

## Erişim Kontrolü Temelli Eşzamanlı Birincil ve İkincil SW-ARQ Yapılarının Performans Analizi

\*<sup>1</sup> Metin Çiçek, <sup>2</sup>Nursel Akçam ve <sup>3</sup>Burak Dökmetaş  
\*<sup>1</sup> Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu, Ankara, Türkiye  
<sup>2,3</sup> Gazi Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

### Abstract

This study focuses on the secondary cognitive radio users, who can not obtain information about the forward direction communication parameters of the primary users, searching for a communication source by utilizing the feedback signals of SW (Stop and Wait) - ARQ (Automatic Repeat Request) provided by (received from) primary cognitive users. It is assumed that primary and secondary users are transmitting a simultaneous fixed power level packet. Performance of the primary and secondary users for the proposed access control method and required amount of communication resources to be allocated for the secondary users are investigated if a negligible amount of interference is introduced to the primary users.

**Keywords:** Cognitive Radio, feedback communication systems, Automatic Repeat Request

### Özet

Bu çalışmada, kanal hakkında birincil kullanıcının ileri yönlü haberleşme parametreleri hakkında bilgi edinemeyen ikincil bilişsel radio kullanıcılarının, sadece birincil kullanıcıdan alacağı SW (Stop and Wait) - ARQ (Automatic Repeat Request) geribesleme sinyallerini değerlendirmek suretiyle kendisine bir haberleşme kaynağı bulmaya çalışması incelenmektedir. Çalışmada, birincil ve ikincil kullanıcıların sabit bir güç seviyesinde eşzamanlı paket gönderim dahilinde çalıştığı kabul edilirken, birincil kullanıcıda ihmal edilebilir veya makul görülebilir bir seviyede enterferansın uygun görülmesi halinde ikincil kullanıcı için ne kadar miktarda bir haberleşme kaynağı sağlanabileceği ve bu durumda birincil ve ikincil kullanıcıların başarımlarının ne şekilde değiştiği hususları önerilen erişim kontrol metodu ile irdelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Bilişsel Radyo, geribeslemeli haberleşme sistemleri

### 1. Giriş

Bilişsel Radyo (BR), mevcut spektrumun daha verimli kullanılabilmesi için spektrum ortamının sürekli olarak sezişmesiyle, boş ya da yoğunluğu az olan kanalların belirlenmesi ve uygun kanalların ikincil kullanıcılara tahsisini öngörür. Otomatik Tekrar İsteği (ARQ) geribeslemeli

\*Corresponding author: Address: Information and Communications Technologies Authority, Ankara TURKEY.  
E-mail address: mcicek@btk.gov.tr, Phone: +903122947200

sistemler; alıcıda hataların sezilmesi, düzeltilemiyorsa doğrusunun elde edilmesi amacıyla vericinin ayrı bir geribesleme kanalı vasıtasıyla uyarılmasını amaçlamaktadır.

BR statik spektrum yönetiminin dışında; konuma, zamana, kanal yapısına, kullanıcı sayısına göre koşulları göz önünde bulundurarak, yeni dinamik spektrum kaynaklarının yaratılması bakımından spektrumdaki tıkanıklığa karşı ümit vadeden bir haberleşme sistemidir. Dinamik Spektrum Erişimi (DSE) yöntemiyle doğru yerde ve doğru zamanda ikincil kullanıcının (yasal olarak hizmet almamış durumda olan) birincil kullanıcı (yasal olarak belirli bir spektrumu kullanma hakkı bulunan) tarafından kullanılmayan spektrum boşluğuna erişim sağlaması, spektrum kullanımını önemli ölçüde geliştirilebilecektir. BR kavramı ifade edilen problemlere çözüm bulmak amacıyla ilk olarak 1999 yılında Mitola ve Maguire tarafından ortaya atılmıştır [1].

BR tekniği ile, spektrum boşlukları fırsatçı biçimde kullanılarak, spektral verimliliği artırılabilir. Spektrumun sezilmesi, yönetilmesi ve paylaşılması ile ikincil kullanıcılar spektrum boşluklarının varlıklarını saptar ve birincil kullanıcılar üzerinde girişim oluşturmadığı sürece söz konusu boşlukları fırsatçı biçimde kullanır. Bu koşulu sağlama adına bazı yöntemler ortaya atılmıştır. Bunlardan bir tanesi de, birçok haberleşme sisteminde hata kontrol tekniği olarak kullanılan ARQ sinyallerinin değerlendirilmesidir.

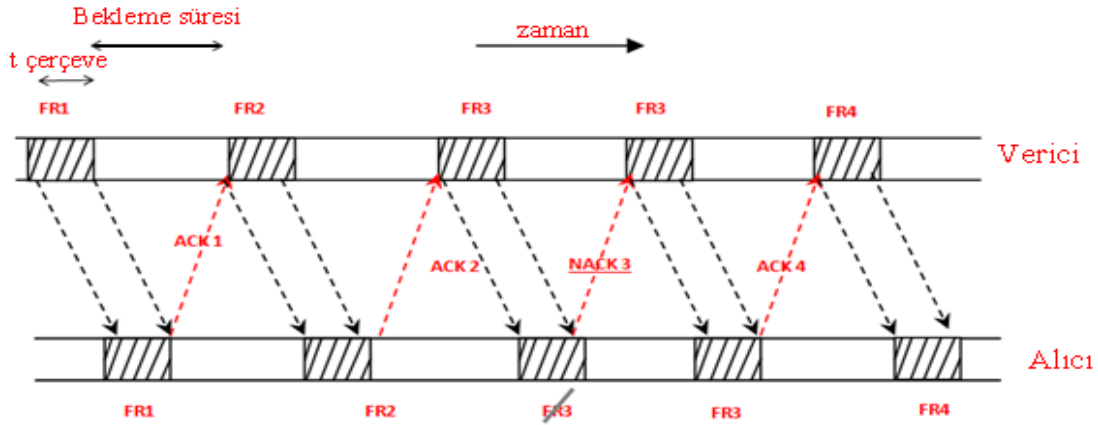
Haberleşmede vericiden iletilen verilerin, alıcıda en az şekilde gürültüye ve girişime maruz kalması ve dolayısıyla en az hata ile alınması istenir. Bu hedefin karşılanmasına yönelik olarak kullanılan en yaygın hata kontrol tekniği ARQ'dur. Alıcıda hata ya doğrudan düzeltilebilir ya da hatanın sezilmesinden sonra vericinin tekrar hata tespit edilen veri paketini göndermesi istenerek, söz konusu hata düzeltilir. Vericinin söz konusu paketi tekrar iletmesinin istenmesi ARQ olarak adlandırılır.

Literatürde ARQ temelli birincil sistemin ACK/NAK (Acknowledgement/Not-acknowledgement) geribesleme sinyalleri kullanılmasını amaçlayan muhtelif modeller önerilmiştir [2-7]. Birincil sistemin ARQ kontrol sinyallerinin dinlenmesiyle, BR dolaylı olarak kanalın durumu ve birincil sistem üzerine oluşturduğu girişim hakkında bilgi edinebilme imkanına sahip olmakta ve böylece spektruma erişimini elde etmek için hareketini belirleyebilmektedir. Tannious and A. Nosratinia [6]'de sönümlü şartlarda kablosuz düğümlerdeki birincil ve ikincil çiftlerinin bir arada bulunabilmesi için değişik protokoller önermektedirler. Birincil ARQ iletim yapısı birincil kullanıcı üzerindeki etkiyi minimize ederken, ikincil kullanıcı için önemli hızlar sağlamak amacıyla kullanılmıştır. Fabio ve arkadaşları ARQ geri besleme sinyallerinin değerlendirilmesi suretiyle birincil kullanıcı üzerindeki etkiyi minimize ederken ikincil kullanıcı için erişim kontrolü önermiştir [8]. Rehman ve arkadaşları [9]'da birincil kanalın spectrum sezme bilgilerini kullanarak BR'ye ait hybrid SW sistemin performans analizini yapmışlardır.

Bu çalışmada birincil SW sisteminde eşzamanlı yayın yapan ikincil BR kullanıcı çiftinin birincil iletişim kısıtlarını dikkate alarak başarımlı performansını olabildiğince yüksek tutması amaçlanmış olup, bu amaca yönelik olarak erişim kontrolü önerilmiştir. Performans analizleri birincil ve ikincil kullanıcılar birarada gözetilerek gerçekleştirilmiştir.

## 2. SW ARQ Başarım Performansı

Stop and Wait protokolünde vericiden gönderilen bir paket alıcıda doğru çözülene kadar verici tarafından gönderilmeye devam edilir. Bu süreçte vericiden başka bir veri iletimi olmaz. Alıcıda alınan pakette hata olmadığı tespit edilirse bir sonraki paketi almak üzere alıcıdan vericiye ACK (alındı) sinyali gönderilir, hata tespit edilmesi halinde ise NACK (olumsuz alındı) geribesleme sinyali gönderilir. Verici veri paketini gönderdikten sonra ACK/NACK sinyalini bekler. Ancak söz konusu paket alıcıda doğru çözüldükten sonra verici bir sonraki veri paketini gönderebilir. Şekil 1’de SW ARQ yapısına yer verilmektedir.



Şekil 1. SW Temel ARQ işleyişi

Vericide  $a$  bitlik mesaj sinyali herhangi bir hata sezme kodu ile işleme tabi tutulur. Bu amaç için genellikle CRC (Cyclic Redundancy Check) kullanılır. Böylelikle mesaj bitlerine  $c$  bitlik CRC parite biti eklenerek  $k$  uzunluklu kod kelimesi üretilir.

$$k = a + c \quad (1)$$

$R$  hızına sahip söz konusu haberleşme sisteminde data paketinin gönderilmesinden geribesleme sinyalinin verici tarafından alınmasına kadar geçen süre  $t_{out}$  olmak üzere, tüm periyot ( $t_{out} + t$ ) süresince gönderilebilecek bit sayısı  $k + R t_{out}$  şeklindedir.

Bir veri paketinin alıcıda hatasız alınma olasılığı  $P$  olmak üzere, söz konusu paketin alıcıda doğru alınabilmesi için vericiden iletilmesi gereken ortalama bit sayısı

$$E[b] = (k + R t_{out})P + 2(k + R t_{out})P(1 - P) + 3(k + R t_{out})P(1 - P)^2 + \dots + i(k + R t_{out})P(1 - P)^{i-1} = \frac{k + R t_{out}}{P} \quad (2)$$

şeklinde ifade edilir. ARQ sistemlerde sistem başarım (throughput) performansı, alıcıda birim zamanda hatasız olarak alınan bit sayısının aynı zamanda vericiden iletilen ortalama bit sayısına

oranıdır.

$$T = \frac{a}{E[b]} = \frac{P.a}{k+Rt_{out}} \quad (3)$$

### 3. Geribeslemeli Haberleşme Sisteminde Bilişsel Radyo

Bu çalışmada ikincil kullanıcının birincil kullanıcının ileri yönlü haberleşme sinyalleri üzerinden analiz yapamadığı, ancak geribesleme sinyali olan ARQ sinyallerini alabildiği ve bu sinyaller ile analiz yapabildiği düşünülmektedir. Zira ARQ geribesleme sinyallerinin (ACK ve NACK) alınması, tespiti ve analizi basit olmakla birlikte, ileri yönlü sinyallerin tespiti ve analizi oldukça karmaşıktır. Ayrıca ikincil kullanıcının, birincil kullanıcının yayın yaptığı güç seviyesi, verici ve alıcı uzakları veya kanalın durumu hakkında bilgi sahibi olamadığı varsayılmaktadır. Dolayısıyla önerilen modelde ikincil kullanıcının, birincil kullanıcıya ait haberleşme bilgisi olarak sadece geribesleme sinyallerini sağlıklı şekilde alabildiği varsayılmaktadır.

Birincil kullanıcı, kendisine tahsisli bulunan frekansta öncelikli olarak kullanım yetkisine sahiptir. Bununla birlikte, ikincil kullanıcı birincil kullanıcının bu hakkını da korumak suretiyle kendisine ait haberleşme kaynağı arayışında ve kullanımında bulunmaktadır. Söz konusu arayış ve kullanım sürecinde birincil kullanıcı üzerine herhangi bir şekilde enterferans oluşturmaması gerekmekte veya önceden birincil kullanıcı tarafından bilinen ve makul görülebilir bir miktar enterferans oluşturabilecektir. Bu çerçevede ikincil kullanıcı söz konusu makul görülebilir enterferans miktarının da üzerinde birincil kullanıcı üzerine enterferans oluşturmaması gerekir.

İkincil kullanıcının olmadığı kanalda birincil kullanıcıya ait alıcıda data paketinin hatasız alınma olasılığı,

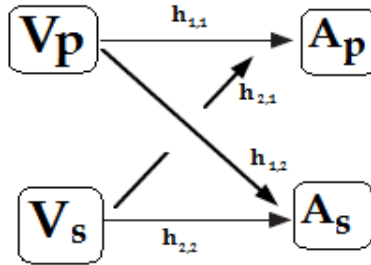
$$P = (1 - \delta)^k \quad (4)$$

şeklinde ifade edilir.  $\delta$  kanalın bit hata olasılığıdır. Ancak ikincil kullanıcı sinyalinin de kanala müdahil olması durumunda birincil kullanıcı ikincil sinyali gürültü olarak algılar, kanal gürültüsüne ilaveten birincil kullanıcı sinyali üzerine ikincil kullanıcı sinyal girişimi olur. Böylece söz konusu bit hata olasılığının yükselmesi beklenir.

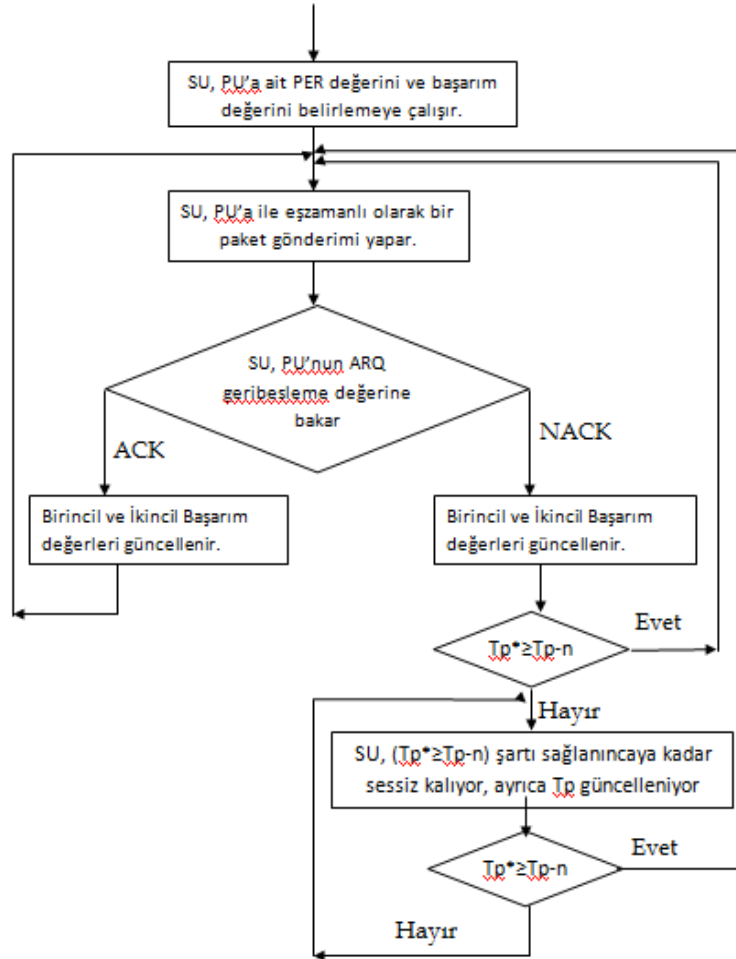
### 4. Sistem Modeli

BR’de ARQ yapısının bulunduran model Şekil 2’de gösterilmekte olup, bu şebekede “ $V_p$ ” birincil verici, “ $A_p$ ” alıcı olarak düşünülmüştür. Bununla birlikte “ $V_s$ ” ve “ $A_s$ ” ikincil kullanıcı çiftlerini temsil eder. İkincil kullanıcı çiftinin, birincil kullanıcı çiftine tahsis edilmiş olan aynı frekans bandında ve aynı zaman aralığında eşzamanlı olarak haberleştiği kabul edilmiştir. Bu modelde alıcıların kanal durum bilgisinden (Channel State Information - CSI) mahrum kaldığı kabul edilmiştir. Kanal kazancı olarak gösterilen  $h_{i,j}$  de  $i$  ve  $j$  sırasıyla verici ve alıcıyı temsil etmektedir. 1 indeksi birincil verici alıcıyı, 2 indeksi ise benzer biçimde ikincil kullanıcı çiftlerini ifade

etmektedir.  $h_{i,j}$ 'nin karesinin büyüklüğü, eksponansiyel dağılımı gösteren efektif kanal kazancını ifade etmektedir.



Şekil 2. BR'de ARQ modeli



Şekil 3. ARQ sistemde Erişim Kontrol modeli algoritması

Bu çalışma da ikincil kullanıcı çiftinin, birincil çiftin kullandığı kod kitabını bildiği kabul edilmiştir. Birincil düğümler, ikincil düğümlerin varlığından habersizdir. Birincil ve ikincil vericiler sırasıyla  $P_p$  ve  $P_s$  güçlerinde yayın yapmaktadır. Söz konusu modelde aynı zamanda (frekansta) hem paket iletimi, hem de paket alımı yapılamamaktadır. Her iki kullanıcı çifti de eşzamanlı olarak yayın yaptığından birincil kullanıcı sabit bir  $P_p$  güç değerinde ve  $R_p$  sabit bir hızda yayın yapmaktadır. Her iki kullanıcı çiftinin AWGN (Additive White Gaussian Noise ) kanal ortamında çalıştığı kabul edilmektedir.

Modelde birincil ve ikincil kullanıcılar eşzamanlı olarak SW ARQ protokolünde çalışmaktadır. Bununla birlikte ikincil iletimin enterferansından dolayı düşmesi beklenen birincil başarımların belirli bir seviyede tutulması amaçlanmaktadır. Bu seviyenin altına inilmesi durumunda ikincil kullanıcının erişim kontrolü vasıtasıyla sessiz kalması sağlanarak birincil başarımın tekrar karakteristik başarımlarına doğru çıkması amaçlanmaktadır. Birincil başarımlara ait eşik değeri, birincil kullanıcı için ihmal edilebilir gürültü seviyesini ifade etmektedir ve ikincil kullanıcı için önemli haberleşme kaynağı olabilecektir. Söz konusu stratejiyi izleyen erişim kontrol algoritması Şekil 3'te verilmektedir.

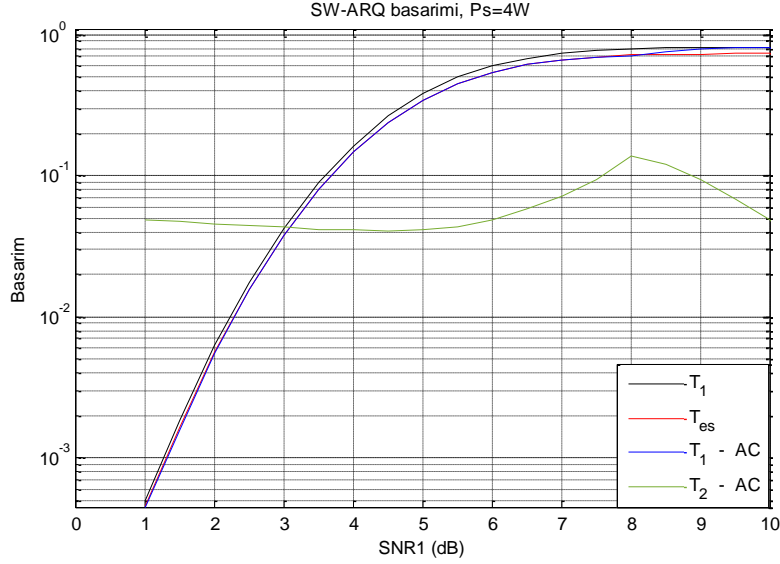
Bununla birlikte, ikincil kullanıcının birincil kullanıcı çiftine hiç girişim oluşturmadan veya ihmal edilebilir bir düzeyde girişim oluşturarak kendisi için önemli miktarda haberleşme kaynağı da bulunabilir. Bu durumun;  $V_s$ 'in,  $A_p$ 'ye yeteri miktarda uzak olması veya  $V_s$  iletim gücünün yeteri miktarda düşük olmasına bağlı olduğu açıktır. Ancak ikincil kullanıcı çiftinin ilgili uzaklık bilgilerine ve birincil iletim gücü bilgilerine sahip olmadığı kabul edildiğinden ikincil kullanıcı bu bilgileri dolaylı olarak birincil geribesleme sinyallerinden çıkarmaya çalışmalıdır.

## 5. Simülasyon sonuçları

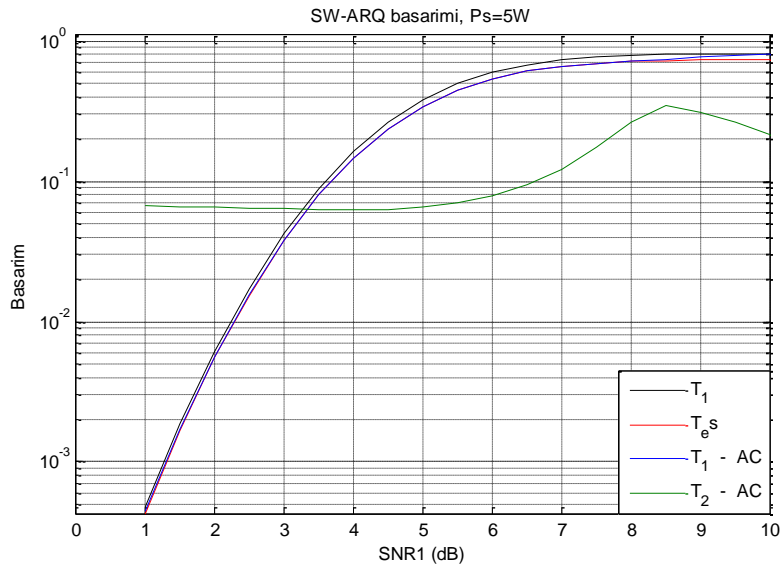
10 kbps hıza sahip SW ARQ haberleşme sisteminde 0.65 ms gecikme süresi olarak alınmıştır. Data paketleri 128 bit bilgi biti ile hata sezme amaçlı 16 bitlik CRC parite bitlerinden oluşan 144 bitten ibarettir. BR'ye ait ARQ şeması da birincil sistemle aynı özelliklere sahiptir ve eşzamanlı olarak çalışmaktadır. Birincil başarımların değeri için makul görülebilir eşik değeri maksimum başarımların değerinin %10 aşağısı olarak belirlenmiştir. Uzaklık verileri  $d_{pp}=1$ ,  $d_{ps}=4$ ,  $d_{ss}=1$ ,  $d_{sp}=4$  birim (kanal kazanç değerleri uzaklık verilerine göre düzenlenmiştir), ikincil verici gücü  $P_s$  sırasıyla 4W (Şekil 4), 5W (Şekil 5) ve 6W (Şekil 6) olarak alınmıştır. Söz konusu parametrelerle gerçekleştirilen simülasyon sonuçlarına göre;

- Birincil kullanıcı çifti için belirli bir seviyenin üzerinde enterferans oluşmaması şartı ikincil kullanıcıya ait erişim kontrolü vasıtasıyla tüm SNR değerleri için sağlanmıştır.
- İkincil verici gücünün yüksek olması halinde başarımların performansının yükseldiği görülmektedir.
- Özellikle  $SNR=5.5$  dB'den sonra ikincil kullanıcı performansının yükseldiği, ikincil kullanıcı verici güç değerine göre 8-8.5 dB seviyelerinde maksimum başarımların değerinin

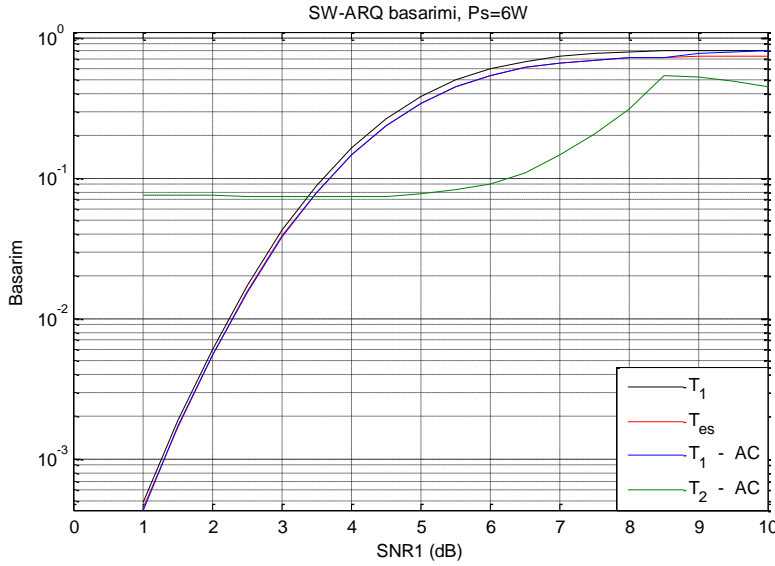
sağlandığı görülmektedir. Bu seviyeden sonra ise ikinci başarımlar düşmektedir, zira birincil kullanıcının verici gücü yükseldiğinden ikinci alıcı üzerinde enterferans artmaktadır.



Şekil 4. İkinci verici gücü 4Watt iken birincil ve ikinci başarımları



Şekil 5. İkinci verici gücü 5Watt iken birincil ve ikinci başarımları



Şekil 6. İkincil verici gücü 6 Watt iken birincil ve ikincil başarımları

## 6. Sonuç

Bu çalışmada, SW ARQ protokolünü kullanan birincil kullanıcı kanalında iletim yapmak isteyen ikincil kullanıcı için haberleşme kaynağı oluşma imkanı incelenmiştir. Birincil kullanıcı ile eşzamanlı olarak yayın yaptığı göz önünde bulundurulmuş ikincil BR kullanıcı çifti, birincil kanal kısıtlarını da dikkate alarak iletim yapmaktadır. Söz konusu kısıtları sağlayabilmek için erişim kısıtlama modeli kullanılmış olup, yapılan simülasyon sonuçlarına göre ikincil kullanıcı için önemli başarımlar sağlanan haberleşme kaynakları elde edilmiştir. İkincil kullanıcı için söz konusu kaynak elde edilirken birincil kullanıcıya ait başarımlar önceden belirlenen ve makul görülebilir bir seviyenin altına düşmeyerek, birincil kullanıcı kısıtlarının da korunduğu gözlenmiştir.

## Kaynakça

- [1] Mitola J. ve Maguire Gerald Q. Cognitive radio: Making Software Radios More Personal, IEEE Personal Communications, 1999, vol:6, issue:4, pp: 13-18.
- [2] S. Firouzabadi, M. Levorato, D. O'Neill, and A. Goldsmith, "Learning interference strategies in cognitive ARQ networks," in Proc. IEEE Globecom Conf., 2010.
- [3] N. Michelusi, O. Simeone, M. Levorato, P. Popovski, and M. Zorzi, "Optimal cognitive transmission exploiting redundancy in the primary ARQ process," in Proc., IEEE Inf. Theory Applications Workshop, 2011.
- [4] S.-M. Cheng, W. C. Ao, and K.-C. Chen, "Efficiency of a cognitive radio link with opportunistic interference mitigation," IEEE Trans. Wireless Commun., 2011. vol. 10, no. 6, pp: 1715–1720,



- [5] R. Tannious and A. Nosratinia, “Coexistence through ARQ retransmissions in fading cognitive radio channels,” in Proc. IEEE ISIT, 2010, pp: 2078–2082.
- [6] R. Tannious and A. Nosratinia, “Cognitive radio protocols based on exploiting hybrid ARQ retransmission,” IEEE Trans. Wireless Commun. 2010, vol. 9, no. 9, pp: 2833–2841.
- [7] J. C. F. Li, W. Zhang, A. Nosratinia, and J. Yuan, “Opportunistic spectrum sharing based on exploiting ARQ retransmission in cognitive radio networks,” in Proc., IEEE Globecom Conf. 2010.
- [8] F. Lapicciarella, S. Huang, X. Liu, Z. Ding, “Feedback-based access and power control for distributed multiuser cognitive networks” Information Theory and Applications Workshop, San Diego, 2009.
- [9] Rehman A., Yang L.L., Hanzo J., “Performans of Cognitive Hybrid Automatic Repeat ReQuest: Stop-and-Wait”, IEEE 81st Vehicular Technology Conference, Glasgow, 2015.