



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



Kablosuz algılayıcı ağlarda küme başı kapsama alanının farklı ağ boyutları ve düğüm sayıları altında ağ yaşam süresine etkisi

The effect of the range of cluster head on the lifetime of wireless sensor networks under various sizes of network and number of nodes

Yazar(lar) (Author(s)): İpek ABASIKELEŞ-TURGUT

ORCID : 0000-0002-5068-969X

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Abasıkeleş-Turgut İ., “Kablosuz algılayıcı ağlarda küme başı kapsama alanının farklı ağ boyutları ve düğüm sayıları altında ağ yaşam süresine etkisi”, *Politeknik Dergisi*, 22(4): 921-926, (2019).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.435581

Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Küme Başlı Kapsama Alanının Farklı Ağ Boyutları ve Dügüm Sayıları Altında Ağ Yaşam Süresine Etkisi

Araştırma Makalesi / Research Article

İpek ABASIKELEŞ-TURGUT*

Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Bilgisayar Müh. Bölümü, İskenderun Teknik Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 22.06.2018 ; Kabul/Accepted : 12.12.2018)

ÖZ

Kablosuz Algılayıcı Ağlarda (KAA) kaynakların kısıtlı olmasından dolayı enerjinin verimli bir şekilde kullanılması problemi, kümeleme tabanlı mimarilerin bu ağlarda yaygın olarak kullanılmasını sağlamıştır. Literatürde bu alanda yapılan çalışmalar; küme başlı seçiminde farklı parametreler kullanma, zamana dayalı küme başlı seçimi veya yapay zekâ algoritmalarıyla küme oluşumu gibi farklı yöntemlerle enerjinin ağda verimli bir şekilde kullanılmasını amaçlamaktadır. Oluşturulan kümelerin kapsama alanı bazı çalışmalarda tüm ağı kapsayabilecek genişlikte seçilirken, diğerlerinde sınırlandırılmıştır. Bu çalışmada küme başlı kapsama alanı parametresinin ağ yaşam süresine olan etkisi ayrıntılı benzetimlerle incelenmiştir. Farklı düğüm sayıları, farklı kapsama alanları ve farklı ağ genişlikleri kullanılarak ilk, orta ve son düğüm ölümleriyle dışarıda kalan düğüm sayıları raporlanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre küme başlı kapsama alanının artması ilk düğüm ölümlerini geciktirirken, orta ve son düğüm ölümlerinin daha erken yaşanmasına neden olmaktadır. Ağ alanının artması ise tüm düğüm ölümlerini daha erken bir döngüye çekerken en yüksek oranda etkiyi ilk düğüm ölümlerinde, en az etkiyi ise son düğüm ölümlerinde sergilemektedir. Düğüm sayısı arttıkça ilk düğüm ölümleri daha erken bir döngüye çekilirken, orta ve son düğüm ölümlerinde gecikmeler elde edilmektedir. Elde edilen sonuçların ışığında bu çalışmanın, gelecekte hem gerçek zamanlı hem de benzetim ortamında tasarlanacak olan kümeleme tabanlı mimarilerde küme kapsama alanının tasarım tercihlerine uygun olarak seçilmesine yardımcı olacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kablosuz algılayıcı ağlar, kümeleme tabanlı yönlendirme, kapsama alanı, performans analizi, enerji verimliliği, benzetim.

The Effect of the Range of Cluster Head on the Lifetime of Wireless Sensor Networks Under Various Sizes of Network and Number of Nodes

ABSTRACT

The problem of energy efficiency due to the limited resources in Wireless Sensor Networks (WSNs) has made cluster-based architectures widespread use in these networks. The studies in literature regarding WSNs aim to make efficient use of battery in network by different methods such as using different parameters in cluster head selection, time-based cluster head election or clustering with artificial intelligence algorithms. The coverage area of clusters is selected in a range that can cover the whole network in some studies, while it is limited in others. In this study, the effect of the cluster-head coverage area parameter on the lifetime of the network is investigated with detailed simulations. The death of the first, middle, and last node are reported by using different numbers of nodes, coverage areas, and network sizes. According to the results obtained, the increase of the cluster coverage area causes the first node deaths to be delayed and the middle and last node deaths to occur earlier. The increase of the network area takes all the node measurements at an early cycle while the first node is at the highest level and the last node at the lowest level. As the number of nodes increases, the first node deaths are delayed to an earlier cycle, while the middle and final node deaths are delayed. In the light of the results obtained, it is thought that this study will help the cluster coverage area to be selected according to the design preferences in clustering based architectures that will be designed both in real time and in the simulation environment in future.

Keywords: Wireless sensor networks, cluster based routing, coverage area, performance evaluation, energy efficiency, simulation.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Ağı oluşturan algılayıcı düğümlerin düşük maliyet ve düşük güç tüketimine sahip olması, esnek iletişim kullanarak kolaylıkla koordine olmaları gibi birçok

avantajı sayesinde Kablosuz Algılayıcı Ağlar (KAA), modern tarımdan, akıllı taşımacılığa; sağlık izlemeden, askeri uygulamalara kadar çok geniş bir yelpazede kullanım alanı bulmaktadır [1,2].

Ağı oluşturan düğümlerin batarya, işlemci, radyo ve algılama gibi kaynaklarının kısıtlı olması, KAA'nın maliyetinin ve güç tüketiminin düşük olmasını sağlarken;

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : ipek.abasikeles@iste.edu.tr

beraberinde birçok sorun getirmektedir. Kapsama alanı, güvenlik, enerji verimliliği, lokalizasyon gibi problemler arasında KAA'nın en kritik sorunu, enerji verimliliğidir [1]. Literatürde, KAA'da enerjinin verimli bir şekilde kullanılmasını amaçlayan çok sayıda çalışma yer almaktadır [3-6].

KAA'yı oluşturan düğümler genellikle insan müdahalesinin mümkün olmadığı zorlu şartlar altında konumlandıkları için bataryaları tükendiğinde yenilenmesi mümkün olmamaktadır. Dolayısı ile ağın işleyiş süresi düğümlerin bataryalarının verimli bir şekilde kullanılması ile doğrudan bağlantılıdır. Bu nedenle kümeleme tabanlı yönlendirme protokolleri düğümlerin veri iletiminde verimli batarya kullanımını sağladığı için literatürde sıklıkla tercih edilmektedir [1].

Düşük Enerjili Uyarlanabilen Kümeleme Mimarisi (Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy - LEACH) [7] protokolü kümeleme mimarisini ilk kez öneren ve bugün bile birçok çalışmada kıyaslama amacıyla kullanılan temel bir protokoldür. LEACH, küme başlarının rasgele bir şekilde dinamik ve dağıtık olarak belirlenmesini önerir. Küme başı olarak seçilen düğüm, tüm ağı yayım yaparak kümesini oluşturur. LEACH protokolünü temel alarak geliştirilen birçok kümeleme tabanlı protokole; küme başı seçiminde çeşitli parametreler kullanmayı [1,2], kümeleme oluşumunda zamana dayalı yaklaşımları [8-10], bulanık mantık [11,12], parçacık sürü optimizasyonu [13, 14] vb. yöntemler ile küme oluşturmayı içeren birçok yöntem önerilmiştir. Bu yaklaşımların bir kısmında küme başı olarak seçilen düğüm kendisini tanıtmak amacıyla tüm ağı yayım yaparken [1,7,10], diğerlerinde sadece belirli bir kapsama alanına yayım yapar [8,9]. Tüm ağı yapılan yayım daha fazla enerji tüketimine sebep olurken hiçbir düğümün açıkta kalmayacağını garantiler. Bununla birlikte yayım işlemi sınırlı bir alana yapıldığında, ağı enerjisinin daha verimli bir şekilde kullanılması sağlanırken hiçbir kümeye katılmayan (yani açıkta kalan) düğümler oluşmaktadır. Açıkta kalan düğümlerin verilerini doğrudan baz istasyonuna iletmek zorunda olmaları, daha fazla enerji harcamalarına neden olur. Hangi yaklaşımın enerji tüketimi açısından daha avantajlı olacağının tespit edilmesi için çalışmalar yapılması gerekmektedir.

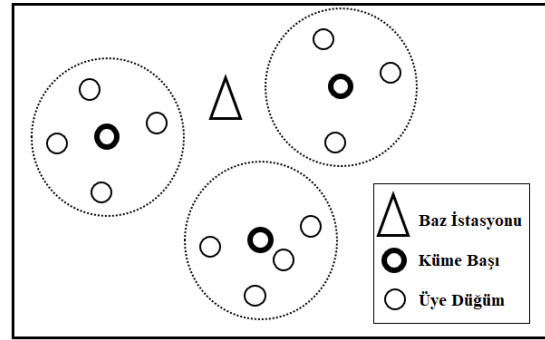
KAA'nın toplam maliyetinin belirlenmesinde, ağı kapsayıcılığını eniyileyecek şekilde kümeleme alanlarının oluşturulması oldukça önem arz eder [15]. Bu amaçla, en uygun küme başı sayısını [15-17], iletişim adımı sayısını [18], düğüm yoğunluğunu [18] ve küme başı pozisyonlarını [18] belirlemek için literatürde çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bununla birlikte, küme başlarının kapsama alanı da kümeleme alanını etkileyen önemli bir parametredir. Ancak, literatürde küme başlarının kapsama alanları ile ilgili yapılan bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu çalışmada, literatürdeki diğer çalışmalardan farklı olarak, KAA'da küme başının iletim yaptığı kapsama alanının ağı yaşam süresi üzerine etkisi incelenmiştir. Bu amaçla farklı kapsama alanları, farklı düğüm sayıları ve farklı ağı alanları kullanılarak yapılan

ayrıntılı benzetimlerde ağıdaki ilk, orta ve son düğümün öldüğü döngüler ile açıkta kalan düğüm sayıları incelenmiştir. Elde edilen sonuçların ışığında bu çalışmanın, gelecekte hem gerçek zamanlı hem de benzetim ortamında tasarlanacak olan kümeleme tabanlı mimarilerde küme kapsama alanının tasarım tercihlerine uygun olarak seçilmesine yardımcı olacağı düşünülmektedir.

Bölüm 2'de kümeleme tabanlı KAA yapısı anlatılırken, Bölüm 2'te benzetim ortamı ve parametreleri tanıtılmıştır. Elde edilen sonuçlar Bölüm 4'te verilirken, son bölüm olan Bölüm 5 ile çalışma sonlandırılmıştır.

2. KÜMELEME TABANLI YÖNLENDİRME ÇATISI (CLUSTER-BASED ROUTING FRAMEWORK)

Kümeleme tabanlı bir KAA'da ağıdaki düğümler, küme yapısı altında organize olarak veri iletimini gerçekleştirirler. Şekil 1'de görüldüğü üzere kümeleme tabanlı bir KAA, 3 temel eleman içerir: baz istasyonu, küme başı ve üye düğüm. Üye düğümler ortamdaki algıladıkları verileri küme başlarına iletirken; küme başları üyelerinden topladığı verileri birleştirerek baz istasyonuna iletir.



Şekil 1. Kümeleme tabanlı KAA mimarisi (Cluster-based WSN architecture)

Ağı işleyiş ardaşık döngüler halindedir. Her döngü sıralı iki aşamadan oluşur: küme oluşumu ve veri iletimi. Küme oluşumunda öncelikle küme başları seçilir. Bir düğümün küme başı olup olmayacağı kararı düğümler tarafından birbirlerinden bağımsız olarak verilebileceği gibi merkezi bir otorite tarafından belirlenip ilgili düğümlere de iletilebilir. İlk yaklaşım dağıtık kümeleme olarak adlandırılır ve merkezi bir ağıta bağımlılığın olmaması sayesinde KAA'nın doğasına daha uygundur. Bu nedenle literatürdeki birçok çalışma dağıtık kümeleme yaklaşımını kullanır [19]. Seçim aşamasından sonra küme başları, R_c yarıçaplı bir alana küme başı olduklarını bildiren ve kimlik, konum vb. bilgileri içeren bir REKLAM mesajı yayımlarlar. Reklam mesajlarını alan sıradan düğümler kendilerine en yakın küme başını seçerek ona BAĞLANMA İSTEK mesajı yollar. Küme başları, talepleri topladıktan sonra, kendi kümesine bağlı olan üye düğümler için Zaman Bölmeli Çoklu Erişim (Time Division Multiple Access - TDMA) çizelgesi

hazırlar ve üyelerine BAĞLANMA_ONAY mesajı içerisinde iletim yapacakları zaman aralıklarını bildirir. Bu mesajın üye düğümlere ulaşmasının ardından kümeleme oluşumu tamamlanmış olur ve döngünün ikinci aşaması olan veri iletim aşaması başlar. Üye düğümler kendilerine bildirilen zaman aralıklarında verilerini VERİ_ÜYE paketi içerisinde küme başlarına iletirler. Küme başları bu verileri topladıktan sonra veri birleştirme işlemi uygular ve son veriyi VERİ_KÜMEBAŞI paketinin içerisinde ya doğrudan baz istasyonuna ya da bir başka küme başına iletir. Verilerin tamamı baz istasyonuna ulaştığında döngü tamamlanır ve düğümler bir sonraki döngü için hazırlanır. Kümeleme tabanlı bir KAA'da üretilen mesajlar Çizelge 1'de görülmektedir.

Benzetimlerde kullanılan ağ parametreleri Çizelge 2'de görülmektedir. Bu çalışmada radyo modeli olarak Doğrusal Radyo Modeli (First Order Radio Model - FORM) [7] tercih edilmiştir. Enerji tüketimi hesaplamalarında kullanılacak olan eşik mesafesi 87 metredir. Sistemde enerjinin verimli bir şekilde kullanılması için gereken en uygun küme başı sayısının 3 ve 5 arasında olduğu bildirilmiştir [21]. Bu nedenle bu çalışmada istenilen küme başı sayısı TB-LEACH'de olduğu gibi 4 olarak alınmıştır. Ağdaki algılayıcı düğümler homojendir ve başlangıç enerjileri 0.5 J'dir. 100 m x 100 m ve 200 m x 200 m olmak üzere iki farklı ağ alanı üzerine 100 ve 200 düğüm rasgele konumlara yerleştirilmiştir. Seçilen küme başlarının kapsama alanı olarak 30 m, 50 m, 60 m, 80 m, 100 metre ve tüm ağı kapsayacak mesafe değerleri alınmıştır. Sistemde

Çizelge 1. Kümeleme tabanlı KAA'da üretilen mesajlar (Messages created by a cluster-based WSN)

Ad	Nereden - Nereye	Veri / Kontrol	Açıklama
REKLAM	Küme Başı - R_c alanı	Kontrol	Küme başının ilan mesajı
BAĞLANMA İSTEK	Üye - Küme Başı	Kontrol	Kümeye katılma talebi
BAĞLANMA ONAY	Küme Başı - Üye	Kontrol	Kümeye katılma onayı
VERİ ÜYE	Üye - Küme Başı	Veri	Üyelerin veri iletimi
VERİ KÜMEBAŞI	Küme Başı - Baz	Veri	Küme başlarının veri iletimi

Bu çalışmada kullanılan kümeleme tabanlı protokol, literatürde bu alanda yapılmış en temel protokol olarak kabul edilen LEACH protokolü temel alınarak geliştirilen Zamana Dayalı Düşük Enerjili Uyarlanabilen Kümeleme Mimarisi (Time-Based Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy - TB-LEACH) [10] protokolüdür. TB-LEACH protokolü, LEACH protokolünden farklı olarak önerdiği küme başı seçiminde zamana dayalı yaklaşım sayesinde, ağda istenilen sayıda küme başı oluşmasını garantileyerek kümeler arasında daha dengeli bir yük dağıtımını sağlar.

3. BENZETİM ORTAMI (SIMULATION ENVIRONMENT)

Bu çalışmada, ilk olarak, benzetim tekniği kullanılarak TB-LEACH protokolü modellenmiştir. Ardından küme başları, reklam mesajlarını yayınlamak için farklı büyüklüklerde alanlar (farklı R_c) seçtiğinde ağ yaşam süresinin ve dışarıda kalan (hiçbir kümeye dâhil olmayan) düğüm sayısının değişimi gözlemlenmiştir.

KAA'da ağı oluşturan düğümler, veri iletimi, haberleşme vb. işlemler için enerji harcarlar ve belirli bir süre sonra enerjileri tükendiğinde sistemden ayrılırlar. Bu duruma düğüm ölümü adı verilir. KAA'da ağdaki tüm düğümlerin öldüğü döngü, ağın yaşam süresi olarak adlandırılır ve ağın performansını ölçmede kullanılan önemli bir parametredir [20]. Bununla birlikte ağdaki ilk düğümün [1] ve orta düğümün öldüğü döngüler [2] de bu amaçla kullanılan diğer önemli değerlendirme ölçütleridir. Bu çalışmada sistemin performansının değerlendirilmesinde hem ilk ve orta hem de son düğüm ölümleri kullanılmıştır.

üretilen kontrol paketleri 25 bayt, veri paketleri ise 250 bayt uzunluğundadır.

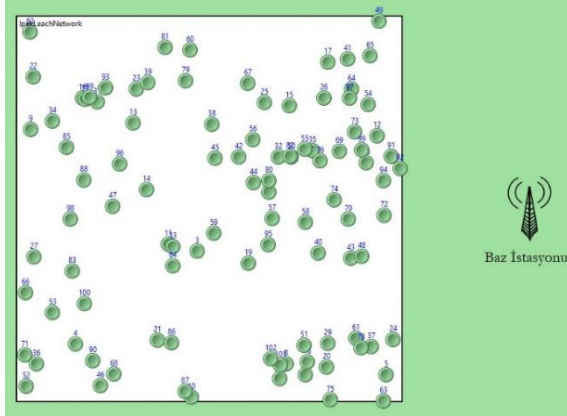
Çizelge 2. Benzetim Parametreleri (Simulation Parameters)

Parametreler	Değerler	
Ağ alanı	100 m x 100 m 200 m x 200 m	
Düğüm Sayısı	100 ve 200	
Küme Yarıçapı (R_c)	100 m, 80 m, 60 m, 50 m, 30 m ve tüm ağ alanı	
Küme başı sayısı	4	
FORM Parametreleri	E_{elec}	50 nJ/bit
	E_{fs}	10 pJ/bit/m ²
	E_{mp}	0,0013 pJ/bit/m ⁴
	E_{DA}	5 nJ/bit/sinyal
Veri paketi boyu	250 bayt	
Kontrol paket boyu	25 bayt	
Başlangıç enerjisi (E_0)	0,5 J	
Eşik mesafesi (d_0)	87 m	

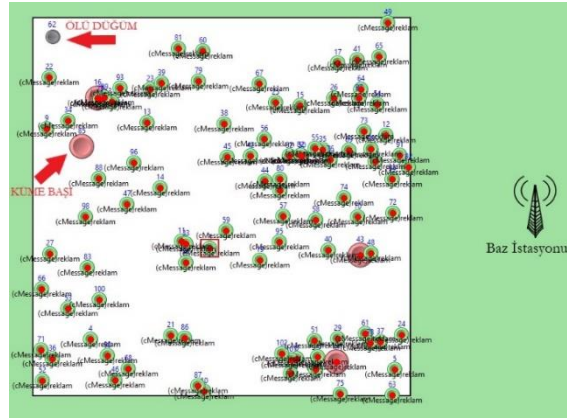
4. BULGULAR ve TARTIŞMA (RESULTS and DISCUSSION)

Şekil 2'de görüldüğü üzere OMNeT++ benzetim programı kullanılarak oluşturulan 100 düğümlü bir KAA'nın çalıştırılması sırasında ilk düğümün öldüğü anda ağın görüntüsü Şekil 3'te; 50. düğümün (düğümlerin yarısının) öldüğü anda ağın görüntüsü Şekil 4'te; 100. düğümün (son düğümün) öldüğü andaki ağ görüntüsü ise Şekil 5'te görülmektedir. Şekillerde görüldüğü üzere baz istasyonuna uzak olan düğümler, verilerini uzak mesafeler boyunca iletmek zorunda olacakları için bataryalarını daha erken döngülerde tüketmektedir. Baz

istasyonuna konum olarak daha yakın olan düğümler ise ağın son döngülerine kadar hayatlarını devam ettirebilmektedir.



Şekil 2. OMNeT++ üzerinde çalıştırılan 100 düğümlü bir KAA (a 100 node WSN running on OMNeT++ simulation program)

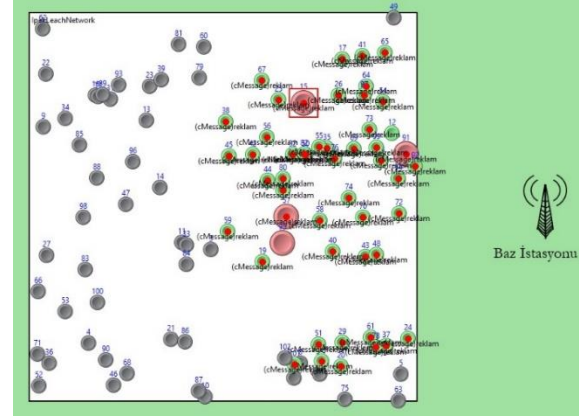


Şekil 3. OMNeT++ üzerinde çalıştırılan 100 düğümlü bir KAA'da ilk düğümün öldüğü anda ağın görüntüsü (Screenshot of a 100 node WSN running on OMNeT++ simulation program at the death of the first node)

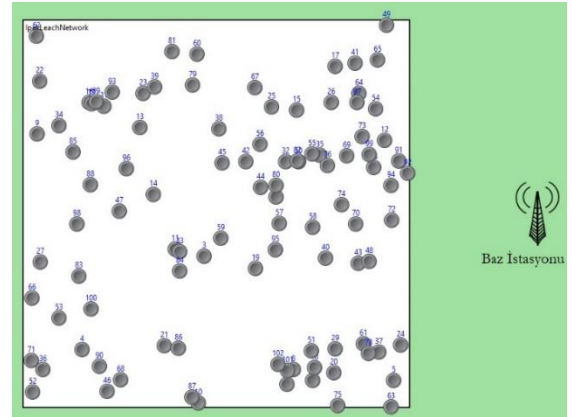
Çizelge 3'ten Çizelge 6'ya kadar sırasıyla 100 x 100 ve 200 x 200'lük ağ alanlarında 100 ve 200 düğüm için çalıştırılan benzetim sonucunda elde edilen ilk, orta ve son düğümlerin öldükleri döngü ile hiçbir kümeye dâhil olmayıp dışarıda kalan minimum, maksimum ve ortalama düğüm sayıları görülmektedir.

100 x 100'lük ağ alanında 100 düğümün olduğu durumda (Çizelge 3), ilk düğüm ölümü R_C değeri azaldıkça önce geciktirilmiş; R_C 'nin 80 olduğu noktada maksimum

değerine ulaştıktan sonra R_C 'nin artışı ile yeniden azalmaya başlamıştır. R_C değerinin tüm ağı kapsayacak kadar büyük olması, küme başlarının daha uzak mesafelere yayım paketlerini ulaştırmak zorunda kalmalarına, bu amaçla daha fazla enerji harcamalarına ve dolaylı olarak daha erken düğüm ölümlerine neden olmaktadır. Benzer şekilde düşük R_C değerleri ise daha fazla düğümün dışarıda kalarak hiçbir kümeye katılmamasına neden olmaktadır.



Şekil 4. OMNeT++ üzerinde çalıştırılan 100 düğümlü bir KAA'da düğümlerin yarısının öldüğü anda ağın görüntüsü (Screenshot of a 100 node WSN running on OMNeT++ simulation program at the death of the half node)



Şekil 5. OMNeT++ üzerinde çalıştırılan 100 düğümlü bir KAA'da düğümlerin tamamı öldüğü anda ağın görüntüsü (Screenshot of a 100 node WSN running on OMNeT++ simulation program at the death of the last node)

Çizelge 3. 100 x 100'lük ağ alanında 100 düğüm için ilk, orta ve son düğümlerin öldükleri döngü ile dışarıda kalan minimum, maksimum ve ortalama düğüm sayıları (Minimum, maximum, and average number of nodes that are unclustered and the death round of the first, middle, and last node for a 100 node network with a size of 100 x 100)

	İlk	Orta	Son	Max	Min	Ort
TB-LEACH	1047	1485	1881	0	0	0
$R_C = 100$	1057	1491	2015	1	0	0,0015
$R_C = 80$	1063	1526	2150	13	0	0,2419
$R_C = 60$	919	1538	2240	23	0	2,5616
$R_C = 50$	611	1501	2396	45	0	5,6229
$R_C = 30$	361	1493	2538	62	0	16,3656

Çizelge 4. 100 x 100'lük ağ alanında 200 düğüm için ilk, orta ve son düğümlerin öldükleri döngü ile dışarıda kalan minimum, maksimum ve ortalama düğüm sayıları (Minimum, maximum, and average number of nodes that are unclustered and the death round of the first, middle, and last node for a 200 node network with a size of 100 x 100)

	İlk	Orta	Son	Max	Min	Ort
TB-LEACH	977	1514	2016	0	0	0
$R_C = 100$	977	1520	2070	3	0	0,0048
$R_C = 80$	977	1551	2108	18	0	0,5797
$R_C = 60$	693	1542	2214	57	0	5,1079
$R_C = 50$	496	1551	2240	82	0	11,5652
$R_C = 30$	367	1606	2432	135	0	35,0329

Çizelge 3'te görüldüğü gibi R_C değeri azaldıkça hiçbir kümeye dâhil olamayan düğüm sayısı maksimumda 62, ortalamada 16 değerlerine ulaşmıştır. Dışarıda kalan düğümler, verilerini doğrudan baz istasyonuna iletmek

artması, R_C değerinden bağımsız olarak, daha fazla düğümün dışarıda kalmasına neden olmuştur.

Çizelge 4'te görüldüğü üzere en kötü durumda, tıpkı Çizelge 3'te olduğu gibi R_C değeri en düşük olduğu

Çizelge 5. 200 x 200'lük ağ alanında 100 düğüm için ilk, orta ve son düğümlerin öldükleri döngü ile dışarıda kalan minimum, maksimum ve ortalama düğüm sayıları (Minimum, maximum, and average number of nodes that are unclustered and the death round of the first, middle, and last node for a 100 node network with a size of 200 x 200)

	İlk	Orta	Son	Max	Min	Ort
TB-LEACH	424	799	981	0	0	0
$R_C = 100$	124	967	1721	51	0	3,0314
$R_C = 80$	92	809	1920	54	0	4,8568
$R_C = 60$	81	510	2230	66	0	6,7969
$R_C = 50$	58	369	2332	72	0	8,6214
$R_C = 30$	47	223	2480	86	0	10,4228

zorunda kaldıkları için enerjileri daha erken tüketecek ve buna bağlı olarak ilk düğüm ölümleri daha erken döngülerde yaşanacaktır. Orta düğüm ölümünde, ilk düğüm ölümüne benzer bir eğilim görülmekle beraber, ideal R_C değerinin azaldığı ($R_C = 60$) görülmektedir. Son düğüm ölümlerinde ise sonuçlar diğer iki gruptan oldukça farklıdır. Son düğüm ölümü, R_C değeri azaldıkça gecikmektedir. Bunun nedeni düğümlerin ağ yaşam süresinin sonlarına doğru enerjilerinin çoğunu kaybetmeleri sonucunda kümeleme işlemine harcanan enerjinin doğrudan baz istasyonuna ulaşmaya göre avantajını kaybetmesidir.

Çizelge 4 'te görüldüğü üzere 100 x 100'lük ağ alanına 200 düğüm yerleştirildiğinde, 100 düğüm içeren sistemden farklı olarak görülebilecek sonuçlardan en belirginini, ilk düğüm ölümlerinin daha erken; orta ve son düğüm ölümlerinin ise daha ileri döngülerde

durumda, dışarıda kalan düğüm sayısı maksimumda 135'e, ortalamada 35 değerine ulaşmıştır. Daha fazla sayıda düğümün hiçbir kümeye dâhil olamayıp dışarıda kalması, bu düğümlerin enerjilerini daha çabuk tüketmesine ve ilk düğüm ölümünün daha erken bir döngüde yaşanmasına neden olmuştur. Ağdaki düğüm sayısının artması, orta ve son düğüm ölümlerinde, ilk düğüm ölümünden farklı bir etki sergilemiştir. Baz istasyonuna yakınlığından dolayı enerjisini verimli bir şekilde harcayan düğüm sayısının artması, ağ yaşam süresinin uzamasını sağlamıştır.

Çizelge 5'te görüldüğü üzere 100 düğümlü KAA'da ağ alanı 2 katına çıkarıldığında (200 x 200), R_C değerinden bağımsız olarak hem ilk hem de orta ve son düğüm ölümleri Çizelge 3'e göre daha erken döngülerde gerçekleşmiştir. Beklenen bu sonucun nedeni, düğümlerin her durumda daha uzak mesafelerde iletim

Çizelge 6. 200 x 200'lük ağ alanında 200 düğüm için ilk, orta ve son düğümlerin öldükleri döngü ile dışarıda kalan minimum, maksimum ve ortalama düğüm sayıları (Minimum, maximum, and average number of nodes that are unclustered and the death round of the first, middle, and last node for a 200 node network with a size of 200 x 200)

	İlk	Orta	Son	Max	Min	Ort
TB-LEACH	483	1020	1199	0	0	0
$R_C = 100$	112	1184	1690	74	0	6,0000
$R_C = 80$	67	971	1866	96	0	10,0000
$R_C = 60$	61	610	2022	115	0	16,0964
$R_C = 50$	56	486	2282	131	0	17,8234
$R_C = 30$	45	343	2449	171	0	27,3728

yaşanmasıdır. Bu sonuçların sebebi, dışarıda kalan düğüm sayılarındaki değişimdir. Düğüm sayısının

yaşam zorunda olmaları ve enerjilerini daha çok harcamalarıdır. Ağ alanının etkisi sadece düğüm

ölümlerinde değil, küme dışında düğümlerde de görülmektedir. 100 x 100'lük alanda dışarıda kalan düğüm sayıları farklı R_C değerlerine göre maksimumda 1 ile 62 arasındayken, 200 x 200'lük alanda bu değerler 51 ve 86'ya ulaşmıştır. Ağ alanının etkisi 200 düğümde de 100 düğüme benzer etkiler göstermektedir (Çizelge 6). İlk düğümde %90'lara, orta düğümde %80'lere ve son düğümde %40 değerine varan oranlarda erken düğüm ölümleri gerçekleşmiştir. 200 x 200'lük ağ alanında R_C 'nin etkisi incelendiğinde hem 100 hem 200 düğüm için ilk düğüm ölümlerinin 100 x 100'lük alandan farklı olarak R_C değeri azaldıkça daima azaldığı görülmektedir. Bu farklılığın nedeni R_C değeri yüksek olsa bile ağ alanının büyüklüğünden dolayı düğümlerin dışarıda kalma oranlarının ve verilerini ilettikleri mesafenin daha fazla olmasıdır.

5. SONUÇ (CONCLUSION)

Enerjinin verimli bir şekilde kullanılmasını sağlayan kümeleme tabanlı mimariler, literatürde sıklıkla KAA yapısının kurulmasında tercih edilmektedir. Yapılan çalışmaların bir kısmında kümeleme alanı tüm ağı kapsayacak genişlikte olabilirken, diğer bir kısmında enerji verimliliğini sağlamak amacıyla bu alan sınırlandırılmıştır. Hangi yaklaşımın enerjisi daha verimli kullandığını tespit etmek amacıyla bu çalışmada, farklı ağ parametreleri üzerinden çeşitli benzetimler yapılmış ve ağ yaşam süresi ilk, orta ve son düğümlerin öldüğü döngüler üzerinden analiz edilmiştir.

Gerçekleştirilen ayrıntılı benzetimler sonucunda R_C değerinin artması ile ilk düğüm ölümleri gecikirken, orta ve son düğüm ölümlerinin daha erken yaşandığı; ağ alanının artmasının tüm düğüm ölümlerini daha erken bir döngüye çekerken en yüksek oranda etkiyi ilk düğüm ölümlerinde, ardından orta düğüm ölümlerinde yaptığı; düğüm sayısının artmasının ise ilk düğüm ölümlerini daha erken bir döngüye çekerken orta ve son düğüm ölümleri için gecikme sağladığı gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçların ışığında bu çalışmanın, gelecekte hem gerçek zamanlı hem de benzetim ortamında tasarlanacak olan kümeleme tabanlı mimarilerde küme kapsama alanının tasarım tercihlerine uygun olarak seçilmesine yardımcı olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

[1] Batra, P. K., & Kant, K., "LEACH-MAC: a new cluster head selection algorithm for Wireless Sensor Networks", *Wireless Networks*, 22(1): 49-60, (2016)

[2] Jia, D., Zhu, H., Zou, S., & Hu, P., "Dynamic cluster head selection method for wireless sensor network", *IEEE Sensors Journal*, 16(8): 2746-2754, (2016)

[3] Toklu, S., & Erdem, O. A., "BSC-MAC: Energy efficiency in wireless sensor networks with base station control", *Computer Networks*, 59: 91-100, (2014)

[4] Toklu, S., & Şimşek, M., "Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Ağ Ömrünü Uzatmak İçin Uygulamaya Özel Uyu-Uyan Stratejisi", *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6(4): 1038-1046, (2018)

[5] Toklu, S., & Erdem, O. A., "Idle ve Power_Down Güç Durumunun Enerji Başarım Değerlendirmesi", *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 5(3): 35-40, (2012)

[6] AlSkaif, T., Bellalta, B., Zapata, M. G., & Ordinas, J. M. B., "Energy efficiency of MAC protocols in low data rate wireless multimedia sensor networks: A comparative study", *Ad Hoc Networks*, 56: 141-157, (2017)

[7] Heinzelman, W. R., Chandrakasan, A., & Balakrishnan, H., "Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks", *System sciences, 2000. Proceedings of the 33rd annual Hawaii international conference on. IEEE*, (2000)

[8] Zhang, D. G., Wang, X., Song, X. D., Zhang, T., & Zhu, Y. N., "A new clustering routing method based on PECE for WSN", *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 1: 162, (2015)

[9] Shang, F., "A multi-hop routing algorithm based on integrated metrics for wireless sensor networks", *Applied Mathematics & Information Sciences*, 7(3): 1021, (2013)

[10] Junping, H., Yuhui, J., & Liang, D., "A time-based cluster-head selection algorithm for LEACH", *Computers and Communications, IEEE Symposium on*, (2008)

[11] Nayak, P., & Devulapalli, A., "A fuzzy logic-based clustering algorithm for WSN to extend the network lifetime", *IEEE Sensors Journal*, 16,1: 137-144, (2016)

[12] Sert, S. A., Bağcı, H., & Yazıcı, A., "MOFCA: Multi-objective fuzzy clustering algorithm for wireless sensor networks", *Applied Soft Computing*, 30: 151-165, (2015)

[13] Kuila, P., & Jana, P. K., "Energy efficient clustering and routing algorithms for wireless sensor networks: Particle swarm optimization approach", *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 33: 127-140, (2014)

[14] Elhabyan, R. S., & Yagoub, M. C., "Two-tier particle swarm optimization protocol for clustering and routing in wireless sensor network", *Journal of Network and Computer Applications*, 52: 116-128, (2015)

[15] Sevgi, C., & Koçyigit, A., "On determining cluster size of randomly deployed heterogeneous WSNs", *IEEE Communications Letters*, 12: 4, (2008)

[16] Kumar, V., Dhok, S. B., Tripathi, R., & Tiwari, S., "Cluster size optimization in Gaussian distributed wireless sensor networks", *International Journal of Engineering and Technology (IJET)*, 6(3): 1581-1592, (2014)

[17] Kumar, V., Dhok, S. B., Tripathi, R., & Tiwari, S., "Cluster size optimisation with Tunable Elfas sensing model for single and multi-hop wireless sensor networks", *International Journal of Electronics*, 104(2): 312-327, (2017)

[18] Förster, A., Förster, A., & Murphy, A. L., "Optimal cluster sizes for wireless sensor networks: An experimental analysis", *In International conference on ad hoc networks*, 49-63, (2009)

[19] Afsar, M. M., & Tayarani-N, M. H., "Clustering in sensor networks: A literature survey", *Journal of Network and Computer Applications*, 46: 198-226, (2014)

[20] Ray, A., & De, D., "Energy efficient clustering protocol based on K-means (EECPK-means)-midpoint algorithm for enhanced network lifetime in wireless sensor network", *IET Wireless Sensor Systems*, 6(6): 181-191, (2016)

[21] Heinzelman, W. R., Chandrakasan, A., & Balakrishnan, H., "An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks", *IEEE Trans. on Wireless Communications*, 1(4): 660-670, (2002)