1009,86738
F10	855258,3068	2168390,493	990933,8943	5428373,505
F11	898,8734378	2956,642211	1805,624486	3891,283706
F12	0,747951263	1317,724387	1316,36164	1319,76764
F13	0,001500025	1300,076402	1300,073435	1300,079218
F14	17,1624715	110277,9481	110249,6566	110307,3644
F15	0,295501204	1600,375039	1600,004729	1601,340954

V. SONUÇ

Bu çalışmada geliştirilen Ağaç Tohum algoritması farklı boyutlarda optimizasyon problemlerini çözmek kullanılmıştır. Deneysel sonuçlar, geliştirilen algoritmanın temel hali, ayrıca yapay arı algoritması, parçacık sürü algoritması, farksal gelişim algoritması ve varyantlarından elde edilmiştir. Bu değerler arasında en iyi değerlerin yorumları daha önceki bölümde verilmiş olup sonuçların aktarıldığı tablolar içeriğe de eklenmiştir. Sonuçların da gösterdiği üzere geliştirilen ağaç tohum algoritması ile daha kaliteli çözümler üretilmiş her yineleme bu algoritma ile farklı sayıda tohum üretilmiştir. Böylece arama alanı daha rahat bir şekilde yapılmış erken yakınsama probleminin önüne geçilmiştir. Algoritma 10,30,50,100 boyutlu olarak çalıştırılmış olup probleminin çözümünde makul değerler elde edilmiştir. Ayrıca iyi bilinen optimizasyon algoritmaları ile geliştirilen yapının başa çıktığı gözlenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Kiran, M. S. (2015). "TSA: Tree-seed algorithm for continuous optimization." *Expert Systems with Applications* **42**(19): 6686-6698
- [2] Cinar, A. and M. Kiran (2016). *A parallel version of tree-seed algorithm (TSA) within CUDA platform*. Selçuk international scientific conference on applied sciences.
- [3] Zheng, Y., et al. (2016). "Design of a multi-mode intelligent model predictive control strategy for hydroelectric generating unit." *Neurocomputing* **207**: 287-299.
- [4] Muneeswaran, V. and M. P. Rajasekaran (2016). *Performance evaluation of radial basis function networks based on tree seed algorithm*. 2016 International Conference on Circuit, Power and Computing Technologies (ICCPCT), IEEE.
- [5] Muneeswaran, V. and M. P. Rajasekaran (2017). *Beltrami-regularized denoising filter based on tree seed optimization algorithm: an ultrasound image application*. International Conference on Information and Communication Technology for Intelligent Systems, Springer.
- [6] Chen, W., et al. (2017). *Parameter identification of equivalent circuit models for Li-ion batteries based on tree seeds algorithm*. IOP conference series: earth and environmental science, IOP Publishing.

- [7] Cinar, A. C. and M. S. Kiran (2018). "A parallel implementation of Tree-Seed Algorithm on CUDA-supported graphical processing unit." Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University **33**(4): 1397-1409.
- [8] Zhou, J., et al. (2018). "A heuristic TS fuzzy model for the pumped-storage generator-motor using variable-length tree-seed algorithm-based competitive agglomeration." Energies **11**(4): 944.
- [9] Ding, Z., et al. (2019). "Structural damage identification with uncertain modelling error and measurement noise by clustering based tree seeds algorithm." Engineering Structures **185**: 301-314.
- [10] Li, L., et al. (2019). "Metaheuristic FIR filter with game theory based compression technique-A reliable medical image compression technique for online applications." Pattern Recognition Letters **125**: 7-12.
- [11] Gungor, I., et al. (2020). "Integration search strategies in tree seed algorithm for high dimensional function optimization." International Journal of Machine Learning and Cybernetics **11**(2): 249-267.