

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ISI TRANSFERİ PROBLEMLERİNİN ÇÖZÜMÜ İÇİN
GELENEKSEL VE GÜNCEL SEZGİSEL
OPTİMİZASYON ALGORİTMALARININ KULLANIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Özen GÜNAL

**Enstitü Anabilim Dalı : BİLGİSAYAR VE BİLİŞİM
MÜHENDİSLİĞİ**
Tez Danışmanı : Dr. Öğr.Üyesi Mustafa AKPINAR

Temmuz 2021

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ISI TRANSFERİ PROBLEMLERİNİN ÇÖZÜMÜ İÇİN
GELENEKSEL VE GÜNCEL SEZGİSEL
OPTİMİZASYON ALGORİTMALARININ KULLANIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Özen GÜNAL

Enstitü Anabilim Dalı : BİLGİSAYAR VE BİLİŞİM
MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 06.07.2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr.
Sezgin KAÇAR
Jüri Başkanı

Dr. Öğr. Üyesi
Mustafa AKPINAR
Üye

Dr. Öğr. Üyesi
Hüseyin ESKİ
Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Özen GÜNAL

10.05.2021

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Dr. Öğr.Üyesi Mustafa AKPINAR'a teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	v
TABLOLAR LİSTESİ	vi
ÖZET	vii
SUMMARY	viii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
1.1. Isı Transferi Optimizasyonuna Yönelik Literatür Çalışmaları.....	2
1.2. Çalışmanın Ana Hatları.....	3
BÖLÜM 2.	
METOTLAR	5
2.1. Optimizasyon.....	5
2.2. Optimizasyon Algoritmaları	6
2.2.1. Parçacık sürüsü optimizasyon algoritması.....	7
2.2.2. Genetik algoritmalar	10
2.2.3. Tavlama benzetimi	12
2.2.4. Yapay arı kolonisi algoritması.....	14
2.2.5. Ateşböceği algoritması.....	16
2.2.6. Öğretme-öğrenme esaslı optimizasyon algoritması.....	17
2.2.7. Sürekli alanlar için karınca kolonisi optimizasyonu.....	19
2.2.8. Sinüs kosinüs algoritması	20

2.2.9. Gri kurt optimizasyon algoritması.....	22
2.2.10. Balina optimizasyon algoritması.....	24
2.2.11. Salp sürü algoritması.....	27
2.2.12. Harris şahini optimizasyon algoritması.....	29
2.3. Isı Transferi Yaklaşımları.....	33
 BÖLÜM 3.	
MODELLER	36
3.1. Isı Yalıtım Problemi Modellemesi.....	36
3.2. Isı Sınır Tabaka Problemi Modellemesi.....	41
 BÖLÜM 4.	
ARAŞTIRMA BULGULARI	49
4.1. Isı Yalıtım Problemi Test Sonuçları.....	49
4.2. Isı Sınır Tabaka Problemi Test Sonuçları.....	56
4.3. Genel Değerlendirme.....	64
 BÖLÜM 5.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	72
 KAYNAKLAR	 74
EKLER	77
ÖZGEÇMİŞ	113

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

PSO	: Parçacık sürüsü optimizasyon algoritması
GA	: Genetik algoritmalar
SA	: Tavlama benzetimi algoritması
ABC	: Yapay arı kolonisi algoritması
FA	: Ateşböceği algoritması
TLBO	: Öğretme-öğrenme esaslı optimizasyon
ACOR	: Sürekli alanlar için karınca kolonisi optimizasyonu
SCA	: Sinüs kosinüs algoritması
GWO	: Gri kurt optimizasyon algoritması
WOA	: Balina optimizasyon algoritması
SSA	: Salp sürü algoritması
HHO	: Harris şahini optimizasyon algoritması

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Optimizasyon algoritmalarının sınıflandırılması	7
Şekil 2.2.	Parçacıkların konum değiştirmesi	8
Şekil 2.3.	Parçacık sürü optimizasyonu akış diyagramı	9
Şekil 2.4.	Genetik algoritma akış diyagramı	11
Şekil 2.5.	Isıl işlem	12
Şekil 2.6.	Boltzman dağılımı	13
Şekil 2.7.	Tavlama benzetimi akış diyagramı	13
Şekil 2.8.	Yapay arı kolonisi algoritması akış diyagramı	15
Şekil 2.9.	Ateş böceği algoritması akış diyagramı.....	17
Şekil 2.10.	Öğretme-öğrenme esaslı optimizasyon akış diyagramı.....	18
Şekil 2.11.	Acor akış diyagramı.....	20
Şekil 2.12.	Eş. 1'deki sinüs ve kosinüsün bir sonraki konuma etkisi.....	21
Şekil 2.13.	$[-2, 2]$ aralığında sinüs ve kosinüs; yakın veya uzak dolaşımı.....	22
Şekil 2.14.	Gwo hiyerarşik yapısı.....	22
Şekil 2.15.	Kambur balinaların hava kabarcığı yöntemi ile avlanması.....	25
Şekil 2.16.	Salp sürülerinin davranış şekiller.....	28
Şekil 2.17.	Hho algoritmasında keşif ve operasyon aşamaları.....	30
Şekil 3.1.	Yalıtımın kritik kalınlığı.....	38
Şekil 3.2.	Problem-1 durum-1 için akış diyagramı.....	40
Şekil 3.3.	Problem-1 durum-2 için akış diyagramı.....	41
Şekil 3.4.	Lamine akışı.....	42
Şekil 3.5.	Problem-2 durum-1 için akış diyagramı.....	47
Şekil 3.6.	Problem-2 durum-2 için akış diyagramı.....	48
Şekil 3.7.	Problem-2 durum-3 için akış diyagramı.....	49

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 3.1. 80 °C ve 100 °C sıcaklıkta ρ, ν, k, c_p değerleri.....	43
Tablo 4.1. Woa-tlbo problem-1 durum 1 sonuçları.....	51
Tablo 4.2. Sca-sa problem-1 durum 1 sonuçları.....	52
Tablo 4.3. Ssa-pso problem-1 durum 1 sonuçları.....	52
Tablo 4.4. Hho-gwo problem-1 durum 1 sonuçları.....	52
Tablo 4.5. Ga-fa problem-1 durum 1 sonuçları.....	53
Tablo 4.6. Abc-acor problem-1 durum 1 sonuçları.....	53
Tablo 4.7. Woa-tlbo problem-1 durum 2 sonuçları.....	55
Tablo 4.8. Sca-sa problem-1 durum 2 sonuçları.....	55
Tablo 4.9. Ssa-pso problem-1 durum 2 sonuçları.....	55
Tablo 4.10. Hho-gwo problem-1 durum 2 sonuçları	56
Tablo 4.11. Ga-fa problem-1 durum 2 sonuçları	56
Tablo 4.12. Abc-acor problem-1 durum 2 sonuçları	56
Tablo 4.13. Isı yalıtımı birinci durum için ortalama sonuçlar.....	64
Tablo 4.14. Isı yalıtımı ikinci durum için ortalama sonuçlar	65
Tablo 4.15. Isı sınır tabaka (δ_t) minimum değeri ortalama sonuçları.....	65
Tablo 4.16. Isı sınır tabaka (δ_t) maksimum değeri ortalama sonuçları.....	66
Tablo 4.17. Isı sınır tabaka (δ_t) hedef (19,6 mm) değeri ortalama sonuçları....	67
Tablo 4.18. Isı sınır tabaka (Q) minimum değeri ortalama sonuçları.....	67
Tablo 4.19. Isı sınır tabaka (Q) maksimum değeri ortalama sonuçları.....	68
Tablo 4.20. Isı sınır tabaka (Q) hedef değeri=160.43 W ortalama sonuçları.....	69
Tablo 4.21. Isı sınır tabaka (x) minimum değeri ortalama sonuçları.....	69
Tablo 4.22. Isı sınır tabaka (x) maksimum değeri ortalama sonuçları.....	70
Tablo 4.23. Isı sınır tabaka (x) uzaklığın hedef=0,61 ortalama sonuçları.....	71

ÖZET

Anahtar kelimeler: ısı transferi, optimizasyon, meta sezgisel algoritmalar, optimizasyon algoritmaları

Isı transferinde yalıtım malzemesi önemli bir yer tutmaktadır. Yalıtım malzemesi ile enerji kaybı azaltılmaya çalışılır. Böylelikle enerji tasarrufu sağlanabilir ve ısı enerjisi verimli bir şekilde aktarılabilir.

Bu çalışmada optimizasyon algoritmaları ısı transferi problemleri çözümü için uyarlanmıştır. Optimizasyon algoritmalar belirli sayıda rastgele çözüm, bu çözümleri iyileştirme ve tekrar adımları ile optimum çözümü bulmayı amaçlamaktadır.

Silindirik yüzeylerde izin verilen en yüksek ısı kaybı için önceden belirlenmiş bir kalınlıkta kullanılacak yalıtım malzemesinin ve izin verilen en yüksek ısı kaybı için belirli bir maksimum ısıl iletkenlik sabitinde yalıtım malzemesinin kalınlığını tahmin edilmeye çalışılmıştır.

Lamine akış için ilk olarak hedef termal sınır tabaka kalınlığının (δ_t) maksimum, minimum ve hedef (19,6 mm) değerleri daha sonra ısı akışının (Q) maksimum, minimum ve hedef (160.43 W) değerleri en son olarak ön kenardan (x) uzaklığın maksimum, minimum ve hedef (0,61 m) değerlerine dayalı tahminlerde bulunulmuştur.

Bu durumu gerçekleştirmek için 12 farklı geleneksel ve güncel optimizasyon algoritması kullanılmıştır. Hem sonuçları hem de optimizasyon algoritmalarını uygun bir şekilde değerlendirmek için aynı başlatma değerleri, popülasyon miktarı ve nesil sayısı seçilmiştir. Amacın gerçekleştiğini göstermek için örnek problemler üzerinde çözümler uygulanıp karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

USE OF TRADITIONAL AND CURRENT INTUITIVE OPTIMIZATION ALGORITHMS TO SOLVE HEAT TRANSFER PROBLEMS

SUMMARY

Keywords: Heat transfer, optimization, meta-heuristic algorithms, optimization algorithms

Insulation material has an important place in heat transfer. Energy loss is tried to be reduced with the insulation material. Thus, energy can be saved and heat energy can be transferred efficiently.

In this study, optimization algorithms are adapted for the solution of heat transfer problems. Optimization algorithms aim to find the optimum solution with a certain number of random solutions, improvement and repetition steps of these solutions.

It has been tried to predict the thickness of the insulation material to be used at a predetermined thickness for the highest allowable heat loss in cylindrical surfaces and the thickness of the insulation material at a certain maximum thermal conductivity constant for the highest allowable heat loss.

For laminated flow, first the maximum, minimum and target (19.6 mm) values of the target thermal boundary layer thickness (δ_t), then the maximum, minimum and target (160.43 W) values of the heat flow (Q) from the leading edge (x). It made estimates based on the maximum, minimum and target (0,61 m) of the distance.

To realize this situation, 12 different traditional and up-to-date optimization algorithms have been used. The same start values, population size and number of generations were chosen to appropriately evaluate both results and optimization algorithms. In order to show that the purpose has been achieved, solutions are applied on the sample problems and presented comparatively.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Isı transferi, sıcaklık farklarından dolayı enerjinin bölgesel olarak yer değiştirmesidir. Termodinamiğin de alt dalı olan ısı transferi günlük yaşamımızda birçok yerde karşımıza çıkmaktadır. Kış mevsiminde soğuk olan iç ortamların radyatörler kullanılarak ısıtılması, termosu konmuş olan çayın sıcaklığını koruması, kafe veya restoranların açık alanlarında kullanılan ısıtıcılar, güneşin gündüz sıcaklığını arttırması gibi birçok durum ısı transferinin konusuna girmektedir. Isı transferi günümüzde iklimlendirme şartlarında küresel ısınmayla birlikte önemli hale gelmiştir [1]. Burada kullanılan malzemeler, yaklaşımlar ve geometrik modeller önem kazanmıştır. Enerjinin daha verimli kullanılmasını hedefleyen ısı transferi üzerine günümüzde yoğun bir şekilde çalışılmaktadır.

Isı transferi üç şekilde olabilmektedir. Bunlar taşınım, iletim ve radyasyondur. Isı iletimi günümüzde radyatörler, bina yalıtımları, işlemci üzerinde bulunan soğutucu gibi uygulamalarda kullanılmaktadır. İşlemci soğutucusunun üzerinde bulunan fan ise ısı taşımına örnek verilebilir. Isı radyasyona en iyi örnek güneş ışınlarıdır.

Isı taşımında yer alan ısı yalıtımı malzemeleri, uygulamada çok fazla alanda kullanılmaktadır [1]. Boru kanallarında, soğutucularda bulunan silindirik yüzeyli ısı değiştiricilerde, kimya alanında, güç santralleri, buhar ve sıcak su boru hatlarında, fırınların ısı kaybını önlemek üzere kullanılmaktadırlar [2]. Isı taşımını sadece yalıtım değil, enerji kaybı en düşük olacak biçimde sıcaklık iletiminde de kullanılmaktadır. Oda içinde yakılan sobanın baca yardımıyla sıcaklığın ortama aktarılması, radyatörler yardımıyla ortamın ısıtılması, işlemci soğutucusunun ısıyı işlemcinin üzerinden alması da ısı taşımına örnektir. Isı taşımında hedeflenen ısıyı başka bir ortama hızla aktarmak olabileceği gibi, ısının bulunduğu yerde en az

kayıpla tutulmasını da sağlamaktır. Belirtilen iki durum malzemelerin özelliklerine göre değişmektedir.

Isı transferi problemlerini optimizasyon teknikleri kullanarak çözümüne çalışan çeşitli çalışmalar yapılmıştır.

1.1. Isı Transferi Optimizasyonuna Yönelik Literatür Çalışmaları

Fabbri (1998) çalışmasında kanatlı dairesel kanallarda ısı transferi optimizasyonunu laminar akış koşulları altında optimizasyon algoritması kullanarak gerçekleştirmiştir [1].

Zaki ve ark. (2000) çalışmalarında kullanılan yalıtım malzemeleri üzerine, optimum yalıtım kalınlıkları ve olası sonuçları üzerine optimizasyon yapmıştır [3].

Li ve ark. (2004) çalışmalarında soğuk hava koşullarının hâkim olduğu bölgelerde su borularının donmasına karşı boruları yalıtılması mı yoksa elektriksel ısıtılması mı uygun olur maliyetlerini ve verimliliklerini karşılaştırmışlardır. Elektriksel ısıtma olayının hızlı ve etkili olduğunu fakat fazla maliyetli olduğunu ortaya koymuşlardır. Bundan dolayı optimum yalıtım kalınlığı üzerinde durmuşlardır [4].

Özdemir ve ark. (2006) çalışmalarında sıcak su geçen sistemlerdeki boruların ekonomik yalıtım kalınlığı ne olması gerektiği üzerinde durmuşlardır. Yalıtım kalınlığındaki değişimin fayda maliyet analizi üzerine optimizasyon yapmışlardır [5].

Tuncer (2007) de çalışmalarında ısıtma ile soğutma sistemlerindeki ısı yalıtım optimizasyonu yapmışlardır. Çeşitli illerde birbirinden farklı yalıtım malzemeleri ve çeşitli enerji türlerine yönelik optimum yalıtım kalınlığı üzerinde durmuşlardır [6].

Madadiand ve ark. (2008) çalışmalarında, havalandırılmalı bir boşluk içerisinde rastgele bir yere yerleştirilebilen ve genetik algoritma ile üç ayrı ısı kaynağının optimal konumunu değerlendirmiştir [7].

Edyta Hetmaniok ve ark. (2012) çalışmalarında, ısı transferi katsayısının belirlenmesi için karınca kolonisi optimizasyon algoritmasından faydalanmışlardır [8].

Alimohammad Karami ve ark. (2012) çalışmalarında klasik bükümlü hava soğutucusunda ısı transferi optimizasyonu için emperyalist rekabetçi algoritması kullanarak değerlendirmiştir [9].

R. Rao ve ark. (2015) TLBO optimizasyon algoritması ile ısı borusunun optimum tasarımı (öğretim-öğrenmeye dayalı optimizasyon) konusunu değerlendirmiştir [10].

Jiankun Yang ve ark. (2018) denizaltı boru hatlarının farklı malzemeler için ısı yalıtımı konusunun parçacık sürü optimizasyon algoritması ve genetik algoritma ile değerlendirilmesini yapmışlardır [11].

Akpınar, M. (2019) çalışmasında, iki örnek üzerinden ısı transferi yaklaşımı ve modellemesini yapmış ve genetik algoritma ile konuyu değerlendirmiştir. Meta sezgisel algoritmaların ısı transferi problemlerinde kullanılabilir olduğunu göstermeye çalışmıştır. Çalışmasının ilk problemi silindirik yüzeylerde kritik yalıtım kalınlığı hesaplaması üzerinedir. Burada sabit rejimle radyal olarak ısıtılan, sabit özelliklere sahip, ısı üretmeyen ve ısıyı minimum ısı kaybıyla korumak için yalıtım amacıyla sarılmış sürekli bir rejime sahip bir ısı kaynağı içerir. İkinci problemde lamine akış için termal sınır tabakasının kritik kalınlığı üzerine hesaplamalar yapmıştır [12].

1.2. Çalışmanın Ana Hatları

Bu tez çalışması 12 farklı optimizasyon algoritması kullanılarak optimal parametreleri belirlemek için iki farklı ısı transferi problemi farklı parametrelerin alabileceği maksimum, minimum ve hedef değerler ve elde edilen sonuçları değerlendirilmiştir. İlk örnek problemde, yalıtım malzemesinin farklı kalınlığından kaynaklanabilecek durumlar meta sezgisel algoritmalarla değerlendirilmiştir. İkinci örnek problemde, karakteristiklerinin sabit olduğu, ısınlamanın ihmal edildiği, plaka üzerinde sürekli rejimde plaka ve hava sıcaklıklarının sabit olduğu laminar akışlı

hava akışı için optimizasyon algoritmaları ile farklı durumlar için kullanılarak sınır tabaka kalınlığı üzerine değerlendirmeler yapılmıştır. Tezin asıl amacı, meta sezgisel algoritmaların optimizasyon gerektiren ısı transferi problemlerinde uygulanabilir olduğunu göstermek ve bunu yaparken de eski ve yeni optimizasyon algoritmalarının konu ile ilgili başarımlarını karşılaştırmaktır.

İkinci bölümde, temel optimizasyon bilgisi verilmiş olup optimizasyon algoritmaları hakkında tanımlar ve bilgilere yer almaktadır. Tez içerisinde kullanılan optimizasyon algoritmalarının genel yapısı, özellikleri hakkında bilgilerle devam etmektedir. İkinci bölümde son olarak ısı transferi yaklaşımları hakkında temel bilgiler yer almaktadır.

Üçüncü bölümde ilk olarak, yalıtım malzemesinin farklı kalınlığından kaynaklanabilecek maksimum ısı kaybı ile ilgili modellemesi, örnekleme, modelin akış diyagramı gösterilmiştir. Daha sonra laminar bölge hava akışı için ısı sınır tabakası ile ilgili modelleme, örnek ve modelin akış diyagramı tanıtılmıştır.

Dördüncü bölümde, problemlerin aynı özelliklere sahip 12 değişik algoritma ile 10 defa tekrar edilmesinden elde edilen sonuçlara, ortalama değerlerine ve hata yüzdelere yer verilmiştir.

Beşinci bölümde, tez içeriğini özetlenmiş, elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve önerilere yer verilmiştir.

BÖLÜM 2. METOTLAR

2.1. Optimizasyon

Optimizasyon, reel bir fonksiyonun belirli kısıtlar altında en büyük ve en küçük değerlerini arama, bulma işlemidir [13]. Problemimizden elde edilen sonuçları istenilen çerçeve (kısıt) içinde en uygunu seçen bir yapısı vardır. Çok bilinmeyenli ve kısıtlı problemleri türev yoluyla çözmek zor, hatta imkânsız olduğundan, amaç fonksiyon değerini genellikle matematiksel sonuca uygun veya yakın bir şekilde veren optimizasyon algoritmalarının önemi artmıştır. Burada çözüme kara kutu mantığı ile yaklaşma, diğer bir ifadeyle alan içinde rastgele hareketlenme gezinme ve bu gezinme sonucunda bulunan sonuçların karşılaştırılması ile en uygun olanını alma söz konusudur. Dolayısıyla doğru sonucu garanti etmez. Optimizasyon; çoğu karar alma işlemlerinde kullanılmaktadır. Günlük hayattan örnek vermek gerekirse gidilecek bir hedefe farkında olmadan çoğunlukla en kısa yolu (hipotenüs doğrusu) yönünde hareket ederek gidilmektedir. Optimizasyon her zaman bu kadar basit olmamaktadır. Örneğin; bir fabrika için arsa seçimi yapılacaksa, arsa fiyatı, ulaşım alternatifleri, hammaddeye yakınlık, pazara olan yakınlık, personel alternatifi gibi kriterler seçimde önemli olabilmektedir. Bu kriterlerin hangilerinin öncelikli olduğu ve kriterlerden hangilerinin arazi için daha uygun olduğu belirlenir. En iyi tercih, diğer bir ifadeyle optimum tercih yapılır. Eğer çözüm tüm kısıtlamaları karşılıyorsa uygun (optimal) çözüm olur. Aslında insan doğumu ile başlayıp süre gelen hayatında birçok tercihte farkında olmadan optimizasyon (en iyilime) yapmaktadır.

Literatürde optimizasyonun popüler olmasını sağlayan nedenler

- Uygulama kolaylığı ve başarısı
- Gradyan (türev) bilgisi gerektirmemesi
- Lokal minimum ve maksimum noktaları atlayabilmesi

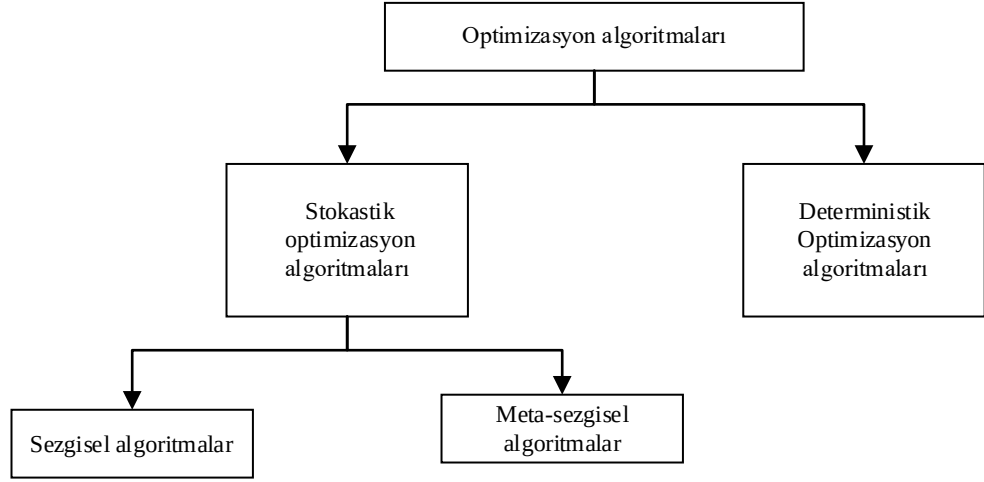
- Farklı sorunları kapsayan çok çeşitli problemlerde kullanılabilir olmasıdır [13].

2.2. Optimizasyon Algoritmaları

Optimizasyonda çeşitli algoritmalar bulunmaktadır. Literatürde optimizasyon algoritmaları stokastik ve deterministik olarak ayrılmaktadır [14]. Deterministik yöntemler hesaplamalı yöntemler ve gradyanlı yöntemler olarak iki kısımdan oluşmaktadır. Hesaplamalı yöntemler eğim bilgisine ihtiyaçları yoktur. Yavaş ve fazla etkili olmayan bir yöntemdir. Gradyan tabanlı yöntemler amaç fonksiyonunun eğimini kullanmaktadırlar. Deterministik yöntemler ile yüksek boyutlu, eğimi bulunamayan problemleri çözmek oldukça zor, hatta imkânsız olmaktadır [14].

Sezgisel algoritmalar ise belirli sayıda rastgele çözüm, bu çözümleri iyileştirme ve tekrar adımları ile optimum çözümü bulmayı amaçlamaktadır. Meta sezgisel ise daha ileri sezgisel anlamına gelmektedir. Sezgisel yöntemler arama alanın hareketli ve iteratif olarak taranmasını amaçlamaktadır. Bu yöntemler, her zaman global en iyi çözümü bulmayı garanti etmemektedir [15], ancak oldukça kullanışlı bir yöntemlerdir. Çünkü büyük ölçekli ve karmaşık problemlere etkin çözümler üretebilirler [15].

Meta sezgisel yöntemler eğim (türev) bilgisine ihtiyaç duymamaktalar ve amaç fonksiyonu defalarca çağırarak en iyi sonucu aramaktadırlar. Bu algoritmalar arama alanını daraltmaktalar ve etkili çözüm bulmaya çalışmaktadırlar. Geliştirilen algoritmalar arasındaki temel fark, keşif (global arama yeteneği) ile sömürü arasındaki denge (optimal çözüm çevresinde yerel arama yeteneği) yaklaşımında yatmaktadır [14]. Sezgisel optimizasyon algoritmaları istenilen sonuca belirli bir komşulukta sonuç verirken sezgisel olmayan optimizasyon algoritmaları kesin sonuç verirler.



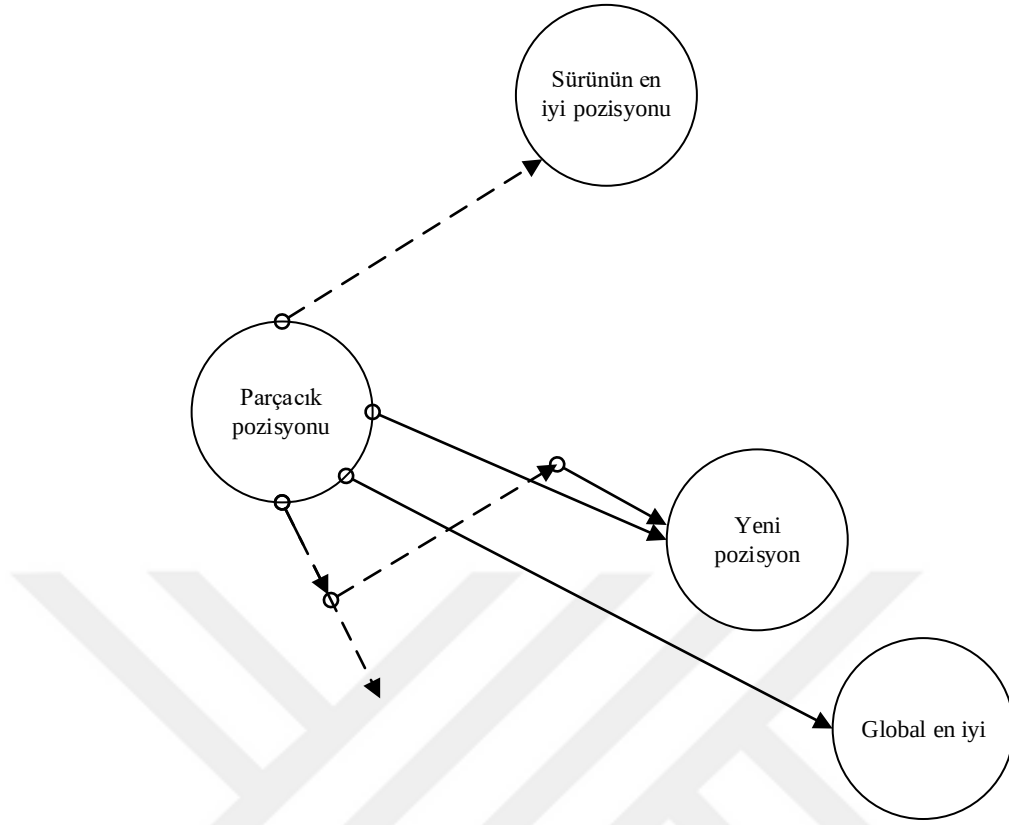
Şekil 2.1. Optimizasyon algoritmalarının sınıflandırılması [14].

Aşağıda çalışmada kullanılan optimizasyon teknikleri hakkında bilgiler vermiştir.

2.2.1. Parçacık sürüsü optimizasyon algoritması

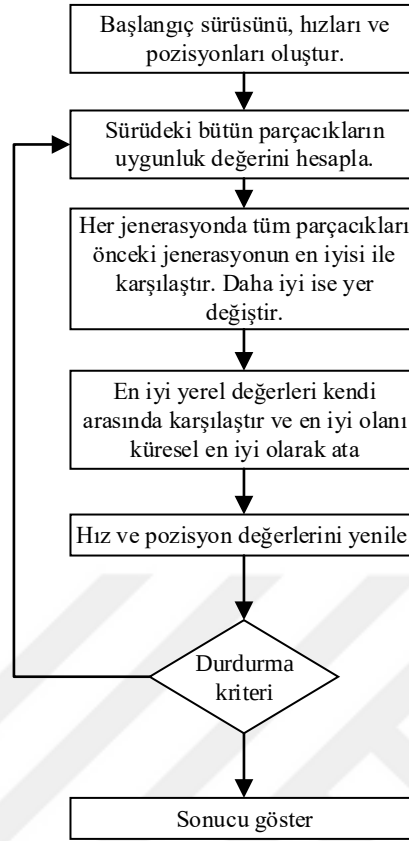
Parçacık sürüsü optimizasyon (Particle swarm optimization-PSO) algoritması, sürü istihbaratına dayanan bir algoritmadır. Tanımlanan alan içinde hareket eden sürü üyeleri birbiriyle haberleşerek tehlike veya yiyecek gibi durumları birbirine haber vermesi esasına dayanır. Burada parçacık ve parçacıkların birleşmesiyle (birlikte hareket etmesiyle) oluşan yapıya sürü denir [16].

Şekil 2.2.'de görüldüğü gibi her bir parçacığın belli bir konumu ve hızı vardır. Parçacığın yeni pozisyonu, parçacık hızının belirli bir parçası ile sürünün en iyi pozisyon vektörü ve global en iyi vektörünün belli bir parçacının vektörel birleşiminden oluşur. Burada kullanılacak vektörlerin boyu vektörlerin rastgele üretilen sayı ile çarpımından elde edilir. Bu üç vektörün birleşimi her zaman global en iyiye yaklaşır. Her iterasyonda konum olarak bulunan yerin amaç fonksiyonu için daha uygun olup olmadığı kontrol edilmektedir. Bulunan sonuç sürünün en iyisinden daha iyi olup olmadığı global en iyi ile karşılaştırılarak belirlenmektedir. İşlemler çoklu evrimde iteratif olarak ilerleyerek amaç fonksiyonun değeri bulunur.



Şekil 2.2. Parçacıkların konum değıştirmesi [17].

Parçacık sürü optimizasyonu algoritmasının akış diyagramı Şekil 2.3.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Parçacık sürü optimizasyonu akış diyagramı [17].

Algoritma temel olarak aşağıdaki basamaklardan oluşur;

- Rastgele üretilen başlangıç konumları ve hızlar ile başlangıç sürüsü oluşturulur.
- Sürü içerisindeki tüm parçacıkların sınırlar içinde olup olmadığı ve amaç fonksiyon değerleri hesaplanır.
- Her bir parçacık için mevcut çevrim için yerel en iyi değeri bulunur.
- Yerel eniyiler içerisinde küresel en iyi seçimi yapılır.
- Konumlar ve hızlar aşağıdaki gibi yenilenir.

$$V_{id} = w * V_{id} + c_1 * rand_1 * (P_{id} - X_{id}) + c_2 * rand_2 * (P_{gd} - X_{id})$$

$$X_{id} = X_{id} + V_{id}$$

Burada X_{id} konum ve V_{id} hızı verirken, $rand_1$ ve $rand_2$ değerleri rastgele üretilmiş sayılardır. w atalet ağırlık değeri ve c_1, c_2 ölçeklendirme değeridir.

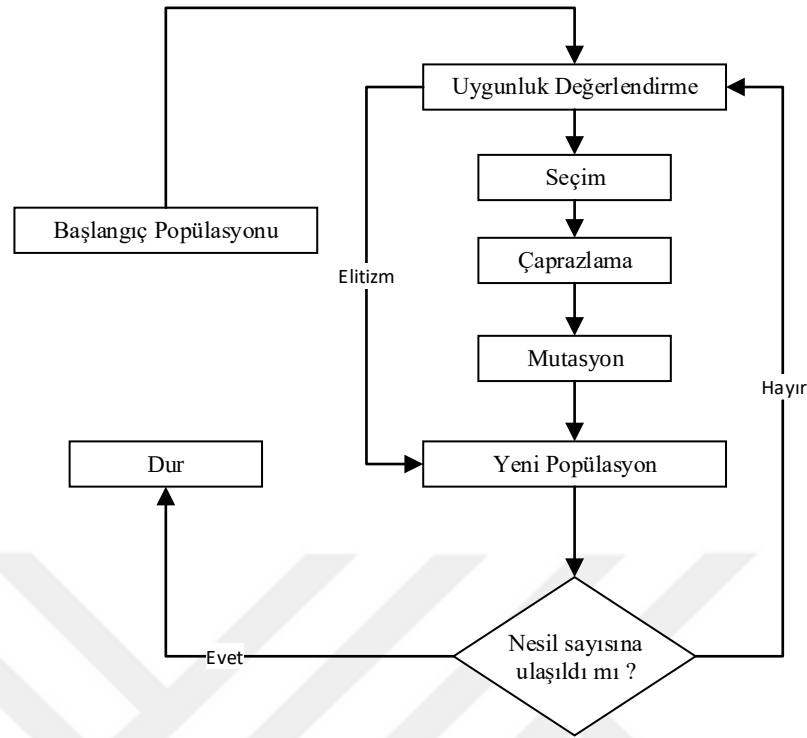
- Maksimum çevrim sağlanıncaya kadar 2,3,4,5 adımları tekrar eder [17].

2.2.2. Genetik algoritmalar

Genetik (Genetic algorithm-GA) algoritması, Darwin'in doğal seçim ve evrim teoreminden çıkarılan arama ve optimizasyon yöntemidir. Bu yöntem ilk olarak, John Holland ve arkadaşları tarafından (1970'li yıllarda) ortaya konmuştur [18]. Biyolojik alt yapısı ve kullanılan genetik işlemlerde ifadeler aşağıda listelenmiştir.

- Gen, en küçük yapıya gen denilmektedir. Gen kromozomları (dizileri) oluşturan elemanların belirlenen aralıklardaki yapı taşlarıdır.
- Kromozom (Birey), birden fazla genin bir araya gelip oluşturdukları diziye denir. Kromozomların her biri aday çözümdür.
- Popülasyon, kromozomların oluşturduğu yapıya popülasyon denir. Popülasyon uygunluğu belirlenen kısıtlara göre maksimize veya minimize işlemleri uygulanarak bulunur. Doğal Seçim, Uygunluk değeri belirlenen ortalamanın üstünde bulunan dizilerin bir sonraki jenerasyona aktarımında bulunur böylece daha iyi nesiller oluşturulmuş olur. Aynı evrim teorisinde olduğu gibi en iyi olanın hayatta kalması durumuna benzemektedir [18].
- Çaprazlama, iki kromozomdan rastgele olarak seçilen bir yerin öncesi ve sonrasındaki kısımlarının birbirleriyle yer değiştirmesiyle iki yeni kromozom oluşmaktadır [19]. Bu sayede popülasyonda iyi özelliklere sahip kromozomların bir arada olmasını kolaylaştırarak en iyiye yaklaştırmaya yardımcı olmaktadır [18].
- Mutasyon, yeni nesil oluşturmada belirli bir süre sonra nesiller kendini tekrar etmeye başlar bunu önlemek için mutasyon işlemi yapılır. Bu değişim popülasyonda genellikle %1-%5 inde yapılır. Mutasyon popülasyonda çeşitliliği sağlar ve lokal sonuçlara takılmayı önler [19].

Genetik algoritma akış diyagramı Şekil 2.4.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Genetik algoritma akış diyagramı [18].

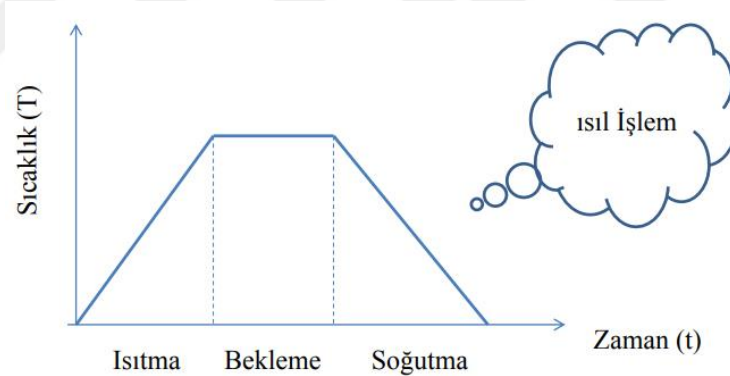
Genetik Algoritmaların çalışma adımları aşağıda verilmektedir.

- Başlangıç popülasyonları rastgele oluşturulur.
- Her kromozomun (bireyin) uygunluk değeri amaç fonksiyonu ile hesaplanır. Bu adımda en iyi birey yerel çözüm olur.
- Durdurma kriteri olarak daha önceden belirlenmiş nesil sayısı veya herhangi bir ideal global sonuç verilebilir. Eğer durdurma kriteri sağlanıyorsa algoritma durdurulur ve elde tutulan en iyi çözüm, global en iyi olarak alınır. Kriter sağlanmıyorsa arama işlemi devam eder.
- Popülasyonda çaprazlama yapılacak bireyler belirlenirken uygunluk kısıtlamasına göre alınır ve belirlenen seçim yöntemi kullanılır. Seçilen bireyler çaprazlama ve mutasyon işlemi uygulanır ve Adım 2 ye gidilir [18].

2.2.3. Tavlama benzetimi

Tavlama benzetimi (Simulated annealing-SA) algoritması, ısıtılmış metallerin soğumasını model alan bir optimizasyon yöntemidir [20]. Tavlama benzetimi tasarımını Metropolis ve diğ. (1953) katı metaller için yapmıştır. Kirkpatrick ve diğ. (1983) Metropolis algoritmasını optimizasyon işlemleri için uyarlamıştır [21]. Tavlama benzetimi işlemleri aşağıda gösterilmiştir (Şekil 2.5.).

- Tavlama, metalin belirli süre (özellğine göre) ısıtıp yavaş bir şekilde soğutma işlemidir. Metali yumuşatmak kullanışlı yapmak için gerçekleştirilen ısı işlemlerin genel adıdır.
- Isıl işlem, metalin sıcaklığının belirlenen bir maksimum dereceye kadar yükseltme sonra azaltılması işlemidir.



Şekil 2.5. Isıl işlem [20].

Çözümlerin kabulü Boltzmann'ın olasılık dağılımından yapılmaktadır. Amaç fonksiyonunda lambda kadar bir değişime yol açacak hareketin kabul olasılığını veren fonksiyona kabul fonksiyonu denir [20]. Komşuluktaki hareketin kabulü rassal olarak belirlenir. Bu denklemde P olasılığı, lambda (Δ) komşu çözüm ile mevcut çözüm arasındaki farkı, T ise sıcaklığı belirtmektedir.

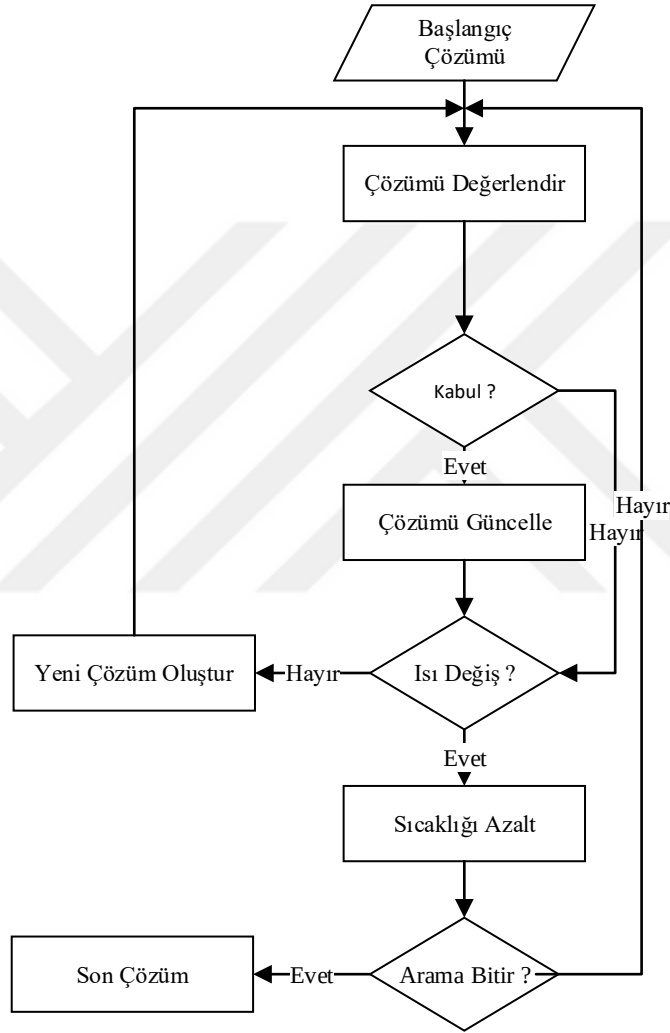
Tavlama benzetimi algoritmasının akış diyagramı Şekil 2.7.'de gösterilmiştir.

$$P(\text{accept}) = e^{-\left(\frac{\Delta}{T}\right)}$$

$\Delta = (\text{komşu çözüm} - \text{mevcut çözüm})$

Boltzmann dağılımı

Şekil 2.6. Boltzman dağılımı [21].



Şekil 2.7. Tavlama benzetimi akış diyagramı [20].

Algoritmaya ait çeşitli kararlar bulunmaktadır [20]. Bu kararlar başlangıç sıcaklığını belirleme, sıcaklık değiştirme değerlerini belirleme, her sıcaklıkta gerçekleştirilecek döngü sayısını belirleme ve durdurma kriterinin belirlenmesidir.

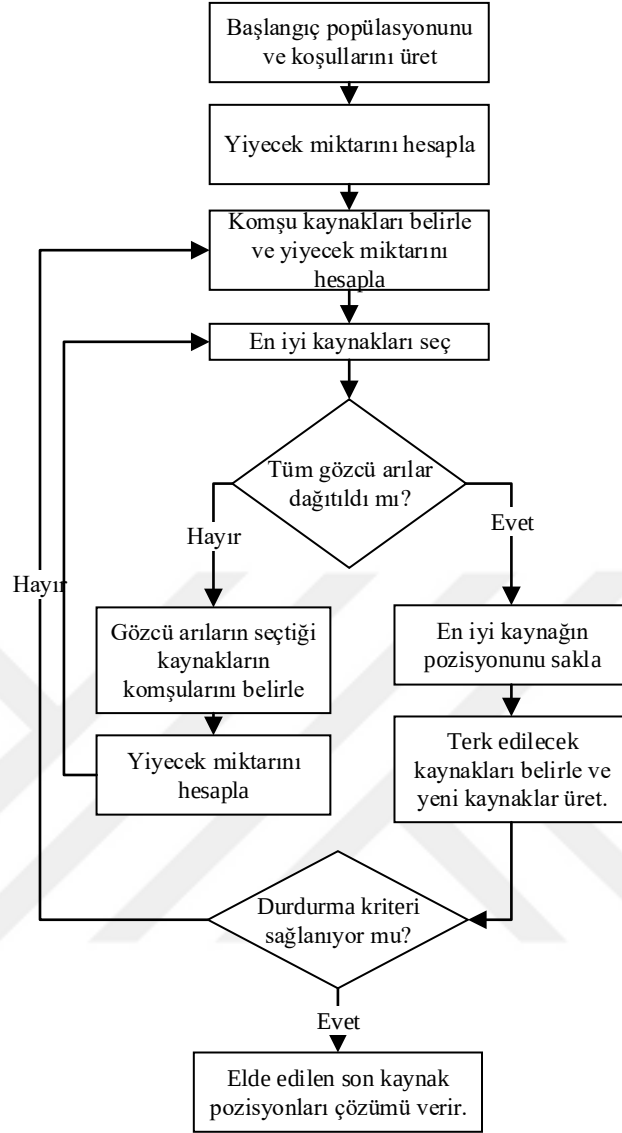
2.2.4. Yapay arı kolonisi algoritması

Yapay arı kolonisi (Artificial bee colony - ABC) doğal arı davranışlarından esinlenilen bir optimizasyon algoritmasıdır. Derviş Karaboğa tarafından 2005 yılında önerilmiştir [22]. Kolonide üç tür arı vardır. Bunlar işçi, gözcü ve kâşif arılardır. Kaynaktan yiyecekleri taşıyan arıya işçi arı denir. Rastgele dolaşarak yiyecek bakan arılara kâşif arı denir. İşçi arı sayısı gözcü arı sayısına eşittir. Kâşif arılar yiyecek keşfettiklerinde gözcü arılar bu bilgiyi dans eden arılardan haber almış olur. Gelen bilgilere ışığında kaynak seçen arılar gözcü arılardır. Kaynakların tükendiğinde işçi arı kâşif arıya dönüşür, kâşif arılar rastgele yeni kaynak aramaya başlar.

ABC algoritmasının çalışma adımları aşağıda verilmektedir.

- Başlangıç için yiyecek kaynak bölgesinin oluşturulması
- Tekrar
- İşçi arıları kaynağa yönlendirme, kaynak miktarı hesaplama
- Gözcü arıları secimi için olasılıklarını hesaplama
- Gözcü arıları hesaplanan olasılıklara göre kaynak bölgesini seçmeleri.
- Kaynaktan ayrılma kriteri: sınır ve kâşif arıların üretme sayısı
- Kontrol=Maksimum çevrim.

Yapay arı kolonisi algoritmasının akış diyagramı Şekil 2.8.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Yapay arı kolonisi algoritması akış diyagramı [22].

2.2.5. Ateşböceği algoritması

Ateşböceği (Firefly algorithm-FA) algoritması, 2008 yılında Xin-She Yang tarafından geliştirilmiştir [23]. Sürüde az parlak ateş böceklerinin parlak ateş böceklerine yönelmesi mantığına dayanır. Ateş böceği algoritması ilkeleri şunlardır:

- Cinsiyetsiz kabul edilerek birbirini etkileyebilirler.
- Çok parlak olan az parlak olanı kendisine çeker.
- En parlak olma amaç fonksiyonun aldığı değerle belirlenir.

Tüm ateş böcekleri belirlenen boyut kadar elemana sahiptir ve kısıtlara uygun rastgele değerlerle ilk olarak belirlenir. Denklem 1 ışık yoğunluğunun hesaplanmasını göstermektedir. Burada l : ateşböceklerin yaydığı ışık yoğunluğudur. Mesafe ile ters orantılıdır. l_0 : Başlangıç ışık yoğunluğu, γ : Işık soğuma katsayısı, r : İki ateş böceği arasındaki uzaklık olarak verilmektedir.

$$l = l_0 e^{-\gamma r} \quad (2.1)$$

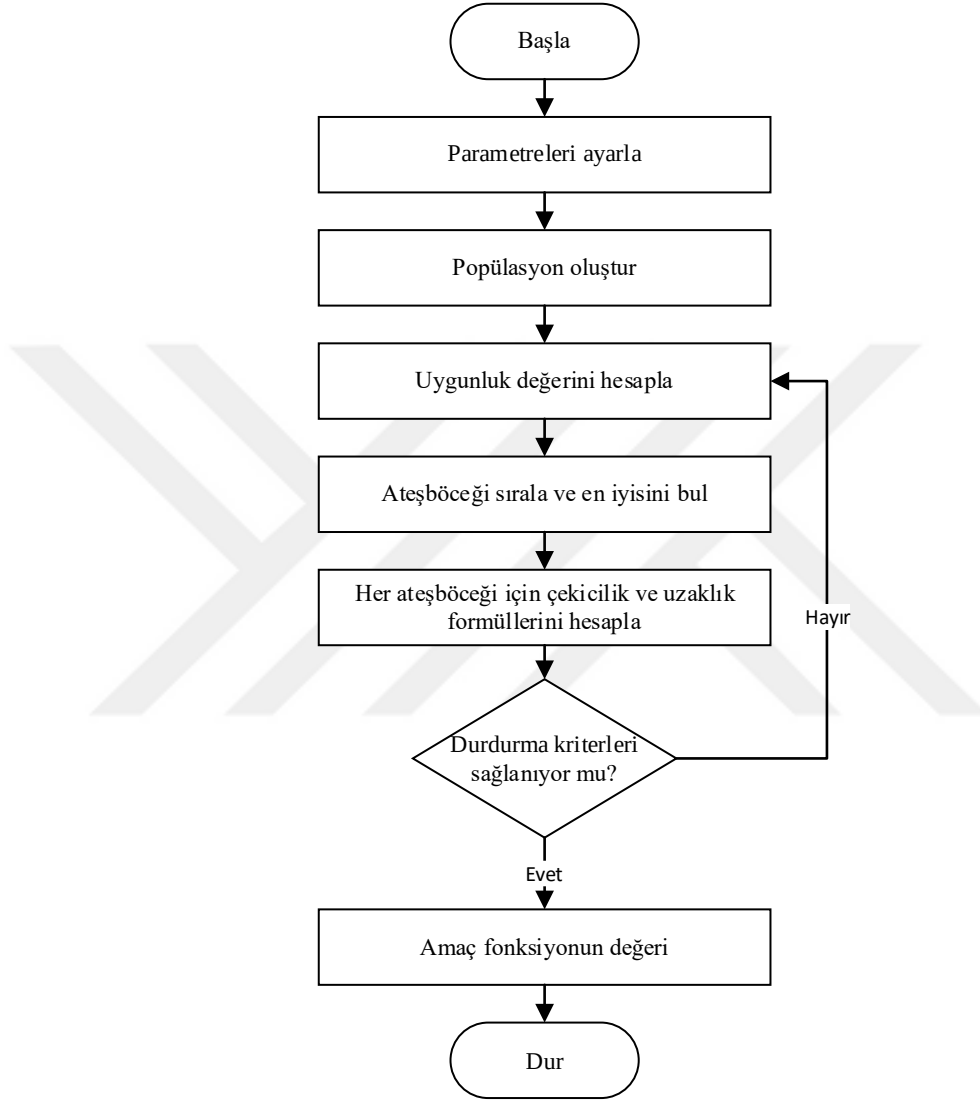
Ateş böceklerinin çekicilik; parlaklık ve iki ateş böceği arasındaki uzaklık ile bağlantılıdır ve (2.2)'de gösterilmiştir. Burada γ : ışık emme katsayısı. β : Ateş böcek çekiciliği, β_0 : İki ateş böceği arasındaki uzaklık bilgisini tutan r 'nin değeri sıfır olduğunda çekicilik değerleri 0 ile 1 arasında olur. β ifadesindeki değere göre az parlak olan çok parlak olana doğru hareket eder.

$$\beta = \beta_0 e^{-\gamma r^2} \quad (2.2)$$

Her bir aday çözüm için ateş böceğinin parlaklığı (x_i) ifade edilmektedir. Ateşböceği yüksek çekicilik özelliğine sahip ise diğer ateşböcekleri ona doğru hareket eder. Hareket formülü (2.3)'de gösterilmiştir.

$$x_i^{t+1} = x_i + \beta_0 e^{-\gamma r^2} (x_j - x_i) + \alpha \varepsilon_i^t \quad (2.3)$$

Bu denklemde x_i : i. aday çözüm ateş böceği, x_j : j. aday çözüm ateş böceğini ifade etmektedir. α : rastgele parametresi ε_i : gauss dağılımı ile belirlenir [23,24]. Ateşböceği algoritmasının akış diyagramı Şekil 2.4.'de gösterilmiştir.

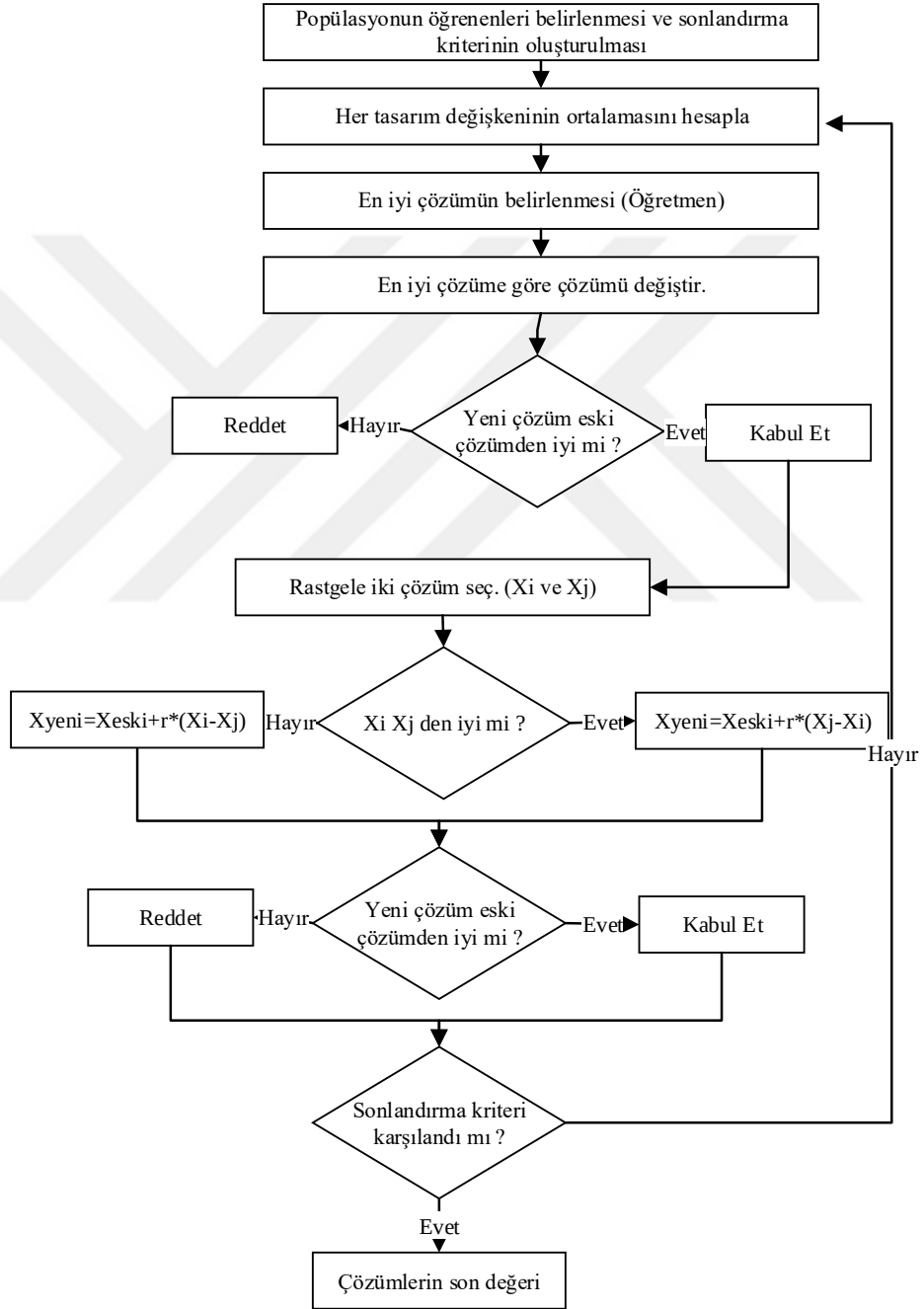


Şekil 2.9. Ateş böceği algoritması akış diyagramı [23].

2.2.6. Öğretme-öğrenme esaslı optimizasyon

Öğretme öğrenme esaslı optimizasyon (Teaching learningbased optimization- TLBO) Rao ve ark. (2011) tarafından optimizasyon problemleri için önerilmiştir [25]. Öğretmenin sınıfın seviyesini yükseltmek için yaptığı çalışmalarından ve öğrencilerin birbiriyle yardımlaşması sayesinde seviyelerinin yükselmesinden yola çıkan

optimizasyon algoritmasıdır. Yöntem öğretme ve öğrenme olarak iki bölümden oluşur. Sınıftaki en başarılı öğrenci öğretmen olur, daha sonra rastgele seçilen öğrenci seviyesini öğretmen seviyesine yaklaşmasını sağlamak için seçilen öğrenci ile öğretmenin etkileşim kurması sağlanır. İkinci aşamada öğrencilerin etkileşimi sağlanarak öğrencilerin seviyeleri yükseltmesi hedeflenir [25].



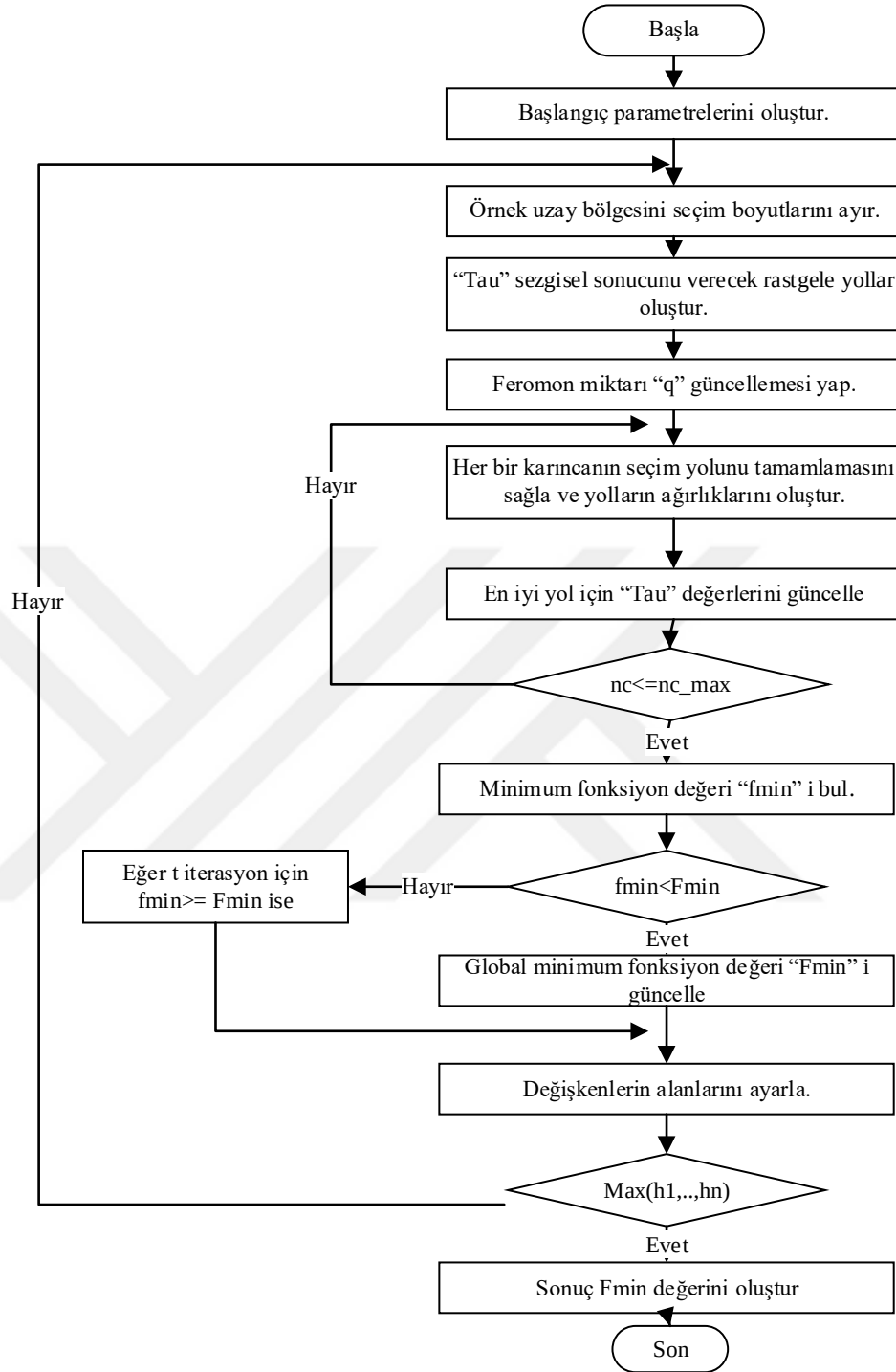
Şekil 2.10. Öğretme-öğrenme esaslı optimizasyon akış diyagramı [25].

2.2.7. Sürekli alanlar için karınca kolonisi optimizasyonu

Sürekli alanlar için karınca kolonisi optimizasyonu (Ant colony optimization for continuous domains - ACOR) Socha ve Dorigo (2008) karınca koloni algoritmasını sürekli problemler için uyarlamıştır. Karınca koloni algoritmasının temelinde değişiklikler yapmadan ACOR algoritmasını önermişlerdir. Karıncanın yiyecek toplama davranışlarını model almaya dayanır.

Algoritmanın işlem adımları;

- Popülasyon ve uygun parametreler oluşturulur.
- Problem boyutu ve nesil sayısı tanımlanır.
- Ağırlık matrisinin oluşturması ve seçim olasılıkları için rastgele güzergahlar oluşturulur.
- Feromon güncellemesi yapılır. Her bir karıncanın güzergahı için ağırlık matrisleri oluşturulur.
- Her biri için seçim olasılıkları güncellenir. En iyi çözümler alınır.
- En uygun Tau değeri güncellemesi yapılır.
- Fonksiyon sonuçları karşılaştır. Bulunan değer daha iyi ise amaç fonksiyonu güncellenir.
- İterasyon sonucunda probleme göre global minimum veya global maksimum elde edilmiş olur.



Şekil 2.11. Acor akış şeması (Chen, Zhou and Luo, 2017).

2.2.8. Sinüs kosinüs algoritması

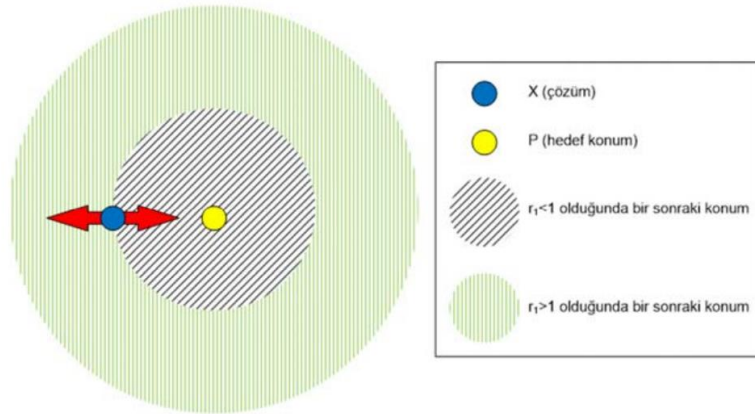
Sinüs kosinüs (Sine cosine algorithm - SCA) Mirjalili (2016) tarafından sinüs, kosinüs kullanarak geliştirilen trigonometri temelli bir optimizasyon algoritmasıdır

[27]. SCA başlangıçta çoklu rastgele değişkenlere bağlı çözümler üretir ve bunların amaç fonksiyonuna yakın ya da uzak yönelmeleri sağlanır. Keşif ve sömürü adımlarının güçlenmesi için rasgele ve uyarlanabilir değişkenler algoritmaya eklenir. Bahsedilen özellikler aşağıdaki denklemlerde eklenmiştir [27].

$$x_i^{t+1} = \begin{cases} x_i^t + r_1 \cdot \sin(r_2) \cdot |r_3 \cdot P_i^t - x_i^t|, & r_4 < 0.5 \\ x_i^t + r_1 \cdot \cos(r_2) \cdot |r_3 \cdot P_i^t - x_i^t|, & r_4 \geq 0.5 \end{cases} \quad (2.4)$$

Bu denklemde P_i^t : i-inci boyutun t-inci çevrimdeki hedef pozisyon, x_i^t : i-inci boyutun t-inci çevrimdeki pozisyonu, r_1 : Bir sonraki pozisyon etkeni olarak rastgele üretilen sayıdır. r_2 : Hareketlenmenin hedefe veya dışına doğru olacağını belirlemek için kullanılan rastgele üretilen etken sayıdır. r_3 : Hedef için ağırlık oluşturmak için rastgele üretilen etken bir sayıdır. Hedeflenen değere mesafeyi ya önemli yapar ($r_3 > 1$), ya da önemini azaltır ($r_3 < 1$). r_4 : $[0,1]$ aralığında rastgele üretilir. Alacağı değere göre denklemde ya kosinüs ya da sinüs kullanılır.

Eş. (1)'deki fonksiyonlarının bir sonraki konum için etkileri Şekil 2.12.'de gösterilmiştir.

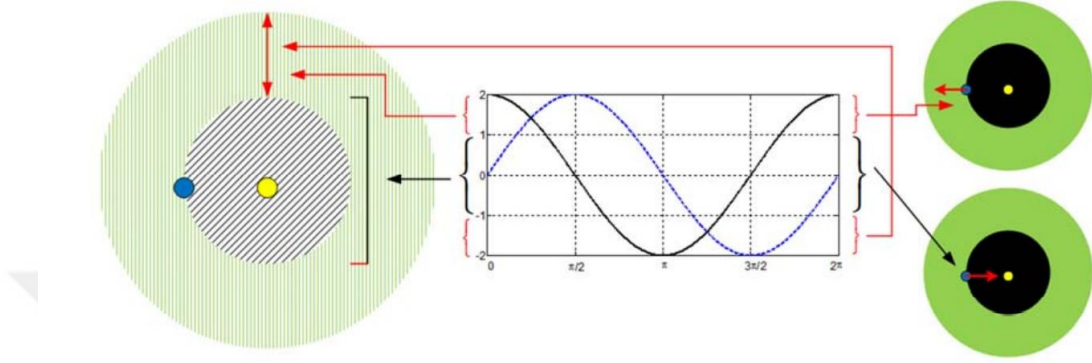


Şekil 2.12. Eş. 1'deki sinüs ve kosinüsün bir sonraki konuma etkisi [27].

Keşif ve sömürü aşamaları dengeleyebilmek için Denklem (2.5)'de kullanılmaktadır. Burada; a: sabit, T: maksimum çevrim sayısını, t: şimdiki çevrimi temsil eder.

Sinüs, kosinüs birden büyük veya küçük değeri almasına göre farklı bölgeleri araştırır. Amaç fonksiyonuna yakın değerleri -1 ile 1 arasında değeri aldığı döner [27].

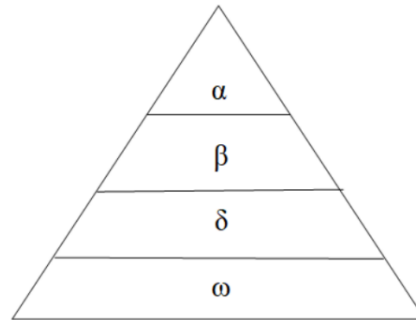
$$r_1 = a - t \cdot \frac{a}{T} \quad (2.5)$$



Şekil 2.13.[-2, 2] aralığında sinüs ve kosinüs; bir çözümün hedefine yakın veya uzak dolaşımı [27].

2.2.9. Gri kurt optimizasyon algoritması

Gri kurt optimizasyon (Gray wolf optimization – GWO) algoritması, gri kurtların yaşamlarından ve avlanmalarından esinlenip geliştirilen optimizasyon algoritmasıdır [28,29]. Gri kurtların sürü yapılarında en üstün olan alfa kurt daha sonra sırayla beta, delta ve omega kurtların geldiği hiyerarşik bir yapı vardır. Avlanma, arama ve saldırıdan oluşmaktadır.



Şekil 2.14. GWO hiyerarşik yapısı [28].

2.2.9.1. Avlanma

Avlanmada gerçekleştirilen işlem sırasıyla aşağıda gösterilmiştir.

- İzleme, takip, ava yaklaşma
- Avın etrafını çevirme ve av yoruncaya kadar hareket ettirme
- Ava saldırı gerçekleştirme

Denklem (2.6) ve (2.7) GWO algoritmasında avın çevrelenmesinde kullanılan denklemlerdir. Bu denklemlerde t anlık çevirim sayısını, X_p av konumunu, X o anki kurdun konum vektörüdür. A, C vektör katsayılarıdır. $\vec{D}$ pozisyon güncelleme vektörüdür.

$$\vec{D} = |C * \overrightarrow{X_p(t)} - \overrightarrow{X(t)}| \quad (2.6)$$

$$\overrightarrow{X(t+1)} = \overrightarrow{X_p(t)} - A * \vec{D} \quad (2.7)$$

Denklem (2.8) ve (2.9)' da A ve C vektörlerinin hesaplanması yapılmaktadır.

$$A = a * (2 * r_1 - 1) \quad (2.8)$$

$$C = 2 * r_2 \quad (2.9)$$

Burada, r_1 ve r_2 [0,1] arasında üretilen rasgele etken sayısı, a; ikiden sıfıra doğru iterasyon ilerledikçe azalan katsayıdır.

2.2.9.2. Arama

GWO'da arama rastgele olarak başlar. Daha sonra amaç fonksiyonuna göre her bir kurt için uygunluk hesap edilir. En iyi maliyeti veren ilk üç değer, sırasıyla, alfa, beta ve delta kurtları olarak alınır. GWO algoritmasında alfa kurt en iyi çözümdür. Beta ikinci ve delta üçüncü en iyi çözümlerdir. Omega kurt da aday çözümdür. Avlanma alfa kurt tarafından yönetilir ve gerekli görüldüğünde beta ve delta kurtları da katılır. Kurtların pozisyonları aşağıdaki gibi güncellenir.

$$\begin{aligned}
D_\alpha &= |C_1 * X_\alpha - X(t)| \\
D_\beta &= |C_1 * X_\beta - X(t)| \\
D_\delta &= |C_1 * X_\delta - X(t)|
\end{aligned} \tag{2.10}$$

Burada, X_α , X_β ve X_δ kurtların pozisyonlarını ifade etmektedir. Her iterasyonda en iyi kurtlar güncellenir. Burada x_1 , x_2 ve x_3 en iyi üç kurdun güncellenmiş konumlarıdır.

$$\begin{aligned}
x_1 &= |X_\alpha - \alpha_1 * D_\alpha| \\
x_2 &= |X_\beta - \alpha_2 * D_\beta| \\
x_3 &= |X_\delta - \alpha_1 * D_\delta|
\end{aligned} \tag{2.11}$$

$$X(t+1) = \frac{x_1 + x_2 + x_3}{3} \tag{2.12}$$

Daha sonra bu üç kurdun ortalaması alınır ve avın yeni konumu olan $X(t+1)$ elde edilir (Denklemler 2.11 ve 2.12).

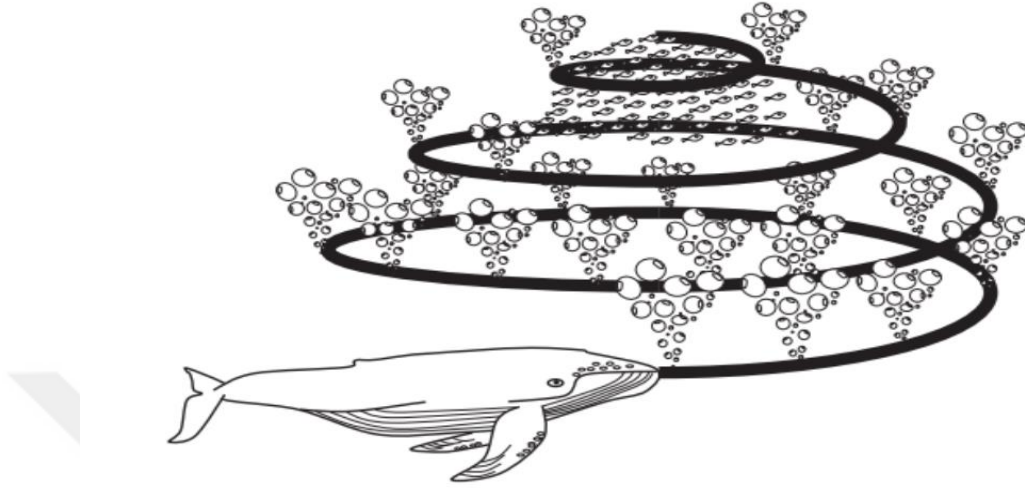
2.2.9.3. Saldırma

GWO'da avın konumu belirlenir sonra ava saldırı gerçekleştirilir. Saldırı, avın yorulması, hareketinin durmasıyla gerçekleşir. Matematiksel olarak modellenmelerdeki A değerine göre saldırı gerçekleşir. A değeri ikiden sıfıra doğru r_1 rastgele değişkenine bağlantılı olarak azalır. Bu durumda A değişkeni $[-2a, 2a]$ aralıkta değerleri alır. A; birden büyükse kurtlar ava yaklaşmaz, daha uygun olanı aramaya başlarlar. Eğer A birden küçükse ava saldırı gerçekleşir. GWO'da avlanma durdurma kriterine kadar devam eder.

2.2.10. Balina optimizasyon algoritması

WOA algoritması, Seyedali Mirjalili ve Andrew Lewis taraflarından 2016 da önerilmiştir [29]. WOA kambur balinaların avlanmalarından esinlenilmiş bir üst

sezgisel algoritmadır. Kambur balinalar avlandıkları zamanda yukarı doğru daralan spiral şeklinde kabarcıklar çıkarır [29].



Şekil 2.15. Kambur balinaların hava kabarcığı yöntemi ile avlanması [29].

2.2.10.1. Avın etrafını sarma

WOA'da av, ulaşmak istenen optimum nokta olarak düşünülür. Optimizasyonda en uygun nokta bilinmediğimizden; optimum nokta, o anki en iyi nokta ya da onun civarındaki bir nokta olarak alınır. O anki optimum çözümü belirlendikten sonra diğer çözümler optimum çözümle karşılaştırıp optimum çözüm güncellenir. Bu durum Denklem (2.13) ve (2.14)'de gösterilmiştir.

$$\vec{D} = |\vec{C} \cdot \vec{X}^*(t) - \vec{X}_t| \quad (2.13)$$

$$\vec{X}(t+1) = \vec{X}^*(t) - \vec{A} \cdot \vec{D} \quad (2.14)$$

Burada t iterasyon sayısı, $\vec{A}$ ve $\vec{C}$ katsayı vektörlerini, $\vec{X}^*$ o anki en iyi durum vektörünü ve $\vec{X}$ ilgili arama ajan durum vektörüdür.

Her bir iterasyon sonunda $\vec{X}^*$ dan daha iyi bir vektörler çözüm var mı diye bakılır. Eğer varsa $\vec{X}^*$ için güncelleme yapılır.

$\vec{A}$ ve $\vec{C}$ katsayı vektörünün hesaplanabilmesi için kullanılan denklemler ise aşağıdaki gibidir.

$$\vec{A} = 2.\vec{a} . \vec{r} - \vec{a} \quad (2.15)$$

$$\vec{C} = 2.\vec{r} \quad (2.16)$$

$$\vec{a} = 2 - m. (2/M) \quad (2.17)$$

$\vec{r}$ [0 1] aralığında rastgele üretilir. $\vec{a}$ iterasyon boyunca ikiden sıfıra doğru lineer azalır. M maksimum iterasyonu, m o anki iterasyon değerini gösterir.

2.2.10.2. Hava kabarcığı yöntemi ile ava yaklaşma

Avın etrafındaki çemberin daraltılması ve spiral hareket olarak iki kısımda modellenmiştir. Av etrafındaki çemberin daraltılması Denklem (3)'teki a değerini lineer olarak azaltmakla olur. Spiral hareket ise Denklem (6) ile modellenmiştir [30].

$$\vec{X}(t + 1) = \vec{D}'.e^{bl}.\cos(2\pi l) + \vec{X}^*(t) \quad (2.18)$$

$$\vec{D}' = |\vec{X}^*(t) - \vec{X}(t)| \quad (2.19)$$

Denklemdaki $\vec{D}'$ arama ajanı ile en iyi konum arasındaki uzaklıktır. b logaritmik spiral sabiti, l ise [-1,1] aralıkta değer alan rastgele sayıdır. Ava doğru yönelirken spiral hareket sürer. Algoritmada spiral veya ava doğru hareketlerden hangisinin yapılacağı Denklem (8) de olduğu gibi 0,5 olasılıkla belirlenir. p rastgele sayıdır [17].

$$\vec{X}(t + 1) = \begin{cases} \vec{X}^*(t) - \vec{A}.\vec{D}, & p < 0.5 \\ \vec{D}'.e^{bl}.\cos(2\pi l) + \vec{X}^*(t), & p \geq 0.5 \end{cases} \quad (2.20)$$

2.2.10.3. Av arama (Global arama)

Global aramalar için ajanlarının yeni durumları, bilinen en iyi durum yerine rastgele seçilen arama ajanı tarafından belirlenir. Model Denklemi (9) ve Denklem (10)'da gösterilmiştir. Denklemlerde $\overrightarrow{X_{rand}}$ rastgele alınan arama ajanıdır [29].

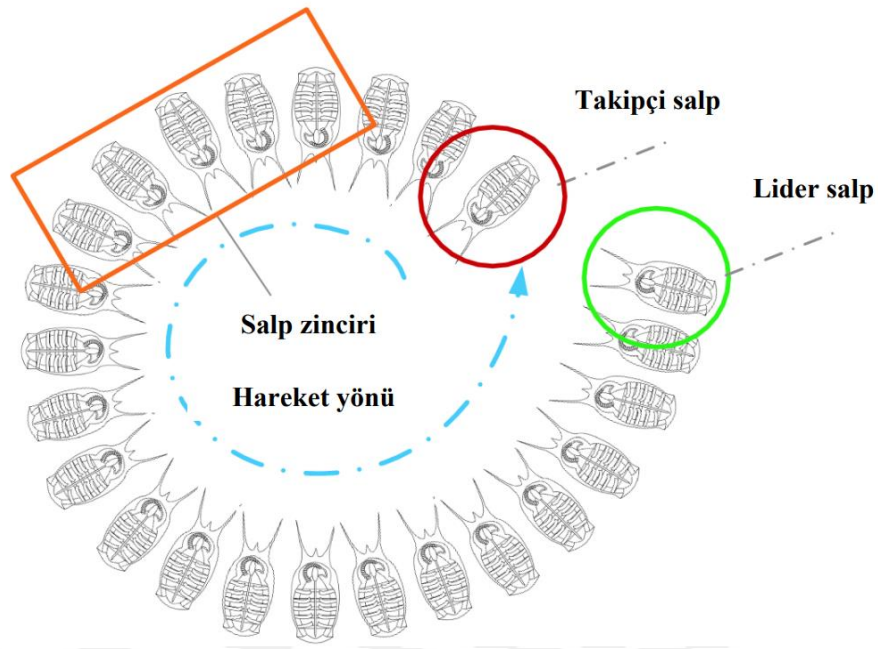
$$\overrightarrow{D'} = \overrightarrow{C} \cdot \overrightarrow{X_{rand}} - \overrightarrow{X} \quad (2.21)$$

$$\overrightarrow{X}(t + 1) = \overrightarrow{X_{rand}} - \overrightarrow{A} \cdot \overrightarrow{D} \quad (2.22)$$

Global arama mı ve lokal arama mı olacağını A 'nın değeri ile karar verilir. $A > 1$ veya $A < -1$ olması ile en iyi durumdan uzak bir durum seçilebileceğinden dolayı bu durum global arama olarak kabul edilip bireyin yeni durumu Denklem (2) yerine Denklem (10) ile hesaplanır.

2.2.11. Salp sürü algoritması (SSA)

SSA, Seyedali Mirjalili tarafından 2017 yılında önerilmiştir [30]. İlerlemek için suyu vücudunda pompalanması gerekir ve planktonları yiyerek beslenen deniz salp sürülerinden esinlenilmiş algoritmadır. Sarpları vücutları zincir ile birbirine bağlıdır ve beraber beslenirler. Sarp sürüsünde lider ve takipçileri şeklinde bir yapı vardır. SSA, en iyi çözümü yiyecek olarak tanımlanır. Algoritmada lider salp yakınsama durumu ve arama arasında denge durumunu araştırır. Lider salp en iyi sonuç olan yiyeceğe göre durum güncellemesi yapar. Takipçilerde zincir ile bağlı olduğundan otomatik bir şekilde pozisyonlarını günceller. Bu kademeli yaklaşma ile lokal optimumlara takılma ve erken yakınsaklık engellenmiş olur [30].



Şekil 2.16. Salp sürülerinin davranış şekilleri [30].

Lider salp pozisyonu Denklem 1’de verilmiştir. Bu denklemde X_j^1 , j’ninci boyutta olan lider salpın pozisyonu, F_j ise j’ninci boyutta olan yiyecek kaynağı pozisyonu, c_1, c_2, c_3 rastgele sayılar, u_{bj} , j’ninci boyutta üst sınır, l_{bj} , j’ninci boyutdaki alt sınırı göstermektedir. Denklem (2.23)’deki lider pozisyon sadece yiyecek kaynağa doğru güncellenir.

$$X_j^1 = \begin{cases} F_j + c_1 \left((u_{bj} - l_{bj}) \cdot c_2 + l_{bj} \right), & c_3 \geq 0 \\ F_j + c_1 \left((u_{bj} - l_{bj}) \cdot c_2 + l_{bj} \right), & c_3 < 0 \end{cases} \quad (2.23)$$

c_1 , SSA algoritmasında en önemli parametredir. Çünkü keşfetme ve sömürünün dengelenmesini Denklem 2.24’te gösterilen c_1 , belirler [31].

$$c_1 = 2e^{\left(-\frac{4l}{L}\right)^2} \quad (2.24)$$

Denklemdeki l ; o anki iterasyon, L maksimum iterasyondur. c_2, c_3 parametreleri $[0, 1]$ aralıkta rastgele sayılardır. Takipçilerin pozisyonları için Denklem (2.25)’deki güncelleme uygulanır.

$$X_j^i = \frac{1}{2}at^2 + v_0t \quad (2.25)$$

$i \geq 2$ ise X_j^i , j. boyuttaki i. takipçi salpların pozisyonudur. t zaman, v_0 başlangıç hızıdır. Denklem (2.25)'deki a; v_{final}/v_0 oranıdır. X_0 , ilk konum X o anki konum v o anki hızdır.

$$a = \frac{v_{\text{final}}}{v_0} \quad \text{ve} \quad v = \frac{X-X_0}{t}, \text{dır.}$$

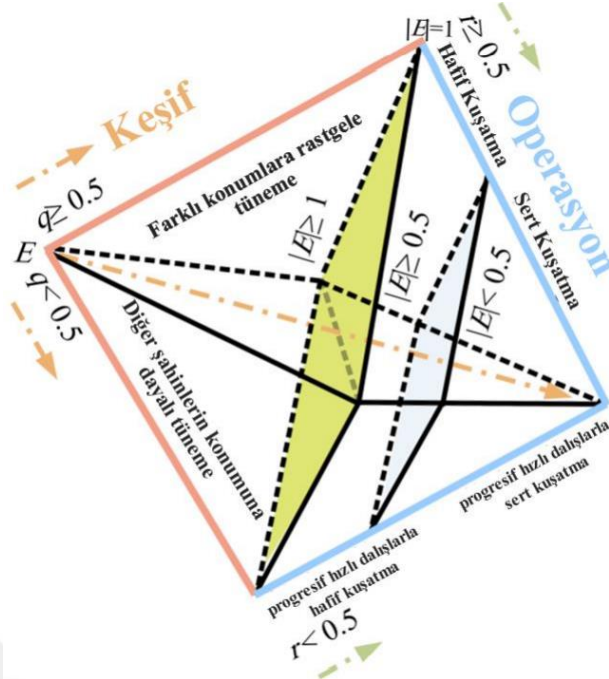
Algoritmayı salp zincir yapısına benzetmek için (2.23) ve (2.26) kullanılır.

$$X_j^i = \frac{1}{2}(X_j^i + X_j^{i-1}) \quad (2.26)$$

SSA'nın genel çalışma mantığı şu şekildedir. Sabit ya da hareketli bir yiyecek kaynağının olduğu bir arama uzayında birden fazla salp'ın bulunduğu bir zincirde lider olan salp, pozisyonunu yiyecek kaynağı çevresinde değiştirir ve takipçi salpler ise dereceli olarak iterasyonlar boyunca lider salp'ı takip eder.

2.2.12. Harris şahini optimizasyon algoritması (HHO)

Heidari ve ark (2019) tarafından çöl şahini olan harris şahinlerinden ilham alınan, sürü zekasına dayalı bir optimizasyon algoritmasıdır [31]. Harris Şahinleri iş birliğiyle avlarının peşine düşerler [32]. Harris şahinleri iş birliği içinde avları şaşırtmaya çalışır ve saldırırlar. Harris şahinleri avın kaçma durumuna göre kovalamaca çeşidini seçerler [32]. Harris şahini özellikle tavşan avlamada sürü zekasını kullanarak hareket eder. Lider ve sürünün kalan üyeleri öncelik olarak keşif uçuşu yaparlar. Av tespit edildikten sonra avlanmaya geçilir. Harris Şahinleri Şekil 2.17.'de olduğu gibi keşif ve operasyon aşamaları ile avlarını tuzağa çeker.



Şekil 2.17. Hho algoritmasında keşif ve operasyon aşamaları [31].

2.2.12.1. Keşif aşaması

Harris şahinleri keskin gözleri sayesinde avını görebilir. Bazen avı kolayca fark etmeyebilir. Böyle bir durumda Harris Şahinleri çölde bekleyip, gözleme yaparlar. Bu durum döngüsel olarak sürer. Bu döngülerde elde edilen sonuçlar Harris Şahinleri aday çözümleridir. Her döngüsel işlemde ava en yakında olan şahin, optimum çözümdür. Harris şahinleri bölgelerde rastgele dolaşımdayken iki adet keşif yöntemi uygular. Bunlar Denklem 1’de gösterirmiştir. Burada q değeri hangi uygulamanın devrede olduğunu belirleyen olasılık değeridir [31][33].

$$x(t+1) = \begin{cases} x_{rand}(t) - r_1|x_{rand}(t) - 2r_2x(t)|, & q \geq 0.5 \\ (x_{rabbit}(t) - x_m(t)) - r_3(LB + r_4(UB - LB)), & q < 0.5 \end{cases} \quad (2.27)$$

$x(t+1)$ Her iterasyonda Harris Şahin konum vektörü, $x_{rabbit}(t)$ av konum vektörü, $x(t)$ şahin güncel konumu, r_1, r_2, r_3, r_4 ve q ise $[0, 1]$ arasında üretilen rastgele sayılardır. LB, UB sırasıyla alt sınır ve üst sınırdır. $x_{rand}(t)$, sürüden rastgele seçilen şahindir. $x_m(t)$ O anki şahin sürüsünün ortalama konumudur. Ortalama pozisyon Denklem 2.28’de verilmiştir.

$$x_m(t) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i(t) \quad (2.28)$$

Burada N şahin sayısını, t iterasyon sayısını gösterir.

2.2.12.2. Keşiften saldırıya geçiş safhası

Harris şahinleri avın enerjisine göre farklı saldırı planlar. Kaçma sırasında avın enerjisi önemli ölçüde azalma gösterir. Bu durumun matematiksel modeli aşağıda vermiştir [31][33]. Bu denklemde E Kaçan avın enerjisini, E_0 avın ilk enerjisini, T maksimum yineleme değeridir.

$$E = 2E_0(1 - \frac{t}{T}) \quad (2.29)$$

2.2.12.3. Saldırı safhası

Bu safhada Harris Şahini av saldırı gerçekleştirir. Sürpriz sıçrama hareketini gösterir. Avda bu durumdan kurtulmaya çalışır. Avın hareketine göre, Harris Şahini uygun strateji ile cevap verir. Algoritmada bahsedilen durum 4 farklı şekilde yapılır [31].

2.2.12.4. Yumuşak kuşatma

Bu aşamada Harris şahini sahte hareketlerle avının enerjisini azaltmaya çalışır ($r \geq 0.5$, $E \geq 0.5$). Bu kuşatmanın denklemleri aşağıdaki gibidir.

$$x(t+1) = \Delta x(t) - E|J \cdot x_{rabbit}(t) - x(t)| \quad (2.30)$$

$$\Delta x(t) = x_{rabbit}(t) - x(t) \quad (2.31)$$

Burada, r tavşanın av olma olasılığı, E tavşanın enerji durumu ve $\Delta x(t)$ t . yinelemedeki pozisyonları ile tavşanın pozisyonu arasındaki farktır. J doğadaki tavşanların hareketlerine benzetmek için her yinelemedeki değişen değerdir [32][33].

2.2.12.5. Sert kuşatma

Bu safhada avın enerjisi baya tükenmiş durumdadır ($r \geq 0.5$, $|E| \leq 0.5$). Şahin ava sürpriz pençesini geçirmek için hemen hemen hiç kuşatmamaktadır. Bu kuşatmanın denklemleri aşağıdaki gibidir [31][33].

$$\Delta x(t) = x_{rabbit}(t) - E|\Delta_x(t)| \quad (2.32)$$

2.2.12.6. Aşamalı hızlı dalışların yumuşak kuşatması

Bu aşamada avın kaçabilecek enerjisi vardır. Harris şahini sürpriz sıçramadan yapmadan önce hala yumuşak kuşatma durumundadır. Bu aşama önceki safhaya göre daha akıllıcadır. Şahinler yumuşak kuşatmayı yapmadan önce bir sonraki yapacağı aşağıda vermiştir.

$$Y = x_{rabbit}(t) - E|x_{rabbit}(t) - x(t)| \quad (2.33)$$

Sonrasında bu hareketin durumu konusunda karar verebilmek için, bu durum önceki hareket ile karşılaştırılır. Eğer durumun uygun olmadığına karar verirse şahinler avına ani bir dalış yapar. Buna karar verme durumunda Levy Flight tabanlı bir yapı kullanarak hareket eder. Bu durum aşağıda vermiştir.

$$Z = Y + SxLF(D) \quad (2.34)$$

Burada D problem boyutu, S , 1xD boyutunda olan rastgele üretilen vektör, Y , avın azalan enerjisine ile oluşan pozisyonunu belirtirken; Z , şahin ava doğru hareket edip etmeyeceğine karar vermeyi sağlayan değişken, LF levy fonksiyonudur. Aşağıdaki eşitlikte olduğu gibi bulunur.

$$LF = 0.01x \frac{ux\sigma}{|v|^{\frac{1}{\beta}}} \quad , \quad \sigma = \left(\frac{\tau(1+\beta)x \sin \frac{\pi\beta}{2}}{\tau(\frac{1+\beta}{2})x\beta x 2^{\frac{(\beta-1)}{2}}} \right)^{\frac{1}{\beta}} \quad (2.35)$$

Burada u, v (0,1) arasında üretilen rastgele sayılar, β ise 1.5'tir. Yumuşak kuşatma safhasında şahinlerin konumlarında güncelleme yapmak için aşağıdaki denklem kullanılır.

$$x(t+1) = \begin{cases} Y & \text{eğer } F(Y) < f(x(t)) \\ Z & \text{eğer } F(Z) < F(x(t)) \end{cases} \quad (2.36)$$

2.2.12.7. Aşamalı hızlı dalışların sert kuşatması

Bu aşamada avın kaçabilecek enerjisi yoktur. Şahin, avı yakalamak için yaptığı sürpriz sıçrama hareket öncesi sert kuşatmasını yapar. Denklemi aşağıdaki gibidir [31][32].

$$x'(t+1) = \begin{cases} Y' & \text{eğer } F(Y') < f(x(t)) \\ Z' & \text{eğer } F(Z') < F(x(t)) \end{cases} \quad (2.37)$$

$$Y' = x_{rabbit}(t) - E|x_{rabbit}(t) - x_m(t)| \quad (2.38)$$

$$Z' = Y' + SxLF(D) \quad (2.39)$$

2.3. Isı Transferi

Termodinamiğin 2. Yasasına gereğince, iki ortamın sıcaklık farkı mevcutsa, ısı yüksek sıcaklıklı ortamdan düşük sıcaklıklı ortama geçişi olur. Isınım geçişi ortam sıcaklıkları arasındaki farklılığa bağlı olduğu gibi ortam ve yüzey özellikleri de etkilidir. Bu yüzden ısı transferi üç başlık altında toplanır.

2.3.1. Isı iletimi (Kondüksiyon)

Bir cismin ayrı sıcaklıkta olan bölgeler arasında, birbirleriyle temas halinde olan parçacıklarından, yüksek enerji olanlardan, düşük enerjide olanlara doğru geçiş yapan enerji, iletimle ısı geçişi denir. Enerji geçişleri katı, sıvı, gaz ortamında olabilir. Örneğin; katı bir çubuğun ucu ısıtırsak zamanla diğer ucu da belirli süre

sonra ısınır. Birim zaman için ısı transferi durumunu hesaplamak için Denklem 2.40 kullanılmaktadır.

$$Q = [kxAx(T_{sıcak} - T_{soğuk})]/d \quad (2.40)$$

Burada Q ; birim zamanda transfer edilen ısı miktarı, k ; malzeme ısı iletim katsayısı, A ; ısı transfer yüzey alanı, $T_{sıcak}$; sıcak bölge sıcaklığı, $T_{soğuk}$; soğuk bölge sıcaklığı d ; malzeme kalınlığı

2.3.2. Isı taşınım (Konveksiyon)

Ortam hareketliyse, bu durumda taşınım ile ısı geçişi olur. Taşınım ile ısı geçişi akışkanın özelliklerine, akışkanın hızına, sıcaklık farkına bağlı durumdadır. Taşınım, sıcaklıkları farklı hareketli ortam, bu ortamı çeviren yüzey arasında olur. Hava ya da sıvı bir akışkan ısıtıldığında sonrasında ısı kaynağından uzaklaştırıldığında, termal enerjide taşınmış olur. Örneğin su içerikli tencere ısıtıldığında, önce iletim ile tencere ısınır, sonrasında içindeki su kademeli bir şekilde aşağıdan başlayarak yukarıya doğru ısınma gerçekleşir. Su ısıtılmasında ısı taşınım işlemi ile olur. Birim zaman için transfer edilen ısı miktarı durumunu hesaplamak için Denklem 2.41 kullanılmaktadır.

$$Q = h_cxAx(T_s - T_f) \quad (2.41)$$

Burada Q ; birim zamanda transfer edilen ısı miktarı, h_c ; taşınım ile ısı transfer katsayısı, A ; ısı transfer yüzey alanı, T_s ; yüzey sıcaklık, T_f ; akışkanın sıcaklığı

2.3.2. Isı ışıınımı (Radyasyon)

Radyasyonla ısı transfer işlemi, elektromanyetik dalgaların yayılımı ile olur. Bu dalgalar, enerjiyi yayıldığı nesneden uzaklara taşır. Isı ışıınımında ortama gerek yoktur. Örneğin aşırı sıcaklarda, güneşin etkisini insan cildinde hissedilmektedir. Güneş ile dünya arasında herhangi bir ortam olmadığı halde sıcaklığı

hissedilmektedir. Güneşin sıcaklığından yararlanılabilir. Ortam olmamasına rağmen gerçekleşen bu durum radyasyondur. Termal radyasyon Stefan-Boltzman yasasına göre hesaplanır. (Denklem 2.42)

$$P = e\sigma A(T_r^4 - T_c^4) \quad (2.42)$$

Burada P ; toplam güç, e ; yayılabilme katsayısı, σ ; boltzmann sabiti, A ; radyasyon yüzey alanı, T_r ; radyasyon yayan nesne sıcaklığı, T_c ; çevrenin sıcaklığı



BÖLÜM 3. MODELLER

Bu tez çalışmasında iki farklı problem için çözüm önerisi yapılmaktadır. Bu iki farklı problemin tanımları ve modellemesi aşağıda verirmiştir.

3.1. Isı Yalıtım Problemi

Isı transferi sırasında ısı kaybını azaltmak için yapılan uygulamaya ısı yalıtımı denir. Isı yalıtımı ile farklı sıcaklıkta bulunan iki ortam arasındaki ısı geçişinin azaltılması amaçlanmaktadır. Isı yalıtımı sayesinde emniyetli ve güvenli çalışma ortamı oluşturulurken, ısıнын ekonomik kullanımını sağlar. Isı yalıtımının diğer faydaları ise çevre kirliliği azalması, ısıl konfor ve ses yalıtımıdır [34]. Kullanılan yalıtım malzemesinin farklı kalınlığından kaynaklanabilecek maksimum ısı kaybı miktarı birinci problemimizin konusunu oluşturmaktadır.

İlk problemimizde dış çapı 40 mm olan borunun üstüne 60 mm kalınlıkta yalıtkan malzeme ile kaplanmıştır. Boru içerisinden ısıtılmaktadır ve ısı kaynağıdır. Sabit rejim halinde yalıtkan iç ve dış yüzeylerinin sıcaklıkları sırayla 300°C ve 50°C derecedir. 1 metre uzunlukta boruda dış ortamdan kaynaklı ısı kaybı 100 Watt'tır. Aynı yalıtkan malzeme daha sonrasında 30 mm dış çapında olan başka bir çelik borunun yalıtımı için kullanılmak istenmektedir. 60 mm kalınlıkta bir yalıtkan tabaka konulduğunda yalıtkanın iç ve dış sıcaklıkların için yine 300°C ve 50°C derece olduğu durumunda;

- Borunun 1 m uzunlukta olan kısmında ısı kaybı ne kadar watt'tır.
- Yalıtkan için iç ve dış yüzey sıcaklıkları sabit kaldığında, yalıtımlı haldeki ısı kaybı %10 kadar daha azalma sağlamak istenirse, bu durumda yalıtkan kalınlığı ne olur? [35]

Bu problemin çözümü ise aşağıda verilmiştir.

1.durum (Isı kaynağı dış çapı 40mm):

$$T_1 = 300 \text{ }^{\circ}\text{C}, T_2 = 50 \text{ }^{\circ}\text{C}, Q = 100 \text{ W/m}, r_1 = 20 \text{ mm}, r_y = 20+60=80 \text{ mm}$$

2.halde (Isı kaynağı dış çapı 30mm):

$$T_1 = 300 \text{ }^{\circ}\text{C}, T_2 = 50 \text{ }^{\circ}\text{C}, r'_1 = 15 \text{ mm}, r'_y = 15 + 60 = 75 \text{ mm}$$

Bu problemdeki kabuller aşağıda listelenmiştir.

1. Isı iletimi radyal yönlü bir boyutludur.

2. Özellikleri sabit,

3. Isı üretim yok.

- 1. haldeki verilenler sayesinde ısı yalıtımı malzemesinin ısıyı iletim katsayısı k_y değerini bulabiliriz. Yalıtkanın içindeki ısı iletimi 1 m boruda,

$$Q = \frac{2\pi}{\frac{1}{k_y} \ln \frac{r_y}{r_1}} (T_1 - T_2)$$

$$100 = \frac{2\pi k_y}{\ln \frac{80}{20}} (300 - 50)$$

$k_y = 0.0883 \text{ W/mK}$ bulunur. 2.halde 1 m borudaki ısı kaybı;

$$Q' = \frac{2\pi k_y}{\ln \frac{r'_y}{r'_1}} (T_1 - T_2)$$

$$Q' = \frac{2\pi 0.0883}{\ln \frac{75}{15}}$$

$Q' = 86.18 \text{ W/m}$ bulunur.

- Yalıtımlı halindeki ısı kaybının, %10 daha azalması için;

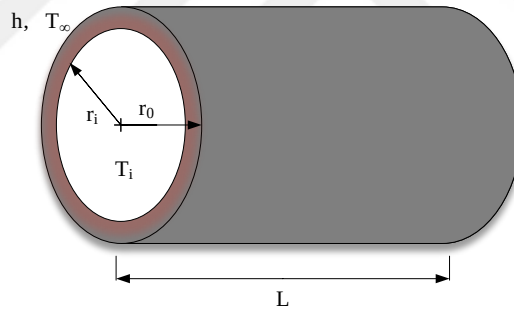
$$Q'' = 0.90 \times Q' = 0.90 \times 86.18$$

$Q'' = 77.562 \text{ W/m}$ Olur.

$$Q'' = \frac{2\pi}{\frac{1}{k_y} \ln \frac{r_y''}{r_1'}} (T_1 - T_2)$$

$$86.18 = \frac{2\pi}{\frac{1}{0.0883} \ln \frac{r_y''}{15}} (300 - 50) \rightarrow r_y'' = 74.9972 \text{ mm olur. } t_y = r_y'' - r_1' \cong 60 \text{ mm}$$

Çalışmamızda yalıtım problemleri üzerine iki durum üzerine çözüm önerilmiştir. Bunlardan ilki kritik yalıtım malzemesi kalınlığıdır. Sabit rejimle radyal olarak ısıtılan, sabit özelliklere sahip, ısı üretmeyen ve ısıyı minimum ısı kaybıyla korumak için yalıtım amacıyla sarılmış sürekli bir rejime sahip bir ısı kaynağı içerir (Şekil 3.1.). Şekilde yer alan q ; ısı transfer miktarı, T_i ; yalıtımın iç sıcaklığı, T_∞ ; yalıtımın dış yüzeyi sıcaklığı, r_0 ve r_i ; yalıtımın dış ve iç yarıçapıdır, k ; malzemenin ısıl iletkenlik sabitidir, h ; konveksiyon ısı transfer katsayılarıdır, L ; silindirin uzunluğudur.



Şekil 3.1. Yalıtım malzemesi [12].

Birinci durum için, aşağıda belirtilen t ve Q popülasyonları oluşturulmuştur.

- $25 \leq t \leq 200$ olacak şekilde t için aralığa uygun bir şekilde rastgele değerlerden oluşan t popülasyonu
- $0 \leq Q \leq 100$ olacak şekilde Q için aralığa uygun bir şekilde rastgele değerlerden oluşan Q popülasyonu

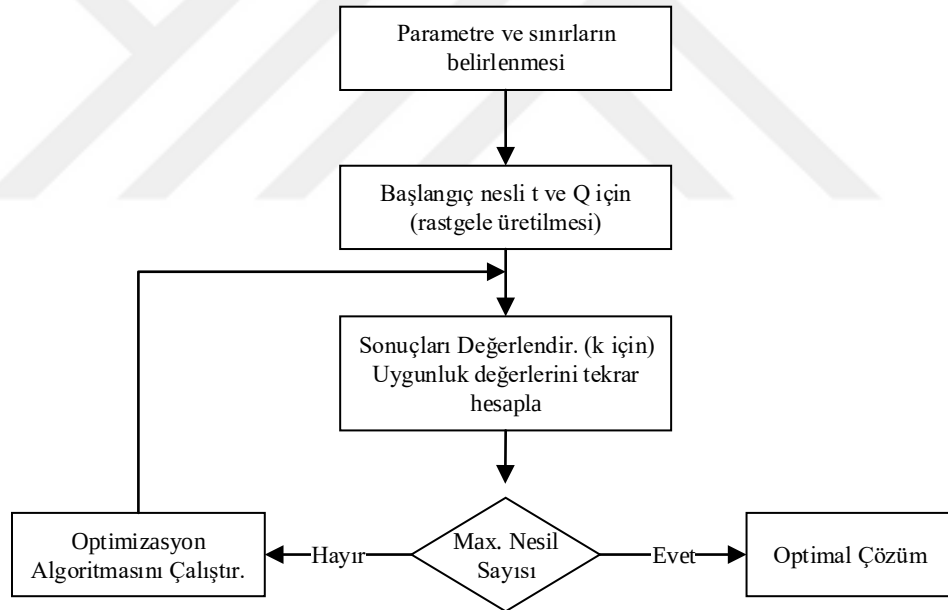
Burada $r_{iç}=15 \text{ mm}$, $T_{iç} = 500 \text{ }^\circ\text{C}$, $T_{dış} = 75 \text{ }^\circ\text{C}$ olarak alınmıştır.

$$r_y = t + r_{iç}$$

Denklemden k_y çekilirse;

$$k_y = Q \cdot \frac{\ln \frac{r_y}{r_1}}{2\pi \cdot (T_1 - T_2)}$$

Amaç fonksiyonu k_y değeridir. İletkenlik sabiti $k_y = 0,080W / m ^\circ C$ hedeflenmektedir. Oluşan t ve Q popülasyonlarına karşı k_y değerini hesaplamaktadır. Daha sonra kullanılan optimizasyon algoritması ile hedeflenen değeri sezgisel olarak hesaplar. Bu çalışma sayesinde iletkenlik sabitine karşı ısı kaybının ve malzeme kalınlığının optimum değerlerinin neler olduğu bulunur. Bu duruma örnek verirse, iletkenlik sabiti 0,08 değerine karşılık optimal malzeme kalınlığı $\cong 141$ mm ısı kaybı $\cong 91$ W/m olduğunu verir. Böylece kullanılan malzeme ile oluşabilecek optimal sonuçları uygulanan kısıtlar ve kriterler neticesinde elde edilir.



Şekil 3.2. Isı yalıtım problemi durum 1 için akış diyagramı

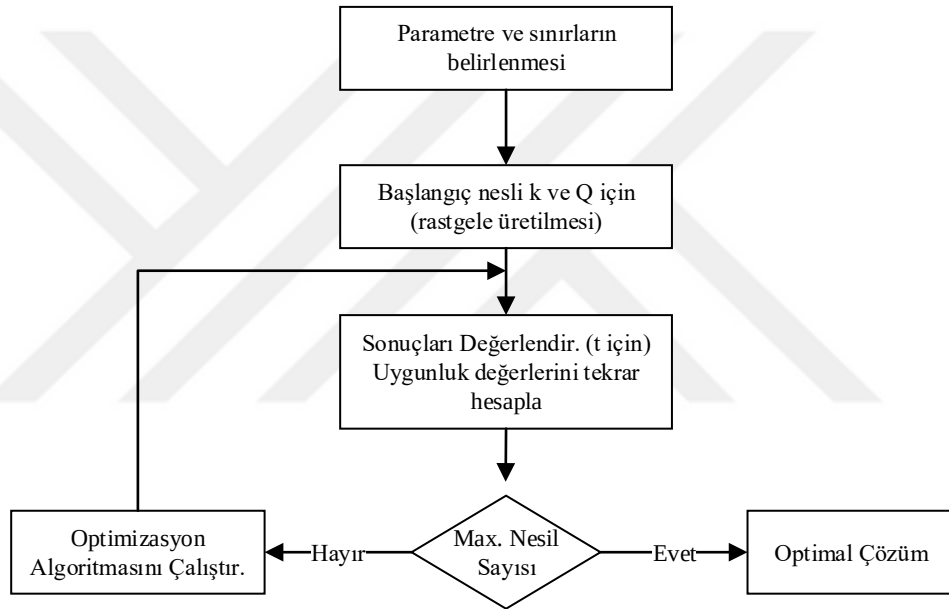
İkinci durum için,

- $0 \leq k_y \leq 0.084$ olacak şekilde k_y için aralığa uygun bir şekilde rastgele değerlerden oluşan k_y popülasyonu
- $0 \leq Q \leq 100$ olacak şekilde Q için aralığa uygun bir şekilde rastgele değerlerden oluşan Q popülasyonu

Burada $r_{iç}=15$, $T_{iç} = 500$, $T_{dış} = 75$ olarak alınmıştır.

$$t_y = r_{iç} \cdot (e^{\left(2\pi k_y \frac{T_{iç}-T_{dış}}{Q}\right)} - 1)$$

Amaç fonksiyonumuz t_y değeridir. Malzeme kalınlığı $t_y = 100 \text{ mm}$ hedeflenmektedir. Oluşan k_y ve Q popülasyonlarına karşı t_y değerlerimizi hesaplıyoruz. Daha sonra kullanılan optimizasyon algoritmamız aracılığıyla hedeflenen değeri sezgisel olarak bulmaya çalışıyoruz.



Şekil 3.3. Isı yalıtım problemi durum 2 için akış diyagramı

Her bir malzemenin iletkenlik sabiti farklıdır. Bu türden problemlerde dikkat edilmesi gereken hususlardan birisi de k değeri hesaplamak istersek bulacağımız k (malzeme iletkenlik katsayısı) değerine karşılık uygun malzeme olmayabilir.

Bu çalışma sayesinde kullanacağımız malzemeye bağlı hangi kalınlıkta bu malzemedan kullanırsak ne kadar ısı kaybımız olur sorusuna oluşturulan popülasyonlar ve optimizasyon teknikleriyle belirlenmektedir. Yalıtım malzemesinin farklı kalınlığından kaynaklanabilecek maksimum ısı kaybı miktarı, 12 değişik

optimizasyon tekniği ve algoritması kullanılarak hesaplanmıştır. Ayrıca optimizasyon algoritmalarının ısı transferi problemlerinde uygulanabilir olup olmadığı gösterilmiştir.

3.2. Isı Sınır Tabaka Problemi

Isıl Sınır Tabaka, yüzey normali yönünde sıcaklık değişimlerinin önemli olduğu, yüzeyin üzerinde bulunan akış bölgesidir. Isıl sınır tabaka kalınlıkları, akışın yönünde artış gösterir. Bu durumunun nedeni, ısı transferin etkinliğinin akışın yönünde azalma göstermesidir. Bu kısımda, karakteristiklerin sabit olduğu, ısınlama ihmal edilmiş, sürekli rejimde plaka ve hava sıcaklığın sabit olduğu laminar bölge hava akışı için optimizasyon algoritmaları ile sınır tabaka kalınlık değeri belirlenmiştir.

İkinci problemde laminar akış eğer $Re < 5 \times 10^5$ ise gerçekleşir.

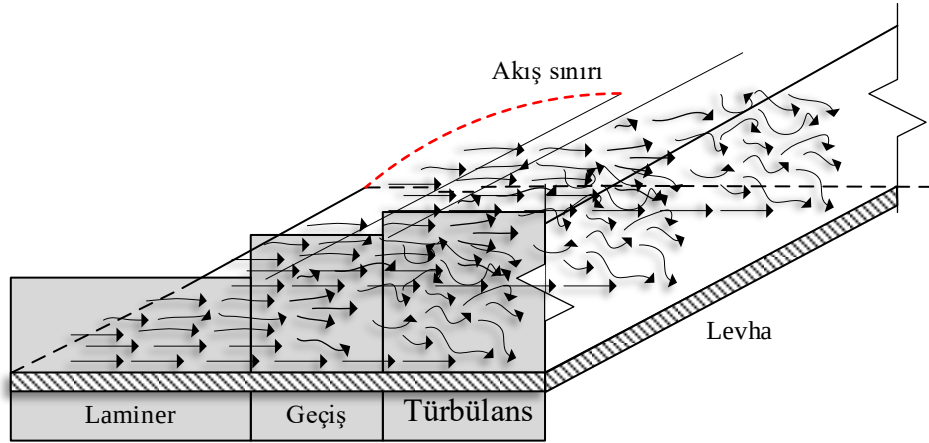
$$Nu_x = 0.332 Re^{1/2} Pr^{1/3}, \quad Pr = \frac{v}{\alpha} = \frac{v}{\frac{k}{\rho c_p}}, \quad h = \frac{Nu_x k}{x}, \quad \bar{h} = 2h, \quad q = \bar{h} A (T_w - T_\infty)$$

$$\delta = \frac{4.64}{\sqrt{Re_x}} x, \quad \delta_t = \frac{0.977}{Pr^{1/3}} \delta$$

Burada Re ; reynolds sayısı, Pr ; prandtl sayısı, Nu ; nusselt sayısı, c_p ; sabit basınçta özgül ısı (kJ / kg ° C), k ; ısı iletkenlik (W / m ° C), α ; termal yayılma, v ; kinematik viskozite, h ; ısı transfer katsayısı, $\bar{h}$; ısı transfer katsayısının ortalama değeri, δ ; hidrodinamik sınır tabaka kalınlığı, δ_t ; termal sınır tabakası kalınlığı, x ; ön kenardan uzaklık, T_w ; iç sıcaklık, T_∞ ; dış sıcaklık

$$Re_x = \frac{u_\infty x}{v} = \frac{\rho u_\infty x}{\mu} > 5 \times 10^5 \text{ ise, laminardan türbülanslı akışa geçiş gerçekleşir.}$$

Burada u_∞ ; serbest akış hızı, x ; ön kenardan uzaklık, μ / ρ ; kinematik viskozite modellenmesi şekil 3.4.'de göstermiştir.



Şekil 3.4. Isı akışı modellenmesi [12].

İkinci problemde 1 bar basınç altında 56.5 °C sıcaklıkta hava hızı 4.5 m/s hızı 124.5 °C sıcaklıkta 1x0.8 m boyutuna sahip levhada akmaktadır.

- Levha başlangıç kısmından 0.4 m ve 0.8 m uzaklıkta yerel ısı taşıma katsayısını, levhanın ısı taşıma katsayısının aritmetik ortalamasını bulunuz.
- Levhadan havaya ısı geçişi toplamda nedir?
- Levha sonunda hız ve sıcaklık sınır tabakanın kalınlığı nedir?[35]

Levha üzerinde akış için

$$Re_x < 5 \times 10^5 \rightarrow Nu_x = 0.332 Re_x^{1/2} Pr^{1/3}$$

$$Re_x > 5 \times 10^5 \rightarrow Nu_x = 0.0296 Re_x^{0.8} Pr^{1/3}$$

geçerlidir.

Tablo 3.1. 80 °C ve 100 °C sıcaklıkta ρ, ν, k, c_p değerleri

Hava	80 °C	100 °C
$\rho \left(\frac{kg}{m^3} \right)$	0.999	0.9458
$\nu \left(\frac{m^2}{s} \right)$	20.94×10^{-6}	23.06×10^{-6}
$k \left(\frac{W}{mK} \right)$	~0.031	~0.031
$c_p \left(\frac{J}{kgK} \right)$	1009	1011

Bu problemdeki kabuller aşağıda listelenmiştir.

- Sürekli rejim,
- Işınımın ihmal edilmesi,
- Özellikler sabitlemiş ve levha ile havanın sıcaklık değerleri sabit.

$$T_f = \frac{T_\infty + T_y}{2} = \frac{56.5 + 124.5}{2} = 90.5 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \text{Film sıcaklığı için}$$

$$\nu = 22.04 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}, \quad \rho = 0.971 \text{ kg/m}^3, \quad c_p = 1010 \text{ J/kgK}$$

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{\nu}{\frac{k}{\rho c_p}} = \frac{22.04 \times 10^{-6}}{\frac{0.031}{0.971 \times 1010}} \cong 0.70$$

$x_1 = 0.4 \text{ m}$ 'de ısı taşınım katsayısı,

$$Re_{0.4} = \frac{u_\infty x_1}{\nu} = \frac{4.5 \times 0.4}{22.04 \times 10^{-6}} = 81669.7 < 5 \times 10^5$$

$Re_{0.4} < 5 \times 10^5$ olduğundan birinci bağıntı sağlanır.

$$Nu_{0.4} = 0.332 \cdot Re_{0.4}^{1/2} \cdot Pr^{1/3} = 0.332 \cdot (81669.7)^{1/2} \cdot (0.70)^{1/3} = 84.25$$

$$Nu_{0.4} = \frac{h_{0.4} x_1}{k} \rightarrow h_{0.4} = \frac{Nu_{0.4} k}{x_1} = \frac{84.25 \times 0.031}{0.4}$$

$$h_{0.4} = 6.53 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$x_2 = 0.8 \text{ m}$ 'de ısı taşınım katsayısı,

$$Re_{0.8} = \frac{u_\infty x_2}{\nu} = \frac{4.5 \times 0.8}{22.04 \times 10^{-6}} = 163339.4 < 5 \times 10^5$$

$Re_{0.8} < 5 \times 10^5$ olduğundan birinci bağıntı sağlanır.

$$Nu_{0.8} = 0.332 \cdot Re_{0.8}^{1/2} \cdot Pr^{1/3} = 0.332 \cdot (163339.4)^{1/2} \cdot (0.70)^{1/3} = 119.15$$

$$Nu_{0.8} = \frac{h_{0.8} x_2}{k} \rightarrow h_{0.8} = \frac{Nu_{0.8} k}{x_2} = \frac{119.15 \times 0.031}{0.8}$$

$$h_{0.8} = 6.53 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Levhanın ısı taşınım katsayısının aritmetik ortalaması levha sonunda bulunan değer in 2 katıdır.

$$h = \bar{h} = 2h_{0.8} = 2 \times 6.53 \rightarrow h = 13.06 \text{ W/m}^2\text{K}$$

- Levhadan havaya taşınım ile ulaşan ısı miktarı;

$$Q = hA(T_y - T_{\infty})$$

$$Q = 9.26 \times 1 \times 0.7 (124.5 - 56.5)$$

$$Q = 503.7 \text{ W}$$

- $x_2 = 0.8 \text{ m}$ 'de hız sınır tabaka kalınlığı;

$$\frac{\delta}{x_2} = \frac{5}{\sqrt{Re_{0.8}}} \rightarrow \frac{\delta}{0.8} = \frac{5}{\sqrt{163339.4}}$$

$$\delta = 0.0099 \text{ m} = 9.9 \text{ mm}$$

Isıl sınır tabaka kalınlığı;

$$\frac{\delta_T}{\delta} = \frac{0.974}{Pr^{1/3}} \rightarrow \frac{\delta_T}{0.0099} = \frac{0.974}{0.70^{1/3}}$$

$$\delta_T = 0.0108 \text{ m} \cong 10.8 \text{ mm} \text{ olur.}$$

Laminer Akış için Termal Sınır Katmanının Kritik Kalınlığı üç durum bulunmaktadır.
Bu durumlar sırasıyla:

- Durum 1:

Hedef: Termal sınır tabaka kalınlığının (δ_t) maksimum, minimum ve hedef (19,6 mm) değerleri

–Kısıtlamalar: $Re_x < 50 \times 10^3$, $140 \text{ W} \leq Q \leq 190 \text{ W}$

–Tasarım Değişkenleri: $0,2 \text{ m} \leq x \leq 1 \text{ m}$, $80^\circ \text{ C} \leq T \leq 130^\circ \text{ C}$

- Durum 2:

Hedef: Isı akışının (Q) maksimum, minimum ve hedef (160.43 W) değerleri

–Kısıtlamalar: $Re_x < 50 \times 10^3$

–Tasarım Değişkenleri: $0,2 \text{ m} \leq x \leq 1 \text{ m}$, $80^\circ \text{ C} \leq T \leq 130^\circ \text{ C}$,

$0,01 \text{ mm} \leq \delta_t \leq 20 \text{ mm}$

- Durum 3:

–Hedef: Ön kenardan (x) uzaklığın maksimum, minimum ve hedef (0,61 m) değerleri

–Kısıtlamalar: $140 \text{ W} \leq Q \leq 190 \text{ W}$, $0,01 \text{ mm} \leq \delta_t \leq 20 \text{ mm}$

–Tasarım Değişkenleri: $0,01 \text{ mm} \leq Re_x < 50 \times 10^3$, $80^\circ \text{ C} \leq T \leq 130^\circ \text{ C}$

Bu üç durum için optimizasyon başlatma değerleri:

- Durum 1
- Hedef: Termal sınır tabakası kalınlığı (δ_t)
- Tasarım Değişkenleri: $x = 1$ m, $T = 1$ ° C

- Durum 2
- Hedef: Isı Akışı (Q)
- Tasarım Değişkenleri: $x = 1$ m, $T = 1$ ° C, $\delta_t = 1$ mm

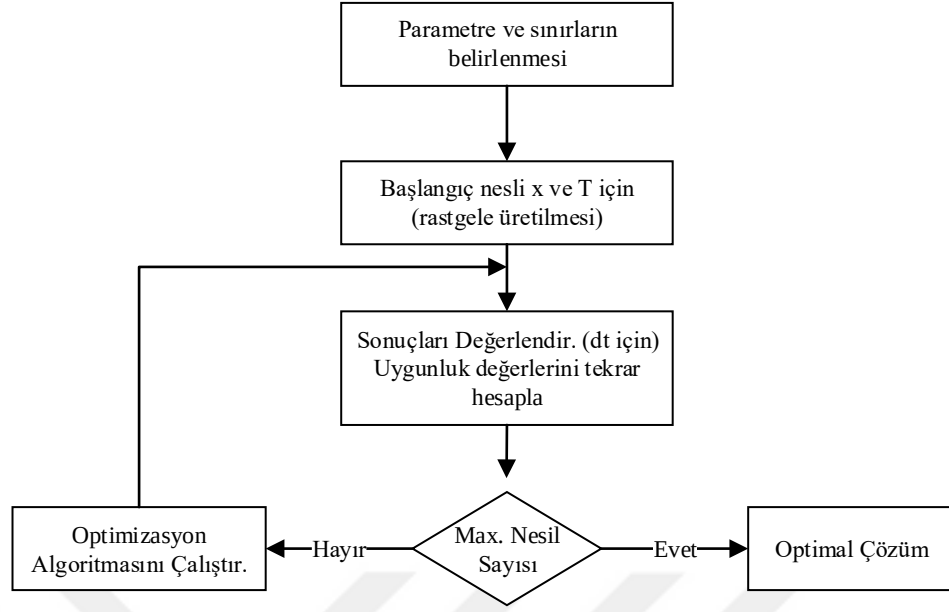
- Durum 3
 - Hedef: Ön kenardan uzaklık (x)
 - Tasarım Değişkenleri: $Re_x = 1$, $T = 1$ ° C
- Üç durumda da kullanılan 12 optimizasyon algoritmasında 100 popülasyon, 100 iterasyon, aynı başlatma değerlerine sahip 10 rastgele test:

- Birinci durum için,

$$\text{Amaç Fonksiyonu (sınır tabaka kalınlığını) } \delta_t = \frac{0.977\delta}{P_r^{1/3}}$$

- $0,2 \text{ m} \leq x \leq 1 \text{ m}$ olacak şekilde x için aralığa uygun bir şekilde rastgele değerlerden oluşan x popülasyonu
- $80 \text{ ° C} \leq T \leq 130 \text{ ° C}$ Olacak şekilde T için aralığa uygun bir şekilde rastgele değerlerden oluşan T popülasyonu

Amaç fonksiyonun belirlenen durumuna göre (minimum-maksimum-hedef değer) en iyi sonuç üretilmesini sağlayan Re_x , T, Q ve x değerleri optimizasyon algoritmaları ile değerlendirip optimum fonksiyon değeri bulunur.



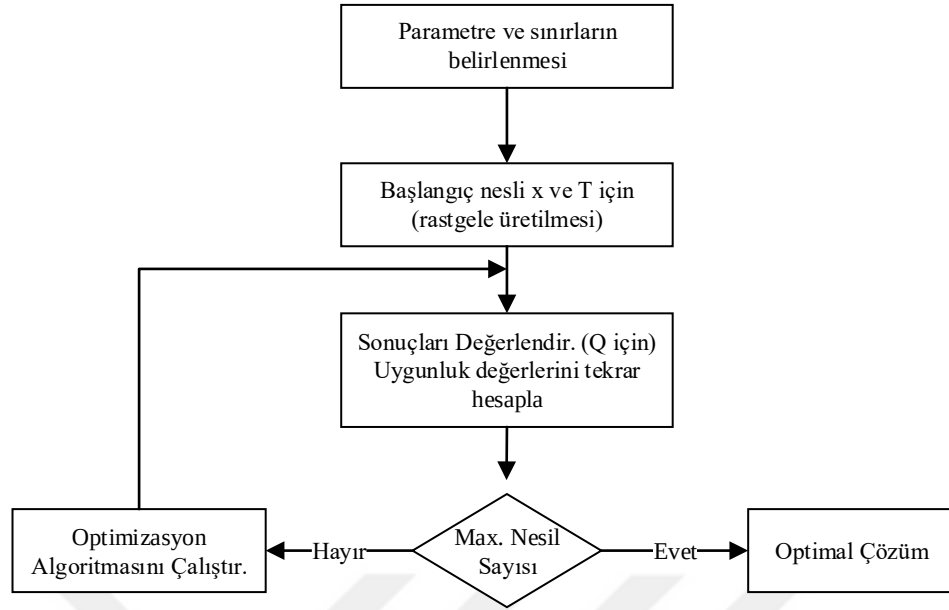
Şekil 3.5. Isı sınır tabaka problemi durum 1 için akış diyagramı

- İkinci durum için,
- *Amaç Fonksiyonu* (ısı akışı) $Q = h_{ort} x A x (T_L - T_H)$

$$A = L \cdot x, h_{ort} = 2 \cdot h_x$$

- $0,2 \text{ m} \leq x \leq 1 \text{ m}$ olacak şekilde x için aralığa uygun bir şekilde rastgele değerlerden oluşan x popülasyonu
- $80^\circ \text{ C} \leq T \leq 130^\circ \text{ C}$ Olacak şekilde T için aralığa uygun bir şekilde rastgele değerlerden oluşan T popülasyonu

Amaç fonksiyonun belirlenen durumuna göre (minimum-maksimum-hedef değer) en iyi sonuç üretilmesini sağlayan Re_x , T, δ_t ve x değerleri optimizasyon algoritmaları ile değerlendirip optimum fonksiyon (Q) değeri bulunur.



Şekil 3.6. Isı sınır tabaka problemi durum 2 için akış diyagramı

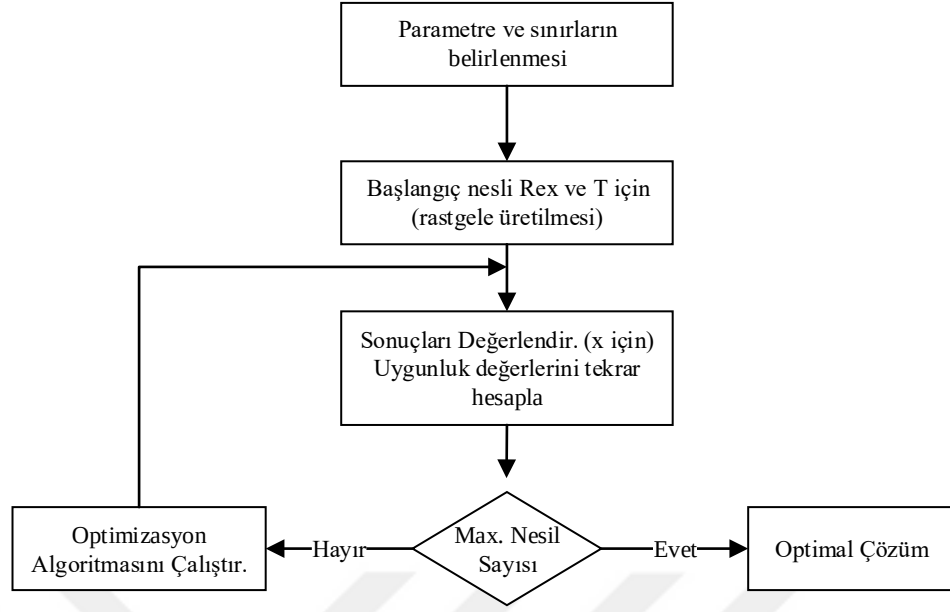
- Üçüncü durum için,

$$\text{Amaç Fonksiyonu (Ön kenardan (x) uzaklığı)} \quad x = \frac{Re_x \gamma}{U_h}$$

$$\gamma = \gamma_{ort} + (\gamma_{100} - \gamma_{80}) \cdot \left(\frac{T_{ort} - T_{80}}{T_{100} - T_{80}} \right)$$

- $0.01 \leq Re_x \leq 50 \times 10^3$ olacak şekilde Re_x için aralığa uygun bir şekilde rastgele değerlerden oluşan x popülasyonu
- $80^\circ \text{C} \leq T \leq 130^\circ \text{C}$ Olacak şekilde T için aralığa uygun bir şekilde rastgele değerlerden oluşan T popülasyonu

Amaç fonksiyonun belirlenen durumuna göre (minimum-maksimum-hedef değer) en iyi sonuç üretilmesini sağlayan Re_x , T, δ_t ve Q değerleri optimizasyon algoritmaları ile değerlendirilip optimum fonksiyon (x) değeri bulunur.



Şekil 3.7. Isı sınır tabaka problemi durum 3 için akış diyagramı

BÖLÜM 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu bölümde Bölüm 3'te detayları verilmiş problem için Bölüm 2'de belirtilmiş olan on iki optimizasyon algoritmaları ile yalıtım malzemesi ve sınır tabaka kalınlığı problemlerinin çözüm sonuçları gösterilecektir.

4.1. Isı Yalıtım Problemi Sonuçları

Bu problemin çözümünde 12 farklı optimizasyon algoritması kullanılmıştır. Problem için iki farklı duruma söz konusudur. 10 test tekrarı yapılmıştır. Test tekrarları uzun zaman aralıklarda, ön bellekten okumanın yanıltıcı sonuçlar vermesini önlemek için gerçekleştirilmiştir. Yazılım ortamı olarak MATLAB R2020a kullanılmıştır.

İlk durum olan izin verilen en yüksek ısı kaybı için önceden belirlenmiş bir kalınlıkta kullanılacak yalıtım malzemesinin belirlenmesinde $Q = 100 \text{ W}$ (Kısıtlama), $25 \text{ mm} \leq t \leq 200 \text{ mm}$ (Tasarım Değişkeni) (Tablo 4.1. – WOA-TLBO) ile sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar hedef değer olan $k=0.080 \text{ W / m}^\circ \text{ C}$ değerine her iki algoritma ile ulaşılmıştır. WOA algoritmasında t için maksimum olan değeri aldığı beşinci test sonucunda görülmektedir. Ayrıca $Q = 100 \text{ W}$ değerini yedinci test sonucunda WOA algoritmasının aldığı görülmektedir. TLBO algoritmasının tasarım değişkeni ve kısıt için belirlenen değerleri almadığı görülmektedir. WOA algoritması ortalama olarak istenen sonuca 0,209 saniyede ulaştığı, TLBO algoritmasının 1,42 saniyede sonuca ulaştığı görülmektedir. Tablo 4.2. – SCA-SA'da hedef değer olan $k=0.080 \text{ W / m}^\circ \text{ C}$ değerine her iki algoritmada ulaşılmıştır. Hem SCA hem de SA algoritmalarının tasarım değişkeninin ve belirlenen kısıt değerlerinin sınır değerlerini almadığı görülmektedir. SCA algoritmasının istenen sonuca 0,865 saniyede ulaştığı, SA algoritmasının 3,192 saniyede ulaştığı görülmektedir. Tablo 4.3.- SSA-PSO'da hedef değer olan $k=0.080 \text{ W / m}^\circ \text{ C}$ değerine her iki algoritmada ulaşılmıştır. SSA

ve PSO algoritmalarının tasarım değişkenin ve belirlenen kısıt değerlerinin sınır değerlerini almadığı görülmektedir. İşlem süresi ortalama olarak SSA algoritmasında 0,835 saniye iken PSO algoritmasında 1,471 saniye olarak gerçekleşmiştir. Tablo 4.4.- HHO-GWO'da hedef değer olan $k=0.080 \text{ W / m } ^\circ \text{ C}$ değerine her iki algoritmada ulaşılmıştır. HHO algoritması tasarım değişkeni ve kısıt sınır değerini aldığı görülmektedir. GWO kısıt sınır değerini almıştır. İşlem süresi ortalama olarak HHO algoritmasında 0,35 saniye iken GWO algoritmasında 0,137 saniye olarak gerçekleşmiştir. Tablo 4.5.- GA-FA'da hedef değer olan $k=0.080 \text{ W / m } ^\circ \text{ C}$ değerine her iki algoritmada ulaşılmıştır. Her iki algoritmada kısıt değerini aldığı fakat tasarım değişkeni sınır değerini almadığı görülmektedir. İşlem süresi ortalama olarak GA algoritmasında 4,339 saniye iken FA algoritmasında 27,307 saniye olarak gerçekleşmiştir. FA algoritması işlem süresinin uzun sürmesi algoritma yapısından kaynaklanıyor. Popülasyon büyüklüğünü daha az seçildiğinde başarılı ve daha kısa sürede işlemi tamamlıyor. Tablo 4.6.- ABC-ACOR'da hedef değer olan $k=0.080 \text{ W / m } ^\circ \text{ C}$ değerine her iki algoritmada ulaşılmıştır. ABC algoritması tasarım değişkeni ve kısıt sınır değerlerini almadığı, ACOR algoritmasının tasarım değişkeni ve kısıt sınır değerlerini aldığı görülmektedir. İşlem süresi ortalama olarak ABC algoritmasında 1,51 saniye iken ACOR algoritmasında 5,466 saniye olarak gerçekleşmiştir.

Tablo 4.1.WOA-TLBO problem-1 durum 1 sonuçları

WOA					TLBO				
Hedef: $k= 0.080 \text{ W / m } ^\circ \text{ C}$					Hedef: $k= 0.080 \text{ W / m } ^\circ \text{ C}$				
Test	k	t (mm)	Q (W)	Saniye	Test	k	t (mm)	Q (W)	Saniye
1	0,080	158,855	87,189	0,278	1	0,080	155,393	87,911	1,686
2	0,080	162,661	86,425	0,184	2	0,080	181,839	82,983	1,306
3	0,080	184,409	82,568	0,143	3	0,080	155,393	87,911	1,344
4	0,080	158,855	87,189	0,316	4	0,080	144,845	90,285	1,270
5	0,080	200,000	80,233	0,169	5	0,080	112,987	99,645	1,489
6	0,080	189,446	81,779	0,169	6	0,080	113,620	99,417	1,559
7	0,080	112,019	100,000	0,110	7	0,080	145,258	90,187	1,394
8	0,080	158,855	87,189	0,328	8	0,080	144,845	90,285	1,236
9	0,080	200,000	80,233	0,100	9	0,080	134,516	92,907	1,486
10	0,080	158,855	87,189	0,296	10	0,080	155,393	87,911	1,430
Avg	0,080	168,396	86,000	0,209	Avg	0,080	144,409	90,944	1,420

Tablo 4.2. SCA-SA problem-1 durum 1 sonuçları

SCA					SA				
Hedef: $k=0.080 \text{ W / m } ^\circ \text{C}$					Hedef: $k=0.080 \text{ W / m } ^\circ \text{C}$				
Test	k	t (mm)	Q (W)	Saniye	Test	k	t (mm)	Q (W)	Saniye
1	0,080	190,812	81,518	0,979	1	0,080	135,212	92,720	3,044
2	0,080	149,984	89,072	0,841	2	0,080	140,096	91,450	3,040
3	0,080	190,812	81,518	0,894	3	0,080	135,212	92,720	3,218
4	0,080	136,764	92,274	0,851	4	0,080	199,746	80,269	3,345
5	0,080	174,629	84,188	1,011	5	0,080	193,962	81,101	3,304
6	0,080	167,395	85,510	0,859	6	0,080	185,123	82,453	3,141
7	0,080	190,946	81,550	0,973	7	0,080	186,228	82,279	3,060
8	0,080	136,764	92,274	0,755	8	0,080	199,746	80,269	3,729
9	0,080	180,132	83,231	0,707	9	0,080	166,835	85,620	2,980
10	0,080	190,812	81,518	0,779	10	0,080	135,212	92,720	3,059
Avg	0,080	170,905	85,265	0,865	Avg	0,080	167,737	86,160	3,192

Tablo 4.3. SSA-PSO problem-1 durum 1 sonuçları

SSA					PSO				
Test	k	t (mm)	Q (W)	Saniye	Test	k	t (mm)	Q (W)	Saniye
1	0,080	160,125	86,931	0,906	1	0,080	183,130	82,774	1,586
2	0,080	148,553	89,419	0,780	2	0,080	112,019	100,000	1,359
3	0,080	148,519	89,426	0,940	3	0,080	160,273	86,901	1,414
4	0,080	167,802	85,439	0,881	4	0,080	180,374	83,225	1,652
5	0,080	156,838	87,606	0,806	5	0,080	149,047	89,306	1,493
6	0,080	161,608	86,634	0,773	6	0,080	185,273	82,430	1,435
7	0,080	150,012	89,087	0,781	7	0,080	163,662	86,229	1,411
8	0,080	167,802	85,439	0,918	8	0,080	180,374	83,225	1,541
9	0,080	156,869	87,600	0,759	9	0,080	160,901	86,775	1,360
10	0,080	148,519	89,426	0,805	10	0,080	160,273	86,901	1,456
Avg	0,080	156,665	87,701	0,835	Avg	0,080	163,533	86,777	1,471

Tablo 4.4. HHO-GWO problem-1 durum 1 sonuçları

HHO					GWO				
Hedef: $k=0.080 \text{ W / m } ^\circ \text{C}$					Hedef: $k=0.080 \text{ W / m } ^\circ \text{C}$				
Test	k	t (mm)	Q (W)	Saniye	Test	k	t (mm)	Q (W)	Saniye
1	0,080	200,000	80,233	0,389	1	0,080	154,883	88,013	0,169
2	0,080	123,342	96,156	0,294	2	0,080	162,338	86,482	0,133
3	0,080	138,283	91,913	0,355	3	0,080	112,015	100,000	0,117
4	0,080	112,019	100,000	0,306	4	0,080	178,791	83,489	0,145
5	0,080	198,921	80,385	0,299	5	0,080	172,296	84,613	0,125
6	0,080	132,296	93,516	0,345	6	0,080	133,488	93,187	0,102
7	0,080	112,019	100,000	0,430	7	0,080	173,527	84,392	0,188
8	0,080	138,270	91,917	0,366	8	0,080	173,006	84,490	0,184
9	0,080	142,781	90,784	0,302	9	0,080	165,358	85,902	0,114
10	0,080	138,283	91,913	0,409	10	0,080	112,015	100,000	0,097
Avg	0,080	143,621	91,682	0,350	Avg	0,080	153,772	89,057	0,137

Tablo 4.5. GA-FA problem-1 durum 1 sonuçları

Hedef: $k=0.080 \text{ W / m } ^\circ \text{ C}$					Hedef: $k=0.080 \text{ W / m } ^\circ \text{ C}$				
GA Test	k	t (mm)	Q (W)	Saniye	FA Test	k	t (mm)	Q (W)	Saniye
1	0,080	139,476	91,604	4,148	1	0,080	112,017	100,000	28,404
2	0,080	144,566	90,331	4,123	2	0,080	200,000	80,233	28,013
3	0,080	131,703	93,650	4,682	3	0,080	191,197	81,512	27,258
4	0,080	167,452	85,497	4,276	4	0,080	149,928	89,106	26,868
5	0,080	111,841	100,000	4,352	5	0,080	139,326	91,646	28,606
6	0,080	151,596	88,720	4,849	6	0,080	112,018	100,000	27,508
7	0,080	145,938	90,019	4,259	7	0,080	141,559	91,084	26,872
8	0,080	120,651	97,007	4,259	8	0,080	116,679	98,341	27,840
9	0,080	118,641	97,656	4,100	9	0,080	139,631	91,568	26,165
10	0,080	131,703	93,650	4,343	10	0,080	191,197	81,512	25,538
Avg	0,080	136,357	92,813	4,339	Avg	0,080	149,355	90,500	27,307

Tablo 4.6. ABC-ACOR problem-1 durum 1 sonuçları

Hedef: $k=0.080 \text{ W / m } ^\circ \text{ C}$					Hedef: $k=0.080 \text{ W / m } ^\circ \text{ C}$				
ABC Test	k	t (mm)	Q (W)	Saniye	ACOR Test	k	t (mm)	Q (W)	Saniye
1	0,080	151,279	88,804	1,540	1	0,080	155,102	87,915	6,131
2	0,080	156,792	87,616	1,449	2	0,080	200,000	80,233	5,324
3	0,080	165,741	85,828	1,633	3	0,080	194,266	81,050	5,477
4	0,080	173,115	84,471	1,495	4	0,080	200,000	80,225	5,397
5	0,080	149,503	89,202	1,551	5	0,080	164,745	86,003	5,623
6	0,080	166,065	85,767	1,503	6	0,080	163,131	86,317	5,729
7	0,080	164,166	86,131	1,527	7	0,080	200,000	80,232	5,465
8	0,080	161,142	86,727	1,550	8	0,080	111,981	100,000	5,409
9	0,080	167,914	85,418	1,378	9	0,080	200,000	80,165	5,020
10	0,080	165,741	85,828	1,473	10	0,080	194,266	81,050	5,085
Avg	0,080	162,146	86,579	1,510	Avg	0,080	178,349	84,319	5,466

İkinci durum olan izin verilen en yüksek ısı kaybı için önceden belirlenmiş bir kalınlıkta kullanılacak yalıtım malzemesinin belirlenmesinde $Q = 100 \text{ W}$ (Kısıtlama), $k = 0,084 \text{ W / m } ^\circ \text{ C}$ (Tasarım Değişkeni), $t=100 \text{ mm}$ (Hedef Değer). Tablo 4.7.- WOA-TLBO'da her iki algoritmanın hedef değer olan $t=100 \text{ mm}$ değerini aldığı görülmektedir. WOA her test sonucunda ulaşırken, TLBO sadece bir test sonucunda ulaşmıştır. TLBO'nun kısıt değerini aldığı, tasarım değişkeni değerini almadığı, WOA'nın hem kısıt hem de tasarım değişkeni sınır değerini almadığı görülmektedir. İşlem süresi ortalama olarak WOA algoritmasında 0,206 saniye iken TLBO algoritmasında 1,341 saniye olarak gerçekleşmiştir. Tablo 4.8.-SCA-SA'da hedef değere SA algoritması bir kez ulaşmıştır. Her iki algortmada hedef değere çok yakın sonuçlar vermiştir. SA tasarım değişkeni ve kısıt sınır değerini hiçbir test sonucunda almamıştır. SCA kısıt sınır değerini almış iken tasarım değişkeni sınır değerini

almamıştır. İşlem süresi ortalama olarak SCA algoritmasında 0,811 saniye iken SA algoritmasında 3,661 saniye olarak gerçekleşmiştir. Tablo 4.9.-SSA-PSO'da hedef değere her iki algoritmada ulaşmıştır. Tasarım değişkeni ve kısıt sınır değerini her iki algoritmada almamıştır. İşlem süresi ortalama olarak SSA algoritmasında 0,908 saniye iken PSO algoritmasında 1,437 saniye olarak gerçekleşmiştir. Tablo 4.10.-HHO-GWO'da HHO algoritması hedef değeri bulmuştur. GWO algoritması hedef değere çok yakın sonuç bulmuştur. Her iki algoritmada tasarım değişkeni ve kısıt sınır değerini almamıştır. İşlem süresi ortalama olarak HHO algoritmasında 0,305 saniye iken GWO algoritmasında 0,13 saniye olarak gerçekleşmiştir. Tablo 4.11.-GA-FA'da FA algoritması hedef değere ulaşırken GA algoritması hedef değere yakın sonuçlar elde etmiştir. FA tasarım değişkeninin sınır değerlerini almazken kısıt sınır değerini almıştır. GA algoritması hem tasarım değişkeni hem de kısıt sınır değerini almamıştır. İşlem süresi ortalama olarak GA algoritmasında 1,337 saniye iken FA algoritmasında 26,547 saniye olarak gerçekleşmiştir. FA algoritması başarımı yüksek bir algoritmadır. Popülasyon miktarından ötürü işlem süresi uzun çıkmıştır. Popülasyon miktarını daha az seçildiğinde yine başarılı sonuçlar göstermekte ve süre daha kısa sürmektedir. Tablo 4.12.-ABC-ACOR'da ABC algoritması hedef değeri bulmaktadır. ACOR algoritması hedef değere yakın sonuçlar göstermiştir. ACOR algoritması kısıt değerini alırken tasarım değişkeni sınır değerini almamıştır. ABC algoritması ise hem tasarım değişkeni hem de kısıt sınır değerlerini almamıştır. İşlem süresi ortalama olarak ABC algoritmasında 1,413 saniye iken ACOR algoritmasında 4,111 saniye olarak gerçekleşmiştir.

Tablo 4.7. WOA-TLBO problem-1 durum 2 sonuçları

WOA					TLBO				
Minimum t=100 mm. (Hedef)					Minimum t=100 mm. (Hedef)				
Test	k	t (mm)	Q (W)	Saniye	Test	k	t (mm)	Q (W)	Saniye
1	0,035	100,000	45,917	0,120	1	0,030	100,015	38,769	1,380
2	0,017	100,000	22,404	0,298	2	0,044	100,006	57,939	1,339
3	0,026	100,000	33,662	0,127	3	0,056	100,000	73,504	0,995
4	0,017	100,000	22,404	0,414	4	0,044	100,006	57,939	1,377
5	0,066	100,000	85,962	0,164	5	0,076	100,033	100,000	1,450
6	0,068	100,000	88,767	0,093	6	0,076	100,033	99,782	1,412
7	0,066	100,000	85,962	0,160	7	0,024	100,021	31,173	1,071
8	0,017	100,000	22,404	0,314	8	0,044	100,006	57,939	1,618
9	0,066	100,000	85,962	0,237	9	0,076	100,033	100,000	1,468
10	0,029	100,000	38,174	0,131	10	0,075	100,002	98,553	1,298
Avg	0,041	100,000	53,162	0,206	Avg	0,055	100,016	71,560	1,341

Tablo 4.8. SCA-SA problem-1 durum 2 sonuçları

SCA					SA				
Minimum t=100 mm. (Hedef)					Minimum t=100 mm. (Hedef)				
Test	k	t (mm)	Q (W)	Saniye	Test	k	t (mm)	Q (W)	Saniye
1	0,076	100,005	100,000	0,842	1	0,022	100,006	28,760	3,655
2	0,038	100,003	49,854	0,907	2	0,046	100,002	60,715	3,683
3	0,400	100,009	52,469	0,590	3	0,056	100,517	73,386	3,371
4	0,038	100,003	49,854	0,819	4	0,046	100,002	60,715	3,772
5	0,069	100,003	90,789	0,808	5	0,042	100,001	54,559	3,697
6	0,030	100,020	39,538	0,967	6	0,066	100,001	86,058	3,442
7	0,064	100,004	83,735	0,827	7	0,014	100,000	18,498	4,760
8	0,038	100,003	49,854	0,796	8	0,046	100,002	60,715	3,437
9	0,069	100,003	90,789	0,889	9	0,042	100,001	54,559	3,432
10	0,064	100,011	83,381	0,667	10	0,056	100,011	73,314	3,366
Avg	0,089	100,006	69,026	0,811	Avg	0,044	100,054	57,128	3,661

Tablo 4.9. SSA-PSO problem-1 durum 2 sonuçları

SSA					PSO				
Minimum t=100 mm. (Hedef)					Minimum t=100 mm. (Hedef)				
Test	k	t (mm)	Q (W)	Saniye	Test	k	t (mm)	Q (W)	Saniye
1	0,026	100,000	33,664	0,853	1	0,060	100,000	79,128	1,343
2	0,024	100,000	31,221	0,916	2	0,034	100,000	44,910	1,399
3	0,040	100,000	51,805	1,109	3	0,054	100,000	71,427	1,491
4	0,024	100,000	31,221	0,967	4	0,034	100,000	44,910	1,450
5	0,076	100,000	99,461	0,809	5	0,062	100,000	81,696	1,472
6	0,025	100,000	32,495	0,812	6	0,071	100,000	93,735	1,441
7	0,038	100,000	49,402	1,003	7	0,045	100,000	59,004	1,586
8	0,024	100,000	31,221	0,960	8	0,034	100,000	44,910	1,336
9	0,076	100,000	99,461	0,886	9	0,062	100,000	81,696	1,396
10	0,029	100,000	37,656	0,760	10	0,059	100,000	77,630	1,461
Avg	0,038	100,000	49,761	0,908	Avg	0,052	100,000	67,905	1,437

Tablo 4.10. HHO-GWO problem-1 durum 2 sonuçları

HHO					GWO				
Minimum t=100 mm. (Hedef)					Minimum t=100 mm. (Hedef)				
Test	k	t (mm)	Q (W)	Saniye	Test	k	t (mm)	Q (W)	Saniye
1	0,013	100,000	16,955	0,271	1	0,055	100,009	72,046	0,103
2	0,010	100,000	13,248	0,307	2	0,074	100,005	96,475	0,120
3	0,003	100,000	3,429	0,325	3	0,075	100,011	97,940	0,142
4	0,010	100,000	13,248	0,284	4	0,074	100,005	96,475	0,133
5	0,019	100,000	25,069	0,300	5	0,074	100,011	96,720	0,112
6	0,049	100,000	63,941	0,317	6	0,076	100,001	99,349	0,124
7	0,039	100,000	50,754	0,332	7	0,067	100,009	87,469	0,173
8	0,010	100,000	13,248	0,316	8	0,074	100,005	96,475	0,144
9	0,019	100,000	25,069	0,336	9	0,074	100,011	96,720	0,115
10	0,035	100,000	45,739	0,260	10	0,045	100,020	58,681	0,129
Avg	0,021	100,000	27,070	0,305	Avg	0,069	100,009	89,835	0,130

Tablo 4.11. GA-FA problem-1 durum 2 sonuçları

GA					FA				
Minimum t=100 mm. (Hedef)					Minimum t=100 mm. (Hedef)				
Test	k	t (mm)	Q (W)	Saniye	Test	k	t (mm)	Q (W)	Saniye
1	0,073	101,197	95,308	1,198	1	0,076	100,000	99,487	25,353
2	0,031	100,197	40,381	1,446	2	0,067	100,000	87,779	27,242
3	0,035	100,172	45,673	1,262	3	0,076	100,000	99,418	27,212
4	0,054	100,789	70,937	1,743	4	0,076	100,000	99,546	26,689
5	0,032	100,761	42,154	1,270	5	0,076	100,000	99,935	28,652
6	0,032	100,057	42,267	1,415	6	0,076	100,000	100,000	25,640
7	0,077	102,230	99,397	1,327	7	0,063	100,000	82,586	27,129
8	0,031	100,197	40,381	1,138	8	0,076	100,000	99,961	25,157
9	0,032	100,761	42,154	1,315	9	0,076	100,000	99,819	27,037
10	0,075	102,528	97,117	1,254	10	0,065	100,000	85,814	25,361
Avg	0,047	100,889	61,577	1,337	Avg	0,073	100,000	95,434	26,547

Tablo 4.12. ABC-ACOR problem-1 durum 2 sonuçları

ABC					ACOR				
Minimum t=100 mm. (Hedef)					Minimum t=100 mm. (Hedef)				
Test	k	t (mm)	Q (W)	Saniye	Test	k	t (mm)	Q (W)	Saniye
1	0,038	100,000	50,071	1,415	1	0,074	100,126	96,438	4,039
2	0,049	100,000	64,888	1,540	2	0,053	100,068	69,745	4,139
3	0,039	100,000	50,642	1,270	3	0,076	100,271	99,928	4,176
4	0,063	100,000	82,539	1,486	4	0,067	100,007	88,344	4,085
5	0,059	100,000	77,503	1,543	5	0,076	100,148	100,000	4,320
6	0,069	100,000	90,211	1,473	6	0,061	100,134	80,076	3,899
7	0,020	100,000	26,294	1,194	7	0,076	100,338	100,000	4,634
8	0,070	100,000	91,675	1,300	8	0,076	100,150	100,000	3,901
9	0,047	100,000	62,018	1,460	9	0,073	100,203	95,609	3,948
10	0,063	100,000	83,052	1,449	10	0,076	100,263	100,000	3,963
Avg	0,052	100,000	67,889	1,413	Avg	0,071	100,171	93,014	4,111

4.2. Isı Sınır Tabaka Problemi Sonuçları

Bu problemin çözümünde 12 farklı optimizasyon algoritması kullanılmıştır. Problemden 3 farklı değişken için üç farklı durum söz konusudur. 10 test tekrarı yapılmıştır. Test tekrarları uzun zaman aralıklarda, ön bellekten okumanın yanıltıcı sonuçlar vermesini önlemek için gerçekleştirilmiştir. Yazılım ortamı olarak MATLAB R2020a kullanılmıştır.

İlk durum olan hedef termal sınır tabaka kalınlığının (δ_t) maksimum, minimum ve hedef (19,6 mm) değerleri belirlenmesinde $140 \text{ W} \leq Q \leq 190 \text{ W}$, $Re_x < 50 \times 10^3$ (Kısıtlar), $0,2 \text{ m} \leq x \leq 1 \text{ m}$, $80^\circ \text{ C} \leq T \leq 130^\circ \text{ C}$ (Tasarım Değişkenleri). (Tablo A.1. – WOA) ile sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, minimum değer testinde minimum değere ulaştığı ve Q kısıt değerini aldığı görülmektedir. Minimum değer testlerinin ortalama süresi 0,27 saniye olarak gerçekleşmiştir. Maksimum değer testinde maksimum değeri aldığı ve Q kısıt değerinin sınır değerini kullandığı görülmektedir. Maksimum değer testlerinin ortalama süresi 0,186 saniye olarak gerçekleşmiştir. Hedef $\delta_t = 19,6 \text{ mm}$ değerini aldığı görülmektedir. Hedef değer testlerinin ortalama süresi 0,13 saniye olarak gerçekleşmiştir. Tablo A.2. TLBO'dan elde edilen sonuçlardan, minimum değer testinde minimum değere ulaştığı görülmektedir. Minimum değer testlerinin ortalama süresi 1,58 saniye olarak gerçekleşmiştir. Maksimum değer testinde maksimum değeri aldığı ve Q kısıt değerinin sınır değerini kullandığı görülmektedir. Maksimum değer testlerinin ortalama süresi 1,46 saniye olarak gerçekleşmiştir. Hedef $\delta_t = 19,6 \text{ mm}$ değerine yakın değerler aldığı görülmektedir. Hedef değer testlerinin ortalama süresi 1,45 saniye olarak gerçekleşmiştir. Tablo A.3. SCA'dan elde edilen sonuçlardan, minimum değere ulaşamadığı fakat çok yakın bir değer aldığı görülmektedir. Minimum değer testlerinin ortalama süresi 1,00 saniye olarak gerçekleşmiştir. Maksimum değer testinde maksimum değeri aldığı görülmektedir. Maksimum değer testlerinin ortalama süresi 0,93 saniye olarak gerçekleşmiştir. Hedef $\delta_t = 19,6 \text{ mm}$ değerini aldığı görülmektedir. Hedef değer testlerinin ortalama süresi 0,91 saniye olarak gerçekleşmiştir. Tablo A.4. SA'dan elde edilen sonuçlardan, minimum değer testinde minimum değere ulaştığı ve Q kısıt değerini aldığı görülmektedir. Minimum değer

testlerinin ortalama süresi 4,92 saniye olarak gerçekleşmiştir. Maksimum değer testinde maksimum değeri aldığı ve Q kısıt değerinin sınır değerini kullandığı görülmektedir. Maksimum değer testlerinin ortalama süresi 5,06 saniye olarak gerçekleşmiştir. Hedef $\delta_t = 19,6 \text{ mm}$ değerini aldığı görülmektedir. Hedef değer testlerinin ortalama süresi 4,98 saniye olarak gerçekleşmiştir. Tablo A.5. SSA'dan elde edilen sonuçlardan, minimum değer testinde minimum değere ulaştığı ve Q kısıt değerini aldığı görülmektedir. Minimum değer testlerinin ortalama süresi 0,98 saniye olarak gerçekleşmiştir. Maksimum değer testinde maksimum değeri aldığı ve Q kısıt değerinin sınır değerini kullandığı görülmektedir. Maksimum değer testlerinin ortalama süresi 1,02 saniye olarak gerçekleşmiştir. Hedef $\delta_t = 19,6 \text{ mm}$ değerini aldığı görülmektedir. Hedef değer testlerinin ortalama süresi 0,93 saniye olarak gerçekleşmiştir. Tablo A.6. PSO'dan elde edilen sonuçlardan, minimum değer testinde minimum değere ulaştığı ve Q kısıt değerini aldığı görülmektedir. Minimum değer testlerinin ortalama süresi 1,67 saniye olarak gerçekleşmiştir. Maksimum değer testinde maksimum değeri aldığı ve Q kısıt değerinin sınır değerini kullandığı görülmektedir. Maksimum değer testlerinin ortalama süresi 1,64 saniye olarak gerçekleşmiştir. Hedef $\delta_t = 19,6 \text{ mm}$ değerini aldığı görülmektedir. Hedef değer testlerinin ortalama süresi 1,54 saniye olarak gerçekleşmiştir. Tablo A.7. HHO'dan elde edilen sonuçlardan, minimum değer testinde minimum değere ulaştığı ve Q kısıt değerini aldığı görülmektedir. Minimum değer testlerinin ortalama süresi 0,38 saniye olarak gerçekleşmiştir. Maksimum değer testinde maksimum değeri aldığı ve Q kısıt değerinin sınır değerini kullandığı görülmektedir. Maksimum değer testlerinin ortalama süresi 0,33 saniye olarak gerçekleşmiştir. Hedef $\delta_t = 19,6 \text{ mm}$ değerini aldığı görülmektedir. Hedef değer testlerinin ortalama süresi 0,29 saniye olarak gerçekleşmiştir. Tablo A.8. GWO'dan elde edilen sonuçlardan, minimum değer testinde minimum değere ulaştığı ve Q kısıt değerini aldığı görülmektedir. Minimum değer testlerinin ortalama süresi 0,14 saniye olarak gerçekleşmiştir. Maksimum değer testinde maksimum değeri aldığı ve Q kısıt değerinin sınır değerini kullandığı görülmektedir. Maksimum değer testlerinin ortalama süresi 0,11 saniye olarak gerçekleşmiştir. Hedef $\delta_t = 19,6 \text{ mm}$ değerini aldığı görülmektedir. Hedef değer testlerinin ortalama süresi 0,12 saniye olarak gerçekleşmiştir. Tablo A.9. GA'dan elde edilen sonuçlardan, minimum değer testinde minimum değere ulaştığı görülmektedir.

Minimum değer testlerinin ortalama süresi 1,36 saniye olarak gerçekleşmiştir. Maksimum değer testinde maksimum değeri aldığı görülmektedir. Maksimum değer testlerinin ortalama süresi 4,52 saniye olarak gerçekleşmiştir. Hedef $\delta_t = 19,6 \text{ mm}$ değerini aldığı görülmektedir. Hedef değer testlerinin ortalama süresi 4,52 saniye olarak gerçekleşmiştir. Tablo A.10. FA'dan elde edilen sonuçlardan, minimum değer testinde minimum değere ulaştığı ve Q kısıt değerini aldığı görülmektedir. Minimum değer testlerinin ortalama süresi 30,54 saniye olarak gerçekleşmiştir. Maksimum değer testinde maksimum değeri aldığı ve Q kısıt değerinin sınır değerini kullandığı görülmektedir. Maksimum değer testlerinin ortalama süresi 31,64 saniye olarak gerçekleşmiştir. Hedef $\delta_t = 19,6 \text{ mm}$ değerini aldığı görülmektedir. Hedef değer testlerinin ortalama süresi 29,85 saniye olarak gerçekleşmiştir. Tablo A.11. ABC'den elde edilen sonuçlardan, minimum değer testinde minimum değere ulaştığı ve Q kısıt değerini aldığı görülmektedir. Minimum değer testlerinin ortalama süresi 1,69 saniye olarak gerçekleşmiştir. Maksimum değer testinde maksimum değeri aldığı ve Q kısıt değerinin sınır değerini kullandığı görülmektedir. Maksimum değer testlerinin ortalama süresi 1,73 saniye olarak gerçekleşmiştir. Hedef $\delta_t = 19,6 \text{ mm}$ değerini aldığı görülmektedir. Hedef değer testlerinin ortalama süresi 1,75 saniye olarak gerçekleşmiştir. Tablo A.12. ACOR'dan elde edilen sonuçlardan, minimum değer testinde minimum değere ulaştığı ve Q kısıt değerini aldığı görülmektedir. Minimum değer testlerinin ortalama süresi 4,40 saniye olarak gerçekleşmiştir. Maksimum değer testinde maksimum değere çok yakın değer aldığı görülmektedir. Maksimum değer testlerinin ortalama süresi 5,39 saniye olarak gerçekleşmiştir. Hedef $\delta_t = 19,6 \text{ mm}$ değerini aldığı görülmektedir. Hedef değer testlerinin ortalama süresi 4,08 saniye olarak gerçekleşmiştir.

İkinci durum olan ısı akışının (Q) maksimum, minimum ve hedef (160.43 W) değerlerin belirlenmesinde $0,2 \text{ m} \leq x \leq 1 \text{ m}$, $80^\circ \text{ C} \leq T \leq 130^\circ \text{ C}$, $0,01 \text{ mm} \leq \delta_t \leq 20 \text{ mm}$ (Tasarım Değişkenleri), $Re_x < 50 \times 10^3$ (Kısıt). (Tablo A.13. – WOA) ile sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, minimum değer testinde minimum değere ulaştığı görülmektedir. Minimum değer testlerinin ortalama süresi 0,25 saniye olarak gerçekleşmiştir. Maksimum değer testinde maksimum değeri aldığı görülmektedir. Maksimum değer testlerinin ortalama süresi 0,15 saniye olarak

gerçekleşmiştir. Hedef $Q = 160,43 W$ değerini aldığı görülmektedir. Hedef değer testlerinin ortalama süresi 0,17 saniye olarak gerçekleşmiştir. Tablo A.14. – TLBO’dan elde edilen sonuçlardan, minimum değer testinde minimum değere ulaştığı görülmektedir. Minimum değer testlerinin ortalama süresi 1,87 saniye olarak gerçekleşmiştir. Maksimum değer testinde maksimum değeri aldığı görülmektedir. Maksimum değer testlerinin ortalama süresi 1,80 saniye olarak gerçekleşmiştir. Hedef $Q = 160,43 W$ değerini aldığı görülmektedir. Hedef değer testlerinin ortalama süresi 1,83 saniye olarak gerçekleşmiştir. Tablo A.15. – SCA’dan elde edilen sonuçlardan, minimum değer testinde minimum değere ulaştığı görülmektedir. Minimum değer testlerinin ortalama süresi 1,20 saniye olarak gerçekleşmiştir. Maksimum değer testinde maksimum değeri aldığı görülmektedir. Maksimum değer testlerinin ortalama süresi 1,11 saniye olarak gerçekleşmiştir. Hedef $Q = 160,43 W$ değerini aldığı görülmektedir. Hedef değer testlerinin ortalama süresi 1,14 saniye olarak gerçekleşmiştir. Tablo A.16. – SA’dan elde edilen sonuçlardan, minimum değer testinde minimum değere ulaştığı görülmektedir. Minimum değer testlerinin ortalama süresi 6,05 saniye olarak gerçekleşmiştir. Maksimum değer testinde maksimum değeri aldığı görülmektedir. Maksimum değer testlerinin ortalama süresi 5,94 saniye olarak gerçekleşmiştir. Hedef $Q = 160,43 W$ değerini aldığı görülmektedir. Hedef değer testlerinin ortalama süresi 26,54 saniye olarak gerçekleşmiştir. Tablo A.17. – SSA’dan elde edilen sonuçlardan, minimum değer testinde minimum değere ulaştığı görülmektedir. Minimum değer testlerinin ortalama süresi 1,17 saniye olarak gerçekleşmiştir. Maksimum değer testinde maksimum değeri aldığı görülmektedir. Maksimum değer testlerinin ortalama süresi 1,12 saniye olarak gerçekleşmiştir. Hedef $Q = 160,43 W$ değerini aldığı görülmektedir. Hedef değer testlerinin ortalama süresi 1,15 saniye olarak gerçekleşmiştir. Tablo A.18. – PSO’dan elde edilen sonuçlardan, minimum değer testinde minimum değere ulaştığı görülmektedir. Minimum değer testlerinin ortalama süresi 2,07 saniye olarak gerçekleşmiştir. Maksimum değer testinde maksimum değeri aldığı görülmektedir. Maksimum değer testlerinin ortalama süresi 2,04 saniye olarak gerçekleşmiştir. Hedef $Q = 160,43 W$ değerini aldığı görülmektedir. Hedef değer testlerinin ortalama süresi 2,11 saniye olarak gerçekleşmiştir. Tablo A.19. – HHO’dan elde edilen sonuçlardan, minimum değer testinde minimum değere ulaştığı görülmektedir.

Minimum değer testlerinin ortalama süresi 0,55 saniye olarak gerçekleşmiştir. Maksimum değer testinde maksimum değeri aldığı görülmektedir. Maksimum değer testlerinin ortalama süresi 0,44 saniye olarak gerçekleşmiştir. Hedef $Q = 160,43 W$ değerini aldığı görülmektedir. Hedef değer testlerinin ortalama süresi 0,48 saniye olarak gerçekleşmiştir. Tablo A.20. – GWO’dan elde edilen sonuçlardan, minimum değer testinde minimum değere ulaştığı görülmektedir. Minimum değer testlerinin ortalama süresi 0,17 saniye olarak gerçekleşmiştir. Maksimum değer testinde maksimum değeri aldığı görülmektedir. Maksimum değer testlerinin ortalama süresi 0,14 saniye olarak gerçekleşmiştir. Hedef $Q = 160,43 W$ değerini aldığı görülmektedir. Hedef değer testlerinin ortalama süresi 0,19 saniye olarak gerçekleşmiştir. Tablo A.21. – GA’dan elde edilen sonuçlardan, minimum değer testinde minimum değere yakın değer aldığı görülmektedir. Minimum değer testlerinin ortalama süresi 1,61 saniye olarak gerçekleşmiştir. Maksimum değer testinde maksimum değere yakın değer aldığı görülmektedir. Maksimum değer testlerinin ortalama süresi 4,72 saniye olarak gerçekleşmiştir. Hedef $Q = 160,43 W$ değerine yakın değer aldığı görülmektedir. Hedef değer testlerinin ortalama süresi 1,46 saniye olarak gerçekleşmiştir. Tablo A.22. – FA’dan elde edilen sonuçlardan, minimum değer testinde minimum değere ulaştığı görülmektedir. Minimum değer testlerinin ortalama süresi 42,63 saniye olarak gerçekleşmiştir. Maksimum değer testinde maksimum değeri aldığı görülmektedir. Maksimum değer testlerinin ortalama süresi 42,98 saniye olarak gerçekleşmiştir. Hedef $Q = 160,43 W$ değerini aldığı görülmektedir. Hedef değer testlerinin ortalama süresi 43,22 saniye olarak gerçekleşmiştir. Tablo A.23. – ABC’den elde edilen sonuçlardan, minimum değer testinde minimum değere ulaştığı görülmektedir. Minimum değer testlerinin ortalama süresi 2,03 saniye olarak gerçekleşmiştir. Maksimum değer testinde maksimum değeri aldığı görülmektedir. Maksimum değer testlerinin ortalama süresi 1,96 saniye olarak gerçekleşmiştir. Hedef $Q = 160,43 W$ değerine yakın değer aldığı görülmektedir. Hedef değer testlerinin ortalama süresi 2,01 saniye olarak gerçekleşmiştir. Tablo A.24. – ACOR’dan elde edilen sonuçlardan, minimum değer testinde minimum değere ulaştığı görülmektedir. Minimum değer testlerinin ortalama süresi 6,40 saniye olarak gerçekleşmiştir. Maksimum değer testinde maksimum değere yakın değer aldığı görülmektedir. Maksimum değer testlerinin ortalama süresi

7,18 saniye olarak gerçekleşmiştir. Hedef $Q = 160,43 \text{ W}$ değerini aldığı görülmektedir. Hedef değer testlerinin ortalama süresi 6,13 saniye olarak gerçekleşmiştir.

Üçüncü durum olan ön kenardan (x) uzaklığın maksimum, minimum ve hedef (0,61 m) değerlerin belirlenmesinde $140 \text{ W} \leq Q \leq 190 \text{ W}$, $0,01 \text{ mm} \leq \delta_t \leq 20 \text{ mm}$ (Kısıtlar), $0,01 \leq Re_x < 50 \times 10^3$, $80^\circ \text{ C} \leq T \leq 130^\circ \text{ C}$ (Tasarım Değişkenleri). (Tablo A.25. – WOA) ile sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, minimum değer testinde minimum değere ulaştığı görülmektedir. Minimum değer testlerinin ortalama süresi 0,34 saniye olarak gerçekleşmiştir. Q kısıt değerini ve T tasarım değişkeni sınır değerlerini almıştır. Maksimum değer testinde maksimum değeri aldığı görülmektedir. Re_x tasarım değişkeni ve Q kısıt değeri için sınır değeri aldığı görülmektedir. Maksimum değer testlerinin ortalama süresi 0,14 saniye olarak gerçekleşmiştir. Hedef $x = 0,61 \text{ m}$ değerini aldığı görülmektedir. Hedef değer testlerinin ortalama süresi 0,15 saniye olarak gerçekleşmiştir. Tablo A.26. – TLBO'dan elde edilen sonuçlardan, minimum değer testinde minimum değere ulaştığı görülmektedir. T tasarım değişkeninin sınır değerini almıştır. Minimum değer testlerinin ortalama süresi 1,64 saniye olarak gerçekleşmiştir. Maksimum değer testinde maksimum değeri aldığı görülmektedir. Re_x tasarım değişkeni ve Q kısıt değeri için sınır değeri aldığı görülmektedir. Maksimum değer testlerinin ortalama süresi 4,78 saniye olarak gerçekleşmiştir. Hedef $x = 0,61 \text{ m}$ değerini aldığı görülmektedir. Hedef değer testlerinin ortalama süresi 4,59 saniye olarak gerçekleşmiştir. Tablo A.27. – SCA'dan elde edilen sonuçlardan, minimum değer testinde minimum değere ulaştığı görülmektedir. T tasarım değişkeninin sınır değerini almıştır. Minimum değer testlerinin ortalama süresi 1,06 saniye olarak gerçekleşmiştir. Maksimum değer testinde maksimum değeri aldığı görülmektedir. Re_x tasarım değişkeni sınır değeri aldığı görülmektedir. Maksimum değer testlerinin ortalama süresi 2,38 saniye olarak gerçekleşmiştir. Hedef $x = 0,61 \text{ m}$ değerini aldığı görülmektedir. Hedef değer testlerinin ortalama süresi 2,43 saniye olarak gerçekleşmiştir. Tablo A.28. – SA'dan elde edilen sonuçlardan, minimum değer testinde minimum değere ulaştığı görülmektedir. Q kısıt değerini ve T tasarım değişkeni sınır değerlerini almıştır. Minimum değer testlerinin ortalama süresi 4,88

saniye olarak gerçekleşmiştir. Maksimum değer testinde maksimum değeri aldığı görülmektedir. Re_x tasarım değişkeni ve Q kısıt değeri için sınır değeri aldığı görülmektedir. Maksimum değer testlerinin ortalama süresi 21,08 saniye olarak gerçekleşmiştir. Hedef $x = 0,61 m$ değerini aldığı görülmektedir. Hedef değer testlerinin ortalama süresi 20,49 saniye olarak gerçekleşmiştir. Tablo A.29. – SSA’dan elde edilen sonuçlardan, minimum değer testinde minimum değere ulaştığı görülmektedir. Q kısıt değerini ve T tasarım değişkeni sınır değerlerini almıştır. Minimum değer testlerinin ortalama süresi 1,02 saniye olarak gerçekleşmiştir. Maksimum değer testinde maksimum değeri aldığı görülmektedir. Re_x tasarım değişkeni ve Q kısıt değeri için sınır değeri aldığı görülmektedir. Maksimum değer testlerinin ortalama süresi 0,93 saniye olarak gerçekleşmiştir. Hedef $x = 0,61 m$ değerini aldığı görülmektedir. Hedef değer testlerinin ortalama süresi 0,98 saniye olarak gerçekleşmiştir. Tablo A.30. – PSO’dan elde edilen sonuçlardan, minimum değer testinde minimum değere ulaştığı görülmektedir. Q kısıt değerini ve T tasarım değişkeni sınır değerlerini almıştır. Minimum değer testlerinin ortalama süresi 1,23 saniye olarak gerçekleşmiştir. Maksimum değer testinde maksimum değeri aldığı görülmektedir. Re_x tasarım değişkeni sınır değeri aldığı görülmektedir. Maksimum değer testlerinin ortalama süresi 5,22 saniye olarak gerçekleşmiştir. Hedef $x = 0,61 m$ değerini aldığı görülmektedir. Hedef değer testlerinin ortalama süresi 5,12 saniye olarak gerçekleşmiştir. Tablo A.31. – HHO’dan elde edilen sonuçlardan, minimum değer testinde minimum değere ulaştığı görülmektedir. Q kısıt değerini ve T tasarım değişkeni sınır değerlerini almıştır. Minimum değer testlerinin ortalama süresi 0,35 saniye olarak gerçekleşmiştir. Maksimum değer testinde maksimum değeri aldığı görülmektedir. Re_x tasarım değişkeni ve Q kısıt değeri için sınır değeri aldığı görülmektedir. Maksimum değer testlerinin ortalama süresi 0,29 saniye olarak gerçekleşmiştir. Hedef $x = 0,61 m$ değerini aldığı görülmektedir. Hedef değer testlerinin ortalama süresi 0,34 saniye olarak gerçekleşmiştir. Tablo A.32. – GWO’dan elde edilen sonuçlardan, minimum değer testinde minimum değere ulaştığı görülmektedir. Q kısıt değerini ve T tasarım değişkeni sınır değerlerini almıştır. Minimum değer testlerinin ortalama süresi 0,14 saniye olarak gerçekleşmiştir. Maksimum değer testinde maksimum değeri aldığı görülmektedir. Re_x tasarım değişkeni ve Q kısıt değeri için sınır değeri aldığı görülmektedir.

Maksimum değer testlerinin ortalama süresi 0,14 saniye olarak gerçekleşmiştir. Hedef $x = 0,61 m$ değerini aldığı görülmektedir. Hedef değer testlerinin ortalama süresi 0,15 saniye olarak gerçekleşmiştir. Tablo A.33. – GA’dan elde edilen sonuçlardan, minimum değer testinde minimum değere ulaştığı görülmektedir. T tasarım değişkeni sınır değerlerini almıştır. Minimum değer testlerinin ortalama süresi 1,38 saniye olarak gerçekleşmiştir. Maksimum değer testinde maksimum değeri aldığı görülmektedir. Re_x tasarım değişkeni ve Q kısıt değeri için sınır değeri aldığı görülmektedir. Maksimum değer testlerinin ortalama süresi 80,20 saniye olarak gerçekleşmiştir. Hedef $x = 0,61 m$ değerini aldığı görülmektedir. Hedef değer testlerinin ortalama süresi 4,53 saniye olarak gerçekleşmiştir. Tablo A.34. – FA’dan elde edilen sonuçlardan, minimum değer testinde minimum değere ulaştığı görülmektedir. Q kısıt değerini ve T tasarım değişkeni sınır değerlerini almıştır. Minimum değer testlerinin ortalama süresi 29,13 saniye olarak gerçekleşmiştir. Maksimum değer testinde maksimum değeri aldığı görülmektedir. Re_x tasarım değişkeni değeri için sınır değeri aldığı görülmektedir. Maksimum değer testlerinin ortalama süresi 7,89 saniye olarak gerçekleşmiştir. Hedef $x = 0,61 m$ değerini aldığı görülmektedir. Hedef değer testlerinin ortalama süresi 1,70 saniye olarak gerçekleşmiştir. Tablo A.35. – ABC’den elde edilen sonuçlardan, minimum değer testinde minimum değere ulaştığı görülmektedir. Q kısıt değerini ve T tasarım değişkeni sınır değerlerini almıştır. Minimum değer testlerinin ortalama süresi 1,74 saniye olarak gerçekleşmiştir. Maksimum değer testinde maksimum değeri aldığı görülmektedir. Re_x tasarım değişkeni ve Q kısıt değeri için sınır değeri aldığı görülmektedir. Maksimum değer testlerinin ortalama süresi 5,91 saniye olarak gerçekleşmiştir. Hedef $x = 0,61 m$ değerini aldığı görülmektedir. Hedef değer testlerinin ortalama süresi 5,43 saniye olarak gerçekleşmiştir. Tablo A.36. – ACOR’dan elde edilen sonuçlardan, minimum değer testinde minimum değere ulaştığı görülmektedir. Q kısıt değerini ve T tasarım değişkeni sınır değerlerini almıştır. Minimum değer testlerinin ortalama süresi 4,28 saniye olarak gerçekleşmiştir. Maksimum değer testinde maksimum değeri aldığı görülmektedir. Maksimum değer testlerinin ortalama süresi 104,38 saniye olarak gerçekleşmiştir. Hedef $x = 0,61 m$ değerini aldığı görülmektedir. Hedef değer testlerinin ortalama süresi 86,35 saniye olarak gerçekleşmiştir.

4.3. Genel Değerlendirme

Isı yalıtım problemi birinci durumda; WOA, TLBO, SA, SSA, PSO, HHO, FA, ABC algoritmaları hedef olan $k = 0,080 \text{ W / m } ^\circ \text{ C}$ değerine hatasız bir şekilde ulaşmaktadır. Kısa sürede doğru sonucu bulma durumu göz önüne alındığında HHO ve WOA optimizasyon algoritmaları öne çıkmaktadır. Kısa sürede ve ısı kaybı minimum olacak şekilde hesaplayan algoritma WOA algoritmasıdır. Başka dikkat çekici optimizasyon algoritması ise GWO'dur. En kısa sürede çok küçük sayılabilecek hata ile sonuca yakınsak bir değer bulmuştur (%0,0037500 hata ile). Isı yalıtım probleminde birinci durumda kullanılan optimizasyon algoritmalarından elde edilen ortalama değerler aşağıdaki (Tablo 4.13.) gibidir.

Tablo 4.13. Isı yalıtım problemi birinci durum için ortalama sonuçlar

Ortalama Sonuçlar	k (W / m ° C)	t (mm)	Q (W)	Saniye	Hata (%)
WOA	0,0800000	168,3955400	85,9995400	0,2094410	-
TLBO	0,0800000	144,4088900	90,9441000	1,4199800	-
SCA	0,0799710	170,9050200	85,2652300	0,8648770	0,0362500
SA	0,0800000	167,7373900	86,1601900	3,1919510	-
SSA	0,0800000	156,6650000	87,7010000	0,8350000	-
PSO	0,0800000	163,5326000	86,7766000	1,4708233	-
HHO	0,0800000	143,6214000	91,6818000	0,3496124	-
GWO	0,0799970	153,7716000	89,0567000	0,1373206	0,0037500
GA	0,0799820	136,3566000	92,8134000	4,3391540	0,0225000
FA	0,0800000	149,3552000	90,5002000	27,3071652	-
ABC	0,0800000	162,1459000	86,5793000	1,5098108	-
ACOR	0,0799810	178,3489000	84,3189000	5,4661286	0,0237500

Isı yalıtım problemi ikinci durumda; WOA, SSA, HHO, FA ve ABC optimizasyon algoritmaları hatasız olarak doğru sonucu bulmuştur. Kısa sürede hatasız bulması ile öne çıkan algoritmalar WOA ve HHO algoritmalarıdır. Hatasız en kısa sürede sonuç üreten algoritma WOA olmuştur. Dikkat çekici algoritma burada GWO'dur. En kısa sürede çok küçük sayılabilecek hata ile sonuca yakınsak bir değer bulmuştur (%0,0087000 hata ile).

Isı yalıtım probleminde ikinci durumda kullanılan optimizasyon algoritmalarından elde edilen ortalama değerler aşağıdaki (Tablo 4.14.) gibidir.

Tablo 4.14. Isı yalıtım problemi ikinci durum için ortalama sonuçlar

Ortalama Sonuçlar	k (W / m ° C)	t (mm)	Q (W)	Saniye	Hata (%)
WOA	0,0405510	100,0000000	53,1619100	0,2058260	-
TLBO	0,0545880	100,0155100	71,5596000	1,3407510	0,0155100
SCA	0,0886750	100,0062900	69,0261700	0,8110630	0,0062900
SA	0,0435890	100,0542400	57,1279800	3,6614290	0,0542400
SSA	0,0379560	100,0000000	49,7606700	0,9075250	-
PSO	0,0509720	100,0000330	66,8239890	1,4348410	0,0000330
HHO	0,0206490	100,0000000	27,0700000	0,3048913	-
GWO	0,0685270	100,0087000	89,8350000	0,1295648	0,0087000
GA	0,0472040	100,8889000	61,5768000	1,3367500	0,8889000
FA	0,0727950	100,0000000	95,4345000	26,5471300	-
ABC	0,0517840	100,0000000	67,8893000	1,4130060	-
ACOR	0,0710000	100,1707000	93,0139000	4,1105130	0,1707000

Isı sınır tabaka problemi termal sınır tabaka kalınlığının (δ_t) minimum değeri için; SSA, PSO, HHO, FA, ACOR optimizasyon algoritmaları hatasız olarak doğru sonucu bulmuştur. Kısa sürede doğru sonucu bulma konusunda bu problemde öne çıkan HHO algoritmasıdır.

Isı sınır tabaka problemi termal sınır tabaka kalınlığının (δ_t) minimum değeri için kullanılan optimizasyon algoritmalarından elde edilen ortalama değerler aşağıdaki (Tablo 4.15.) gibidir.

Tablo 4.15. Isı sınır tabaka problemi (δ_t) minimum değeri için ortalama sonuçlar

Termal sınır tabaka kalınlığının minimum değeri (δ_t)							
Ortalama Sonuçlar	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye	Hata %
WOA	0,0844	80	3842,812	7,07211	190,000	0,26773178	0,000141
TLBO	0,0845	80	3844,290	7,073480	189,963	1,576858	0,019513
SCA	0,0847	80	3468,218	7,08189	189,739	1,0017729	0,138431
SA	0,0845	80	3842,982	7,07233	189,996	4,922366	0,003252
SSA	0,0845	80	3842,812	7,0721	190,000	0,966238	0
PSO	0,0845	80	3842,811	7,0721	190,000	1,674896	0
HHO	0,0845	80	3842,811	7,0721	190,000	0,37806	0
GWO	0,0845	80	3458,940	7,07228	189,996	0,1358301	0,002545
GA	0,0850	80	3867,200	7,09448	189,404	1,3562884	0,316455
FA	0,0845	80	3458,916	7,0721	190,000	30,535318	0
ABC	0,0845	80	3842,821	7,07218	190,000	1,6861787	0,001131
ACOR	0,0845	80	3842,811	7,0721	190,000	4,3994935	0

Isı sınır tabaka problemi termal sınır tabaka kalınlığının (δ_t) minimum değeri için; WOA, TLBO, SA, PSO, HHO, FA, ABC optimizasyon algoritmaları hatasız olarak doğru sonucu bulmuştur. Kısa sürede doğru sonucu bulma konusunda bu problemde öne çıkan WOA algoritmasıdır. Isı sınır tabaka problemi termal sınır tabaka kalınlığının (δ_t) minimum değeri için kullanılan optimizasyon algoritmalarından elde edilen ortalama değerler aşağıdaki (Tablo 4.16.) gibidir.

Tablo 4.16. Isı sınır tabaka problemi (δ_t) maksimum değeri için ortalama sonuçlar

Ortalama Sonuçlar	Termal sınır tabaka kalınlığının maksimum değeri (δ_t)						
	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye	Hata %
WOA	1	116,7512	41347,8666	25,1214	190	0,193081	0
TLBO	1	116,7512	41347,8661	25,1214	190	1,458449	0
SCA	1	116,5945	33101,85353	25,11808	189,4431	0,928728	0,01321582
SA	1	116,7508	41347,9074	25,1214	189,99868	5,0617331	0
SSA	0,9979	116,696	41268,24033	25,09429	190	1,0228487	0,10791596
PSO	1	116,7515	41347,8661	25,1214	190	1,714829	0
HHO	1	116,751	41347,866	25,1214	190	0,32802	0
GWO	1	116,7477	41348,2254	25,12136	189,9876	0,11331089	0,00015923
GA	1	116,709	41352,2039	25,12052	189,8501	4,5151259	0,00350299
FA	1	116,75	41347,99799	25,1214	189,9955	31,64163	0
ABC	1	116,7512	41347,86619	25,1214	190	1,731796	0
ACOR	0,8902	106,7364	37723,29868	25,0168	163,6503	5,391987	0,05811778

Isı sınır tabaka problemi termal sınır tabaka kalınlığının (δ_t) hedef (19,6 mm) değeri için; WOA, SA, SSA, PSO, HHO, FA, ACOR optimizasyon algoritmaları hedef değeri bulmuştur. En kısa sürede hedef değeri bulan algoritma bu problemde WOA optimizasyon algoritması olmuştur.

Isı sınır tabaka problemi termal sınır tabaka kalınlığının (δ_t) hedef (19,6 mm) değeri için kullanılan optimizasyon algoritmalarından elde edilen ortalama değerler aşağıdaki (Tablo 4.17.) gibidir.

Tablo 4.17. Isı sınır tabaka problemi (δ_t) hedef (19,6 mm) değeri için ortalama sonuçlar
Termal sınır tabaka kalınlığı hedef değeri=19.6 mm (δ_t)

Ortalama Sonuçlar	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye	Hata %
WOA	0,6293	97,3928	27337,2161	19,6	151,3611	0,1301	0
TLBO	0,633627	99,4148	27381,48095	19,7009	160,16881	1,453665	0,5147959
SCA	0,625676	101,384	26900,65198	19,6103	170,27978	0,906529	0,052551
SA	0,62872	97,9501	24559,568	19,6	154,015	4,97925	0
SSA	0,622937	103,3093	23974,90499	19,6	179,5288	0,932002	0
PSO	0,626299	100,1882	27009,62573	19,6	164,6698	1,544199	0
HHO	0,62985	96,9205	27394,438	19,6	149,113	0,28821	0
GWO	0,626103	100,3924	26988,3632	19,60029	165,6393	0,116582	0,0014796
GA	0,627623	99,05883	27145,5821	19,60165	159,2797	4,522804	0,0084184
FA	0,62465	101,714	26831,7638	19,6	171,933	29,8531	0
ABC	0,6265	99,7262	27063,72308	19,60002	162,47	1,746411	0,000102
ACOR	0,62608	100,399	21528,20873	19,6	165,6747	4,08306	0

Isı sınır tabaka problemi ısı akışının (Q) minimum değeri için; SSA, HHO, FA, ACOR optimizasyon algoritmaları minimum değeri bulmuştur. En kısa sürede minimum değeri bulan algoritma bu problem için HHO optimizasyon algoritması olmuştur.

Isı akışının (Q) minimum değeri için kullanılan optimizasyon algoritmalarından elde edilen ortalama değerler aşağıdaki (Tablo 4.18.) gibidir.

Tablo 4.18. Isı sınır tabaka problemi (Q) minimum değeri için ortalama sonuçlar

Isı akışının (Q) minimum değeri							
Ortalama Sonuçlar	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye	Hata %
WOA	0,661705	87,03197	29459,85039	14,28488	140,00005	0,253899	3,57143E-05
TLBO	0,158392	84,140760	8489,709740	12,357540	140,003070	1,869090	0,002192857
SCA	0,0814832	81,53445	3671,40474	10,61715	140,04808	1,1988065	0,034342857
SA	0,46223	87,68731	20583,8892	14,7215	140,001	6,04936	0,000714286
SSA	0,447057	84,06552	20087,34686	12,30769	140	1,1682	0
PSO	0,562086	88,23896	23810,26695	15,08936	140,00001	2,06804	7,14286E-06
HHO	0,088826	90,91476	3916,75689	16,87286	140	0,552467	0
GWO	0,477998	88,19405	21313,15826	15,05907	140,00393	0,163558	0,002807143
GA	0,684034	91,57782	29136,05767	17,26953	140,34339	1,609308	0,245278571
FA	0,49915	95,33843	34067,45306	19,82131	140	42,6339569	0
ABC	0,42944	95,7597	18866,93184	15,17322	140,01345	2,031402	0,009607143
ACOR	0,74587	88,15312	33278,63163	15,03215	140	6,3950418	0

Isı sınır tabaka problemi ısı akışının (Q) maksimum değeri için; SSA ve HHO optimizasyon algoritmaları maksimum değeri bulmuştur. Burada önerilen daha kısa sürede sonuç üreten HHO optimizasyon algoritmasıdır.

Isı akışının (Q) maksimum değeri için kullanılan optimizasyon algoritmalarından elde edilen ortalama değerler aşağıdaki (Tablo 4.19.) gibidir.

Tablo 4.19. Isı sınır tabaka problemi (Q) maksimum değeri için ortalama sonuçlar

Isı akışının (Q) maksimum değeri							
Ort. Sonuçlar	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye	Hata %
WOA	0,319576	102,624600	13692,593680	18,183590	189,999900	0,1592901	5,26316E-05
TLBO	0,470381	98,871790	11691,194840	16,341880	189,984700	1,798275	0,008052632
SCA	0,26131	89,4444	11656,0325	11,71522	189,9228	1,1085021	0,040631579
SA	0,47139	94,0517	20699,41398	13,97348	189,9968	5,936249	0,001684211
SSA	0,275089	96,42515	11978,55514	15,13887	190	1,1223129	0
PSO	0,586905	96,09353	25573,34208	14,97603	189,99996	2,0395361	2,10526E-05
HHO	0,30621	92,81981	13365,66381	13,36822	190	0,443047	0
GWO	0,61468	93,5664	26766,68139	13,73579	189,98671	0,1363648	0,006994737
GA	0,432802	99,5371	18263,77197	16,67329	189,93656	4,7163962	0,033389474
FA	0,57919	99,95795	23111,22894	16,87395	189,9995	42,9757079	0,000263158
ABC	0,48797	103,3212	20964,7825	16,24127	189,9874	1,9645715	0,006631579
ACOR	0,68237	97,19713	29597,80829	16,96797	189,5162	7,1753245	0,254631579

Isı sınır tabaka problemi ısı akışının (Q) hedef değeri=160.43 W için; WOA, SSA, HHO ve ACOR optimizasyon algoritmaları hedef değeri bulmuştur. Burada önerilen daha kısa sürede sonuç üreten WOA optimizasyon algoritmasıdır.

Isı akışının (Q) hedef değeri=160.43 W için kullanılan optimizasyon algoritmalarından elde edilen ortalama değerler aşağıdaki (Tablo 4.20.) gibidir.

Tablo 4.20. Isı sınır tabaka problemi (Q) hedef değeri=160.43 W için ortalama sonuçlar

Isı akışının (Q) değeri hedef değeri=160.43 W							
Ort. Sonuçlar	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye	Hata %
WOA	0,357700	90,845600	15862,732400	14,683900	160,430000	0,1707000	0
TLBO	0,430273	86,680830	13681,896620	12,261040	160,436630	1,830323	0,00413264
SCA	0,378001	88,67019	16704,57319	13,41592	160,46	1,1380122	0,01869974
SA	0,519491	92,58451	22779,49518	15,69151	160,479	26,535602	0,03054292
SSA	0,363114	89,35783	16097,6519	13,81859	160,43	1,1523682	0
PSO	0,507725	95,82307	22142,22471	17,57906	160,43003	2,1086361	1,87E-05
HHO	0,167105	88,45738	7352,87716	13,29482	160,43	0,476135	0
GWO	0,451014	93,4736	19813,3367	16,21215	160,4334	0,190655	0,0021193
GA	0,474287	93,84061	20418,7366	16,39765	160,7284	1,459273	0,18600012
FA	0,4905925	99,94421	10050,85456	19,97608	160,4300111	43,21707	6,9189E-06
ABC	0,648981	98,8305	28231,72096	15,99615	160,45468	2,0092386	0,01538366
ACOR	0,3872552	95,12689	16906,83059	17,1741	160,43	6,1303811	0

Isı sınır tabaka problemi ön kenardan (x) uzaklığın minimum değeri için; WOA, SSA, PSO, HHO ve ACOR optimizasyon algoritmaları minimum değeri bulmuştur. Bu problemde önerilen algoritmalar WOA ve HHO algoritmalarıdır.

Isı sınır tabaka problemi ön kenardan (x) uzaklığın minimum değeri için kullanılan optimizasyon algoritmalarından elde edilen ortalama değerler aşağıdaki (Tablo 4.21.) gibidir.

Tablo 4.21. Isı sınır tabaka problemi ön kenardan (x) uzaklığın minimum değeri için ortalama sonuçlar

Ön kenardan (x) uzaklığın minimum değeri							
Ort. Sonuçlar	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye	Hata %
WOA	0,084449	80	3842,8114	7,0721	190	0,343593	0
TLBO	0,084470	80	3843,7350	7,0730	189,9772	1,643198	0,0248671
SCA	0,084480	80	3844,1874	7,0734	189,966	1,0632657	0,0367085
SA	0,084454	80	3843,0063	7,0723	189,9952	4,88419	0,0059207
SSA	0,084449	80	3842,8115	7,0721	190	1,01691	0
PSO	0,084449	80	3842,8114	7,0721	190	1,564178	0
HHO	0,084449	80	3842,8114	7,0721	190	0,348538	0
GWO	0,084452	80	3842,9436	7,0723	189,9967	0,1437	0,0035524
GA	0,093863	80	4271,165	7,4559	180,2208	1,379341	11,147557
FA	0,084450	80	3842,8167	7,0722	189,9999	29,13008	0,0011841
ABC	0,084450	80	3842,8202	7,0722	189,9998	1,7380164	0,0011841
ACOR	0,084449	80	3842,8114	7,0721	190	4,2820016	0

Isı sınır tabaka problemi ön kenardan (x) uzaklığın maksimum değeri için; WOA, TLBO, SA, SSA, HHO, GWO, GA ve ABC optimizasyon algoritmaları maksimum değeri bulmuştur. Bu problemde önerilen algoritmalar WOA ve GWO algoritmalarıdır.

Isı sınır tabaka problemi ön kenardan (x) uzaklığın maksimum değeri için kullanılan optimizasyon algoritmalarından elde edilen ortalama değerler aşağıdaki (Tablo 4.22.) gibidir.

Tablo 4.22. Isı sınır tabaka problemi ön kenardan (x) uzaklığın maksimum değeri için ortalama sonuçlar

Ort. Sonuçlar	Ön kenardan (x) uzaklığın maksimum değeri						
	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye	Hata %
WOA	1,2266	122,5319	50000	27,9605	190	0,135099	0
TLBO	1,2266	122,5319	50000	27,9605	190	4,775296	0
SCA	1,2263	122,43045	50000	27,95459	189,7014	2,377740	0,02445785
SA	1,2266	122,532	50000	27,9605	190	21,083280	0
SSA	1,2266	122,5319	50000	27,9605	190	0,9328725	0
PSO	1,22659	122,5283	50000	27,9602	189,9824	5,2224234	0,00081526
HHO	1,2266	122,5319	50000	27,9605	190	0,285413222	0
GWO	1,2266	122,5285	50000	27,9603	189,98988	0,1356161	0
GA	1,2266	122,5309	50000	27,9604	190	80,201044	0
FA	1,22656	122,506	50000	27,9589	190	7,8929967	0,00326105
ABC	1,2266	122,5311	50000	27,9605	190	5,9087899	0
ACOR	1,2049	118,7563	49256,22486	27,53398	180,14272	104,383180	1,76830263

Isı sınır tabaka problemi ön kenardan (x) uzaklığın hedef değeri=0,61 m için; WOA, SA, SSA, PSO, HHO, ABC ve ACOR optimizasyon algoritmaları hedef değeri bulmuştur. Burada önerilen daha kısa sürede sonuç üreten WOA optimizasyon algoritmasıdır.

Isı sınır tabaka problemi ön kenardan (x) uzaklığın hedef değeri=0,61 m için kullanılan optimizasyon algoritmalarından elde edilen ortalama değerler aşağıdaki (Tablo 4.23.) gibidir.

Tablo 4.23. Isı sınır tabaka problemi ön kenardan (x) uzaklığın hedef değeri=0,61 için ortalama sonuçlar

Ön kenardan (x) uzaklığın hedef değeri=0,61 m							
Ort. Sonuçlar	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye	Hata %
WOA	0,6100	95,0744	26659,7095	19,25840	142,80260	0,1441	0
TLBO	0,610168	98,6629	26416,80060	19,32060	159,68272	4,594048	0,010248
SCA	0,6101	99,52021	26353,48584	19,33314	163,71016	2,425644	0,003477
SA	0,6100	103,471	26084,44368	19,39819	182,14272	20,491192	0
SSA	0,6100	102,494	26148,81139	19,38185	177,62358	0,979427	0
PSO	0,6100	96,66315	24145,58308	19,28457	150,30341	5,116668	0
HHO	0,6100	97,78142	26470,41728	19,30326	155,56209	0,343977	0
GWO	0,6101	99,29481	26368,82498	19,32940	162,65995	0,148997	0,003477
GA	0,6133	97,51306	26633,79049	19,35116	153,87966	4,532305	0,202764
FA	0,61001	100,2418	26302,29430	19,34430	167,08834	1,704268	0,00061
ABC	0,6100	99,24683	26369,78481	19,32770	162,43662	5,431686	0
ACOR	0,6100	101,5922	26210,23935	19,36690	173,40599	86,349840	0

BÖLÜM 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Optimizasyon hayatın her aşamasında karar verme süreçlerimizi olumlu etkilemekte, hızlandırmada ve karar kalitesinde artış sağlayarak gerçek hayat problemlerini etkili, doğru bir çözüm üretmemizde yararlanılmaktadır. Mühendislikte maliyet, ısı kaybı gibi durumları en aza indirmek veya kar, fayda, verim gibi durumları en üst düzeyde olması için optimizasyon yapılır. Bu olaylardan en iyi şekilde faydalanmak için çok sayıda optimizasyon algoritması geliştirilmiştir.

Bu çalışmada, iki farklı ısı transferi problemi 12 farklı optimizasyon algoritması ile değerlendirilmiştir. Bütün algoritmalarda 100 popülasyon sayısı, 100 nesil, aynı başlatma değerlerine sahip 10 rastgele test uygulanmıştır.

Nesil sayısı bütün optimizasyon algoritmalarda yapılan testler sonucu 100 olarak alınmıştır. Aynı başlatma değerine sahip popülasyonlarla yapılan değerlendirme ile rastgele başlatma değeri ile yapılan değerlendirmeler sonucunda optimizasyon algoritmaların performans değerlendirme yönünden bir fark gözlenmemiştir.

Çalışmanın amacı, meta sezgisel algoritmaların optimizasyon gerektiren ısı transferi problemlerinde uygulanabilir olduğunu göstermek ve ayrıca geleneksel ve güncel meta sezgisel algoritmaları karşılaştırmaktır.

İlk çalışmada, ısı yalıtım probleminde kullanılan optimizasyon algoritmalarından elde edilen ortalama değerler, 10 tekrarlı tablo sonuçlarına bakıldığında güncel algoritmalarından Seyedali Mirjalili tarafından geliştirilen balina optimizasyon algoritması (WOA), harris şahini optimizasyon algoritması (HHO), gri kurt optimizasyon algoritması (GWO) diğer algoritmalara göre iyi bir performans sergilediği görülmektedir. Geleneksel algoritmalarından parçacık sürüsü optimizasyon

algoritması (PSO), yapay arı kolonisi algoritması (ABC) yine başarılı sonuçlar vermiştir. Burada önerilen ısı yalıtım probleminin iki durumu için en kısa sürede istenen başarıımı gösteren balina optimizasyon algoritması (WOA) olmuştur.

WOA algoritması ile ilk problem için standart sapma $1,46285E-17$ olarak bulunmuştur. Seyedali Mirjalili ve ark. (2016) çalışmalarında standart sapmasını (F1 için) $4.91E-30$ olarak bulmuştur [29].

İkinci çalışmada, ısı sınır tabaka probleminde kullanılan optimizasyon algoritmalarından elde edilen ortalama değerler, 10 tekrarlı tablo sonuçlarına bakıldığında güncel algoritmalarından harris şahini optimizasyon algoritması (HHO), balina optimizasyon algoritması (WOA) algoritmaları ön plana çıkmaktadır. Yine geleneksel algoritmalarından parçacık sürüsü optimizasyon algoritması (PSO) ön plana çıkmaktadır. Isı sınır tabaka probleminde δ_t , Q ve x değerlerinin minimum, maksimum ve hedef değerler için en uygun sonuç üreten ve önerilen algoritma 2019 yılında Seyedali Mirjalili tarafından geliştirilen harris şahini optimizasyon algoritması (HHO) olmuştur.

HHO algoritması ile ikinci problemdeki δ_t minimum değeri için standart sapma $9,36222E-16$ olarak bulunmuştur. Heidari ve ark. (2019) çalışmalarında standart sapmasını (F1 için) $8.66E-94$ olarak bulmuştur [31].

Bundan sonraki çalışmalarda türbülanslı akış içerisinde optimizasyon tekniklerinin kullanılması ve farklı ısı transferi problemlerinde optimizasyon tekniklerinin kullanılması hedeflenmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] GIAMPIETRO FABBRI (1998): Heat Transfer Optimization in Finned Annular Ducts under Laminar-Flow Conditions, *Heat Transfer Engineering*, 19:4, 42-54
- [2] Kulkarni M.R., 2004. Critical Radius for Radial Heat Conduction: a Necessary Criterion but not Always Sufficient, *Applied Thermal Engineering*, 24, 967-979.
- [3] Zaki, G.M., Al-Turki, A.M. 2000. Optimization of Multilayer Thermal Insulation for Pipelines, *Heat Transfer Engineering*, 21: 63-70.
- [4] Li, Y.F., Chow, W.K. 2005. Optimum insulation-thickness for thermal and freezing protection, *Applied Energy*, 80: 23-33.
- [5] Özdemir M., Parmaksızoğlu Ğ.C. 2006. Mekanik Tesisatta Ekonomik Yalıtım Kalınlığı, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, (91): 39-45.
- [6] Tuncer, M. 2007. Isıtılan ve soğutulan mahallerde ısı yalıtımının optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [7] Madadi, R. R., & Balaji, C. (2008). Optimization of the location of multiple discrete heat sources in a ventilated cavity using artificial neural networks and micro genetic algorithm. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 51(9), 2299-2312.
- [8] Hetmaniok E., Slota D., Zielonka A. (2012) Determination of the Heat Transfer Coefficient by Using the Ant Colony Optimization Algorithm. In: Wyrzykowski R., Dongarra J., Karczewski K., Wasniewski J.
- [9] A. Karami, E. Rezaei, M. Shahhosseni, M. Aghakhani, Optimization of heat transfer in an air cooler equipped with classic twisted tape inserts using imperialist competitive algorithm, *Exp. Therm. Fluid Sci.* 38 (2012) 195–200.
- [10] R. Rao, K. More, Optimal design of the heat pipe using TLBO (teaching-learning-based optimization) algorithm, *Energy* 80 (2015) 535e544.

- [11] J. Yang, M.I. Lourenço, S.F. Estefen, Thermal insulation of subsea pipelines for different materials, *Int. J. Press. Vessels Piping* 168 (2018) 100–109.
- [12] Akpınar, M. "Application of Genetic Algorithm for Optimization of Heat-Transfer Parameters". *Sakarya University Journal of Science* 23 (2019): 1123-1130.
- [13] S. Mirjalili, "SCA: A Sine Cosine Algorithm for solving optimization problems," *Knowledge-Based Systems*, 2015
- [14] Sörensen, K. 2015. Metaheuristics—the metaphor exposed. *International Transactions in Operational Research*, 22, 3-18.
- [15] Ebrahimi, A., Khamsehchi, E. (2016). Sperm whale algorithm: an effective metaheuristic algorithm for production optimization problems. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 29, 211- 222.
- [16] Kennedy, J.; Eberhart, R. C., "Particle Swarm Optimization", *Proc. of the IEEE Int. Conference on Neural Networks*, 4, 1942-1948, 1995.
- [17] Özsağlam, M, Çunkaş, M. "Optimizasyon Problemlerinin Çözümü için Parçaçık Sürü Optimizasyonu Algoritması". *Politeknik Dergisi* 11 (2008): 299-305.
- [18] Taşkın, Çağatan ve Emel Gül Gökay (2009). *Sayısal Yöntemlerde Genetik Algoritmalar*. Bursa: Alfa Aktüel Yayınları.
- [19] Carr, Jenna (2014, Mayıs 16). "An Introduction to Genetic Algorithm". *Senior Project*, 1-40.
- [20] Nabiyeve, Vasif Vagifoğlu (2012). *Yapay Zeka*. Ankara: Seçkin Yayınları.
- [21] Rao, S. S., *Engineering Optimization: Theory and Practice* (4th Edition, pp. 702–708), New Jersey: Wiley, (2009).
- [22] Yan G. and Li C., "An Effective Refinement Artificial Bee Colony Optimization Algorithm Based on Chaotic Search and Application for PID Control Tuning", *Journal of Computational Information Systems*, 7(9): 3309–3316, (2011).
- [23] Yang, X. S. (2009) 'Firefly algorithms for multimodal optimization', in: *Stochastic Algorithms: Foundations and Applications* (Eds O. Watanabe and T. Zeugmann), SAGA 2009, *Lecture Notes in Computer Science*, 5792, Springer-Verlag, Berlin, pp. 3-6.

- [24] Yang, X. S. (2008) Nature-Inspired Metaheuristic Algorithms, Luniver Press, UK, pp81-84.
- [25] Rao, R. V., Savsani, V. J., & Vakharia, D. P. (2011). Teaching–learning-based optimization: a novel method for constrained mechanical design optimization problems. *Computer-Aided Design*, 43(3), 303-315.
- [26] S. Mirjalili. (2016). Sca: A sine cosine algorithm for solving optimization Problems. *Knowledge-Based Systems*, 96(1), 120-133.
- [27] Mirjalili, S.M. ve Lewis, A., Grey Wolf Optimizer, *Advances in Engineering Software*, 69, 46–61, (2014).
- [28] Mirjalili, S., How effective is the Grey Wolf optimizer in training multi-layer perceptrons, *Applied Intelligence*, 43(1), 150–161, (2015).
- [29] Mirjalili, S. and Lewis A. (2016). The whale optimization algorithm. *Advances in Engineering Software*, 95: 51-67.
- [30] Mirjalili, S., Gandomi, A.H., Mirjalili, S.Z., Saremi, S., Faris, H., Mirjalili, S.M., 2017, Salp swarm algorithm: A bio-inspired optimizer for engineering design problems, *Advances in Engineering Software*, 114, 163-191.
- [31] Heidari AA, Mirjalili S, Faris H, Aljarah I, Mafarja M, Chen H, 2019. Harris hawks optimization: Algorithm and applications. *Future Generation Computer Systems*.
- [32] Moayedi H, Osouli A, Nguyen H, Rashid ASA, 2019. A novel Harris hawks' optimization and k-fold cross-validation predicting slope stability. *Engineering with Computers*, 1-11.
- [33] Akdağ, O, Ates, A, Yeroglu, C. "Harris Şahini Optimizasyon Algoritması ile Aktif Güç Kayıplarının Minimizasyonu". *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi* 22 (2020): 481-490.
- [34] O. F. Genceli, C. Parmaksızoğlu, Kalorifer Tesisatı, İstanbul, Türkiye: TMMOB Makina Mühendisleri Odası MİEM, 2012.
- [35] F. Halıcı, Isı Transferi ve Örnek Problemler-Isı Geçişi, 2016.

EKLER

EK A - DENEYSEL SONUÇLAR

Tablo A.1. WOA problem-2 durum 1 sonuçları

WOA	Minimum değeri						Maksimum değeri						Hedef değeri=19.6 mm					
Test	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye
1	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	0,29	1,00	116,75	41347,87	25,12	190,00	0,38	0,63	95,67	27541,98	19,60	143,16	0,15
2	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	0,27	1,00	116,75	41347,87	25,12	190,00	0,21	0,63	98,00	27264,87	19,60	154,24	0,12
3	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	0,41	1,00	116,75	41347,87	25,12	190,00	0,16	0,63	98,00	27264,87	19,60	154,24	0,14
4	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	0,21	1,00	116,75	41347,87	25,12	190,00	0,11	0,63	96,76	27411,41	19,60	148,36	0,16
5	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	0,31	1,00	116,75	41347,87	25,12	190,00	0,29	0,63	95,12	27608,32	19,60	140,53	0,14
6	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	0,32	1,00	116,75	41347,87	25,12	190,00	0,20	0,63	98,48	27207,72	19,60	156,54	0,15
7	0,08	80,00	3842,82	7,07	190,00	0,10	1,00	116,75	41347,87	25,12	190,00	0,12	0,63	97,20	27359,66	19,60	150,43	0,08
8	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	0,38	1,00	116,75	41347,87	25,12	190,00	0,13	0,63	98,00	27264,87	19,60	154,24	0,17
9	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	0,12	1,00	116,75	41347,87	25,12	190,00	0,10	0,63	96,30	27466,98	19,60	146,14	0,07
10	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	0,29	1,00	116,75	41347,87	25,12	190,00	0,15	0,63	100,41	26981,47	19,60	165,74	0,12
AVG	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	0,27	1,00	116,75	41347,87	25,12	190,00	0,186	0,63	97,39	27337,22	19,60	151,36	0,13

Tablo A.2. TLBO problem-2 durum 1 sonuçları

TLBO	Minimum değeri						Maksimum değeri						Hedef değeri=19.6 mm					
Test	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye
1	0,08	80,00	3844,53	7,07	189,96	1,73	1,00	116,75	41347,87	25,12	190,00	1,69	0,64	96,27	28030,47	19,80	144,55	1,69
2	0,08	80,00	3844,53	7,07	189,96	1,60	1,00	116,75	41347,87	25,12	190,00	1,52	0,63	100,22	27076,38	19,63	164,58	1,52
3	0,08	80,00	3844,53	7,07	189,96	1,70	1,00	116,75	41347,87	25,12	190,00	1,56	0,63	100,22	27076,38	19,63	164,58	1,59
4	0,08	80,00	3845,73	7,07	189,93	1,58	1,00	116,75	41347,87	25,12	190,00	1,50	0,63	102,41	26975,62	19,68	174,52	1,39
5	0,08	80,00	3844,53	7,07	189,96	1,68	1,00	116,75	41347,87	25,12	190,00	1,61	0,64	103,47	27389,91	19,88	177,78	1,42
6	0,08	80,00	3843,13	7,07	189,99	1,72	1,00	116,75	41347,87	25,12	190,00	1,47	0,65	96,69	28109,39	19,84	146,17	1,48
7	0,08	80,00	3843,60	7,07	189,98	1,17	1,00	116,75	41347,87	25,12	190,00	1,21	0,63	95,47	27649,15	19,63	142,01	1,17
8	0,08	80,00	3844,53	7,07	189,96	1,54	1,00	116,75	41347,87	25,12	190,00	1,39	0,63	100,22	27076,38	19,63	164,58	1,48
9	0,08	80,00	3843,25	7,07	189,99	1,25	1,00	116,75	41347,87	25,12	190,00	1,10	0,63	103,00	26771,16	19,63	177,76	1,16
10	0,08	80,00	3844,53	7,07	189,96	1,79	1,00	116,75	41347,87	25,12	190,00	1,52	0,63	96,19	27659,97	19,66	145,15	1,64
AVG	0,08	80,00	3844,29	7,07	189,96	1,58	1,00	116,75	41347,87	25,12	190,00	1,46	0,63	99,41	27381,48	19,70	160,17	1,45

Tablo A.3. SCA problem-2 durum 1 sonuçları

SCA	Minimum değeri						Maksimum değeri						Hedef değeri=19.6 mm					
Test	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye
1	0,08	80,00	3855,03	7,08	189,70	1,11	1,00	116,52	41371,47	25,12	189,18	1,06	0,63	97,05	27451,44	19,63	149,52	0,95
2	0,08	80,00	3855,03	7,08	189,70	1,01	1,00	116,71	41,35	25,12	189,86	0,95	0,62	104,33	26535,28	19,60	184,36	0,91
3	0,08	80,00	3855,03	7,08	189,70	1,09	1,00	116,71	41,35	25,12	189,86	0,93	0,62	104,33	26535,28	19,60	184,36	0,92
4	0,08	80,00	3857,76	7,09	189,63	0,96	1,00	116,74	41349,28	25,12	189,95	0,83	0,63	98,82	27179,12	19,60	158,12	0,87
5	0,08	80,00	3855,03	7,08	189,70	1,05	1,00	116,52	41371,47	25,12	189,18	1,22	0,62	104,92	26477,00	19,60	187,14	1,14
6	0,08	80,00	3846,02	7,08	189,92	1,10	1,00	116,63	41360,52	25,12	189,56	0,88	0,63	101,49	26869,92	19,61	170,84	0,97
7	0,08	80,00	3844,35	7,07	189,96	0,74	1,00	116,30	41394,49	25,11	188,39	0,96	0,63	96,75	27533,07	19,64	147,99	0,71
8	0,08	80,00	3855,03	7,08	189,70	1,20	1,00	116,71	41352,01	25,12	189,86	0,85	0,62	104,33	26535,28	19,60	184,36	0,90
9	0,08	80,00	3,86	7,08	189,68	0,65	1,00	116,55	41368,87	25,12	189,27	0,65	0,62	102,35	26758,92	19,60	174,98	0,68
10	0,08	80,00	3855,03	7,08	189,70	1,12	1,00	116,56	41367,73	25,12	189,31	0,95	0,63	99,47	27131,21	19,61	161,14	1,01
AVG	0,08	80,00	3468,22	7,08	189,74	1,00	1,00	116,59	33101,85	25,12	189,44	0,93	0,63	101,38	26900,65	19,61	170,28	0,91

Tablo A.4. SA problem-2 durum 1 sonuçları

SA	Minimum değeri						Maksimum değeri						Hedef değeri=19.6 mm					
Test	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye
1	0,08	80,00	3842,83	7,07	190,00	4,85	1,00	116,75	41347,87	25,12	190,00	5,19	0,63	97,52	27321,76	19,60	151,95	4,79
2	0,08	80,00	3842,83	7,07	190,00	5,14	1,00	116,75	41347,89	25,12	190,00	4,92	0,63	96,18	27480,98	19,60	145,58	4,87
3	0,08	80,00	3842,83	7,07	190,00	5,63	1,00	116,75	41347,89	25,12	190,00	5,40	0,63	96,18	27480,98	19,60	145,58	5,68
4	0,08	80,00	3842,99	7,07	190,00	4,51	1,00	116,75	41347,89	25,12	190,00	4,86	0,63	99,71	27063,25	19,60	162,41	4,37
5	0,08	80,00	3843,04	7,07	189,99	4,75	1,00	116,75	41347,87	25,12	190,00	4,90	0,63	98,99	27,15	19,60	158,99	4,62
6	0,08	80,00	3842,86	7,07	190,00	4,99	1,00	116,75	41347,95	25,12	190,00	5,23	0,63	98,17	27244,24	19,60	155,07	4,80
7	0,08	80,00	3843,06	7,07	189,99	4,75	1,00	116,75	41348,06	25,12	189,99	4,78	0,63	100,02	27027,18	19,60	163,87	5,20
8	0,08	80,00	3842,83	7,07	190,00	4,78	1,00	116,75	41347,89	25,12	190,00	5,48	0,63	96,18	27480,98	19,60	145,58	4,71
9	0,08	80,00	3843,70	7,07	189,98	4,83	1,00	116,75	41347,90	25,12	190,00	4,65	0,63	100,80	26936,24	19,60	167,59	5,90
10	0,08	80,00	3842,83	7,07	190,00	4,99	1,00	116,75	41347,88	25,12	190,00	5,21	0,63	95,74	27532,92	19,60	143,52	4,84
AVG	0,08	80,00	3842,98	7,07	190,00	4,92	1,00	116,75	41347,91	25,12	190,00	5,06	0,63	97,95	24559,57	19,60	154,01	4,98

Tablo A.5. SSA problem-2 durum 1 sonuçları

SSA	Minimum değeri						Maksimum değeri						Hedef değeri=19.6 mm					
Test	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye
1	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	0,99	1,00	116,75	41347,87	25,12	190,00	1,22	0,62	103,35	26642,23	19,60	179,73	0,97
2	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	1,00	1,00	116,67	41228,14	25,08	190,00	0,95	0,62	103,71	26601,82	19,60	181,42	0,98
3	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	1,07	1,00	116,67	41228,14	25,08	190,00	1,18	0,62	103,71	26601,82	19,60	181,42	1,01
4	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	0,95	1,00	116,75	41347,87	25,12	190,00	0,91	0,62	101,57	26846,98	19,60	171,26	0,97
5	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	1,04	1,00	116,75	41347,87	25,12	190,00	1,04	0,62	104,79	26478,66	19,60	186,57	0,94
6	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	1,01	1,00	116,75	41347,87	25,12	190,00	0,98	0,62	105,40	26409,55	19,60	189,48	1,08
7	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	0,86	1,00	116,75	41347,87	25,12	190,00	1,03	0,63	101,10	26901,27	19,60	169,03	0,77
8	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	1,02	1,00	116,67	41228,14	25,08	190,00	1,12	0,62	103,71	26601,82	19,60	181,42	0,93
9	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	0,72	1,00	116,75	41347,84	25,12	190,00	0,82	0,62	102,37	26,75	19,60	175,06	0,64
10	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	1,00	0,99	116,45	40910,81	24,97	190,00	0,98	0,62	103,39	26638,16	19,60	179,90	1,06
AVG	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	0,97	1,00	116,70	41268,24	25,09	190,00	1,02	0,62	103,31	23974,90	19,60	179,53	0,93

Tablo A.6. PSO problem-2 durum 1 sonuçları

PSO	Minimum değeri						Maksimum değeri						Hedef değeri=19.6 mm					
Test	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye
1	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	1,95	1,00	116,75	41347,87	25,12	190,00	1,98	0,62	102,38	26754,02	19,60	175,09	1,49
2	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	1,80	1,00	116,75	41347,87	25,12	190,00	1,64	0,63	99,37	27103,80	19,60	160,75	1,91
3	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	1,71	1,00	116,75	41347,87	25,12	190,00	1,68	0,63	99,37	27103,80	19,60	160,75	1,59
4	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	1,73	1,00	116,75	41347,87	25,12	190,00	1,54	0,63	98,53	27202,33	19,60	156,76	1,85
5	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	1,86	1,00	116,75	41347,87	25,12	190,00	1,97	0,63	99,42	27097,20	19,60	161,02	1,62
6	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	1,75	1,00	116,75	41347,87	25,12	190,00	1,66	0,63	96,99	27384,10	19,60	149,45	1,60
7	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	1,34	1,00	116,75	41347,87	25,12	190,00	1,40	0,62	105,00	26454,57	19,60	187,58	1,29
8	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	1,66	1,00	116,75	41347,87	25,12	190,00	1,66	0,63	99,37	27103,80	19,60	160,75	1,50
9	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	1,18	1,00	116,75	41347,87	25,12	190,00	1,18	0,62	103,09	26672,00	19,60	178,50	1,11
10	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	1,76	1,00	116,75	41347,87	25,12	190,00	1,71	0,63	98,37	27220,65	19,60	156,02	1,49
AVG	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	1,67	1,00	116,75	41347,87	25,12	190,00	1,64	0,63	100,19	27009,63	19,60	164,67	1,54

Tablo A.7. HHO problem-2 durum 1 sonuçları

HHO	Minimum değeri						Maksimum değeri						Hedef değeri=19.6 mm					
Test	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye
1	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	0,44	1,00	116,75	41347,87	25,12	190,00	0,37	0,63	95,04	27617,68	19,60	140,16	0,35
2	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	0,47	1,00	116,75	41347,87	25,12	190,00	0,29	0,63	97,66	27305,12	19,60	152,62	0,35
3	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	0,41	1,00	116,75	41347,87	25,12	190,00	0,38	0,63	97,66	27305,12	19,60	152,62	0,34
4	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	0,36	1,00	116,75	41347,87	25,12	190,00	0,37	0,63	95,43	27570,54	19,60	142,02	0,30
5	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	0,38	1,00	116,75	41347,87	25,12	190,00	0,43	0,63	95,07	27614,00	19,60	140,30	0,28
6	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	0,40	1,00	116,75	41347,87	25,12	190,00	0,31	0,63	97,16	27363,64	19,60	150,27	0,31
7	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	0,23	1,00	116,75	41347,87	25,12	190,00	0,19	0,62	102,92	26691,85	19,60	177,67	0,20
8	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	0,41	1,00	116,75	41347,87	25,12	190,00	0,38	0,63	97,66	27305,12	19,60	152,62	0,30
9	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	0,26	1,00	116,75	41347,87	25,12	190,00	0,24	0,63	95,56	27555,23	19,60	142,63	0,17
10	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	0,42	1,00	116,75	41347,87	25,12	190,00	0,33	0,63	95,05	27616,09	19,60	140,22	0,29
AVG	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	0,38	1,00	116,75	41347,87	25,12	190,00	0,33	0,63	96,92	27394,44	19,60	149,11	0,29

Tablo A.8. GWO problem-2 durum 1 sonuçları

GWO	Minimum değeri						Maksimum değeri						Hedef değeri=19.6 mm					
Test	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye
1	0,08	80,00	3842,99	7,07	190,00	0,11	1,00	116,75	41348,18	25,12	189,99	0,14	0,63	99,72	27062,80	19,60	162,44	0,13
2	0,08	80,00	3842,99	7,07	190,00	0,16	1,00	116,75	41348,40	25,12	189,98	0,14	0,62	103,75	26597,54	19,60	181,64	0,14
3	0,08	80,00	3842,99	7,07	190,00	0,17	1,00	116,75	41348,40	25,12	189,98	0,11	0,62	103,75	26597,54	19,60	181,64	0,12
4	0,08	80,00	3842,88	7,07	190,00	0,15	1,00	116,75	41348,37	25,12	189,98	0,11	0,62	103,35	26644,17	19,60	179,71	0,14
5	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	0,25	1,00	116,75	41348,18	25,12	189,99	0,12	0,63	95,13	27608,00	19,60	140,57	0,13
6	0,08	80,00	3,84	7,07	189,99	0,14	1,00	116,75	41348,07	25,12	189,99	0,12	0,63	96,20	27478,29	19,60	145,70	0,15
7	0,08	80,00	3842,87	7,07	190,00	0,07	1,00	116,75	41348,08	25,12	189,99	0,07	0,63	97,24	27354,81	19,60	150,65	0,07
8	0,08	80,00	3842,99	7,07	190,00	0,13	1,00	116,75	41348,40	25,12	189,98	0,13	0,62	103,75	26597,54	19,60	181,64	0,13
9	0,08	80,00	3842,02	7,07	189,99	0,07	1,00	116,75	41348,20	25,12	189,99	0,06	0,62	102,12	26784,13	19,60	173,87	0,07
10	0,08	80,00	3842,99	7,07	190,00	0,11	1,00	116,75	41347,97	25,12	190,00	0,13	0,63	98,90	27158,82	19,60	158,53	0,12
AVG	0,08	80,00	3458,94	7,07	190,00	0,14	1,00	116,75	41348,23	25,12	189,99	0,11	0,63	100,39	26988,36	19,60	165,64	0,12

Tablo A.9. GA problem-2 durum 1 sonuçları

GA	Minimum değeri						Maksimum değeri						Hedef değeri=19.6 mm					
Test	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye
1	0,08	80,00	3845,42	7,07	189,94	1,40	1,00	116,74	41349,05	25,12	189,96	4,62	0,63	101,14	26897,70	19,60	169,22	4,44
2	0,08	80,00	3845,42	7,07	189,94	1,42	1,00	116,74	41349,27	25,12	189,95	4,76	0,63	97,32	27351,14	19,60	150,98	5,44
3	0,08	80,00	3845,42	7,07	189,94	1,42	1,00	116,74	41349,27	25,12	189,95	4,62	0,63	97,32	27351,14	19,60	150,98	4,67
4	0,08	80,00	3844,59	7,07	189,96	1,24	1,00	116,63	41359,99	25,12	189,58	4,23	0,63	98,60	27201,14	19,60	157,10	4,20
5	0,09	80,00	3919,92	7,14	188,12	1,53	1,00	116,74	41349,05	25,12	189,96	4,56	0,63	99,94	27039,15	19,60	163,46	4,45
6	0,09	80,00	3881,19	7,11	189,06	1,43	1,00	116,75	41348,03	25,12	189,99	4,52	0,63	97,01	27382,38	19,60	149,55	4,44
7	0,09	80,00	3912,42	7,14	188,30	1,21	1,00	116,67	41356,30	25,12	189,71	4,39	0,63	98,83	27172,76	19,60	158,20	4,41
8	0,08	80,00	3845,42	7,07	189,94	1,42	1,00	116,74	41349,27	25,12	189,95	4,60	0,63	97,32	27351,14	19,60	150,98	4,47
9	0,09	80,00	3886,79	7,11	188,92	1,03	1,00	116,67	41356,53	25,12	189,70	4,18	0,63	100,29	26997,38	19,60	165,15	4,29
10	0,08	80,00	3845,42	7,07	189,94	1,45	1,00	116,68	41355,28	25,12	189,74	4,69	0,62	102,82	26711,92	19,60	177,18	4,42
AVG	0,08	80,00	3867,20	7,09	189,40	1,36	1,00	116,71	41352,20	25,12	189,85	4,52	0,63	99,06	27145,58	19,60	159,28	4,52

Tablo A.10. FA problem-2 durum 1 sonuçları

FA	Minimum değeri						Maksimum değeri						Hedef değeri=19.6 mm					
Test	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye
1	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	32,19	1,00	116,75	41348,03	25,12	189,99	30,13	0,62	101,47	26858,90	19,60	170,77	28,38
2	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	30,84	1,00	116,75	41347,98	25,12	190,00	31,27	0,63	96,81	27405,27	19,60	148,60	30,15
3	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	32,11	1,00	116,75	41347,98	25,12	190,00	32,39	0,62	102,76	26710,47	19,60	176,90	30,93
4	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	27,16	1,00	116,75	41347,98	25,12	190,00	29,02	0,62	102,30	26762,73	19,60	174,74	28,99
5	0,08	80,00	3,84	7,07	190,00	28,85	1,00	116,75	41348,03	25,12	189,99	32,94	0,62	103,63	26610,41	19,60	181,06	29,21
6	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	31,87	1,00	116,75	41347,96	25,12	190,00	31,69	0,63	100,75	26942,23	19,60	167,35	29,99
7	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	30,97	1,00	116,75	41348,26	25,12	189,99	30,85	0,62	102,54	26735,20	19,60	175,87	31,82
8	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	30,09	1,00	116,75	41347,98	25,12	190,00	31,18	0,62	102,76	26710,47	19,60	176,90	30,23
9	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	30,30	1,00	116,75	41347,87	25,12	190,00	30,12	0,62	102,55	26733,96	19,60	175,93	27,22
10	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	30,99	1,00	116,75	41347,90	25,12	190,00	36,82	0,62	101,56	26848,00	19,60	171,22	31,61
AVG	0,08	80,00	3458,92	7,07	190,00	30,54	1,00	116,75	41348,00	25,12	190,00	31,64	0,62	101,71	26831,76	19,60	171,93	29,85

Tablo A.11. ABC problem-2 durum 1 sonuçları

ABC	Minimum değeri						Maksimum değeri						Hedef değeri=19.6 mm					
Test	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye
1	0,08	80,00	3842,82	7,07	190,00	1,80	1,00	116,75	41347,87	25,12	190,00	1,74	0,63	96,86	27399,65	19,60	148,83	1,70
2	0,08	80,00	3842,82	7,07	190,00	1,80	1,00	116,75	41347,87	25,12	190,00	1,81	0,63	98,26	27234,18	19,60	155,48	1,85
3	0,08	80,00	3842,82	7,07	190,00	1,75	1,00	116,75	41347,87	25,12	190,00	1,79	0,63	101,37	26870,44	19,60	170,29	1,83
4	0,08	80,00	3842,82	7,07	190,00	1,65	1,00	116,75	41347,87	25,12	190,00	1,66	0,63	100,93	26921,60	19,60	168,19	1,67
5	0,08	80,00	3842,85	7,07	190,00	1,69	1,00	116,75	41347,87	25,12	190,00	1,66	0,63	96,90	27395,80	19,60	149,00	1,77
6	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	1,98	1,00	116,75	41347,87	25,12	190,00	1,83	0,62	101,52	26853,27	19,60	171,00	1,82
7	0,08	80,00	3842,82	7,07	190,00	1,42	1,00	116,75	41347,87	25,12	190,00	1,44	0,62	104,23	26542,24	19,60	183,91	1,67
8	0,08	80,00	3842,82	7,07	190,00	1,80	1,00	116,75	41347,87	25,12	190,00	1,71	0,63	101,37	26870,44	19,60	170,29	1,94
9	0,08	80,00	3842,83	7,07	190,00	1,26	1,00	116,75	41347,87	25,12	190,00	1,63	0,62	97,21	27358,27	19,60	150,49	1,50
10	0,08	80,00	3842,82	7,07	190,00	1,71	1,00	116,75	41347,87	25,12	190,00	2,05	0,63	98,62	27191,34	19,60	157,21	1,71
AVG	0,08	80,00	3842,82	7,07	190,00	1,69	1,00	116,75	41347,87	25,12	190,00	1,73	0,63	99,73	27063,72	19,60	162,47	1,75

Tablo A.12. ACOR problem-2 durum 1 sonuçları

ACOR	Minimum değeri						Maksimum değeri						Hedef değeri=19.6 mm					
Test	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye
1	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	4,21	0,96	108,94	40404,72	25,01	165,56	5,14	0,63	100,75	26942,29	19,60	167,34	3,93
2	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	4,80	0,89	106,47	37619,43	25,01	162,67	5,37	0,62	101,49	26856,05	19,60	170,89	4,26
3	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	4,32	0,89	106,47	37619,43	25,01	162,67	5,24	0,63	97,59	27,31	19,60	152,28	4,17
4	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	4,05	0,62	101,80	26730,94	25,01	172,62	5,01	0,63	100,28	26996,47	19,60	165,13	4,01
5	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	4,43	0,96	108,94	40404,72	25,01	165,56	4,97	0,62	102,46	26745,05	19,60	175,47	4,03
6	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	4,33	0,96	107,79	40699,02	25,01	160,96	5,21	0,63	96,78	27409,82	19,60	148,42	4,14
7	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	4,33	0,98	113,90	40750,54	25,01	181,79	5,09	0,62	104,84	26472,29	19,60	186,84	4,32
8	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	4,95	0,89	106,47	37619,43	25,01	162,67	5,30	0,63	97,59	27,31	19,60	152,28	4,09
9	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	4,05	0,95	104,81	40633,78	25,01	150,68	5,12	0,63	98,70	27182,49	19,60	157,56	3,75
10	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	4,52	0,81	101,77	34750,99	25,01	151,31	7,47	0,62	103,52	26622,99	19,60	180,54	4,14
AVG	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	4,40	0,89	106,74	37723,30	25,01	163,65	5,39	0,63	100,40	21528,21	19,60	165,67	4,08

Tablo A.13. WOA problem-2 durum 2 sonuçları

WOA	Isı akışının (Q) minimum değeri						Isı akışının (Q) maksimum değeri						Isı akışının (Q) değeri hedef değeri=160.43 W					
Test	x	T	Re _x	δ _t	Q	Saniye	x	T	Re _x	δ _t	Q	Saniye	x	T	Re _x	δ _t	Q	Saniye
1	0,64	85,08	28731,40	12,99	140,00	0,31	0,17	104,17	7097,57	18,94	190,00	0,14	0,24	92,51	10490,82	15,65	160,43	0,14
2	0,64	85,08	28731,40	12,99	140,00	0,33	0,17	104,17	7097,57	18,94	190,00	0,19	0,24	92,51	10490,82	15,65	160,43	0,16
3	0,64	85,08	28731,40	12,99	140,00	0,36	0,17	104,17	7097,57	18,94	190,00	0,14	0,24	92,51	10490,82	15,65	160,43	0,18
4	0,64	85,08	28731,40	12,99	140,00	0,35	0,17	104,17	7097,57	18,94	190,00	0,18	0,92	84,88	41120,24	11,22	160,43	0,24
5	0,60	91,18	26637,01	17,05	140,00	0,15	0,12	106,32	5027,05	20,00	190,00	0,12	0,72	87,31	32101,44	12,63	160,43	0,16
6	0,64	85,08	28731,40	12,99	140,00	0,32	0,69	106,32	29471,46	20,00	190,00	0,13	0,55	97,49	23939,89	18,55	160,43	0,14
7	0,33	82,26	14908,56	11,10	140,00	0,15	0,80	99,69	34705,34	16,74	190,00	0,25	0,23	94,29	10160,56	16,69	160,43	0,23
8	1,00	95,54	43474,04	19,96	140,00	0,15	0,24	93,97	10592,27	13,93	190,00	0,16	0,25	82,79	11093,82	10,00	160,43	0,18
9	0,49	82,66	22010,48	11,37	140,00	0,18	0,18	97,07	8009,61	15,46	190,00	0,12	0,15	87,55	6488,69	12,77	160,43	0,20
10	1,00	93,26	43911,44	18,44	140,00	0,24	0,49	106,19	20729,91	19,94	190,00	0,09	0,05	96,61	2250,21	18,04	160,43	0,09
AVG	0,66	87,03	29459,85	14,28	140,00	0,25	0,32	102,62	13692,59	18,18	190,00	0,15	0,36	90,85	15862,73	14,68	160,43	0,17

Tablo A.14. TLBO problem-2 durum 2 sonuçları

TLBO	Isı akışının (Q) minimum değeri						Isı akışının (Q) maksimum değeri						Isı akışının (Q) değeri hedef değer=160.43 W					
Test	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye
1	0,04	81,01	989,11	10,27	140,00	1,84	0,32	96,61	7439,17	15,23	190,00	1,76	0,07	83,80	2473,20	10,59	160,44	1,93
2	0,04	81,01	989,11	10,27	140,00	2,02	0,32	96,61	7439,17	15,23	190,00	1,72	0,07	83,80	2473,20	10,59	160,44	1,81
3	0,04	81,01	989,11	10,27	140,00	1,98	0,32	96,61	7439,17	15,23	190,00	2,09	0,07	83,80	2473,20	10,59	160,44	1,81
4	0,04	81,01	989,11	10,27	140,00	1,97	0,32	96,61	7439,17	15,23	190,00	1,85	1,00	99,99	43145,71	20,00	160,43	2,02
5	0,02	80,60	8393,23	10,00	140,00	1,91	0,11	106,31	7140,17	20,00	189,94	1,85	0,51	84,46	8439,51	10,97	160,43	1,66
6	0,04	81,01	989,11	10,27	140,00	2,07	0,38	99,39	2059,25	16,60	189,99	1,78	0,74	89,90	22819,89	14,13	160,43	1,88
7	0,29	91,96	17201,29	17,57	140,00	1,50	0,82	103,79	32498,19	18,76	189,98	2,26	0,23	82,79	7340,30	10,00	160,44	1,83
8	0,92	90,68	35928,78	16,72	140,00	1,86	0,39	96,51	1516,07	15,18	189,96	1,37	0,42	92,67	879,60	15,74	160,45	1,95
9	0,02	80,60	908,59	10,00	140,00	2,07	0,72	91,09	1368,72	12,52	190,00	1,76	0,58	82,79	29595,63	10,00	160,44	1,86
10	0,11	92,51	17519,68	17,94	140,00	1,46	0,99	105,17	42572,84	19,44	189,99	1,54	0,59	82,79	17178,71	10,00	160,44	1,56
AVG	0,16	84,14	8489,71	12,36	140,00	1,87	0,47	98,87	11691,19	16,34	189,98	1,80	0,43	86,68	13681,90	12,26	160,44	1,83

Tablo A.15. SCA problem-2 durum 2 sonuçları

SCA	Isı akışının (Q) minimum değeri						Isı akışının (Q) maksimum değeri						Isı akışının (Q) değeri hedef değeri=160.43 W					
Test	x	T	Re _x	δ _t	Q	Saniye	x	T	Re _x	δ _t	Q	Saniye	x	T	Re _x	δ _t	Q	Saniye
1	0,02	80,73	909,63	10,08	140,06	1,23	0,23	89,52	10048,95	11,75	189,89	1,12	0,35	90,34	15626,41	14,39	160,47	1,15
2	0,02	80,73	909,63	10,08	140,06	1,17	0,23	89,52	10048,95	11,75	189,89	1,13	0,35	90,34	15626,41	14,39	160,47	1,11
3	0,02	80,73	909,63	10,08	140,06	1,41	0,23	89,52	10048,95	11,75	189,89	1,11	0,35	90,34	15626,41	14,39	160,47	1,23
4	0,02	80,73	909,63	10,08	140,06	1,34	0,23	89,52	10048,95	11,75	189,89	1,13	0,40	88,36	17681,05	13,24	160,46	1,23
5	0,02	80,75	913,20	10,09	140,03	1,18	0,22	91,24	9873,50	12,59	190,00	1,18	0,03	83,33	1140,99	10,31	160,45	1,00
6	0,02	80,73	909,63	10,08	140,06	1,26	0,79	85,95	35364,64	10,00	189,89	1,13	0,71	87,56	31776,31	12,77	160,47	1,18
7	0,10	80,74	4633,91	10,08	140,06	0,96	0,08	92,44	3574,50	13,19	189,88	1,33	0,03	84,14	1397,10	10,78	160,43	1,12
8	0,04	84,03	1965,80	12,28	140,00	1,11	0,32	86,60	14438,45	10,32	189,91	0,90	0,02	84,64	995,08	11,07	160,43	1,18
9	0,04	81,15	1686,40	10,36	140,07	1,40	0,10	86,03	4262,06	10,03	189,99	1,18	0,80	93,08	35101,75	15,98	160,46	1,25
10	0,51	85,05	22966,59	12,96	140,02	0,92	0,20	94,10	8851,36	14,00	189,99	0,88	0,73	94,57	32074,21	16,84	160,49	0,93
AVG	0,08	81,53	3671,40	10,62	140,05	1,20	0,26	89,44	11656,03	11,72	189,92	1,11	0,38	88,67	16704,57	13,42	160,46	1,14

Tablo A.16. SA problem-2 durum 2 sonuçları

SA	Isı akışının (Q) minimum değeri						Isı akışının (Q) maksimum değeri						Isı akışının (Q) değeri hedef değeri=160.43 W					
Test	x	T	Re _x	δ _t	Q	Saniye	x	T	Re _x	δ _t	Q	Saniye	x	T	Re _x	δ _t	Q	Saniye
1	0,32	84,43	14419,30	12,55	140,00	6,10	0,33	95,85	14468,96	14,86	190,00	6,31	0,84	96,04	36470,99	17,71	160,43	28,63
2	0,32	84,43	14419,30	12,55	140,00	6,44	0,33	95,85	14468,96	14,86	190,00	5,56	0,84	96,04	36470,99	17,71	160,43	26,19
3	0,32	84,43	14419,30	12,55	140,00	6,23	0,33	95,85	14468,96	14,86	190,00	5,82	0,84	96,04	36470,99	17,71	160,43	25,84
4	0,32	84,43	14419,30	12,55	140,00	6,19	0,33	95,85	14468,96	14,86	190,00	5,82	0,16	96,25	6978,86	17,83	160,43	27,02
5	0,81	88,93	35829,33	15,55	140,00	6,16	0,66	88,84	29540,74	11,41	190,00	5,68	0,34	87,42	15196,24	12,66	160,85	24,31
6	0,32	84,43	14419,30	12,55	140,00	5,82	0,60	86,68	26971,63	10,35	190,00	6,42	0,49	83,59	22179,15	10,46	160,44	27,52
7	0,94	85,98	41862,49	13,59	140,00	6,05	0,77	92,97	33916,64	13,44	190,00	5,72	0,20	94,95	8659,21	17,07	160,43	27,00
8	0,54	94,79	23577,11	19,46	140,00	6,02	0,66	99,36	28368,99	16,58	189,99	6,34	0,48	87,05	21568,98	12,47	160,47	25,62
9	0,35	93,03	15310,69	18,29	140,00	5,94	0,03	96,32	1490,85	15,09	190,00	6,39	0,99	98,45	42913,72	19,10	160,43	26,79
10	0,39	92,00	17162,80	17,60	140,00	5,55	0,66	92,94	28829,47	13,43	190,00	5,28	0,02	90,01	885,84	14,20	160,43	26,42
AVG	0,46	87,69	20583,89	14,72	140,00	6,05	0,47	94,05	20699,41	13,97	190,00	5,94	0,52	92,58	22779,50	15,69	160,48	26,54

Tablo A.17. SSA problem-2 durum 2 sonuçları

SSA	Isı akışının (Q) minimum değeri						Isı akışının (Q) maksimum değeri						Isı akışının (Q) değeri hedef değeri=160.43 W					
Test	x	T	Re _x	δ _t	Q	Saniye	x	T	Re _x	δ _t	Q	Saniye	x	T	Re _x	δ _t	Q	Saniye
1	0,39	82,94	17648,84	11,55	140,00	1,09	0,14	101,68	6077,91	17,72	190,00	1,17	0,26	92,13	11299,73	15,43	160,43	1,18
2	0,39	82,94	17648,84	11,55	140,00	1,06	0,14	101,68	6077,91	17,72	190,00	1,15	0,26	92,13	11299,73	15,43	160,43	1,14
3	0,39	82,94	17648,84	11,55	140,00	1,28	0,14	101,68	6077,91	17,72	190,00	1,27	0,26	92,13	11299,73	15,43	160,43	1,31
4	0,39	82,94	17648,84	11,55	140,00	1,33	0,14	101,68	6077,91	17,72	190,00	1,19	0,50	86,09	22365,23	11,92	160,43	1,24
5	0,81	84,66	36573,24	12,70	140,00	1,35	0,31	91,70	13594,33	12,82	190,00	0,92	0,50	94,65	21750,81	16,90	160,43	0,90
6	0,39	82,94	17648,84	11,55	140,00	1,17	0,17	89,42	7438,81	11,70	190,00	1,20	0,24	84,01	10786,80	10,71	160,43	1,27
7	0,92	88,08	40935,76	14,98	140,00	0,93	0,39	97,37	17138,06	15,60	190,00	1,22	0,32	84,54	14555,53	11,02	160,43	1,19
8	0,24	86,19	10808,17	13,72	140,00	1,15	0,11	89,03	5100,78	11,51	190,00	0,94	0,26	84,92	11453,82	11,24	160,43	1,07
9	0,16	81,31	7155,13	10,47	140,00	1,27	0,35	90,85	15512,56	12,40	190,00	1,19	0,52	96,84	22637,48	18,17	160,43	1,18
10	0,38	85,74	17156,98	13,42	140,00	1,05	0,85	99,16	36689,37	16,48	190,00	0,98	0,53	86,13	23524,67	11,94	160,43	1,03
AVG	0,45	84,07	20087,35	12,31	140,00	1,17	0,28	96,43	11978,56	15,14	190,00	1,12	0,36	89,36	16097,35	13,82	160,43	1,15

Tablo A.18. PSO problem-2 durum 2 sonuçları

PSO	Isı akışının (Q) minimum değeri						Isı akışının (Q) maksimum değeri						Isı akışının (Q) değeri hedef değeri=160.43 W					
Test	x	T	Re _x	δ _t	Q	Saniye	x	T	Re _x	δ _t	Q	Saniye	x	T	Re _x	δ _t	Q	Saniye
1	0,59	89,83	26279,35	16,15	140,00	2,10	0,73	98,04	31579,68	15,93	190,00	2,10	0,53	96,81	23155,84	18,16	160,43	2,16
2	0,59	89,83	26279,35	16,15	140,00	1,91	0,73	98,04	31579,68	15,93	190,00	2,04	0,53	96,81	23155,84	18,16	160,43	2,14
3	0,59	89,83	26279,35	16,15	140,00	2,20	0,73	98,04	31579,68	15,93	190,00	2,06	0,53	96,81	23155,84	18,16	160,43	2,13
4	0,59	89,83	26279,35	16,15	140,00	2,13	0,73	98,04	31579,68	15,93	190,00	2,09	0,43	93,16	19090,93	16,03	160,43	2,18
5	0,63	85,25	28365,34	13,10	140,00	2,24	0,66	88,37	29424,64	11,18	190,00	2,04	0,49	94,68	21610,32	16,92	160,43	1,68
6	0,59	89,83	26279,35	16,15	140,00	2,09	0,33	92,96	14319,99	13,43	190,00	2,31	0,47	99,28	20111,63	19,59	160,43	2,36
7	0,21	89,70	9469,10	16,06	140,00	1,81	0,42	99,62	18126,54	16,71	190,00	2,12	0,32	95,24	14063,31	17,24	160,43	2,15
8	0,29	82,00	13356,94	10,93	140,00	2,13	0,38	91,00	16819,02	12,48	190,00	1,78	0,66	96,49	28878,29	17,97	160,43	2,16
9	0,59	85,26	26480,90	13,10	140,00	2,15	0,78	96,04	34215,00	14,95	190,00	2,17	0,57	97,14	24664,08	18,35	160,43	2,15
10	0,66	91,05	29033,62	16,96	140,00	1,91	0,38	100,79	16509,53	17,28	190,00	1,69	0,53	91,80	23536,16	15,24	160,43	1,97
AVG	0,56	88,24	23810,27	15,09	140,00	2,07	0,59	96,09	25573,34	14,98	190,00	2,04	0,51	95,82	22142,22	17,58	160,43	2,11

Tablo A.19. HHO problem-2 durum 2 sonuçları

HHO	Isı akışının (Q) minimum değeri						Isı akışının (Q) maksimum değeri						Isı akışının (Q) değeri hedef değeri=160.43 W					
Test	x	T	Re _x	δ _t	Q	Saniye	x	T	Re _x	δ _t	Q	Saniye	x	T	Re _x	δ _t	Q	Saniye
1	0,02	92,78	879,34	18,12	140,00	0,67	0,02	85,96	902,77	10,00	190,00	0,47	0,02	82,81	903,15	10,01	160,43	0,53
2	0,02	92,78	879,34	18,12	140,00	0,54	0,02	85,96	902,77	10,00	190,00	0,46	0,02	82,81	903,15	10,01	160,43	0,54
3	0,02	92,78	879,34	18,12	140,00	0,58	0,02	85,96	902,77	10,00	190,00	0,48	0,02	82,81	903,15	10,01	160,43	0,51
4	0,02	92,78	879,34	18,12	140,00	0,58	0,02	85,96	902,77	10,00	190,00	0,46	0,02	82,79	903,19	10,00	160,43	0,55
5	0,02	83,20	902,19	11,73	140,00	0,59	0,84	97,25	36532,82	15,54	190,00	0,42	0,78	93,65	34012,94	16,32	160,43	0,43
6	0,02	92,78	879,34	18,12	140,00	0,52	1,00	85,96	44567,04	10,00	190,00	0,54	0,02	83,12	902,39	10,19	160,43	0,49
7	0,40	90,77	17862,90	16,78	140,00	0,57	1,00	105,14	42576,68	19,42	190,00	0,54	0,27	92,12	11698,05	15,42	160,43	0,44
8	0,02	92,84	879,21	18,16	140,00	0,51	0,11	90,92	4654,55	12,44	190,00	0,28	0,02	98,80	865,57	19,31	160,43	0,43
9	0,02	85,05	897,69	12,96	140,00	0,66	0,02	102,84	856,58	18,29	190,00	0,51	0,29	91,18	12808,13	14,88	160,43	0,50
10	0,32	93,38	14228,86	18,52	140,00	0,31	0,02	102,24	857,90	18,00	190,00	0,26	0,22	94,49	9629,06	16,80	160,43	0,34
AVG	0,09	90,91	3916,76	16,87	140,00	0,55	0,31	92,82	13365,66	13,37	190,00	0,44	0,17	88,46	7352,88	13,29	160,43	0,48

Tablo A.20. GWO problem-2 durum 2 sonuçları

GWO	Isı akışının (Q) minimum değeri						Isı akışının (Q) maksimum değeri						Isı akışının (Q) değeri hedef değer=160.43 W					
Test	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye
1	0,42	90,00	18796,68	16,26	140,00	0,17	0,31	85,96	13861,80	10,00	189,99	0,13	0,36	96,50	15493,54	17,97	160,44	0,18
2	0,42	90,00	18796,68	16,26	140,00	0,18	0,31	85,96	13861,80	10,00	189,99	0,18	0,36	96,50	15493,54	17,97	160,44	0,19
3	0,42	90,00	18796,68	16,26	140,00	0,20	0,31	85,96	13861,80	10,00	189,99	0,15	0,36	96,50	15493,54	17,97	160,44	0,23
4	0,42	90,00	18796,68	16,26	140,00	0,18	0,31	85,96	13861,80	10,00	189,99	0,14	0,55	96,71	23999,27	18,10	160,43	0,24
5	0,24	94,84	10445,28	19,49	140,00	0,14	1,00	106,27	42371,91	19,97	189,98	0,16	0,67	87,40	29703,04	12,68	160,43	0,26
6	0,42	90,00	18796,68	16,26	140,00	0,20	0,93	106,32	39536,66	20,00	190,00	0,14	0,40	85,51	18152,93	11,58	160,43	0,18
7	0,73	89,40	32324,35	15,86	140,00	0,19	0,95	91,88	41857,61	12,91	189,99	0,14	0,41	90,11	18006,84	14,26	160,44	0,19
8	0,43	80,60	19477,08	10,00	140,01	0,14	0,61	88,58	26940,35	11,29	189,94	0,10	0,40	96,69	17246,40	18,08	160,43	0,17
9	0,53	84,85	23773,19	12,83	140,01	0,18	0,71	102,82	30244,93	18,28	189,99	0,13	0,52	91,49	23139,13	15,06	160,43	0,17
10	0,73	82,27	33128,31	11,11	140,00	0,09	0,72	95,96	31268,14	14,91	189,99	0,08	0,49	97,32	21405,13	18,45	160,43	0,09
AVG	0,48	88,19	21313,16	15,06	140,00	0,17	0,61	93,57	26766,68	13,74	189,99	0,14	0,45	93,47	19813,34	16,21	160,43	0,19

Tablo A.21. GA problem-2 durum 2 sonuçları

GA	Isı akışının (Q) minimum değeri						Isı akışının (Q) maksimum değeri						Isı akışının (Q) değeri hedef değeri=160.43 W					
Test	x	T	Re _x	δ _t	Q	Saniye	x	T	Re _x	δ _t	Q	Saniye	x	T	Re _x	δ _t	Q	Saniye
1	0,76	93,98	31799,39	18,84	140,57	1,58	0,31	102,64	13061,99	18,20	189,88	4,65	0,60	97,54	25380,08	18,57	160,44	1,31
2	0,76	93,98	31799,39	18,84	140,57	1,57	0,31	102,64	13061,99	18,20	189,88	4,74	0,60	97,54	25380,08	18,57	160,44	1,35
3	0,76	93,98	31799,39	18,84	140,57	1,70	0,31	102,64	13061,99	18,20	189,88	4,66	0,60	97,54	25380,08	18,57	160,44	1,40
4	0,76	93,98	31799,39	18,84	140,57	1,64	0,31	102,64	13061,99	18,20	189,88	4,87	0,02	91,36	862,83	14,90	161,35	1,44
5	0,24	91,77	10784,03	17,44	140,03	1,42	0,31	106,31	13533,39	20,00	189,96	4,58	0,84	96,87	35159,35	18,13	160,92	1,39
6	0,76	93,98	31799,39	18,84	140,57	1,76	0,28	94,43	12185,05	14,16	189,99	5,17	0,37	88,27	16532,16	13,18	160,53	1,59
7	0,66	94,10	28703,54	18,95	140,33	1,41	0,69	85,96	29522,10	10,00	189,99	4,73	0,15	95,80	6776,22	17,53	160,78	1,75
8	0,94	80,62	40269,38	10,00	140,15	1,66	0,61	96,19	25501,62	15,03	189,99	4,70	0,88	97,45	38656,99	18,52	160,47	1,37
9	0,29	84,44	12301,41	12,56	140,01	1,70	0,19	99,60	8660,15	16,70	189,99	4,73	0,27	82,84	12075,64	10,00	160,90	1,44
10	0,91	94,97	40305,27	19,56	140,08	1,65	1,00	102,31	40987,45	18,04	189,90	4,33	0,41	93,20	17983,93	15,99	161,01	1,56
AVG	0,68	91,58	29136,06	17,27	140,34	1,61	0,43	99,54	18263,77	16,67	189,94	4,72	0,47	93,84	20418,74	16,40	160,73	1,46

Tablo A.22. FA problem-2 durum 2 sonuçları

FA	Isı akışının (Q) minimum değeri						Isı akışının (Q) maksimum değeri						Isı akışının (Q) değeri hedef değeri=160.43 W					
Test	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye
1	0,46	95,56	35568,12	19,97	140,00	39,55	1,00	102,24	23069,85	17,99	190,00	42,32	0,22	99,98	7470,09	20,00	160,43	39,41
2	0,46	95,56	35568,12	19,97	140,00	38,23	1,00	102,24	23069,85	17,99	190,00	43,98	0,22	99,98	7470,09	20,00	160,43	43,61
3	0,46	95,56	35568,12	19,97	140,00	42,88	1,00	102,24	23069,85	17,99	190,00	42,20	0,22	99,98	7470,09	20,00	160,43	44,64
4	0,46	95,56	35568,12	19,97	140,00	43,66	1,00	102,24	23069,85	17,99	190,00	43,55	0,79	99,81	30186,27	19,90	160,43	43,10
5	0,47	94,71	20853,63	19,40	140,00	41,81	0,43	100,03	13659,04	16,91	190,00	42,70	1,00	99,99	901,86	20,00	160,43	44,19
6	0,46	95,56	35568,12	19,97	140,00	43,06	0,16	95,46	19129,00	14,66	190,00	45,85	0,67	99,87	27957,37	19,93	160,43	43,86
7	0,63	95,53	19562,13	19,95	140,00	43,33	0,02	92,72	12512,36	13,32	190,00	42,00	0,37	99,98	862,93	20,00	160,43	43,43
8	1,00	94,96	43528,91	19,57	140,00	41,76	0,53	91,49	32225,05	12,72	190,00	42,52	1,00	99,96	862,98	19,98	160,43	42,19
9	0,58	94,77	35246,76	19,44	140,00	43,64	0,63	104,60	35324,01	19,16	190,00	43,59	0,02	99,99	1405,82	20,00	160,43	43,34
10	0,02	95,60	43642,50	19,99	140,00	48,43	0,02	106,32	25983,44	20,00	190,00	41,05	0,40	99,91	15921,04	19,96	160,43	44,41
AVG	0,50	95,34	34067,45	19,82	140,00	42,63	0,58	99,96	23111,23	16,87	190,00	42,98	0,49	99,94	10050,85	19,98	160,43	43,22

Tablo A.23. ABC problem-2 durum 2 sonuçları

ABC	Isı akışının (Q) minimum değeri						Isı akışının (Q) maksimum değeri						Isı akışının (Q) değeri hedef değeri=160.43 W					
Test	x	T	Re _x	δ _t	Q	Saniye	x	T	Re _x	δ _t	Q	Saniye	x	T	Re _x	δ _t	Q	Saniye
1	0,35	98,86	15257,84	16,38	140,01	2,01	0,53	102,98	22829,10	18,16	189,98	2,06	0,72	101,72	30959,61	15,14	160,44	1,90
2	0,35	98,86	15257,84	16,38	140,01	2,41	0,53	102,98	22829,10	18,16	189,98	2,03	0,72	101,72	30959,61	15,14	160,44	1,99
3	0,35	98,86	15257,84	16,38	140,01	2,09	0,53	102,98	22829,10	18,16	189,98	2,06	0,72	101,72	30959,61	15,14	160,44	1,98
4	0,35	98,86	15257,84	16,38	140,01	2,08	0,53	102,98	22829,10	18,16	189,98	2,00	0,44	100,54	18864,33	17,73	160,46	2,32
5	0,72	87,65	32298,03	14,34	140,03	1,92	0,76	99,57	32618,74	16,68	189,98	2,09	0,96	100,94	41488,11	19,81	160,45	1,77
6	0,35	98,86	15257,84	16,38	140,01	2,07	0,09	121,14	3765,30	15,11	190,00	1,99	0,88	83,45	39836,43	13,64	160,44	2,03
7	1,00	85,14	44873,87	13,02	140,01	1,99	0,45	103,74	19167,76	16,39	190,00	1,99	0,24	97,14	10536,15	15,53	160,51	2,34
8	0,22	93,47	9812,60	11,96	140,00	2,08	0,68	99,20	29611,20	14,25	190,00	1,67	0,26	119,47	10883,07	17,19	160,44	1,91
9	0,31	80,36	14157,41	12,02	140,03	1,94	0,37	80,00	16729,77	10,00	189,99	2,00	0,75	92,07	32932,75	17,69	160,47	2,02
10	0,27	116,69	11238,20	18,48	140,03	1,74	0,40	117,66	16438,65	17,34	190,00	1,75	0,79	89,52	34897,56	12,94	160,46	1,83
AVG	0,43	95,76	18866,93	15,17	140,01	2,03	0,49	103,32	20964,78	16,24	189,99	1,96	0,65	98,83	28231,72	16,00	160,45	2,01

Tablo A.24. ACOR problem-2 durum 2 sonuçları

ACOR	Isı akışının (Q) minimum değeri						Isı akışının (Q) maksimum değeri						Isı akışının (Q) değeri hedef değeri=160.43 W					
Test	x	T	Re _x	δ _t	Q	Saniye	x	T	Re _x	δ _t	Q	Saniye	x	T	Re _x	δ _t	Q	Saniye
1	1,00	82,58	45185,83	11,32	140,00	6,28	0,98	98,68	42217,72	19,89	189,47	7,09	0,31	96,00	13681,24	17,68	160,43	5,80
2	1,00	82,58	45185,83	11,32	140,00	5,74	0,98	98,68	42217,72	19,89	189,47	6,90	0,31	96,00	13681,24	17,68	160,43	6,09
3	1,00	82,58	45185,83	11,32	140,00	6,54	0,98	98,68	42217,72	19,89	189,47	6,91	0,31	96,00	13681,24	17,68	160,43	6,11
4	1,00	82,58	45185,83	11,32	140,00	6,13	0,98	98,68	42217,72	19,89	189,47	7,24	0,30	89,36	13264,63	13,82	160,43	6,69
5	0,47	87,93	21022,51	14,89	140,00	5,89	0,17	92,98	7648,14	14,41	189,66	6,90	0,73	91,37	32115,98	14,99	160,43	6,05
6	0,35	94,58	15175,52	19,31	140,00	6,11	0,19	92,60	8166,30	19,40	189,94	7,14	0,03	96,38	1159,28	17,90	160,43	5,86
7	0,37	92,62	16400,95	18,01	140,00	6,48	0,32	111,39	13359,10	11,93	189,52	7,00	0,34	99,98	14769,16	20,00	160,43	6,11
8	0,92	95,61	40229,01	20,00	140,00	6,15	1,00	101,98	42820,68	11,50	188,48	6,74	0,74	95,11	32306,82	17,17	160,43	6,28
9	1,00	94,64	43723,40	19,36	140,00	6,03	0,42	83,78	19120,92	18,21	189,95	6,72	0,06	91,09	2466,79	14,82	160,43	6,03
10	0,35	85,85	15491,61	13,49	140,00	8,60	0,82	94,52	35992,06	14,68	189,75	9,12	0,74	99,98	31941,93	20,00	160,43	6,30
AVG	0,75	88,15	33278,63	15,03	140,00	6,40	0,68	97,20	29597,81	16,97	189,52	7,18	0,39	95,13	16906,83	17,17	160,43	6,13

Tablo A.25. WOA problem-2 durum 3 sonuçları

WOA		(x) uzaklığın minimum değeri					(x) uzaklığın maksimum değeri					(x) uzaklığın hedef değeri=0,61 m						
Test	x	T	Re _x	δ _t	Q	Saniye	x		Re _x	δ _t	Q	Saniye	x	T	Re _x	δ _t	Q	Saniye
1	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	0,27	1,23	122,53	50.000,00	27,96	190,00	0,13	0,61	94,55	26695,06	19,25	140,35	0,13
2	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	0,34	1,23	122,53	50.000,00	27,96	190,00	0,14	0,61	94,55	26695,06	19,25	140,35	0,16
3	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	0,30	1,23	122,53	50.000,00	27,96	190,00	0,17	0,61	94,55	26695,06	19,25	140,35	0,13
4	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	0,39	1,23	122,53	50.000,00	27,96	190,00	0,11	0,61	94,48	26708,05	19,25	140,00	0,16
5	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	0,29	1,23	122,53	50.000,00	27,96	190,00	0,10	0,61	99,84	26328,52	19,34	165,25	0,23
6	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	0,35	1,23	122,53	50.000,00	27,96	190,00	0,15	0,61	94,55	26695,06	19,25	140,35	0,15
7	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	0,40	1,23	122,53	50.000,00	27,96	190,00	0,16	0,61	94,55	26695,06	19,25	140,35	0,12
8	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	0,38	1,23	122,53	50.000,00	27,96	190,00	0,16	0,61	94,55	26695,06	19,25	140,35	0,15
9	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	0,32	1,23	122,53	50.000,00	27,96	190,00	0,11	0,61	94,55	26695,06	19,25	140,35	0,14
10	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	0,38	1,23	122,53	50.000,00	27,96	190,00	0,11	0,61	94,55	26695,06	19,25	140,35	0,12
AVG	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	0,34	1,23	122,53	50.000,00	27,96	190,00	0,14	0,61	95,07	26659,71	19,26	142,80	0,15

Tablo A.26. TLBO problem-2 durum 3 sonuçları

TLBO	(x) uzaklığın minimum değeri						(x) uzaklığın maksimum değeri						(x) uzaklığın hedef değeri=0,61 m					
Test	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye
1	0,08	80,00	3843,74	7,07	189,98	1,71	1,23	122,53	50.000,00	27,96	190,00	4,69	0,61	98,32	26442,00	19,32	158,05	4,40
2	0,08	80,00	3843,74	7,07	189,98	1,51	1,23	122,53	50.000,00	27,96	190,00	4,57	0,61	98,32	26442,00	19,32	158,05	4,49
3	0,08	80,00	3843,74	7,07	189,98	1,60	1,23	122,53	50.000,00	27,96	190,00	4,79	0,61	98,32	26442,00	19,32	158,05	4,28
4	0,08	80,00	3843,74	7,07	189,98	1,53	1,23	122,53	50.000,00	27,96	190,00	4,82	0,61	100,5	26282,19	19,35	168,60	4,57
5	0,08	80,00	3843,74	7,07	189,98	1,61	1,23	122,53	50.000,00	27,96	190,00	4,81	0,61	99,55	26349,80	19,33	163,85	5,42
6	0,08	80,00	3843,74	7,07	189,98	1,53	1,23	122,53	50.000,00	27,96	190,00	4,87	0,61	98,32	26442,00	19,32	158,05	5,21
7	0,08	80,00	3843,74	7,07	189,98	2,00	1,23	122,53	50.000,00	27,96	190,00	4,57	0,61	98,32	26442,00	19,32	158,05	4,32
8	0,08	80,00	3843,74	7,07	189,98	1,65	1,23	122,53	50.000,00	27,96	190,00	5,65	0,61	98,32	26442,00	19,32	158,05	4,60
9	0,08	80,00	3843,74	7,07	189,98	1,71	1,23	122,53	50.000,00	27,96	190,00	4,47	0,61	98,32	26442,00	19,32	158,05	4,30
10	0,08	80,00	3843,74	7,07	189,98	1,59	1,23	122,53	50.000,00	27,96	190,00	4,51	0,61	98,32	26442,00	19,32	158,05	4,34
AVG	0,08	80,00	3843,74	7,07	189,98	1,64	1,23	122,53	50.000,00	27,96	190,00	4,78	0,61	98,66	26416,80	19,32	159,68	4,59

Tablo A.27. SCA problem-2 durum 3 sonuçları

SCA	(x) uzaklığın minimum değeri						(x) uzaklığın maksimum değeri						(x) uzaklığın hedef değeri=0,61 m					
Test	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye
1	0,08	80,00	3844,19	7,07	189,97	1,10	1,23	122,43	50.000,00	27,95	189,71	2,29	0,61	99,18	26376,33	19,33	162,11	2,33
2	0,08	80,00	3844,19	7,07	189,97	0,97	1,23	122,43	50.000,00	27,95	189,71	2,23	0,61	99,18	26376,33	19,33	162,11	2,29
3	0,08	80,00	3844,19	7,07	189,97	1,10	1,23	122,43	50.000,00	27,95	189,71	2,37	0,61	99,18	26376,33	19,33	162,11	2,32
4	0,08	80,00	3844,19	7,07	189,97	1,12	1,23	122,41	50.000,00	27,95	189,65	2,44	0,61	98,01	26455,81	19,31	156,62	2,47
5	0,08	80,00	3844,19	7,07	189,97	1,24	1,23	122,43	50.000,00	27,95	189,71	2,35	0,61	103,78	26068,39	19,41	183,60	2,55
6	0,08	80,00	3844,19	7,07	189,97	0,95	1,23	122,43	50.000,00	27,95	189,71	2,40	0,61	99,18	26376,33	19,33	162,11	2,48
7	0,08	80,00	3844,19	7,07	189,97	1,07	1,23	122,43	50.000,00	27,95	189,71	2,32	0,61	99,18	26376,33	19,33	162,11	2,40
8	0,08	80,00	3844,19	7,07	189,97	1,07	1,23	122,43	50.000,00	27,95	189,71	2,59	0,61	99,18	26376,33	19,33	162,11	2,45
9	0,08	80,00	3844,19	7,07	189,97	1,04	1,23	122,43	50.000,00	27,95	189,71	2,16	0,61	99,18	26376,33	19,33	162,11	2,23
10	0,08	80,00	3844,19	7,07	189,97	0,98	1,23	122,43	50.000,00	27,95	189,71	2,62	0,61	99,18	26376,33	19,33	162,11	2,74
AVG	0,08	80,00	3844,19	7,07	189,97	1,06	1,23	122,43	50.000,00	27,95	189,70	2,38	0,61	99,52	26353,49	19,33	163,71	2,43

Tablo A.28. SA problem-2 durum 3 sonuçları

SA	(x) uzaklığın minimum değeri						(x) uzaklığın maksimum değeri						(x) uzaklığın hedef değeri=0,61 m					
Test	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye
1	0,08	80,00	3843,01	7,07	190,00	4,79	1,23	122,53	50.000,00	27,96	190,00	20,58	0,61	104,81	25993,47	19,42	188,41	20,42
2	0,08	80,00	3843,01	7,07	190,00	4,85	1,23	122,53	50.000,00	27,96	190,00	20,44	0,61	104,81	25993,47	19,42	188,41	19,91
3	0,08	80,00	3843,01	7,07	190,00	4,72	1,23	122,53	50.000,00	27,96	190,00	22,19	0,61	104,81	25993,47	19,42	188,41	18,94
4	0,08	80,00	3843,01	7,07	190,00	4,88	1,23	122,53	50.000,00	27,96	190,00	21,61	0,61	96,94	26528,76	19,29	151,59	20,81
5	0,08	80,00	3843,01	7,07	190,00	6,08	1,23	122,53	50.000,00	27,96	190,00	21,82	0,61	99,27	26367,93	19,33	162,55	24,80
6	0,08	80,00	3843,01	7,07	190,00	4,71	1,23	122,53	50.000,00	27,96	190,00	23,01	0,61	104,81	25993,47	19,42	188,41	20,46
7	0,08	80,00	3843,01	7,07	190,00	4,81	1,23	122,53	50.000,00	27,96	190,00	20,15	0,61	104,81	25993,47	19,42	188,41	18,74
8	0,08	80,00	3843,01	7,07	190,00	4,86	1,23	122,53	50.000,00	27,96	190,00	21,41	0,61	104,81	25993,47	19,42	188,41	21,43
9	0,08	80,00	3843,01	7,07	190,00	4,65	1,23	122,53	50.000,00	27,96	190,00	19,05	0,61	104,81	25993,47	19,42	188,41	19,73
10	0,08	80,00	3843,01	7,07	190,00	4,51	1,23	122,53	50.000,00	27,96	190,00	20,56	0,61	104,81	25993,47	19,42	188,41	19,66
AVG	0,08	80,00	3843,01	7,07	190,00	4,88	1,23	122,53	50.000,00	27,96	190,00	21,08	0,61	103,47	26084,44	19,40	182,14	20,49

Tablo A.29. SSA problem-2 durum 3 sonuçları

SSA	(x) uzaklığın minimum değeri						(x) uzaklığın maksimum değeri						(x) uzaklığın hedef değeri=0,61 m					
Test	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye
1	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	1,06	1,23	122,53	50.000,00	27,96	190,00	0,90	0,61	102,72	26133,61	19,39	178,67	0,95
2	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	0,98	1,23	122,53	50.000,00	27,96	190,00	0,93	0,61	102,72	26133,61	19,39	178,67	0,99
3	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	1,04	1,23	122,53	50.000,00	27,96	190,00	0,94	0,61	102,72	26133,61	19,39	178,67	0,89
4	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	1,02	1,23	122,53	50.000,00	27,96	190,00	0,93	0,61	101,16	26238,67	19,36	171,42	0,98
5	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	1,17	1,23	122,53	50.000,00	27,96	190,00	1,03	0,61	102,02	26180,59	19,37	175,42	1,11
6	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	0,99	1,23	122,53	50.000,00	27,96	190,00	0,95	0,61	102,72	26133,61	19,39	178,67	0,96
7	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	0,94	1,23	122,53	50.000,00	27,96	190,00	0,90	0,61	102,72	26133,61	19,39	178,67	1,02
8	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	1,03	1,23	122,53	50.000,00	27,96	190,00	0,96	0,61	102,72	26133,61	19,39	178,67	0,98
9	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	1,03	1,23	122,53	50.000,00	27,96	190,00	0,90	0,61	102,72	26133,61	19,39	178,67	0,91
10	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	0,92	1,23	122,53	50.000,00	27,96	190,00	0,89	0,61	102,72	26133,61	19,39	178,67	0,99
AVG	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	1,02	1,23	122,53	50.000,00	27,96	190,00	0,93	0,61	102,49	26148,81	19,38	177,62	0,98

Tablo A.30. PSO problem-2 durum 3 sonuçları

PSO	(x) uzaklığın minimum değeri						(x) uzaklığın maksimum değeri						(x) uzaklığın hedef değeri=0,61 m					
Test	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye
1	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	1,67	1,23	122,53	50.000,00	27,96	189,99	5,30	0,61	97,10	26517,13	19,29	152,38	5,05
2	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	1,83	1,23	122,53	50.000,00	27,96	189,99	5,24	0,61	97,10	26517,13	19,29	152,38	4,82
3	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	1,92	1,23	122,53	50.000,00	27,96	189,99	5,31	0,61	97,10	26517,13	19,29	152,38	4,85
4	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	1,78	1,23	122,50	50.000,00	27,96	189,92	5,52	0,61	94,61	2669,10	19,25	140,62	5,26
5	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	1,66	1,23	122,53	50.000,00	27,96	189,99	5,11	0,61	95,20	26649,67	19,26	143,41	5,21
6	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	1,64	1,23	122,53	50.000,00	27,96	189,99	5,22	0,61	97,10	26517,13	19,29	152,38	5,54
7	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	1,66	1,23	122,53	50.000,00	27,96	189,99	5,02	0,61	97,10	26517,13	19,29	152,38	5,24
8	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	1,72	1,23	122,53	50.000,00	27,96	189,99	5,79	0,61	97,10	26517,13	19,29	152,38	5,19
9	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	1,57	1,23	122,53	50.000,00	27,96	189,99	4,79	0,61	97,10	26517,13	19,29	152,38	4,77
10	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	1,56	1,23	122,53	50.000,00	27,96	189,99	4,93	0,61	97,10	26517,13	19,29	152,38	5,24
AVG	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	1,70	1,23	122,53	50.000,00	27,96	189,98	5,22	0,61	96,66	24145,58	19,28	150,30	5,12

Tablo A.31. HHO problem-2 durum 3 sonuçları

HHO	(x) uzaklığın minimum değeri						(x) uzaklığın maksimum değeri						(x) uzaklığın hedef değeri=0,61 m					
Test	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye
1	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	0,39	1,23	122,53	50000,00	27,96	190,00	0,30	0,61	97,71	26475,41	19,30	155,21	0,32
2	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	0,36	1,23	122,53	50000,00	27,96	190,00	0,24	0,61	97,71	26475,41	19,30	155,21	0,36
3	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	0,34	1,23	122,53	50000,00	27,96	190,00	0,32	0,61	97,71	26475,41	19,30	155,21	0,32
4	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	0,33	1,23	122,53	50000,00	27,96	190,00	0,32	0,61	100,54	26281,36	19,35	168,48	0,34
5	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	0,40	1,23	122,53	50000,00	27,96	190,00	0,35	0,61	95,63	26619,51	19,27	145,44	0,39
6	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	0,29	1,23	122,53	50000,00	27,96	190,00	0,28	0,61	97,71	26475,41	19,30	155,21	0,37
7	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	0,32	1,23	122,53	50000,00	27,96	190,00	0,34	0,61	97,71	26475,41	19,30	155,21	0,36
8	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	0.349369	1,23	122,53	50000,00	27,96	190,00	0,25	0,61	97,71	26475,41	19,30	155,21	0,36
9	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	0,37	1,23	122,53	50000,00	27,96	190,00	0,25	0,61	97,71	26475,41	19,30	155,21	0,31
10	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	0,35	1,23	122,53	50000,00	27,96	190,00	0,25	0,61	97,71	26475,41	19,30	155,21	0,31
AVG	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	0,35	1,23	122,53	50000,00	27,96	190,00	0,29	0,61	97,78	26470,42	19,30	155,56	0,34

Tablo A.32. GWO problem-2 durum 3 sonuçları

GWO	(x) uzaklığın minimum değeri						(x) uzaklığın maksimum değeri						(x) uzaklığın hedef değeri=0,61 m					
Test	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye
1	0,08	80,00	3842,94	7,07	190,00	0,12	1,23	122,53	50.000,00	27,96	189,99	0,15	0,61	98,93	26394,37	19,32	160,95	0,15
2	0,08	80,00	3842,94	7,07	190,00	0,13	1,23	122,53	50.000,00	27,96	189,99	0,14	0,61	98,93	26394,37	19,32	160,95	0,16
3	0,08	80,00	3842,94	7,07	190,00	0,13	1,23	122,53	50.000,00	27,96	189,99	0,18	0,61	98,93	26394,37	19,32	160,95	0,14
4	0,08	80,00	3842,94	7,07	190,00	0,15	1,23	122,53	50.000,00	27,96	190,00	0,12	0,61	101,07	26245,36	19,36	170,99	0,16
5	0,08	80,00	3842,94	7,07	190,00	0,14	1,23	122,53	50.000,00	27,96	189,99	0,20	0,61	100,44	26287,96	19,35	168,04	0,15
6	0,08	80,00	3842,94	7,07	190,00	0,14	1,23	122,53	50.000,00	27,96	189,99	0,12	0,61	98,93	26394,37	19,32	160,95	0,15
7	0,08	80,00	3842,94	7,07	190,00	0,19	1,23	122,53	50.000,00	27,96	189,99	0,11	0,61	98,93	26394,37	19,32	160,95	0,14
8	0,08	80,00	3842,94	7,07	190,00	0,12	1,23	122,53	50.000,00	27,96	189,99	0,11	0,61	98,93	26394,37	19,32	160,95	0,14
9	0,08	80,00	3842,94	7,07	190,00	0,11	1,23	122,53	50.000,00	27,96	189,99	0,10	0,61	98,93	26394,37	19,32	160,95	0,14
10	0,08	80,00	3842,94	7,07	190,00	0,20	1,23	122,53	50.000,00	27,96	189,99	0,11	0,61	98,93	26394,37	19,32	160,95	0,14
AVG	0,08	80,00	3842,94	7,07	190,00	0,14	1,23	122,53	50.000,00	27,96	189,99	0,14	0,61	99,29	26368,82	19,33	162,66	0,15

Tablo A.33. GA problem-2 durum 3 sonuçları

GA	(x) uzaklığın minumum değeri						(x) uzaklığın maksimum değeri						(x) uzaklığın hedef değer=0,61 m					
Test	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye
1	0,09	80,00	4271,17	7,46	180,22	1,33	1,23	122,53	50.000,00	27,96	190,00	77,66	0,61	100,64	26304,60	19,36	168,89	4,43
2	0,09	80,00	4271,17	7,46	180,22	1,36	1,23	122,53	50.000,00	27,96	190,00	76,62	0,61	96,95	26724,19	19,36	151,10	4,40
3	0,09	80,00	4271,17	7,46	180,22	1,39	1,23	122,53	50.000,00	27,96	190,00	82,42	0,61	96,95	26724,19	19,36	151,10	4,24
4	0,09	80,00	4271,17	7,46	180,22	1,42	1,23	122,53	50.000,00	27,96	190,00	83,43	0,61	94,66	26708,99	19,26	140,78	4,49
5	0,09	80,00	4271,17	7,46	180,22	1,36	1,23	122,53	50.000,00	27,96	190,00	82,81	0,61	101,18	26254,95	19,37	171,45	5,00
6	0,09	80,00	4271,17	7,46	180,22	1,46	1,23	122,53	50.000,00	27,96	190,00	83,29	0,61	96,95	26724,19	19,36	151,10	4,76
7	0,09	80,00	4271,17	7,46	180,22	1,37	1,23	122,53	50.000,00	27,96	190,00	74,11	0,61	96,95	26724,19	19,36	151,10	4,42
8	0,09	80,00	4271,17	7,46	180,22	1,45	1,23	122,53	50.000,00	27,96	190,00	89,56	0,61	96,95	26724,19	19,36	151,10	4,73
9	0,09	80,00	4271,17	7,46	180,22	1,30	1,23	122,53	50.000,00	27,96	190,00	73,71	0,61	96,95	26724,19	19,36	151,10	4,21
10	0,09	80,00	4271,17	7,46	180,22	1,36	1,23	122,53	50.000,00	27,96	190,00	78,40	0,61	96,95	26724,19	19,36	151,10	4,63
AVG	0,09	80,00	4271,17	7,46	180,22	1,38	1,23	122,53	50.000,00	27,96	190,00	80,20	0,61	97,51	26633,79	19,35	153,88	4,53

Tablo A.34. FA problem-2 durum 3 sonuçları

FA	(x) uzaklığın minimum değeri						(x) uzaklığın maksimum değeri						(x) uzaklığın hedef değeri=0,61 m					
Test	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye
1	0,08	80,00	3842,82	7,07	190,00	28,94	1,23	122,52	50.000,00	27,96	189,96	7,75	0,61	102,38	26156,27	19,38	177,11	1,65
2	0,08	80,00	3842,82	7,07	190,00	28,55	1,23	122,52	50.000,00	27,96	189,96	7,67	0,61	98,21	26440,59	19,31	157,60	1,71
3	0,08	80,00	3842,82	7,07	190,00	29,64	1,23	122,52	50.000,00	27,96	189,96	7,99	0,61	98,21	26440,59	19,31	157,60	1,59
4	0,08	80,00	3842,82	7,07	190,00	33,84	1,23	122,52	50.000,00	27,96	189,96	7,76	0,61	101,90	26189,03	19,37	174,84	1,75
5	0,08	80,00	3842,82	7,07	190,00	28,90	1,23	122,40	50.000,00	27,95	189,62	9,28	0,61	102,30	26162,16	19,38	176,71	1,80
6	0,08	80,00	3842,82	7,07	190,00	29,95	1,23	122,52	50.000,00	27,96	189,96	8,07	0,61	102,38	26156,27	19,38	177,11	1,81
7	0,08	80,00	3842,82	7,07	190,00	26,60	1,23	122,52	50.000,00	27,96	189,96	7,47	0,61	98,21	26440,59	19,31	157,60	1,71
8	0,08	80,00	3842,82	7,07	190,00	31,30	1,23	122,52	50.000,00	27,96	189,96	7,97	0,61	102,38	26156,27	19,38	177,11	1,82
9	0,08	80,00	3842,82	7,07	190,00	26,61	1,23	122,52	50.000,00	27,96	189,96	7,53	0,61	98,21	26440,59	19,31	157,60	1,56
10	0,08	80,00	3842,82	7,07	190,00	26,98	1,23	122,52	50.000,00	27,96	189,96	7,44	0,61	98,21	26440,59	19,31	157,60	1,64
AVG	0,08	80,00	3842,82	7,07	190,00	29,13	1,23	122,51	50.000,00	27,96	189,92	7,89	0,61	100,24	26302,29	19,34	167,09	1,70

Tablo A.35. ABC problem-2 durum 3 sonuçları

ABC	(x) uzaklığın minimum değeri						(x) uzaklığın maksimum değeri						(x) uzaklığın hedef değeri=0,61 m					
Test	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye
1	0,08	80,00	3842,82	7,07	190,00	1,66	1,23	122,53	50.000,00	27,96	190,00	5,48	0,61	97,33	26501,13	19,30	153,46	5,25
2	0,08	80,00	3842,82	7,07	190,00	1,87	1,23	122,53	50.000,00	27,96	190,00	5,38	0,61	99,51	26351,62	19,33	163,66	5,22
3	0,08	80,00	3842,82	7,07	190,00	1,65	1,23	122,53	50.000,00	27,96	190,00	5,71	0,61	99,51	26351,62	19,33	163,66	5,52
4	0,08	80,00	3842,82	7,07	190,00	1,70	1,23	122,52	50.000,00	27,96	189,98	8,19	0,61	101,78	26197,06	19,37	174,29	5,50
5	0,08	80,00	3842,82	7,07	190,00	1,95	1,23	122,53	50.000,00	27,96	190,00	5,96	0,61	101,16	26239,27	19,36	171,38	6,02
6	0,08	80,00	3842,82	7,07	190,00	1,74	1,23	122,53	50.000,00	27,96	190,00	5,65	0,61	97,33	26501,13	19,30	153,46	5,44
7	0,08	80,00	3842,82	7,07	190,00	1,65	1,23	122,53	50.000,00	27,96	190,00	5,49	0,61	99,51	26351,62	19,33	163,66	5,26
8	0,08	80,00	3842,82	7,07	190,00	1,99	1,23	122,53	50.000,00	27,96	190,00	5,70	0,61	97,33	26501,13	19,30	153,46	5,93
9	0,08	80,00	3842,82	7,07	190,00	1,54	1,23	122,53	50.000,00	27,96	190,00	6,24	0,61	99,51	26351,62	19,33	163,66	5,13
10	0,08	80,00	3842,82	7,07	190,00	1,63	1,23	122,53	50.000,00	27,96	190,00	5,30	0,61	99,51	26351,62	19,33	163,66	5,03
AVG	0,08	80,00	3842,82	7,07	190,00	1,74	1,23	122,53	50.000,00	27,96	190,00	5,91	0,61	99,25	26369,78	19,33	162,44	5,43

Tablo A.36. ACOR problem-2 durum 3 sonuçları

ACOR	(x) uzaklığın minimum değeri						(x) uzaklığın maksimum değeri						(x) uzaklığın hedef değeri=0,61 m					
Test	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye	x	T	Re _x	δ_t	Q	Saniye
1	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	4,16	1,25	119,22	49.192,22	27,54	181,65	103,84	0,61	102,04	26179,62	19,37	175,50	85,06
2	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	3,92	1,25	119,22	49.192,22	27,54	181,65	94,54	0,61	102,61	26141,01	19,38	178,17	79,21
3	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	4,40	1,25	119,22	49.192,22	27,54	181,65	107,14	0,61	102,61	26141,01	19,38	178,17	86,39
4	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	4,36	1,25	114,61	49.832,23	27,45	166,56	112,43	0,61	99,11	26378,47	19,33	161,83	90,68
5	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	5,13	1,25	119,22	49.192,22	27,54	181,65	109,27	0,61	97,64	26480,01	19,30	154,90	90,27
6	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	4,18	1,25	119,22	49.192,22	27,54	181,65	107,71	0,61	102,04	26179,62	19,37	175,50	88,81
7	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	4,11	1,25	119,22	49.192,22	27,54	181,65	99,47	0,61	102,61	26141,01	19,38	178,17	82,98
8	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	4,51	1,25	119,22	49.192,22	27,54	181,65	110,39	0,61	102,04	26179,62	19,37	175,50	92,54
9	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	4,01	1,25	119,22	49.192,22	27,54	181,65	98,55	0,61	102,61	26141,01	19,38	178,17	84,70
10	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	4,04	1,25	119,22	49.192,22	27,54	181,65	100,50	0,61	102,61	26141,01	19,38	178,17	82,86
AVG	0,08	80,00	3842,81	7,07	190,00	4,28	1,25	118,76	49.256,22	27,53	180,14	104,38	0,61	101,59	26210,24	19,37	173,41	86,35

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Özen GÜNAL

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Sakarya Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Bilgisayar ve Bilişim Mühendisliği (Tezsiz)	2012
Lisans	Manisa Celal Bayar Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Yazılım Mühendisliği	2019
Lisans	Manisa Celal Bayar Üniversitesi / Fen Edebiyat Fakültesi / Matematik	2005

İŞ DENEYİMİ

Yıl	Yer	Görev
2009-2018	Manisa Celal Bayar Üniversitesi	Öğretim Görevlisi
2013-2015	Ege Üniversitesi	Öğretim Görevlisi

YABANCI DİL

İngilizce