
Derleme / Review

Telsiz Duyarga Ağlarda Kullanılan Yönlendirme Tekniklerinin Enerji Verimliliği Açısından Karşılaştırması

Aytuğ BOYACI ^{*1}, Fikret ATA², Hasan Hüseyin BALIK³

¹ Fırat Üniversitesi Enformatik Bölümü

² Fırat Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

³ İstanbul Aydın Üniversitesi Yazılım Mühendisliği Bölümü

Özet

Yeni teknolojik gelişmeler ışığında, bir ağ üzerinde büyük ölçekli bilgileri toplamak ve işbirliği yöntemleri ile hedefe ulaştırmak için küçük boyutlarda, çok sayıda algılama ve iletişim yeteneğini içinde barındıran, programlanabilen duyurga elemanları tasarlanabilmektedir. Çok sayıda duyurga düğümünün bir araya gelerek farklı konumlardaki sıcaklık, ses, basınç, hareket, kirlilik vb. gibi fiziksel veya çevresel koşulları işbirliği ile uzak bir noktadan izlemek için oluşturduğu ağ telsiz duyurga ağ olarak tanımlanmaktadır. Telsiz duyurga ağların geniş uygulama alanları olmasına rağmen sınırlı enerji kaynakları, ağ içinde kullanılan duyurga düğümlerin sınırlı hesaplama ve sınırlı haberleşme yeteneklerinin olması, yapılan uygulamalara birçok kısıt getirmektedir. Enerji kaynaklarının sınırlı olması doğrudan telsiz duyurga ağın yaşam ömrünü etkilemektedir. Bu nedenle telsiz duyurga ağı oluşturan her bir düğümün enerjisini verimli kullanacak çalışmalar büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada telsiz duyurga ağlar için yapılmış yönlendirme çalışmaları enerji verimliliği açısından karşılaştırılarak, yapılan çalışmaların ağ yapısına ve ortam şartlarına bağlı olarak birbirlerine karşı olan üstünlükleri ortaya konulacaktır.

Anahtar Kelimeler: Telsiz duyurga ağlar, Yönlendirme teknikleri, Enerji verimliliği

Comparison of Routing Techniques in Wireless Sensor Networks in Terms of Energy Efficiency

Abstract

In the light of newly developed Technologies, small-sized programmable sensor components capable of various perception and communication capabilities can be designed to collect large scaled data and transmit those to the desired target with partnering methods. A wireless sensor network is defined as a collection of numerous nodes in different locations, organized into a cooperative network in order to follow physical or environmental conditions such as, heat, sound, pressure, motion, pollution...etc. in collaboration. Despite the wireless sensor network systems has a broad range of application areas, limited supplies of power and limited computation and communication capabilities of nodes used in the network brings out various constraints to the designed appliances. Limits of power supply directly affect the lifespan of the wireless sensor networks, thus, studies on the energy efficiency of any node comprising the wireless sensor network has a significant importance. In this work, routing studies developed for wireless sensor networks will be compared in terms of energy efficiency and their superiorities to each other depending on the network structure and environmental conditions will be conceived.

Keywords: Wireless sensor networks, Routing techniques, Energy efficiency

* Sorumlu yazar: aytugboyaci@firat.edu.tr

1. Giriş

Son yıllarda kablosuz teknolojideki gelişmeler ile birlikte mikroçip teknolojisindeki gelişmeler sayesinde çok küçük boyutlu, düşük enerji tüketebilen, düşük maliyetli ve bir duyarga ile bütünleştirilmiş, tümleşik devre tasarımının mümkün hale gelmesine paralel olarak telsiz duyarga ağ (TDA) konusunda yapılan çalışmalarda yoğunlaşmıştır. TDA yapısı içinde bulunan duyarga düğümler algılama, veri işleme ve iletişim yetenekleri sayesinde farklı konumlardaki sıcaklık, ışık, ses, basınç, hareket, gibi fiziksel veya çevresel koşulları algılayabilmekte, algılanan veriler üzerinde çeşitli hesaplamalar yapabilmekte ve işbirliği teknikleri ile algılanan veriyi iletebilmektedir [1], [2], [3], [4], [5]. TDA'yı belirli bir alandaki fiziksel veya çevresel koşulları izlemek için alan içine dağıtılmış çok sayıda duyarga düğümünden oluşan bir ağ olarak tanımlamak mümkündür [1], [6]. Duyargalar askeri güvenlik bölgeleri [7], [8], [9], [10], doğal yaşam alanları [11], tıbbi alanlar [12], [13], [14], [15], [16], [17], ev [18], ve işyerleri [11], gibi birçok alanda uygulama alanı bulmuştur.

TDA'ların geniş uygulama alanları olmasına rağmen sınırlı enerji kaynaklarına sahip olmaları, ağ içinde kullanılan duyarga düğümlerinin sınırlı hesaplama ve sınırlı haberleşme yeteneklerinin olması, yapılan uygulamalara birçok kısıt getirmektedir. Bu kısıtlardan en önemlisi TDA'nın yaşam süresini doğrudan etkileyen sınırlı enerji kaynağına sahip olmasıdır. Bu yüzden TDA'ların enerjilerini verimli kullanacak çalışmalar büyük önem taşımaktadır. Enerjinin daha etkin kullanımına yönelik olarak araştırmacılar donanımların enerji kapasitelerini artırma [19], verinin işlenmesi [5], [20], ve gönderilecek bilginin minimum maliyetli hale getirilmesi [21], verinin iletilmesi aşamasındaki yönlendirme teknikleri [22], ile verinin en az yönlendirme maliyeti ile hedefe ulaştırılması [23], [24] konuları üzerine odaklanmıştır. Özellikle son yıllarda enerjinin etkin kullanılabilmesi için veri toplama, işleme ve algılama faaliyetlerinin koordinasyonunun sağlanması ve duyarga düğümler arasında işbirliğinin kontrolü konusunda birçok araştırma yapılmıştır [25], [26], [27]. Bu koordinasyonun sağlanmasında hedef ile kaynak arasında iletişim esnasında kullanılacak yolların keşfi, bu yollar içinden enerji açısından en verimli yol üzerinden iletişimin gerçekleştirilmesi, algılanan verinin hedef düğüme gönderilirken en az enerji harcayacak şekilde gönderilmesi son derece önemlidir. TDA'yı oluşturan duyarga düğümlerinin küçük enerji kaynakları ile uzun süreler çalışmasının sağlanabilmesi için hesaplama işlemlerinin ve verinin kaynaktan hedefe ulaştırılması için gerekli olan yönlendirme tekniklerinin optimum şekilde kullanılması ağ yaşam ömrünü doğrudan etkilemektedir. Bu da ancak etkili yönlendirme tekniklerinin geliştirilmesi ile mümkün olabilmektedir.

TDA'larda kaynak düğümde algılanan verinin hedef düğüme iletilmesi için alan içindeki duyarga düğümlerden yararlanılmakta ve düğümler işbirliği teknikleri ile veriyi kaynak düğümünden hedef düğüme iletebilmektedir [19], [28]. TDA'nın yapısı itibari ile yönlendirme işlemi diğer kablosuz ağlara göre oldukça zordur. Bunun sebebi [6], [22], [29], [30], [31], [32];

- TDA'da çok sayıda duyarga düğümünden oluşan bir ağ yapısı olması, ağ içindeki duyarga düğümlerinin dağınık olması ve bu düğümler ile ilgili topolojinin önceden bilinmemesi duyarga düğümler için küresel bir adresleme düzeni inşa etmeyi olanaksız kılmaktadır.
- TDA ağlarında kullanılan duyarga düğümleri enerjileri tükendiğinde veya arızalandığında ağ topolojisi tamamen değişmekte bununla beraber verinin iletileceği yol bilgileri de değişmektedir.
- TDA'larda tipik iletişim ağlarının aksine birden fazla kaynaktan hedefe doğru iletişim veya bir kaynaktan hedefe çoklu yollar üzerinden verinin gönderilmesi söz konusu olabilmektedir.
- TDA'larda kullanılan duyarga düğümlerinin enerjilerinin, veri işleme ve depolama kapasitelerinin kısıtlı oluşu verinin iletimi için kullanılacak yönlendirme sürecini zorlaştırmaktadır.
- Uygulamanın türüne göre TDA'ların tasarım gereksinimleri değişiklik göstermektedir. Örneğin düşük gecikmeli bir taktik gözetim gereksinimi olan bir uygulama ile belirli periyotlarda algılanacak olan bir verinin hedefe gönderilmesini amaçlayan bir uygulamanın tasarımsal gereksinimleri birbirinden farklı olmaktadır.
- TDA'larda kaynaktan hedefe veri iletimi için kullanılan duyarga düğümler konumlarını ve yön tayinlerini yapabilmeleri gerekmektedir. Bu işlemi yaparken de kısıtlı enerji kaynaklarından dolayı küresel konumlandırma sistemlerini kullanmaları oldukça maliyetli olduğundan tercih edilmemektedir.

Bu yüzden TDA'larda geleneksel IP tabanlı protokollerin kullanılması yerine kendine özgü yönlendirme süreçlerinin tasarlanması gerekmektedir.

Bu farklılıklar nedeni ile TDA'lardaki yönlendirme sorunlarının çözümü için araştırmacılar tarafından yeni algoritmalar ve mimariler öne sürülmüştür. Bu yönlendirme mekanizmaları oluşturulurken uygulama ve mimari gereksinimleri ile birlikte TDA'nın yapısının da dikkate alınması dolayısı ile dikkatli kaynak yönetimi gerekmektedir.

Bu çalışmada öncelikli olarak TDA'ların tasarım ölçütleri ve etkili bir yönlendirme yapılabilmesi için gereksinimler ortaya konarak, TDA'lar için gerçekleştirilmiş yönlendirme çalışmaları enerji verimliliği incelenmiştir. Çalışmanın son bölümünde ise bu yönlendirme çalışmaları kıyaslanmıştır.

2. TDA'ların Tasarım Ölçütleri ve Enerji Harcanımı

Duyarga ağ temel elemanları sezme, veri işleme ve haberleşme özelliğine sahip algılayıcı düğümlerdir. TDA'larda duyurga düşümleri herhangi bir kablo olmaksızın, izleyecekleri ortama rastgele saçılmış halde bulunmaktadır. Bu nedenle ağ tasarımı ve duyurga düğümlerin birbirleri ile iletişimi esnasında harcanan enerjiyi etkileyecek birçok unsur bulunmaktadır.

2.1. Telsiz Duyurga Ağ Tasarım Kısıtları

Bir TDA'da güç tüketimini etkileyecek birçok faktör bulunmaktadır. Bir TDA oluşturulurken dikkat edilmesi gereken önemli koşullar şu şekilde özetlenebilir [33], [34], [35];

- Ağ üzerinde kullanılacak duyurga adedi
- İletilecek olan bilginin çözünürlüğü ve bant genişliği
- Duyurgalarda kullanılan pilin gücü ve ömrü
- Duyurganın büyüklüğü ve montaj edilebilirliği
- Dinamik uygulamalar için veri saklanabilmesi
- Kullanılan duyurganın kapsama alanı
- Kullanılacak bilgi iletim standardı

Bir TDA oluşturulurken mimariyi etkileyecek birçok faktör bulunmaktadır. Bunlar [1], [31], [36];

- Güç tüketimi
- Genişleyebilirlik
- Hata toleransı
- Ölçeklenebilirlik
- Üretim maliyetleri
- Donanım kısıtları
- Örnekleme oranı ve veri hızı
- Gerçek zaman senkronizasyonu
- Ortam şartları
- Giyilebilir veya taşınabilirlik
- Güvenlik
- Düğümlerin hareket edebilirliği
- Çoklu gönderim şeklinde özetlenebilir.

2.2. Telsiz Duyurga Ağlarda Enerji Farkındalıklı Yönlendirme Gereksinimi

Genellikle TDA'larda kullanılan duyurga düğümlerinin kaynakları sınırlıdır ve bu sınırlı kaynağın mimari yapı çerçevesinde etkin bir şekilde kullanılabilmesi gerekmektedir. TDA'larda enerjinin etkin kullanımı için birçok çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmalar donanımsal kaynakların artırılmasına yönelik çalışmalar [3], [37] veya mimari yapı [22], [23] üzerinde yapılan çalışmalar şeklinde olabilir. Enerjinin etkin kullanımına yönelik çalışmaları yapabilmek için bir TDA alt yapısında enerjinin nerelerde harcandığını ve dolayısı ile nerelere iyileştirme yapmak için konsantre olunması gerektiğinin tespit edilmesi hayati önem taşımaktadır. Burada bu kısımlar şu şekilde özetlenebilir.

- **İletim:** Araştırmalar verinin bir noktadan diğer noktaya iletilmeden önce işlenerek mümkün olan en az veriyi yönlendirmenin enerji tüketimi açısından önemli olduğunu ortaya koymuştur [38].
- **Yönlendirme:** TDA'larda kaynaktan hedef düğüme doğru yönlendirme yapıldığında arada kullanılan duyarga düğümlerin enerjileri de kullanılmaktadır. Bu da ağ üzerinde kullanılan duyarga düğümlerinin dengeli bir yönlendirme ile kullanılması gerekliliğini ortaya koymaktadır [25].
- **Çarpışma:** TDA'larda ağ yapısı büyüdükçe gönderilen paketlerin çarpışma olasılığı artmaktadır. Çarpışma olasılığının artması paketlerin tekrar gönderilmesine sebep olmakta ve buna paralel olarak da enerji sarfiyatını arttırmaktadır [6], [39], [40].
- **Dinleme:** Duyarga düğümlerinin iletim, dinleme ve uyuma olmak üzere 3 farklı durumu vardır. Duyarga düğümleri iletim yapmadıkları zaman ortamı dinleme veya enerji sarfiyatını önlemek için uyuma konumuna geçebilir. Gerçekleştirilecek bir yönlendirme algoritması ile duyarga düğümlerinin hangi süreçlerde ağı dinlemesi gerektiğini belirlemek büyük miktarda enerji tasarrufu sağlayabilecektir [31], [41].
- **Hata Oranı:** TDA üzerinde veri iletişimi esnasında çarpışma, duyarga düğümün meşgul olması, uyuması veya yaşam ömrünü tamamlamış olması gibi çeşitli nedenlerden dolayı paket kayıpları meydana gelmektedir. Meydana gelen bu hatalar paketlerin tekrarlanmasına sebep olmakta ve enerji harcanımını arttırmaktadır
- **Zayıf Düğüm:** TDA'larda enerji sarfiyatını azaltmak için ağın toplam yaşam ömrünü arttırmaya yönelik çalışmalara yoğunlaşmıştır. Zaman içerisinde duyarga ağlarında enerji bakımından diğer düğümlere göre daha zayıf düğümler oluşabilir. Bu düğümlerin belirlenerek yönlendirme için kullanılması topolojinin toplam yaşam süresini arttıracaktır [19], [20], [42].
- **Yük Paylaşımı:** TDA'larda ağın toplam yaşam ömrünün arttırılmasına yönelik yönlendirme çalışmalarından biri de düğümler arası yük paylaşımının gerçekleştirilmesidir. Ağ içerisindeki duyarga düğümler arasında yapılacak yük dengelemesi ağın toplam ömrünü arttırmaktadır [43].

2.3. Etkili Yönlendirme

TDA'larda enerji korunumunu dikkate alarak yapılacak etkili bir yönlendirme için temel kriterler şu şekildedir [44].

- **Minimum Kontrol Mesajı:** Yönlendirme bilgilerinin yayılması için kullanılan kontrol mesajlarının minimum seviyeye çekilmesi gerekmektedir. Özellikle çoklu yayım paketleri ağda gerekli gereksiz yere yayılarak enerji ve band genişliği tüketmektedir.
- **Az İşlem Yüğü:** İşlem kapasitesi oldukça düşük olan duyarga düğümlerinin çok karmaşık algoritmaları yürütmesi mümkün olamamaktadır. Bu sebepten ötürü yönlendirme algoritmalarının mümkün olduğu kadar basit, az bellek ve az işlem zamanı gerektirmesi gerekmektedir.
- **Dinamik Yapı:** Değişen topoloji ve hatalar sonucunda oluşan yeni şartlara kısa zamanda uyum sağlaması ve gereksiz paket gönderimlerini önleyecek bir yapıya sahip olması gerekmektedir.
- **Minimum Enerji Tüketimi:** Yönlendirme esnasında protokolün etkin yük dağılımı yaparak topolojik yaşam süresini maksimum değerlere çıkarması beklenmektedir. Düğümler arasında adil bir biçimde enerji harcanımının ayarlanması da gerçekleşmesi gereken başka bir özelliktir.

3. TDA'lar için Gerçekleştirilen Yönlendirme Çalışmaları

TDA'larda duyarga düğümler ağ içerisinde yerleştirilirken çalışmanın yapısına göre rastgele ya da belli alanlara konumlandırılabilirler. Enerji verimliliği göz önünde bulundurulduğunda kaynaktan hedefe veri paketlerinin iletilmesi aşamasında yapılacak işlem veya yöntemler büyük önem taşımaktadır. Kaynak düğümden hedef düğüme veri paketinin hangi yöntemle taşınacağı yönlendirme teknikleri ile belirlenmektedir.

TDA'lar üzerinde yapılan çalışmaların başında kullanılacak yönlendirme teknikleri ile ilgili sorunlar gelmektedir. Bu sorunların çözümüne yönelik çalışmalar yönlendirme katmanı için yeni protokoller geliştirilmesi [1], [22], [24] veya yönlendirme katmanındaki işlemleri iyileştirmeye yönelik algoritma çalışmaları [18], [21] ve [45] üzerine yoğunlaşmıştır. TDA'lar için yapılan yönlendirme çalışmaları Tablo 1'de gösterilmektedir.

Tablo 1. TDA Yönlendirme Teknikleri

Kategori	Önerilen Yönlendirme Tekniği
Düz Ağ Tabanlı Yönlendirme	SPIN, DY, RR, GBR, CADR, EAR, MCFA, COUGAR, ACQUIRE, RPRW
Hiyerarşik Ağ Tabanlı Yönlendirme	LEACH, PEGASIS, TEEN, VGA
Konum Tabanlı Yönlendirme	GAF, GEAR, SPAN, TBF, BVGF, GeRaF, MECN, SMECN
Protokol İşlenmesi Tabanlı Yönlendirme	Sorgu Tabanlı Yönlendirme, Çok Yollu Yönlendirme, Servis Kalitesi Tabanlı Yönlendirme, Müzakere Tabanlı Yönlendirme, Uyum Tabanlı Yönlendirme

3.1. Düz Ağ Tabanlı Yönlendirme Protokolleri

Düz ağ tabanlı yönlendirme protokollerinde (Flat Networks Routing Protocols - FNR) ağ içerisindeki tüm duyarga düğümleri eşit statüye sahiptir. Her bir düğüm aynı görevleri yapmak ile yükümlüdür. Düz ağ yapısında amaç KD'den (kaynak düğüm) HD'ye (Hedef Düğüm) verinin DD'lerin (Duyarga Düğüm) yardımıyla iletilmesini sağlamaktır. Düz ağ tabanlı yönlendirme protokolleri veri merkezli yönlendirme mimarisini kullanırlar. Bu da KD'lerin etkin olarak ağ üzerinde yönlendirme aşamalarını kontrol etmesi anlamına gelir [23], [46], [47].

3.1.1. Görüşme Tabanlı Yönlendirme Protokolü

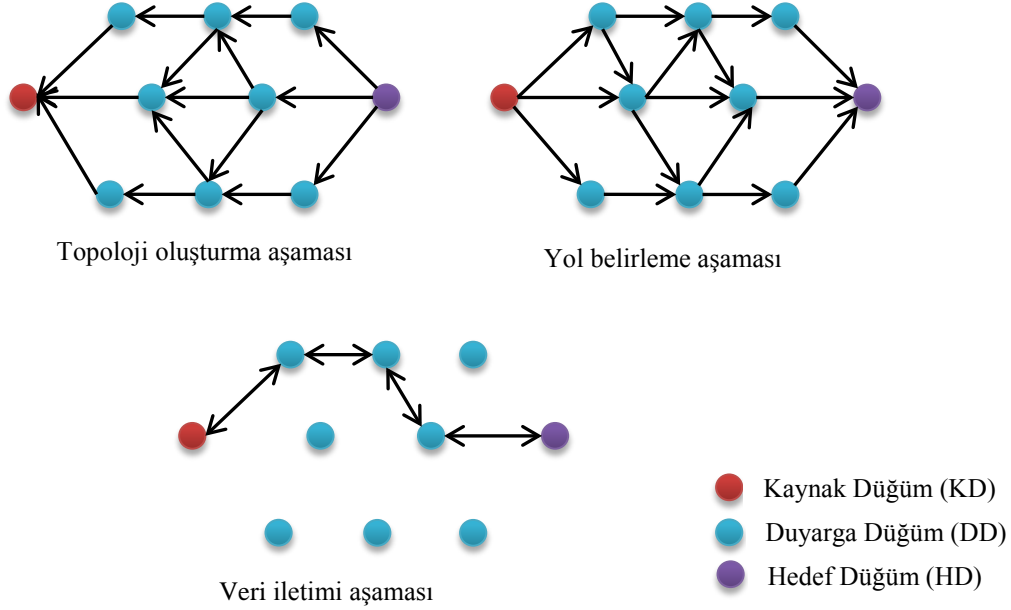
Görüşme Tabanlı Yönlendirme Protokolünün (Sensor Protocols for Information via Negotiation - SPIN) [48], [49] çalışması ağ topolojisinin içerisindeki her DD'nin HD gibi çalışması prensibine dayanmaktadır. Bu protokolda bir DD veriyi tüm komşularına iletir. Komşu DD'ler verinin geleceği an aktif olarak veriyi alır ve aynı şekilde kendi komşularına iletir. Bu sayede KD'den HD'ye kadar veri iletilmiş olur. Bu protokol DD'lerin kendisine gelen veriyi ileterek daha verimli bir ağ yapısı oluşturulacağı kabulüne dayanmaktadır. Kulaktan kulağa olarak adlandırılan bu yöntemde veri belirli bir DD'ye değil de tüm komşulara iletildiği için büyük ağ yapılarında aşırı trafik oluşmasına neden olur. Oluşan trafik enerji sarfiyatını arttırabilmektedir. SPIN'in bir sakıncası da birden fazla DD'nin ortak komşulara aynı veriyi göndermesi durumunda ağ içerisinde tekrarlı verilerin dolaşmasına sebep olmasıdır. Bu da enerjinin gereksiz yere kullanılması anlamına gelmektedir. SPIN'de bu problem veri paketlerine bir ID değeri verilerek kısmen çözülmüştür. SPIN'de DD'lerin anlık enerji seviyelerine erişmek mümkündür. Bu sayede ağın enerji sarfiyatını inceleyerek ağın yaşam ömrü analiz edilebilir. SPIN'in en önemli sorunlarından birisi ise bilgi iletiminin garanti edilememesidir. SPIN'de DD'lerin belirli bir yöne değil de tüm komşulara veriyi yönlendirmesi verinin HD'ye ulaşacağı anlamına gelmemektedir. Özellikle büyük ağ yapılarında HD'ye çok uzak DD'lerin yönlendirdikleri veriler HD'ye komşuluk ilişkilerinde belirli bir yön bilgisi olmadığı için gönderilemeyebilir. Bu da ağın gereksiz yere kullanılmasını ve enerji sarfiyatını önemli derecede arttırır [48].

3.1.2. Doğrudan Yayılma Protokolü

Doğrudan yayılma protokolü (Directed Diffusion - DY) [46], veri merkezli ve uygulama tabanlı bir protokoldür. Veri merkezli protokolün temel amacı farklı kaynaklardan gelen bilgileri birleştirmektir. Bu sayede gereksiz veriler elenerek ağın enerji sarfiyatının önüne geçmek mümkün olmaktadır. Protokol enerjinin etkin kullanımını baz almaktadır. Bu protokolda KD'lerden HD'ye gönderilecek veri için bulunan alternatif yollar bulunarak veri gönderilmektedir. Protokolün yapısında birden çok KD olabilir fakat HD tektir.

DY protokolünde iletişim 3 aşamada gerçekleşmektedir. Birinci aşama ağın topolojisinin oluşması aşaması, ikinci aşama açılı bilgilerine göre yolların belirlenmesi aşaması, son aşamada veri iletiminin gerçekleşmesi aşamasıdır. DY protokolünün veri iletimi ile ilgili model Şekil 1'de gösterilmiştir.

DY protokolünün başarımı için KD ile HD arasındaki DD'lerin açılal pozisyonların doğru tespiti, KD'lerin sayısı, ağ topolojisinin doğru oluşturulması önemli kriterlerdir. DY protokolünün enerji sarfiyatını etkileyen en önemli sorun ağ topolojisinde sürekli algılama yapıyor olmasıdır. Sürekli algılama yapılması ağın yaşam ömrünü doğrudan etkilemektedir [46].



Şekil 1. Doğrudan Yayılma Protokolü Yönlendirme Yapısı

3.1.3. Söylenti Yönlendirme Protokolü

Söylenti yönlendirme protokolü (Rumor Routing - RR) [50], coğrafi yönlendirmenin uygun olmadığı uygulamalarda tercih edilmektedir. DY protokolünün bir versiyonu olarak kabul edilebilir. RR enerji açısından DY protokolüne göre daha etkindir. Yapılan uygulamada coğrafi bir kriter olmadığı zaman ortama yayılan yayım mesajları ile yollar tespit edilmektedir. RR protokolü, TDA uygulamasında olayların sayısı az ise performanslı sonuçlar vermektedir. RR protokolünde her DD kendisine ait bir yönlendirme tablosu tutar. Bu tablodaki bilgileri komşularından aldığı bilgiler ile günceller. HD'den herhangi bir yönlendirme bilgisi gelmez ise kendi tablosundaki bilgilere göre yönlendirme gerçekleştirilir. Bu da enerji tüketimini arttırmaktadır. RR protokolü, büyük TDA uygulamalarında komşuluk ilişkileri ile ilgili DD'ye çok fazla yük bindirdiği için enerji tüketimini arttırmakta bu da ağın toplam yaşam ömrünü olumsuz etkilemektedir. Bu yüzden RR protokolü büyük ağ yapılarında tercih edilmemektedir.

3.1.4. Eğim Tabanlı Yönlendirme Protokolü

Eğim tabanlı yönlendirme protokolü (Gradient Based Routing - GBR) [47], bütün ağa yayılan yayım mesajı ile HD ile KD arasındaki yolların atlama sayısının tespitine göre yönlendirme işlemini gerçekleştirmektedir. KD ile HD arasındaki en az atlama sayısı o yolun eğimi olarak düşünülmektedir. Eğimi en düşük olan yoldan iletişim gerçekleştirilmektedir. GBR, ağın yaşam ömrünü arttırmak için 3 teknik kullanmıştır. Bunlar;

- Yol seçiminde eğim bilgisi eşit olan yollardan birisi rastgele seçilerek yönlendirme gerçekleştirilir.
- Düzümlerin enerji seviyesi düştüğünde enerji tabanlı plana geçilerek alternatif en uygun yoldan iletişimin gerçekleşmesi sağlanır.
- TDA'ya yeni katılan DD'leri tespit etmek için belirli periyotlar ile yol bilgilerinin yenilenmesi sağlanır.

Bu tekniklerin temel amacı TDA üzerinde trafiğin dengeli bir şekilde dağıtılarak ağın yaşam ömrünü uzatmaktır. Yapılan araştırmalar GBR'nin DY'ye göre enerji verimliliği açısından üstün olduğunu göstermiştir [47].

3.1.5. Kısıtlı Eş Yönsüz Yayılma Yönlendirme Protokolü

Kısıtlı eş yönsüz yayılma yönlendirme protokolü (Constrained Anisotropic Diffusion Routing - CADR) [51] gecikme ve band genişliğini düşürmeyi amaçlamaktadır. Bu yüzden CADR protokolü DY protokolünü iyileştirmiştir. CADR, iletişim maliyetini ve bilginin kazanımını temel almıştır. Bunun için dinamik yönlendirme tahmin teorisi ile bilginin kullanılabilirlik ölçümünü modellemiştir. Enerji maliyetleri incelendiğinde CADR, DY protokolüne göre daha etkilidir.

3.1.6. Enerji Etkin Yönlendirme Protokolü

Enerji etkin yönlendirme protokolü (Energy Aware Routing - EAR) [40], ağın toplam yaşam ömrünü uzatmayı amaçlamaktadır. EAR, DY protokolüne benzemektedir. EAR'ın DY'den en önemli farkı, DY tek bir en iyi yol bulurken EAR yol takımları oluşturmaktadır.

EAR protokolü yönlendirme işlemini DY protokolünde olduğu gibi üç aşamada gerçekleştirmektedir. Birinci aşama topolojinin oluşturulması aşamasıdır. Bu aşamada EAR enerji tüketimini aza indirmek için kesin bir olasılık hesabı ile KD ile HD arasındaki alternatif yolları hesaplar ve yol bilgilerini veritabanında tutar. Hesaplanan yollardan enerji verimliliği açısından etkin olmayan yollar bulunarak silinir ve yönlendirme tablosunda sadece etkin yollar kalır. İkinci aşama veri iletimi aşamasıdır. Bu aşamada KD ile HD arasındaki iletişim KD üzerinde tutulan yönlendirme tablosundaki yollardan birisinin rastgele seçimi ile gerçekleşmektedir. Üçüncü aşama ise KD ile HD arasındaki yolların güncellenmesi için kullanılan bakım aşamasıdır. Bu aşamada yollar enerji verimliliğine göre güncellenerek tekrar ikinci aşamada olduğu gibi iletim gerçekleştirilir.

EAR protokolünde yönlendirme tabloları ve maliyet ilişkileri KD üzerinde tutulmaktadır. Dolayısı ile yönlendirme işleminde asıl sorumlu KD'lerdir. Bu protokolda ağ içerisindeki alternatif yollar üzerinden rastgele yönlendirme yapıldığı için ağın toplam yaşam ömrü DY protokolüne göre çok daha etkindir. Yapılan araştırmalar EAR protokolünün DY protokolüne göre % 21,5 enerji fazlası ve % 44 daha fazla ağ ömrü sağladığını ortaya koymuştur [23], [40].

3.1.7. Minimum Maliyetli Yönlendirme Algoritması

Minimum maliyetli yönlendirme algoritması (Minimum Cost Forwarding Algorithm - MCFA) [52], KD'den HD'ye yapılacak olan yönlendirmede yönlendirmenin yolunun her zaman bilindiği kabulünü yapmaktadır. Bu yüzden iletişim esnasında gönderilen paketlere herhangi bir ID verilmez. Aynı zamanda yol önceden belli olduğu için yönlendirmeyi yönetmek için bir yönlendirme tablosuna ihtiyaç duyulmaz. Bunun yerine her DD kendisine ait en maliyetli yolu bularak HD'ye en uygun DD üzerinden veriyi yönlendirir. DD tarafından iletilen her mesaj komşularına iletilmekte ve bu sayede en düşük tüketim yolu hesaplanmaktadır. Ancak TDA'larda topoloji dinamik olarak değiştiğinden önceden belirlenen yolda zaman içerisinde değişiklik olacağı kesindir. Bu yüzden bu yöntem tek başına kullanılamaz.

3.1.8. COUGAR Yönlendirme Protokolü

COUGAR [53], bir TDA yapısında veri kümelemesini kullanarak enerji tasarrufu elde etmeyi amaçlar. Bu protokolda veri iletimi doğrudan HD'ye yönlendirilmez. Bunun yerine DD'ler arası liderlik mekanizması oluşturulmuştur. Veri iletimi DD'lerden lider düğüme (LD) doğru olmaktadır LD'ler kendi içlerinde bir veri tabanı tutmaktadır. Bu veritabanındaki veriler LD'ler tarafından işlenerek işlenen veri HD'ye yönlendirilir. Böylece ağ içerisinde gereksiz veya tekrarlı veri iletiminin önüne geçilmiş olur. Bu da ağın toplam yaşam ömrünü olumlu etkilemektedir. COUGAR büyük ağ yapılarında başarılı sonuçlar vermektedir.

COUGAR protokolünde, DD'lerin sorgu mekanizması, LD'ler üzerinde gerçekleşen sorgu miktarının çok fazla olmasından dolayı aşırı hafıza kullanımı enerji tüketimi için ek maliyetlerdir. Ayrıca iletilecek olan veri LD'ye gönderilmeden önce ağ üzerinde veri başarısı elde etmek için bir eşleme yapılması gerekmekte bu da ek enerji maliyeti oluşturmaktadır. Ayrıca bu protokoldaki önemli sorunlardan birisi de ağ içerisinde önemli görevleri olan LD'lerin hata yapma olasılığıdır. LD'lerin hata oranlarını düşürebilmek için dinamik olarak ağ topolojisinin güncellenmesi gerekmektedir. Bu işlem ağa doğrudan bir yük getirdiği için ağ yaşam ömrünü doğrudan etkilemektedir [22].

3.1.9. Aktif Sorgu Yönlendirme Protokolü

Aktif sorgu yönlendirme protokolü (Active Query Forwarding in Sensor Networks - ACQUIRE) [54], COUGAR yönlendirme protokolüne benzer olarak dağıtılmış veri tabanı mimarisini kullanmaktadır.

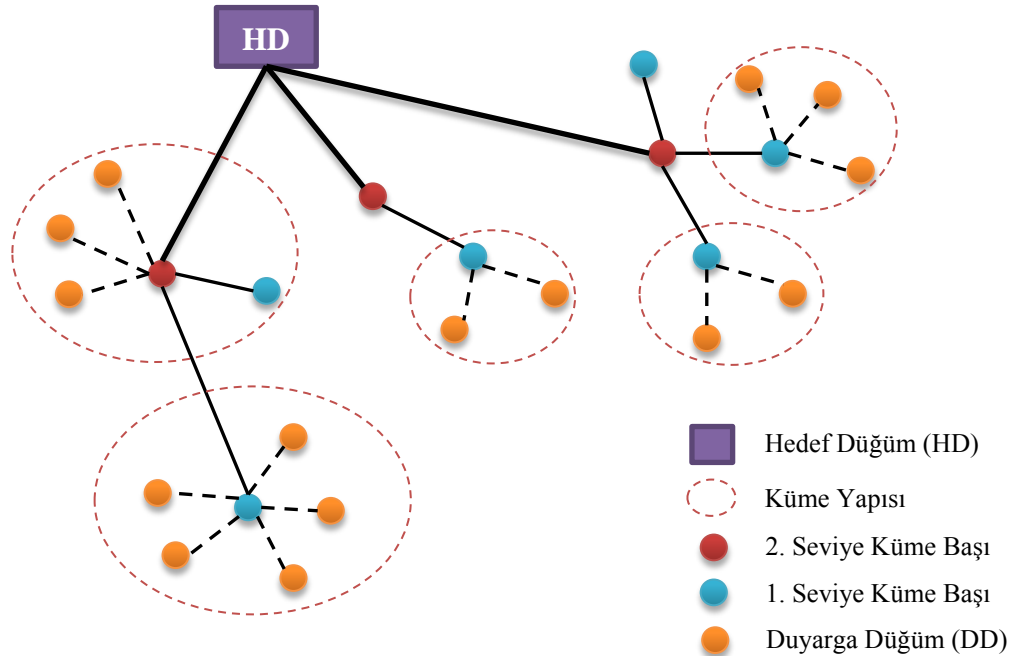
Bu protokolde ağ topolojisinin belirlenmesi için sorgu tabanlı yöntem kullanılmaktadır. Sorgu işleminden sonra KD ile HD arasında ki en kısa yol belirlenerek yönlendirme gerçekleştirilir. Ağ yapısı büyüdükçe ağ üzerinde yolların belirlenmesi ve iletimin gerçekleşmesi için yapılan sorgu sayısı artmakta bu da enerji tüketimini doğrudan etkilemektedir. ACQUIRE, büyük ağ yapılarında etkili bir yönlendirme protokolü değildir [6].

3.1.10. Rastgele Dolaşımli Yönlendirme Protokolü

Rastgele dolaşımli yönlendirme protokolü (Routing Protocols with Random Walks – RPRW) [55], istatistiksel öngörülere dayanarak yönlendirme yapmayı amaçlamaktadır. Bu protokolde çoklu yönlendirme yaparak yük dengelemesi hedeflenir. Ağ içerisindeki DD'lerin rastgele zamanlarda algılama yapmak için uyandığı kabul edilmiştir. Rastgele bir anda uyanan DD algılama veya yönlendirme işlemini gerçekleştirdikten sonra tekrar uyur. Böylece belirli bir enerji verimliliği sağlamış olur. Bu protokolde KD ile HD arasındaki DD'ler düzenli olarak bir ızgara yapısının içerisine yerleştirilmiştir. Dolayısı ile tüm DD'lerin yeri önceden bellidir. Bu yüzden ağ topolojisinin oluşturulmasına veya yönlendirme için bir konum bilgisine ihtiyaç duyulmaz. Ağ içerisinde tüm DD'lerin konumunun belli olması TDA uygulamaları için önemli bir kısıttır. DD'ler rastgele noktalara konumlandırılmaz. Bu da ağ topolojisinin her zaman gerçekçi olmasını engeller.

3.2. Hiyerarşik Ağ Tabanlı Yönlendirme Protokolleri

Hiyerarşik yönlendirme (Hierarchical Networks Routing - HNR) veya küme tabanlı yönlendirme olarak adlandırılan bu gruba giren protokollerin temel amacı enerjinin etkin kullanılmasının sağlanmasıdır. HNR yapısında ağ içerisinde bulunan DD'lerin düşük enerji miktarına sahip olanlar sadece algılama yaparken, enerjisi yüksek olan DD'ler ise algılama, bilginin işlenmesi ve yönlendirme amaçlı kullanılmaktadır. HNR'de DD'ler kümelerle bölünmüştür. Bu kümeler içerisinde DD'ler kümenin yaşam ömrünü uzatabilmek için enerji seviyelerine göre ya sadece algılama yaparlar ya da tüm fonksiyonları icra ederler. HNR'lerin bir avantajı da küme içerisinde verilerin işlenip gerekli olanların HD'ye iletilmesinin sağlanmasıdır. Bu da ağ içerisinde oluşacak gereksiz trafiğin önüne geçmek açısından önemlidir. Şekil 2'de HNR'lerin genel yapısı görülmektedir [22], [56].



Şekil 2. Hiyerarşik Yönlendirme

3.2.1. LEACH Yönlendirme Protokolü

Kümeleme tabanlı düşük enerjili yönlendirme protokolü (Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy – LEACH) [20], küme tabanlı bir protokoldür. LEACH protokolünde TDA içerisindeki DD'lerden rastgele birkaç DD küme başı olarak seçilmektedir. Yapılan araştırmalar ağ içerisindeki DD'lerin

%5'inin küme başı olmasının yeterli olduğunu göstermiştir [23]. Küme başı olan DD'lerin asıl görevi küme içerisindeki DD'lerin enerjisinin eşit olarak kullanılabilmesini sağlamaktır. Küme başı olan DD'lerin diğer bir görevi ise kendisine gelen bilgileri işleyip sıkıştırarak HD'ye iletilmesini sağlamaktır.

Bu protokolda ağ içerisindeki veri trafiğinden dolayı gerçekleşecek çarpışmaları en aza indirebilmek için TDMA / CDMA ve MAC protokolleri kullanılmıştır [22]. Trafiğin azaltılmasındaki etkin yöntemlerden birisi de küme başlarına gelen verilerin hemen HD'ye göndermek yerine belli bir süre verilerin toplanıp periyodik olarak HD'ye iletilmesinin sağlanmasıdır.

LEACH protokolü iki aşamada çalışmaktadır. Bunlardan birincisi ağ topolojisinin oluşturulması aşaması, ikincisi ise kalıcı durum olarak ta adlandırılan veri iletiminin sağlandığı aşamadır. Ağ topolojisinin oluşturulması aşamasında ağ içerisinde bulunan DD'lerden küme başı olacak DD'lerin belirlenmesi ve kümelerin oluşturulması işlemleri gerçekleştirilir. Kalıcı durum aşaması ise HD'ye veri iletiminin başlaması ve sürekliliğinin sağlanması işlemleri gerçekleştirilmektedir.

LEACH protokolü, tüm DD'lerin her aşamada eşit enerjiye sahip olduğunu ve DD'lerin tümünün eşit enerji harcadığını varsaymaktadır. Bu protokolün yapısı gereği birçok dezavantajı vardır. Bunlar

- LEACH tüm DD'lerin HD'ye ulaşabilmek için yeterli güçte iletim yapabileceğini varsayar. Rastgele dağıtılmış DD'ler kimi zaman birbirinden çok uzak noktalarda olabilir ve veri iletimi yapamayabilirler.
- DD'lerin hep gönderilecek bir veriye sahip olduğu ve yakın komşularında da benzer verilerin olduğu varsayılır. Bu da küme başlarının gereksiz analizler yapmasına ve fazla işlem yükü yüzünden gereksiz enerji tüketimi yapmasına neden olur.
- Ağ topoloji oluşturulurken ağ içerisinde rastgele bir şekilde belirlenmiş küme başı DD'lerin ağ içerisinde homojen olarak dağılacağı kesin değildir. Hatta küme başları belirlendikten sonra bazı DD'ler ağ içerisinde kendine bir küme başı bulamayabilir.
- Ağ yapısında kullanılan dinamik kümeleme yapısı fazladan işlem yükü getirmektedir.

LEACH protokolünün bu sorunlarından dolayı özellikle ağ yapısı büyüdükçe kullanılabilir olmadığı görülmektedir [20].

3.2.2. PEGASIS Yönlendirme Protokolü

Duyarga bilgi sistemlerinde güç-verimli veri toplama protokolü (Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems – PEGASIS) [57], zincir tabanlı protokol yapısını benimsemiştir. Bu protokol ağın yaşam ömrünü arttırmak için;

- DD'ler en yakın komşuları ile iletişime geçmelidir. Her DD için en yakın komşusu HD olarak kabul edilmektedir.
- DD'ler en yakın komşusuna ulaşamadığı yani HD'ye ulaşamadığı anda DD kendine yeni bir çerçeve belirleyerek en yakın diğer komşuya veri iletmeye başlar.

PEGASIS protokolünün temel olarak iki amacı vardır. Bunlardan birincisi her bir DD'nin ömrünü ağ içerisinde yapılan işbirlikleri ile arttırmak ve böylece ağın toplam yaşam ömrünü arttırmaktır. İkincisi ise birbirine yakın olan DD'ler arasında yapılacak olan koordinasyonla gereksiz trafiğin önüne geçmek, dolayısı ile band genişliğini etkin kullanmaktır.

PEGASIS protokolünün LEACH protokolüne göre en büyük farkı kümeleme yöntemleri yerine zincir mekanizmasını kullanmasıdır [22]. PEGASIS'te en yakın komşular sinyal gücüne göre belirlenmektedir. Oluşan bu komşuluk ilişkileri ile tek bir yol zincir şeklinde oluşturulmaktadır. Dolayısı ile birbirine en yakın DD'lerin oluşturmuş olduğu KD'den HD'ye kadar zincir şeklinde bir yol ortaya çıkmaktadır. Yapılan araştırmalar PEGASIS protokolünün LEACH protokolüne göre enerji açısından iki kat daha verimli olduğunu ortaya koymuştur [57]. PEGASIS, bunu özellikle kümeleme giderlerini yok ederek ve iletim sayısını azaltarak başarmıştır. PEGASIS protokolünün en büyük dezavantajı HD'ye uzak DD'lerden gelecek verilerin gecikmeye neden olmasıdır [23].

3.2.3. Eşik Duyarlı Enerji Verimli Yönlendirme Protokolü

Eşik duyarlı enerji verimli yönlendirme protokolü (Threshold-sensitive Energy Efficient sensor Network Protocol – TEEN) [58], TDA uygulamalarında zamanın kritik olduğu verinin anlık olarak öneminin olduğu durumlar için önerilmiştir. TEEN protokolü daha sonra adaptif periyodik eşik duyarlı enerji verimli yönlendirme protokolü (Adaptive Periodic Threshold-sensitive Energy Efficient sensor Network Protocol - APTEEN) [140], olarak iyileştirilmiştir.

TEEN protokolünün en önemli özelliği DD'lerin enerji seviyelerine göre yapması gereken işleri planlayabilmesidir. Buna göre yüksek enerji seviyesine sahip bir DD algılama ve yönlendirme yaparken, daha düşük enerji seviyesine sahip olan düğümler sadece algılama yaparak komşularının kendisi üzerinden veri iletimine izin vermez. TEEN protokolünün en büyük dezavantajı ise belirlenen enerji eşik seviyesi DD'lere bildirilemez ise DD'ler iletme geçemez ve ağ üzerinde veri iletimi başlayamaz [23].

TEEN protokolünün zayıf yönleri APTEEN protokolü ile geliştirilmiştir. APTEEN protokolü ile ayrıca enerji eşik seviyesi dinamik hale getirilmiştir. Böylelikle TDA uygulamasının şekline ve gereksinimlerine göre enerji eşik seviyesi belirlemek mümkün hale gelmiştir. Bu da ağ üzerinde enerji etkinliği ve veri doğruluğu arasında seçim yapılmasına imkân tanımaktadır. Yapılan araştırmalar TEEN ve APTEEN protokollerinin LEACH protokolüne göre daha etkin olduklarını ortaya koymuştur [23].

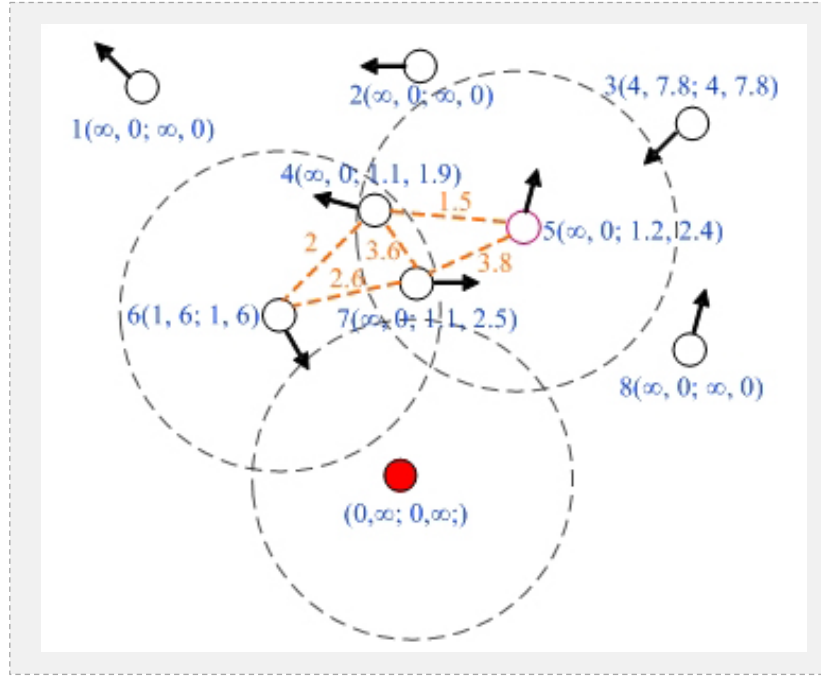
3.2.4. Sanal Izgara Mimarili Yönlendirme Protokolü

Sanal ızgara mimarili yönlendirme protokolü (Virtual Grid Architecture Routing – VGA) [30], kare şeklinde gruplar oluşturarak her grup içerisinde sabit bir DD küme başı düğüm olarak belirlenir. Böylece ızgara yapısına benzer bir ağ topolojisi oluşmuş olur. VGA protokolünde küme başları kendi kümesindeki verileri toplamak ve toplanan verileri HD'ye iletmek ile görevlidir. Bu yüzden küme başlarına yerel veri toplayıcı düğüm de denilmektedir. VGA protokolünde küme başı düğümleri belirleme işlemi oldukça karışık ve işlem yükü gerektiren bir işlem olduğu için enerji etkin yönlendirmenin söz konusu olduğu TDA uygulamalarında tercih edilmez [22].

3.3. Konum Tabanlı Yönlendirme Protokolleri

Konum tabanlı yönlendirme protokolleri (Location Based Routing - LBR) TDA içerisinde yol belirleme ve verinin yönlendirmesi konularında DD'lerin konumlarının tespit edilerek komşuluk ilişkilerinin ortaya çıkmasını sağlayan protokollerdir. Bu protokollerde komşu DD'lerden gelen sinyal gücü incelenerek düğümlerin mesafesi hesaplanmaktadır [59], [60]. LBR'ler yapılan çalışmalarda sinyal gücünün yanı sıra DD ile ilgili yön tayini üzerine de çalışmalar yapılmaktadır. Konum tabanlı yönlendirme yapılırken;

- Komşu DD'lerin birbirleri ile yaptıkları veri iletişimi esnasında göreceli olarak koordinatları belirleme,
- DD'lerin konumunu uydular aracılığı ile belirleme,
- Düğümler üzerinde bulunan küçük güçlü GPS alıcıları yolu ile konum belirleme, yöntemlerinden biri kullanılarak yön tayini yapılmaktadır. Konum tabanlı yönlendirme protokolleri incelendiğinde yön tayini için kullanılan GPS veya uydu bağlantısı gibi yöntemlerden dolayı enerji tüketimlerinin düz ağ tabanlı yönlendirme veya hiyerarşik ağ tabanlı yönlendirme yöntemlerine göre fazla olduğu görülmüştür [61], [62]. Şekil 3'de LBR protokollerinin genel yapısı görülmektedir.



Şekil 3. LBR Protokollerinin Yapısı

3.3.1. Coğrafik Uyarlamalı Doğruluk Protokolü

Coğrafik Uyarlamalı Doğruluk Protokolü (Geographic Adaptive Fidelity – GAF) [61], özellikle MANET'ler (Mobile Ad-Hoc Network) için enerji etkin yönlendirme protokolü olarak sunulmuş sonrasında ise TDA'lara uygulanmıştır. GAF protokolünün temeli paketlerin alınması veya gönderilmesinin yanı sıra DD'lerin uyku veya aktif olma durumlarının tespiti için oluşturulan modele dayanmaktadır.

GAF protokolünde DD'lerin keşif, uyku ve aktif olmak üzere üç konumu bulunmaktadır. Keşif durumu ağ içindeki diğer DD'ler hakkında bilgi edinerek ağ topolojisinin oluşturulması için kullanılmaktadır. Bir DD uyku moduna girdiğinde radyolarını kapatarak enerji tasarrufu yapmaktadır. Aktif durumdaki DD ise veri iletimi için hazır aktif olduğunu komşu DD'lere bildirmek için periyodik olarak yayın yapar.

GAF protokolünde DD'lerin aktif olarak kaldığı süre uygulamanın yapısı, DD'lerin hareketliliği gibi birçok faktöre göre değişebilmektedir. GAF amacına uygun olarak KD ile HD arasında gerçekleşecek iletişimde kullanılacak DD'ler haricindeki DD'lerin uyku modunda kalmasını sağlayan bir mekanizma sunmaktadır. Bu yüzden GAF protokolünde ağ ortamı ızgaralara bölünerek her DD, GPS verilerine göre gruplara bölünerek KD ile HD arasında yollar oluşturulmuştur. Böylece GAF protokolü ile KD ile HD arasındaki iletişim için atanan yoldaki DD'lerin haricindeki DD'lerin uykuda kalarak enerji verimliliği sağlanmıştır.

GAF protokolü ağ üzerinde iletişimin gerçekleştiği yol üzerindeki DD'leri aktif diğer tüm DD'leri uyku konumuna alarak ağ yaşam ömrünü maksimize etmektedir. Bu yüzden DD'lerin enerji düzeyleri esas alınmaktadır. Böylece enerji seviyesi yüksek olan DD üzerinden iletişimin sağlanması mümkün olmaktadır.

3.3.2. Coğrafik Enerji Etkin Yönlendirme Protokolü

Coğrafik Enerji Etkin Yönlendirme Protokolü (Geographic and Energy-Aware Routing – GEAR) [63], DD'lerin bulunduğu bir alanda hedef bölgeye iletilmek istenen verinin gönderileceği DD'nin seçimi için yapılan sorgular ile enerji etkin yönlendirme yapılmasını amaçlamaktadır. GEAR protokolünde DD'lerin üzerinde konum bilgilerinin tespiti için GPS veya yer bulma sistemlerinin bulunması gerekmektedir. GEAR protokolünde DD'ler kendi kalan enerji miktarlarının yanı sıra yaptığı sorgular ile komşu DD'lerin kalan enerji miktarları ve konum bilgilerini de tespit etmektedir.

GEAR protokolü KD'den HD'ye veri göndermek için kullanılacak olan DD seçiminde coğrafik bilgi temelli enerji etkin yöntem kullanılmaktadır. Bunu yaparken de özyinelemeli algoritmalar kullanılmaktadır.

3.3.3. Güç Tasarruflu Koordinasyon ile Yönlendirme Protokolü

Güç Tasarruflu Koordinasyon ile Yönlendirme Protokolü (Coordination of Power Saving with Routing – SPAN) [28], [64] hem konum tabanlı hem de hiyerarşik ağ tabanlı bir yönlendirme protokolüdür. MANET'ler için önerilmiş bir protokol olmasına rağmen DD'lerin enerji tüketimlerini azaltmak için TDA uygulamalarında da kullanılmaktadır. SPAN, DD'lerin en büyük enerji tüketimlerinin gerçekleştiği kablosuz ağ ara yüzü ile ilgilenmektedir. Bu protokolda de DD'lerin uyku ve aktif çalışma konumları bulunmaktadır ve DD'ler iletişim yapılmadığı sürece uyku konumunda kalması sağlanmaktadır.

SPAN protokolünde ağ topolojisi oluşturulurken ağ üzerindeki DD'lerin bazıları kendini koordinatör DD olarak atayarak ağ üzerindeki komşu DD'lere bunu bildirir. Böylece ağ üzerinde hiyerarşik yapı kurulmuş olur. Ayrıca SPAN coğrafik bir yönlendirme protokolü olduğundan DD'lerin yer bilgilerini ağın tamamının bilmesine ihtiyaç duyulmaz.

3.3.4. Yörünge Tabanlı Yönlendirme Protokolü

Yörünge Tabanlı Yönlendirme Protokolü (Trajectory – Based Forwarding – TBF) [65], GPS gibi bir konum belirleme sistemi bulunan ve yeterince yoğun olan ağ topolojilerinde kullanılmaktadır. Bu protokolda DD'ler yaklaşık konumlarını komşularına bildirmektedir. Fakat ağ üzerindeki DD'lerin tam konumları bu protokolda bilinmemektedir. Bu yüzden yönlendirme işlemi gerçekleşirken ağ üzerindeki DD aldığı veriyi göndereceği konumu tahmin ederek paketi yönlendirmektedir. Bu protokolün en önemli avantajlarından birisi yönlendirme bir bölge içinde yapıldığı için DD'lerin hareketli olması yönlendirme işlemini etkilemez. TBF'de AP güvenilirliğini arttırmak ve verinin KD'den HD'ye ulaştığını garantilemek için çoklu yönlendirme yapmak mümkündür. Fakat bu durum ağ üzerinde harcanan enerjiyi arttırmakta ve ağ yaşam ömrünü kısaltmaktadır. TBF protokolü sel, keşif ve çevresel olayların izlenmesi amaçlı kullanılabilir.

3.3.5. Açgözlü Sınırlı Voronoi Yönlendirme Protokolü

Açgözlü Sınırlı Voronoi Yönlendirme Protokolü (Bounded Voronoi Greedy Forwarding – BVGF) [66], Voronoi diyagramlarını baz alarak DD'lerin coğrafik pozisyonlarını tespit etmektedir. BVGF protokolünde DD'lerin konumlarını temsil eden bir Voronoi diyagramı oluşturulmaktadır. Bu yöntemde Voronoi diyagramına göre komşular arasındaki en kısa öklid mesafesi baz alınarak yönlendirme yapılacak DD'ler arasından en kısa mesafesi olan DD'ye yönlendirme yapılmaktadır. Bu protokolda KD ile HD arasında yol belirleme ve HD'ye verinin gönderilmesinde metrik olarak enerji tüketimi kullanılmamaktadır. Bu protokolün asıl amacı en yakın DD'ler kullanılarak yönlendirmenin gerçekleştirilmesidir.

3.3.6. Coğrafik Rastgele Yönlendirme Protokolü

Coğrafik Rastgele Yönlendirme Protokolü (Geographic Random Forwarding – GeRaF) [66], coğrafik olarak bir bölgeye yönlendirmenin yapılması amacıyla kullanılır. Bu protokol her zaman HD'ye verinin doğru bir şekilde iletilmesini garanti etmez. GeRaF protokolünde her düğümün fiziksel konumu bilinmektedir ve her DD, HD olarak varsayılmaktadır.

GeRaF protokolünün bütünleşik bir yapısı bulunmaktadır. Bu protokolda hem DD'lerin uyku ve aktif durumları ayarlanabilmekte hem de coğrafik yönlendirme yapabilen algoritmalar mevcut bulunmaktadır. GeRaF protokolünde diğer DD'lerin konumları, uyku ve aktif konuma ne zaman geçeceği bilinmemektedir. Bu yüzden KD'den HD'ye iletişim başlamadan önce veri gönderecek DD iletişim kanalının boş olup olmadığını kontrol eder. Kanal boş ise komşu DD'lerin aktifliğini kontrol için DD bir kontrol mesajı yayınlar. Bu mesajda aynı zamanda kaynak DD'nin konum bilgisi de yer almaktadır. Mesajı alan DD'ler KD'ye kendi konumlarını ve diğer metriklerini gönderir. Buna göre KD kendine gelen mesajlardan birini seçerek yönlendirme işlemini gerçekleştirir.

Bu protokolün ağ içindeki DD'ler, diğer DD'lerin aktif veya uykuda olduğunun tespiti için ve verinin yönlendirileceği DD'nin konumunun öğrenilmesi için harcadığı enerji dezavantajdır.

3.3.7. Minimum Enerji İletişim Ağ Protokolü

Minimum enerjili iletişim ağ protokolü (Minimum Energy Communication Network - MECN) [67], TDA'larda belirli bir ağ yapısı içerisinde düşük güçlü GPS kullanarak enerji etkin alt ağ oluşturma protokolüdür. Bu yüzden MECN hem hiyerarşik ağ tabanlı hem de konum tabanlı yönlendirme protokolü olarak kabul edilebilir. MECN protokolünün ana amacı KD ile HD arasındaki yönlendirme için en az DD'nin kullanılacağı alt ağlar oluşturmaktır.

MECN, KD'den HD'ye minimum enerji harcayan yolun tespiti için spanning tree algoritmalarını kullanmaktadır.

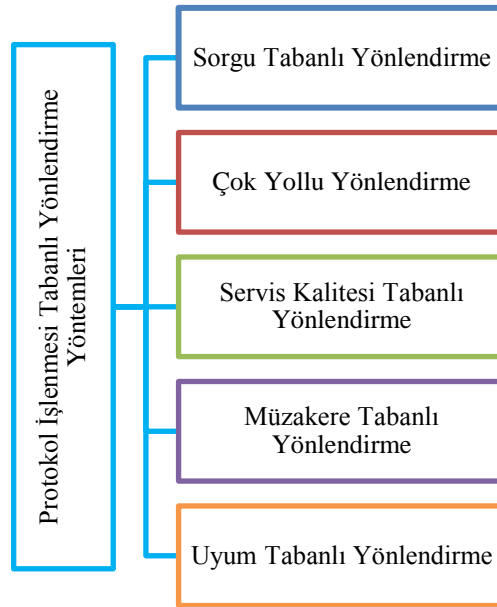
MECN protokolü dinamik bir protokoldür. TDA'larda ağ üzerinde KD'den HD'ye birden fazla yol üzerinden yönlendirmenin yapılması mümkündür. MECN en az enerjinin harcandığı yol üzerinden yönlendirme yapmaktadır. Fakat yönlendirme için kullanılan yoldaki DD'lerin enerjisi tükendiğinde o yolun ömrü de tükenmiş olur. Bu yüzden MECN'de yolların enerjileri dinamik olarak kontrol edilerek yol seçimi yapılmaktadır.

3.3.8. En Küçük Enerjili İletişim Protokolü

En Küçük Enerjili İletişim Protokolü (Small Minimum – Energy Communication Network – SMECN) [68], MECN protokolünü geliştirilmiştir. SMECN'de enerji açısından en verimli yolu tercih edilmesi sağlanmıştır. Bunun için bir yol üzerindeki DD çiftlerinden en az enerji tüketen çiftler seçilerek yol belirlenmiştir.

3.4. Protokol İşlenmesi Tabanlı Yönlendirme

Protokol işlenmesi tabanlı yönlendirme (Protocol Operation Based Routing - PO) TDA'larda yapılan çalışmalar incelendiğinde geliştirilen yönlendirme protokollerinin yanı sıra ağ yapısındaki birden çok katman ile iletişimi sağlamaya yönelik yöntemler veya algoritma tabanlı çalışmalar konusunda da yoğunlaştığı gözlemlenmektedir. Bu çalışmalar genellikle mevcut protokollerin geliştirilmesi veya birden çok protokol yapısının birlikte kullanıldığı çalışmalar veya yönlendirme ile ilgili tüm iletişim süreçlerinin yapılandırıldığı yazılım tabanlı çalışmalardır. Bu tarz yönlendirme yöntemleri genellikle yönlendirme protokollerinin tek başlarına yeterli olmadığı ve ağ ortamına göre özel düzenlemelerin yapılması gerektiği yapılarda tercih edilmektedir. PO yönlendirme işlemini yöntemlerine göre 5 ayrı başlık altında toplamak mümkündür. Şekil 4 'de bu yöntemler gösterilmektedir.



Şekil 4. Protokol İşlenmesi Tabanlı Yönlendirme Yöntemleri

3.4.1. Sorgu Tabanlı Yönlendirme

Sorgu tabanlı yönlendirmede (Query Based Routing - QBR)'deki amaç bir TDA yapısında koşullara göre iletişimin başlamasıdır. Bu yönlendirme tekniğinde genellikle HD ağ içerisine bir sorgu gönderir. Bu sorguyu alan DD'ler sorgudaki istenileni karşılayabiliyor ise iletişimi başlatabilir. Örneğin belli bir

alandaki ortam sıcaklığı değişiminin gözlemlendiği bir ağda bir HD tüm ağdaki DD'lere sıcaklık ölçümü yapın ve ölçülen değer önceden belirlenmiş bir eşik değerini aştığında değeri gönderin şeklinde bir sorguyu gönderebilir. Sıcaklık değişiminin olduğu bölgelerdeki DD'ler iletme geçerek sıcaklık bilgisini gönderebilir. Bu sayede ağ içerisinde sürekli değer göndermek yerine belli değişimleri göndererek büyük ölçüde tasarruf sağlanmış olur [69].

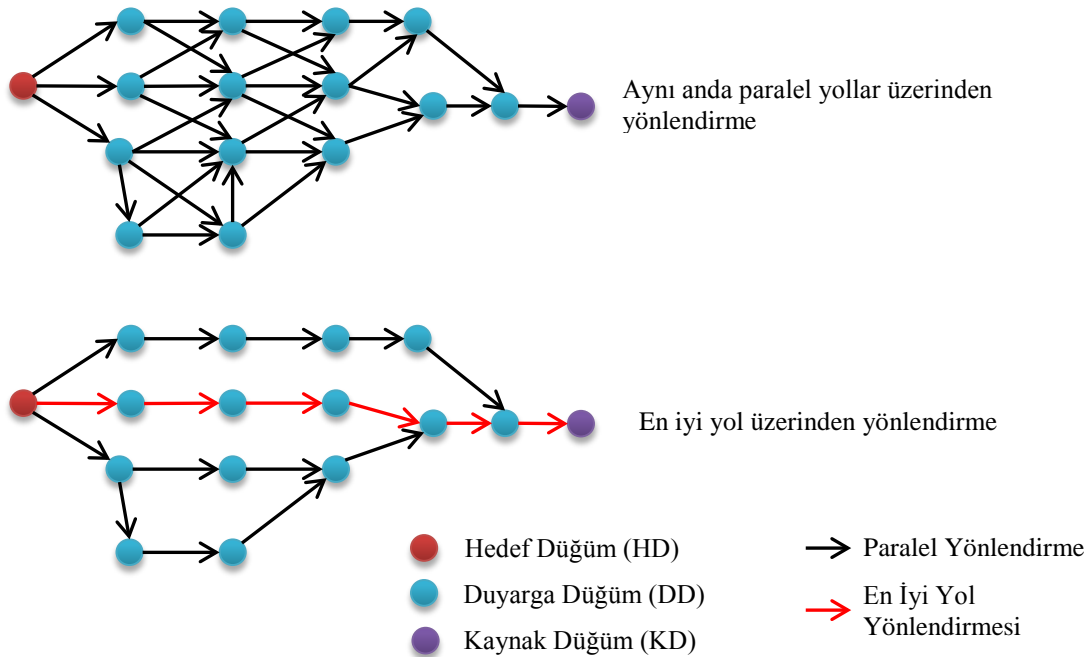
QBR yapısında veri iletişimi 2 aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşama ağ topolojisinin oluşması aşamasıdır. Bu aşamada HD koşul ile ilgili mesajı tüm DD'lere yayar. Mesajı alan DD'ler eğer koşul sağlanmışsa ikinci aşamada HD'ye aynı yol üzerinden veriyi gönderir. QBR'de her sorgu işlemi başlangıcında uygun olan yol bilgisi en düşük enerji tüketimi dikkate alınarak belirlenmektedir. QBR tipi yönlendirme yapılarındaki en büyük sorun her sorgu işlemi için tekrar yolların belirlenmesi yüzünden yaşanan enerji harcamalarıdır. Bu soruna karşın ağ içerisindeki tüm DD'lerin istenilen zamanlarda ağı dinlemesi sağlanarak diğer zamanlarda uyuması sağlanmakta ve enerji açısından tasarruf sağlanmaktadır [5].

3.4.2. Çok Yollu Yönlendirme

Çok yollu yönlendirme (Multi-Path Based Routing - MPR) üzerine yapılan çalışmalar bir TDA yapısında HD ile KD arasındaki veri iletişimi için bir yol yerine birden çok yolun belirlenmesini amaçlamaktadır. Bu tür yönlendirmede belirlenen yollar ağ veya uygulamanın yapısına göre iki ayrı şekilde kullanılabilir.

- Belirlenen yolların birkaçı aynı anda paralel olarak verinin iletilmesi için hep birlikte kullanılabilirler [70].
- Enerji tüketimi, servis kalitesi veya hata toleransı, ağ güvenliği gibi kriterler göz önüne alınarak belirlenen yollar birbirlerine alternatif olacak şekilde sıra ile kullanılabilirler [24], [70].

MPR'nin genel yapısı Şekil 5'de gösterilmiştir.



Şekil 5. MPR Yapısı

MPR teknikleri uygulamanın şekline göre ağ performansı üzerinde birçok fayda sağlamaktadır. Bunlar;

- Yönlendirme yapılırken ağ üzerinde homojen bir yük dağılımı yapılarak toplam ağ yaşam ömrünü uzatmak
- Ağ üzerindeki yük ve enerji tüketimini dengelemek
- Ağ üzerinde oluşacak trafiği dengeleyerek tıkanıklıkların önüne geçmek

- Servis kalitesini arttırmak ve ağ boyunca gecikmeyi azaltmak
- Hata toleransı sağlamak
- Ağ güvenliğini ve veri gizliliğini sağlamak şeklinde sıralanabilir [71].

3.4.3. Servis Kalitesi Tabanlı Yönlendirme

Servis kalitesi tabanlı yönlendirme (QoS Based Routing - QoSBR)de amaç ağ içerisindeki veri iletişiminin kalitesini arttırmaktır. QoS, verinin doğru iletimi, hızlı iletimi, ağın toplam enerji tüketimi gibi birçok kritere bağlıdır. Yapılan çalışmalar genellikle TDA uygulamasının amacına göre bu kriterlerden birkaçını iyileştirmek diğer kriterleri de göz ardı etmek durumunda kalmıştır. Örneğin bir TDA uygulamasında algılanan verinin anlık ve doğru bir şekilde HD'ye iletilmesi isteniyor ise ağın yaşam ömrü göz ardı edilebilir. TDA'lardaki QoSBR tabanlı çalışmalar incelendiğinde özellikle 2 çalışma ön plana çıkmaktadır.

3.4.3.1. Sıralı Atama Yönlendirme

Sıralı atama yönlendirme (Sequential Assignment Routing - SAR) [32], enerji kaynakları, iletilecek paketin öncelik seviyesi ve KD ile HD arasındaki yolların QoS değerlerine göre yönlendirme yapmaktadır. Bu yönlendirme tekniğinde oluşabilecek yön hatalarını önlemek için çok yönlü yönlendirme yapısından da yararlanılmıştır. Bu sayede SAR yönlendirme tekniği hem QoSBR tabanlı hem de MPR tabanlı yönlendirme yapan bir yapı kurmuştur. SAR yönlendirme tekniği özellikle küçük ağ yapılarında başarılı sonuçlar vermiştir. Yapılan çalışmalar SAR'ın hata toleransının iyi olmasına karşın ağ yapısı büyüdükçe ve düğüm sayısı arttıkça yönlendirme tablolarındaki maliyetlerden dolayı performans kaybına uğradığını ortaya koymuştur [7].

3.4.3.2. SPEED

Bu yönlendirme tekniği de SAR gibi QoSBR tabanlı bir yönlendirme tekniğidir. Bu yönlendirme tekniği DD'ler arasındaki komşuluk ilişkilerini keşfetmek ve yeni yollar oluşturmak için konum yönlendirme yapısını kullanmaktadır. SPEED'in ana amacı veri paketini iletim hızını arttırmaktır. Yapılan çalışmalar bu yönlendirme tekniğinin toplam iletim enerjisi açısından SAR yönlendirme tekniğine göre daha etkin olduğunu ortaya koymuştur [72].

3.4.4. Müzakere Tabanlı Yönlendirme

Müzakere tabanlı yönlendirme (Negotiation Based Routing - NBR) tekniklerinin temel amacı TDA ağında gereksiz verinin gönderilmesinin önüne geçmektir. İletişim KD tabanlıdır. Gereksiz veriyi ayırt etmek için bu yönlendirme tekniklerinde genel olarak yüksek seviyeli veri tanımlayıcı sistemler kullanılmaktadır. Bu sistemler ağ içerisinde çift olan mesaj paketlerini tespit ederek tekilleştirmektedir. Bu sayede ağ içerisindeki gereksiz trafiğin önüne geçilmekte ve enerji tasarrufu sağlanmaktadır [48].

3.4.5. Uyum Tabanlı Yönlendirme

Uyum tabanlı yönlendirme (Coherent Based Routing - CBR) tekniklerinde verinin işlenmesi konusu ön plana çıkmıştır. Bu tür yönlendirme teknikleri ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde iki ayrı görüş ortaya çıkmıştır.

Birinci görüş uyumlu olmayan veri işleme yöntemidir [73]. Bu yöntemde ham veri iletilmeden önce DD'ler içerisinde işlenmektedir. Bu sayede iletilecek olan paket miktarının azaltılması planlanmaktadır.

İkinci görüş ise uyumlu veri işleme yöntemidir [49]. Bu yöntemde ise ham veri DD'lerde çok küçük bir işleme sürecinden geçirildikten sonra HD'ye gönderilmektedir. Buradaki veri işleme sadece veri paketine zaman damgası gibi küçük bilgilerin eklenmesi şeklindedir.

Uyum tabanlı yönlendirme tekniklerinden hangisinin kullanılacağı TDA uygulamasının yapısına göre değişmektedir. Eğer veri iletiminin hızlı olması veya ağ trafiğinin azaltılması isteniyor ise uyumlu olmayan veri işleme [23], [49] enerji tasarrufu yapılarak ağın yaşam ömrünün uzatılması isteniyor ise DD'lerde işleme maliyetleri olmayan uyumlu veri işleme [1], [73] yöntemleri tercih edilmektedir [32].

4. TDA'lar için Gerçekleştirilen Yönlendirme Çalışmalarının Enerji Açısından Karşılaştırılması

Literatürde yer alan yönlendirme çalışmaları bu bölümde karşılaştırılmıştır. TDA'lar üzerinde yapılan çalışmalar incelendiğinde çalışmaların bir kısmının tamamen protokol geliştirmeye yönelik bir kısmının da uygulamaya yönelik ihtiyaçları karşılamak için geliştirilen mimariler olduğu görülmektedir. Bu çalışmalarda temel hedef düğümler arasında iletişimi sağlamak için yönlendirme yapısını oluşturmaktır. Uygulamanın yapısına göre bazı çalışmaların ağır yaşam ömrü ve güç kullanımı açısından öne çıktığı görülmüştür. Tablo 2'de farklı kategoriler altındaki yönlendirme tekniklerinin enerji verimliliği açısından karşılaştırılması sunulmaktadır.

Tablo 2. Yönlendirme Tekniklerinin Sınıflandırılması ve Karşılaştırılması

Yönlendirme Tekniği	Yönlendirme Sınıfı	Kaynak Kullanımı	Enerji Verimliliği	Veri Toplama	Ölçeklenebilirlik
SPIN	Düz	Düşük	Düşük	Var	Sınırlı
DY	Düz	Düşük	Düşük	Var	Sınırlı
RR	Düz	-	Düşük	Var	Sınırlı
GBR	Düz	-	Düşük	Var	Sınırlı
CADR	Düz	Düşük	Düşük	Var	Sınırlı
EAR	Düz	İyi	İyi	Yok	Sınırlı
MCFA	Düz	-	Düşük	Yok	Sınırlı
COUGAR	Düz	Düşük	Düşük	Var	Sınırlı
ACQUIRE	Düz	-	Düşük	Var	Sınırlı
RPRW	Düz	Düşük	Düşük	Var	İyi
LEACH	Hiyerarşik	İyi	İyi	Var	İyi
PEGASIS	Hiyerarşik	İyi	İyi	Yok	İyi
TEEN/APTEEN	Hiyerarşik	İyi	İyi	Var	İyi
VGA	Hiyerarşik	-	Düşük	Var	İyi
GAF	Konum	Düşük	İyi	Yok	Sınırlı
GEAR	Konum	Düşük	Düşük	Yok	İyi
SPAN	Konum	-	Düşük	Yok	Sınırlı
TBF	Konum	Düşük	Düşük	Yok	İyi
BVGF	Konum	-	Düşük	Var	İyi
GeRaF	Konum	İyi	İyi	Var	Sınırlı
MECN	Kon. / Hiy.	İyi	Düşük	Yok	Kötü
SMECN	Kon. / Hiy.	İyi	Düşük	Yok	Kötü
SAR	QoS	-	İyi	Var	Sınırlı
SPEED	QoS	-	İyi	Yok	Sınırlı

5. Sonuç

TDA'lar için yönlendirme protokolü tasarımındaki temel sorunlardan biride enerjinin etkin kullanılmasıdır. Bu bağlamda yapılan çalışmalar DD'lerin enerjilerinin verimli kullanılmasına ve bununla birlikte ağ yaşam ömrünü uzatmaya yönelik olmuştur. Yapılan çalışmalar incelendiğinde her DD'nin eşit seviyede yetki ve sorumluluğunun bulunduğu düz ağ yapısını kullanan protokoller, DD'lerin hiyerarşik olarak gruplandırılarak alt ağlar oluşturulması ve bu ağlardaki bazı DD'lerin

yetkilerinin diğerlerine göre üstün olduğu hiyerarşik ağ yapısını kullanan protokoller ve ağ üzerindeki DD'lerin konumlarının öğrenilmesi için GPS gibi konum tespit modülleri barındıran DD'ler ile oluşturulmuş konum tabanlı yönlendirme protokolleri üzerinde çalışmaların yoğunlaştığı görülmüştür. Yine TDA'nın uygulama alanına uygun olarak DD'lerin kullanım biçiminin değiştiği gözlemlenmiştir. Ağ üzerindeki verinin hızlı şekilde hedefe ulaşması, güvenli şekilde ulaşması veya ağın maksimum yaşam ömrüne sahip olmasına uygun olarak yönlendirme protokolleri değişim göstermiştir.

Geliştirilen yönlendirme protokolleri ağın yapısına ve kullanılan DD'nin özelliklerine göre etkili bir yönlendirme protokolü geliştirmek için; geliştirilen protokolda mümkün olan en az kontrol mesajının kullanılması, az işlem gücü gerektirecek algoritmalar geliştirilmesi, ağ üzerindeki DD'lerin enerjisi tükendiğinde ağ topolojisinin dinamik bir şekilde yenilenebilmesi, yönlendirme esnasında minimum enerjinin tüketileceği yolların seçilmesi gerekliliği öne çıkmıştır.

Kaynaklar

1. Akyildiz I. F., Su W., Sankarasubramaniam Y. and Cayirci E. 2002. Wireless Sensor Networks: A Survey, Computer Networks Elsevier, 38(4): 393-422.
2. Akyildiz I. F., Wang X. and Wang W. 2005. Wireless mesh networks: a survey, Computer Networks, 445-487.
3. Dowla, F. 2004. Handbook of RF and Wireless Technologies, USA.
4. Genet, 2005. Telsiz Duyurga Ağları, Genetlab Ar-Ge Raporu. İstanbul.
5. Hernández C. F. G. 2007. Wireless Sensor Networks and Applications: a Survey, IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security, 7 (3): 264-270.
6. Soyinka W. 2010. Wireless Network Administration A Beginner's Guide. The McGraw-Hill Companies, New York Chicago San Francisco.
7. Yu Y., Prasanna V. K. and Krishnamachari B. 2006. Information Processing and Routing in Wireless Sensor Networks, World Scientific Publishing Co.
8. Marti M. 2004. Shooter Localization in Urban Terrain, IEEE Computer, 37 (8): 60-61.
9. Simon G. 2004. Sensor network-based counter sniper system, Proc. Sensys.
10. Winkler M., Unknown T. K. D., Hughes K. and Barclay G. 2008. Theoretical and Practical aspects of military wireless sensor networks, *Telecommunications and Information Technology*, 3-45.
11. Wang Q., Hassanein H. and Xu K. 2004. Compact Wireless and Wired Sensing Systems: A Practical Perspective on Wireless Sensor Networks ,CRC Press.
12. http://www.ban.fraunhofer.de/index_e.html Body Area Network. 10.03.2010
13. http://www.imec.be/ovinter/static_research/human.shtml The IMEC Human++ project website. (Erişim Tarihi: 02.01.2010).
14. Jovanov E., Milenkovic A., Otto C. and de Groen C. P. 2005. A wireless body area network of intelligent motion sensors for computer assisted physical rehabilitation, Journal of Neuroengineering and Rehabilitation, 2(6): 1-10.
15. <http://www.eecs.harvard.edu/~mdw/proj/codeblue/> Wireless Sensor of Medical Care (Harvard) Sensor Labs CodeBlue project. (Erişim Tarihi: 29.03.2010).
16. <http://www.intel.com/research/prohealth> Intel's Prohealth Project. (Erişim Tarihi: 02.03.2010).
17. http://cordis.europa.eu/fetch?action=d&caller=proj_ist&rcn=58081 IST Project Fact Sheet. (Erişim Tarihi: 01.05.2010).
18. Shen C., Srisathapornphat C. and Jaikao C. 2001. Sensor information networking

architecture and applications, *IEEE Personal Communications*, 52–59.

19. Feng J., Koushanfar F. and Potkonjak M. 2005. *Handbook of Sensor Networks Compact Wireless and Wired Sensing Systems*, Sensor Network Architecture, CRC Press.
20. Heinzelman W., Chandrakasan A. and Balakrishnan H. 2000. Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks, 33rd Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS '00).
21. Arampatzis T., Lygeros J. and Manesis, S. 2005. A Survey of Applications of Wireless Sensors and Wireless Sensor Networks, *IEEE International Symposium on, Mediterrean Conference on Control and Automation*, s. 719-724, Limasol, Cyprus.
22. Akkaya K. and Younis M. 2005. A Survey of Routing Protocols, *Elsevier Ad Hoc Network*, 3(3): 325-349.
23. Al-Karaki J. N. and Kamal A. E. 2004. Routing Techniques in Wireless Sensor Networks: a Survey, *EEE Wireless Communication*, 11(6): 6-28.
24. Chang J. H. and Tassiulas L. 2000. Maximum Lifetime Routing in Wireless Sensor Networks, *Advanced Telecommunications and Information Distribution Research Program (ATIRP2000)*, College Park, MD.
25. Bandyopadhyay S. and Coyle, E. 2003. An Energy Efficient Hierarchical Clustering Algorithm for Wireless Sensor Networks, *INFOCOM*, 3(23): 1713.
26. Sundani H., Li H., Devabhaktuni V. K., Alam M. and Bhattacharya P. 2010. Wireless Sensor Network Simulators A Survey and Comparisons, *International Journal Of Computer Networks (IJCN)*, 2(5): 249-265.
27. Yick J., Mukherjee B. and Ghosal D. 2008. Wireless sensor network survey, *Computer Networks*, 52: 2292-2230.
28. Chen B., Jamieson K., Balakrishnan H. and Morris R. 2002. SPAN: an energy-efficient coordination algorithm for topology maintenance in ad hoc wireless networks, *Wireless Networks*, 8(5): 481-494.
29. Akkaya K. and Younis M. 2003. An Energy-Aware QoS Routing Protocol for Wireless Sensor Networks, *23rd IEEE Workshop on Mobile and Wireless Networks*, Rhode Island, USA, 710-715.
30. Al-Karaki J. N., Ul-Mustafa R. and Kamal A. E. 2004. Data Aggregation in Wireless Sensor Networks - Exact and Approximate Algorithms, *IEEE Workshop on High Performance Switching and Routing (HPSR)*, Phoenix, Arizona, USA.
31. Ilyas M. and Mahgoub I. 2004. *Handbook of sensor networks: compact wireless and wired sensing systems*, FL Boca Raton.
32. Sohrabi K. and Pottie J. 2000. Protocols for self-organization of a wireless sensor network, *IEEE Personal Communications*, 7(5): 16-27.
33. Raniwala A. and Chiueh T. 2005. Architecture and algorithms for an IEEE 802.11-based multi-channel wireless mesh network, *IEEE INFOCOM*, Miami, 2223-2234.
34. Köksal S. A. 2007. 802.11 Kablosuz Yerel Alan Ağlarında Güvenlik Sorunu. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya.
35. Intermec Technologies Corporation. 1998. *Guide to Wireless LAN Technologies*.
36. Chong C. Y. 2003. Sensor Networks: Evolution, Opportunities and Challenges, *Senior Proceedings of the IEEE*, 1247-1256.
37. <http://www.zigbee.org/About/FAQ/tabid/192/Default.aspx>. ZigBee Alliance (Erişim Tarihi: 24.03.2010).

38. To C. K. 2001. Maximum Battery Life Routing to Support Ubiquitous Mobile Computing in Wireless Ad Hoc Networks, *IEEE Communications Magazine*.
39. Pottie G. J. and Kaiser W. J. 2000. Wireless integrated network sensors, *Communications of the ACM*, 43(5): 551–558.
40. Shah R. C. and Rabaey J. 2002. Energy Aware Routing for Low Energy Ad Hoc Sensor Networks, *IEEE WCNC*, Orlando.
41. Liu J. 2001. Simulation modeling of large-scale ad-hoc sensor networks, *European Simulation Interoperability Workshop*, London, England.
42. Pham T., Eun J. K. and Moh M. 2004. On Data Aggregation Quality and Energy Efficiency of Wireless Sensor Network Protocols, *Broadband Networks*, 730-732.
43. Park N., Kim D., Doh Y., Lee S. and Kim J. 2005. An Optimal and Lightweight Routing for Minimum Energy Consumption in Wireless Sensor Networks, *IEEE*.
44. Tekin U. 2006. Kablosuz Duyarga Ağlarda Etkili Yönlendirme ve Enerji Problemleri. Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Semineri, Kocaeli.
45. Garcia-Hernandez C. F., Ibarguengoytia-Gonzalez P. H., Garcia-Hernandez J. and Perez-Diaz J. A. 2007. Wireless Sensor Networks and Applications: a Survey, *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security*, 3(7): 264-273.
46. Intanagonwiwat C., Govindan R. and Estrin D. 2000. Directed diffusion: a scalable and robust communication paradigm for sensor networks, *ACM MobiCom '00*, Boston, 56-67.
47. Schurgers C. and Srivastava M. B. 2001. Energy efficient routing in wireless sensor networks, *Communications for Network-Centric Operations: Creating the Information Force*.
48. Heinzelman W., Kulik J. and Balakrishnan H. 1999. Adaptive Protocols for Information Dissemination in Wireless Sensor Networks, *5th ACM/IEEE Mobicom Conference (MobiCom '99)*, Seattle, 174-185.
49. Kulik J., Heinzelman W. R. and Balakrishnan H. 2002. Negotiation-based protocols for disseminating information in wireless sensor networks, *Wireless Networks*, 8: 169-185.
50. Braginsky D. and Estrin D. 2002. Rumor Routing Algorithm for Sensor Networks, *First Workshop on Sensor Networks and Applications (WSNA)*, Atlanta.
51. Chu M., Haussecker H. and Zhao F. 2002. Scalable Information-Driven Sensor Querying and Routing for ad hoc Heterogeneous Sensor Networks, *The International Journal of High Performance Computing Applications*, 16(3).
52. Ye F., Chen A., Liu S. and Zhang L. 2001. A scalable solution to minimum cost forwarding in large sensor networks, *International Conference on Computer Communications and Networks (ICCCN)*, 304-309.
53. Yao, Y. and Gehrke J. 2002. The cougar approach to in-network query processing in sensor networks, *SIGMOD Record*.
54. Sadagopan N. 2003. The ACQUIRE mechanism for efficient querying in sensor networks, *First International Workshop on Sensor Network Protocol and Applications*, Alaska.
55. Servetto S. and Barrenechea G. 2002. Constrained Random Walks on Random Graphs: Routing Algorithms for Large Scale Wireless Sensor Networks, *1st ACM International Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications*, Atlanta, Georgia, USA.
56. Ökdem S. ve Karaboğa D. 2007. Kablosuz Algılayıcı Ağlarında Yönlendirme, *Akademik Bilişim' 07*, Kütahya.
57. Lindsey S. and Raghavendra C. 2002. PEGASIS: Power-Efficient Gathering in Sensor

- Information Systems, IEEE Aerospace Conference, 3(16): 1125-1130.
58. Manjeshwar A. and Agarwal D. P. 2001. TEEN: a routing protocol for enhanced efficiency in wireless sensor networks, In 1st International Workshop on Parallel and Distributed Computing Issues in Wireless Networks and Mobile Computing.
 59. Bulusu N., Heidemann J. and Estrin D. 2000. GPS-less low cost outdoor localization for very small devices, Technical report, Computer science department University of Southern California.
 60. Savvides A., Han C. C. and Srivastava M. 2001. Dynamic fine-grained localization in Ad-Hoc networks of sensors, Seventh ACM Annual International Conference on Mobile Computing ve Networking (MobiCom), 166-179.
 61. Xu Y., Heidemann J. and Estrin D. 2001. Geography-informed Energy Conservation for Ad-hoc Routing, Seventh Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing ve Networking, 70-84.
 62. Yılmaz M. 2007. Duty cycle control in wireless sensor Networks. ODTU Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
 63. Y. Yu R. Govindan and D. Estrin, "Geographical and energy aware routing: A recursive data dissemination protocol for wireless sensor networks", *Technical Report UCLA/CSD-TR-01-0023*, UCLA Computer Science Department, May 2001.
 64. B. Chen, K. Jamieson, H. Balakrishnan and R. Morris, "Span: An energy-efficient coordination algorithm for topology maintenance in ad hoc wireless networks", *Proceedings ACM MobiCom'01*, Rome, Italy, July 2001, pp. 85-96.
 65. B. Nath and D. Niculescu, "Routing on a curve", *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, vol. 33, no.1, Jan. 2003, pp. 155-160.
 66. M. Zorzi and R. R. Rao, "Geographic random forwarding (GeRaF) for ad hoc and sensor networks: Mutlihop performance", *IEEE Transactions on mobile Computing*, vol. 2, no. 4, Oct.-Dec. 2003, pp. 337-348.
 67. Rodoplu V. and Meng T. H. 1999. Minimum Energy Mobile Wireless Networks, *IEEE Journal Selected Areas in Communications*, 17(8): 1333-1344.
 68. L. Li and J. Y. Halpern, "Minimum-energy mobile wireless networks revisited", *Proceedings IEEE ICC'01*, Helsinki, Finland, June 2001, pp. 278-283.
 69. Braginsky, D. and Estrin, D. 2001. Rumor Routing Algorithm For Sensor Networks, *International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS'01)*.
 70. Dulman S., Nieberg T., Wu J. and Havinga P. 2003. Trade-Off between Traffic Overhead and Reliability in Multipath Routingfor Wireless Sensor Networks, *WCNC Workshop*, New Orleans, Louisiana, USA.
 71. Gallardo J. R., Gonzalez A., Villasenor-Gonzalez L. and Sanchez J. 2007. Multipath Routing Using Generalized Load Sharing For Wireless Sensor Networks, *7th IASTED Wireless and Optical Communications International Conferences (WOC)*, Montreal, 1-8.
 72. He T. 2003. SPEED: A stateless protocol for real-time communication in sensor networks, *In the Proceedings of International Conference on Distributed Computing Systems*.
 73. Wang Q., Zhu Y. and Cheng L. 2006. Reprogramming wireless sensor networks: challenges and approaches, *Network IEEE*, 20(3): 48-55.