

İKİNCİL KULLANICI KONUMLARININ İŞBİRLİKLİ ALGILAMA YÖNTEMİ PERFORMANSINA ETKİSİ

THE EFFECT OF SECONDARY USER LOCATIONS ON THE COOPERATIVE DETECTION PERFORMANCE

Evren Çatak ve Serhat Erküçük

Kadir Has Üniversitesi, Elektronik Mühendisliği Bölümü, 34083, Fatih, İstanbul
evren.catak@stu.khas.edu.tr; serkucuk@khas.edu.tr

ÖZETÇE

Klasik işbirlikli algılamada, füzyon merkezi ikincil kullanıcıdan gelen sinyalleri işleyerek birincil kullanıcının aktif olup olmadığına karar verir ve bu bilgiyi tüm kullanıcılara iletir. Bu yaklaşımda ikincil kullanıcı konumları dikkate alınmadığı için girişim yaratmayacak uzaklıktaki bir kullanıcı bile iletişime geçemeyecektir. Daha önce yapılan bir çalışmada kullanıcılardan gelen işaretleri değişik sayıda birleştirme, karar tabloları oluşturma ve her bir kullanıcı için ayrı ayrı karar verme üzerine kurulu bir algılama yöntemi önerildi. Önerilen yöntemle ikincil kullanıcılar için iyi sonuçlar elde edilse de kullanıcı konumlarının etkisi incelenmedi. Bu çalışmada ikincil kullanıcı konum, dağılım ve sayılarının algılama performansına etkileri incelenmektedir. Buna göre daha önce önerilen yöntemde (i) değerlendirilen klasik işbirlikli yöntem sonuçlarının doğru olmadığı ve (ii) kullanıcı konumuna ve dağılımına göre algılama performansının klasik işbirlikli yöntemle göre hangi koşullarda ve ne kadar daha iyi olduğu gösterilmektedir.

ABSTRACT

In conventional cooperative detection, a fusion center decides on the presence or absence of the primary user by gathering all the information from secondary users and conveys this decision to all users. This approach does not take into account the locations of the secondary users, where a user far from the primary user may also have to keep silent. In a recent work, there has been a new detection method based on combining received signals from more than two users, obtaining decision tables, and deciding individually for each user. While the proposed method showed promising results for the secondary users, the effect of the user distribution was not investigated. In this study, we consider the effect of secondary user location and number on the detection performance. We show that (i) the evaluation of the conventional method in the proposed method is not accurate, and (ii) depending on the user location the detection performance may be better or worse compared to the conventional detection.

1. GİRİŞ

Bilişsel radyo sistemlerinin en belirleyici özelliklerinden biri spektrum algılamasıdır [1]. Spektrum algılamada enerji

Bu çalışma kısmi olarak 7th European Community Framework Programme – Marie Curie International Reintegration Grant tarafından desteklenmiştir.

978-1-4673-0056-8/12/\$26.00 ©2012 IEEE

algılaması en çok kullanılan yöntemdir [2]. Algılama performansı güvenilirliğini arttırmak için literatürde işbirlikli algılama yöntemleri geliştirilmiştir [3], [4], [5]. İşbirlikli algılama yöntemlerinde genelde kullanıcı konumları göz ardı edilir. Buna göre füzyon merkezi ikincil kullanıcılardan gelen tüm bilgilere dayanarak tek bir karar verir. Böyle bir durumda birincil kullanıcıya uzakta olan bir ikincil kullanıcı da iletişime geçememek durumunda kalabilir.

Bu duruma karşılık yeni bir yöntem önerilmiştir [6]. Özetle bu yöntem ikincil kullanıcılar için iki bölge varsayar: Füzyon merkezi iletişim alanında olup birincil kullanıcı iletişim alanında (i) olanlar ve (ii) olmayanlar. Buna göre, ikincil kullanıcılardan füzyon merkezine gelen sinyaller değişik şekilde sentezlenir, tablolar oluşturulur ve her kullanıcı için ayrı ayrı karar verilir. Her ne kadar bu yöntemde bölgeler belirlenmiş olsa da klasik işbirlikli algılama yöntemi performansı doğru şekilde tanımlanmamış, performansı etkileyen kullanıcı konumları, iletişim alanındaki dağılımları ve ikincil kullanıcı sayıları göz ardı edilmiştir.

Bu çalışmada [6]'daki eksikliklerden yola çıkarak şunlar incelenmiştir: İşbirlikli algılama yöntemi tanımlanmış, füzyon merkezi ve birincil kullanıcı iletişim alanlarında yer alan ikincil kullanıcıların konumlarının etkileri araştırılmıştır. Aynı zamanda bu konumlarda bulunan ikincil kullanıcı sayılarının ve oluşacak kombinasyon seçimlerinin değerlendirilmesi yapılmıştır. Ayrıca bu çalışmada her iki iletişim alanı için en iyi ve en kötü performans verecek konumlar ve dağılımlar incelenmiş, çeşitli değerlendirmeler yapılmıştır. Bu çalışmanın sonuçları [6]'da önerilen yöntemin doğru olarak gerçekleşmesi açısından önemlidir.

2. SİSTEM MODELİ

Sistem birden fazla ikincil kullanıcı için tasarlanmıştır. İkincil kullanıcılar algıladıkları sinyalleri füzyon merkezine (FM) iletir. FM ise gelen sinyalleri analiz ederek ikincil kullanıcılara kanal hakkında bilgi vermektedir.

Klasik işbirlikli algılama yöntemine göre FM ikincil kullanıcılardan gelen bilgilere göre bütün ikincil kullanıcılara aynı cevabı verir. Buna göre birincil kullanıcıya (BK) zarar vermeyecek uzaklıktaki bir ikincil kullanıcı da sessiz kalma durumunda kalabilir. Bunun için yeni bir yöntem önerilmiştir [6]. Önerilen yöntem, klasik işbirlikli yöntemin tersine bütün ikincil kullanıcılar için tek bir karar vermeyip, her bir ikincil kullanıcı için ayrı ayrı karar vermektedir.

Önerilen yöntemin modelini daha iyi açıklayabilmek için, bundan sonraki iki alt başlıkta sırasıyla ikincil kullanıcıların sinyali nasıl algıladığı, FM'ye gönderdiği ve FM'nin ikincil

kullanıcılardan gelen sinyalleri klasik işbirlikli algılama modeli ile nasıl analiz edip karar verdiği anlatılmaktadır.

2.1. Tek İkincil Kullanıcı Sistem Modeli

İkincil kullanıcının, enerji algılama yöntemi kullandığı durumda, kullanıcının algıladığı sinyal iki hipotez şeklinde verilebilir. İkincil kullanıcının algıladığı ve FM'ye ilettiği sinyal aşağıdaki gibidir.

$$y = \begin{cases} \sum_{l=1}^L |n_l|^2, & H_0 \\ \sum_{l=1}^L |n_l + s_l|^2, & H_1 \end{cases} \quad (1)$$

L sinyalin örnekleme sayısı olmak üzere denklemde bulunan n_l ortama değeri 0, varyansı σ_n^2 olan AWGN (Toplanır Beyaz Gauss Gürültüsü), s_l ise BK'nin ilettiği sinyaldir. H_0 hipotezinde ikincil kullanıcı sadece ortam gürültüsünü algılamıştır, dolayısıyla BK aktif değildir. H_1 hipotezinde ise ikincil kullanıcı hem BK'ya ait sinyali hem de ortam gürültüsünü algılamıştır, dolayısıyla BK aktiftir.

Spektrum algılamada enerji algılama yöntemi kullanıldığında algılanan sinyal eşik değeri (λ) ile karşılaştırılır.

$$karar = \begin{cases} 1, & y \geq \lambda \quad (1 = aktif) \\ 0, & y < \lambda \quad (0 = pasif) \end{cases} \quad (2)$$

Algılanan sinyalin y büyüklüğü λ değerinden büyükse BK aktif, küçük ise pasif demektir. BK'nin aktif olduğu durumda $y < \lambda$ ise algılayamama (P_{md} , miss-detection), BK pasif iken $y \geq \lambda$ ise yanlış algılama (P_f , false-alarm) vardır.

$$P_f = P(y \geq \lambda | H_0) \quad (3)$$

$$P_{md} = P(y < \lambda | H_1) \quad (4)$$

İkincil kullanıcı tarafından algılanan sinyalin ortalama değeri μ_y ve varyansı σ_y olmak üzere, denklem (1)'de yer alan L değeri yeteri kadar büyükse y değeri merkezi limit teoremine göre davranır. $N(\mu_y, \sigma_y^2)$ şeklinde yazarsak ikincil kullanıcı tarafından algılanan sinyal aşağıdaki gibidir.

$$y \sim \begin{cases} N(L\sigma_n^2, L\sigma_n^4), & H_0 \\ N(L(\sigma_n^2 + \gamma), L\sigma_n^2(\sigma_n^2 + 2\gamma)), & H_1 \end{cases} \quad (5)$$

Buradaki anlık sinyal-gürültü oranı (SNR) γ , P_{TX} BK'nin ilettiği sinyalin gücü, d_{BK} ikincil kullanıcı ile BK arasındaki mesafe olarak üzere şöyle tanımlanabilir.

$$\gamma = \frac{P_{TX}/d_{BK}^2}{\sigma_n^2} \quad (6)$$

2.2. Klasik İşbirlikli Algılama Modeli

Birden fazla ikincil kullanıcı olduğu durumda, FM belirli periyotlarda K adet ikincil kullanıcılardan algıladığı sinyalleri analiz etmekte, bütün ikincil kullanıcılar için aynı kararı vermektedir. Bu durumda her bir ikincil kullanıcının algıladığı sinyal aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$Y_k = \begin{cases} \sum_{l=1}^L |n_{k,l}|^2, & H_0 \\ \sum_{l=1}^L |n_{k,l} + s_{k,l}|^2, & H_1 \end{cases} \quad (7)$$

$k = 1, \dots, K$

Bütün ikincil kullanıcılardan gelen sinyallerin ortalaması, belirli bir eşik değeri, λ , ile karşılaştırılarak kanal müsaitliğine karar verilir. FM tarafından algılanan sinyallerin ortalaması aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$Z = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K W_k Y_k \quad (8)$$

Kazanç katsayısı $W_k = 1$ olarak kabul edildiği durumda, (5) no'lu denklem ile (8) no'lu denklemin birleşiminden yeni Z denklemi aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$Z \sim \begin{cases} N\left(L\sigma_n^2, \frac{L}{K}\sigma_n^4\right), & H_0 \\ N\left(\frac{L}{K}\sum_{k=1}^K (\sigma_n^2 + \gamma_k), \frac{L}{K^2}\sigma_n^2 \sum_{k=1}^K (\sigma_n^2 + 2\gamma_k)\right), & H_1 \end{cases} \quad (9)$$

Burada FM tarafından algılanan anlık SNR aşağıdaki gibidir ve kendisine olan uzaklığın karesi ile ($d_{FM,l}^2$) ters orantılıdır.

$$\gamma_k = \frac{1}{L} \sum_{l=1}^L \frac{P_{TX}}{\sigma_n^2 d_{BK,l}^2 d_{FM,l}^2} \quad (10)$$

3. ALTERNATİF ALGILAMA YÖNTEMİ

Bu bölümde klasik işbirlikli algılama yöntemine alternatif olarak önerilen yöntem [6] özetlenmiş, göz ardı edilmiş yönleri açıklanmıştır.

3.1. Sistem Modeli

FM kanalın müsaitliğine karar verirken K adet ikincil kullanıcılardan Q adet ikincil kullanıcı seçilerek karar verilmektedir. Q değeri $1 \leq Q \leq K$ aralığında olmak üzere $U = \binom{K}{Q}$ tane Q elemanlı veri seti oluşturulur. \mathbf{W} veri setini, \mathbf{W}_u , u . kombinasyonu gösterebilir. Denklem (8) şu şekilde değişir.

$$Z_u = \frac{1}{Q} \sum_{k \in \mathbf{W}_u} Y_k \quad u = 1, \dots, U \quad (11)$$

Denklem (11) kullanılarak kanal müsaitliği karar tablosu oluşturulur. Örnek olarak toplam ikincil kullanıcı sayısı $K = 4$, seçilen ikincil kullanıcı sayısı $Q = 3$ olduğu durumda oluşan karar tablosu Tablo 1'de gösterilmiştir. Tabloda yer alan 0, 1 ifadeleri sırasıyla kanal müsait ve kanal meşgul durumlarını göstermektedir. Tabloda yer alan (1&4,3) hücredeki 1, (1,4,3) lokasyonlarında bulunan ikincil kullanıcılardan gelen (Y_1, Y_4, Y_3) sinyallerinin denklem (11)'e göre analizinin eşik değerinden büyük olduğunu göstermektedir. m_k her bir ikincil kullanıcı için kanal müsaitliği değerlerinin toplamını gösteren değer olsun. Kanalı

kullanacak ikincil kullanıcıların seçiminde m_k ile M değerleri karşılaştırılmaktadır. M değeri denklem (12)'deki gibi ifade edilmektedir.

$$M = \eta \times \binom{K-1}{Q-1}, \quad 0 \leq \eta \leq 1 \quad (12)$$

$m_k < M$ olduğu durumda kanal müsait, $m_k \geq M$ olduğu durumda ise kanal meşgul olarak karar verilmektedir.

	1	2	3	4
1&2	-	-	1	0
1&3	-	1	-	1
1&4	-	0	1	-
2&3	1	-	-	1
2&4	0	-	1	-
3&4	1	1	-	-
m_k	2	2	3	2

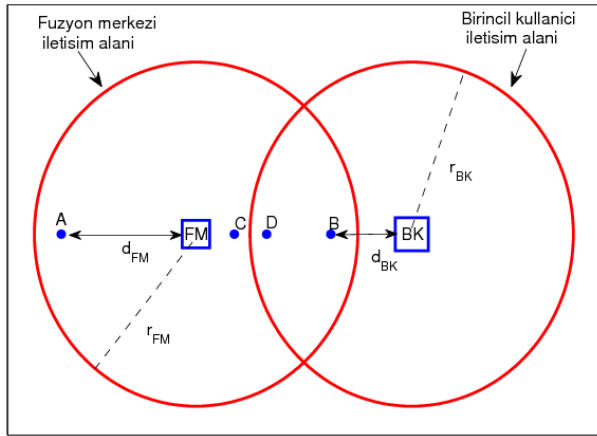
Tablo 1: $K=4, Q=3$ için kanal müsaitliği karar tablosu

Burada η değeri kanalın müsait olma yüzdesidir. η 'nın 1 olduğu durumda kolondaki değerlerin hepsi 1 olursa kanal meşgul olarak karar verilecektir. η 'nın 0.5 olduğu durumda ise Tablo 1'e göre bütün ikincil kullanıcılar için kanal meşgul kararı verilecektir.

Verilen bu kararlarda oluşan hata oranlarını belirlemek için (3) ve (4) denklemlerinde verilen klasik hata olasılıkları yeniden tanımlanmıştır [6]. BK'nın sürekli aktif olduğu durumda tanımlanan yeni hata olasılıkları şu şekildedir.

P_{md} (algılamama olasılığı): FM iletişim alanı ile BK iletişim alanının kesişiminde yer alan ikincil kullanıcılar için kanal müsait olarak karar verilmesi.

P_f (yanlış algılama olasılığı): Sadece FM iletişim alanı içinde yer alan ikincil kullanıcılar için kanal meşgul olarak karar verilmesi.



Şekil 1: Birincil ve ikincil kullanıcıların yerleşim planı

3.2. İkincil Kullanıcı Konum Etkisi

[6]'daki çalışmada ikincil kullanıcı konum ve sayıları hakkında yeterince bilgi verilmemiştir. Buna göre sistem performansını etkin bir şekilde incelemek olanaklı değildir. Bu alt bölümde kullanıcı konumları ve dağılımları detaylandırılmıştır.

Şekil 1'de BK birincil kullanıcıyı, FM füzyon merkezini, A,B,C,D ikincil kullanıcı konumlarını göstermektedir. A ve C

konumundaki kullanıcılar BK'ya girişim yaratmayacak olup kanalı rahatça kullanabilmelidir. B ve D konumundaki kullanıcılar ise BK'ya girişim yaratmamak için sessiz kalmalıdır. Bu konumlar sınırlarda seçilmiş olup en iyi ve en kötü performans değerlendirmeleri için karşılaştırma ölçütü olacaktır. Buna göre kullanıcıların belirlenen noktalarda ve birbirlerine çok yakın oldukları varsayılmıştır. Bu çalışmada, belirtilen konum ve değişik dağılımdaki kullanıcıların hata oranları hesaplanmış ve işbirlikli yöntem ile karşılaştırılmıştır. Buna göre en iyi performans P_f ve P_{md} değerlerinin en küçük olduğu durumdur.

Diğer önemli bir konu klasik işbirlikli algılama performansının doğru belirlenmesidir. [6]'daki çalışmada sunulan sonuçlar aşağıdaki açıklamaya uymamaktadır. A ve/veya C'deki ikincil kullanıcı sayısı x , B ve/veya D'deki ikincil kullanıcı sayısı y olsun. Bu durumda toplam kullanıcı sayısı $x + y = K$ olacaktır. Klasik işbirlikli algılamaya göre tek bir karar verilecek ve bundan ötürü yeni tanımlanan P_f ve P_{md} ölçütlerine göre tüm x kullanıcıları için doğru karar verilirken, tüm y kullanıcıları için yanlış karar verilecektir (veya tersi olacaktır).

Ortalama performanslar dikkate alındığında $P_f = \alpha$ ise P_{md} 'nin $1 - \alpha$ olduğu görülecektir. Eşik değeri değiştirilerek ve bilgisayar benzetimleri yapılarak P_f ve P_{md} 'nin klasik işbirlikli algılama için $P_f + P_{md} = 1$ olduğu Şekil 2,3 ve 4'te gösterilmiştir. [6]'daki sonuçlar bunu sağlamamaktadır. Klasik işbirlikli algılama performansı önerilen yöntemle karşılaştırma ölçütü olacağı için doğru olması önemlidir.

Bir sonraki bölümde klasik işbirlikli yöntem ve önerilen işbirlikli yöntemin kullanıcı konum etkileri sunulmuştur.

4. PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ

Performans değerlendirmesi yapılırken daha önceki çalışmalarda yapılmamış olan ikincil kullanıcıların dağılım, konum ve aynı zamanda η, Q değerlerinin P_{md} ve P_f üzerinde etkisi incelenmiş ve klasik işbirlikli yöntem sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bölüm 3.2'de belirtildiği gibi işbirlikli yöntem hata oranları, konum, dağılım, Q, η değerinden bağımsız olup $P_{md} + P_f = 1$ olmaktadır. Yapılan analizlerde $K = 10$ olarak sabit tutulmuş, K değerinin değiştirilmesi dolay gösterilmemiştir. FM ve BK'nın iletişim yarıçapları sırasıyla $d_{FM} = 6m, d_{BK} = 6m$, birbirlerine olan uzaklıkları ise $8m$ olarak belirlenmiştir. A,B,C,D konumları Şekil 1'de gösterilen konumlarda (çember sınırına yarıçapa göre yaklaşık %10 oran mesafesinde) varsayılmıştır. İkincil kullanıcıların yalnızca A ve B konumlarında veya C ve D konumlarında $x|y$ dağılımları ile buldukları varsayılmıştır.

$Q = 5$ değeri ve $x|y = 5|5$ dağılımları sabit olduğu durumda, A, B ve C, D konumlarında bulunan ikincil kullanıcıların η değişkenine göre performans değerlendirmesi Şekil 2'de gösterilmiştir. Birbirine yakın konumlandırılan ikincil kullanıcıların (C,D) P_{md} ve P_f değerleri klasik işbirlikli yöntem hata oranlarından büyük iken birinden uzak konumlandırılmış ikincil kullanıcıların (A,B) P_{md} ve P_f değerleri işbirlikli yöntemin hata oranlarından küçüktür. A,B konumlarında bulunan ikincil kullanıcılar $\eta = 1$ olduğunda BK'dan gelen sinyalin gücüne bağlı olarak belirli eşik değeri aralıklarında işbirlikli yöntemin aksine $P_{md} = P_f = 0$ olmaktadır. Bunun için bundan sonra yapılan analizlerde $\eta = 1$ olarak alınmıştır.

$\eta = 1$ ve A, B ve C, D konumlarında bulunan ikincil kullanıcıların dağılımları birbirine eşit $x|y = 5|5$ seçildiğinde Q değerinin değişmesiyle oluşan performans değerlendirmesi Şekil 3’de gösterilmiştir. Q değeri azaldıkça birbirine yakın konumlandırılan ikincil kullanıcıların P_{md} ve P_f değerleri artarken, uzak konumlandırılmış ikincil kullanıcıların P_{md} ve P_f değerleri azalmaktadır. Q değeri ne olursa olsun, birbirine yakın olan ikincil kullanıcıların P_{md} ve P_f değerleri, işbirlikli yöntem kullanılarak oluşan hata oranlarından düşük olmamaktadır. Birbirinden uzak olan ikincil kullanıcıların hata oranları ise işbirlikli yöntem sonucu oluşan hata oranlarından her zaman düşüktür.

$Q = 5$, $\eta = 1$ olduğu durumda ikincil kullanıcıların dağılımları $(x|y)$ değıştikçe oluşan performans değerlendirmesi Şekil 4’de gösterilmiştir. İkincil kullanıcılar birbirine yakın olduğunda sadece ikincil kullanıcı alanı içinde yer alan kullanıcı sayısı arttıkça P_{md} ve P_f değerleri işbirlikli yöntem hata oranlarına yaklaşmakta ama bu hata oranlarından düşük olmamaktadır. İkincil kullanıcılar birbirinden uzak olduğunda sadece ikincil kullanıcı alanında yer alan kullanıcıların sayısı arttıkça P_{md} ve P_f değerleri işbirlikli yöntem hata oranlarına göre azalmakta, $x \geq Q$ olduğu durumda ise $P_{md} = P_f = 0$ olmaktadır.

Bu çalışmada dikkate alınan konumların (A,B ve C,D konumları) performansa etkisi karşılaştırma ölçütü olmaları açısından önemlidir. Diğer kullanıcı konum ve dağılımları için sistem tasarımı yapılırken bu sonuçlar dikkate alınmalıdır.

5. SONUÇLAR

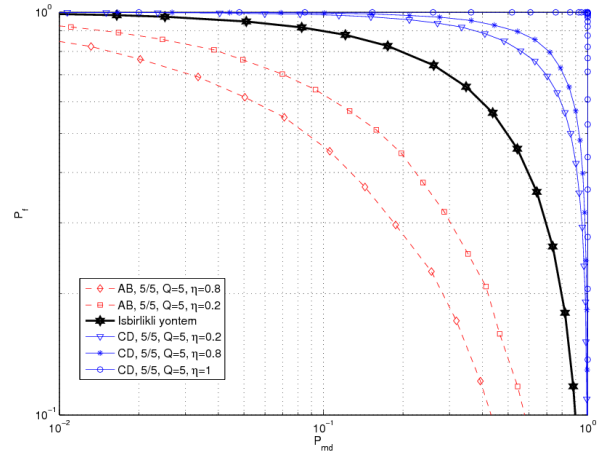
Bu bildiriye birden fazla ikincil kullanıcı için [6]’da önerilen yöntem geliştirilerek, ikincil kullanıcılardan gelen bilgilerin çeşitli kombinasyonlarının, kullanıcı konum ve dağılımlarının algılama performansını nasıl etkilediği çalışılmış ve klasik işbirlikçi yöntem performansıyla karşılaştırılmıştır. Gerçekleştirilen bilgisayar benzetim çalışmalarıyla algılayamama ve yanlış algılama olasılıkları görselleştirilmiştir. Bu çalışmada ikincil kullanıcıların birbirlerine en yakın ve en uzak olduğu konumlar seçilmiş olup sonuçlar karşılaştırma ölçütü olarak görülebilir. Performansı etkileyen η , Q ve dağılımın incelendiği çalışmanın sonraki aşamalarında değişik olası konum ve dağılımların gerçekleştirilmesi ve bu bildiriye karşılaştırma ölçütü sonuçlarıyla karşılaştırılması planlanmaktadır.

6. KAYNAKÇA

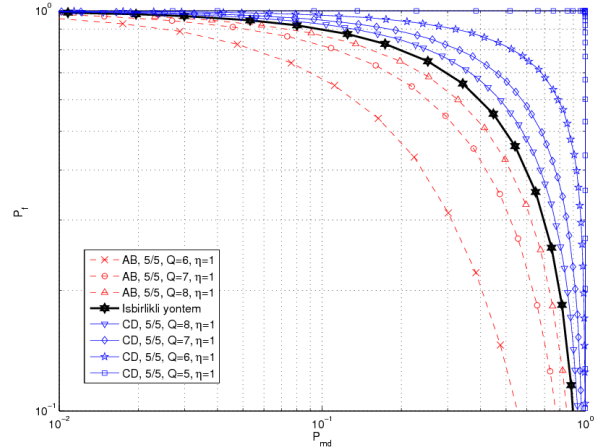
- [1] J. Mitola and G. Q. Maguire, "Cognitive radio: making software radios more personal," *IEEE Personal Commun.*, vol. 6, pp. 13–18, Aug. 1999.
- [2] H. Urkowitz, "Energy detection of unknown deterministic signals," *IEEE Proc.*, vol. 55, pp. 523–531, Apr. 1967.
- [3] T. Yücek and H. Arslan, "A survey of spectrum sensing algorithms for cognitive radio applications," *IEEE Commun. Surveys & Tutorials*, vol. 11, pp. 116–130, 2009.
- [4] J. S. Park, J. M. Kim, and J. H. Hwang, "The spectrum sensing algorithm using the soft decision algorithm in cognitive UWB system," *IEEE Proc. APCC'2009*, pp. 95–98.
- [5] J. Ma and Y. Li, "Soft combination and detection for

cooperative spectrum sensing in cognitive radio networks," *IEEE Proc. Globecom'2007*, pp. 3139–3143.

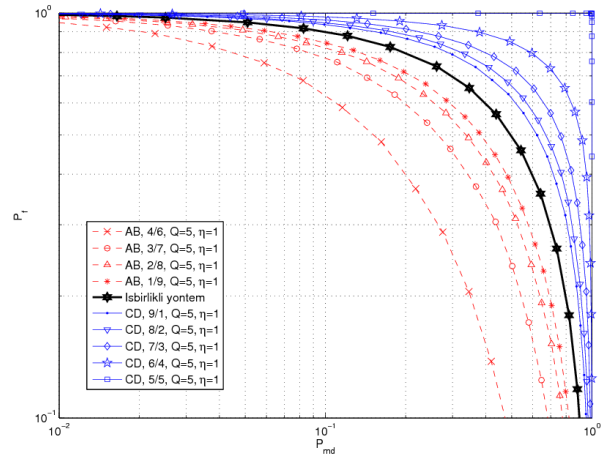
- [6] M. Fujii, Y. Watanabe, and T. Hozumi, "A study on cooperative interference detection for UWB systems," *IEEE Proc. ICUBW '2011*, pp. 49–53.



Şekil 2: $K=10$, $Q=5$, $5|5$ dağılım olduğunda η değerinin etkisi



Şekil 3: $K=10$, $5|5$ dağılım, $\eta=1$ olduğunda Q değerinin etkisi



Şekil 4: $K=10$, $Q=5$, $\eta=1$ olduğunda dağılımın etkisi