

GEZGİN HABERLEŞMENİN EVRİMİ

Aktül Kavas
Yıldız Teknik Üniversitesi

Gezgin (mobil) haberleşme 1886 yılında Heinrich Rudolf Hertz'in radyo dalgalarının varlığını ispat etmesiyle başlamış, 1895'de Guglielmo Marconi'nin gemilerle yaptığı telsiz haberleşmesiyle devam etmiştir.

İlk karasal gezgin haberleşme uygulaması Amerika Birleşik Devletleri Detroit şehrinde polis arabalarında kullanılmış olan ilk özel radyo telefon sistemi olmuştur. İlk gezgin kamu telefon şebekesi ABD'de 1946 yılında St. Louis şehrinde kurulmuş yüksek frekanslarda çalışan telefonlarla iletişim sağlanmıştır. Yine 1947'li yıllarda Bell laboratuvarları, küçük vericilerle kapsanan küçük alanlarda gezgin telefon konuşmalarının mümkün olabileceği fikrini yani bugünkü tanımla hücre kavramını ortaya koymuş; haberleşmenin sürekliliği için de aktarmanın yapılması gerektiği belirtilmiştir. 1947 yılında ortaya atılan hücre haberleşme kavramı çok büyük bir buluş olmasına rağmen cep telefonlarının geliştirilmesi ve üretilmesindeki teknolojik kısıtlar nedeniyle günlük hayattaki uygulamaları uzun zaman almıştır. İlk cep telefonu 1970'li yıllarda Dr. Martin Cooper tarafından geliştirilmiş Motorola Firması tarafından üretilmiş olan Dyna Tech 8000X model gezgin telefondur. O tarihlerdeki teknoloji açısından çığır açmasına rağmen 907 gr ağırlığında, elde taşınabilir olmaktan uzakta ve fiyatı çok pahalıydı. (fiyatı \$3.995'di) [1].

Gezgin haberleşme sistemlerinin gelişimi 1970'li yılların başından itibaren başlamış olup 1990'lı yıllardan itibaren üstel olarak büyüme göstermiştir.

1980'li yılların başlarında analog standartlara dayalı 1. nesil (1N) gezgin haberleşme sistemleri temel olarak ses hizmeti sunmaktaydı.

1990'lı yıllarda sayısal haberleşme standartlarını kullanan 2. nesil gezgin haberleşme sistemleri daha büyük kapsama ve kapasite yeteneğine sahipti. 3. nesil gezgin haberleşme sistemlerine geçmeden 2. nesil gezgin haberleşme yeteneklerini geliştiren ve şebekeyi daha güçlü kılan 2.5 nesil olarak adlandırılan genel paket anahtarlamalı radyo hizmetleri (General Packet Radio Service-GPRS) ve 2.75 nesil olan geliştirilmiş veri hizmetlerinin (Enhanced Data for Global Evolution-EDGE) 2. nesilden 3. nesile geçişte köprü görevi oluşturduğu söylenebilir. 3. nesil gezgin haberleşme sistemleri yüksek veri hızlarında haberleşme hizmeti sunduklarından teknolojik olarak "gerçek gezgin geniş bant" kapsamına açmıştır. 3. nesil sistemler abonenin araçla yüksek hızlarda hareketi sırasında 144 kbps; yaya olarak hareketi sırasında 384 kbps ve bina içi haberleşmede 2 Mbps veri hızlarında haberleşmesini mümkün kılmıştır [2].

Tümüyle IP tabanlı haberleşme özelliğine sahip 4. nesil gezgin haberleşme şebekeleri uzun vadeli evrim (Long Term Evolution-LTE) şebekeleri olarak adlandırılmaktadır. 4. nesil şebekelerin 3. nesil şebekelerden farkı tümüyle IP altyapısını kullanan, düşük gecikme süresine sahip yüksek hızda veri haberleşmesini düşük maliyetle sunan sistemler olmasıdır.

1. Nesillerin Gelişimi

1.1. Birinci Nesil Gezgin Haberleşme Sistemleri

Hücre haberleşme uygulamaları 1970'li yılların sonundan 1980'li yılların başına kadar olan zaman aralığında gelişmeye başlamış analog standartta gelişen sistemler üzerinden sadece ses hizmeti sunulmuştur. Dünyadaki ilk birinci nesil gezgin haberleşme uygulaması Japon Telefon ve Telgraf İdaresi (Nippon Telephone and Telegraph-NTT) tarafından Tokyo'da kurulmuştur.

1980'li yıllarda dünyada kullanılan 1. nesil gezgin haberleşme sistemlerine örnek olarak NMT, AMPS ve TACS sistemleri verilebilir [3].

NMT (Nordic Mobile Telephone) Sistemleri: İskandinav ülkeleri Danimarka, Finlandiya, İsveç ve Norveç tarafından geliştirilen ve 1981 yılında uygulanan ilk analog gezgin haberleşme standardıdır. 450 MHz ve 900 MHz çalışma frekansına sahiptir. NMT450 sisteminin bugün dahi uygulaması olmasına rağmen NMT900 standardı kullanılmamaktadır.

AMPS (Advanced Mobile Phone System) Sistemleri: 1982 yılında Kuzey ve Latin Amerika'da uygulanan analog gezgin haberleşme sistemidir. 800 MHz ve 900 MHz taşıyıcı frekanslarında 2x20 MHz bant genişliğine sahiptir. İlk uygulamalarda yönsüz antenler kullanılarak geniş kapsama alanları yaratılırken daha sonra yönlü antenler ve frekansın yeniden kullanımı tekniği uygulanarak kapasite artırılmaya çalışılmıştır. AMPS sistemleri frekans bölmeli çoklu erişim tekniği (FDMA) kullanmaktaydı.

TACS (Total Access Communication Systems): İlk olarak 1985 yılında İngiltere'de uygulanan 900 MHz frekansında çalışan AMPS benzeri analog gezgin haberleşme sistemidir. Söz konusu sistem İngiltere dışında Çin ve Japonya'da 800-900 MHz bandında kullanılmıştır.

Birinci nesil gezgin haberleşme sistemleri çekirdek şebekede devre anahtarlama tekniğini kullanmakta olup aktarma ve ulusal dolaşım özelliklerini desteklemekte; uluslararası dolaşımında yetersiz kalmaktaydı.

1.2. İkinci Nesil Gezgin Haberleşme Sistemleri

1980'li yılların sonlarına doğru geliştirilen 2. nesil gezgin haberleşme sistemleri ilk olarak 1991 yılında Finlandiya'da kurulmuş ve hizmet vermeye başlamıştır.

İkinci nesil gezgin haberleşme sistemleri telefon konuşmalarının uçtan uca şifreli olması, spektrum verimliliği, konuşmanın yanısıra kısa mesaj servisi (SMS), resim mesajı ve çoklu ortam mesajlaşması (MMS) gibi kendisinden önceki nesillerde olmayan hizmetleri sunmaktadır.

İkinci nesil gezgin haberleşme sistemlerinin sayısal haberleşme tekniklerini kullanması, ses bilgisinin sayısal olarak işlenmesi, verinin kodlanması ve çoğullanması aynı bant genişliği üzerinden daha fazla aboneye hizmet verilmesine

olanak tanımıştır. Bunlara ek olarak sayısal haberleşme tekniklerinin kullanılması cep telefonlarının çıkış güçlerinin düşük olmasını dolayısıyla batarya ömürlerinin artmasına sebep olmuştur [3], [4].

İkinci nesil sistemler başlangıçta devre anahtarlamalı olarak tasarlanmalarına rağmen daha sonra paket anahtarlamalı uygulamalar geliştirilmiş genel paket anahtarlamalı haberleşme tekniği (General Packet Radio Systems-GPRS) 2.5 nesil olarak adlandırılmıştır. GPRS tekniği Avrupa Telekomünikasyon Standart Enstitüsü (ETSI) tarafından standardize edilmiş ve 3. Nesil Ortaklık Projesi (3GPP 3rd Generation Partnership Project) tarafından geliştirilmiştir. Böylece GPRS standardıyla 56-114 kbps'lık veri hızlarına ulaşılmıştır.

İkinci nesil gezgin haberleşme sistemleri geliştirilirken 2.75 nesil olarak adlandırılan EDGE tekniğinde, modülasyon özelliği 8PSK olarak değiştirilerek haberleşme hızının 3 kat artması sağlanmış 384 kbps veri hızlarına erişilmiştir.

Yine ikinci nesil sistemlerde arayan numaranın ekranda görünmesi, çağrı yönlendirme, çağrı bekletme yeni sunulan uygulamalar olarak karşımıza çıkmaktadır.

GSM şebekeleri üzerinden veri iletimi; şebekeye eklenen SGSN (Serving GPRS Support Node) GPRS destek düğümü ve GGSN (Gateway GPRS Support Node) GPRS geçit düğümü destek düğümü birimleri ile sağlanmaktadır. 2. nesil gezgin haberleşme sistemlerinde paket anahtarlamaya gelen veri hizmetlerinin ücretlendirmesi de farklılaşmış, ücretlendirmenin şebekeye bağlantı süresinden bağımsız olarak indirilen paket hacmine göre yapılması mümkün olmuştur [3].

İkinci nesil gezgin haberleşme sistemleri

- *Avrupa'da GSM standardıyla uygulanırken*
- *Kuzey Amerika'da IS-54/IS-136 standardı,*
- *Japonya'da PDC(Personal Digital Cellular) standardı,*
- *Amerikada iDEN(Integrated Digital Enhanced Network) sistemleri,*
- *Avrupa, Güney Afrika, Hong Kong, Çin Halk Cumhuriyeti, Japonya, Latin Amerika, Brezilya, Kanada'da DECT (Digital Enhanced Cordless Telephone) standardı evlerde ve küçük ofis ortamlarında,*
- *PHS (Personal Handy Phone System) diğer bir ismi de PAS (Personal Access System) olan standart Çinliler tarafından markalaştırılmış olan gezgin haberleşme sistemidir. 1880-1930 MHz frekans bandını kullanan sistem Japonya, Çin, Tayvan, ve bazı Asya ülkelerinde uygulanmıştır.*
- *IS-95 CDMA (cdma One) İnterim Standart 95 olarak adlandırılan sistem kod bölmeli çoklu erişim (CDMA) tekniğini ilk olarak kullanan 2. nesil sayısal gezgin haberleşme standardıdır. IS-95 ABD'de Qualcomm Firması tarafından geliştirilmiş daha sonra Amerikan Telekomünikasyon Endüstri Birliği (Telecommunication Industry Association-TIA) tarafından standartlaştırılmış TIA/EIA/IS-95/cdma One olarak 1995'de yayımlanmıştır.*
- *IS-136 (Interim Standard 136) standardı IS-95 Standardı'nın zaman bölmeli çoklu erişim (TDMA) tekniği kullanılarak geliştirilmiş şeklidir. Digital AMPS (D-AMPS) olarak da adlandırılmaktadır.*

GSM standardında ilk olarak 900 MHz bandı kullanılmasına rağmen şebekeden hizmet alan abone sayılarının üstel

olarak artışı sonucunda bant genişliğinin yetersiz kalması nedeniyle 1800 MHz frekans bandının da kullanılması zorunlu olmuştur [4].

Haberleşme ara yüzlerinin ve protokollerinin iyi tanımlı olmaları ses ve veri iletişiminin yüksek kalitede sağlanması dolayısıyla GSM dünyada uygulanan standartlar arasında baskın rol oynamakta ve kıta Avrupası ülkeleri arasında benzersiz uluslararası dolaşımı desteklemektedir.

1.3. Üçüncü Nesil Gezgin Haberleşme Sistemleri

Uluslararası Telekomünikasyon Birliği (International Telecommunication Union-ITU) tarafından tanımlanan IMT2000 (International Mobile Telecommunications 2000) Standardı; kullanıcı cihazları, haberleşme hizmetleri ve haberleşme şebekeleri için geliştirilen standarttır.

3. nesil gezgin haberleşme sistemlerinin sundukları uygulamalara örnek olarak ses hizmeti, gezgin İnternet erişimi, gerçek zamanlı video hizmeti (görüntülü konuşma) ve gezgin televizyon hizmeti verilebilir.

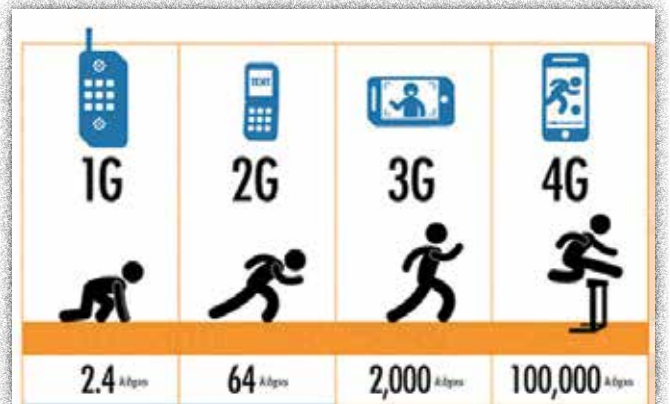
Gezgin haberleşme teknolojilerindeki gelişmeye bakıldığında her 10 yılda yeni bir teknolojinin geliştiği görülür. Buna göre her bir yeni nesil yeni bir frekans bandı, daha yüksek veri iletim hızı ve kendinden önceki standartla birlikte çalışabilirlik özelliği ile geliştirilmektedir [6].

3. nesil haberleşme sistemleri dünyada 2008 yılında uygulamaya konulmuş daha sonra veri hızları geliştirilerek; 3.5 nesil ve 3.75 nesil olarak daha yüksek veri hızlarında haberleşme imkanı sunmuştur.

Dünyada geliştirilen 3. nesil standartları incelenecek olursa UMTS (Universal Mobile Telecommunication Services) Standardı ilk olarak 2001 yılında önerilmiş ve 3GPP tarafından standartlaştırılmış kıta Avrupası, Çin Halk Cumhuriyeti ve Japonya'da 2. nesil haberleşme sistemleri altyapısı ile birlikte uygulamaya konulmuştur. Ülkemizde ve Avrupa'da uygulanan 3. nesil gezgin haberleşme standardı UMTS ailesine ait Geniş Bant Kod Bölmeli Çoklu Erişim (Wide Band Code Division Multiple Access- WCDMA) Standardı'dır.

3. nesil gezgin haberleşme sistemleri 2009 yılında Çin Halk Cumhuriyeti'nde TD-SCDMA radyo arayüz tekniği ile ticari olarak hizmet vermeye başlamıştır.

3. nesil sistemler ABD'de CDMA2000 Standardı olarak 2002 yılında önerilmiş; 3GPP2 tarafından standartlaştırılmış ve özellikle Kuzey Amerika ve Güney Kore'de IS-95 altyapısı ile birlikte kullanılmaya başlanmıştır. CDMA2000 Standar-



dı'nın son versiyonu olan EVDO ile aşağı linkte 14.7 Mbps veri hızlarına erişilmiştir.

WCDMA sistemlerinin 2100MHz frekans bandını kullanmasına rağmen diğer 3. nesil standartları 850 MHz, 900 MHz ve 1900 MHz frekans bantlarını da kullanmaktadırlar [5].

WCDMA Standardı içinde geliştirilen HSPA (High Speed Packet Access) tekniği aşağı linkte 14.4 Mbps ve yukarı linkte 5.75 Mbps veri hızını desteklemektedir. Daha sonra geliştirilen HSPA+ tekniği ile veri hızları aşağı linkte 56 Mbps yukarı linkte 22 Mbps olarak geliştirilmiştir. HSPA+ tekniği, HSPA tekniğinin geliştirilmiş versiyonu olup aşağı linkte 168Mbps yukarı linkte 22Mbps teorik veri hızlarına çok taşıyıcılı HSPA ve MIMO uygulaması ile ulaşabilmektedir.

1.4. Dördüncü Nesil Gezgin Haberleşme Sistemleri

4. nesil gezgin haberleşme sistemleri, Uluslararası Telekomünikasyon Birliği tarafından önerilen IMT_A (IMT Advanced) standartlarını sağlamaktadır.

Gezgin İnternet (Mobil web) erişimi, IP telefon hizmeti, oyun servisleri, yüksek tanımlı gezgin (mobil) televizyon, video konferans, 3 boyutlu televizyon ve bulut bilişim 4. nesil sistemler tarafından sunulan hizmetlere örnek olarak verilebilir.

İlk 4. nesil haberleşme sistemleri Avrupa'da 2009 yılında Norveç'in Oslo ve İsveç'in Stockholm şehirlerinde, Amerika'da 2010 yılında hizmete sunulmuştur.

IMT-A standartlarına göre tanımlanmış 4. nesil haberleşme hızları yüksek olan (araba ve tren hızları) aboneler için 100 Mbps ve yaya hızlarında hareket eden aboneler için 1 Gbps olarak tanımlanmıştır.

IMT-A şebeke özellikleri:

- *Tümüyle IP tabanlı olup paket anahtarlama haberleşme sağlamaktadır.*
- *Yüksek mobiliteye sahip aboneler için 100 Mbps, yaya hızındaki aboneler için 1Gbps veri hızları sunmaktadır.*
- *Şebeke kaynakları aboneler arasında dinamik olarak paylaşılabilir.*
- *Kanal bant genişlikleri 5-20 MHz arasında olup 40 MHz'e kadar kullanılabilir.*
- *Aşağı link spektral verimliliği 15Bit/s/Hz, Yukarı link spektral verimliliği 6.75 Bit/s/Hz'dir.*
- *Sistem spektral verimliliği bina içinde aşağı link için 3 Bit/s/Hz, yukarı link için 2.25 Bit/s/Hz önerilmektedir.*
- *Farklı şebekeler arasındaki aktarmalar yumuşak geçişli olmalıdır.*

Uzun Vadeli Evrim (LTE-Long Term Evolution) teknolojisi olarak adlandırılan 4. nesil sistemlerde aşağı link maksimum

Tablo 1: Gezgin haberleşme teknolojilerinin karşılaştırılması

	1.nesil	2.nesil	3.nesil	4.nesil
Sistem özellikleri	Analog haberleşme	Sayısal haberleşme, devre ve paket anahtarlama veri	Sayısal geniş bant, paket anahtarlama haberleşme	Akıllı haberleşme sistemleri, tümüyle IP tabanlı haberleşme
Servis özellikleri	Ses hizmeti	Ses, veri, SMS, MMS, İnternet erişimi	Görüntülü konuşma, gezgin TV, konum bazlı hizmetler, yüksek hızlarda İnternet erişimi	Yüksek tanımlı akışkan video, Yüksek tanımlı gezgin TV, tümüyle IPv6 tabanlı hizmetler
Kullanılan çoklu erişim teknikleri	FDMA	CDMA, TDMA	CDMA,TDMA, FDMA	OFDMA, SCFDMA
Veri hızı	5-9kbps	GSM =9.6kbps, GPRS =35-171kbps EDGE =384kbps	WCDMA =384kbps-2Mbps HSDPA = 14Mbps HSUPA =5.76Mbps HSPA aşağı link= 56Mbps HSPA yukarı link= 22Mbps HSPA+ aşağı link= 168Mbps HSPA+ yukarı link=22Mbps	LTE yukarı link >100Mbps LTE aşağı link >300Mbps LTE-A aşağı link=1Gbps LTE-A yukarı link= 500 Mbps
Frekans Bandı	900 MHz	900MHz-1800MHz	1.8 GHz-2.6GHz	2GHz-8GHz
Kullanılan haberleşme standartları	Analog	GSM,GPRS,EDGE	UMTS, WCDMA, CDMA2000	IPv6
Kullanılan teknoloji standartları	NMT, AMPS, TACS	GSM (TDMA)	UMTS ve HSPA	MIMO, OFDMA, SC- FDMA
Desteklediği haberleşme hizmetleri	Sadece ses hizmeti	Ses ve veri hizmeti fakat aynı anda sadece bir tanesi kullanılmakta	Aynı anda hem ses hem veri hizmeti, görüntülü konuşma hizmeti, gezgin televizyon hizmeti sunulmakta	Yüksek haberleşme hızlarında aynı anda hem ses hem veri hizmeti, akışkan video hizmeti sunulmakta
Kullanılan Anahtarlama Teknikleri	Devre anahtarlama	Devre anahtarlama	Devre ve paket anahtarlama	Sadece paket anahtarlama

veri hızı 300 Mbps ve yukarı link maksimum veri hızı 100 Mbps olarak belirlenmiş, daha sonra 2010 yılında geliştirilen LTE-A (Long Term Evolution Advanced) sistemlerinde aşağı ve yukarı link veri hızları sırasıyla 1 Gbps ve 500 Mbps olarak tanımlanmıştır [6], [7].

2. Beşinci Nesil Gezgin Haberleşme Sistemleri

5. nesil sistemlerden sonraki sistemler yeni Nesil Gezgin Haberleşme Birliği tarafından NGMN Alliance (Next Generation Mobile Network Alliance) beşinci nesil sistemler olarak adlandırılmaktadır. Söz konusu sistemlerin daha yüksek veri hızlarında, daha düşük gecikme değerlerinde, daha iyi kapsama sağlayacak şekilde, daha yüksek spektral verimlilikle, yüzlerce hatta binlerce alıcının aynı anda bağlandığı alıyıcı ağı uygulamalarında haberleşme hizmeti sunması beklenmektedir.

4. nesil sistemlerde hava ara yüzündeki veri hızı 10 Gbps veya daha yüksek, sinyal gecikmesi 1ms'ler mertebesinde ve nesnelerin İnterneti gibi uygulamalarda yer alan alıyıcılar için en az 10 yıllık batarya ömrünün sağlanması beklenmektedir.

3. Gelecek Nesil Gezgin Haberleşme Sistemlerinden Beklenenler

Günümüze kadar gelişen gezgin haberleşme sistemleri genel standartlara tabii olsa da ülke uygulamalarında farklı frekans, farklı spektrum ve farklı erişim teknikleri kullanmaları dolayısıyla nesiller birbirlerinden farklılıklar göstermektedir. Örnek olarak verilecek olursa 3. nesil sistemlerin hepsinin kod bölme çoklu erişim tekniği kullanmasına rağmen sistem Avrupa'da WCDMA Standardı'nda ABD'de CDMA2000 Standardı'nda çalışmakta ve sistemlerin entegrasyonu sağlanamamaktadır.

3. nesille şebeke mimarisinin katmanlı yapıya dönüşmesinden sonra baz istasyonuna gelen taleplerin hiyerarşik yapıda ilerlemesi gerekmemektedir. Baz istasyonlarının akıllı olmaları sebebiyle sinyal doğrudan gitmesi gereken birime yönlendirilerek sinyal gecikmesi minimuma indirilmiş olur. Şebekelerin tümüyle IP yapıya sahip olması gelecekte süper çekirdek şebekelerin yapılandırılmasının mümkün olacağını göstermektedir.

Süper çekirdek şebeke; erişim teknolojisinden bağımsız olarak bütün şebeke işletmecilerinin (GSM, CDMA, WiMAX, telsiz haberleşme) çekirdek şebeke üzerinden hizmet vermesine olanak tanıyacaktır. Böylece tek bir çekirdek şebeke altyapısı olacak bunun sonucunda şebekeler arasında oluşan ara bağlantı karmaşası ortadan kalkacaktır.

Bütün işletmecilerin tek bir süper çekirdek şebeke üzerinden haberleşmesi düşünülen bu sistem yüksek yedekli olarak kurulacak, şebeke içinde haberleşmenin gizliliği ve güvenliği sağlanacaktır. Tek bir çekirdek şebeke üzerinden bütün işletmecilerin hizmet sunması sonucunda işletmecilerin pozisyonu değişecek ve işletmeciler gezgin sanal işletmeci durumunda olacaklardır.

Teknolojinin, nano çekirdeklerin gelişmesi sonucunda hem şebeke tarafındaki, hem de kullanıcı tarafındaki cihazlar yapay zekâ ile donatılmış akıllı cihazlar olacaklardır. Örneğin düşüncelerimizin cep telefonu ekranına yazılabiliyor olması, yine düşünce gücüyle istediğimiz TV kanalının seyredilebiliyor olması yakın gelecekte alabileceğimiz hizmetler arasında olacaktır.



Bunlara ek olarak işletmecilerin tek bir çekirdek şebeke üzerinden hizmet vermesi; haberleşme için spektrum kısıtını ve abonelerin şebekeler arası geçişlerde ödedikleri ulusal ve uluslararası dolaşım ücretlerini ortadan kaldıracak bunun sonucunda alınacak hizmet daha kaliteli ve ucuz olacaktır.

Sunulan hizmetler çeşitlenerek artacaktır.

4. Sonuç

Gelecek nesil gezgin haberleşme teknolojileri ile çok yüksek kaliteli ses hizmetlerinden yüksek tanımlı video hizmetlerine kadar çok yüksek veri hızlarında telsiz haberleşme hizmetleri dünyanın her yerinden şebekeye erişebilecek şekilde yüksek hizmet kalitesiyle sunulacaktır.

Yeni nesil teknolojilerin sunacağı bu yüksek veri hızlı hizmetler yüksek haberleşme bant genişliklerine ihtiyaç duyacağından haberleşme mikrodalga ve milimetre dalga bandına kayacaktır. Bunların sonucunda oluşacak gerçek gezgin telsiz haberleşme sistemlerinde erişim teknikleri ve ulusal ve uluslararası dolaşım açısından yaşanan zorluklar ortadan kalkacaktır.

Gelişen nano teknoloji sayesinde tümüyle yapay zekâ kullanılarak tasarlanmış giyilebilir sistemler günlük hayatımızın ayrılmaz parçası olacaklardır.

Gelecek nesil gezgin haberleşme teknolojileri insanların teknolojileri yenilikçi bir şekilde nasıl kullanacağına bağlı olarak gelişecektir.

Kaynakça

- [1] Goldsmith A. 'Wireless Communications' Cambridge University Press,2005. [2]Ericsson, 'LTE air Interface' 2009.
- [3] Mishra, Ajay R. 'Advanced cellular Network Planning and Optimisation' John Wiley & Sons,2007.
- [4] Mishra, Ajay R. 'Cellular Technologies for Emerging Markets' John Wiley & Sons,2010.
- [5] Halonen t., Melero J., 'GSM, GPRS & EDGE Performance Evolution Towards 3G/ UMTS' John Wiley & Sons,2003.
- [6] Holma H., Toskala A. 'WCDMA for UMTS, HSPA Evolution <E' John Wiley & Sons,2010.
- [7] Ericsson 'LTE Radio Network Design' 2014. ■