

## Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Alan Kapsama için Dinamik Düğüm Dağıtımı ile Yeni bir Meta-sezgisel Yaklaşım

\*<sup>1</sup>Recep ÖZDAĞ

\*<sup>1</sup>Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Türkiye

### Abstract

The efficient dynamic deployment of sensor nodes in the distributed network develops the performance of the network by increasing the coverage rate of Wireless Sensor Networks (WSNs) in a significant amount. The distribution of sensor nodes in the area of interest provides convenience for the beginning distribution of these nodes, but when evaluating in terms of the coverage of the network, it causes a serious disadvantage in the performance of the network. While some targets in the area are covered intensively by randomly distributed nodes, other targets may not be covered. For this reason; dynamic deployment of nodes should be made as efficient for the optimum coverage of the network. In this study, making efficient dynamic deployment of sensor nodes has been aimed by improving Maximum Area Detection Algorithm based on Electromagnetism-Like (EM) algorithm (MADA-EM) which is meta-heuristic. For this purpose; the performance of the proposed algorithm has been measured by comparing the coverage rate obtained by MADA-EM in the area of interest with OSDA-EM. Simulation results have shown that; in dynamic deployment, made according to binary detection model, MADA-EM could be preferred by optimizing WSNs both for the coverage rate of the area of interest and the number of nodes which are distributed.

**Key words:** Wireless sensor network, dynamic deployment, electromagnetism-like algorithm, binary detection model

### Özet

Dağıtık ağdaki algılayıcı düğümlerin etkin olarak dinamik dağıtımlarının yapılması Kablosuz Algılayıcı Ağ (KAA)'ların kapsama oranında önemli bir artış sağlayarak ağın performansını geliştirir. İlgili alandaki algılayıcı düğümlerin rastgele bir şekilde dağıtılması bu düğümlerin başlangıç dağıtımları açısından büyük kolaylık sağlar, fakat ağın kapsanması açısından değerlendirildiğinde ağın performansında ciddi bir dezavantaj sağlar. Çünkü rastgele dağıtılan düğümler ile alandaki bazı hedefler yoğun olarak kapsanırken, diğer hedefler ise hiç kapsanmayabilir. Bu sebeple; ağın optimum şekilde kapsanabilmesi için düğümlerin dinamik dağıtımlarının etkin olarak yapılması gerekir. Bu çalışmada, meta-sezgisel olan Elektromagnetizma – Benzer (EM) algoritmasını esas alan Maksimum Alan Tarama Algoritması (Maximum Area Detection Algorithm based on EM – MADA-EM) geliştirilerek algılayıcı düğümlerin etkin olarak dinamik dağıtımlarının yapılması amaçlanmıştır. Bu amaçla; MADA-EM ile ulaşılan ilgili alanın kapsama oranı literatürdeki OSDA-EM ile karşılaştırılarak önerilen algoritmanın performansı ölçülmüştür. Simülasyon sonuçları; hem ilgili alanın kapsama oranı hem de dağıtılan düğüm sayısı açısından ikili tarama modeline göre yapılan dinamik dağıtımlarda MADA-EM'in KAA'ları optimize ederek tercih edilebileceğini göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kablosuz algılayıcı ağ, dinamik dağıtım, elektromagnetizma-benzer algoritması, ikili tarama modeli

## 1. Giriş

Kablosuz Algılayıcı Ağ; ortam izlenmesi, nesnelerin takip edilmesi gibi çeşitli askeri ve sivil uygulamaların gerçekleştirilmesi amacı ile küçük, düşük maliyetli ve pille çalışabilen algılayıcı düğümlerden oluşan dağıtık bir sistemdir [1]. Çalıştırıldığı uygulamaya bağlı olarak bu algılayıcı düğümler algılama, hesaplama ve iletişim görevlerinden sorumludur. Algılayıcı ağları kullanımının önemli amaçları arasında; etkin olarak çevrenin izlenmesi, nesnelerin tespiti ve konumlanması, hedef noktaların sınıflandırılması sayılabilir. Etkin olarak bir KAA'nın oluşturulması algılayıcı düğümlerin optimum olarak dinamik dağıtımlarının yapılarak ilgili alanın optimum derecede kapsanması ile belirlenir. Bu sebeple algılayıcı düğümlerin dağıtım sonrasındaki mevcut konumları; alanın kapsama oranını, iletişim maliyetini ve kaynak yönetimini doğrudan etkiler [2].

KAA'lardaki kapsama problemleri literatürde alan kapsama (area coverage) veya hedef kapsama (target coverage) olarak incelenmektedir [3]. Alan kapsama; ilgili alanın düğümler tarafından tümüyle kapsanması amacı ile yapılırken, hedef kapsama ise; alanda belirlenen bazı hedef noktaların kapsanması amacı için yapılır. Dolayısıyla, her iki kapsama türünde amaç; ilgili alanın kapsanmasını optimize edebilmektir.

KAA'larda kapsama problemi birçok faktöre bağlıdır [4]. Bunlar; ağ topolojisi, algılayıcının algılama modeli ve en önemlilerinden biri olan algılayıcı dağıtım stratejisidir. Bu makalenin de konusu olan algılayıcı dağıtım stratejisi incelendiğinde, algılayıcıların dağıtımını iki farklı yöntem ile yapılabilmektedir. İlk yöntem; düğüm konumlarının daha önceden tanımlanan tasarıma göre belirlenen alan içerisinde deterministik olarak dağıtılmasıdır. Diğer yöntem ise, algılayıcı düğümlerin alan içerisinde rastgele bir şekilde olarak dağıtılmasıdır. Ağdaki düğüm sayısının çok fazla olması durumunda rastgele dağıtım [5] tercih edilerek düğümlerin yerleşimi sağlanabilir. Düşman ve erişilmesi zor olan ortamlarda rastgele dağıtım ile düğümlerin dağıtılması deterministik dağıtıma göre büyük oranda kolaylık sağlar. Fakat rastgele dağıtım düğümlerin çakışmasına (overlap) neden olacağı için alanın etkin bir şekilde kapsanmasını garanti etmez. Dolayısıyla, ilgili alanda hem etkin bir kapsama ulaşılması hem de ağın enerji tüketiminin optimize edilmesi gibi önemli faktörler göz önüne alındığında deterministik dağıtım [6] tercih edilmektedir.

KAA'ları oluşturan düğümler statik ve mobil olmak üzere iki farklı türde karakteristik olarak sınıflandırılarak ağın topolojisi belirlenir. Statik düğüm; başlangıç dağıtım sonrasında konumu değişmeyen ve dağıtıldığı yerde sabit olarak konumlanan düğümdür. Mobil düğüm ise, etkin bir dinamik dağıtıma ulaşmak amacı ile deterministik dağıtımda kullanılan ve sürekli olarak konumunu değiştirebilen düğümdür. Dolayısıyla, ilgili alanın kapsanmasını ve ağın yaşam süresini optimize etmek amacı ile mobil düğümlerin dinamik dağıtımını yapılarak etkin bir topoloji oluşturulabilir [4].

Algılayıcı düğümler ilgili alanda ikili tarama modeli (binary detection model) ve olasılıksal tarama modeli (probabilistic detection model)'ni esas alarak algılama işlevini gerçekleştirirler. İkili tarama modeli algılayıcı alanda arazi tipi ve gürültü gibi çevresel etkenlerden dolayı belirsizliğin olmadığı, olasılıksal tarama modeli ise belirsizliğin olduğu varsayımı üzerine çalışır. İkili tarama modeli ile her bir hedef noktasının (Grid) kapsanıp-kapsanmadığı tespit edilirken, olasılıksal tarama modelinde ise Grid'lerin belirli bir olasılık değerine göre kapsama durumları tespit edilir [7].

İlgili alanın kapsanma oranını optimize etmek amacı ile literatürde çeşitli algoritmalar çalışılmıştır. Meta-sezgisel olan Yapay Arı Kolonisi (Artificial Bee Colony) algoritması [8] ve Parçacık Sürü Optimizasyonu (Particle Swarm Optimization) [9] ile düğümlerin dinamik dağıtımları yapılarak optimum kapsama alanına ulaşılmaya çalışılmıştır. Sanal Kuvvet (Virtual Force) [2] algoritması tarafından alanın hem ikili hem de olasılıksal tarama modellerine göre mobil ve statik düğümler ile kapsanması sağlanarak algılama modellerinin kapsama oranına olan etkisi incelenmiştir. Ayrıca, baz istasyonunda çalışan ve kapsama alanını maksimize eden çok amaçlı genetik algoritma [10] kullanılarak mobil düğümlerin dinamik dağıtımları yapılmıştır.

Bu çalışmadaki amaç; sadece mobil düğümler kullanılarak ikili tarama modeli ile yapılacak olan dinamik dağıtımda alanın optimum olarak kapsanmasını sağlamaktır. Bu amaçla meta-sezgisel olan EM algoritması esas alınarak geliştirilen MADA-EM mobil düğümlerin optimum konumlarının tespiti için KAA'lara uygulanmıştır.

Bu çalışmada, Bölüm 2'de dinamik dağıtım problemi tanımlanmış, Bölüm 3'de ise bu problem için geliştirilen MADA-EM ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Bölüm 4'de yapılan simülasyonlar ile deneysel sonuçlar tespit edilmiş ve ulaşılan nihai sonuçlar Bölüm 5'de sunulmuştur.

## 2. Problem Tanımı

KAA'larda kapsama problemi; dağıtılan düğümlerin ilgili alanı hangi oranda kapsayabildiğinin bir ölçütü olarak tanımlanır. Bu çalışmada, ağın kapsanma probleminin çözümü için ikili tarama modeli ile mobil düğümlerin dinamik dağıtımları yapılarak alandaki tüm Grid'lerin kapsanma durumu (KD)'nin tespiti edilmesi gerekir.

### *Tanım 1: İkili Tarama Modeli ile Kapsama*

İlgili alandaki her bir  $s^i$  algılayıcısının  $(x^i, y^i)$  Grid'ine konumlandığı varsayılarak her bir  $(x, y)$  koordinatındaki  $P$  noktası ile  $s^i$  düğümü arasındaki Öklid (Euclidean) mesafesi  $d(s^i, P) = \sqrt{(x^i - x)^2 + (y^i - y)^2}$  [11] eşitliği ile hesaplanır.  $P$  Grid'inin KD'si Denklem (1)'deki İkili Tarama Modeline göre belirlenir.

$$KD_P(s^i) = \begin{cases} 1, & \text{eğer } d(s^i, P) \leq r \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (1)$$

Verilen denklemde eğer alandaki her bir  $P$  noktası  $s^i$  algılayıcı düğümün  $r$  algılama yarıçapı içinde ise, bu noktanın %100 kapsandığı, aksi halde ise kapsanmadığı ikili değerler olan 1 ve 0 rakamları ile belirlenerek tüm alanın KD'si tespit edilir.

### 3. Önerilen Yaklaşım

Bu çalışmada, ağın kapsanma oranını optimize etmek için meta-sezgisel olan EM algoritması esas alınarak alandaki mobil düğümlerin dinamik dağıtımları yapılmıştır. Geliştirilen MADA-EM ile önerilen yaklaşımdaki amaç; en az sayıda düğüm ile ağın kapsanma oranını maksimum yaparak algılayıcıların hem optimum bir şekilde ağda konumlanmasını sağlamak hem de ağın enerji tüketimini minimize etmektir. Bu bölümde orijinal EM algoritması kısaca izah edilerek önerilen yaklaşım açıklanacaktır.

#### 3.1. EM Algoritması

Çözüm uzayındaki elektromanyetik alanda yüklü parçacıkların aralarındaki itme ve çekme mekanizmasını esas alarak Birbil ve Fang [12] tarafından geliştirilen, meta-sezgisel [13-14] ve popülasyon tabanlı global bir optimizasyon algoritmasıdır. Sınırlı değişkenler ile doğrusal olmayan gerçek değerli problemlerin optimize edilmesi yönünde bir amacı olmasına rağmen sayısal değerli problemler ile daha iyi çalışmaktadır [15].

Çözüm uzayında örnek noktalar kümesi üzerinde çalışan her bir parçacık için uygunluk fonksiyon (fitness function) değeri hesaplanarak öncelikle bu parçacıkların yük değerleri belirlenir [16]. Her parçacığın yük değeri onun diğer parçacıklara uygulayacağı itme ve çekme kuvvetinin büyüklüğünü belirler [17]. Her bir parçacığa diğer parçacıklar tarafından uygulanan kuvvetlerin bileşkesi alınarak oluşan kuvvet yönünde parçacığın hareket etmesi sağlanır [18]. Böylece çözüm uzayında parçacıkların konumları güncellenerek optimum çözüme doğru yaklaşırlar.

Algılayıcı düğümlerin ilgili alandaki rastgele dağıtımları ilgili alanın üst ve alt sınır aralığında olmak şartıyla Denklem (2)'ye göre yapılır.

$$R = \{x \in \mathcal{R}^n \mid l_j \leq x_j \leq u_j : l_j, u_j \in \mathcal{R}, j = 1, 2, \dots, n\} \quad (2)$$

Verilen denklemde;  $f(x)$  optimize edilecek uygunluk fonksiyonunu,  $n$  ilgili alanı temsil eden çözüm uzayının boyutunu,  $l_j$  ve  $u_j$  çözüm uzayının alt ve üst sınırını,  $x_j$  ise dağıtılan düğümün alandaki konumunu temsil eder.

#### 3.2. Maksimum Alan Tarama Algoritması

Geliştirilen algoritmada öncelikle düğümlerin dağıtımları rastgele olarak yapılarak alandaki başlangıç konumları belirlenir. Sonrasında ise, düğümlerin alanda etkin bir kapsama alanı oluşturması için ikili tarama modeli esas alınarak düğümlerin dinamik dağıtımları yapılır. Orijinal EM ile düğümlerin konum güncellemesi yapılarak her düğümün taradığı Grid'ler tespit edilir ve düğümlerin  $f(x)$ 'i hesaplanır. Bu süreçte her mobil düğümün diğer düğümler ile bağlanabilirliği (connectivity) *Algoritma 1* ile sağlanarak düğümler arası haberleşmenin sürdürülebilmesi amaçlanır. Çünkü çok atlamalı (multi-hop) ağlayıcı topolojilerinde; düğümler kendi aralarında oluşturdukları kablosuz bir ortam bağlantısı sayesinde iletişim kurabilirler. Bu nedenle; algılanan

verinin merkez (baz) istasyonuna iletilmesi için düğümün kendisine en yakın düğüm ile haberleşmesi sağlanır [12].

MADA-EM ile yapılan dinamik dağıtım sonrasında alandaki tüm Grid'ler için KD'ler belirlenir ve *Algoritma 1* ile ilgili alan için kapsam matrisi ( $M_{KD}$ ) oluşturularak düğümlerin  $f(x)$  hesaplamasında kullanılır.

---

**Algoritma 1:** Alan için  $M_{KD}$  oluşturulması

---

```

l ← Çözüm uzayının alt sınır koordinat değerleri
u ← Çözüm uzayının üst sınır koordinat değerleri
r ← Düğüm algılama yarıçapı
m ← Mobil düğüm sayısı
fxi ← 0
toplamGridSayısı ← (l(x) + l(y) + 1) × (u(x) + u(y) + 1)

1: for ykord = l(y) to u(y)
2:   for xkord = l(x) to u(x)
3:     P ← [xkord, ykord]
4:     for i = 1 to m
5:       for j = 1 to m
6:         eğer i ≠ j
7:           MKD[xkord, ykord] ← { 1, eğer(d(si, P) ≤ r VE d(si, sj) ≤ 2r)
                                { 0, aksi halde
8:         end
9:       end
10:      eğer MKD[xkord, ykord] = 1
11:        fxi ← fxi + 1
12:      end
13:    end
14:  end
15: end

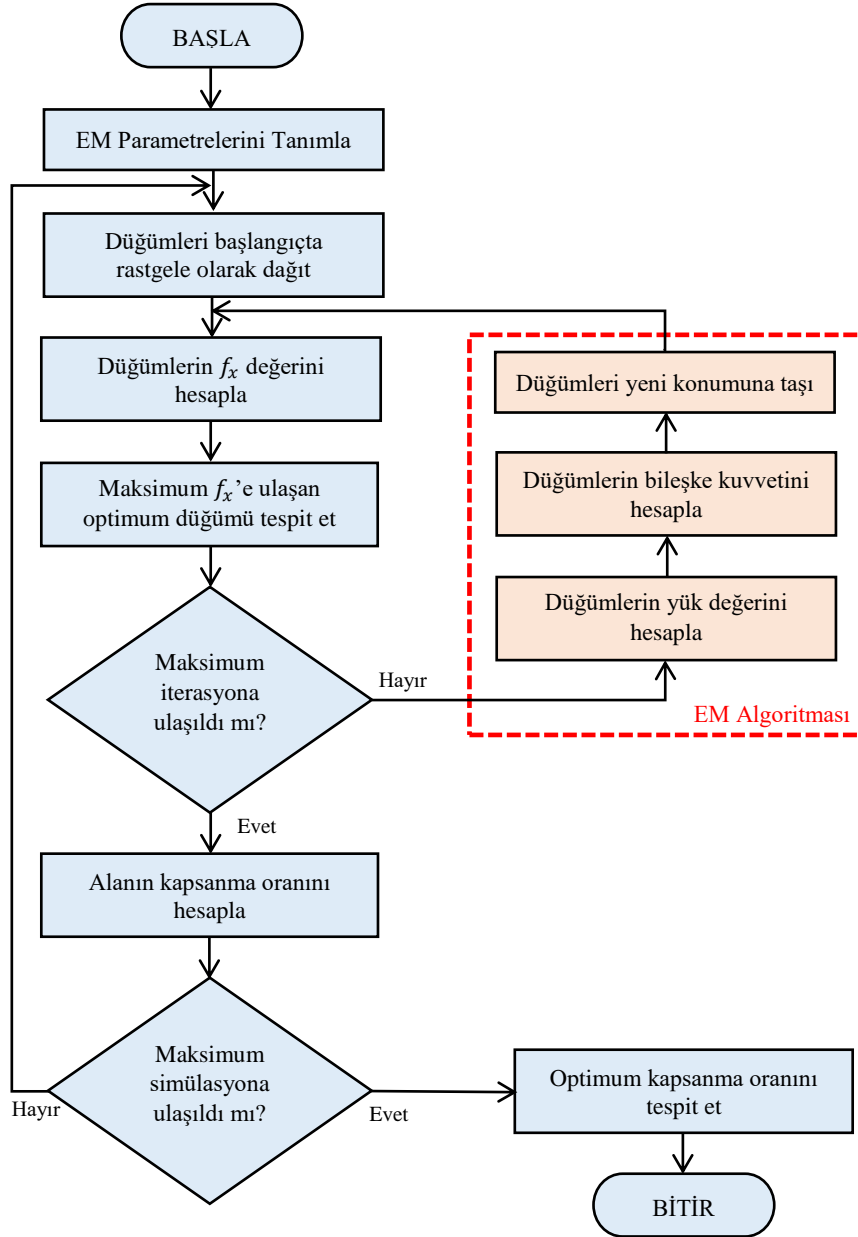
```

---

MADA-EM ile yapılan simülasyonların her bir iterasyonunda  $f(x)$  değeri maksimum olan  $s^i$  düğümü optimum algılayıcı olarak belirlenir ve bundan sonraki iterasyonlarda statik düğüm olarak tanımlanır. Dinamik dağıtımlarda statik olarak belirlenen düğümün konum güncellemesi yapılmadığı için [18]; bu çalışmada optimum olarak belirlenen statik düğümlerin kapsadığı maksimum Grid sayıları simülasyon boyunca korunmuş olur. Şekil 1'de akış diyagramı gösterilen MADA-EM ile iki farklı durum temel alınarak düğümlerin kapsadığı Grid'lere göre  $f(x)$  hesaplaması yapılır.

- Birinci durum; eğer Grid sadece bir tek düğüm tarafından kapsanıyor ise, sadece o düğümün  $f(x)$  güncellemesi yapılır.
- İkinci durum; eğer Grid birden fazla düğüm tarafından kapsanarak düğümlerin çakışma alanı içerisinde bulunuyor ise, bu Grid'i kapsayan düğümlerin optimum algılayıcı olma durumlarına göre;

- Eğer bu Grid'i kapsayan düğümlerin tümü önceden optimum algılayıcı olarak belirlenmemiş ise, bu düğümlerin tümünün  $f(x)$  güncellemesi yapılır.
- Eğer bu Grid'i kapsayan düğümlerden herhangi biri önceden optimum algılayıcı olarak belirlenmiş ise, bu düğümlerden hiç birinin  $f(x)$  güncellemesi yapılmaz.



Şekil 1. MADA-EM akış diyagramı

Alandaki tüm Grid'ler en az bir düğüm tarafından kapsanıncaya kadar iterasyonlar yapılarak [17] optimum olarak belirlenemeyen düğümler için maksimum  $f_x$  değerine ulaşılmaya çalışılır. Bu

süreçte herhangi bir düğümün optimum olarak tespit edilmesi maksimum sayıda Grid'lerin kapsanmasını sağlayarak ağın kapsanma oranını artırıcı bir etki oluşturur.

Çalıştırılan her bir simülasyonda MADA-EM tarafından optimum konuma yerleştirilerek dinamik olarak dağıtılan düğümlerin kapsadığı Grid'ler esas alınarak ikili tarama modeline göre alanın toplam kapsanma oranı ( $TKO_{ikili}$ ) Denklem (3) ile hesaplanır.

$$TKO_{ikili} = \sum M_{KD} / toplamGridSayısı \quad (3)$$

#### 4. Deneysel Bulgular ve Tartışma

MADA-EM'in simülasyonları MATLAB R2014a programı ile yapılarak geliştirilen algoritmanın düğümlerin dinamik dağıtımındaki performansı ölçülmüştür. Ayrıca, MADA-EM ile elde edilen deneysel bulgular meta-sezgisel olan ve [11, 18]'de geliştirilen OSDA-EM ile karşılaştırılarak önerilen algoritmanın etkinliği değerlendirilmiştir.

Bu çalışmada, karşılaştırılan her iki algorithmada ortak olarak tanımlanan ve Tablo 1'de gösterilen parametreler kullanılarak, düğümlerin dinamik dağıtımını engelleyen herhangi bir fiziksel engelin olmadığı ve 10 m<sup>2</sup>'den oluşan bir algılayıcı alan kullanılmıştır. Başlangıçta ilgili alanda rastgele olarak dağıtılan ve sonrasında dinamik dağıtım yapılan 10 ile 100 aralığında değişen sayıdaki mobil düğümler kullanılarak toplam 5 bağımsız simülasyon (Monte Carlo) ile algoritmaların karşılaştırılması yapılmıştır

**Tablo 1.** Algoritmaların ortak simülasyon parametreleri

Parametre Adı	Tanımlanan değer veya aralık
Alanın boyutu	100 × 100 (en, boy) metre (Toplam 10 m <sup>2</sup> )
Taranacak Toplam Grid Sayısı	10201 adet
Grid'ler arası mesafe	1 metre
Mobil düğüm sayısı	10 - 100 adet
Düğüm algılama yarıçapı	7 metre
Simülasyon sayısı	5 Monte Carlo

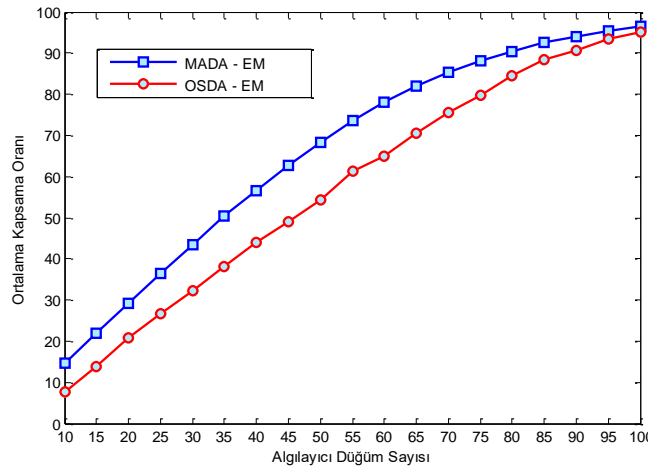
OSDA-EM [11] için yapılan simülasyonlarda; optimum üst sınır (*OPT-UPPERBOUND-DIST*), optimum alt sınır (*OPT-LOWERBOUND-DIST*) ve maksimum yakınsama mesafesi (*MAX-CONVERGENCE-DIST*) parametreleri sırasıyla  $\sqrt{3.5}r$ ,  $\sqrt{3}r$  ve  $\sqrt{1.3}r$  olarak tanımlanmıştır. Tablo 2'de karşılaştırılan algoritmaların simülasyon sonuçları ile dağıtılan düğüm sayısının alanın kapsanma oranına olan etkisi incelenmiştir. Ayrıca, hesaplanan kapsanma oranlarının standart sapma değeri ile her bir simülasyondaki kapsanma oranlarının ortalama kapsama oranına olan yakınlığı ölçülmüştür. Bu sonuçlara göre MADA-EM ile yapılan simülasyonlardaki standart sapmanın diğerine göre daha düşük olması; hesaplanan kapsanma oranlarının birbirlerine daha yakın olduğunun ve bundan ötürü önerilen algoritma ile alanın daha istikrarlı bir şekilde kapsandığının bir göstergesidir.

**Tablo 2.** Düğüm sayısına göre ilgili alanın kapsanma oranları ve standart sapması

Düğüm Sayısı	OSDA-EM		MADA-EM	
	Ortalama Kapsama Oranı (%)	Standart Sapma	Ortalama Kapsama Oranı (%)	Standart Sapma
10	7.79	1.0605	<b>14.60</b>	<b>0.00</b>
15	13.72	1.9411	<b>21.90</b>	<b>0.00</b>
20	20.71	1.4098	<b>29.21</b>	<b>0.0044</b>
40	44.05	1.7251	<b>56.69</b>	<b>0.2220</b>
60	64.97	0.7126	<b>78.21</b>	<b>0.3232</b>
80	84.49	2.0911	<b>90.25</b>	<b>0.5937</b>
100	95.08	0.3113	<b>96.46</b>	<b>0.2020</b>

Tablo 2’deki sonuçlardan elde edilen Şekil 2’deki değişim grafiğine göre; aynı sayıda dağıtılan düğümler esas alındığında, MADA-EM ile ulaşılan ortalama kapsanma oranının OSDA-EM’ye göre optimum olduğu ve algılayıcı düğüm sayısını artırdıkça her iki algoritmada ulaşılan kapsanma oranlarında doğru orantılı bir artış olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, MADA-EM ile 10 ve 15 adet düğüm dağıtıldığında standart sapmanın 0 olduğu ve böylece dağıtılan bu düğümler ile ilgili alanın tüm bağımsız simülasyonlarda sırasıyla %14.6 ve %21.9 olan aynı kapsanma oranları ile kapsandığı belirlenmiştir. Dolayısıyla, MADA-EM ile 10 ve 15 adet düğüm dağıtıldığında bu algılayıcıların çakışmadan alandaki maksimum sayıda Grid’i kapsadığı söylenebilir.

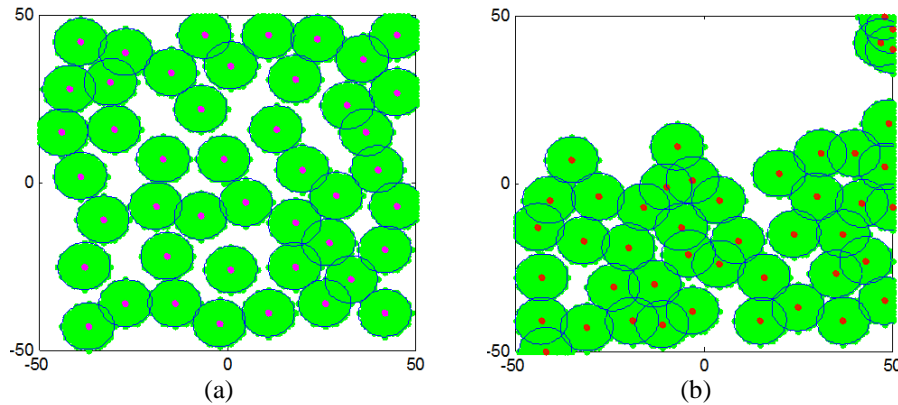
MADA-EM ile daha az sayıda düğüm kullanılarak OSDA-EM ile aynı kapsanma oranlarına ulaşıldığı tespit edilmiştir (Şekil 2). Mesela; MADA-EM ile sırasıyla 10 ve 15 adet düğüm dağıtıldığında ulaşılan kapsanma oranları OSDA-EM’in sırasıyla 15 ve 20 adet düğüm ile ulaşılan kapsanma oranlarına eşdeğerdir (Tablo 2). Sonuç olarak; MADA-EM ile yapılan simülasyonlarda optimum kapsanma oranlarına ulaşılabileceği tespit edilmiştir. Ayrıca, daha az düğüm dağıtılarak ağın enerji tüketiminin de optimize edilebileceği söylenebilir.

**Şekil 2.** Düğüm sayısına göre ağın ortalama kapsanma oranının değişimi

45 adet mobil düğümün dinamik dağıtımlarının yapılması sonucunda; MADA-EM ile %63.24, OSDA-EM ile %50.63 olan en iyi kapsama oranlarına ulaşılarak bu düğümlerin ilgili alandaki yerleşimleri Şekil 3’de gösterilmiştir. Dolayısıyla, MADA-EM ile yapılan dinamik dağıtımın



OSDA-EM'ye göre optimum olduğu hem kapsama oranlarından hem de düğümlerin yerleşiminden tespit edilmiştir.



Şekil 3. (a) MADA-EM ve (b) OSDA-EM ile 45 düğümün dinamik dağıtımı sonrası yerleşimi

Geliştirilen MADA-EM ile etkin bir dinamik dağıtım yapılabildiğinin ispatı için; iterasyon sayısına göre 100 adet mobil düğümün dinamik dağıtım yapılarak ulaşılan sonuçlar Tablo 3'de karşılaştırılmıştır. Bu sonuçlara göre; hem ilgili alanda ulaşılan ortalama kapsama oranı hem de kapsama oranlarının standart sapması açısından MADA-EM'in optimum olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 3. İterasyon sayısına göre ilgili alanın kapsama oranları ve standart sapması

İterasyon sayısı	MADA-EM		OSDA-EM	
	Ortalama Kapsama Oranı (%)	Standart Sapma	Ortalama Kapsama Oranı (%)	Standart Sapma
50	<b>80.1000</b>	<b>1.5719</b>	79.8275	6.8820
100	<b>91.1450</b>	<b>0.5656</b>	87.6973	3.9029
500	<b>95.4122</b>	<b>0.6213</b>	93.9829	0.7808
1000	<b>96.3102</b>	<b>0.5841</b>	94.7397	0.5903

## Sonuçlar

Yapılan çalışmada, KAA'ların dinamik dağıtımına optimum çözüm bulmak amacı ile alandaki maksimum sayıda Grid'in kapsanmasını esas alarak geliştirilen MADA-EM'in performansı literatürdeki OSDA-EM ile karşılaştırılmıştır. Simülasyon sonuçlarına göre; hem 10 ile 100 aralığında mobil düğüm kullanıldığında hem de 50 ile 1000 aralığında iterasyon yapıldığında ikili tarama modeline göre MADA-EM ile hesaplanan ağın ortalama kapsama oranının ve standart sapmasının OSDA-EM'ye göre daima optimum olduğu tespit edilmiştir. MADA-EM ile hesaplanan standart sapmanın OSDA-EM'ye göre optimum olması; geliştirilen algoritma tarafından ağın daha istikrarlı bir şekilde kapsandığı anlamına gelir. Ayrıca, MADA-EM ile daha az sayıda düğüm kullanılarak OSDA-EM ile aynı oranda alanı kapsaması; geliştirilen algoritmanın ağın enerji tüketimini de optimize edebileceğinin bir göstergesidir. Sonuç olarak; MADA-EM ilgili alanın kapsanmasını optimize ettiği için KAA'ların dinamik dağıtımlarında önerilmiştir. Gelecekteki çalışmalarda önerilen bu algoritmanın olasılıksal tarama modeline de uygulanması planlanmaktadır.

## Kaynaklar

- [1] Akyildiz IF, Su W, Sankarasubramaniam Y, Cayirci E. Wireless Sensor Networks: A Survey. *Comput Netw* 2002;38:393–422.
- [2] Zou Y, Chakrabarty K. Sensor Deployment and Target Localization Based on Virtual Forces. 22th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications, INFOCOM, 2003, pp. 1293–1303.
- [3] Wang B. Coverage Problems in Sensor Networks: Survey. *AcM Comput Surv* 2011;43:53p.
- [4] Banimelhem O, Mowafi M, Aljoby W. Genetic Algorithm Based Node Deployment in Hybrid Wireless Sensor Networks. *Communications and Network* 2013;5:273–279.
- [5] Rahmani N, Nematy F, Rahmani AM, Hosseinzadeh M. Node Placement for Maximum Coverage Based on Voronoi Diagram using Genetic Algorithm in Wireless Sensor Networks. *Aust. J. Basic Appl. Sci* 2011;5:3221–3232.
- [6] Dhillon SS, Chakrabarty K. Sensor Placement for Effective Coverage and Surveillance in Distributed Sensor Networks. *Wireless Communications and Networking Conference, WCNC, 2003*, pp. 1609-1614.
- [7] Özdağ R. Elektromagnetizma-Benzer Algoritması Kullanılarak Kablosuz Algılayıcı Ağların Optimizasyonunun Gerçekleştirilmesi, Doktora Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 106 sayfa, 2015, Van.
- [8] Öztürk C, Karaboğa D, Görkemli B. Artificial bee colony algorithm for dynamic deployment of wireless sensor networks. *Turk J Elec Eng & Comp Sci* 2012;20:255–262.
- [9] Kukunuru N, Thella BR, Davuluri RL. Sensor Deployment Using Particle Swarm Optimization. *Int J Eng Sci Technol* 2010;2:5395–5401.
- [10] Qu Y, Georgakopoulos S. Relocation of Wireless Sensor Network Nodes using a Genetic Algorithm. 12th Annual Wireless and Microwave Technology Conference, 2011, pp. 1–5.
- [11] Özdağ R, Karcı A. Sensor Node Deployment Based on Electromagnetism-Like Algorithm in Mobile Wireless Sensor Networks. *Int J Distrib Sens N* 2015;11:15 pages.
- [12] Birbil SI, Fang SC. An Electromagnetism-like Mechanism for Global Optimization. *J Global Optim* 2003;25:263-282.
- [13] Canayaz M, Karcı A. Cricket behaviour-based evolutionary computation technique in solving engineering optimization problems. *Appl Intell* 2016;44:362–376.
- [14] Demir M, Karcı A. Data Clustering on Breast Cancer Data Using Firefly Algorithm with Golden Ratio Method. *Adv Electr Comput En* 2015;15:75-84.
- [15] Özdağ R, Karcı A. Elektromagnetizma-Like Algoritması ile Kablosuz Algılayıcı Ağların Olasılıksal Dinamik Dağıtımları. 2nd International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science, ISITES, 2014, pp. 368–377.
- [16] Özdağ R, Karcı A. A novel routing protocol based on EM-L algorithm for energy efficiency of Wireless Sensor Networks. 23th Signal Processing and Communications Applications Conference, SIU, 2015, pp. 871–874.
- [17] Özdağ R. The Solution of the  $k$ -coverage Problem in Wireless Sensor Networks. 24th Signal Processing and Communications Applications Conference, SIU, 2016, pp. 873–876.
- [18] Özdağ R, Karcı A. Probabilistic Dynamic Distribution of Wireless Sensor Networks with Improved Distribution Method based on Electromagnetism-Like Algorithm. *Measurement* 2016;79:66-76.