

GAZİ

JOURNAL OF ENGINEERING SCIENCES

The Effect of Mobility in MANET on the Performance of AODV, DSR and DSDV Protocols

Abdullah Orman^a, Hamza Aytaç Doğanay^b, Murat Dener^c

Submitted: 22.08.2022 Revised: 24.06.2023 Accepted: 06.07.2023 doi:10.30855/gmbd.0705066

ABSTRACT

Keywords: AODV, DSDV, DSR, NS2, Reactive and proactive routing protocols

^a Ankara Yıldırım Beyazıt University, Department of Computer Technologies, Vocational School of Technical Sciences, 06010 – Ankara, Turkey
Orcid: 0000-0002-3495-1897

^b Gazi University, Information Security Engineering, Institute of Science and Technology, 06500 – Ankara, Turkey
Orcid: 0000-0003-4816-4373

^c Gazi University, Information Security Engineering, Institute of Science and Technology, 06500 – Ankara, Turkey
Orcid: 0000-0001-5746-6141

*Corresponding author:
aorman@aybu.edu.tr

Between MANET nodes as between Wireless Sensor Networks (WSN) nodes, route information is needed for the data packets sent by the sensor nodes to reach the target node. Route information is provided using proactive and reactive routing protocols, considering performance criteria such as efficiency, delay, packet transmission rate, packet drop rate and energy. In proactive routing protocols, route information is created on a table-based basis, while in reactive routing protocols, route information is created on a request basis. Change in speed as a mobility factor affects the performance of routing protocols positively or negatively. In this study, an experiment was carried out in the NS2 simulation environment on how AODV and DSR reactive routing protocols and DSDV proactive routing protocol perform at different selected speeds in efficiency, delay, packet transmission rate and packet drop rate metrics, and it is aimed to determine which one is the best performer. It is seen that the speed unit with the highest performance of the AODV protocol is 10 m/s (36 km/s), while the speed unit with the most performance of the DSDV and DSR protocols is 5 m/s (18 km/s). In addition, speed points between the selected speeds are also important in MANET. Due to this importance, performance measurements at 6, 7, 8 and 9 m/sec speeds are also presented with the same simulation parameters to be used future works, although they are not included in the comparison in the current study.

MANET’lerde Hareketliliğin AODV, DSR ve DSDV Protokollerinin Performansına Etkisi

ÖZ

Kablosuz Sensör Ağlardaki (KSA) sensör düğümlerinde olduğu gibi MANET düğümlerinde de gönderdikleri veri paketlerinin hedef düğüme ulaşabilmesi için rota bilgisine ihtiyaç duyulur. Rota bilgisi verimlilik, gecikme, paket iletim oranı, paket düşme oranı ve enerji gibi performans kriterleri göz önünde bulundurularak proaktif ve reaktif yönlendirme protokolleri kullanılarak sağlanır. Proaktif yönlendirme protokollerinde rota bilgisi tablo tabanlı olarak oluşturulurken reaktif yönlendirme protokollerinde rota bilgisi istek tabanlı olarak oluşturulur. Hareketlilik unsuru olarak hızın değişmesi, yönlendirme protokollerinin performansını olumlu veya olumsuz şekilde etkiler. Bu çalışmada AODV ve DSR reaktif yönlendirme protokolleri ve DSDV proaktif yönlendirme protokolünün verimlilik, gecikme, paket iletim oranı ve paket düşme oranı metriklerinde seçilen farklı hızlarda nasıl performans gösterdiklerine ilişkin NS2 simülasyon ortamında çalışma gerçekleştirilmiş ve en iyi performans gösterenin hangisi olduğunun tespiti amaçlanmıştır. AODV protokolünün en performanslı olduğu hız biriminin 10 m/sn (36 km/s) olduğu, DSDV ve DSR protokollerinin ise en performanslı olduğu hız biriminin 5 m/sn (18 km/s) olduğu görülmektedir. Bunun yanında seçilen hızların ara hızları da MANET’te önemlidir. Bu öneme istinaden mevcut çalışmada karşılaştırmaya dahil edilmemekle birlikte ilerleyen çalışmalarda kullanılmak üzere aynı simülasyon parametreleri ile 6, 7, 8 ve 9 m/sn hızlardaki performans ölçümleri de sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: AODV, DSDV, DSR, NS2, Reaktif ve proaktif yönlendirme protokolleri

1. Giriş (Introduction)

Kablosuz sensör ağlar (KSA) sensör düğüm adı verilen cihazların oluşturduğu ağlardır. KSA savunma endüstrisi, sağlık servisleri, akıllı şehirler, tarım, su altı yaşamının takip edilmesi, hava kirliliğinin tespit edilmesi gibi alanlarda ortamdaki ses, ışık, koku, kimyasal değişim ve sıcaklık gibi etmenleri sensör düğümler üzerindeki uygun alıcılar sayesinde tespit ederek dijital veriye çevirirler ve önemli verilerin elde edilmesinde kullanılırlar. Sensör düğümlerde, küçük yapıları ve taşıdıkları hassas veriler göz önüne alındığında yeteri kadar uzun çalışabilmeleri ve ilettikleri ya da depoladıkları verinin güvenliğini sağlayabilmeleri adına enerji tasarrufu ve verinin güvenliği ve bütünlüğü ön planda tutulmaktadır. Literatürde özellikle enerji tüketimine ilişkin olarak algılama, veri işleme ve iletişim olmak üzere üç işlevsel alanda büyük ölçüde katkıda bulunulmuştur [1]. Bununla birlikte sensör düğümlerin kullanıldıkları alandaki elektromanyetik frekanslar, algılama sensörlerinin kapasiteleri, haberleşme mesafeleri ve fiziksel olarak ele geçirilmeye müsait olmaları sensör düğümlerin başlıca kısıtları arasındadır.

KSA'da iletişim fiziksel, veri bağı, ağ, taşıma ve uygulama katmanları üzerinde gerçekleştirilir. Bu uygulama katmanlarına güç yönetim, hareketlilik yönetim ve görev yönetim modülleri destek olur. Bu çalışma mekanizması dahilinde sensör düğümler birbirleriyle ve baz istasyonu ile haberleşmek için yönlendirmeye ihtiyaç duyarlar. Veri güvenliğinin sağlanması, enerji tasarrufunun sağlanması, servis kalitesi, güvenilirliğin sağlanması, gecikmenin azaltılması ve verimli çalışma gereksinimleri için sensör düğümlerin gönderdikleri ve aldıkları verinin nereye gideceği, hangi sensör düğümler üzerinden geçeceği, kaç sensör düğüm geçeceği bilgilerini içeren rota bilgilerine ihtiyaç duyulur. Bu kısıtlamaları çözmek ve ihtiyaçları karşılamak için literatürde çok sayıda yönlendirme protokolü geliştirilmiş ve verinin izleyeceği en uygun rotayı tanımlamak için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir [2]. Özetle yönlendirme protokolleri rotanın keşfi ve oluşturulması görevlerini yerini getirirler.

Mobil AdHoc Ağlarda (MANET) ise KSA'lara göre düğüm sayıları daha azdır ve hareketlilik daha fazladır. Yönlendirme protokollerinin MANET'lerde de etkileri önemlidir. Bununla birlikte çalışmada düğüm hızları ve hareketliliği önemli bir nokta olduğu için hareketliliğin daha fazla olduğu MANET düğümleri ile çalışma gerçekleştirilmiştir.

MANET'lerde kullanılan yönlendirme protokolleri, karakteristikleri ve işleyişlerine göre reaktif, proaktif ve hibrid olmak üzere üç başlıkta incelenmektedir [3]. Kullanılan proaktif ve reaktif yönlendirme protokollerine örnek olarak Adhoc On-demand Distance Vector (AODV), Dynamic Source Routing (DSR), Optimized Link State Routing (OLSR) ve Destination Sequenced Distance Vector (DSDV) isimli yönlendirme protokolleri sayılabilir.

1.1. Reaktif Yönlendirme Protokolleri (Reactive Routing Protocols)

Reaktif yönlendirme protokolünde rota yolları, yalnızca ağ ortamındaki bir düğümden başka bir düğüme paketleri iletmek için bir ihtiyaç olduğunda kurulur [4]. Rota ihtiyacı olduğu durumlarda yönlendirme protokolü devreye girdiği için bu protokol istek güdümlü yönlendirme protokolü olarak bilinmektedir. Reaktif yönlendirme protokolünde rotanın tespit edilmesi sürecinde bir kaynak düğüm rotasını bilmediği hedef düğüme ulaşması için bir Rota İsteği (RREQ) oluşturur ve gönderir. RREQ paketi, kaynağın IP adresini, hedefin IP adresini, kaynak ve hedef sıra numarasını, isteğe ilişkin kimliği ve hop (atlama) sayısını barındırır. Hedef düğüm, önceki RREQ paketlerindeki aynı kaynak adrese ve istek kimliği alanlarına sahip bir rota isteği alırsa, paketi reddeder. Yönlendirme tablosunda bu adres mevcutsa, tablodaki hedef sıra numarası, yönlendirme tablosundaki hedef ile karşılaştırılır ve hedefe bu yoldan ulaşamazsa, hedef sıra numarasını artırarak bir rota talebi gönderir. Hedef sıra numarası böylece rota tazeliğini sağlamış olur. Rota takibinde aktif bir rotada bağlantı kopması olduğunda ve düğümler tarafından tespit edildiğinde hedef düğüm kaynak düğüme bir Rota Hatası (RERR) mesajı göndererek bu bağlantı kopmasını bildirir. Kaynak düğüm devam eden bir veri gönderimi sürecinde ise rota tespit işlemini yeniden başlatır.

AODV ve DSR isimli yönlendirme protokolleri reaktif yönlendirme protokolü kapsamındadır [5].

1.2. Proaktif Yönlendirme Protokolleri (Proactive Routing Protocols)

Proaktif protokol kullanılan MANET'te bir düğüm, ağdaki tüm hedeflere giden rotaları sürekli olarak

korur, böylece protokolü rastgele ve düzensiz trafik hareketine uygun hale getirir. Rotaların korunması bu protokolün tablo tabanlı rota tutmasından kaynaklanır. Bu tabloların oluşturulması her düğümün yakın komşularını sık sık sorgulayarak güncel bir rota tablo oluşturulması şeklinde cereyan eder. Bu nedenle tablo güdümlü olarak tanımlanan [6] proaktif yönlendirme protokolü, kaynak ve hedef düğümlerin zaman içinde değiştiği trafik üreten, alt kümeleri bulunan büyük ve yoğun ağlar için önerilmektedir.

OSLR ve DSDV isimli yönlendirme protokolleri proaktif yönlendirme protokolü kapsamındadır [7].

KSA'da olduğu gibi MANET düğüm hareketliliği ve hızları enerji, verimlilik, servis kalitesi, paket iletim oranları, gecikme oranları ve ağ tutarlılığı açısından önemlidir. Literatürdeki birçok çalışmada [8],[9], [10] bu metrikler KSA üzerindeki model ve deneylere dahil edilmektedir. Aynı metrikler bu çalışmada kullanılan MANET simülasyonunda baz alınmıştır. Proaktif yönlendirme protokolü olan DSDV ve reaktif yönlendirme protokolleri olan DSR ve AODV yönlendirme protokollerinin, MANET düğümleri sabit haldeyken ve farklı sabit hızlardayken ortaya koydukları performansları Verimlilik, Paket İletim Oranı (PİO), Gecikme ve Paket Düşme Oranları (PDO) metriklerinde karşılaştırılmıştır.

Çalışmanın, MANET kullanılan ortam ve sistemlerde verimlilik, gecikme, paket iletim oranı ve paket düşme oranı metriklerinde performans ihtiyacına göre düğümlerin optimal hızını belirlemek açısından literatüre ve uygulamaya katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir. Bu bağlamda devam eden bölümlerde ikinci bölümde konu ile alakalı olarak literatür taraması yapılmış ve çalışmanın literatürden farkı ortaya konmuş, üçüncü bölümde AODV, DSDV ve DSR yönlendirme protokollerinin anılan metriklerde performansları NS2 simülasyon ortamında ölçülmüş ve karşılaştırılmış, dördüncü bölümde ise çalışmanın sonuçları vurgulanmıştır.

2. İlgili Çalışmalar (Related Works)

Bozkurt İncelenen bir çalışmada [11] sıklıkla kullanılan AODV, DSR ve DSDV protokollerinin gerçek dünya, otoban ve Manhattan ızgarası şeklinde oluşturulan üç trafik ortamındaki detaylı değerlendirmeleri Araç AdHoc Ağ (VANET) odaklı olarak çalışılmıştır. Araştırmacılar çalışmalarını OMNET++ ve SUMO simülasyon ortamında 50, 150, 250, 350 ve 450 düğüm ve UDP iletişimi kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Araştırmacıların kullandıkları trafik ortamlarında araçların değişen hızlarda hareket ettikleri varsayılmış ancak çalışma sonuçları yoğunluk metriği kıyaslanarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre gerçek dünya uygulamasında DSR'in diğer iki protokolden daha iyi performans gösterdiği, otoban simülasyonunda yoğunluk düşükken DSR'in diğerlerinden daha iyi performans gösterdiği bununla birlikte yoğunluk artında AODV ve DSR'in DSDV'den daha yeterli olduğu ancak DSDV'nin daha fazla yoğunlukta verimlilik açısından oldukça iyi performans gösterdiği ortaya konmuştur. Araştırmacılar tarafından Manhattan ızgarasında ise DSR'in genel itibari ile verimlilik açısından iyi performans gösterdiği ancak 250 yoğunluk noktasından sonra AODV'nin daha performanslı olduğu belirtilmiştir.

Bir diğer çalışmada [12] araştırmacılar sıklıkla kullandıklarını belirttikleri AODV, DSDV, DSR, DYNAMIC MANET On-demand (DYMO), Fish-eye Scope Routing (FSR) ve OLSR yönlendirme protokollerinin verimliliklerini Kablosuz Çokhoplu Ağlarda (WMN) sel stratejileri açılarından karşılaştırmışlardır. Simülasyonlar NS-2 ortamında Constant Bit Rate (CBR) trafiği, 512 byte paket boyutu rasgele yol noktası hareketlilik modeli ve 1000x1000 metre alanda gerçekleştirmişlerdir. Hareketlilik modelinde 15 ve 30 metre/saniye hızlar içeren senaryolar kullanmışlardır. DSR protokolünde yüksek hareketlilikteki yanlış rota önbelleklemelerinin (RCing) gürültülü ve hatalı rota bilgisi oluşturduğunu ve gecikmeyi artırdığını tespit etmişlerdir. Yerel Ağ Onarımının (LLR) rotanın yeniden keşfedilme şansını azalttığından dolayı AODV'yi diğer reaktif protokollere kıyasla yüksek hareketlilik hızına daha uyumlu hale getirdiğini belirtmişlerdir. DSDV'nin diğer proaktif protokollere kıyasla yüksek hareketlilikte verimliliğinin daha fazla olduğu vurgulanmıştır. Yüksek hareketlilik senaryolarında OLSR'nin düşük yakınsama oranı nedeniyle verimde kademeli bir düşüş gözlemlendiğini belirtmişlerdir.

MANET'lerde muhtemel konumları komşuluk çerçevesinde hibrid bir modelle tahmin etmeye dayalı gerçekleştirdikleri çalışmalarında [13] araştırmacılar tahmini olasılıklı konumlara dayanan çoklu yollu protokol önermişler (HM-MPR) ve AODV protokolünü çeşitli açılardan değerlendirmişlerdir. Simülasyonlarını NS2 ortamında 5-20 metre/saniye hız, 100-300 arası düğüm, 1000x1000 metre alan

ve 30 dakika simülasyon süresi kullanarak gerçekleştirmişlerdir. AODV protokolünde tahmini hız kullanılarak RREQ ve RREP yönlendirmesine karar verilmesinin çok iyi ayarlandığı ve Bayesian hız tahmini kullanılarak AODV'de paket teslim oranı %46 oranında iyileştirildiğini belirtmişlerdir. Sundukları modelin değişken hareketlilikte farklı hızlarda çeşitli metriklerde performans değerlendirmelerini yapmışlar ve başka bir çalışma ile sadece daha iyi performans gösterdiği yönünden karşılaştırmışlardır. Karşılaştırmada detaylandırmadıkları simülasyon sonuçlarına göre sundukları modelin 5 m/s hızda % 93, 10 m/sn hızda %87, 15 m/sn hızda % 81 ve 20 m/sn hızda % 85 paket gecikme oranına sahip olduğu, 5 m/sn hızda 21 ms, 10 m/sn hızda 24 ms, 15 m/sn hızda 27 ms ve 20 m/sn hızda 29 ms gecikme görüldüğü vurgulanmıştır.

İncelenen bir diğer çalışmada [14] araştırmacı hareketliliğin yüksek olduğunu belirttiği Uçan AdHoca Ağlarda (FANET) link kurulumundaki sorunları azaltan hibrit bir optimizasyon modeli olarak dinamik ve statik ortamlara uygun bir yönlendirme stratejisi önermiştir. Modelini NS2 simülasyon ortamında, OLSR ve DSR protokolleri kullanarak, 1000x1000 metre alanda, 15 düğüm ile, 512 byte paket boyutu ve CBR trafik modeli kullanarak, 5, 10, 15, 20, 25, 30 ve 35 m/sn düğüm hızları belirleyerek gerçekleştirmiş ve sonuçları AODV ve DSDV protokolleri ile karşılaştırmıştır. Araştırmacı ortaya koyduğu hibrit modelin AODV ve DSDV protokollerine oranla daha çok performans gösterdiğini belirtmekle beraber bu çalışma açısından simülasyon sonuçları değerlendirildiğinde sabit düğüm kullanmadığı, kendi modeli, AODV ve DSDV protokollerinin en yüksek verimliliği 5 m/sn hızda gösterdiği, en yüksek paket iletim oranının yine 5 m/sn hızda gerçekleştiği ve gecikmenin en düşük 5 m/sn hızda olduğu gözlemlenmiştir. Bu özellik incelenen çalışmada vurgulanmamakla beraber kendi çalışmamızda değerlendirilmek üzere incelenmiştir.

Bağ hatası zamanının tahmini üzerine gerçekleştirilen bir çalışmada [15] araştırmacılar modellerini (LSQPR-LFE) NS 2.35 simülasyon ortamında 1000 saniye simülasyon süresi, 2000x2000 metre alan, 4, 8, 12, 16 ve 20 m/sn hız, 512 byte paket boyutu, CBR trafik modeli ve AODV protokolü kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Araştırmacılar sabit düğüm kullanmamakla birlikte bağ hata sayısının hareketlilik arttıkça arttığını ve bu sayının en düşük olduğu hızın 4 m/sn olduğunu simülasyon sonuçlarında göstermişlerdir.

İncelenen bir diğer çalışmada [16] araştırmacılar VANET'lerde blackhole saldırısına karşı AODV protokolünün direncinin artırılması için bir model önermişlerdir. Düğümlerin yüksek hareketliliği nedeniyle, VANET'te verimli veri iletiminin yürütülmesi için uygun iletişim protokolüne ihtiyaç olduğu belirtilmiştir. Simülasyonlarında belirledikleri senaryolarda 10 ve 20 düğüm için 20, 40, 60 ve 90 kilometre / saat hızları belirlemişlerdir. Hız bazında bir performans değerlendirmesi yapılmamış ancak senaryolara göre DSR ve AODV karşılaştırıldığında farklı zamanlarda paket düşmesi, çarpışma ve verimlilik metriklerinde birbirlerine üstünlük sağladıkları belirtilmiştir.

Çok duraklı bluetooth ağları üzerine gerçekleştirilen çok geniş kapsamlı bir çalışmada [17] yüksek düğüm hareketliliğinin, ağdaki tüm düğümleri etkilediği ve güç kaynaklarını tüketen sık rota keşif süreçleri meydana gelmesine yol açtığı vurgulanmıştır. Çalışmada ayrıca reaktif yönlendirme protokollerinin özellikle büyük ve yüksek hareketin bulunduğu ağlarda rota keşif gecikmesinin çok yüksek olma eğiliminde olduğunu belirtmişlerdir.

İncelenen başka bir çalışmada [18] hava omurga ağı için spiral hat (SLMM) tabanlı yeni bir hareketlilik modeli çalışmışlardır. Çalışmada insansız hava araçlarının genellikle 25 m/sn hızın altında hareket ettikleri belirtilmiş ve simülasyon çalışmalarında 10 m/sn hız kullanmışlardır. Çalışma sonuçlarına göre hava omurga ağının, SLMM altında daha yüksek verime, daha düşük uçtan uca gecikmeye ve daha düşük paket kayıp oranına sahip olduğu, bununla birlikte daha iyi bir DSR'ın bariz faydalar sağlamayacağı ve SLMM altında bir miktar yönlendirme yükü getirebileceği ve bu nedenle, AODV protokolünün SLMM altındaki hava omurga ağı için en iyi yönlendirme protokolü olacağı tespiti ortaya konmuştur.

Çalışmada [19] araştırmacılar bölge tabanlı bir yol bulma mekanizması (ZRDM) ve bir bağ hatası tahmin mekanizması (LFPM) olmak üzere iki mekanizma önererek MANET'lerde isteğe bağlı kaynak yönlendirme protokollerinin geliştirilmesini hedeflemişlerdir. 0'dan 5 m/sn hıza ve 5'ten 35 m/sn hıza çıkan düğümler kullandıkları simülasyonların deneysel sonuçlarının önerilen mekanizmaların DSR protokolü, güvenilir DSR, bölge tabanlı DSR ve segment tabanlı DSR gibi iyi bilinen mekanizmalardan daha iyi performans gösterdiğini vurgulamışlardır. Uçtan uca gecikme oranında DSR

en iyi performansı 5 m/sn hızda, önerilen model ise 10 m/sn hızda göstermiştir. Normalleştirilmiş yönlendirme yükünde her iki modelin de 5 m/sn hızda en iyi performansı verdiği belirtilmiştir.

Araştırmacılar bir diğer çalışmada [20] ana FANET yönlendirme protokollerini hayati parametrelere dayalı olarak önemli kısıtlamaları dikkate alarak karşılaştırmışlardır. Çalışmaya göre düğüm hızları KSA'da 0-6 km/saat, VANET'lerde 20-130 km/saat, Robotik Kablosuz Mobil AdHoc Ağlarda (RANET) 0-20 km/saat, Sensör/Aküatör Ağlarda (SANET) 20-130 km/saat ve FANET'lerde 6-430 km/saat olarak belirtilmiştir. İnsansız hava araçlarının 0-100 km/saat arası değişen düğüm hızlarından dolayı iletişim problemlerinin yaşandığı vurgulanmıştır. Çalışmada ayrıca küme başı seçiminde hız bilgisinin kullanıldığı modellerin de bulunduğu belirtilmiştir.

Bu çalışmada literatürden farklı olarak DSDV, DSR ve AODV protokollerinin yapılan simülasyonda kullanılan hız kategorileri arasında en performanslı olduğu hız tespit edilmeye çalışılmıştır. Gözlemlendiği üzere literatürde üç yönlendirme protokolünün de hangi optimal hızda en yüksek performansı verdiği çalışmasına rastlanmamıştır. Çalışmanın, en yüksek performansın alındığı optimal hızın tespiti için gerçekleştirilecek olan sonraki çalışmalara temel oluşturması hedeflenmektedir.

3. Performans Analizi (Performance Analysis)

MANET'te sensör düğümlerin hareketsiz halleri (fixed) ve farklı sabit hızlardaki hareketleri esnasında AODV, DSR ve DSDV yönlendirme protokollerinin performans karşılaştırması Verimlilik, Paket İletim Oranı (PİO), Paket Düşme Oranları (PDO) ve Gecikme metrikleri dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Performans analizi için Ubuntu işletim sistemi üzerinde çalıştırılan NS2 v2.35 simülasyon ortamı kullanılmıştır.

3.1. Simülasyon parametreleri (Simulation parameters)

Simülasyonda 20 düğüm oluşturulmuş ve düğümler arasında Constant Bit Rate uygulaması ile UDP iletişimi gerçekleştirilmiştir. Ağdaki paket boyutları 512 byte olarak belirlenmiştir. Simülasyon alanı $x=500$ ve $y=500$ olarak tanımlanmış ve her bir simülasyon olayı için 300 saniye simülasyon süresi belirlenmiştir. Her simülasyon olayı belirlenen farklı hızlarda AODV, DSR ve DSDV protokolleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Düğüm hızları her bir simülasyon olayı için sırasıyla 0, 5, 10, 15, 20 ve 25 m/sn olarak tanımlanmıştır. MAC protokolü olarak IEEE 802.11 kullanılmıştır. Sayılan simülasyon parametreleri, diğer parametreler ve düğüm ayarları ile birlikte Tablo 1 olarak sunulmuştur.

Tablo 1. Simülasyon parametreleri (Simulation parameters)

| # | Parametre | Değer |
|----|----------------------------|------------------------------|
| 1 | Simülasyon Ortamı | NS-2 v 2.35 |
| 2 | Yönlendirme Protokolü | AODV, DSR, DSDV |
| 3 | Düğüm Sayısı | 20 |
| 4 | Düğüm Hızı (metre/saniye) | 0 (fixed), 5, 10, 15, 20, 25 |
| 5 | MAC Protokolü | IEEE 802.11 |
| 6 | İletişim | CBR, UDP |
| 7 | Paket Boyutu (byte) | CBR 1000, UDP 1500 |
| 8 | Simülasyon Süresi (saniye) | 300 |
| 9 | Alan ($x*y$) | 500*500 |
| 10 | Kanal | Kablosuz |
| 11 | Phy | KablosuzPhy |
| 12 | Anten | OmniAnten |
| 13 | txPower | 0,09 |
| 14 | rxPower | 0,07 |
| 15 | idlePower | 0,01 |
| 16 | sleepPower | 0,0001 |
| 17 | transitionPower | 0,02 |
| 18 | transitionTime | 0,0005 |

Koordinatlar setdest komutu ile otomatik ve ön tanımlı olarak rastgele noktalara hareket edecek şekilde belirlenmiştir. Düğümler her hız bareminde aynı olacak şekilde kendilerine tanımlanmış olan aynı başlangıç koordinatından harekete başlamakta ve zaman içerisinde rastgele koordinatlara uğrayarak yine tanımlanmış kendi son koordinatları yönüne hareket etmektedir. Düğüm yönleri bu doğrultuda mob ve tcl dosyaları içerisinde tanımlanmıştır.

3.2. Performans metrikleri (Performance metrics)

Simülasyon performansı Verimlilik, Paket İletim Oranı (PİO), Paket Düşme Oranları (PDO) ve Gecikme metrikleri kullanılarak ölçülmüştür.

Verimlilik birim zamanda iletilen ortalama bit sayısı anlamına gelmektedir. Bir ağın verimliliği paketlerin kaynaktan hedef düğüme aktarılma hızıyla ölçülür. Ağda tıkanıklık olduğunda, paket kaybı ve ağ tıkanıklığı meydana gelir ve verimlilik bu durumdan olumsuz etkilenir. Çalışmadaki verimlilik Eşitlik.1'deki denklem ile Kbps cinsinden ölçülmüştür.

$$\text{Verimlilik} = \frac{\text{iletilen Byte Sayısı} \times 8}{\text{Simülasyon Süresi} \times 1000} \quad (1)$$

Paket İletim Oranı (PİO), hedef düğümde alınan toplam veri paketi sayısının, kaynak düğümden gönderilen toplam veri paketi sayısına oranıdır. PİO yüzde olarak hesaplanır. Sonuçlar bu çalışmada farklı yönlendirme protokollerinin farklı düğüm hızlarında kullanılması doğrultusunda değişiklik göstermektedir. PİO Eşitlik.2'deki denklem ile ölçülmüştür.

$$PİO = \frac{\text{Alınan Paket Sayısı}}{\text{Gönderilen Paket Sayısı} \times 100} \quad (2)$$

Paket Düşme Oranları (PDO) düşen toplam veri paketi sayısının, kaynak düğümden gönderilen toplam veri düğümü sayısına oranıdır. Sonuçlar bu çalışmada farklı yönlendirme protokollerinin farklı düğüm hızlarında kullanılması doğrultusunda değişiklik göstermektedir. PDO Eşitlik.3'deki denklem ile ölçülmüştür.

$$PDO = \frac{\text{Gönderilen Paket Sayısı} - \text{Alınan Paket Sayısı}}{\text{Gönderilen Paket Sayısı} \times 100} \quad (3)$$

Gecikme, paketin kaynak düğümden hedef düğüme ulaşması için geçen süredir. Toplam gecikme süresinin alınan paket süresine oranı olarak saniye cinsinden Eşitlik.4'teki şekilde hesaplanmıştır.

$$\text{Gecikme} = \frac{\text{Gecikme Süreleri Toplamı}}{\text{Alınan Paket Sayısı}} \quad (4)$$

3.3. Simülasyon senaryosu (Simulation scenario)

Simülasyon senaryoları AODV, DSDV ve DSR yönlendirme protokollerinin ayrı ayrı kullanılarak oluşturulan MANET'teki düğüm hızları temelli olarak oluşturulmuştur. Senaryolar değişen her bir hız ve yönlendirme protokolü için ayrı ayrı uygulanmış ve uygulanan her simülasyon bir simülasyon olayı olarak değerlendirilmiştir.

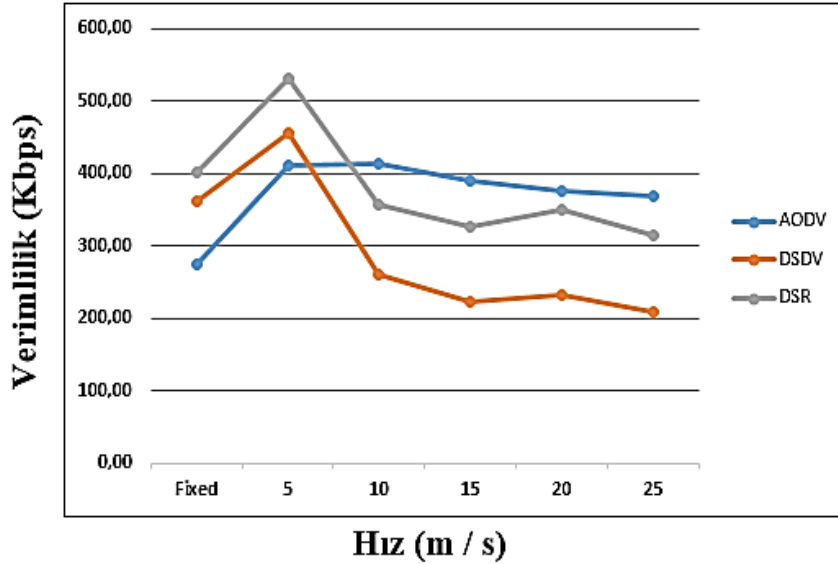
Her bir simülasyon olayında oluşturulan 20 düğüm için NS2 simülasyon ortamının setdest özelliği kullanılarak simülasyon süresi boyunca uygulanacak hareketlilik modeli ve hızlar belirlenmiştir. Çalışmada tüm düğümlerin aynı koordinatlardan hareketlerine başlamaları amacıyla tüm grup başlangıç koordinatları önceden tanımlanmış olmakla birlikte bir sonraki hareket koordinatı ve yönleri setdest komutu ile rasgele olarak oluşturulmuştur. Bu açıdan çalışmada Random Waypoint Mobility Model kullanılmıştır. Setdest komutu ile sırasıyla düğüm sayısı (n), hız türü (s), minimum hız (m), maksimum hız (M), simülasyon süresi (t), duraklatma çeşidi (P), duraklatma zamanı (p), x eksen (x) ve y eksen (y) parametreleri kullanılarak mob dosyası üretilmiş ve simülasyon başlangıç dosyasına (TCL) tanımlanmıştır. Bu yöntemle her simülasyon olayında düğümlerin aynı noktadan harekete başlaması ya da belirlenen konumda sabit kalmaları ve rasgele belirlenmiş rotayı takip etmeleri sağlanmıştır. Böylelikle rasgele değişken başlangıç koordinatının performans metriklerinde oluşturacağı farklılıklar önlenmiştir.

Bu simülasyon senaryosu doğrultusunda toplamda 18 simülasyon olayı değerlendirilmek üzere oluşturulmuştur.

3.4. Simülasyon sonuçları (Simulation results)

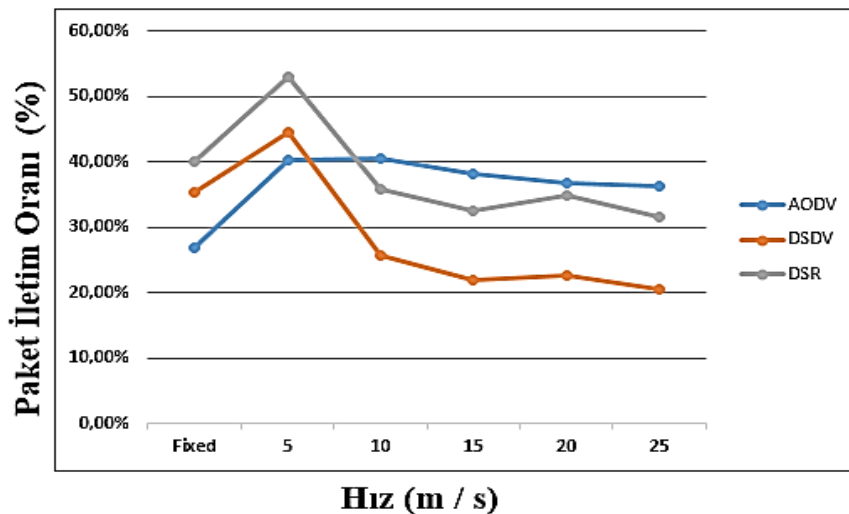
Verimlilik metriğinde hareketsiz halde, 5, 10, 15, 20 ve 25 m/sn hızlarında olmak üzere AODV protokolü sırasıyla 273,71, 411,04, 412,95, 389,50, 374,43 ve 369,16 Kbps, DSR protokolü sırasıyla

401,18, 530,72, 357,11, 325,59, 349,50 ve 315,43 Kbps, DSDV protokolü ise sırasıyla 361,24, 454,99, 261,02, 222,72, 231,73 ve 209,29 Kbps performansı göstermiştir. Şekil 1'de gösterilen verimlilik performansı karşılaştırmasına göre AODV protokolü, düğümler sabit haldeyken en düşük verimlilik performansına sahip olmasına rağmen hızın 10 m/sn ve üzerine çıkmasıyla diğer iki protokolden daha çok verimlilik ürettiği, bununla birlikte verimliliğin her üç protokol için de en yüksek olduğu hızın 5 m/sn olduğu, kendisinden önceki düşük hıza göre performansın oransal olarak en çok 5 m/sn hızda arttığı görülmektedir.



Şekil 1. AODV, DSDV ve DSR protokollerinin verimlilik performansları (Efficiency Performances of AODV, DSDV and DSR Protocols)

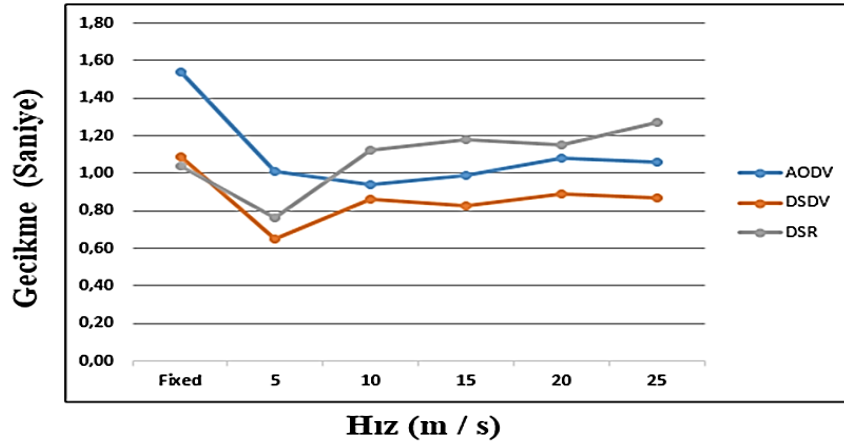
PİO metriğinde hareketsiz halde, 5, 10, 15, 20 ve 25 m/sn hızlarında olmak üzere AODV protokolü sırasıyla 26,83%, 40,30%, 40,48%, 38,18%, 36,71% ve 36,19%, DSR protokolü sırasıyla 40,12%, 53,07%, 35,71%, 32,56%, 34,95% ve 31,54%, DSDV protokolü ise sırasıyla 35,41%, 44,61%, 25,59%, 21,83%, 22,72% ve 20,52% paket iletim performansı göstermiştir. Şekil 2'de gösterilen verimlilik performansı karşılaştırmasına göre AODV protokolü, düğümler sabit haldeyken en düşük PİO performansına sahip olduğu halde hızın 10 m/sn ve üzerine çıkmasıyla diğer iki protokolden daha çok PİO performansı gösterdiği, bununla birlikte en yüksek PİO'nun DSR ve DSDV protokolleri için 5 m/sn hızda, AODV protokolü için 10 m/sn hızda olduğu görülmektedir. AODV protokolünde 5 m/sn hızda üretilen PİO 10 m/sn hızda üretilen PİO ile çok yakın değerlere sahiptir ve 0,12% azdır. PİO'nun, AODV protokolü için kendisinden önceki düşük hıza göre performansın oransal olarak DSDV ve DSR protokollerindeki gibi en çok 5 m/sn hızda arttığı görülmektedir.



Şekil 2. AODV, DSDV ve DSR Protokollerinin PİO Performansları (PIO Performances of AODV, DSDV and DSR Protocols)

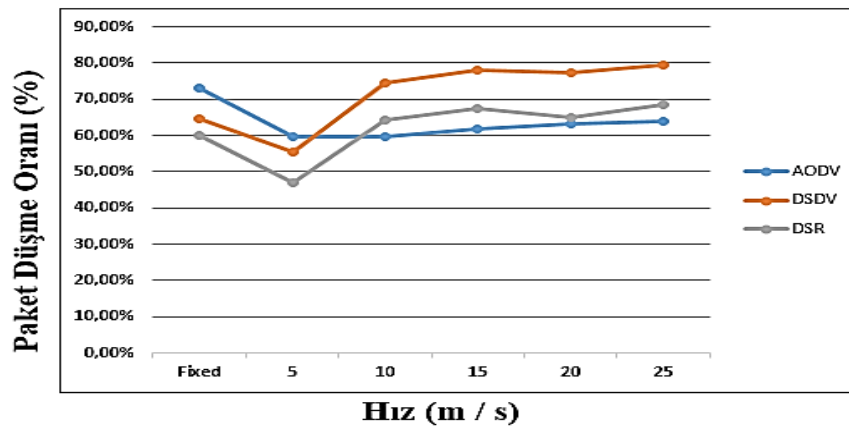
Gecikme metriğinde hareketsiz halde, 5, 10, 15, 20 ve 25 m/sn hızlarında olmak üzere ortalama olarak

AODV protokolü sırasıyla 1,54, 1,01, 0,94, 0,99, 1,08 ve 1,06 saniye, DSR protokolü sırasıyla 1,04, 0,76, 1,12, 1,18, 1,15 ve 1,27 saniye, DSDV protokolü ise sırasıyla 1,09, 0,65, 0,86, 0,83, 0,89 ve 0,87 saniye gecikme performansı göstermiştir. Şekil 3'te gösterilen ortalama gecikme performansı karşılaştırmasına göre AODV protokolü, düğümler sabit haldeyken en yüksek gecikme süresiyle en düşük gecikme performansına sahip olduğu halde hızın 10 m/sn ve üzerine çıkmasıyla DSR'dan daha çok performans gösterdiği, bununla birlikte en düşük gecikmenin DSR ve DSDV protokolleri için 5 m/sn hızda, AODV protokolü için 10 m/sn hızda olduğu görülmektedir. AODV protokolünde 5 m/sn hızda üretilen gecikme 10 m/sn hızda üretilen gecikme ile çok yakın değerlere sahiptir ve 0,07 saniye fazladır. Gecikmenin, AODV protokolü için kendisinden önceki düşük hıza göre performansın oransal olarak DSDV ve DSR protokollerindeki gibi en çok 5 m/sn hızda azaldığı görülmektedir.



Şekil 3. AODV, DSDV ve DSR Protokollerinin Gecikme Performansları (Latency Performance of AODV, DSDV and DSR Protocols)

PDO metriğinde hareketsiz halde, 5, 10, 15, 20 ve 25 m/sn hızlarında olmak üzere ortalama olarak AODV protokolü sırasıyla 73,17%, 59,70%, 59,52%, 61,82%, 63,29% ve 63,81%, DSR protokolü sırasıyla 59,88%, 46,93%, 64,29%, 67,44%, 65,05% ve 68,46%, DSDV protokolü sırasıyla 64,59%, 55,39%, 74,41%, 78,17%, 77,28% ve 79,48% paket düşme oranı performansı göstermiştir. Şekil 4'te gösterilen PDO performansını karşılaştırmasına göre AODV protokolü, düğümler sabit haldeyken en yüksek paket düşüm oranına sahip olmasıyla en düşük PDO'na sahip olduğu halde hızın 10 m/sn ve üzerine çıkmasıyla DSR ve DSDV'den daha çok performans gösterdiği, bununla birlikte en düşük paket düşme oranının DSR ve DSDV protokolleri için 5 m/sn hızda, AODV protokolü için 10 m/sn hızda olduğu görülmektedir. AODV protokolünde 5 m/sn hızda üretilen PDO 10 m/sn hızda üretilen PDO ile çok yakın değerlere sahiptir ve 0,18% daha fazladır. PDO'nun, AODV protokolü için kendisinden önceki düşük hıza göre performansın oransal olarak DSDV ve DSR protokollerindeki gibi en çok 5 m/sn hızda azaldığı görülmektedir.



Şekil 4. AODV, DSDV ve DSR Protokollerinin PDO Performansları (PDO Performances of AODV, DSDV and DSR Protocols)

Çalışmamızda her ne kadar düğümlerin belirli hızlarda seçilen protokolleri kullandıkları durumda gösterdikleri performanslar karşılaştırılmış olsa da, belirlenen hızların aralarındaki hız baremlerinin de kayda alınması önemlidir. Bu önem, m/sn cinsinden hesaplanan iki hız biriminin km/s ölçüsüne çevrildiğinde aralarında oldukça fazla fark olabilmesinden kaynaklanmaktadır. Örneğin 10 m/sn 36

km/s'e eşitken, 15 m/sn 54 km/s hıza eşittir. MANET ortamında düğümlerin 36 km/s ile hareket etmesi ile 54 km/s ile hareket etmesi arasında oldukça büyük farklar mevcuttur. Bununla birlikte 0, 5, 10, 15, 20 ve 25 m/sn hızlarının çalışmada kullanıldığı düşünüldüğünde çok fazla sayıdaki ara hızlardaki (1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 13... m/sn. gibi) performansların hesaplanmasının ayrı bir çalışma konusu olması gerektiği değerlendirilmiştir. İlerleyen çalışmalara temel olması amacıyla çalışmadaki simülasyon ortamı ve parametreleri kullanılarak AODV, DSDV ve DSR yönlendirme protokollerinin 6, 7, 8 ve 9 m/sn hızlardaki PİO, Gecikme, Verimlilik ve PDO metriklerine ait performansları ölçülmüş ve sonuçlar Tablo 2 olarak sunulmuştur. Tablo 2'deki ölçüm sonuçlarına göre en yüksek performansların PİO metriğinde 7 m/s hızda DSR protokolüne, Gecikme metriğinde 7 m/sn hızda DSDV protokolüne, Verimlilik metriğinde 7 m/sn hızda DSR protokolüne ve PDO metriğinde 7 m/sn hızda DSR protokolüne ait olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 2. AODV, DSDV ve DSR Protokollerinin 6,7,8 ve 9 m/sn hızlardaki performansları (Performance of AODV, DSDV and DSR Protocols at speeds of 6,7,8 and 9 m/s)

| PROTOKOL | METRİKLER | HIZLARA GÖRE PERFORMANSLAR | | | |
|----------|------------|----------------------------|-------------|-------------|-------------|
| | | 6 m/sn | 7 m/sn | 8 m/sn | 9 m/sn |
| AODV | PİO | 48.37% | 63.53% | 52.53% | 50.30% |
| | GECİKME | 0.90 Saniye | 0.62 Saniye | 0.76 Saniye | 0.78 Saniye |
| | VERİMLİLİK | 493.37 Kbps | 648.00 Kbps | 535.77 Kbps | 513.03 Kbps |
| | PDO | 51.63% | 36.47% | 47.47% | 49.70% |
| DSDV | PİO | 44.55% | 60.85% | 43.39% | 42.39% |
| | GECİKME | 0.63 Saniye | 0.58 Saniye | 0.62 Saniye | 0.67 Saniye |
| | VERİMLİLİK | 454.42 Kbps | 620.70 Kbps | 442.60 Kbps | 432.44 Kbps |
| | PDO | 55.45% | 39.15% | 56.61% | 57.61% |
| DSR | PİO | 52.84% | 66.66% | 54.57% | 49.73% |
| | GECİKME | 0.74 Saniye | 0.63 Saniye | 0.75 Saniye | 0.81 Saniye |
| | VERİMLİLİK | 528.43 Kbps | 666.67 Kbps | 545.72 Kbps | 497.27 Kbps |
| | PDO | 47.16% | 33.34% | 45.43% | 50.27% |

4. Sonuç (Conclusion)

Tablo 3. AODV, DSR ve DSDV Protokollerinin seçilen hızlarda en iyi performansı gösterdiği hızlar (AODV, DSR and DSDV Protocols have the best performance at the chosen speeds)

| Protokol | Metrik | Hız (metre / saniye) | | | | | |
|----------|------------|----------------------|---|----|----|----|----|
| | | 0 (fixed) | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 |
| AODV | Verimlilik | | | ✓ | | | |
| | PİO | | | ✓ | | | |
| | Gecikme | | | ✓ | | | |
| | PDO | | | ✓ | | | |
| DSR | Verimlilik | | ✓ | | | | |
| | PİO | | ✓ | | | | |
| | Gecikme | | ✓ | | | | |
| | PDO | | ✓ | | | | |
| DSDV | Verimlilik | | ✓ | | | | |
| | PİO | | ✓ | | | | |
| | Gecikme | | ✓ | | | | |
| | PDO | | ✓ | | | | |

Performans sonuçlarını içeren Tablo 3 incelendiğinde, aynı başlangıç konumuna sahip, rasgele belirlenmiş rotayı takip eden, aynı iletişim ve karakteristik özelliklerine sahip 20 düğüm üzerinde gerçekleştirilen simülasyon sonuçlarına göre AODV, DSR ve DSDV protokollerinin performanslarına hareketlilik unsuru olarak hızın doğrudan etkisi olduğu görülmektedir.

Hız arttıkça verimlilikte AODV protokolünün DSDV ve DSR protokolüne üstün geldiği, AODV

protokolünün performansı artarken diğerlerinin performanslarının hareketsiz konumdaki performanslarına oranla düştüğü gözlemlenmiştir. Yine hız arttıkça AODV protokolünün düğümlerin hareketsiz hallerine göre PİO'nda performans artışı gösterdiği, DSR ve DSDV'nin performansları düşmektedir. Gecikme metriğinde DSR'da hız arttıkça performans düşmüş, AODV ve DSDV sabit düğüm durumuna göre performans artışı göstermiştir. PDO metriğinde hız artışı durumunda en iyi performansı AODV protokolü göstermiş, DSR ve DSDV protokollerinde düğümlerin hareketsiz hallerine göre PDO'nda performans düşüşü yaşanmıştır.

Çalışmanın ana konusu olarak hareketliliğin hız unsurundaki değişimde AODV, DSR ve DSDV protokollerinin olumlu veya olumsuz şekillerde etkilendiği gözlemlenmekle birlikte simülasyon parametreleri ve sonuçları çerçevesinde AODV protokolünün en performanslı olduğu hız biriminin 10 m/sn (36 km/s) olduğu, DSDV ve DSR protokollerinin ise en performanslı olduğu hız biriminin 5 m/sn (18 km/s) olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar doğrultusunda önceki bir çalışmada [20] belirtilen farklı kablosuz sensör ağ türlerinde düğümlerin sahip olabilecekleri hız baremleri doğrultusunda VANET'lerde (20-130 km/saat), RANET'lerde (0-20 km/saat), SANET'lerde (20-130 km/saat) ve FANET'lerde (6-430 km/saat) hız tercihleri arasında 5 ve 10 m/sn hızları mevcut ise 5 m/sn hız için DSDV veya DSR protokollerinin tercih edilmesi, 10 m/sn hız için ise AODV protokolünün tercih edilmesi neticesinde en yüksek performans elde edilecektir.

Çıkar Çatışması Beyanı (Conflict of Interest Statement)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması bildirilmemiştir.

Kaynaklar (References)

- [1] N. Mazumdar, A. Nag and S. Nandi, "HDDS: Hierarchical Data Dissemination Strategy for energy optimization in dynamic wireless sensor network under harsh environments," *Ad Hoc Networks*, vol. 111, 2021. doi:10.1016/j.adhoc
- [2] I. Daanoun, B. Abdennaceur, and A. Ballouk, "A comprehensive survey on LEACH-based clustering routing protocols in Wireless Sensor Networks," *Ad Hoc Networks*, vol. 114, 2021. doi:10.1016/j.adhoc.2020.102409
- [3] F. T. Al-Dhief, F. Sabri, S. Fouad, N. M. A. Latiff, and M. A. A. Albader, "A review of forest fire surveillance technologies: Mobile ad-hoc network routing protocols perspective," *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, vol. 31, no. 2, pp. 135-146, 2019. doi:10.1016/j.jksuci.2017.12.005
- [4] A. Amuthan, N. Sreenath, P. Boobalan and K. Muthuraj, "Dynamic multi-stage tandem queue modeling-based congestion adaptive routing for MANET," *Alexandria Engineering Journal*, vol. 57, no. 3, pp. 1467-1473, 2018. doi:10.1016/j.aej.2017.03.026
- [5] D. Sarkar, S. Choudhury, and A. Majumder, "Enhanced-Ant-AODV for optimal route selection in mobile ad-hoc network," *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, vol. 33, no. 10, pp. 1186-1201, 2021. doi:10.1016/j.jksuci.2018.08.013
- [6] P. Kumar, and S. Verma, "Implementation of modified OLSR protocol in AANETs for UDP and TCP environment," *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, vol. 34, no. 4, pp. 1305-1311, 2019. doi:10.1016/j.jksuci.2019.07.009
- [7] J. R. Vacca, Ed., *Computer and Information Security Handbook*, Second Edition, Burlington: Elsevier, 2013.
- [8] J. Yang, H. Xia, Y. Wang, and H. Tian, "Simulation of badminton sports injury prediction based on the internet of things and wireless Sensors, Microprocessors and Microsystem," *Microprocessors and Microsystems*, vol. 81, 2021. doi:10.1016/j.micpro.2020.103676
- [9] J. Liu, H. Liu, Y. Chen, Y. Wang, and C. Wang, "Wireless Sensing for Human Activity: A Survey," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 22, no. 3, pp. 1629-1645, 2020. doi:10.1109/COMST.2019.2934489
- [10] O. Deepa, and J. Suguna, "An optimized QoS-based clustering with multipath routing protocol for Wireless Sensor Networks," *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, vol. 32, no. 7, SS. 763-774, 2020. doi:10.1016/j.jksuci.2017.11.007
- [11] F. M. Malik, H. A. Khattak, A. Almogren, O. Bouachir, I. Din, and A. Altameem, "Performance Evaluation of Data Dissemination Protocols for Connected Autonomous Vehicles," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 126896-126906, 2020. doi:10.1109/ACCESS.2020.3006040
- [12] F. A. Al-Zahrani, "On Modeling Optimizations and Enhancing Routing Protocols for Wireless Multihop Networks," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 68953-68973, 2020. doi:10.1109/ACCESS.2020.2986010
- [13] N. S. S. Farheen, and A. Jain, "Improved routing in MANET with optimized multi path routing fine tuned with hybrid modeling," *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, Elsevier, 2020. doi:10.1016/j.jksuci.2020.01.001

- [14] D. J. S. Raj, "A Novel Hybrid Secure Routing for Flying Ad-hoc Networks," *Journal of Trends, Computer Science and Smart Technology*, vol. 2, no. 3, pp. 155-164, 2020. doi:10.36548/jtcsst.2020.3.005
- [15] S. Patel, and H. Pathak, "A mathematical framework for link failure time estimation in MANETs," *Engineering Science and Technology an International Journal*, 2021. doi:10.1016/j.jestch.2021.04.003
- [16] P. Tyagi, and D. Dembla, "Performance analysis and implementation of proposed mechanism for detection and prevention of security attacks in routing protocols of vehicular ad-hoc network (VANET)," *Egyptian Informatics Journal*, vol. 18, no. 2, 2017, pp. 133-139. doi: 10.1016/j.eij.2016.11.003
- [17] N. Todtenberg, and R. Kraemer, "A survey on Bluetooth multi-hop networks," *Ad Hoc Networks*, vol. 93, 2019. doi:10.1016/j.adhoc.2019.101922
- [18] D. He, W. Sun, and L. Shi, "The Novel Mobility Models Based on Spiral Line for Aerial Backbone Networks," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 11297-11314, 2020. doi:1109/ACCESS.2020.2965616
- [19] B. H. Khudayer, M. Anbar, S. M. Hanshi, and T. Wan, "Efficient Route Discovery and Link Failure Detection Mechanisms for Source Routing Protocol," *Mobile Ad-Hoc Networks*, vol. 8, pp. 24019-24032, 2020. doi:1109/ACCESS.2020.2970279
- [20] O. S. Oubbati, M. Atiquzzaman, P. Lorenz, M. H. Tareque, M. S. Hossain, "Routing in Flying Ad Hoc Networks: Survey, Constraints, and Future Challenge Perspectives", *IEEE Access*, vol. 7, pp. 81057-81105, 2019. doi:10.1109/ACCESS.2019.2923840

This is an open access article under the CC-BY license

