



## Kablosuz algılayıcı ağlar için yeni bir dinamik baz istasyonu konumlandırma yöntemi

### A novel dynamic base station positioning method for wireless sensor networks

Kadir TOHMA<sup>1\*</sup>, Yakup KUTLU<sup>1</sup>, İpek ABASIKELEŞ TURGUT<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Bilgisayar Müh. Bölümü, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İskenderun Teknik Üniversitesi, İskenderun, Hatay, Türkiye.  
kadir.tohma@iste.edu.tr, yakup.kutlu@iste.edu.tr, ipek.abasikeles@iste.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 09.04.2016, Kabul Tarihi/Accepted: 01.07.2016  
\* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2016.00086  
Araştırma Makalesi/Research Article

#### Öz

Kablosuz algılayıcı ağlarda(KAA) düğümlerin nasıl ve ne şekilde haberleşeceklerinin yanı sıra baz istasyonu konumlandırması da ağın enerji verimli olması, ağ yaşam süresinin uzatılması ve bunlara bağlı olarak gönderilecek paket sayısının artırılmasında önemli bir etkiye sahiptir. Bu çalışmada, ağda yer alan düğümlerin konumu ile beraber enerjilerini de hesaba katan minimum hareketli yeni bir dinamik baz istasyonu konumlandırma algoritması önerilmiş ve bu algoritmanın başarımı hem K-means ve K-medoid gibi kümeleme algoritmaları üzerinde hem de HEED hiyerarşik protokolü üzerinde çeşitli KAA parametreleri kullanılarak ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. OMNeT++ ile simülasyonu yapılan çalışmanın sonucunda, dinamik baz istasyonu kullanımı sayesinde, sabit baz istasyonu konumlandırmasına göre ağ yaşam süresinde maksimumda %119.2'ye baz istasyonuna ulaşan paket sayısında ise maksimumda %262.6'ya varan performans iyileştirmeleri sağlanmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Kablosuz algılayıcı ağlar, Dinamik baz istasyonu, HEED, K-means, K-medoid

#### Abstract

The type of communication between the nodes in wireless sensor networks (WSN) as well as the placement of the base stations has an important role on obtaining energy efficiency, prolonging the network lifetime and dependently increasing the number of forwarded packages in network. This study suggests a new dynamic placement algorithm for base stations, which considers both the location and the energy level of the nodes with minimum movements. The performance of this algorithm is investigated comprehensively on different kinds of clustering algorithms such as K-means and K-medoid as well as HEED by using various WSN parameters. The simulations are conducted using OMNeT++ simulation environment and the results show that the proposed dynamic base station positioning algorithm yields better performance than stable base station positioning, which reaches up to 119.2% and 262.6% on network lifetime and the number of arrived packages to the base station, respectively.

**Keywords:** Wireless sensor networks, Dynamic base station, HEED, K-means, K-medoid

## 1 Giriş

Kablosuz algılayıcı ağlar (KAA) hesaplama, haberleşme ve algılama yeteneklerine sahip çok sayıda mikro algılayıcıdan oluşur. Algılayıcı ağlar, ortamdaki nem, sıcaklık, ses, basınç, hareketlilik ve ışık gibi değişiklikleri takip edebilen termik, sismik, görsel ve manyetik gibi birçok farklı tipte algılayıcılar içerirler ki bu da algılayıcı ağların afet kontrolü, askeri keşifler, güvenlik, kimyasal ve biyolojik tespitler, meteoroloji ve sağlık gibi birçok farklı uygulama alanında kullanılabilmesini sağlar. KAA'nın enerji kaynakları kısıtlıdır ve çoğunlukla değişikliğe uğraması mümkün olmamaktadır. Bu nedenle KAA'da enerji efektif bir yönlendirme yüksek derecede öneme sahiptir [1]. Kümeleme tabanlı yönlendirme algoritmalarının eşdeğer yaklaşımlara göre daha fazla enerji tasarrufu sağlamasından dolayı [2] literatürde hiyerarşik yönlendirme algoritmaları üzerine çeşitli çalışmalar yer almaktadır. Bu çalışmaların bir kısmı K-means [3] ve K-medoid [4] gibi kümeleme algoritmalarını KAA üzerine uygularken, LEACH [5] ve HEED [6] gibi algoritmaların yer aldığı diğer bir grup ise kendi kümeleme yöntemlerini önermişlerdir.

KAA'da sensör düğümlerin nasıl ve ne şekilde haberleşeceklerinin yanı sıra, baz istasyonunun konumu da ağ yaşam süresini oldukça önemli bir seviyede etkileyen bir parametredir. Örneğin, bir düğümün kendisinden uzak bir noktada konumlanmış olan bir baz istasyonuna paket (veri)

göndermesi, düğümün daha fazla enerji harcamasına ve bataryasının daha hızlı tükenmesine yol açacaktır. Bundan

dolayı baz istasyonunun eniyilenerek konumlandırılması başarımı etkileyen, yüksek derecede öneme sahip bir faktördür [7]. Yapılan çalışmalarda, ağın yaşam süresindeki artışa neden olabilecek durumlar arasında baz istasyonunun rastgele hareketi bile bulunmaktadır [8]. Literatürde baz istasyonu konumlandırılmasının dinamik (hareketli) ve sabit (hareketsiz) konumlandırma olarak ikiye ayrıldığı görülmektedir [9]. Sabit baz istasyonu konumlandırması, baz istasyonunun başlangıçta sabit bir noktaya konulup ağ yaşam süresi boyunca aynı noktada kalmasıdır. Dinamik baz istasyonu konumlandırması ise bazın, ağ yaşam süresi boyunca hareketli bir şekilde yer değiştirmesine dayanmaktadır. Bu çalışmalarda baz istasyonunun hareketi belirli formüller veya algoritmalar ile sağlanmaktadır. Yapılan çalışmalar, dinamik baz istasyonu konumlandırmasının, sabit veya rastgele konumlandırmaya göre daha yüksek başarıma sahip olduğunu göstermektedir [10].

Literatürde yer alan diğer çalışmalardan farklı olarak bu çalışmada, ağda yer alan düğümlerin konumu ile beraber enerjilerini de hesaba katan minimum hareketli yeni bir dinamik baz istasyonu konumlandırma algoritması önerilmiş ve bu algoritmanın başarımı hem K-means ve K-medoid gibi kümeleme algoritmaları üzerinde hem de HEED hiyerarşik protokolü üzerinde çeşitli KAA parametreleri kullanılarak ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir.

Bölüm 2’de önceki çalışmalar, Bölüm 3’te materyal ve yöntem başlığı altında, HEED, K-means, K-medoid algoritmalarının modellenmesi, önerilen yaklaşım, simülasyon çatısı ve parametreler sunulmuştur. Bölüm 4’te değerlendirme, Bölüm 5’te ise sonuç yer almaktadır.

## 2 Önceki Çalışmalar

Baz istasyonunun dinamik olarak konumlandırılması, KAA’da enerjinin efektif olarak kullanılması açısından oldukça önemlidir. Bu kapsamda literatürde çok sayıda çalışma yer almaktadır. Bu çalışmalar, baz istasyonunun belirli algoritmalar ve mobilite senaryoları ile hareket ettirilmesine dayanmaktadır [7], [12]-[20]. Bazı çalışmalar, bilinen yapay zeka algoritmalarını (örn. genetik algoritma [12], parçacık sürü optimizasyonu [13] ve karınca kolonisi algoritması [14]) ve programlama modellerini (örn. doğrusal [7]) kullanırken diğer bir grup, ağda yer alan düğümlerin konum bilgilerinden faydalanmıştır [18]-[23]. Bunların dışında çeşitli geometrik mobilite senaryolarından (örn. çember [24], dikdörtgen [24], altgen [25]) yararlanan çalışmalar da literatürde yer almaktadır.

### 2.1 Yapay zeka algoritmaları ve programlama modelleri üzerine yapılan çalışmalar

Ayrık çözüm uzayına sahip problemler için optimum çözümü arayan metotlar kombinasyonel optimizasyon olarak tanımlanır ve NP-Zor problemleri bunlardan biridir [11]. Uygun çözümlerin bulunmasının zor veya zaman alıcı olan problemidir. K-means ve K-medoid algoritmaları da bu tür bir problemidir [26]-[29]. Bundan dolayı KAA da kümeleme problemi NP-Zor bir problemidir. Yine bu problemin çözümünde en iyileme yöntemlerinden biri olarak kullanılan genetik algoritma gibi yapay zeka algoritmaları bir çok çalışmada kullanılmıştır [12]-[14]. Mollanejad ve arkadaşlarının [12] gerçekleştirdiği çalışmada KAA’da LEACH ve HEED protokolleri üzerinde, dinamik baz istasyonu, genetik algoritma kullanılarak konumlandırılmış ve bu sayede sabit baz istasyonu konumlandırmasına göre ağ ömrünün, LEACH protokolü kullanıldığı durumda %36, HEED protokolü kullanıldığı durumda ise %22 oranında arttırıldığı tespit edilmiştir. Alageswaran ve arkadaşları [13] ise baz istasyonu konumlandırmasında parçacık sürü optimizasyonu (particle swarm optimization) yöntemini kullanmışlar ve baz istasyonunun optimal konumunu bulmaya çalışmışlardır. Bir başka çalışmada ise [14] düşük haberleşme bandı ve sınırlı enerji kaynağı gibi KAA’ya özgü nitelikleri dikkate alan bir karınca koloni optimizasyonu yöntemi geliştirilmiştir. Önerilen algoritmanın performansı, LEACH protokolü ile karşılaştırılmıştır. Yapılan simülasyonlarda, yöntemin ağ ömrünü arttırdığı tespit edilmiştir. Bunların dışında Çayırpunar ve arkadaşları [7] baz istasyonunun doğru şekilde konumlandırılması için doğrusal programlama modeli sunmuşlardır. Ağ alanı ve yoğunluğunun farklı değerleri için testler yapılarak sonuçlar alınmış ve eniyilenmiş baz istasyonu dinamikliğinin ağ yaşam süresini önemli ölçüde, baz istasyonunun hareketsiz olduğu duruma göre %90’lara varan seviyede arttırdığı gözlemlenmiştir. Jourdan ve arkadaşları [15] çalışmalarında düğüm yerleşimi için çok amaçlı genetik algoritma (MOGA) kullanılmıştır. Ağın kapsama alanını ve ağ ömrünü arttırmak için yapılan çalışmada KAA’nın düzensiz koşullarda (düzensiz arazi koşulları vb.) daha verimli çalışabilmesi amaçlanmıştır. Okay ve arkadaşları [16] çalışmalarında çok amaçlı evrimsel algoritmaları kullanarak kapsama alanının arttırılmasını sağlamışlardır. Çalışmada

etkin kapsama kontrolü problemi adreslenmiştir. Mobil düğümlerin yerlerinin uygun şekilde değiştirileceği çok amaçlı evrimsel algoritmalar incelenmiştir. Yapılan incelemede NSGA-II algoritmasının MOEA/D algoritmasına göre daha iyi sonuç verdiği gösterilmiştir. Latiff ve Ismail [17]’nin Matlab’da simülasyonu yapılan çalışmalarında mobil baz istasyonunun optimal konumunu bulabilmek için genetik algoritma kullanılmış ve bu sayede ağ ömrünü normalize etme çalışması yapılmıştır.

### 2.2 Düğümlerin konum bilgilerini kullanan çalışmalar:

Ağdaki düğümlerin konum bilgisini kullanan çalışmaların bir kısmı, baz istasyonunun dinamik hareketini bölgesel olarak gerçekleştirir. Örneğin Yun ve Xia’nın [18] yaptığı çalışmada, en iyi konum bilgisine göre yerleştirilen baz istasyonu, enerji ve zaman kayıplarının ihmal edildiği ağ yaşam süresi boyunca bölgesel olarak hareket ettirilmiş ve bu yöntem ile ağ yaşam süresinde sabit baz istasyonu konumlandırılmasına göre %100’e varan oranda daha yüksek bir başarımla elde edilmiştir. Gecikme toleranslı dinamik baz konumlandırılmasında ise %200’ü aşan oranda bir başarımla elde edilmiştir. K-medoid kümeleme yöntemi kullanan bir başka çalışmada ise [19] ağda harcanan enerjiyi minimize edecek şekilde küme başlarından paketleri toplayan dinamik bir baz istasyonu sisteme eklenmiş ve bu sistemin sabit baz istasyonu kullanan bir sisteme göre performans iyileştirmeleri sağladığı gözlemlenmiştir. Liang ve arkadaşları [20] dinamik bazın hareket mesafesini sınırlamak gerektiğini savunmuşlardır. Bu nedenle bölgesel olarak hareket ettirdikleri baz istasyonunun optimum turu için bir algoritma önermişlerdir. Bu algoritmayı lineer olarak programladıkları problem ile karşılaştırmışlar ve sonucun çalışma zamanı açısından daha avantajlı olduğunu gözlemlenmişlerdir. Sujitha ve Kumar’ın [21] önerdikleri veri raporlama protokolünde ağda yer alan düğümler, dinamik baz istasyonu kendi kapsama alanlarına gelene kadar önbellekleme yaparak verilerini saklarlar. Daha sonra baz istasyonu kendi bölgelerine geldiğinde önbelleklenmiş verilerini baz istasyonuna aktarırlar. Bu şekilde dinamik baz istasyonu düğümlerden verileri toplamış olur.

Baz istasyonunun bölgesel olarak hareket ettirilmediği, sadece düğümlerin konum bilgileri kullanılarak her döngü bir defaya mahsus yer değiştirdiği çalışmalar da mevcuttur. Bunlardan bir tanesi Wu ve Chen’in [22] yaptığı dual-sink yani çift baz istasyonu kullanan çalışmadır. Bu çalışmada dinamik ve sabit olmak üzere iki ayrı baz istasyonu sisteme eklenmiştir. Yapılan ölçümler sonucunda önerilen sistemden, hem tek başına sabit bir baz istasyonu kullanan sistemden hem de tek başına dinamik bir baz istasyonu kullanan sistemden daha iyi sonuç verdiği rapor edilmiştir. Flathagen ve arkadaşlarının [23] çalışmalarında baz istasyonu ile düğümler arasındaki toplam mesafenin minimize edildiği ve sadece konum bilgilerinin kullanıldığı en kısa yol konumlandırması (EKYK) yöntemi kullanılmıştır. Böylece baz istasyonunun dinamik bir şekilde, optimum yerde konumlandırılması sağlanmıştır. baz istasyonu konumlandırılması için k-means ve k-medoid yöntemlerinin de kullanıldığı çalışmada sabit baz konumlandırmasına kıyasla ağ yaşam süresinde ve baz istasyonuna ulaşan paket sayısında iyileştirmeler sağlanmıştır.

### 2.3 Geometrik mobilite senaryolarının kullanıldığı çalışmalar

Salim ve Badran [24], çalışmalarında dinamik baz istasyonu hareketini, içerisinde rasgele, dairesel, orta yol ve dikdörtgen hareket bulunan ve literatürde var olan bir takım mobilite

senaryolarına göre sağlamışlardır. Bu senaryoları çeşitli hiyerarşik yönlendirme protokolleri (PEGASIS, PEGASIS-E, IECBSN, ECBSN, COSEN, EAPHRN) üzerinde modellemişlerdir. Kullanılan protokolden bağımsız olarak tüm baz istasyonu mobilite senaryolarının, sabit baz istasyonu konumlandırmasına göre daha iyi sonuç verdiğini gözlemlemişlerdir. Marta ve Cardei [25] ise baz istasyonu hareketi için altıgen çevre yöntemini kullanmışlardır. Bu yöntemde göre baz istasyonu altıgenin köşelerine yerleştirilmiş ve optimal konum bulunmaya çalışılmıştır. Çalışmanın sonucunda ağ yaşam süresinde, sabit baz istasyonu konumlandırmasına göre 4.84 katlık bir iyileştirme sağlanmıştır.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde birçoğunun ağ yaşam süresini eniyilemek amacıyla ağdaki düğümlerin konum bilgilerinden faydalandığı gözlemlenmiştir. Ayrıca bu çalışmalarda çoğunlukla baz istasyonunun hareketlerine kısıtlama konulmaması nedeniyle küme başlarının enerji kayıpları olmadığı varsayılmış ve bazın hareketindeki zaman kayıpları ihmal edilmiştir. Bu nedenle bu çalışmalarda iyileştirme oranları %100 gibi yüksek değerlere kadar ulaşmıştır. Ancak daha gerçekçi senaryolarda zaman kayıplarının ihmal edilebilmesi için bazın hareketlerinde kısıtlamalar olması ve küme başlarının enerji kayıplarının dikkate alınması gerekmektedir. Bu nedenle bu çalışmada zaman kayıplarını ihmal edebilmek için minimum baz istasyonu hareketi hedeflenmiş ve küme başlarında kaybedilen enerji dikkate alınmıştır.

Literatürde ağ yaşam süresine etki eden önemli bir parametre olan düğümlerin kalan enerji seviyelerini dikkate alan herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu nedenle bu çalışmada sadece ağdaki düğümlerin konumlarını değil, aynı zamanda enerji seviyelerini de dikkate alan minimum hareketli yeni bir dinamik baz istasyonu konumlandırma algoritması önerilmiştir. Ayrıca, önerilen bu yaklaşım Flathagen ve arkadaşlarının [23] çalışmalarında kullandığı EKYK yöntemiyle kıyaslanmış ve aynı parametreler üzerinden performans karşılaştırmaları yapılmıştır.

Önerilen algoritma çeşitli hiyerarşik ve hiyerarşik olmayan yönlendirme protokolleri üzerinde test edilmiş ve sabit baz istasyonu konumlandırmasına göre performans kıyaslamaları yapılmıştır.

### 3 Materyal ve yöntem

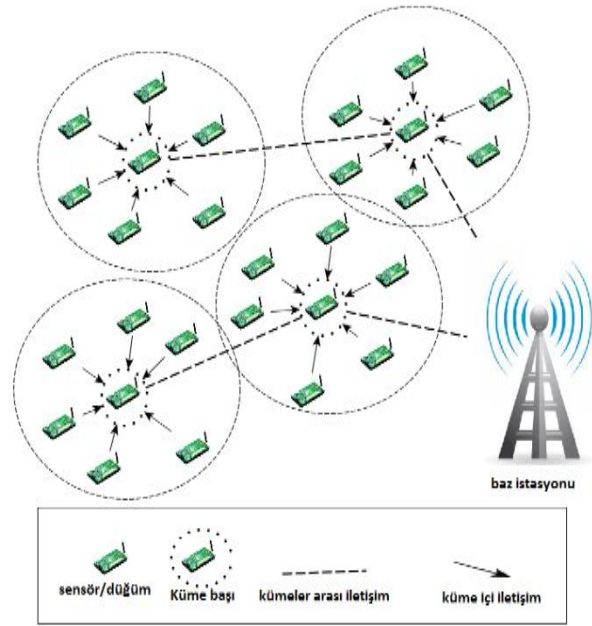
#### 3.1 HEED

Küme liderleri seçiminde algılayıcı cihazların kalan enerji miktarlarının birincil parametre olarak değerlendirildiği HEED yaklaşımında, ikincil parametre olarak düğümlerin komşularına olan uzaklıkları gibi etkenler göz önüne alınmaktadır. Kümeleme işlemi kısa periyotlarla iteratif olarak yinelenir. Bu şekilde gerekli görülürse küme liderleri sıklıkla değiştirilerek enerji tüketiminin orantılı bir şekilde ağın geneline yayılması sağlanabilmektedir [30]. HEED protokolü, düşük haberleşme yükü, ölçeklenebilir ve uzatılmış ağ ömrü gibi avantajlara sahiptir.

HEED protokolü algılayıcı düğümleri temel alarak, 2 parametreyi kullanarak periyodik bir şekilde küme başları seçmektedir. Bu parametreler kümenin kalan enerjisi ve kümenin komşuları ile olan açısı veya yakınlığıdır. HEED protokolü, kümeler arası ve küme içi iletişim kapsama alanlarında ve düğüm yoğunluğunda gerekli olan sınırları oluşturarak kümeleştirilmiş ağın bağlanabilirliğini garanti

eder. Bu yaklaşım hibrit bir yaklaşımdır. Küme başları yukarıda tanımlanan iki parametre temel alınarak olasılığa dayalı bir şekilde seçilir, daha sonra iletim maliyetini azaltmak için düğümler bu kümelere katılır. Bu yaklaşım ölçeklenebilir bir veri kümelemesini destekleyerek ağır yaşam süresini verimli bir şekilde arttırmaktadır. Bu yaklaşım kümelemede daha az enerji kullanmakla birlikte yük dengeleme ve ek yükleri azaltma gibi özellikler sunabilmektedir. Yaklaşım karmaşık bir algoritmaya ve birden fazla iterasyona sahiptir. Bu yöntemin temel avantajları ölçeklendirilebilir veri kümelemesi, daha uzun ağ yaşam ömrü ve yük dengelemesidir. Algoritmanın karmaşıklığı ise bu yöntemin temel dezavantajıdır [6].

Şekil 1'de HEED protokolünün genel yapısı gösterilmiştir. Şekil 2'de ise HEED protokolünün akış diyagramı ana hatlarıyla gösterilmiştir.



Şekil 1: HEED protokolü genel yapısı.

HEED protokolünde her düğüm belirli bir alana yayım (broadcast) yapar. Yayım içerisinde maliyet hesabı da bulunmaktadır. Maliyet hesabı Denklem (1), (2), (3)'te sırası ile gösterilmiştir. Ayrıca HEED protokolünde küme başı seçiminde kullanılan  $Ch_{prob}$  değerinin hesabı denklem (4) de gösterilmiştir.

$$\mathcal{E}_{intra} = \begin{cases} S * (E_e + (E_{fs}) * (d_n^2)), & d_n < d_0 \\ S * (E_e + (E_{mp}) * (d_n^4)), & d_n > d_0 \end{cases} \quad (1)$$

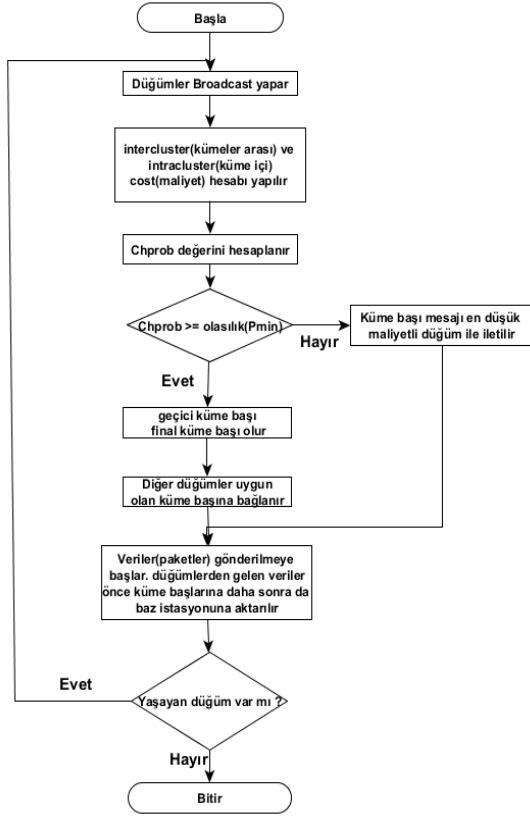
$$\mathcal{E}_{inter} = \begin{cases} B_n * S * (E_e + (E_{fs}) * (d_b^2)), & d_b < d_0 \\ B_n * S * (E_e + (E_{mp}) * (d_b^4)), & d_b > d_0 \end{cases} \quad (2)$$

$$\mathcal{E}_T = \mathcal{E}_{intra} + \mathcal{E}_{inter} \quad (3)$$

$$P_{ch} = P_c * \frac{E_r}{(E_T)} \quad (4)$$

Bu denklemlerde  $E_T$ , düğümün toplam enerjisini;  $d_n$ , düğümün düğüme uzaklığını;  $d_b$ , düğümün baza uzaklığını; S, veri paketi büyüklüğünü;  $E_e$ , devrede sinyali almak veya iletmek için

harcanan enerjiyi;  $B_n$ , bağlanacak düğüm sayısını;  $E_r$ , düğümün kalan enerjisini;  $E_T$ , toplam maliyeti;  $E_{intra}$ , küme içi iletişim maliyetini;  $E_{inter}$ , kümeler arası iletişim maliyetini;  $d_0$ , eşik değeri uzaklığını (m);  $P_{ch}$ , küme başı seçimi olasılığını;  $P_c$  küme başı seçimi değişkenini (0.05) temsil etmektedir. Ayrıca  $E_{fs}$ , kısa mesafelerdeki iletim için;  $E_{mp}$ , uzun mesafelerdeki iletim için yükseltilerinin harcadığı enerjiyi temsil etmektedir.



Şekil 2: HEED protokolü genel akış şeması.

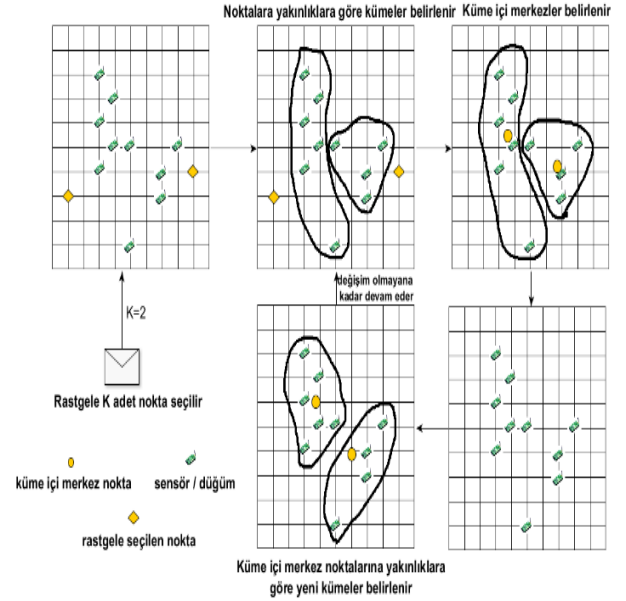
HEED protokolünde öncelikle her düğüm belirli bir alanda yayım yapar. Daha sonra küme içi ve küme dışı maliyet hesapları yapılır ve  $P_{ch}$  değeri hesaplanır. Bu değer  $P_{min}$  olasılık değerinden yüksek ise daha önce geçici olarak seçilen küme başı kalıcı (final) küme başı olur. Kalan diğer düğümler uygun olan küme başına bağlanır. Daha sonra kümeleme tabanlı algılayıcı ağların genel düğümlerin olduğu gibi düğümlerden gelen veriler önce küme başlarına daha sonra da baz istasyonuna aktarılır. Bu işlemler ağda yaşayan düğüm kaldığı sürece devam eder.

### 3.2 K-means

CAA'da K-means [3] algoritması Şekil 3'te görüldüğü gibi ağ alanındaki sensör düğümleri niteliklerine göre K adet kümeye ayıran bir algoritmadır. Kümeleme işlemi düğümlerin en yakın oldukları küme merkezi civarında toplanmasıyla olur. K-means algoritmasında K değeri probleme göre belirlenebilir. Bu değer dışarıdan hazır olarak alınabileceği gibi çeşitli algoritmalar kullanılarak da hesaplanabilir. K-means algoritması, K adet kümelemeyi, her bir kümeyi temsil edecek bir noktanın rastgele seçimiyle başlatır. Ağda yer alan düğümler, bu noktalara uzaklıklarını tek tek hesaplayarak, kendilerine en yakın olan noktanın kümesine dâhil olurlar. Kümeleme ölçütü, küme ortalamasını (küme içi merkezi)

hesaplayabilmek için kullanılır. Bu ortalamalar yeni noktalar olarak ele alınır ve her bir düğüm kendisine en yakın olan kümeye yeniden atanır. Bu kümeler yeniden hesaplanır ve kümelerde hiç bir değişim gözlenmediği duruma ulaşıncaya kadar bu döngü devam ettirilir.

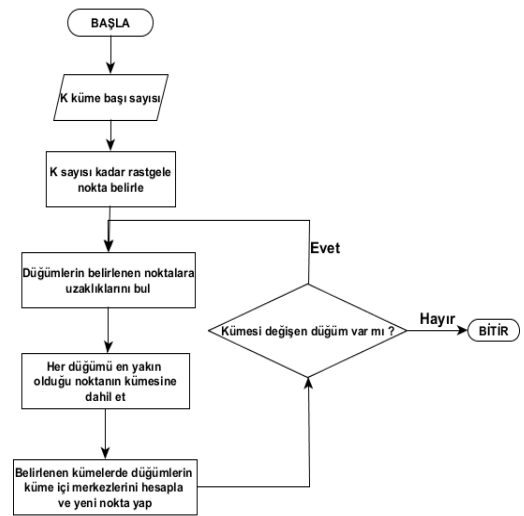
Bu algoritmanın avantajları uygulanabilirliğinin kolay olması ve ölçeklenebilir olmasıdır. Algoritmanın işlemsel karmaşıklığı  $O(nkt)$ 'dir [31]. n, nesne sayısı, k küme sayısı, t'de öteleme sayısıdır.



Şekil 3: K-means algoritma adımları.

K-means kümeleme yönteminin değerlendirilmesinde yaygın olarak toplam karesel hata ölçütü (KHK) kullanılır. KHK değeri en düşük olan kümeleme en iyi sonucu verir. Düğümlerin buldukları kümenin merkez noktalarına olan uzaklıklarının karelerinin toplamı Denklem (5) ile hesaplanmaktadır. Bu denklemi minimum yapan değer ise Denklem (6)'da hesaplanmaktadır.

Şekil 4'te KAA'da K-means kümeleme algoritmasının akış şeması gösterilmiştir.



Şekil 4: K-means akış şeması.

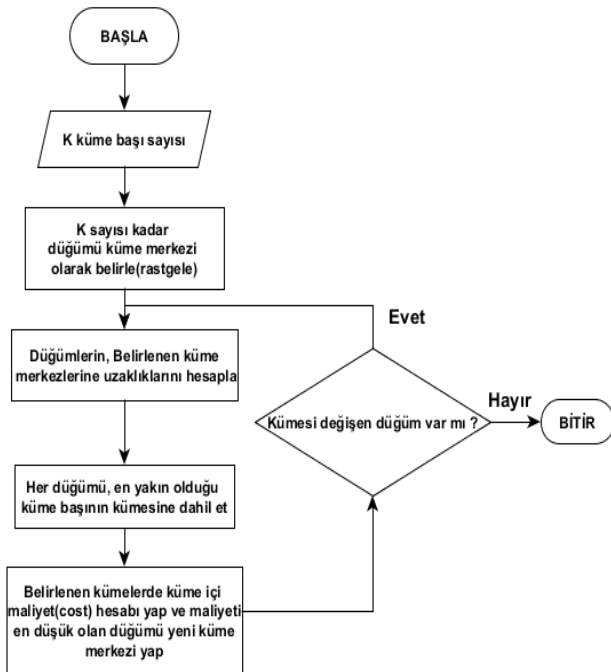
$$KHK = \sum_{i=1}^K \sum_{x \in C_i} dist^2(m_i, x) \quad (5)$$

$$\underset{C_i}{\text{Argmin}} KHK \quad (6)$$

Bu denklemlerde  $dist$ , iki düğüm arasındaki öklid uzaklığını tanımlamaktadır.  $X$  değeri,  $C_i$  kümesindeki bir nesneyi;  $m_i$  değeri,  $C_i$  kümesinin merkez noktasını ifade etmektedir. Geon Park ve arkadaşlarının [32] çalışmasında KAA'da, K-means algoritması, enerji verimliliğini eniyilemek için kullanılarak etkili bir kümeleme yöntemi sunulmuştur. Çalışmanın temeli, düğümler arasındaki öklid uzaklıklarının minimum olmasını sağlayacak küme başları seçimine dayanmaktadır. Çalışmada sunulan yaklaşımda, ağırlık yaşam süresi bakımından, LEACH, HEED gibi var olan hiyerarşik yönlendirme protokollerinden daha iyi performans sergilendiği gösterilmiştir.

### 3.3 K-medoid

Kauffman ve Rousseeuw [4] tarafından geliştirilen K-medoid algoritmasında K-means algoritmasındaki istisna ve gürültü verilere duyarlılığın giderilmesi amaçlanmıştır. K-medoid algoritması kümeyi belirleyecek noktayı bulmak için küme elemanlarının ortalamasını almak yerine kümenin merkez noktasına en yakın olan elemanı yeni küme merkezi olarak belirler. K-medoid algoritması, öncelikle rastgele seçtiği  $k$  adet düğümü küme merkezi olarak alır. Kümeye yeni bir eleman katıldığında, kümenin elemanlarını tek tek test ederek kümenin gelişmesine en fazla katkıda bulunacak noktayı tespit edip, bu noktayı yeni merkez olarak, eski merkezi ise sıradan küme elemanı olarak tayin eder [33]. Kümeler belirlendikten sonra küme içi maliyet hesabı yapılarak en düşük maliyetli düğüm yeni küme merkezi olarak seçilir. Şekil 5'te KAA'da K-medoid için akış şeması gösterilmiştir.



Şekil 5: K-medoid akış şeması.

K-medoid kümeleme yönteminin değerlendirilmesinde K-means kümeleme yönteminden farklı bir maliyet hesabı kullanılır. Bu yöntemde kullanılan maliyet hesabı Denklem (7)'de gösterilmiştir.

$$\text{Cost}(x,c) = \sum_{i=1}^d |x_i - c_i| \quad (7)$$

Bakaraniya ve Mehta [34] çalışmalarında K-medoid kümeleme yöntemini kullanmışlar ve modellerini LEACH algoritması ile karşılaştırarak ağ yaşam süresinde artış elde etmişlerdir.

### 3.4 Önerilen yaklaşım

Bu çalışmada öncelikle OMNeT++ [35] simülasyon programı ile kümeleme tabanlı yönlendirme protokolü olan HEED protokolü gerçekleştirilmiştir. Ardından HEED protokolünün parametreleri temel alınarak K-means ve K-medoid kümeleme algoritmaları ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, literatürdeki çalışmalardan farklı olarak düğümlerin konumlarının yanı sıra kalan enerjilerinin de hesaba katıldığı minimum hareketli yeni bir dinamik baz istasyonu konumlandırması önerilmiş ve gerçekleştirilmiş olan HEED, K-means ve K-medoid protokollerine uygulanmıştır. Düğümler baz istasyonuna ve birbirlerine olan uzaklıkları ile doğru orantılı olarak enerji harcarlar. Bu yüzden literatürde, sıklıkla, baz istasyonunun konumu, ağırlık geometrik ağırlık merkezi olarak seçilmiştir. Bu çalışmada bu yaklaşıma geometrik merkez ( $G_c$ ) adı verilmiştir ve Denklem (8),(9)'da gösterilmiştir.

Düğümlerin kalan enerjilerini de hesaba katmak amacıyla baz istasyonunun konum koordinatları belirlenirken, ağırlıklandırılma yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntemde, yaşayan düğümlerin koordinatları kalan enerji oranları ile ağırlıklandırılmıştır. Böylece baz istasyonu ağ yaşamı boyunca ağırlıklandırılmış uzaklıkların ortalamasına doğru kaydırılmaktadır. Bu yaklaşıma batarya ağırlıklı merkez ( $B_c$ ) adı verilmiştir ve Denklem (10), (11)'de gösterilmiştir.

Düğümlerin verilerinin iletilmesinde kullanılan enerji formülünde, düğümlerin, birbirlerine ve baz istasyonuna olan uzaklıklarının kareleri hesaba katılmaktadır. Ayrıca bu çalışmada homojen düğüm dağılımı kullanılmıştır. Bundan dolayı batarya ağırlıklı merkez ile ağırlık geometrik ağırlık merkezinin koordinatları toplamının orta noktası hesaplanmıştır ve Denklem (12),(13)'te gösterilmiştir. Bu yaklaşıma ise ağırlıklı merkez ( $A_c$ ) adı verilmiştir.

$$G_c x = \left( \sum_{i=1}^N x_i \right) / N \quad (8)$$

$$G_c y = \left( \sum_{i=1}^N y_i \right) / N \quad (9)$$

$$B_c x = \left( \sum_{i=1}^N x_i E_i \right) / E_T \quad (10)$$

$$B_c y = \left( \sum_{i=1}^N y_i E_i \right) / E_T \quad (11)$$

$$A_c x = \frac{G_c x + B_c x}{2} \quad (12)$$

$$A_c y = \frac{G_c y + B_c y}{2} \quad (13)$$

Bu denklemlerde  $G_c$ , geometrik merkez;  $B_c$ , batarya ağırlıklı merkez;  $A_c$ , ağırlıklı merkez;  $x_i$ ,  $i$ . düğümün  $x$  koordinatı;  $y_i$ ,  $i$ . düğümün  $y$  koordinatı;  $N$ , yaşayan düğüm

sayısı;  $E_i$  i. yaşayan düğümün enerjisi;  $E_T$  düğümlerin toplam enerjisidir. Ayrıca  $x$ ,  $x$  koordinatını,  $y$  ise  $y$  koordinatını temsil etmektedir.

Çalışmada, önerilen bu yaklaşımdan yola çıkılarak performans ölçümleri yapılmıştır. Sabit baz istasyonu kavramı, baz istasyonunun sabit bir noktaya konulmasını ifade etmektedir. Dinamik baz istasyonu kavramı ise baz istasyonunun, her döngüde, yukarıdaki formülde ağırlıklı merkez ( $A_c$ ) olarak adlandırılan konuma kaydırılmasını ifade etmektedir.

Çalışmada önerilen yaklaşımın amacı, ağ yaşamı boyunca, ağın durumuna göre, en iyi baz istasyonu konumunu bulabilmek ve ağı, performans parametreleri üzerinden daha iyi hale getirmektir. Çalışmada, baz istasyonunun gezdirilmesinden kaynaklanan enerji ve zaman kaybı ihmal edilmiştir.

Ayrıca bu çalışmada baz istasyonu ile düğümler arasındaki toplam mesafenin minimize edildiği ve sadece konum bilgilerinin kullanıldığı en kısa yol konumlandırması (EKYK) yönteminin simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Aynı parametreler üzerinden önerilen yaklaşım ile EKYK yöntemi karşılaştırılmıştır. Flathagen ve arkadaşlarının [23] çalışmalarında kullandığı bu yöntemde düğümlerin sadece konum bilgileri kullanılarak baz istasyonu konumlandırması yapılmıştır. Baz istasyonu ile düğümler arasındaki toplam mesafeyi minimize etmeye dayanan EKYK yöntemi Denklem (14)'te matematiksel olarak ifade edilmiştir.

$$M^* = \arg \min_M \sum_{i=1}^n \min_{j=1}^k d_{ij} \quad (14)$$

Bu denklemde  $d_{ij}$ ,  $i$  ile  $j$  arasındaki en kısa yol olarak tanımlanır.  $M$  ise baz istasyonu ve düğümler arasındaki toplam mesafedir. Bu çalışmada EKYK yöntemi, tek baz istasyonunun her döngüde dinamik bir şekilde konumlandırılmasında kullanılmış ve aynı parametreler üzerinden önerilen yaklaşım ile karşılaştırılmıştır.

### 3.5 Simülasyon Çatısı ve Parametreler

Bu çalışmada OMNeT++ simülasyon programı kullanılarak dinamik bazlı, kümeleme tabanlı KAA algoritmaları modellenmiştir. OMNET++ (Objective Modular Network Testbed in C++), nesneye yönelik modüler bir ayrık olay ağ benzeticisidir [35]. Çalışmanın simülasyon parametreleri Tablo 1'de gösterilmiştir.

## 4 Değerlendirme

Bu çalışmanın performans parametreleri, toplam kalan enerji miktarı ve baz istasyonuna ulaşan toplam paket sayısıdır. Baz istasyonuna ulaşan toplam paket sayısı, düğümlerden gelen paketlerin kaç tanesinin baz istasyonuna kayıpsız şekilde ulaşabildiğini ifade eder. Toplam kalan enerji miktarı ise ağ yaşam süresi boyunca yaşayan düğümlerin bataryalarının toplamını ifade eder.

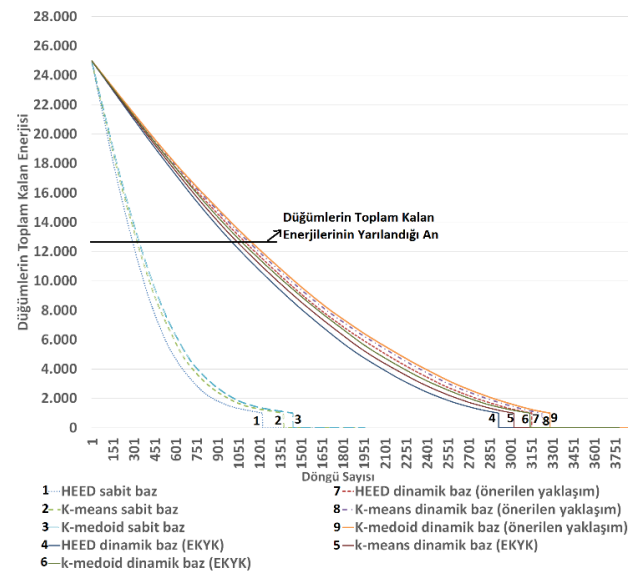
Şekil 6'da HEED, K-means ve K-medoid algoritmaları için sabit ve dinamik baz istasyonu kullanılması durumunda döngü sayısına göre düğümlerin toplam kalan enerjilerinin grafiği görülmektedir. Her bir düğümün başlangıç enerjisi 0.25j olduğundan 100 düğüm için düğümlerin enerjileri toplamı 25j olmaktadır.

Şekilde enerji birimi miliJoule (mJ) olarak gösterilmiştir. Şekil 6'da düğümlerin tamamının enerjilerinin tükendiği döngü, ağ yaşam süresini ifade etmektedir. Sonuçlar

değerlendirilirken ağ yaşam süresi ile birlikte düğümlerin toplam kalan enerjilerinin yarılacağı durum da dikkate alınmıştır. Bu bağlamda HEED, K-means, K-medoid algoritmaları kıyaslandığında ağ ömrünün baz istasyonu konumlandırmasından bağımsız olarak en yüksek K-medoid algoritmasında, en düşük ise HEED algoritmasında olduğu görülmektedir. Önerilen yaklaşım olan dinamik baz istasyonu kullanımı sayesinde üç protokolün ağ ömründe de iyileşme sağlanmıştır.

Tablo 1: Parametreler.

Parametreler	Değerler
Ağ alanı	100 m x 100 m
Düğüm sayısı	100
Küme başı olasılığı ( $C_{prob}$ )	0.05
Devrede sinyali almak veya iletmek için harcanan enerji ( $E_{elec}$ )	50 nJ/bit
Kısa mesafelerdeki iletim için yükselteçlerin harcadığı enerji ( $E_{fs}$ )	10 pJ/bit/m <sup>2</sup>
Uzun mesafelerdeki iletim için yükselteçlerin harcadığı enerji ( $E_{mp}$ )	0.0013 pJ/bit/m <sup>4</sup>
Veri Birleştirme Enerjisi ( $E_{DA}$ )( $E_{fusion}$ )	5 nJ/bit/signal
Veri paketi boyutu	100 byte
Yayım paket boyutu	25 byte
Paket başlığı boyutu	25 byte
Küme yarıçapı	25 m
Başlangıç enerjisi ( $E_0$ )	0.25 J
Eşik mesafesi ( $d_0$ )	75 m

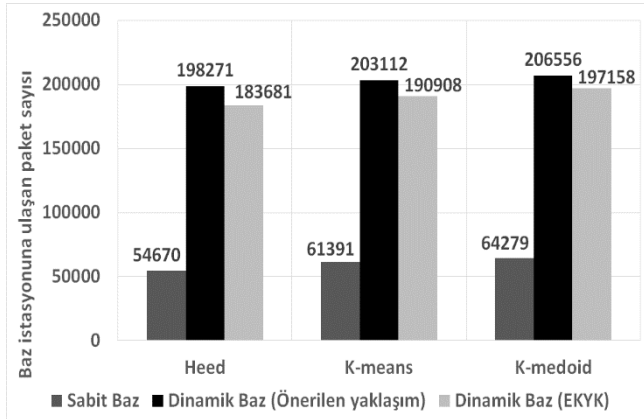


Şekil 6: HEED, K-means ve K-medoid algoritmaları için sabit ve dinamik baz istasyonu kullanılması durumunda döngü sayısına göre düğümlerin toplam kalan enerjileri.

Bu iyileştirme oranı, ağda yaşayan düğümlerin enerjileri azaldıkça daha da artmaktadır. Dolayısıyla ağdaki düğümler öldükçe, baz istasyonu hareketi daha fazla enerji verimliliği sağlamaktadır. Ağ ömürleri dikkate alındığında sabit baz istasyonu konumlandırmasına kıyasla dinamik baz istasyonu konumlandırması HEED protokolünde %119.2, K-means algoritmasında %100.3, K-medoid algoritmasında ise %96.5 oranında iyileştirme sağlamıştır. Sonuçlar incelendiğinde, dinamik baz istasyonu kullanımıyla, HEED protokolünde en yüksek başarımlar elde edilirken, K-medoid'de en düşük başarımlar elde edilmiştir. Bunun nedeni protokollerin sabit baz konumundaki performanslarıdır. En düşük ağ ömrüne sahip olması nedeniyle görece olarak başarımları en az olan HEED protokolü, baz istasyonu iyileştirmesine en iyi tepkiyi veren protokoldür. Bu nedenle hem ağ yaşam süresi için hem düğümlerin yarısının öldüğü an için hem de düğümlerin toplam kalan enerjilerinin yarıldığı an için en yüksek başarımlar HEED protokolünde görülmektedir. Bu oran düğümler öldükçe daha fazla artmaktadır. Bu nedenle en yüksek değerine ağ ömrünün sonunda ulaşmaktadır. Benzer eğilim diğer protokoller için de geçerli olmakla birlikte oransal olarak daha düşüktür.

Ayrıca yapılan çalışma EKYYK yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Şekil 6'da görüldüğü gibi önerilen yaklaşım her üç protokole de (HEED, K-means, K-medoid) EKYYK yöntemine göre ağ ömründe daha iyi sonuçlar vermiştir. Sonuçlar incelendiğinde EKYYK yöntemine kıyasla önerilen yaklaşımın, HEED algoritmasında %14.86, K-means'te %10.06, K-medoid'de %9.4 oranında iyileştirme sağladığı görülmüştür.

Şekil 7'de HEED, K-means ve K-medoid algoritmaları için sabit ve dinamik baz istasyonu kullanılması durumunda ağ yaşam süresi sonunda baza ulaşan toplam paket sayıları görülmektedir. Baz istasyonuna ulaşan paket sayıları azdan çoğa doğru HEED, K-means ve K-medoid olarak sıralanabilir.



Şekil 7: Baz istasyonuna ulaşan toplam paket sayıları.

Önerilen yaklaşım olan dinamik baz istasyonu konumlandırmasının sabit baz istasyonu konumlandırmasına göre baza ulaşan toplam paket sayısında sağladığı artış oranı HEED protokolünde %262.6 iken K-means'te %230.8; K-medoid'de ise %221.3'tür. Bu değerler birbirine yakın olmakla birlikte dinamik baz istasyonunun etkisiyle, beklenildiği gibi en yüksek başarımlar HEED protokolünde elde edilmiştir.

Ayrıca Önerilen yaklaşım, EKYYK yöntemiyle kıyaslandığında, baz istasyonuna ulaşan toplam paket sayısında HEED protokolünde %26.62, K-means'te %19.83, K-medoid'de ise %14.58 oranında iyileştirme sağladığı görülmüştür.

Çalışmada baz istasyonun yer değiştirmesi düğümlerin toplam enerjilerinin yarıldığı an da dahil olmak üzere ölçekleme problemi yaratmamaktadır. Baz istasyonuna ulaşan paketlerde yığılma problemi yaşanmamaktadır.

## 5 Sonuç

Dinamik baz istasyonu konumlandırması kaynakları oldukça kısıtlı olan KAA'da enerjinin verimli bir şekilde kullanılması için önemlidir. Bu kapsamda literatürde hem düğümlerin konum bilgilerini kullanan hem de çeşitli yapay zeka algoritmaları ve mobilite senaryoları içeren çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmada diğer çalışmalardan farklı olarak düğümlerin konumu ile birlikte enerjilerini de hesaba katan minimum hareketli yeni bir dinamik baz istasyonu konumlandırma algoritması önerilmiş ve bu algoritmanın başarımları HEED, K-means ve K-medoid algoritmaları üzerinde test edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre dinamik baz istasyonu konumlandırması hem baz istasyonuna ulaşan toplam paket sayısı hem de düğümlerin toplam kalan enerji miktarı açısından sabit baz istasyonu konumlandırmasına göre tüm protokollerde daha iyi performans sergilenmesini sağlamıştır. Ağ yaşam süresi %119.2'ye varan oranda arttırılırken baza ulaşan paket sayısında %262.6'ya ulaşan performans artışı elde edilmiştir. Literatürde baz istasyonu konumlandırması ile ilgili bir çok yöntem mevcuttur. Kullanılan parametrelerin farklılıklarından dolayı karşılaştırma yapmak zordur. Bu çalışmada literatürdeki mevcut dinamik baz istasyonu konumlandırma tekniği olan EKYYK yönteminin simülasyonu yapılmış ve önerilen yaklaşım ile karşılaştırması yapılmıştır. Elde edilen sonuçlarda EKYYK yöntemine göre önerilen yaklaşım, ağ yaşam süresinde %14.86'ya varan oranda iyileştirme sağlarken baza ulaşan paket sayısında %26.62'ye varan oranda iyileştirme sağlamıştır.

## 6 Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK EEEAG 115E211 No.lu proje tarafından desteklenmektedir.

## 7 Kaynaklar

- [1] Tohma K, Aydın M N, Turgut İA. "Improving the LEACH protocol on wireless sensor network. *Signal Processing and Communications Applications Conference, Malatya, Türkiye*, 16-19 Mayıs 2015.
- [2] Ökdem S, Derviş K. "Kablosuz algılayıcı ağlarında yönlendirme teknikleri". *Akademik Bilişim, IX. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri*, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, 1-3 Şubat 2007.
- [3] Hartigan JA, Wong MA. "Algorithm AS 136: A k-means clustering algorithm". *Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics)*, 28(1), 100-108, 1979.
- [4] Kaufman L, Rousseeuw P. *Clustering by Means of Medoids*. North-Holland, Holland, 1987.
- [5] Heinzelman WR, Chandrakasan A, Balakrishnan H. "Energy-Efficient communication protocol for wireless microsensor networks". *33rd Hawaii International Conference on System Sciences*, Washington, DC, USA, 04-07 January 2000.
- [6] Younis O, Fahmy S. "HEED: A hybrid, energy-efficient, distributed clustering approach for ad hoc sensor networks". *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 3(4), 366-379, 2004.

- [7] Cayirpunar O, Urtis EK, Tavli B. "Mobile base station position optimization for network lifetime maximization in wireless sensor networks". *Signal Processing and Communications Applications Conference*, Haspolat, Turkey, 24-26 April 2013.
- [8] Chatzigiannakis I, Kinalis A, Nikolettseas S. "Efficient data propagation strategies in wireless sensor networks using a single mobile sink". *Computer Communications*, 31(5), 896-914, 2008.
- [9] Akkaya K, Younis M, Youssef W. "Positioning of base stations in wireless sensor networks". *Communications Magazine*, 45(4), 96-102, 2007.
- [10] Cayirpunar O, Kadioglu-Urtis E, Tavli B. "Optimal base station mobility patterns for wireless sensor network lifetime maximization". *Sensors Journal*, 15(11), 6592-6603, 2015.
- [11] Ozcakar N, Bastı M. "P-Medyan kuruluş yeri seçim probleminin çözümünde parçacık sürü optimizasyonu algoritması yaklaşımı". *Journal of the School of Business Administration, Istanbul University*, 41(2), 241-257. 2012.
- [12] Mollanejad A, Khanli LM, Zeynali M. "DBSR: Dynamic base station Repositioning using Genetic algorithm in wireless sensor network". *2010 Second International Conference on Computer Engineering and Applications*, Bali Island, Indonesia, 19-21 March 2010.
- [13] Alageswaran R, Usha R, Gayathridevi R, Kiruthika G. "Design and implementation of dynamic sink node placement using particle swarm optimization for life time maximization of WSN applications". *International Conference on Advances in Engineering, Science and Management (ICAESM), Tamil Nadu, India, 30-31 Mart 2012*.
- [14] Karaboga D, Okdem S, Ozturk C. "Cluster based wireless sensor network routing using artificial bee colony algorithm". *Wireless Networks*, 18(7), 847-860, 2012.
- [15] Jourdan DB, de Weck OL. "Layout optimization for a wireless sensor network using a multiobjective genetic algorithm". *IEEE 59th Vehicular Technology Conference*, Milan, Italy, 17-19 Mayıs 2004.
- [16] Okay FY, Özdemir S. "Kablosuz algılayıcı ağlarda kapsama alanının çok amaçlı evrimsel algoritmalar ile artırılması". *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 30(2), 143-153. 2015.
- [17] Latiff NA, Ismail IS. "Performance of mobile base station using genetic algorithms in wireless sensor networks." *The 10th German Microwave Conference, GeMiC 2016*, Bochum, Germany, 14-16 Mart 2016.
- [18] Yun YS, Xia Y. "Maximizing the lifetime of wireless sensor networks with mobile sink in delay-tolerant applications". *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 9(9), 1308-1318, 2010.
- [19] Pavithra MK, Ghuli P. "A novel approach for reducing energy consumption using k-medoids in clustering based WSN". *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 4(6), 2279-2282, 2015.
- [20] Liang W, Luo J, Xu X. "Prolonging network lifetime via a controlled mobile sink in wireless sensor networks". *Global Telecommunications Conference (GLOBECOM 2010)*, Miami, Florida, USA, 6-10 Aralık 2010.
- [21] Sujitha D, Kumar MSD. "A Proactive data reporting protocol for wireless sensor networks". *International Journal of Computer Science and Mobile Applications*, 2(3), 9-17, 2014.
- [22] Wu X, Chen G. "Dual-Sink: using mobile and static sinks for lifetime improvement in wireless sensor networks". *16th International Conference on Computer Communications and Networks, Honolulu, Hawaii, USA*, 13-16 ağustos 2007.
- [23] Flathagen J, Kure Ø, Engelstad PE. "Constrained-based multiple sink placement for wireless sensor networks". *IEEE 8th International Conference on Mobile Ad-Hoc and Sensor Systems (MASS)*, Valencia, Spain, 17-22 Ekim 2011.
- [24] Salim A, Badran AA. "Impact of using mobile sink on hierarchical routing protocols for wireless sensor networks". *International Journal of Advanced Science and Technology*, 77, 37-48, 2015.
- [25] Marta M, Cardei M. "Using sink mobility to increase wireless sensor networks lifetime". *9th IEEE International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks*, Newport Beach, USA, 23-26 Haziran 2008.
- [26] Drineas P, Frieze A, Kannan R, Vempala S, Vinay V. "Clustering large graphs via the singular value decomposition". *Machine learning*, 56(1-3), 9-33. 2004.
- [27] Jain AK. "Data clustering: 50 years beyond K-means". *Pattern recognition letters*, 31(8), 651-666. 2010.
- [28] Aloise D, Deshpande A, Hansen P, Popat P. "NP-hardness of Euclidean sum-of-squares clustering". *Machine learning*, 75(2), 245-248. 2009
- [29] Mahajan M, Nimbhorkar P, Varadarajan K. "The planar k-means problem is NP-hard". *hird International Workshop, WALCOM, Kolkata, India, 18-20 Şubat 2009*.
- [30] Ozturk A. *Kablosuz Algılayıcı Ağlarında Veri Kümeleme Uygulamaları. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2012*.
- [31] Han J, Kamber M, Pei J. *Data Mining: Concepts and Techniques*. Elsevier. New York, USA, 2011.
- [32] Park GY, Kim H, Jeong HW, Youn HY. "A novel cluster head selection method based on K-means algorithm for energy efficient wireless sensor network". *27th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops (WAINA)*, Barcelona, Spain, 25-28 Mart 2013.
- [33] Sariman G. "Veri madenciliğinde kümeleme teknikleri üzerine bir çalışma: k-means ve k-medoids kümeleme algoritmalarının karşılaştırılması". *SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 15(3), 192-202, 2011.
- [34] Bakaraniya P, Mehta S. "K-LEACH: An improved LEACH protocol for lifetime improvement in WSN". *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 4(5), 1521-1526, 2013.
- [35] Varga A. "The OMNeT++ discrete event simulation system". *Proceedings of the European Simulation Multiconference*, 9, 185, 2001.