

Araştırma Makalesi

İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ HAREKET VE YÖNLENDİRME PROTOKOLLERİNE GÖRE PERFORMANS ÖLÇÜMÜ

Nurullah Onurhan YALÇIN[†], Ali BOYACI^{††}

[†]İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye

^{††}İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İstanbul, Türkiye

nonurhan.yalcin@istanbulticaret.edu.tr, aboyaci@ticaret.edu.tr

<https://orcid.org/0000-0002-6678-4333>, <https://orcid.org/0000-0002-2553-1911>

ÖZET

Kablosuz ağların gelişmesi ve yaygın kullanımındaki artışlar beraberinde küresel ihtiyaçlara göre şekillenen İnsansız Hava Araçları (İHA) kullanımını yaygınlaştırmıştır. İHA'lar günümüzde askeri ve coğrafi keşifler, sağlık, arama kurtarma ve ulaşımı zor noktalardan görüntü aktarımını sağlamaktadır. Kritik görevler üstlenebilmesinden ötürü İHA'lar hızlı ve dinamik hareketlilik modellerine ve bu hareketlilik modellerine uygun yönlendirme protokollerine ayak uydurabilmeli, kaliteli ve kesintisiz bağlantılar için uygun protokollerle çalışmalıdır. Hareketlilik konusunda sınırı olmayan bu araçların yaygınlaşmasıyla günümüzde kapsama, iletişim ve etkin paket yönlendirmeleriyle ilgili protokoller araştırma konusu olmuştur. Bu araştırma konumuzda mobil İHA'ların farklı hareketlilik modelleri baz alınarak çeşitli yönlendirme protokollerine göre kıyaslamaları yapılmış, çıkan sonuçların paket boyutu ve düğüm sayıları referans alınarak kıyaslamalı grafikler elde edilmiştir. Senaryomuz için AODV, DSDV ve OLSR yönlendirme protokolleri kullanılmış, bu yönlendirme protokolleri için Gauss Markov, Random Waypoint ve Random Walk 2D hareketlilik modelleri kullanılmıştır. Simülasyonumuzdaki trafik modellemesi NS3 Network Simulator yazılımı üzerinde test edilerek gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: AODV, DSDV, OLSR, NS3, Random Waypoint, Random Walk 2d, Gauss Markov, İHA, MANET, Drone

PERFORMANCE MEASUREMENT OF HUMAN AIRCRAFT ACCORDING TO MOTION AND DIRECTION PROTOCOLS

ABSTRACT

The development and widespread use of wireless networks have increased the use of Unmanned Aerial Vehicles (UAV) that are shaped according to global needs. Today, UAVs provide images from military and geographical discoveries, health, search and rescue and hard to reach places. Because they can undertake critical tasks, UAVs must be able to keep up with the fast and dynamic mobility models and the routing protocols appropriate to these mobility models, and work with the appropriate protocols for quality and uninterrupted connections. With the spread of these tools, which have no limits in terms of mobility, protocols related to coverage, communication and effective packet routing have been the subject of research. In this research topic, mobile UAVs were compared according to various routing protocols based on different mobility models, and comparative graphs were obtained by reference to packet size and node numbers of the results. AODV, DSDV and OLSR routing protocols were used for our scenario and Gauss Markov, Random Waypoint and Random Walk 2d mobility models were used for these routing protocols. The traffic modeling in our simulation was tested on NS3 Network Simulator software.

Key Words: AODV, DSDV, OLSR, NS3, Random Waypoint, Random Walk 2d, Gauss Markov, UAV, MANET, Drone

1. GİRİŞ

Son yıllarda teknolojik gelişmelerin hızla büyüdüğü dünyamızda global ihtiyaçlar artmış ve beraberinde yeni sistemlere olan gereksinimlere yönelik araştırmalarda farklı metotlara gidilmiştir. Hem doğa hem insan hayatının önem teşkil ettiği yeryüzünde İHA kullanımı etkin bir şekilde gelişmektedir. İHA'lar pilotu olmadan havada 3 boyutlu hareket eden elektrikli aletlerdir. Otopilot yazılımı kullanılarak uzaktan kontrol edilebilir veya otonom olarak uçabilirler. İHA'lar popüler olarak dronlar olarak bilinir (Lara, Hermocilla, & Mercado, 2017). Önceden programlanmış yazılımlarla veya bir kontrol merkezinden kumanda edilerek ihtiyaçlar doğrultusunda görevlerini yerine getirirler. Esnek ve etkili hareket kabiliyetleri sayesinde askeri, sağlık, coğrafi ve sivil uygulamalarda sıklıkla kullanılmakta olup zaman ve ekonomik kazanç konusunda etkili olduğu gözlemlenmektedir. Erişimin zor ve maliyetli olduğu alanlarda oldukça sık kullanılmaktadır. Ayrıca taban düğümleri ile ortak ağlar oluşturmak için dağıtılabilir. Toprak ve hava düğümleri arasındaki işbirliği, stratejik konumlardaki verilerin yayılması, izlenmesi ve kontrolünde önemli kazanımlar sağlamıştır (Sayeed & Kumar, 2018). Belirli bir amaç için önceden otonom hale getirilmiş birden fazla İHA'nın bir alan üzerinde yaptığı keşiflerde birbirleriyle etkili ve kesintisiz bir şekilde iletişim kurmaları gerekir. Topladıkları verileri kendi aralarında veya yer istasyonuna iletimi sırasında yaşanan gecikmeler ve paket kayıpları, hareketli düğümlerin tabiatı gereği kaçınılmazdır. Hızlı hareket eden ve çok sık pozisyon değiştiren bu ağlara uygun bir hareketlilik modeli geliştirilmeli, geliştirilen bu hareketlilik modeline uygun bir yönlendirme protokolü uygulanmalıdır. Bu sistemlerin üzerindeki iletişimleri sağlıklı bir şekilde geliştirebilmek ve yorumlamak için öncelikle ağ yapılarını ele almak gerekir. Ağ yapıları tamamen ihtiyaca göre şekillenebilmektedir.

1.1. Tekli İHA Sistemleri

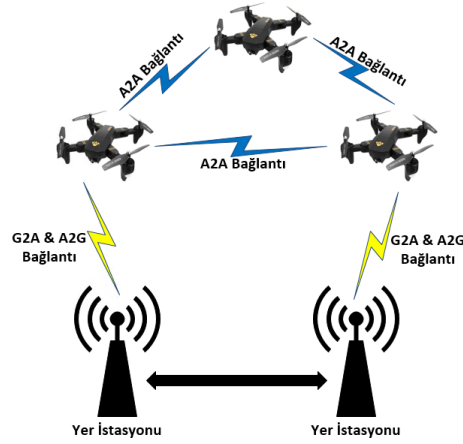
Tekli İHA sistemleri isminden de anlaşılacağı gibi tek bir İHA'nın belirli bir amaç için sabit veya mobil bir istasyon tarafından kontrol edilip yönlendirmesiyle oluşan sistemlerdir. Bu sistemler genelde askeri ve sivil keşifler, gözlem ve hobi amaçlı kullanılırlar. İHA üzerindeki ses ve görüntü alıcılarındaki bilgiler istasyona aktarılıp istenen amaca hizmet etmiş olurlar. Buradaki problem eğer İHA'nın arızalanması veya güç kaynağının tükenmesi durumunda toplamış olduğu bilgilerin kaybolabilme ihtimalidir.



Şekil 1. Tekli İHA Sistemi

1.2. Çoklu İHA Sistemleri

Çoklu sistemler birden fazla İHA'nın belirli bir amaç için senkron ve koordineli bir şekilde çalışmasıdır. Tekli sistemlere göre yedekli yapıda olduklarından kritik görevlerde daha etkin rol oynarlar. Doğası gereği enerjiyle beslenen bu sistemlerde enerji tükenmesi veya farklı bir hatadan doğan bir arıza İHA'yı kullanamaz hale getirirse, arızalı İHA üzerindeki dataları en yakınındaki istasyona veya topolojideki diğer İHA'ya göndererek veri kayıplarının minimuma indirilmesi hedeflenir. Tekli İHA sistemlerindeki gibi bir istasyona veriler akarken bu sistemlerde farklı olarak İHA'lar birbirleriyle de koordineli bir şekilde iletişim kurmaktadır. Topolojilerde dinamik olarak kendilerini yapılandırılırken kendi aralarında havadan yere (A2G), havadan havaya (G2A), havadan havaya (A2A) ve yerden yere (G2G) olmak üzere 4 farklı iletişim türü vardır. A2G bağlantıları havadan havaya görüntü ve video gibi verileri iletir. G2A iletişimi genellikle kontrol sinyalinin bir yer istasyonundan İHA'lara iletir. Çoklu İHA'lı ağlarda İHA'lar, geçici kararlar almak ve A2A iletişim bağlantı yoluyla veri alışverişini yapmak için İHA'ların kendi aralarında iletişim kurarak özel bir şekilde çalışabilirler. G2G bağlantıları, çok topraklı istasyonlar arasındaki iletişimi sağlar (Arafat & Moh, 2019).



Şekil 2. Çoklu İHA Sistemi

Tekli ve çoklu İHA ağ yapılarının incelenmesi Tablo 1’ de özetlenmiştir.

Tablo 1. Tekli ve çoklu İHA sistemlerinin karşılaştırılması

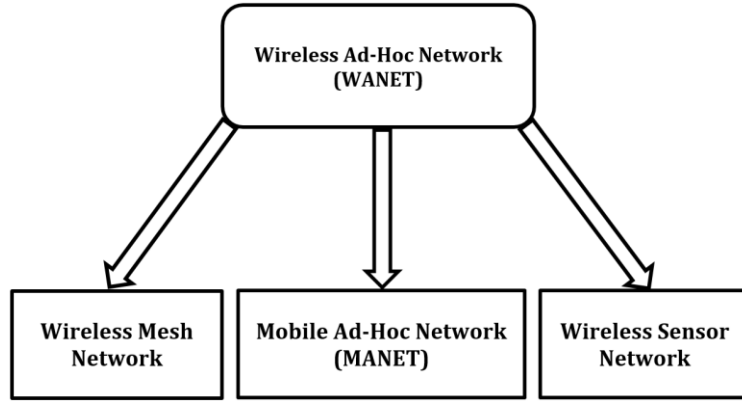
Sistemsel Özellikler	Tekli İHA Sistemleri	Çoklu İHA Sistemleri
Maliyet	Orta	Düşük
Uygulama Alanları	Dar alanlar	Geniş alanlar
Data Kalıcılığı	Düşük	Yüksek
Hata Toleransı	Düşük	Yüksek
Ağ Yapısı	Basit yapı	Karmaşık yapı
Yönetim Zorluğu	Kolay	Zor
Kendini Programlayabilme	Desteklemiyor	Destekliyor
Ölçeklendirilebilirlik	Düşük	Yüksek
Bant Genişliği(Bandwith)	Yüksek	Orta
Kritik Görev Üstlenebilme	Önerilmez	Önerilir

İHA ağ yapıları farklı bir boyutta incelenmesi gereken kendine has özellikleri olan ağlardır. Bilinen ağlardan farklı olarak aktif, 3 boyutlu, hızı ve pozisyonu sürekli değişebilen sistemler olduğundan standartların aksine kendine özel protokollerle haberleşmeleri gerekir. Bu hareketli yapıların doğası gereği paket kayıpları ve gecikmeler iletişimde problemler doğurmaktadır. Araştırmamızda mobil İHA'lara uygun bir hareketlilik modeli ve hareketlilik modeline uygun bir yönlendirme protokolü bulmayı hedeflemekteyiz. İncelediğimiz yapı Gauss Markov, Random Waypoint ve Random Walk 2d hareketlilik modelleri uygulanırken bu modellere uygun bir yönlendirme protokolü (AODV, DSDV, OLSR) bulmaktır. Her hareketlilik modeli için farklı yönlendirme protokolleri düğüm sayıları artırılarak çıkan sonuçların raporlanması hedeflenmektedir. Makale toplamda 6 kısımdan oluşacak olup, ikinci kısımda İHA haberleşmelerinde görülen problemler ve yönlendirme protokollerinden bahsedilecektir. Üçüncü kısımda hareketlilik modelleri, dördüncü kısımda simülasyon ortamı, beşinci kısımda simülasyon sonuçları ve altıncı kısımda sonuçlar değerlendirilecektir.

2. İHA HABERLEŞMELERİN DEĞERLENDİRİLMESİ VE YÖNLENDİRME PROTOKOLLERİ

İHA haberleşmeleriyle ilgili çalışmaya giriş yapmadan önce bu ağların genel değerlendirilmesinin özel dinamik ağlar (Ad-Hoc) olarak sınıflandırıldığı birçok bilimsel araştırmada mevcuttur. Ad-Hoc ağları birbiriyle sabit topoloji (altyapı) olmadan ve önceden belirlenmiş bir organizasyon olmadan iletişim kuran bir grup iletişim cihazı veya düğümdür. Bireysel düğümler doğrudan diğer düğümlerle iletişim kurma kapasitesine sahiptir. Bu ağlar Bluetooth, Wi-Fi vb. kablosuz teknolojiler kullanılarak oluşturulabilir (Sharmila & Shanthi, 2016). Doğrudan bağlı olmayan düğümler, trafiklerini ara düğümler üzerinden ileterek iletişim kurar. Her özel düğüm bir yönlendirici görevi görür. Özel ağların ana avantajları esneklik, düşük maliyet ve sağlamlıktır. Özel ağlar, ıssız yerlerde bile kolayca kurulabilir ve doğal felaketlere ve savaşa dayanabilir (Rubinstein & Moraes, 2006). Tasarsız ağlar genel

olarak Hareketli Tasarsız Ağları (MANET), Kablosuz Duyarga Ağları (WSN) ve Kablosuz Örgü Ağları (WMN) olmak üzere 3 kategoride sınıflandırılmaktadır. Sınıflandırmanın genel yapısı Şekil 3’de gösterilmiştir.



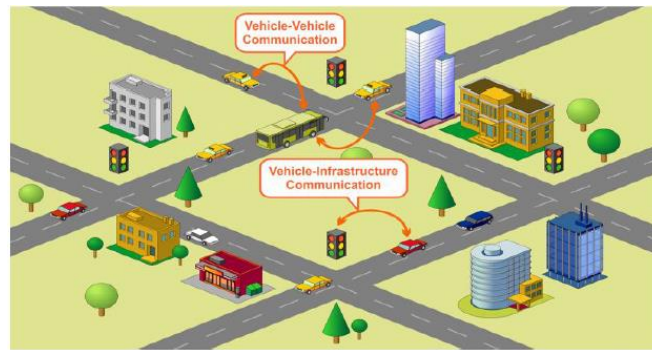
Şekil 3. Tasarsız Ağların Kategorizasyonu

2.1. Mobil Tasarsız Ağlar (MANET)

Ad-Hoc ağlarının bir alt türü olan MANET’ler, rastgele veya önceden çizilmiş bir rotayı takip edebilen kablosuz altyapı kullanan mobil cihazlar kümesidir. Bu ağlarda her cihaz bir düğüm kabul edilirken her düğüm kendi yönlendirme protokolünü ve kendi hareketlilik modelini kullanarak serbest dolaşım özgürlüğüne sahip olurlar. MANET’ler son derece esnek ve her düğüm bağımsız olarak, herhangi bir rasgele yönde hareket etmekte serbesttir. MANET’teki her bir düğüm, trafiği düzgün bir şekilde yönlendirmek için gereken bilgileri sürekli olarak tutar (Valentina, Stojanovic, & Rakas, 2009). Herhangi bir coğrafi noktadan bağımsız olarak istenen bilgilere çok rahat bir şekilde erişebilirlerken yer-zaman bağımsız bir şekilde kullanılabilirler. Birçok avantajının yanında paket yönlendirmelerdeki kayıplar, ağ haberleşmelerindeki güvenlik, topolojisinin çok sık değişmesinden doğan iletişim kopuklukları gibi dezavantajları da bulunmaktadır.

2.2. Araç Tasarsız Ağları (VANET)

VANET’ler işlevsel olarak MANET’lerin bir alt kategorisi olarak değerlendirilebilir. Birbirinden bağımsız mobil araçların ve diğer bağlantı cihazlarının sensörlü kablosuz bir ortam üzerinden bağlandığı ve birbirleri arasında ihtiyaç duyulan bilgilerin alışverişini yapan ağlar anlamına gelmektedir. Bu sistemlerde araçlar kendi aralarında bir ağ oluşturur ve araçlar üzerlerinde bulunan verileri diğer araçlara aktarır. Aktarılan bu verilerde işlendikten sonra diğer araçlara benzer metotla iletilir (Tomar, Prateek, & Sastry, 2016). Bu yapılarda araçlar arası bilgileri toplayan veya komut gönderen bir istasyonda bulunmaktadır. Sürüş güvenliği, kaza önleme, alkollü sürücü tespit ve askeri araçların rota keşif bilgilerinin paylaşımında sıklıkla kullanılmaktadır.

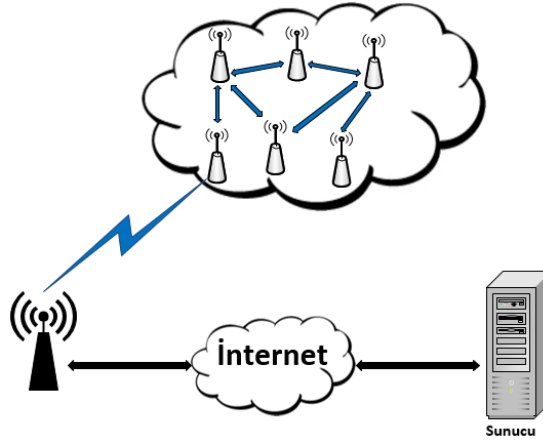


Şekil 4. VANET Yapısı

2.3. Kablosuz Duyarga Ağları (WSN)

Çeşitli ölçüm, otomasyon, takip ve savunma sanayi sistemlerinde kullanılan birden fazla duyarganın oluşturduğu ad-hoc ağlarıdır. Duyarga düğümleri birbirleriyle ve bir baz istasyonu ile iletişim kurar. Belirli bir karara varmak için işbirliği yapan algılayıcıların toplamına Kablosuz Duyarga Ağları (WSN) denmektedir. Bu tür kararlar için bilgiler, baz istasyonları olarak bilinen çok sayıda merkezi konumlu düğümde toplanır (Bhende, Wagh, & Utpat,

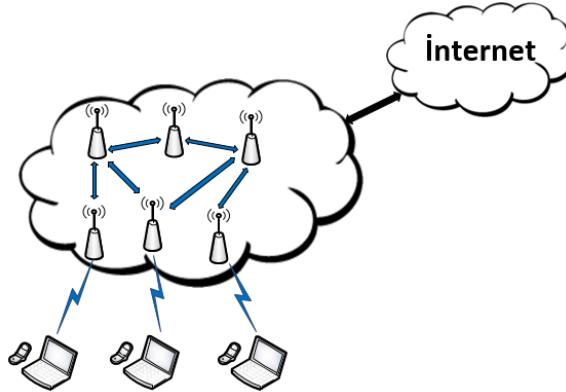
2014). Düğümler, kablosuz telsizlerini kullanarak birbirleriyle iletişim kurarak uzaktan işleme, görselleştirme, analiz ve depolama sistemlerinin duyarğa verilerini yaymalarına olanak tanır. Günümüzde en çok hareket, ışık, sismik hareketler, basınç algılama gibi veri toplama amaçlarıyla kullanılır. Her MANET’de olduğu gibi bu ağlarda enerjiden beslenir ve enerjisi tükenen duyarğaların genelde ömrü dolar.



Şekil 5. WSN Ağ Yapısı

2.4. Kablosuz Örgü Ağları (WMN)

Kablosuz örgü ağları ağ yönlendiricileri ve istemci tarafından oluşan, dinamik olarak kendilerini yapılandıran ve otomatik olarak Ad-Hoc ağı oluşturan sistemlere denir. Geleneksel bir kablosuz yönlendiricideki gibi ağ geçidi işlevleri için yönlendirme yeteneği dışında, bir kafes yönlendiricisi, kafes ağını desteklemek için ek yönlendirme işlevleri içerir. Çok sıramalı iletişim sayesinde, aynı kapsama çok daha düşük iletim gücüne sahip bir ağ yönlendiricisi tarafından sağlanabilir. Ağın esnekliğini artırmak için, ağ yönlendiricisi genellikle aynı veya farklı kablosuz erişim teknolojilerine dayanan birden çok kablosuz arabirim ile donatılmıştır. Ağ yönlendiricileri minimum hareketliliğe sahiptir ve ağ istemcileri için ağ omurgasını oluşturur. Bu nedenle, ağ istemcileri bir yönlendirici olarak çalışabilse de, onlar için donanım platformu ve yazılımı ağ yönlendiricileri için olanlardan çok daha basit olabilir. Ağ istemcilerinde ağ geçidi veya köprü işlevleri yoktur, ağ istemcisinde yalnızca tek bir kablosuz arabirim gerekir (Akyildiz & Wang, 2005).



Şekil 6. Kablosuz Örgü Ağ Yapısı

2.5. İHA Ağlarının Ad-Hoc Üzerinden Değerlendirilmesi ve Yönlendirme Protokolleri

İHA’ları en etkili bir biçimde kullanmak için çoklu yapıların içinde değerlendirmek gerekir. Bu yapılarla ilgili yapılan araştırmaların çoğunda İHA ağları tasarsız ağlar olarak ele almaktadır. MANET’ler ve VANET’lerle ilgili araştırmalarda genellikle İHA ağlarına atıfta bulunulur fakat bu ağlar İHA’ların özelliklerini tam olarak ele alamaz. İstenilen tasarıma göre İHA’lar yavaş, sabit veya yüksek hareketlilik gösterir ve bu ağın çok daha dinamik değiştiğini göstermektedir. İHA’lar aynı zamanda birbirleri arasında iletişimi sürdürürebilmek için havada baz istasyonu (sunucu) olma görevini üstlenebilmektedir. Bu görevi devralan düğüm, yer istasyonu ile diğer düğümlerin haberleşmesine olanak sağlayabilmek için diğer tüm düğümlerle yeni bir topoloji oluşturarak iletişimin yeniden şekillenmesine olanak sağlar. Bu eşsiz yapı nedeniyle İHA’lar, MANET ve VANET ağlarının aksine, alty

ı tabanlı ağlar gibi davranabilir. Altyapı tabanlı çalışmasının getirisi olarak bu sistemler kontrol istasyonu ve kendi içlerinde iletişim ve etkileşim halinde olmasına olanak sağlarlar.

Diğer tasarsız ağlarından farklı olarak bu sistemler özel ağ omurga yapısı oluşturup kendi kendilerini düzenleyebilirlerken kumanda veya kontrol merkezlerinden gelen mesajlarda yönlendirebilmektedirler. Kontrol merkezi acil durumlarda kararların desteklenmesi için bilgi çıkarmak üzere veri işleyebilir. Yukarıda açıklanan İHA düğümlerinin benzersiz özellikleri nedeniyle mobil geçici ağlar (MANET'ler) için tasarlanmış olan mevcut ağ yönlendirme algoritmaları güvenilir iletişim sağlayamaz. İHA mobilitesi gerektiren uygulamalarda, daha fazla kesinti olasılığı vardır (Gupta, Jain, & Vaszkun, 2016). İHA'ların tasarsız ağlarına göre farklılıkları Tablo 2'de özetlenmiştir.

Tablo 2. Tasarsız Ağlar ve İHA Ağları

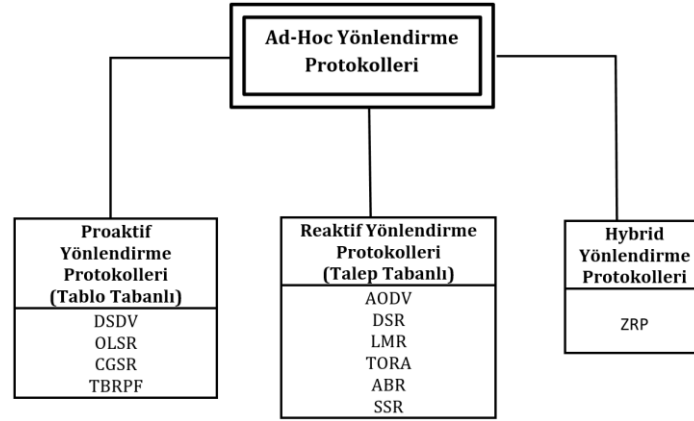
	Tasarsız Ağlar		İHA Ağları
	VANET	MANET	
Yönetim Zorluğu	Kolay	Orta	Zor
Altyapı	Sunucu - İstemci	Sunucu - İstemci	Hem sunucu hem istemci olabilirler
Hareketlilik Modeli	Düzenli	İsteğe bağlı	Önceden belirlenmiş
Topoloji değişimi	Orta	Düşük	Hızlı
Topolojik Hareketlilik	2d	2d	3d
Hareketlilik	Orta	Düşük	Yüksek
Kullanım Alanları	Trafik bilgisi, araçlardan bilgi toplama, araç tanıma, kontrolsüz kavşak kazalarını önleme	Sensor ağları, ticari sektörler, ev veya işyeri ağları, askeri, arama kurtarma - afet	İnsan erişiminin tehlikeli olduğu tüm sivil ve askeri uygulamalar, arama-kurtarma, gözlem
Yönetim Zorlukları	Orta	Kolay	Zor
Düğüm Hızları	Yüksek	Düşük	Değişken

İHA gibi sistemler kritik görevler üstlenebildiklerinden aralarındaki iletişimin ayakta kalabilmesi oldukça önemlidir. Topolojisi dinamik olarak değiştiğinden aralarında güvenli bir iletişimin sağlanması ve bu iletişim için gerekli protokollerin en uygun şekilde seçilmesi gerekmektedir. Eğer bir düğüm başarısız olursa yerine bir başka düğüm geçmeli, kendini düzenlemeli ya da üzerindeki verileri diğer düğüme aktarmalıdır. Bu sistemlerin doğası gereği kaçınılmaz bu tür problemler halen araştırma konusudur.

2.6. Ad-Hoc Ağlarının Yönlendirme Protokolleri

Ad-Hoc ağları sabit bir altyapısı olmadan iletişim kuran hareketli düğümlerin işbirliği içinde çalıştığı ağlardır. Bu ağlarda düğümler bağımsız ve rastgele hareket ettiğinden çok sık rota değişimi olmakta ve ağın mevcut altyapısında sürekli olarak topolojik değişimler beklenmektedir. Bu sistemlerin tabiatı gereği oluşan farklılıklarda her düğüm aktif olarak diğer düğümlerin konum bilgisini tespit etmekle ve kendi konum bilgisini diğer düğümlerle paylaşmakla yükümlüdür. Her düğüm başı başına bir yönlendirici görevini üstlenir, yönlendirme tablosunu üstünde tutar ve dinamik olarak diğer düğümlere bu bilgiyi gönderir. Burada yaşanan zorluklar ise düğümlerin doğru ve etkili bir yol oluşturması, paketlerin doğru zamanda teslim edilmesidir. Tasarsız ağlardaki yönlendirmenin temel amacı, önceden belirlenmiş topoloji veya merkezi kontrol olmadan veri paketlerinin düğümler arasında etkili bir şekilde sunulmasıdır (Sahadevaiah & Ramanaiah, 2010).

Tasarsız ağlar görev, işlev veya performanslarına göre üç ana sınıfa ayrılır. Bunlar Proaktif (tablo güdümlü), Reaktif (isteğe bağlı), ve bunların kesişimi gibi düşünülen hibrit yönlendirme protokolleri olarak maddelere ayrılabiliriz.



Şekil 7. Ad Hoc Yönlendirme protokolleri

Makalemizin bu kısmında yaygın olarak kullanılan Ad-Hoc ağlarında proaktif yönlendirmelerden olan DSDV ve OLSR, reaktif yönlendirmelerden AODV protokollerinin temel kısımları ele alınacaktır.

2.6.1. Tablo Tabanlı (Proaktif) Yönlendirme protokolleri

Proaktif (tablo tabanlı) yönlendirme her düğümün hedef nokta için yönlendirme bilgisini kendi tablolarında tuttukları protokollerdir. Düğümler aktif olarak diğer düğümlere kendi tablosunu ileterek tüm ağa konum bilgilerini anons eder ve bu periyodik olarak devam eder. Ağdaki düğümlerin düzeninin aktif bir şekilde bildirilmesi gereken yapılarda ve rota bilgilerinin sık bir şekilde anons edilmesi gereken yerlerde tercih edilir.

Bu protokolün avantajları arasında rotaların hazır bulunması ve rota bilgilerinin aktif aktarımları sırasında uçtan uca gecikmenin az olması, dezavantajları arasında da fazla hareketli ağlarda ek kontrol yüklerinin olması gösterilebilir (Qadri & Liotta, 2009).

2.6.1.1. Dinamik Hedef Sıralı Uzaklık Vektörü (DSDV)

DSDV protokolündeki tüm istasyonlar yönlendirme tablosunu belirli bir periyotlarda güncelleyip göndermekle yükümlüdür. Topolojideki her düğüm hedef istasyona erişmek için ulaşılabilir istasyonların listesini çıkarır ve bu istasyona erişmek için kaç düğümden atlama yapması gerekiyorsa listesini oluşturup diğer düğümlere sürekli olarak yayımlar.

DSDV mobil ad hoc ağları için bilinen en önemli yönlendirme protokollerinden biridir. Bu protokol mevcutta bulunan tüm varış yerlerini, varış noktasına ulaşacak düğüm sayısını ve hedef düğüm tarafından atanan sıra numarasını listeleyen bir yönlendirme tablosunu tutar. Sıra numarası eski rotaları yenilerinden ayırmak ve böylece ilmek oluşumunu önlemek için kullanılır. Bu nedenle, güncelleme hem zamana dayalı hem de olaylara göre düzenlenmiştir. Hızlı değişen bir ağda, artan paketler büyüyebilir (Saxena, Raj, & Kumar, 2013). Ağda performanslı çalışması için orta veya düşük derecede hareketlilik modeli ve birkaç düğüm sayısı ile çalışmalıdır. Avantajları arasında yönlendirme döngülerinin oluşmaması ve bu sebepten ötürü gecikmenin oluşmaması gösterilebilirken dezavantajları arasında yönlendirme tablosunu sürekli olarak güncelleme gereksiniminden ötürü yüksek trafik yükü problemi oluşmakta ve buda fazla enerji kullanımına yol açmaktadır. Düğüm sayısı fazla olan ve hareketliliği yüksek olan topolojilere pek uygun değildir.

2.6.1.2. İyileştirilmiş Bağ Durumu Yönlendirme Protokolü (OLSR)

OLSR protokolü ağda gerçekleşen değişikliklerin tüm düğümlere taşınmasını sağlayan ve ağın kararlılığını optimum seviyede tutan bir yönlendirme protokoldür. Düğümlerin üzerinde bulunan yönlendirme tabloları diğer yönlendirme protokollerinde olduğu gibi periyodik olarak diğer düğümlere iletilir fakat bu protokolda bu iletim frekansı daha kısa tutularak değişikliklerin algılanması en optimum seviyede tutulur.

OLSR protokolünde düğümler komşularını tanır ve ağdaki adreslerini kaydedip gecikmeleri veya maliyetleri ölçüp bilgilerin temsil eden bir paket oluşturarak bilgi alışverişinde bulunur. Bu paketleri tüm yönlendiricilere gönderir ve diğer tüm yönlendiricilere en kısa rotayı hesaplar. Sadece kontrol mesajlarını gönderdiğinden ağdaki bant genişliğini optimum seviyede tutar. Dinamik hareketliliği destekleyen yoğun düğümlerin kullanıldığı merkezi bir istasyona bağlı kalmayan kararlı bir protokoldür (Fotohi, Jamali, & Sarkohaki, 2013). Avantajları arasında noktadan noktaya gecikmenin az olması, hızlı değişen topolojilere uyumlu olması ve sadece kontrol paketlerinin

iletilmesi sebebiyle gecikmelerin az olması gösterilir. Düğümlerin gideceği güzergâhların artması yönlendirme protokolündeki yükü arttırmaz ve bu da rota bulmak için gecikmelere yol açmaz. Dezavantajları arasında ise topolojide yaşanan kopukluklarda tekrardan iletişimin sağlanması için zaman harcanması, gecikmelere sebep olabilmesi ve komşuluk bilgisini daimi olarak üzerinde tutma gereksinimi gösterilebilir. Topolojide güncellenme olması durumunda bu bilgiyi tüm ağa gönderir, bu da daha fazla bant genişliği kullanımına yol açar. Optimum yolları bulmak ve hesaplamak için fazladan işlem gücü harcar.

2.6.2. Talep Tabanlı (Reactive) Yönlendirme Protokolü

Reaktif yönlendirme sadece ihtiyaç halinde diğer düğümlere rota bilgisinin iletildiği bir tasarsız yönlendirme protokolüdür. Ağda rota bilgisi bulunmayan herhangi bir düğümün bu bilgiye sahip olan başka bir düğümden topolojideki rota bilgilerini talep etmesiyle mesaj alışverişi başlar.

Reaktif protokoller, proaktif yönlendirme protokollerindeki gibi aşırı kullanılan gücü korumak için tasarlanmıştır. Reaktif yönlendirme protokolünün tasarımında rota bilgisi anlık olarak keşfedilir. Bir düğümün diğer düğümlerle iletişim kurması gerektiğinde rota keşif işlemi olarak adlandırılan bir işlemi başlatır ve gönderici düğümden hedefe giden yolu belirler (Saxena, Raj, & Kumar, 2013).

Topolojideki bir düğüm bir hedefe ulaşmak veya veri gönderimi gerçekleştirmek isterse rota belirleme işlemi devreye girer ve istek paketlerini başlatır. Herhangi bir düğüme giden istek paketleri başarısız olursa diğer düğümler bunu yönlendirme tablosundan silerler. Bu çalışma prensibinin getirisi olarak proaktif yönlendirme protokolüne göre daha az bellek ve depolama alanı harcar, ağdaki trafik yükünü hafifletir. Ancak düğüm sayısı artarsa bu rota bilgi paketlerinin iletiminde gecikmelere yol açar.

2.6.3. Eşe-eş İsteğe Bağlı Uzaklık Vektörü (AODV)

AODV protokolü MANET'lerde talep tabanlı çalışan, düğümler arasındaki rotaların ihtiyaç halinde kurulduğu bir protokoldür. Minimuma indirgenmiş ek kontrol paket yükleriyle minimum paket gecikmeleri sağlayarak verimli iletişimi sağlayan bir yönlendirme protokolüdür. Yönlendirme bilgilerinde aktif rotaları saklar ve sadece daha önce iletişime girmediği bir düğüme paket iletileceğinde rota belirleme algoritmasını çalıştırır. DSDV protokolünden farklı olarak tüm rota listesini tablosunda tutmaz, talep gelmesiyle gideceği rotayı oluştur ve böylelikle ağdaki minimum kontrol yükleriyle gecikmeleri azaltırken performansı arttırabilir.

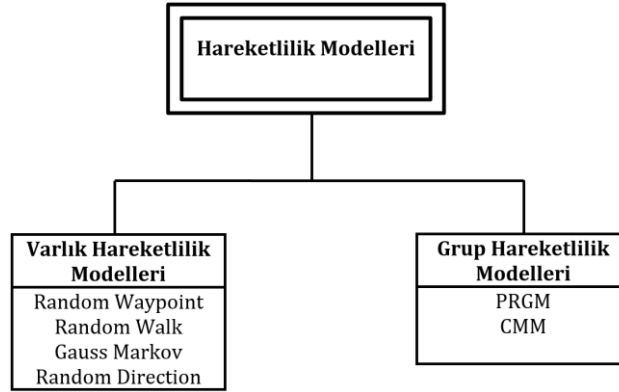
AODV, esas olarak hem DSR hem de DSDV algoritmalarının bir kombinasyonu olmasına karşın farklı olarak AODV'de paketler sadece hedef adresi taşır. Bu AODV'nin potansiyel olarak DSR'den daha az yönlendirme giderine sahip olduğu anlamına gelir. Diğer bir fark ise DSR'deki rota cevaplarının rota boyunca her düğümün adresini taşımasıdır, oysaki AODV'de rota cevapları sadece varış IP adresini ve sıra numarasını taşır. Bununla birlikte, düğüm yol yapımı sırasında büyük gecikmeler yaşayabilir ve bağlantı hatası, ek gecikmelere neden olan ve ağın boyutu arttıkça daha fazla bant genişliği tüketen başka bir rota keşfi başlatabilir (Sahadevaiah & Ramanaiyah, 2010). Avantajları arasında hızlı ve dinamik değişen ağlarda uygulanabilmesi, rota keşiflerinin hızlı ve düşük gecikmeli olması aynı zamanda hedefe giden rotayı bulmak için sıra numaraları kullanması gösterilebilirken, dezavantajları arasında gideceği hedef rota için fazla sayıda mesaj iletmesi sebebiyle ek kontrol paket yükü gereksinimi doğar ve topolojideki değişimlerde eski sıra numaraları tutarsız paket iletimine yol açabilmesi gösterilebilir. Topolojideki düğümlerin sayısının fazla olması ekstra gecikmelere yol açabilir.

2.6.4. Hybrid Yönlendirme Protokolleri

Hybrid yönlendirme protokolü proaktif ve reaktif yönlendirme protokolleri gibi davranan, ağın belirli birbirine yakın düğümlerin haberleşmesi için proaktif, uzak bölgelerdeki düğümlerle haberleşirken reaktif çalışan bir yönlendirme protokolüdür. Hem reaktif hem de proaktif yönlendirme protokollerinin özelliklerini birleştirir ve proaktif yönlendirme protokolündeki kontrol paketlerinin yükünü azaltmak, reaktif yönlendirme protokolündeki keşif mekanizmasından doğacak gecikmeleri azaltır (Sagtani & Kumar, 2014). ZRP ve FSR gibi yaygın kullanılan protokoller mevcuttur. Avantajları arasında ölçeklendirilebilir olmaları, ağın alt bölgelere ayrılıp kendi aralarında haberleşme olması sebebiyle gecikmelerle yükün az olması gösterilebilirken dezavantajları arasında karmaşıklık olması gösterilebilir.

3. İHA İLETİŞİMİNDEKİ OLASI HAREKETLİLİK MODELLERİ

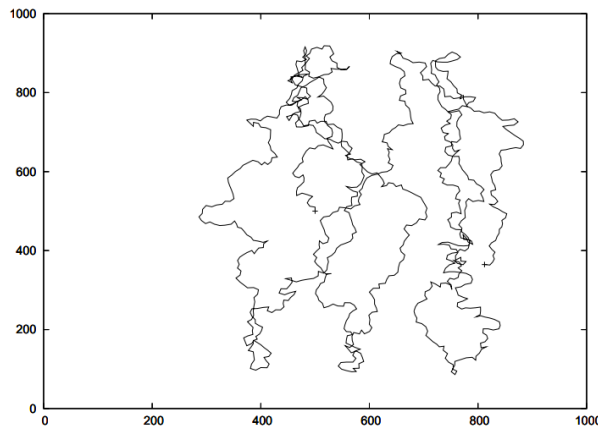
Hareketlilik modellerinin ana rolü, gerçek kullanıcıların hareket davranışlarını taklit etmektir. İHA'lar kontrol mekanizmasına göre hızlı veya yavaş hareket edebilen parametrelerle donatılmış yazılım tabanlı ağ cihazlarıdır. Ağdaki her hareketli düğümün başlangıçtaki konumu, hız değişimleri ve hareket ettiği yön bir bütün olarak değerlendirilmeli, yine bu parametrelerin İHA yapılarına göre bağımsız veya planlı bir güzergâhta grup olarak hareket ettikleri göz önünde bulundurulmalıdır. Hareketlilik modelleri İHA'ların yön ve hızlarının değişimlerinin nasıl olması gerektiğiyle ilgili tasarıma olanak sunar. İhtiyaca göre yönetilecek bu sistemler için en uygun hareketlilik modelinin seçilmesi, bu modele en uygun yönlendirme protokollerinin belirlenmesi, düğümlerin mevcut konumları, hız değişimleri çeşitli matematiksel formüllerle hesaplanabileceği gibi çeşitli simülasyon ortamlarında da test edilebilir. Makalenin bu kısmında seçtiğimiz 3 hareketlilik modeli açıklanacaktır.



Şekil 8. Hareketlilik Modelleri

3.1. Gauss Markov Hareketlilik Modeli

Gauss-Markov hareketlilik modeli MANET'lerde topolojideki İHA'ların davranışlarını simüle etmek için kullanılan hareketlilik modelidir. Bu yapıda simülasyon yapılan alanın boyutu değişken olup düğümlerin konumu hareketliliğin yüksek olması sebebiyle önceki konumlarına yönlendirilir. İHA'ların gideceği güzergâh, Gauss-Markov modelinin belleği tarafından önceden belirlenirken düğümlerin hareketliliği belirli bir hız ve rota ile hesaplanır (Kumari, Sah, & Maakar, 2015). Düğümler harekete başladıktan sonra hızdaki bağlantılar ve ani yön değişimleri yeni bir parametre olarak öngörülüp yeniden hesaplama yoluna gidilir. Özet olarak her İHA ilk olarak belirlenmiş bir hız ve yöne göre ayarlanır, hareketlilik modeli çalışmaya başladıktan sonraki geçen süre içerisinde düğümlerin hareket yönü ve hızı rastgele olarak son konuma göre güncellenir.

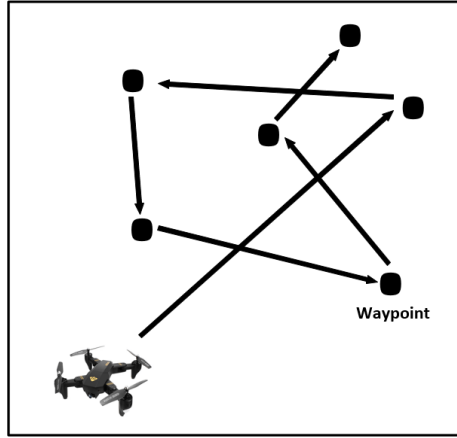


Şekil 9. Gauss Markov Hareketliliği

3.2. Random Waypoint Hareketlilik Modeli

Random Waypoint hareketlilik modeline göre topolojideki tüm düğümler rastgele bir hedef seçer, bu hedefe doğru yine rastgele seçilen bir hız ve düzgün bir çizgide hareket eder. Hedefe ulaştıktan sonra, duraklama süresi olarak belirlenen bir zaman dilimi içerisinde belirli bir süre durur ve işlem kendini tekrar eder. Topolojideki her düğüm hedefini seçer ve alan içinde rastgele hareket eder. Mobil Ad-Hoc ağlarının simülasyonunda çok sık

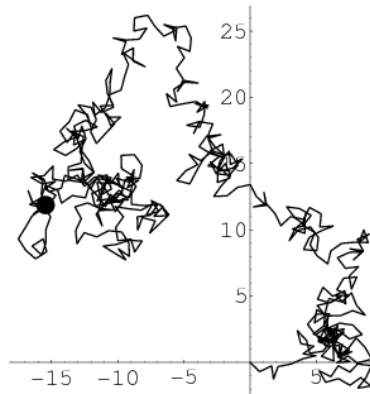
kullanılmaktadır çünkü insanların belirli bir alanda cep telefonu kullanma durumunu taklit ederken aynı zamanda alan içinde rastgele hareket ederler (Pramanik vd., 2015). İHA modellemesine uygulanırken her İHA simülasyon yapılan alan içerisinde herhangi bir yöne rastgele hareket ederken diğer İHA düğümlerinden bağımsız bir şekilde hedefini, hızını, varış yerini ve yönünü seçer.



Şekil 10. Random Waypoint Hareketliliği

3.3. Random Walk 2D Hareketlilik Modeli

Random Walk hareketlilik modeline mobil düğümler bir yerden diğerine herhangi bir kısıtlama olmaksızın rastgele ve serbestçe hareket eder. Doğadaki canlıların taklit mekanizması olarak düşünülüp, hedef, hız ve yön rastgele ve ağdaki diğer tüm düğümlerden bağımsız olarak seçilir. Bu hareketlilik modelinde bir mobil düğüm seyahat etmek için bir yön ve hız rastgele seçerek mevcut konumundan yeni bir konuma hareket etmektedir. Yeni hız ve yeni yönün her ikisi de önceden tanımlanmış aralıklardan seçilir (Borah & Sharma, 2015). Dinamik hareket eden tasarsız ağlarında oluşan tıkanıklığın kontrolü bu hareketlilik modeli için zorluk teşkil eder, aynı bağlantıların sağlanması için birden fazla paketler iletildiğinden diğer paketlerin düşmesine yol açmaktadır. Tasarimsal olarak Dünya yüzeyinin 2 boyutlu olarak modellenmesiyle oluşturulan bir yapı için idealdir. Düğümlerin hız karar mekanizmasında düğümün bir önceki hızı referans alınmaz rastgele seçilir. Bu tutarsız yaklaşımların ortadan kalkması için Gauss-Markov hareketlilik modeli daha uygun olacaktır.



Şekil 11. Random Walk 2D Hareketliliği

4. SİMÜLASYON ORTAMI VE TASARIM MODELLEMESİ

Son yıllarda havai fişeklerin çevreye verdiği zararlar göz önüne alındığından ve yasaklanması gündem olduğundan, yerini eğlence amaçlı, istenilen şekiller ve ışıklandırmalarla gösteri amaçlı kullanılabilen, İHA olarak sınıflandırılan drone'lara bırakabilmektedir. Her Ad-Hoc ağında olduğu gibi bu amaçla kullanılan hareketli ağlarda da düğüm sayısı arttıkça koordinasyon, haberleşme problemleri ve gecikmeler artmaktadır. Bu olumsuzluklar altında drone'ların veri kaybının en az olduğu şekilde birbirleriyle çarpışma gibi durumlara karşı gerçek zamana yakın tepki vermesi gerekmektedir.

Bu tarz senaryolar için yapılan İHA simülasyonlarında 3 farklı hareketlilik modeline 3 farklı yönlendirme protokolü uygulanmış ve ölçümleri yapılmıştır. Birinci senaryoda Gauss-Markov için sırasıyla AODV, DSDV ve OLSR, ikinci senaryoda Random Waypoint hareketlilik modeli için sırasıyla AODV, DSDV ve OLSR, son olarak üçüncü senaryoda Random Walk 2D hareketlilik modeli için sırasıyla AODV, DSDV ve OLSR uygulanmış ve bu üç farklı senaryoların performans ölçümü yapılmıştır. Simülasyon ortamı için Network Simulator (NS) yazılımı kullanılmış olup işletim sistemi ve gereksinimleri aşağıdaki tablodaki gibi verilmiştir.

Tablo 3. Simülasyon Ortam Gereksinimleri

Simulator	NS 3.28
OS	Ubuntu
Kernel	18.04.3 LTS
RAM	4 GB
Processor	4 GB
Hard Disk	15 GB

Bu simülasyon ortamında toplam 9 modelleme yapılmış olup her modelleme için sırasıyla 20'den başlayıp 20'şer artarak 200'e kadar olan düğüm sayılarıyla ölçüm yapılmış ve bu ölçüm sonuçlarının ortalamaları alınıp grafiksel değerlendirilmeleri yapılmıştır. Simülasyon ortamımızın parametreleri aşağıdaki tabloda paylaşılmıştır:

Tablo 4. Simülasyon Parametreleri

Parametreler	Değer
Simülasyon	NS 3.28
Yönlendirme Protokolü	AODV, DSDV, OLSR
Hareketlilik Modeli	Random Waypoint, Random Walk 2D, Gauss Markov
Paket Boyutu	1000 byte
Düğüm Sayısı	20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180, 200
Simülasyon Süresi	50 sn
Kanal Yayını	Wireless 802.11b
Düğüm Hızı	50 ms
String Rate	8 kbps
Simülasyon Alanı	1500*1500
Performans Çıktıları	Düğüm sayısı, Yönlendirme Protokolü, Hareketlilik, Avaraj Bitrate, Avaraj Kayıp, Avaraj Gecikme
Trafik Tipi	CBR
Pause Time	5 sn
Ağ Protokolü	IPv4

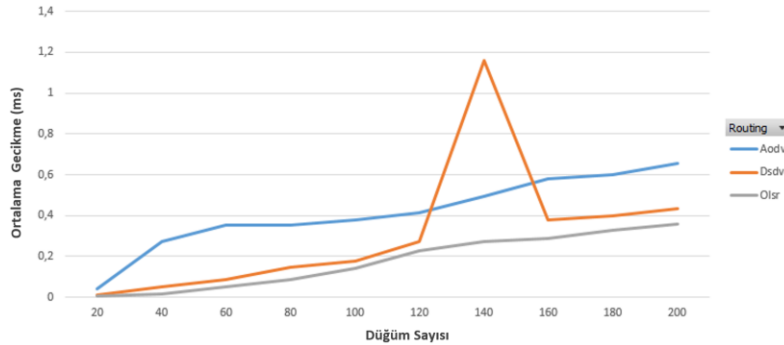
Simülasyonun C++ kodlarında gerekli düzenlemeleri yapıldıktan sonra 10 farklı düğüm kümesine göre senaryolar üretilmiştir. Senaryo üretirken python script'i kullanılmış ve performans çıktıları txt dosyasına yazdırılarak ortalamaları alınmıştır. Alınan ortalamalar hareketlilik modeli ve yönlendirme protokolüne göre çizelgeye oturtulup, düğüm sayısına bağlı ortalama gecikme (delay) çıktısı alınmıştır. Bu grafik çıktıları ve yorumlamaları 5. Bölümde gösterilmiştir.

5. UYGULAMA ÇIKTILARI VE PERFORMANS DEĞERLENDİRMELERİ

5.1. Random Waypoint Hareketlilik Modelinin Yönlendirme Protokollerine Göre Gecikme Süreleri

20 ile 200 arasında 20'şer artarak yükselen düğüm sayılarının olduğu simülasyonda düğüm sayısı – gecikme (delay) grafiğinin yönlendirme protokollerine göre çıktıları incelenmiş, düğüm sayısına göre uçtan uca gecikmeler baz alınarak grafik oluşturulmuştur. Random Waypoint hareketlilik modelinde düğüm sayısı arttıkça uçtan uca gecikme süreleri artış gösterirken OLSR protokolü en iyi sonucu vermiştir. Bunun sebebi heterojen hareketlilik gösteren Random Waypoint modelinde OLSR yönlendirme protokolünün noktadan noktaya gecikmelerinin az olması ve düğümlerin güzergahlarda sadece kontrol paketleri göndermesi olarak düşünülebilir.

İkinci en iyi performans sonuçları ise DSDV protokolünün verdiği gözlemlenmiştir. DSDV yönlendirme protokolünde yönlendirme döngülerinin olmamasından dolayı performansı AODV'ye göre daha yüksek çıkmış, yönlendirme tablosunu sürekli olarak güncelleme gereksiniminden ötürü performansı OLSR protokolünden düşük çıkmıştır. Düğüm sayılarının artması AODV protokolündeki kontrol paketlerinde artışa yol açtığından performans daha düşük çıkmıştır.

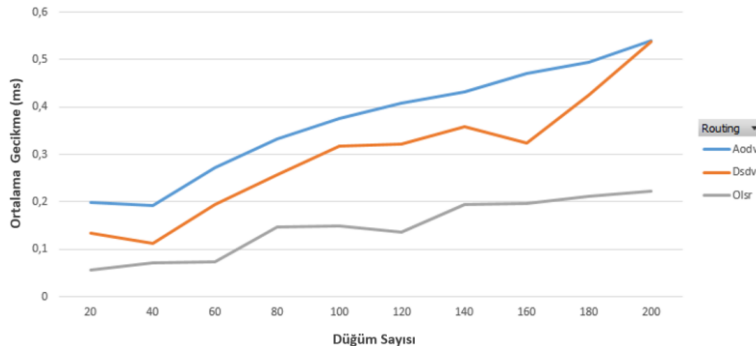


Şekil 12. Random Waypoint Gecikme Grafiği

5.2. Random Walk 2D Hareketlilik Modelinin Yönlendirme Protokollerine Göre Gecikme Süreleri

20 ile 200 arasında 20'şer artarak yükselen düğüm sayılarının olduğu simülasyonda düğüm sayısı – gecikme (delay) grafiğinin yönlendirme protokollerine göre çıktıkları incelenmiş, düğüm sayısına göre uçtan uca gecikmeler baz alınarak grafik oluşturulmuştur. Random Walk 2D hareketlilik modelinde düğüm sayısı arttıkça uçtan uca gecikme süreleri artış gösterirken OLSR protokolü en iyi sonucu vermiştir. Hareketlilik modelinde düğümlerin hareketleri, düğümün bir önceki hareketinden bağımsız olarak gerçekleşen Random Walk 2D hareketlilik modelinde OLSR, düğümlerin gideceği güzergâhların artması yönlendirme protokolündeki yükü arttırmaması ve bu da rota bulmak için gecikmelere yol açmaması olarak değerlendirilebilir.

İkinci en iyi performans sonuçları ise DSDV protokolünün verdiği gözlemlenmiştir. DSDV yönlendirme protokolünde yönlendirme döngülerinin olmamasından dolayı performansı AODV'ye göre daha yüksek çıkmış, düğüm sayısı fazla olan ve hareketliliği yüksek olan topolojilere pek uygun olmamasından ötürü performansı OLSR' den düşük çıkmıştır.

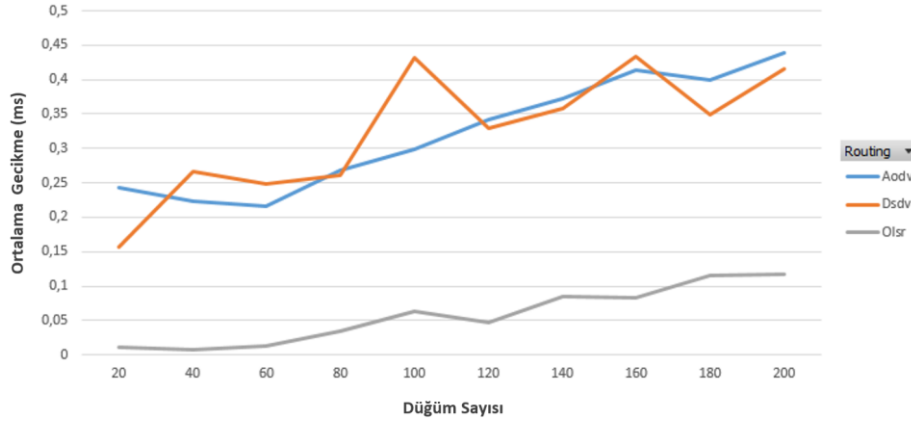


Şekil 13. Random Walk 2D Gecikme Grafiği

5.3. Gauss Markov Hareketlilik Modelinin Yönlendirme Protokollerine Göre Gecikme Süreleri

20 ile 200 arasında 20'şer artarak yükselen düğüm sayılarının olduğu simülasyonda düğüm sayısı – gecikme (delay) grafiğinin Gauss Markov hareketlilik modeline göre çıktıkları incelenmiş, düğüm sayısına göre uçtan uca gecikmeler baz alınarak grafik oluşturulmuştur. Gauss Markov hareketlilik modelinde düğüm sayısı arttıkça uçtan uca gecikme süreleri artış gösterirken OLSR protokolü en iyi sonucu vermiştir. Bunun sebebi keskin dönüşler ve beklenmedik duruşların Gauss Markov modelinde OLSR yönlendirme protokolünde düğümlerin topolojideki değişimleri en kısa atlama yollarını kullanması ve ağdaki tüm düğümler için bir sonraki atlama hedeflerini hesaplaması olarak yorumlanabilir.

İkinci en iyi performans sonuçları değerlendirilirse DSDV ve AODV protokollerinin ortalama aynı değerler verdiği gözlemlenmiştir.



Şekil 14. Gauss Markov Gecikme Grafiği

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Her Ad-Hoc ağlarının kendine özgü bir yapısı vardır. Konu bu ağlar olunca hareketlilik modelleri ve yönlendirme protokolleri de bu mimariye dahil edilmeli, uygun tasarım ve modellemelerle birlikte gerçekçi bir simülasyon ortamı oluşturularak elde edilen sonuçlar gerçeği yansıtmalıdır. Bu çalışmalarda kilit unsur gerçek bir ortamın davranışlarını taklit etmekten geçer. İHA ağlarındaki düğümlerin dinamik olması, ağıdaki haberleşme protokolünün kesinti olması halinde kendini yeniden organize etmesi ve kullanılacak yönlendirme protokolünün bu eşsiz ağlardaki istikrarı arttırmak için en iyi hareketlilik modelini kullanması gerekir. Kullanılacak hareketlilik modeli ve yönlendirme protokolü, gerçekçi ve doğru protokol simülasyonlarını desteklemedeki önemi her zaman göz önünde bulundurulmalıdır. Her modellemenin farklı özellikleri ve farklı amaçlara hizmet etmesi beklendiğinden bu çalışmalara başlamadan önce tüm modelleme olasılıklarının araştırılması yapılmalıdır.

Bu çalışmamızda belirli bir amaca hizmet eden ve otonom çalışan İHA'ların oluşturduğu farklı sistemler inşa edip İHA'lar için kullanılan 3 hareketlilik modeline sırasıyla 3 yönlendirme protokolü uygulayarak düğüm sayılarındaki artışa göre en iyi sonuç vereni araştırdık ve haberleşmeleri sırasındaki gecikmeleri ölçtük. OLSR yönlendirme protokolü kullanırken paket iletiminde görülen gecikme süresi en düşük Gauss Markov hareketlilik modelinde, en yüksek gecikme süresi ise Random Waypoint hareketlilik modelinde olduğu gözlemlenmiştir. DSDV yönlendirme protokolü kullanılırken paket iletiminde görülen gecikme süresi en düşük Random Waypoint hareketlilik modelinde, en yüksek gecikme süresi ise Random Walk 2D hareketlilik modelinde olduğu gözlemlenmiştir. AODV yönlendirme protokolü kullanılırken paket iletiminde görülen gecikme süresi en düşük Gauss Markov hareketlilik modelinde en yüksek gecikme süresi ise Random Waypoint hareketlilik modelinde olduğu gözlemlenmiştir.

Genel ortalamalara bakarsak 20-200 arası değişen İHA düğümlerinden oluşan bu Ad-Hoc ağlarında en iyi performansı elde edebilmek için Gauss Markov hareketlilik modeli ve OLSR yönlendirme protokolü kullanılabilir. Bu yazımızda NS3 yazılımını kullanarak gerçekçi bir İHA simülasyon ortamı oluşturduk ve elde ettiğimiz verileri karşılaştırarak belirlediğimiz üç yönlendirme protokolüne ve üç hareketlilik modeli uygulayarak en iyi performans vereni seçtik.

Bu tür ağlar için araştırmalarda odaklanması gereken birçok soru vardır; hangi protokoller bu ağlar için en uygundur? Ağ yapısı ölçeklendirilebilir mi? İletişimin en uzun süre devam etmesi için ağ ömrünün optimum yapılandırılabilmesi ve hangi mimarilerin geliştirilmesi gerektiği gibi birçok incelenmesi gereken konu vardır. Bu ağlar için önerilebilecekler ise Yazılım Tabanlı Ağ (SDN) ile yönetilebilen bir küme yapısı, paket iletiminde yaşanan sorunlarda hata toleransları, tüm İHA'ların koordinasyon ve kontrolünün en optimum düzeyde tutulması için düzgün bir şekilde görev planlaması yapılması, yoğun kullanılan sistemlerdeki karmaşıklığın giderilebilmesi için uygun algoritma seçimi gösterilebilir.

KAYNAKLAR

- Akyildiz, I. F., Wang X., 2005. A survey on wireless mesh networks. *IEEE Communications Magazine*, 43(9), S23–S30.
- Arafat M. Y., Moh S., 2019. A Survey on Cluster-Based Routing Protocols for Unmanned Aerial Vehicle Networks. *IEEE Access*, 10.1109(7), 2169-3536.
- Bhende M., Wagh S., Utpat A., 2014. A Quick Survey On Wireless Sensor Networks. *Fourth International Conference on Communication Systems and Network Technologies*, 2014.40.
- Borah A. M., Sharma B., 2015. A Survey of Random Walk Mobility Model for Congestion Control in MANET's. *International Journal of Computer Applications*, 111(7), 0975 – 8887.
- Fotohi R., Jamali S., Sarkohaki F., 2013. Performance Evaluation of AODV, LHC-AODV, OLSR, UL-OLSR, DSDV Routing Protocols. *I.J. Information Technology and Computer Science*, 10, 21-29, Modern Education and Computer Science Press.
- Gupta, L., Jain, R., Vaszkun, G. 2016. Survey of Important Issues in UAV Communication Networks. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 18(2), 1123–1152.
- Kumari K., Sah B., Maakar S., 2015. A Survey: Different Mobility Model for FANET. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, 5(6), 1170-1173.
- Lara G. C., Hermocilla J. A., Mercado D. J., 2017. Exploring RSSI for UAV-to-GCS Distance Estimation. *NCITE*, 10.1145.
- Pramanik A., Choudhury B., Choudhury T. S., Arif W., Mehedi, J., 2015. Simulative study of random waypoint mobility model for mobile ad hoc networks. *2015 Global Conference on Communication Technologies (GCCT)*, gct.2015-7342634.
- Qadri N., Liotta A., 2009. Analysis of Pervasive Mobile Ad Hoc Routing Protocols. *Pervasive Computing: Innovations in Intelligent Multimedia and Applications*, 599-4, Springer-Verlag.
- Rubinstein M., Moraes I., 2006. A Survey on Wireless Ad Hoc Networks. *IFIP International Conference on Mobile and Wireless Communication Networks*, 211, 1-33.
- Sagtani V., Kumar S., 2014. Modern Approach to Enhance Routing Recitation in MANET. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, v(4), 2250-2459, IJETAE.
- Sahadevaiah K., Ramanaiah O., 2010. An Empirical Examination of Routing Protocols in Mobile Ad Hoc Networks. *Int. J. Communications, Network and System Sciences*, 3, 511-522, Scientific Research.
- Saxena T., Raj R., Kumar P., 2013. Qualitative Analysis of Different Routing Protocols In Mobile AD HOC Network. *Cyber Times International Journal of Technology&Management* v(6).
- Sayed, M., Kumar, R., 2018. An Efficient Mobility Model for Improving Transmissions in Multi-UAVs Enabled WSNs. *Drones*, 2(3), 31.
- Sharmila, S., Shanthi, T., 2016. A survey on wireless ad hoc network: Issues and implementation. *International Conference on Emerging Trends in Engineering, Technology and Science*, 11.1109.
- Tomar R., Prateek M., Sastry G. H., 2016. Vehicular Adhoc Network (VANET) - An Introduction. *International Journal of Control Theory and Applications*, International Science Press 2016, 9 (18).
- Valentina T., Stojanovic M., Rakas S., 2009. MANET Routing Protocols vs. Mobility Models: Performance Analysis and Comparison. *WSEAS International Conference*, 1790-5109.