



**GAZİOSMANPAŞA BİLİMSEL ARAŞTIRMA DERGİSİ (GBAD)**  
**Gaziosmanpaşa Journal of Scientific Research**  
ISSN: 2146-8168  
<http://dergipark.gov.tr/gbad>  
**Araştırma Makalesi (Research Article)**

Cilt/Volume : 6  
Sayı/Number: Özel  
(ISMSIT2017)  
Yıl/Year: 2017  
Sayı/Pages: 122-132

**Alınış tarihi (Received):** 16.10.2017  
**Kabul tarihi (Accepted):** 29.12.2017

**Baş editor/Editors-in-Chief:** **Ebubekir ALTUNTAŞ**  
**Alan editörü/Area Editor:** **Turgut ÖZSEVEN /**  
**Bülent TURAN**

## **Bilişsel Radyo Sistemleri için Kör Spektrum Algılama Yöntemlerinin Farklı Haberleşme Kanallarındaki Performans Analizi**

**CebraİL ÇİFLİKLİ<sup>a</sup> Fatih Yavuz İLGIN<sup>b, \*</sup> Tahir KARAKOÇ<sup>c</sup>**

<sup>a</sup>Erciyes Üniversitesi, Kayseri Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Kayseri/TÜRKİYE

<sup>b</sup>Erzincan Üniversitesi, Erzincan Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Erzincan/TÜRKİYE

<sup>c</sup>Nevşehir Üniversitesi Hacı Bektaş Veli Meslek Yüksekokulu, Nevşehir /TÜRKİYE

\*Sorumlu yazar, e-posta: [fyilgin@erzincan.edu.tr](mailto:fyilgin@erzincan.edu.tr)

**ÖZET:** Günümüzde kablosuz haberleşme sistemlerinde hizmet standardının artmasıyla beraber, spektrum kıtlığı problemi ortaya çıkmıştır. Bu problemin üstesinden gelmek amacıyla mevcut frekans spektrumunun en verimli şekilde kullanılma ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Bilişsel radyo teknolojileri belirtilen bu problemlere çözüm olmak amacıyla orta çıkan teknolojilerin bütünü olarak tanımlanır. Bilişsel radyo sistemlerinde ilk adım mevcut spektrumun dolu/boş durumunun algılanmasıdır. Bu algılama için kör yöntemler uygulama kolaylığı ve hesaplama maliyeti açısından tercih sebebidir. Bu çalışmada kör spektrum algılama yöntemlerinin rayleigh, nakagami-m, nakagami-n ve nakagami-q sönümlenmeli haberleşme kanallarındaki performans analizleri yapılmıştır. Çalışmada rasgele oluşturulan sıfır ortalamalı birincil kullanıcı ve gürültü işaretleri kullanılmıştır. Çoklu antenler tarafından alınan işaretlerin kovaryans matrislerinin özdeğerleri kullanılarak spektrum algılama yapılmıştır. Algılama olasılığı için uluslararası haberleşme komitesi tarafından izin verilen algılama olasılığı sınır değeri kullanılmıştır. Simülasyonlar MATLAB ortamında gerçekleştirilmiştir. Simülasyon sonuçlarına bakıldığında özdeğer tabanlı algılama için en iyi algılama performansının rayleigh sönümlü kanalında olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler** – *Algılama teorisi, Bilişsel radyo, Rayleigh sönümlü kanal, Nakagami-m sönümlü kanal*

## **Performance Evaluation of Blind Spectrum Detection Methods for Different Communication Channels in Cognitive Radio Systems**

**ABSTRACT:** In today's wireless communication systems, a shortage of wireless spectrum has emerged with the increase of service standard. In order to overcome this problem, it is necessary to use the existing frequency spectrum most efficiently. Cognitive radio technologies are defined as the whole of the emerging technologies in order to solve these problems. The first step in cognitive radio systems is the detection of the full / empty state of the current spectrum. Blind methods for this perception are the reason for much preference in terms of ease of implementation and cost of calculation. In this study, performance analyzes of different communication channels of blind spectrum detection methods are performed. A randomly generated zero-mean primary user and noise signals are used in the study. Spectrum sensing was performed using the eigenvalues of the covariance matrices of the signals received by the multiple antennas. The generalized likelihood ratio detection is based on the detection probability limit value allowed by the international communication committee. Simulations were performed in MATLAB environment. As it is known, the channel that fully models the wireless 802.11 communication channel is the Weibull fading channel. Looking at the simulation results, it is seen that the best detection performance for the eigenvector detection is in the rayleigh fading channel. but weibull channel results should be considered in the simulation results. Because the weibull channel is the best model of wireless channel. Moreover, according to the simulation results, the detection performance for the nakagami-m fading channel was found to be the most unsuccessful.

**Keywords** – *Cognitive radio, Spectrum efficiency, Rayleigh Fading Channel, Weibull Fading Channel, Nakagami-m Fading Channel.*

## 1. Giriş

Günümüz haberleşme sistemlerinde kablosuz teknolojilerin daha fazla kullanılması ile kıt kaynak durumundaki frekans spektrumunun da yoğunlaştığı görülmektedir. Dünyanın bir çok ülkesinde radyo frekans spektrumunun her bölgesi belli kullanıcılar için ayrılmış bunun bir sonucu olarak spektrum kıtlığı problemi ortaya çıkmıştır (Wiley ve Sons,2014). Spektrum kıtlığına neden olan temel faktörün, sabit lisanslama politikası olduğu bilinmektedir (Mitola ve Maguire,2009). Sabit lisanslama politikasının getirdiği bu sorunlara karşılık, bir çok uygulama servisinin birbiriyle girişim oluşturmayacak şekilde kullanımı için bu yöntem tercih edilmekteydi. Bu amaçla mevcut frekans spektrumu, gezgin haberleşme, uydu servisleri, radyo ve televizyon yayınları gibi farklı uygulamalar için tahsis edilen frekans parçalarına bölünmüştür. Kullanımda olan her uygulama için belirli bir merkez frekans ve band genişliği ile ayrılmış ve zamanın her bölümünde belirli kullanıcılara tahsis edilmiştir. (Ratnarajah ve Vaillancourt, 2005). Bu durumda birincil veya lisanslı kullanıcılar kendilerine ayrılmış bandı kullanabilirken, band boş olsa bile ikincil veya lisanssız kullanıcıların bandı kullanmasına izin verilmemektedir(Mishali and Eldar, 2009).

Yeni nesil teknolojilerle birlikte haberleşme sistemlerinin kablolu sistemlerden kablosuz sistemlere geçişi hızlanmakla birlikte kullanıcı sayısında da artış gözlenmiştir. Bu durum spektrumun belirli bölgelerinin belirli zaman dilimlerinde çok yoğun kullanıldığını, belirli zaman dilimlerinde ise tamamen boş olduğunu rapor etmektedir. Böylece kıt bir kaynak olan radyo frekans spektrumunun daha verimli bir şekilde kullanılması ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Özellikle 2020-2040 yılları arasında kullanıcı başına veri miktarı ve ortalama veri hızında planlanan artışla birlikte, yeni nesil kablosuz haberleşme teknolojilerin en temel problemi, spektrumda boş bir alan bulmak olacaktır.(Sobron ve ark.,2015). Literatürde, belirtilen bu probleme çözüm sunabilmek, spektruma erişimi daha mümkün kılmak ve radyo frekans spektrumunu çok daha verimli kullanmak amacıyla dinamik spektrum erişim teknikleri önerilmiştir. Bu problemlerin çözümüne katkı sağlayan bilişsel radyo (Bilişsel Radyo, BR), spektrum yetersizliği için sunmuş çözümleri ile spektrum verimliliği artırılabilir ve spektrum boşluğu artmasıyla daha yenilikçi kablosuz teknolojiler bu spektrum boşluklarında kendilerine yer bulacaktır. (Ratnarajah ve Vaillancourt, 2005).

Bilişsel radyo, içinde bulunduğu frekans spektrumunun bir bölümünü yada tamamını sürekli olarak değerlendiren ve bu değerlendirme sonucuna göre çalışma parametrelerini değiştirebilen yeni nesil bir radyo biçimi olarak tanımlanabilir. Bilişsel radyo radyo tarayabildiği frekans spektrumu genişliğine göre dar band yada genişbandlı bir sistem olabilir. Bilişsel radyo fikri frekans spektrumu yetersizliğinin ortaya çıktığı 1900'lü yıllarda ilk olarak Joseph Mitola ve Gerald Q. Maguire tarafından öne sürülmüştür. (İngök,2013).

Bilişsel radyonun temel görevleri spektrum algılama, spektrum yönetimi ve paylaşımıdır. Bu bağlamda yapılan bu çalışmada bilişsel radyonun en önemli ve başlangıç adımlarından biri olan spektrum algılama için kullanılan yöntemlerden bazılarının performansları farklı haberleşme kanalları altında incelenmiştir. Spektrum algılamada amaç, spektrumu sürekli olarak tarayarak lisanslı kullanıcıların hareketliliğini ve spektrumun boş olduğu durumları belirlemektir. Literatürde spektrum algılama için enerji algılama, uyumlu süzgeç, çevrimsel durağan özellik algılama, özdeğer tabanlı algılama gibi birçok farklı yöntem önerilmiştir. Bu yöntemlerin her biri kendi içinde avantaj ve dezavantajlara sahiptir. Örneğin enerji algılama yöntemi, düşük hesaplama maliyeti yanında birincil kullanıcı işareti hakkında

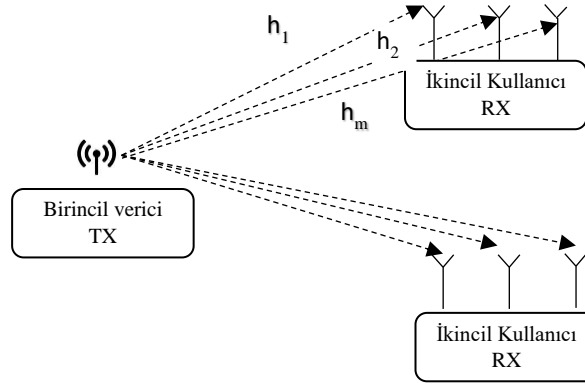
hiçbir bilgi gerektirmemesi nedeniyle en çok kullanılan spektrum algılama yöntemlerinden biridir(Chatterjee ve ark., 2014). Ancak, yöntemin doğru çalışabilmesi için ortamdaki gürültü varyansının tam olarak bilinmesi gerekmektedir. Bu değer belirli tahmin yöntemleri ile kestirilebilmekle beraber yapılan tahmin hataları nedeni ile yöntemin performansı kötüleşebilir. Çünkü gürültü varyansının hatalı tahmini beraberinde hatalı bir eşik değeri ile spektrum algılama yapılması anlamına gelmektedir. Bu problem enerji algılama yönteminin en zayıf yönlerinden biridir. Özellikle gürültü belirsizliği durumunda gürültü varyansının kestirilmesinin çok zor olduğundan, bu problemi de ortadan kaldırmak için çevrimsel durağan özellik algılama gibi yöntemler önerilmiştir(Mingchuan ve ark., 2015). Spektrum algılamada kullanılan yöntemler arasında özdeğer tabanlı spektrum algılama yöntemi(Bhargavi ve Murthy, 2010), gürültü varyansı ve kaynak işaret hakkında hiçbir önbilgi gerektirmemesi nedeniyle uygulama kendisine çok fazla yer bulmaktadır. Özdeğer tabanlı algılama yöntemleri hesaplama maliyeti bakımından oldukça tercih sebebi olmakla birlikte ikincil kullanıcılarda çoklu anten gerektirmesi nedeniyle de bazı uygulama zorlukları bulunmaktadır. (Zeng ve Liang, 2007).

Literatürde özdeğer tabanlı algılama için de farklı yöntemler önerilmiştir. En büyük –en küçük özdeğer oranı(EBEK), en büyük özdeğer –iz (EBÖİ)oranı ve en büyük özdeğer-özdeğerler toplamı oranına göre işlem yapan dedektörler özdeğer tabanlı algılama için en çok kullanılanlarıdır(Zeng ve Liang, 2007, Pillay ve Xu, 2011).

Bu çalışmada amaç, literatürde bulunan bazı özdeğer tabanlı algılama yöntemlerinin performanslarının farklı sönümlmeli haberleşme kanallarındaki performans analizlerinin elde edilmesidir. Bu çalışmada koyu küçük harfler matrisleri( $x$ ), normal küçük harfler ( $x$ ) ise vektörleri belirtir.  $x'$  ise değişkenin transpozunu tanımlamaktadır.

## **2. Özdeğer Tabanlı Spektrum Algılama ve Sönümlü Haberleşme Kanalları**

Spektrum algılamada temel amaç frekans spektrumunun sadece belirli bir bölgesinde birincil kullanıcı işareti varlığını tespit etmektir. Çok antenli sistemlerde spektrum algılama için genel olarak aşağıdaki senaryo kullanılabilir. İlgili bu senaryo dar band spektrum algılama yöntemleri için en çok kullanılan spektrum algılama yöntemidir. Bu senaryoda ikincil kullanıcılar spektrumun boş olduğunu anladıklarında ilgili spektrumunu kendi aralarında haberleşmek için kullanmaktadırlar. İlgili senaryoda ikincil kullanıcı sayısı daha da artabilir. İkincil kullanıcılardaki anten sayısı ise en az iki olmakla beraber daha fazla olması sistemin algılama performansına olumlu etki yapmaktadır.



**Şekil 1** Bilişsel radyo sistemleri için önerilen senaryo

**Figure 1.** Proposed scenario for cognitive radio systems

Burada  $h_1, h_2, h_m$ , birincil kullanıcıdan ikincil kullanıcıya olan kanal katsayı vektörünü temsil etmektedir. Bu durum matematiksel olarak;

$$H_0 : \mathbf{x} = \boldsymbol{\eta} \quad (1)$$

$$H_1 : \mathbf{x} = \boldsymbol{\eta} + \mathbf{s} \quad (2)$$

şeklinde ifade edilir. Burada  $\mathbf{x}$  matrisi ikincil kullanıcının çoklu antenleri vasıtasıyla algıladığı işareti,  $\mathbf{s}$  gauss dağılımlı ve sıfır ortalamalı birincil kullanıcı işaretini,  $\boldsymbol{\eta}$  ise gauss dağılımlı gürültüyü temsil etmektedir. Dolayısıyla birincil kullanıcının pasif olduğu durumda  $\mathbf{x}$  matrisi sadece gürültüden oluşmaktadır. Fakat  $H_1$  durumunda  $\mathbf{x}$  matrisi hem birincil kullanıcı işaretinin hem de gürültünün karışımından oluşan işaret topluluğunu algılamaktadır. Böylece  $H_1$  ve  $H_0$  durumları için  $\mathbf{x}$  matrisinin kovaryans matrisi özdeğer dağılımları aşağıdaki gibi olur.

$$H_0 : \mathbf{x} \sim \text{CN}(0, \sigma_n^2 \mathbf{I}_m) \quad (3)$$

$$H_1 : \mathbf{x} \sim \text{CN}(0, \sigma_x^2 \mathbf{h} \mathbf{h}^H + \sigma_n^2 \mathbf{I}_m) \quad (4)$$

Eşitliklere dikkat edilirse arasında birincil kullanıcının aktif/pasif durumuna göre özdeğerlerin olasılık dağılım fonksiyonları ve varyanslarında bir fark oluşacaktır. Özdeğer tabanlı algılama için bu fark kullanılarak  $H_1$  ve  $H_0$  durumları arasında bir karar verilmektedir. Eşitlik 3 ve 4 'te  $\mathbf{h}$  kanal katsayı vektörünü temsil etmektedir. Sayısal haberleşme sistemlerinde farklı yaklaşımlarla elde edilen kanal simülasyonları bulunmaktadır. Bunların başlıca olanları aşağıda gösterilmiştir.

## 2.1. Rayleigh sönümlenmesi

Rayleigh dağılımı çok yollu sönümlenmeyi özellikle direkt görüşün olmadığı (NLOS- Non line of sight) durumları (gezgın sistemler gibi) modellemek için sıklıkla kullanılmaktadır. Kanal sönümlenme genliği  $\alpha$  olmak üzere, Rayleigh sönümlenmesi aşağıdaki olasılık yoğunluk fonksiyonu (PDF- Probability Density Function) ile ifade edilmektedir (Kapucu, 2012).

$$P_{\alpha}(\alpha) = \frac{2a}{\Omega} \exp\left(-\frac{\alpha^2}{\Omega}\right), \quad \alpha > 0 \quad (5)$$

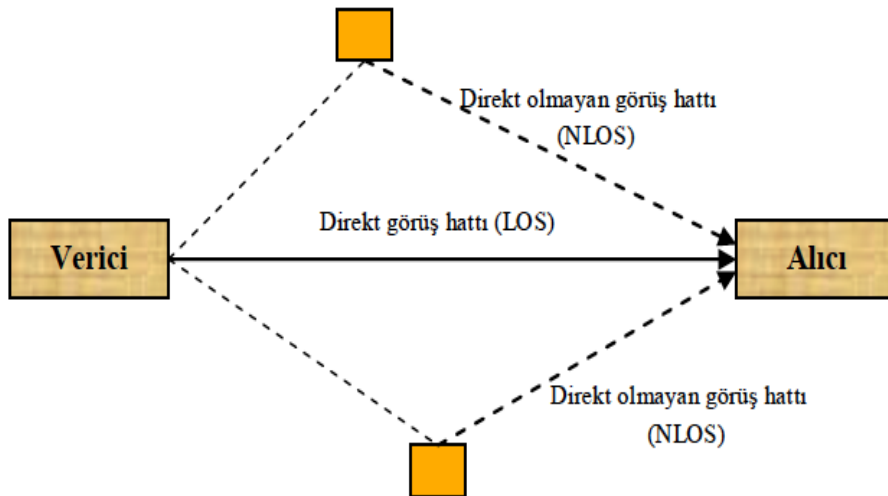
burada sönümlenme genliğinin ortamlara-kare (mean-square) değeri  $\Omega = a^{-2}$  olarak verilmektedir. Bu sönümlenme modelinde sinyaller birbirinden bağımsız ve yansiyarak alıcıya ulaşmaktadır.

## 2.2. Nakagami-n (Rice) sönümlenmesi

Nakagami-n dağılımı aynı zamanda Rice dağılımı olarak da bilinmektedir. Güçlü bir direkt görüş hattı (line of sight, LOS) bileşeni ve çok sayıda rastgele zayıf bileşenlerden oluşan yayılım yollarını modellemek için kullanılmaktadır (Şekil 2). Kanala ait sönümlenme genliği aşağıda verilen PDF ile tanımlanmaktadır[13].

$$P_{\alpha}(\alpha) = \frac{2(1+n^2)e^{-n^2}}{\Omega} \exp\left(-\frac{(1+n^2)\alpha^2}{\Omega}\right) I_0\left(2na\frac{\sqrt{1+n^2}}{\Omega}\right) \quad (6)$$

burada n parametresi 0 ile  $\infty$  aralığında değerler alabilen sönümlenme parametresini ve  $I_0$  birinci tür sıfırıncı dereceli modifiye edilmiş Bessel fonksiyonunu ifade etmektedir. Nakagami-n dağılımı  $n=0$  durumunda Rayleigh sönümlenmesini ve  $n=\infty$  durumunda ise sönümlenme olmayan durumları temsil etmektedir.



Şekil 2 Direkt görüş hattı(LOS) ve Direkt olmayan görüş hattı(NLOS)

Figure 2. Direct line of sight (LOS) and non-direct line of sight (NLOS)

## 2.3. Nakagami-q (Hoyt) Sönümlenmesi

Nakagami-q dağılımı, güçlü iyonosferik kırışıma bağlı olan radyo bağlarında gözlenir. Hoyt dağılımına ait PDF şu şekildedir(Kapucu , 2012).

$$P_{\alpha}(\alpha) = \frac{(1+q^2)a}{q\Omega} \exp\left(-\frac{(1+q^2)\alpha^2}{4q^2\Omega}\right) I_0\left(\frac{(1+q^4)\alpha^2}{4q^2\Omega}\right) \quad (7)$$

burada q ifadesi 0 ile 1 aralığında değerler alabilen sönümlenme parametresidir.

## 2.4. Nakagami-m Sönümlenmesi

Nakagami-m sönümlenme dağılımı Nakagami tarafından ortaya atılmış ve sönümlenmeli kanalları modellemek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Nakagami-m dağılımı ki-kare (chi-square) merkezine sahip olarak aşağıdaki gibi ifade edilmektedir(Kapucu, 2012).

$$P_{\alpha}(\alpha) = \frac{2m^m \alpha^{2m-1}}{\Omega^m \Gamma(m)} \exp\left(-\frac{m\alpha^2}{\Omega}\right) \quad (8)$$

burada m sönümlenme parametresi ve  $\Gamma(m)$  ise Gamma fonksiyonu olup  $\Gamma(m) = \int_0^{\infty} t^{m-1} e^{-t} dt$  şeklinde tanımlanmaktadır. Sönümlenme parametresinin değeri arttıkça sönümlenme şiddeti azalmaktadır.

## 3. EBK yöntemi için eşik ve test istatistiği

Dar band spektrum algılama yöntemlerinde  $H_1$  ve  $H_0$  durumları arasında bir karar verilmesi test istatistiği (TS) ve eşik değerine bağlıdır. Bu durum matematiksel olarak ;

$$P_{ya} = P(TS > \gamma_{sb} | H_0) \quad (9)$$

$$P_{ao} = P(TS > \gamma_{sb} | H_1) \quad (10)$$

şeklinde ifade edilir. Burada  $P_{ya}$  yanlış alarm olasılığı ve  $P_{ao}$  ise algılama olasılığını belirtir. Eşik değeri hesaplanırken 802.11 kablosuz haberleşme çalışma gurubu tarafından belirlenen 0.1 gibi sınır bir değer bulunmaktadır ve bu değer dikkate alınmalıdır. Eşik değeri oluşturulurken  $P_{ya}$  yani yanlış algılama olasılığından yola çıkılmalıdır. EBK yöntemi için eşik değeri olan  $\gamma_{EBEK}$  aşağıdaki matematiksel formüllerle gösterilir.

$$\frac{\lambda_{eb}}{\lambda_{ek}} \underset{H_1}{\overset{H_0}{\geq}} \gamma_{EBEK} \quad (11)$$

Burada  $\lambda_{eb}$   $x$ 'in kovaryans matrisinin en büyük özdeğerini,  $\lambda_{ek}$  ise en küçük özdeğerini belirtir.  $H_0$  hipotezi geçerli olduğundan eşitlik yeniden düzenlenirse;

$$P_{fa} = \lambda_{eb} > \gamma_{EBEK} \lambda_{ek} \quad (12)$$

Eşitliği elde edilir. Eşitliğin bir tarafı 1. Dereceden Tracy-widom dağılımına benzetilmelidir bunun için  $\lambda_{ek}$  'nin ortalama değeri olan  $(\sqrt{n} - \sqrt{p})^2$  değeri yerine yazılmalıdır bu durumda aşağıdaki eşitlik elde edilir. Burada n örnek sayısını p ise ikincil kullanıcıdaki anten sayısını belirlemektedir.

$$P_{fa} = \lambda_{eb} > \gamma_{EBEK} (\sqrt{n} - \sqrt{p})^2 \quad (13)$$

Burada  $\lambda_{eb}$  1. Derecede Tracy-widom dağılımına yakınsayacağından eşitliğin bu tarafı 1. Dereceden Tracy-widom dağılımı aşağıda tanımlanmıştır.

$$L_C = \left( \frac{\lambda_p(A(n)) - \mu_{n,p}}{\sigma_c} \right) \xrightarrow{D} F_1 \quad (14)$$

Burada  $\mu_{n,p} = (\sqrt{n-1} + \sqrt{p})^2$ ,  $\sigma_c = (\sqrt{n-1} + \sqrt{p}) \left( \frac{1}{\sqrt{n-1}} + \frac{1}{\sqrt{p}} \right)^{1/3} +$  ve  $A(n) = \frac{n}{\sigma_\eta^2} \mathbf{R}_\eta$  şeklinde tanımlanır.  $\mathbf{R}_\eta$ ,  $H_0$  hipotezi altında yani kanalda sadece gürültü var iken alınan işaret örneklerini gösterir. Eşitlik 13'ü 1. dereceden tracy-widom dağılımına benzetmek için aşağıda verilen eklemeler yapılmalıdır böylece;

$$P_{fa} = P \left( \left( \frac{\lambda_{eb} A(n) - \mu_{n,p}}{\sigma_c} \right) > \gamma \left( \frac{(\sqrt{n} - \sqrt{p})^2 - \mu_{n,p}}{\sigma_c} \right) \right) \quad (15)$$

eşitlik 15 elde edilir. Survival fonksiyonu kullanılırsa EBK için eşik değeri aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\gamma_{EBK} = F_1^{-1}(1 - P_{fa}) \left( \frac{(\sqrt{n} + \sqrt{p})^2}{(\sqrt{n} - \sqrt{p})^2} \right) \cdot \left( 1 + \frac{(\sqrt{n} + \sqrt{p})^{-2/3}}{(np)^{1/6}} \right) \quad (16)$$

Burada  $F_1^{-1}$  1. dereceden tracy-widom dağılımını gösterir ki bu dağılım rassal hermit matrisinin en büyük özdeğerinin olasılık dağılımıdır. Bu dağılım için belirli değerler aşağıdaki tablo 1'de verilmiştir (Deo, 2016).

**Tablo 1.** 1. Dereceden tracy-widom dağılımı için nümerik bazı değerler.  
**Table 1.** Numerical table for tracy-widom distribution of order 1.

x	-3.90	-2.78	-1.27	0.45	2.02
$F_1(x)$	0.01	0.10	0.50	0.90	0.99

Burada eşik değerine dikkat edilirse gürültü veya birincil kullanıcı işareti hakkında herhangi bir önsel bilgi gerektirmemektedir. Bu nedenle bu yöntem kör yöntemler içine dahil edilebilir.

#### 4. EBÖİ yöntemi için eşik ve test istatistiği

EBÖİ yönteminde alınan işaretin kovaryans matrisinin en büyük özdeğerinin, alınan işaretin izine oranı şeklinde bir test istatistiği mevcuttur.

$$TS = \frac{\lambda_{eb}}{tr(x)} \quad (17)$$

Burada  $tr(x)$  alınan işaretin izini belirtir. Bu yöntemde eşik değerini elde etmek için eşitlik yeniden düzenlenirse;

$$\lambda_{eb} > \gamma_{EBEK} \text{tr}(x) \quad (18)$$

şeklinde olacaktır. Burada  $\lambda_{eb}$  yine 1. Dereceden Tracy-widom dağılımına benzetilmelidir. Böylece EBÖİ yöntemi için eşik değeri aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$\gamma_{EBÖİ} = \frac{[F_{TW}^{-1}(1-P_{fa}) + (\alpha/\beta)]\beta}{np} \quad (19)$$

Burada  $\alpha$  ve  $\beta$ , Tracy-widom dağılımı için sakala ve varyans katsayılarını gösterir ve aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$\alpha = (\sqrt{n-1} + \sqrt{p})^2 \quad (20)$$

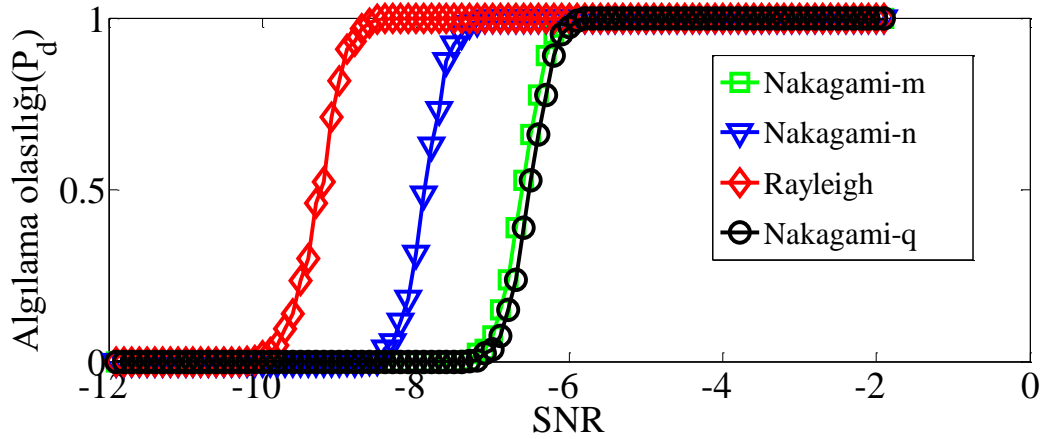
$$\beta = \sqrt{n-1} + \sqrt{p} \left( \frac{1}{\sqrt{n-1}} \right) + \frac{1}{\sqrt{p}} \quad (21)$$

EBÖİ yönteminde yine eşik değerine dikkat edilirse bu yöntemde kör olarak tanımlanacağı görülebilir.

## 5. Benzetim Sonuçları

Bu bölümde, önerilen yöntemlerin başarımını görmek için benzetim sonuçları verilmektedir. Simülasyonlarda MIMO-OFDM tabanlı haberleşme sistemi kullanılmıştır. Şekil 3' de 3x3 MIMO sistem (3 alıcı, 3 verici anten) için değişen SNR değerlerine karşı önerilen yöntemlerin algılama performansları görülmektedir.  $P_{fa} = 0.1$  olarak seçilmiştir.(bu değer WRAN 802.22 çalışma gurubu tarafından izin verilen sınır değeridir). Simülasyonlarda birincil kullanıcı işareti ve gürültü işareti rasgele oluşturulmuş ve monte karlo analizi için her algoritma 1000 kere çalıştırılarak algılama olasılığı değerinin ortalaması alınmıştır. Şekil 3'e dikkat edildiğinde EBK yöntemi için Rayleigh sönümlenmeli kanal için algılama performansının en başarılı olduğu görülmektedir. Nakagami-m ve nakagami-n sönümlenmeli kanalların ise birbirine çok yakın performans sergiledikleri görülmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta nakagami-n sönümlenmeli kanalı, güçlü bir direk görüş hattı (line of sight, LOS) bileşeni ve çok sayıda rastgele zayıf bileşenlerden oluşan yayılım yollarını modellemek için kullanılmasıdır. Buda genellikle uydu anteninden baz istasyonlara doğru veya tersi yöndeki haberleşme kanallarını ifade etmektedir. Buna karşın Rayleigh sönümlenmesinin günümüz sayısal haberleşme sistemlerindeki karşılığına cep telefonları ile baz istasyonu veya tersi yöndeki haberleşme ağı olarak gösterilebilir. Çünkü Rayleigh sönümlenmesinde direk görüş hattı (line of sight, LOS) bileşeni bulunmamaktadır. Simülasyonlarda EBK yöntemi için -9 dB SNR oranında Rayleigh kanal tam olarak doğru bir algılama sergilemiştir. Eğer gürültü seviyesi daha da artacak olursa algılama olasılığının azaldığını görmekteyiz.



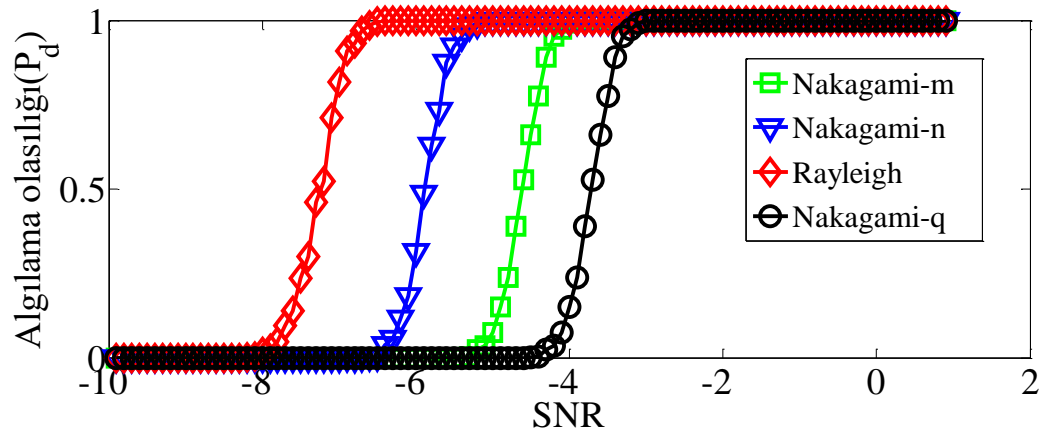


**Şekil 3** EBK yöntemi için farklı haberleşme kanallarında algılama performansları  $n=1000$ ,  $p=3$ .

**Figure 3.** Detection performances in different communication channels for the EBK method,  $n=1000$ ,  $p=3$ .

Şekilden görüldüğü üzere nakagami-n kanalı ise diğer üç kanalın ortalarında bir algılama performansı sunmaktadır. Simülasyonlarda toplanır beyaz gauss gürültülü (AWGN) kanal benzetimlerine yer verilmemiştir. Bunun nedeni AWGN kanalın sönümlenmeli herhangi bir kanalı modellemediği içindir. Eğer AWGN kanal için benzetim sonuçları grafiklerde olsa idi tahminen en iyi algılama performansını sergileyebilirdi. Fakat AWGN kanal herhangi bir sönümlenme içermediğinden sayısal haberleşme sistemlerinde benzetimler için tercih sebebi değildir.

EBÖİ tabanlı algıla yönteminin farklı sönümlenmeli kanallardaki performans analizi şekil 4' te verilmiştir. Yine burada görüldüğü üzere rayleigh sönümlenmeli kanal altında en iyi algılama performansı sunulmuştur.

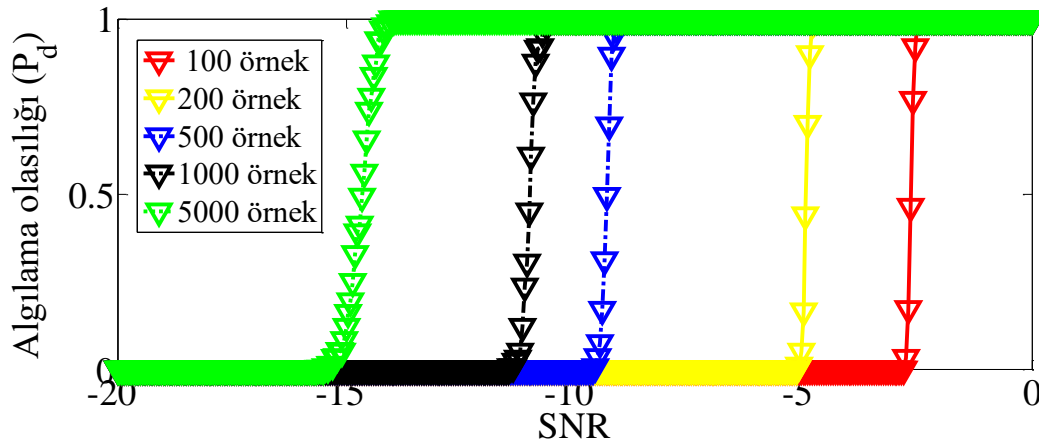


**Şekil 4** EBÖİ yöntemi için farklı haberleşme kanallarında algılama performansları  $n=1000$ ,  $p=3$ .

**Figure 4.** Detection performances in different communication channels for the EBOI method,  $n=1000$ ,  $p=3$ .

Şekil 3, şekil 4 ile birlikte kıyaslanırsa benzetim yapılan bütün kanallar altında EBEK yönteminin EBÖİ'ye göre daha başarılı algılama yaptığı görülmektedir. Ayrıca EBEK yöntemi hesaplama maliyeti açısından da EBÖİ'ye göre daha avantajlı sayılabilir.

Kör spektrum algılama yöntemlerinin örnek uzunluğuna göre başarımı ise şekil 5'te verilmiştir. Burada önceki grafiklerden anlaşıldığı üzere en başarılı yöntem EBEK olduğundan örnek uzunluğu için sadece bu yönteme yer verilmiştir. Burada artan örnek sayısı ile birlikte algılama olasılığı değerinin de doğru orantılı olarak arttığı görülmektedir. Bilişsel radyo sistemlerinde ilgili frekans fırsatçı olarak kullanılacağı için örnek uzunluğunun artması uygulama da istenmeyen bir durumdur. Çünkü örnek uzunluğunun artması beraberinde spektrumu algılamak için geçen sürenin de artması anlamına gelmektedir. Bunun için en az örnek uzunluğunda doğru bir algılama yapmak bilişsel radyo sistemleri için önemli bir noktadır.



Şekil 5. EBEK yöntemi için farklı farklı örnek uzunlukları için algılama performansları,  $p=3$ .

Figure 5. Detection performances for different sample lengths for the EBEK method,  $p = 3$ .

## 6. Sonuç

Günümüzde spektrum kıt ve sonlu bir kaynak durumunda olduğundan bu kaynağı verimli şekilde kullanmak, kablosuz haberleşme sistemlerinin geleceği için önemli bir noktadır. Son yıllarda sayısal haberleşme başlığı altında bu problemin çözümü için fazlaca çalışma yapılmaktadır. Spektrum algılama için kör yöntemler, birincil kullanıcı ve gürültü işareti için herhangi bir önsel bilgi gerektirmediğinden son derece umut veren çalışmalar olmuştur. Spektrum algılama yöntemlerinin başarısı, içinde bulunduğu haberleşme ortamının dinamik özelliklerinden oldukça fazla etkilenmektedir. Zaten sayısal haberleşme için kullanılan kanal modelleme teknikleri ve yöntemleri, hala üzerinde fazlaca çalışılan konular arasındadır. Bu nedenle bu çalışmada en büyük –en küçük özdeğer oranı ve en büyük özdeğer iz oranı kullanan spektrum algılama yöntemlerinin farklı haberleşme kanallarındaki performansları incelenmiştir. Simülasyonlarda EBEK ve EBÖİ yöntemleri rayleigh sönümlenmeli kanalda en iyi performansı sunmuştur.

## Kaynaklar

- C. Çiflikli , F.Y .İlgin; Covariance based spectrum sensing with studentized extreme eigenvalue , Technical gazette (accepted papers in press)
- D. Bhargavi , C. Murthy , Performance comparison of energy, matched-filter and cyclostationarity-based spectrum sensing, in: Proceedings of IEEE Eleventh International Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications (SPAWC) ,Morocco, 2010, pp. 1–5.
- I. Sobron ,P. Diniz , W. Martins , Velez M.; Energy detection technique for adaptive spectrum sensing , IEEE Trans. Commun. 63 (3) (2015) 617–627
- J. Mitola, Jr. Maguire, G.Q. Cognitive Radio: making Software Radios More. IEEE Pers. Commun.,6, 4(1999), pp. 1318.
- M. Mishali, Y. Eldar , Blind Multiband Signal Reconstruction: Compressive Sensing for Analog Signals , IEEE Trans. Sig. Proc., 57, 3(2009), pp. 993–1009.
- M. Y. Zeng , Y.C. Liang , Q. Guo ,J. Xi , Y. Youming Li ,Y. Yu , Huang D. Spectrum Sensing Using Weighted Covariance Matrix in Rayleigh Fading Channels, IEEE Transactions On Vehicular Technology, 64, 11, (2015), pp. 5137-5148.
- N. Pillay , H.J. Xu, Blind Eigenvalue-Based Spectrum Sensing for Cognitive Radio Networks. IET Comm. 6,11 (2011), pp.1388-1396.
- N. Kapucu ,işbirlikçi haberleşme sistemlerinin farklı sönümlü kanallardaki başarımları için yeni matematiksel ifadelerin türetilmesi,Kayseri,2012
- S. Chatterjee, A.Banerjee , Acharya T.; Maity S. P, Fuzzy c-means clustering in energy detection for cooperative spectrum sensing in cognitive radio system, in: Proceedings of Multiple Access Communications (MACOM) Sweden, 8715, (2014), pp. 84–97
- S.R Deo , On the Tracy-Widom Approximation of Studentized Extreme Eigenvalues of Wishart Matrices. Journal of Multivariate Analysis 147, (2016), pp.265.
- S. K.; Signal Processing for Cognitive Radios. John Wiley & Sons, Inc. Melbourne,2014.
- S. İngök; Bilişsel Radyoda Özdeğer Tabanlı Spektrum Sezme Yöntemleri ,İstanbul teknik Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü,2013.
- T. Ratnarajah, R. Vaillancourt ; Alvo M.; Eigenvalues and condition numbers of complex random matrices, SIAM J. Matrix Anal.Appl., 26, 2(2005), pp. 441–456.
- Y. Mingchuan ,L. Yuan ,L. Xiaofeng ,T. Wenyan, Cyclostationary feature detection based spectrum sensing algorithm under complicated electromagnetic environment in cognitive radio networks , China Commun. 12 (9) (2015) 35–44.
- Y. Zeng , Y.C. Liang , Covariance based signal detections for cognitive radio, in: Proc IEEE International Symposium on and New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks (DySPAN 2007) , Dublin, Ireland, April 2007, 2007, pp. 202–207.