

KABLOSUZ ÖRGÜ AĞLAR İÇİN ÖLÇEKLENEBİLİR YÖNLENDİRME PROTOKOLÜ

Ramazan KOCAOĞLU*, **M. Ali AKCAYOL****

* Bilgisayar Bilimleri Anabilim Dalı, Bilişim Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Beşevler, Ankara

** Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Maltepe, Ankara

ramazankocaoglu@gazi.edu.tr, akcayol@gazi.edu.tr

(Geliş/Received: 29.02.2012; Kabul/Accepted: 05.09.2012)

ÖZET

Bu çalışmada, kablosuz örgü ağlarda yönlendirme protokolleri ağın ölçeklenebilirliği açısından ele alınmış ve kablosuz örgü ağlar için ölçeklenebilir bir yönlendirme protokolü geliştirilmiştir. Geliştirilen protokol Ad-hoc on Demand Scalable Routing Protocol (ADSRP) rota bulmaya gerek duyulduğu anda devreye girmektedir. Protokol, ağın ölçeklenebilirliğinden dolayı oluşacak paket kayıplarını engellemektedir. Ayrıca, diğerlerinden daha az yönlendirme yüküne ihtiyaç duymaktadır. Sezgisel rota kullanarak gereksiz rota istek paketlerine ihtiyaç duymamaktadır. ADSRP, ns-2 benzetim aracı kullanılarak test edilmiştir ve deneysel sonuçlar yaygın olarak kullanılan Ad-hoc On Demand Distance Vector (AODV) ve Ad-hoc On Demand Multipath Distance Vector (AOMDV) protokolleri ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen deneysel sonuçlar geliştirilen protokolün kablosuz örgü ağlarda başarılı olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: ADSRP, kablosuz örgü ağ, ölçeklenebilir protokol, geçiş noktası

A SCALABLE ROUTING PROTOCOL FOR WIRELESS MESH NETWORKS

ABSTRACT

In this study, routing protocols for wireless mesh networks have been investigated in terms of scalability and a scalability routing protocol has been developed for wireless mesh networks. Developed protocol, Ad-hoc on Demand Scalable Routing Protocol (ADSRP), has been activated whenever it needs to find a route. The protocol prevents packet loss due to scalability in network. Moreover, it needs less routing overhead than the others. It does not need unnecessary route request packets using heuristic route. The protocol enables scalability of network with low cost. ADSRP has been tested using ns-2 simulation tool and experimental results have been compared with Ad-hoc On Demand Distance Vector (AODV) and Ad-hoc On Demand Multipath Distance Vector (AOMDV) protocols extensively. Obtained results show that the developed protocol is successful for wireless mesh networks.

Keywords: ADSRP, wireless mesh network, scalable protocol, gate point

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Normal kablosuz ağlar ile karşılaştırıldığında kablosuz örgü ağlar; kendi kendine alt yapısını oluşturabilme, kendi kendini ayarlayabilme, yüksek derecede ölçeklenebilirlik, düşük maliyet, kolay onarım gibi avantajlar sağlar. Sağladığı bu avantajlar örgü ağların gelecek nesil kablosuz ağlar içerisinde önemli bir rol oynamasına imkan tanır [1]. Kablosuz örgü ağlar birbirleri ile iletişime geçebilen, kendisi dışındaki düğümlerinde paketlerini iletebilen kablosuz

düğümler kümesidir. Hareketli kablosuz öz organizeli ağlarda (HÖOA) olduğu gibi bir düğüm hem istemci hem de yönlendirici olabilir [2]. Kablosuz örgü ağlar içerisinde bulunan hareketli düğümler arasında aslında bir öz organizeli ağ kurulur. Yani, öz organizeli ağlar kablosuz örgü ağların sadece bir kısmını oluşturur.

Kablosuz ağlar konutlarda, ofislerde, üniversitelerde, endüstriyel ve ticari kuruluşlarda kendine kullanım alanı bulmasıyla beraber birçok kablosuz teknolojiyen

faidalanma imkanı doğmuştur. Bu imkanlar kablosuz örgü ağların gelişmesinde önemli bir rol oynamıştır [3]. Bir kablosuz örgü ağ uygulaması için gerekli olan tüm bileşenler öz organizeli ağlar için geliştirilen yönlendirme protokollerinde bulunmaktadır [4]. Kablosuz örgü ağlar üzerinde barındırdığı bu yeteneklerden dolayı gelecek nesil kablosuz ağ teknolojileri için ortak bir kablosuz alt yapı oluşturabilir. Bu sayede tüm farklı ağ uygulamaları ve teknolojileri kablosuz örgü ağlar vasıtasıyla birbirlerine bağlanabilir ve iletişime geçirilebilir.

Kablosuz örgü ağlar kendisinden beklenen yeterlilikleri sahip olduğu çoklu kanal ve çoklu anten kullanarak sağlar. Bu durum fazladan yedek bağlantı imkanı sunmasına rağmen ağ yapısını mimari açıdan karışık bir hale sokar [4]. Bu karışık yapıda ölçeklenebilirlik, güvenilirlik, sağlamlık ve veri güvenliğini sağlayarak en iyi performansı elde etmek oldukça zordur. Kablosuz örgü ağların daha etkin kullanılabilmesi için performans olumsuz yönde etki eden bu etmenlerin en aza indirilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada kablosuz örgü ağlardaki ölçeklenebilirlikten dolayı meydana gelebilecek paket kayıpları, gecikme gibi ağın toplam performansına olumsuz yönde etki eden durumları en aza indirebilecek yeni bir yönlendirme protokolü geliştirilmiştir. Geliştirilen bu yönlendirme protokolü, kablosuz örgü ağların daha etkin bir şekilde kullanılabilmesine olanak tanımaktadır. Kablosuz örgü ağların yapısı dikkate alınarak, sadece bu ağ yapısına özgü bir protokol olması açısından diğer protokollerden farklılaşmaktadır.

2. İLGİLİ ÇALIŞMALAR (RELATED WORKS)

KÖA ve HÖOA için gerçekleştirilmiş birçok yönlendirme protokolü ve yönlendirme metriği bulunmaktadır [5]. Jun ve Sichitiu 2008 yılında yaptıkları çalışmada kablosuz örgü ağlar için bir yönlendirme protokolü geliştirmişlerdir. Ağ ile ilgili olan ölçütleri hesaplamak için yeni bir metot ya da metrik sunmamışlardır. Yazarların sunduğu protokol olan MRP, yeni bir bağlantı durum tespiti yapan protokoldür. MRP protokolünün isteği bağlı MRP, işaret gönderimine dayalı MRP ve melez MRP olmak üzere üç farklı türevini geliştirmişlerdir [2]. Bizim yaklaşımımız yeni bir metot ya da metrik sunmaması açısından MRP ve türevlerine benzerdir. Fakat gerekli olan rotaların tespit edilmesi için kullandığımız yaklaşım MRP ve türevlerinden farklıdır.

Kim ve arkadaşları 2011 yılında yaptıkları çalışmada KÖA içerisinde sondan sona bağlantı performansını etkileyen çeşitli yönlendirme protokollerinin analizini karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir. OLSR ve AODV protokolünün zincir topolojisine benzer

topolojilerde ETX ölçütünün kullanılması sonucunda en iyi olan rotayı seçemediği ve paket çarpışması gibi durumların oluşabildiğini göstermişlerdir [6]. Bizim yaklaşımımız zincir topolojisini göz önünde bulundurularak yapılan bir çalışma değildir. Gerçek ortamında kullanılan KÖA topoloji modeli dikkate alınarak yapılan bir çalışma olması açısından farklıdır.

Pal ve Nasipuri 2011 yılında yaptıkları çalışmada rota seçimi yapabilmek için yeni bir metrik geliştirerek bu metriğe dayanan yeni bir yönlendirme protokolü olan IDAR'ı sunmuşlardır. Sunulan yönlendirme protokolü veri transferini ve gecikme süresini en uygun seviyede tutmak için aday yönü seçerken gerekli olan parametreleri toplamak için tepkili rota keşfini kullanır [7]. Bizim yaklaşımımız IDAR'da olduğu gibi yeni bir metrik sunmamaktadır. Tamamen farklı bir rota keşif yaklaşımı sunması açısından IDAR'dan farklıdır.

Jeng ve arkadaşları 2011 yılında yaptıkları çalışmada, RTBM olarak adlandırdıkları çoklu kanal kullanımı için yeni bir MAC protokolü sunmuşlardır. Geliştirdikleri protokol ile veri kanalı seçme problemleri ve denetim kanalındaki tıkanıklık problemini çözmeyi amaçlamışlardır [8]. Bizim yaklaşımımız veri iletişimi için kanal belirlemeyi hedefleyen bir MAC protokolü değildir. Paketlerin yönlendirilmesi sırasında meydana gelecek olan paket kayıplarını azaltmaya yönelik bir çalışmadır.

Chen ve arkadaşları 2011 yılında yaptıkları çalışmada dinamik olarak bir sonraki seçilecek düğümün düşük maliyet ve en az iletim gecikmesi ile nasıl sağlanacağını araştırmışlardır. Durdurma teorisi denilen bir çözüm sunmuşlardır [9]. Bizim yaklaşımımızda bir sonraki düğümü bulmaya odaklanmak yerine, KÖA'da trafiğin en yoğun olduğu geçiş noktalarına doğru olan rotaların bulunmasına odaklanılmıştır.

Benyamina ve arkadaşları 2011 yılında yaptıkları çalışmada güvenilir bir KÖA oluşturulması için ağdaki bozulmaları anlayabilen yeni bir algoritma sunmuşlardır. Ağ yayılım maliyeti, performans ve güvenilirlik arasındaki sıkıntıyı aşabilmek için trafik yük dengelemesi ve maliyet açısından aynı anda en iyileme yapabilen bir model sunmuşlardır [10]. Bizim yaklaşımımızda aktif olarak yük dengeleme yapılmamaktadır. Fakat, geçiş noktaları için hali hazırda yedek rotalar bulundurmaktadır. Olası bir rota kaybında yedek rota üzerinden iletişime devam edilmektedir.

Zhao ve Xie 2011 yılında yaptıkları çalışmada KÖA alt yapısı ile internet erişimi sağlamak için gerekli olan hususları ve ağ topolojilerini içeren detaylı bir benzetim modeli sunmuşlardır. KÖA içinde belirli

tasarım sıkıntılarını dikkate alarak iki tane hücreler arası geçiş tasarımı benzetim kullanarak modellemiştir [11]. Bizim yaklaşımımız geçiş noktalarına doğru olan rotaların bulunmasına ağırlık veren bir yaklaşımdır. KÖA'da geçiş noktaları hareketsiz oldukları için hücreler arası geçişler göz ardı edilmiştir.

Caillouet ve arkadaşları 2011 yılında yaptıkları çalışmada internete erişim için kullanılan kablosuz örgü ağların iletim kapasitesi hesaplama problemlerini araştırmışlardır. Yönlendirme ve iletim yaklaşımları, istemcilere sunulan kapasitenin üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Verilen bir KÖA içinde geçiş noktalarının yerleştirilmesi ve yönlendirilmesinin önemini vurgulamışlardır [12]. Bizim yaklaşımımızda bu önemi göz önünde bulundurarak geçiş noktalarına doğru olan rotaların bulunmasını temel alan yeni bir yaklaşımdır.

Ortak kanal atama ve yönlendirme, çok radyo ve çok kanallı kablosuz örgü ağlarda hala ciddi bir sorundur. Bu sorunu çözmeye yönelik bir takım yaklaşımlar literatürde mevcut olsa bile, yüksek oranda trafik yükünün olduğu durumlarda çok fazla ek yük getirmeden ağ performansı açısından en iyi çözümün nasıl sağlanacağı hala cevap verilemeyen bir sorudur. Wellons ve Xue 2011 yılında yaptıkları çalışmada KÖA'lar için RCART olarak adlandırdıkları yeni bir çözüm sunmuşlardır [13]. RCART çözümü, trafik yükünün fazla olduğu rotalarda fazladan ek yük getirmeyecek bir değişken ile kanal atama sorunlarını çözmeye çalışmıştır. Bizim yaklaşımımız ise, trafik yükünün fazla olacağı geçiş noktalarına ait rotaları yeni bir yaklaşım ile bulmaya çalışmıştır.

Zhang ve arkadaşları 2010 yılında yaptıkları çalışmada iletilen paketler için hem bağlantı katman yönlendirmesi hem de ağ katman yönlendirmesi yapabilen melez bir yönlendirme protokolü sunmuşlardır. Yönlendirme protokolünü temel alarak KÖA'lar için hareketlilik yönetim yaklaşımı geliştirmişlerdir [1]. KÖA'da geçiş noktaları hareketsiz, uç düğümler hareketli olabilir. Bizim yaklaşımımız hareketlilik yönetim yaklaşımını temel almak yerine, trafiğin yoğun olduğu geçiş noktalarına doğru olan rotaların bulunması temel almaktadır. Gomes ve arkadaşları 2011 yılında yaptıkları çalışmada KÖA yönlendirme protokolü olan OLSR üzerinde çoklu ortam uygulamalarının gerekliliklerini sağlayacak şekilde değişiklikler yaparak bir türevi olan OLSR-FLC sunmuşlardır [14]. Bizim yaklaşımımız da yeni bir metrik yada paket önceliklendirme yaklaşımı sunulmamıştır. Mevcut bulunan sıçrama sayısı metriği kullanılmıştır. Paketleri önceliklendirme ayırımı yapılmaksızın en az paket kaybı ile ilgili hedeflere paketlerin yönlendirilmesi amaçlanmıştır.

3. GELİŞTİRİLEN YÖNLENDİRME PROTOKOLÜ: ADSRP (DEVELOPED ROUTING PROTOCOL: ADSRP)

Kablosuz istemci örgü ağ modeli, ağdaki düğümlerin tek bir arayüzden oluşması ve düğümlerin hem yönlendirici hem de istemci olduğu yapıları ifade etmektedir. Örgü istemcilerinin birbirleri ile iletişime geçebilmesi için çoklu arayüz ve çoklu anten donatılarak örgü istemcilerine bir alt yapı sunan örgü modeli ise kablosuz omurga örgü ağı modelidir. Bu iki yapının birleştirilmesi ile oluşturulan ağ modeli ise kablosuz melez örgü ağ modelidir [4]. Geliştirilen protokolda kullanılan kablosuz ağ modeli olarak melez örgü ağ modeli belirlenmiştir. Bu yüzden topolojideki düğümlerde çoklu arayüz kullanılmıştır. Kablosuz örgü ağlarda genel olarak trafiğin akışı uç bir düğümden başlayarak internet gibi farklı bir ağ ortamı doğru olmaktadır. Bu yüzden farklı ağ ortamı ile kablosuz örgü ağların birbirleri ile bağlantılarının olduğu düğümlerin tespiti oldukça önem taşımaktadır. Bu durum göz önünde bulundurulduğunda bu düğümlerin tespiti çözülmesi gereken bir problemdir. Bu problem temel alınarak protokol tasarlanmıştır.

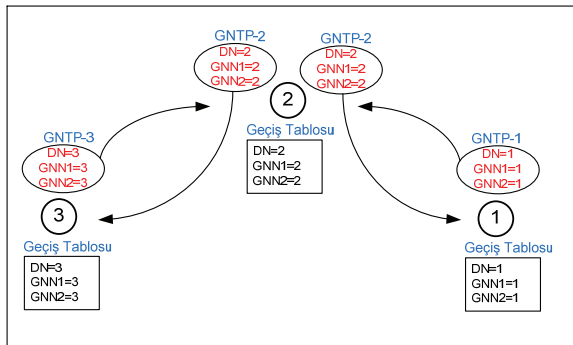
Geliştirilen protokol temel olarak 4 aşamadan oluşmaktadır. İlk olarak mevcut ağ topolojisi içerisinde bulunan düğümler arasından iki tanesi kablosuz örgü ağda geçiş noktası olarak işlem yapacak şekilde tespit edilmektedir. İki tane geçiş noktasının tespit edilmesinin nedeni birinin asıl diğerinin yedek şeklinde düşünülmesidir. İkinci aşamada topolojideki her bir düğüm, ilk aşamada tespit edilen iki tane düğüme ulaşılabilir olacak olası tüm rotaları bulmakta ve bulunan bu rotalardan en uygun olanını yönlendirme tablosuna, bulunan diğer rotalardan en fazla altı tanesini geçiş noktası tablosu olarak isimlendirilen tabloya eklemektedir. Geçiş noktalarına doğru akan trafiğin oldukça yoğun olması bu rotaları önemli kılmaktadır. Bu aşamada olası tüm rotaların bulunması fazladan ek yük getirmesine karşın, tüm veri trafiği boyunca geçiş noktalarına doğru olan veri trafiği garanti altına alınmış olunur. Böylece veri trafiğinin gönderimi sırasında olası bir rota kaybının getireceği rota arama işleminden dolayı oluşacak paket kayıpları engellenmiş, dolayısı ile ölçeklenebilirlik sağlanmış olunur. Bu işlem ilk aşamada belirlenen iki tane geçiş noktasının her biri için ayrı ayrı yapılmaktadır. Üçüncü aşamada, bir geçiş noktasına gönderilecek paketi olan düğümlerin kendi yönlendirme tablosunda bakarak ilgili hedefi burada aramakta eğer ilgili rota kaydı yoksa paketi düşürmek yerine geçiş noktası tablosuna bakarak bu tabloda bulunan diğer rota üzerinden paketi hedefine göndermektedir. Son aşamada ise topolojiye katılan yeni bir düğüm olduğunda, bu düğümün komşusuna gönderdiği hello mesajından sonra kendisine cevap olarak iki geçiş noktasına ait ilgili rota bilgileri gönderilmektedir. Bu sayede, topolojiye katılan yeni düğüm geçiş noktalarına ulaşabilecek rotaları ağa herhangi bir rota istek paketi göndermeden öğrenmiş

olmaktadır. Böylece ağın daha kolay, masrafsız ve etkin şekilde ölçeklenebilmesi sağlanmaktadır.

3.1. Geçiş Noktası Tespit Yaklaşımı (Approach to Gate point Detection)

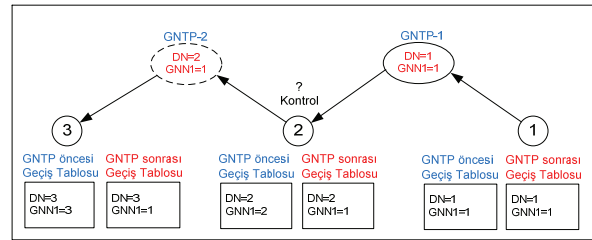
Kablosuz örgü ağlar göz önünde bulundurulduğunda ağdaki akan trafiğin çok büyük bir kısmı ağdaki düğümler ile geçiş noktaları arasında olmaktadır. Yani, geçiş noktası olmayan herhangi iki düğüm arasındaki akan trafik miktarı, toplam trafiğin oldukça az bir oranı oluşturmaktadır [2, 4-5, 8, 15]. Bu yüzden, geliştirilen protokolün dayandığı temel fikir bu yönde olmuştur ve bu fikir çerçevesinde protokol tasarlanmıştır. Sunulan yaklaşım, Dijkstra algoritmasından esinlenilerek geliştirilmiştir. Bağlantı durum temelli yönlendirme protokolleri sınıfı içerisinde değerlendirilebilir.

Geçiş noktası tespit yaklaşımında ilk olarak topolojideki tüm düğümler kendisini geçiş noktası olarak varsaymaktadır. Düğümler kendi aralarında birbirlerine gönderdikleri geçiş noktası tespit paketleri (GNTP) ile gerçek geçiş noktalarını bu paket değişimleri sonrasında öğrenirler. Düğümler GNTP paketinden aldıkları bilgileri saklamak için kendi üzerlerinde geçiş tablosu (GT) olarak adlandırılan bir tablo barındırırlar. Geçiş noktası paket başlığı içerisinde her düğümün kendi düğüm numarası (DN) alanı, iki tane geçiş noktası düğüm numarası (GNN1, GNN2) alanları ve yaşam süresi alanı (TTL) bulunmaktadır. Örneğin Şekil 1’de, üç düğümün hiç bir GNTP paketi değişimi olmadan komşularına göndermek üzere kendilerinin oluşturduğu GNTP paketleri ve geçiş tablolarının durumları gösterilmiştir. İlk olarak üç düğümde kendi geçiş tablosu içerisindeki DN ve GNN alanlarında kendilerini gördükleri için kendilerini geçiş noktası olarak varsayarlar. Geçiş noktası tablosundaki bilgilerini oluşturdukları GNTP paketlerinin içerisine koyarak komşularına iletirler. Bu paket değişimleri sonucunda geçiş noktası olacak düğüm tespit edilmiş olur. GNTP paketlerinin değişimi ile tek bir geçiş noktasının tespit işlemi Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 1. GNTP paket değişimi öncesi durum (Status before GNTP packet exchange)

Şekil 2’de ilk olarak 1 nolu düğüm diğer düğümler gibi kendisini geçiş noktası olarak varsaymaktadır. Geçiş tablosuna göre ürettiği GNTP-1 paketini komşusu olan 2 nolu düğüme gönderir. 2 nolu düğüm GNTP-1 paketini aldığı zaman, paketin içerisindeki GNN1 alanını kendi geçiş tablosundaki GNN1 alanı ile karşılaştırır. GNTP-1 paketinin GNN1 değeri 2 nolu düğümün geçiş tablosundaki GNN1 alanından büyükse paketi düşürür küçük olduğu için geçiş tablosunu günceller ve aldığı paketi yok eder. Güncellenmiş geçiş tablosu bilgilerine göre GNTP-2 paketini üretir ve 3 nolu düğüme iletir. 3 nolu düğümde benzer kontrolü yapar geçiş tablosunu güncelleyerek aldığı paketi yok eder. Bu işlem sonucunda 1 nolu düğüm geçiş noktası olarak tespit edilmiş olur.

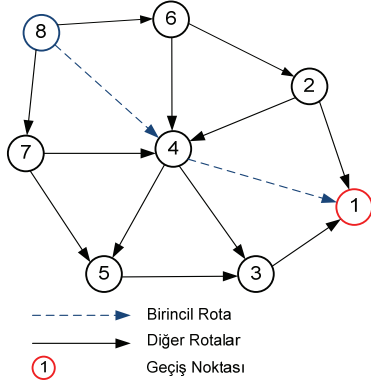


Şekil 2. GNTP paketlerinin yayılımı (Broadcast of the GNTP packages)

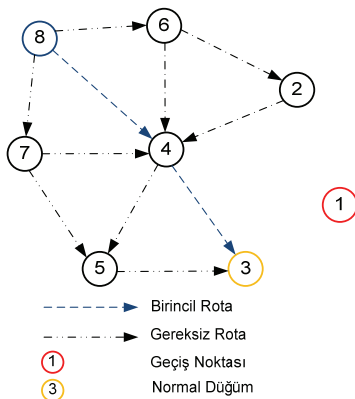
3.2. Geçiş Noktası İçin Rota Keşfi (Discovery Route Toward Gate Points)

Rota bulma işlemi AOMDV ve AODV protokollerinde olduğu gibi rota istek paketlerinin yayılması ile elde edilir. Şekil 3’de 1 nolu düğüme doğru olan rotalar ağa sel şeklinde rota istek paketlerinin yayılması ile elde edilir. Bu işlem AODV ve AOMDV protokollerinde de bu şekildedir. AODV protokolünde veri paketi gönderebilmek için yapılan rota arama işlemi sadece bir tane rota için yapılırken, AOMDV protokolünde birden fazla rota için yapılır. Eğer 1 nolu düğüm geçiş noktası olarak tespit edildi ise, sunulan protokole de veri paketi gönderebilmek için yapılan rota arama işlemi birden fazla rota için yapılır. Geçiş noktası değil ise bir tane rotadan fazla rota arama işlemi yapılmaz. Örneğin şekil 4’de 3 nolu düğüm geçiş noktası olmadığından, bu düğüme doğru sadece bir tane rota belirlenmiş bunun dışındaki rotalar için bir işlem yapılmamıştır. Diğer bir ifade ile, önerilen protokolün rota bulma işlemi sırasındaki farkı tüm düğüm çiftleri için yedek rotalar bulmak yerine, sadece geçiş noktası olan düğümlerin diğer düğümler ile oluşturdukları düğüm çiftleri arasında yedek rota bulma işlemini gerçekleştirmesidir. Bu sayede kablosuz örgü ağlar içinde çok az trafiğin aktığı geçiş noktası olmayan düğümler arasında yedek rota bulma işleminin getirdiği gereksiz rota arama işleminden dolayı oluşacak fazladan yük ve işlemden kaçınılmış olunur. Geçiş noktası ile oluşturulan düğüm çiftleri arasında bulunan rotalardan en uygun olanı yönlendirme tablosuna atılırken, diğer

rotalardan en fazla altı tanesi geçiş noktası tablosunda saklanır. En uygun rota sıçrama sayısı metriği göz önünde bulundurularak belirlenir. Diğer altı rota sıçrama sayısı metriğine göre maliyetleri belirlenerek, maliyet sırasına göre geçiş noktası tablosunda saklanır.



Şekil 3. Geçiş noktası için paket yayılımı (Packet broadcast for gate point)

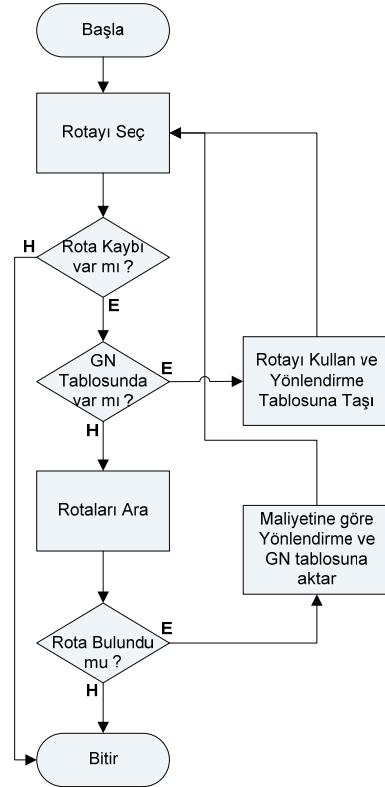


Şekil 4. Normal düğüm için paket yayılımı (Packet broadcast for normal node)

3.3. Geçiş Noktalarına Paket Gönderimi (Sending Data Packet to Gate Points)

Geçiş noktasına veri paketi göndermek isteyen düğümler öncelikle yönlendirme tablosuna bakarak hedefteki geçiş noktasının adresini bu tabloda aramaktadır. Eğer bu tabloda ilgili rota bilgisi bulunamazsa geçiş noktası tablosuna bakılarak yedek olan rota üzerinden veri paketleri iletilir ve bu rota yönlendirme tablosuna aktarılır. Yönlendirme tablosunda bulunan rota, düğümlerin topolojiden çıkması ya da düğümler arasındaki bağlantıların kopması gibi durumlarda ilgili rota kullanılamaz olur ve yönlendirme tablosundan çıkarılır. Bu durumda geçiş noktası tablosunda bulunan rota üzerinden veri paketi kaybı olmadan paket iletimi devam eder. Bu mekanizma, veri paketi aktarımı sırasında geçiş noktası için rota arama işlemine gerek kalmadan kayıpsız şekilde veri paketlerinin alternatif bir rota üzerinden geçiş noktasına teslim edilmesi sağlar. Bu durum hem ölçeklenebilirliği sağlamakta hem de veri

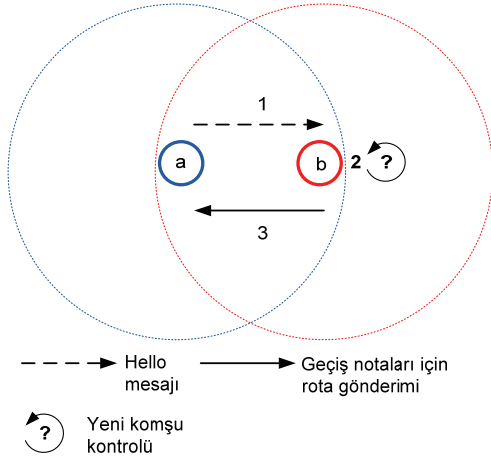
paketi aktarımı sırasında paket kaybını en aza indirmektedir. Şekil 5'da bu işlemi gerçekleştiren akış şeması gösterilmektedir.



Şekil 5. ADSRP rota bulma akış şeması (Route Discovery Flow chart of ADSRP)

3.4. Sezgisel Rota Gönderimi (Sending Intuitive Route)

Kablosuz örgü ağlarda akan trafiğin büyük bir kısmı geçiş noktalarına doğru olduğu için, ağdaki her düğümün geçiş noktalarına ulaşacak rotalara sahip olması gerekmektedir. Bu rotaları elde etmek için ağa gönderilecek rota istek paketleri ağın gereksiz kullanımına neden olmaktadır. İstek paketi olmaksızın önceden bu rotaların düğümlere gönderilebilmesi ağı gereksiz istek paketi trafiğinden kurtaracaktır. İletişim boyunca her düğümün geçiş noktasına gönderecek paketinin olması kaçınılmazdır. Düğümlerin komşuları ile ilgili durumları tespit etmek için hello mesajlarını kullanır. Ağa yeni katılan bir düğüm komşularından aldığı hello mesajları sayesinde ağa dahil olur. Fakat ağdaki herhangi bir yer ile ilgili herhangi bir rota bilgisine sahip değildir. Bu aşamada, geliştirilen protokol devreye girerek, yeni eklenen düğüme hello mesajı gönderiminden sonra herhangi bir rota isteği paketinin gelmesini beklemeden sadece geçiş noktalarına ait rota bilgilerini yeni eklenen düğüme gönderir. Böylece, bir düğüm kablosuz örgü ağına dahil olduğunda geçiş noktalarına ait rotaları hiçbir istek paketi yayınlamadan öğrenmiş olur. Şekil 6'da bahsedilen komşuluk ilişkisinin yapısı gösterilmiştir.

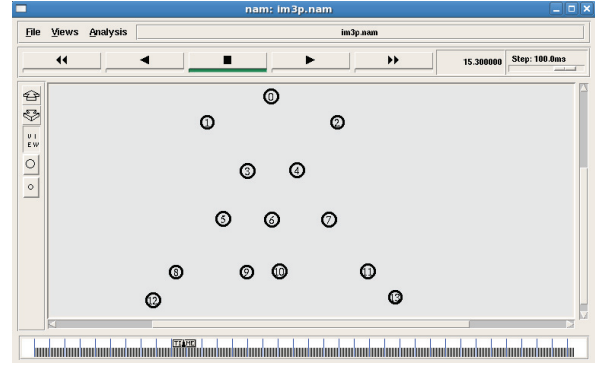


Şekil 6. ADSRP komşuluk ilişkisi (ADSRP neighborhood relationship)

4. PERFORMANS ANALİZİ VE BENZETİM SENARYOLARI (PERFORMANCE ANALYSIS AND SIMULATION SCENARIOS)

Geliştirilen yönlendirme protokolü test edilerek performansı AODV ve AOMDV protokolleri ile karşılaştırılmıştır. Esnek yapısından ve literatürdeki çoğu çalışmada kullanılmış olmasından dolayı benzetim aracı olarak ns-2 seçilmiştir. Ayrıca, AODV ve AOMDV protokollerinin ns-2 içerisinde tanımlanmış olması test süresinin kısalmasını sağlamıştır. Geliştirilen protokol kablosuz örgü ağlar için test edileceğinden benzetimde kullanılacak olan düğümlerde çoklu arayüz kullanılmalıdır. Bundan dolayı, senaryolardaki düğümlerde çoklu kanal ve çoklu arayüz kullanabilmek amacıyla ns-2 benzetim aracının kaynak kodları yamalanarak kablosuz örgü ağlar için kullanılabilir hale getirilmiştir. Çoklu arayüz kullanımı kablosuz örgü ağların yapısında olması gereken bir gereksinimdir. Bu yüzden senaryolarda çoklu arayüz kullanılmıştır. Geliştirilen protokol, çoklu arayüz kullanımından dolayı oluşacak kanal atama sorunlarının çözümüne yönelik geliştirilen bir protokol değildir.

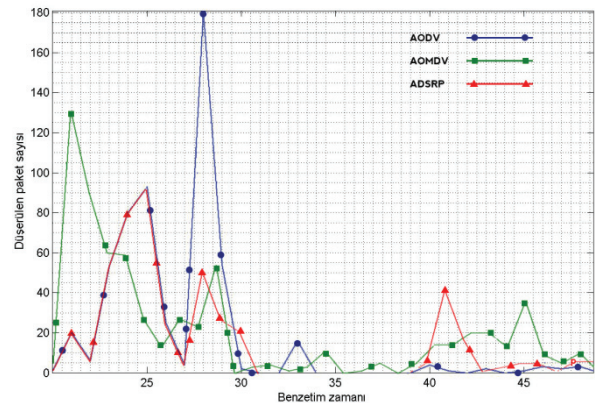
Geliştirilen protokolü detayları ile test etmek için senaryo oluşturulmuştur. Bu senaryoda kullanılan düğümlere farklı sayılarda kanal ve anten verilmiştir. Gerçekleştirilen benzetimde, literatürdeki genel bir kablosuz örgü ağ mimarisinin yapısı benzetim ortamına taşınmıştır [4]. Bu senaryoda 14 tane düğüm kullanılmış ve bu düğümlerden 4 tanesi kaynak, 1 tanesi hedef olarak haberleştirilmiştir. Bu düğümlerden 1 tanesinde 7 tane arayüz 8 tane kanal, 2 tanesinde 5 tane arayüz 6 tane kanal, 5 tanesinde 3 tane arayüz 4 tane kanal ve 6 tanesinde 1 tane arayüz 1 tane kanal ile donatılmıştır. İlk senaryo için oluşturulan temsili görünüş Şekil 7'de gösterilmiştir. Topolojide 9, 12 ve 13 nolu düğümler ortalama 50 m/s hız ile, bulunduğu noktadan başlayarak tekrar bulunduğu noktaya gelecek şekilde 90 metre yarıçapında daire çizerek hareket halindedir.



Şekil 7. Birinci senaryoda kullanılan topoloji (The topology used in the first scenario)

Benzetimde ulaştırma katmanında TCP, veri trafiğini yaratmak için uygulama katmanında FTP kullanılmıştır. 9, 10, 11 ve 12 nolu düğümlerin oluşturduğu trafik benzetimin 20,0 saniyesinde başlar ve 29,0 saniyede sonlanır. Daha sonra tekrar aynı düğümlerden trafik 39,0 saniyede başlayıp 49,0 saniyede bitmektedir. Trafik 4 ve 5 nolu düğümler üzerinden geçmektedir. Bu iki düğüm benzetim süresinin ortalarında topolojiden çıkarılarak protokollerin yeni rota bulma işlemlerini yapmaları sağlanmıştır.

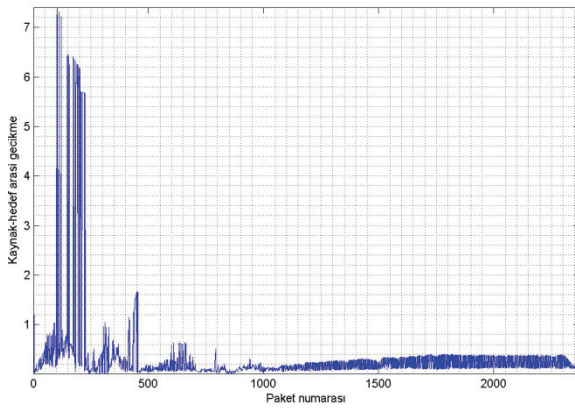
Şekil 8'de üç protokolün ilk senaryoda düşürdüğü tüm paketlerin zamana göre dağılımı verilmiştir. Benzetim boyunca AODV protokolü ile en fazla paket kaybı 180 adet olurken, AOMDV protokolü ile en fazla paket kaybı 120 adete kadar çıkmıştır. 27. saniyeye kadar AODV ve ADSRP protokollerinin benzer grafik çizmesi, topolojinin başlangıcında aynı rota bulma mekanizmasını kullanması sonucu aynı rota üzerinden paketleri hedefine göndermesidir. Daha sonraki paket kayıplarının farklı olması ise, ADSRP protokolünün geçiş noktası olan düğümlere doğru sunduğu yedek rotanın kullanılmasıdır.



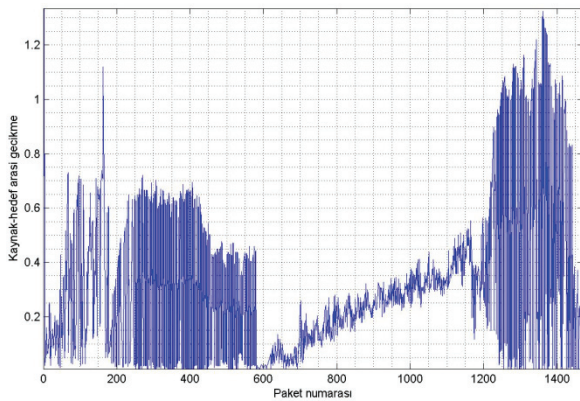
Şekil 8. Birinci senaryoda düşürülen tüm paketlerin zamana göre dağılımı (Number of dropped all packets/time chart for the first scenario)

Paketlerdeki gecikme değerlerinin olabildiğince sabit olması ağda akan trafiğin kalitesini göstermektedir. Paketlerdeki gecikme değerlerinin dalgalı olması

özellikle ses ve çoklu ortam paketleri göz önünde bulundurulduğunda kalitesiz iletişime neden olmaktadır. Şekil 9'da benzetim boyunca ADSRP protokolünün paket sayısına göre gecikme değerleri verilmektedir. Paketler arası dalgalanma benzetimin ilk zamanlarında 7 saniyeye kadar çıktıktan sonra 1 saniyenin altına düşerek oldukça sabit değerlerde devam etmiştir. Şekil 10'da benzetim boyunca AOMDV protokolünün paket sayısına göre gecikme değerleri verilmektedir. Paketler arası dalgalanma en fazla 1,2 saniyeye ulaşmasına rağmen, dalgalanma hareketli bir şekilde sürekli devam etmiştir. Bu durum akan trafiğin sabit aralıklarla durağan şekilde devam etmesini engellediği için, söz konusu ses ve çoklu ortam paketleri olduğu zaman ağı kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir.

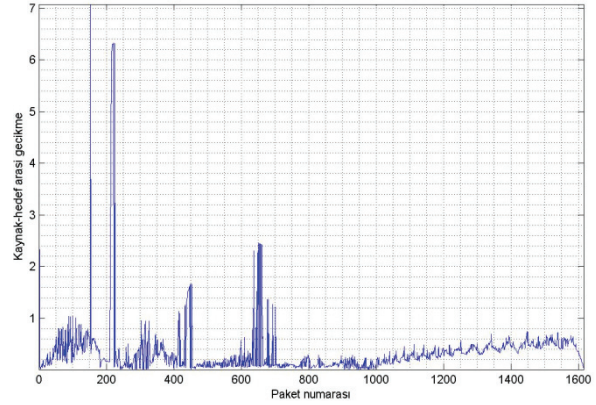


Şekil 9. ADSRP protokolü ile paket numarasına göre gecikme oranı (Delay ratio regarding to packet number of ADSRP protocol)



Şekil 10. AOMDV protokolü ile paket numarasına göre gecikme oranı (Delay ratio regarding to packet number of AOMDV protocol)

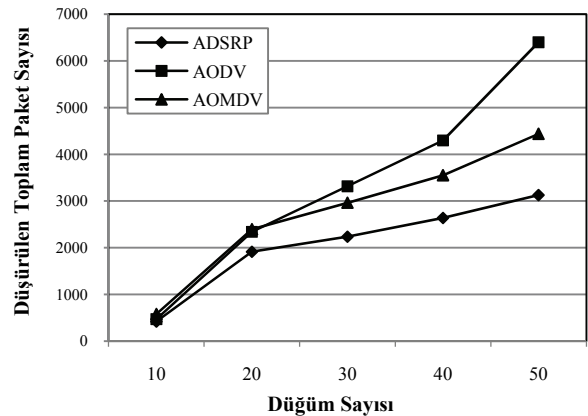
Şekil 11'de benzetim boyunca AODV protokolünün paket sayısına göre gecikme değerleri verilmektedir. Paketler arası dalgalanma AOMDV protokolüne oranla daha az olmaktadır. ADSRP protokolünde olduğu gibi paketler arası dalgalanma 7 saniyeye kadar çıkmış ve daha az paket miktarı ile bu değere ulaşmıştır. Fakat, benzetimin ilerleyen kısmında dalgalanma tekrar 2 saniyeye kadar çıkmaktadır.



Şekil 11. AODV protokolü ile paket numarasına göre gecikme oranı (Delay ratio regarding to packet number of AODV protocol)

Yukarıda anlatılan senaryonun dışında 5 senaryo ile test işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu senaryolarda sırası ile 10, 20, 30, 40 ve 50 tane düğüm oluşturulmuştur. Düğüm sayıları ile orantılı olarak sırası ile 1, 2, 3, 4 ve 5 tane düğüm veri paketi iletimi sırasında topolojiden çıkartılmış ve tekrar topolojiye dahil edilmiştir. Bu sayede topolojinin değişmesi sağlanarak uygun bir test ortamı sağlanmıştır. Benzetimler sırasında veri trafiği oluşturmak için yine düğüm sayıları ile orantılı olarak 2 tane hedefe sırası ile 2, 4, 6, 8 ve 10 tane kaynak düğümünden TCP bağlantısı oluşturulmuş ve bu bağlantılar üzerinden FTP trafiği başlatılmıştır. Topolojideki düğümlerde çoklu arayüz kullanılmıştır. Her senaryo 10 defa çalıştırılmış ve elde edilen sonuçların ortalama değerleri alınmıştır.

Şekil 12'de üç protokolün topolojide kullanılan düğüm sayısına göre düşürdükleri toplam paket sayısı gösterilmiştir. ADSRP protokolü, düğüm sayısının artması sonucunda düşürdüğü toplam paket sayısı diğer iki protokole göre daha az olmuştur. ADSRP protokolünün düğüm sayısının artmasından dolayı oluşacak paket kayıplarına karşı daha dayanıklı olması, ölçeklenebilirliği daha mümkün kılmaktadır.

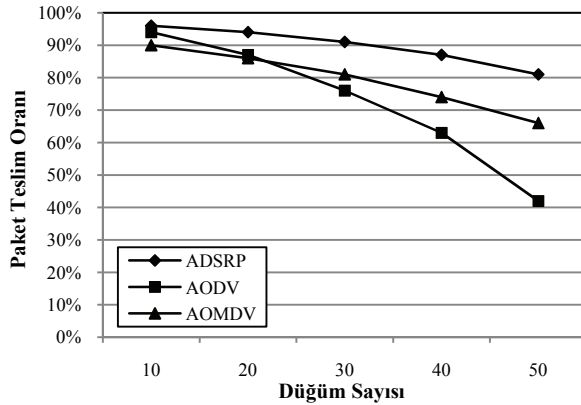


Şekil 12. Düğüm sayısına göre düşürülen tüm paketler (Total number of dropped packets/number of node)

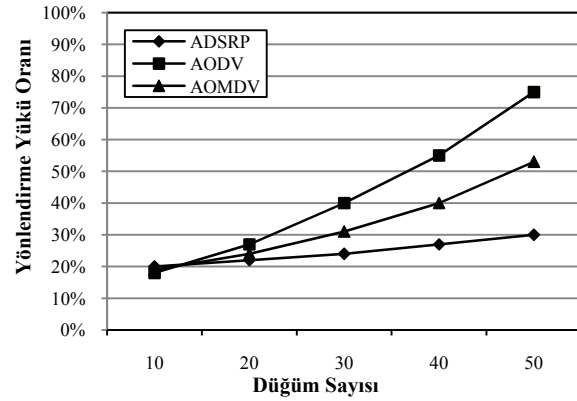
Tablo 1. Tüm protokollerinin deneysel sonuçları (Experimental results of protocols)

Senaryo	Düşen Paket Sayısı			Paket Teslim Etme Oranı			Yönlendirme Yükü Oranı		
	ADSRP	AOMDV	AODV	ADSRP	AOMDV	AODV	ADSRP	AOMDV	AODV
1	420	580	470	%96	%90	%94	%20	%19	%18
2	1912	2395	2340	%94	%86	%87	%22	%24	%27
3	2234	2962	3315	%91	%81	%76	%24	%31	%40
4	2635	3550	4296	%87	%74	%63	%27	%40	%55
5	3126	4437	6398	%81	%66	%42	%30	%53	%75

Şekil 13'de üç protokolün topolojide kullanılan düğüm sayısına göre paket teslim oranı gösterilmiştir. Paket teslim oranı, kaynaktan hedefe gönderilen veri paketlerinin hedefe ulaşma oranı olarak ifade edilebilir. Düğüm sayısı arttıkça paket teslim etme oranının azalması olağan bir durumdur. Fakat, bu azalmanın az olması ağın daha kolay ve sorunsuz ölçeklenebileceğini anlamına gelir. Şekil 13'de ADSRP protokolünün diğer protokollere göre paket teslim etme oranının daha fazla olduğu gözükmektedir.

**Şekil 13.** Düğüm sayısına göre paket teslim oranı (Packet delivery percentage / number of node)

Şekil 14'de üç protokolün topolojide kullanılan düğüm sayısına göre yönlendirme yükü oranı gösterilmiştir. Yönlendirme yükü oranı, kaynaktan hedefe veri paketleri gönderebilmek için üretilen her türlü rota keşif paketi miktarının gönderilecek olan veri paketi miktarına oranı olarak ifade edilebilir. Düğüm sayısının artması, hedef rotaların bulunması için üretilen rota keşif paketlerinin sayısının artması anlamına gelir. Olabildiğince az rota keşif paketi ile hedef rotaların bulunması ağın daha kolay ölçeklenebilmesini sağlar. Şekil 14'de ADSRP protokolünün diğer protokollere göre yönlendirme yükü oranının daha az olduğu gözükmektedir.

**Şekil 14.** Düğüm sayısına göre yönlendirme yükü oranı (Routing overhead percentage/number of nodes)

Tablo 1'de ADSRP, AOMDV ve AODV protokollerinin test edildiği senaryolardan elde edilen deneysel sonuçlar gösterilmiştir. Elde edilen benzetim sonuçlarından, kablosuz örgü ağlar dikkate alındığında ADSRP protokolünün diğer protokollere oranla daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER (CONCLUSIONS AND SUGGESTIONS)

Bu makalede kablosuz örgü ağlarda yönlendirme işlemini gerçekleştirmek için bir protokol geliştirilmiştir. Geliştirilen protokolü test etmek için, ns-2 benzetim ağının 2.33 versiyonu yamalanarak çoklu arayüz kullanımına uygun hale getirilmiştir. Çoklu arayüzün kullanılabilmesi, geliştirilen protokolü kablosuz örgü ağlar için kullanılabilir hale getirmiş ve bu sayede verimliliği test edilmiştir. Kablosuz örgü ağlarda yönlendirme protokolü olarak da kullanılabilen AODV ve AOMDV protokolleri ile karşılaştırılmıştır.

Deneysel çalışmaların sonucunda, geliştirilen protokolün örgü ağlarda geçiş noktalarının tespit edilerek ilgili rotaların var olan yönlendirme tablosuna ve oluşturulan topoloji tablosuna eklenerek yönlendirme işleminin yapılması sonucu düşürülen toplam paket sayısını önemli ölçüde azalttığı

görülmüştür. Ayrıca, her düğüme geçiş noktaları ile ilgili rota kayıtlarının bir istek paketi gönderilmeden önce gönderilmesi ağda geçiş noktalarını öğrenmek için meydana gelecek çoklu yayın miktarını azaltmaktadır. Böylece ağın ölçeklenmesi sonucu oluşacak maliyet azalmakta ve ağın toplam verimliliği artmaktadır.

Geliştirilen protokolün dayandığı temel yapı geçiş noktalarının tespit edilmesi ve bu noktalara göre ağdaki her düğümün yönlendirme tablosu ve topoloji tablosunu oluşturmasıdır. Herhangi bir nedenden dolayı bu geçiş noktalarının yanlış tespit edilmesi ya da kablosuz örgü ağına saldıran bir saldırganın kendisini geçiş noktası gibi göstermesi sonucu ağın yönlendirme yapısını bozabilir. Geliştirilen protokolün bu gibi sorunları anlayabilecek ve gerekli önlemi alabilecek şekilde güvenlik algoritmalarının geliştirilmesi bu protokolü daha etkin ve verimli hale getirecektir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Zhang, Z., Pazzi, R.W., Boukerche, A., “A mobility management scheme for wireless mesh networks based on a hybrid routing protocol”, **Computer Communications**, Cilt 54, No 4, 558-572, 2010.
2. Jun, J., Sichitiu, M.L., “MRP: Wireless mesh networks routing protocol”, **Computer Communications**, Cilt 31, No 7, 1413-1435, 2008.
3. Zheng, J., Lee, M.J., “A resource-efficient and scalable wireless mesh routing protocol”, **Ad Hoc Networks**, Cilt 5, No 6, 704-718, 2007.
4. Akyıldız, I.F., Wang, X., Wang, W., “Wireless mesh networks: a survey”, **Computer Networks**, Cilt 47, No 4, 445-487, 2005.
5. Alotaibi, E., Mukherjee, B., “A survey on routing algorithms for wireless Ad-Hoc and mesh networks”, **Computer Networks**, Cilt 56, No 2, 940-965, 2012.
6. Kim, S., Lee, O., Choi, S., Lee, S., “Comparative analysis of link quality metrics and routing protocols for optimal route construction in wireless mesh networks”, **Ad Hoc Networks**, Cilt 9, No 7, 1343-1358, 2011.
7. Pal, A., Nasipuri, A., “A quality based routing protocol for wireless mesh networks”, **Pervasive and Mobile Computing**, Cilt 7, No 5, 611-626, 2011.
8. Jeng, A.A., Jan, R., Li, C., Chen, C., “Release-time-based multi-channel MAC protocol for wireless mesh networks”, **Computer Networks**, Cilt 55, No 9, 2176-2195, 2011.
9. Chen, F., Wang, Y., Liu, J., Li, Z., “Probing-based anypath forwarding routing algorithms in wireless mesh networks”, **Ad Hoc Networks**, (Basımda), 2011.
10. Benyamina, D., Hafid, A., Gendreau, M., Maureira, J.C., “On the design of reliable wireless mesh network infrastructure with QoS constraints”, **Computer Communications**, Cilt 55, No 8, 1631-1647, 2011.
11. Zhao, W., Xie, J., “OPNET-based modeling and simulation study on handoffs in Internet-based infrastructure wireless mesh networks”, **Computer Networks**, Cilt 55, No 12, 2675-2688, 2011.
12. Caillouet, C., Perennes, S., Rivano, H., “Framework for optimizing the capacity of wireless mesh networks”, **Computer Communications**, Cilt 34, No 13, 1645-1659, 2011.
13. Wellons, J., Xue, Y., “The robust joint solution for channel assignment and routing for wireless mesh networks with time partitioning”, **Ad Hoc Networks**, (Basımda), 2011.
14. Gomes, R.L., Junio, W.M., Cerqueira, E., Abelem, A.J., “Using fuzzy link cost and dynamic choice of link quality metrics to achieve QoS and QoE in wireless mesh networks”, **Journal of Network and Computer Applications**, Cilt 34, No 2, 506- 516, 2011.
15. Li, F., Fang, Y., Hu, F., Liu, X., “Load-aware multicast routing metrics in multi-radio multi-channel wireless mesh networks”, **Computer Communications**, Cilt 55, No 9, 2150-2167, 2011.

