



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

*Araştırma Makalesi*

## Bilişsel Radyo Kullanıcıları için Bulanık Mantık Yardımıyla Kanal Kullanım Olasılığı Hesabında Farklı Bir Yaklaşım

Muhammed Enes BAYRAKDAR\*, Sümeyye BAYRAKDAR, İbrahim YÜCEDAĞ, Ali ÇALHAN

*Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE*

*\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: muhammedbayrakdar@duzce.edu.tr*

### ÖZET

Bu çalışmada, Bilişsel Radyo (BR) kullanıcıları için bulanık mantık yardımıyla kanal seçim yöntemi tasarımı ve benzetimi yapılmıştır. BR ağlar, lisanslı kullanıcılara herhangi bir girişimde bulunulmadan, frekans spektrumunun kullanılmayan kısımlarının lisanssız kullanıcılar tarafından kullanılmasını amaçlayan ve dinamik olarak özelliklerini değiştirebilen yeni bir kablosuz ağ teknolojisidir. Birincil kullanıcılar (BK) kanala doğrudan erişim hakkına sahiptir ve istedikleri zaman kanala erişebilirler. BR kullanıcıları ise lisanslı olmayan kullanıcılardır ve kanala sadece birincil kullanıcılar tarafından kullanılmadığında erişebilirler. Geliştirilen ağ modelinde, birincil kullanıcılar ortam erişim kontrol protokolü olarak Zaman Bölmeli Çoklu Erişim (Time Division Multiple Access - TDMA) tekniğini kullanarak kanala erişirler. BR kullanıcılar ise, Slotted Aloha rasgele erişim tekniğini kullanarak, kanal boşta iken kanala erişebilirler. Yapılan çalışmada Toplanır Beyaz Gauss Gürültüsü (Additive White Gaussian Noise - AWGN) kanal modeli kullanılmıştır. Benzetimi gerçekleştirilen modelde, gürültü ve diğer bozucu etkiler parametresi de hesaba katılarak daha gerçekçi sonuçlar elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** *Bilişsel radyo, Bulanık mantık, Spektrum sezme*

## A Different Approach to Channel Usage Probability Calculation with Fuzzy Logic for Cognitive Radio Users

### ABSTRACT

In this work, Fuzzy Logic (FL) based channel decision method for Cognitive Radio (CR) users is designed, and modeled. CR Network is a new wireless technology that aims to make use of unused parts of the spectrum by unlicensed users without causing any interference to primary users and can change its characteristics dynamically. Primary users access the channel at any time owing to their legal right to access to the channel. CR users are non-licensed users and can only access to the channel when it is not occupied by the primary users. In the developed network model, while primary users access the channel utilizing TDMA as a medium access control technique, CR users can access the channel by exploiting Slotted Aloha as a random access scheme when it is idle. In simulation model developed, AWGN channels are considered. The more realistic results are obtained by considering the parameter of noise and other effects in the simulated model.

**Keywords:** *Cognitive Radio, Fuzzy Logic, Spectrum sensing*

## I. GİRİŞ

**K**ABLOSUZ cihazların ve hizmetlerin son yıllarda artmasıyla beraber kablosuz haberleşme sistemlerinin ve kablosuz ağların kullanımı da artmaktadır [1]. Kablosuz kullanıcı sayısının yükselmesi ile birlikte spektrum paylaşım tekniklerinin statik yapısı ve tahsis edilen spektrumun belirli zaman ve konumlarda çok az kullanılmasından dolayı spektrum yetersizliği (spectrum scarcity) problemi ortaya çıkmıştır [1,2]. Bilişsel Radyo (BR), spektrumun daha dinamik ve etkili kullanılmasını sağlayarak, spektrum kullanma oranını artırmayı hedefleyen yeni bir kablosuz haberleşme teknolojisidir [2].

BR kullanıcıları (CR users) spektrumun kullanılmadığı zamanlarda (spektrum boşluğu - spectrum hole) lisanslı kullanıcılara girişim oluşturmadan spektrumdan geçici olarak yararlanmaktadırlar [3]. BR kullanıcılarına ikincil kullanıcılar da denmektedir. BR ağlarda, BR kullanıcılar birincil kullanıcılarla (BK) aynı haberleşme ortamında birlikte bulunurlar. BR kullanıcıları, spektrumun kullanılmayan kısımlarından verimli bir biçimde faydalanmak için çeşitli sinyal dinleme ve sezme algoritmaları kullanarak spektrum boşluklarını tespit ederler [4]. Bu sinyal sezme ve dinleme algoritmalarından, hiçbir ön bilgiye ihtiyaç duymadan birincil sinyal sezimine (primary signal sensing) dayanan enerji sezme (energy detection) yöntemi literatürde yaygın olarak kullanılmaktadır [5].

Kaniezhil ve Chandrasekar, bulanık mantık yardımıyla bilişsel radyo ağlarında yeni bir spektrum erişim yöntemi önermişlerdir [3]. Yaptıkları çalışmada, bulanık mantık uygulayarak spektrumun verimli bir şekilde kullanılmasını amaçlamışlardır. Giriş parametreleri olarak; spektrum kullanım verimliliği, hareketlilik derecesi ve birincil kullanıcıların ikincil kullanıcılara olan uzaklığını kullanmışlardır. Çalhan ve Çeken, bulanık mantık üye fonksiyonlarının genetik algoritmalar yardımıyla optimize edildiği yeni bir adaptif dikey el değiştirme algoritması geliştirmişlerdir [4]. Yaptıkları çalışmanın amacı, bulanık mantık üye fonksiyonlarının şeklini genetik algoritma sayesinde ayarlayarak optimum dikey el değiştirme performansını sağlamaktır. Hong-Sam ve Hung, spektrum erişimini kontrol etmek için bulanık mantık kullanan yeni bir yaklaşım önermişlerdir [5]. Giriş parametreleri olarak; ikincil kullanıcının spektrum kullanım verimliliği, hareketlilik derecesi ve birincil kullanıcılara olan uzaklığını kullanmışlardır. Mustafa, Yu, Andersson, Mohammed ve Kulesza, sönümlemeli kanallarda birincil kullanıcılar ve ikincil kullanıcılardan oluşan spektrum paylaşımlı bir ağ yapısı tasarlamışlardır [6]. Birincil ve ikincil kullanıcılar spektrumu paylaşımlı olarak farklı önceliklerle kullanmaktadırlar. BR bağlantısının güç ölçeğini hesaplamak için Mamdani tabanlı bulanık mantık güç kontrol stratejisi önermişlerdir. Giriş parametreleri olarak, sinyal gürültü oranı ve girişim kanal kazancını kullanmışlardır. He, Feng ve Zhang, bulanık mantık tabanlı bilişsel radyo ağ algoritması üzerinde çalışmışlardır [7]. Ayrıca, bulanık mantık tabanlı sorgulama kullanarak radyo parametreleri arasındaki ilişkiyi analiz etmektedirler. Son olarak, önerdikleri algoritmanın benzetimini gerçekleştirerek gerçeğe yakınlığını test etmişlerdir. Ejaz, Hasan, Aslam ve Kim, iki aşamalı spektrum sezme yaklaşımı önermişlerdir [8]. İlk aşamada, her bir BR kullanıcısı sezme işlemini mevcut spektrum sezme teknikleriyle gerçekleştirmektedir. İkinci aşamada ise, ilk aşamadaki her bir sonuç bulanık mantık yardımıyla işlenerek birincil kullanıcıların varlığına veya yokluğuna karar verilmektedir. Dey, Biswas ve Panda, sönümlemeli kanalda birincil ve ikincil kullanıcıların bir arada bulunduğu spektrum paylaşımlı bir ağ yapısı önermişlerdir [9]. BR bağlantısı için güç ölçeği hesabında, bulanık mantık tabanlı bir güç kontrol sistemi kullanmışlardır. Tabakovic, Grgic ve Grgic, bulanık mantık iletim güç kontrolü için yeni bir strateji önermişlerdir [10]. Stratejilerine göre, ikincil kullanıcıların iletim hızı ve kalitesi garanti altına alınmaktadır. Ayrıca, birincil kullanıcılara olabilecek girişimleri de en aza indirmeye çalışmışlardır.

Çalışmamızda, BR kullanıcıları için bulanık mantık tabanlı yeni bir kanal seçim yöntemi önerilmiş ve benzetimi yapılmıştır. Giriş parametreleri; birincil kullanıcıların ortam kullanım verimliliği, baz istasyonunun ikincil kullanıcıya uzaklığı, ortamdaki gürültü ve diğer bozucu etkiler olarak belirlenmiştir. Önerilen çalışmanın benzetimi MATLAB FIS yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Benzetimi yapılan senaryoda; ikincil kullanıcı, birincil kullanıcılara tahsis edilen 10 kanal arasından kendisine en uygun olanı bulanık mantık yardımıyla bulmaktadır. Bu alanda yapılan çalışmalardan farklı olarak, ortamda bulunan gürültü ve işaret kalitesini azaltan diğer bozucu etkiler göz önüne alınmıştır. Gürültü ve diğer bozucu etkiler parametresi; girişim, termal gürültü ve intermodülasyon gürültüsünü kapsamaktadır. Belirlenen diğer bozucu etkiler parametresi de göz önüne alındığı için mevcut sistemlere göre daha gerçekçi sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, ikincil kullanıcının en uygun kanalı seçtiği görülmüştür.

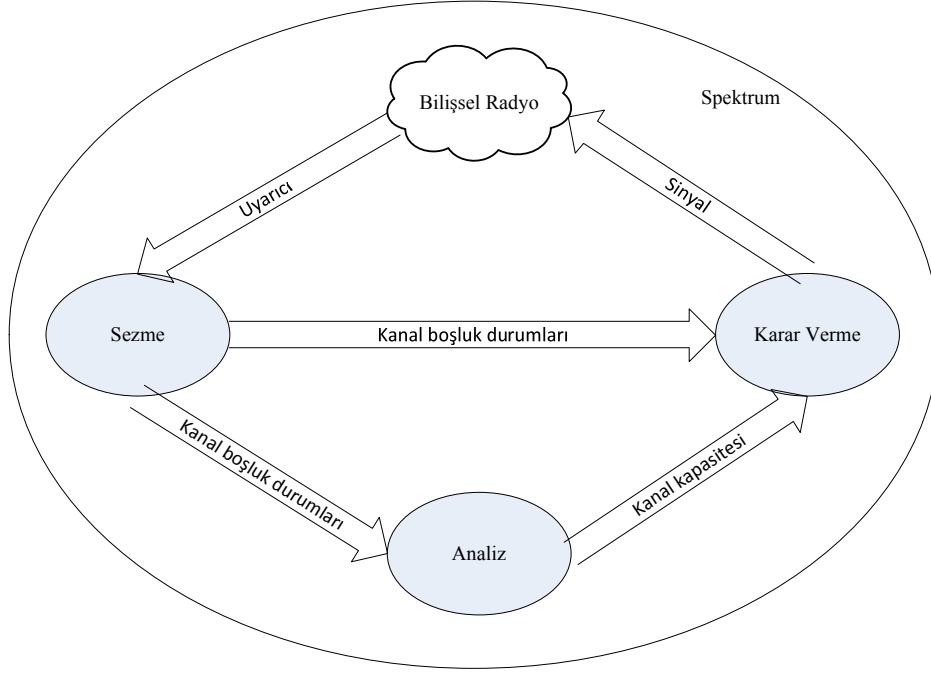
Bölüm 2’de, tasarlanan bilişsel radyo modeli ve bulanık mantık yapısı açıklanmıştır. Benzetim senaryosu Bölüm 3’te ayrıntılarıyla verilmiştir. Sonuçlar bölümünde, bulanık mantık sisteminden elde edilen grafiksel sonuçlar yorumlanmıştır.

## II. BİLİŞSEL RADYO KULLANICILARI İÇİN BULANIK MANTIK YARDIMIYLA KANAL KULLANIMI

BR ağlarda, haberleşme kanalının verimli bir şekilde kullanılabilmesi için birincil kullanıcıların boşluklarının tespit edilmesi çok önemlidir. Söz konusu boşlukların tespit edilebilmesi amacıyla önerilen birçok spektrum sezme yöntemi bulunmaktadır. BR kullanıcıların kullanabileceği kanalların tespiti genellikle enerji sezme yöntemiyle yapılmaktadır [3,4]. Bu yöntem sayesinde, BR kullanıcıların birincil kullanıcılara girişimde bulunmaları da engellenmektedir.

### *A. ÖNERİLEN BİLİŞSEL RADYO MODELİ*

BR, belirli aralıktaki bir frekans spektrumunu sezebilen ve buna bağlı olarak gönderici parametrelerini değiştirebilen radyo sistemidir. Mevcut spektrumun yetersiz olması ve spektrumdan etkin bir şekilde yararlanılamaması, BR sisteminin ortaya çıkmasına yol açmıştır. Mevcut frekans kanallarının verimli kullanılamamasıyla ortaya çıkan sorun, sürekli olarak spektrumdaki boş kanalların tespit edilerek kullanılması yöntemiyle aşmaya çalışılmaktadır. Bir spektrumun birincil kullanıcılara öncelik vermek şartıyla, kullanılmadığı durumlarda spektrumdaki diğer kullanıcıların da kendi aralarında bu kanalı paylaştığı sistem BR ağı olarak tanımlanmaktadır [2]. Diğer bir tanımla BR ağlar, lisanslı kullanıcılara herhangi bir girişimde bulunulmadan, spektrumun kullanılmayan bölümlerinin lisanssız kullanıcılar tarafından kullanılmasını amaçlayan ve dinamik olarak özelliklerini değiştirebilen yeni bir kablosuz ağ teknolojisi olarak ifade edilmektedir. BR ağların bilişsel özelliği temel olarak, bulunduğu ortam ile sürekli olarak etkileşim halinde olarak iletişim parametrelerine karar vermesidir [5].



**Şekil 1. Bilişsel Radyo Ortamı**

Şekil 1’de görülen bilişsel radyo ortamında, sezme, analiz ve karar verme olmak üzere üç aşama bulunmaktadır [1]. Bununla birlikte, bu aşamalara geçişleri sağlayan sinyal, uyarıcı ve kanal boşluk durumları da gösterilmektedir. BR ağlar sezme sırasında, spektrumdaki frekans bantlarını dinlerler ve bu şekilde ortamdaki boşlukları tespit ederler. Analiz sürecinde, sezme sırasında tespit edilen ortam boşluklarının özelliklerini değerlendirirler. Son olarak karar aşamasında ise, analiz sürecindeki bilgilere ve kullanıcı ihtiyaçlarına göre en uygun boş frekans bandına karar verirler.

Lisanslı kullanıcı olarak da bilinen birincil kullanıcı, frekans bandını herhangi bir girişim olmadan öncelikli olarak kullanım hakkına sahiptir. Birincil kullanıcılar aynı frekans bandını kullanan BR kullanıcıların varlıkları hakkında bilgi sahibi değildir. Bu nedenle, BR kullanıcıların kanaldaki boşlukları kullanırken birincil kullanıcılara hiçbir girişimde bulunmamaları gerekmektedir [4].

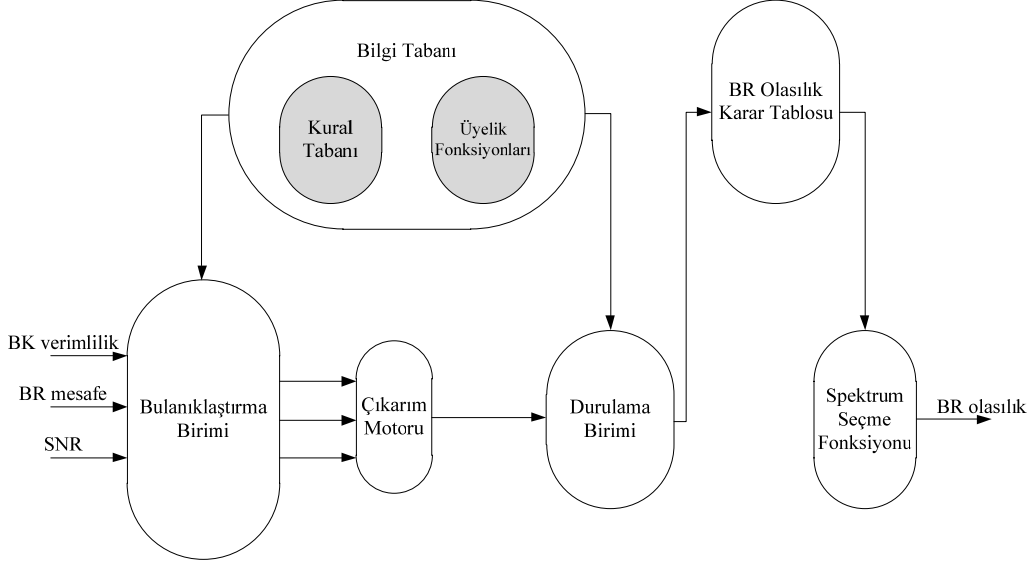
BR kullanıcı, bir frekans spektrumunu sadece boş olduğu zamanlarda kullanabilen kullanıcıdır. Bunu gerçekleştirmek için spektrum sürekli olarak sezilir ve sadece birincil kullanıcı olmadığı zamanlarda ikincil kullanıcılar spektrumdaki boşlukları kullanabilir [5]. BR kullanıcıları, birincil kullanıcıların varlığının doğru bir şekilde tespit edilebilmesi için birçok teknik ve algoritmalar kullanmaktadır. Ortamda bulunan lisanslı kullanıcıların herhangi bir girişime maruz kalmadan, sağlıklı bir iletişim gerçekleştirmeleri BR sisteminin en temel görevleri arasında yer almaktadır [1].

### **B. BULANIK MANTIK VE TASARLANAN MODELDEKİ UYGULAMASI**

Bulanık mantık, günümüz teknolojilerindeki gelişmiş uygulamalarda sıklıkla kullanılan bir yapay zeka yöntemidir. Bulanık mantık ve bulanık mantık tabanlı uygulamalar; yapay zeka, mühendislik, tıp, çevre, ekonomi, psikoloji gibi matematiksel modelin elde edilmesi zor olan alanlarda oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [3]. Bulanık mantık, insanın karar verme becerisine benzer bir biçimde belirli ya da yaklaşık bilgilerden kesin çözümler üretmektedir.

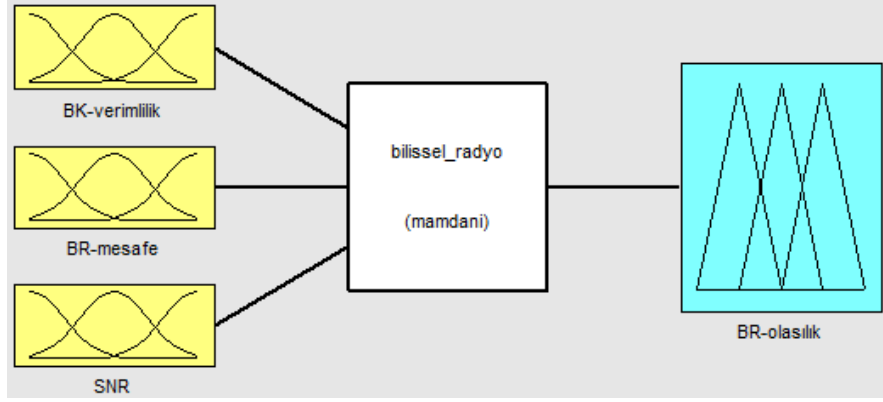
Bulanık mantık, sistemleri ifade etmek için dilsel terimleri ve modelleri kullanarak kesin olmayan yaklaşık değerlere ulaşmaktadır. Bilgiler dilsel terimlerle ifade edildikten sonra, bulanık mantık işlem süreci dilsel terimler arasında tanımlanan kurallar ile yapılmaktadır [4].

Bulanık mantık tabanlı bir sistemde, bir uzman tarafından elde edilen “eğer-ise” dilsel terimleri sayesinde bir kural tabanı oluşturulur. Daha sonra, sistemin girişine gelen gerçek değerler bulanık kümelerle çevrilir. Bulanık mantık çıkarım sisteminde kural tabanı ve bulanık kümeler kullanılarak bir sonuç üretilir. Son olarak, elde edilen bulanık mantık sonuç değerleri gerçek değerlere dönüştürülür [5].



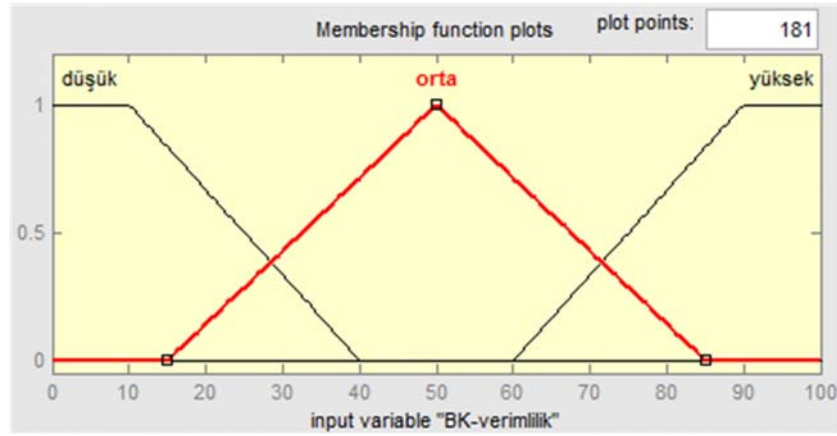
**Şekil 2.** Bulanık Mantık Bilişsel Radyo Olasılık Algoritması Blok Diyagramı

Şekil 2’de, gerçekleştirilen BR olasılık algoritmasının blok diyagramı gösterilmektedir. Bir bulanık mantık sisteminde; bulanıklaştırma, çıkarım motoru ve durulama birimleri bulunmaktadır. Bulanıklaştırma birimi, gelen kesin değerleri mevcut üyelik fonksiyonları ile dilsel değişkenlere dönüştürmektedir. Bu değişkenler daha sonra bulanık çıkarım motorunda kullanılmaktadır. Durulama birimi ise, bulanık mantık çıkarım motorunun çıkışını sayısal değerlere dönüştürmektedir. Yapılan çalışmada, 3 giriş değişkeni ve bu giriş değişkenlerine ait 3 seviye bulunmaktadır. Toplam olarak, 27 kural ile dilsel terimler kümesi elde edilmiştir.



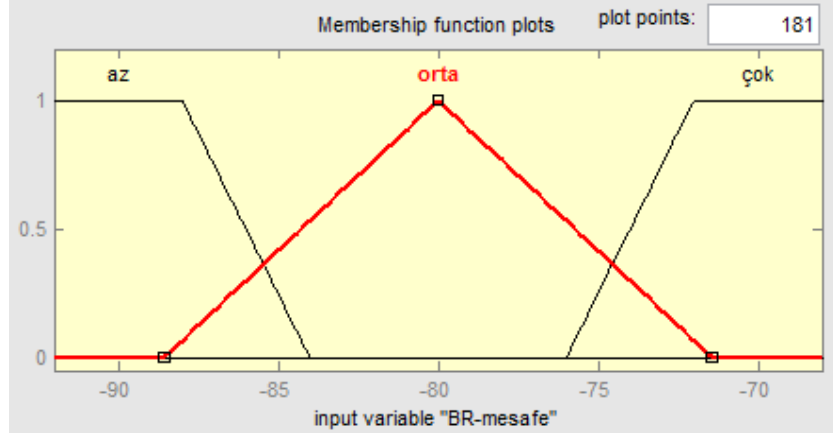
**Şekil 3.** Bulanık Mantık Sisteminin Girişleri ve Çıkaş

Şekil 3’te, tasarlanan bulanık mantık modelindeki üç giriş parametresine bağılı olarak, sistem çıkışında ikincil kullanıcıların ortam kullanım olasılığının belirlendiğı sistem görölmektedir.



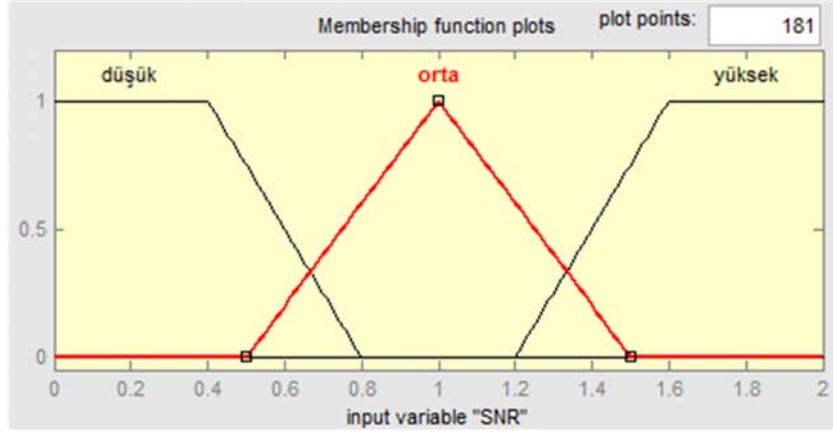
**Şekil 4.** Birincil Kullanıcıların Verimlilik Parametresinin Üyelik Fonksiyonları

*Birincil Kullanıcıların Ortam Kullanım Verimliliğı:* Şekil 4’te birincil kullanıcıların verimlilik parametresinin üyelik fonksiyonları görölmektedir. İkincil kullanıcıların ortamı kullanma olasılığı, lisanslı birincil kullanıcıların ortamı ne kadar etkin kullandığı ile büyük ölçüde ilişkilidir. Birincil kullanıcılar ortamı ne kadar az kullanıyor ise ikincil kullanıcıların ortamı kullanma olasılığı o kadar fazla olacaktır. Bu giriş parametresi için; düşük, orta ve yüksek olmak üzere üç farklı seviye belirlenmiştir.



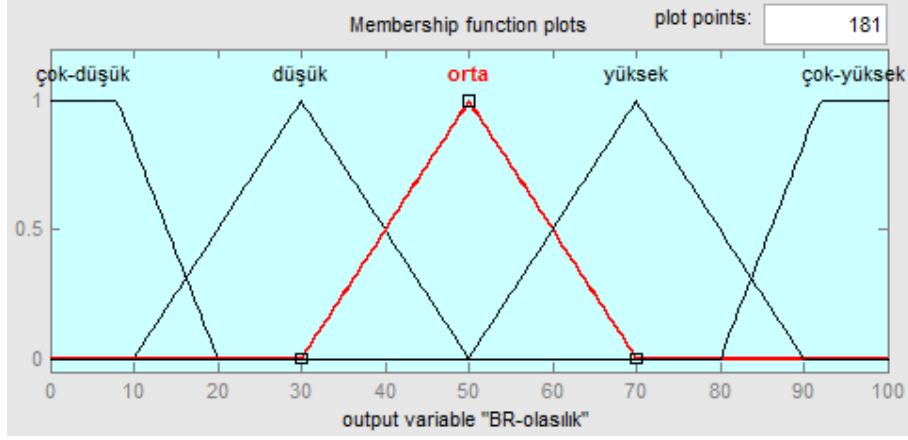
**Şekil 5.** Bilişsel Radyo Mesafe Parametresinin Üyelik Fonksiyonları

**Baz İstasyonunun İkincil Kullanıcılara Uzaklığı:** Şekil 5'te görülen giriş parametresi için; az, orta ve çok olmak üzere 3 farklı seviye belirlenmiştir. İkincil kullanıcılar tarafından gönderilen sinyalin RSSI (alınan sinyal gücü göstergesi – received signal strength indicator) değeri baz istasyonu tarafından dBm cinsinden ölçülür. Bu değer ikincil kullanıcıların baz istasyonuna olan mesafesini belirlemede kullanılır. Ölçülen RSSI değeri negatif olarak ifade edilmektedir. RSSI değerinin yüksek olması ilgili ikincil kullanıcının baz istasyonuna yakın olduğunu göstermektedir. Baz istasyonuna olan yakınlık ise ikincil kullanıcıların ortam kullanım olasılığının yüksek olacağı anlamına gelmektedir.



**Şekil 6.** SNR Parametresinin Üyelik Fonksiyonları

**Ortamdaki Gürültü ve Diğer Bozucu Etkiler:** Şekil 6'da görülen giriş parametresi için; düşük, orta ve yüksek olmak üzere 3 farklı giriş seviyesi belirlenmiştir. Bu çalışmada göz önünde bulundurulmuş gürültü ve diğer bozucu etkiler; girişim (interference), termal gürültü ve intermodülasyon gürültüsü olarak belirlenmiştir. Girişim, istenmeyen sinyallerin sistemimize girerek bozucu etki meydana getirmesidir. Termal gürültü, elektronların ısınmasıyla oluşan elektronik gürültüdür. İki frekansın birbirine karışması ise intermodülasyon gürültüsünü meydana getirir. Ortamdaki gürültü ve diğer bozucu etkiler SNR (sinyal gürültü oranı – signal to noise ratio) değeri ile belirlenmektedir. BR kullanıcıları için SNR değerinin yüksek olması ortamı kullanma olasılığını artırmaktadır.



*Şekil 7. Bilişsel Radyo Kullanıcısı Olasılık Parametresinin Üyelik Fonksiyonları*

Sistemimizde, üç giriş parametresi kullanılarak ikincil kullanıcıların ortam kullanım olasılığı belirlenmektedir. Şekil 7’de, daha doğru sonuçlar elde etmek amacıyla sistem çıkışı olarak; çok-düşük, düşük, orta, yüksek ve çok-yüksek olmak üzere 5 farklı seviye belirlendiği görülmektedir.

*Tablo 1. Kural Tablosundan Örnekler*

Eğer (BK-verimlilik yüksekse) ve (BR-mesafe azsa) ve (SNR düşükse) o zaman (BR-olasılık çok-düşük)
Eğer (BK-verimlilik yüksekse) ve (BR-mesafe çoksa) ve (SNR yüksekse) o zaman (BR-olasılık orta)
Eğer (BK-verimlilik ortaysa) ve (BR-mesafe çoksa) ve (SNR yüksekse) o zaman (BR-olasılık yüksek)
Eğer (BK-verimlilik düşükse) ve (BR-mesafe azsa) ve (SNR yüksekse) o zaman (BR-olasılık orta)
Eğer (BK-verimlilik düşükse) ve (BR-mesafe çoksa) ve (SNR orta) o zaman (BR-olasılık çok-yüksek)

Tablo 1’de, geliştirilen kural tablosuna ait birkaç örnek yer almaktadır. Sistemde üç giriş parametresi olduğundan toplam 27 kural bulunmaktadır. Yukarıdaki tabloda, sadece her çıkış parametresini elde eden birkaç örnek verilmiştir.

Bulanık çıkarım sisteminin analitik modeli, BR olasılığı için üç boyutlu örnek vektör aşağıdaki gibi yazılabilir [3]:

$$PV_c = [BK_c ; BR_c ; SNR_c] \quad (1)$$

Bu denklemde; BK birincil kullanıcıların verimliliğini, BR bilişsel radyo kullanıcıların baz istasyonuna olan uzaklığını ve SNR da sinyal gürültü oranını temsil etmektedir. BR olasılığı için 3 boyutlu bulanıklaştırma biriminin girişini ve çıkarım motorunu göz önüne aldığımızda üç boyutlu bulanık mantık örnek vektörü aşağıdaki gibi olur [5]:

$$PV_f = [PF_1 ; PF_2 ; PF_3] \quad (2)$$

Sonuç çıkarım kuralı bulanık çıkarım motorunda kullanıldıktan sonra, yeni bir örnek vektör için bulanık kural tabanında her bir kuralın katkısı aşağıdaki gibi yazılır [4]:



$$C_r = \prod_{i=1}^3 \mu_{F_i}(P_i) \quad (3)$$

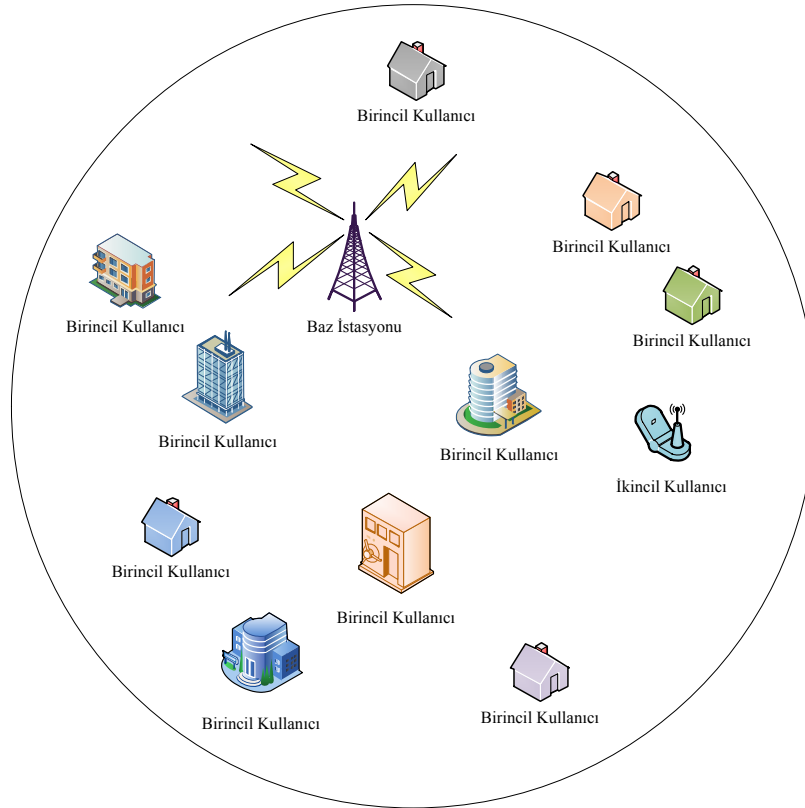
Bu denklemde,  $\mu_{F_i}(P_i)$  ifadesi  $P_i$  değerinin  $F_i$  bulanık mantık kümesine olan üyelik derecesini göstermektedir. 27 kural ve bir merkez ortalama durulandırma birimi olduğundan dolayı durulandırma biriminin çıkışı aşağıdaki gibi olur [4]:

$$M_a = \frac{\sum_{k=1}^{27} y^k \left( \prod_{i=1}^3 \mu_{F_i}(P_i) \right)}{\sum_{k=1}^{27} \left( \prod_{i=1}^3 \mu_{F_i}(P_i) \right)} \quad (4)$$

Bu denklemde,  $y^k$   $k$  kuralının çıkışını ve  $M_a$  simgesi de üyelik derecesini ifade etmektedir.

### III. BENZETİM SENARYOSU

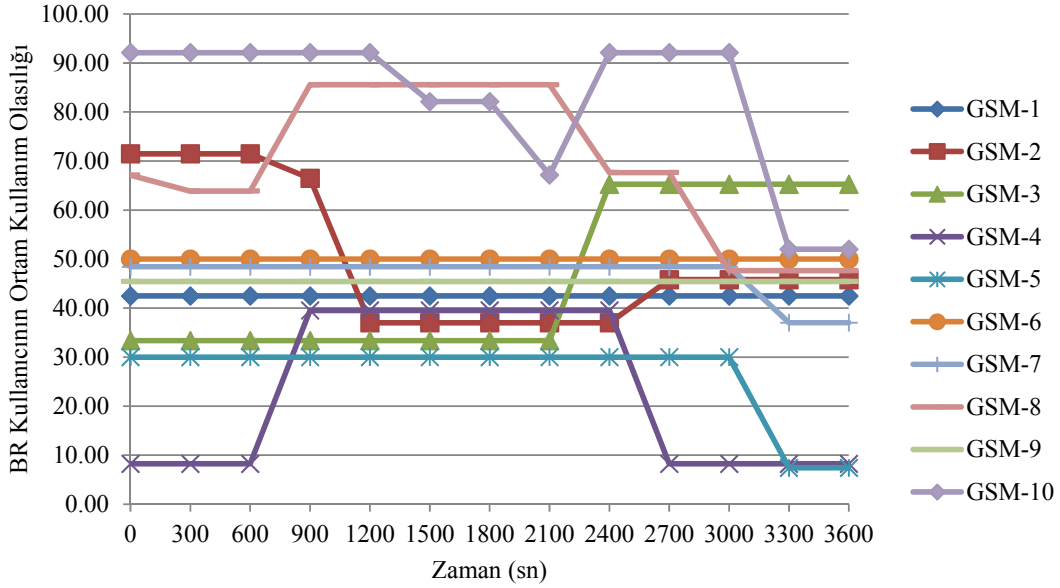
Bu çalışmada, birincil ve ikincil kullanıcılar için BR yıldız ağ topolojisi kullanılmıştır. Benzetimi gerçekleştirilen senaryoda, kullanıcılar bir baz istasyonu üzerinden haberleşmektedirler. Birincil kullanıcılar TDMA (zaman bölmeli çoklu erişim - time division multiple access) erişim tekniği kullandıkları için, her birine bir zaman dilimi tahsisi yapılmıştır [6,7]. Senaryoda kullanılan ikincil kullanıcı ise, Slotted ALOHA ortam erişim tekniğini kullanmaktadır [7,8]. Bu prensibe bağlı olarak, birincil kullanıcılar tarafından kullanılmayan boş kanalların tespiti yapılmakta; ardından, bulanık mantık karar mekanizması ile kullanılacak en uygun kanal seçilmektedir.



*Şekil 8. Benzetim Senaryosunda Ağ Yapısı*

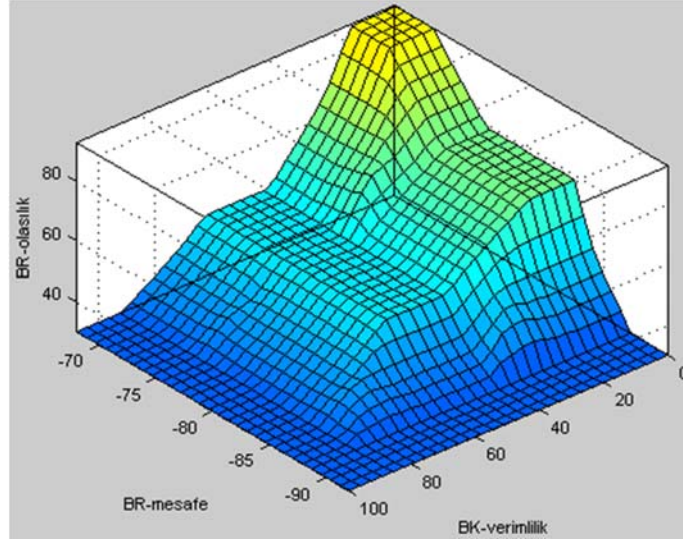
Önerilen senaryoda kullanılan ağ topolojisi Şekil 8’de görülmektedir. Şekilden de görüldüğü üzere ortamdaki birçok birincil kullanıcı ve ikincil kullanıcı aynı kablosuz ortamda tek bir baz istasyonu üzerinden haberleşmektedirler. Birincil kullanıcılar; şekilde görülen ev, apartman, işyeri, vb. mekanlarda bulunan kullanıcılar olarak düşünülmüştür.

Kanal erişimi açısından, birincil kullanıcıların ikincil kullanıcılara göre üstünlükleri bulunmaktadır [8]. Bu yüzden, ikincil kullanıcı haberleşme kanallarına sadece birincil kullanıcılar ortamda olmadığında erişebilir [9,10]. Bu çalışmada, haberleşmenin GSM (küresel mobil haberleşme sistemi – global system for mobile communications) bandında yapıldığı ve AWGN (additive white gaussian noise – toplanır beyaz gauss gürültüsü) kanal modeli kullanıldığı varsayılmıştır [11].



Şekil 9. İkincil Kullanıcının Ortam Kullanım Olasılığı

Şekil 9’da sunulan grafikte, birincil kullanıcıların ortam kullanım yoğunluğuna göre ikincil kullanıcının hangi frekans bandında haberleşme yapacağını olasılık sonuçları görülmektedir. 3600 sn süren benzetim sonucunda, GSM-10 kullanıcısı kanalını en az kullandığı için, ikincil kullanıcı 0 sn – 1200 sn arasında ve 2400 sn – 3100 sn arasında onun frekans bandını kullanmıştır. Bununla birlikte; 1400 sn – 2100 sn aralığında GSM-8 kullanıcısının bandı kullanılmıştır. Son olarak, 3200 sn – 3600 sn aralığında ise GSM-3 kullanıcısının bandı kullanılmıştır. Diğer birincil kullanıcılar, kanallarını yoğun olarak kullandıkları için, ilgili kanallar ikincil kullanıcı tarafından kullanılamamıştır. Bunun yanında, kanal seçiminde etkili olan SNR değeri ve ikincil kullanıcının baz istasyonuna uzaklığı farklı değerler için test edilmiştir.



*Şekil 10. Bulanık Kural Yüzeyi Gösterimi*

Şekil 10’da bilişsel radyo kullanıcısının kanal kullanım olasılığına yönelik tasarlanan bulanık çıkarım sisteminin kural yüzeyi grafiksel olarak ifade edilmektedir. Şekilde, çeşitli ölçütlere göre belirlenen kurallara ait giriş ve çıkış parametreleri arasındaki değişim 3 boyutlu olarak gösterilmektedir.

#### IV. SONUÇ

Bu çalışmada, bilişsel radyo kullanıcıları için bulanık mantık tabanlı yeni bir kanal seçim yöntemi önerilmiş ve benzetimi gerçekleştirilmiştir. Giriş parametreleri olarak; birincil kullanıcıların ortam kullanım verimliliği, baz istasyonunun ikincil kullanıcıya uzaklığı ve ortamdaki gürültü ve diğer bozucu etkiler hesaba katılmıştır. Tasarlanan ağda on birincil kullanıcı, bir ikincil kullanıcı ve bir de erişim noktası bulunmaktadır. Birincil kullanıcılar TDMA erişim tekniğini kullanırken ikincil kullanıcı Slotted ALOHA ortam erişim tekniğini kullanmaktadır. Yapay zeka yöntemlerinden Bulanık Mantık yapısının kullanıldığı bu makalede, Bulanık Mantık yardımıyla ikincil kullanıcının hangi birincil kullanıcının kanalını kullanacağını olasılığı elde edilmiştir. Sistemin giriş parametreleri göz önüne alındığında, çıkış parametresinin olası gerçeğe yakın sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Bu alanda yapılan benzer çalışmalar incelendiğinde, SNR ve diğer bozucu etkiler giriş parametresinin göz ardı edildiği görülmüştür. Bu çalışmayı temel alarak yapılabilecek yeni çalışmalarda, ikincil kullanıcıların daha hareketli ve çok sayıda olduğu, aynı zamanda farklı kablosuz teknolojiler kullanan birincil kullanıcıların da bulunduğu senaryolar incelenebilir.

#### V. KAYNAKLAR

- [1] D. Ç. Arslan, *Bilişsel Radyo*, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli-Türkiye, (2009).
- [2] I. F. Akyildiz, W. Y. Lee, M. C. Vuran, S.C. Mohanty *Computer Networks* **50** (2006) 2127.
- [3] R. Kaniezhil, C. Chandrasekar, *An Efficient Spectrum Utilization via Cognitive Radio using Fuzzy Logic System for Heterogeneous Wireless Networks*, **IEEE International Conference on Emerging Trends in Science, Engineering and Technology**, Tamilnadu-Hindistan, (2012) 300.

- [4] A. Çalhan, C. Çeken *Wireless Personal Communications* **64** (2010) 647.
- [5] H. S. T. Le, H. D. Ly, *Opportunistic Spectrum Access using Fuzzy Logic for Cognitive Radio Networks*, **IEEE Second International Conference on Communications and Electronics**, Havai Adaları, (2008) 240.
- [6] W. Mustafa, J. S. Yu, E. R. Andersson, A. Mohammed, W. J. Kulesza, *Fuzzy based Opportunistic Power Control Strategy in Cognitive Radio Networks*, **IEEE Third International Symposium on Applied Sciences in Biomedical and Communication Technologies**, Roma, (2010) 1.
- [7] Q. He, Z. Feng, P. Zhang, *Reasoning Through Fuzzy Logical for Reconfiguration in Cognitive Radio Network*, **IEEE International Conference on Wireless Communications and Signal Processing**, Nanjing, (2011) 1.
- [8] W. Ejaz, N. U. Hasan, S. Aslam, H. S. Kim, *Fuzzy Logic based Spectrum Sensing for Cognitive Radio Networks*, **IEEE Fifth International Conference on Next Generation Mobile Applications, Services and Technologies**, Cardiff, (2011) 185.
- [9] A. Dey, S. Biswas, S. Panda, *A New Fuzzy Rule based Power Management Scheme for Spectrum Sharing in Cognitive Radio*, **IEEE International Conference on Communication and Industrial Application**, West Bengal, (2011) 1.
- [10] Z. Tabakovic, S. Grgic, M. Grgic, *Fuzzy Logic Power Control in Cognitive Radio*, **IEEE Sixteenth International Conference on Systems, Signals and Image Processing**, Chalkida, (2009) 1.
- [11] A. Karahan, *TDMA Tabanlı Kablosuz Algılayıcı Ağ Ortam Erişim Kontrol Protokolleri için Genel bir Analitik ve Benzetim Modeli*, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli-Türkiye, (2010).
- [12] S. Solak, *Kablosuz Algılayıcı Ağlarda kullanılan MAC Protokollerinin Karşılaştırmalı Başarım Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli-Türkiye, (2008).
- [13] C. Bayılmış, İ. Ertürk, C. Çeken *Gazi Üniversitesi Politeknik Dergisi* **7** (2004) 201.
- [14] C. Çiflikçi, A. T. Tuncer, A. T. Özşahin, S. M. Yesbek, *Bilişsel Radyo ve Ortam Erişim Kontrol Katmanı Protokolleri*, **5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu**, Karabük-Türkiye, (2009) 1.
- [15] A. Ghasemi, E. S. Sousa *Wireless Communications and Mobile Computing* **7** (2007) 1049.
- [16] A. Çalhan, C. Çeken, *Yeni Nesil Kablosuz Ağlarda Dikey El Değiştirme*, **III. Haberleşme Teknolojileri ve Uygulamaları Sempozyumu**, İstanbul-Türkiye, (2009) 179.