

T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJELERİ
KOORDİNASYON BİRİMİ

PROJE BAŞLIĞI

Yapay Arı Koloni Algoritması ile Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Lokalizasyon

Proje No
FBA-12-4029

Proje Türü
Normal Araştırma Projesi

SONUÇ RAPORU

Proje Yürütücüsü:
Yrd. Doç. Dr. Celal ÖZTÜRK
Mühendislik Fakültesi
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü

Ekim 2016

KAYSERİ

TEŞEKKÜR

Bu araştırma projesi çalışmasına maddi destek veren Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne (Proje No: FBA-12-4029) teşekkür ederim.

Ayrıca, çalışmalarım süresince sabır göstererek beni daima destekleyen aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Yrd. Doç. Dr. Celal ÖZTÜRK
Kayseri, Ekim 2016

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZET	5
ABSTRACT	6
1. GİRİŞ	7
2. GENEL BİLGİLER	8
2.1. Literatür Özeti	8
3. GEREÇ ve YÖNTEM	12
3.1. Yapay Arı Koloni Algoritması	12
4. BULGULAR	15
4.1. Deneysel Çalışmalar	15
5. TARTIŞMA ve SONUÇLAR	18
6. KAYNAKLAR	19

YAPAY ARI KOLONİ ALGORİTMASI İLE KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARDA LOKALİZASYON

ÖZET

Kablosuz algılayıcı ağları (KAA), ilgilenilen veriyi toplama ve haberleşme amacıyla veri üzerinde basit işlemler yürütebilme ve iletebilme yeteneklerine sahip genelde düğüm olarak isimlendirilen algılayıcılardan oluşan ağlardır. Kümeleme, coğrafik yönlendirme, yerleştirme tabanlı bilgi sorgulama, topoloji kontrol gibi birçok alanda kullanılan KAA'larında ağ oluşturan düğümlerin konum bilgilerine ihtiyaç duyulur. Konum bilgisi genellikle GPS gibi bir teknoloji ile edinilebilir, ancak zaten çok sayıda ucuz ve küçük algılayıcıdan oluşan KAA'larda böyle bir teknolojiyi tüm cihazların kullanması oldukça maliyetli ve gereksiz olmakta ya da desteklenemeyecek boyutlarda iş yükü getirmektedir. Bu sebeplerle, KAA'larda düğümlerin yerleri farklı yöntemlerle tahmin edilmeye çalışılmaktadır ki KAA'larda lokalizasyon problemi olarak adlandırılan bu problem, bir optimizasyon problemidir. Projede kablosuz algılayıcı ağlarının konumlarının belirlenmesinde yeni bir optimizasyon yöntemi olan yapay arı koloni algoritmasına dayalı çözümler sunulmuştur. Bu çalışmalar kapsamında yapay arı koloni (ABC) algoritması üzerinde planlanan modifikasyonlarla önerilen ABC algoritmasının yeni versiyonları ele alınan problemin çözümüyle birlikte farklı optimizasyon problemlerinin çözümünde de kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kablosuz Algılayıcı Ağları, Yapay Arı Koloni Algoritması, Lokalizasyon Problemi

WIRELESS SENSOR NETWORK LOCALIZATION BASED ON ARTIFICIAL BEE COLONY ALGORITHM

ABSTRACT

Localization is the process of making each sensor node aware of its geographic position in the network. Providing higher localization accuracy for wireless sensor networks is crucial in many applications by the fact the measured or sensed data might be meaningless without the location information since it is used to detect events, to record events and to route packets. The simplest way of localization solution is equipping each node with a global positioning system (GPS), however it is not very practical because of cost, size and energy constraints, especially when the sensor nodes are large in number. In this project, a swarm intelligent inspired optimization algorithm, artificial bee colony (ABC), which has been becoming popular in recent years is used to solve localization in wireless sensor networks which is an optimization problem. The ABC algorithm is new swarm intelligence based evolutionary algorithm which models the intelligent behaviors of honeybee swarm. The improved versions of ABC algorithm are proposed for wireless sensor network localization and also these algorithms are studied and applied to other optimization problems.

Keywords: Wireless Sensor Networks, Artificial Bee Colony Algorithm, Localization Problem

1. GİRİŞ

Kablosuz algılayıcı ağları (KAA), algılama, hesaplama ve iletişim yapabilen çok sayıda algılayıcı noktaları içermektedir. Her bir nokta çevresindeki sıcaklık, nem, basınç gibi nicelikleri ölçebilme, basit hesaplama işlemleri yapabilme ve etrafındaki diğer noktalarla ve/veya baz istasyonu ile haberleşme yapabilme özelliklerine sahiptir. Algılayıcı ağlarında genelde algılayıcı noktaların konumlandırılmaları rasgele bir şekilde (örn. bir uçaktan atılarak) veya belirli pozisyonlara ayarlanarak (örn. bir kurumda yangın alarm algılayıcıları) yapılmaktadır.

Kablosuz algılayıcı ağlarında düğümlerin konum bilgisi çok önemlidir. Elde edilen bilgi konum bilgisi ile değerlendirilmediğinde birçok uygulamada anlamsız hale gelir. Algılayıcı ağlarında konum bilgisine olay kaynak yeri tespiti ve/veya kaydedilmesi ya da verinin geometrik bilgi temelli yönlendirme işlemleri gibi birçok durumda ihtiyaç duyulur.

Konum belirlemede kullanılan metotlardan biri elle ayarlamadır ki; bu durum düğüm hareketli ise veya ağ geniş alana dağılmışsa imkânsız bir işlemdir. Diğer seçenek GPS teknolojisinin kullanılmasıdır ki; bu durumda donanım ve enerji maliyeti ve uyduların görüş alanında olma gerekliliği kısıtlarıyla bekleneni vermemektedir. Son zamanlarda konum belirlemede özgün şemalar kullanılmaktadır ve bu şemalarda sadece özel düğümlerin (beacon) yeri bilinir ve diğer düğümler kendilerine komşu beacon'lara göre tarif edilir. Bu konum hesaplama işlemine lokalizasyon denir. Bir optimizasyon problemi olarak ele alınan lokalizasyon işlemi için 2005 yılında önerilmiş yeni bir yöntem olan yapay arı koloni algoritması ile kablosuz algılayıcı ağların konumlarının belirlenmesi ve bu algoritma üzerine yenilik çalışmaları bu proje kapsamında ele alınmıştır. Bu çalışmalar kapsamında yapay arı koloni (ABC) algoritması üzerinde planlanan modifikasyonlarla önerilen ABC algoritmasının yeni versiyonları ele alınan problemin çözümüyle birlikte farklı optimizasyon problemlerinin çözümünde de kullanılmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Literatür Özeti

Kablosuz algılayıcı ağlarında, algılayıcı noktaların konumlandırılmaları genellikle rasgele yapılmaktadır. Bu algılayıcılar, bulundukları yere yerleştirildikten sonra herhangi bir bakım işlemi gerektirmemekte ve farklı tiplerde veri toplama işlemleri için muhtemel hatalara (algılayıcı hataları, çevresel şartlar) karşı sistemi çalışır durumda tutabilmektedirler [1].

Yapı itibarıyla algılayıcı noktalar küçük boyuttadırlar, sınırlı enerji kaynaklarından (küçük bataryalardan) beslenmektedirler, sınırlı hesaplama işlemleri yapabilme yeteneklerine sahiptirler ve küçük bir bölge içerisinde haberleşme yapabilmektedirler [2]. Bir algılayıcı noktasından küçük bir bataryayla uzun bir süre çalışması beklendiğinden hesaplama işlemleri ve iletişim becerilerinin optimum bir şekilde kullanması ve gereksiz enerji harcamalarının önüne geçilmesi araştırma konusu olmaya devam etmektedir.

Kablosuz algılayıcı ağlarında düğümlerin konum bilgisi çok önemlidir. Uygulamalarda elde edilen bilgi konum bilgisi ile değerlendirilmediğinde uygulama anlamsız hale gelmektedir. Algılayıcı ağlarında konum bilgisi ihtiyacı olay tespiti ve kaydedilmesi veya verinin geometrik bilgi temelli yönlendirme algoritması gibi birçok durumda ortaya çıkmaktadır.

Geniş bir coğrafyada daha doğru ölçümler yapabilmek için daha çok sayıda algılayıcı kullanılması gerekmektedir. KAA'ların kullanıldığı bazı uygulama alanları; hedef alanının görüntülenmesi, izinsiz giriş algılama, hava durumu izleme, güvenlik, gözetim takibi, dağıtık hesaplama, sıcaklık, hareket, ses, ışık veya belirli nesnelerin mevcudiyetinin algılanması gibi çevresel durumların tespiti ve jeolojik uygulamalar örnek olarak verilebilir [3].

Böylesine önemli ve kritik uygulama alanlarına sahip KAA'larda veri haberleşmesinin güvenilirliği ve doğruluğu rasgele yerleştirilen düğümlerin konum bilgilerinin ağ tarafından bilinmesine doğrudan bağlıdır. KAA'larda lokalizasyon işlemi olarak adlandırılan konum bilgisinin tahmin ve elde edilmesinde gerçek hayatta yapılan yaklaşımlardan birisi lokalizasyon probleminin optimizasyon problemi olarak ifade edilip çözülmesidir [4, 5].

Son yıllarda bu şekilde konumlandırma amacıyla literatürde yaygın bilinen evrimsel algoritmalar kullanılmışlardır: Genetik algoritma (GA) kullanılarak geliştirilen lokalizasyon probleminin çözüm önerileri [6, 7], parçacık sürü optimizasyon (PSO) tekniğine dayalı öneriler [8-10], ısıt işlem algoritması temelli yöntemler [11-13]. Ayrıca bu yöntemler hibrit yaklaşımlarla da çalıştırılmışlardır: ısıt işlem algoritmasının tabu araştırma algoritması ile birlikte kullanıldığı hibrit yaklaşımlar [14, 15] ve genetik algoritma ile birlikte kullanıldığı hibrit yaklaşımlar [7, 16] referanslarında verilmişlerdir.

Proje kapsamında kullanılacak yapay arı koloni algoritması (ABC) Karaboğa tarafından 2005 yılında bal arılarının yiyecek (kaynak) arama davranışlarını modelleyerek geliştirmiştir [17]. Yapay arı kolonisi yöntemi ilk olarak nümerik optimizasyon problemlerine uygulanmış ve başarısı bilim insanları tarafından fark edilerek farklı alanlardaki problemlerin çözümünde kullanılmaya başlanmıştır [18]. ABC algoritmasının uygulamalarının konuları ve uygulamalarla ilgili literatür listesinin bazıları [19] verilmiştir.

ABC algoritmasının literatüre önerilmiş sınırlamalı, sınırlamasız optimizasyon problem setleri, karma problemler ve mühendislik tasarım problemleri üzerindeki performansı kabul görmüş diğer yöntemlerle karşılaştırmalı çalışmalar [20-26] yayınlarında sunulmuştur. Yapay sinir ağları ve kümeleme yöntemleri hastalık sınıflandırılmasında ve tahmininde hekime yardımcı olan karar destek sistemi olarak kullanılmaktadır. Ancak bu yöntemlerin başarımları tasarım süreçlerine ve süreçler içinde kullanılan optimizasyon tekniklerine oldukça bağımlıdır. Yapay arı kolonisi yöntemi sınıflandırma alanında yapay sinir ağlarının eğitiminde kullanılmış ve başarısı literatürde bilinen başka tekniklerle kıyaslanmıştır. Ayrıca kümeleme yönteminin kullanımında da yapay arı kolonisi yöntemi ile sınıflandırma çalışmaları yapılmıştır [27-34]. Yine, kümeleme çalışmalarında N adet nesnenin K adet kümeye optimal bir şekilde ayrılmasını sağlayan bir ABC kümeleme algoritması önerilmiş ve aday çözümlerin araştırma yönünün belirlenmesi için Deb'in kurallarının kullanıldığı çalışmada algoritma birçok veri seti üzerinde test edilmiş ve sonuçlar diğer algoritmaların sonuçları ile karşılaştırılmıştır [35]. Kümeleme amaçlı hibrid bir algoritma Marinakis ve arkadaşları tarafından [36]'de önerilmiştir:

bu yöntemde ilk olarak özellik seçim probleminin çözümü için kesikli ABC algoritması, sonra ikinci aşamada ise kümeleme problemini çözmek amacıyla GRASP yöntemi tercih edilmiştir. Bilgisayar bilimleri alanında "en uygun ağaç yapısı bulunması" problemi yönlendirilmemiş, bağlantılı, ağırlıklandırılmış grafik yapısında en azından belli sayıda yaprağa sahip ve minimum ağırlıktaki ağacı bulmaya yönelik bir problemdir ve gerçek hayatta tesis yerleşimi, devre ve ağ tasarımı gibi alanlarda kullanılmaktadır [37]. Benzer bir problem olan "quadratic minimum spanning tree" (Q-MST) probleminin çözümü için de bir ABC algoritması Sundar ve Singh tarafından önerilmiştir [38]. Ayrık tipteki gezgin satıcı problemi literatürde yaygın kullanılan bir şehirden yola çıkan bir satıcının belirli şehirleri hangi sırada gezerse en az yolu kat edeceğini bulmaya yönelik bir test problemidir. Bu problemin çözümüne de ABC algoritması Fenglei ve arkadaşları tarafından uygulanmıştır [39].

Elektrik-Elektronik mühendisliği alanında, istenmeyen sinyalleri bastırabilmek amacıyla yaygın kullanılan dijital filtrenin en uygun şekilde tasarlanması, filtreyi oluşturan elemanların katsayılarının en iyi şekilde ayarlanması ile mümkündür. [40]'de yapay arı kolonisi yöntemi bu katsayıların bulunmasına yönelik olarak kullanılmıştır. Görüntü işleme alanında görüntüden hassas bilgilerin çıkarılması gerektiği çalışmalarda kamera kalibrasyonu önemli bir işlem olarak ortaya çıkmaktadır. Kamera kalibrasyonunda kullanılan yöntemle ait parametrelerin bulunmasında yapay arı kolonisi yöntemi [41]'de kullanılmıştır. Elektrik mühendisliği alanında dağıtım şebekelerindeki hat kayıplarının azaltılması amacıyla yapay arı kolonisi yöntemi uygulanmıştır [42]. Endüstri mühendisliği alanında iş planlama problemlerinin çözümünde kullanılmıştır [43].

Makine mühendisliği alanında yapısal optimizasyon problemlerinde uygun tasarım parametrelerinin bulunması amacıyla [44], inşaat mühendisliği alanında baraj sistemlerinin elastiklik modülü veya sertlik modülü gibi mekanik parametrelerinin belirlenmesi için [45], elektro-kimyasal işleme de aşındırılmalı akış işleme sürecinin en uygun parametrelerinin bulunmasında ve frezeleme süreci parametrelerinin en iyilenmesinde [46-48], valf noktası etkili ekonomik yük dağıtımı uygulamasında [49], tabakalı kompozit bileşenlerin çok amaçlı

tasarım optimizasyonunda kesikli değişkenlerin bulunması amacıyla [50]'de ABC algoritması kullanılmıştır. Atıl ve atıl olmama durumları altında, toplam ağırlıklı erken bitirme ve gecikme cezaları kriterleri ile parti bölmeli akış tipi çizelgeleme probleminin çözümüne kesikli ABC (DABC) algoritması [51]'de, ters analiz problemleri için Nelder-Mead simplex metodunu ABC algoritması ile birleştiren bir karma algoritma olan hybrid ABC (HSABCA) algoritması [52]'de geliştirilmiştir .

[53]'de yapılan çalışma da uçaklarda hedef tanıma işini gerçekleştirmek amacıyla kenar potansiyel fonksiyonu ile ABC algoritması çalıştırılmış ve deney çalışmalarının sonuçları GA algoritması ile elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. MESFET için küçük sinyal eşdeğer devre modeli parametrelerinin ortaya çıkarılmasında ABC algoritması kullanılmış ve sonuçlar PSO algoritmasının sonuçları ile kıyaslanarak tartışılmıştır [54]. Çeşitli savaş alanı ortamlarında (UCAV) yol planlama probleminin çözümü için kaos teorisine dayalı bir ABC optimizasyon algoritması [55]'de ve yakınsama karakteristiklerini geliştirmek ve ABC'nin yerel çözümlere takılmasını önlemek amacıyla parametre ayarlamalarını yaparken kaotik haritalar kullanan yeni bir kaotik ABC algoritması [56]'de geliştirilmiştir. Ters ısı iletimi probleminin çözümü amacıyla ABC algoritmasına dayalı sayısal bir metod geliştirilmiştir [57]. GA ve ABC algoritmaları birleştirilerek sürü zekasına dayalı yeni bir karma yaklaşım [58]'de önerilmiş, dört tane test fonksiyonu kullanarak farklı boyutlar için test edilmiş ve elde edilen sonuçlar standart GA ve ABC algoritmalarının sonuçları ile kıyaslanmıştır.

ABC algoritmasında popülasyon büyüklüğünün optimizasyon davranışına etkisi incelenirken gözcü arıların kullanımının ne zaman avantajlı olduğunun ele alındığı ve yapay arıların konumlarının güncellenmesinde yeni metotların kullanıldığı iki yeni ABC türevi [59]'de ortaya konmuş ve test problemleri üzerinde performansları değerlendirilmiştir. Kablosuz sensör ağları üzerinde sensörlerin en uygun şekilde yerleşim noktalarının tayini ve etkin ağ dolaşımının sağlanabilmesi için ABC algoritmasına dayalı yaklaşımlar önerilmiştir [60-62]. ABC algoritması ile aç gözlü sezgisel ve yerel araştırma mekanizmaları birleştirilerek yeni bir hibrid yaklaşım Quadratik Knapsack probleminin çözümü için önerilmiş ve önerilen

algoritmanın performansı bilinen diğer sezgisel tekniklerle kıyaslanmıştır [63]. Tamsayı programlama problemlerine ABC uygulanmış ve sonuçlar, PSO türevleri ve dal sınır tekniği ile karşılaştırılmıştır [64]. Kontrol parametrelerinin ABC algoritmasının performansı üzerindeki etkileri [65]'de analiz edilmiştir. Kuantum gelişim algoritması (QEA) ve ABC algoritması birleştirilerek geliştirilen hibrid algoritmanın performansı test problemleri üzerinde değerlendirilmiştir [66]. Paylaşımlı hafıza mimarileri için ABC algoritmasının paralel türevi PABC algoritması önerilmiştir [67]. ABC algoritması, en düşük serbest enerji yapısını bulmak için protein yapısal araştırma uzayını araştırmak amaçlı [68]'de uyarlanmıştır. ABC görüntülerde nesne tanıma problemine uygulanmış ve sonuçlar diğer evrimsel algoritmalarla karşılaştırılmıştır [69]. ABC algoritmasının komşuluk arama mekanizmalarında yapılan değişiklikleri içeren yeni versiyonu dağıtık sistemlerde optimum dağıtım yerleşiminin bulunması için öne sürülmüştür [70].

3. GEREÇ VE YÖNTEM

3.1. Yapay Arı Kolonisi Algoritması

Sürü zekası, canlı bireylerin birbirleri ile ve çevreleri ile olan etkileşimleri sonucu ortaya çıkan davranışların araştırılması ve modellenmesi ile ilgilenen bir yapay zeka disiplindir. Sürü zekası temelli algoritmaların ilk örnekleri karıncaların yiyecek bulma davranışlarının modellenmesiyle ortaya çıkan karınca koloni ve kuş ve balıkların sürü halinde hareket modelinin oluşturulmasıyla önerilen parçacık sürü optimizasyon (PSO) algoritmalarıdır. İki algoritma da ortaya çıktıkları günden itibaren birçok alanda başarı ile uygulanmış ve kullanılmıştır. Ancak karınca koloni algoritmasının yapısının daha çok ayrık optimizasyon problemlerine uygun olması ve PSO algoritmasının yerel yakınsama problemleri olması nedeniyle daha güçlü sürü zekası temelli algoritmaların modellenmesine ihtiyaç duyulmuştur. 2000'li yılların başından itibaren özellikle zeki sürü davranış gösteren bal arılarının hareketlerinin modellenmesi üzerine araştırmalar yoğunlaşmıştır. Yapılan çalışmalar neticesinde arılar algoritması (bees algorithm), sanal arı algoritması (virtual bee algorithm),

arı sistemi (bee system), arı koloni optimizasyon (bee colony optimization) ve yapay arı koloni algoritması (artificial bee colony) gibi modeller geliştirilmiştir. Önerilen modeller içinde en yaygın kullanılanlardan birisi yapay arı kolonisi (ABC) algoritmasıdır.

ABC algoritması arıların yiyecek kaynağı arama davranışları modellenerek geliştirilmiştir. Bir arada yaşayan arıların, sayıca çok fazla olmalarına rağmen aralarındaki kusursuz iş bölümü ve kendi kendine organize olabilme yetenekleri sayesinde, kovandaki işlerde aksama veya kovan içinde karışıklık olmaz. Belli bir düzen içerisinde kendilerine kaynak arayan bal arılarının davranışlarından esinlenilerek geliştirilen ABC algoritması çok parametrelili nümerik fonksiyonların optimizasyonunda kullanılmış; genetik algoritma ve diferansiyel gelişim algoritmalarına karşı daha iyi performansa sahip olduğu görülmüştür.

ABC algoritmasında üç farklı tür arı vardır: kaşif arı, işçi arı ve gözcü arı. Her bir yiyecek kaynağı için bir işçi arı vardır. İşçi arıların sayısı gözcü arıların sayısına eşittir. Kaynakların tükenmesi durumunda işçi arılar kaşif arılara dönüşmekte ve kaşif arılar yeni kaynak aramaya başlamaktadır. Dolayısıyla kaynakların tükenmesi sonucunda işçi arıların o kaynakları terketmesi negatif geri besleme ve kaşif arıların yeni kaynaklar araması ise rasgelelik-salınımı ifade etmektedir. Ortaya çıkacak kaşif arı sayısı "limit parametresi" ile belirlenmektedir. ABC algoritmasında bir yiyecek kaynağının pozisyonu bir çözüme denk gelmektedir. Yiyecek kaynağının polen veya nektar açısından zenginliği ise çözümün amaç fonksiyonu vasıtasıyla ifade edilmektedir. İşçi arılar görevli oldukları yiyecek kaynakların araştırır ve yiyecek kaynakları ile ilgili bilgileri gözcü arılarla paylaşırlar. Gözcü arılar ise işçi arılardan aldıkları bilgiler doğrultusunda zengin yiyecek kaynaklarına doğru daha fazla yönelme eğilimi gösterirler. Dolayısıyla gözcü arılar pozitif geri besleme özelliği gösterirler.

ABC algoritması ilk adımda yiyecek kaynakları ve bu yiyecek kaynaklarına uygun pozisyonlarının üretilmesi ile işleme başlar. Yiyecek kaynağının üretilmesi denklem (1) ile gerçekleştirilir;

$$x_{ij} = x_j^{min} + rand(0,1)(x_j^{max} - x_j^{min}) \quad (1)$$

Burada x_{ij} i. kaynağın j. pozisyonunu, $i=\{1,2,\dots,SN\}$, $j=\{1,2,\dots,D\}$, SN popülasyon büyüklüğü ve D toplam pozisyon sayısını ifade etmektedir. x_j^{max} ve x_j^{min} pozisyonların alt-üst limitlerini belirtir ve $rand(0,1)$ 0 ile 1 arasında rasgele üretilmiş bir sayıdır.

Başlangıç yiyecek kaynaklarının üretilmesinin ardından görevli arılar tarafından yiyecek kaynaklarının araştırılma aşaması başlar. Görevli arılar yiyecek kaynakları hakkındaki bilgileri (pozisyon ve kalite bilgisi) hafızalarında tutarlar ve ilgili olduğu yiyecek kaynaklarının komşuluğunda denklem (2) ile yeni yiyecek kaynakları belirlerler. Belirlenen yiyecek kaynağının kalitesi (amaç fonksiyon değeri) hafızasında tutmuş olduğu yiyecek kaynağından daha iyi ise yeni yiyecek kaynağı hafızaya alınır ve eski yiyecek kaynağı hafızadan silinir.

$$v_{ij} = x_{ij} + \theta_{ij}(x_{ij} - x_{kl}) \quad (2)$$

Burada x_{ij} i. kaynağın tek bir pozisyonunun (j. pozisyon rasgele seçilmiş) rasgele seçilmiş k. kaynağın pozisyonu ile etkileşimli (farka dayalı) olarak değiştirilerek v_i yeni kaynağın bulunmasını ifade eder. θ_{ij} ise -1 ve 1 arasında rasgele üretilmiş rasgele bir sayıdır.

İşçi arılar ilgili oldukları kaynaklarda araştırma işlemini tamamladıktan sonra elde ettikleri bilgileri gözcü arılar ile paylaşırlar. Gözcü arılar işçi arılardan aldıkları bilgiler kapsamında kaynakların nektar miktarlarının oranlarına bağlı olarak denklem (3) ve (4) ile hesaplanan olasılık değerlerine göre kaynak seçme işlemini gerçekleştirirler.

$$p_i = \frac{fitness_i}{\sum_{j=1}^{SN} fitness_i} \quad (3)$$

$$fitness_i = \begin{cases} \frac{1}{1 + fit_i}, & fit_i \geq 0 \\ 1 + abs(fit_i), & fit_i < 0 \end{cases} \quad (4)$$

Burada fit_i i. kaynağın nektar miktarını (amaç fonksiyon değerini), $fitness_i$ ise i. kaynağın nektar miktarının uygunluk değerini ifade etmektedir. Bir kaynağın uygunluk değeri arttıkça o kaynağın seçilme olasılığının artması söz konusudur. Gözcü arılar araştırma yapılacak kaynakları belirledikten sonra işçi arılar gibi komşuluk mekanizmasını kullanarak denklem (1) ve (2) ile yeni kaynak bulurlar. Bulunan yeni kaynağın nektar miktarı kontrol edilir. Eğer yeni

kaynağın nektar miktarı fazla ise yeni kaynak hafızaya alınır ve eski kaynak hafızadan silinir. Böylece işçi ve gözcü arılar aç gözlü yaklaşım (greedy selection) gösterirler.

ABC algoritmasında her çevrimde tüm işçi ve gözcü arılar arama işlemlerini tamamladıktan sonra daha iyi kaynaklar bulunamadığı zaman ilgili kaynakların ceza puanı bir artırılır. Eğer bir aşamada herhangi bir kaynağa ait daha iyi bir kaynak bulunursa o kaynağın ceza puanı sıfırlanır. Ceza puanı ABC algoritması tarafından “limit” parametresi ile ifade edilen değeri acharsa o kaynak nektarı tükenmiş olarak addedilir ve kaynak işçi arısı tarafından terk edilir. Nektarı tükenen kaynağın işçi arısı kaşif arı gibi davranır ve denklem (1) ile tükenmiş kaynağın yerine yenisini bulur.

4. BULGULAR

4.1. Deneysel Çalışmalar

Kablosuz algılayıcı ağlarda lokalizasyon probleminin bir optimizasyon problemi olarak ele alınması ve çözümünde genellikle benimsenen yaklaşım, $G = (V, E)$ çizgesi $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ noktaları üzerinden $\sigma(i, j)$ kenar ağırlık vektörü ile tanımlanır ve şu şekilde formüle edilir;

$$\min \sum_{(i,j) \in E} \left(\sigma(i, j) - \|x_i - x_j\| \right)^2 \quad (5)$$

Bu şekilde ele alınan lokalizasyon problemlerinde kullanılan optimizasyon yöntemlerinin protokolleri şu şekilde ifade edilebilir [5]:

- Algılayıcılar iki durumdadır: lokalize edilmiş ve edilmemiş
- Algılayıcıların duyulan vericilere uzaklığı tanımlanır
- Tüm algılayıcılar önceden belirlenen yerlere yerleştirilir
 - o Lokalize edilmişler için:
 - Yerini yayınla
 - o Lokalize edilmemişler için:
 - Yayını dinle
 - Eğer (x, y) ,nin yayını duyuluyorsa
 - (x, y) ,ye uzaklığı bul
 - Eğer 3 yayın duyuluyorsa

- Konumu belirle
- Lokalize edilmişler grubuna dâhil ol

Bu yaklaşımlarda en az 3 doğrusal olmayan referans düğümün iletim yarıçapı içinde bulunan bir algılayıcı konumlandırılabilir olarak değerlendirilmektedir. Konumlandırılan algılayıcı düğümü sayısı arttıkça her bir algılayıcı için referans alınabilecek algılayıcı sayısı da artmaktadır.

Proje kapsamında yapılan deneysel çalışmalarda, sensörlerin konumları belirlenirken ABC metasezgiseli ile 2 boyutlu bir optimizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Sensör yerleşimi dağıtık ve iteratif olarak ele alınmıştır. Bu problemde, GPS gibi bir teknoloji kullanarak kendi koordinat bilgisine sahip olan M adet sensör düğümü mevcuttur. N adet de böyle bir konum belirleme sistemi kullanmayan sensör bulunmaktadır. Bu N adet sensör diğer sensörlerden gelen sinyallere göre aralarındaki mesafeyi hesaplamaktadır. Bu hesaplanan mesafede, sinyaldeki gürültü vb. etkenlerden dolayı bazı hatalar olacaktır. Bu yüzden hedef sensör düğümünün i. beacon düğüm ile arasındaki mesafe olarak hesaplanan değer aşağıdaki formülasyon ile elde edilmektedir:

$$d'_i = d_i + n_i \quad (6)$$

Burada d_i iki sensör arasındaki gerçek mesafedir ve (x,y) hedef sensörün gerçek koordinatlarını göstermek üzere aşağıdaki formülasyon ile hesaplanmaktadır.

$$d_i = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} \quad (7)$$

Uygulamada, hedef sensörün gerçek konum bilgisi bilinmediği ve gürültülü bir şekilde sadece sensörler arasındaki mesafe bilgisi elde olduğu için hesaplanan mesafe değeri elde edilirken gerçek mesafeye n_i ölçekleme gürültüsü de eklenmiştir. n_i ise $\left[d_i - d_i \frac{P_n}{100}, d_i + d_i \frac{P_n}{100} \right]$ aralığında uniform dağılmış rassal bir değerdir.

Sensörlerin dağıtıldığı arazi 2 boyutludur. Tüm sensör düğümleri için iletim yarıçapı r eşittir. Beacon düğümleri kendi konumlarını bilmekte ve bu bilgiyi diğer sensörlere iletmektedirler. Dumb düğümleri ise ABC algoritması ile yapılan optimizasyon sonucu bulunan koordinat

bilgileri ile settled düğüm haline gelmekte ve böylece beacon düğümleri gibi konum bilgilerini diğer sensörlere iletmektedirler.

En az 3 doğrusal olmayan referans düğümün iletim yarıçapı içinde bulunan bir sensör yerleştirilebilir sensör olarak değerlendirilmektedir. Burada referans düğüm olarak hem beacon hem de yerleştirilmiş (settled) düğümler görev yapmaktadır. Yerleştirilen sensör düğümü sayısı arttıkça herbir sensöre referans olabilecek sensör sayısı da artmaktadır. Burada mümkün tüm referanslar arasından rassal olarak seçilen en fazla 6 adet düğüm dikkate alınmaktadır.

Algoritma aşağıdaki gibidir:

- N adet dumb ve M adet beacon düğümü araziye rassal olarak dağıt.
- Yerleştirilebilir sensör düğümlerini belirleyerek yerleştirilebilir düğümler listesi oluştur.

While (yerleştirilebilir sensör sayısı değiştiği sürece) do

For herbir yerleştirilebilir düğüm için do

 Komşu olan beacon ya da settled düğümlerle arasındaki mesafeyi hesapla.

 Sensör için konum bilgisini ABC ile optimizasyon yaparak belirle.

End for

 Toplam yerleşim hatasını hesapla.

 Yerleştirilebilir düğümler listesini güncelle

End while

Optimizasyonda aşağıdaki amaç fonksiyonu değeri minimize edilmeye çalışılmıştır.

$$f(x, y) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \left(\sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} - d'_i \right)^2 \quad (8)$$

Uygulamada 10 adet beacon, 50 adet hedef sensör düğümünün bulunduğu bir ağ ortamı simüle edilmiştir; herbir sensörün iletim yarıçapı $r=25$ birim, sensörlerin yayıldığı arazi ise 100×100 birim karelik bir alandır.

Simülasyon parametre değerleri Tablo 1 de verilmektedir.

Parametre	Değeri
Hedef sensör düğümü sayısı (N)	50
Beacon sensör düğümü sayısı (M)	10
İletim yarıçapı (r)	25 birim
Arazi boyutu	100x100 birim kare
Gürültü faktörü (Pn)	2

Tablo 1. Simülasyon Parametre Değerleri

Hedef sensörlerin koordinatlarını belirlemede kullanılan ABC algoritmasının parametreleri ise Tablo 2 de verilmiştir.

Parametre	Değeri
Koloni büyüklüğü	30
İterasyon	150
Limit	30

Tablo 2. ABC Algoritmasının Parametre Değerleri

ABC ile elde edilen sonuçlar literatürde yaygın olarak kullanılsürü zekasına dayalı algoritma olan PSO ile kıyaslanmıştır. PSO algortimasının parametreleri de Tablo 3 te verilmiştir.

Parametre	Değeri
Populasyon büyüklüğü	30
İterasyon	150

Tablo 3. PSO Algoritmasının Parametre Değerleri

30 koşma için elde edilen hata değerleri ve yerleştirilemeyen sensör düğümü sayıları Tablo 4'te verilmiştir.

	Yerleştirilemeyen Node Sayısı (Mean # non-localized nodes)	Hata Değeri (Mean Localization Error)
PSO	5,84	0,6368
ABC	5,62	0,4594

Tablo 4. ABC ve PSO yöntemlerin karşılaştırmalı sonuçları

5. TARTIŞMA ve SONUÇLAR

Bu araştırma proje çalışması kapsamında de kablosuz algılayıcı ağlarının konumlarının belirlenmesinde yeni bir optimizasyon yöntemi olan yapay arı koloni algoritmasına dayalı çözümler sunulmuştur. Bu çalışmalar kapsamında yapay arı koloni (ABC) algoritması üzerinde planlanan modifikasyonlarla önerilen ABC algoritmasının yeni versiyonları ele alınan problemin çözümüyle birlikte farklı optimizasyon problemlerinin çözümünde de kullanılmıştır. Proje önerisinde hedeflendiği şekilde literatürde çok yaygın kullanılan yöntemlerden birisi olan parçacık sürü optimizasyon algoritmasıyla elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmış; PSO algoritmasına göre daha performanslı ve başarılı bir lokalizasyon yöntemi geliştirilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] T. G. Huang, "**Casting the Wireless Sensor Net**," Technical Review, 2003.
- [2] Chung C.M., Ying-Hong W., ve Chih-Chieh C., "Ad hoc on-demand backup node setup routing protocol," **15th International Conference on Information Networking, Proceedings**, 933 – 937, 2001.
- [3] Jun-Zhao S., "Mobile ad hoc networking: an essential technology for pervasive computing, International Conferences on Info-tech and Info-net, Proceedings," 316 – 321, 2001.
- [4] Savvides A., Han C., ve Srivastava M., "Dynamic fine-grained localization in Ad-Hoc networks of sensors," **7th ACM Annu. Int. Conf. Mobile Computing Networking MobiCom**), 166-179, 2001.
- [5] Bulusu N., Heidemann J., ve Estrin D., "**GPS-less low cost outdoor localization for very small devices**," Technical report 00-729, Computer Science Department, University of Southern California, 2000.
- [6] G.-F. Nan, M.-Q. Li, ve J. Li, "Estimation of node localization with a real-coded genetic algorithm in WSNs," **Int. Conf. on Machine Learning and Cybernetics**, 873–878, 2007.
- [7] Q. Zhang, J. Wang, C. Jin, ve Q. Zeng, "Localization Algorithm for Wireless Sensor Network Based on Genetic Simulated Annealing Algorithm," **4th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing**, 2008.
- [8] A. Gopakumar ve L. Jacob, "Localization in wireless sensor networks using particle swarm optimization," **IET Int. Conf. on Wireless, Mobile and Multimedia Networks**, 227–230, 2008.
- [9] M. J. J. G. Chandran ve S. P. Victor, "An Energy Efficient Localization Technique Using Particle Swarm Optimization in Mobile Wireless Sensor Networks," **American Journal of Scientific Research**, 2010.
- [10] A. Gopakumar ve J. Lillykutty, "**Localization Wireless Sensor Network Using Particle Swarm Optimization**," National Institute of Technology Calicut, INDIA.
- [11] A. Kannan, G. Mao, ve B. Vucetic., "Simulated annealing based localization in wireless sensor network," **30th Anniversary IEEE Conf. on Local Computer Networks**, 2005.
- [12] S. K. Shekofteh, M. B. Khalkhali, M. H. Yaghmaee, ve H. Deldari, "Localization in wireless sensor networks using tabu search and simulated annealing," **2nd International Conference on Computer and Automation Engineering (ICCAE)**, 752-757, 2010.
- [13] L. Yuzeng, X. Jianjun, Y. Qiaohe, ve S. Huichang, "Localization Research Based on Improved Simulated Annealing Algorithm in WSN," **5th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing**, 2009.
- [14] S. K. Shekofteh, M. B. Khalkhali, M. H. Yaghmaee, ve H. Deldari, "Localization in wireless sensor networks using tabu search and simulated annealing," **2nd International Conference on Computer and Automation Engineering (ICCAE)**, 2010.
- [15] M. Marks ve E. Niewiadomska-Szynkiewicz, "Two-phase stochastic optimization to sensor network localization," **Int. Conf. On Sensor Technologies and Applications SensorComm 2007**, 134–139, 2007.
- [16] Q. Zhang, J. Huang, J. Wang, C. Jin, J. Ye, W. Zhang, ve J. Hu, "A two-phase localization algorithm for wireless sensor network," **Int. Conf. on Information and Automation ICIA 2008**, 59–64, 2008.
- [17] D. Karaboga, "**An idea based on honey bee swarm for numerical optimization**," Technical Report-TR06, Erciyes University, Engineering Faculty, Computer Engineering Department 2005.
- [18] D. Karaboga ve B. Akay, "A Survey: Algorithms Simulating Bee Swarm Intelligence," **Artificial Intelligence Review**, Cilt 31, No 1, 68-85, 2009.

- [19] B. Basturk ve D. Karaboga, "An Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm for Numeric function Optimization," **IEEE Swarm Intelligence Symposium**, Indianapolis, USA 2006.
- [20] C. Öztürk, "Yapay sinir ağlarının yapay arı koloni algoritması ile eğitilmesi," **Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi**, Tez Daşmanı: Prof. Dr. Derviş Karaboğa, Kayseri, 2011.
- [21] D. Karaboga ve B. Akay, "On The Performance Of Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm," **Applied Soft Computing**, Cilt 8, No 1, 687-697, 2008.
- [22] D. Karaboga ve B. Basturk, "Artificial Bee Colony (ABC) Optimization Algorithm for Solving Constrained Optimization Problems," in **Advances in Soft Computing: Foundations of Fuzzy Logic and Soft Computing**, vol. 4529/2007, ed: Springer-Verlag, 2007, pp. 789-798.
- [23] D. Karaboga ve B. Akay, "Effect of Region Scaling on the Initialization of Particle Swarm Optimization Differential Evolution and Artificial Bee Colony Algorithms on Multimodal High Dimensional Problems," **International Conference on Multivariate Statistical Modelling and High Dimensional Data Mining**, Kayseri, TURKEY 2008.
- [24] D. Karaboga ve B. Akay, "Solving Large Scale Numerical Problems Using Artificial Bee Colony Algorithm," **6th International Symposium on Intelligent and Manufacturing Systems Features, Strategies and Innovation**, Sakarya, Türkiye 2008.
- [25] D. Karaboga ve B. Akay, "Modified Artificial Bee Colony Algorithm for Real-Parameter Optimization," **Information Sciences**, 2010.
- [26] D. Karaboga ve B. Akay, "PID Controller Design by using Artificial Bee Colony, Harmony Search and The Bees Algorithms," in **In Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part I**, ed: Journal of Systems and Control Engineering, 2010.
- [27] D. Karaboga ve C. Ozturk, "Neural Networks Training by Artificial Bee Colony Algorithm on Pattern Classification," **Neural Network World**, Cilt 19, No 3, 279--292, 2009.
- [28] D. Karaboga, B. A. Basturk, ve C. Ozturk, "Artificial Bee Colony (ABC) Optimization Algorithm for Training Feed-Forward Neural Networks," **LNCS**, Cilt 4617, 318-329, 2007.
- [29] C. Ozturk ve D. Karaboga, "Classification by Neural Networks and Clustering with Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm," **6th International Symposium on Intelligent and Manufacturing Systems Features, Strategies and Innovation**, Sakarya, TURKEY 2008.
- [30] C. Ozturk ve D. Karaboga, "Sınıflandırma Problemleri için Yapay Sinir Ağlarının Yapay Arı Koloni Algoritması (ABC) ile Eğitilmesi," **BUMAT 2008**, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Türkiye 2008.
- [31] C. Ozturk ve D. Karaboga, "Artificial Bee Colony Algorithm trained Neural Networks for Time-Series Prediction Problem," **International Symposium on INovations in Intelligent Systems and Applications**, Trabzon, TURKEY, 286--291, 2009.
- [32] D. Karaboga ve C. Ozturk, "A novel clustering approach: Artificial Bee Colony (ABC) algorithm," **Applied Soft Computing**, Cilt 11(1), 652-657, 2011.
- [33] D. Karaboga ve C. Ozturk, "Fuzzy Clustering with Artificial Bee Colony Algorithm," **Scientific Research and Essays**, 2010.
- [34] T. Kurban ve E. Besdok, "A comparison of RBF neural network training algorithms for inertial sensor based terrain classification," **Sensors**, Cilt 9, 6312-6329, 2009.
- [35] C. Zhang, D. Ouyang, ve J. Ning, "An artificial bee colony approach for clustering," **Expert Systems with Applications**, Cilt 37, No 7, 4761-4767, 2010.
- [36] Y. Marinakis, M. Marinaki, ve N. Matsatsinis, "A hybrid discrete Artificial Bee Colony - GRASP algorithm for clustering," **International Conference on Computers and Industrial Engineering**, 548-553, 2009.
- [37] A. Singh, "An artificial bee colony algorithm for the leaf-constrained minimum spanning tree problem," **Applied Soft Computing**, Cilt 9, No 2, 625-631, 2009.
- [38] S. Sundar ve A. Singh, "A swarm intelligence approach to the quadratic minimum spanning tree problem," **Information Sciences**, Cilt 180, No 17, 3182-3191, 2010.

- [39] L. Fenglei, D. Haijun, ve F. Xing, "The parameter improvement of Bee Colony Algorithm in TSP problem," **Science Paper Online**, 2007.
- [40] N. Karaboga, "A new design method based on artificial bee colony algorithm for digital IIR filters," **Journal of The Franklin Institute**, Cilt 346, No 4, 328--348, 2009.
- [41] E. Bendes ve C. Ozkan, "Direk Lineer Trasformasyon Yönteminde Yapay Zeka Tekniklerinin Uygulanması," **UZALCBS08**, Kayseri, TURKEY 2008.
- [42] R. S. Rao, S. V. L. Narasimham, ve M. Ramalingaraju, "Optimization of Distribution Network Configuration for Loss Reduction Using Artificial Bee Colony Algorithm," **International Journal of Electrical Power and Energy Systems Engineering**, Cilt 1, No 2, 116--122, 2008.
- [43] A. Baykasoglu, L. Ozbakir, ve P. Tapkan, "Artificial Bee Colony Algorithm and Its Application to Generalized Assignment Problem," in **Swarm Intelligence Focus on Ant and Particle Swarm Optimization**, F. T. S. Chan and M. K. Tiwari, Eds., ed Vienna, Austria: I-Tech Education and Publishing, 2007, pp. 133-144.
- [44] B. Akay ve D. Karaboga, "Artificial Bee Colony Algorithm for Large-Scale Problems and Engineering Design Optimization," **Journal of Intelligent Manufacturing**, 2010.
- [45] F. Kang, J. Li, ve Q. X., "Structural inverse analysis by hybrid simplex artificial bee colony algorithms," **Computers and Structures**, 2010.
- [46] P. J. Pawar, R. V. Rao, ve R. Shankar, "Multi-Objective Optimization of Electro-Chemical Machining Process Parameters Using Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm," **Advances in Mechanical Engineering (AME-2008)**, Surat, India 2008.
- [47] P. J. Pawar, R. V. Rao, ve J. P. Davim, "Optimization of Process Parameters of Abrasive Flow Machining Process Using Artificial Bee Colony Algorithm," **Advances in Mechanical Engineering (AME-2008)**, Surat, India 2008.
- [48] P. J. Pawar, R. V. Rao, ve J. P. Davim, "Optimization of process parameters of milling process using Particle Swarm Optimization and Artificial Bee Colony algorithm," **Advances in Mechanical Engineering (AME-2008)**, Surat, India 2008.
- [49] S. Hemamalini ve S. P. Simon, "Economic Load Dispatch with Valve-Point Effect Using Artificial Bee Colony Algorithm," **XXXII National Systems Conference**, India 2008.
- [50] S. N. Omkar, J. Senthilnath, R. Khandelwal, G. N. Naik, ve S. Gopalakrishnan, "Artificial Bee Colony (ABC) for multi-objective design optimization of composite structures," **Applied Soft Computing**, 2010.
- [51] Q. Pan, M. F. Tasgetiren, P. N. Suganthan, ve T. J. Chua, "A discrete artificial bee colony algorithm for the lot-streaming flow shop scheduling problem," **Information Sciences**, 2010.
- [52] F. Kang, J. Li, ve Q. Xu, "Structural inverse analysis by hybrid simplex artificial bee colony algorithms," **Computers and Structures**, Cilt 87, No 13-14, 861-870, 2010.
- [53] C. Xu ve X. Duan, "Artificial bee colony (ABC) optimized edge potential function (EPF) approach to target recognition for low-altitude aircraft," **Pattern Recognition Letters**, 2009.
- [54] S. L. Sabat, S. K. Udgata, ve A. Abraham, "Artificial bee colony algorithm for small signal model parameter extraction of MESFET," **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, Cilt 23, No 5, 689-694, 2010.
- [55] C. Xu, H. Duan, ve F. Liu, "Chaotic artificial bee colony approach to Uninhabited Combat Air Vehicle (UCAV) path planning," **Aerospace Science and Technology**, 2010.
- [56] B. Alatas, "Chaotic bee colony algorithms for global numerical optimization," **Computers and Structures**, Cilt 37, No 8, 5682-5687, 2010.
- [57] E. Hetmaniok, D. Slota, ve A. Zielonka, "Solution of the Inverse Heat Conduction Problem by Using the ABC Algorithm," in **Rough Sets and Current Trends in Computing**, ed: Springer, 2010.
- [58] H. Zhao, Z. Pei, J. Jiang, R. Guan, C. Wang, ve X. Shi, "A Hybrid Swarm Intelligent Method Based on Genetic Algorithm and Artificial Bee Colony," in *Advances in Swarm Intelligence*, 2010.

- [59] A. M. Bernardino, E. M. Bernardino, J. M. Sanchez-Perez, J. A. Gomez-Pulido, ve M. A. Vega-Rodriguez, "Efficient Load Balancing for a Resilient Packet Ring Using Artificial Bee Colony," in *Applications of Evolutionary Computation*, 2010.
- [60] S. K. Udgata, S. L. Sabat, ve S. Mini, "Sensor deployment in irregular terrain using artificial bee colony algorithm," in *In Proceedings of World Congress on Nature and Biologically Inspired Computing (NABIC09)*, 2009, pp. 1309-1314.
- [61] D. Karaboga, S. Okdem, ve C. Ozturk, "Cluster Based Wireless Sensor Network Routings using Artificial Bee Colony Algorithm," **International Conference on Autonomous and Intelligent Systems**, Portugal 2010.
- [62] C. Ozturk, D. Karaboga, ve B. Gorkemli, "Artificial Bee Colony Algorithm for Dynamic Deployment of Wireless Sensor Networks," in *Proceedings of International Symposium on INovations in Intelligent Systems and Applications*, Kayseri, TURKEY, 2010, pp. 564-569.
- [63] S. Pulikanti ve A. Singh, "An Artificial Bee Colony Algorithm for the Quadratic Knapsack Problem," in *Neural Information Processing*.
- [64] B. Akay ve D. Karaboga, "Solving Integer Programming Problems by Using Artificial Bee Colony Algorithm," in *AI*IA 2009: Emergent Perspectives in Artificial Intelligence*, 2009.
- [65] B. Akay ve D. Karaboga, "Parameter Tuning for the Artificial Bee Colony Algorithm," in *Computational Collective Intelligence. Semantic Web, Social Networks and Multiagent Systems*, 2009.
- [66] H. B. Duan, C. F. Xu, ve Z. H. Xing, "A Hybrid Artificial Bee Colony optimization and Quantum Evolutionary Algorithm for Continuous Optimization Problems," in *Advances in Computational Intelligence*, 2009.
- [67] H. Narasimhan, "Parallel artificial bee colony (PABC) algorithm," in *Proceedings of World Congress on Nature and Biologically Inspired Computing (NaBIC09)*, 2009, pp. 306-311.
- [68] H. A. A. Bahamish, R. Abdullah, ve R. A. Salam, "Protein Tertiary Structure Prediction Using Artificial Bee Colony Algorithm," in *Proceedings of Third Asia International Conference on Modelling and Simulation*, 2009, pp. 258-263.
- [69] C. Chidambaram ve H. S. Lopes, "A new approach for template matching in digital images using an Artificial Bee Colony Algorithm," in *Proceedings of World Congress on Nature and Biologically Inspired Computing (NaBIC09)*, 2009, pp. 146-151.
- [70] F. S. Abu-Mouti ve M. E. El-Hawary, "Modified artificial bee colony algorithm for optimal distributed generation sizing and allocation in distribution systems," in *Proceedings of Electrical Power and Energy Conference (EPEC)*, Montreal, CANADA, 2009, pp. 435-444.