

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HETEROJEN KABLOSUZ AĞLAR İÇİN BULANIK MANTIK DİKEY EL
DEĞİŞTİRME ALGORİTMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gürkan COŞKUN

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

Telekomünikasyon Mühendisliği Programı

ARALIK 2017

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HETEROJEN KABLOSUZ AĞLAR İÇİN BULANIK MANTIK DİKEY EL
DEĞİŞTİRME ALGORİTMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Gürkan COŞKUN
(504131332)**

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

Telekomünikasyon Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hakan Ali ÇIRPAN

ARALIK 2017

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 504131332 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Gürkan COŞKUN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “HETEROJEN KABLOSUZ AĞLAR İÇİN BULANIK MANTIK DİKEY EL DEĞİŞTİRME ALGORİTMASI” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Hakan Ali ÇIRPAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Hakan Ali ÇIRPAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Güneş Zeynep KARABULUT KURT
İstanbul Teknik Üniversitesi

Dr. İbrahim HÖKELEK
TÜBİTAK

Teslim Tarihi : 12.10.2017
Savunma Tarihi : 13.12.2017





Aileme,



ÖNSÖZ

Yüksek lisans bitirme tezi olarak “HETEROJEN KABLOSUZ AĞLAR İÇİN BULANIK MANTIK DİKEY EL DEĞİŞTİRME ALGORİTMASI” adlı çalışma oluşturulup sunulmuştur.

Tezimin her aşamasında her türlü desteği veren Dr. İbrahim HÖKELEK’e, önerileriyle tezime katkıda bulunan danışman hocam Prof. Dr. Hakan Ali ÇIRPAN’a, her konuda destek sağlayan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Aralık 2017

Gürkan COŞKUN



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
1.1 Mobil Şebekelerin Gelişimi	2
1.2 Bulanık Mantık.....	4
1.3 Tezin Amacı	5
2. EL DEĞİŞTİRME	7
2.1 El Değiştirme Çeşitleri	7
2.1.1 Yatay el değiştirme	7
2.1.2 Dikey el değiştirme	8
2.2 IEEE 802.21 Standardı	9
2.2.1 IEEE 802.21 mimarisi.....	10
2.2.2 IEEE 802.21 mimarisi servisleri	10
2.3 Dikey El Değiştirme Algoritmaları	12
3. BULANIK MANTIK EL DEĞİŞTİRME ALGORİTMASI TASARIMI	15
3.1 Ağ Topolojisi.....	15
3.2 Bulanık Mantık Sınıflandırması	17
3.3 Bulanık Mantık El Değiştirme Algoritması	17
3.4 Bulanık Mantık El Değiştirme Algoritmasının Matlab Tasarımı.....	20
4. DİKEY EL DEĞİŞTİRME ALGORİTMASI BENZETİMİ	29
4.1 Network Simulator Programı	29
4.2 Network Simulator Programı Benzetim Sonuçları.....	30
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	39
KAYNAKLAR	41
ÖZGEÇMİŞ	45



KISALTMALAR

1G	: First Generation
2G	: Second Generation
2.5G	: Two Point Fifth Generation
3G	: Third Generation
4G	: Fourth Generation
5G	: Fifth Generation
3GPP	: Third Generation Partnership Project
AMPS	: Advanced Mobile Phone System
BMA	: Bulanık Mantıklı Algoritma
CDMA2000	: Code Division Multiple Access
E.D.	: El Değiştirme
EDGE	: Enhanced Data Rates for Global Evolution
GPRS	: General Packet Radio Service
GSM	: Global System for Mobile Communications
HSCSD	: High Speed Circuit Switched Data
IEEE	: Institute of Electrical and Electronics Engineers
IS-54	: Interim Standard 54
IS-95	: Interim Standard 95
IS-95B	: Interim Standard 95B
Kbyte	: Kilo Byte
LTE	: Long Term Evolution
MICS	: Media Independent Command Service
MIES	: Media Independent Event Service
MIH	: Media Independent Handover
MIHF	: Media Independent Handover Function
MIIS	: Media Independent Information Service
NA	: NIST Algoritması
NIST	: National Institute of Standards and Technology
NMT	: Nordic Mobile Telephone
NS	: Network Simulator
NS2	: Network Simulator Version 2
PDC	: Personal Digital Cellular
RSS	: Received Signal Strength
TACS	: Total Access Communication System
UDP	: User Datagram Protocol
UMTS	: Universal Mobile Telecommunications System
VoLTE	: Voice over Long Term Evolution
VoWiFi	: Voice over Wireless Fidelity
WCDMA	: Wideband Code Division Multiple Access
WiFi	: Wireless Fidelity
WiMAX	: Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLAN	: Wireless Local Area Network



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Ağ topolojisi parametreleri.....	15
Çizelge 3.2 : Bulanık mantık sınıflandırması.	17
Çizelge 3.3 : Bulanık mantık kurallar dizisi.	20
Çizelge 4.1 : NS2 benzetim sonuçları.....	32





ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1	: Bulanık mantık mimarisi.	5
Şekil 2.1	: Yatay el değiştirmede frekans değişimi.	8
Şekil 2.2	: Yatay el değiştirmede altyapı değişimi.	8
Şekil 2.3	: Dikey el değiştirme.	9
Şekil 2.4	: IEEE 802.21 mimarisi.	10
Şekil 2.5	: IEEE 802.21 mimarisi servisleri.	11
Şekil 3.1	: Ağ topolojisi.	16
Şekil 3.2	: NIST el değiştirme algoritması (NA).	18
Şekil 3.3	: Bulanık mantık dikey el değiştirme algoritması (BMA).	19
Şekil 3.4	: MATLAB bulanık mantık oluşturma aracı.	21
Şekil 3.5	: Hız parametresinin ayarlanması.	22
Şekil 3.6	: Trafik parametresinin ayarlanması.	22
Şekil 3.7	: Kalan kapasite parametresinin ayarlanması.	23
Şekil 3.8	: El değiştirme kararının ayarlanması.	23
Şekil 3.9	: Bulanık mantık kurallar dizisinin girilmesi.	24
Şekil 3.10	: Giriş yapılan parametrelerin kurallar dizisi doğrultusunda görüntüsü.	25
Şekil 3.11	: Hız-trafik parametreleriyle el değiştirme kararı.	26
Şekil 3.12	: Hız-kalan kapasite parametreleriyle el değiştirme kararı.	26
Şekil 3.13	: Trafik-kalan kapasite parametreleriyle el değiştirme kararı.	27
Şekil 4.1	: NS2 benzetim programının altyapı mimarisi.	29
Şekil 4.2	: NA mobil terminal veri akışının zamanla değişimi.	30
Şekil 4.3	: BMA mobil terminal veri akışının zamanla değişimi.	31
Şekil 4.4	: Düşük sınıflı 500 kbps trafikte alınan veri miktarı.	33
Şekil 4.5	: Düşük sınıflı 1000 kbps trafikte alınan veri miktarı.	33
Şekil 4.6	: Orta sınıflı 1500 kbps trafikte alınan veri miktarı.	34
Şekil 4.7	: Orta sınıflı 2000 kbps trafikte alınan veri miktarı.	34
Şekil 4.8	: Yoğun sınıflı 2500 kbps trafikte alınan veri miktarı.	35
Şekil 4.9	: Yoğun sınıflı 3000 kbps trafikte alınan veri miktarı.	35
Şekil 4.10	: Düşük sınıflı 500 kbps trafikte paket kaybı miktarı.	36
Şekil 4.11	: Düşük sınıflı 1000 kbps trafikte paket kaybı miktarı.	36
Şekil 4.12	: Orta sınıflı 1500 kbps trafikte paket kaybı miktarı.	37
Şekil 4.13	: Orta sınıflı 2000 kbps trafikte paket kaybı miktarı.	37
Şekil 4.14	: Yoğun sınıflı 2500 kbps trafikte paket kaybı miktarı.	38
Şekil 4.15	: Yoğun sınıflı 3000 kbps trafikte paket kaybı miktarı.	38



HETEROJEN KABLOSUZ AĞLAR İÇİN BULANIK MANTIK DİKEY EL DEĞİŞTİRME ALGORİTMASI

ÖZET

Kablosuz ağları hayatımızın her anında kullandığımız bir çağ yaşamaktayız. Son zamanlarda ortaya çıkan veri kullanımı ihtiyacı mobil teknolojilerin gelişmesini tetiklemiştir. İhtiyaca göre çeşitlendirilip geliştirilen kablosuz ağların birbirlerine göre üstünlükleri bulunmaktadır. Bu üstünlükleri bir araya getirip daha uygun bir teknoloji kullanım alanı sunmak araştırmacılar için önemli bir çalışma ortamı doğurmuştur.

Mobil kullanıcıların el değiştirme yapabilmeleri için aynı veya farklı teknolojik altyapıya sahip kablosuz ağların bir arada çalışabilmesi gerekmektedir. Eğer aynı teknolojik altyapı varsa bu el değiştirme yatay, farklı altyapı kullanılıyorsa el değiştirme dikey olarak adlandırılmaktadır. El değiştirmeler oluşurken veri kullanımı sırasında mobil kullanıcı tarafında kesinti meydana gelmektedir. Kesintilerin en aza belki de sıfıra indirilmesi için IEEE grubu tarafından IEEE 802.21 standardı tasarlanıp kullanılmaya başlanmıştır. Bu standart farklı veya aynı teknolojik alt yapıların birlikte kullanılması için idealdir. IEEE 802.21 standardının el değiştirmeleri yapabilmesi için arka planda el değiştirme algoritmaları çalıştırılmaktadır. Algoritmalar ihtiyaç durumuna göre çeşitlendirilebilmektedir. Sonuçları bakımından karşılaştırıldığında kayıp paket sayısı, el değiştirme sayısı, alınan toplam veri miktarı gibi parametrelerin farklarına bakılmaktadır.

Teknolojik olarak birbirinden farklı özelliklere sahip 4G ve WLAN IEEE 802.11 yapıları IEEE 802.21 standardı ile birleştirilerek, gelecekte çok yaygın bir şekilde kullanılacak heterojen kablosuz ağ alt yapısı oluşturulabilir. Heterojen kablosuz ağ alt yapısının oluşturulması sonucunda; IEEE 802.11 teknolojisinin yüksek bant genişliği, ucuzluğu gibi özelliklerini, 4G teknolojisinin kapsama alanı genişliği özelliğini kullanan yapı elde edilebilir. Heterojen yapıdan verimli bir şekilde yararlanmak için iki farklı teknolojinin arasında oluşacak el değiştirmelere karar veren algoritma kullanmak zorunlu hale gelmektedir.

Gerçek dünyada değişen durumlar için farklı sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Belirsizlik içeren durumlar için bulanık mantık kullanımı çok popüler bir uygulamadır. Oluşturulan heterojen kablosuz ağ ortamında da belirsizlik durumlarına rastlanılmaktadır. Bu belirsiz durumlara var olan standart Aristo tarzı algoritmalar iyi cevap verememektedir. Bundan dolayı Lutfi Aliasker Zade'nin oluşturduğu bulanık mantığın, el değiştirme algoritmasında kullanılması gerekmektedir. Ortaya çıkan ihtiyaçlar doğrultusunda bu tezde 4G ve IEEE 802.11 teknolojilerinin birlikte çalışmasını sağlayan IEEE 802.21 protokolü kullanarak, daha verimli el değiştirmelerin yapılması için bulanık mantıklı el değiştirme algoritması tasarlanıp, klasik tabanlı el değiştirme algoritmasıyla benzetim sonuçları karşılaştırılmıştır. 4G teknolojisi olarak NS2 tarafından sadece WiMAX desteklendiği için benzetimlerde

WiMAX teknolojisi kullanılmıştır. Aynı algoritmalar diğer 4G teknolojileri olan LTE ve LTE Advanced için de kullanılabilir.

Tasarlanan bulanık mantık el değıştirme algoritması MATLAB ortamında çeşitli girişler için değlendirmelere tabi tutulmuştur. NS2 programı kullanılarak da ağı topolojisi tasarımı yapıp hız, kalan kapasite ve trafik parametrelerine göre benzetim yapılmıştır. Aynı topoloji ve benzetimler kullanılarak, alınan sinyal gücü özelliğı taşıyan klasik yöntemli el değıştirme algoritması çalıştırılmıştır. Karşılaştırma yapmak için iki algoritmanın benzetimlerden elde edilen sonuçlar toplanmıştır. Karşılaştırma sonuçları gösteriyor ki parametre kullanımlarında var olan bazı belirsiz durumlar için bulanık mantık el değıştirme algoritmasının kullanılması, el değıştirme sayısını iyileştirerek paket kaybını azaltıp, alınan veri miktarını arttırmaktadır. Kısacası tasarlanan bulanık mantık el değıştirme algoritması klasik yöntemli algoritmaya göre daha iyi sonuçlar vermiştir.



FUZZY LOGIC VERTICAL HANDOVER ALGORITHM FOR HETEROGENEOUS WIRELESS NETWORKS

SUMMARY

We live an age in which we use wireless networks every moment of our lives. Recently, the need for data usage has triggered the development of mobile technology. Wireless networks that are diversified and developed according to their needs have advantages over each other. Bringing these advantages together to providing a more suitable use of technology has created an important working environment for researchers.

Wireless mobile communication networks have been improved in a dazzling style by researchers. Improving journey of wireless technology has begun with 1G in 1980s. Because 1G technology supports only analog communication and low bandwidth, 1G technology has been replaced with 2G at 1990s. Although 2G technology increases bandwidth and supports digital communication techniques, it does not fulfill increasing demand of high speed data transfer. After 3G technology has come out at 2000s, 2G's speed of data transfer has been improved. Multimedia applications and internet of things technologies have been developed same time with mobile communication networks. Because of increasing data transfer speed hunger, 4G technology improvements have followed 3G networks since 2010s. Internet of things technology provides communication to things via internet. Earth population increases day by day so things that have internet connection increase. 5G technology provides much more data transfer than 4G that prepares suitable network place for internet of things. 5G technology is expected to appear in 2020s.

Different wireless technologies can be used together. Network which includes different technologies, is called heterogeneous network. Heterogeneous networks have been developed parallel with wireless communication networks. Heterogeneous networks keep an important development place for researcher. In this work, WLAN and 4G networks are used to create heterogeneous network. Although creating heterogeneous networks is the main purpose, ensuring of seamless working of different technologies is very important. If there is not seamless environment on different network infrastructures, created network will be useless. Considering these approaching, 4G and WLAN are used for network then handover decision algorithm is created for seamless working of different technologies.

In the real world, different results emerge for changing situations. The use of fuzzy logic for uncertain situations is a very popular implementation. Classical approach is Aristotelian standard that diversify structures to two situations. These two situations are true or false which equal to $\{0,1\}$ cluster in math's world. In the other hand, fuzzy logic says this approaching is missing because of uncertain situation. Fuzzy logic defines a lot of situation like maybe true, true, maybe false, false and endless options which equal to $[0,1]$ cluster in math's world. Human age situation can be given as an example of these two approaching. According to classical approach,

human's age can be diversified as old or young but fuzzy logic approaching helps to diversifying to child, young, teen, middle aged and old. Light of this example it can be said that nature rules are written with uncertain situation so these situations are needed to take care. In addition to nature example, fuzzy logic has endless usage areas that are digital cameras, washing machines, automobiles and televisions.

Fuzzy logic has three steps. In first step, inputs are sent to fuzzifier in which inputs are diversified to different classes. Second step is inference. Rules are written to give logic to system. In second step fuzzy output sets are obtained by using rules. Defuzzifier is the last step. Last outputs come after third step.

Uncertainty is also encountered in the heterogeneous wireless network environment. In these uncertain situations, the available standard Aristotelian algorithms do not respond well. Therefore, the fuzzy logic of Lütüf Aliasker Zade needs to be used in the handover algorithms. In wireless network environment, there are uncertain situations like capacity of network, traffic density, RSS, mobile terminal's speed, consumed energy and spending money. Fuzzy logic gives better analyses than Aristotelian approaching when it is used in wireless network. The light of the emerging needs, fuzzy logic algorithm is designed to make more efficient handover by using IEEE 802.21 that enables 4G and WLAN technologies to work together.

People are social and mobile creatures. Two features of people bring mobile communication needs that are satisfied by cooperating of same technological infrastructure or different technological infrastructure. In order to mobile users make handover, wireless networks with the same or different technological infrastructure need to work together. If the same technological infrastructure is used, this handover is called horizontal. On the other hand, vertical handover is called when different infrastructure is used. When handovers occur, there is interruption on the mobile user side during data usage. The IEEE 802.21 standard has been designed and started to be used by the IEEE group because of reducing the number of discontinuities. This standard is ideal for using same or different technological infrastructures together.

IEEE 802.21 standard is placed between network layer and data link layer. Because of the place, IEEE 802.21 standard is called with two point half layer. There are features of IEEE 802.21 standard like making decision of handover, providing service continuity, finding-selecting network, managing power and securing identity. Clients of IEEE 802.21 are coded in all infrastructure such as mobile terminal, WLAN, 4G or 3G. These clients gives information to central structure to do its job. Central structure process the information. In the backplane of central structure, handover algorithms are run so that the IEEE 802.21 standard can handle handovers.

4G and WLAN IEEE 802.11 have technologically different characteristics. These technologies can be combined with the IEEE 802.21 standard to create a heterogeneous wireless network infrastructure that will be widely used in the future. As a result of creation of heterogeneous wireless network infrastructure; features of IEEE 802.11 technology, such as high bandwidth, cheapness can be combined with 4G technology's wide coverage area feature. In order to efficiently utilize the heterogeneous structure, it is necessary to use an algorithm that determines the handovers between different technologies.

In academic world researchers focus on what a technology needs. Heterogeneous wireless technology needs handover logic algorithms generally. Literature investigation is made on handover algorithms according to this work's subject. There are a lot of handover algorithms which are designed for working on heterogeneous

networks. Algorithms can be varied according to handover criterias, performance metrics or strategies. Common handover criterias are RSS, available capacity, money cost, power consumption and mobile terminal's specifications. When the results are compared, some parameters are important such as handover latency, handover counts, probability of failure handover, throughput, number of lost packets, the total amount of data received and battery usage. Algorithms can be diversified according to their decision strategic features that are classical, function based, user centric based, fuzzy logic, neural network, context aware and combined different systematics. All algorithms need to be making performance tests after designing procedures. There are performance metrics which show performance of algorithms. Comparing performance metrics results point out which algorithms are better. Classic algorithm research must include algorithm design, experiment and performance analysis. This work is made in the light of researches with articles' positive and negative features. Thesis includes designing heterogeneous network, creating fuzzy logic based vertical handover algorithm, simulating of classical and fuzzy logic based algorithms and analyzing performance of two different algorithms.

Fuzzy logic handover algorithm works on heterogeneous network that is designed for this thesis. MATLAB program is used for fuzzy logic design step. Machine learning is the most important specification of fuzzy logic. MATLAB provides results that show how designed algorithm's machine learning feature works. Algorithm's fuzzy logic rule series have 27 rules. By using MATLAB, fuzzy logic algorithm is evaluated with 225 different entrance values. High count entrance is fulfilled by low count rule series. In the evaluation, results show that designed algorithm works well for machine learning.

After designing step, fuzzy logic based handover algorithm needs a simulation on a simulation program. Therefore, performance analysis can be done with simulation results. Network Simulator program's second version is used for simulation step. WiMAX technology is chosen as 4G technology because WiMAX technology is the only 4G technology that is supported by Network Simulator program version 2.29. When simulator program support LTE or LTE advanced, all simulations can be made once again. It is supposed that same results will be given by NS2. NIST's patch is added to NS2 because of adding IEEE 802.21 standard. After that network topology is designed for simulations. Designed algorithm is coded and evaluated on designed network topology. Testing an algorithm is not sufficient for performance analysis. Therefore, received signal strength feature based classic handover algorithm NA is evaluated with the same simulation experiments of designed algorithm BMA.

Although fuzzy logic has 27 rule series, 54 difference entrances are used for testing machine learning skills. Handover numbers, received data amount and total packet loss results are gathered from simulation experiments. Same performance metrics' results are gathered for classical algorithm NA. In the end of the simulations, the simulation results are compared with each other. Comparing two different algorithms' results show that fuzzy logic based handover algorithm BMA gives better results than classic based algorithm NA.

Briefly, the use of the fuzzy logic handover algorithm is necessary for some ambiguous situations that exist in parameter usage. If fuzzy logic based algorithm is used for heterogeneous network, handover numbers will be optimized that will decrease packet loss and increase the amount of received data.



1. GİRİŞ

Kablosuz haberleşme teknolojilerine olan ihtiyaç veri kullanımının artmasıyla birlikte artmaktadır. Bu doğrultuda araştırmacılar için önemli bir araştırma ortamı oluşmaktadır. Araştırmacıların üzerinde çokça durduğu bir alan olan heterojen ağ kurulumu kablosuz haberleşme teknolojilerinin gelişim sıralamasında bir numarada yerini almaktadır.

Heterojen ağ kurulumu değişik teknolojik altyapılara sahip kablosuz ağların birlikte kullanılmasıyla oluşturulmaktadır. Farklı kablosuz ağların birlikte kullanılması birbirlerine göre baskın özelliklerin daha verimli kullanılmasını sağlamaktadır [1]. IEEE tarafından oluşturulan IEEE 802.21 standardı; IEEE 802.11 Kablosuz Yerel Alan Ağı (WLAN), 4G, 3G, IEEE 802.3 Ethernet ve Bluetooth gibi ağların birlikte kesintisiz bir şekilde çalışmasını sağlamaktadır [2]. Bu çalışmada kullanılan 4G ve WLAN ağlarının sorunsuz olarak birlikte çalışmasını da IEEE 802.21 standardı sağlamaktadır. Fakat teknolojik alt yapıları farklı olan ağların birlikte sorunsuz çalışmasını sağlamakla kablosuz ağ kurulumu tamamlanamamaktadır. Mobil terminalin hangi ağı kullanacağını kararını verecek algoritmaların tasarlanması gerekmektedir. Yapılacak el değiştirmelerin hangi şartlar altında oluşacağı, veri yönünden daha fazla miktarda alınıp kaybın en düşük seviyede tutulması algoritma tasarımlarıyla sağlanmalıdır.

Bu çalışmada, bulanık mantığın sağladığı belirsiz durumlar için az sayıda kural ile çok fazla sonuç elde etme özelliği, yani makine öğrenmesi özelliği kullanılarak algoritma tasarımı yapılmıştır. MATLAB ortamında tasarım yapılarak kural sayısının az olduğu bir ortamda çok fazla durumu karşıladığı gösterilmiştir. Oluşturulan algoritma ve standart RSS özellikli NIST algoritması, NS2 benzetim programı kullanılarak performans olarak karşılaştırılmıştır. Bulanık mantık özelliği taşıyan algoritmanın (BMA) yapılacak el değiştirme sayısını iyileştirerek, alınan veri miktarını artırıp kayıp miktarını azaltmakta olduğu gözlenmiştir.

Bu bölümde; mobil şebekelerin gelişiminin, günümüzde yapılan altyapı değişikliklerinin, bulanık mantığın ve tezin amacının üzerinde durulacaktır.

1.1 Mobil Şebekelerin Gelişimi

İnsanlar var olduğundan beri hareket halinde olan sosyal canlılardır. İnsanın sahip olduğu iki önemli özelliğin birleşimi sonucu mobil haberleşmenin geliştirilmesi kaçınılmaz olmuştur. Mobil terminallerin birbirleriyle haberleşme ihtiyacında olan insanlar tarafından taşınmasıyla, mobil haberleşme şebekeleri geliştirilmiş ve haberleşme ihtiyacı giderilmeye çalışılmıştır. 1972 yılında ilk kez BELL laboratuvarında hücresele haberleşme kavramı ortaya konmuştur [3]. Bir hücrede kullanılan frekanslar hücreyi etkilemeyecek şekilde diğer hücrelerde de kullanılmaya başlanmış ve frekansların verimli kullanılması sağlanmıştır.

Hücresele mobil haberleşme teknolojileri, kablosuz haberleşmeye olan ihtiyaç doğrultusunda sürekli olarak gelişmektedir. 1980'lerde 1G ile başlayan gelişme, 1990'lı yıllarda 2G, 2000'li yıllarda 3G, 2010'lu ve hala içinde bulunduğumuz yıllarda 4G ve tahmini olarak 2020'li yıllarda 5G ile devam etmektedir.

1980'li yıllarda geliştirilen ilk hücresele haberleşme teknolojisi 1G sistemler, analog haberleşme sistemini kullanmaktadır [4]. Trafikğin daha çok sesten oluşmasından dolayı analog haberleşme yeterli olmaktadır. 1G sistemlerin teknik özellikleri kullanıldığı ülkelere göre değişmektedir. NMT ile İskandinav ülkelerinde 450 MHz ve 900 MHz frekans bandında, AMPS adıyla Amerika ülkelerinde 800 MHz frekans bandında, TACS adıyla İngiltere, İtalya, İspanya gibi ülkelerde 900 MHz frekans bandında 1G sistemleri kullanılmıştır [5]. Kısacası farklı özelliklere sahip olan çeşitli 1G sistemler kullanılmıştır.

1G sistemlerin ihtiyaçlara yönelik ses kalitesi, veri iletimi, sayısal haberleşme gibi özellikleri taşınamasından dolayı, Avrupa Posta ve Telekomünikasyon İdareleri Birliği (Conference of European Post and Telecommunications–CEPT) toplantısında 2G sistemlerinin alt yapıları kurulmuştur [6].

2G sistemleri sayısal sistemler olup kısa mesaj iletimi gibi veri haberleşmesini desteklemektedirler. 1G'ye benzer olarak 2G sistemleri de ülkelere göre çeşitlilik göstermektedir. GSM, IS-54, IS-95 ve PDC olarak adlandırılan 2G sistemleri kullanılmıştır [7].

2.5G sistemleri, 2G sistemlerin geliştirilmesiyle oluşturulmuştur. 3G sistemlerine geçiş sistemleri olarak görülmektedir. GSM sisteminin geliştirilmesiyle HSCSD,

EDGE ve GPRS; IS-95 sisteminin geliştirilmesiyle de IS-95B ve CDMA2000 1x adlı 2.5G sistemleri oluşturulmuştur [8].

2G sistemlerinin geliştirilerek 2.5G sistemleri oluşturulmasıyla her ne kadar veri iletim hızı arttırılmış olsa da çoklu ortam uygulamalarının çıkmasıyla daha da artan veri iletim hızına ihtiyaç duyulmuştur. Bunun sonucunda 3G sistemler ile yüksek hızlı ve IP tabanlı sistemlere geçiş yapılmıştır. Ayrıca ülkelerde kullanılan 2G sistemlerin farklı olmasıyla dolaşımlarda ortaya çıkan sorunlar, Uluslararası Telekomünikasyon Birliği (International Telecommunication Union–ITU) tarafından 2003 yılında çıkarılan Uluslararası Mobil Telefon Sistemi-2000 (International Mobile Telecommunication – IMT2000) ile çözülmeye çalışılmıştır [9]. CDMA2000 ve UMTS, 3G standartlarından olup Avrupa ve Amerika’da kullanılmaktadır [10].

4G sistemleri geçmiş nesillere göre daha yüksek veri hızı sağlayıp kaliteli servis hizmeti sunmaktadır. Çoklu içerik kullanımının artmasıyla IP ve IPv6 tabanlı bir hizmet sunan 4G sistemlerin kullanılması mobil haberleşme için önem taşımaktadır. Nesnelerin interneti teknolojisinin kullanılmasıyla IP alan her aletin internete çıkması durumu oluşmuştur. Bu durum IPv6 standardıyla kısıtlı IP sayısının arttırılmasıyla mümkündür. 4G sistemler, IPv6 standardını destekleyerek nesnelerin interneti teknolojisi için uygun bir altyapı oluşturmaktadır [11].

3GPP ile UMTS ağının geliştirilmesiyle LTE adlı 4G sistemi, 2004 yılında Japonya’da duyurulmuştur [6]. İlk LTE ağı ise deneme amaçlı Amerika Birleşik Devletleri’nde 2009 yılında Verizon şirketi tarafından kurulmuştur. LTE teknolojisiyle aynı frekans bandında çalışan IEEE 802.16 standartlı WiMAX adlı 4G teknolojisi de bulunmaktadır. 2009 yılında ITU tarafından bu iki teknoloji 4G standardı olarak tanımlanmıştır [12]. Aslında iki teknoloji birbiriyle yarış halindedir. 2010 tarihinde 149 ülkede WiMAX teknolojisi kullanılmıştır [13]. Bu ülkelerin içinde Amerika Birleşik Devletleri de bulunmaktadır. WiMAX ilk başlarda çok yaygın olarak kullanılsa da LTE teknolojisinin daha geniş kapsama alanıyla daha hızlı servis sunması, LTE’nin bir adım öne geçmesini sağlamıştır. LTE teknolojisi gelişmiş özellikleri sayesinde, WiMAX teknolojisinden daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Mobil haberleşme hizmeti sunan şirketlerin neredeyse büyük bir kısmı 4G sistemlere geçmiş ya da geçiş aşamasında bulunmaktadır. Ülkemizde de 2015 tarihinden itibaren 4G sistemlerin geliştirilmiş hali LTE Advanced Pro etkin olarak kullanılmaktadır.

4G sistemlerin geliştirilmesi ile farklı teknolojik altyapıya sahip kablosuz haberleşme sistemlerin birlikte kullanılması için çalışmalar yapılmaya başlanmış ve bunu sağlayan yapılar oluşturulmuştur. IEEE 802.21 standardı heterojen ağların birbirleriyle uyumlu şekilde çalışması için geliştirilmiştir. Birbirlerine göre üstün özelliklere sahip farklı teknolojik altyapıların kurulması çok mantıklıdır. 4G sistemler geniş kapsama alanına sahipken WLAN ise dar kapsama alanına sahiptir. Buna rağmen WLAN kurulum maliyetlerinin az olması ve desteklediği hızın daha fazla olması bakımından 4G teknolojilerinden daha avantajlıdır. Birlikte çalıştırıldığı zaman geniş, daha hızlı ve az maliyetli bir ağ elde edilebilir. Heterojen ağların oluşturulması açısından ülkemizden örnek verecek olursak, bu çalışma yapılırken önemli iletişim teknolojisi şirketlerinden Turkcell, VoLTE & VoWiFi servisini başlatmıştır [14]. LTE ağında kullanılan ses ve video codeçleri WiFi ağında da kullanılarak, Turkcell şebekesine WiFi ağı üzerinden bağlantı yapılması sağlanmaktadır. Fakat buradaki sıkıntı aralarında uyumu sağlayacak IEEE 802.21 standardının kullanılmamasından dolayı, iki farklı teknoloji arasındaki geçişlerin kesintili olmasıdır. Bu çalışmada sunulan algoritma doğrultusunda yapılacak geliştirmelerle el değiştirmeleri kesintisiz oluşturarak, kurulan heterojen ağların homojen bir şekilde çalışması sağlanabilir.

Mobil haberleşme teknolojilerinin gelişmesi 5G ile devam etmektedir. LTE sistemlerin geliştirilmesiyle oluşacak bu teknoloji, dünya nüfusuyla paralel artan internete bağlı nesnelerin haberleşmesi için çok büyük önem arz etmektedir. 2020 yılı civarında duyurulması beklenmektedir.

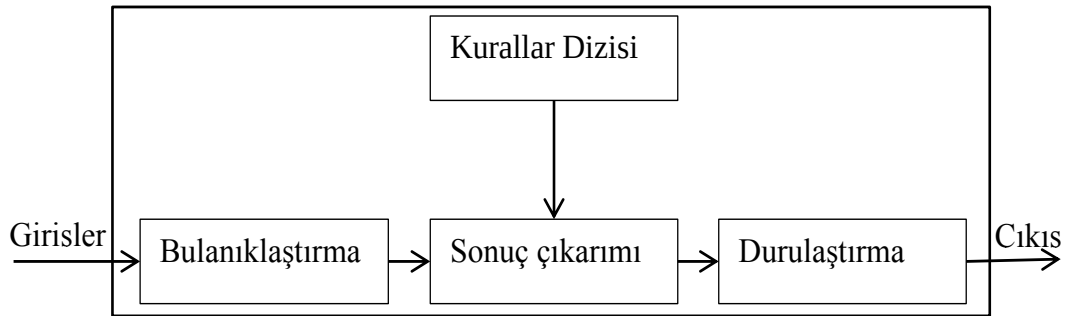
1.2 Bulanık Mantık

Bulanık mantık Lütü Ali Askerzade tarafından 1965 yılında yayınladığı makale ile bilim dünyasında yerini almıştır [15]. Klasik Aristo mantığı olan doğru ya da yanlış seçeneklerinin eksik olduğunu öne süren bu sistem; doğru, çok doğru, az doğru, yanlış, çok yanlış, az yanlış gibi sonsuz seçenek sunmaktadır. Matematiksel olarak ifade etmek gerekirse Aristo mantığı $\{0,1\}$, bulanık mantık da $[0,1]$ kümesine karşılık gelmektedir. Bu sonsuz seçenek beraberinde belirsizlik içeren doğruluk tablolarını getirmektedir. Bu tablonun geçerliliği kesin değildir ve yaklaşık çıkarımlarda bulunmaktadır.

Klasik mantık için bir eleman ya bir kümeye aittir ya da değildir ama bulanık mantık için bir eleman her iki kümeye de ait olabilmektedir. Mesela bir insan yaşına göre sınıflandırılrsa Aristo mantığında ya yaşlı olacaktır ya da genç. Bulanık mantık kullanıldığında insanın yaşı; çocuk, genç, orta yaşlı, yaşlı gibi sınıflandırılabilir. Kısacası doğada var olan belirsizlik ilkesi, mantığa yansıtılarak büyük bir eksik tamamlanmıştır. Bu yüzden dolayı bulanık mantık günümüzde nerdeyse bütün teknolojik sistemlerde kullanılmaktadır. Bulanık mantığı kullanarak oluşturulan sayısız sistemlere örnek olarak kameralar, televizyonlar, çamaşır makineleri gösterilebilir.

Bulanık sistemler Şekil 1.1’de görüldüğü gibi üç aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalar sırasıyla bulanıklaştırma, çıkarsama, durulaştırma. Kesin girişlerin bulanık kümelere sahiplendirildiği aşamayı bulanıklaştırma oluşturmaktadır. Tasarımcı tarafından girilen kurallara göre sonuçların çıkarıldığı aşama çıkarsamadır. En sonunda Aristo tarzı bir sonuç elde edildiği aşama durulaştırma.

Bulanık mantığın çalışma yapısı tam olarak bir neden sonuç ilişkisine bağlıdır. Bu ilişki kurallar bütünüyle oluşturulmaktadır. Kuralları tasarlayan kişinin amacı sistemin kontrolünü gerçekleştirmektir. Kurallar, eğer–ise–sonra olarak tasarlanmaktadır.



Şekil 1.1 : Bulanık mantık mimarisi.

1.3 Tezin Amacı

Bulanık mantık belli olmayan durumlarda kullanılmak için oluşturulmuştur. Kesin veya belli olmayan durumlar yaşadığımız doğa gereği sürekli karşılaştığımız durumlardır. Sadece kablosuz iletişim teknolojilerinde değil neredeyse bütün insan yapımı sistemlerde belirsiz durumlara rastlanılmaktadır. Kısacası bulanık mantık

belirsiz durumların sınıflandırılması ve sistemlere akıl katmak amacıyla kullanılmaktadır.

Kablosuz iletişim teknolojilerinde kullanılan bulanık mantık; ağın doluluğu, kullanılan trafik yoğunluğu, RSS büyüklüğü, mobil kullanıcının hızı, harcanacak enerji ve harcanacak para gibi belirsiz durumların klasik yöntemlere göre daha iyi analizini yapmaktadır. Bulanık mantık bölümünde incelendiği gibi klasik yöntemler ikili sistemlere göre karar verirken, bulanık mantık girişlerin farklı seviyelerini dikkate almaktadır. Bu durum bulanık sistemlere problem çözme konusunda daha akıllıca davranma özelliğini kazandırmaktadır.

Bulanık mantığın problem çözmekte bize sağladığı özellikleri kablosuz iletişim teknolojiler için kullanmak gereklidir. Bu tezin amacı ise heterojen kablosuz ağların bir araya getirilmesinde oluşacak belirsizlikleri idare etmek ve sistemler arasında yapılacak geçişleri daha akıllı hale getirmek için bulanık mantık tabanlı el değiştirme algoritması tasarlanmasıdır. Fakat tasarımı yapılan algoritmanın performansının da ölçülmesi gerekmektedir. Performansın ölçülmesi için benzetimlerin yapılması şarttır. Sadece Bulanık Mantıklı Algoritmanın (BMA) benzetimlerinin yapılması geliştirilen performans tam olarak yansıtmamaktadır. Klasik yöntemi kullanan NIST Algoritmasıyla (NA) kıyaslanması, performans analizi için ideal bir ortam oluşturmaktadır. Tezin amacı doğrultusunda oluşturulan bulanık mantık tabanlı el değiştirme algoritması, klasik yöntemli el değiştirme algoritmasıyla aynı benzetimlere tabi tutularak elde edilen sonuçlarla algoritmaların performansları karşılaştırılmıştır. Sonuçlar gösteriyor ki BMA, NA'ya göre çok daha iyi performans vermektedir. Bu durum bir kez daha bulanık mantığın önemini kanıtlamıştır.

2. EL DEĞİŞTİRME

El değiştirme; duran veya seyahat halinde olan bir mobil terminalin, farklı ya da aynı teknolojik altyapı içerisinde bulunduğu sistemden başka sisteme geçirilmesine verilen addır. El değiştirmenin temel amacı hizmet devamlılığının sağlanmasıdır. Kendi içerisinde ikiye ayrılmaktadır. Eğer farklı teknolojiler arasında yapılıyorsa dikey, aynı teknolojik altyapı içerisinde yapılıyorsa da yatay olarak sınıflandırılmaktadır [16]. El değiştirmelerin verimli olarak yapılmasını sağlamak için IEEE grubu tarafından IEEE 802.21 protokolü geliştirilmiştir.

Bu bölümde el değiştirmelerin eşitleri, IEEE 802.21 protokolü ve akademi dünyasında el değiştirme üzerine yapılmış çalışmalar incelenecektir.

2.1 El Değiştirme eşitleri

Hareketli veya hareketsiz durumda olan mobil terminalin servis devamlılığını sağlamak için el değiştirme yapılmaktadır. Yatay ve dikey olmak üzere iki farklı el değiştirme tipi bulunmaktadır.

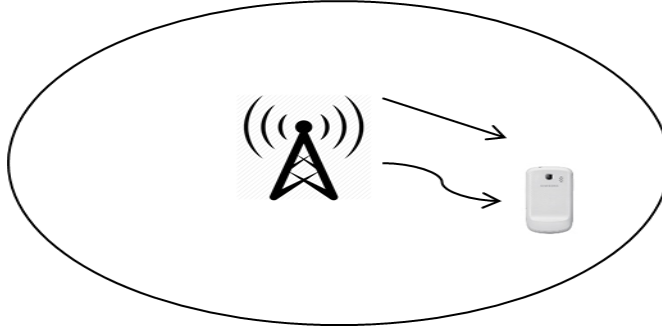
El değiştirme çeşitlerinden ilk olarak yatay el değiştirme sonra da dikey el değiştirme incelenecektir.

2.1.1 Yatay el değiştirme

Aynı teknolojik altyapılar arasında olan el değiştirmeye yatay el değiştirme denilmektedir. Yatay el değiştirmeye mobil terminalin bağlı olduğu altyapıyla arasındaki bağlantı durumu neden olmaktadır. Eğer mevcut durumdan daha kaliteli bir bağlantı bulunursa yeni bağlantı kurulacaktır.

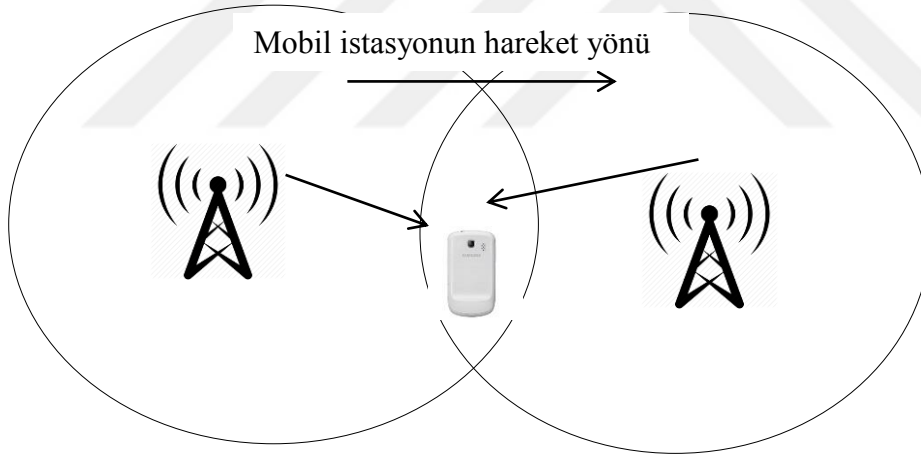
Yatay el değiştirme için mobil terminalin hareket etme şartı bulunmamaktadır. Bağlı bulunan şebekeyle arasındaki bağlantı durumu el değiştirme için önem arz etmektedir. Yapılan el değiştirmeyi yatay el değiştirme olarak sınıflandırmak için sadece kanal değişiminin olması yeterlidir [17]. şekil 2.1’de görüldüğü gibi bağlı bulunduğu altyapı ile mobil terminalin arasındaki kanal değişimi olmaktadır. Kanal

değişimi sırasında mevcut kanal korunurken daha sağlıklı yeni bir kanala geçiş yapılmaktadır. Genellikle servis kalitesini arttırmak için yapılan bir uygulamadır.



Şekil 2.1 : Yatay el değiştirmede frekans değişimi.

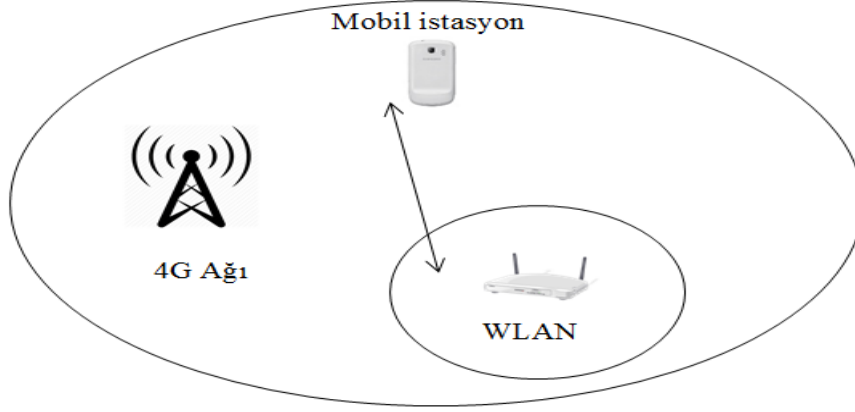
El değiştirme denilince akla ilk gelen farklı altyapılar arasındaki aktarımdır. Şekil 2.2’de klasik altyapı değişim örneği verilmiştir. Hareket halinde bulunan mobil terminal bağlantı halinde olduğu altyapıyı terk ederken yeni bulduğu altyapıyla iletişim haline geçmektedir. Bu el değiştirme sayesinde terminaller mobil özellik kazanarak sabit halde bulunmaktan kurtulmaktadır.



Şekil 2.2 : Yatay el değiştirmede altyapı değişimi.

2.1.2 Dikey el değiştirme

Dikey el değiştirme, gelişen mobil haberleşme altyapıları sonucu ortaya çıkan bir ihtiyaçtır. Eğer haberleşme ağını daha verimli kullanmak istiyorsak heterojen altyapıları bir arada kullanmamız gerekmektedir. Heterojen altyapı kullanma durumu dikey el değiştirmelerin oluşmasını sağlamaktadır [18]. Şekil 2.3’de görüldüğü gibi 4G ve WLAN altyapılarının birlikte kullanımı sonucu dikey el değiştirmenin oluşması için ortam oluşmaktadır. Eğer mobil kullanıcı bağlantı halinde olduğu 4G ağından WLAN ağına doğru hareket ederse dikey el değiştirme olabilir.



Şekil 2.3 : Dikey el değiştirme.

Birbirlerine göre üstün özellikleri olan farklı teknolojilerin bir arada kullanımı çok avantajlıdır. Bu tezin konusu olan WLAN ve 4G teknolojilerinin birbirlerine göre üstünlüklerine bakmak gerekirse şu durumla karşılaşmaktayız. WLAN teknolojisini kurmak ve işletmek çok ucuzdur. Diğer taraftan 4G teknolojisini kurmak baya masraflı olmaktadır. WLAN teknolojisi, 4G teknolojisine göre daha yüksek hızları sağlayabilmektedir. Fakat kapsama alanı bakımından 4G teknolojisine göre dezavantajlıdır. İşte bu özelliklerin birleşimi sonucunda ucuz, hızlı ve yüksek kapsama alanına sahip heterojen ağa sahip oluruz.

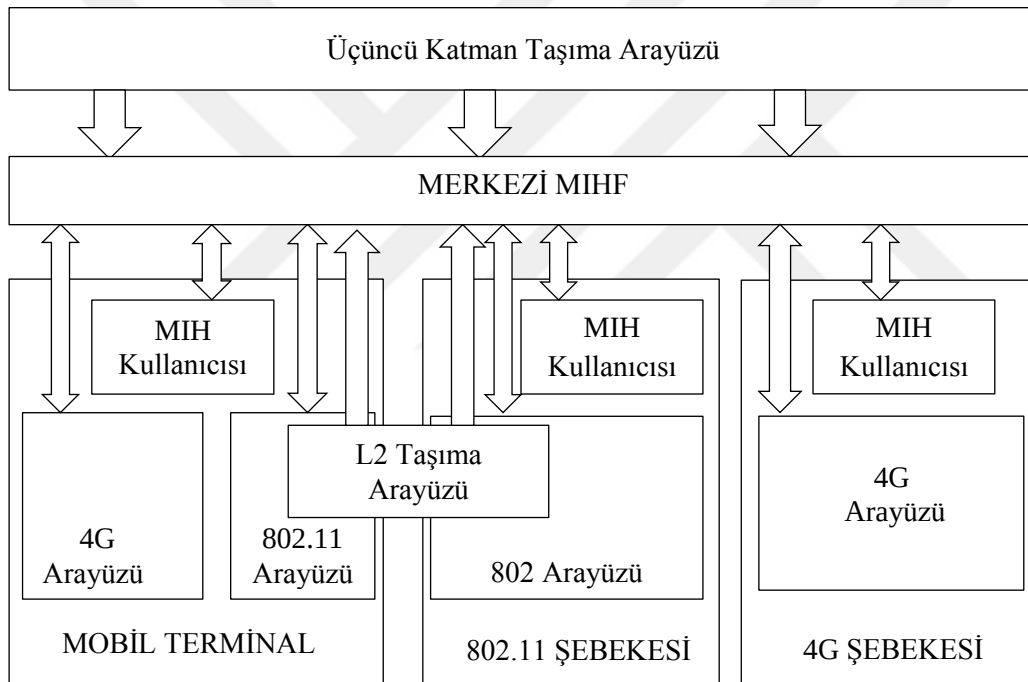
2.2 IEEE 802.21 Standardı

IEEE 802.21 standardı IEEE grubu tarafından çıkarılan bir standarttır. Bu standart kablosuz ve kablolu teknolojik altyapıların birbirleriyle çalışabilmesini sağlamaktadır. Kablosuz teknolojiler WLAN, 3G, 4G; kablolu teknoloji Ethernet desteklediği altyapılar olarak sayılabilir [19]. Sayılan bu teknolojilerin birbirleriyle uyumlu olarak çalışmasını sağladığı gibi homojen yapıdaki ağların da kendi içerisinde uyumlu çalışmasını sağlamaktadır. Standardın sahip olduğu özellikler şu şekilde sıralanabilir:

- Servis sürekliliği
- Ağ bulma ve ağ seçimi
- Güç yönetimi
- Güvenlik
- El değiştirme

2.2.1 IEEE 802.21 mimarisi

IEEE 802.21 standardı, OSI katmanlarının ikinci katmanı olan data link ve üçüncü katmanı olan network arasında yerini almaktadır. Yani bir nevi IEEE grubu tarafından 802.21 standardı iki buçukuncu katmanı oluştursun diye yaratılmıştır [20]. Şekil 2.4'te görüldüğü gibi IEEE 802.21 standardının istemcileri mobil terminal ve kablosuz ağların iç kısmına yerleştirilmiştir. MIHF tarafından istemcileri içinde bulunduran tüm yapılar MIHF kullanıcısı olarak görülmektedir [21]. Gerek mobil terminal gerekse de kablosuz altyapılardan istemcilerin topladığı bilgiler MIHF'e gelmektedir ve gelen bu bilgiler sistemlerin bir arada uyumlu çalışması için kullanılmaktadır. Bu çalışmada MIHF içinde el değiştirme karar mekanizması olarak çalışan algoritma tasarımı yapılmıştır.

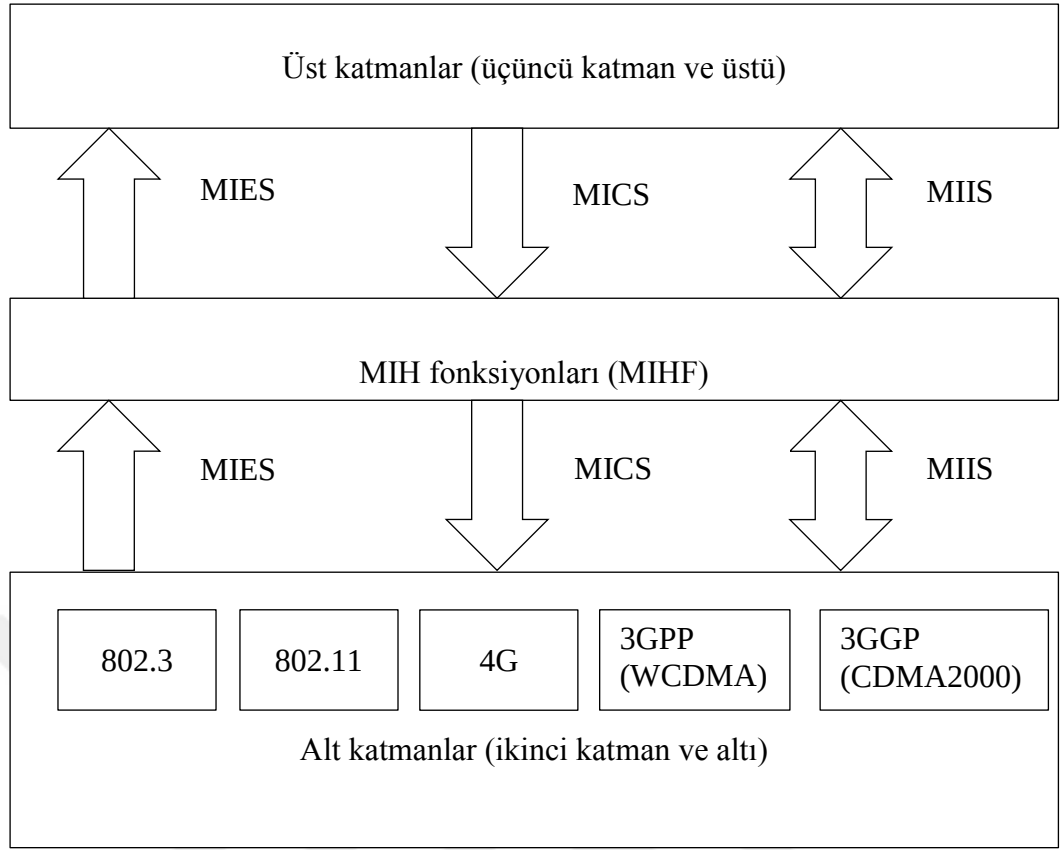


Şekil 2.4 : IEEE 802.21 mimarisi.

2.2.2 IEEE 802.21 mimarisi servisleri

Mimari kısmında anlatıldığı gibi ikinci ve üçüncü katmanlar arasında orta katman vazifesi gören MIH, katmanlar arasında iletişimin sağlanması için üç adet servise sahiptir. Bu servisler Şekil 2.5'de görüldüğü gibidir [21] ve şöyle sıralanabilir:

- İçerik bağımsız etkinlik servisi (MIES)
- İçerik bağımsız komut servisi (MICS)
- İçerik bağımsız bilgi servisi (MIIS)



Şekil 2.5 : IEEE 802.21 mimarisi servisleri.

MIES servisi alt katmanlardan MIH katmanına gelen link olayları ve MIH katmanından üst katmanlara giden MIH olaylarından oluşmaktadır. Kısacası alt katmanlardaki olayları üst katmanlara taşıyan bir servistir. Bu olaylar; fiziksel katmandaki değişiklikler, link katmanındaki parametrelerdeki değişiklikler, gelecekte oluşabilecek sinyal azalması gibi tahmini değişiklikler ve link aktarım sırasında oluşan değişikliklerdir.

MICS, MIES ile ters yönlü çalışarak üst katmanların alt katmanları kontrol etmesini ve yapılandırmasını sağlamaktadır. MIH katmanına gelen komutlar MIH komutlarını MIH katmanından alt katmana giden komutlar da Link komutlarını oluşturur. Komutlar içerik bakımından şöyle sıralanabilir: bağlantı durumu alma, bağlantı değiştirme ve bağlantı kontrol etme gibidir.

MIIS adından da anlaşılabilceği gibi iki yönlü çalışan katmanların birbirlerine bilgi mesajlarını gönderdiği servistir. Homojen veya heterojen ağlarda kullanılmaktadır. Eğer homojen bir ağ varsa oluşacak el değiştirme yatay olacağından dolayı sadece alt katmanlardan gelen bilgi taşınacaktır. Diğer taraftan heterojen ağ varsa dikey el değiştirme ihtiyacı doğacak ve hem üst hem de alt katmanlardan gelen bilgi

taşınacaktır. Uygun ağların listesi, bağlantı masrafları, konum, veri hızı ve sağlayıcı bilgileri gibi önemli bilgiler el değiştirme için kullanılmaktadır.

2.3 Dikey El Değiştirme Algoritmaları

Kablosuz ağ teknolojileri gün geçtikçe geliştirilmektedir. Bu gelişim sürerken teknolojilerin bir arada kullanılma ihtiyacı doğmaktadır. Bir arada farklı teknolojilerin çalışmasını sağlamak için birbirlerinden farklı özellikleri ön plana çıkaran el değiştirme algoritmaları oluşturulmaktadır [22]. El değiştirme ölçütleri arasında en önemli ve yaygın olanlar RSS, kalan kapasite, para maliyeti, güç tüketimi ve terminalin sahip olduğu özellikler sıralanabilir [23]. Oluşturulan algoritmanın performansı ölçülerek diğer algoritmalarla karşılaştırılması gerekir. Performans metriği olarak; el değiştirme gecikmesi, el değiştirme sayısı, başarısız el değiştirme olasılığı, veri akışı, kaybı, hacmi, gecikmesi, batarya kullanımı gibi metrikler kullanılmaktadır [1,24]. El değiştirme ölçütlerini kullanarak oluşturulan, performans metrikleriyle analizleri yapılan tüm algoritmaların tasarlanma amacı daha verimli bir heterojen altyapının oluşturulmasını sağlamaktır.

El değiştirme algoritmalarının karar stratejileri, kullandıkları yöntemlere göre değişmektedir. Aynı el değiştirme ölçütlerini ve performans metriklerini kullanan algoritmalar farklı karar stratejileriyle oluşturulabilir. El değiştirme karar stratejilerine örnek olarak; klasik yöntemli, fonksiyon tabanlı, kullanıcı merkezli, bulanık mantık tabanlı, yapay sinir ağı tabanlı, birden çok özellikli ve durum farkındalıklı stratejiler gösterilebilir [25].

Bu çalışmada el değiştirme karar stratejileri, klasik yöntemli ve bulanık mantık tabanlı olan iki algoritma karşılaştırılmıştır. Klasik yöntemli algoritma için NA seçilmiş, bulanık mantık tabanlı algoritma içinse BMA tasarlanmıştır. Klasik yöntemli Aristo tarzı [1,26-29] ve bulanık mantık tabanlı [23,24,30-34] çalışmalar örnek olarak gösterilebilir. Klasik yöntemli Aristo tarzı algoritmalar daha çok belli özelliklere sahip senaryolar için ve sadece belli durumlar için tasarlanmış algoritmalar, bulanık mantık tabanlı makine öğrenmesi tarzı algoritmalar senaryo fark etmeksizin çalışabilecek algoritmalar.

Yazarlar [24] çalışmada iki adet algoritma tasarlamışlardır. İlk algoritmada bulanık mantık ve RSS tabanlı karar verme aşaması kullanılmıştır. Karar olarak el

değiştirmenin yapılacağı çıkarsa, ağ seçimi algoritması çalıştırılmaktadır. İkinci algoritmada, servis kalitesi özelliğiyle birlikte ilk algoritmada kullanılan RSS özelliği tekrar kullanılmıştır. İkinci algoritmanın sonucunda ağ seçimi yaptırılmıştır. Algoritma tasarımı her ne kadar iyi yapılmış olsa da bunların düzgün çalışacağını gösteren MATLAB tasarımı veya NS benzetimi yapılmamıştır.

Heterojen ağlar için bulanık mantık kullanılarak iki adet el değiştirme algoritması [34] tasarlanmıştır. Ağlar makro ve femto olmak üzere ikiye ayrılmıştır. İlk algoritma makrodan femto ağına geçiş için tasarlanmıştır. Kullanılan bir adet trafik servisi için video, ses ve veri seçimi yapılmıştır. Seçilen servise göre; hız, RSSI, veri hızı, sinyal gürültü girişim oranı girişleri toplanmış ve bulanık mantık yapısına gönderilmiştir. El değiştirme katsayısı hesaplanıp makrodan femtoya geçiş için karar verilmiştir. İkinci algoritma, femtodan makroya geçiş için tasarlanmıştır. İlk algoritmaya benzer şekilde, giriş değerlerine göre bulanık mantık yapısı çalıştırılıp karar verilmiştir. Performansı ölçmek için el değiştirme katsayısının hızla değişimi grafikleri verilmiştir. Hâlbuki iki algoritmanın çalışma yöntemi birbirine benzemesine rağmen ayrı ayrı tasarım yapılmıştır. Tek bir algoritmayla her iki algoritmanın işi yapılabilir düzeydedir. Performans metriği olarak, el değiştirme katsayısının değişimi sadece tasarlanan algoritmalar için gösterilmiştir. Farklı bir algoritmayla karşılaştırma yapılmadığı için performansın tam olarak gelişip gelişmediğini gösterilememiştir.

Bu çalışmada [23] ise yazarlar WLAN ve 4G ağları için bulanık tabanlı el değiştirme algoritması geliştirmişlerdir. El değiştirmenin başlatılmasındaki bulanık mantıkta; gecikme, işaret gürültü oranı, kanal kapasitesi ve ağ yoğunluğu girişlerini kullanmışlardır. Bu girişlerin sonucunda ağırlıklandırma ile oluşan çıkışı sınıflandırmışlardır. Eşik değeri ile çıkış değerlendirilerek el değiştirme başlatılmıştır. Oluşturdukları yararlılık fonksiyonu sayesinde; kalan kapasite, parasal maliyeti ve enerji maliyeti girişleri için bir değeri elde etmişlerdir. Elde edilen değeri eşik değerden büyükse ağ seçimini yapıp el değiştirmeyi tamamlamışlardır. Performans analizinde klasik yöntemli NA'yı, tasarladıkları algoritmayla; veri akışı, gecikme ve paket kaybı doğrultusunda karşılaştırmışlardır. Bu çalışmadaki karşılaştırma yapılırken çok az giriş ve çıkış kullanılmıştır. Kısacası oluşturulan bulanık mantık yapısının makine öğrenme özelliği olan az kuralla çok çıkış tam olarak gösterilememiştir. Giriş değerlerinin sayısında yapılacak bir arttırma ile az kuralla oluşturulmuş yapının testi makine öğrenmesi için daha mantıklı olacaktır

Makale [30] heterojen ağılar için 8 farklı giriş değeriyle, bulanık mantık el değiştirme modeli tasarımı yapılmıştır. Fakat sadece üç giriş için bulanık mantık sınıflandırması yapılmış, diğer girişler sabit tutulmuştur. Üç giriş için oluşturulan dörder adet sınıf bulunmaktadır. Normalde sekiz giriş için 6561 adet kural gerekirken üç girişin dörder sınıfı sayesinde 81 adet kuralla yetinilmiş ve bulanık mantığın makine öğrenme özelliği gösterilmiştir.

Çalışma [31] RSS, hız, kalan kapasite ve kullanıcı sayısı girişlerini kullanarak, bulanık mantık tabanlı el değiştirme modeli tasarımı yapılmıştır. Bütün girişlerinde bulanık mantık sınıfı bulunmaktadır. Sonuç olarak; klasik yöntemli, var olan bulanık mantık tabanlı ve tasarlanan bulanık mantık tabanlı teknikleri el değiştirme sayısı doğrultusunda karşılaştırılmıştır. Kendi tasarımlarının el değiştirme sayısı açısından daha verimli olduğu savunulmuştur.

[30-33] çalışmaları, bulanık mantık sistem girişlerinin farklı olması hariç, MATLAB programında tasarlanması açısından birbirlerine çok benzemektedirler. Çalışmaların sonuçlarında performans analizi olarak herhangi bir benzetim programı kullanmamışlardır. Sadece MATLAB tasarımı yapmışlardır.

Akademik kaynak araştırmada karşılaşılan makalelerin incelenmesi sonucu elde edilen pozitif veya negatif özellikler değerlendirilmiştir. İncelenen makaleler ışığında çalışmada kullanılacak yöntemlere karar verilmiştir. Bu kararlar; ağın cinsi fark etmeksizin el değiştirme yapılması için tek algoritmanın geliştirilmesi, MATLAB programının algoritma tasarımı kullanılması ve tasarlanan algoritmanın NS2 benzetim programıyla benzetimlerinin yapılarak klasik yöntemli algoritmayla karşılaştırılmasıdır. Kısacası akademik araştırmada elde edilen sonuçlar kullanılarak hazırlanan bu çalışma, araştırmacılar tarafından yapılan geçmiş çalışmaların tamamlayıcısı niteliği taşımaktadır.

3. BULANIK MANTIK EL DEĞİŞTİRME ALGORİTMASI TASARIMI

Bu bölümde öncelikle kurulan ağ topolojisi üzerinde durulacak sonra da BMA'nın tasarımı anlatılacaktır.

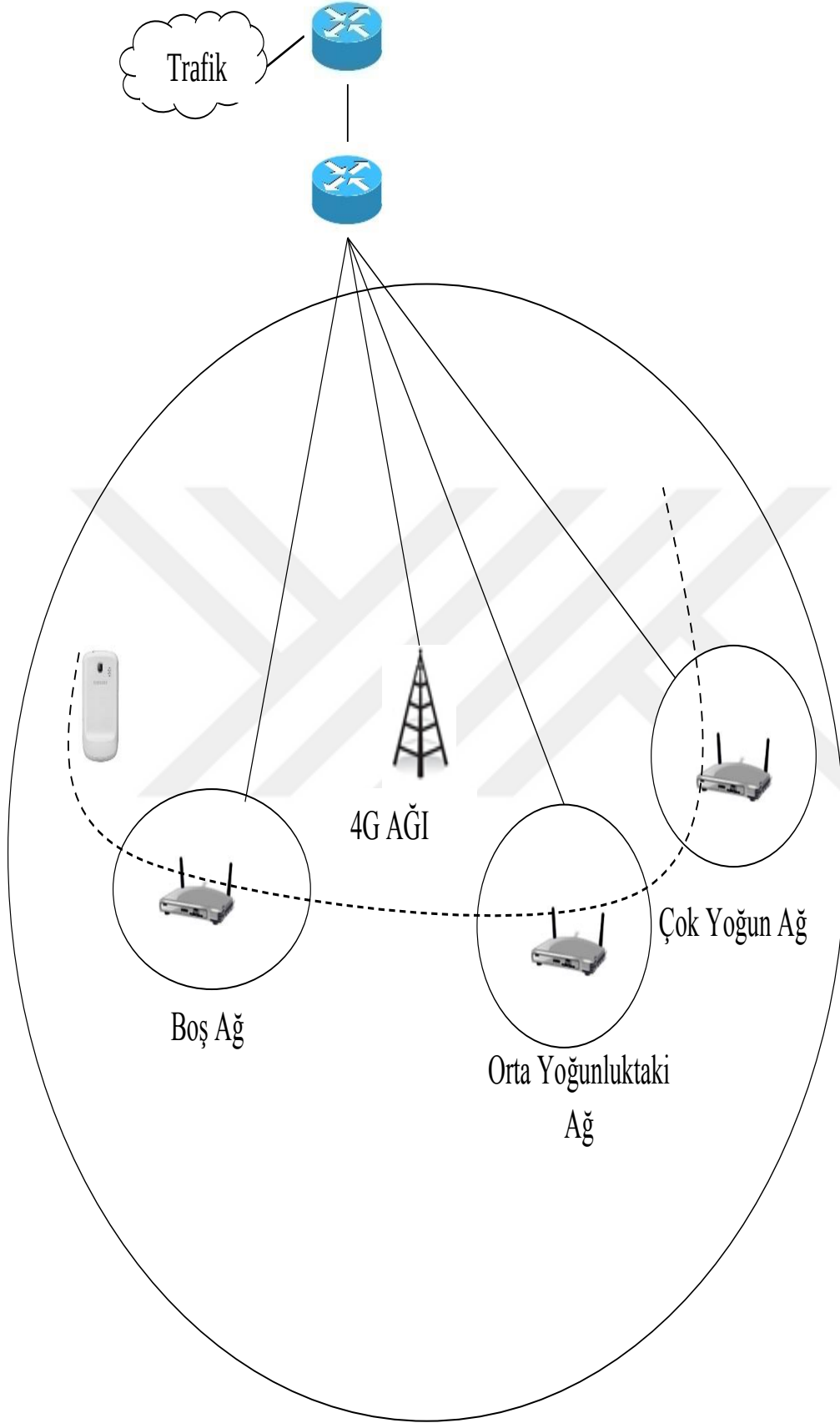
3.1 Ağ Topolojisi

Algoritmaların koşulacağı ağ topolojisi olarak Şekil 3.1'deki yapı kurulmuştur. İki adet yönlendiriciyle çekirdek ağ kurulmuş olup, bu yönlendiricilerin ikincisine 4G vericisi ve üç adet WLAN erişim noktası bağlanmıştır. Mobil terminal olarak bir adet kullanıcı oluşturulmuştur.

IEEE 802.21 standardının kullanılabilmesi için; 4G vericisine, WLAN erişim noktalarına ve mobil kullanıcıya MIHF istemcileri eklenmiştir. Bu istemciler ikinci bölümde detaylı olarak anlatıldığı gibi el değiştirme aşamasında kullanılacak bilgileri merkezi MIHF'e taşımaktadır. Mobil terminalin ve kullanılan erişim noktalarının durumlarına göre el değiştirme kararı, MIHF içinde çalışan el değiştirme algoritması tarafından verilmektedir. Oluşturulan topolojideki elemanlara ait parametreler Çizelge 3.1'de verilmektedir.

Çizelge 3.1 : Ağ topolojisi parametreleri.

Topoloji parametreleri		Değerler
Kablolu ağ	Bağlantı kapasitesi	100 Mbps
	Kuyruk tipi	Drop Tail
	Kapsama alanı	Tüm alan
4G Ağı	Kanal Modeli	Two Ray Ground Reflection
	İletim hızı	15 Mbps
	Modülasyon tipi	OFDM 16QAM
	Kapsama yarıçapı	50 metre
WLAN	Frekans	2.4 GHz
	Standart	802.11
	İletim hızı	11 Mbps
	Kanal Modeli	Two Ray Ground Reflection



Şekil 3.1 : Ağ topolojisi.

3.2 Bulanık Mantık Sınıflandırması

WLAN erişim noktaları yoğunluklarına göre sırasıyla üç duruma; boş, orta ve yoğun olarak sınıflandırılmışlardır. Mobil terminalin hızı da aynı şekilde üç sınıfa ayrılmış olup; yavaş, orta ve hızlı olarak isimlendirilmiştir. Çekirdek ağda olan birinci yönlendiriciye bağlanan sunucu ile mobil terminale trafik basılmaktadır. Bu trafik parametresi için de düşük, orta ve yüksek olarak üç farklı sınıf oluşturulmuştur. Oluşturulan tüm sınıfların özellikleri Çizelge 3.2’de verilmektedir.

Çizelge 3.2 : Bulanık mantık sınıflandırması.

Trafik çeşidi	Hız	Kalan kapasite
Düşük (0 - 1200 kbps)	Yavaş (0-8 m/sn)	Boş (2000-11000 kbps)
Orta (1000-2200 kbps)	Orta (6-14 m/sn)	Orta (1000-2200 kbps)
Yüksek (2000-3200 kbps)	Hızlı (12-20 m/sn)	Yoğun (0-1200 kbps)

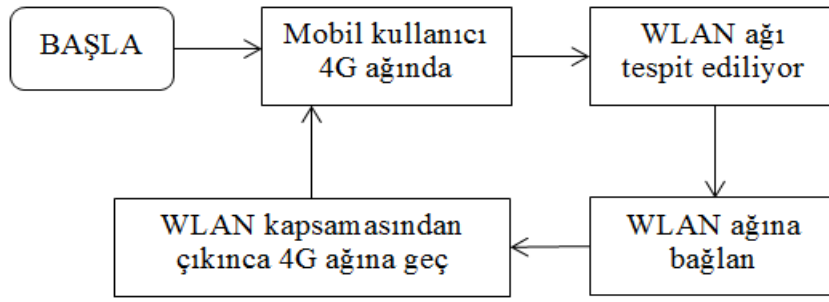
Her yapılan benzetimi için parametrelerden birer adet seçilmektedir. Mesela mobil terminalin hızı için hızlı sınıfından bir değer, basılan trafik için yüksek sınıfından bir değer ve kalan kapasite sınıfından da her bir WLAN erişim noktaları için birer değer seçilmektedir.

Trafiği mobil kullanıcıya yollarken paket boyutları sıralandığı gibi seçilmiştir; düşük sınıf için 200 byte, orta sınıf için 1000 byte, yüksek sınıf için 1500 byte. Her bir trafiğin cinsi UDP olup gönderilen paketlerin arasındaki zaman ise 0,1 saniyedir.

3.3 Bulanık Mantık El Değiştirme Algoritması

Mobil kullanıcının el değiştirme yapıp yapmayacağını kararını veren algoritmalar kullanılması gerekmektedir. IEEE 802.21 standardının mimari tasarımını göz önünde bulundurarak, el değiştirme algoritmalarının MIHF içinde çalıştırılan yapılar olduğunu hatırlamak gerekmektedir.

Bu çalışmada bulanık mantık kullanan dikey el değiştirme algoritması BMA tasarlanmıştır. Tasarlanan algoritmanın kullanılmasıyla ortaya çıkacak sonuçları karşılaştırmak için NIST tarafından sadece RSS özelliği içeren geleneksel tarzda yapılmış NA kullanılmıştır. Bu algoritma genel itibariyle Şekil 3.2’deki gibidir.

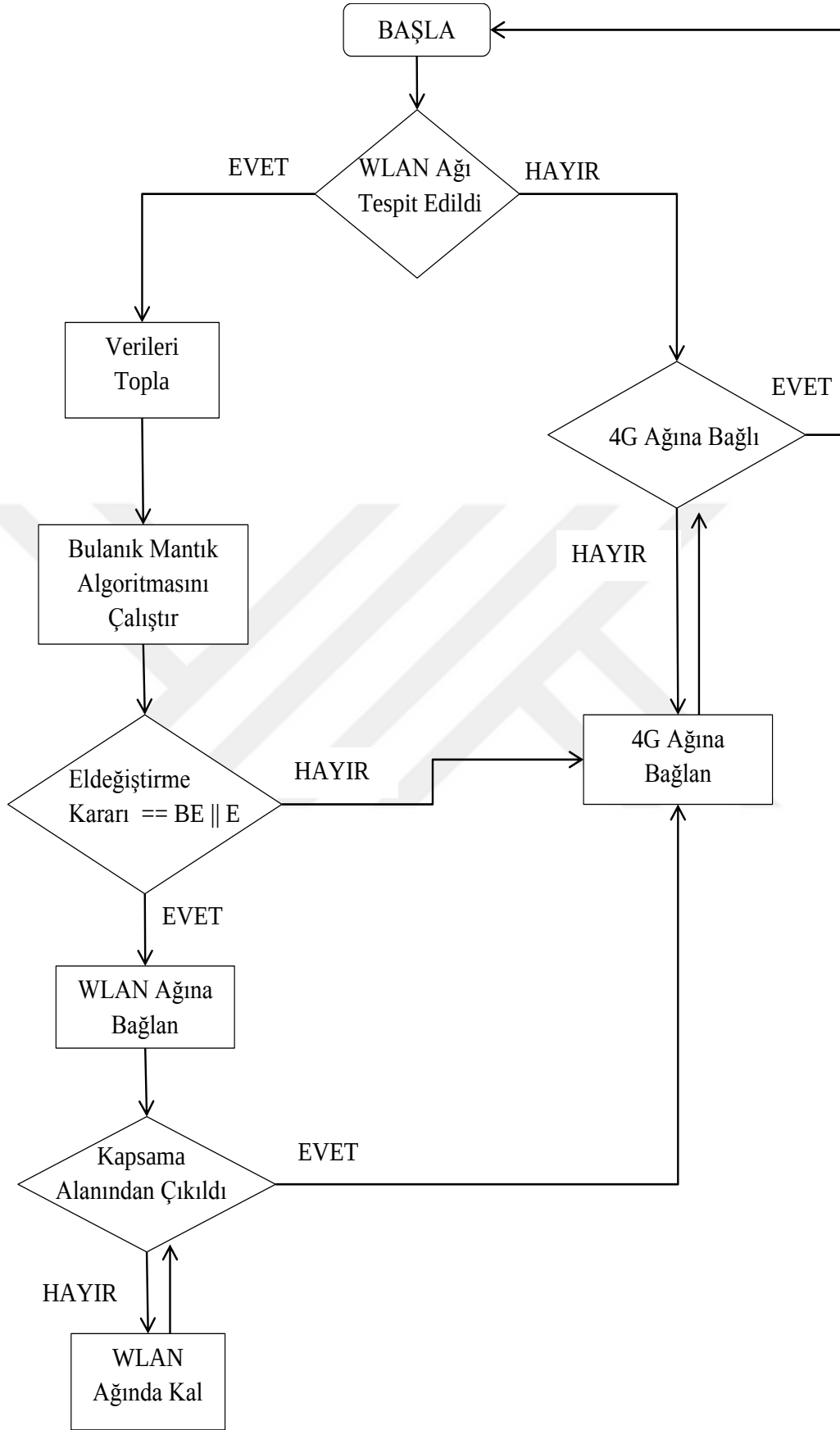


Şekil 3.2 : NIST el değiştirme algoritması (NA).

NA'nın en önemli zayıf noktası el değiştirme için tek aranan koşulun yeni bir ağına kapsama alanına girilmesidir. Fakat günümüzde kullanılacak el değiştirme algoritmalarının daha kapsamlı ve karmaşık olması gerekmektedir. Bu yüzden belirsizliklerden ilham alarak bulanık mantık tabanlı IEEE 802.21 standardını kullanan Şekil 3.3'deki BMA tasarlanmıştır. Tasarım sırasında akademik araştırmada incelenen makalelerin pozitif özellikleri alınmış negatif özellikleri ve eksik yönleri giderilmeye çalışılmıştır. Daha önce yapılan çalışmaların tamamlayıcısı niteliğinde bir algoritma olarak tasarlama amacı güdülmüştür.

Benzetimlerin zamanları boyunca mobil kullanıcı tarafından trafik alınmaktadır. Benzetim topolojisinde belirtilen WLAN ağlarına giriş yapıldığında, mobil terminalin içinde bulunduğu WLAN erişim noktasına el değiştirme yapıp yapmayacağı kararı, tasarlanan algoritma tarafından verilmektedir ve Şekil 3.3'te verilmiştir. WLAN ağı tespit edildiğinde kullanılan parametrelerin verilerini toplamakta ve bulanık mantık yapısını çalıştırıp sonuçları almaktadır. Eğer bulanık mantık yapısının sonucu Belki Evet (BE) veya Evet (E) olursa kapsama alanında kalıncaya kadar WLAN ağına dikey el değiştirme yapılmaktadır. Kapsama alanından çıkıldığı zaman veya bulanık mantık çıktısı Belki Hayır (BH) veya Hayır (H) olduğunda ise 4G ağına bağlantı kurulmaktadır. 4G ağına geçildikten sonra başa dönerek sürekli olarak yeni bir WLAN ağı arayışında bulunmaktadır. Eğer anlatılan şartlar sağlanırsa dikey el değiştirmeyi gerçekleştirmektedir.

Benzetim alanının tamamında 4G ağı etkin bir şekilde bulunmaktadır. Mobil kullanıcı bu alanı terk etmemektedir. Sadece WLAN ağına girişlerde yapılacak olan el değiştirmelere karar verilmektedir. Mobil kullanıcı WLAN ağına bağlanmış ise ve bu ağı terk ederse kesinlikle 4G ağına bağlantısının aktarılması gerekmektedir. Yoksa mobil kullanıcı bağlantısı koparak servisten mahrum kalacaktır. WLAN ağına bağlantı durumu hariç 4G bağlantısı daimi olarak etkin haldedir.



Şekil 3.3 : Bulanık mantık dikey el değiştirme algoritması (BMA).

Her bir parametrede üçer adet sınıf olmasından kaynaklı kurallar dizisinde 3*3*3 yani 27 adet kural bulunmaktadır. Algoritmada çalıştırılan bulanık mantıkta kullanılan kurallar Çizelge 3.3’de verilmiştir. Bu çizelgedeki kurallar için eğer trafik çeşidi yüksekse ve hız çeşidi hızlıysa ve WLAN kalan kapasitesi yoğunsa el değiştirme kararı hayır olacaktır şekilde bir açıklama getirmek doğru olmaktadır. Belki Evet kararı Evet kararına yakın, Belki Hayır kararı da Hayır kararına yakın olarak tanımlanmıştır. Tasarlanan algoritma da Belki Evet kararı Evet kararına yakınlığından dolayı el değiştirme kararı verilirken aynı kıstasta yer almıştır.

Çizelge 3.3 : Bulanık mantık kurallar dizisi.

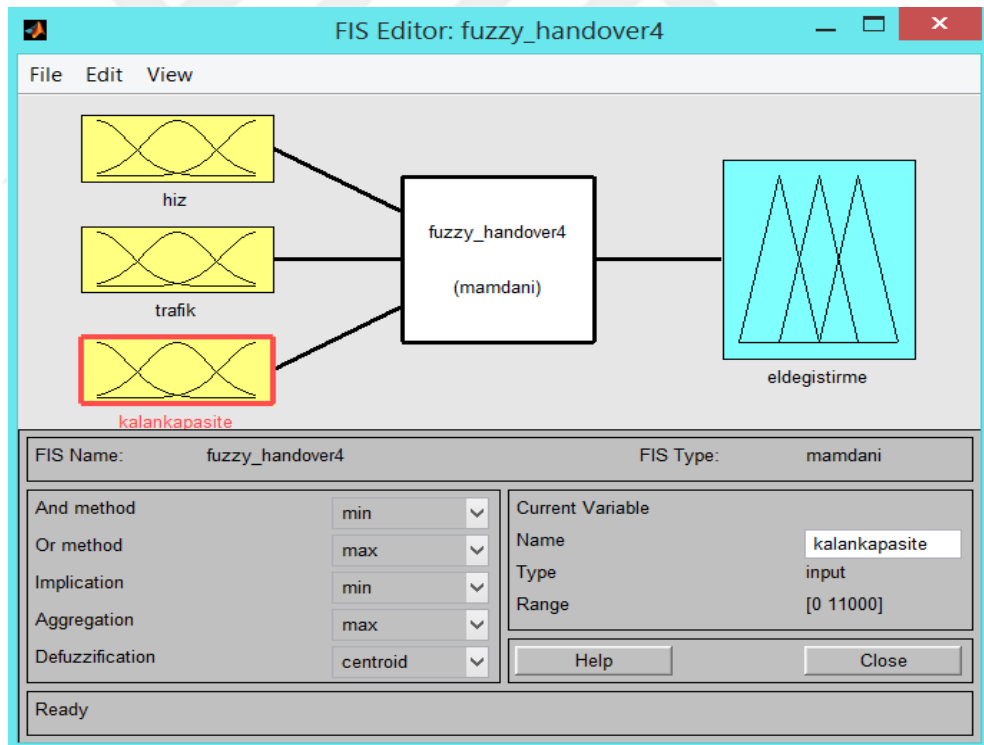
Trafik çeşidi	Hız	Kalan kapasite	El değiştirme kararı
Düşük	Yavaş	Boş	Evet (E)
Düşük	Yavaş	Orta	Evet (E)
Düşük	Yavaş	Yoğun	Belki Evet (BE)
Düşük	Orta	Boş	Evet (E)
Düşük	Orta	Orta	Evet (E)
Düşük	Orta	Yoğun	Belki Evet (BE)
Düşük	Hızlı	Boş	Belki Hayır (BH)
Düşük	Hızlı	Orta	Belki Hayır (BH)
Düşük	Hızlı	Yoğun	Hayır (H)
Orta	Yavaş	Boş	Evet (E)
Orta	Yavaş	Orta	Belki Evet (BE)
Orta	Yavaş	Yoğun	Hayır (H)
Orta	Orta	Boş	Belki Evet (BE)
Orta	Orta	Orta	Belki Evet (BE)
Orta	Orta	Yoğun	Hayır (H)
Orta	Hızlı	Boş	Hayır (H)
Orta	Hızlı	Orta	Hayır (H)
Orta	Hızlı	Yoğun	Hayır (H)
Yüksek	Yavaş	Boş	Evet (E)
Yüksek	Yavaş	Orta	Belki Hayır (BH)
Yüksek	Yavaş	Yoğun	Hayır (H)
Yüksek	Orta	Boş	Belki Evet (BE)
Yüksek	Orta	Orta	Belki Hayır (BH)
Yüksek	Orta	Yoğun	Hayır (H)
Yüksek	Hızlı	Boş	Hayır (H)
Yüksek	Hızlı	Orta	Hayır (H)
Yüksek	Hızlı	Yoğun	Hayır (H)

3.4 Bulanık Mantık El Değiştirme Algoritmasının Matlab Tasarımı

BMA’nın tasarımı MATLAB programı kullanılarak yapılmıştır. MATLAB programının kullanım amacı tasarlanan bulanık mantık sisteminin daha fazla

benzetim sayısı ile sonuçlarının görülmesidir. NS2 programının kullanılmasının amacı da algoritmanın diğer algoritmayla karşılaştırılması için paket kaybı, el değiştirme sayısı ve alınan veri miktarı sonuçlarının elde edilmek istenmesidir. NS2 programı ile benzetimler çok uzun sürdüğünden dolayı toplamda kuralların iki katı kadar sırasıyla hız, trafik ve kalan kapasite parametreleri için farklı giriş sayısı $6 \times 9 \times 1$ olarak tutulmuştur. 54 adet benzetim yapılarak makine öğrenmesi ve algoritmanın çalıştığı gösterilmiştir. MATLAB programı yardımıyla parametreler ikiyeşerli gruplara ayrılıp her birine farklı giriş değeri girilerek $15 \times 15 \times 1$ yani 225 adet tasarım yapılmış ve sonuçları alınmıştır. MATLAB tasarımında alınan sonuçlar el değiştirmenin yapılıp yapılmayacağından ibarettir.

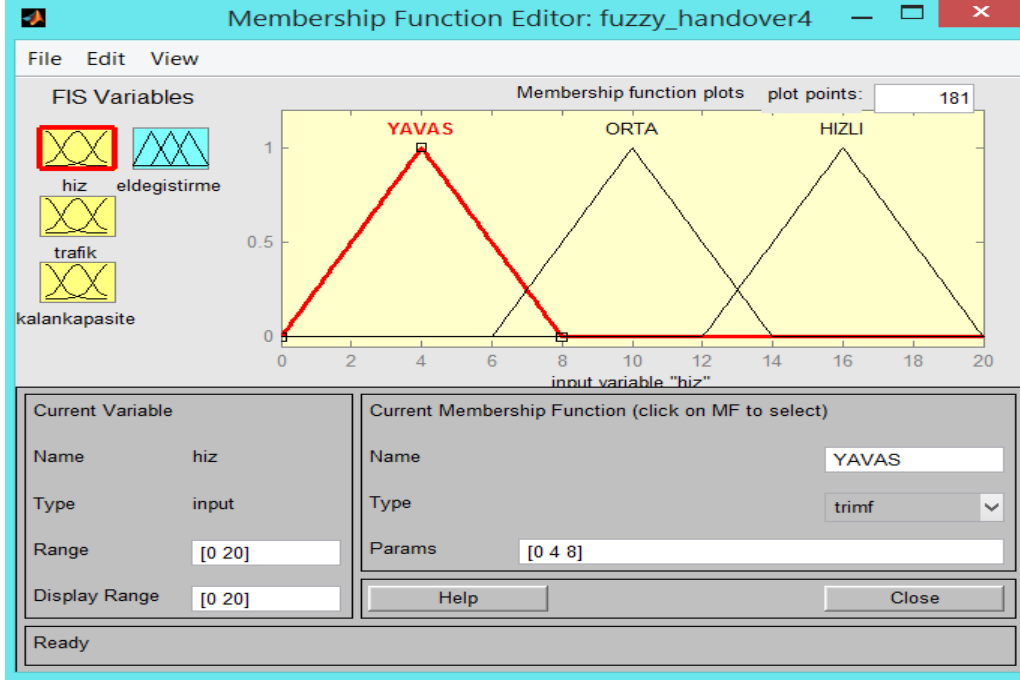
Bu çalışmada MATLAB'ın Şekil 3.4'deki bulanık mantık aracı kullanılmıştır. Buna göre solda yer alan parametrelerin sınıflarının giriş yeri, ortadaki Mamdani bulanık mantık temel yapısı ve en sağdaki el değiştirme kararı sınıfının giriş yeri görülmektedir.



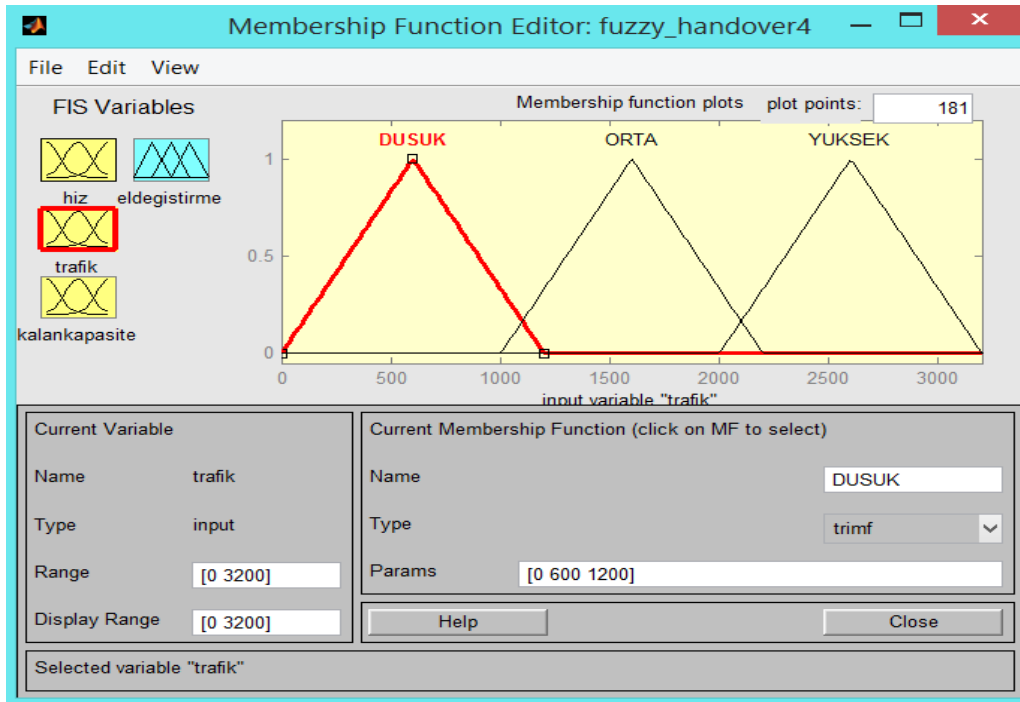
Şekil 3.4 : MATLAB bulanık mantık oluşturma aracı.

Üyelik fonksiyonu şekilleri çizimi yapılırken araştırmalarda genellikle üçgen tipli çizimler kullanılmıştır. Fakat MATLAB bulanık mantık aracı çizimler için birden fazla fonksiyon tipini desteklemektedir. Bu fonksiyon tiplerine örnek vermek gerekirse gauss eğrisi, üçgen, pi, S veya Z şekilli fonksiyonlar yazılabilir.

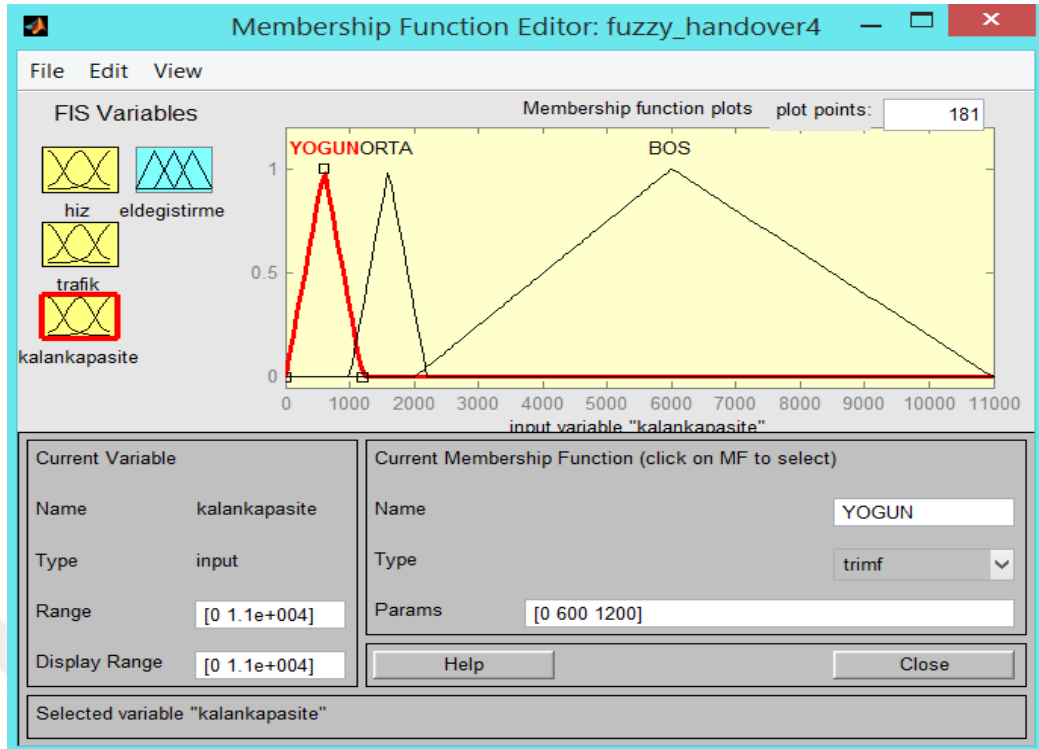
Parametre sınıflarının ayarlanması için Şekil 3.4'deki soldaki kutulara basılmakta ve ayarlamaları yapılmaktadır. Çizelge 3.2 doğrultusunda parametre sınıflarının ayarlamalarının ayrı ayrı yapıldığı durumlar; hız parametresi için Şekil 3.5, trafik parametresi için Şekil 3.6, kalan kapasite parametresi için Şekil 3.7'de görülmektedir.



Şekil 3.5 : Hız parametresinin ayarlanması.

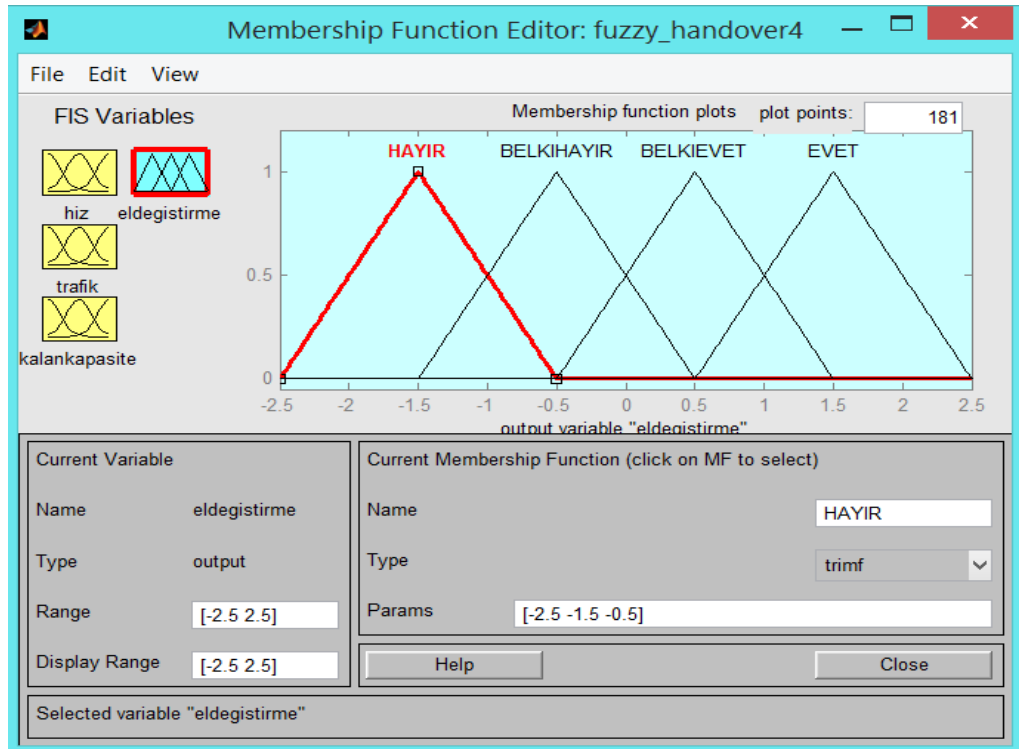


Şekil 3.6 : Trafik parametresinin ayarlanması.



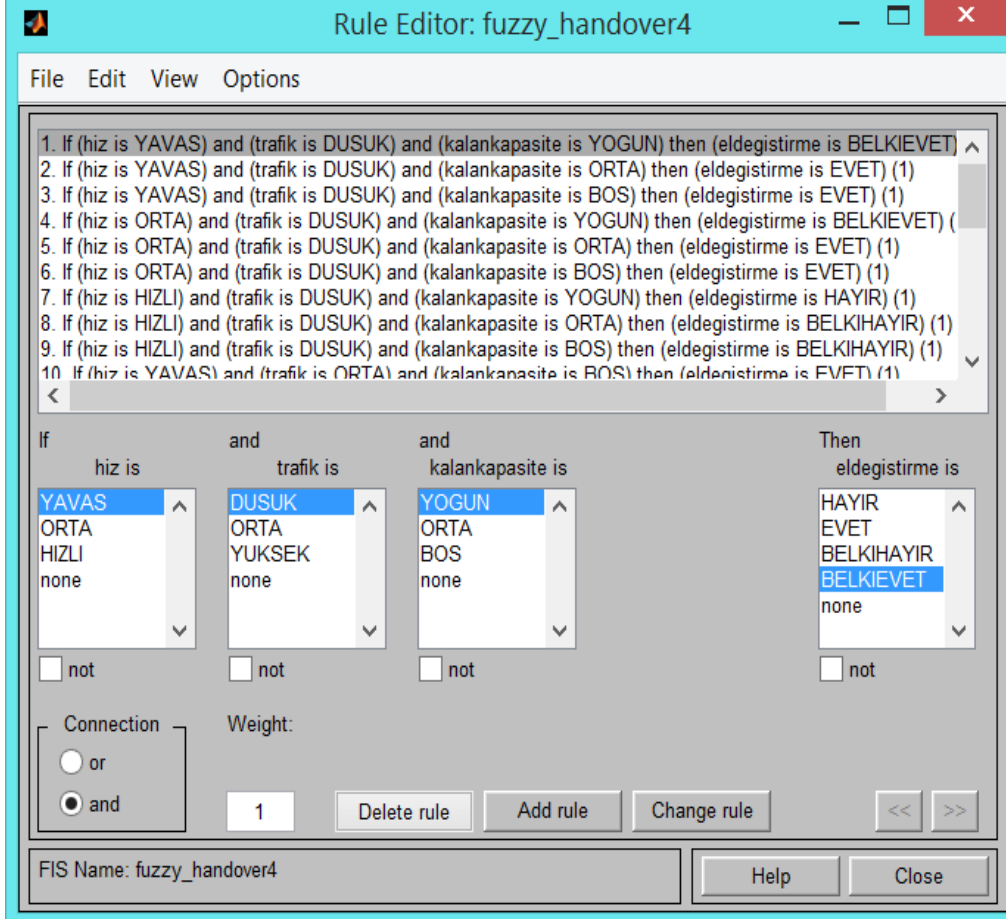
Şekil 3.7 : Kalan kapasite parametresinin ayarlanması.

Şekil 3.4'te bulunan en sağdaki kutuya basıldığında, bulanık mantık sisteminin çıkış sınıflarının girileceği Şekil 3.8'deki ekranla karşılaşmaktayız. Bu ekranda tasarlanan el değiştirme sınıflarının girişleri yapılmaktadır.



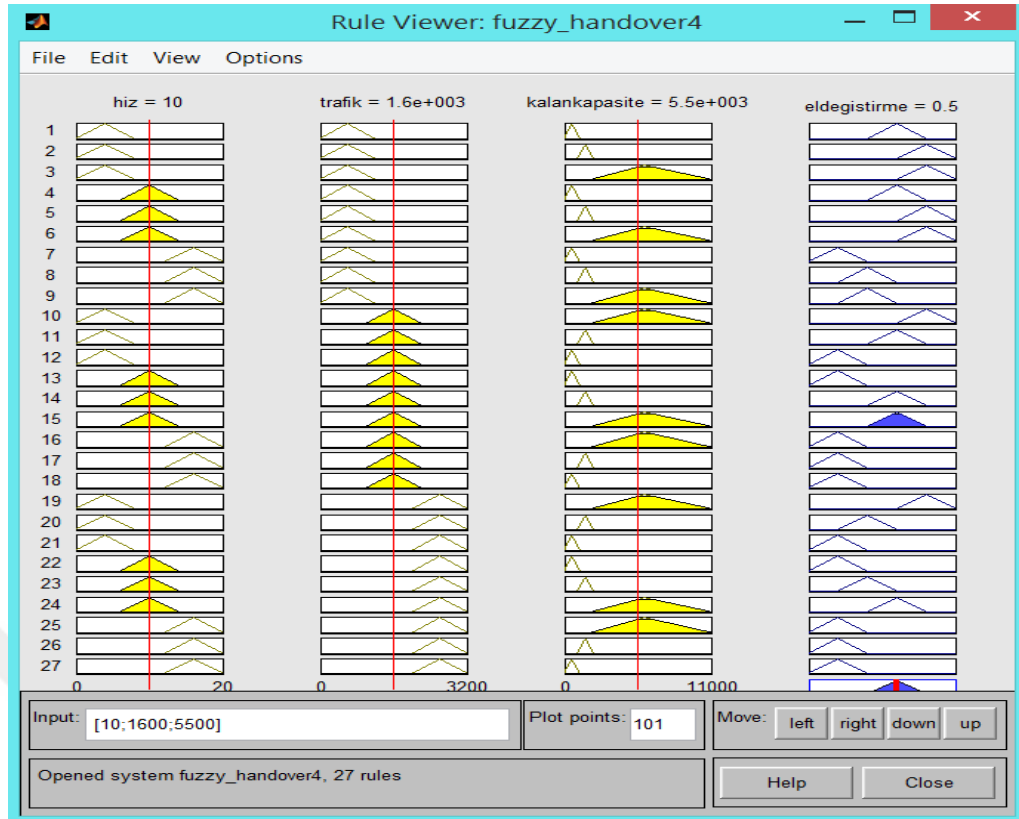
Şekil 3.8 : El değiştirme kararının ayarlanması.

Parametrelerin sınıflarını oluşturduktan sonra, bulanık mantık yapısında kuralların çalışmasını sağlamak için Çizelge 3.3’de verilen kuralları Şekil 3.9’daki kural düzenleyiciye girilmesi gerekmektedir. Çizelge 3.3’e göre ayrı ayrı her bir parametre sınıfı seçilmekte ve el değiştirme için de dört seçenekten biri seçilmektedir. Bütün kurallar ve bağlacıyla bağlanmakta olup eğer–ise–sonra mantığıyla çalıştırılmaktadır.



Şekil 3.9 : Bulanık mantık kurallar dizisinin girilmesi.

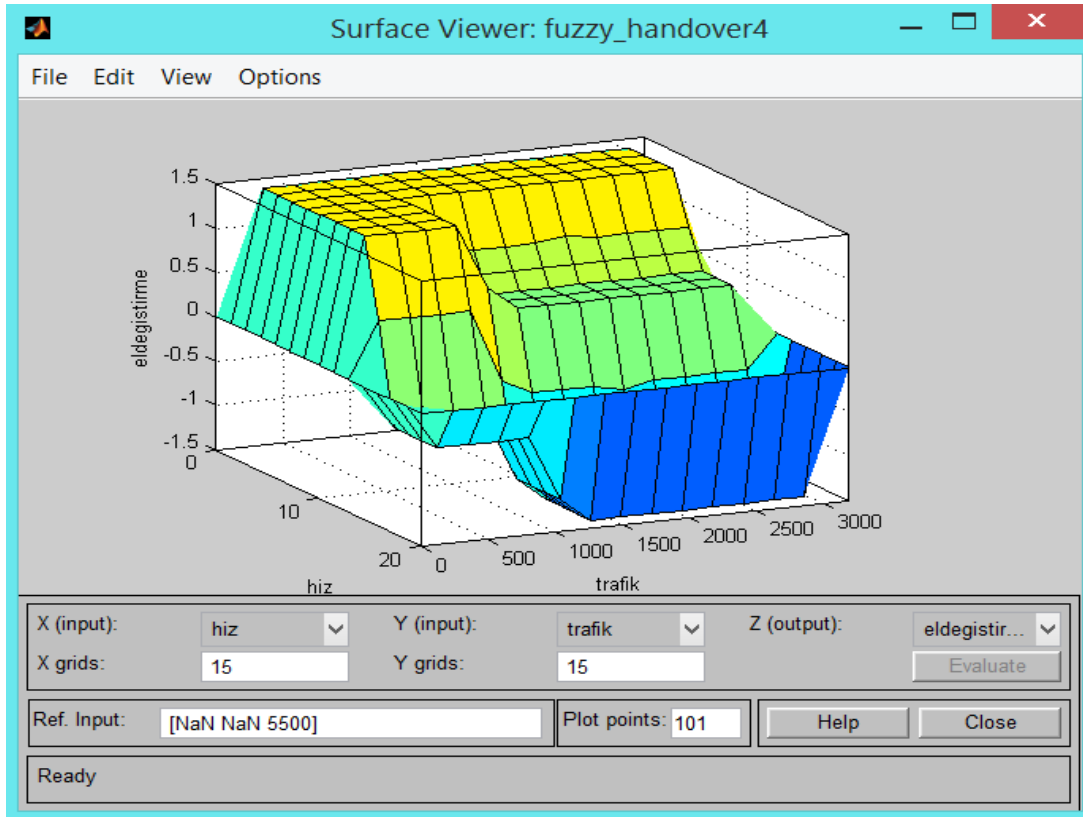
Kurallar girildikten sonra Şekil 3.10’da görüldüğü gibi tek tek girişler verilerek el değiştirme sonucu elde edilebilmektedir. Şekil 3.10’daki el değiştirme değeri 0.5 olarak çıkmıştır yani buna karşılık gelen Belki Evet kararıdır. Algoritmaya dönecek olursak şartlar sağlandığı vakit WLAN ağına dikey el değiştirmeye müsait bir ortam bulunmaktadır. Şekil 3.10’da görülen kırmızı çizgiler sağa veya sola doğru kaydırılarak giriş parametrelerinin değiştirilmesi sağlanmakta ve ona göre de sonuçlar elde edilmektedir. Giriş değerlerini değiştirmek için sadece kırmızı çizgiler değil aşağıda görülen giriş kısmı da kullanılabilir. Sonucu kendimiz giriş olarak verememekteyiz. MATLAB programı, kırmızı çizgilerle veya giriş kısmı kullanılarak verilen girişlere göre el değiştirme kararı sonucunu vermektedir.



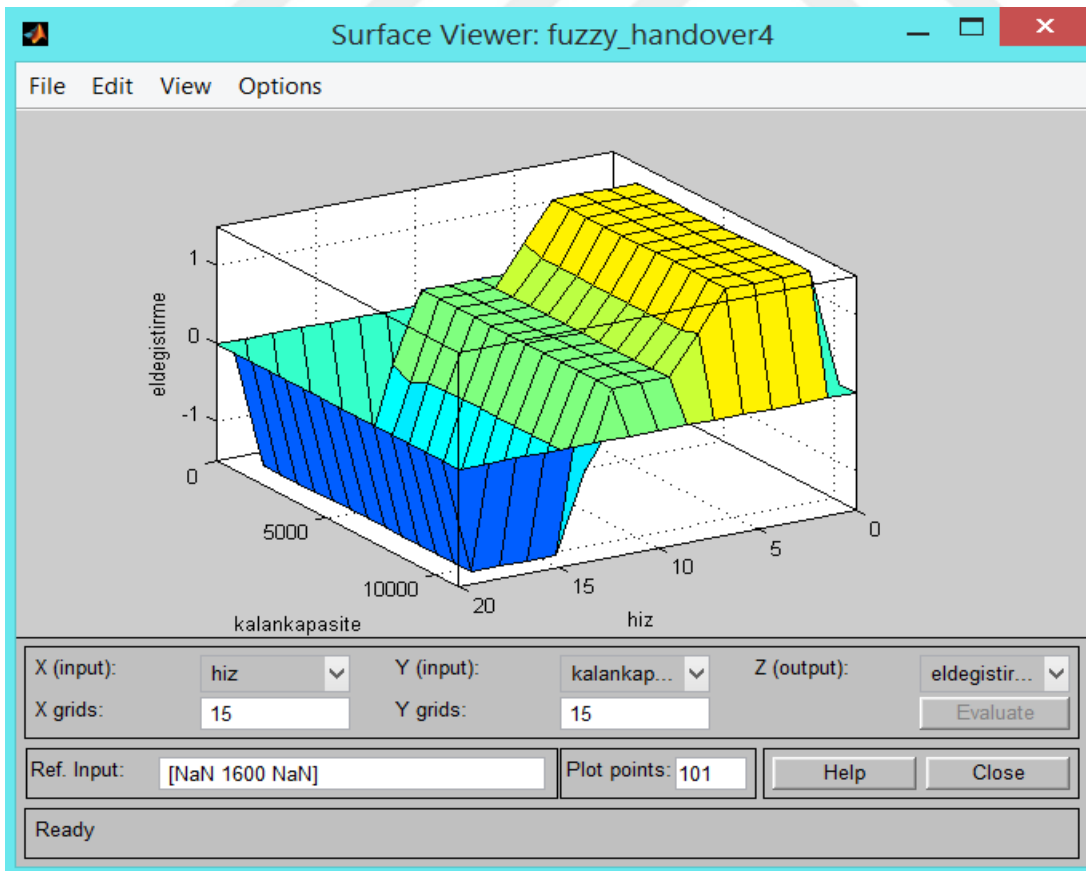
Şekil 3.10 : Giriş yapılan parametrelerin kurallar dizisi doğrultusunda görüntüsü.

Üç parametremiz ve her parametrede üç adet sınıf bulunmaktadır. Bu sınıfların birbirleriyle olan ilişkisini düzenlemek için toplamda $3 \times 3 \times 3$ olmak üzere 27 adet kurala ihtiyacımız bulunmaktadır. Fakat girişini yaptığımız 27 kuraldan sayıca daha çok giriş yaptığımızda makine öğrenmesini doğru olarak gerçekleştirebildiğimizi görebiliriz. Parametreleri ikiye gruplandırıp, grup dışında kalan parametreyi sabit tuttuğumuzda, gruptaki parametrelerin 15'er değişik giriş değeri seçiminde $15 \times 15 \times 1$ olmak üzere 225 adet tasarım sonucu elde etmekteyiz.

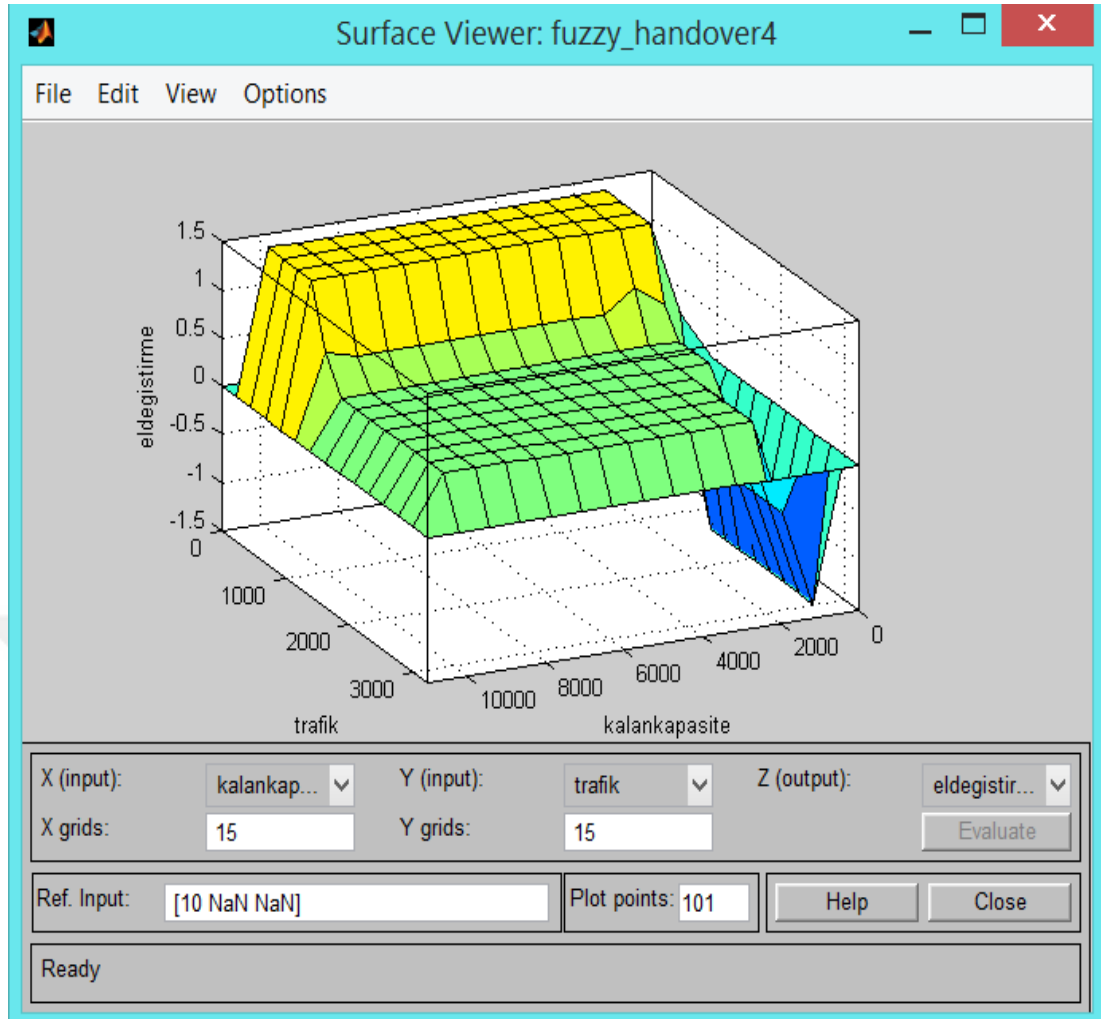
Şekil 3.11 hız-trafik değişimiyle, Şekil 3.12 hız-kalan kapasite parametresi değişimiyle, Şekil 3.13 trafik-kalan kapasite parametresi değişimiyle oluşacak el değiştirme kararının sonuçlarını vermektedir. Altındaki iki eksen girişlerde değişime uğrayan iki parametreye ait olup düşey eksen de el değiştirme sonucunu göstermektedir. Eğer el değiştirme eksenini 0'dan büyük ise ve +1.5 değeri arasındaysa el değiştirme gerçekleşmektedir. Bunun tersi olarak el değiştirme kararının sonucu 0'dan küçük ve -1.5 değeri arasındaysa el değiştirme gerçekleşmemektedir.



Şekil 3.11 : Hız-trafik parametreleriyle el değıştirme kararı.



Şekil 3.12 : Hız-kalan kapasite parametreleriyle el değıştirme kararı.



Şekil 3.13 : Trafik-kalan kapasite parametreleriyle el değıştirme kararı.



4. DİKEY EL DEĞİŞTİRME ALGORİTMASI BENZETİMİ

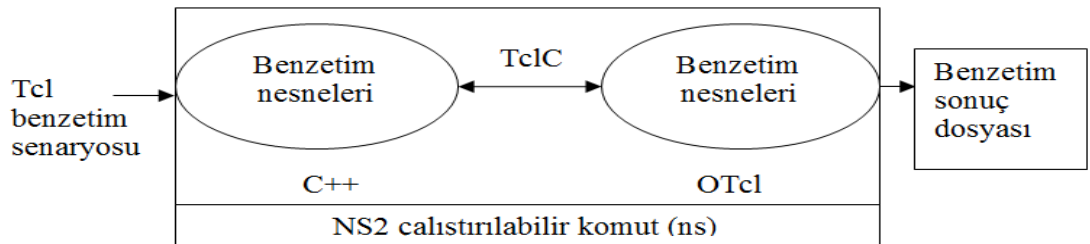
Dördüncü bölümde Network Simulator programı tanıtılacak ve daha sonra BMA'nın benzetim sonuçları NA'nın sonuçlarıyla karşılaştırılacaktır. Karşılaştırma sonucuna göre de performans analizi yapılacaktır.

4.1 Network Simulator Programı

Bu çalışmada kullanılan benzetim programı Network Simulator adlı programın 2.29 sürümüdür. NS2 olarak kısaca kullanılmaktadır. Programın çalışması için Linux tabanlı bir işletim sisteminin kullanılması gerekmektedir. İşletim sistemi olarak Linux tabanlı Fedora 18 kullanılmıştır.

NS2 programı halka açık olarak sunulan ücretsiz bir benzetim programıdır. Yapılan bu çalışmada ihtiyaç duyulan IEEE 802.21 protokolü, NS2 tarafından yama kullanılarak çalıştırılmaktadır. Bu ihtiyacı karşılamak için NIST'in geliştirdiği yama kullanılmıştır.

BMA tasarlandıktan sonra NS2 programında kodlanmıştır. NS2 programının yapısı olarak iki yönü bulunmaktadır [35]. Şekil 4.1'de görüldüğü gibi bu yönlerden ilki benzetimin yapıldığı tcl kodlama, ikincisi ise arka planda çalışan C++ kodlamasıdır. Benzetim parametrelerinin verildiği, topolojinin kurulduğu kısım için tcl; algoritmanın arka planda çalıştığı kısım için C++ kodlama işlemi yapılmıştır. Kısacası C++ kodların çalıştırılması, tcl ile yazılmış benzetim dosyasıyla yapılmaktadır. Benzetimlerde elde edilen sonuç dosyaları kullanılarak alınan veri miktarına, paket kaybı miktarına ve el değiştirme sayısı sonuçlarına ulaşılmıştır.



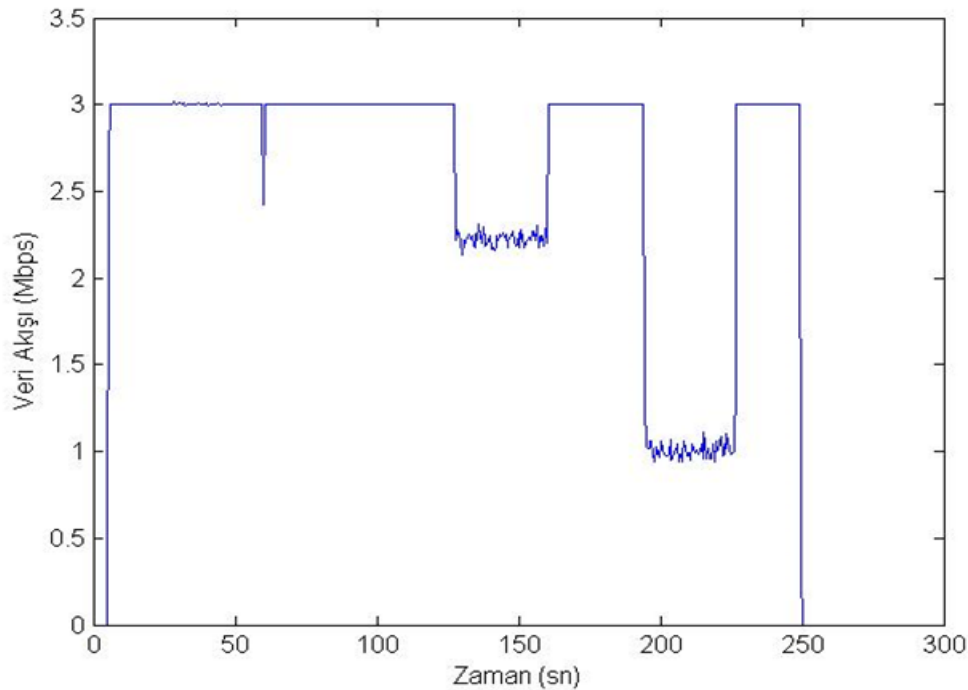
Şekil 4.1 : NS2 benzetim programının altyapı mimarisi.

4.2 Network Simulator Programı Benzetim Sonuçları

NS2 programı 4G ağı olarak yalnızca WiMAX ağını desteklemektedir. Bu yüzden dolayı kurulacak heterojen ağda zorunlu olarak WiMAX teknolojisi kullanılmıştır. Eğer NS2 programı yeni çıkarılacak bir eklenti yardımıyla LTE veya LTE Advanced teknolojilerini desteklerse, yapılan çalışma tekrar edilebilir. Fakat tahmini olarak gene aynı sonuçların elde edileceği düşünülmektedir.

Benzetimler iki aşamayla yapılmıştır. İlk aşamada klasik el değiştirme algoritması NA'nın benzetimleri yapıp sonuçları toplanmıştır. İkinci aşamada ise tasarımı yapılan BMA'nın benzetimleri için kodlanması yapılmıştır. BMA da NA'ya yapılan benzetimlerin aynısına tabi tutularak benzetim sonuçları elde edilmiştir.

Yapılan senaryo ve ağ topolojisi üzerinde NA'nın çalıştığı durumda; hız için 3 m/sn, trafik için 3 Mbps ve kalan kapasite için sırasıyla 5 Mbps, 2 Mbps ve 1 Mbps parametre olarak seçildiği, 250 saniyelik benzetim sonucu elde edilen veri akış grafiği Şekil 4.2'de verilmiştir.

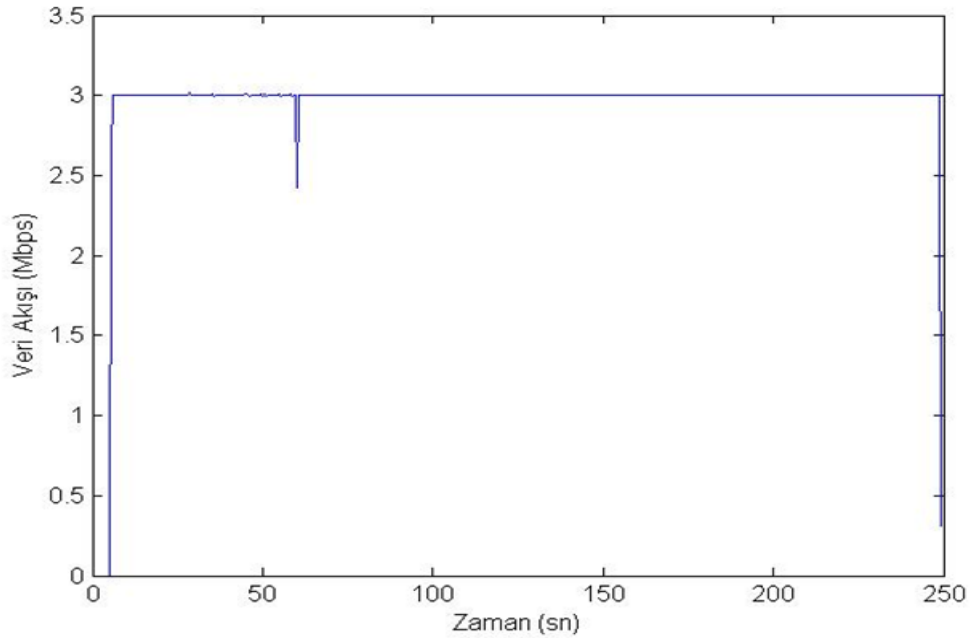


Şekil 4.2 : NA mobil terminal veri akışının zamanla değişimi.

Şekil 4.2'de görüldüğü gibi sabit 3 Mbps trafiğe sahip mobil terminal ilk WLAN ağına girdiğinde trafik hızını korumuş ikinci ve üçüncü ağlarda ise büyük kayıplar ile sahip olduğu trafik hızını kaybetmiştir. İlk girdiği WLAN ağı kalan kapasitesi en fazla olan ağken ikinci girdiği orta ve son olarak girdiği ağ da az olan ağdır. Zaman

olarak baktığımızda ilk ağı giriş yaklaşık 55-60 saniyeleri arasında yapılmıştır. El değiştirme gerçekleştiğinden dolayı küçük miktarda paket kaybı oluşmuştur. Orta yoğunluktaki ağı yaklaşık 125 saniye civarlarında giriş yapılmıştır. Bu durumda oluşan trafik hızı düşürümü, hem ilk ağı girişteki gibi el değiştirme kaynaklı hem de ağı yoğunluğundan kaynaklıdır. 200 saniye civarlarında mobil terminal yoğun ağı giriş yapmıştır. İkinci ağı girişte uğradığı paket kaybından daha fazla paket kaybına uğramış ve trafik hızı 1 Mbps seviyelerine inmiştir. 250 saniyelik bir benzetim olduğundan dolayı mobil terminalin aldığı trafik 250. saniyede sonlandırılmış veri iletim hızı 0 olmuştur.

BMA'nın çalıştığı durumda ve giriş değerleri olarak aynı değerler seçildiğinde Şekil 4.3'deki grafik elde edilmiştir. İki şekli karşılaştırdığımızda ortak yönlerinden biri 50. saniyelerde ilk ağı girişte uğranan küçük miktarda paket kaybı ve 250. saniyelerde benzetiminin bitmiş olmasıdır. İlk WLAN ağından WiMAX ağına geçiş yaparken her iki algoritmadaki mobil kullanıcı paket kaybına uğramamıştır. Şekil 4.3'de görüldüğü gibi kalan kapasitenin yetmemesinden dolayı ikinci ve üçüncü ağlara el değiştirme yapılmamış ve paket kaybı yaşanmamıştır. Mobil terminalin aldığı veri akışı sabit bir şekilde devam etmiştir.



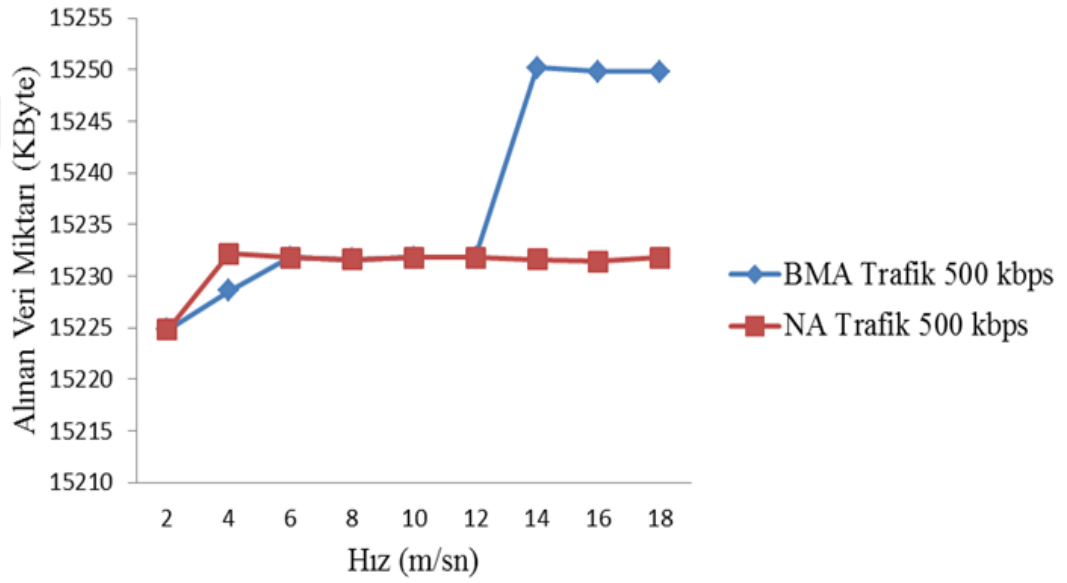
Şekil 4.3 : BMA mobil terminal veri akışının zamanla değişimi.

Her iki algoritma 250 saniyelik benzetimlerde çalıştırılmıştır. Mobil kullanıcıların aldığı veri miktarının, yaşadığı paket kaybının ve yaptığı el değiştirme sayılarının sonuçları Çizelge 4.1'de verilmiştir.

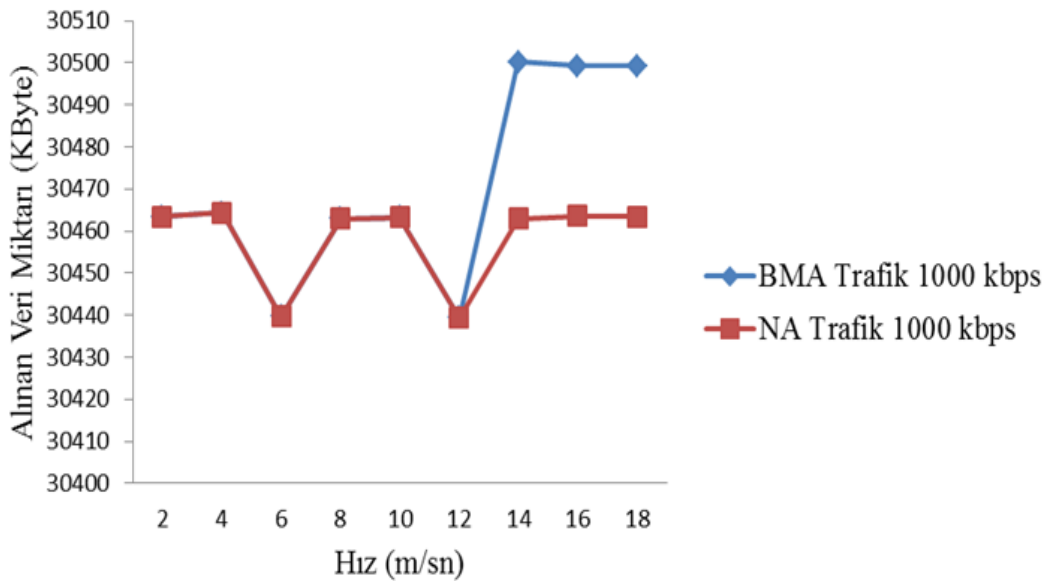
Çizelge 4.1 : NS2 benzetim sonuçları.

		GÖNDERİLEN TRAFİK (Kbps)																							
		500				1000				1500				2000				2500				3000			
		Hız (m/sn)	Paket Kaybı	Alınan Veri (KByte)	E.D. Sayısı	Paket Kaybı	Alınan Veri (KByte)	E.D. Sayısı	Paket Kaybı	Alınan Veri (KByte)	E.D. Sayısı	Paket Kaybı	Alınan Veri (KByte)	E.D. Sayısı	Paket Kaybı	Alınan Veri (KByte)	E.D. Sayısı	Paket Kaybı	Alınan Veri (KByte)	E.D. Sayısı					
NIST Algoritması (NA)	2	127	15224,8	6	186	30463,4	6	2243	43507	6	5283	55718	6	16037	64563	6	21074	77479,5	6						
	4	90	15232,2	6	179	30464,4	6	1027	44723	6	2589	58412	6	7557	70753,5	6	10459	84572,5	6						
	6	92	15231,8	6	307	30439,6	6	759	44991	6	1562	59439	6	5122	72524,5	6	6636	87042,5	6						
	8	93	15231,6	6	186	30463	6	558	45192	6	1183	59818	6	3928	73386	6	5287	87982,5	6						
	10	92	15231,8	6	187	30463,2	6	491	45259	6	1075	59926	6	2950	74101,5	6	4817	88166	6						
	12	92	15231,8	6	306	30439,4	6	334	4541,6	6	721	60280	6	2356	74521	6	3558	89049	6						
	14	93	15231,6	6	188	30463	6	236	45514	6	476	60525	6	1585	75079	6	2185	89982	6						
	16	94	15231,4	6	183	30463,6	6	308	45442	6	619	60382	6	1883	74880,5	6	2721	89575,5	6						
	18	92	15231,8	6	186	30463,4	6	245	45505	6	476	60525	6	1486	75168,5	6	2133	89968	6						
Bulanık Mantıklı Algoritma (BMA)	2	127	15224,8	6	186	30463,4	6	40	45729	4	51	60950	4	45	76217,5	2	54	91461	2						
	4	92	15228,6	6	179	30464,4	6	36	45714	4	50	60951	4	43	76219	2	52	91462,5	2						
	6	92	15231,8	6	307	30439,6	6	39	45711	4	52	60949	4	46	76216,5	2	55	91460	2						
	8	93	15231,6	6	186	30463	6	39	45711	4	52	60949	4	46	76216,5	2	55	91460	2						
	10	92	15231,8	6	187	30463,2	6	38	45712	4	50	60951	4	44	76218	2	53	91461,5	2						
	12	92	15231,8	6	306	30439,4	6	39	45711	4	50	60951	4	46	76216,5	2	54	91461	2						
	14	0	15250,2	0	0	30500,2	0	1	45749	0	2	60999	0	4	76248	0	5	91497,5	0						
	16	2	15249,8	0	5	30499,2	0	1	45749	0	2	60999	0	4	76248	0	5	91497,5	0						
	18	2	15249,8	0	5	30499,2	0	1	45749	0	2	60999	0	4	76248	0	5	91497,5	0						

Alınan veri miktarının mesafe kat etme hızıyla değiştiği grafikler Çizelge 4.1'den yararlanarak elde edilmiştir. NA'nın çalıştığı benzetimlerde, mobil terminalin aldığı veri miktarının sahip olduğu hızla arttığı görülmektedir. Bu durum kalan kapasite parametresi orta ve yoğun olan WLAN ağlarında geçirilen sürenin azalmasından kaynaklanmaktadır. Fakat az bir süre WLAN ağında geçirmesi bu ağa el değiştirme yapması için değer mi değmez mi buna karar verilmesi gerekmektedir. BMA'da hızın yükselmesi el değiştirme yapılması için kötü bir özellik olarak görülmüştür. Çünkü hız ne kadar artarsa WLAN ağında geçirilen süre o kadar azalacak ve gereksiz bir el değiştirme yapılmış olacaktır.

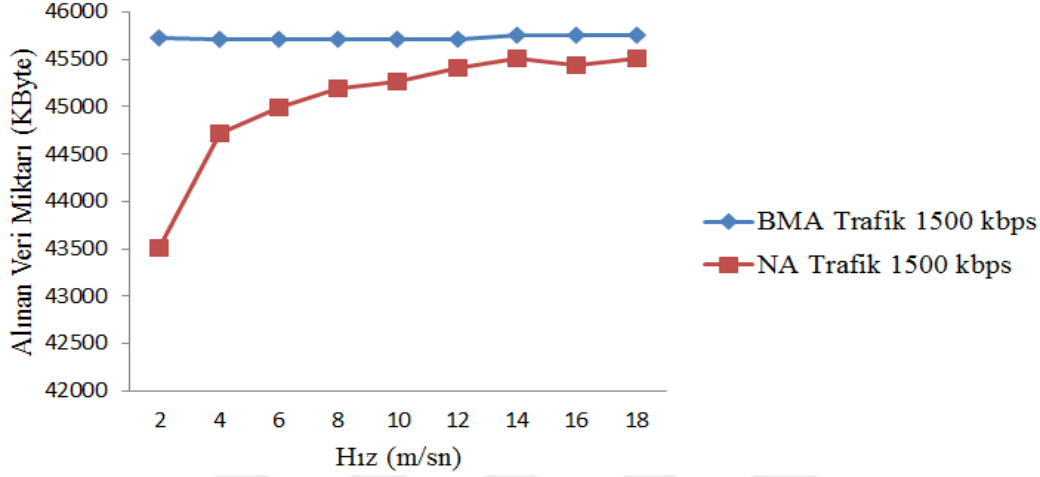


Şekil 4.4 : Düşük sınıflı 500 kbps trafikte alınan veri miktarı.

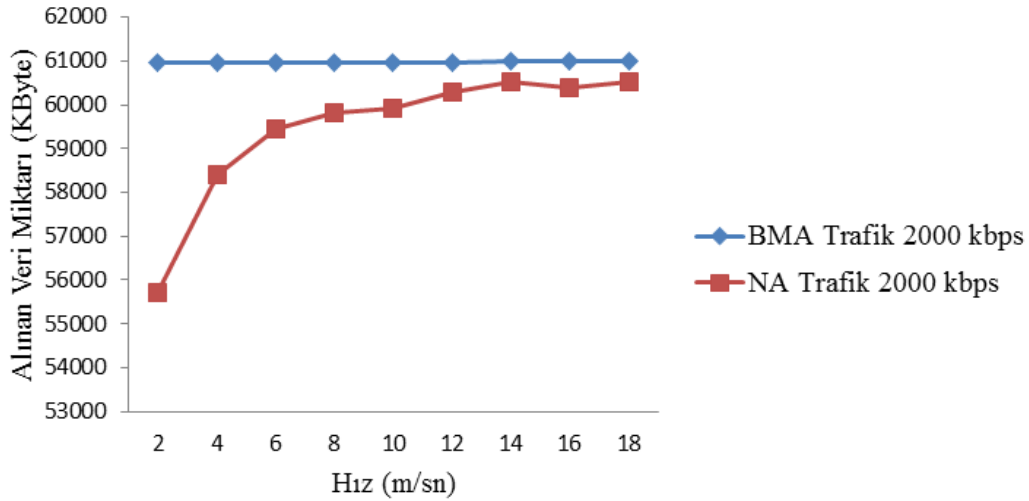


Şekil 4.5 : Düşük sınıflı 1000 kbps trafikte alınan veri miktarı.

Şekil 4.4 ve Şekil 4.5’de görüldüğü gibi eğer mobil terminale gönderilen veri trafiği yoğunluğu düşük olursa; yavaş ve orta hızdaki mobil terminalin aldığı veri miktarları, her iki algoritma için de neredeyse eşit olmuştur. Mobil terminal hızlı sınıfındaki bir hız ile giderse, BMA ile yapılacak gereksiz el değiştirmelerin önüne geçilerek, NA’ya göre daha fazla veri miktarı alınması sağlanmıştır.



Şekil 4.6 : Orta sınıflı 1500 kbps trafikte alınan veri miktarı.

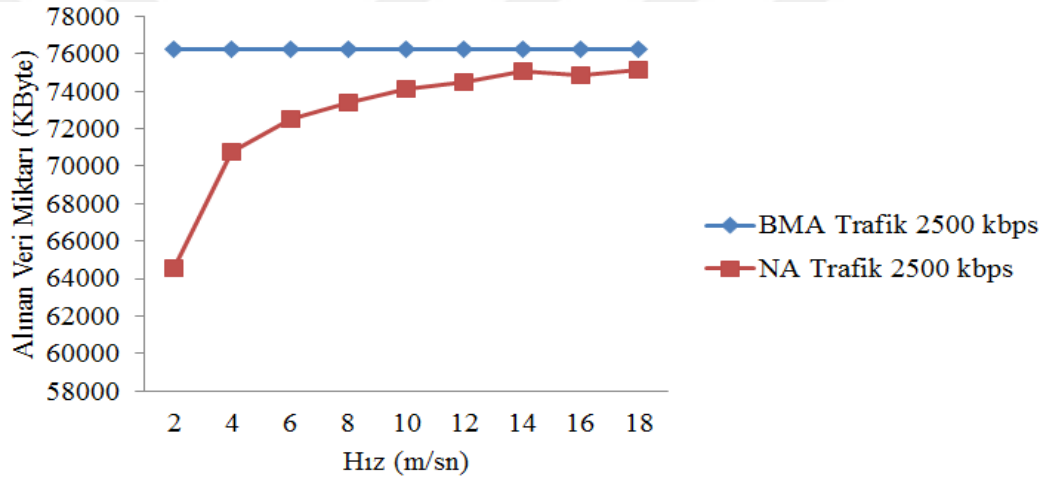


Şekil 4.7 : Orta sınıflı 2000 kbps trafikte alınan veri miktarı.

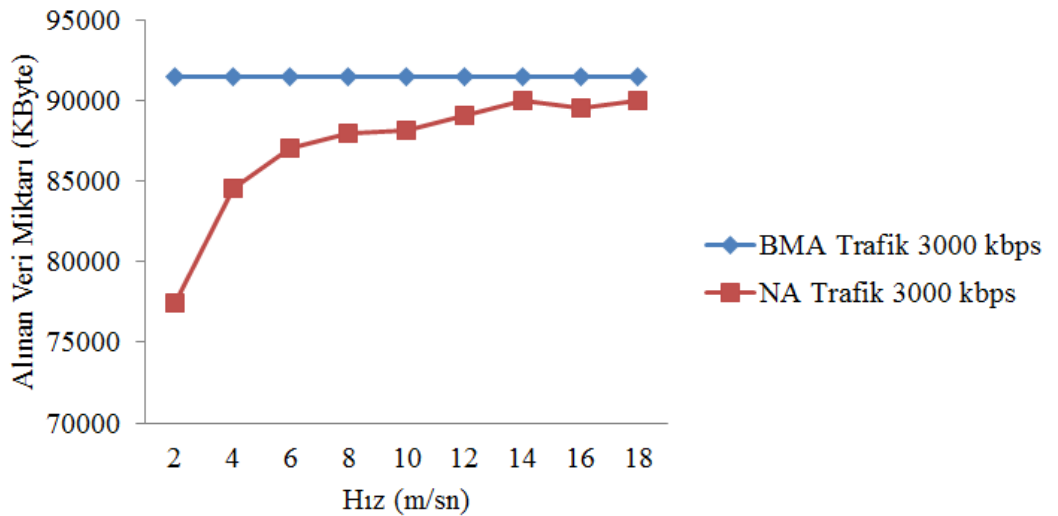
Orta ve yüksek sınıflı veri trafiği gönderimiyle, mobil terminalin hızının değişimi sonucu alınan veri miktarının grafikleri sırasıyla Şekil 4.6, Şekil 4.7, Şekil 4.8 ve Şekil 4.9’da verilmiştir. Buna göre alınan veri miktarının değerleri hariç neredeyse aynı özelliklere sahip çizgiler elde edilmiştir. BMA’da giriş yapılan WLAN ağının kalan kapasite ile mobil terminalin aldığı veri trafiği miktarının mükemmel bir şekilde ayarlandığı görülmektedir. Bu ayarlama, mobil terminalin hızının karar aşamasında kullanılmasıyla desteklenmektedir. NA’nın çalıştığı benzetimlerde ise

kalan kapasite açısından yoğun veya orta yoğun WLAN ağlarındaki verimsiz bir şekilde geçirilen süre, mobil kullanıcının düşük hız sınıfına dâhil olmasından dolayı artmıştır. Bu durum alınan veri miktarını azaltmıştır. Eğer mobil kullanıcı orta veya hızlı sınıfına ait hıza sahip olursa aldığı veri miktarı artmıştır.

Kısacası mobil terminalin aldığı veri miktarını arttırmak istiyorsak yapılacak el değiştirmelerin optimize edilmesi gerekmektedir. Bu işlemi yapabilmek için mobil terminalin kullandığı trafik alma yoğunluğunu, mesafe kat etme hızını ve gireceği WLAN ağlarına ait kalan kapasiteyi göz önüne almamız gerekmektedir. Mesafe kat etme hızı artınca WLAN ağında geçirilen süre azalacağından gereksiz bir el değiştirme olacağı bilinmelidir. Yine aynı şekilde trafik alma hızına göre WLAN ağının seçilmesi alınacak veri miktarını arttıracaktır.



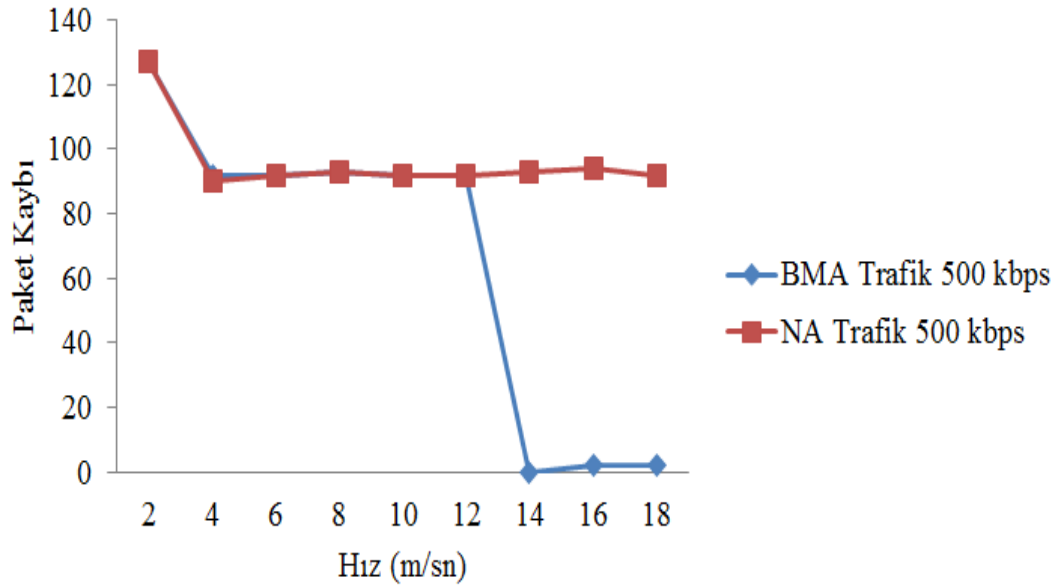
Şekil 4.8 : Yoğun sınıflı 2500 kbps trafikte alınan veri miktarı.



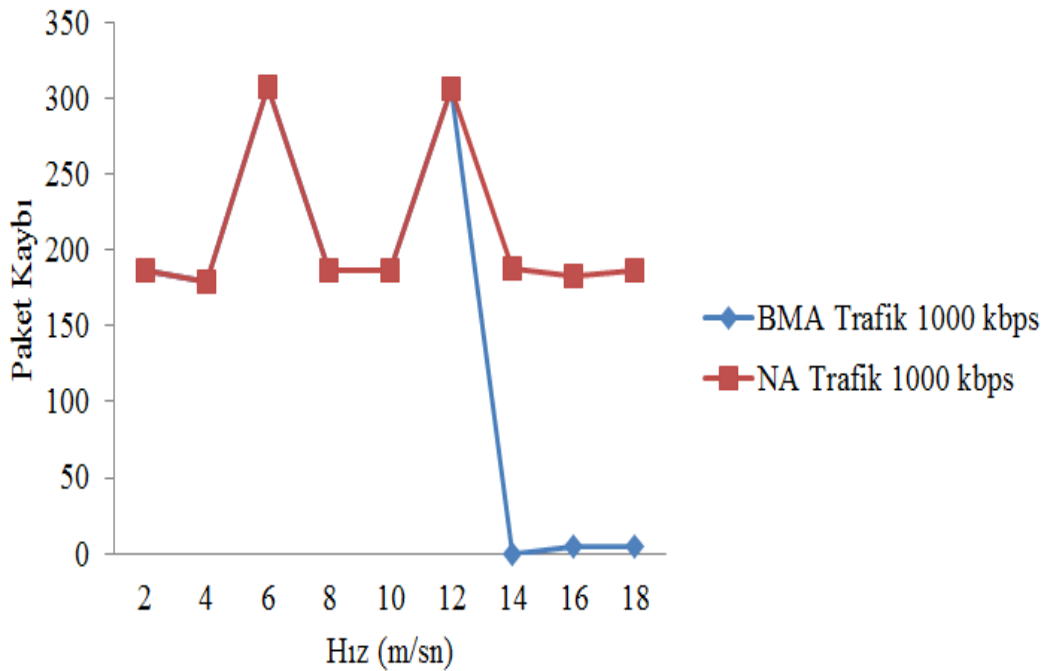
Şekil 4.9 : Yoğun sınıflı 3000 kbps trafikte alınan veri miktarı.

Çizelge 4.1’den yararlanarak elde edilen paket kaybının hızla ve trafik yoğunluğuyla değişim grafikleri oluşturulmuştur.

Paket kaybı grafiklerine bakıldığında, düşük hızlarda NA’da olan paket kaybı miktarının çok fazla olduğu görülmektedir. Mesafe kat etme hızının artırıldığı benzetimlerde ise paket kaybı miktarı azalmıştır. BMA ile NA’yı kıyaslayacak olursak, tüm grafiklerde paket kaybı miktarının az olması dolayısıyla BMA’nın çalıştığı durumlarda daha iyi sonuçlar alındığı görülmüştür.

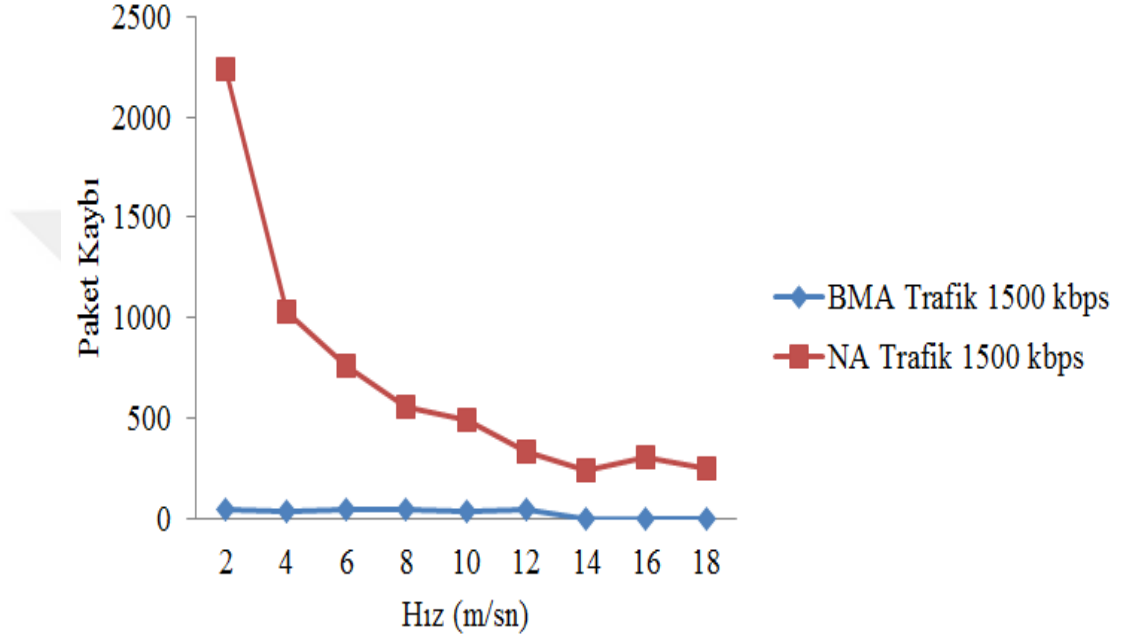


Şekil 4.10 : Düşük sınıflı 500 kbps trafikte paket kaybı miktarı.

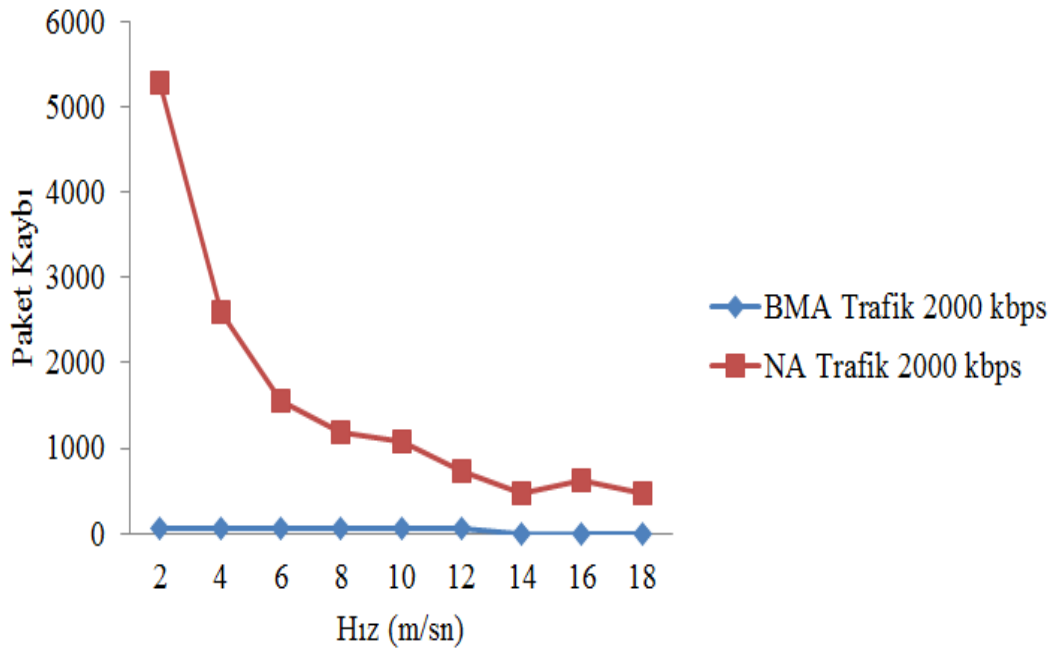


Şekil 4.11 : Düşük sınıflı 1000 kbps trafikte paket kaybı miktarı.

Düşük trafik hızı miktarı alan mobil terminalin kullanıldığı Şekil 4.10 ve Şekil 4.11’de 12 m/sn hızlarına kadar her iki algoritmanın da paket kaybı miktarları eşit olmuştur. BMA’nın çalıştığı durumda, 12 m/sn ve daha yüksek hızlar için bulanık mantık mesafe kat etme hızı sınıflandırmasında hızlı sınıfına denk gelmektedir. Bundan dolayı yapılacak el değiştirmeler gereksiz olarak tanımlanmış ve el değiştirmelerin önüne geçilerek paket kaybı minimumda tutulmuştur. NA’ya göre de daha az paket kaybı yaşanması sağlanmıştır.

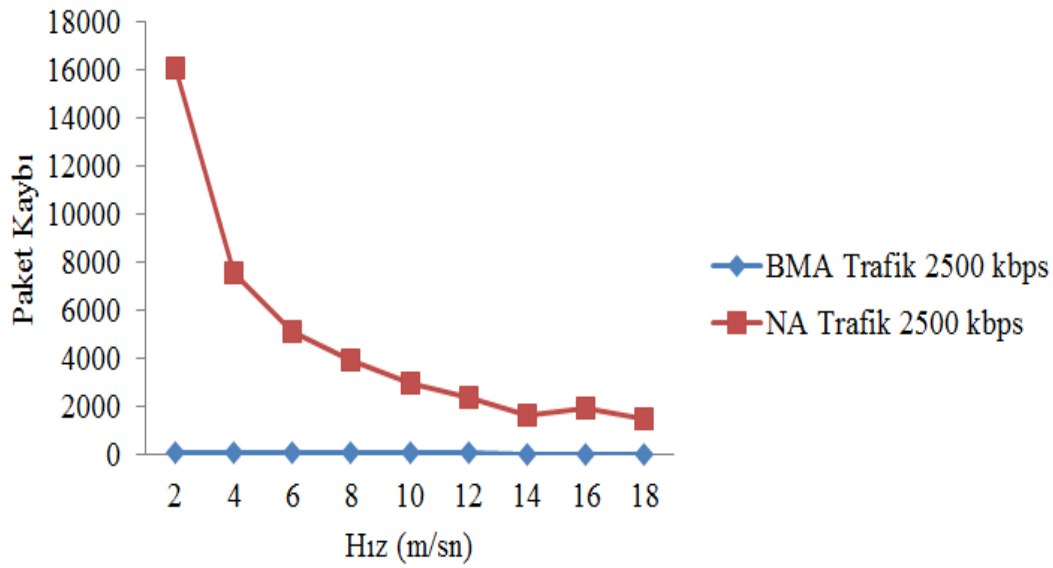


Şekil 4.12 : Orta sınıflı 1500 kbps trafikte paket kaybı miktarı.

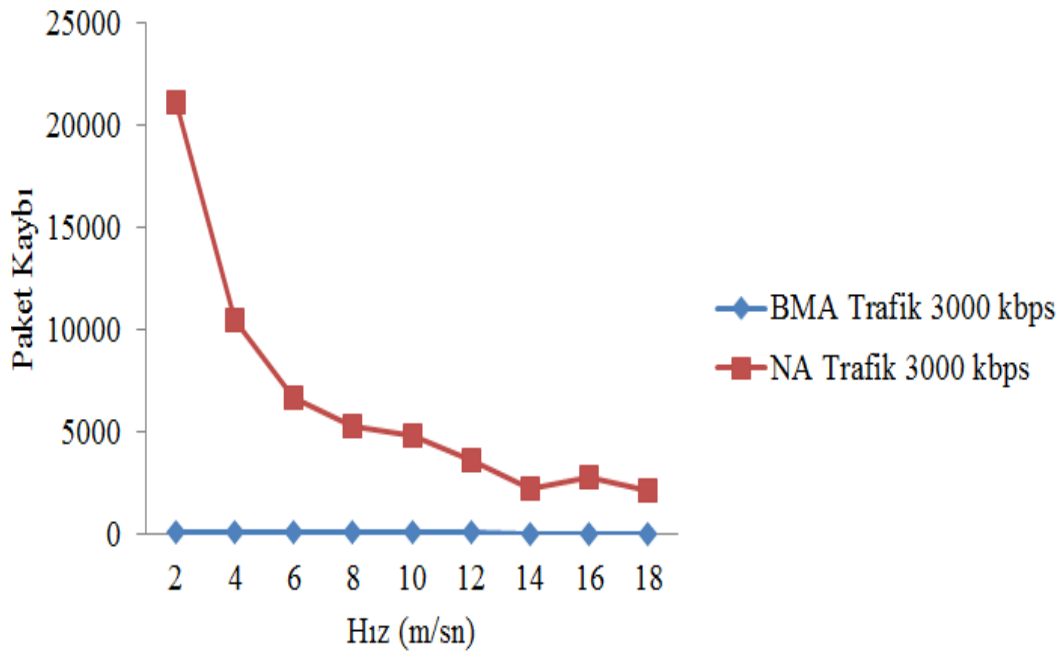


Şekil 4.13 : Orta sınıflı 2000 kbps trafikte paket kaybı miktarı.

Orta sınıfta alınan trafik yoğunluğu Şekil 4.12, Şekil 4.13; yüksek sınıfta alınan trafik yoğunluğu Şekil 4.14, Şekil 4.15 ve düşük sınıfta alınan trafik yoğunluklu Şekil 4.10, Şekil 4.11 kıyaslandığında orta ve yüksek trafik sınıflarında daha fazla paket kaybı yaşandığı görülmektedir. BMA ise orta ve yoğun miktartlı trafik alınması sırasında yaşanan paket kaybında daha iyi sonuçlar vermiştir. Bunun nedeni olarak mesafe kat etme hızının arttığı zaman oluşacak gereksiz el değiştirmelerin engellenmesi ve girilen WLAN ağına ait kalan kapasite ile alınan trafik hızının uyuşturulması gösterilebilir.



Şekil 4.14 : Yoğun sınıflı 2500 kbps trafikte paket kaybı miktarı.



Şekil 4.15 : Yoğun sınıflı 3000 kbps trafikte paket kaybı miktarı.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Kablosuz ağlardaki baş döndüren mükemmel gelişim araştırmacıları bu konular hakkında araştırma yapmaya yönlendirmektedir. Bu nedenden dolayı konu olarak kablosuz iletişim teknolojileri üzerinde çalışılmış ve heterojen kablosuz ağlarda IEEE 802.21 protokolü kullanarak bulanık mantık dikey el değiştirme algoritması BMA'nın tasarımı yapılmıştır.

Giriş bölümünde mobil haberleşme teknolojilerinin gelişimi ve bulanık mantığın mimarisi üzerinde durulmuştur. Tezde yapılan çalışmanın gereklilikleri anlatılmıştır. Kısacası üzerinde çalışılan konu hakkında ısındırma turu atılmıştır.

İkinci bölümde el değiştirmenin tanımı yapıp çeşitleri açıklanmıştır. Farklı teknolojiler arasında yapılan dikey el değiştirmeyi ve aynı teknolojiler arasında yapılan yatay el değiştirmeyi destekleyen IEEE 802.21 protokolünün mimari alt yapısı anlatılmıştır. Bu zamana kadar geliştirilen bazı algoritmaların karşılaştırılması yapılmış, iyi ve kötü yönlerine değinilmiştir.

Üçüncü bölümde çalışmanın tasarımı yapılmıştır. Benzetimi yapılacak ağ için topoloji kurulmuş, topolojideki elemanların kullandığı parametreler verilmiştir. Benzetimlerde kullanılacak algoritmalar NA ve BMA'ya yer verilerek çalışma biçimlerinin açıklamaları yapılmıştır. Az kuralla çok sonucun ortaya çıkmasını sağlayan bulanık mantık makine öğrenmesinin anlatımı yapılmıştır. MATLAB programı yardımıyla BMA'nın tasarımı yapılmıştır. Üç boyutlu grafiklerle 27 adet bulanık mantık kuralının girilmesine rağmen 225 adet girişe ait tasarım sonucunun elde edilebileceği gösterilmiştir.

Benzetimlerin ve sonuçlarının yer aldığı dördüncü bölümde, MATLAB ortamının tam olarak çalışmasını sağlayamadığı IEEE 802.21 protokolünün çalışmasının sağlandığı, NS2 benzetim programına geçiş yapılarak tasarlanan algoritma kodlanmıştır. Klasik yöntemli NA ve yeni tasarlanan BMA 54 adet girişe ait benzetime tabi tutulmuştur. Var olan 27 adet bulanık mantık kurallar dizisinin iki katı giriş ile makine öğrenmesinin gösterimi yapılmıştır. El değiştirme sayısı, paket kaybı

miktarı ve alınan veri miktarı performans metrikleri kullanılarak algoritmaların performans analizleri yapıp karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçlarına göre mobil kullanıcının WLAN ağına giriş yapması el değiştirme yapılması için yeter koşul olmadığı anlaşılmıştır. Mesafe kat etme hızına, trafik alma yoğunluğuna ve WLAN ağının kalan kapasitesine göre el değiştirme yapılması, paket kaybı miktarını azaltarak alınan veri miktarını arttırdığı görülmüştür. Yani tasarlanan algoritma performans olarak mevcut algoritmanın üstünde sonuçlar vermektedir. Buradan anlaşıldığı gibi her alanda kullanılmaya başlanan bulanık mantık sisteminin kablosuz haberleşme teknolojilerinde de kullanılması kaçınılmaz bir gerçek olmaktadır.

Bu çalışmada ele alınan bulanık mantık yapısını kullanan el değiştirme algoritması BMA şuan için sadece 4G ve WLAN ağlarında çalışmaktadır. Ayrıca mobil kullanıcı olarak sadece bir adet terminal desteklemektedir. Gerçek dünyaya uyarlayabilmek için mobil kullanıcı sayısı arttırılıp benzetim yapılabilir. Bununla birlikte gelecek çalışmalarda BMA'nın daha da geliştirilmesiyle; 3G, 4G, 5G ve WLAN gibi değişik teknolojik ağları içeren karmaşık heterojen kablosuz haberleşme altyapıları kurularak, değişik teknolojilerin birlikte uyum içinde çalışmaları sağlanabilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Coşkun, G., Hökelek, İ. ve Çırpan, H.A.** (2014). Energy efficient handover between heterogeneous networks using IEEE 802.21, Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), 674 – 677.
- [2] **Lee, H.H., Park, H., Choi, J.S.** (2015). Radio resource management based on IEEE 802.21 media independent service framework, 17th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT), 309 – 314.
- [3] **Walke, B.H., Seidenberg, P. ve Althoff, M.P.** (2013). UMTS: The Fundamentals, John Wiley & Sons Ltd., İngiltere.
- [4] **Krenik, B.** (2006). Cellular handset integration, USA Design, Applications, Integration and Software, IEEE Dallas/CAS Workshop on.
- [5] **Kwok, Y.R. ve Lau, V.K.N.** (2007). Wireless Internet and Mobile Computing: Interoperability and Performance, Wiley, ABD.
- [6] **Seo, D.** (2013). Evolution and Standardization of Mobile Communications Technology, IGI Global, ABD.
- [7] **Sheikh, A.U.H.** (2004). Wireless Communications: Theory and Techniques, Springer, ABD.
- [8] **Traynor, P., McDaniel, P. ve Porta, T.L.** (2008). Security for Telecommunications Networks, Springer, ABD.
- [9] **Mistry, P.M.** (1998). Third generation cellular (3G): W-CDMA and TD-CDMA, Northcon/98 Conference Proceedings, ABD.
- [10] **Korowajczuk, L. ve Xavier, B.S.A.** (2004). Designing CDMA2000 Systems Wiley, İngiltere.
- [11] **Istepanian, R.S.H., Hu, S., Philip, N.Y. ve Sungoor, A.** (2011). The potential of Internet of m-health things “m-IoT” for non-invasive glucose level sensing, Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 5264 – 5266.
- [12] **Rodriguez, J.V.P. ve Esmailpour, A.** (2016). Integrated QoS provisioning for unified LTE-WiMAX networks, Computing, Networking and Communications (ICNC), 1 – 6.
- [13] **Url-1** <<http://wimaxforum.org/Page/Membership>>, erişim tarihi 21.09.2017.
- [14] **Url-2** <<http://www.turkcell.com.tr/servisler/hd-ses-ve-video-arama>>, erişim tarihi 16.09.2017.

- [15] **Chang, C.L.** (1997). Fuzzy-logic-based Programming, World Scientific Publishing, Singapur.
- [16] **Sharma, V., Agarwal, A. ve Qadeer, M.A.** (2011). Media Independent Handover (IEEE 802.21): framework for next generation vertical handover protocols, Computational Intelligence and Communication Networks (CICN), 507 - 511.
- [17] **Romero, J.P., Sallent, O., Agusti, R. ve Diaz-Guerra, M.A.** (2005). Radio Resource Management Strategies in UMTS, Wiley, İngiltere.
- [18] **Hocine, A., Lyes, K. ve Moez, E.** (2015). MIH (Media Independent Handover) for green wireless communications, Consumer Communications and Networking Conference (CCNC), 322 - 327.
- [19] **Jain, A. ve Tokekar, S.** (2016). IEEE 802.21 based seamless mobility in UMTS-WLAN heterogeneous network, Electrical, Electronics, and Optimization Techniques (ICEEOT), 1728 - 1732.
- [20] **Wong, D.T., Kong, P.Y., Liang, Y.C. ve Chua, K.C.** (2009). Wireless Broadband Networks, Wiley, ABD.
- [21] **Oliva, A.D.L., Banchs, A., Soto, I., Melia, T. ve Vidal, A.** (2008). An overview of IEEE 802.21: media-independent handover services, IEEE Wireless Communications, 15(4), 96 - 103.
- [22] **Bhosale, S. ve Daruwala, R.** (2013). Investigations on IEEE 802.21 based media independent handoff algorithm for access network selection between WiFi and WiMAX, International Journal of Scientific & Engineering Research, 4(5).
- [23] **Kammoun, A. ve Tabbane, N.** (2016). Fuzzy utility decisional vertical handover algorithm for enhancing network performances, International Conference on Multimedia Computing and Systems (ICMCS), 337 – 343.
- [24] **Boussen, S., Tabbane, N., Tabbane, S. ve Krief, F.** (2014). A context aware vertical handover decision approach based on fuzzy logic, Fourth International Conference on Communications and Networking, ComNet, 1-5.
- [25] **Liu, L., Sun, L. ve Ifeachor, E.** (2016). User-centric QoE-driven vertical handover framework in heterogeneous wireless networks, International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob), 1-8.
- [26] **Coşkun, G., Hökelek, İ. ve Çırpan, H.A.** (2014). Energy efficient handover in HetNets using IEEE 802.21, IEEE International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems, 349 – 353.
- [27] **Jain, A. ve Tokekar, S.** (2016). IEEE 802.21 based seamless mobility in UMTS WLAN heterogeneous network, International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques (ICEEOT), 1728 - 1732.

- [28] **Ciccarese, G., Blasi, M.D., Marra, P., Mighali, V., Palazzo, C., Patrono, L. ve Stefanizzi, M.L.** (2009). Vertical handover algorithm for heterogeneous wireless networks, Fifth International Joint Conference on INC, IMS and IDC, 1948 - 1954.
- [29] **Tamijetchelvy, R. ve Sivaradje, G.** (2013). An optimal vertical handover for heterogeneous networks based on IEEE 802.21 MIH standards, Fifth International Conference on Advanced Computing (ICoAC), 446 - 451.
- [30] **Gill, H. ve Baghla, S.** (2014). A new fuzzy simulation model for vertical handoff in heterogeneous networks, SSRG International Journal of Electronics and Communication Engineering (SSRG-IJECE), 1(6).
- [31] **Goel, N., Purohit, N. ve Singh, B.R.** (2014). A new scheme for network selection in heterogeneous wireless network using fuzzy logic, International Journal of Computer Applications, 88(3).
- [32] **Sunita, E., Soni, E.S. ve Baghla, E.S.** (2015). Fuzzy logic based handover decision and necessity estimation scheme for heterogeneous wireless networks, International Journal of Scientific Research and Management (IJSRM), 3(6), 3234-3238.
- [33] **Sharmal, M. ve Khola, R.K.** (2012). Fuzzy logic based handover decision system, International Journal of Ad hoc, Sensor & Ubiquitous Computing (IJASUC), 3(4).
- [34] **Mou, M.M.R ve Chowdhury, M.Z.** (2017). Service aware fuzzy logic based handover decision in heterogeneous wireless networks, International Conference on Electrical, Computer and Communication Engineering (ECCE), 686 – 691.
- [35] **Issariyakul, T. ve Hossain, E.** (2012). Introduction to Network Simulator NS2 (2. baskı, sayfa 22), Springer, ABD.



ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Gürkan COŞKUN
Doğum Tarihi ve Yeri : 23/10/1991 Büyükçekmece
E-posta : gurkan.coskun@itu.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU:

Lisans : 2014, İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik Elektronik Fakültesi, Telekomünikasyon Mühendisliği
Yüksek lisans: 2017, İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı, Telekomünikasyon Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM:

2014-2016 Garanti Teknoloji Network Mühendisliği

LİSANS TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR:

- Coşkun, G., Hökelek, İ. ve Çırpan, H.A.** (2014). Energy efficient handover between heterogeneous networks using IEEE 802.21, Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), 674 – 677.
- Coşkun, G., Hökelek, İ. ve Çırpan, H.A.** (2014). Energy efficient handover in hetnets using IEEE 802.21, IEEE International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems, 349 – 353.