

# Bilişsel Radyo Gelişim Sürecinde Telsiz Cihazların Yazılım Açısından Sisteme Uygunluğunun Kontrolü

\*<sup>1</sup> Metin Çiçek ve <sup>2</sup> Nursel Akçam

\*<sup>1</sup> Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu, Ankara, Türkiye

<sup>2</sup> Gazi Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

## Özet

Bilişsel Radyo (BR), mevcut spektrumun daha verimli kullanılabilmesi için spektrum ortamının sürekli olarak sezilmesiyle boş ya da yoğunluğu az olan kanalların belirlenmesi ve uygun kanalların ikincil kullanıcılara tahsisini öngörmektedir. Tam BR'nin gerçekleştirilmesi ve piyasaya sunulması süreci önemli teknik, endüstriyel, standardizasyon ve düzenleyici çalışmaları gerektirmektedir. BR gelişim sürecinde teknik gelişmelere ve gerçekleştirilecek düzenlemelere bağlı olarak ortaya çıkacak iş modelleri de tedarikçiler ve diğer endüstri çevrelerince yakından izlenmektedir. BR cihaz teknolojisinin yeniden ayarlanabilir bir sistem olduğundan, cihaz yazılımının internette veya şebeke işletmecisinden elde edilen yazılım ile üretim sonrası yeniden düzenlenmesi mümkün olabilecektir. Bu durumda cihaz yazılımında bulunan düzenleyici kuralların değişmesi ve cihazın düzenlemelere aykırı hareketlerde bulunması söz konusu olabilir. Bu çalışmada, BR gelişim sürecine yer verilerek, bahse konu problemi aşmaya yönelik cihaz piyasa modeli önerilmektedir.

**Key words:** Bilişsel Radyo, yeniden ayarlanabilirlik.

## 1. Giriş

Son yıllarda kablosuz haberleşme teknolojilerindeki gelişmeler ve bu alandaki uygulamalar ile bu uygulamalara olan kullanıcı talebi dolayısıyla frekans spektrumu ihtiyacı artmıştır. Söz konusu ihtiyaç artışın devamı, klasik spektrum yönetimi politikalarının dışında yeni teknik çözümlerini ortaya çıkarmıştır. Bu önerilerden bir tanesi de BR olup, BR kavramı, kullanılacak spektrumun sürekli olarak sezilmesiyle, kanal üzerinde yasal kullanım hakkına sahip birincil kullanıcı üzerinde herhangi bir girişim oluşturmadan fırsatçı bir biçimde söz konusu spektrumun ikincil olarak kullanılmasıdır. BR statik spektrum yönetiminin dışında; konuma, zamana, kanal yapısına, kullanıcı sayısına ve düzenleyici kurallara göre koşulları göz önünde bulundurarak yeni dinamik spektrum kaynaklarının yaratılması bakımından ümit vadeden bir haberleşme sistemidir [1,2].

BR teknolojisi, Yazılım Tanımlı Radyo (YTR) ve yapay zekâ tekniklerini birleştirmektedir. Yapay zekâ teknikleriyle radyo ortamı başta olmak üzere, şebeke durumu, kullanıcı tercihleri, düzenleme ve maliyet koşulları algılanarak, geçmiş tecrübeler de dikkate alınmak suretiyle uygun radyo çeşitlilik parametrelerine karar verilir. YTR ile belirlenen modülasyon tipi, çıkış gücü, çalışma frekansı, anten biçimlendirme yönü ve protokol çeşitliliklerine geçiş sağlanır.

BR düşük oranda ve verimsiz kullanılan, ancak kıt kaynak olmasının sonuçlarını şimdiden görmeye başladığımız radyo spektrum kullanımı için çözüm olarak görülmektedir. Söz konusu haberleşme teknolojisi, esnek spektrum kullanım kolaylığı sayesinde gelecek spektrum yönetimi düzenlemelerinde önem arz edecektir. Bununla birlikte; BR'nin modülasyon adoptasyonu, frekans ayarlaması, yazılım tanımlaması güç kontrolü gibi radyo haberleşme teknolojilerinde önemli gelişmelere yol açacağı da değerlendirilmektedir.

Radyo haberleşme tekniklerinin BR'lere uyarlanmasıyla, BR'ler çok önemli role sahip olacaktır. BR'nin faydası, sadece yeni spektrum paylaşım fırsatları sağlaması değil, harici faktörlerin yapay zekâ teknikleriyle dikkate alınarak, iletişim parametrelerinin, yine yapay zekâ teknikleri uyumlaştırılması yeteneğine sahip olması nedeniyle daha fazla esneklik ve çok yönlülük oluşturmasıdır. Uzun dönemde BR teknolojilerinin statik spektrum yönetiminden dinamik spektrum yönetimine ve erişimine geçişte temel rol oynaması beklenmektedir [3].

Tam BR sistemlerin teknik anlamda gerçekleştirilebilmesi önümüzdeki 20-25 yıl için imkânsız görünmektedir. Ancak bu sistemlerin oluşturulması durumunda haberleşme sistemlerine ve spektrum kıtlığı problemine sunacağı büyük katkının göz önünde bulundurulması; akademik, endüstri ve düzenleyici çevrelerin BR'ye olan büyük ilgisinin sebebini oluşturmaktadır. Bununla birlikte son yıllarda BR gelişim sürecinde ortaya çıkan ve çıkması beklenen ön BR sistemleri gibi teknolojilerin spektrum yönetim ve paylaşım modelleriyle, oluşabilecek piyasa yapıları ve ilgili düzenleme çerçevesi tartışılmaktadır.

Şu anki uygulamada BR; sayısal dönüşüm sonrası UHF(Ultra High Frequency)/VHF (Very High Frequency) bantlarında büyük miktarda spektrum imkânı vereceği düşünülen sayısal TV beyaz boşluklarının lisanstan muaf biçimde değerlendirilmesi olanağı veren teknoloji biçiminde değerlendirilmektedir. ABD'de ve İngiltere'de düzenleyici kamu otoriteleri bu teknolojilere bazı koşullarla onay verilmesine yönelik düzenleme çalışmaları yapmaktadır.

Bununla birlikte, BR gelişim sürecinde teknik gelişmelere ve gerçekleşecek düzenlemelere bağlı olarak ortaya çıkacak iş modelleri de tedarikçiler ve diğer endüstri çevrelerince yakından izlenmektedir.

İleri gelecekte Tam BR sistemlerin tasarlanması durumunda yaşanması muhtemel sorulardan birisi de, bu cihazlara yüklenmiş bulunan yazılımların herhangi bir şekilde değiştirilmesidir. Bu şekilde bir değişiklik spektrumda birincil derecede kullanım hakkına sahip kullanıcılar üzerinde girişim oluşmasına sebep olacaktır [3].

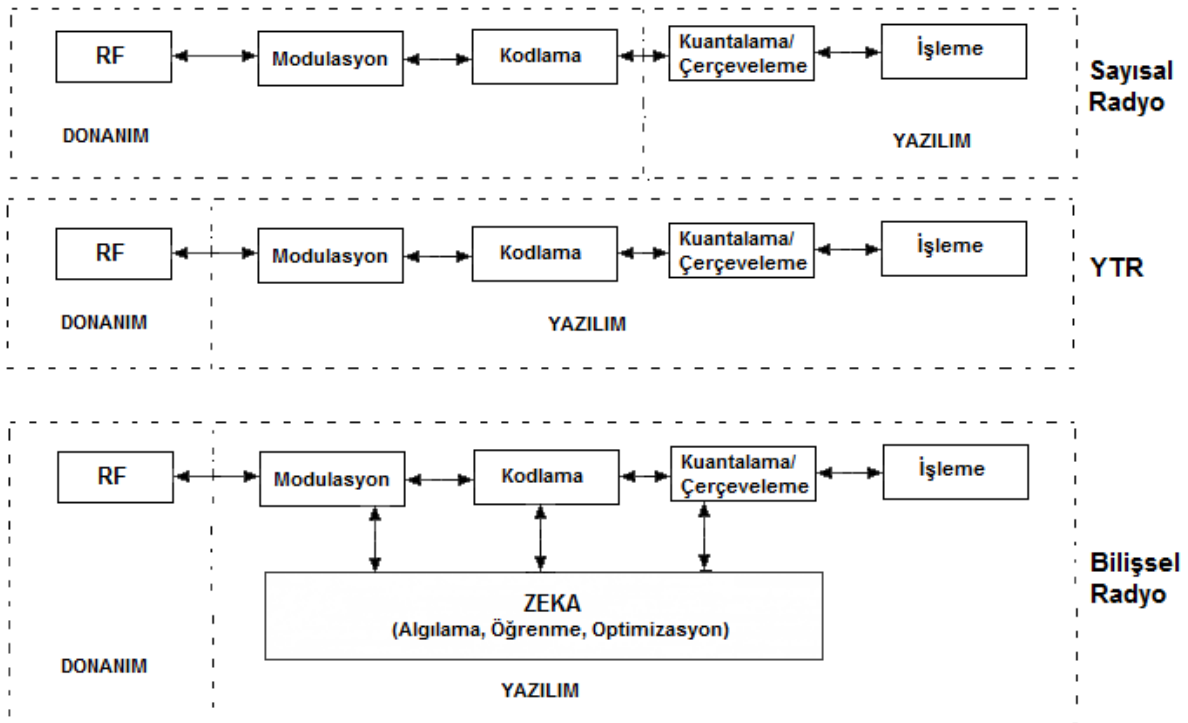
Bu çalışmada, BR gelişim sürecine ve BR gelişim sürecinin geleceğine yer verilmiş olup, BR cihazların yazılımlarının sertifikasyonuna ilişkin önerilen model tartışılmıştır.

## 2. BR Gelişim Süreci

Şekil 1'de klasik sayısal radyo ile birlikte nihai noktada BR'nin gelişim sürecine yer verilmiştir. Gerçekte sayısal radyodan önceki dönemlerde kullanılan analog radyo yapıları dikkate alınmamıştır. Sayısal radyo yapısında sayısal işleme yazılım ile gerçekleştirilirken, YTR

yapısında fiziksel katman üniteleri donanım kısmını oluşturmaktadır. YTR yapılarında yazılımın daha geniş anlamda belirleyici olması dolayısıyla yazılımın esnekliği ve donanım kısmının elverdiği ölçüde radyo yapısının davranışındaki çeşitlilik artmaktadır.

BR de YTR gibi, RF bölüm hariç olmak üzere yazılım ağırlıklıdır. Ancak modülasyon kodlama ve bazı sayısal işleme özellikleri algılama, optimizasyon ve öğrenmeye dayalı yapay zeka algoritmaları ile gerçekleştirilmektedir [4]. BR'nin spektrumu dinamik kullanabilmesi için, spektrumu sezme, spektrumu yönetme, spektrumu değiştirme ve spektrumu paylaşma fonksiyonlarını yerine getirebilmesi gerekmektedir.



Şekil 1. BR gelişim süreci [5].

### 3. BR Gelişim Sürecinin Geleceği

BR gelişim süreci; klasik sayısal radyonun geliştirilmesi ile başlayıp, ideal BR veya Mitola radyo olarak isimlendirilen ve zekanın radyo yapısına çevre şartları ve kullanıcı tercihleriyle birlikte tam anlamıyla entegre olması biçiminde hedeflenen yapıya kadar olan süreç olarak tanımlanır. Tam BR'nin teknik anlamda geliştirilmesi önündeki başlıca engeller arasında; gizli düğüm problemi, donanım kısıtları, çok sayıda giriş parametresinin bulunduğu sistemin kontrolündeki zorluklar ve bu sistemin yazılım tabanlı olarak işlenmesini sağlayacak olan yapay zeka uygulamasının hız ve karmaşıklık problemleri yer almaktadır.

Bilişsel teknolojilerin bazı özellikleriyle uyumluluk sağlayacak şekilde olan DFS<sup>1</sup> (Dynamic Frequency Selection) ve DAA<sup>2</sup> (Detect and Avoid) gibi bazı radyo uygulamaları şu anda piyasada mevcut durumdadır. Bu teknolojiler BR teknolojilerin bir öncül jenerasyonu olarak nitelendirilirken, “ön bilişsel” (pre-cognitive) radyo teknolojisi olarak isimlendirilmektedir [6].

Bununla birlikte, IEEE 802.22 Kablosuz Bölgesel Alan Ağları (WRAN) standardı; televizyon yayın hizmetlerine tahsis edilmiş ancak kullanılmayan spektrumun bilişsel radyolar tarafından paylaşılmasını sağlayan teknikleri açıklar [7]. Bu standart spektrum yönetimi, sezme arayüzü ve yer belirleme bilgisi erişimi gibi fonksiyonları içerir ve lisanslı birincil kullanıcı üzerine girişim oluşturmadan ulaşımın zor olduğu, düşük yoğunluklu kırsal kesimlere genişbant erişim olanağı sağlamayı amaçlar.

Önümüzdeki 5 yıllık süreçte; sayısal TV bantlarında bilişsel özelliklerin kullanılmasıyla ilgili spektrumun dikey paylaşım modeli kapsamında ikincil biçimde değerlendirilmesi tartışmalarının dışında, BR kullanımının düzenleyici mevzuat değişikliği gerektirmeyeceği öngörülmektedir. Ancak söz konusu uygulamanın önemli derecede tartışılacağı düşünülmektedir. Bununla birlikte sayısal TV bantlarının dışında dikey paylaşım modeline uygun olarak bazı hizmetlere ait bantlarda da BR kullanımı değerlendirilebilecektir. BR’ye yönelik kısa vadede düzenleyici mevzuatta değişiklik gerekmeyecek, ancak piyasaya girmesi muhtemel BR cihazların mevzuata uyması gerekecektir. Bu durum, BR cihazların asıl özelliği olan çalışma parametrelerini değiştirmek suretiyle spektrum fırsatlarını oluşturabilmesi ve kullanabilmesi yeteneğini tamamen kısıtlasada; BR’de spektrum sezme, sistem kontrol ve girişim güvenilirliği problemlerinin kısa vadede çözülmesinin zor olmasından ötürü, mevcut mevzuatın korunması ve BR cihazların ilgili mevzuat kurallarına uyması dışında bir önleme ihtiyaç duyulmamaktadır.

BR sistemlerin kısa ve orta vadede piyasada yer bulmasının zor olduğu değerlendirilmektedir. Ancak orta vadede (2020-2025) belirli spektrum bantlarında işletmecilerin hizmet sunumuna yönelik örnek sayılabilecek sınırlı BR uygulamaları gerçekleştirilebilir. Bu kapsamda, sınırlı bantlarda aldıkları spektrum bandını sundukları hizmetle ilgili olarak kullanıcılara tahsis eden işletmeciler BR’nin ilk yatay paylaşım modelinin uygulamalarını oluşturacaktır. Sunulan hizmet kapsamında Frekans Bölmeli Çoğullamalı Erişim (Frequency Division Multiple Access-FDMA) tekniği ile kullanıcılarına sabit frekans tahsisi gerçekleştiren işletmeciler, kullanıcılarına anlık spektrum durumuna göre en uygun bant genişliği tahsisini sağlamak isteyebilecektir. Bu durumda hem kullanıcılarda bulunan terminaller, hem de işletmecinin şebeke yönetimi BR özelliğine sahip olmalıdır.

Kamu kuruluşlarına ait spektrumda veya önemli altyapıya sahip kablosuz haberleşme servislerine (GSM, 3G wimax vs) ait bantlarda bilişsel sistemlerinin tam olarak sunulması ve kullanılmasının uzun vadede (2025 sonrası) gerçekleşebileceği değerlendirilmektedir.

<sup>1</sup> Bu metodun kullanılmasıyla; cihaz kullandığı kanalın alındığını algılar algılamaz derhal farklı boş bir kanal araması yapmaktadır. DFS, IEEE 802.11h WLAN standardı ile desteklenmektedir.

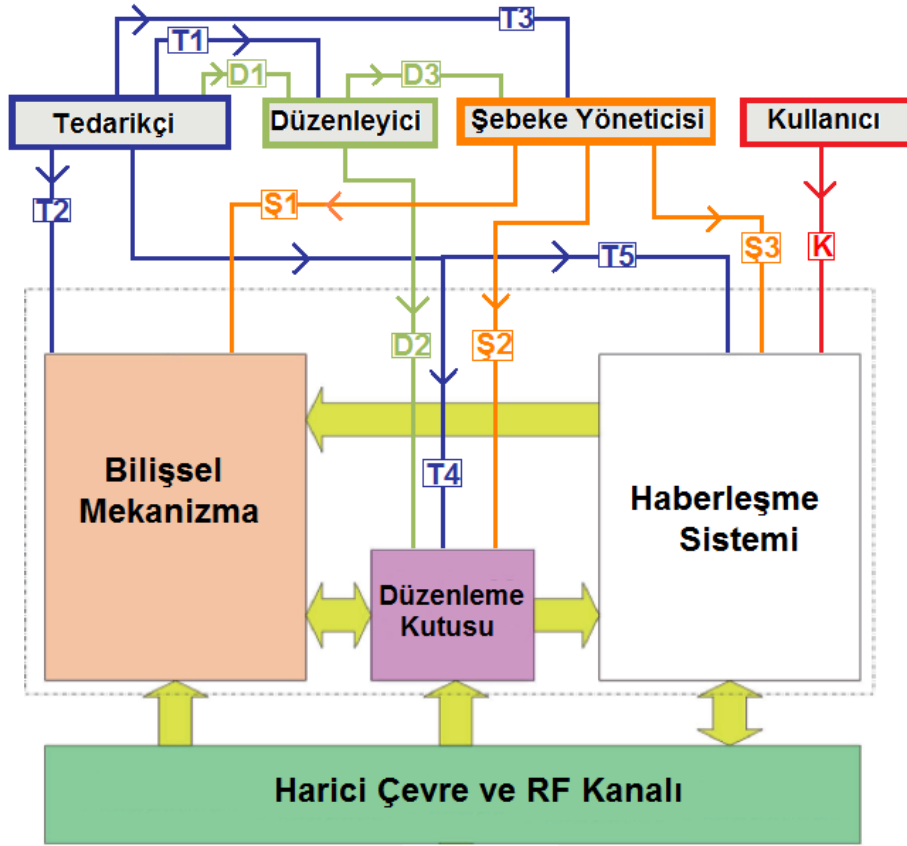
<sup>2</sup> Detect and Avoid, diğer radyo sistemlerinden sunulan sinyalleri algılayarak, UWB cihazın iletim gücünü azaltmaktadır. Böylece söz konusu sistemlerde girişim oluşturmamaktadır.

#### 4. Tam BR'ye ilişkin piyasa güvenliğinin oluşturulması

Uzun vadede BR cihazlar/sistemler üretilerek piyasaya sunulacaktır. Bu dönemde BR cihazların piyasada bulunması önündeki en büyük problemin, söz konusu cihazların yazılım sertifikasyonun olacağı değerlendirilmektedir. BR cihaz teknolojisinin yeniden ayarlanabilir bir sistem olduğundan, cihaz yazılımının internetten veya şebeke işletmecisinden elde edilen yazılım ile üretim sonrası yeniden düzenlenmesi mümkün olabilecektir. Bu durumda cihaz yazılımında bulunan düzenleyici kuralların değişmesi ve cihazın düzenlemelere aykırı hareketlerde bulunması söz konusu olabilir. Bu çalışmada BR'nin yapısına uygun olarak ilgili yazılım kısımlarının korunması ve mevzuata uygun şekilde yeniden ayarlanabilmesine olanak veren bir model önerilmiştir. Bu kapsamda, Şekil 2'de uzun vadede BR cihazların piyasaya sürülmesi ve çalışmasına ilişkin BR süreci paydaşlarından tedarikçi, düzenleyici, şebeke yöneticisi ve kullanıcının muhtemel sorumluluklarına ilişkin iş akışları gösterilmektedir. Söz konusu şemadaki iş akışları ise Tablo 1'de açıklanmaktadır.

Uzun vadeli dönemde sunulması muhtemel BR hizmetinin kabul edildiği uygulama örneğinde;

- ✓ İşletmeci merkezi telsiz yönetim birimi tarafından yönlendirilen BR ortamının çok hızlı ve güçlü işlemciler ile donatıldığı ve gerçek zamanlı olarak tüm BR kontrolünün gerçekleştirildiği varsayılmaktadır. Benzer işlemci özelliklerinin BR cihazlarında da bulunduğu varsayılmaktadır.
- ✓ Tüm BR sürecini sorunsuz kaldırabilen gerçek zamanlı bir yapay zekâ yazılımının oluşturulduğu ve ilgili donanımın söz konusu yazılımla bütünlük arz ettiği varsayılmaktadır.
- ✓ BR cihazdan merkezi telsiz yönetim birimine gönderilen yer ve zamana bağlı frekans doluluk bilgilerinin güvenilirliğine ve iletim protokolüne ilişkin standart mevcut durumda belirli değildir. Ancak söz konusu problemin tamamen çözüldüğü varsayılmaktadır.



Şekil 2. BR cihazın piyasaya sürülmesi ve çalışması süresince öngörülen sorumluluk görev şeması

Table 1. BR cihazın piyasaya sürülmesi ve çalışmasına ilişkin öngörüle paydaşlara ait sorumluluk iş akışları

İş Akışı	Açıklama
T1, D1	Tedarikçi tarafından BR cihaz henüz piyasaya sürmeden önce cihazın donanım ve yazılım özelliklerinin neler olacağına dair bilgilendirme (Muhtemel senaryolar dahilinde başvurular Onaylanmış Kuruluşa da yapılabilir) yapılır. Ayrıca cihazın yazılım ve donanım bileşenlerine ilişkin elektronik imza Düzenleyici, ilgili cihaz donanım ve yazılım özelliklerinin uygun olduğuna dair bilgi dönüşü yapılır. Eksikler varsa bunlar belirtilir.
T2	Tedarikçi BR cihazın Bilışsel mekanizmasına elektronik imza ve elektronik kimlik numarasıyla birlikte donanım ve yerleşik bilişsel yazılım bileşenlerini yükler. Söz konusu yerleşik bilişsel yazılıma ait elektronik kimlik numarası ayrıca düzenleyici kurum ve şebeke yöneticisine iletir.

İş Akışı	Açıklama
T4	Tedarikçi düzenleme kutusuna düzenleyici kurumun yükleyeceği kurallara ilişkin teknik altyapı yazılımı oluşturur. Bununla birlikte ihtiyaç duyulursa, düzenleyici tarafından yüklenmesinin uygun görüldüğü tedarikçiyi ilgilendiren teknik özelliklere ait yazılım da yüklenebilir.
T5	Tedarikçi BR cihazda haberleşme tekniklerine ait tüm yazılımı donanımla birlikte cihaza yükler. Söz konusu yazılım <b>yerleşik sistem yazılımı</b> ile <b>dinamik sistem yazılımı</b> uygulamasını içerir. Yerleşik sistem yazılımında tedarikçinin elektronik imzasına ve elektronik kimlik numarasına yer verilir. Bu bilgiler ayrıca düzenleyiciye ve şebeke yöneticisine gönderilir.
T3	Tedarikçi üretilen ve düzenleyici kurum tarafından piyasaya sürülmesine onay verilen cihazın yerleşik bilişsel yazılımı ve yerleşik sistem yazılımına ait elektronik kimlik numaralarını şebeke yöneticisine iletilir. Ayrıca cihazların <b>dinamik bilişsel yazılımının</b> çalışma prensipleri ve algoritması da şebeke yöneticisine iletilir. Cihazın söz konusu yapılarıyla uyumlu çalışacak veritabanı yazılımları ve arayüzleri düzenleyici kurum onayı alındıktan sonra şebeke yöneticisine iletilir.
D2	Tedarikçi tarafından düzenleyici kuruma iletilen cihaz özelliklerine bağlı olarak <b>yerleşik düzenleme yazılımı</b> (uzay ve zamandan bağımsız olarak temel düzenleyici kuralları içerir) düzenleyici tarafından (veya düzenleyici kurumun belirlediği kuruluşlar tarafından) cihazın düzenleme kutusuna yüklenir. Yüklenen yerleşik yazılıma ilişkin elektronik kimlik numarası şebeke yöneticisine iletilir.
D3	Düzenleyici cihazların yerleşik düzenleme yazılımlarına ilişkin elektronik kimlik numaralarını şebeke yöneticisine gönderir. Ayrıca dinamik düzenleme kuralları çalışma prensipleri ve algoritması da şebeke yöneticisine gönderilir.
Ş1	Muhtemel senaryolar kapsamında olmak üzere; eğer uzay ve zaman değişikliğine bağlı olarak, eğitilmiş YSA veya bulanık mantık kuralları uygun performans gösteremeyecek ise, yeni konum ve zamana uygun dinamik bilişsel yazılım cihaza şebeke yöneticisi tarafından yüklenir. Ancak yerleşik bilişsel yazılım cihazda korunur.
Ş2	BR cihazın bulunduğu konum ve zamana bağlı olarak sorumlu bulunacağı düzenleme kuralları şebeke yöneticisi tarafından cihaza yüklenen <b>dinamik düzenleme bilgileri</b> ile sağlanır. Ancak cihazda bulunan yerleşik düzenleme yazılımı aynen korunur. Bununla birlikte şebeke yöneticisi tarafından cihazın düzenleme kuralları dışında çalıştığına tespit edilmesi durumunda söz konusu yasa dışı kullanıma ilişkin bilgi ve belgeler şebeke

İş Akışı	Açıklama
	yöneticisi tarafından düzenleyici kurum ve tedarikçiye bildirilir.
K	Tedarikçi tarafından kullanıcının hizmet kalitesi, maliyet ve hizmet tercihlerini kendisinin belirlemesi amacıyla <b>dinamik sistem yazılımının</b> değiştirilmesi opsiyonu kullanıcıya bırakılır. Kullanıcı bu tercihleri manuel olarak ayarlayarak istediği özellikte haberleşme hizmeti alabilecektir.

Şekil 2’de ve Tablo 1’de verilen iş akışının dışında, cihazın kullanımı süresince yerleşik yazılımların değişimini gerektirecek durumlarda şebeke yöneticisi uyarısıyla cihaz sistemden düşürülür ve düzenleyici, kullanıcı ve tedarikçinin bilgilendirilmesi suretiyle bütün süreç tekrar başlatılır. Cihazın donanımı korunmak suretiyle yerleşik yazılımlar sorumlu kuruluşlar tarafından yeniden yüklenir ve yazılımı değiştirilmiş cihazın her bir yerleşik yazılımı için elektronik kimlik numaraları yenilenerek şebeke yöneticisine iletilir.

Bununla birlikte; cihazın kullanımı süresince, şebeke işletmecisi tarafından cihazın yerleşik yazılımlarının değiştirilmesine ve/veya cihazın yasadışı düzenleme kurallarına göre hareket etmesine yönelik elektronik kimlik numaraları bilgileri göz önünde bulundurulmak suretiyle dinamik olarak kontrol sağlanmalıdır.

#### 4. Sonuç

Kıt kaynak kullanımında verimliliğin dikkate alınmasına yönelik artan çabalar düşünüldüğünde, BR teknolojilerinin spektrum kullanımına getireceği verimlilik artışları nedeniyle yoğun ilgi görmesinin kaçınılmaz olduğu düşünülmektedir. Henüz olgunlaşma süreci devam eden bu teknolojinin gelişmesine Türkiye’nin de önemli katkılar sağlaması mümkün görülmektedir.

Bu çalışmada, uzun vadeli dönemde teknik problemlerinin aşılacak piyasaya sürüleceği öngörülen BR cihazların ilgili bölümlerinde gömülü bulunan ve değiştirilebilir olan yazılımların hangi kurallar ve yetkiler çerçevesinde değiştirilebilir ve/veya silinebilir olduğu hususuna ilişkin olarak bir model önerilmiştir. Bu modelin oluşturulması ve uygulanabilir olması için düzenleyici otoriteler, cihaz imalatçıları ve şebeke işletmecilerinin sürekli ve dinamik olarak birbirleriyle ve sistemle irtibatlı olması gerektiği değerlendirilmektedir.

#### Kaynakça

[1] Mitola J. Maguire G. Q, 1999, Cognitive radio: Making Software Radios More Personal, IEEE Personal Communications, vol:6, issue:4, ss: 13-18



- [2] Çiçek M., Urfaloğlu R., Paçacı, K. K., 2008, Bilişsel Radyoda Spektrum Sezme İşlemine Yönelik Yaklaşımlar, Haberleşme Teknolojileri ve Uygulamaları Sempozyumu, HABTEKUS'2009, İstanbul.
- [3] Çiçek M., Bilişsel Radyo Teknolojisi ve Düzenleme Perspektifi, 2011, Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu Bilişim Uzmanlık Tezi, Ankara, s. 14-18.
- [4] Haykin S., Cognitive Radio: Brain-Empowered Wireless Communications, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2005, vol: 23, issue: 2, ss:201-220
- [5] Çiftlikli C., Özşahin A., Tuncer A., 2008, Spektrum Sezme Teknikleri ve Bilişsel Radyo Teknolojisi, 2008, HABTEKUS'08, İstanbul.
- [6] Radio Spectrum Policy Group, Radio Spectrum Policy Group Report on “Cognitive Technologies”, 2010, Doküman no: RSPG10-306
- [7] IEEE 802.22 Wireless Regional Area Networks-Enabling Rural Broadband Wireless Access Using Cognitive Radio Technology, doküman no: IEEE 802.22-10/0073r03.