

# DH1, DH3 ve DH5 PAKET TİPLERİNİN KULLANILDIĞI BLUETOOTH AĞLARIN MATLAB-SİMULINK ile MODELLENMESİ ve ADAPTİF PAKET SEÇİMİ

Radosveta SOKULLU<sup>1</sup>, Emine DOĞANAY<sup>2</sup>, İsmail KURTOĞLU<sup>3</sup>, Engin KARATEPE<sup>4</sup>  
Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü  
35100 Bornova-İzmir

[radosveta.sokullu@ege.edu.tr](mailto:radosveta.sokullu@ege.edu.tr)<sup>1</sup>, [eminedoganay@hotmail.com](mailto:eminedoganay@hotmail.com)<sup>2</sup>, [i\\_kurtoglu35@yahoo.com](mailto:i_kurtoglu35@yahoo.com)<sup>2</sup>, [engin.karatepe@ege.edu.tr](mailto:engin.karatepe@ege.edu.tr)<sup>4</sup>

*Anahtar Sözcükler :Bluetooth, Matlab/Simulink, Modelleme, Adaptif paket seçimi*

## ABSTRACT

*In this paper we present a Matlab/Simulink simulation model for performance evaluation developed for DH1, DH3 and DH5 type Bluetooth data packets. Carrying out the evaluation this model takes into account negative/damaging effects like environment (channel quality), distance and interference signals in the Bluetooth frequency band. The model developed has been tested and calibrated to analytical model presented before. Besides this, a new, different from the ones presented so far in literature, adaptive packet selection algorithm is suggested. According to this algorithm the packet type selection is done based on the number of retransmission that have been realized until a successful reception of a certain packet is obtained under the current environment conditions. The results obtained using the simulation model have proved the increase in performance provided by this algorithm.*

## ÖZET

*Bu çalışmada Bluetooth teknolojisinde kullanılan DH1, DH3 ve DH5 data paket tipleri için Matlab-Simulink ortamında iletişim performansını değerlendirebilecek bir simülasyon modeli gerçekleştirilmiştir. Bu model ile ortam şartları, mesafe ve Bluetooth iletişim frekans aralığına düşen sinyallerin bozucu etkileri iletişim ortamına dahil edilerek sistem performansları incelenmiştir. Geliştirilen bu simülasyon programının doğruluğu literatürde yer alan matematiksel modeller ile kıyaslanarak gösterilmiştir. Ayrıca bu çalışmada literatürdeki çalışmalardan farklı yeni bir adaptif paket seçimi algoritması denenmiştir. Bu algoritmada tekrarlanan frame sayısı kriter olarak seçilmiştir. Elde edilen sonuçlar önerilen algoritmanın performans artışı sağlayabileceğini göstermektedir.*

## 1. GİRİŞ

Kablosuz haberleşme sistemleri içinde Bluetooth ağların performanslarının artırılmasına yönelik çalışmalar halen güncelliğini korumaktadır. Literatürde DM paket tipleri için veri iletişiminin simülasyon modeli ve çeşitli gürültü ortamlarında sistem performanslarının incelenmesi, ortam

şartlarına göre en iyi paket tipinin adaptif olarak değiştirilip performans etkisi, gürültü etkisi artarken QoS'in sabit tutulduğu dinamik programlama algoritmasının geliştirilmesi ve performans artırımı sağlamaya yönelik çeşitli çalışmalar yapılmıştır [2-7]. Bu tür sistemlerin geliştirilmesi aşamasında modelleme ve simülasyon çalışmaları önemli bir yer tutmaktadır. Simülasyon programları, tasarım ve uygulama aşamasındaki riskleri azaltmakta, donanımsal bazda geri dönüşümü olmayan veya oldukça zor olan ve yüksek maliyetler tutan sistemlerin kurulum ve testleri için tasarruf sağlamaktadır. Bu çalışmada da Bluetooth sistemlerinin tasarımı gerçekleşmeden önce alınacak önlemler ve sistem geliştirilmesine yönelik, performans artırımı sağlayacak yeni algoritmaların gerçekleştirilip denenmesini sağlayacak bir simülasyon ortamının sunulması amaçlanmıştır. Bu tip simülasyonlar özellik günümüz araştırma geliştirme teknolojilerinin üretim ve geliştirme aşamasında aranan en önemli özelliklerden biri haline gelmiştir.

Bu makalede ilk önce Bluetooth teknolojisinin kısa bir tanıtımı yapılmıştır. Daha sonra DH paket tiplerinin yapısı, bir sonraki bölümde modelleme ve simülasyon programı anlatılmıştır. Daha sonra önerilen adaptif paket algoritması anlatılarak elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

## 2. BLUETOOTH TEKNOLOJİSİ

Bluetooth elektronik cihazların kısa mesafe içerisinde radyo frekansı kullanarak birbirleriyle haberleşmesini ve anlaşmasını sağlayan standart bir iletişim teknolojisidir. Bluetooth teknolojisini bilgisayar ürünlerinde yaygın olarak bulunan kızılötesi teknolojisinden ayırt eden özelliklerin başında, Bluetooth cihazların birbirlerini görmelerinin gerekmemesi ve kapsam alanı içerisinde yedi cihazın birbirleriyle eşzamanlı haberleşebilmesi gelmektedir. Bluetooth bir kısa (10 metre civarında) ve bir de opsiyonel olarak orta mesafeli (100 metre civarında) olmak üzere iki radyo bağlantısına sahiptir. Bu bağlantılar kanal başına maksimum 720 Kbps'lik veri ve ses iletişimi yürütebilmektedir. Radyo frekans işlemleri 2.40-2.48

GHz'lik ISM bandında yer alır. Geniş bir spektrum, frekans sıçraması ve saniyede azami 1600 sıçramaya müsaade eden tam-dubleks sinyal iletişim kullanılmaktadır. Başarılı bir parazit engelleme için, sinyallerin 1 MHz'lik aralıklarda bulunan 79 frekans arasında sıçramalar yapması sağlanır. RF verimi, 10 metre mesafeli versiyonda 0 dBm (1 mW), daha uzun mesafeli versiyonda ise -30 ilâ +20 dBm (100 mW) olarak belirlenmiştir. Radyo tarifnamesinin belirlenmesi sırasında, CMOS devrelerinde tek çipe imkan veren bir dizaynın öngörülmesine büyük özen gösterilmiştir. Bu sayede maliyetin, güç tüketiminin ve mobil cihazlar için büyük önem taşıyan çip boyutunun azalması mümkün olabilmektedir. Bluetooth ağlarda ses iletişimi üç adete kadar simültane, senkronize ses kanalı veya asenkron veri ile senkronize sesi simültane olarak destekleyen bir kanal kullanılır. Her ses kanalı 64 Kbps'lik senkronize bir ses kanalını her iki yönde de destekleyebilir. Veri iletişiminde ise asenkron veri kanalı maksimum 723.2 Kbps'lik asimetrik (ve bununla birlikte dönüş yönünde 57.6 Kbps) ya da 433.9 Kbps'lik simetrik iletişimi destekleyebilir. Bir master, asenkron bir kanalı piconet ismi verilen ağ yapısında aynı anda aktif olan 7 tane slave ile paylaşabilir. Aktif ve bekleme durumundaki slave'lerin piconette sırayla değiştirilmesi sayesinde 255 tane slave sanal olarak birbirine bağlanabilmektedir. Bu sırada özel park adresi (PM\_ADDR) kullanılır. Bir cihaz 2 ms içinde yeniden iletişime katılabilir. Bekleme durumuna daha fazla sayıda slave almak BD\_ADDR kullanılabilir. Bekleme durumuna alınabilecek slave sayısı ise sınırlı değildir. Slave'ler farklı piconetlerde yer alabilir ve bir piconette master olan başka bir piconette slave olabilir; bu ağ yapısına ise scatternet ismi verilir. Menzil içerisinde bulunan maksimum 10 adet piconet minimum çarpışma durumu ile bir scatternet oluşturabilir.

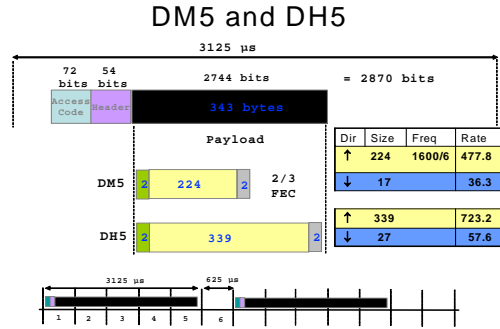
Bluetooth donanımı analog bir radyo kısmı ile Host Controller (HC - Host Denetleyici) adı verilen sayısal bir kısımdan oluşur. HC, sayısal sinyal işleme için kullanılan ve Link Controller (LC – Link Denetleyici) denilen bir donanıma, bir CPU çekirdeğine ve host platform için arabirimlere sahiptir. LC baseband işlemleri için gereken donanıma ve ARQ protokolüyle FEC kodlama gibi fiziksel katman protokollerine sahiptir. Link Denetleyicinin fonksiyonları arasında asenkron transferler, senkron transferler, ses kodlaması ve şifreleme bulunur. CPU çekirdeği Bluetooth modülünün sorgularla ilgilenmesine ve istek taleplerini filtrelemesine imkan tanır; bu sırada ana cihaz meşgul edilmez. Host Denetleyici, belli sayfa taleplerini yanıtlamak ve uzak bağlantıları onaylamak üzere programlanabilir. Link Manager (LM) yazılımı CPU çekirdeği üzerinde çalışır. LM, diğer LM'leri tespit eder ve Link Manager Protokol (LMP) aracılığıyla onlarla iletişim kurar. Bu

iletişimin amacı LM'in servis sağlayıcı rolünün yürütülmesi ve Link Denetleyici servislerinin kullanılmasıdır.

### 3. DH PAKETLERİNİN YAPISI

Genel olarak paketler Access Kod, Header ve Payload isimleri verilen 3 kısımdan oluşmaktadır. Bir paketin en önce gönderilen biti LSB bitidir. Simülasyonlarımızda bu bit Access Kodun ilk bitini teşkil etmektedir. Access Code ve Header'ın uzunluğu sırasıyla 72 ve 54 bittir. Payload uzunluğu ise paket türüne göre maksimum 2745'e kadar ulaşabilmektedir.

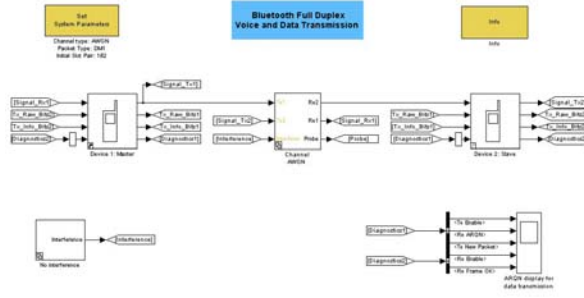
DH paketlerinin yapısı DM paketleriyle benzer yapıya sahiptirler fakat tek farkları FEC içermemektirler. DH1 paket yapısında 1 bayt Header olmak üzere 28 bilgi baytı ve 16 bit CRC içermektedir. DH3 paket yapısında 2 bayt Header olmak üzere 185 bilgi baytı ve 16 bit CRC bulunmaktadır. DH5 paket yapısında ise 2 bayt Header olmak üzere 341 bilgi baytı ve 16 bit CRC bulunmaktadır. DM5 ve DH5 paket yapısının şematik karşılaştırılması Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil-1. DM5 ve DH5 paketlerinin yapısı

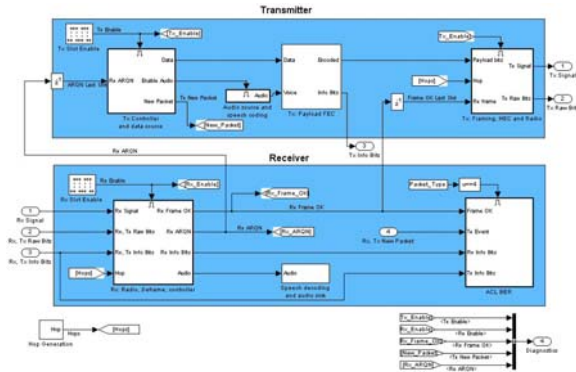
### 3. MODELLEME VE SİMÜLASYON PROGRAMI

Bu program geliştirilirken Matlab 7.0'da yer alan HV ses paketleri için yapılmış altyapıdan ve IEEE 802.15.1 standardından faydalanılmıştır. Bu çalışmada DH1, DH3 ve DH5 paket yapıları olmak üzere 3 adet paket yapısı ele alınmış ve Matlab/Simulink ortamında modellenmiştir. Bu modelleme daha önce yapılan çalışmalardan faydalanılarak gerçekleştirilmiştir [7]. Bu model master, slave, kanal ve gürültü olmak üzere dört ana kısımdan oluşmaktadır. Şekil 2'de simülasyon programının ana penceresi görülmektedir. Görüldüğü üzere dört ana bölüm vardır. Bunlar master, slave, kanal ve gürültüdür. Ayrıca bazı bilgilerin zaman içinde veri akış diyagramını çıkararak bir bölüm de bulunmaktadır. Master ve slave aynı blok yapısına sahiptir ve bu blokların iç yapısı Şekil 3'de verilmiştir.



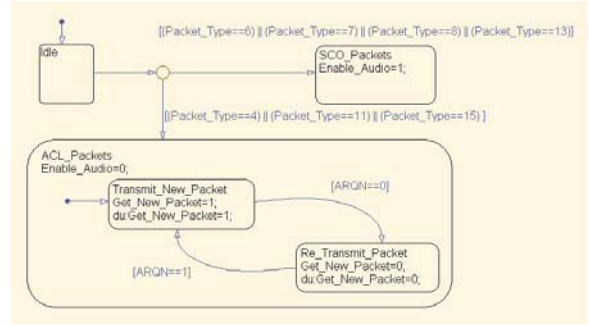
Şekil 2. Simülasyon programının ana penceresi

Master ve Slave içinde verici ve alıcı kısımları mevcuttur. Master ve slave kısımlarındaki verici ve alıcı yapıları benzer olduğu için, burada master kısmı üzerinden anlatım yapılacaktır. Şekil-3’de gösterilen blok şemada master ve slave kısımlarında yer alan verici ve alıcı bloklarını göstermektedir. Verici kısmında Bluetooth data paketlerinin formatları, her data paketinden önce gelen payload header (başlık) kısmı, Bluetooth paket yapısında yer alan Access Code ve Paket header yapısının gömüldüğü genel bir blok ve adaptif paket seçiminin yapılması için encoder kısmı yer almaktadır.



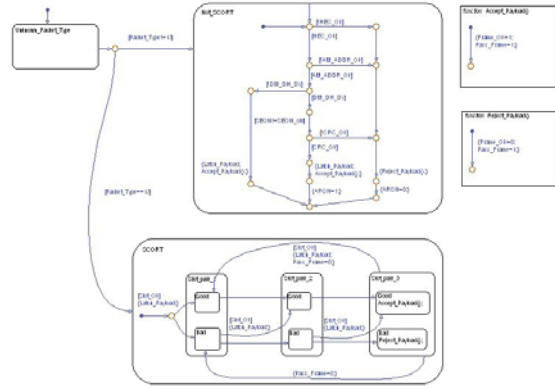
Şekil-3. Master/Slave bloğunun iç yapısı

Ayrıca verici ve alıcı kısmının her ikisinde de filtre vardır. Alıcı kısmında ise verici kısmından gelen datayı çözecek kısımlar mevcuttur. Verici kısmında yer alan encoder bloğunun yerine alıcı kısmında decoder bulunmaktadır. Buna göre gelen data seçilen paket tipine göre çözülür. Ayrıca alıcı kısmında simülasyon programının sonuçlarının toplandığı ölçüm bloğu vardır. Master özellikleri verici isimli kısmın altında, slave özellikleri ise alıcı isimli kısmın altında oluşturulmuştur. Verici kısmında bilgi alınıp Bluetooth standartlarına göre CRC kodlamaları yapıp diğer ek bilgiler de eklenerek seçilen paket türüne göre paket oluşturulur ve modüle edilip kanala verilir.



Şekil-4 Asenkron paketler için veri akış kontrolü

Şekil-4’de asenkron paketler için veri akış kontrolü görülmektedir. Bu kısım asenkron paketler için eğer ARQN=1 ise yeni paketin gönderilmesini, diğer durumda ise paketin tekrar gönderilmesinin kontrolünü yapan basit bir akış diyagramıdır. Bu akış diyagramı master’ın paketlerle (kabul etme veya redetme) ilgili karar mekanizmasıdır. Slave tarafında da bu iş için yine bir akış diyagramı vardır, ancak daha karmaşıktır, Şekil-5’e bakınız.



Şekil-5. Alıcı veri akış kontrolü

Alıcı kısmında alınan bilgi demodüle edilip seçilen paket türüne göre parçalara ayrılır ve DM paketleri için gelen verinin doğru olup olmadığını anlamak için CRC kodlarının tutarlı olup olmadığına bakılır. Bu hata kontrolleri ve diğer bilgilerin doğruluk durumuna göre yukarıdaki akış diyagramı paketin yeniden iletimine karar verir. SCORT ve SCORT olmayan paketler için uygulanan yöntemler olmak üzere bu akış diyagramı iki ana kısımdan oluşur. Bu akış diyagramı Frame\_OK bilgisini üretir. Eğer girişine gelen bütün kontrol bilgileri olumlu ise gönderilen paket kabul edilir.

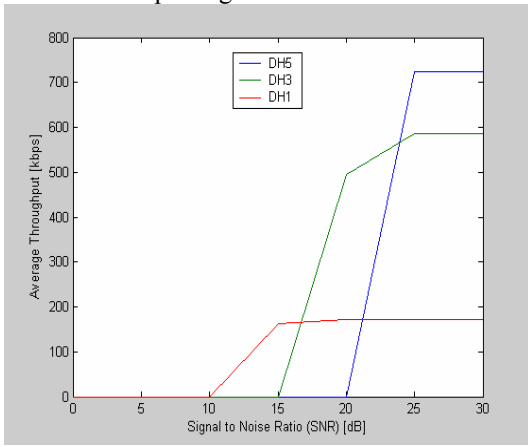
Kanal kısmında ortam AWGN (Additive White Gaussian Noise) olarak modellenmiştir. Ortam kayıpları, mesafe ve isteğe bağlı olarak Bluetooth ile aynı frekans bandında çalışan 802.11b gürültü olarak eklenebilmektedir.

#### 4. SİMÜLASYON ve SONUÇLARI

Yapmış olduğumuz bu simülasyon programında genel olarak değişik ortam şartlarına göre throughput ve tekrarlanan paket sayıları gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar ortam şartlarına göre değişim

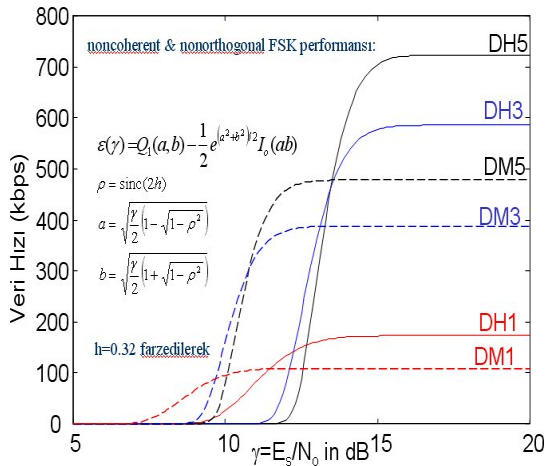
göstermektedir. Simülasyon sonucunda değişen sinyal gürültü oranına göre ve ortamda gürültü olup olmamasına göre ortalama throughput (veri taşıma kapasitesi) sonuçlarını ve tekrarlanan paket sayıları incelenmiştir. Şekil-6'da DH1, DH3 ve DH5 paketlerinin ortamda gürültü olmadığı durumdaki throughput oranlarının EsNo'ya göre değişimlerinin simülasyon sonuçları görülmektedir. Şekil-7 ise rastlantısal değişkenlerin matematiksel hesaplarıyla hesaplanmış teorik sonuçlar verilmiştir. Görüldüğü üzere simülasyon sonuçları, matematiksel model ile uyumlu çıkmıştır.

Şekil-8'de ise değişen EsNo oranına göre tekrarlanan paket sayıları görülmektedir. Şekil-8'den de anlaşılacağı üzere eğer ortamda gürültü var ise EsNo ne kadar iyileştirilirse iyileştirilsin ortamda sürekli olarak bir hatalı paket gönderimi söz konusudur.

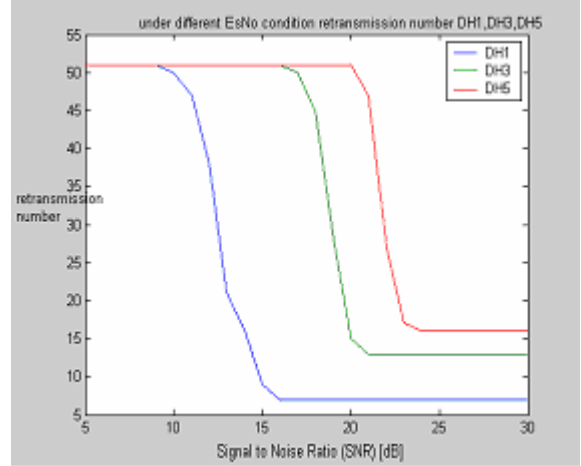


Şekil-6 Gürültüsüz ortamda DH1-DH3-DH5 paketleri için elde edilen throughput değerleri

## AWGN Kanalda Performans



Şekil-7 Daha önce matematiksel olarak simülasyon sonucu hesaplanan throughput grafiği



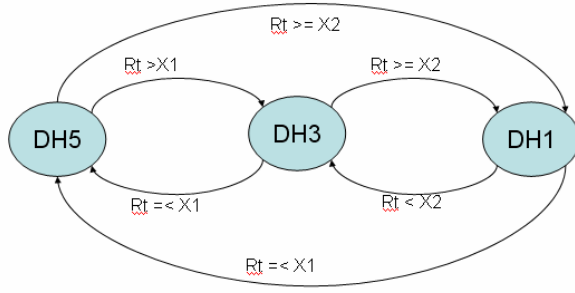
Şekil-8 Değişik sinyal gürültü oranlarında tekrarlanan frame sayısı

Sonuç olarak geliştirilen bu simülasyon programı ile throughput oranlarını, doğru ve yanlış paket sayılarını, birden fazla değişkene bağlı sonuçları örneğin EsNo ve 802.11b gürültü gücü ile veri hızının nasıl değiştiği kolaylıkla izlenebilecektir.

## 5. ADAPTİVE PAKET SEÇİMİ

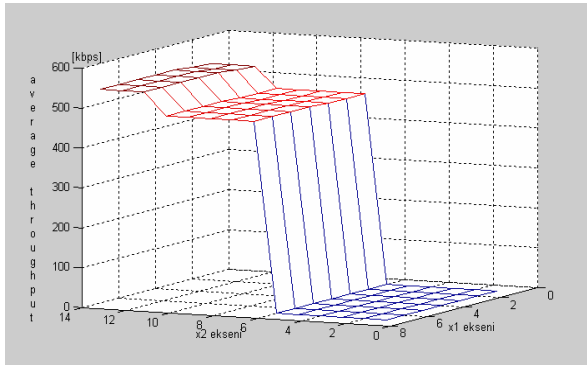
Farklı gürültü ortamları ve Bluetooth cihazlarının mobil olması gibi nedenlerden sinyal gücünün devamlı değişken olması gibi olumsuzluklar en kısa zamanda bilginin tamamının daha kolay nasıl gönderileceği sorusunu ortaya çıkarmaktadır. Bu soruya çözüm aranırken iletişim hattının kalitesine bağlı olarak bu şartlara en bağımsız data paket türlerinin seçilebileceği sonucu çıkmıştır. Data iletişimde bahsedilen paket kaybı ya da hatalı paket gitmesi gibi durumların olmaması beklenir. Bilimsel literatürde bu problemin çözümü için farklı yöntemler önerilmiştir [4-6]. Literatürdeki çalışmalarda adaptif paket seçimi, paket hata oranı baz alınarak gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada ise geliştirilen bu simülasyon programı kullanılarak adaptif paket seçimi üzerine farklı senaryolar kurulmuş ve simülasyon çalışmaları gerçekleştirilebilmiştir. Elde edilen bulgular ışığında, bu çalışmada önerilen algoritmada anahtar değişken olarak tekrarlanan frame sayısı seçilmiştir. Şekil 9'da bu algoritmanın akış diyagramı verilmiştir. Bu algoritmadaki darboğaz, paket tipleri arasındaki geçiş kontrol eden X sınır değerlerinin bulunmasıdır. Bu bağlamda geliştirilen simülasyon programı bu problemin aşılmasında anahtar rolü oynamıştır. Bu algoritma Matlab/Simulink ortamının Finite State Machine kısmı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Burada X değerleri tekrarlanan frame sayısını göstermekte ve bu değerlere göre bir karar mekanizması uygulanmaktadır.



Şekil-9 Önerilen adaptif algoritma akış diyagramı

Şekil-10'de görüldüğü gibi ortalama throughput  $X_2$ 'ye daha fazla bağlıdır. Burada  $X_1$  sistemin DH5'te çalışıp çalışmayacağını belirleyen;  $X_2$  ise DH3 ve DH1 ile çalışıp çalışmayacağını belirleyen bir parametredir. Şekilde maksimum throughput noktası  $X_1$ 'in 3 ve  $X_2$ 'nin ise 12 olduğu noktada sağlanmıştır. Bu da bize maksimum throughput değerine DH5+DH3 ile elde ulaşabileceğini göstermektedir.



Şekil-10 Simülasyon sonucu elde edilen throughput grafiği

## 6. SONUÇ

Bu çalışmada Bluetooth haberleşme ağının genel yapısı ve çalışma prensibi, gerçekleştirilen simülasyon programında ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Analitik modellerle veri iletişim sistemlerinin çalışma prensibini anlama ve performans testlerini gerçekleştirme oldukça zor ve karmaşık olabilmektedir. Bunun yanında Bluetooth gibi sistemlerde simülatörlerin kullanılması sistemin nasıl çalıştığını anlamada ve istenilen simülasyonların yapılması açısından büyük kolaylık sağlamaktadır. Buna ek olarak, sistem performansını bozucu etkiler olarak 802.11b gürültüsü, mesafe artışı, cihazlar arası etkileşimler gibi etkileri matematiksel modeller ile simülasyona yansıtma modelleri daha da karmaşıklaştırabilmektedir. Matlab-Simulink arayüzü ve Matlab kodlarının kullanım kolaylığı bu modelin kullanıcı tarafından sistemin çalışma prensibini anlaması ve istediği parametrelere göre analiz edebilmesi imkanını sunabilmektedir.

Bu çalışma ile Matlab/Simulink'de ses paketleri için yapılmış olan simülasyon programı Bluetooth DH data paketleri için geliştirilmiş ve dinamik bir şekilde ortam şartlarına göre paket seçiminin gerçekleştirilmesi için gerekli program ve simülasyon ortamı hazırlanmıştır. Bu bağlamda ileride de kullanılıp geliştirilebilecek ve bilimsel çalışmalar için bir simülasyon ortamı oluşturulmuştur.

## KAYNAKLAR

1. <https://www.bluetooth.org/spec/>
2. Dogan K., Gurel G., Kamci A. K., TÜBİTAK EEEAG-101E025, EEEAG-101E048 ve EEEAG 103E014 projeleri.
3. Arumugam, A.K.; Armour, S.M.D.; Tariq, M.F.; Nix, A.R.; Proposed Evolution Technologies for Bluetooth, Vehicular Technology Conference, 2001. VTC 2001 Fall. IEEE VTS 54th Volume 4, pp 2523 – 2527, 7-11 Oct. 2001
4. J. Kim, Y. Lim, Y. Kim, and J. Ma, An adaptive segmentation scheme for the Bluetoothbased wireless channel, in Proceedings of IEEE IC3N, pp. 440-445, 2001.
5. Valenti, M.C.; Robert M., Custom coding, adaptive rate control, and distributed detection for Bluetooth, Vehicular Technology Conference, 2002. Proceedings. VTC 2002-Fall. 2002 IEEE 56th Volume 2, pp 918 – 922, 24-28 Sept. 2002.
6. N. Golmie, "Bluetooth Dynamic Scheduling and Interference Mitigation," ACM MONET, vol. 9, No. 1, Feb. 2004.
7. Sokullu R, Özdemir Ö, Küçük T, Karatepe E, DM1, DM3 ve DM5 Paket Tiplerinin Kullanıldığı Bluetooth Ağların Matlab-Simulink ile Modellemesi, ITUSEM Sempozyumu, pp 109-114, 17-19 Kasım 2005.