İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KAVRAMSAL RADYO SİSTEMLERİNDE YAPAY SİNİR AĞINA DAYALI KANAL SEÇME YÖNTEMİ TASARIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Esra GÜNEY

Anabilim Dalı : Bilgisayar Mühendisliği

Programı : Bilgisayar Mühendisliği

HAZİRAN 2009

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KAVRAMSAL RADYO SİSTEMLERİNDE YAPAY SİNİR AĞINA DAYALI KANAL SEÇME YÖNTEMİ TASARIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Esra GÜNEY
(504061513)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 04 Mayıs 2009
Tezin Savunulduğu Tarih : 09 Haziran 2009

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Feza BUZLUCA (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. A. Emre HARMANCI (İTÜ)
Doç. Dr. Selçuk Paker (İTÜ)

HAZİRAN 2009

Aileme,

ÖNSÖZ

Tez çalışmam boyunca, her zaman yapıcı olan önerileriyle bana verdiği destek ve anlayışı için tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Feza BUZLUCA'ya en içten teşekkürlerimi sunuyorum. Yüksek lisans öğrenimim boyunca kendisinden ders alma fırsatına sahip olmaktan ve kendisi gibi işine değer veren, saygı duyan ve her şeyden önce işini severek yapan birini tanımaktan ötürü kendimi şanslı gördüğümü özellikle vurgulamak istiyorum. Kendisinin şahsında, öğrenim hayatım boyunca bana emeği geçen tüm öğretmenlerime teşekkür ediyorum.

Hayatımın her aşamasında bana destek olan ve inanan, beni yaptığım her işte yüreklendiren ve başarıya ulaşmamı sağlayan aileme bana güvendikleri ve her zaman yanımda oldukları için çok teşekkür ediyorum. Tez çalışmam süresince göstermiş olduğu destek ve anlayışı için Ömer Faruk Kurt'a teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca yüksek lisans eğitimim boyunca bana finansal destek sağlayan TÜBİTAK'a teşekkür ediyorum.

Haziran 2009 Esra Güney

(Bilgisayar Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **iii**
İÇİNDEKİLER ..... **vii**
KISALTMALAR ..... **ix**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xi**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xiii**
ÖZET ..... **xv**
SUMMARY ..... **xvii**
1. GİRİŞ **1**
1.1 Tezin Amacı 2
1.2 Literatür Özeti 2
1.3 Hipotez 6
1.4 Tezin Bölümleri 6
2. KAVRAMSAL RADYOYA GENEL BAKIŞ **9**
2.1 Kavramsal Yeteneği 9
2.1.1 Spektrum sezme 10
2.1.2 Spektrum Yönetimi 10
2.1.2.1 Spektrum Analizi 11
2.1.2.2 Spektrum seçme 12
2.2 Yeniden Ayarlanabilirlik 12
3. YAPAY SİNİR AĞLARINA GENEL BAKIŞ **13**
3.1 YSA Özellikleri 13
3.2 Yapay Sinir Ağlarının Yapısı 14
3.3 YSA Sınıflandırılması 16
3.3.1 Yapılarına göre YSA 16
3.3.2 Öğrenme algoritmalarına göre YSA 17
3.3.3 Öğrenme zamanına göre 17
3.4 YSA Dezavantajları 18
3.5 Kullanım Alanları 19
4. GELİŞTİRİLEN SİSTEM VE YÖNTEMLER **21**
4.1 Önerilen Yöntemi Kullanacak Sistem Alt Yapısı 21
4.2 Tasarlanan Yöntem ve Karşılaştırılacak Yöntemler 24
4.2.1 PCR operatör-kanal seçme yöntemi 24
4.2.1.1 Kanal geçişi olasılığının hesaplanması 25
4.2.1.2 Kanal geçişi olasılıkları ile YSA eğitimi 27
4.2.1.3 YSA sorgulanarak ikincil kullanıcı kanal seçilmesi 29
4.2.2 CHEAP operatör-kanal seçme yöntemi 30
4.2.3 RANDOM operatör-kanal seçme yöntemi 30
5. TEZİN BAŞARIMI VE TEST SONUÇLARI **33**
5.1 Kavramsal Radyo Benzetim Programı 33
5.2 Kullanıcıların Yaratılması 35

5.3 Gerçekleştirilen Testler ve Sonuçları 37
5.3.1 İkincil Kullanıcıları Sezen Operatörlerle Bir Güne Ait İkincil Kullanıcı Kanal Geçiş Testi 38
5.3.1.1 Yöntemler tarafından yerleştirilen ikincil kullanıcıların dağılım analizi 40
5.3.1.2 Yöntemlerin uygulanması sonucunda oluşan ikincil kullanıcı kanal geçiş dağılımı 42
5.3.2 İkincil Kullanıcıları Sezmeyen Operatörlerle Bir Güne Ait İkincil Kullanıcı Kanal Geçiş Testi 44
5.3.3 İkincil Kullanıcıları Sezen Operatörlerle Bir Haftaya Ait İkincil Kullanıcı Kanal Geçiş Testi 45
5.3.4 İkincil Kullanıcıları Sezen Operatörlerle Farklı Kanal Sayıları ile İkincil Kullanıcı Kanal Geçiş Testi 46
5.3.5 İkincil Kullanıcıları Sezen Operatörlerle İkincil Kullanıcı Kanal Geçişinden Kaynaklanan Gecikme Testi 46
5.3.6 İkincil Kullanıcıları Sezemeyen Operatörlerle İkincil Kullanıcı Kanal Geçişinden Kaynaklanan Gecikme Testi 48
5.3.7 İkincil Kullanıcıları Sezen Operatörlerle Bağlantı Maliyet Testi 49
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 51
7. KAYNAKLAR 53

KISALTMALAR

KR	**:** Kavramsal Radyo
YSA	**:** Yapay Sinir Ağı
GSM	**:** Mobil İletişim İçin Küresel Sistem (Global Positioning System)
OP_no	**:** ‘no‘ ile numaralandırılmış GSM Operatörü
KRSS	**:** Kavramsal Radyo Servis Sağlayıcısı
BK	**:** Birincil Kullanıcı
İK	**:** İkincil Kullanıcı
PCR	**:** (Probability based Cognitive Radio) Kanal geçiş olasılığına dayalı kavramsal radyo kanal seçme yöntemi

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 5.1 : Örnek operatörler için kullanılan kanal sayıları 37
Çizelge 5.2 : İkincil kullanıcılar sezilebilirken kanal geçişinden kaynaklanan gecikme süreleri 47
Çizelge 5.3 : İkincil kullanıcı sezilemezken kanal geçişinden kaynaklanan gecikme süreleri..... 49

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Ardışık iki zaman için kanal değişim örneği 3
Şekil 3.1 : Yapay sinir ağı katmanları 15
Şekil 3.2 : Yapay nöron yapısı 15
Şekil 4.1 : Tasarlanan sistem 22
Şekil 4.2 : PCR ile kanal seçim yönteminin pseudo kodu 25
Şekil 4.3 : Tasarlanan YSA modeli 28
Şekil 4.4 : Kullanılan YSA transfer fonksiyonları 28
Şekil 4.5 : Operatörlerin YSA ile eğitim grafikleri 29
Şekil 4.6 : CHEAP ile kanal seçim yönteminin pseudo kodu 30
Şekil 4.7 : RANDOM ile kanal seçim yönteminin pseudo kodu 31
Şekil 5.1 : KR benzetim programının bir gün için çalışmasının pseudo kodu 33
Şekil 5.2 : Birincil kullanıcılara kanal atanmasını açıklayan BKİşlet pseudo kodu .. 34
Şekil 5.3 : İkincil kullanıcılara kanal atanmasını açıklayan İKİşlet pseudo kodu 34
Şekil 5.4 : Haftanın günlerine göre operatörlerin ve kavramsal radyo servis sağlayıcısının gün içindeki dakika bazlı kullanıcı sayısı 36
Şekil 5.5 : Operatörlerin pazartesi için birincil kullanıcı deseni 38
Şekil 5.6 : İkincil kullanıcıları sezen operatörlerle bağlantı başına kanal geçişi olma oranı 40
Şekil 5.7 : Operatörlerin pazartesi için boş kanal deseni 40
Şekil 5.8 : CHEAP yöntemi ile ikincil kullanıcıların operatörlere dağılımı 41
Şekil 5.9 : RANDOM yöntemi ile ikincil kullanıcıların operatörlere dağılımı 42
Şekil 5.10 : PCR yöntemi ile ikincil kullanıcıların operatörlere dağılımı 42
Şekil 5.11 : CHEAP yönteminde her bir dakikadaki kanal geçişi olan ikincil kullanıcı sayısı 43
Şekil 5.12 : RANDOM yönteminde her bir dakikadaki kanal geçişi olan ikincil kullanıcı sayısı 43
Şekil 5.13 : PCR yönteminde her bir dakikadaki kanal geçişi olan ikincil kullanıcı sayısı 44
Şekil 5.14 : İkincil kullanıcıları sezmeyen operatörlerle bağlantı başına kanal geçişi olma oranı 45
Şekil 5.15 : Farklı günler için bağlantı başına kanal geçişi olma oranı 45
Şekil 5.16 : Farklı kanal sayıları için bağlantı başına kanal geçişi olma oranı 46
Şekil 5.17 : Operatörler ikincil kullanıcıyı sezerken ikincil kullanıcı kanal geçişinden kaynaklanan toplam gecikme 48
Şekil 5.18 : Operatörler ikincil kullanıcıyı sezemezken ikincil kullanıcı kanal geçişinden kaynaklanan toplam gecikme 49
Şekil 5.19 : Farklı fiyatlandırma politikaları ile ortalama dakikalık maliyet 50

KAVRAMSAL RADYO SİSTEMLERİNDE YAPAY SİNİR AĞINA DAYALI KANAL SEÇME ALGORİTMASI TASARIMI

ÖZET

Günümüze kadar olan kablosuz iletişim teknolojileri, hükümet(Türkiye'de Telekomünikasyon Kurumu) kararı ile gerçekleşen sabit spektrum atama ilkesine dayanmaktadır. Radyo spektrumundan bölgeye ve zamana bağlı olarak ancak %15 ile %85 arasındaki oranlarda fayda sağlanabilmektedir. Sınırlı sayıda boş spektrum kanallarının kalması ve var olan lisanslı spektrum kanallarının verimsiz kullanılması kavramsal radyo (XG Next Generation Networks, Dynamic Spectrum Allocation and Cognitive Radio Networks) fikrinin doğmasına sebep olmuştur.

Kavramsal radyo kavramına göre lisanssız(ikincil) kullanıcılar için spektrum kanallarından iki şekilde servis sağlanabilir.

- Operatörlere lisanslanmış spektrum kanallarından lisanslı(birincil) kullanıcıları rahatsız etmeden servis sağlanır.
- Lisanssız kanallardan servis sağlanır.

Kavramsal radyonun fonksiyonları olan spektrum kanalı algılama(spectrum sensing), spektrum kanalları yönetme(spectrum management), spektrum kanallarını doğru ve adaletli dağıtma(spectrum scheduling), spektrum kanal geçişleri(spectrum handoff) konularında araştırmalar devam etmektedir.

Herhangi bir ikincil kullanıcı lisanslı bir kanalda hizmet alırken, o kanal için birincil bir kullanıcı da istekte bulunursa, ikincil kullanıcı kanalı terk etmek ve boş olan başka bir kanala bir an önce geçiş yapmak zorundadır. Bu geçiş için tekrar boş kanal algılama ve geçiş operasyonları, zaman ve sistem kaynak kaybı anlamına gelir.

Bu tez çalışmasında, ikincil kullanıcılara lisanslı kanallarda servis sağlayacak merkezi bir kavramsal radyo servis sağlayıcısı tasarlanmıştır. Bu tasarımda ikincil kullanıcıların bağlantı istekleri için, lisanslı spektruma sahip olan operatörlerin gün içindeki birincil kullanıcı dağılımları yapay sinir ağı ile analiz edilerek kanal geçiş olasılığı en az olan kanal seçimi yapılmaktadır. Bu karar verme yönteminde ikincil kullanıcıların bağlantı istekleri süresince olası kanal geçiş sayısının düşürülmesi hedeflenmektedir. Böylelikle spektrumun ikincil kullanıcılara da servis vererek daha etkin bir şekilde kullanılması, ikincil kullanıcıların bağlantılarında kanal geçiş sayısı azaltılarak bağlantı süresince oluşacak gecikmenin azaltılması, sistem kaynak kullanımının iyileştirilmesi ve ikincil kullanıcılara sunulan servis kalitesi artırılması sağlanacaktır.

Bu amaçla geliştirilen yeni yöntem, ikincil kullanıcıları rastgele seçilen operatöre ve de en ucuz lisanslı operatöre dağıtan iki yöntemle karşılaştırılmaktadır. Önerilen yöntem daha az kanal geçişine sebep olarak diğerlerine oranla daha iyi performans göstermektedir.

NEURAL NETWORK BASED CHANNEL SELECTION METHOD FOR COGNITIVE RADIO

SUMMARY

Recent wireless communication technologies are based on fixed spectrum policy that is managed by government plans. This policy causes the utilization of the spectrum to decrease and it is measured between 15% and 85% depending to location and time. Concept of XG Next Generation Networks, Dynamic Spectrum Allocation and Cognitive Radio Networks is emerged to solve these problems such as limited available channels and inefficient use of present licensed channels.

In accordance with Cognitive Radio, two types of services are supported to unlicensed (secondary) users, (1) services at licensed channels of GSM Operators without disturbing licensed (primary) users and (2) services at unlicensed channels.

Researches on cognitive radio functions, which are spectrum sensing, spectrum management, spectrum scheduling and spectrum handoff are keep going.

While any secondary user served at a licensed channel, if a primary user wants to use this licensed channel, then secondary user must leave this channel as soon as possible. Sensing and searching one more time for a new channel cause delaying on secondary user connections and wasting system resources by handoff process.

In this thesis, a central cognitive radio base station serving secondary users at licensed channels is designed. For channel requests of secondary users, channel selection is done by analyzing daily primary user distribution patterns of licensed GSM operators with the help of artificial neural network method. In this channel selection method, it is aim to decrease handoff count during connection requests of secondary users. As a result of this method, spectrum utilization will increase by serving secondary users, delay of secondary user connections will decrease, using of resources will be optimized and quality of service will increase. The proposed method is designed and implemented. For measuring and comparing the performance of proposed method, two other methods are implemented which are random operator selection and cheapest operator selection methods.

1. GİRİŞ

Geleneksel kablosuz ağ iletişiminde hükümet tarafından spektrum kanalları operatörlere lisanslanmaktadır. Geçmişte spektrum kanalları yeterli hizmeti sağlayabilirken zamanla artan mobil servisler için spektrum kanalları yetersiz kalmaktadır. Aynı zamanda spektrum kanalları, lisansını alan operatörler tarafından tam kapasite ile kullanılamamaktadır. Ancak %15 ile %85 arasındaki oranlarda fayda sağlanabilmektedir [1]. Bu sorunlara ilk çözüm fikri 1999 yılında Joseph Mitola III tarafından ortaya atılmıştır. Spektrum havuzu ve paylaştırılması fikri DARPA XG ve ORACLE projelerinde ilk kez denenmiş ve sonrasında daha etkin bir çözüm olarak spektrumun yönetimi ve spektrum kanallarının dinamik olarak kullanıcılara atanması anlamına gelen kavramsal radyo kavramı geliştirilmiştir [2,3]. Lisanslı operatörler üzerinden iletişim kurabilen kullanıcılar birincil kullanıcı (primary user), lisanslı kullanıcıların kullandığı spektrum kanallarındaki boşluklardan yararlanıp, birincil kullanıcıları rahatsız etmeden kullanmaya çalışan kullanıcılar da ikincil kullanıcı (secondary user, cognitive radio) olarak adlandırılmaktadır.

Her bir ikincil kullanıcı terminali 4 önemli işlevi yerine getirmekle sorumludur. Bunlar; kullanılmayan kanalları bulmak, boş olan bu kanallar arasından kullanıcı istekleri ile örtüşen kanalı belirlemek, diğer kavramsal radyo terminalleri ile kanallara erişim sırasında uyum içerisinde çalışmak ve çalıştığı kanaldaki olası birincil kullanıcılar sezildiğinde o kanalı terk edebilmektir [1].

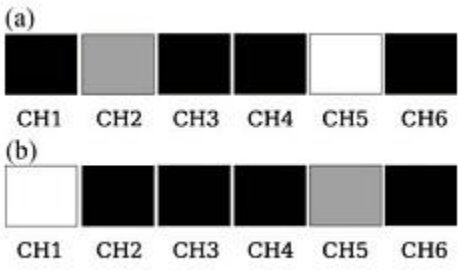
1.1 Tezin Amacı

Kavramsal radyo fikri ortaya çıkısından bu yana bilimsel çalışmalarda ilgi görmüş ve üzerine çalışılan bir konu olmuştur. Dinamik spektrum yönetiminin en can alıcı noktalarından biri de spektrum kanallarının ikincil kullanıcılar arasında paylaştırılması olmuştur. Spektrum paylaştırma konusu spektrum kaynaklarının değerli oluşu, kaynakların verimli kullanılmak istenmesi ve ikincil kullanıcıların iletişiminde gecikmenin ve zaman kayıplarının önlenmesi açısından önem taşımaktadır. İkincil kullanıcı için, bağlantısı sırasında servis aldığı kanala birincil kullanıcının gelme ihtimali olan kanalın atanması, gereksiz kanal geçişine sebep olacak, böylelikle bu değerler ihlal edilecektir. Tez çalışmamızın amacı, ikincil kullanıcılar için spektrum atama işleminde boş kanalı olan lisanslı operatörler arasından seçim yapılırken operatörlerin geçmiş birincil kullanıcı trafikleri değerlendirilerek, ikincil kullanıcının kanal geçişine uğramaması için en uygun kanala karar veren yöntemi merkezi bir sistemle sunmaktır. İkincil kullanıcı terminalleri, kavramsal radyo işlevlerini yerine getirmesi için normalden daha fazla enerjiye ve daha pahalı donanıma ihtiyaç duyarlar [4]. Ayrıca terminallerin diğer ikincil kullanıcılar hakkında bilgi edinme ve bu bilgileri değerlendirme yetenekleri kapasiteleri ile kısıtlıdır. Bu sebeplerden dolayı ikincil kullanıcılar için kanal seçme ve paylaştırma işlemi merkezi bir sistemle yapılmalıdır [1,5].

1.2 Literatür Özeti

Dinamik spektrum yönetimi kavramsal radyodaki çözülmeyi bekleyen sorunlardan en önemlilerinden biridir [6-9]. Dinamik spektrum yönetiminin temel prensibi birincil kullanıcılar tarafından kullanılmayan frekans kanallarını kullanmaktır. Dinamik spektrum yönetimi kullanıcıların hareket etmesi ve anlık olarak iletişimi durdurup başlatabildikleri için oldukça dinamik bir problemdir. Bu yüzden spektrumun dağıtılması zaman ile değişmektedir.

Dinamik spektrum yönetimindeki en önemli husus boş olan spektrum kanallarının ikincil kullanıcılara nasıl atandığıdır. İkincil bir kullanıcı iletişime geçmek istediği zaman sistem boş olan frekans kanallarından birini seçer ve kullanıcıya atar, o kanal boş olduğu sürece kullanıcı iletişimini o kanaldan devam ettirebilir. Eğer o kanal üzerinde birincil bir kullanıcı fark edilirse, ikincil kullanıcı hemen o kanalı terk etmelidir. Daha sonra sistem o kullanıcıya uygun olan başka bir kanal atar. Şekil 1.1 bu konuyu anlatan bir örnektir.



Şekil 1.1 : Ardışık iki zaman için kanal değişim örneği

Şekilde kanal seçim anında kanal 2 ikincil kullanıcı tarafından kullanılmaktadır. Bir sonraki kanal seçim anında ise kanal 2 de iletişime başlayan birincil kullanıcı o kanalı kullanan ikincil kullanıcının o kanaldan başka kanala, şekildeki kanal 5'e geçmesine neden olmuştur. Bu arada kanal 1 deki iletişimin bittiği ve kanal 1'inde artık kullanılabilir hale geldiği görülmektedir.

Dinamik spektrum yönetimini zorlaştıran 2 önemli problem vardır. Birincisi sistemin oldukça dinamik olması ve zamanla bütün parametrelerin değişmesidir. Bu değişen koşullara uygun bir yönetim yapmak için bu mekanizmanın oldukça hızlı olması gerekmektedir. İkincisi ise kavramsal ağda atanan her bağlantının en iyi şekilde atanmasıdır. Kavramsal radyo spektrumdan yararlanma oranındaki etkinliği artırmak için spektrumu birincil kullanıcılar ile ikincil kullanıcılar arasında paylaştırmaktadır. Bu konuda farklı birçok yöntem bulunmaktadır. Kural tabanlı spektrum paylaşımı, fiyat tabanlı spektrum paylaşımı, firsatçı spektrum paylaşımı, oyun teorisi tabanlı spektrum paylaşımı ve son olarak da yapay sinir ağı kullanarak spektrum paylaşımıdır.

Fiyat tabanlı kanal paylaşımı görüşünde operatörler kendi lisanslı spektrum kanallarını birincil kullanıcılar kullanmadığı zaman belirli bir süreliğine kavramsal radyo servis sağlayıcılarına açık artırma ile satarlar. Bu yöntemde kavramsal radyolar operatörler ile haberleşerek boş olan spektrum kanallarını kiralarlar [10]. Fiyat tabanlı yöntemlerin çeşitli avantajları ve dezavantajları vardır. Sistemde spektrum sezme ve dinamik kanal yönetimi olmadığından dolayı tasarımı diğer yöntemlere göre daha sadedir ve uygulaması kolaydır. Bu metot şu an cep telefonu operatörleri tarafından uygulanmaktadır ve roaming olarak adlandırılmaktadır. Cep telefonu kullanıcıları kendi servis sağlayıcılarının ağlarını kullanmak yerine diğer servis sağlayıcıların ağlarını kullanır ve bunun karşılığında spektrum kanallarını kullandığı servis sağlayıcıya bir ücret öder. Dezavantajlarından birisi ise diğer operatörlere bağımlı olmasıdır. Kavramsal radyolar ihtiyaç duyulduğunda güvenilir iletişim sağlayabilmelidirler fakat fiyat tabanlı spektrum paylaşımında diğer operatörlere ihtiyaç vardır. Bu nedenden dolayı operatörlerin olmadığı yerde kullanıcılar çalışamazlar ve güvenilir değillerdir [11].

Literatürde spektrum paylaşımı için önerilen bir diğer yöntem ise fırsatçı spektrum paylaşımıdır [6,8,12,13]. Bu yöntemde kavramsal radyolar operatörlerin izinlerine ihtiyaç duymadan boş buldukları kanalları fırsatçı bir şekilde kullanırlar. Bu yöntemde kavramsal radyo birincil kullanıcılar ile iletişime geçmemektedir. Bu yüzden kavramsal radyo sürekli çevreyi izleyerek birincil kullanıcıları tespit etmek ve çakışmaları engellemek zorundadır. Bu yöntemde bir altyapıya ihtiyaç yoktur ve her yerde çalışabilir. Kullanıcılar spektrum sahiplerine bir ücret ödemezler fakat dinamik spektrum yönetim algoritmalarını ve radyo analizlerini kendileri yapmak zorundadırlar. Sistemin dezavantajlarından birisi ise çakışma olma olasılığı sıfır değildir ve kullanıcılar çakışma olma ihtimalini ve ortalama çakışma süresini mümkün olduğu kadar azaltmalıdırlar.

Spektrum paylaşımı için önerilen bir diğer metot ise oyun teorisi kullanan yöntemlerdir. Oyun teorisi kullanılarak kanal seçimi yapılmaktadır. Oyun teorisi kullanarak geliştirilmiş kural tabanlı spektrum sunucusu metodu vardır [14]. Bu sistemde kavramsal radyo operatörleri spektrum ve potansiyel müşteriler için yarış halindedirler. Spektrum kullanıcılara servis sağlayan bütün operatörlere tahsis edilebilir. Kavramsal radyo operatörleri kullandıkları kadar spektrumun ücretini bu sunucuya ödemek ile yükümlüdürler. Kavramsal radyo operatörleri pazarlık tabanlı ödeme yöntemi kullanarak kullanıcıları kendilerine çekmeye çalışırlar [9,15]. Kullanıcıların teklifleri kabul etme olasılığı oyun teorisi yöntemi ile modellenmektedir. Bu model kullanıcıların teklif edilen servisi verilen fiyatta kabul etme ihtimallerini göstermektedir. Operatörler her verdiği teklif için bir kar beklemektedir. Operatörler kendi aralarında yarışarak kullanıcıların kendilerini kullanma olasılıklarını artırmak için verebilecekleri en iyi teklifi vermeye çalışırlar.

Fiyat bazlı spektrum paylaşımı kavramsal radyoda tek başına kullanılabilse de fırsatçı yöntemin eksiklerini tamamlamak amaçlı da kullanılabilir. İkincil kullanıcılar kullandıkları kanalın ücretini ödemeyi kabul etmesi gerekmektedir ve bunun karşılığında pil gücünden ve işletim gücünden tasarruf sağlanabilir. Ek olarak birincil kullanıcılar ile çakışma ihtimalide 0 olur.

Spektrum paylaşımı için önerilen yöntemler merkezi ve dağınık olarak ikiye ayrılır. Merkezi yöntemlerde iyi kanal atama problemi evrensel olarak bütün ağ olarak çözülmektedir. Dağınık yöntemlerde ise iyi kanal atama problemi yerel olarak çözülmektedir. Makine öğrenmesi [6,16-18] ve oyun teorisi [6,19-21] kullanılarak geliştirilmiş güncel dağınık spektrum paylaşımı yöntemleri önerilmektedir. Bunların dışında sezgisel yaklaşımlar, kural tabanlı mimariler genetik algoritmalar, markov zincirleri, yapay sinir ağı gibi yapay zeka yöntemleri kullanılarak dinamik spektrum seçme konusunda birçok çalışma yapılmıştır ve yapılmaya devam etmektedir.

1.3 Hipotez

Bu tez çalışmasında, GSM operatörleri tarafından lisanslanmış ancak verimli kullanılmayan spektrum boşluklarından yararlanarak ikincil kullanıcıların iletişim isteklerini gerçekleştiren merkezi bir kavramsal radyo servis sağlayıcısı tasarlanmıştır. Tasarlanan kavramsal radyo servis sağlayıcısı(KRSS), ikincil kullanıcılar için GSM operatörlerinin boş kanalları arasından kanal geçişi olma ihtimali en az olan kanalı seçme işleminden sorumludur. Seçme işleminde operatörlerin geçmiş bilgilerinden birincil kullanıcı görülme sıklığı yapay sinir ağı yöntemi ile analiz edilmektedir. Birincil kullanıcı analizinin sebebi ikincil kullanıcıların sistemde herhangi bir birincil kullanıcı varlığı sezildiğinde sistemi terk etmek zorunda oluşudur. Analiz sonuçlarına göre önerilen kanal seçme mekanizması ile ikincil kullanıcılara en az kanal geçişi ve gecikme oluşacak şekilde spektrum kanalları paylaştırılmaktadır. Böylelikle ikincil kullanıcıların iletişimleri sırasında istenmeyen bir işlem olan kanal değiştirme sayılarında iyileştirme hedeflenmektedir. Bu iyileştirme ile yeniden spektrum algılama zamanı ve gereksiz sistem kaynak israfının önüne geçilmekte ve ikincil kullanıcılara sunulan servis kalitesi artmaktadır. Bu amaçla geliştirilen yeni yöntem, ikincil kullanıcıları rastgele seçilen operatöre ve de en ucuz lisanslı operatöre dağıtan iki yöntemle karşılaştırılmaktadır. Önerilen yöntem diğerlerine oranla daha az kanal geçişine sebep olarak daha iyi performans göstermektedir.

1.4 Tezin Bölümleri

Bir sonraki bölümde, kavramsal radyo konusunda tanımı, özellikleri ve alt modülleri hakkında bilgilendirilme yapılıp detaylı olarak modüller incelenecektir.

Üçüncü bölümde, yapay sinir ağları hakkında bilgilendirilme yapılıp, bu konuda geliştirilmiş yöntemler, çalışma prensipleri, üstün yanları ve eksiklikleri tanıtılmaktadır.

Dördüncü bölümde, tez kapsamında geliştirilen sistem, önerilen yöntem ve karşılaştırma amaçlı kullanılan yöntemlerin tanıtımı yapılmıştır.

Beşinci bölümde, geliştirilen yöntemlerin yazılım başarımı test edilmiş, test ölçütleri ve sonuçları verilmiştir. Ayrıca test yöntemi ile ilgili detaylı bilgiye ve testin hangi test verileriyle yapıldığına da yer verilmiştir.

Son bölümde, elde edilen sonuçları değerlendirilerek yapılan çalışma özetlenmiştir. Ayrıca gelecek araştırmalar için öneriler sunulmuştur.

2. KAVRAMSAL RADYOYA GENEL BAKIŞ

Geleneksel ses haberleşmesinden multimedya tipi uygulamalara geçişte daha geniş bant genişliğine ihtiyaç duyulmaya başlandı. Frekans spektrumunun sınırlarından dolayı mevcut frekans atama yöntemleri artan geniş bant ihtiyaçlarını karşılayamaz hale geldi. Boş spektrumu kullanabilen yeni yöntemlere ihtiyaç vardı. Lisanslı kullanıcılar tarafından yoğun olarak kullanılmayan frekans bantlarının fırsatçı bir şekilde kullanılmasına olanak sağlayan Kavramsal Radyo kavramı ortaya atıldı [1,22]. Bu tezde kavramsal radyo tanımı olarak Birleşik İletişim Komisyonu (Federal Communications Commission, FCC) tarafından verilen tanımı baz aldık. Kavramsal radyo kendi elektromanyetik çevresini sezebilen, verimi arttırmak, çakışmayı azaltmak, birlikte çalışabilirliği kolaylaştırmak ve ikincil marketlere erişebilirliği sağlamak için kendi radyo parametrelerini dinamik ve otomatik olarak ayarlayabilen bir radyo ya da sistemdir [22].

Kavramsal radyodaki en önemli aktörler birincil ve ikincil kullanıcılardır. Birincil kullanıcılar önceliği olan ya da spektrumun belirli bölümlerinin kullanılması konusunda yasal haklara sahip olan kullanıcılardır. Diğer taraftan ikincil kullanıcılar birincil kullanıcılara göre daha az önceliğe sahiptir ve birincil kullanıcıların frekans kanalları ile çakışmayacak şekilde boş spektrum kanallarını kullanmalıdırlar. Bu nedenden dolayı ikincil kullanıcıların özel kavramsal radyo yeteneklerine sahip olması gerekmektedir. Bu yetenekler birincil kullanıcıların kullanmadığı boş kanalları sezme ve boş spektrum kanallarını kullanmak için radyo parametrelerini ayarlamasıdır. Bu özellikleri kavramsal yetenek ve yeniden ayarlanabilirlik yeteneği olarak da tanımlayabiliriz. Sonraki bölümlerde bu özellikleri detaylı bir şekilde inceleyeceğiz.

2.1 Kavramsal Yeteneği

Kavramsal radyo etrafındaki radyo ortamını sürekli dinleme ve değerlendirme yeteneğine sahiptir. Bu yetenek, ortamdaki radyo sinyallerinin güç seviyelerini anlamlandırmanın yanı sıra birincil kullanıcıları rahatsız etmeden havadaki geçici

uzaysal değişiklikleri takip edebilen teknolojilere dayanmaktadır. Spektrum sezme ile başlayıp, kanalların analizi ve seçme işlemi ile devam eden kavramsal radyo döngüsü olarak adlandırılmaktadır. Bu döngü ile dinamik ortam değişikliklerine uyum sağlanır.

2.1.1 Spektrum sezme

Kavramsal radyo kavramının ortaya atılmasından beri spektrum sezme en önemli öğelerden birisi olmuştur. Spektrum sezmeyi spektrumun kullanımından ve spektrumun belirli bir bölgesindeki birincil kullanıcıların varlığından haberdar olma eylemi olarak açıklayabiliriz. Bu spektrum sezme eylemi yer ve veritabanı, işaret sinyalleri veya yerel spektrum sezme yöntemleri kullanılarak sağlanabilir [23-25]. İşaret sinyalleri kullanıldığı zaman spektrumun doluluğu bildirilebildiği gibi kanalların kalitesi de aktarılabilir. Fakat kavramsal radyo tarafından yapılan spektrum sezme daha geniş bir uygulanabilirliğe ve daha az altyapı gereksinimine ihtiyaç duymaktadır [26].

Spektrum sezme normalde radyo frekans enerjisinin ölçülmesi olarak tanımlansa da konu kavramsal radyo olunca spektrum kullanım bilgilerinin elde edilmesi anlamında da kullanılmaktadır. Ek olarak spektrumu meşgul eden sinyallerin modülasyon, dalga boyu, bant genişliği ve taşıyıcı frekansı gibi parametrelerine de karar verilmesini içerebilir. Fakat bu ek hesaplama gücü gerektiren güçlü sinyal analiz etme teknikleri gerektirir.

2.1.2 Spektrum Yönetimi

Kavramsal radyo ağlarında kullanılmayan lisanslı ve lisanssız spektrum kanalları çok geniş bir frekans aralığına yayılmış durumdadır. Spektrum sezme yöntemi ile bu kullanılmayan spektrum kanallarının bulunması zamana, çalışılan frekans ve bant genişliği gibi spektrum kanal bilgilerine göre değişmektedir.

Kavramsal radyo ağları servis kalitesini sağlayabilmek için kullanıcı isteklerine en uygun ve verimli kullanımı artırmaya yönelik spektrum kanalını seçmelidir. Bunun için yeni dinamik spektrum yönetme metotlarına ihtiyaç vardır. Bu metotları üç gruba ayırabiliriz. Bunlar spektrum sezme, spektrum analizi ve spektrum seçmedir. Spektrum sezme öncelikle fiziksel katmanda gerçekleşen bir yöntemdir ve bir önceki bölümde anlatılmıştır. Bu bölümde spektrum analizi ve spektrum seçme konularını incelenecektir.

2.1.2.1 Spektrum Analizi

Kavramsal radyo ağlarındaki boş spektrum kanalları zamana göre değişkenlik gösterirler. Bu yüzden kavramsal radyo kullanıcılarının değişik spektrum kanallarının özelliklerini anlayabilmesi önemlidir. Spektrum analizi değişik spektrum bantlarının özelliklerini sınıflandırarak kullanıcıların ihtiyaçlarına uygun spektrum kanallarından faydalanmalarına olanak sağlar. Kavramsal radyonun dinamik özelliğini anlamak için her bir boş spektrum kanalı birincil kullanıcı yoğunluğu, çalışılan frekans ve bant genişliği gibi spektrum kanal bilgilerine bakılarak analiz edilmelidir. Bu noktada bir spektrum kanalının kalitesine çakışma sıklığı, karışma sıklığı, yol kaybı, kanal hata oranı, veri bağı katmanı gecikmesi ve bağlantı süresi gibi parametrelere bakarak karar verilebilir.

Kanal kalitesini belirleyen parametreleri şöyle özetleyebiliriz. Bazı kanallar diğerlerine göre daha çok kullanılmaktadır. Kullanılmakta olan spektrum kanalları o spektrum kanalının karışma karakterini belirler. Birincil kullanıcılardaki alıcılara bakılarak karışma miktarına bakılarak, kanal kapasitesi hesaplamada kullanılan kavramsal radyo kullanıcılarının çalışması gereken güce karar verilebilir. Sistemin çalıştığı frekans arttığı zaman yol kaybı da artmaktadır. Kullanıcıların iletme gücü sabit kaldığı için yüksek frekanslardaki iletme uzaklığı da azalmaktadır. Yol kaybını azaltmak için iletme gücünün arttırılması diğer kullanıcılar arasında daha çok karışmaya neden olmaktadır. Kanal hata oranı da modülasyon planı ve kanal karışma bilgisine bağlı olarak değişmektedir. Değişik spektrum kanallarında değişik veri bağı protokollerine ihtiyaç vardır. Buda veri bağı paket iletimi gecikmesine neden olur. Birincil kullanıcıların aktiviteleri kavramsal radyonun kalitesini etkilemektedir. Kavramsal radyo kullanıcısının lisanslı bir kanal üzerindeki iletişiminin kesilmeden önce geçen süreye bağlantı süresi denir. Bağlantı süresi uzadıkça kanal kalitesi artar.

Sık sık olan spektrum geçişleri bağlantı süresini azalttığı için kalitede düşmektedir. Yüksek bağlantı süreli sistemler düşünülürken kullanıcıların spektrum geçiş desenleri düşünülmelidir.

2.1.2.2 Spektrum seçme

Boş olan tüm spektrum kanallarının bilgileri analiz edildikten sonra yapılacak iletişimlerde servis kalitesi ve spektrum özellikleri düşünülerek en uygun kanala karar verilmelidir. Bu yüzden spektrum seçme yöntemi servis kalitesinden haberdar olmalıdır. Kullanıcının ihtiyaçlarına bağlı olarak veri aktarım hızı, kabul edilebilir hata oranı, gecikme sınırları ve bant genişliği gibi parametrelere karar verilmelidir. Birinci bölümde bu konuda yapılan çalışmalara detaylı olarak yer verilmiştir.

2.2 Yeniden Ayarlanabilirlik

İkincil kullanıcılar lisanslı bir kanalı boş olarak algıladığı anda seçip bu kanalda iletişimini gerçekleştirmeye başlayabilir. Ancak birincil kullanıcı da aynı kanal için talepte bulunduğunda ikincil kullanıcının bu durumu algılayabilmesi gereklidir. İkincil kullanıcının, birincil kullanıcıya rahatsızlık vermemek için aynı kanalda kalıp birincil kullanıcı için gürültü olarak algılanacak şekilde iletim güç düzeyini değiştirmesi ya da o kanalı en erken sürede terk etmesi beklenmektedir. İletişimine devam edebilmesi için tekrar spektrum döngüsünün çalışıp, ikincil kullanıcı için yeniden boş kanal atanması gereklidir.

İkincil kullanıcılar değişen radyo ortamına göre mevcut durumdan daha iyi bir kanala geçebilir ya da lisanslı kanalda çalışırken sisteme dahil olan birincil kullanıcı yüzünden spektrum geçişi yapmak zorunda kalabilir. İkincil kullanıcının spektrumda başka bir kanala aktarılmasına spektrum kanal geçişi (spectrum handoff) denmektedir. Geçilecek yeni kanalın özelliklerine göre ikincil kullanıcının iletişim parametrelerini kendisinin yazılımsal ya da donanımsal olarak ayarlayabilmesi gereklidir. İkincil kullanıcılar parametre değişikliklerine göre farklı frekans kanallarında çalışabilmesi için, farklı kanal erişim protokollerini desteklemesi, birincil kullanıcılara rahatsızlık vermemek için farklı güçlerde sinyal seviyelerinde çalışabilmesi ve farklı modülasyon tekniklerini sağlayabilmelidir.

3. YAPAY SİNİR AĞLARINA GENEL BAKIŞ

Matematiksel olarak formülle ifade edilemeyen ve analitik olarak çözülemeyen problemler sezgisel yöntemler ile bilgisayarlar tarafından çözülebilmektedir. Bilgisayarları bu özelliklerle donatma ve yeteneklerinin gelişmesini sağlayan çalışmalar, yapay zeka çalışmaları olarak adlandırılmaktadır. Uzman sistemler, yapay sinir ağları, genetik algoritmalar, bulanık önermeler gibi yapay zeka teknolojileri mevcuttur.

Yapay sinir ağları (artificial neural networks), bilim dalının bilgi işleme ile ilgilenen, programlanması çok zor veya mümkün olmayan olaylar için insan beyninden esinlenerek geliştirilmiş, uyarlanabilir bir bilgisayar bilim dalıdır [27].

3.1 YSA Özellikleri

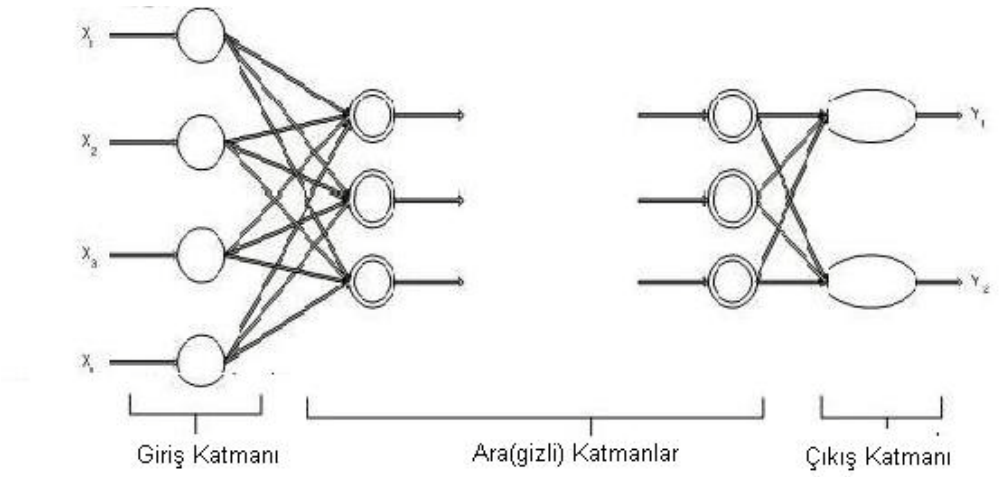
Literatürde 100'den fazla yapay sinir ağı modeli vardır. Yapay sinir ağlarının karakteristikleri uygulanan ağ modeline göre değişmektedir. Ancak genel karakteristik özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir [28].

- Yapay sinir ağları makine öğrenmesi gerçekleştirirler. Olayları öğrenerek benzer olaylar karşısında benzer kararlar vermeye çalışırlar. Bu tez çalışmasında bu nedenle yapay zeka kullanılmıştır.
- Programları çalışma sitili bilinen programlama yöntemlerine benzememektedir. Geleneksel programlamadan ve diğer yapay zeka yöntemlerinden farklıdır.
- Bilgileri ağın bağlantılarında saklarlar. Bu nedenle ortaya çıkartılması ve yorumlanması zordur.
- Yapay sinir ağları örnekleri kullanarak öğrenir. Örnekler ise gerçekleşmiş olaylardır. Bu örnekler kullanılarak olay hakkında genelleme yapabilirler. Elde edilen örneklerin olayı bütün yönleri ile göstermesi ağın başarısını artıracaktır, bu nedenle örneklerin oluşturulması ve toplanması yapay sinir ağı bilimi açısından önemlidir.

- Güvenle çalıştırılması için önce eğitilmeleri ve performansının test edilmesi gereklidir.
- Görülmemiş örnekler hakkında bilgi üretebilirler. Bu tez çalışmasında YSA kullanmış olmanın sağladığı önemli yararlardan biri de bu maddedir.
- Şekil (örüntü) ilişkilendirme ve sınıflandırma yapabilirler.
- Kendisine gösterilen yeni durumlara adapte olma ve sürekli yeni olayları öğrenmesi mümkündür.
- Eksik bilgi ile çalışabilirler. Eğitimi tamamlandıktan sonra gelen yeni örneklerde çalışmaya devam edebilirler. Halbuki geleneksel yöntemlerde bu mümkün değildir. Bu durumda performans değişimi eksik bilginin önemine bağlıdır. Önemli bir bilgi değilse performans kaybı yaşanmaz. YSA'lar belirsiz, tam olmayan bilgileri işleyebilmektedir.
- Hatalara karsı toleranslıdırlar. Ağda bir ya da daha fazla hücre bozulsa bile toleranslı davranabilirler. Ancak önemli bir hücre bozulur ise performans kaybı yaşanabilir. Hangi hücrenin önemli olduğu ise ağın kullanıcıya sunmadığı bir bilgidir. Bu nedenle yorumlanamaz.
- Hataya toleranslı olduklarından dereceli olarak bozulurlar.
- Dağıtık belleğe sahiptir. Hücrelerin birbiri ile olan bağlantıları ağın bilgisini gösterir. Tek bir bağlantının anlamı yoktur. Bu nedenle bilgiler ağa dağılmış durumdadır.
- Sadece nümerik bilgiler taşımaktadır.

3.2 Yapay Sinir Ağlarının Yapısı

Yapay sinir hücreleri aralarında bağ kurarak yapay sinir ağlarını oluştururlar. Yapay sinir ağları Şekil 3.1 de gösterildiği gibi giriş katmanı, ara katmanlar ve çıkış katmanı olmak üzere 3 ana bölümden oluşur. Giriş katmanında dış dünyadan gelen girdiler genelde işlenmeden ilk ara katmana iletilir. Giriş katmanından gelen veriler ara katmanlarda işlenirler. Problemin karmaşıklığına göre ara katman sayısı ve bu katmanlardaki yapay sinir hücre sayısı değişebilir. Ara katmanın çok olması karmaşıklık ve işlem süresini arttırır. Çıkış katmanı ise ara katmandan gelen verileri işleyerek dış dünyaya sonuçları veren yapay sinir hücrelerinin bulunduğu katmandır.



Şekil 3.1 : Yapay sinir ağı katmanları

Yapay sinir hücreleri yapı olarak biyolojik nöronlara benzemektedirler. Bu nedenle yapay nöron olarak da adlandırılırlar. Aynı biyolojik nöronlarda olduğu gibi yapay nöronların da giriş sinyallerini aldıkları, bu sinyalleri toplayıp işledikleri ve çıktıları ilettikleri bölümleri bulunmaktadır. Bir yapay nöron Şekil 3.2 de gösterilen beş bölümden oluşmaktadır. Bu bölümler aşağıda açıklanmaktadır.



Şekil 3.2 : Yapay nöron yapısı

1.Girdiler(X), bir diğer yapay nöron ya da dış dünyadan nörona gelen verilerdir. Bu girdilerden gelen veriler biyolojik sinir hücrelerinde olduğu gibi toplanmak üzere nöronun çekirdeğine gönderilir.

2.Ağırlıklar(W), girdilerin çıktılar üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla kullanılır. Bu değer girdiler ile çarpılarak çekirdeğe iletilir.

3. Birleştirme fonksiyonu(∑), ağırlıklarla çarpılarak gelen girdileri toplayarak o hücrenin net girdisini hesaplayan bir fonksiyondur. Her nöron bağımsız olarak farklı birleştirme fonksiyonuna sahip olabilir. Birleştirme fonksiyonu toplama fonksiyonu yerine aşağıdakilerden biri olabilir.

   - Çarpım Fonksiyonu

- Maksimum Fonksiyonu
- Minimum Fonksiyonu
- Çoğunluk Fonksiyonu
- Kümülatif Fonksiyonu

4. Aktivasyon Fonksiyonu(F), birleştirme fonksiyonu sonucu oluşan NET değerini ve sonucun sıfır çıkmaması için kullanılan eşik değerini işleyen fonksiyondur. Aktivasyon fonksiyonu genellikle doğrusal olmayan bir fonksiyon seçilir. Yapay sinir ağlarının doğrusal olmama özelliği, aktivasyon fonksiyonlarının doğrusal olmamasından kaynaklanır. Aktivasyon fonksiyonu seçilirken dikkat edilmesi gereken bir diğer nokta ise fonksiyonun türevinin kolay hesaplanabilir olmasıdır. Geri beslemeli ağlarda aktivasyon fonksiyonunun türevi de kullanıldığı için hesaplamanın yavaşlamaması için türevi kolay hesaplanır bir fonksiyon seçilir. Aktivasyon fonksiyonu aşağıdakilerden biri olabilir.
   - Doğrusal Aktivasyon Fonksiyonu
   - Adım Aktivasyon Fonksiyonu
   - Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu
   - Tanjant Hiperbolik Aktivasyon Fonksiyonu
5. Çıktı(Y), aktivasyon fonksiyonunun değeridir. Çıktı değeri dış dünyaya ya da geri besleme olarak ağın içine birden fazla nörona verilebilir.

3.3 YSA Sınıflandırılması

3.3.1 Yapılarına göre YSA

Yapay sinir ağları içerdiği nöronların birbirine bağlanış şekline göre ileri ve geri beslemeli olarak ikiye ayrılır [29].

İleri beslemeli ağlarda nöronlar girişten çıkışa doğru düzenli katmanlar şeklindedir. Bir katmandan sadece kendinden sonraki katmanlara bağ bulunmaktadır. Yapay sinir ağına gelen bilgiler giriş katmanına daha sonra sırasıyla ara katmanlardan ve çıkış katmanından işlenerek geçer ve daha sonra dış dünyaya çıkar. Tez çalışmamızda ileri beslemeli bir YSA kullandık.

Geri beslemeli sinir ağlarında bir nöronun çıktısı sadece kendinden sonra gelen nöron katmanına girdi olarak verilmez. Kendinden önceki katmanda veya kendi katmanında bulunan herhangi bir nörona girdi olarak bağlanabilir. Bu yapısı ile geri beslemeli yapay sinir ağları doğrusal olmayan dinamik bir davranış göstermektedir. Geri besleme özelliğini kazandıran bağlantıların bağlanış şekline göre YSA farkı davranışlar gösterebilir.

3.3.2 Öğrenme algoritmalarına göre YSA

Yapay sinir ağlarının verilen girdilere göre çıktı üretebilmesinin yolu ağın öğrenebilmesidir. Bu öğrenme işleminin de birden fazla yöntemi vardır. Yapay sinir ağları öğrenme algoritmalarına göre danışmanlı, danışmansız ve takviyeli öğrenme olarak üçe ayrılır.

Danışmanlı öğrenme sırasında ağa verilen giriş değerleri için çıktı değerleri de verilir. Ağ verilen girdiler için istenen çıkışları oluşturabilmek için kendi ağırlıklarını günceller. Ağın çıktıları ile beklenen çıktılar arasındaki hata hesaplanarak ağın yeni ağırlıkları bu hata payına göre düzenlenir. Hata payı hesaplanırken ağın bütün çıktıları ile beklenen çıktıları arasındaki fark hesaplanır ve bu farka göre her nörona düşen hata payı bulunur. Daha sonra her nöron kendine gelen ağırlıkları hatayı küçültecek şekilde günceller. Buna geriye yayılım algoritması denmektedir.

Danışmansız öğrenmede ağa öğrenme sırasında sadece örnek girdiler verilmektedir. Herhangi bir beklenen çıktı bilgisi verilmez. Girişte verilen bilgilere göre ağ her bir örneği kendi arasında sınıflandıracak şekilde kendi kurallarını oluşturur. Ağ bağlantı ağırlıklarını aynı özellikte olan dokuları ayırabilecek şekilde düzenleyerek öğrenme işlemini tamamlar.

Destekleyici Öğrenme yaklaşımında ağın her döngüsü sonucunda elde ettiği sonucun iyi veya kötü olup olmadığına dair bir bilgi verilir. Ağ bu bilgilere göre kendini yeniden düzenler. Bu sayede ağ herhangi bir girdi dizisiyle hem öğrenerek hem de sonuç çıkararak işlemeye devam eder.

3.3.3 Öğrenme zamanına göre

Yapay sinir ağları öğrenme zamanına göre de statik ve dinamik öğrenme olarak ikiye ayrılır.

Statik öğrenme kuralıyla çalışan yapay sinir ağları kullanmadan önce eğitilmektedir. Eğitim tamamlandıktan sonra ağ istenilen şekilde kullanılabilinir. Ancak bu kullanım sırasında ağın üzerindeki ağırlıklarda herhangi bir değişiklik olmaz.

Dinamik öğrenme kuralı ise yapay sinir ağlarının çalıştığı süre boyunca öğrenmesini öngörerek tasarlanmıştır. Yapay sinir ağının eğitim aşaması bittikten sonra da daha sonraki kullanımlarında çıkışların onaylanmasına göre ağırlıklarını değiştirerek çalışmaya devam eder.

3.4 YSA Dezavantajları

Yapay sinir ağlarının dezavantajları ise aşağıdaki gibi sıralanabilir [7].

- Probleme uygun ağ yapısı deneme yanılma yoluyla bulunur. Bu nedenle en uygun çözüm garanti edilmez.
- Donanım bağımlı çalışırlar. Ağların en önemli özelliklerinden biri de paralel işlemciler üzerinde çalışabilmeleridir. Özellikle gerçek zamanlı veri işlemleri paralel çalışabilen işlemcilere bağlıdır. Bu şekilde seri çalışmadan kaynaklanan zaman kaybını azaltmış olurlar. Ancak kaç paralel işlemcinin çalıştırılacağı da ağın iç mekanizması gözlemlenemediğinden dolayı deneme yanılma yoluyla elde edilir.
- Bazı ağlarda ağın öğrenme katsayısı, her katmanda olması gerekli işlemci sayısı gibi parametre değerlerinin deneme yoluyla belirlenmesi diğer bir problemdir.
- Sadece nümerik değerlerle çalıştığından dolayı değerlerin ayrık ya da sürekli gösterimi performansı etkilemektedir.
- Ağın eğitiminin hangi şartlar oluştuğunda sonlandırılması gerektiğine dair bir yöntem yoktur. Ağın örnekler üzerindeki hatasının belirli bir değerin altına düşmesi eğitim için yeterlidir. Ancak bu değer belirsizdir.
- En önemli sorun ise ağın davranışlarının açıklanamamasıdır. Bu da ağa olan güveni azaltmaktadır.

3.5 Kullanım Alanları

Yapay sinir ağları endüstriyel, finansal, sağlık, askeri ve savunma uygulamalarında kullanılmaktadır. Bu alanlarda tahmin, sınıflandırma, veri ilişkilendirme, veri filtreleme, teşhis, yorumlama, tanıma ve eşleştirme gibi işlevleri yerine getirmek için kullanılmaktadır.

4. GELİŞTİRİLEN SİSTEM VE YÖNTEMLER

Bu çalışmadaki ana amaç, ikincil kullanıcılar için iletişim kuracakları spektrum kanallarının seçiminde ikincil kullanıcıların bağlantılarının yaşam süreleri boyunca oluşabilecek spektrum kanal geçişi sayısını azaltmaktır. Her spektrum kanalı geçiş işlemi tekrar spektrumun taranması, boş kanalların algılanması ile oluşan iletişim gecikmesine ve sistem kaynaklarının boşa harcanmasına sebep olmaktadır. Ayrıca geçiş işlemi spektrum servis sağlayıcısında da ekstra işleme sebep olacak ve performans kaybına yol açacaktır. Bu sorunu çözebilmek için önerilen yöntem ve bu yöntemi uygulamak için gerekli altyapı ilerleyen bölümlerde açıklanacaktır.

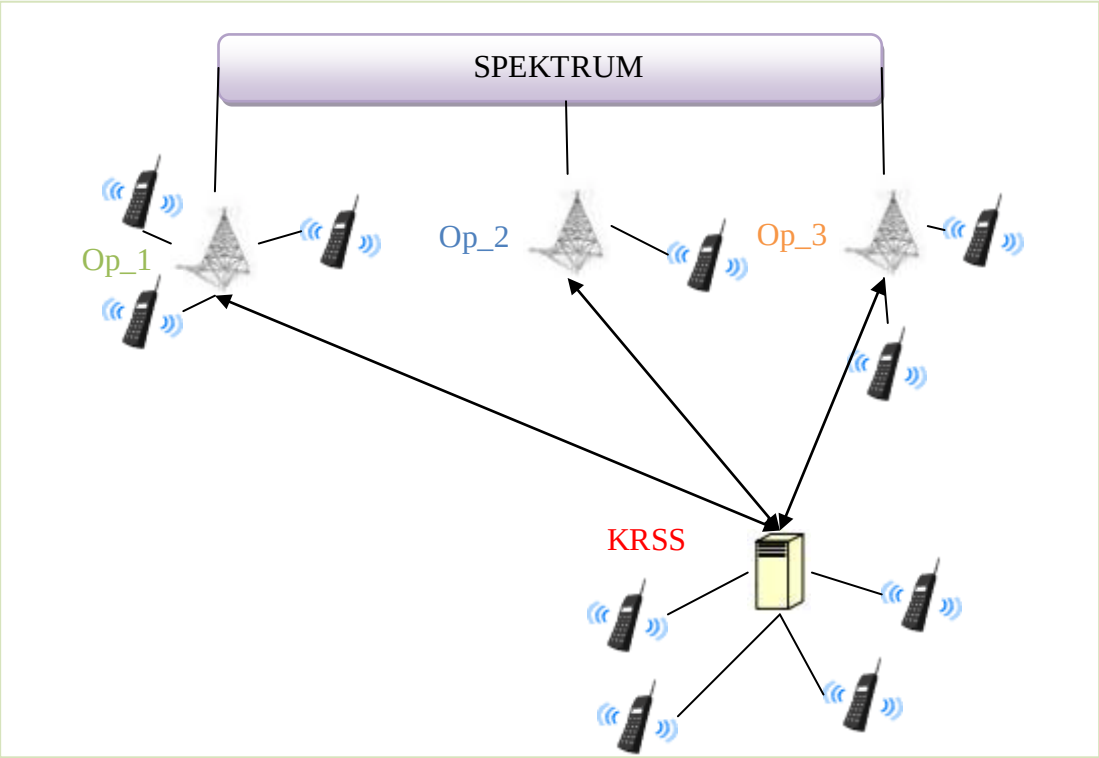
4.1 Önerilen Yöntemi Kullanacak Sistem Alt Yapısı

Tasarlanan kanal seçme yöntemi merkezi bir sistem olan kavramsal radyo servis sağlayıcısı (KRSS) tarafından uygulanabilmektedir. Merkezi bir sistem tasarlanması ile ikincil kullanıcı terminallerinin spektrumu algılaması için daha fazla güç harcamasına ve daha pahalı donanımlara sahip olmasına gerek kalmamaktadır. Aynı zamanda terminallerin spektrum kanallarının geçmiş istatistik bilgileri tutmak için yeterli belleğe sahip olmaması da tasarımda merkezi sistemin tercih edilme sebeplerinden biridir.

Kendisine kayıtlı ikincil kullanıcıların servis alabilmesinden sorumlu olan KRSS, boş kanalı olan GSM operatörleri arasından seçim yapmakta ve ikincil kullanıcıların bağlantı istekleri için seçilen operatörün rastgele bir kanalını tahsis etmektedir. Bunun yani sıra KRSS, ikincil kullanıcı için tahsis ettiği kanala ikincil kullanıcının servis isteği henüz tamamlanmadan, operatörün birincil kullanıcısı gelirse ikincil kullanıcı için yapılması gereken spektrum kanal geçişi işleminden de sorumludur. KRSS, kanal geçişini ancak herhangi bir birincil kullanıcı ikincil kullanıcının servis aldığı kanalı kullanmak istediğinde yapar. Mevcut seçilen kanaldan daha iyi bir kanal belirlense bile kanal geçişi yapılmamaktadır. Önerilen yöntem ve karşılaştırılacak yöntemler KRSS'nin ikincil kullanıcılar için kanal seçiminde kullanılacaktır.

Şekil 4.1 de gösterilen, tasarlanan KRSS sisteminin etkiletişimde bulunduğu ana elemanlar aşağıda listelenmektedir;

- Spektrum ve spektrum kanalları
- Spektrum lisansı için bedel ödemiş olan GSM operatörleri(OP_opNo)
- GSM operatörlerinden servis alan birincil kullanıcılar
- Kavramsal radyo servis sağlayıcısından servis alan ikincil kullanıcılardır.



Şekil 4.1 : Tasarlanan sistem

Tasarlanan sistemde spektrumun aynı özelliklerdeki spektrum kanallarından oluştuğu kabul edilmektedir. Spektrum kanalında ise aynı anda sadece bir kullanıcının servis alabileceği varsayılmaktadır.

Bilindiği gibi spektrum kanalları GSM operatörlerine ihtiyaçları olan kanal sayısına ve ödedikleri bedellere göre paylaştırılmaktadır. Tasarlanan sistemde de birden çok GSM operatörü bulunabilmektedir. Şekil 4.1 de operatörler 'OP_' ve sisteme eklenme sırasını belirten bir sayı ile tanımlanmaktadır.

Birincil kullanıcılar GSM operatörlerine üye olur ve kapsama alanında bulunulan bölgelerde ses, veri, faks ve internet bağlantısı gibi servisler alırlar. Tasarlanan sistemde operatörler, bağlantı isteğinde bulunan birincil kullanıcıları, ikincil kullanıcıları sezip sezemediklerine göre 2 şekilde boş kanallara yerleştirmektedirler. Operatörlerin ikincil kullanıcıları sezip sezemedikleri tasarımda sistem ilk çalıştırıldığında değerlendirilen konfigürasyon parametresi ile tanımlanmaktadır. Sezebiliyorlarsa öncelikle birincil kullanıcılar ve ikincil kullanıcı tarafından kullanılmayan, boş kanallar arasından rastgele seçim yapılır ancak hiç boş kanal kalmadığında ikincil kullanıcıların servis aldığı kanallar arasından seçim yapar ve bir ikincil kullanıcıyı kanal geçişine zorlarlar. Operatörler ikincil kullanıcıları sezemiyorsa, diğer birincil kullanıcıların meşgul ettikleri kanalların dışındaki tüm kanallar arasından rastgele seçer. Operatörlerin sahip olduğu kanal sayısı ve birincil kullanıcı sayısı, KRSS tarafından yapılan kanal seçimlerinde etkilidir. Kanal sayısı fazla olması operatörün seçilme şansını arttırırken, birincil kullanıcı sayısının çok olması azaltmaktadır.

Yeni bir ikincil kullanıcı bağlantısı başlatılmak istendiğinde ya da kanal geçişine zorlanan bir ikincil kullanıcı bağlantısı için yeni kanal atama işlemi gerektiğinde operatörlerin tüm kanalları kullanımda ise ikincil kullanıcının bağlantısı için gerçekleşecek iki durum söz konusudur. Sistemde isteğin geldiği dakika içerisinde diğer kullanıcıların bağlantısının tamamlanıp kanalı boşaltması beklenir. Bu bekleme süresi kuyruk gecikmesi olarak adlandırılmaktadır. Eğer o dakika içerisinde boş kanal oluşmuşsa boşalan kanalda bekletilen (ertelenen) ikincil kullanıcının isteği başlatılır. Ancak o dakika içerisinde hiçbir kanal boşalmazsa kullanıcının isteği iptal edilir.

Operatörlerden servis isteğinde bulunan birincil kullanıcı sayısı güne, gün içindeki zamana, operatörlerin bu zamanlar için yaptığı tarifelere ve hedef kullanıcı özelliklerine göre değişmektedir. Kısaca, her operatörün her gün için, gün içinde değişen birincil kullanıcı sayısı deseni vardır. Bu desen haftanın belli günleri, özel günler ve bayramlar için benzer özellikler taşımaktadır. Bu görüşten yola çıkarak tasarlanan sistemde var olan her operatörün, haftanın her günü için ayrı bir deseni olduğunu kabul edilmektedir. Bu nedenle KRSS, her gün için her bir operatörün birincil kullanıcı sayısını dakika bazında takip edip istatistiksel bilgilerini kaydetmektedir.

4.2 Tasarlanan Yöntem ve Karşılaştırılacak Yöntemler

Bu tez çalışmasında, kavramsal radyo sistemlerinde yapay sinir ağı yöntemi ile lisanslı kanallara sahip olan GSM operatörlerinde ikincil kullanıcı kanal geçiş olasılıkları incelenerek, ikincil kullanıcılara en uygun operatörün kanalını seçmek için PCR yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntemde operatörlerde ikincil kullanıcı kanal geçiş olasılıkları hesaplanırken, operatörlerin günlük birincil kullanıcı yoğunluk deseni değerlendirilmektedir. Sistemin performansını karşılaştırabilmek için ayrıca 2 kanal seçme yöntemi daha gerçeklenmiştir. Bunlar, en ucuz operatörün kanalını seçen CHEAP yöntemi ile operatörler arasında rastgele seçimler yapan RANDOM yöntemidir. Tasarlanan yöntemler temelde operatör seçmeyi hedefler, operatör seçildikten sonra her 3 yöntemde de seçilen operatörün rastlantısal olarak bir kanalı seçilmektedir.

4.2.1 PCR operatör-kanal seçme yöntemi

İkincil kullanıcılar için operatör seçimi yapılırken operatörlerin birincil kullanıcı sayısı ve kanal sayısı önemlidir. İkincil kullanıcı için yapılan bir kanal seçme işleminden sonra, ikincil kullanıcı bu kanalda bağlantı isteğini gerçekleştirmeye başlar. Ancak ikincil kullanıcının bağlantı isteği süresinde herhangi bir anda, ikincil kullanıcı için atanan kanala gelen bir birincil kullanıcı bağlantı isteği, ikincil kullanıcının o kanalı terk etmesine dolayısıyla başka kanala geçiş yapmasına sebep olmaktadır.

Önerdiğimiz yöntemde, sistemdeki her bir operatör için günün tüm dakikalarında (1440 dakika) gelen ikincil kullanıcı bağlantı istekleri için istatistik bilgileri tutulur. Bu istatistik bilgileri her operatörün haftanın 7 gününde de ayrı ayrı tutulmaktadır. Her bir operatör için tutulan istatistik değerleri kullanılarak, operatörün herhangi bir birincil kullanıcısının ilgili operatörde, kanal seçimi yapılan ikincil kullanıcının kanal geçişine sebep olma olasılıkları hesaplanmaktadır.

Her bir operatör için dakika ve o dakikada gelen ikincil kullanıcı bağlantı istek sırasına bağlı olarak hesaplanan olasılık değerlerinin, yapay sinir ağı ile öğrenilmesi sağlanır. Böylelikle her operatörün bir sonraki haftada kullanılmak üzere ikincil kullanıcı kanal geçiş olasılıklarını tahmin edebilen, haftanın her günü için tasarlanmış 7 tane YSA'sı bulunmaktadır. Her gün eğitilen YSA'lar ile günlük değişikliklere adapte olan bir tasarım sağlanmıştır. Operatörler için YSA eğitimleri,

ilgili güne ait sistemin tüm olasılıklarının hesaplanarak KRSS'in en az yoğun olduğu zamanlarda, genelde gün sonunda yapılması önerilmektedir. Böylelikle sisteme YSA'nın işlem maliyeti azalacaktır.

Operatörlere isteğin geldiği dakika için kullanıcı sayısı sorularak boş kanalının olup olmadığına bakılır. Boş kanalı olan operatörlerin YSA'larından sorgulanan kanal geçiş olasılık sorgulama sonuçlarına göre en az kanal geçiş olasılığı olan operatör seçilir. PCR ile kanal seçim yönteminin pseudo kodu Şekil 4.2 de gösterilmektedir.

```
SUBPROCEDURE PCRİleSeçimYap
        INIT boşKanalıOlanOperatörList
        SET seçilenOperatör TO null

        FOR each operatör in the operatörList
                CALL BoşKanalSayısıDön RETURNING boşKanalSayısı
                IF boşKanalSayısı > 0 THEN
                        ADD operatör TO boşKanalıOlanOperatörList
                ENDIF
        END FOR

        SET enAzKanalGeçişOlasılığı TO DOUBLE.MAX
        FOR each operatör in the boşKanalıOlanOperatörList
                CALL YSAdanKanalGeçişOlasılığıDön RETURNING opKanalGeçişOlasılığı
                IF opKanalGeçişOlasılığı < enAzKanalGeçişOlasılığı THEN
                  SET seçilenOperatör TO operator
                  SET enAzKanalGeçişOlasılığı TO opKanalGeçişOlasılığı
                ENDIF
        END FOR

        return seçilenOperatör
END SUBPROCEDURE
```

Şekil 4.2 : PCR ile kanal seçim yönteminin pseudo kodu

Buraya kadar özetlenen PCR yönteminin detayları ilerleyen alt başlıklarda anlatılmaktadır.

4.2.1.1 Kanal geçişi olasılığının hesaplanması

Kanal geçişi olasılığının hesaplaması için her bir ikincil kullanıcı bağlantısı için tutulan istatistik bilgileri aşağıdaki açıklanmıştır;

- *t:* ikincil kullanıcı bağlantı isteğinin geldiği dakikayı belirtir.
- N_t*:* t dakikası içerisinde gelen kaçıncı ikincil kullanıcı bağlantı isteği olduğunu belirtir.
- *KS:* Operatörün kanal sayısını belirtir.

- BKS_t: Operatörün t dakikasındaki birincil kullanıcı sayısını belirtir.
- BKS_{t+1}: Operatörün t+1 dakikasındaki birincil kullanıcı sayısını belirtir.
- $İKS_{t+1}$: t+1 dakikasında N_t. bağlantı isteği yapılırken bu operatöre yerleştirilmiş ikincil kullanıcı sayısını belirtir. Bu değer N_t değerine bağlıdır. Şöyle ki; t den önceki dakikalarda başlamış ve bağlantısı t+1 de devam etmesi planlanan ikincil kullanıcılar ile t dakikasında N_t isteğinden önce başlatılmış ikincil kullanıcı sayısının toplamını ifade etmektedir.

Her bir t ve N_t ikilisi bir ikincil kullanıcı bağlantı isteğini ifade etmektedir. Olasılık hesaplamalarında kullanılacak olan istatistik bilgileri analiz edilmek üzere gün boyu toplanır. Hesaplanan olasılık değerleri ile YSA eğitimi gerçekleştirilir. t ve N_t ikilisine göre yapılan olasılık hesaplaması aşağıda anlatılan mantık üzerine kuruludur.

t dakikasında yeni bağlantı isteği olan N. ikincil kullanıcı için operatör-kanal seçimini yapılırken analiz edilen değer; operatörün t+1 dakikasında yeni bağlantı kurmak isteyen birincil kullanıcılarının, t dakikasında kanal seçimini yaptığımız ikincil kullanıcının bağlantısına devam ederken t+1 dakikasında kanal geçişine sebep olma olasılığıdır.

Tasarıma göre operatörlerden her t dakikasının başında boş kanal sayısı bilgisi sağlanır ve istatistik bilgisi olarak saklanır. Birincil kullanıcı sayısı deseni dolayısı ile birincil kullanıcı sayısını belirten istatistik parametresi burada etkilidir. Operatörün t+1 dakikasında boş kanal sayısı Denklem (3.1) de gösterilmektedir.

$$BosKS_{t+1} = KS - BKS_{t+1} \quad \textbf{(3.1)}$$

Operatöre t+1 dakikasında yeni eklenen birincil kullanıcı sayısı Denklem (3.2) de gösterilmektedir.

$$YBKS_{t+1} = BKS_{t+1} - BKS_t \quad \textbf{(3.2)}$$

KRSS t dakikasında gelen ikincil kullanıcı bağlantısını için bu operatör seçeceğinde, t+1 dakikasında KRSS e göre boş olarak değerlendirdiği kanal sayısı Denklem (3.3) de gösterilmektedir. Burada 1 sayısı, t dakikasında gelen ikincil kullanıcı

bağlantısının, olasılık değeri hesaplanan operatöre yerleştiğindeki durumu göstermek için kullanılmaktadır.

$$KRBosKS_{t+1} = BosKS_{t+1} - \dot{I}KS_{t+1} - 1 \quad \textbf{(3.3)}$$

t+1 dakikasında gelen birincil kullanıcılar, KRSS'in boş olarak değerlendirdiği kanallara yerleştirilirse hiç bir ikincil kullanıcı kanal geçişi yapmak zorunda kalmayacaktır. Buradan yola çıkarak t dakikasında gelen ikincil kullanıcı bağlantı isteği için bu operatör seçildiğinde, t+1 dakikasında kanaldan atılarak kanal geçişi yapılma olasılığı Denklem (3.4) de gösterilmektedir.

$$KGO_{t+1} = 1 - \frac{\begin{pmatrix} KRBosKS_{t+1} \\ YBKS_{t+1} \end{pmatrix}}{\begin{pmatrix} BosKS_{t+1} \\ YBKS_{t+1} \end{pmatrix}} \quad \textbf{(3.4)}$$

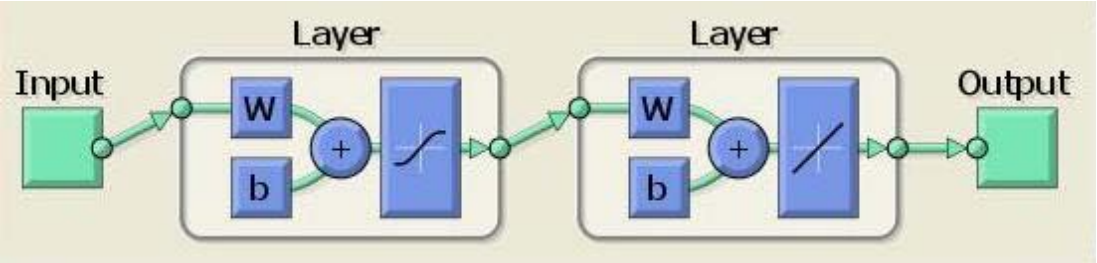
Bu olasılıkların geçmiş verilerden elde edilme sebebi, t dakikasında karar verirken t+1 deki verilere ihtiyaç duyulmasıdır. KRSS ikincil kullanıcıları yerleştirirken operatör tarafından boş kanal bilgisini elde ederek karar verme sürecine başladığı için, ilk yerleştirme dakikasında kanal geçişi yaşamayacağını garantilenmektedir. Bu nedenle en yakın zaman olduğu için t+1 dakikası için değerlendirme yapılmaktadır. t dakikasında başlayan bir ikincil kullanıcı bağlantı isteğinin canlı sistemde başlarken ne kadar süreceğini bilinmediğinden tüm bağlantı süresince kanal geçişi olmayacağını garanti edilememektedir. Ancak t+1 için verilen kararla kanal geçiş olasılığı minimize edilmektedir.

Kanal geçiş olasılıklarının yerine geçmiş verilere göre gerçekleşen kanal geçiş sayılarının kullanılmama sebebi şu şekilde açıklanabilir; belirli zaman da bir operatöre herhangi bir ikincil kullanıcı yerleştirilmediyse bu operatör için kanal geçiş olasılığı hakkında bilgi edinmemiz mümkün olmayacaktır.

4.2.1.2 Kanal geçişi olasılıkları ile YSA eğitimi

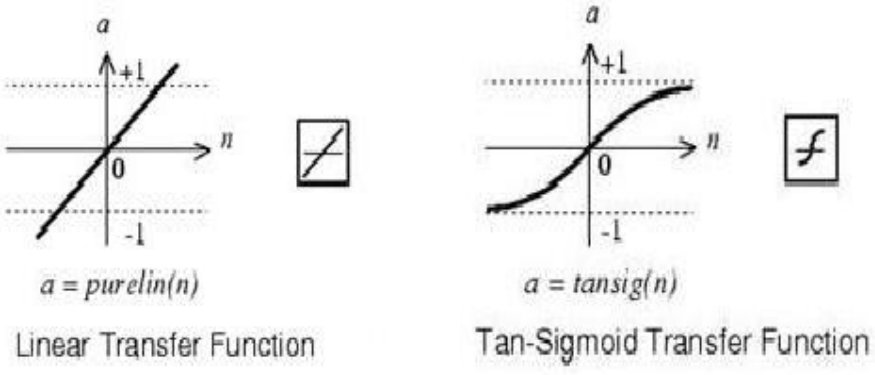
İstatistik verilerini analiz ederek hesaplanan ikincil kullanıcı kanal geçiş olasılıkları ile YSA'lar eğitilerek operatörün gün içindeki ikincil kullanıcı kanal geçiş olasılığı deseni oluşturulmaktadır. YSA'ların öğretilmedikleri veriler hakkında tahminde bulunabilmesi çalışmamızda YSA yöntemini seçilmesinde etkili olmuştur. Mesela t=20 dakikasında 3. istek için eğitilip, bir sonraki hafta gelen t=20 dakikasındaki 5.

istek hakkında tahmin yapılabilir. Şekil 4.3 de tasarlanan YSA modeli gösterilmektedir.



Şekil 4.3 : Tasarlanan YSA modeli

Geliştirilen matlab kodu ile iki girişli bir çıkışlı bir YSA oluşturuldu. 2 katmanlı ileri beslemeli ağ oluşturularak ilk katmanda 5 nöron, ikinci katmanda bir diğer ifadeyle çıkış katmanında ise 1 nöron bulunmaktadır. İlk katmanın transfer fonksiyonu Şekil 4.4 de gösterilen tanjant sigmoid(tansig), ikinci katmanınki ise lineer(purelin) olarak seçildi. Geriye yayılım ağ eğitim algoritması olarak Levenberg-Marquardt(trainlm) seçilmiştir. Bu algoritma çok hızlıdır ancak çalışabilmesi için fazla hafızaya ihtiyaç duymaktadır [30]. Aynı zamanda ağırlık ve eşik değerlerinin ilklendirme işlemini rastgele değerler atamak suretiyle gerçekleştirilir. Eğitim esnasında ağırlık ve eşik değerleri yinelemeli olarak hata olasılığını minimize edecek şekilde güncellenir. Hata fonksiyonunu olarak MSE seçilmiştir. MSE yönteminde hata, arzu edilen çıkış ile ağın o anki çıkışı arasındaki farkın karesinin ortalaması olarak hesaplanır. Eğitimler 500 kez tekrarlanmaktadır.

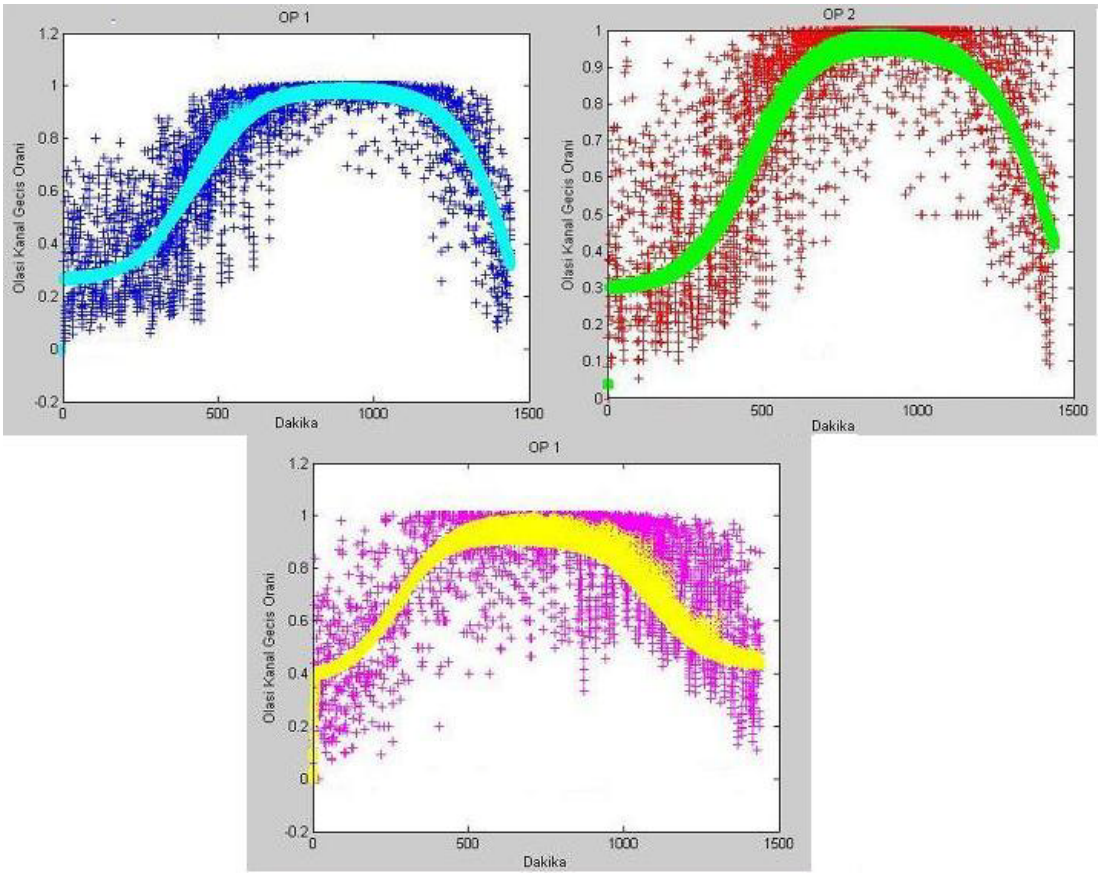


Şekil 4.4 : Kullanılan YSA transfer fonksiyonları

Her bir bağlantı, t dakikası ve t dakikasındaki N. istek sırası ikili bilgileri ile temsil edilmektedir. Tüm gün süresince oluşan ikincil kullanıcı bağlantı istek sayısı(İS) kadar giriş ikilisi giriş veri setini oluşturmaktadır. Giriş veri seti [2 x İS] boyutunda

bir dizi olarak düzenlenir. Çıkış veri seti ise ikincil kullanıcı bağlantı istek sayısı kadar, her bir bağlantı isteği için hesaplanmış kanal geçiş olasılığı değerlerinden oluşturulmaktadır. Çıkış veri seti [1 x İS] boyutunda bir dizi olarak düzenlenir. Her operatörün istatistiklerinin değerlendirildiği gün için hesaplanan giriş ve çıkış veri seti ile o operatörün o gün için tasarlanmış YSA eğitimi tamamlanır.

Şekil 4.5 de operatörlerin YSA'larının eğitildikten sonra eğitim verisi ile test edilmesi örnek bir veri seti ile gösterilmiştir.



Şekil 4.5 : Operatörlerin YSA ile eğitim grafikleri

4.2.1.3 YSA sorgulanarak ikincil kullanıcı kanal seçilmesi

KRSS, t dakikasında gelen N_t. ikincil kullanıcı bağlantı isteğine kanal seçmek için, operatörlerden t anındaki birincil kullanıcı sayısı istenir ve operatörlerin toplam kanal sayıları KRSS tarafından bilindiği varsayılarak boş kanalı olup olmadığına karar verilir. Boş kanalı olan operatörlere t dakikasında gelen N_t. ikincil kullanıcının yerleştirilmesi durumunda, t+1 dakikasında bu kullanıcının kanal geçişine uğrama olasılığı sorulur. Bu sorgulama bir önceki haftanın aynı günü için eğitilmiş YSA'larına t+1 dakikası ve t dakikası içerisindeki ikincil kullanıcı bağlantı istek

sırası giriş parametreleri ile yapılır. En küçük değeri veren operatör seçilir ve o operatörün rastgele bir kanalına ikincil kullanıcı yerleştirilir.

4.2.2 CHEAP operatör-kanal seçme yöntemi

Sistemde boş kanalı olan en ucuz operatör seçilir ve operatör kanalları arasından rastlantısal olarak bir kanal seçilir. Sürekli ucuz olan operatör seçildiğinden en ucuz operatör genelde doludur ve hep aynı operatör seçilmeye çalışıldığından ikincil kullanıcı kanal geçiş sayısı artar. CHEAP ile kanal seçim yönteminin pseudo kodu Şekil 4.6 de gösterilmektedir.

```
SUBPROCEDURE CHEAPİleSeçimYap
        INIT boşKanalıOlanOperatörList
        SET seçilenOperatör TO null

        FOR each operatör in the operatörList
                CALL BoşKanalSayısıDön RETURNING boşKanalSayısı
                IF boşKanalSayısı > 0 THEN
                        ADD operatör TO boşKanalıOlanOperatörList
                ENDIF
        END FOR

        SET enUcuzFiyat TO Integer.MAX
        FOR each operatör in the boşKanalıOlanOperatörList
                CALL FiyatDön RETURNING opFiyat
                IF opFiyat < enUcuzFiyat THEN
                  SET seçilenOperatör TO operator
                  SET enUcuzFiyat TO opFiyat
                ENDIF
        END FOR

        return seçilenOperatör
END SUBPROCEDURE
```

Şekil 4.6 : CHEAP ile kanal seçim yönteminin pseudo kodu

4.2.3 RANDOM operatör-kanal seçme yöntemi

İkincil kullanıcılar için kanal seçilirken her bir operatöre eşit şans verilmektedir. Her ikincil kullanıcı isteği için boş kanalı olan operatörler arasında tekdüze(uniform) dağılım olacak şekilde bir operatör seçilir. Operatör kanalları arasından rastlantısal olarak bir kanal seçilir. Ancak her operatörün kanal sayısı, kullanıcı sayısı gibi tüm şartları aynı değildir. Adaletli dağılım açısından iyi bir yöntem olduğu düşünülse de ikincil kullanıcı kanal geçiş sayısının artmasına sebep olmaktadır. RANDOM ile kanal seçim yönteminin pseudo kodu Şekil 4.7 de gösterilmektedir.

```
SUBPROCEDURE RANDOMİleSeçimYap
        INIT boşKanalıOlanOperatörList

        FOR each operatör in the operatörList
                CALL BoşKanalSayısıDön RETURNING boşKanalSayısı
                IF boşKanalSayısı > 0 THEN
                        ADD operatör TO boşKanalıOlanOperatörList
                ENDIF
        END FOR

        RETURN random_indekslenmiş_operatör in the boşKanalıOlanOperatörList
END SUBPROCEDURE
```

Şekil 4.7 : RANDOM ile kanal seçim yönteminin pseudo kodu

5. TEZİN BAŞARIMI VE TEST SONUÇLARI

5.1 Kavramsal Radyo Benzetim Programı

Kanal seçim yönteminin sınanması için kavramsal radyo benzetim programı gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.1 de bir gün için kavramsal radyo benzetim programının çalışması pseudo kod olarak gösterilmiştir.

```
PROCEDURE KR_BENZETİM_PROGRAMI_ÇALIŞTIR
CALL SpektrumYarat RETURNING spektrum
INIT operatörList
FOR operatörNo = 1,2,….,operatörSayısı
        CALL OperatörYarat RETURNING operatör
        ADD operatör TO operatörList
        CALL KanalSatınAl with spektrum and operatör
END FOR
CALL KRSSYarat krss
FOR dakika = 1,2,….,1440
        FOR each operatör in the operatörList
                CALL DeseneGöreBirincilKullanıcıTrafiğiYarat RETURNING bkList
                FOR each BK in the bkList
                        CALL BağlantıİsteğiYarat
                        CALL BKİşlet
                        CALL İKKanalGeçişiControlEt RETURNG KanalGeçişiOlanİK
                        IF KanalGeçişiOlanİK != null THEN
                                CALL İKİşlet
                        ENDIF
                END FOR
        END FOR
        SET ikincilKullanıcıİstekSayısı TO 0
        CALL DeseneGöreİkincilKullanıcıTrafiğiYarat RETURNING ikList
        FOR each İK in the ikList
                CALL BağlantıİsteğiYarat
                INCREMENT ikincilKullanıcıİstekSayısı
                CALL İKİşlet RETURNING seçilenOperatör
                IF seçilenOperatör!= null THEN
                        CALL BağlantıİstatistikBilgisiEkle WITH  seçilenOperatör
                                        AND dakika AND ikincilKullanıcıİstekSayısı
                ENDIF
        END FOR
END FOR
FOR each operatör in the operatorList
        CALL ToplananIstatistikBilgileriİleKanalGeçişOlasılıklarıHesapla
        CALL HesaplananKanalGeçişOlasılıklarıİleVSAEğit
END FOR
END PROCEDURE
```

Şekil 5.1 : KR benzetim programının bir gün için çalışmasının pseudo kodu

KR benzetim programının pseudo kodu içerisinden çağırılan iki önemli alt yordamı vardır. Bunlar birincil kullanıcılara kanal atanmasını açıklayan BKİşlet (Şekil 5.2) ve ikincil kullanıcılara kanal atanması atanmasını açıklayan İKİşlet (Şekil 5.3) alt yordamlarıdır.

```
SUBPROCEDURE BKİşlet
        CALL OperatördenKanalAta
        CALL BağlantıyıGerçekleştir
END SUBPROCEDURE
```

Şekil 5.2 : Birincil kullanıcılara kanal atanmasını açıklayan BKİşlet pseudo kodu

```
SUBPROCEDURE İKİşlet
        CALL BoşKanalıOlanOperatörSayısıGetir RETURNING boşKanalıOlanOperatörSayısı
        IF boşKanalıOlanOperatörSayısı > 0 THEN
            REPEAT
                CALL BoşKanalıOlanOperatörlerdenSeçimYap RETURNING seçilenOperatör
                CALL SeçilenOperatördenKanalSeçimiYap RETURNING seçilenKanal
                CALL SeçilenKanaldaBağlantıyıGerçekleştir RETURNING çalışmaBaşarılı
                CALL BoşKanalıOlanOperatörSayısıGetir RETURNING boşKanalıOlanOperatörSayısı
            UNTIL çalışmaBaşarılı OR boşKanalıOlanOperatörSayısı < 0
            IF boşKanalıOlanOperatörSayısı <= 0 THEN
                BağlantıİsteğiniReddetYadaErtele
                RETURN null
            ELSE
                RETURN seçilenOperatör
            ENDIF
        ELSE
            BağlantıİsteğiniReddetYadaErtele
            RETURN null
        ENDIF
END SUBPROCEDURE
```

Şekil 5.3 : İkincil kullanıcılara kanal atanmasını açıklayan İKİşlet pseudo kodu

BoşKanalıOlanOperatörlerdenSeçimYap altyordamı, tasarlanan yöntemler bölümünde anlatılan RANDOMİleSeçimYap, CHEAPİleSeçimYap ya da PCRİleSeçimYap alt yordamlarından biri olabilir.

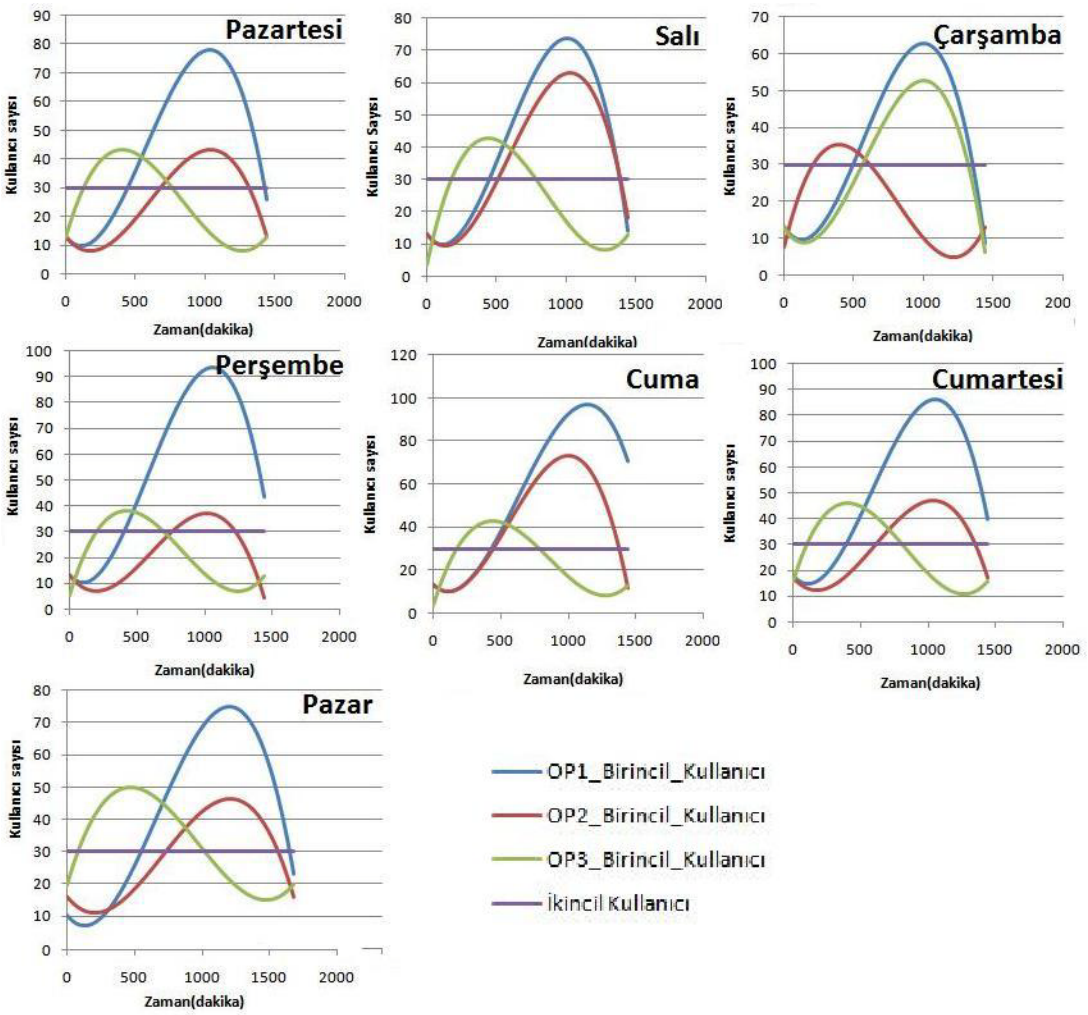
BağlantıİsteğiniReddetYadaErtele altyordamı ile kanal isteğinin geldiği anda boş kanal yoksa isteğin geldiği dakika içerisinde diğer kullanıcıların bağlantısını tamamlayıp kanalı boşaltması beklenir. Boşalan kanal varsa bu kanalda ikincil kullanıcının isteği başlatılır. Ancak o dakika içerisinde hiçbir kanal boşalmazsa kullanıcının isteği iptal edilir.

5.2 Kullanıcıların Yaratılması

Benzetim programında kullanılan, haftanın günlerine göre operatörlerin ve KRSS'nin gün içindeki dakika bazlı kullanıcı sayısı desenleri Şekil 5.4 de gösterilmektedir. Yapılan testlerde operatörlerin bir gün için tanımlanacak birincil kullanıcı sayısının dağılımının, bir önceki haftadaki aynı güne denk gelen birincil kullanıcı sayısı dağılımına ile benzer desene sahip olması ancak aynısı olmayan farklı birincil kullanıcı sayıları içermesi sağlanmalıydı. Bu nedenle operatörlerin birincil kullanıcı sayıları belirlenirken, şekilde gösterilen desenlerdeki değerlere(BK_desen) benzer ancak aynı olmayan dağılımlar oluşturmak için rastlantısallık katsayısı(RK) kullanılarak her dakika için birincil kullanıcı sayısı [BK_desen-RK BK_desen +RK] değerler kümesinden seçilmiştir. Testlerimizde RK değeri genelde 2 olarak kullanılmaktadır.

Şekil 5.4 de görülen değerler, belirtilen dakikada operatörlerde ve KRSS'de kaç kullanıcı olduğunu belirtmektedir. Bu kullanıcıların bağlantıları, belirtilen dakika için aşağıdaki durumlarda olabilir;

- Belirtilen dakikada servise başlama
- Belirtilen dakikada servise devam etme
- Daha önce servise başlama ve belirtilen dakikada servisin sonlanması
- Belirtilen dakika içinde servise başlayıp sonlanması
- Belirtilen dakika için kanal bulunamayıp sistemden atılması
- Sadece ikincil kullanıcı için geçerli olan bir durum olan, ikincil kullanıcının servis aldığı kanala gelen birincil kullanıcı fark edilince başka kanala aktarılması durumları söz konusudur.



Şekil 5.4 : Haftanın günlerine göre operatörlerin ve kavramsal radyo servis sağlayıcısının gün içindeki dakika bazlı kullanıcı sayısı

Kullanıcılar bağlantı süreleri için olan maksimum süre (MS) dakika olarak tanımlanmaktadır. Bu durumda kullanıcıların bağlantı isteklerinin süreleri 1 ile MS-1 dakika arasındaki değerlerden rastgele dakika değeri ve 0 ile 59 saniye arasındaki değerlerden rastgele saniye değeri atanarak belirlenmektedir. Testlerimizde MS değeri genelde 10 olarak kullanılmaktadır.

Çalışmamızda temelde operatörlerin günlük birincil kullanıcı deseni önemsenerek ikincil kullanıcı kanal geçiş sayısı azaltılmaya çalışıldığından, önemli olan GSM operatörlerinin birincil kullanıcı desenleridir. Bu nedenle kanal geçiş analizini daha net görmek için sistemde her zaman aynı sayıda ikincil kullanıcı olacakmış gibi ikincil kullanıcı dağılım deseni kullanılmaktadır.

5.3 Gerçekleştirilen Testler ve Sonuçları

Kavramsal radyo benzetim programı farklı şartlar altında çalıştırılarak, tasarlanan sistemin performansı gözlemlenmiştir. Bu şartlar altında PCR, CHEAP ve RANDOM yöntemleri aynı kullanıcı veri seti ile sınanıp, birbirleri ile kanal geçiş sayılarını azaltma performansı karşılaştırılması yapılmaktadır. Veri seti, operatörlerin bir günlük birincil kullanıcıları, KRSS in bir günlük ikincil kullanıcıları ve bu kullanıcıların bağlantı isteklerinden oluşur. Kullanıcı bağlantı istekleri gün içindeki dakika bazlı trafik deseni düşünülerek yaratılmaktadır.

Testlerde her operatör için tanımladığımız kullanıcı desenlerine dayanarak hiçbir birincil kullanıcının bağlantısının kopmamasını sağlayacak şekilde kanal sayısı atanmaktadır. Bunun sebebi operatörlerin birincil kullanıcı trafiğinin, ikincil kullanıcı kanal geçiş sayısını etkiliyor olmasıdır. Bu durum dikkate alınarak 2 şekilde kanal seçimi yapılmaktadır. Bunlardan ilkinde Çizelge 5.1 de belirtildiği gibi operatörler arasında adalet sağlanması için her bir operatöre test edilen günün desenine göre, gün içerisindeki en fazla kullanıcı sayısı hesaplanarak kanal sayısı olarak atanmaktadır. İkinci yöntemde ise birincil kullanıcı bağlantılarının kopmasını engelleyecek yeterlilikte ve aynı sayıda kanal sayısı tüm operatörlere atanmaktadır.

Çizelge 5.1 : Örnek operatörler için kullanılan kanal sayıları

	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma	Cumartesi	Pazar
op_1	81	76	65	96	100	89	78
op_2	46	66	38	40	76	50	49
op_3	46	45	55	40	45	49	53

İncelenmesi gereken önemli bir durumda operatörlerin ikincil kullanıcılar hakkında bilgi sahibi olduğu ve olmadığı durumlardır. Eğer operatörler ikincil kullanıcılar hakkında bilgi sahibi ve ikincil kullanıcıların bağlantılarını önemsiyorsa, yeni gelen bir birincil kullanıcı isteğini, ikincil kullanıcıların çalıştığı kanalların dışında boş olarak bekleyen bir kanal varsa oraya yerleştirir ancak boş olan hiç bir kanal kalmazsa ikincil kullanıcı bağlantısını kanal geçişine zorlar. Eğer operatörler ikincil kullanıcılar hakkında bilgi sahibi değilse, ikincil kullanıcıların bağlantı kurduğu kanalları algılamayıp birincil kullanıcıların meşgul etmediği kanallar arasından rastgele seçim yapılacaktır. Bu durumda ikincil kullanıcı bağlantılarının kanal geçiş sayısı artacaktır.

Karşılaştırma yaptığımız kanal seçim yöntemlerinden biri en ucuz operatörü seçtiğinden dolayı operatörlerin fiyatları da testlerde önem taşımaktadır.

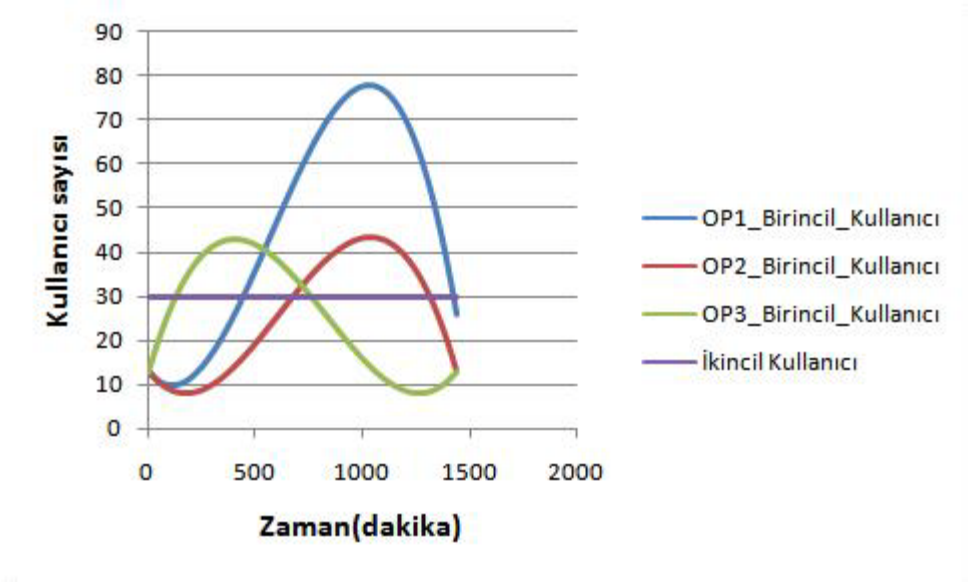
Testler bir gün ya da haftanın tüm günleri için her 3 operatör-kanal seçme yöntemi ile de denenmiştir.

Yukarda anlatılan konfigürasyon değerleri ele alındığında her test için aşağıdaki sorular cevaplanmalıdır.

- Kanal sayıları nasıl atandı?
- Operatörler ikincil kullanıcılardan haberdar mı? Kaç tane ikincil kullanıcı yaratıldı?
- Operatör fiyatları ne?
- Kaç gün için test yapıldı?

5.3.1 İkincil Kullanıcıları Sezen Operatörlerle Bir Güne Ait İkincil Kullanıcı Kanal Geçiş Testi

Bu test sadece şekilde gösterilen pazartesi günü için çalıştırılmıştır. Pazartesi gününe ait kullanıcı deseni Şekil 5.5 de gösterilmiştir.



Şekil 5.5 : Operatörlerin pazartesi için birincil kullanıcı deseni

Kanal sayısı operatörün günlük maksimum kanal sayısı olarak op_1'in 81, op_2'in 46, op_3'in 46 kanalı olacak şekilde atandı. İkincil kullanıcılar operatörler tarafından

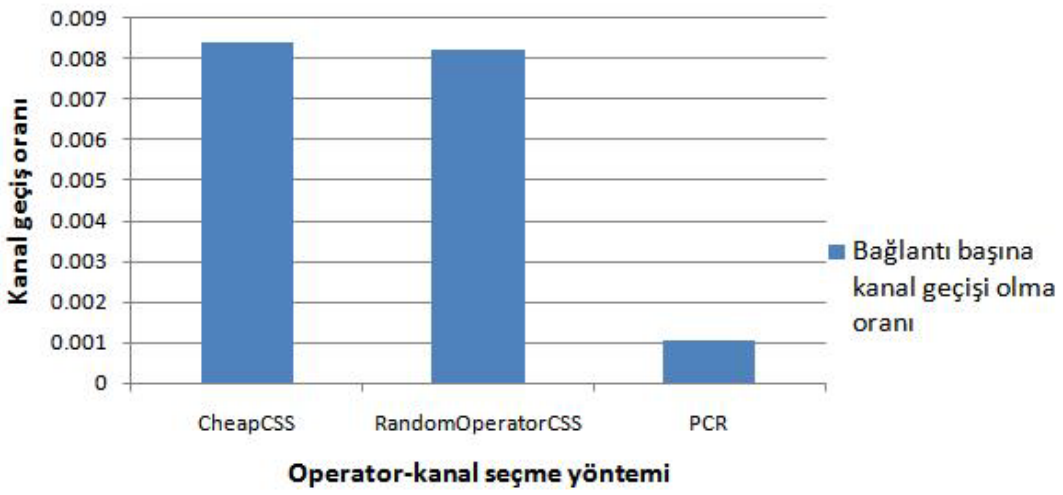
biliniyor. Her dakika 30 tane ikincil kullanıcı var. Fiyatlar op_1 90, op_2 100, op_3 110 olarak atandı.

Bir ikinci kullanıcı bağlantı isteğinin süresi boyunca her dakika bir bağlantı olarak değerlendirilir. Toplam kanal geçişi sayısının, tüm gün boyunca oluşturulan ikincil kullanıcı isteklerinin toplam bağlantı sayısına(1440 * her dakikadaki sabit ikincil kullanıcı sayısı) oranlanarak elde edilen bağlantı başına kanal geçişi olma oranları 3 yöntem için de Şekil 5.6 da gösterilmektedir.

CHEAP yöntemi hep en ucuz operatörü seçme eğilimi ile ikincil kullanıcıları aynı operatöre yerleştirerek operatördeki ikincil kullanıcı yoğunluğunu artırır ve birincil kullanıcılar tarafından kullanılacak boş kanal az kaldığından, birincil kullanıcı geldiğinde herhangi bir ikincil kullanıcıyı kanaldan çıkartma olasılığını arttırmaktadır. Ayrıca CHEAP yöntemi ile ucuz operatörün kanallarından yararlanma oranını artırırken diğer operatörlerden verimli bir şekilde yararlanılamamaktadır. Bu nedenle ikincil kullanıcıların operatörlere dağılımın adil olduğundan da bahsedilemez.

RANDOM yöntemi ikincil kullanıcıların operatörlere dağılımında adil bir seçim yapar. Ancak operatördeki birincil kullanıcı trafiğini dolayısıyla boş kanal sayısını önemsemediğinden dolayı rastgele seçilen operatörün yoğun olması durumunda ikincil kullanıcıları kanaldan atılacaktır, dolayısıyla kanal geçiş sayısı artacaktır. Bu nedenle operatörlerin boş kanallarından yararlanma oranları adil ancak düşük değerlerde olacaktır.

PCR yöntemi ile operatörlerin boş kanal sayısı, ikincil kullanıcıların sayısı, birincil kullanıcıların sayısı önemsenerek kanal geçiş olasılığını düşürmeye yönelik ve gecikmeyi azaltıcı kanal seçimi yapılmaktadır. Bundan dolayı ikincil kullanıcı kanal geçiş sayısı azalmaktadır ve kullanıcıların servis kalitesi artmaktadır. Şekil 5.6 dan da görüldüğü gibi PCR yöntemi ile gün içerisindeki yaklaşık 1000 dakikalık bağlantıdan ancak 1 dakikasında kanal geçişi olacaktır.

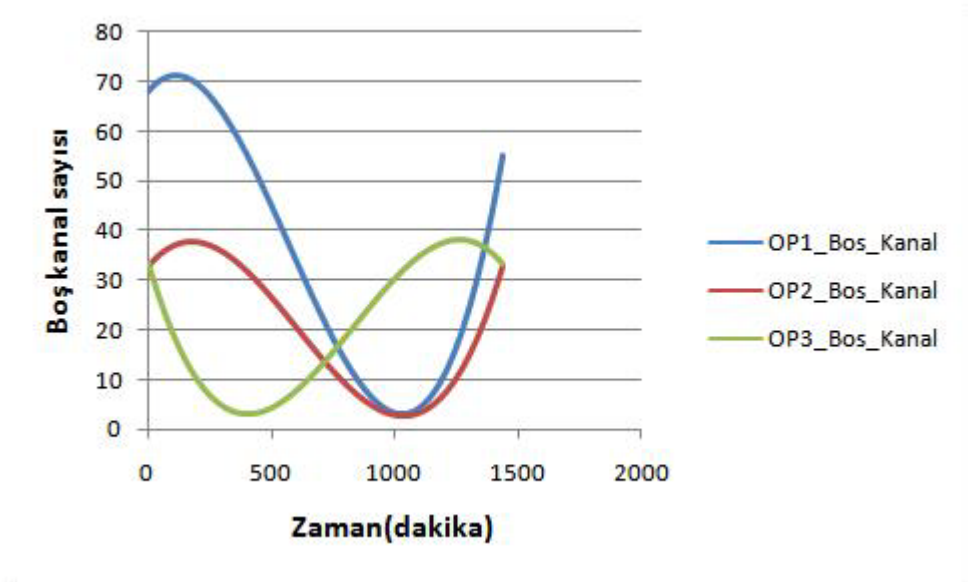


Şekil 5.6 : İkincil kullanıcıları sezen operatörlerle bağlantı başına kanal geçişi olma oranı

Yöntemlerin ikincil kullanıcılar için kanal seçme analizleri ilk test için detaylandırılacaktır.

5.3.1.1 Yöntemler tarafından yerleştirilen ikincil kullanıcıların dağılım analizi

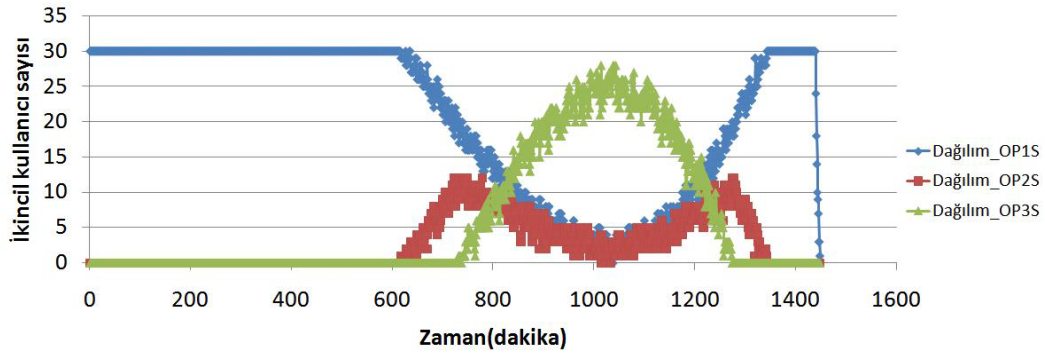
İkincil kullanıcıların dağılım analizleri yapılırken operatörlerin boş kanallarını görmek faydalı olacaktır. Şekil 5.7 de operatörlerin pazartesi için boş kanal deseni gösterilmektedir.



Şekil 5.7 : Operatörlerin pazartesi için boş kanal deseni

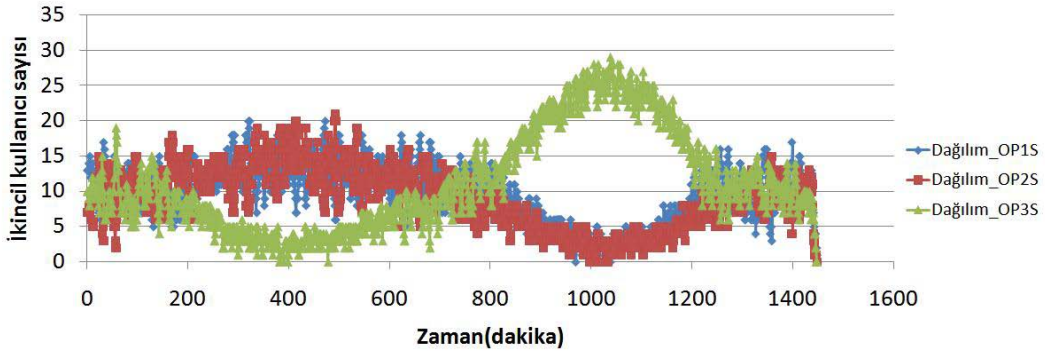
Şekil 5.8 de gösterilen CHEAP yönteminde 600. dakikaya kadar tüm ikincil kullanıcıları en ucuz olan operatör op_1'e vermektedir. Ancak boş kanal grafiği

incelendiğinde 600. dakikadan sonra op_1'in boş kanal sayısının toplam SU sayısı olan 30 un altında düşmektedir. Bu nedenle yöntem, ikincil kullanıcıların bir kısmını 2. ucuz olan op_2 operatörüne vermeye başlamaktadır. Yaklaşık 780. dakikadan sonra op_1 ve op_2'nin boş kanalları yetersiz gelmeye başlayınca op_3 seçilmeye başlanır. En ucuz operatörün birincil kullanıcı sayısının azaldığı, boş kanal sayısının artmaya başladığını gözlemlediğimiz 1000. dakikadan sonra ikincil kullanıcılar için bu operatör seçilmeye başlanmaktadır. Hatta 30 ve daha fazla boş kanal sayısının bulunduğu 1200. dakikadan sonra tüm ikincil kullanıcılar op_1'e verilir. Yani CHEAP yöntemi boş kanal sayısı yeterli geldiği ölçüde en ucuz olan op_1 operatörünü seçmektedir.



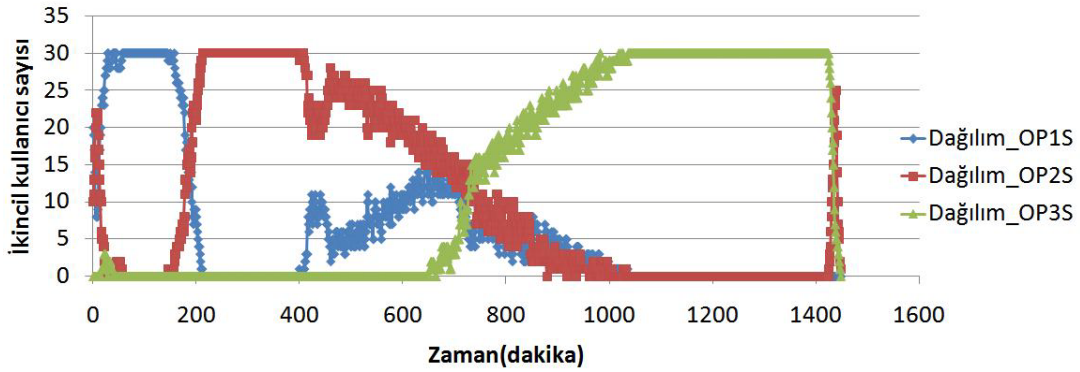
Şekil 5.8 : CHEAP yöntemi ile ikincil kullanıcıların operatörlere dağılımı

Şekil 5.9 da gösterilen RANDOM yöntemi incelendiğinde 200. dakikaya kadar boş kanalı olan tüm operatörlere eşit dağılım yapıldığı gözlemlenmektedir. Ancak 400. dakika civarında boş kanalı çok az olan, hatta zaman zaman boş kanalı kalmayan op_3 e ikincil kullanıcı yerleştirilmeyerek ikincil kullanıcılar op_1 ve op_2 arasında paylaştırılmaktadır. Pazartesi günü 800 ile 1200 dakikaları arasında op_1 ve op_2 en yoğun birincil kullanıcı trafiğine sahiptir. op_1 ve op_2'de bu aralıkta boş kanal sayısı az olduğundan ikincil kullanıcıların çoğu op_3 e yerleştirilecektir. Ancak bu aralıkta op_1 ve op_2'de birincil kullanıcıların zaman zaman az da olsa boş bıraktığı kanallara ikincil kullanıcılar yerleştirilmektedir. Bu kadar yoğun bir birincil kullanıcı trafiğinde yerleştirilen ikincil kullanıcıların kanal geçişine uğrama olasılıkları yüksektir. RANDOM yöntemi, sistemdeki operatörlerden herhangi birinde birincil kullanıcı yoğunluğu yüksek olduğunda PCR e göre başarısız olacaktır.



Şekil 5.9 : RANDOM yöntemi ile ikincil kullanıcıların operatörlere dağılımı

Şekil 5.10 da gösterilen PCR yönteminde operatörlerin boş kanal sayıları ve operatörlerde kanal seçme zamanında bulunan birincil kullanıcı ve bu operatöre önceden yerleştirilmiş ikincil kullanıcı sayısı önemsenmektedir. Operatörlerin bu değerleri kullanılarak hesaplanan ikincil kullanıcıların kanal geçişine uğratma ihtimalleri değerlendirilmesi sonucunda operatör-kanal seçimi yapılır ve kanal geçiş sayısı azaltılır.

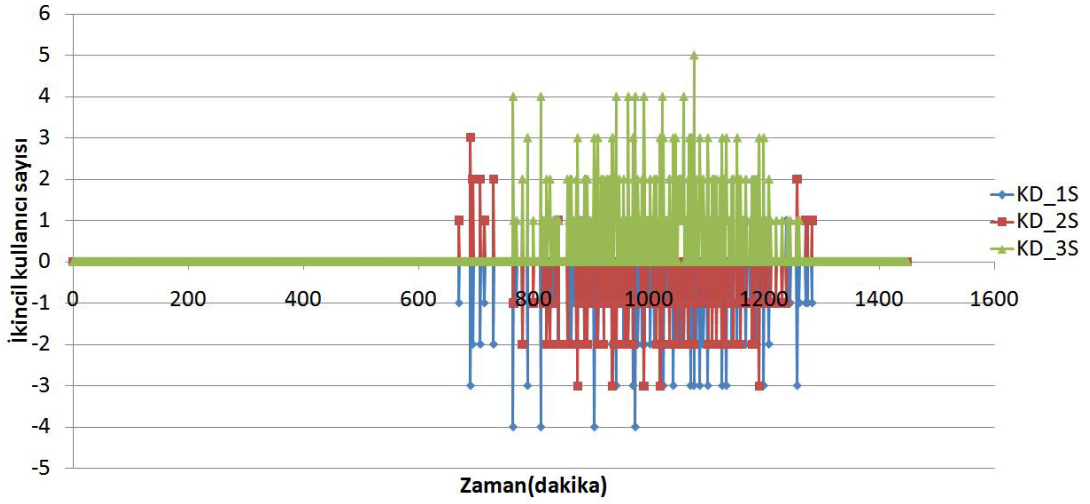


Şekil 5.10 : PCR yöntemi ile ikincil kullanıcıların operatörlere dağılımı

5.3.1.2 Yöntemlerin uygulanması sonucunda oluşan ikincil kullanıcı kanal geçiş dağılımı

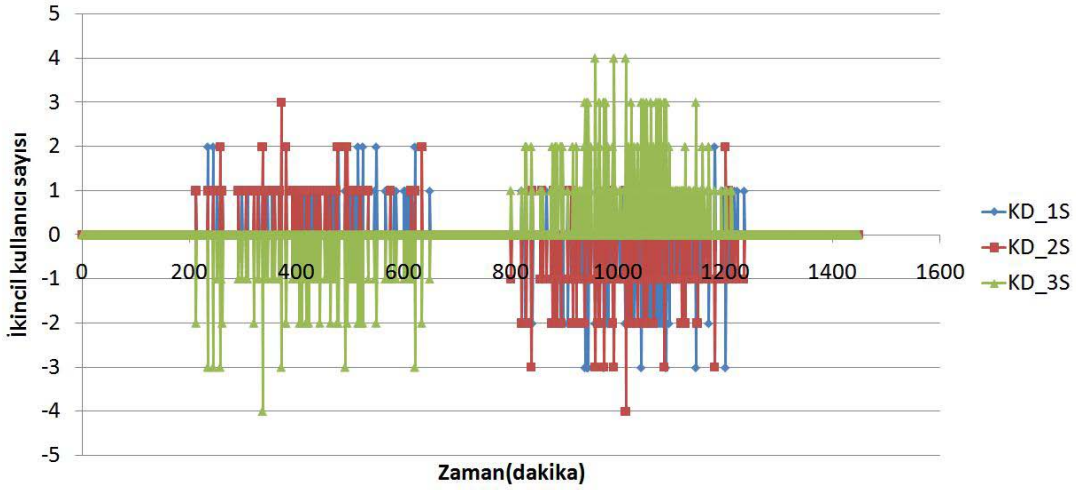
Bu bölümde grafiklerle kanal geçişi yapılan ikincil kullanıcılar gösterilmektedir. Aynı dakika için gösterilen eksi değerler birincil kullanıcının ikincil kullanıcının servis aldığı kanala gelmesiyle terk edilen operatöre, artı değerler yeni geçilen operatöre ait ikincil kullanıcı sayısını belirten değerlerdir.

Şekil 5.11 de gösterilen CHEAP yönteminde ucuz operatörlerin boş kanallarının yetersiz kalmasıyla 700. ile 1300. dakika aralığında ucuz olan operatörden daha pahalı olanlarına bir kanal geçişi görülmektedir.



Şekil 5.11 : CHEAP yönteminde her bir dakikadaki kanal geçişi olan ikincil kullanıcı sayısı

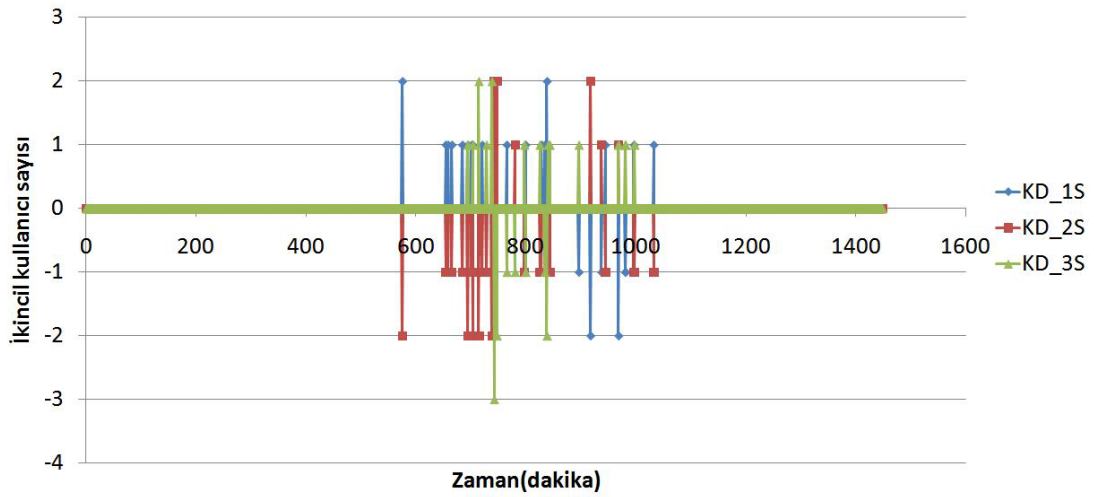
Şekil 5.12 de gösterilen RANDOM yönteminde operatörlerin birincil kullanıcı yoğunluğu artıp boş kanallarının çok azalması ile kanal geçişleri görülmektedir. Bu nedenle 200. ile 600. dakikalar arasında op_3'e, 800. ile 1200. dakikalar arasında op_1 ve op_2'e yerleştirilen ikincil kullanıcılar, bu operatörlerdeki birincil kullanıcı yoğunluğundan dolayı kanal geçişine uğramaktadır.



Şekil 5.12 : RANDOM yönteminde her bir dakikadaki kanal geçişi olan ikincil kullanıcı sayısı

Şekil 5.13 de gösterilen PCR yönteminde operatörlerin hepsinin yoğun olduğu dönemlerde bile, diğer yöntemlere göre daha da az kanal geçişi gerçekleştiği gözlemlenmektedir. Genelde operatörlerin boş kanal sayılarının birbirine çok yakın ve az iken kanal geçişleri olmaktadır. Çünkü operatörlerin bu durumlarda kanal geçiş

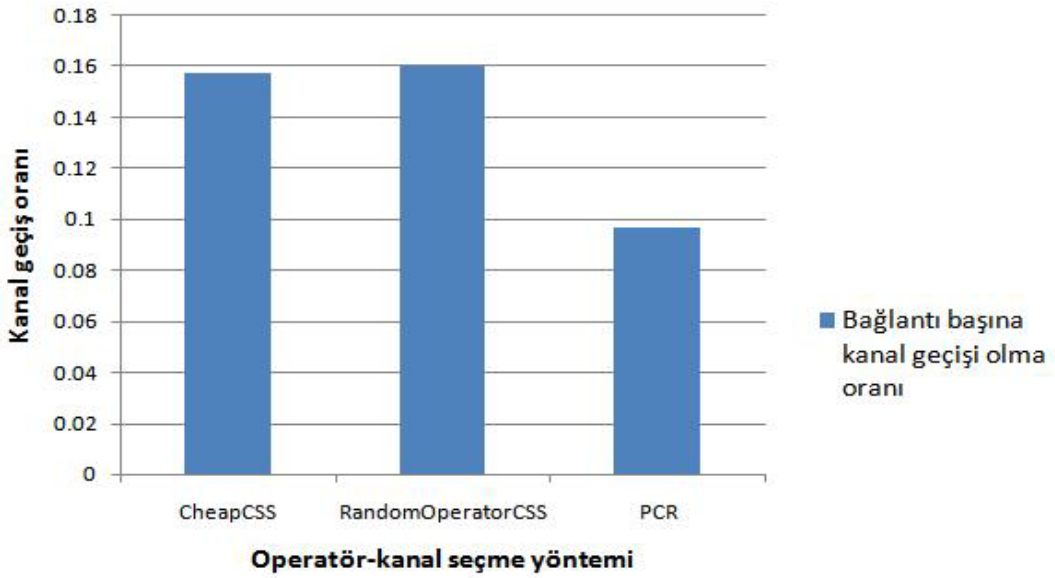
olasılıkları birbirine yakın ve yüksek olacaktır. Bu durumda hangi operatör seçilirse seçilsin kanal geçişi olacaktır.



Şekil 5.13 : PCR yönteminde her bir dakikadaki kanal geçişi olan ikincil kullanıcı sayısı

5.3.2 İkincil Kullanıcıları Sezmeyen Operatörlerle Bir Güne Ait İkincil Kullanıcı Kanal Geçiş Testi

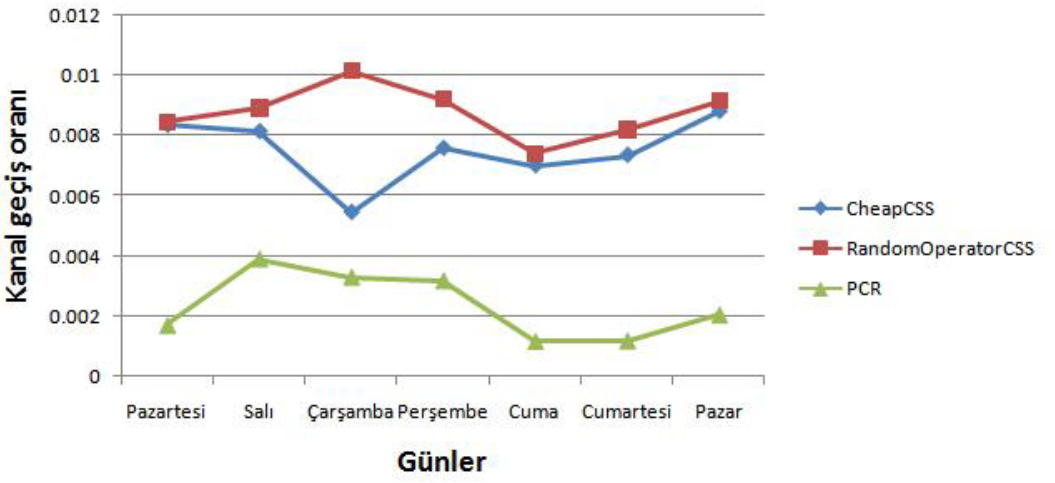
Test konfigürasyonu Bölüm 5.3.1 de oluşturulan test konfigürasyonu ile bir özellik dışında aynıdır. Farklı olan özellik, bu testte operatörlerin ikincil kullanıcıları bilmeden birincil kullanıcılara kanal atamasıdır. Şekil 5.14 deki sonuçlardan da görüldüğü gibi operatörler ikincil kullanıcıları önemsemeden birincil kullanıcıları yerleştiriyor olsa bile en az kanal geçiş sayısı PCR de olmaktadır. PCR yöntemi ile gün içerisindeki yaklaşık 100 dakikalık bağlantıdan ancak 9 dakikasında kanal geçişi olacaktır. İkincil kullanıcıların operatör tarafından sezilmediği durumda, operatörlerin birincil kullanıcılara kanal atarken, ikincil kullanıcıların da çalıştıkları dahil olmak üzere kanallar arasında rastgele atama yapıyor olması sistemde genel olarak kanal geçiş sayısını arttırmaktadır.



Şekil 5.14 : İkincil kullanıcıları sezmeyen operatörlerle bağlantı başına kanal geçişi olma oranı

5.3.3 İkincil Kullanıcıları Sezen Operatörlerle Bir Haftaya Ait İkincil Kullanıcı Kanal Geçiş Testi

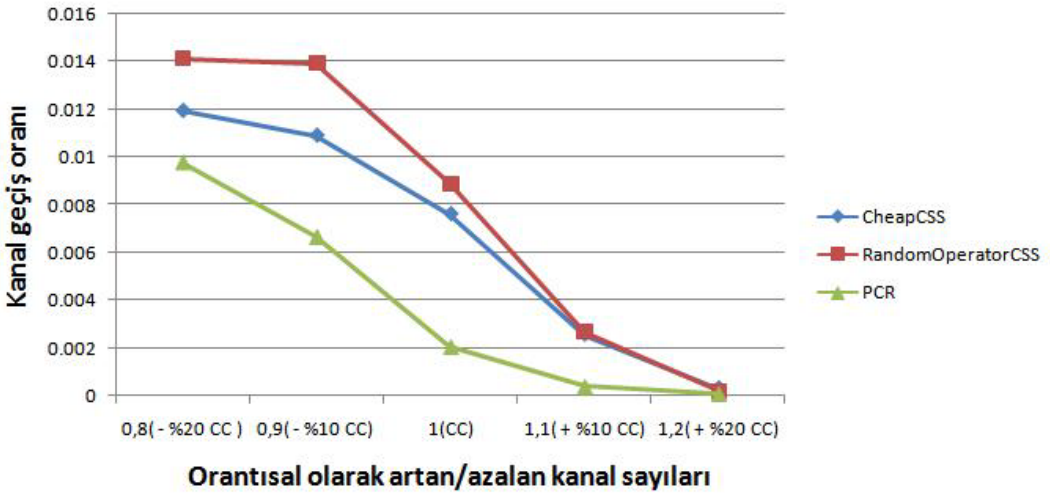
Test konfigürasyonu Bölüm 5.3.1 de oluşturulan test konfigürasyonu ile aynıdır. Bölüm 5.3.1 de sadece pazartesi gününün kullanıcı desenine göre en az kanal geçiş sayısının PCR yöntemi ile sağlandığını gösterilmiştir. Şekil 5.15 de haftanın her günü için yapılan testlerin sonuçları gösterilmektedir. Bu testte farklı günlerde dolayısıyla farklı kullanıcı desenlerinde de PCR yönteminin diğer yöntemlerden daha iyi sonuç verdiği gösterilmektedir.



Şekil 5.15 : Farklı günler için bağlantı başına kanal geçişi olma oranı

5.3.4 İkincil Kullanıcıları Sezen Operatörlerle Farklı Kanal Sayıları ile İkincil Kullanıcı Kanal Geçiş Testi

Bu test konfigürasyonu Bölüm 5.3.1 de oluşturulan test konfigürasyonu ile aynıdır. Sadece aynı test tüm operatörlerin kanal sayıları %10 ve %20 arttırıp azaltılarak birden çok kez yapılmıştır. Bu test ile kanal sayılarının ikincil kullanıcılarının kanal geçişine uğramasına olan etkisi incelenmiştir. Şekil 5.16 da gösterildiği gibi kanal sayıları değişse bile en az kanal geçiş sayısının PCR yöntemi ile sağlanmaktadır. Ayrıca tüm kanal seçme mekanizmalarında operatörlerin sabit ikincil kullanıcı trafiği korunurken kanal sayısı azaltılıyor olması kanal geçiş sayısını arttırmaktadır.



Şekil 5.16 : Farklı kanal sayıları için bağlantı başına kanal geçişi olma oranı

5.3.5 İkincil Kullanıcıları Sezen Operatörlerle İkincil Kullanıcı Kanal Geçişinden Kaynaklanan Gecikme Testi

Yapılan test ile tüm gün içinde oluşacak toplam gecikme incelenmektedir. Yapılan test konfigürasyonunda operatörler ikincil kullanıcıları sezerler. Her dakikada 40 tane ikincil kullanıcı olacak şekilde ikincil kullanıcı bağlantı istekleri yaratılmıştır. Operatörlerin sadece pazartesi günü kullanıcı desenlerin için test yapılmıştır.

Gecikmeler ikincil kullanıcının servis aldığı kanala birincil kullanıcının gelmesi ile ikincil kullanıcıların bağlantıları süresince gözlemlenir. Tasarlanan sistemde oluşabilecek iki tür gecikme söz konusudur. İlki kanal geçişi yapılacağı sırada tüm operatörlerde boş kanal kalmaması durumunda oluşur. Sistemde tanımlı ortalama bir süre beklenildiğinde, diğer kullanıcıların herhangi birinin bağlantı isteğinin tamamlanıp servis aldığı kanalı boşaltarak boş kanal oluşturması beklenir. Kuyrukta

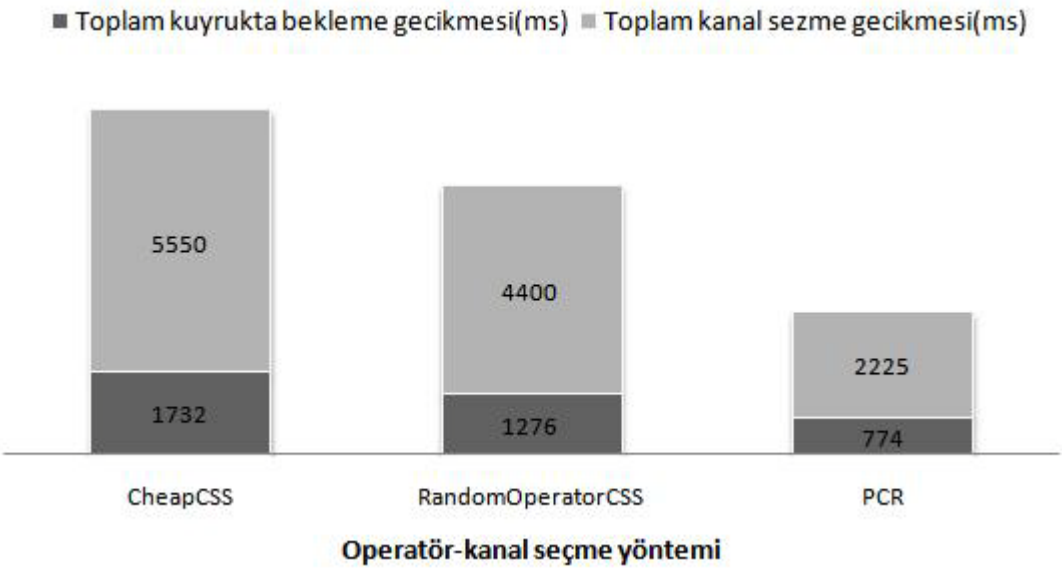
bekleme gecikmesi olarak adlandırılan bu değer testlerimizde 2 ms olarak tanımlanmıştır. Yani kanal geçişine uğrayan bir ikincil kullanıcı için, kanal geçişine zorlandığı anda boş kanal yoksa sistemde boş kanal oluşması 2 ms sonra gerçekleşecektir. Değerlendirilen ikinci gecikme ise kanal sezme süresidir. Üstünkörü kanal sezme işlemi en az 1 ms sürerken (fast sensing), iyice kanalı kontrol etme 25 ms sürmektedir. Testimizde ortalama bir değer olarak 5 ms olarak kanal sezme gecikmesi tanımlanmıştır. Sistemde gün sonunda oluşacak toplam gecikme, kanal geçişleri sırasında oluşan kanal sezme gecikmesi ve kuyrukta bekleme gecikmesinin toplamıdır. Çizelge 5.2 incelendiğinde kanal geçişine uğrayarak boş kanal bekleyen ikincil kullanıcı sayısının, PCR yönteminde operatörlerin geçmiş kullanıcı desenlerine dayalı kanal geçiş olasılığını değerlendiğinden dolayı daha az olduğu gözlemlenmektedir. Dikkat edilmesi gereken bir diğer nokta da, kanal geçişine uğrayan bir ikincil kullanıcının aynı bağlantıda kaç kez kanal geçişine uğradığıdır. PCR yönteminde bir diğer kanala geçiş aşamasında kanal trafikleri değerlendirilerek yeni kanala karar verilmektedir. Bu nedenle sistem yoğun olduğu durumlarda da en az yoğun operatöre karar vererek bağlantının tekrar kanal geçişine uğraması ihtimalini azaltacaktır. Cheap ve Random yöntemlerinde birincil kullanıcı yoğunluğu dikkate alınmadığından bu durumda başarı gösteremeyeceklerdir. Çizelge 5.2 deki test sonuçlarına göre, kanal geçişine uğrayan bir ikincil kullanıcı, bağlantısı boyunca ortalama PCR yöntemi ile (387:342) 1,13 kez, Cheap yöntemi ile (866:395) 2,19 kez, Random yöntemi ile (638:440) 1,45 kez kanal geçişine uğramaktadır.

Çizelge 5.2 : İkincil kullanıcılar sezilebilirken kanal geçişinden kaynaklanan gecikme süreleri

	Boş kanal bekleyen ikincil kullanıcı sayısı	Boş kanal bekleyen ikincil kullanıcıların toplam kanal geçiş sayısı	**Toplam kuyrukta bekleme gecikmesi (ms)**	İkincil kullanıcıların toplam kanal geçiş sayısı	**Toplam kanal sezme gecikmesi (ms)**	**Toplam kanal sezme gecikmesi (ms)**
CheapCSS	395	866	**1732**	1110	**5550**	**7282**
RandomOperatorCSS	440	638	**1276**	880	**4400**	**5676**
PCR	342	387	**774**	445	**2225**	**2999**

Şekil 5.17 de ikincil kullanıcıların kanal geçişi işleminin ikincil kullanıcıların bağlantı isteklerinde yarattığı toplam gecikme gösterilmiştir. PCR yöntemi ile ikincil kullanıcı kanal geçişinden kaynaklanan toplam gecikme süresinin diğer 2 yönteme

göre daha az olduğu şekilden de görülmektedir. Bunun sebebi PCR yöntemi ile oluşan kanal geçişinin az olması ve kanal geçişi olduğu durumda da daha sonraki zamanlarda oluşabilecek birincil kullanıcı yoğunluğu dikkate alınıp kanal geçişi sağlanması ile yeniden kanal geçişine uğrama riskinin minimize edilmesidir.



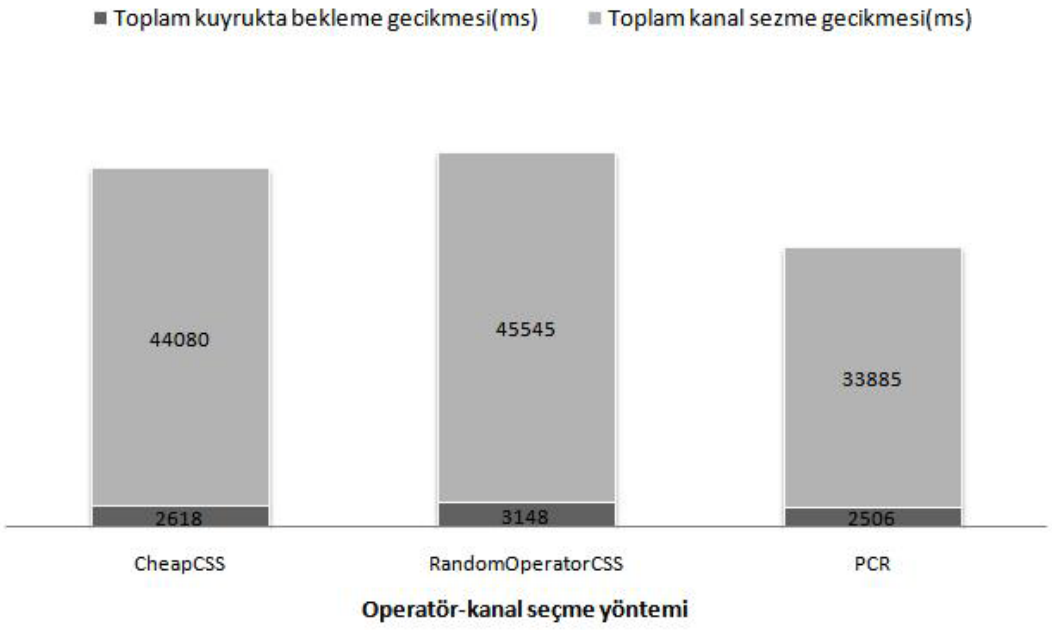
Şekil 5.17 : Operatörler ikincil kullanıcıyı sezerken ikincil kullanıcı kanal geçişinden kaynaklanan toplam gecikme

5.3.6 İkincil Kullanıcıları Sezemeyen Operatörlerle İkincil Kullanıcı Kanal Geçişinden Kaynaklanan Gecikme Testi

Bu testte Bölüm 5.3.5 de yapılan testin aynısı operatör tarafından ikincil kullanıcıların tanınmadığı şartlar altında yapılmıştır. Şekil 5.18 de ve Çizelge 5.3 de PCR yöntemi ile ikincil kullanıcı kanal geçişinden kaynaklanan toplam gecikme süresinin diğer 2 yönteme göre daha az olduğu görülmektedir. Bu test için yapılan yorumlar Bölüm 5.3.5 de yapılanlar ile aynıdır. Bu test ikincil kullanıcıların sezilmediği durumda da PCR yönteminin daha iyi sonuçlar oluşturduğunu göstermek amaçlı eklenmiştir.

Çizelge 5.3 : İkincil kullanıcı sezilemezken kanal geçişinden kaynaklanan gecikme süreleri

	Boş kanal bekleyen ikincil kullanıcı sayısı	Boş kanal bekleyen ikincil kullanıcıların toplam kanal geçiş sayısı	**Toplam kuyrukta bekleme gecikmesi (ms)**	İkincil kullanıcıların toplam kanal geçiş sayısı	**Toplam kanal sezme gecikmesi (ms)**	**Toplam kanal sezme gecikmesi (ms)**
CheapCSS	902	1309	**2618**	8816	**44080**	**46698**
RandomOperatorCSS	955	1574	**3148**	9109	**45545**	**48693**
PCR	845	1253	**2506**	6777	**33885**	**36391**

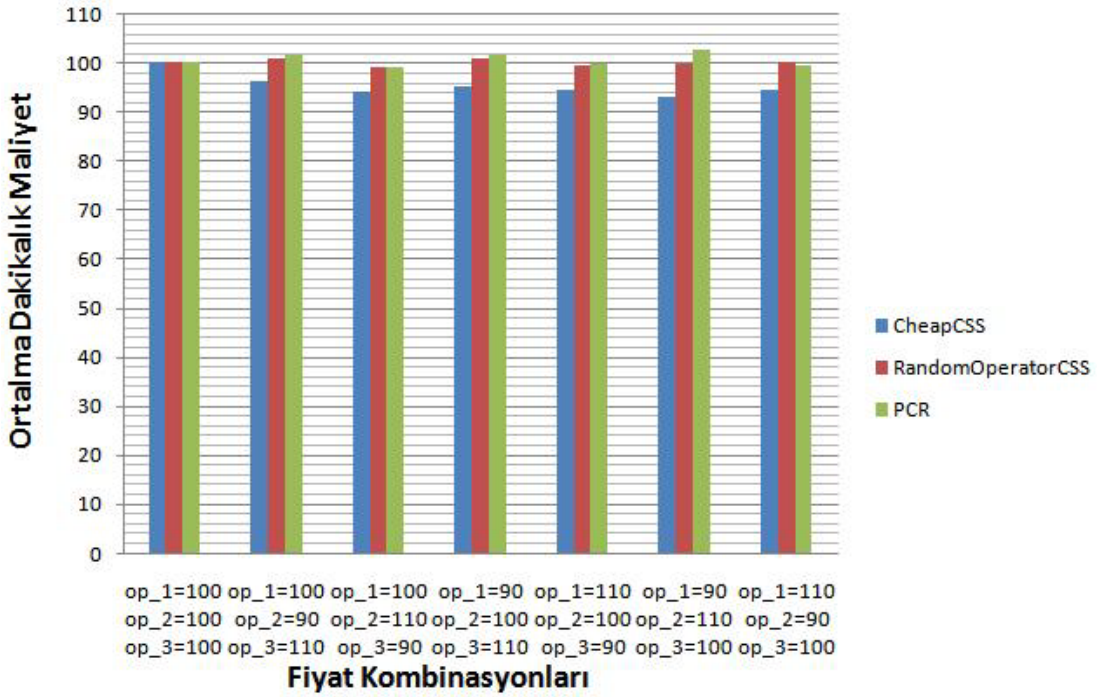


Şekil 5.18 : Operatörler ikincil kullanıcıyı sezemezken ikincil kullanıcı kanal geçişinden kaynaklanan toplam gecikme

5.3.7 İkincil Kullanıcıları Sezen Operatörlerle Bağlantı Maliyet Testi

Bölüm 5.3.1 de oluşturulan test konfigürasyonu kullanılmaktadır. Ancak Bölüm 5.3.1 de sadece bir fiyatlandırma politikası kullanılmaktadır. Yapılan bu test çalışmasında farklı fiyatlandırma politikaları ile operatör-kanal seçme yöntemlerinde KRSS'nin bir ikincil kullanıcı bağlantısının bir dakikası için operatörlere ortalama ödeyeceği maliyet değerleri karşılaştırılmıştır. Operatörlerin fiyatları, aynı değerler(100) ve farklı değerlerin (90, 100, 110) sıralı kombinasyonları ile toplam 7 fiyat kombinasyonu olarak atanmaktadır. KRSS, kanal geçişi için terk ettiği kanal için operatörler tarafından ücretlendirilmemektedir. Şekil 5.19 daki sonuçları

değerlendirdiğimizde, fiyatlar eşitken 3 yöntemde de maliyetin aynı olduğunu, fiyatlar farklı iken en az maliyetin Cheap yöntemi ile elde edildiğini görmekteyiz. Çünkü Cheap yöntemi her durumda boş kanalı olan operatörlerden en ucuzunu seçmektedir. Ancak Şekil 5.6 daki PCR yöntemi ile bağlantı başına kanal geçişi görülme oranındaki iyileştirme faktörü düşünüldüğünde PCR ile Cheap arasındaki ortalama dakikalık maliyet sonuçları arasındaki fiyat farkı tahammül edilebilir bir değer olarak düşünülebilir.



Şekil 5.19 : Farklı fiyatlandırma politikaları ile ortalama dakikalık maliyet

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Kavramsal radyo fikri ortaya çıkısından bu yana bilimsel çalışmalarda ilgi görmüş ve üzerine çalışılan bir konu olmuştur Kavramsal radyolarda dinamik spektrum yönetiminin en can alıcı noktalarından biri de spektrum kanallarının ikincil kullanıcılar arasında paylaştırılmasıdır.

Bu tez çalışmasında, GSM operatörleri tarafından lisanslanmış ancak verimli kullanılmayan spektrum boşluklarından yararlanarak ikincil kullanıcıların iletişim isteklerini gerçekleştirmek için merkezi bir kavramsal radyo servis sağlayıcısı tasarlanmıştır. Tasarlanan kavramsal radyo servis sağlayıcısı ikincil kullanıcılar için istek anında boş kanalı olan operatörler arasından en uygun kanalı seçmeye çalışır.

Geçmiş kullanıcı istatistiklerine bakılarak ve yapay sinir ağları kullanarak kanal geçişini ve ikinci kullanıcıların kanal geçişinden kaynaklanan iletişim gecikmesini azaltmayı sağlayan yeni bir kanal seçme yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntemin temel hedefi, sistemdeki ikincil kullanıcıların kanal geçiş sayılarını azaltmaktır. Geliştirilen yöntemle ikincil kullanıcıların kanal geçiş sayısı azaltılarak ekstra spektrum sezme işleminden kaynaklanan gecikme azaltılırken servis kalitesi artmaktadır.

Gelecek çalışmalarda operatörlerin kanal özellikleri farklılaştırılarak kanal seçme yöntemi genişletilebilir. Ayrıca operatörlerin kavramsal radyo servis sağlayıcısından gelen geri bildirimler ile fiyat mekanizmalarını, ikincil kullanıcılar için sunacakları kanal özelliklerini değiştirmesi sağlanarak, boş kanalların kullanılırlığı arttırabilirler.

7. KAYNAKLAR

[1] **Akyildiz, I.F., Lee, W.-Y., Vuran, M. C., Mohanty, S.**, 2006. NeXt generation/dynamic spectrum access/cognitive radio wireless networks: A survey, *Computer Networks*, **50**, 2127-2159, September.

[2] **Url-1** <*http://www.darpa.mil/sto/smallunitops/xg.html*>, alındığı tarih 27.04.2009.

[3] **Krondorf, M.,** 2006. ORACLE - Opportunistic Radio Communications in Unlicensed Environments, *ORACLE White Paper*, December.

[4] **Mitola, J.**, 2000. Cognitive radio: An Integrated agent architecture for software defined radio, *PhD thesis*, KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.

[5] **Zhao, Q., Sadler, B.M**., 2007. A survey in Dynamic Spectrum Access, *IEEE Signal Processing Magazine*, **4**, 79-89.

[6] **Haykin S.**, 2005. Cognitive radio: brain-empowered wireless communications, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, **23**, 201–220.

[7] **McHenry, M.**. <http://www.sharedspectrum.com>, alındığı tarih 27.04.2009.

[8] **Haykin, S.**, 2007. Fundamental issues in cognitive radio, Cognitive Wireless *Communication Networks, Springer*, 1–43.

[9] **Buddhikot, M. M., Kolodzy, P., Miller S., Ryan, K., Evans, J.**, 2005. Dimsumnet: New directions in wireless networking using coordinated dynamic spectrum access, *IEEE WoWMoM05*, June.

[10] **Niyato, D., Hossain, E.**, 2008. Competitive spectrum sharing in cognitive radio networks: a dynamic game approach, *IEEE on Transactions Wireless Commununications*, **7**, 2651–2660.

[11] **Khozeimeh, F., Haykin, S.**, 2009. Dynamic spectrum management for cognitive radio: an overview, *WIRELESS COMMUNICATIONS AND MOBILE COMPUTING Wirel. Commun. Mob. Comput.*

[12] **Zheng, H., Peng, C.**, 2005. Collaboration and fairness in opportunistic spectrum access, *IEEE International Conference on Communications, ICC*, **5**, 3132–3136, May.

[13] **Zhang, R., Liang, YC.**, 2008. Exploiting multi-antenna for opportunistic spectrum sharing in cognitive radio networks, *IEEE Journal on Selected Topics in Signal Processing*, **2**, 88–102.

[14] **Ileri, O., Samardzija, D., Sizer, T., Narayan, B., Mandayam**, 2005. Demand Responsive Pricing and Competitive Spectrum Allocation via a Spectrum Server, *New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks, DySPAN*, 194-202, November.

[15] **Lindstrom, M.**, 2005. Demand responsive resource management for cellular networks, *Ph.D. dissertation, KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden*.

[16] **S., Haykin**, 1999. Neural Networks a Comprehensive Foundation, *Second Edition Prentice Hall, New Jersey*.

[17] **Berthold, U., Fu F., Schaar V. D. M., Jondral, FK**, 2008. Detection of spectral resources in cognitive radios using reinforcement learning, *Third IEEE Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks, DySPAN*, 1–5, October.

[18] **Farhda, R., Abji, N., Sheikh, O., Leon-Garcia**, 2007. A. Market-based resource management for cognitive radios using machine learning, *Global Telecommunications Conference, GLOBECOM'07 IEEE*, 4630–4635, November.

[19] **Wang, F., Krunz, M., Cui, S.**, 2007. Price-based spectrum management in cognitive radio networks, Second International Conference on Cognitive Radio Oriented Wireless Networks and Communications, CrownCom.

[20] **Han, Z., Pandana, C., Liu, K.**, 2007. Distributive opportunistic spectrum access for cognitive radio using correlated equilibrium and no-regret learning. *Wireless Communications and Networking Conference, WCNC IEEE*.

[21] **Musuku, M., Cotae, P.**, 2007. Cognitive radio: time domain spectrum allocation using game theory, *IEEE International Conference on System of Systems Engineering, SoSE*, 16–18, April.

[22] **Buljore, S.**, 2008. Introduction to IEEE P1900.4 Activities, *IEICE Transactions on Communications*, 1, 2-9, January.

[23] **Federal Communications Commission**, 2004. Notice of proposed rule making: Unlicensed operation in the TV broadcast bands, *ET Docket*, 4-186, May.

[24] **Marcus, M.**, 2005. Unlicensed cognitive sharing of TV spectrum: the controversy at the federal communications commission, *IEEE Commun. Mag.*, **43**, 24–25.

[25] **Zhao, Y., Morales, L., Gaeddert, J., Bae, K. K., J.-S. Um, Reed, J. H.**, 2007. Applying radio environment maps to cognitive wireless regional area networks, *Proc. IEEE Int. Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks, Dublin, Ireland*, 115–118, April.

[26] **T., Yücek, H., Arslan**, 2009. A Survey of Spectrum Sensing Algorithms for Cognitive Radio Applications, *IEEE COMMUNICATIONS SURVEYS & TUTORIALS*, **11**.

[27] **C., Bishop**, 1996. Neural Networks for Pattern Recognition, *Oxford Univ Press*.

[28] **E. Öztemel**, 2003. Yapay Sinir ağları,

[29] **Url-2**, <http://www.ahmetkakici.com/yapay-sinir-aglari/>, alındığı tarih 28.04.2009.

[30] **Url-3.** <http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/toolbox/nnet/> alındığı tarih 28.04.2009.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad:	Esra Güney
Doğum Yeri ve Tarihi:	Kocaeli, 24.01.1983
Adres:	Darcan Sok. Yeni Kale Apt. 10/3 Mecidiyeköy/Şişli/İstanbul
Lisans Üniversite:	Ege Üniversitesi