

GELECEK NESİL AĞLAR İÇİN SPEKTRUM TAHSİSİNDE YENİ BİR YAKLAŞIM: BİLİŞSEL RADYO

(A NEW APPROACH IN SPECTRUM ALLOCATION FOR NEXT GENERATION NETWORKS: COGNITIVE RADIO)

Eyüp TUNA ve Medet KARAGÖZ

Kırıkkale Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, 71451, Yahşihan, Kırıkkale, Türkiye
Kırıkkale Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, 71451, Yahşihan, Kırıkkale, Türkiye

Tel: +90 (318) 357 42 42, etuna@kku.edu.tr, medetkaragoz@kku.edu.tr

Özet — Günümüz kablosuz iletişimde her bir teknolojiye belirli otoriteler tarafından lisans verme yöntemiyle sabit bir spektrum atama politikası uygulanmaktadır. Farklı teknolojilerin gelişmesi, artan kullanıcı talepleri, mevcut sınırlı spektrumun verimsiz olarak kullanımı yeni bir iletişim teknolojisi kavramının ortaya çıkmasına ve bu teknolojinin hızla gelişmesine neden olmuştur. Yeni nesil ağlar olarak da adlandırılan bilişsel radyo teknolojisiyle spektrumun verimli ve dinamik kullanılması sonucu iletişimin kesintisiz ve daha hızlı olarak yapılması amaçlanmaktadır.

Bu çalışmada kablosuz iletişimin gelişmesinde bir dönüm noktası olmaya aday olması nedeniyle bilişsel radyo teknolojisi ele alınmıştır. Bilişsel radyo teknolojisinin temel bilgileri, özellikleri ve kullandığı teknikler açıklanmıştır. Özellikleri ve kullandığı teknikler açısından klasik radyo ve yazılım tanımlı radyo ile karşılaştırılmıştır. Bilişsel radyo konusunda yapılan çalışmalar ve karşılaşılan zorluklar incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler — Bilişsel Radyo, Yeni Nesil Ağlar, Dinamik Spektrum Erişimi, Spektrum Sezme Teknikleri

Abstract — In today's wireless communication, a fixed spectrum assignment policy is implemented for each technology by some authorities. Development of different technologies, increase in users's demands, inefficient usage of limited spectrum enable to emerge a new communication network paradigm and its rapid improvement. Cognitive radio networks which are also known as next generation networks aim to communicate continuously and rapidly as a result of using spectrum efficiently and dynamically.

In this paper, due to having a key role for developing wireless communication systems, the cognitive radio technology is investigated. Basic

principles and characteristics of cognitive radio networks and the techniques used by cognitive radio are explained. The specifications and the techniques are compared with classic radio and software defined radio. The proposed studies and challenges encountered are discussed.

Keywords — Cognitive Radio, Next Generation Networks, Dynamic Spectrum Access, Spectrum Sensing Techniques.

I. GİRİŞ

Radyo spektrumu kullanımı, her ülkede belirli otoriteler tarafından belli ücretler karşılığında lisans verme şeklinde sabit bir spektrum atama politikasıyla yapılmaktadır. Bu politika geçmişte iyi bir şekilde çalışsa da son yıllarda WiFi, Bluetooth, GPS gibi farklı yapıdaki teknolojilerin gelişmesiyle birlikte kullanıcı sayılarının ve taleplerinin artması, sabit ve sınırlı kullanılabilir olan spektrumda aşırı kalabalıklaşmaya neden olmuştur. Buna karşılık, ABD'nin Federal Haberleşme Komisyonunun (FCC) yaptığı araştırmalar, mevcut radyo spektrumunun önemli ölçüde aktif ve verimli olarak kullanılmadığını ortaya çıkarmıştır [1]. Bu sorunlara, Mitola ve Maguire tarafından dinamik spektrum erişimi (DSE) olarak da adlandırılan bilişsel radyo (BR) teknolojisi bir çözüm olarak önerilmiştir [2].

BR teknolojisiyle mevcut spektrumun statik olarak dağıtılması yerine lisanslı kullanıcıların spektrumu kullanmadığı anlarda, lisanssız kullanıcıların lisanslı frekans bantlara erişerek spektrumu dinamik olarak kullanabilmesi amaçlanmaktadır. Spektrum erişiminin yazılımsal ve otomatik olarak sağlanmasıyla da acil durum, doğal afet gibi durumlarda iletişimin her an, hızlı ve kesintisiz olarak yapılabilmesi hedeflenmektedir. BR ve yazılım tanımlı radyo (YTR) kavramlarının önem kazanmasındaki bir diğer etken de GPS, WiFi, WiMax, Tv yayıncılığı gibi farklı teknolojilerle çalışan cihazlar arasında birlikte çalışabilirliğe

imkan sağlayacak nitelikte olacak olmalarıdır. Bu temel özellikleriyle BR teknolojisi kullanıcılara daha hızlı ve güvenli bir iletişim hizmeti sağlayacaktır.

Bu çalışma şu şekilde düzenlenmiştir: 2. bölümde BR ağlarının genel yapısından, temel kavramlardan ve bu ağlarda kullanılan tekniklerden bahsedilecek, 3.bölümde günümüze kadar ki mevcut çalışmalara değinilecektir. 4. bölümde bilişsel radyonun diğer teknolojilere göre avantajlarıyla uygulanmasında karşılaşılan zorluklar açıklanacak ve son olarak 5. bölümde ise sonuç ve beklentilere yer verilecektir.

II. BİLİŞSEL RADYO

A. Genel Bilgiler ve Tanımlar

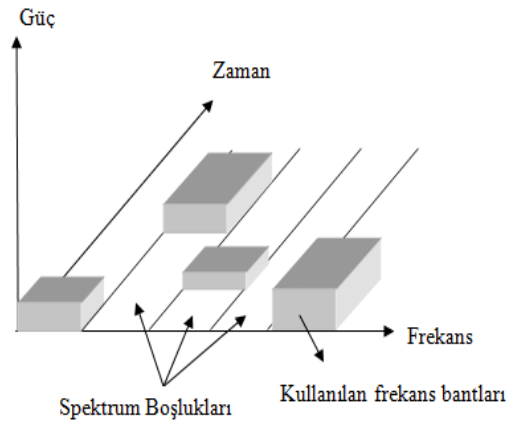
BR teknolojisi, kablosuz iletişimde sınırlı ve verimsiz olarak kullanılan mevcut spektrumun, fırsatçı bir yaklaşımla daha verimli olarak kullanılmasını sağlamaktadır [3]. BR; radyo ortamını algılayabilen, buna göre makine öğrenme mekanizmalarıyla otomatik olarak çıkarım yapabilen ve gerektiğinde çalışma parametrelerini değiştirebilen bir tür YTR tabanlı kablosuz iletişim teknolojisidir [4]. DSE'nin sağlanabilmesi için ise çalışma parametrelerinin yeterince esnek olması gerekmektedir. Bunu gerçekleştirmek için de BR'de, klasik radyolarda yer alan donanım tabanlı uygulama amaçlı entegre devreler yerine YTR'nin biraz daha geliştirilmiş modeli kullanılmaktadır [5]. BR ağı lisanslı ve lisanssız ağ olarak iki sınıfa ayrılabilir [5]. Lisanslı ağda mevcut spektrumdan sabit bir frekans bandı, belli bir ücret karşılığında lisanslı (birincil) kullanıcılara tahsis edilir. Lisanslı kullanıcılar ilgili bantlarını her zaman kullanım önceliğine sahiptirler. Lisanssız (ikincil) kullanıcılar bir lisansa sahip değildirler, buna rağmen iletişim yapabilmeleri için birincil kullanıcıların o sırada kullanmadıkları boş kanalları tespit etmeleri ve bunları kullanmaları gerekir. Birincil kullanıcılar ikincil kullanıcıların varlığından haberdar değildirler. İkincil kullanıcılar birincil kullanıcıları rahatsız etmeden spektrumu kullanabilmek için radyo ortamını sürekli ve dinamik olarak taramalı, yakaladığı uygun bantı boş olduğu sürece kullanabilmeli, birincil kullanıcının varlığının algılanmasıyla da kullanmakta olduğu bantı derhal terk ederek hızlı bir şekilde en uygun durumdaki başka bir boş bantı kullanarak iletişime devam etmelidir [6]. Şekil 1'de örnek bir spektrum kullanımı gösterilmektedir. Bu tanımlamalardan ve açıklamalardan BR'nin iki temel karakteristiği tanımlanabilir [4,7,8]:

- **Bilişsel Yetenek:** BR'nin radyo ortamındaki kanal ve kullanıcı bilgilerini sezme ve yakalama yeteneğidir. Bu özellik sayesinde çeşitli spektrum sezme teknikleri kullanılarak spektrumda belli bir yerde veya zamanda kullanılmayan bantlar algılanabilir. Bu sayede

birincil kullanıcılarla oluşabilecek olası girişimlerden kaçınılır.

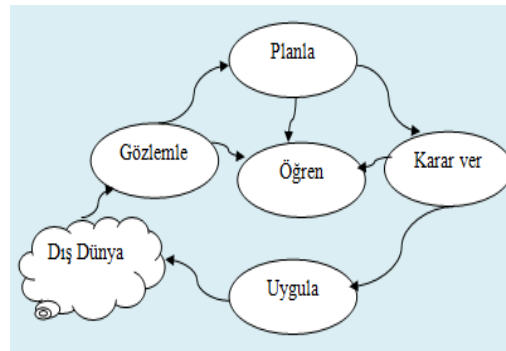
- **Yeniden ayarlanabilirlik:** BR'nin radyo ortamına göre kendini programlayabilir olmasıdır. Daha açıkça ifade etmek gerekirse BR, donanımsal tasarımıyla desteklediği farklı iletişim teknolojilerini kullanmak ve farklı frekanslarda veri alışverişi yapmak için çalışma frekansı, modülasyon türü, iletim gücü, iletişim teknolojisi vb. gibi çalışma parametrelerini değiştirebilir. Örneğin YTR tabanlı BR sayesinde frekans modülasyonu yapabilen bir radyo cihazının, yalnızca yazılımı değiştirilerek genlik modülasyonu yapması mümkün olabilir.

BR'nin akıllı olması, bu teknolojinin algılama, öğrenme ve optimizasyon yaparak spektrumu dinamik olarak kullanabilmesi anlamına gelmektedir [9]. Spektrumu dinamik olarak efektif bir şekilde kullanabilmek içinse BR'nin spektrumu sezme, yönetme, değiştirme ve paylaşma olmak üzere 4 temel işlevinin olması gerekmektedir.



Şekil 1. Spektrum Boşluk Yapısı

Bir sonraki bölümde bu temel işlevlere ve kullanılan tekniklere değinilecektir. Şekil 2'de BR'nin genel çalışma prensibi gösterilmektedir. Şekil 3'te ise BR'nin diğer radyo teknolojileriyle olan benzerlikleri ve farklılıkları ifade edilmektedir.



Şekil 2. Bilişsel Radyo Döngüsü

Klasik Radyo	YTR	BR
• Sabit sayıdaki sistemi destekler	• Çoklu sayıda sistemleri, protokolleri ve arayüzleri dinamik olarak destekler.	• Kendi başına yeni dalga formları üretebilir.
• Sadece tasarım aşamasında yeniden ayarlanabilirlik özelliği mevcuttur	• Çeşitli sistemlerle haberleşebilir, yeniden ayarlanabilirlik özelliği mevcuttur	• Yeni arayüzlerle uyumlu şekilde çalışabilir.
• Çoklu servisleri destekleyebilme özelliği vardır, fakat buna sadece tasarım aşamasında karar verilebilir.	• Değişken hizmet kalitesiyle geniş bir alanda hizmet verebilir.	• Çalışma parametrelerini hizmet kalitesini en uygun düzeyde sağlayacak şekilde ayarlayabilir.
• Klasik RF tasarım yöntemleri mevcuttur	• Klasik radyonun gelişmişidir. Yazılım mimarisi üzerine kuruludur ve kolayca güncellenebilir	• YTR'nin geliştirilmiş halidir. Yapay zekanın yanında öğrenebilme, gözlemleyebilme ve algılayabilme yeteneğine sahiptir.

Şekil 3. Klasik Radyo, YTR ve BR Teknolojilerinin Karşılaştırılması

B. BR'nin Temel Fonksiyonları

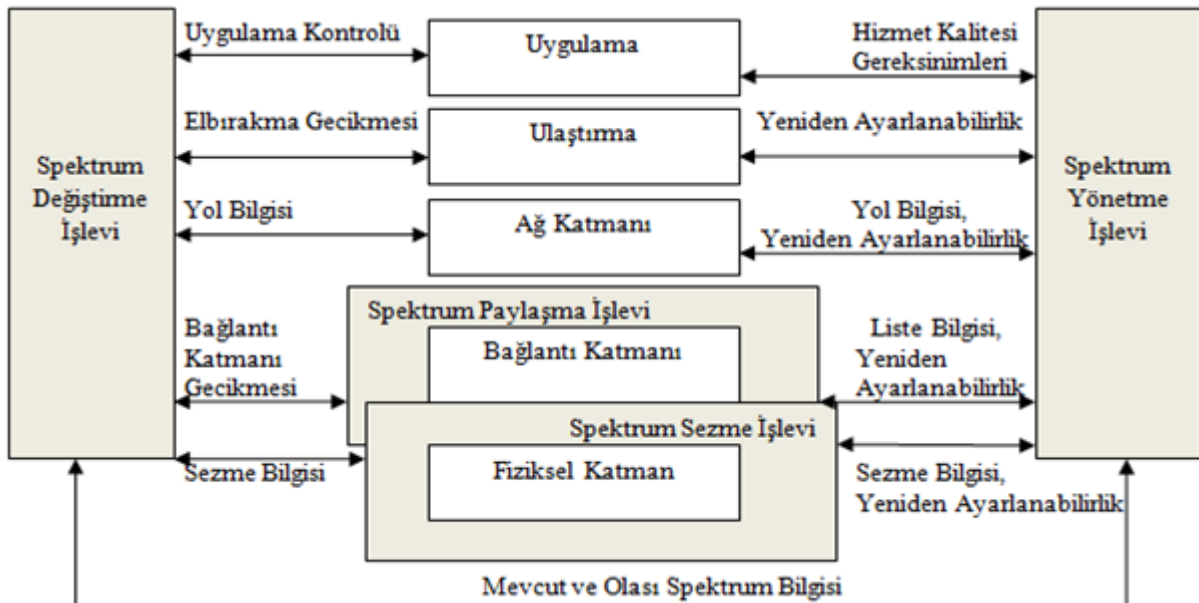
B.1. Spektrum Sezme

Spektrum sezme, diğer kullanıcılara zarar vermeden spektrumu paylaşma ve spektrum boşluklarını tespit etme işlemidir. Başka bir deyişle birincil kullanıcıların varlığını ve kullanılmayan frekans bantlarını algılama yeteneğidir [10].

Spektrum sezme BR'nin en önemli temel işlevidir. İkincil kullanıcılar boştaki spektrumu kullanırken spektrumu dinleyerek birincil kullanıcıların iletişim talebini algılamasıyla, girişimden kaçınmak için ilgili frekans bandını derhal terk edip uygun bir boş kanala geçerek iletişimine devam etmelidir. Buna karşılık birincil kullanıcıların ikincil kullanıcılarla

spektrum paylaşımı için çalışma parametrelerini değiştirme zorunlulukları yoktur. Bu nedenle BR'ler spektrumu sürekli olarak dinlerken birincil kullanıcıların varlığını bağımsız olarak tespit etmek durumundadır [11].

Birincil kullanıcıların iletme başladığını algılama işlemi anten, kuvvetlendirici, ADC vb. gibi yapıları içeren fiziksel katmanda (PHY) uygulanacak yöntemlerle yapılırken; spektrumda kullanımda olmayan yeni bir kanal arama kararı, hangi kanalların ne zaman ve ne kadar süre boyunca dinleneceği kararı ise ortam erişim kontrolü katmanında (MAC) uygulanacak yöntemlerle belirlenir [12]. BR'nin temel fonksiyonları ve bunların bağlantıları şekil 4'de gösterilmektedir.



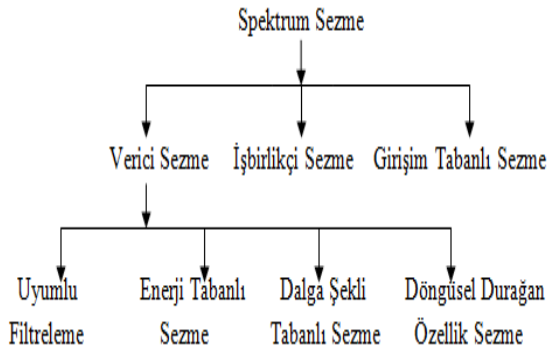
Şekil 4. BR'nin Haberleşme İşlevleri [10]

Tüm katmanların amacı fiziksel katmandan gelen bilgileri, hizmet kalitesi (QoS) beklentilerini en üst düzeye çıkaracak şekilde değiştirmektir. Bu beklentileri karşılayabilmek için MAC katmanı, birincil kullanıcıların zamanında ve güvenli bir şekilde tespit edilmesi için gereken radyo kontrol işlemlerinden dinamik spektrum erişimi, ağlar arası kaynak paylaşımı ve frekans hareketliliği işlemlerinin yerine getirilmesinden ve bu işlemler arası koordinasyondan sorumludur. PHY katmanı ise verici sezme yöntemleriyle birincil kullanıcıların tespitini sağlamaya çalışır. Şekil 5’de ideal BR sisteminde katmanların başlıca parametreleri ifade edilmektedir.

KATMAN	GÖZLEMLENEBİLİR PARAMETRELER	YAZILABİLİR PARAMETRELER
MAC	<ul style="list-style-type: none"> Çerçeve Hata Oranı (FER) Veri Oranı 	<ul style="list-style-type: none"> Kaynak Kodlama Kanal Kodlama Oranı ve Türü Çerçeve Uzunluğu ve Türü Kanal/Slot/Kod Tahsisi Kopyalama Çoklu Erişim Şifreleme
PHY	<ul style="list-style-type: none"> Bit Hata Oranı (BER) Sinyal Girişim ve Gürültü Oranı (SINR) Alınan sinyal gücü Güç Tüketimi Girişim Gücü Sönümlenme İstatistikleri Doppler Yayılımı Varış Açısı 	<ul style="list-style-type: none"> İletim Gücü Yayıma Türü ve Kodu Modülasyon Türü Modülasyon İndeksi Darbe Şekli Sembol Oranı Taşıyıcı Frekansı Dinamik Alan Anten Yönlendiriciliği
DİĞER	<ul style="list-style-type: none"> Hesaplama Gücü Batarya Gücü 	<ul style="list-style-type: none"> CPU Frekans Ölçeklemesi

Şekil 5.BR Katmanlarının Genel Özellikleri [11]

Bir sonraki bölümde Şekil 6’da gösterildiği gibi spektrum sezmede kullanılan tekniklerden ve bu yöntemlerin genel özelliklerinden bahsedilmektedir.



Şekil 6. Spektrum Sezme Teknikleri

B.1.1. Spektrum Sezme Teknikleri

B.1.1.1 Verici Sezme (Transmitter Detection)

Bu yaklaşım BR kullanıcısının yerel gözlemleri sonucu birincil vericilerden gelen zayıf bir sinyalin tespitine dayanmaktadır. Verici sezme genel olarak 4 başlık altında incelenmektedir:

- **Uyumlu Filtreleme:** Uyumlu filtreleme, iletilen sinyalin bilinmesi durumunda birincil kullanıcıların tespiti için bilinen en iyi yöntemdir. Bunun sebebi alınan sinyal gürültü oranının (SNR) maksimize edilmesidir. Bu yöntemin diğer yöntemlere göre en önemli avantajı, kesin bir yanlış alarmının veya hatalı tespitin kısa sürede belirlenebilmesidir.

Buna karşın, işaretin alıcıda demodülasyonu için birincil kullanıcıların bant genişliği, çalışma frekansı, modülasyon türü, darbe şekli vb. sinyal özelliklerinin tam olarak biliniyor olmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

- **Enerji Sezme:** Alıcının birincil kullanıcı sinyali hakkında yeterli bilgi elde edememesi durumunda en uygun spektrum sezme yöntemidir [12]. Sinyal, gürültü tabanına bağlı olarak değişen bir eşik değeriyle enerji detektörünün çıkışı karşılaştırılarak tespit edilir. Birincil kullanıcıların tespiti için eşik değerinin seçimi, daha iyi sinyal işleme algoritmalarının tasarımını gerektiren spektrum sinyallerinin tespitinde enerji detektörünün verimli olarak çalışmaması, aynı zamanda enerji detektörünün birincil kullanıcılardan ve gürültüden oluşan girişimlerini ayırma yeteneğinin kısıtlı olması gibi sebepler bu yöntemin dezavantajlarıdır [13,14].

- **Dalga Şekli Tabanlı Sezme:** Bu yöntem bilinen örüntülerle korelasyona dayanmaktadır. Sadece hedef birincil kullanıcı sinyali bilinen örüntüler (örneğin pilot işaret) içerdiği durumda kullanılabilir. Bu teknik güvenilirlik ve yakınsama açısından enerji tabanlı sezme yönteminden daha üstün olmasının yanında, bilinen işaretin uzunluğu arttıkça performansı da artmaktadır [13].

- **Döngüsel Durağan Özellik Sezme (Cyclostationary Feature Detection):** Birincil kullanıcıların iletişimini, bunlardan alınan sinyallerin döngüsel durağan özelliğini kullanarak tespit eden bir yöntemdir. Bu teknik gürültüyü birincil kullanıcının sinyallerinden ayırabilir. Bu açıdan döngüsel durağan sinyal detektörü, enerji detektöründen daha iyi performans gösterir. Diğer taraftan uzun gözlemleme zamanı gerektirmesi ve hesaplama karmaşıklığının olması bu yöntemin olumsuz özelliklerini oluşturmaktadır [5].

B.1.1.2. İşbirlikçi Sezme (Cooperative Detection)

Bu yöntemde farklı teknolojileri kullanan radyolar, spektrumda frekans veya zaman kullanımı hakkında bilgi alışverişinde bulunurlar. Literatürde işbirlikçi işlevi; gürültü belirsizliği, sönümleme ve gölgeleme nedeniyle spektrum seziminde ortaya çıkan problemlere bir çözüm olarak ele alınmaktadır [15]. İşbirlikçi sezme *merkezi* veya *dağıtık* olacak şekilde 2 türlü uygulanabilir.

Merkezi yöntemde merkezi bir birim, bilişsel cihazlardan gelen sezme bilgilerini toplar, kullanılabilir spektrumunu tanımlar ve elde ettiği verileri diğer akıllı cihazlara yayınlar veya doğrudan bilişsel radyo trafiğini kontrol eder. Amaç kanalın sönümleme etkisini azaltmak ve sezme performansını arttırmaktır [16]. Diğer taraftan dağıtık yöntem, bilişsel kullanıcılar arasında gözlemlerin alışverişini gerektirir; fakat kullanıcılar spektrumun hangi kısımlarını kullanabilecekleri kararını kendileri verirler [14,17]. Dağıtık yöntem, merkezi yöntemle göre daha az maliyetli olması ve bir altyapı gerektirmemesi açısından daha avantajlıdır. Şekil 7'de işbirlikçi ve işbirlikçi olmayan sezme tekniklerinin genel bir karşılaştırılması yapılmaktadır.

	İşbirlikçi Sezme	İşbirlikçi Olmayan Sezme
Avantajları	<ul style="list-style-type: none"> • Sönümleme ve gölgeleme etkisini, • Hatalı tespit olasılığını, • Yanlış alarm olasılığını ve • Sezme süresini önemli ölçüde azaltır. • Spektrum kapasitesi ve kazancını artırır. 	<ul style="list-style-type: none"> • Belli düzeyde girişimin kabul edildiği durumda lisanssız spektrum için daha uygundur.
Dezavantajları	<ul style="list-style-type: none"> • Kullanılan algoritmaların karmaşıklığı ve • Trafik yükü fazladır. 	<ul style="list-style-type: none"> • Birincil kullanıcının tespitini zorlaştıran sönümleme ve gölgeleme etkisi fazladır.

Şekil 7. İşbirlikçi ve İşbirlikçi Olmayan Sezme Tekniklerinin Karşılaştırılması [5,10,16,17]

B.1.1.3. Girişim Tabanlı Sezme (Interference-Based Detection)

FCC otoritesi girişim sıcaklığı kavramını, girişim tarafından işgal edilen bant genişliği ve gücün bir ölçüsü olarak tanımlamaktadır [4]. Buna göre bir banttaki herhangi bir iletim, diğer iletimler için girişim sıcaklığı sınırının üstünde bir gürültü seviyesi oluşturduğunda zararlıdır. Bu nedenle herhangi bir anda lisanssız iletimde bulunan ikincil kullanıcı, lisanslı alıcıda girişim sıcaklığı sınırını aşmamalı, daha az güç harcayarak ve birincil kullanıcıya zarar vermeyecek şekilde iletimini yapmalıdır.

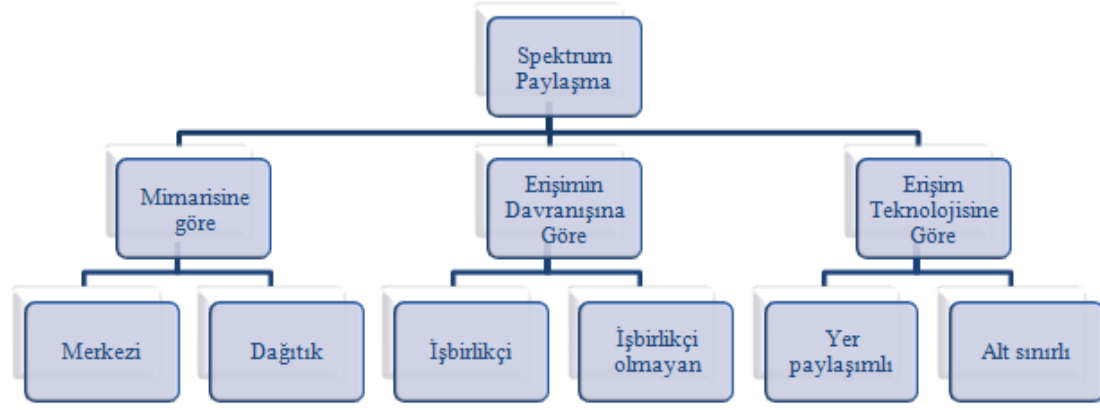
B.2. Spektrum Yönetme

Spektrum yönetme, kullanıcıların iletişim ihtiyacını ve kalitesini karşılayabilmek için en uygun kanalın seçimi aşamasıdır.

Bilişsel ağlarda spektrum sezme yöntemleriyle tespit edilen kullanılmayan bantlar; çalışma frekansı, bant genişliği gibi farklı karakteristiklere sahiptir. Bu nedenle BR'ler hizmet kalitesini karşılayabilmek için en uygun kanalı çeşitli yönetim fonksiyonlarıyla bulmak durumundadır. Bunun için girişim seviyesi, kanal hata oranı, yol kaybı, bağlantı katmanı gecikmesi gibi hizmet kalitesini gösteren çeşitli parametrelerin tanımlanması gerekir [5,10]. Kanal kapasitesi spektrumun karakteristiğini belirleyen en önemli faktördür. Spektrumun uygun tüm bantları karakterize edildikten sonrada, en uygun bant seçilerek iletişimin kaliteli bir şekilde sağlanması amaçlanmaktadır. Buna bağlı olarak da veri oranı, kabul edilebilir hata oranı, iletim modu ve iletim bant genişliği gibi etkenler belirlenmekte ve böylece iletişim için spektrumdaki en uygun bant tespit edilmektedir. Bunlara karşılık spektrum yönetiminde uygun bandın seçimi kararı hala keşfedilememiş noktalara sahiptir.

B.3. Spektrum Paylaşma

Spektrum paylaşma, spektrumda yönetme fonksiyonuyla seçilen kanala diğer kullanıcıların erişiminde koordinasyonu sağlama ve iletim bandını paylaşma işlemidir. Mevcut spektrumun verimsiz kullanılması, farklı teknolojilerin gelişmesi ve kullanıcı sayısının artmasıyla bu fonksiyon BR ağının temel gereksinimlerinden biri haline gelmiştir. Şekil 8'de spektrum paylaşmada kullanılan tekniklerin sınıflandırılması görülmektedir.



Şekil 8. Spektrum Paylaşma Tekniklerinin Sınıflandırılması

Mimari tabanlı olarak sınıflandırma bakımından, kullanıcılar arası veri iletim maliyeti dışında *dağıtık paylaşmanın merkezi paylaşma* yöntemiyle benzerlik gösterdiği yapılan çalışmalar sonucu anlaşılmıştır.

Spektrum erişim davranışına göre yapılan sınıflandırmada *işbirlikçi paylaşmanın* genelde *işbirlikçi olmayan tekniğe* göre daha başarılı olduğu; işbirlikçi yöntemin daha düzgün, tutarlı sonuçlar verirken diğer yöntemin daha fazla enerji tüketimine neden olduğu gözlenmektedir [5,18].

Erişim teknolojisi tabanlı olarak yapılan sınıflandırmada ise *yer paylaşımı (overlay)* ve *alt sınırlı (underlay)* olmak üzere iki teknik söz konusudur. Yer paylaşımı yöntemde ikincil kullanıcılar lisanslı kullanıcıların varlığında bu spektrumda iletme geçmezler, ancak sadece birincil kullanıcılar iletimde değilken iletime geçerler. Alt sınırlı metotta ise ikincil kullanıcıların, birincil kullanıcılarla olan girişim sıcaklığı sınırını aşmayacak şekilde ve onları rahatsız etmeden iletim yapmaları söz konusudur [19,20].

B.4. Spektrum Değişirme

Spektrum değişirme, birincil kullanıcının tespiti ve/veya kanal koşullarının kötüleşmesi durumunda kanalı boşaltma işlemi olarak tanımlanır [10]. Bu yöntemde başka kanallara geçilirken çalışma frekansı değiştiğinden iletime geçilecek bantta çalışma frekansının kanal parametrelerine uyum sağlaması önem teşkil etmektedir. Bu aşamada kanal karakteristiklerine ve hizmet kalitesine bağlı olarak en iyi radyo spektrumunun seçilmesi için gereken algoritmaların karmaşıklığı ve uygulama zorluğu çözümleri beklenen başlıca sıkıntılardır.

III. YAPILAN ÇALIŞMALAR

BR'de ilk somut adım FCC tarafından kırsal bölgelerde TV bantlarında kullanımın az olması sebebiyle lisanssız kullanıma izin verilmesiyle atılmıştır [21,22]. IEEE802.22 standardı ile de ilk BR çalışma alanı oluşturulmuştur. Bu grupta kablosuz bölgesel alan ağları (WRAN) içinde kablosuz iletişim gereksinimleri araştırılmaktadır. 2004 yılında BR tabanlı WRAN için PHY ve MAC

katmanları sayesinde lisanssız kullanım için TV bandının kullanılabilmesi hakkında bir patent geliştirilmiştir. IEEE 1900.1 çalışma grubu ile de BR sistemleri için terminolojinin belirlenmesi ve belli standartların oluşturulması amaçlanmaktadır [19].

Spektrum erişim hızliliğini sağlayacak teknolojilerin gelişmesi, RF ortamını sezme ve karakterize edilmesi, kullanılmayan spektrumun saptanması, yazılım politikaları için standartların geliştirilmesi gibi konular en güncel araştırmalar konularındadır. Ayrıca çeşitli üniversitelerde ve araştırma merkezlerinde spektrum kullanımı için BR cihazı tasarımında, acil durum uygulamaları için bilgi istasyonlarının kurulumunda ve BR teknolojilerinin, kullanılmayan TV bantlarında Wi-Fi gibi lisans gerektirmeyen kullanımlara izin veren örnek sistemlerin tasarımı gibi çeşitli konularda çalışmalar yapılmaktadır [11].

IV. AVANTAJLAR, BEKLENTİLER VE KARŞILAŞILAN BAZI ZORLUKLAR

BR'ler akıllı, güvenli, uyumlu, verimli, hızlı ve kaliteli iletişime aday teknolojilerdir [11]. Uygun veri hızlarında ve geniş kapsama alanında multimedya indirmede (örneğin taşınabilir oynatıcılara müzik video dosyaları indirme), uygun veri hızlarıyla ve yerel birincil kullanıcıların kapsama alanındaki acil durum iletişimlerinde (örneğin bir itfaiyecinin baretinden video iletimi), yüksek veri hızı ve yerel kapsama alanında geniş bant kablosuz ağ bağlantısında (örneğin taşınabilir bilgisayarların kullanımı), multimedya kablosuz ağ bağlantısında (örneğin evler arasında ses/görüntü dağıtımı) vb. gibi durumlarda gelişmiş bağlantı performansı, spektrum kullanımı ve yüksek veri hızı özellikleri sayesinde BR'ler en etkin iletişim teknolojisi olacaktır [6].

Bunlara karşılık BR'ler yeni ve farklı bir yapıya sahip olduğundan ve herhangi bir kurala dayanmaksızın mevcut MAC protokollerinin bu sisteme uygulanması lisanslı kullanıcılara ciddi zararlar verebileceğinden farklı kurallara ve algoritmalara sahip olmalıdır.

Bilişsel radyo sistemlerinin gerçekleştirilmesinde yazılımsal olarak komponentlerin birbirleriyle iletişimi, gelişmiş algoritmalar ve tekniklerin kullanılması, test etme ve doğrulama; donanımsal olarak ise esnek RF, anten, A/D çeviriciler vb. tasarım ve yüksek maliyet gibi problemler olsa da esas olarak 2 önemli zorluk söz konusudur [6]:

- İlk zorluk kendi durumunun farkında olacak şekilde akıllıca karar verebilecek yetenekte bir BR cihazı tasarlamaktır. Örneğin BR'ler diğer birincil kullanıcılara girişimde bulunmamalıdır. Bu noktada saklı düğüm problemi olarak adlandırılan BR'nin girişimde bulunabilecek tüm radyo yayınlarını tespit edememesi sorundur. Bu sorun BR sisteminin spektrumu sezmede etkisiz olmasından değil, bazı cihazların iletim sinyallerinin düşük olması sebebiyle ortam tarafından BR'ye ulaşmasının önlenemiyor olma olasılığının varlığından kaynaklanır.
- Diğer önemli problem ise yeniden ayarlanabilirliğe olanak sağlayabilecek YTR teknolojilerinin gelişmesine duyulan inançtır. Bu noktada BR'ler YTR sistemlerinin gelişmiş hali olduklarından, önceden bahsedilen yazılımsal ve donanımsal sorunların çözülerek BR cihazlarının tam kontrolünün sağlanması zorluğu söz konusudur.

V. SONUÇ

Bu çalışmada yeni nesil kablosuz iletişimde farklı teknolojileri bir arada çalıştırabilecek, artan kullanıcı sayılarını ve taleplerini mevcut spektrumu verimli ve dinamik olarak kullanmak suretiyle karşılayabilecek niteliklere sahip olması beklenen bilişsel radyo teknolojisi tanıtılmış; bu sistemin temel özellikleri, kullanılan teknikler, mevcut teknolojilerden farklılıkları ve üstünlükleri detaylı olarak incelenmiştir. Bahsedilen temel problemlerin aşılmasıyla da BR teknolojisi, özellikleri ve sağladığı imkanlarla yeni nesil ağların gelişmesinde bir dönüm noktası olacaktır.

VI. KAYNAKLAR

- [1]. IEEE Communications Magazine, vol. 43, pp. 10-12, Feb. 2005.
- [2]. J. Mitola and G. Q. Maguire, "Cognitive Radio: Making software radios more personal," IEEE Personal Communications, vol. 6, no. 4, pp. 13-18, August 1999
- [3]. I.F. Akyildiz, Y. Altunbasak, F. Fekri, R. Sivakumar, "AdaptNet: adaptive protocol suite for next generation wireless internet", IEEE Communications Magazine 42 (3) (2004) 128-138.
- [4]. S. Haykin, "Cognitive radio: brain empowered wireless communications", IEEE Journal on Selected Areas in Communications 23 (2) (2005) 201-220.
- [5]. L. Khalid, A. Anpalagan, "Emerging cognitive radio technology: Principles, challenges and opportunities", Computer and Electrical Engineering 36 (2010) 358-366.
- [6]. A. Shukla et al., "Cognitive radio technology. A study for Ofcom - Vol. 1", Final Report, QINETIQ/06/00420 Issue 1.1, Feb. 2007.
- [7]. R.W. Thomas, L.A. DaSilva, A.B. MacKenzie, Cognitive networks, in: Proc. IEEE DySPAN 2005, pp. 352-360, November 2005.
- [8]. F.K. Jondral, Software-defined radio basic and evolution to cognitive radio, EURASIP Journal on Wireless Communication and Networking 2005.
- [9]. R. Urfalıoğlu, M.Çiçek, K.K. Paçacı, "Bilişsel radyoda spektrum sezme işlemine yönelik yaklaşımlar.ppt", Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu, www.habtekus.yildiz.edu.tr/2009/Sunu/Bilissel_radyoda_spektrum_sezme.pptx
- [10]. I.F. Akyildiz, W. Lee, M.C. Vuran, S. Mohanty, "NeXt generation/dynamic spectrum access/cognitive radio wireless networks: A survey", Computer Networks 50 (2006) 2127-2159.
- [11]. J. H. Reed, C. W. Bostian, "Understanding the issues in Software Defined Cognitive Radio.ppt", Virginia Tech Bradley Dept. of Electrical and Computer Engineering.
- [12]. A. Sahai, N. Hoven, R. Tandra, Some fundamental limits in cognitive radio, Allerton Conf. on Commun., Control and Computing, October 2004.
- [13]. D. Cabric, S. Mishra, R. Brodersen, "Implementation issues in spectrum sensing for cognitive radio", Asilomar conference on signals, systems and computers, vol. 1, p. 772-6, November 2004.
- [14]. H. Tang, "Some physical layer issues of wide-band cognitive radio systems", IEEE international symposium on new frontiers in dynamic spectrum access Networks, p. 151-9, November 2005.
- [15]. A. Ghasemi, E. Sousa, "Collaborative spectrum sensing for opportunistic access in fading environment", IEEE international symposium on new frontiers in dynamic spectrum access Networks, p. 131-6, November 2005.
- [16]. H. Arslan "Cognitive radio, software defined radio, and adaptive wireless systems", Netherlands, Springer, 2007.
- [17]. G. Ganesan, Y. Li, "Cooperative spectrum sensing in cognitive radio Networks", IEEE international symposium on new frontiers in dynamic spectrum access Networks, p. 137-43, November 2005.
- [18]. C. Peng, H. Zheng, B.Y. Zhao, "Utilization and fairness in spectrum assignment for

- opportunistic spectrum Access”, ACM Mobile Networks Appl., pp. 555–576, 11(August), 2006.
- [19]. S. Bayhan, “Bilişsel radyo katmanı spektrum dinlemesi yazın araştırması problemler ve önerilen yöntemler”, <http://www.cmpe.boun.edu.tr/~bayhan/pdf/SuzanBayhanMACLayerSensingTr.pdf>
- [20]. A.Ç. Talay, D.T. Altınlar, “Menzil Adaptif Bilişsel Radyo Ağları”, http://www.emo.org.tr/ekler/65af71b09408709_ek.pdf
- [21]. Federal Communications Commission (FCC), “Spectrum Policy Task Force” ET Docket no. 02-135, November 2002.
- [22]. S. Kulaç, A. Ekşim, M.H. Sazlı, “Pilot ton kullanarak DTV Spektrum algılama”, 2011 IEEE 19th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU 2011).