






Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Komşuluk Yaklaşımı ile Kablosuz Sensör Ağlarda Izgara Temelli Kümeleme Tasarımı ve Uygulaması¹

 Mesut UĞURLU^{a,*},  Abdullah ORMAN^b,  Murat DENER^a

^a Bilgi Güvenliği Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, TÜRKİYE

^b Bilgisayar Teknolojileri, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Ankara, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: mesut.ugurlu@gazi.edu.tr

DOI:10.29130/dubited.1016930

Öz

Kablosuz sensör ağlar, medikal, askeri, endüstriyel, tarım ve çevresel uygulamada alanı izlemek için yoğun olarak kullanılmaktadır. Bu ağlarda birçok sensör düğüm bulunmaktadır ve bu düğümler kısıtlı kaynaklara sahiptir. Ayrıca bu sensör düğümler tekrar şarj özelliğinin çok olmaması nedeni ile enerjilerini bittiği durumlarda tekrar kullanılamaz hale gelmektedir. Enerji tüketiminin verimli kullanılması bu ağlardaki en önemli çalışma alanlarından biridir. Kümeleme yaklaşımı düğümlerin dağıtıldığı alanı kümelere ayırır ve her küme için bir küme başı seçer. Küme başı küme içerisinde bulunan sensör düğümlerden algılanan verileri toplar, birleştirir ve baz istasyonuna iletir. Kümeleme enerji tüketimini azaltarak ağın ömrünü uzatır. Bu çalışmada ızgara temelli kümeleme işlemi yapılmış ve en çok komşuluğa sahip düğüm küme başı olarak seçilmiştir. Küme başı enerjisi azaldığında ilgili küme içerisinde en çok ikincil komşuluğa sahip düğüm küme başı seçilmektedir. Önerilen yöntem MATLAB simülasyon ortamında gerçekleştirilmiştir. Çalışmada elde edilen bulgular incelendiğinde önerilen yöntemin, kümeleme yapılmadan oluşturulan ağlara kıyasla %60 daha uzun ömürlü olduğu ve sensör düğümlerde enerji tüketiminin verimli hale getirildiği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kablosuz sensör ağlar, Izgara temelli kümeleme, Komşuluk yaklaşımı

Grid Based Clustering Design and Implementation in Wireless Sensor Networks with Neighborhood Approach

ABSTRACT

Wireless sensor networks are extensively used to monitor field in medical, military, industrial, agricultural and environmental application. There are many sensor nodes in these networks and these nodes have limited resources. In addition, these sensor nodes become unusable when they run out of energy due to the lack of recharging feature. Efficient use of energy consumption is one of the most important working areas in these networks. The clustering approach divides the area where the nodes are distributed into clusters and selects a cluster head for each cluster. The cluster head collects the data detected from the sensor nodes in the cluster, combines it and transmits it to the base station. Clustering reduces energy consumption and extends the life of the network. In this study, grid-based clustering was performed and the node with the most neighbors was chosen as the cluster head. When the cluster head energy decreases, the node with the most secondary neighbors in the related cluster is selected as the cluster head. The proposed method was implemented in the MATLAB simulation environment. When the findings obtained in the study are examined, it has been observed that the proposed method has a much longer life than the networks created without clustering and the energy consumption in the sensor nodes is made efficient.

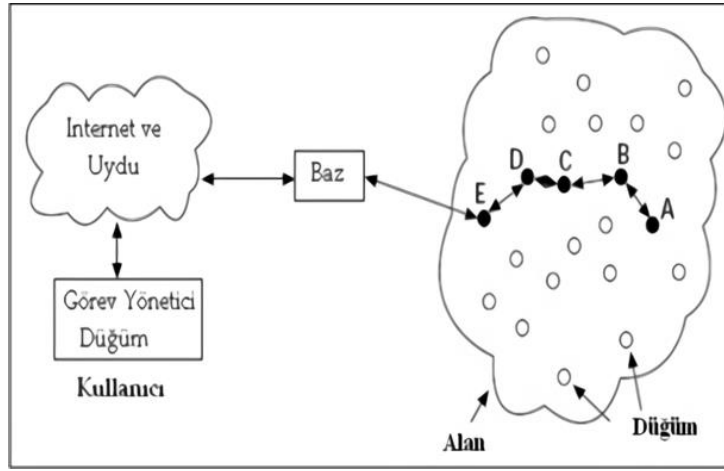
Keywords: Wireless sensor networks, Grid-based clustering, Neighborhood approach

¹* ICAIAME 2021 konferansında sunulmuştur.

Geliş: 31/10/2021, Düzeltme: 16/12/2021, Kabul: 18/12/2021

I. GİRİŞ

Kablosuz haberleşme teknolojilerinin gelişmesi, sensör maliyetlerinin azaltılması ve özelliklerinin geliştirilmesi ile kablosuz sensör ağların kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır. Kablosuz Sensör Ağlar (KSA), genellikle bir fiziksel alana dağılmış bir veya daha fazla baz istasyonu ve on veya binlerce sensör düğümden oluşur [1]. Bir ağ üzerinde bulunan sensörler, algılama, işleme ve iletişim yetenekleriyle donatılmış ve belirli bir uygulamayla ilişkili parametreleri ölçmekten sorumlu bir cihazlardır [2] [3]. Her sensörün kendi işlemcisi, hafızası, iletim ve algılama parçaları bulunmaktadır. Fakat bu sensörler küçüktür, sınırlı işleme ve hesaplama kaynaklarına sahiptir [4]. Baz istasyonu ise, sensörlerden tüm ölçüm verilerini yakalamaktan ve bunlara erişim sağlamaktan sorumludur ve bazen verilerin uzaktan yönetilmesine izin vermek için ağ geçidi hizmetleri sağlayabilir [2]. Kablosuz sensör ağlara ait geleneksel mimari Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. KSA mimarisi [3].

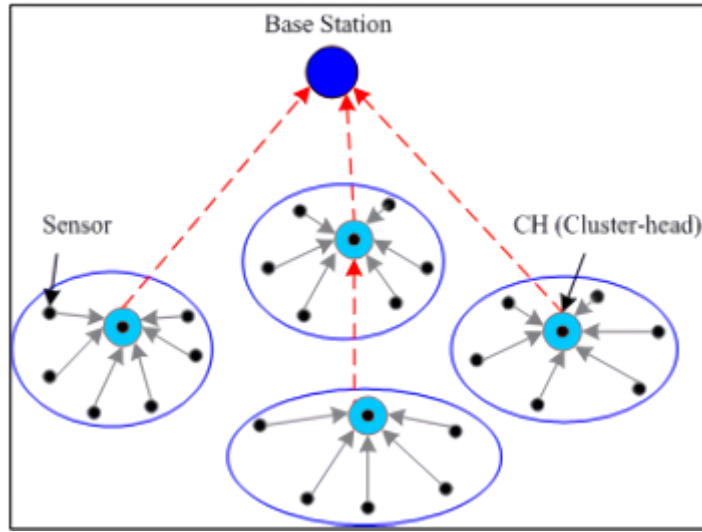
Sıcaklık, ışık, ses, nem ve basınç gibi doğal olay verileri sensörler tarafından toplanır ve baz istasyonuna iletilir. Bataryaya sahip olan bu düğümler, fiziksel ortamı uzak konumlardan izlemek ve kontrol etmek için kullanılır. KSA’lar son yıllarda özellikle, tıbbi, askeri, endüstriyel, tarımsal ve çevresel izlemede yaygın olarak kullanılmaktadır [5].

KSA’ların tasarımında birçok zorluk bulunmaktadır. Sensörler oldukça sınırlı güç kaynaklarına sahiptirler [6]. Ayrıca zorlu fiziksel şartlar altında iletim yapmaları gerekmektedir. Yerleştirme, zaman senkronizasyonu, hata toleransı, donanımsal ve yazılım kaynaklı zorluklar yaşanabilmektedir [7].

Kablosuz Sensör Ağ oluşturulurken, baz istasyonu ve düğümlerin yerleştirilmesi önceden tanımlanmaz ve mühendislik gereksinimi duyulmamaktadır. Bu sayede izlenecek ortama rastgele dağıtım yapılabilmektedir [8]. Rastgele dağıtım sebebi ile bu ağlar kendi kendine organize olabileme yeteneğine sahip olması gerekmektedir.

Sensörlerin kısıtlı kaynakları olması nedeni ve en çok enerji tüketimi iletim esnasında yaşandığı için verimli enerji tüketimi oldukça önemlidir. Enerji tüketimi, sensör düğüm ile baz istasyonu arasında bulunan mesafe ile doğru orantılıdır. Bu nedenle düğümler kümelenecek düğümlerin doğrudan baz istasyonu ile değil küme başı ile iletişime geçmesi ve enerjinin verimli kullanılması için literatürde çalışmalar yapılmaktadır. Kümeleme, sensörleri belirli karakteristik özelliklerine veya benzerliklerine göre gruplara ayırmaktadır [9]. Kümeleme sürecini gerçekleştirmenin amacı, ağın enerji verimliliğinin yanı sıra ölçeklenebilirliği sağlamaktır. Kümeleme süreci yapılırken sensörlere farklı roller ve görevler atanmaktadır. Her bir küme için Küme Başı (Cluster Head, CH) bulunmaktadır ve bu sensör küme içerisinde bulunan diğer sensörlerden aldığı verileri toplayarak baz istasyonuna iletmek ile görevlidir

[10]. CH, sensörlerden topladığı ham verileri bir araya getirerek baz istasyonuna aktarır [11]. Bu işleme veri bütünleme denilmektedir.



Şekil 2. Kümeleme tabanlı KSA mimarisi [11].

Bu çalışmada Izgara temelli kümeleme yöntemi kullanılarak, ağa rastgele dağılmış sensörler kümelenecek enerji verimli bir yöntem önerilmiştir. Küme içerisinde en çok komşuluğu sahip düğüm belirlenerek, küme başı yapılmıştır. Bu sayede düğümlerin küme başına uzaklığı azaltılarak enerji tasarrufu sağlanmak hedeflenmiştir. Seçilen küme başının enerjisi, yarının altına indiğinde küme içerisinde bulunan ve en çok ikinci komşuluğa sahip sensör küme başı yapılmıştır. Bu sayede hem komşuluk temelli hem de enerji temelli bir yöntem sunulmuştur.

Önerilen yöntemde literatürde yapılan diğer çalışmalar gibi düğümleri belirli bir alana rastgele dağıtmaktadır. Kümeleme yöntemlerinde en kritik adımlardan bir tanesi küme başı seçim işlemidir. Literatürde küme başı seçimi rastgele, baz istasyonuna olan yakınlığına, diğer düğümlere ile arasındaki mesafeye ve enerjiye seviyesine bakılarak seçilmektedir. Uygulanan metotta LEACH algoritmasından farklı olarak küme başı rastgele değil küme içerisinde en çok enerjiye sahip ve en çok komşuluğu olan düğüm bulunarak belirlenmektedir. Ayrıca küme başı düğümünün enerjisi gelen verileri topladığı ve ilettiği için hızlı tükendiğinden belirli bir seviyenin altına düştüğünde değiştirilmektedir. Hem enerji hem de komşuluk sayısına bakılarak yapılan küme başı seçimi önerilen yöntemde literatürde yapılan diğer çalışmalardan ayrılmaktadır.

Bu makalenin ikinci kısmında literatürde yapılan diğer çalışmalar detaylı olarak incelenmiştir. Kullanılan metot, yöntem ve algoritma detayları üçüncü bölümde verilmiştir. Önerilen yöntem ile yapılan uygulama sonuçları dördüncü bölümde gösterilmiştir. Son bölümde ise yapılan çalışmanın genel bir değerlendirmesi ve gelecek çalışmalar için önerilere yer verilmiştir.

II. İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Kablosuz Sensör Ağlar, birçok sensör düğümden oluşturulmuş organize ağ çeşitleridir. Bu ağlarda yönlendirme yol kurulumu, ağ yapısı, protokol operasyonları ve iletim başlatıcısı olmak üzere 4 ana temel yaklaşım bulunmaktadır [12]. Ağ yapısı altında, konum temelli, hiyerarşik ve düz yönlendirme alt kategorileri bulunmaktadır. Hiyerarşik yönlendirme, yönlendiricileri hiyerarşik bir şekilde düzenlendiği bir yöntemdir. KSA'larda hiyerarşik protokoller güçlü veya hızlı yönlendiricilerin omurga yönlendiricisi ve düşük güçlü veya yavaş yönlendiricilerin ise sadece erişim amacı ile kullanılmasına imkân sağlar [13]. Hiyerarşik yönlendirmede ağ içerisinde bulunan her düğüm farklı görevler veya sorumluluklar taşıyabilir.

Hiyerarşik yönlendirme çeşitlerinden olan kümelemede ağ, ızgara yapıda alanlara bölünür ve her bir alan bir küme olarak kabul edilir. Alan $m \times n$ parçalara bölünerek kümeleme işlemi gerçekleştirilir. Kümeleme yönteminin ölçekleme, daha az yük oluşturma, daha az enerji tüketimi ve ağın ömrünü uzatma gibi avantajlar sağlamaktadır. Literatürde ızgara temelli kümeleme çalışmaları yapılmaktadır. Bu bölümde bu alanda yapılan çalışmalar incelenmiştir.

Heinzelman ve arkadaşları [14] enerji yükünü ağdaki sensörler arasında eşit olarak dağıtmak için rastgeleleştirme kullanan, kendi kendini organize eden, uyarlanabilir ve LEACH adını verdikleri bir kümeleme protokolü önermişlerdir. LEACH protokolünde küme başları ilk önce rastgele seçilir ve sonrasında tek bir sensörün pilini boşaltmamak için çeşitli sensörler arasında dönecek şekilde yüksek enerjili küme başı konumunun rastgele döndürülmesini sağlar. Ayrıca LEACH, kümelerden baz istasyonuna gönderilen veri miktarını "sıkıştırmak" için yerel veri füzyonu gerçekleştirir, bu da enerji tüketimini daha da azaltır ve sistem ömrünü uzatır. LEACH, yüksek enerjili düğümleri belirli bir zamanda küme başı olmayı seçen bir yöntem olarak statik kümeleme algoritmalarından daha iyi performans göstermiştir. LEACH, doğrudan iletim ve minimum iletim-enerji yönlendirmesi ile karşılaştırıldığında iletişim enerjisini 8 kata kadar azalttığı belirtilmiştir.

Li ve arkadaşları [15] EBCA adını verdikleri ve sensör düğümlerin dağıtıldığı alanı dengeli bir şekilde kümelere ayıran bir çözüm geliştirmişlerdir. Çalışmada 100 düğüm 100×100 metrelik alana rastgele dağıtılmıştır ve düğümlerin hareket yetenekleri bulunmamaktadır. Kümeleme işlemi ızgara temelli yapılmıştır ve her kümenin bir küme başı düğümü bulunmaktadır. Küme başları baz istasyonuna daha yakın olan düğümlerden seçilmektedir. Küme başı düğümlerin enerjisi verilen eşik değerden daha yüksek olmak durumundadır. Enerji verimliliğini artırmak adına tek durak yerine çoklu durak yöntemi tercih edilmiştir. Önerilen yöntem LEACH [14] ve HEED algoritmaları ile karşılaştırılmıştır. EBCA, LEACH ve HEED algoritmalarına göre daha verimli olduğu ve ağ ömrünü uzattığı gözlemlenmiştir.

Liu ve arkadaşları [16] enerji tüketimini azaltan ve dengeli bir ağ oluşturmayı hedefleyen yeni bir kümeleme algoritması geliştirmişlerdir. Bu algoritma uzayı ızgara yöntemi ile kümelere ayırmakta ve kümelerin boyutu değiştirilmemektedir. Küme içinde bulunan en yüksek enerjiye sahip düğüm küme başı olarak seçilmektedir. Gecikmeyi önlemek ve enerji verimliliğini artırmak adına küme başları baz istasyonuna bir aracı düğüm üzerinden iletişime geçer. Çalışma 100×100 metrelik bir alanda ve 200 sensör düğüm kullanılarak gerçekleştirilmiştir ve MATLAB ortamında simülasyon yapılmıştır. Önerilen algoritmaya LPG CRA adı verilmiştir. Önerilen yöntemin EBCA [15] adı verilen çalışmadan çok daha verimli sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Jannu ve arkadaşı [17] sorunlu bölge problemini çözmek için ızgara temelli kümeleme ve enerji verimli yönlendirme protokolü önermişlerdir. Çalışmada sensör düğümlerin dağıldığı alan eşit boyutlarda bölünmektedir. Her bölüm bir küme olarak belirlenmiştir ve diğer algılayıcı düğümlerden minimum uzaklığı olan ve eşik değer üzerinde enerjisi olan düğüm küme başı olarak seçilir. Baz istasyonuna bir duraktan uzak olan küme başları komşu kümenin başına, az olanlar ise doğrudan baz istasyonuna bağlanır. Çalışma MATLAB simülasyon ortamında gerçekleştirilmiştir ve 100×100 metrelik bir alanda 200 ve 400 düğümler dağıtılarak uygulanmıştır. Gerçekleştirilen uygulamada önerilen modelin ağ ömrünü uzattığı ve LPG CRA [16] ve EBCA ile karşılaştırıldığında daha verimli çalıştığı gözlemlenmiştir.

Abdullah ve arkadaşları [18] ızgara temelli kümeleme yöntemini kullanarak hiyerarşik yönlendirme çalışması gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada sensör düğümlerin dağıtıldığı alan ızgara yöntemi ile kümelere bölünmüştür. Oluşturulan ızgaralar içerisinde bulunan sensör düğüm sayılarına bakılarak yüksek yoğunluklu, düşük yoğunluklu ve boş olmak üzere 3 farklı sınıfa ayrılmıştır. Bu ızgaralar, boş ızgaralar hariç tutulduğunda kümeler oluşturmak için birleştirilir, kümede iki bitişik yüksek yoğun ızgara birleştirilir, iki bitişik yüksek yoğun ızgara ve düşük yoğun ızgara da kümede birleştirilir ve iki bitişik düşük yoğunluklu ızgara kümenin dışında kalmaktadır. Küme başları, baz istasyonuna en yakın düğümlerden seçilir. Sonrasında en yüksek enerjiye sahip olanlar küme başı seçilmektedir. Önerilen yöntem MATLAB kullanılarak uygulanmış ve test edilmiştir. Yapılan testlerde ağ ömrü açısından en

iyi sonuçları ortaya çıkaran en uygun ızgara boyutu, KSA alanında 150 düğüm ile 5 ila 10 birim arasında olduğu gözlemlenmiştir.

Jannu ve arkadaşları [19] sorunlu bölge problemini çözmek adına hata toleranslı ve yönlendirme protokolü içeren ızgara temelli bir yaklaşım sunmuşlardır. Önerilen modele GFTCRA adı verilmiştir. Küme başlarının çok hızlı ölmemesi adına rastgele değil, küme içerisinde bulunan ve en fazla enerjiye sahip düğüm küme başı seçilmektedir. Çalışmada alana dağıtılan tüm düğümlerin aynı özelliklere sahip olduğu be başlangıç değerlerinin aynı olduğu belirtilmiştir. Enerji tüketimini azaltmak için küme başları doğrudan baz istasyonu yerine baz istasyonuna yakın diğer küme başları ile iletişime geçer. Çalışma MATLAB ortamında gerçekleştirilmiştir ve 300 x 300 metrelik alana 250-750 arasında düğüm yerleştirilmiştir. Yönlendirme algoritması, yönlendirme yolundaki düğümlerin ani arızalarını herhangi bir yönlendirme oluşturmadan başa çıkabilecek şekilde tasarlanmıştır. Önerilen algoritmanın ağ ömrü, ortalama enerji tüketimi ve ölü sensör düğüm sayısı açısından iki hataya dayanıklı kümeleme algoritması olan LPGCRA [16] daha verimli olduğunu gösterilmiştir.

Kareem ve arkadaşları [20] düğümlerin doğrudan baz istasyonuna bağlanarak yüksek trafik oluşturmalarının ve enerjilerini hızlı tüketmelerinin önüne geçmek için ızgara temelli bir yaklaşım ile kümeleme çözümü önermişlerdir. Çalışmada tüm düğümler alana rastgele olarak dağıtılmıştır ve konum bilgilerini baz istasyonuna göndermektedir. Baz istasyonu alanı ızgara yöntemi ile bölümlere ayırmıştır ve her bir bölüm küme olarak tanımlanmıştır. Küme içerisinde bulunan ve en yüksek enerjiye sahip sensör düğüm küme başı seçilmiştir. Enerji tüketimini dengelemek için küme başı rolü küme içerisinde bulunan diğer düğümler ile paylaşılmaktadır. Belirli bir zaman periyodu sonunda baz istasyonu her bir küme için yeni küme başı seçmektedir. Önerilen yöntemde simülasyon ortamı olarak MATLAB kullanılmıştır. 1000 x 1000 metre alana 1000 düğüm dağıtılmış ve SEP-E protokolü kullanılarak yönlendirme gerçekleştirilmiştir. Kümeleme yöntemi ile KSA da bulunan enerji tüketimi problemi sorunu azaltılmıştır. Çünkü yük ağ içerisinde bulunan her biri düğüme dağıtılmaktadır. Çalışma, ızgara tabanlı statik kümelemenin verimlilik açısından rastgele kümelemeden %22 daha iyi performans gösterdiğini, enerji tüketimini % 30 azalttığını ve kalan enerjiyi %20 artırdığını göstermektedir. Böylece ağ ömrü uzatılmıştır.

Kâmil ve arkadaşları [21] kümeleme içerisinde dinamik ve statik baz istasyonu senaryolarını gerçekleştirerek karşılaştırma yapmışlardır. Çalışma MATLAB ortamında gerçekleştirilmiştir. 800 x 800 metre alanda ızgara yöntemi kullanılarak 16 küme oluşturulmuştur. Baz istasyonunun statik olduğu ve alanın ortasında bulunduğu durumlarda baz istasyonuna yakın küme başı enerjilerinin uzak olanlara kıyasla daha çabuk tükendiği gözlemlenmiştir. Bu problemi çözmek için baz istasyonunun yerinin değiştirilerek dinamik olması sağlanmıştır. Dinamik ve statik yöntem karşılaştırıldığında dinamik yöntemde çok daha az enerji tüketimi olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca dinamik yaklaşımın ağ ömrünü uzattığı da görülmektedir.

Hassen ve arkadaşları [22] 3 farklı yönlendirme protokolünün ızgara tabanlı kümeleme yönteminde uygulanması ve çıktı, gecikme ve paket teslim oranı açısından karşılaştırmasını gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada Ad-Hoc on-Demand Distance Vector Routing (AODV), Dynamic Source Routing (DSR) ve Optimized Link State Routing Protocol (OLSR) protokolleri karşılaştırılmıştır. Önerilen çalışma Qualnet simülöründe gerçekleştirilmiş ve 40 adet sensör düğüm 1500 x 1500 metre alana rastgele dağıtılmıştır. Alan ızgara yöntemi ile kümelere ayrılmış ve kümenin merkezine en yakın düğüm küme başı seçilmiştir. Belirli bir zaman sonra enerji durumuna bakılarak yeni küme başları seçilmiştir. Karşılaştırma sonucuna göre ızgara temelli DSR protokolü, diğer iki protokol ile karşılaştırıldığında daha yüksek çıkış ve daha az gecikme performansı sergilediği gözlemlenmiştir. AODV ise paket teslim oranında en iyi sonuçları vermiştir.

Bhakare ve arkadaşları [23] kablosuz sensör ağlarda enerji tüketimini minimize etmek için ızgara temelli kümeleme yöntemi önermişlerdir. Çalışmada alan sabit büyüklükteki parçalara bölünmektedir ve GPS veya konum yöntemleri ile ağ içerisinde konumlar belirlenmektedir. Çalışmada düğümlerin ilgisine bakılarak bölümlenme yapılmaktadır. Küme başı seçimi küme içinde bulunan düğümlerin ağırlıklarına bakılarak yapılmaktadır ve ağırlığı en fazla olan düğüm küme başı seçilmektedir.

Çalışmada iki farklı yönlendirme algoritması kullanılmıştır. Bunlardan ilki küme içi olan ve diğeri kümeler arası olandır. Çalışmada Drop-tail kuyruk tipi kullanılmış ve bir düğümden kuyruk limitinden fazla paket geldiğinde paketler düşürülmektedir.

Gerçekleştirilen çalışmada kümeleme işlemi literatürde yapılan ve bu bölümde bahsedilen çalışmalarda olduğu gibi ızgara temelli gerçekleştirilmiştir. Çalışmalarda en önemli farklar küme başı seçimi sırasındadır. LEACH [14] protokolünde küme başı rastgele seçilmektedir ve eğer küme başı enerjisi az ise erken ölümler meydana gelmektedir. EBCA protokolünde baz istasyonuna en yakın düğüm, LPGCRA protokolünde ve diğer çalışmalarda ise en yüksek enerjiye sahip düğüm küme başı seçilmektedir. Gerçekleştirilen çalışmada küme içerisinde bulunan düğümlerden en fazla komşuluğa sahip düğüm küme başı seçilmektedir. Küme başı enerjisinin belirtilen eşik değerinin altına indiği durumlarda en fazla ikincil komşuluğa sahip düğüm küme başı seçilerek yük dengeleme işlemi gerçekleştirilmektedir.

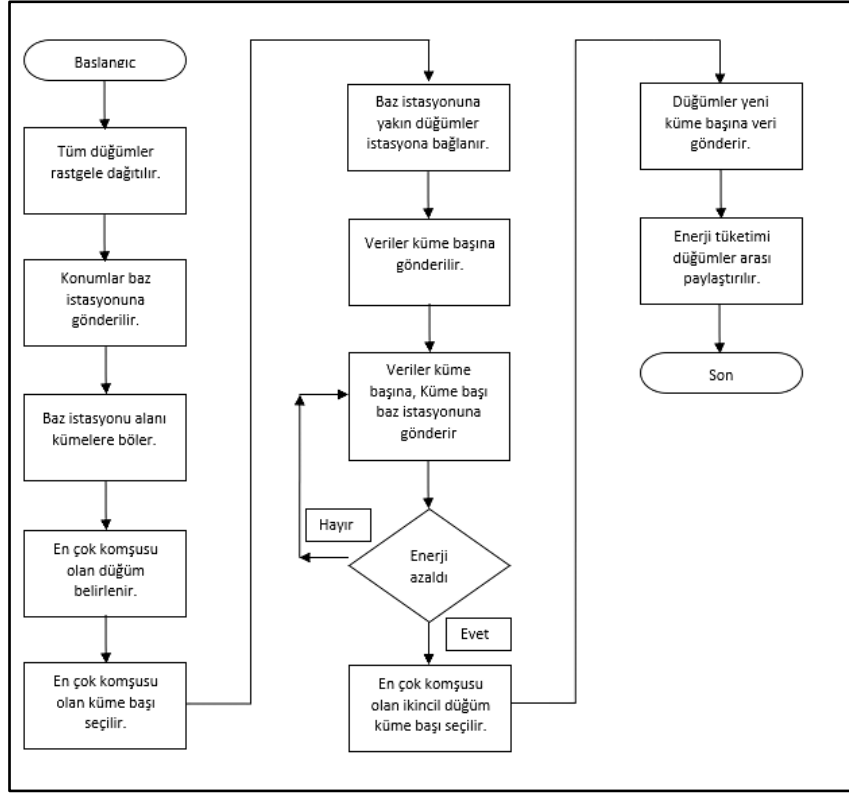
III. MATERYAL VE METOT

Çalışmada, Kablosuz Sensör Ağlarda trafik yükünü azaltarak enerji tüketimini azaltmak için ızgara temelli kümeleme yöntemi kullanılmıştır. Sensör düğümlerin dağıtıldığı alan sabit uzunluklu ve genişlikle kümelere bölünmektedir. Çalışmanın daha iyi anlaşılabilmesi adına aşağıdaki varsayımlar kabul edilir.

- Tüm sensör düğümler ilgili alana rastgele dağıtılır.
- Tüm sensör düğümler başlangıçta aynı özelliklere sahip ve aynı seviyede enerjileri bulunmaktadır.
- Sensör düğümlerin konum bilgileri Baz istasyonu tarafından bilinmektedir.
- Küme başı, küme içerisinde bulunan düğümlerden verileri toplayarak baz istasyonuna iletir.
- Tüm düğümler radyo kanalı üzerinden birbirleri ile iletişime geçebilmektedir.

Önerilen yöntemde ilk olarak tüm düğümler alana rastgele dağıtılmıştır. İkinci adımda her bir düğüm kendi konum bilgisini baz istasyonuna göndermektedir. Baz istasyonu ilgili alanı belirtilen ölçülere göre ızgara temelli alanlara ayırmıştır. Her alan ayrı bir küme olarak değerlendirilmiştir. Baz istasyonu alanın merkezine yerleştirilmiştir. Küme içerisinde küme başı seçilirken en fazla komşusu olan düğüm seçilmiştir. Komşuluk için tüm düğümlerin belirli çevre içerisinde bulunan ve o düğüme yakın olan düğümler sayılmaktadır. En fazla komşuluğa sahip düğümün seçilmesindeki amaç sensör düğümlerin en çok iletim esnasında enerji harcaması ve iletim enerjisinin mesafe ile doğru orantılı olmasındandır. En çok komşusu olan düğüm diğerlerinden daha az enerji tüketimi olacağından bu yaklaşım kullanılmıştır.

Baz istasyonuna yakın düğümler, doğrudan baz istasyonuna bağlanır. Bu sayede o küme içerisindeki küme başının enerjisi daha verimli kullanılması hedeflenmiştir. Sonraki adımda seçilen küme başları doğrudan baz istasyonuna bağlanır. Tüm düğümler algıladıkları verileri küme başına gönderir ve küme başı bu verileri baz istasyonuna iletir. Baz istasyonu tarafından küme başlarının enerjileri takip edilir. Eğer küme başı enerjisi belirlenen seviyenin altına inerse en fazla komşuluğu olan ikinci sensör düğüm küme başı olarak seçilir. Bu sayede yük küme içerisinde bulunan tüm düğümler arasında paylaştırılarak ağın ömrü uzatılır. Çalışmada hem komşuluk hem de enerji temelli yaklaşım birlikte sunulmuştur. Baz istasyonu, küme başı düğüm ve normal düğüm davranışları Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Izgara temelli kümeleme algoritması.

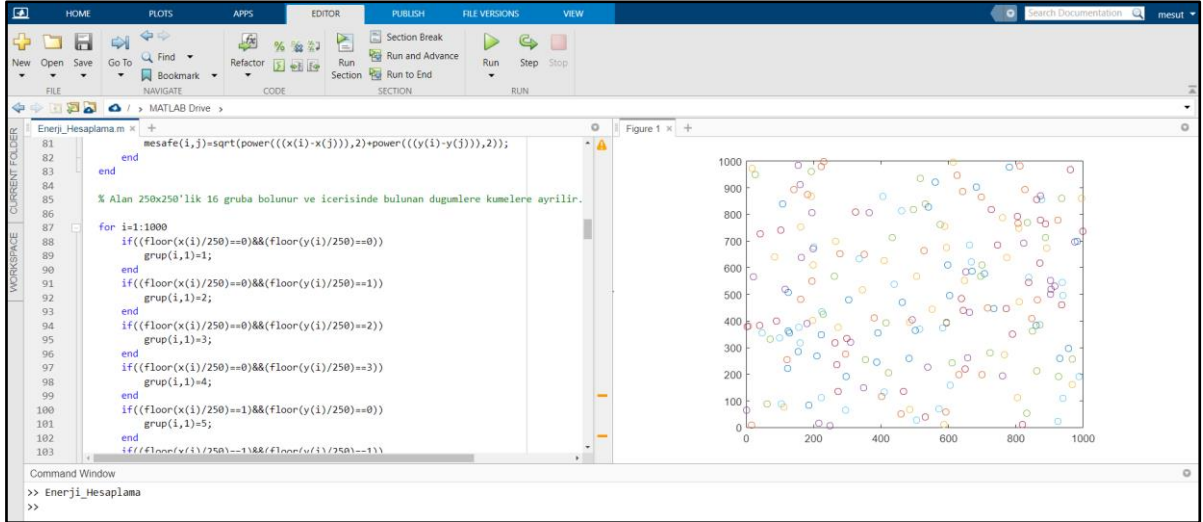
IV. UYGULAMA VE BULGULAR

Önerilen sistemde enerji tüketiminin azaltılması ve ağın ömrünün artırılması için ızgara temelli kümeleme yöntemi kullanılmıştır. Küme başları en çok komşuluğa sahip sensör düğüm bulunarak seçilmektedir. Küme başı enerjisi azaldığında ise en çok ikincil komşuluğa sahip düğüm küme başı yapılmaktadır. Bu sayede bu rol küme içerisinde bulunan düğümler arasında paylaşılmaktadır. Önerilen sistem MATLAB simülasyon ortamında gerçekleştirilmiştir. Kullanılan parametre değerleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Simülasyon parametreleri.

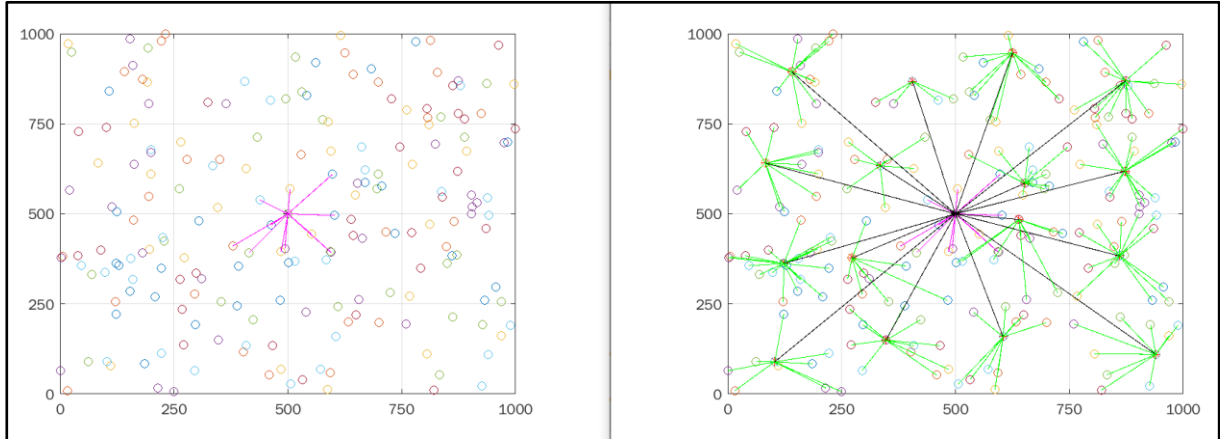
| Parametre | Değer |
|-------------------------|-------------------|
| Sensör sayısı | 200 |
| Simülasyon alanı | 1000 x 1000 metre |
| Paket boyutu | 4 Kb |
| Başlangıç enerjisi | 1m Joule |
| Sensör pozisyonları | Rastgele |
| Baz istasyonu pozisyonu | Merkez |
| Küme sayısı | 16 |

İlk adımda 200 düğüm alana rastgele yerleştirilmiştir. Sonrasında baz istasyonu merkeze yerleştirilmiş ve alan 250 x 250 metrelik 16 adet kümeye bölünmüştür. Izgara temelli bölümlenme ve düğümlerin dağılımı Şekil 4’te gösterilmiştir.



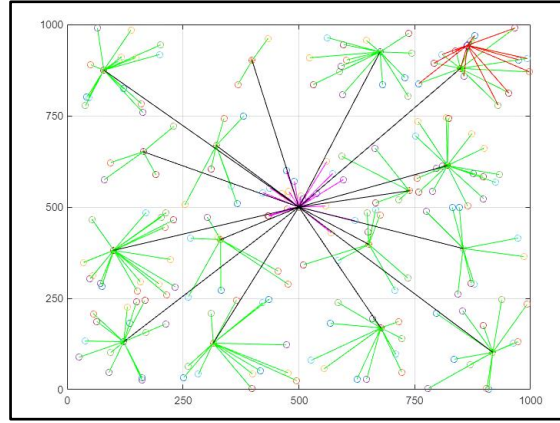
Şekil 4. Izgara temelli bölümlenme ve düğümlerin dağılımı.

Izgara temelli bölümlenme sonrasında baz istasyonuna yakın sensör düğümler doğrudan baz istasyonuna bağlanmıştır. Bağlanan düğümler Şekil 5'te gösterilmiştir ve doğrudan baz istasyonuna bağlantılar pembe rengi ile gösterilmektedir. Komşuluk sayılarına bakılarak seçilen küme başları doğrudan baz istasyonuna bağlanmıştır. Ayrıca küme içerisinde bulunan diğer sensör düğümler küme başlarına bağlanmıştır. Bağlantı şekilleri Şekil 5'te gösterilmiştir. Küme içi bağlantıları yeşil renk ile baz istasyonuna bağlantılar siyah olarak gösterilmektedir.



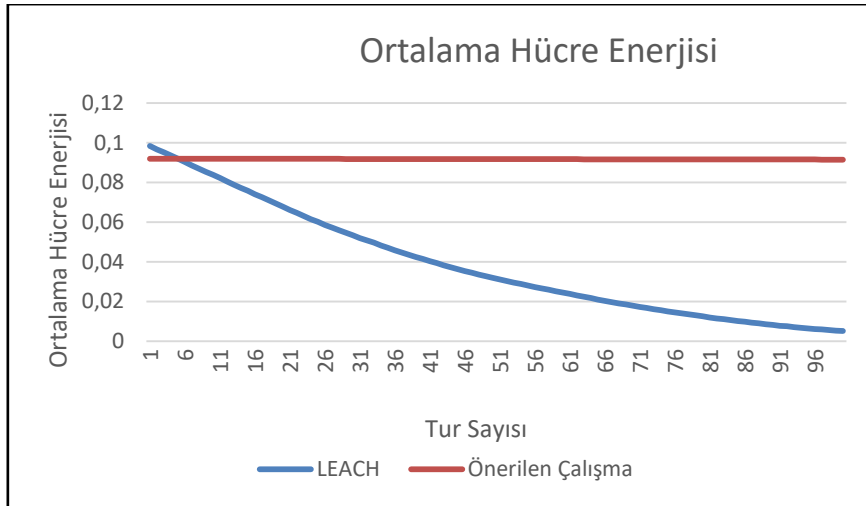
Şekil 5. Doğrudan baz istasyonu ve küme bağlantıları.

Bağlantılar sağlandıktan sonra sensör düğümlerden alınan veriler küme başlarına iletilmektedir. Küme başı topladığı verileri birleştirerek baz istasyonuna iletmektedir. Küme başı verileri toplarken, birleştirirken ve iletirken enerji tüketmektedir. Enerji tüketimi alınan ve gönderilen paket boyutuna ve mesafeye bağlıdır [24]. Küme başı düğümün enerjisi, küme içerisinde bulunan diğer düğümlerden daha hızlı tükenmektedir. Bu nedenle önerilen modelde eğer enerji belirlenen bir eşik değer altına düşerse o küme için yeniden küme başı seçimi yapılmaktadır. Enerji tüketimi sonrasında değişen küme başı ve bağlantıları Şekil 6'da gösterilmiştir. Alan içerisinde bulunan 16 numaralı kümenin küme başı sensör düğümün enerjisi azaldığı için tekrar küme başı seçim işlemi gerçekleştirilmiştir. Alan içerisinde bulunan düğümler yeni küme başına bağlanmıştır. Bu bağlantılar kırmızı renk ile gösterilmiştir.



Şekil 6. Yeni küme başı seçimi.

Önerilen uygulamanın verimliliğinin ölçülebilmesi 100 adet tur paket gönderimi yapılarak sensör düğümlerde kalan enerji değerleri ölçülmüştür. Bu enerji değerlerinin ortalaması alınarak tur sayısı ile karşılaştırılması Şekil 7’de gösterilmiştir. Şekil 7’de önerilen çalışma ile LEACH [14] karşılaştırması verilmiştir.



Şekil 7. 100 Tur kalan enerji ortalama değeri.

Sensör düğümlerde kalan ortalama enerji değerleri analiz edildiğinde 100 tur için önerilen çözümde %90 civarında kalmakta iken LEACH protokolünde enerji değeri %10'lara düştüğü görülmektedir. LEACH algoritması ile yapılan karşılaştırmada Tablo 1’de verilen hücre sayısı, alan büyüklüğü, başlangıç enerjileri ve dağıtım şekli gibi değerler aynı olacak şekilde ölçümler yapılmıştır.

Önerilen yöntem küme başını seçim işlemi enerji ve komşuluk temelli yaptığı için rastgele seçimden doğabilecek az enerjili düğüm seçimi ve yüksek transfer maliyet enerjisinin neden olduğu sorunları çözmektedir. Ayrıca küme içerisinde baz istasyonuna en yakın düğümün küme başı seçilmesi küme başı ile baz istasyonu arasındaki transfer maliyetini düşürse de diğer düğümler ile arasında bulunan mesafe fazla olabileceği durumlarda küme içi iletişimde daha fazla enerji kaybına neden olabilecektir. Önerilen yöntemde baz istasyonu alanın merkezinde ve sabit durumdadır. Literatürde baz istasyonunun yerlerinin değiştirilebildiği çözümler önerilmek ile birlikte bu durum her senaryo için mümkün olamayabileceği için yapılan çalışmada baz istasyonunun yeri sabit bırakılmıştır.

V. SONUÇ

Izgara temelli kümeleme yöntemi kolay uygulanabilir ve enerji tüketimini azaltarak ağın ömrünü uzatmaktadır. Bu çalışmada, en çok komşuya sahip düğümler belirlenerek küme başı seçim işlemi gerçekleştirilmiştir. En çok komşusu olan düğüm, diğer düğümlerden veri toplarken ve diğer düğümler veri iletirken daha az enerji harcayacağı sebebi ile bu yaklaşım tercih edilmiştir.

Küme başı düğümlerin diğer düğümlerden daha fazla enerji harcaması nedeni ile enerji değeri belirli seviyenin altına inen küme başı düğümleri kendi kümesi içerisinde bulunan ve en fazla komşuluğa sahip düğüm ile değiştirilmektedir. Bu sayede yük dağılımı yapılarak ağın ömrü uzatılmaktadır. Önerilen çözüm kümeleme yapılmadan oluşturulan ağlardan %60 daha verimlidir ve LEACH algoritması ile karşılaştırıldığında daha verimli olduğu görülmüştür. LEACH algoritması en bilinen kümeleme algoritmalarından bir tanesi olduğu ve literatürde yapılan diğer çalışmalar çok yüksek oranda LEACH ile karşılaştırıldığı için seçilmiştir. Gelecek çalışmalarda farklı küme başı seçim yöntemleri kullanılarak ağın ömrünün daha uzun ve enerji tüketimini daha verimli bir hale getirilmesi sağlanabilir.

VI. KAYNAKLAR

- [1] V. Potdar, A. Sharif and E. Chang, "Wireless Sensor Networks: A Survey," in *International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops*, Bradford, United Kingdom, 2009, pp. 636-641.
- [2] M. Pule, A. Yahya and J. Chuma, "Wireless sensor networks: A survey on monitoring water quality," *Journal of Applied Research and Technology*, vol. 15, no. 6, pp. 562-570, 2017.
- [3] M. Dener, "Kablosuz Sensör Ağlar ile Yeri Tespit Edilen Doktorların Konum Bilgilerinin Android ve Web Tabanlı Platformlar Üzerinden Görüntülenmesi," *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, c. 11, s. 2, ss. 203-210, 2018.
- [4] J. Yick, B. Mukherjee and D. Ghosal, "Wireless sensor network survey," *Computer Networks*, vol. 52, pp. 2292-2330, 2008.
- [5] M. F. Othman and K. Shazali, "Wireless Sensor Network Applications: A Study in Environment Monitoring System," *Procedia Engineering*, vol. 41, pp. 1204-1210, 2012.
- [6] N. Srivastava, "Challenges of Next-Generation Wireless Sensor Networks and its impact on Society," *Journal of Telecommunications*, vol. 1, no. 1, pp. 128-133, 2010.
- [7] T. Bala, V. Bhatia, S. Kumawat and V. Jaglan, "A survey: issues and challenges in wireless sensor network," *International Journal of Engineering & Technology*, vol. 7, no. 2.4, pp. 53-55, 2018.
- [8] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam and E. Cayirci, "A survey on sensor networks," *IEEE Communications Magazine*, vol. 40, no. 8, pp. 102-114, 2002.
- [9] S. Dhiviya, A. Sariga and P. Sujatha, "Survey on WSN Using Clustering," in *2017 Second International Conference on Recent Trends and Challenges in Computational Models (ICRTCCM)*, Tindivanam, Tamilnadu, India, 2017, pp. 121-125.
- [10] M. M. Raouf, "Clustering in Wireless Sensor Networks (WSNs)," *Journal Of Baghdad University College of Economic Sciences*, vol. 57, 2019.

- [11] M. C. M. Thein and T. Thein, "A Framework for Secure and Survivable Wireless Sensor Networks," *Annals of Dunărea de Jos University. Fascicle I : Economics and Applied Informatics.*, pp. 243-252, 2009.
- [12] P. Kumar, M. P. Singh and U. S. Triar, "A Review of Routing Protocols in Wireless Sensor Network," *International Journal of Engineering Research & Technology*, vol. 1, no. 4, pp. 1-14, 2012.
- [13] I. Ouafaa, K. S. Ddine, L. Jalal and E. H. Said, "Recent Advances of Hierarchical Routing Protocols for AdHoc and Wireless Sensor Networks: A Literature Survey," *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, vol. 9, no. 2, pp. 71-79, 2016.
- [14] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan and H. Balakrishnan, "Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks," in *Proceedings of the 33rd Annual Hawaii International Conference on System Sciences*, Maui, Hawaii, 2000, pp. 1-10.
- [15] L. Li, X. Jiang, S. Zhong and L. Hu, "Energy Balancing Clustering Algorithm for Wireless Sensor Network," in *International Conference on Networks Security, Wireless Communications and Trusted Computing*, Wuhan, China, 2009, pp. 61-64.
- [16] W. Liu, Z. Wang, S. Zhang and Q. Wang, "A Low Power Grid-Based Cluster Routing Algorithm of Wireless Sensor Networks," in *International Forum on Information Technology and Applications*, Kunming, Yunnan, China, 2010, pp. 227-229.
- [17] P. K. J. Srikanth Jannu, "Energy Efficient Grid Based Clustering and Routing Algorithms for Wireless Sensor Networks," in *Fourth International Conference on Communication Systems and Network Technologies*, Newyork Washington, DC, United States, 2014, pp. 63-68.
- [18] M. Abdullah, H. N. Eldin, T. Al-Moshadak, R. Alshaik and I. Al-Anesi, "Density Grid-Based Clustering for Wireless Sensors Networks," *Procedia Computer Science*, vol. 65, pp. 35-47, 2015.
- [19] S. Jannu and P. K. Jana, "A grid based clustering and routing algorithm for solving hot spot problem in wireless sensor networks," *Wireless Networks*, vol. 22, no. 6, pp. 1901-1916, 2016.
- [20] M. M. Kareem, M. Ismail, M. A. Altahrawi, N. Arsad, M. F. Mansor and A. H. Ali, "Grid Based Clustering Technique in Wireless Sensor Network using Hierarchical Routing Protocol," in *IEEE 4th International Symposium on Telecommunication Technologies (ISTT)*, Selangor, Malaysia, 2018, pp. 1-5.
- [21] A. A. Kamil, M. K. Naji and H. A. Turki, "Design and implementation of grid based clustering in WSN using dynamic sink node," *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, vol. 9, no. 5, pp. 2055-2064, 2020.
- [22] B. S. Hassen, A. Lafta, H. Noman and A. H. Ali, "Analyzing the Performances of WSNs Routing Protocols in Grid-Based Clustering," *International Journal on Advanced Science Engineering and Information Technology*, vol. 9, no. 4, pp. 1211-1216, 2019.
- [23] K. R. Bhakare, R. K. Krishna and S. Bhakare, "An Energy-efficient Grid based Clustering Topology for a Wireless Sensor Network," *International Journal of Computer Applications*, vol. 39, no. 14, pp. 24-28, 2012.
- [24] H. Zhou, D. Luo, Y. Gao and D. Zuo, "Modeling of Node Energy Consumption for Wireless Sensor Networks," *Wireless Sensor Network*, vol. 3, no. 1, pp. 18-23, 2011.