

**GSM - LTE**

Veri İletişimi Projesi



20011906 Basel KELZİYE  
20011095 Melih KENDİRLİ  
19011076 Ali BUĞDAY  
20011623 Asude Merve EKİZ  
20011068 Ahmet Akib GÜLTEKİN

Ders Yürütücüsü: Öğr.Gör. Furkan ÇAKMAK

Bilgisayar Mühendisliği  
Yıldız Teknik Üniversitesi  
Türkiye  
26/12/2022

## I. GİRİŞ

1980'li yılların başında ülkeler telekomünikasyon alanında birbirinden farklı ve uyumsuz sistemler kullanmaktaydı. Mevcut olan birçok mobil ağ farklı frekans bantlarında çalışıyor, farklı standartlara bağlı olduklarından veri aktarımında farklı teknikler kullanıyorlardı. Bu sebeple iki farklı ağ arasında iletişim kurulması söz konusu değildi. Bu herhangi bir ülkede kullanılan telefonun başka bir ülkede işlev gösterememesi anlamına geliyordu. Bu uyumsuzluğu kaldırmak amacıyla da kullanışlı bir sistemin standartlaştırılması gerektiğine karar verildi. Bu çalışmada geçmişten günümüze kullanılan çeşitli standartlara değinilmiş, ağırlıklı olarak GSM ve LTE teknolojilerinden bahsedilmiştir.

Giriş

## II. GSM ÖNCESİ

### A. 1G

2.4 kbps hız ile işlev gösteren 1G'de çekim alanı oldukça düşüktü. Ses analog bir sinyal şeklinde aktarılıyordu. Sistemler farklı frekans aralığında çalıştığı için aralarında bir uyumluluk yoktu ve görüşmeler şifreli olmadığı için güvenlik açığı vardı.

## III. GSM VE SONRASI

### A. 2G

ETSI (European Telecommunications Standards Institute) tarafından 1983'te geliştirilmeye başlanan mobil ağı standardı olan GSM üzerindeki çalışmalar 1991'de tamamlandı. GSM standardıyla uyumlu olan 2G de yine aynı yıl kullanılmaya başlandı ve böylece dijital veri aktarımı dönemi başlamış oldu. Bu sayede hız 40kbps'e kadar yükselirken veriler de şifreli bir şekilde aktarılır hale geldi. Ayrıca artık sadece telefon görüşmesi değil sms ve fax gibi veri aktarımları da söz konusu oldu [3].

### B. 3G

2001 yılında ITU (International Telecommunication Union) standardına bağlı olarak sunulan 3G sayesinde telefonlar üzerinden internete bağlanma mümkün hale geldi. Packet-switching sayesinde mobil cihazlardan internete bağlanan kişilere daha hızlı veri alışverişini sağlandı, böylece kullanıcılar VoIP, görüntülü konuşma ve GPS hizmetlerine de ulaşabildi.

### C. 4G ve LTE

2009 yılında sunulan LTE 3G ile 4G arasındaki boşluğu dolduran bir teknolojidir. Çeşitli kaynaklarda 4G LTE olarak geçmesine rağmen ikisi aynı kavramı ifade etmez. Her iki standardta da ciddi hız artışı söz konusudur, sürekli veri aktarımını mümkün kılar ve kapsama alanları birbirine yakındır. Ancak LTE'de veri aktarımı hızı 100 Mbps iken bu hız 4G teknolojisinde 1000 Mbps'a kadar çıkabilir. Ayrıca belirtmek gerekir ki; 2G'den 3G'ye geçerken sadece sim kart takmak yeterliyken herhangi bir cihazın LTE ya da 4G'yi de kullanabilmesi için bu teknolojileri donanımsal anlamda da desteklemesi gerekir.

## D. 5G

İnternete bağlanan cihazların eksponansiyel bir şekilde artmasıyla birlikte ağ bant genişliğini artırma düşüncesi 5G teknolojisine geçişin motivasyonlarından biridir. Ancak alt yapısını hazırlamanın oldukça zor ve pahalı olması, insan sağlığına zararlarının tam olarak netleştirilmemesi [4] gibi sebepler 5G'ye geçişin mantıklı olup olmaması üzerindeki tartışmaların sürmesine sebep olmaktadır.

## IV. GSM

GSM (Global System for Mobile Communications), dünya çapında cep telefonu hizmetleri sağlamak için yaygın olarak kullanılan bir dijital mobil iletişim standardıdır. 1980'lerde kullanılan analog hücreli ağ teknolojisinin yerini almak üzere geliştirilmiş 2G (ikinci nesil) hücreli ağ teknolojisidir. GSM, devre anahtarlama bir ağ mimarisi kullanır ve 900 MHz ve 1800 MHz frekans bantlarında çalışır. Sinyali farklı zaman dilimlerine bölerek birden çok kullanıcının aynı frekans bandını paylaşmasına izin vermek için zaman bölmeli çoklu erişim (TDMA) kullanır. GSM ayrıca GPRS (General Packet Radio Service) ve EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution) kullanılarak veri iletişimini destekler. Dünyanın birçok yerinde GSM yerini 3G, 4G ve 5G gibi daha yeni mobil iletişim teknolojilerine bırakmıştır.

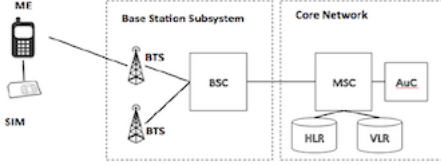
## V. TEKNOLOJİK YAPISI

GSM ağ mimarisi üç ana bileşenden oluşur: Base Station Subsystem (BSS), the Network Switching Subsystem (NSS) ve Operation Support Subsystem (OSS).

- BSS, cep telefonlarının GSM şebekesine bağlanmasından sorumludur. İki ana bileşenden oluşur: Base Transceiver Station (BTS) ve Base Station Controller (BSC).
  - o BTS, cep telefonlarından sinyal iletmek ve almak için kullanılan antenler, alıcı-vericiler ve diğer ekipmanlardan oluşan fiziksel altyapıdır. BTS, radyo kaynaklarının yönetiminden ve cep telefonları ile ağ arasındaki iletişimin yürütülmesinden sorumludur.
  - o BSC, BTS'leri yöneten ve ağıdaki radyo kaynaklarını kontrol eden merkezi kontrol birimidir. Cep telefonlarına radyo frekanslarının tahsis edilmesinden, BTS'ler arasındaki geçişlerin koordinasyonundan ve cep telefonlarına olan bağlantının sürdürülmesinden sorumludur.
- Network Switching Subsystem (NSS), GSM ağının çekirdeğidir ve cep telefonları ile public switched telephone network (PSTN) arasında aramaların ve verilerin yönlendirilmesinden sorumludur. İki ana bileşenden oluşur: Mobile Switching Center (MSC) ve Home Location Register (HLR).
  - MSC, GSM şebekesi içindeki tüm aramaları ve veri bağlantılarını yöneten merkezi anahtardır. Cep telefonları ile PSTN arasında aramaların ve verilerin yönlendirilmesinden ve ayrıca ağıdaki farklı

hücresel arasındaki aktarımların yürütülmesinden sorumludur.

- o HLR, GSM şebekesine kayıtlı tüm cep telefonlarının abone bilgilerini saklayan bir veri tabanıdır. Cep telefonlarının kaydını ve kimlik doğrulamasını yönetmekten ve ayrıca MSC'ye yönlendirme bilgilerini sağlamaktan sorumludur.
- The Operation Support Subsystem (OSS), GSM şebekesinin bakım ve yönetiminden sorumludur. Ağ kaynaklarını yönetmek, ağ performansını izlemek ve faturalandırma ile müşteri hizmetlerini desteklemek için kullanılan çeşitli veritabanları ve uygulamalardan oluşur.



## VI. BAĞLANTI ALANI

- Bir GSM ağında iki ana hücre türü vardır: makro hücreler ve mikro hücreler. Makro hücreler, ağıdaki en büyük hücrelerdir ve tipik olarak birkaç kilometreyi kapsayan geniş kapsama alanına sahiptir. Genellikle kırsal alanlarda veya düşük nüfus yoğunluğuna sahip bölgelerde kullanılırlar. Mikro hücreler, tipik olarak birkaç yüz metreyi kapsayan daha küçük kapsama alanına sahip daha küçük hücrelerdir. Ağa ek kapasite sağlamak için tipik olarak kentsel alanlarda veya yüksek nüfus yoğunluğuna sahip alanlarda kullanılırlar.



## VII. GÜVENLİK

- GSM şebekelerinde kullanılan temel güvenlik önlemlerinden biri, hava arayüzü üzerinden iletilen verilerin korunması için şifreleme kullanılmasıdır. GSM, cep telefonları ile BTS arasında iletilen verileri şifrelemek için A5/1 şifreleme algoritmasını kullanır. A5/1 algoritması, cep telefonu ile BTS arasında paylaşılan bir anahtar kullanır ve verilerin güvende kalmasını sağlamak için anahtar sık sık değiştirilir.

## VIII. LTE NEDİR?

LTE (Long Term Evolution), 3GPP (Third Generation Partnership Project) tarafından geliştirilen dördüncü nesil bir kabloless iletişim standartıdır. UMTS olarak bilinen daha eski bir 3GPP sisteminden gelişmiştir ki bu sistem de GSM kökenlidir. 2004 yılında bir proje olarak başlatılan LTE standardı Aralık 2008'de tamamlanmış ve halka açık ilk LTE hizmeti Telia şirketi tarafından 14 Aralık 2009'da Oslo ve Stockholm'de bir USB modem ile veri bağlantısı olarak başlatılmıştır. [2]

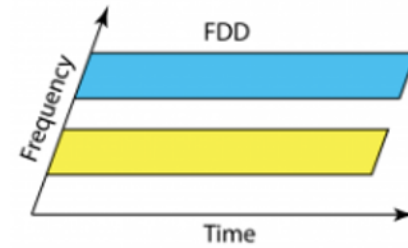
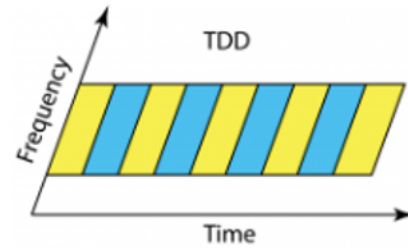
## IX. NEDEN LTE?

Mobil veri kullanımının hızla artması ve MMOG (Multi-media Çevrimiçi Oyun), mobil TV, Web 2.0, akış içerikleri gibi yeni uygulamaların ortaya çıkması 3GPP'yi LTE üzerinde çalışmaya motive etmiştir.

LTE'nin ana hedefi, esnek bant genişliği dağıtımlarını destekleyen yüksek veri hızı, düşük gecikme süresi ve paket için optimize edilmiş radyo erişim teknolojisi sağlamaktır. Aynı zamanda ağ mimarisi, paket anahtarlama trafiği sorunsuz mobilite ve yüksek hizmet kalitesi ile desteklemek amacıyla tasarlanmıştır.

## X. ÖZELLİKLERİ

- LTE [?], yalnızca UMTS'nin değil, aynı zamanda CDMA 2000'in de (Code Division Multiple Access) ardılı teknolojisidir.
- Hücresel ağlara 50 kata kadar performans artışı ve çok daha iyi spektral verimlilik getirmiştir.
- 20 MHz'lik bir taşıyıcıda, çok iyi sinyal koşulları altında 300 Mbps'nin üzerindeki veri hızlarına ulaşılabilir.
- LTE, IP üzerinden ses (VOIP), akışlı multimedya, video konferans ve hatta yüksek hızlı hücresel modem gibi hizmetler için yüksek veri hızlarını desteklemek için ideal bir teknolojidir.
- LTE, hem TDD (Time Division Duplex) hem de FDD (Frequency Division Duplex) modunu kullanır. FDD'de yukarı bağlantı ve aşağı bağlantı iletimi farklı frekansları kullanırken, TDD'de yukarı ve aşağı bağlantı aynı taşıyıcıyı ancak farklı zaman dilimlerini kullanır.



Tüm bu özellikler göz önünde bulundurulduğunda LTE teknolojisi ağ genelinde verimi artırır, gecikmeleri azaltır ve çok daha iyi bir kullanıcı deneyimi sunar. GSM, CDMA ve WCDMA gibi mevcut ağlara kesintisiz bağlantıyı da destekler. Ayrıca yapısında kullanılan OPEX mimarisi sayesinde de işletme giderleri düşük seviyede kalır.

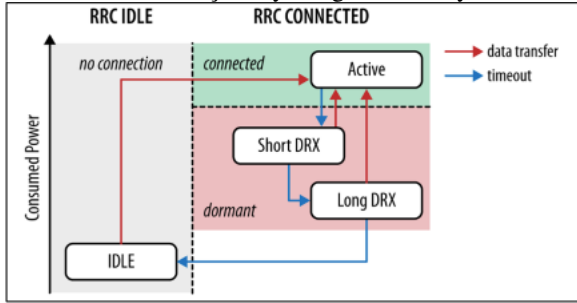
LTE'nin ağ mimarisini basitleştirmesinin bir yolu, bir cihazın ağa nasıl bağlandığına ilişkin mantığı tek bir bileşende (Radyo Kaynağı Denetleyicisi) birleştirmektir. Bu bileşen, bir cihazın bağlantı durumunu izler ve radyo kaynaklarını bir cihaza tahsis eder; bu sayede ağ üzerinden veri gönderip alabilir. LTE'de RRC, operasyonun beynidir.

#### XI. RADYO KAYNAK DENETLEYİCİSİ (RRC)

Ethernet, bir düğümün her zaman ağa bağlı olduğunu ve herhangi bir zamanda veri gönderip alabileceğini varsayar. Cep telefonu söz konusu olduğunda bu varsayım kusurludur; radyoyu her zaman aktif tutmak pili çok fazla yorar. Ayrıca bir mobil ağ, bir ev ağına göre önemli ölçüde daha fazla aktif kullanıcıya sahip olabilir ve bu, herkesin aynı anda veri gönderip alması durumunda çakışma olasılığını artırır. Cihazlar ve ağ arasındaki bağlantıyı planlayan merkezi bir altyapı parçası olan Radyo Kaynak Denetleyicisi (RRC) bu sorunlara bir çözümdür.

- Ağı kimin kullanacağını ve ne zaman kullanabileceklerini planlar.
- Her kullanıcıya bant genişliği tahsis eder.
- İletişim için kullanılan sinyal gücüne aracılık eder.
- Her cihazın güç durumunu müzakere eder.

Ağıdaki bir LTE cihazının durumuna, LTE spesifikasyonu tarafından tanımlanan ve RRC tarafından uygulanan bir durum makinesi algoritması tarafından karar verilir. Her LTE ağı aynı durum makinesini kullanır. Bir cihaz ağa bağlandığında, RRC cihazın durumunu boşta veya bağlı olarak ayarlar.

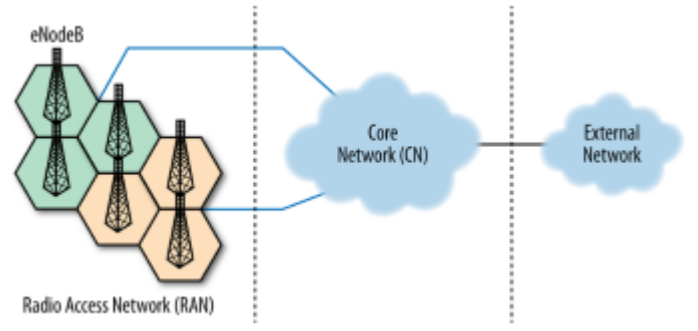


Cihaz boştayken (IDLE durumu) yalnızca kontrol kanalı yayınlarını dinler. Cihaz radyosu düşük güç durumundadır, taşıyıcı ağ içinde istemciye hiçbir radyo kaynağı atanmaz. Dolayısıyla bekleme durumunda olan bir cihaz veri gönderemez ve alamaz. Öncelikle RRC'den gelen kontrol kanalı yayınlarını dinlemeli ve bağlı duruma taşınmayı talep etmelidir.

Talep onaylanırsa bağlantı kurulur ve veri aktarımı sağlanabilir. Radyo bağlı durumdayken büyük miktarda güç gerekir. Hiçbir verinin gönderilmediği veya alınmadığı bir zaman aşımı gerçekleşirse de cihaz bekleme durumuna geri döner.

#### LTE TAŞIYICI MIMARISI

LTE Taşıyıcı mimarisi veri paketlerinin ağda nasıl ilerlemesi gerektiğiyle ilgilenir. Bunu anlamak için uçtan uca taşıyıcı mimarisine bakmamız gerekiyor. Genel anlamda, ağ mimarisi aşağıdaki Yüksek Performanslı Tarayıcı Ağı şeklinde gösterildiği gibi üç bölüme ayrılmıştır:

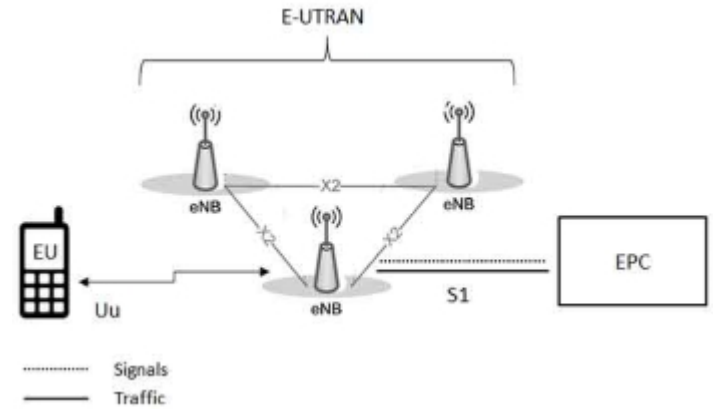


Şekil 1. LTE Taşıyıcı Mimarisi

Mimarinin ilk kısmı olan RAN ayrıca E-UTRAN olarak da bilinir. E-UTRAN fiziksel cihazı, Core Network'e bağlamakla sorumludur. Core Network ise veri paketlerini işleme, yönlendirme ve External Network'e bağlama ile görevlidir.

#### E-UTRAN

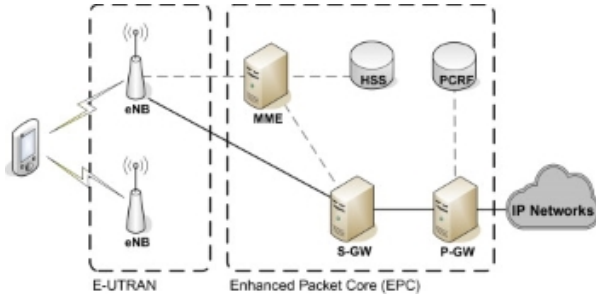
E-UTRAN, bir mobil cihazın online olduğu sırada, cihazın mobil ağa veri göndermesi ve alması için kullanılan bir teknolojidir. E-UTRAN, mobil ağda birçok farklı ağ elementini bir arada tutar ve bu ağ elementleri arasında veri aktarımını sağlar. Bu ağ elementleri eNodeB (evolved Node B) gibi hücresel donanımlardan oluşur. Bir cihaza bağlı eNodeB, bir kullanıcı fiziksel dünyada hareket ederken cihazı komşu bir baz istasyonuna teslim etmek gibi cihazın tüm düşük seviyeli işlemlerini kontrol eder. eNodeB ayrıca her cihazda LTE modem arayüzünü kullanmaktan sorumlu olduğu cihazlara tüm radyo yayınlarını gönderir ve alır. Şekil 2, E-UTRAN ağının basit ve temel bir gösterimidir.



Şekil 2. E-UTRAN Mimarisi

#### EPC

Gelişmiş Paket Çekirdeği (EPC), radyo ağını İnternet'e bağlamaktan sorumludur. Geleneksel IP anahtarlamalı veri yönlendirmesi gerçekleştirir ve ağ operatörleri tarafından istenen herhangi bir ağ politikasını veya kullanım kotasını yönetir. EPC, aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi birden çok bileşene ayrılmıştır.



Şekil 3. EPC Mimarisi

Paket Veri Ağ Geçidi (P-GW), mobil ağı genel İnternet'e bağlayan genel bir ağ geçididir. P-GW dış dünya ile iletişim kurar ve harici uç noktalara yönelik tüm mobil ağ bağlantıları için sonlandırma noktasıdır. Bir cihaz halka açık İnternete bağlandığında, P-GW cihaz için IP adresini tahsis eder ve bu IP'ye giden trafiği uygun hücresel cihaza yönlendirmek için uygun ağ adresi çevirisini yapar. İlke Denetimi ve Ücretlendirme Kuralları İşlevi (PCRF), genellikle Paket Ağ Geçidi ile birlikte dağıtılır. Bu bileşen, paket filtreleme veya bir kullanıcının veri limitini zorlama gibi politika kontrolü karar verme işlemlerinden sorumludur. Mobilite yönetimi varlığı (MME), ağıdaki her kullanıcı için durumu yönetir. MME, kullanıcıların konumunu, hesaplarını, fatura durumlarını ve ağıdaki her kullanıcı için bir dizi başka meta veriyi izleyen etkili bir kullanıcı yönetimi hizmetidir. Bir kullanıcı ağ boyunca hareket ettikçe, baz istasyonu konum değişiklikleri MME bileşenine iletilir. Ev Abone Hizmeti (HSS), etkin bir şekilde MME hizmetinin bir bileşenidir. Kullanıcı verilerinin bir veritabanıdır ve 3G UMTS ağı gibi daha eski hücresel ağlar tarafından kullanılan eski bir teknoloji olduğu için ağ mimarisinin ayrı bir bileşeni olarak tutulur. Hizmet veren ağ geçidi (S-GW) bir yönlendirici görevi görür ve bir kullanıcı ile ilişkili baz istasyonu ile paket ağ geçidi arasında veri iletir. Bir IP adresine yönelik veri alındığında, hizmet veren ağ geçidi kullanıcının konumu için MME bileşenini sorgular ve S-GW, verileri radyo erişim ağındaki uygun hücresel kuleye yönlendirir.

#### Uçtan uca Veri Paketi Akışı

Bu işlemleri daha iyi anlamak için bir örnek verecek olursak:

Bir kullanıcının sabah uyanır ve Facebook'ta gezinir. Kullanıcı bir URL sayesinde LTE üzerinden internete bağlanacaktır. İlk olarak, cihaz gece boyunca uykuda olduğundan, RRC "idle" durumundadır. Bu durumdan uyanmak için, radyo kaynakları için bir istek göndererek radyonun yakındaki bir hücresel baz istasyonu ile senkronize olması gerekir. RRC, gerekli kaynakları cihaza tahsis eder ve cihaza "connected" durumuna geçebileceği bildirilir. Artık kullanıcı, verileri RRC tarafından belirtilen hız ve güçte iletebilir. Bir cihaz bağlı durumdayken, RRC ile anlaşmaya gerek kalmadan veriler doğrudan cihazın atanmış baz istasyonuna gönderilebilir. Bu, cihaz yüksek güçlü bağlı durumda olduğu sürece geçerliliğini korur. Bir paket bir radyo kulesine ulaştığında, İnternet'e

ulaşmadan önce EPC'ye iletilmesi gerekir. Özellikle, paket önce hizmet ağ geçidine (S-GW) ulaşır, sonra da paket veri ağ geçidine (P-GW) ulaşır. Paket ağ geçidi, kullanıcının cihazının dahili IP adresini kaydeder ve kullanıcı adına genel İnternet'e proxy görevi görür. Facebook bir URL isteğini aldıktan sonra verileri geri göndermesi gerekir. Facebook'un kullanıcının cihazı hakkında hiçbir bilgisi yoktur ve yalnızca P-GW ile etkileşime girer. P-GW, kullanıcı adına bağlantıyı sonlandırır ve verileri S-GW'ye iletir. S-GW, kullanıcının cihazına hizmet veren tam baz istasyonunu bulmak için MME'yi sorgular ve ardından verileri uygun kuleye iletir. Bu kuledeki eNodeB, verileri cihazın LTE modemine göndermek için kullanıcının RRC'de depolanan cihaz durumuna ilişkin sahip olduğu bilgileri kullanır.

Eğer kullanıcı cihazının herhangi bir noktada hareketsizlik nedeniyle "idle" durumunda olabileceğidir. Bu durumda, P-GW yine de İnternete bağlı bir proxy gibi davranabilir ve cihazın radyosu kapalı olsa bile cihaz adına veri alabilir. Paket S-GW'ye ulaştığında ve cihaz boştaki ise MME'den cihazın "idle" durumunda olduğu öğrenilir. Sonra MME, cihaz ile RRC'nin radyo bağlantıyı yeniden kurmasını söyleyen bir bildirim yayınlar. Bu bildirim bölgedeki tüm baz istasyonlarına gönderir. Cihaz, kontrol mesajlarını dinlemek için periyodik olarak uyanır. Ve dinlediği bu istek üzerine cihazın radyo içeriği yeniden oluşturulduktan sonra, baz istasyonu MME'ye bildirimde bulunur, o da artık mesajı doğru radyo kulesine yönlendirebilen S-GW'ye bildirimde bulunur. Son olarak kule, verileri cihazın LTE modem arayüzü aracılığıyla cihaza gönderir.

## XII. LTE’NİN BAŞLICA AVANTAJLARI

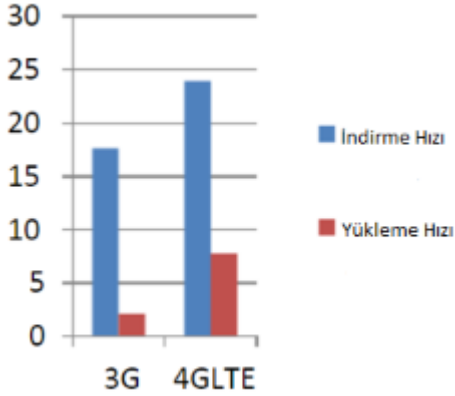
2G olan GSM şebekeleri 3G’ye UMTS teknolojisi ile geçmiştir. Benzeri bir durum 4G için de geçerlidir. 3G ağlar 4G’ye LTE teknolojisini kullanarak geçmiştir. Her ikisi de dijitaldir. LTE, UMTS (3G) ve GSM (2G)’ye kıyasla sağladığı başta bant genişliği olmak üzere sağladığı avantajlarla daha üstün bir teknolojidir.

Tablo I  
AĞ JENERASYONU VE KARŞILIK GELDİĞİ TEKNOLOJİLER

Ağ Jenerasyonu	Kullanılan Teknoloji
2G	GSM
3G	UMTS
4G	LTE
5G	NR

### Veri Aktarım Hızı

LTE, yerini aldığı 3G teknolojilerine kıyasla çok daha yüksek veri aktarım hızı sunar. 3G, Maksimum 42 Mbps’ye ulaşan bir veri aktarım hızı sunarken LTE teoride 3 Gbps’ye varan hızlarda veri aktarabilir. Pratikte görebildiğimiz hızlar genellikle bu değerlerin çok altındadır. (Şekil 4, Tablo II)



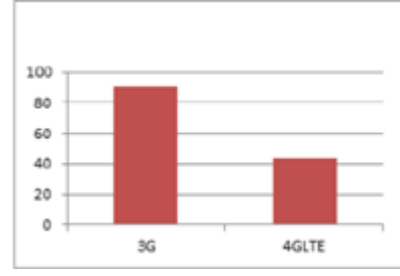
Şekil 4. 3G ile LTE hız karşılaştırması.

### Ağ ve Fizibilite

LTE teknolojisi 3G altyapısından geçerken yeni donanımlar gerektirir ancak her şeyi sıfırdan satın almak ve kurmak gerektirmez. Mevcut ağlarla birlikte çalışma yeteneğine sahiptir. LTE doğrudan sesli arama desteğine sahip değildir. Bu sebeple sesli arama yapıldığında 3G veya 2G şebekesi kullanılır.

### Gecikme

LTE teknolojisi gecikme konusunda da 3G teknolojilerine büyük bir gelişme sunar. Kıyaslama için tabloyu inceleyiniz (Şekil 2, Tablo II).



Şekil 5. 3G ile LTE gecikme karşılaştırması.

Tablo II  
3G VE LTE HIZ VE GECİKME KARŞILAŞTIRMASI

	3G	LTE
<b>Gecikme</b>	91ms	44ms
<b>Gönderme hızı</b>	2.11Mbps	7.74Mbps
<b>İndirme hızı</b>	17.68Mbps	23.92Mbps

## XIII. LTE’NİN GSM İLE OLAN İLİŞKİSİ

2G olan GSM ağları 3G’ye UMTS teknolojisi ile geçmiştir. Benzeri bir durum 4G için de geçerlidir. 3G ağlar 4G’ye LTE teknolojisini kullanarak geçmiştir. Her ikisi de dijitaldir. LTE, UMTS (2G) ve GSM (3G)’ye kıyasla başta bant genişliği olmak üzere sağladığı avantajlarla daha üstün bir teknolojidir. LTE ile GSM farkları için Tablo III’ü inceleyiniz. LTE ile 3G farkları için Tablo IV’ü inceleyiniz [1].

Tablo III  
GSM VE LTE FARKLARI

GSM	LTE
1991 yılında çıkmış, dönemin ihtiyaçları için geliştirilmiş 2. jenerasyon ağıdır.	2009 yılında piyasaya sürülmüş GSM’e kıyasla bant genişliği gibi yönlerden geliştirilmiş 4. jenerasyon ağıdır.
Hem sesli arama hem de veri aktarımı destekler.	Yüksek hızda veri aktarımı destekler ancak sesli aramayı desteklemez. Bunun için IP bazlı iletişim (VoLTE) kullanılır.
Frequency Division Multiple Access (FDMA) ve Time Division Multiple Access (TDMA) kullanır.	Ek olarak Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access (OFDMA) kullanır.
Circuit Switch olarak çalışır.	Packet-Switched olarak çalışır.
Maksimum veri aktarım hızı 384 kbps’dir. (EDGE)	Maksimum veri aktarım hızı 3Gbps’dir. (LTE Advanced Pro)
Kanal bant genişliği 200kHz’dir.	Kanal bant genişliği 1.4 Mhz, 3 Mhz, 5 Mhz, 10 Mhz, 15 Mhz veya 20 Mhz olabilir.

Tablo IV  
3G VE LTE FARKLARI

	3G	LTE (4G)
<b>Hız</b>	0.3Mbps-42Mbps	2-200Mbps
<b>Frekans</b>	1800Mhz-2400Mhz	2Mbps-200Mbps
<b>Anahtarlama yöntemi</b>	Devre Anahtarlama	Paket Anahtarlama
<b>Multiplexing Teknikleri</b>	Code Division Multiplexing Access	Orthogonal Division Multiplexing Multiple Access

#### XIV. SONUÇ

LTE, kendinden önce gelmiş standartlara kıyasla teknoloji, hız, bant genişliği, gecikme, kapasite ve ölçeklenebilirlik açısından avantajlıdır. Ancak artık günümüzdeki en gelişmiş standart özelliğini taşımamaktadır. 4G'nin varisi olarak tanımlayabileceğimiz 5G, 2019 yılında kullanıma açılmıştır.

Önceki jenerasyon geçişlerinde olduğu gibi 5G standardı da bant genişliği ve gecikme gibi alanlarda 4G ve LTE teknolojileri dahil olmak üzere seleflerine kıyasla üstün bir teknolojidir ve 4G teknolojileri yerini 5G'ye bırakmaktadır.

#### KAYNAKLAR

- [1] H. C. Ferreira A. D. Abioye, Meera K. Joseph. Comparative study of 3g and 4glte network. *Journal of Advances in Computer Networks*, 3:247-250, 2015.
- [2] OO Oni, FE Idachaba, and NS Nkordeh. Gsm--lte migration: Deployment issues for operators in developing countries. In *Proceedings of the World Congress on Engineering*, volume 1, 2015.
- [3] Prabesh Paudel and Abhi Bhattarai. 5g telecommunication technology: history, overview, requirements and use case scenario in context of nepal. In *Conference: IT4D*, 2018.
- [4] Myrtil Simkó and Mats-Olof Mattsson. 5g wireless communication and health effects|a pragmatic review based on available studies regarding 6 to 100 ghz. *International journal of environmental research and public health*, 16(18):3406, 2019.