



Cebraill Çiflikli

Erciyes University, cebrailc@erciyes.edu.tr, Kayseri-Turkey

Fatih Yavuz Ilgın

Erzincan Binali Yıldırım University, fyilgin@erzincan.edu.tr,
Erzincan-Turkey

DOI	http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2019.14.1.2A0164	
ORCID ID	0000-0001-7389-3100	0000-0002-7449-4811
CORRESPONDING AUTHOR	Fatih Yavuz Ilgın	

**ÖZDEĞER TABANLI ALGILAMA YÖNTEMLERİNDE EŞİK DEĞERİNİN ALGILAMA
PERFORMANSINA ETKİSİ**

ÖZ

Günümüz haberleşme sistemlerinin özellikle kablosuz ağlarda yoğunlaşması üzerine, radyo frekans spektrumunda yoğunluk olduğu yapılan ölçümler sonucunda kanıtlanmıştır. Meydana gelen bu yoğunluk radyo frekans spektrumunda yeni oluşturulacak servis veya teknolojiler için yer kıtlığı anlamına gelmektedir. Frekans spektrumundaki bu yoğunluğa temel sebep ise radyo frekans spektrumunun sabit frekans atama politikaları nedeni ile verimsiz kullanımudur. Bilişsel radyo sistemleri ise son yıllarda artan bu spektrum yoğunluğuna çare bulmak için geliştirilen teknolojilerin genel adıdır. Bu teknolojiye amaç radyo frekans spektrumunu sürekli izleyerek boş alanların değerlendirilmesidir. Bilişsel radyo sistemlerinde frekans spektrumunu en doğru şekilde algılamak ise bu teknolojilerin başlangıç aşamasıdır. Spektrum algılama için literatürde çok farklı yöntemler kullanılmasına rağmen özdeğer tabanlı spektrum algılama bazı özellikleri nedeni ile üzerinde fazlaca çalışılan başlıklar arasındadır. Özdeğer tabanlı algılama da eşik değerinin seçimi algoritma performansını doğrudan etkilemektedir. Bu çalışmada farklı özdeğer tabanlı algılama yöntemleri için kullanılan farklı eşik değerlerinin algoritma performansına etkisi incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Algılama Teorisi, Bilişsel Radyo,
Tracy-Widom Olasılık Dağılımı,
Kovaryans Matrisi, Spektrum Verimliliği

**IMPACT OF THE THRESHOLD VALUE ON DETECTION PERFORMANCE IN EIGENVALUE
BASED SENSING METHODS**

ABSTRACT

In today's communication systems, especially in wireless networks, have been proven as a result of measurements made in the radio frequency spectrum. This density means that there is space shortage for new services or technologies in the radio frequency spectrum. The main reason for this congestion in the frequency spectrum is the inefficient use of the radio frequency spectrum due to the fixed frequency assignment policies. Cognitive radio systems are the general name of technologies that have been developed in recent years to remedy the increasing spectral density. The purpose of this technology is to continuously monitor the radio frequency spectrum to evaluate free space. It is the initial phase of these technologies to perceive the frequency spectrum in the most accurate way in cognitive radio systems. Despite the use of very different methods in the literature for spectrum detection, eigenvalue spectrum detection is one of the most studied topics on the basis of some features. The selection of the threshold value directly affects the algorithm performance in the eigenvalue detection. In this study, the effect of different threshold values used for different eigenvalue detection methods on the algorithm performance is examined.

Keywords: Detection Theory, Cognitive Radio,
Tracy-Widom Distribution, Covariance Matrix,
Spectrum Efficiency

How to Cite:

Çiflikli, C. ve Ilgın, F.Y., (2019). Özdeğer Tabanlı Algılama Yöntemlerinde Eşik Değerinin Algılama Performansına Etkisi, **Technological Applied Sciences (NWSATAS)**, 14(1):11-19, DOI:10.12739/NWSA.2019.14.1.2A0164.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Son yıllarda sayısal haberleşme teknolojilerinde gösterilen artışa bağlı olarak, spektrumun daha verimli kullanılması gereği ortaya çıkmıştır. Dünya genelinde radyo frekans spektrumunun kullanım oranının yaklaşık %10 seviyelerinde olması bu durumun bir göstergesidir [1 ve 2]. Özellikle Avrupa ülkelerinde spektrumun bu derece verimsiz kullanımı, kablosuz haberleşme de kullanılacak olan yeni teknoloji ve standartların oluşturulması için önemli bir engel teşkil etmektedir. Bu durumun ortadan kalkması ve daha verimli bir spektrum kullanımı için sunulan çözümlerden biri de bilişsel radyo (BR) sistemleridir [1 ve 3]. BR spektrum verimini üst seviyelere çıkarmak için bulunduğu ortamı algılayan ve ilgili spektrum boşluklarını belirlemek suretiyle, bu frekans bandlarını fırsatçı olarak ikincil kullanıcıların erişimine açan teknolojiler bütünüdür [4]. Bu nedenle spektrum algılama BR sistemleri için başlangıç adımıdır. Çünkü spektrumun yanlış algılanarak ikincil kullanıcılara tahsis edilmesi büyük hukuki sorumluluklar doğurmaktadır. Genel anlamada BR dar band ve geniş band sistemler olmak üzere iki grupta incelenebilir [5 ve 6]. Geniş bantlı sistemlerde spektrum algılama geniş bir spektrum aralığında yapılırken dar bantlı sistemlerde sadece belirli bir spektrum bölgesi incelenmektedir [7].

Uygulama bazı önemli ve aşılması zor kısıtlar nedeni ile geniş bantlı sistemler fazla tercih edilmemektedir. Bu zorlukların en başında frekans boşluklarının spektrumun çok uzak noktalarında olması gelmektedir. Çünkü bu durumlarda ikincil kullanıcıların iki band arasında geçiş yapabilmesi için yazılımsal değişiklikler yetmeyebilir. Anten boyu gibi donanımsal değişikliklere de ihtiyaç duyulabilir. Bu durum uygulamada sisteme oldukça maliyet getirebileceği için fazla tercih edilmeyebilir. Fakat dar bantlı sistemlerde hem spektrum algılama maliyeti hem de hata oranı daha azdır bu nedenle daha azla tercih sebebidir. Literatürde genişbantlı sistemlerle ilgili fazlaca çalışma yapılmıştır. Darbantlı sistemler için de farklı yöntemleri içeren çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmaların başında enerji tabanlı spektrum algılama yöntemi gelmektedir [8]. Bu yöntemin yanı sıra özdeğer tabanlı spektrum algılama, cyclostationary tabanlı spektrum algılama gibi yöntemler mevcuttur [9]. Bu yöntemlerin her biri farklı bir özelliği nedeni ile diğerlerinden ayrılmaktadır. Örneğin enerji tabanlı algılama hesaplama maliyeti az olmasına rağmen, gürültü seviyesi bilinmiyorsa hatalı algılama yapmaya çok açık bir yöntemdir. Gürültü seviyesini önceden belirlemek veya kestirmek ise, kablosuz haberleşme sistemleri için saçılma ve yansıma gibi bozucu etkenler nedeni ile oldukça zordur. Cyclostationary tabanlı algılama ise hesaplama maliyetinin fazlalığı olmakla beraber, sadece dikgen frekans bölümlü çoğullama (OFDM) kullanan sistemler için uygundur [7]. Özdeğer tabanlı ise gürültü ve algılanacak işaret hakkında hiçbir önsel bilgi gerektirmediği için fazlaca tercih sebebidir [10 ve 12]. Özdeğer tabanlı spektrum algılama yöntemlerinde sistemin doğru işleyebilmesi test istatistiği (TS) ve eşik değerinin doğru hesaplanmasına bağlıdır. Özdeğer tabanlı algılama için ise literatürde kabul gören iki temel test istatistiği olmakla beraber çalışmalara konu olan dört farklı test istatistiği vardır. Literatürde her bir test istatistiği için farklı yöntemler kullanılarak hesaplanmış eşik değerleri mevcuttur [13 ve 15]. Bu çalışmada en büyük -en küçük özdeğer tabanlı spektrum algılama (EBEKÖ), ve en büyük özdeğer- iz tabanlı spektrum algılama yöntemleri için farklı eşik değerlerinin algılama performansları incelenmiştir. Yapılan çalışmada çok giriş-çok çıkışlı haberleşme sistemleri ile dikgen frekans bölümlü çoğullama (OFDM) yöntemi kullanılmıştır.

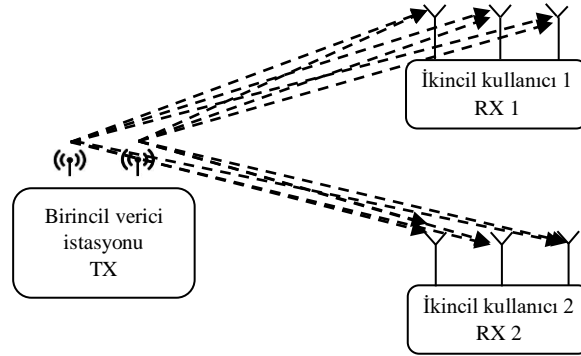
2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Bilindiği üzere günümüzde kullanılan haberleşme sistemlerinin birçoğu kablosuz teknolojiler üzerine kuruludur. Bunun anlamı frekans spektrumunda belirtilen her bir uygulamanın belirli bir band genişliğinde yer kaplamasıdır(sabit spektrum atama politikası). Fakat yapılan ölçümlerde sabit atanan bu frekansların, zamanın önemli bir bölümünde kullanılmadığı görülmüştür. Dolayısıyla zamanın belirli sürelerinde boş durumda olan bu frekans bantlarının kullanılması, spektrum verimliliği için hayati öneme sahiptir. Bu frekans boşluklarını belirlemek için ise özdeğer tabanlı spektrum algılama oldukça elverişlidir. Özdeğer tabanlı algılamanın doğru bir spektrum kararı verebilmesi eşik değerinin doğru seçimine bağlıdır. Bu nedenle bu çalışmada özdeğer tabanlı spektrum algılama algoritmalarının farklı eşik değerleri için performansları ölçülmüştür.

3. GENEL TANIMLAR VE ÖZDEĞER TABANLI SPEKTRUM ALGILAMA (GENERAL DEFINITIONS AND EIGENVALUE BASED SPEKTRUM SENSING)

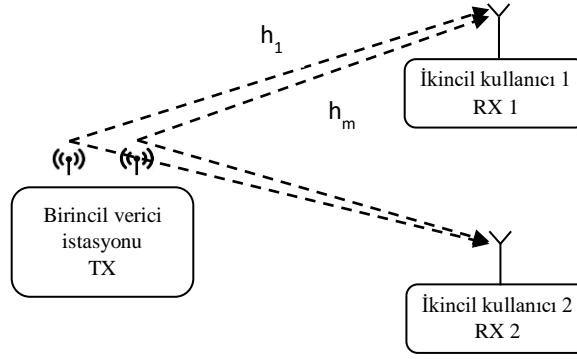
3.1. Özdeğer Tabanlı Spektrum Algılama (Eigenvalue Based Spectrum Sensing)

Özdeğer tabanlı algılama son yıllarda O-OFMIMDM haberleşme sistemleri için uygulama da kendisine yer edinmiş bir spektrum algılama yöntemidir. Diğer yöntemler göre algılanacak işaret ve gürültü hakkında herhangi bir önsel bilgi gerektirmemesi nedeni ile spektrum algılama uygulamalarında tercih sebebidir. Yöntemin en büyük dezavantajı çoklu anten veya çok kullanıcı bir haberleşme ağı gerektirmesidir. Bu dezavantajlar aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir. Şekil 1'de tek kullanıcı çok antenli sistem Şekil 2'de ise tek antenli çok kullanıcı sistem gösterilmiştir.



Şekil 1. Tek kullanıcı çok antenli sistem
(Figure 1. Single user multiple antenna system)

Şekil 1'de bir adet ikincil kullanıcı olabilir fakat bu durumda ikincil kullanıcıda bulunan antenlerin birbiri ile korelasyon oluşturmayacak kadar uzakta olması gerekmektedir. Fakat Şekil 2'de verilen sistemde ise her bir ikincil kullanıcıda tek anten olması nedeni ile mutlaka en az iki adet kullanıcı olması gerekmektedir. Çünkü özdeğer tabanlı algılama yönteminde antenlerden alınan işaretin kovaryans matrisi hesaplanacağı için bu matris en az iki satırlık olmalıdır. Birincil vericideki anten sayısı ise şekillerde 2 adet gösterilmekle beraber, bir adet olabilir.



Şekil 2. Tek antenli çok kullanıcılı sistem
(Figure 2. Single antenna multiple user system)

Özdeğer tabanlı spektrum algılama da, m adet algılama anteni ile donatılmış olan ikincil kullanıcının spektrum algılama problemi göz önüne alınır. Bu yöntemde birincil kullanıcı işareti ve gürültünün, sıfır ortalamalı ve gauss dağılımlı olduğunu varsayalım. H_0 , ilgili spektrumun boş olduğunu veya ikincil kullanıcıların bu spektrum bölgesini fırsatçı olarak kullanabileceğini belirtsin. H_1 ise bu spektrum bölgesinin dolu olduğunu belirtir. Bu temel ikili hipotez matematiksel olarak;

$$H_0 : \mathbf{x} \sim \text{CN}(0, \sigma_n^2 \mathbf{I}_m) \quad (1)$$

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

şekline ifade edilir. Burada $\mathbf{h} \in \mathbb{C}^{m \times 1}$ birincil kullanıcı ile m anten arasındaki kanal katsayı vektörünü, σ_x^2 ve σ_n^2 sırasıyla birincil kullanıcı işareti ve gürültü için varyans bilgisini belirtir. \mathbf{x} ise ikincil kullanıcının aldığı işaret örneklerini gösterir. Böylece her iki hipotez altında alınan işaretin kovaryans matrisleri

$$H_0 : \mathbf{R}_\eta = \boldsymbol{\eta}(\mathbf{n})\boldsymbol{\eta}(\mathbf{n})' \quad (3)$$

$$H_1 : \mathbf{R}_x = \mathbf{x}(\mathbf{n})\mathbf{x}(\mathbf{n})' \quad (4)$$

şeklinde tanımlanır. Burada \mathbf{R}_x ve \mathbf{R}_η kendisi ve transpozunun çarpımları bir matris olduğu için Wishart matrisi olarak tanımlanır. Bu matrislerin en büyük özdeğer dağılımı sayısal haberleşme de dahil olmak üzere son yıllarda üzerinde fazlaca çalışma yapılan bir konudur. Wishart matrislerinin en büyük özdeğer dağılımı için ilk kapalı fonksiyon jhonstone tarafından bulunmasına rağmen en doğru kapalı fonksiyon deo tarafından bulunmuştur

Teorem: Ortamda bulunan gürültünün sıfır ortalamalı ve karmaşık olduğu varsayılsın. $A(\mathbf{n}) = \frac{\mathbf{n}}{\sigma_\eta^2} \mathbf{R}_\eta$, $\mu_{n,m} = \mathbf{n}^{-1}(\sqrt{\mathbf{n}-1/2} + \sqrt{\mathbf{m}-1/2})^2$, $\sigma_{n,m} = (\mu_{n,m}/\mathbf{n})^{1/2} \left(\frac{1}{\sqrt{\mathbf{n}-1/2}} + \frac{1}{\sqrt{\mathbf{m}-1/2}} \right)^{1/3}$, $\mu_{n,m,0} = \mu_{n,m} + a\sigma_{n,m}$ ve $\sigma_c = \sqrt{\frac{nm}{2+nm}(\sigma_{n,m,0}^2 - \mu_{n,m,0}^2)}$. Burada a , b ve $\sigma_{n,m,0}^2$ sırasıyla -1.206548 , 1.267941 ve $\sigma_{n,m,0} = b\sigma_{n,m}$ anlamına gelir. Bu nedenle $\frac{\lambda_{\max} A(\mathbf{n}) - \mu}{v}$ \mathbf{n} ve \mathbf{m} sonsuza giderken 1. Dereceden Tracy-Widom dağılımına yakınsar [16].

3.2. En Büyük En Küçük Özdeğer Tabanlı Spektrum Algılama (EBEKÖ) (Maximum-minimum Eigenvalue Based Spectrum Sensing)

Bu yöntem literatürde en fazla kabul gören ve bu alanda yapılmış ilk çalışma olma özelliğine sahiptir. Bu yöntemde test istatistiği ve eşik değeri;

$$\frac{\lambda_{eb}}{\lambda_{ek}} \underset{H_0}{\geq} \beta_{EBEKÖ} \quad (5)$$

şeklinde tanımlanır. Burada λ_{eb} Şekil 1'de çoklu antenler tarafından alınan işaretin kovaryans matrisinin en büyük özdeğerini, λ_{ek} ise en küçük özdeğerini belirtir. $\beta_{EBEKÖ}$ eşik değeridir. Spektrumun dolu/boş olma durumu test istatistiğinin eşik değerinden büyük/küçük olma durumuna göre belirlenir. Eşik değeri ise yapılan ilk çalışmada aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır[11].

$$\beta_{EBEKÖ1} = \left(\frac{(\sqrt{n}+\sqrt{m})^2}{(\sqrt{n}-\sqrt{m})^2} \right) \left(\frac{(\sqrt{n}+\sqrt{m})^{-2/3}}{(nm)^{1/6}} F_1^{-1}(1 - P_{fa}) \right) \quad (6)$$

Burada F_1^{-1} 1. Dereceden Tracy-widom dağılımını belirtir. Diğer bir eşik değeri ise aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$\beta_{EBEKÖ2} = F_1^{-1}(1 - P_{fa}) \left(\frac{\sqrt{\frac{nm}{2+np}(\sigma_{n,m,0}^2 - \mu_{n,m,0}^2)}}{(\sqrt{n}-\sqrt{m})^2 + (\sqrt{n-1/2} + \sqrt{m-1/2})^2} \right) \quad (7)$$

Burada $\sigma_{n,m,0}^2$ ve $\mu_{n,m,0}^2$ sırasıyla öğrencileştirilmiş Tracy-Widom dağılımı için belirlenen parametrelerdir. Görüldüğü gibi eşik değeri sadece örnek uzunluğu ve anten sayısına bağlıdır. Bu nedenle bu yöntem kör spektrum algılama olarak tanımlanmaktadır.

3.3. Aritmetik-Geometrik Ortalama Tabanlı Algılama (AGORT) (Arithmetic-Geometric Mean Based Spectrum Sensing)

Aynı şekilde aritmetik-geometrik tabanlı algılama (AGORT) yönteminde eşik değeri ve test istatistiği aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$\frac{\lambda_{\max}}{(\prod_{i=1}^p \lambda_i)^{1/p}} \underset{H_0}{\geq} \beta_{AGORT} \quad (8)$$

Burada EBÖİ yönteminde olduğu gibi verilen test istatistiği $\lambda_{\max}(R_\eta(n))/(\prod_{i=1}^m \lambda_i)^{1/m}$ eşik değerinden büyük veya küçük olma durumuna bakılmaktadır. Literatürde önerilen AGORT yöntemi için önerilen eşik değerlerinden biri,

$$\beta_{AGORT1} = F_1^{-1}(1 - P_{fa}) \sigma + \mu \quad (9)$$

şeklinde tanımlanır. Burada σ ve μ aşağıda verilmiştir.

$$\sigma = (\sqrt{n-1} + \sqrt{m})^2 \quad (10)$$

$$\mu = (\sqrt{n-1} + \sqrt{m})^2 \left(\frac{1}{\sqrt{n-1}} + \frac{1}{\sqrt{m-1}} \right)^{1/3} \quad (11)$$

Eşitlik 10 ve eşitlik 11'de n ve m sırasıyla örnek sayısı ve anten sayısını belirtir. Literatürde bulunan bir diğer eşik değeri ise

$$\beta_{AGORT2} = F_1^{-1}(1 - P_{fa}) \sigma_c + \mu_{n,m,0} \quad (12)$$

Şeklinde tanımlanır burada σ_c ve $\mu_{n,m,0}$ yine EBÖİ yönteminde olduğu gibi öğrencileştirilmiş halde bulunan Tracy-Widom dağılımı için varyans ve skala parametreleridir. Kovaryans matrisi için en büyük özdeğer ile ilgili bu çalışmalar [16] nolu kaynakta verilmiştir.

3.4. En Büyük Özdeğer-İz Tabanlı Algılama (EBÖİZ) (Maximum Eigenvalue-Trace Based Spectrum Sensing)

Bu algılama yönteminde test istatistiği ve eşik değeri aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$TS = \frac{(R_\eta(n))}{iz(R_\eta(n))} \quad (13)$$

Bu durumda spektrum bolu/boş durumuna aşağıdaki gibi karar verilir.

$$\frac{(R_\eta(n))}{iz(R_\eta(n))} \underset{H_0}{\geq} \beta_{EBÖİZ} \quad (14)$$

Yapılan çalışmalarda eşik değerlerinden biri aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$\beta_{EBÖZ1} = 0.45 \left(\frac{iz(R_{\eta}(n)) - [n^{-1}(\sqrt{n-1/2} + \sqrt{m-1/2})^2]}{(\mu_{n,p}/n)^{1/2} \left(\frac{1}{\sqrt{n-1/2}} + \frac{1}{\sqrt{m-1/2}} \right)^{1/3}} \right) \quad (15)$$

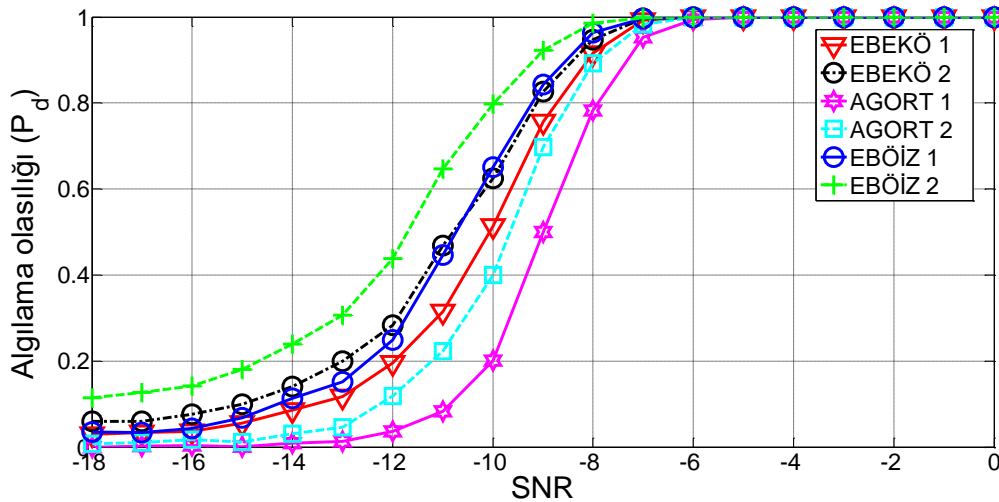
Öğrencileştirilmiş özdeğer dağılımı kullanılarak yapılan diğer eşik değeri ise;

$$\beta_{EBÖZ2} = F_1^{-1}(1 - P_{fa}) \left(\frac{iz(R_{\eta}(n)) - [\mu_{n,m} + a\sigma_{n,m}]}{\frac{nm}{2+nm} \left(\sigma_{n,m,0}^2 - \left(\frac{2}{np} \right) \mu_{n,m,0}^2 \right)} \right) \quad (16)$$

şeklinde tanımlanmıştır. Bu çalışmada dikkat edilirse üç farklı yöntem için hesaplanan eşik değerleri, aynı zaman da kovaryans matrisi en büyük özdeğer dağılımının farklı fonksiyonlar kullanılarak elde edilmiş şekilleridir. Çünkü kovaryans matrisi için en büyük özdeğer olasılık dağılımı son yıllarda üzerinde oldukça fazla çalışma yapılan bir konudur.

4. BENZETİM ÇALIŞMALARI (SIMULATION RESULTS)

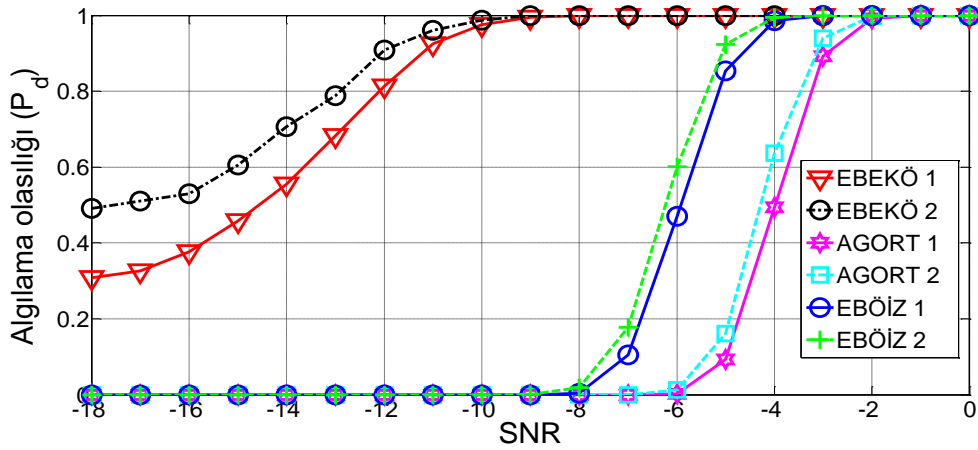
Simulasyon çalışmaları için MIMO-OFDM tabanlı haberleşme sistemi kullanılmıştır [14]. Sembol başına bit oranı 52, pencere boyutu 64 seçilmiştir. OFDM şeması için alt taşıyıcıların sayısı 52 olarak belirlenmiştir. Monte carlo analizi için algoritmalar her defasında farklı birincil kullanıcı işareti ve kanal matrisleri oluşturularak 1000 kere çalıştırılmış ve algılama olasılığı değerinin ortalaması alınmıştır. Şekil 3 örnek sayısı 500 seçilerek yukarıdaki değerlere göre algoritma sonuçlarını göstermektedir. Şekilde 3 farklı yöntem için ikişer farklı eşik değeri değerlendirilmiştir. Ayrıca şekil 3 te 2x4 MIMO sistem çalıştırılmıştır. Yani 2 adet verici 4 adet alıcı anten kullanılmıştır.



Şekil 3. 2x4 MIMO-OFDM ve 500 örnek sayısı için Pd-SNR değerleri
(Figure 3. 2x4 MIMO-OFDM system and Pd-SNR for 500 sample size)

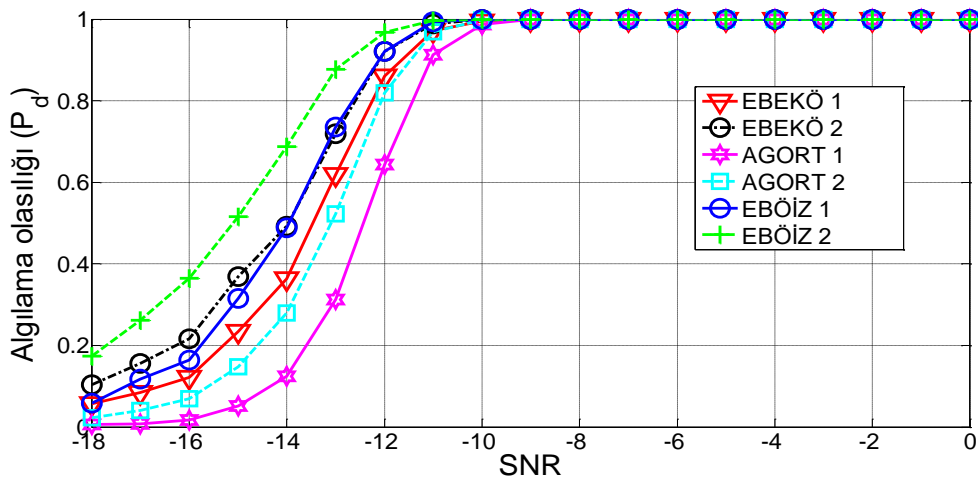
Şekil 3'den görüldüğü üzere verilen değerler için EBÖZ yöntemi eşitlik 15'te verilen eşik değeri ile birlikte kullanılırsa en başarılı spektrum algılama yöntemidir. Bu yöntem eşitlik 15'te verilen eşik değeri ile kullanıldığı zaman algılama performansı oldukça düşmektedir. Grafikten görüldüğü üzere en başarısız algılama performansı ise AGORT yöntemi birinci eşik değeri ile kullanıldığı zamanda sergilenmiştir. Özellikle göze çarpan husus, bütün yöntemler de ikinci eşik değeri kullanıldığı zaman algoritma performansında görülen artıştır. Bunun

nedeni önceki bölümlerde belirtildiği üzere en büyük özdeğerin olasılık dağılımı için daha doğru bir fonksiyon kullanılarak elde edilen eşik değerleridir. Çünkü özdeğer tabanlı spektrum algılama yöntemlerinde, doğru bir spektrum algılama sadece test istatistiği ve doğru hesaplanmış bir eşik değerine bağlıdır. Şekil 4 ise aynı değerler sadece alıcı anten sayısı 16 seçilerek elde edilmiş sonuçlardır. Görüldüğü üzere alıcı anten sayısının artması özellikle EBKÖ yönteminde oldukça fazla bir performans artışı sağlamıştır. Alıcı anten sayısının artması diğer yöntemlerde ise algılama performansına negatif etki yapmıştır. Özellikle ikinci eşik değeri ile (eşitlik 7) kullanıldığında -18 dB'lik gürültü varlığında bile 0.5 algılama olasılığı değeri sunmuştur.



Şekil 2. 2x16 MIMO-OFDM ve 500 örnek sayısı için Pd-SNR değerleri
(Figure 4. 2x16 MIMO-OFDM system and Pd-SNR for 500 sample size)

Şekil 4'ten görüldüğü üzere ikinci eşik değeri ile EBKÖ tam doğru bir algılama yapabilmesi için -10 dB'lik gürültüden daha az gürültülü bir ortam gerekmektedir. Bu değer uygulama da oldukça iyi bir değerdir. Şekil 5'te ise 2x4 MIMO için örnek sayısı 200 seçilerek algoritma performansları görülmektedir.



Şekil 3. 2x4 MIMO-OFDM ve 2000 örnek sayısı için Pd-SNR değerleri
(Figure 5. 2x4 MIMO-OFDM system and Pd-SNR for 2000 sample size)

Görüldüğü üzere bütün yöntemler örnek sayısı arttıkça daha başarılı bir algılama performansı sunmuştur. Fakat bilişsel radyo

sistemlerinde spektrumu algılama süresinin kısalığı önemlidir. Dolayısıyla 2000 örnek sayısı için algılama başarılı olabilir fakat spektrum fırsatçı olarak kullanılacağı için bu durum uygulama problemler çıkarabilir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS)

Yapılan bu çalışmada farklı özdeğer tabanlı spektrum algılama yöntemlerinin çeşitli eşik değerleri ile performansları değerlendirilmiştir. Benzetim çalışmaları farklı anten sayıları ve örnek uzunlukları için yapılmıştır. Yapılan simülasyonlarda EBKÖ yönteminin farklı anten sayıları ve örnek uzunluklarına göre en başarılı özdeğer tabanlı spektrum algılama yöntemi olduğu görülmüştür. Özellikle yapılan simülasyonlar farklı örnek sayısı için de uygulandığından, örnek sayısı değişiminin algılama performansına etkileri de görülmüştür. Çünkü örnek uzunluğunun algılama süresine olumsuz yansıdığı düşünülürse, kısa örnek uzunluklarında doğru bir algılama yapmak önemlidir.

NOT (NOTICE)

Bu çalışma, 11-13 Nisan 2018 tarihinde Antalya'da düzenlenen 1st International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies Konferansında sözlü bildiri olarak sunulmuş ve yeniden yapılandırılmıştır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Cabric, D., (2008). Addressing Feasibility of Cognitive Radios. IEEE Signal Process. Mag., vol:25, no:6, pp:85-93.
- [2] Mitola, J. and Maguire, G.Q., (1999). Cognitive Radio: Making Software Radios more Personal. IEEE Pers. Commun., vol:6, no:4, pp:13-18.
- [3] Zeng, Y. and Liang, Y.C., (2010). Robust Spectrum Sensing in Cognitive Radio. IEEE 21st Int. Symp. Pers. Indoor Mob. Radio Commun. Work., pp: 1-8.
- [4] Zeng, Y. and Liang, Y.C., (2009). Spectrum-sensing Algorithms for Cognitive Radio Based on Statistical Covariances. IEEE Trans. Veh. Technol., vol:58, no:4, pp:1804-1815.
- [5] Sun, H., Nallanathan, A., Wang, C.X., and Chen, Y., (2013). Wideband Spectrum Sensing for Cognitive Radio Networks: a Survey. IEEE Wirel. Commun., vol:20, no:2, pp:74-81.
- [6] Vito, L., (2013). Methods and Technologies for Wideband Spectrum Sensing. Meas. J. Int. Meas. Confed., vol:46, no:9, pp:3153-3165.
- [7] Li, Y., Winters, J.H., and Sollenberger, N.R., (2002). MIMO-OFDM for Wireless Communications: Signal Detection with Enhanced Channel Estimation. IEEE Trans. Commun., vol:50, no:9, pp:1471-1477.
- [8] Annamalai, A. and Olaluwe, A., (2013). On the Energy Detection of Unknown Signals in κ - μ And η - μ Fading Channels with Diversity Receivers. Int. Conf. Connect. Veh. Expo, ICCVE 2013 - Proc., pp: 127-132.
- [9] Gibson, A. and Zafar, J., (2008). Cyclostationary spectrum Detection in Cognitive Radios. IET Semin. Cogn. Radio Softw. Defin. Radio Technol. Tech., Vol:1, no:1, pp:17-17.
- [10] Charan, C. and Paney, R., (2016). Eigenvalue based Double Threshold Spectrum Sensing Under Noise Uncertainty for Cognitive Radio. Optik (Stuttg)., Vol:127, no:15, pp:5968-5975.
- [11] Zeng, Y. and Liang, Y.C., (2009). Eigenvalue-based Spectrum Sensing Algorithms for Cognitive Radio. IEEE Trans. Commun., vol: 57, no:6, pp: 1784-1793.



-
- [12] Pillay, N. and Xu H.J., (2012). Blind eigenvalue-based Spectrum Sensing for Cognitive Radio Networks. *IET Commun.*, vol:6, no:11, pp:1388.
- [13] Kortun, A., Sellathurai, M., Ratnarajah, T., and Zhong, C., (2012). Distribution of the Ratio of the Largest Eigenvalue to the Trace of Complex Wishart Matrices. *IEEE Trans. Signal Process.*, vol:60, no:10, pp:5527-5532.
- [14] Soltanmohammadi, E., Orooji, M., and Naraghi-Pour, M., (2013). Spectrum Sensing Over MIMO Channels Using Generalized Likelihood Ratio Tests, *IEEE Signal Process. Lett.*, vol:20, no:5, pp:439-442.
- [15] Kortun, A., Ratnarajah, T., Sellathurai, M., Liang, Y.C., and Zeng, Y., (2014). On the Eigenvalue-Based Spectrum Sensing and Secondary User Throughput. *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol:63, no:3, pp:1480-1486.
- [16] Deo, R.S., (2016). On the Tracy-Widom Approximation of Studentized Extreme Eigenvalues of Wishart Matrices. *J. Multivar. Anal.*, vol:147, pp:265-272.