



WiMAX: Diğer Genişbant Telsiz Erişim (GTE) Teknolojileri ile Karşılaştırılması

Müberra GÜNGÖR, Daire Bařkanı
M. Alper TEKİN, Biliřim Uzmanı
Ramazan YILMAZ, Biliřim Uzmanı

Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu
Sektörel Araştırma ve Stratejiler Dairesi Başkanlığı

Temmuz 2009, ANKARA

İçindekiler

	Sayfa
1. Giriş	5
2. WiMAX Teknolojisi ve Şebeke Elemanları	5
3. IEEE Standartları (WiMAX ve Wi-Fi)	6
4. WiMAX'in Diğer Teknolojilerle Kıyaslanması	10
5. WiMAX Spektrumu ve Yetkilendirilmesi	14
6. Sonuç	22
Kaynakça	23

Şekiller

	Sayfa
Şekil 1: WiMAX Şebeke Mimarisi	5
Şekil 2: WiMAX Arabağlantı Noktaları	6
Şekil 3: IEEE Standartları	6
Şekil 4: IEEE WiMAX ve Wi-Fi Standartları	7
Şekil 5: IEEE Standartları ve Kapsama Alanı	7
Şekil 6: Farklı Genişbant Teknolojilerinin Hız ve Mobilite Diyagramı	11
Şekil 7: Sabit ve Mobil Teknolojilerin Hız ve Mobilite Yönünden Karşılaştırılması	11
Şekil 8: Hücresel Sistemlerin Teknolojik Gelişimi	12
Şekil 9: WiMAX, Wi-Fi ve UMTS'in Spektrum, Güvenlik, Mobilite ve Maliyetler Bazında Karşılaştırılması.....	14
Şekil 10: Bölgesel ya da Ulusal Bazda WiMAX Yetkilendirme Yüzdeleri.....	17
Şekil 11: Bölgesel WiMAX Lisans Maliyetleri.....	17
Şekil 12: Dünyada WiMAX Teknolojisinin Kullanımı	18
Şekil 13: 2.3GHz Frekans Bandında WiMAX Kurulumu	19
Şekil 14: 2.5GHz Frekans Bandında WiMAX Kurulumu	19
Şekil 15: 2.6GHz Frekans Bandında WiMAX Kurulumu	20
Şekil 16: 3.5GHz Frekans Bandında WiMAX Kurulumu	20
Şekil 17: 5.4GHz Frekans Bandında WiMAX Kurulumu	21
Şekil 18: 5.8GHz Frekans Bandında WiMAX Kurulumu	21

Çizelgeler

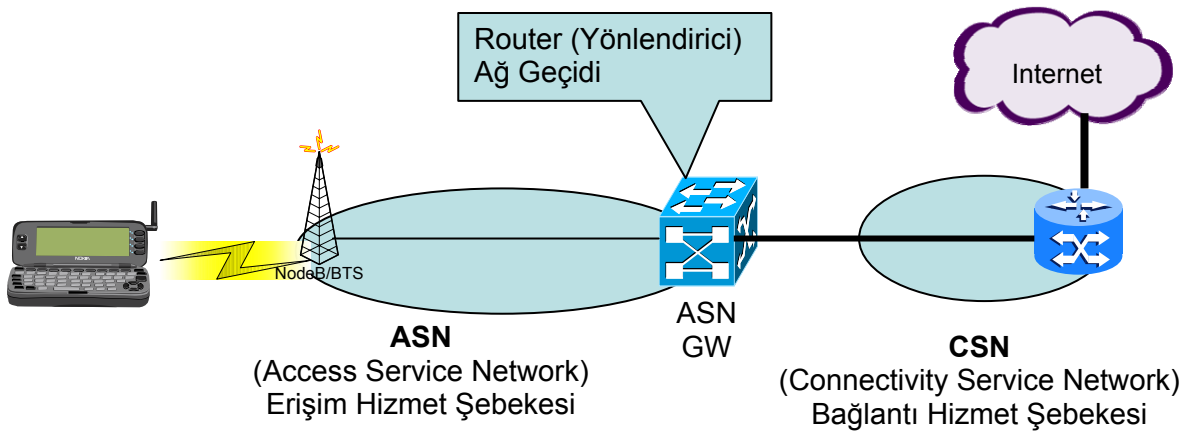
	Sayfa
Çizelge 1: WiMAX Standartları	8
Çizelge 2: WiMAX ve 3N Karşılaştırması.....	12
Çizelge 3: Hız, Mesafe ve Frekansa Göre Telsiz Teknolojiler	13
Çizelge 4: WiMAX İçin Tahsis Edilen Frekans Bantları	15
Çizelge 5: Bazı OECD Ülkelerindeki WiMAX Yetkilendirme, Spektrum ve Hizmet Kısıtlama Durumu	15

1 . Giriş

Worldwide Interoperability for Microwave Access kelimelerinin kısaltması olan WiMAX teknolojisi sabit, taşınabilir ve mobil erişimleri destekleyen bir genişbant kablosuz erişim teknolojisidir. Görüş hattında olan veya olmayan, noktadan noktaya, noktadan çok noktaya ve çok noktadan çok noktaya uygulamaları desteklemektedir. İdeal şartlarda 50 km'lik kapsama alanı içerisinde 75 Mb/s hızlarda ses, veri ve görüntüyü hizmet kalitesi ve güvenlik gerekliliklerinde taşıyıp dağıtabilmektedir [1].

2 . WiMAX Teknolojisi ve Şebeke Elemanları

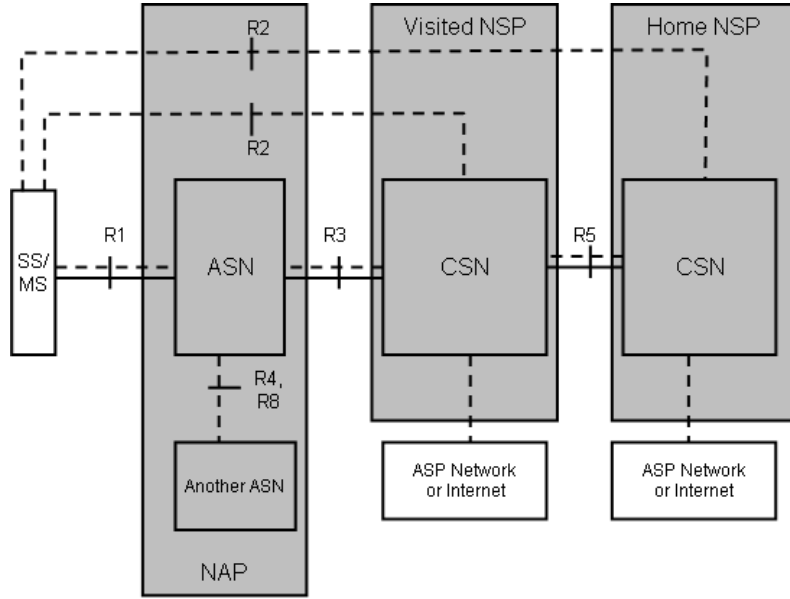
WiMAX teknolojisinde baz istasyonu ile ağ geçidi arasında erişim hizmet şebekesi bulunmaktadır. Ağ geçidi ile internet omurgası arasında ise bağlantı hizmet şebekesi yer almaktadır. Aşağıdaki şekilde WiMAX şebeke mimarisi ve şebeke elemanlarına yer verilmektedir [5].



Kaynak: WiMAX Forum, 2009

Şekil 1: WiMAX Şebeke Mimarisi

Aşağıdaki şekilde de görüldüğü üzere bir WiMAX şebekesinde R1, R3 ve R5 noktalarında arabağlantı tesis edilebilmektedir.

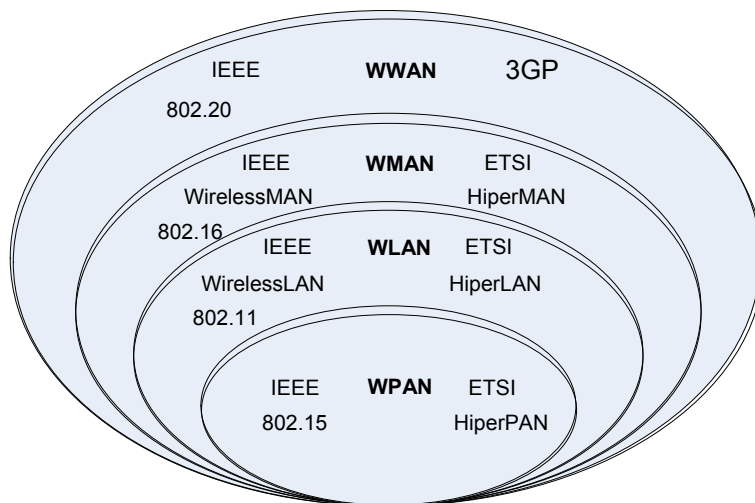


Kaynak: WiMAX Forum, Wiki, 2009

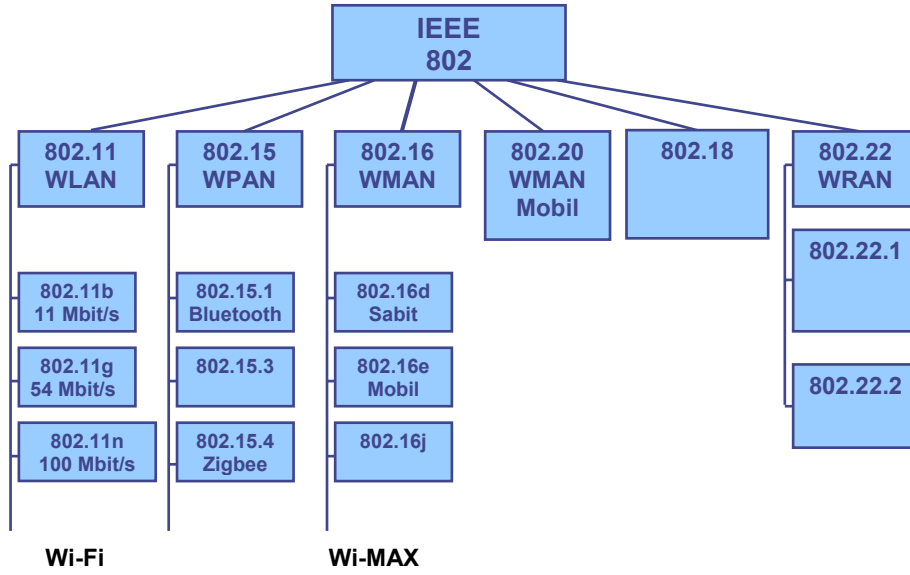
Şekil 2: WiMAX Arabağlantı Noktaları

3 . IEEE Standartları (WiMAX ve Wi-Fi)

En küçük ölçekli şebeke kişisel alan şebekesi PAN'dır (personal area network). Bluetooth ve Zigbee gibi kısa mesafelerde cihazların birbirleriyle iletişim kurmasına imkân tanır. Şebeke ölçeği açısından bir ileri adım, yerel alan ağıdır (local area network, LAN). Yerel alan ağının en bilineni Wi-Fi'dir. WiMAX ise sonraki adım olan kentsel alan şebekesidir (metropolitan area network (MAN)).



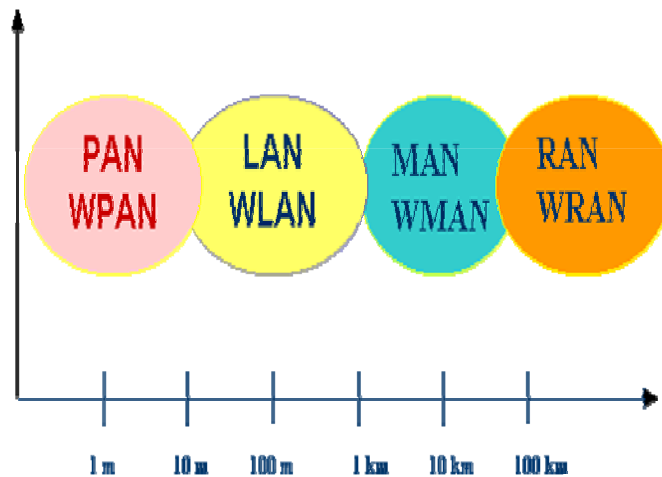
Şekil 3: IEEE Standartları



Kaynak: Chouinard vd.

Şekil 4: IEEE WiMAX ve Wi-Fi Standartları

En hızlı WIMAX bağlantısı saniyede 70 megabit iletim hızına ulaşabilmektedir. 70 megabit birkaç düzine işyeri ya da yüzlerce ev kullanıcı arasında dağıtılsa bile, WIMAX kablo modemine her bir kullanıcıya sağladığı en küçük transfer hızlarına eşit bir hız sağlayacaktır. WiMAX'ın Wi-Fi'den en büyük farkı hız değil kapsama alanıdır. WiMAX Wi-Fi'den çok daha geniş bir mesafeye iletim yapabilmektedir. WiMAX kablosuz erişim ile teorik olarak 50 km yarıçapında bir kapsama alanına sahiptir.



Şekil 5: IEEE Standartları ve Kapsama Alanı

WiMAX, IEEE (The Institute of Electrical and Electronics Engineers) tarafından geliştirilen standartlardan 802 serisinin bir üyesi olup, IEEE 802.16 standartlarını

temel alan bir kablosuz genişbant erişim teknolojisidir. İlk sürümü Ekim 2001'de tamamlanan IEEE 802.16 standardı, WMAN teknolojisi olarak, kullanıcılara kablosuz ortamda ses ve yüksek hızda veri sağlamak amacıyla bir hava arayüzü ve Ortam Erişim Kontrolü (Media Access Control / MAC) sağlamaktadır. IEEE 802.16 standardı PMP mimarisinde çalışan kablosuz genişbant erişim sistemlerinin modern sürümüdür. Daha sonra geliştirilen 802.16a/d sürümleri örülü ağ (Mesh Network) şebeke mimarisini de desteklemektedir. Başlangıç sürümü 10–66 GHz arasında çok sayıda çalışan kablosuz genişbant erişim sistemlerin yayılım ihtiyacını karşılamak amacıyla geliştirilmiştir. Sonraki sürümlerin 2–11 GHz ve bunun ardından da 2-6 GHz arasında çalışan sistemler standartlaştırılmıştır [8].

2001 yılında geliştirilen ilk IEEE 802.16 standardı 10–66 GHz frekans aralığı için tasarlanmışken, 2003 yılının Ocak ayında 2–11 GHz frekans aralığını kapsayacak şekilde değiştirilerek IEEE 802.16a olarak adlandırılmış ve görüş hattı gerektirmeyen (NLOS) kullanım ihtiyaçlarına cevap verecek özelliğe kavuşturulmuştur. IEEE 802.16 standardındaki sonraki değişiklik 2004 yılının Haziran ayında IEEE 802.16–2004 (802.16d) standardı adı altında onaylanmış ve bu standart ile 802.16a, 802.16c ve ilk 802.16–2001 versiyonu kullanımdan kalkmıştır. IEEE 802.16–2004 standardı sadece sabit sistemlere yöneliktir. 07 Aralık 2005 tarihinde ise mobilite destekli IEEE 802.16–2005 (802.16e) standardı onaylanmıştır [1]. Aşağıdaki çizelgede WiMAX teknolojisi standartlarına yer verilmektedir:

Çizelge 1: WiMAX Standartları

	802.16	802.16a	802.16d	802.16e
Tamamlanma Tarihi	Ekim 2001	Ocak 2003	Haziran 2004	Aralık 2005
Spektrum	10–66 GHz	11 GHz'e kadar	11 GHz'e kadar	6 GHz'e kadar
Çalışma Şekli	LOS	NLOS	NLOS	NLOS
İletim Hızı	32–134 Mbps	70 Mbps'e kadar	70 Mbps'e kadar	15 Mbps'e kadar
Hücre Yarıçapı	5 Km'ye kadar	8 Km'ye kadar	8 Km'ye kadar	5 Km'ye kadar

Kaynak: Yekebağcı, Y. (2006)

802.16d: Omurga şebeke olarak kullanılmanın yanı sıra, bakır kablonun olmadığı ya da kablo döşemenin ekonomik olmadığı yerlerde ses ve genişbant hizmetleri sağlamak veya mevcut DSL ve Kablo Modem gibi genişbant teknolojilerle rekabet etmek amacıyla geliştirilmiş sabit ve göçebe uygulamaları sağlayabilen bir kablosuz genişbant standardıdır. 802.16d standardı ile lisanslı ve lisanssız 2–11 GHz bantlarında IP tabanlı şebekeler üzerinden noktadan noktaya ve noktadan çok noktaya LOS (Line of Sight) ve/veya kapsama alanı içerisinde herhangi bir noktaya NLOS ses, veri ve görüntünün iletimini yapmak mümkündür. Teorik olarak 50 km'ye kadar 70 Mbps'lik iletim hızını mümkün kılmaktadır.

802.16e: Ses ve genişbant hizmetleri sağlamak amacıyla 802.16d standardının temel özellikleri arasında bulunmayan taşınabilirlik ve nihayetinde tam mobiliteyi amaçlayan bir mobil kablosuz genişbant standardıdır.

WiMAX'te NLOS uygulama OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) teknolojisi ve MIMO (multi-input multi-output) alıcı teknolojisi sayesinde gerçekleştirilmektedir. OFDM teknolojisi birçok yeni nesil GTE sistemi tarafından kullanılmaktadır. OFDM teknolojisi yüksek hızdaki verinin minimum bant genişliği ile engebeli alanlarda elde edilmesi için kullanılan en etkin yöntemdir. OFDM teknolojisinin kullanılmasındaki temel amaç çoklu yol yansımalarından kaynaklanan problemlerin azaltılmasıdır. Bu problemler özellikle 7GHz'in altındaki frekanslarda görülmektedir. OFDM, abone istasyonlarının sinyal gürültü oranını (SNR) artırma, enterferansı minimize etme ve bina dışı ortamlarda esneklik geliştirme gibi faydalar sağlamaktadır. MIMO ise kablosuz sistemlerde hızın, sistem performansının ve güvenilirliğin artırılmasını sağlamaktadır. MIMO'nun teorik kapasitesi kullanılan anten sayısı arttıkça artmaktadır [1].

LOS: Görüş hattının gerekli olduğu (line of sight) hizmet şeklidir. Burada bir çatıdan ya da direktten doğrudan WiMAX kulesini gören sabit bir anten bulunmaktadır. Görüş hattı içindeki bağlantı daha güçlü ve daha dayanıklıdır.

NLOS: Görüş hattının zaruri olmadığı (non-line of sight) hizmet şeklidir. Bilgisayar üzerindeki küçük bir antenin kule ile bağlantı kurduğu Wi-Fi türü bir hizmettir. Bu modda, WiMAX daha düşük bir frekans alanı (2 GHz - 11GHz) kullanır. Daha düşük

bant genişliğindeki iletimler fiziksel engeller tarafından kolayca aksatılmamaktadır. Bu bant genişliklerindeki iletimler engellerin etrafından kırılarak ya da eğilerek yayılabilmektedir (multipath özelliği).

2007 yılı Ekim ayında WRC'07 konferansında alınan bir karar ile WiMAX de bir 3N standardı¹ olarak kabul edilmiştir [4]. ITU'nun WiMAX teknolojisini IMT standardı olarak tavsiye etmesi ile birlikte mobil genişbant teknolojileri arasındaki rekabetin önümüzdeki dönemde artacağı tahmin edilmektedir.

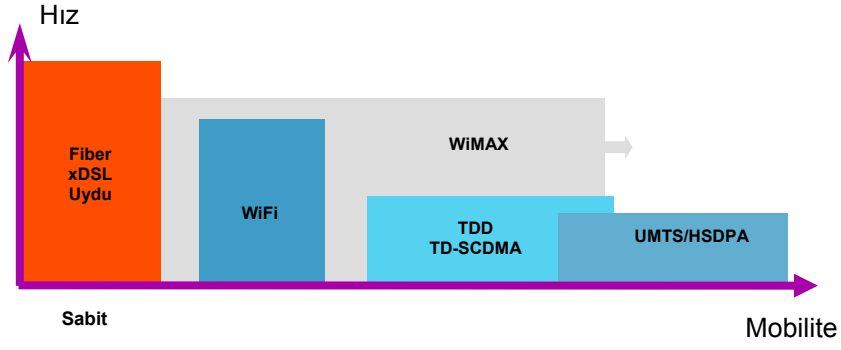
WiMAX'ın Avrupa'daki rakibi HIPERMAN'dır.² WiMAX Forum 802.16 ve HIPERMAN'ı beraber çalışabilir kılmak için çalışmalarını sürdürmektedir. WiMAX forum üyeleri tarafından geliştirilen ürünler sertifikasyon sürecini geçmek için uyumlu olmaya ihtiyaç duymaktadır. Kore telekomünikasyon sektörü ise WiBro isimli kendi standardını geliştirmiştir. 2004 yılının sonlarında da Intel ve LG Electronics, WiBro ve WiMAX'ın birlikte çalışabilirliğini kabul etmiştir.

4 . WiMAX'ın Diğer Teknolojilerle Kıyaslanması

Aşağıdaki şekillerde WiMAX teknolojisinin hız ve mobilite yönlerinden diğer teknolojilerle karşılaştırılmasına yer verilmektedir. Buna göre WiMAX sistemi fiber ve DSL gibi sabit sistemlere göre nispeten düşük hızlı iken, hücresele yaygınlığı daha çok olan sistemlere göre de mobilite yönünden dezavantajlıdır. Ancak bu teknoloji UMTS gibi hücresele sistemlerden daha hızlı olabilmektedir.

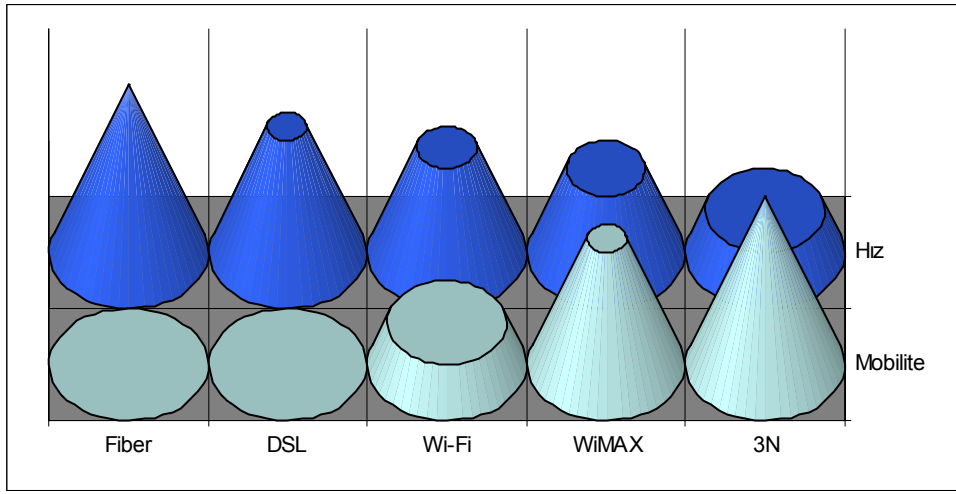
¹ http://www.itu.int/newsroom/press_releases/2007/30.html

² HIPERMAN; "High Performance Radio Metropolitan Area Network"ın baş harflerini simgelemektedir. ETSI standartlarını uygulayan Avrupa ve diğer ülkelerde 2–11 GHz bantları içinde kablosuz bir şebeke iletişimi sağlamak için European Telecommunications Standards Institute (ETSI) Broadband Radio Access Networks (BRAN) grubu tarafından ortaya konulan bir standarttır. HIPERMAN, WiMAX'a alternatif bir Avrupa standardıdır.



Kaynak: Alcatel

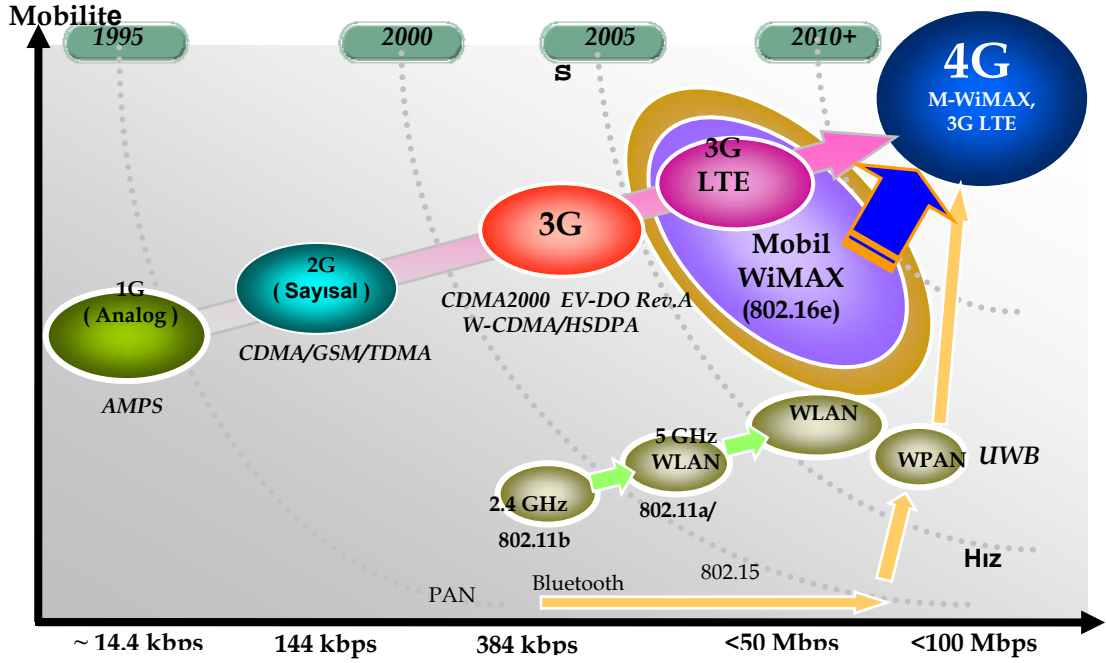
Şekil 6: Farklı Genişbant Teknolojilerinin Hız ve Mobilite Diyagramı



Kaynak: OECD

Şekil 7: Sabit ve Mobil Teknolojilerin Hız ve Mobilite Yönünden Karşılaştırılması

Buna göre mobilite ve hız arasında genel olarak ters yönlü bir ilişki olduğu söylenebilir. Aşağıdaki şekilde ise farklı standartların belirli bir zaman periyodunda şebeke gelişiminin aynı yönde gerçekleşeceğine dair öngörüye yer verilmektedir:



Kaynak: Samsung

Şekil 8: Hücresel Sistemlerin Teknolojik Gelişimi

Aşağıdaki tabloda ise WiMAX ve 3N teknolojilerinin frekans, uygulama, rekabet ve diğer bazı yönlerden karşılaştırılmasına yer verilmektedir:

Çizelge 2: WiMAX ve 3N Karşılaştırması

	WiMAX	3N Mobil Telefon Sistemi
Frekans	2.5GHz, 3.5GHz ve 5GHz	1.8GHz, 1.9GHz ve 2.1GHz
Uygulama	Veri + ses	Ses + veri
Rekabet	Birbirine rakip değil tamamlayıcı teknolojiler olduğu değerlendirmelerinin yanı sıra, WiMAX ile çok ucuza ses (telefon) iletişiminin sağlanması, kurulum kolaylığı ve ucuz maliyetler nedeniyle birbirine rakip olduğu değerlendirilmeleri de yapılmaktadır.	
Teknoloji	OFDM, Paket Anahtarlama	CDMA, Devre ve Paket Anahtarlama
Hücreler arası geçiş (handover & handoff) özelliği	Hücreler arası geçiş 3N'de WiMAX'ten daha iyi tanımlanmıştır	

WiMAX ve 3N şebekeleri farklı uygulamalarla değişik müşterilere hizmet eden ve birbirini tamamlar konumdaki teknolojilerdir. Mobil WiMAX, mobil veri şebekeleri ile rekabet edebilecek bir teknolojidir. Bu şebekeler, hücresel şebekeler tarafından sağlanan kablosuz genişbant erişimi tamamlayacak ya da yerini alabilecek potansiyele sahip bir teknoloji olarak ortaya çıkmaktadır. Intel, yeni mobil

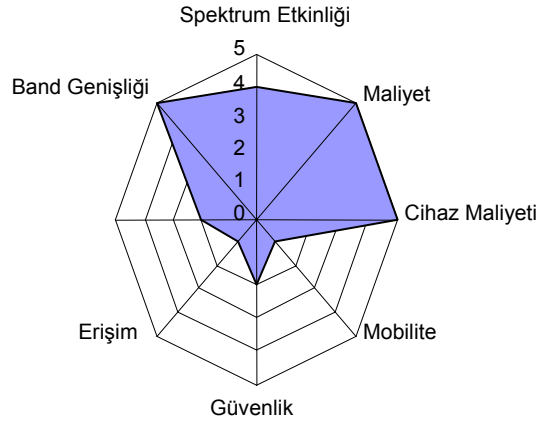
bilgisayarlara talep arttığı için WiMAX'i, özellikle de mobil sürümünü desteklemeye devam etmektedir. Ayrıca Nokia sadece HSPA uyumlu değil, WiMAX destekli cihazlar da üretmektedir. WiMAX teknolojisi 3N'ye sadece rakip değil, aynı zamanda pazarda tamamlayıcı bir teknoloji olarak da görülmektedir [1]. Aşağıdaki tablo ve şekillerde ise WiMAX, Wi-Fi ve 3N teknolojilerinin hız, kapasite, frekans, maliyetler ve güvenlik gibi çeşitli yönlerden karşılaştırılmasına yer verilmektedir:

Çizelge 3: Hız, Mesafe ve Frekansa Göre Telsiz Teknolojiler

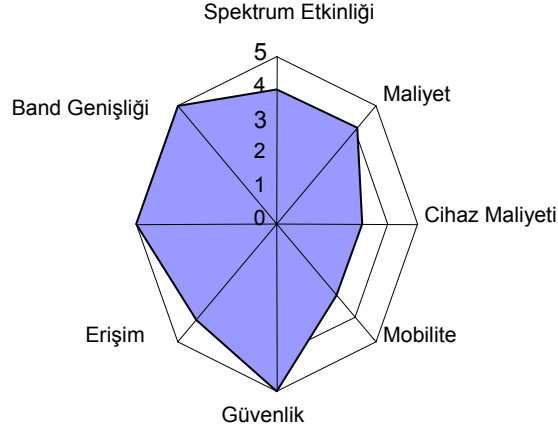
Teknoloji	Standart	Kullanımı	En Yüksek Hız	Mesafe	Frekans
Wi-Fi	802.11a	WLAN	54 Mbps	100 m	5 GHz
Wi-Fi	802.11b	WLAN	11 Mbps	100 m	2.4 GHz
Wi-Fi	802.11g	WLAN	54 Mbps	100 m	2.4 GHz
WiMAX (sabit)	802.16d	WMAN	75 Mbps (20 MHz Bant Genişliğinde)	6.5-10 km	<11 GHz
WiMAX (mobil)	802.16e	Mobil WMAN	30 Mbps (10 MHz Bant Genişliğinde)	1.5-5 km	2-6 GHz
WCDMA/ UMTS	3G	WWAN	2 Mbps (HSDPA ile 10 Mbps)	1.5-8 km	1800, 1900, 2100 MHz

Kaynak: Küçükünsal, J.

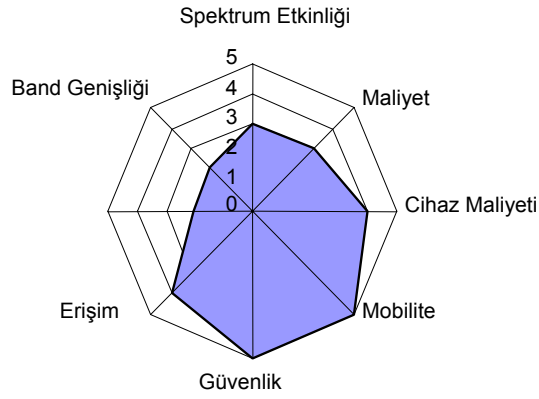
Wi-Fi →



WiMAX →



UMTS (HSDPA) →



Kaynak: Alcatel

şekil 9: WiMAX, Wi-Fi ve UMTS'in Spektrum, Güvenlik, Mobilite ve Maliyetler Bazında Karşılaştırılması

Avrupa'da 3N spektrumunun Hz başı maliyeti WiMAX'ten yaklaşık 1000 kat daha fazladır. Bu oran dñnyanın diğer bölgelerinde daha az olmakla birlikte, WiMAX'in spektrum maliyetinin 3N'den genel olarak daha az olduğu söylenebilir [3].

5 . WiMAX Spektrumu ve Yetkilendirilmesi

Aşağıdaki tabloda tüm dñnyada genel olarak WiMAX için tahsis edilen frekans spektrumuna yer verilmektedir. Buna göre 2.5GHz ve 3.5GHz frekansının lisanslı kullanıma; 5.8GHz frekansının ise lisanssız kullanıma tahsis edildiği söylenebilir [2].

Çizelge 4: WiMAX İçin Tahsis Edilen Frekans Bantları

Ülke/Coğrafik Bölge	Kullanılan Frekans Bandı
Kuzey Amerika, Meksika	2.5GHz ve 5.8GHz
Orta ve Güney Amerika	2.5GHz, 3.5GHz ve 5.8GHz
Doğu ve Batı Avrupa	3.5GHz ve 5.8GHz
Ortadoğu ve Afrika	3.5GHz ve 5.8GHz
Asya Pasifik	3.5GHz ve 5.8GHz

Aşağıda yer alan tabloda bazı OECD ülkelerindeki WiMAX yetkilendirmesi, tahsis edilen spektrum ve getirilen hizmet kısıtlamalarına ilişkin bilgiler yer almaktadır:

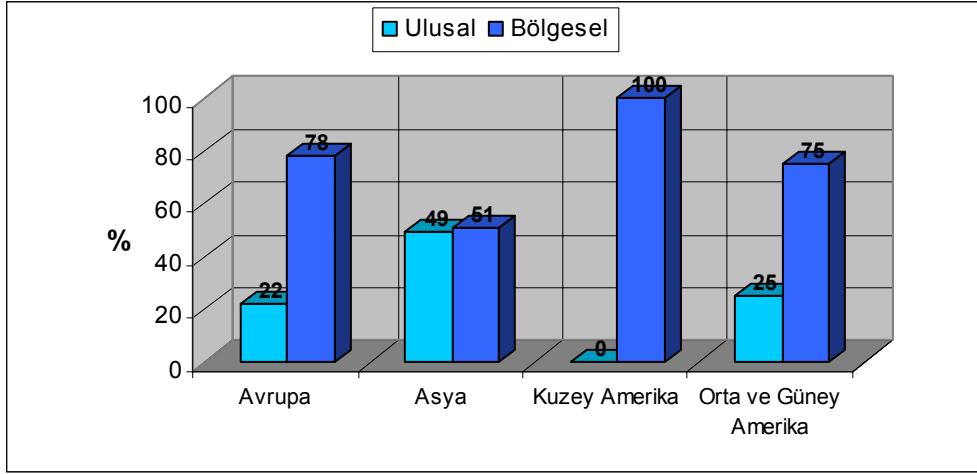
Çizelge 5: Bazı OECD Ülkelerindeki WiMAX Yetkilendirme, Spektrum ve Hizmet Kısıtlama Durumu

Ülkeler	Lisanstan muaf spektrum bandına Wimax için müsaade ediliyor mu? (2.4 veya 5.8 GHz gibi)
	Lisanslı bandların Wimax için kullanımına müsaade ediliyor mu? (2.3 veya 3.5 GHz gibi)
	Wimax üzerinden sunulacak hizmet çeşidinde bir kısıtlama var mı?
Avustralya	Avustralya'da lisanstan muaf spektrum bulunmamaktadır.
	Wimax teknolojisi için belirlenmiş bir spektrum bulunmakla birlikte 2.3 ve 3.5 GHz frekansları bazı operatörlerce kullanılmaktadır.
	Telekomünikasyon hizmetleri için taşıyıcı lisansı gerekmektedir.
Avusturya	2.4 GHz teknoloji tarafsız olduğu için kullanılabilen fakat 5.8 GHz kullanılamamaktadır.
	3.5 GHz frekansı teknoloji tarafsız bir spektrumdur ve wimax için kullanılabilir.
	İlgili sitede tanımlanmıştır: http://www.rtr.at/web.nsf/englisch/Telekommunikation_Frequenzvergabe_Bisherige%20Auktionen_BisherigeAuktionen_WLL-2004?OpenDocument
Belçika	5.8 GHz bandında kullanılabilen tahmin edilmektedir.
	Sabit kablosuz erişim 3.5 GHz bandında lisanslanmaktadır.
	Hayır.
Kanada	2.4 ve 5.8 GHz bandı Wimax için kullanılabilir.
	2.3, 2.5 ve 3.5 GHz bandı wimax için kullanılabilir.
	Hayır.
Çek Cumhuriyeti	2.4 kullanılabilen, 5.8 ise açıldıktan sonra kullanılabilir.
	2.3 GHz bandı kullanılamamakta, 3.5 GHz ise erişim noktalarında kullanılabilir.
	Hayır.
Danimarka	İlgili frekanslarda kullanılabilen fakat ilgili düzenlemelerin gözden geçirilmesi gerekmektedir.
	Sabit hizmetler için kullanılan bütün bandlar wimax için de kullanılabilir. 2.3 GHz bandı sabit hizmetler için uygun olmadığından wimax için de kullanılamamaktadır.
	Hayır.
Finlandiya	2.4 GHz kullanılabilen, 5.8 GHz ise düzenlemeler tamamlandıktan sonra kullanılabilir.
	3.5 GHz bandı teknik olarak uygun cihazlarla kullanılabilir.
	Hayır.
Fransa	Teorik olarak 2.4 GHz bandı kullanılabilir. 5.8 GHz ise Fransa'da kullanıma açık değildir.
	Wimax için 3.4 – 3.8 GHz bandı kullanılmaktadır.
	Hayır.
Yunanistan	2.4 GHz bandı kullanılabilir.
	2.3 ve 3.5 GHz bandı wimax için kullanılamamaktadır.
	İşletmecilerin İSS lisansına sahip olması gerekmektedir.
Macaristan	2.4 GHz'te kullanılabilir fakat 5.8 GHz frekansında müsaade edilmemiştir.
	2.3 GHz kullanılmazken 3 410 . 3 494 / 3 510 . 3 594 MHz kullanılabilir.
	İlerde wimax lisansları verildiğinde herhangi bir kısıt koyulması planlanmamaktadır.
İzlanda	Her iki frekans da kullanılabilir.
	2.3 hayır, 3.4 – 3.6 GHz evet.

	Telekom hizmet sağlayıcılarla aynı yükümlülüklerle tabidir.
İrlanda	Her iki frekans da kullanılabilir.
	3.5 GHz bandı kullanılabilir.
	Hayır.
Japonya	Kullanılamaz.
	4.9 ve 5.0 GHz bandı wimax de dahil kablosuz erişim sistemleri için kullanılabilir.
Kore	Hayır.
	Kore kablosuz tesisler için bir standart getirmemiştir. Bu yüzden Wimax'in lisanstan muaf bandı kullanmasına ilişkin ayrı bir düzenlemesi bulunmamaktadır.
	2 300 . 2 390 MHz bandı wibro için tahsis edilmiştir.
Lüksemburg	Hayır.
	2.4 GHz bandı Wi-Fi için tahsis edilmiş olup Wimax için kullanılamaz. 5.8 GHz bandı ise kamuya danışma sürecindedir.
	2.3 GHz kullanılamaz.
Meksika	Hayır.
	Wimax'in lisanstan muaf bandlarda kullanımına müsaade edilmemekle birlikte 2.4 ve 5.8GHz bandı Meksika'da lisanstan muaf değildir.
	2.3 veya 3.5 GHz bandı wimax için tahsisli değildir. Wimax'e özel kısıtlama yoktur.
Hollanda	İlk aşamada uyumluluk problemlerinin çözülmesi daha sonra EEC kurallarına göre lisanstan muaf kullanıma geçilmesi düşünülmektedir.
	2.6 ve 3.5 GHz bandı tahsis edilmiştir.
	Güç kısıtları gibi teknik yükümlülükler bulunmaktadır.
Norveç	2.4 GHz ve 5.8 GHz herhangi bir teknoloji tarafından kullanılabilir.
	2003 yılında 2.3 ve 3.5 GHz de dahil bütün frekans teknoloji nötr olarak tahsis edilmiştir.
	Hayır.
Polonya	Kullanılabilir.
	2.3 GHz kullanılamaz, 3.5 ve 3.7 GHz bandı ise kullanılabilir.
	Hayır.
İsveç	2.4 GHz herhangi bir teknolojiye açıktır. 5.8 GHz de açılmaktadır.
	3.4 – 3.6 GHz frekansı teknoloji tarafsız olarak açıktır.
	Bir kısıt yok fakat operatörler kayıtlı olmalıdır.
İsviçre	5.47 ile 5.725 GHz arası frekansları kullanabilmektedir.
	3.4 - 3.6 GHz bandı açıktır.
	Karar aşamasındadır.
İngiltere	5.8 GHz kullanılabilir fakat bazı şartları karşılamalıdır.
	3.4 – 4.0 GHz bandında iki adet lisans sahibi bulunmaktadır fakat bu frekanslar başka teknolojiler için de kullanılabilir.
	Spektrum gereklilikleri hariç bir kısıt bulunmamaktadır.
ABD	Teknik ve operasyonel kurallara uygun olduğu sürece lisanstan muaf bandlar kullanılabilir.
	2.3 ve 2.5 GHz bandı kullanılabilir fakat 3.4 – 3.6 GHz bandı açık değildir.
	Hayır.

Kaynak: OECD, 2006

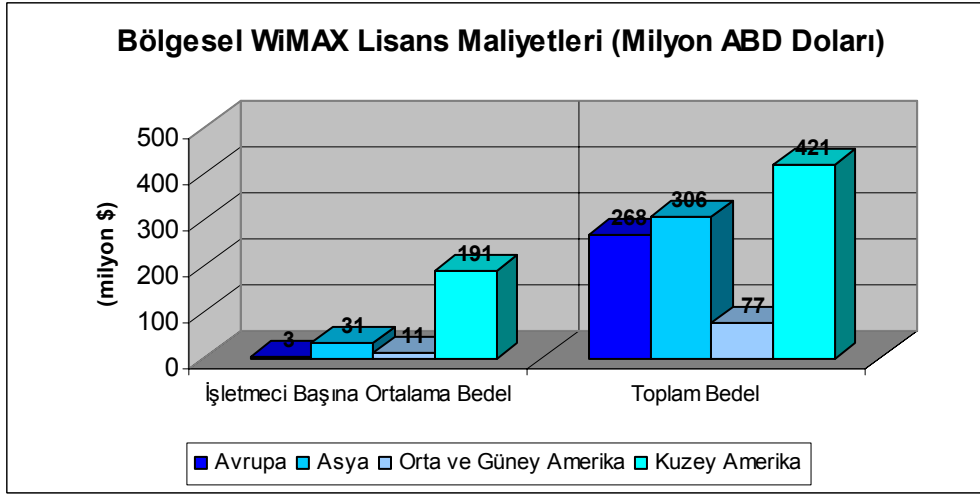
WiMAX lisansları Kuzey Amerika'da tamamen bölgesel olarak verilmekteyken, Avrupa'da da bölgesellik oranı yaklaşık %80'dir [3]. Aşağıdaki şekilde dünyada gerçekleştirilen WiMAX yetkilendirmelerinin dağılımı yer almaktadır:



Kaynak: Maravedis, 2006

Şekil 10: Bölgesel ya da Ulusal Bazda WiMAX Yetkilendirme Yüzdeleri

Aşağıdaki şekilde bölgesel WiMAX yetkilendirme maliyetlerine yer verilmektedir. Buna göre en pahalı bölgesel yetkilendirmelerin Kuzey Amerika'da yapıldığı ifade edilebilir.



Kaynak: Maravedis, 2006

Şekil 11: Bölgesel WiMAX Lisans Maliyetleri

2009 yılı Temmuz ayı itibariyle dünyada WiMAX kullanımı aşağıdaki haritada gösterilmektedir:



Kaynak: WiMAX Forum [7]

Şekil 12: Dünyada WiMAX Teknolojisinin Kullanımı

Yukarıdaki haritalardan görüleceği üzere dünyanın birçok ülkesinde WiMAX teknolojinin kurulumu gerçekleştirilmiştir. Kırmızı ile belirtilen yerlerde sabit erişim söz konusu iken sarı ile gösterilen yerlerde mobil erişim desteklenmektedir.

Aşağıdaki şekillerde ise dünyada WiMAX teknolojisine tahsis edilen frekans bandları haritasal olarak gösterilmektedir.



Kaynak: WiMAX Forum [7]

Şekil 13: 2.3GHz Frekans Bandında WiMAX Kurulumu



Kaynak: WiMAX Forum [7]

Şekil 14: 2.5GHz Frekans Bandında WiMAX Kurulumu



Kaynak: WiMAX Forum [7]

Şekil 15: 2.6GHz Frekans Bandında WiMAX Kurulumu



Kaynak: WiMAX Forum [7]

Şekil 16: 3.5GHz Frekans Bandında WiMAX Kurulumu



Kaynak: WiMAX Forum [7]

Şekil 17: 5.4GHz Frekans Bandında WiMAX Kurulumu



Kaynak: WiMAX Forum [7]

Şekil 18: 5.8GHz Frekans Bandında WiMAX Kurulumu

Buna göre dünyada kurulan WiMAX sistemlerinin büyük bir çoğunluğu 3.5GHz frekansında kurulmuştur. Daha sonra en yaygın kurulum ise 2.5GHz bandındadır.

6 . Sonuç

Türkiye, WiMAX teknolojisinin henüz kurulmadığı ölkelerden bir tanesidir. Bununla birlikte Türkiye’de Genişbant Telsiz Erişim (GTE) hizmetinin yetkilendirilmesini kapsayan “Elektronik Haberleşme Sektörüne İlişkin Yetkilendirme Yönetmeliğı” 28/05/2009 tarih ve 27241 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanmıştır. Söz konusu hizmetin yetkilendirilebilmesi için asgari değeri tespit ve ihale şartnamesi hazırlık çalışmalarına devam edilmektedir.

Bu çerçevede Türkiye’de 2.1GHz frekansı IMT’ye tahsis edilmiştir. WiMAX’in hem sabit hem de mobil uygulamaları için öncelikli olarak düşünölen spektrum ise 3400 – 3600 MHz frekans bandı aralığıdır. Daha sonra yine hem sabit hem de mobil uygulamalar için 2.5GHz frekansı değeriendirilmektedir. 2500–2690 MHz bandı IMT kullanımına ayrılmış ve henüz kullanılmamaktadır. Türkiye’de teknoloji yansız yaklaşımının benimsenmesi durumunda, ilgili frekansın WiMAX hizmetlerine tahsisi yapılabilir. Bu yaklaşım ITU’nun WiMAX’i bir IMT standardı olarak tavsiye etmesi ile de paralellik arz edecektir.

Kaynakça

- [1] Cantekinler, M.K.; Çetin, T.; Daşdemir, Ö.; WiMAX/3N Karşılaştırma Raporu, Mart 2008, BTK, SAS Raporları, Ankara
- [2] Küçükünsal, J., Metropol Alanlar için Kablosuz Erişim (Wireless Metropolitan Area Network / Kablosuz Metropol Alan Ağları–WMAN) Uygulamaları ve Düzenleme Önerileri, Şubat 2006, TK Uzmanlık Tezi, Ankara
- [3] Maravedis, Spectrum Analysis - The Critical Factor in BWA/WiMAX versus 3G, Ocak 2006, Kanada
- [4] OECD, 3G Mobil Hizmetlerin OECD Ülkelerindeki Gelişimi, DSTI/ICCP/TISP(2003)10/Final
- [5] Smura, T., Competition Between Emerging Wireless Network Technologies: Case HSPA vs. WIMAX in Europe, Helsinki University of Technology, Finlandiya
- [6] Stevenson, C. R.; Chouinard, G.; Caldwell, W.; Tutorial on the P802.22.2 PAR for: "Recommended Practice for the Installation and Deployment of IEEE 802.22 Systems"
- [7] WiMAX Forum, <http://www.wimaxmaps.org/>
- [8] Yaralı, A.; Rahman, S.; Mbula, B.; WiMAX: The Innovative Broadband Wireless Access Technology, Nisan 2008, Journal of Communications, vol. 3, no. 2