

# VoIP Sistemlerinde Tekrar İletimin Kullanıcı Deneyimine Etkisi

## Impact of Retransmissions on the Quality of Experience in VoIP Systems

Onur Çalık<sup>1</sup>, Uğurcan İricioğlu<sup>2</sup>, Güneş Karabulut Kurt<sup>1</sup>, Ali Emre Pusane<sup>2</sup>,  
Ali Serdar Demiroğlu<sup>3</sup>, Gamze Kayık<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Telsiz Haberleşme Araştırma Laboratuvarı, Elektrik-Elektronik Fakültesi

İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye  
calikonu@itu.edu.tr, gkurt@itu.edu.tr

<sup>2</sup> Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul, Türkiye  
ugurcan.iricioglu@boun.edu.tr, ali.pusane@boun.edu.tr

<sup>3</sup> Netaş Telekomünikasyon A.Ş., İstanbul, Türkiye  
alisd@NETAS.com.tr, gsarikas@NETAS.com.tr

### Özet

Son yıllarda internet kullanımının artması haberleşme sistemlerinin yapısını da etkilemiştir. Ses iletimi, genel anahtarlamalı telefon ağları (PSTN) yerine İnternet Protokolü (IP) üzerinden yapılmaya başlanmış bu da IP üzerinden ses iletimi (Voice over IP, VoIP) olarak adlandırılmıştır. VoIP'te ses iletiminin kullanıcı tarafından algılanan kalitesini deneyim kalitesi (Quality of Experience, QoE) değeri belirler ve bu birçok parametreye bağlıdır. Bu çalışmada VoIP'te ses paketlerinin tekrar iletiminin QoE'ye etkisi incelenmiştir. Bu inceleme yapılırken paket iletiminin benzetim çalışmaları yapılmıştır. Aynı zamanda QoE hesabı için ITU-T'nin E-model yöntemi kullanılmıştır. E-model'de ses paketinin G.711 kodekiyle kodlandığı varsayılmıştır. Yapılan benzetim çalışmalarıyla tekrar iletimin bir değere kadar QoE'yi arttırdığı daha sonra da iletim zamanının artması nedeniyle düşürdüğü gözlenmiştir.

### Abstract

In recent years, structure of communication systems is changed due to increasing usage of internet. Voice is started to transmit over IP (Internet Protocol) that is named as Voice over IP (VoIP), instead of conventional voice transmission public switched telephone network (PSTN). The voice quality that is perceived by the end user is showed numerically by the value of Quality of Experience (QoE) which is depend on many variable parameters. In this work, the impact of retransmission on the QoE is examined. VoIP packets are simulated. For the QoE value, E-model methodology is used with assuming the voice packets are created by ITU-T's G.711 codec. In simulation progress it is shown that increasing number of retransmissions initially enhance the value of QoE. However, QoE value begins to decrease after a number of transmission because of the increment on delay time.

## 1. Giriş

Günümüzde internet kullanımının da artmasıyla doğru orantılı olarak IP üzerinden ses iletimi (VoIP) sistemlerinin kullanımı yaygınlaşmaktadır. VoIP teknolojisi ile fiziksel bir işaret

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından desteklenmektedir (Proje No: 3150601).

olan ses, İnternet Protokolü (IP) kullanılarak iletilir. Bu iletim gerçekleştirilirken ses işaretleri paketlenir ve internet üzerinden iletim bu paketler halinde yapılır. VoIP sistemleri kullanıcılara ucuz bir iletişim olanağı sunarken sağlayıcılara da band genişliği açısından verimlilik sağlar. Sabit telefonların kullandıkları ağ olarak da bilinen Genel Anahtarlamalı Telefon Ağı (PSTN) sisteminde arayan ve aranan numara arasında uçtan uca bir devre kurulmaktadır. Telefon trafiğinin artması sebebiyle de yeni ek devreler kurulur ve bu da maliyeti arttırmaktadır. Bu yüzden yeni telefon sistemleri IP üzerinden sağlanma eğilimindedir. Çünkü bu sayede maliyet azalmaktadır[1]. VoIP üzerinden iletişim VoIP uyumlu telefonlarla veya VoIP servisi sağlayan uygulamalar yüklü bilgisayarlar ve akıllı cihazlar ile gerçekleştirilir. PSTN üzerinden direkt olarak bir VoIP iletişimi yapılamaz. Bunun için ya telefonun VoIP uyumlu olarak alınması ya da PSTN ile VoIP arasında geçişi sağlayan bir aygıt eklenmelidir.

VoIP sistemlerde 3 türlü iletişim gerçekleştirilir. uluslararası ve uzun mesafede IP telefon kullanımı, PSTN ile IP tabanlı telefon kullanımı ve IP tabanlı iki telefon kullanımı. PSTN ve IP telefon arasındaki iletişim ağ geçitleri (gateway) yardımıyla yapılır. PSTN'den gelen veriler ve adresler ağ geçitleri sayesinde IP protokolüne uygun olarak düzenlenir. Düzenlenen ses verisi IP protokolüyle birlikte IP telefona ulaşır. IP telefondan PSTN'e giden ses verisi de aynı şekilde ağ geçidinden geçerek PSTN'e uygun hale getirilir ve PSTN'e ulaşır [2].

VoIP üzerinden iletişim yapılırken en önemli unsurlardan biri ses iletiminin kalitesidir. VoIP internet tabanlı olduğundan ve ses iletimi paketler şeklinde sağlandığından internet bağlantısına göre bazı paketlerin iletilmemesi veya geç iletilmesi olağandır. Bunlar da ses kalitesini bozan etkenlerdendir. Bu yüzden ses kalitesinin ölçümü hizmet sağlayıcıları için oldukça önemlidir. Servis kalitesi (QoS) ve deneyim kalitesi (QoE) ile VoIP sistemlerin kaliteleri belirlenir. QoS ile ağdaki paket kayıp oranları, gecikmeler belirlenerek ağın performansı orantılı olarak çıkarılır. QoE'de ise bu parametrelerin yanında hizmetin tamamı hakkında kullanıcının kişisel görüşü de dahil edilerek bir derece oluşturulur.

QoS tamamen teknik değerlerle ağ katmanının performansını ölçerek hesaplanırken, QoE bu teknik değerlerin yanında uçtan-ucaya kullanıcıların uygulama katmanındaki memnuniyet

seviyelerine bağlı olarak hesaplanmaktadır. Bu da QoS'i aslında QoE'nin bir alt kümesi haline getirmektedir. Buna bağlı olarak çok iyi bir ağ kalitesi QoS'in yüksek seviyede olmasını sağlarken bazı durumlarda QoE kötü bir kaliteye sahip olabilir. Örneğin ağ kalitesi ne kadar iyi olursa olsun kapsama alanı kısa mesafeler için bile yeterli değilse bu durum ortaya çıkar. Sonuç olarak QoS kullanımı iyi bir QoE kalitesi vermemelidir [3].

QoS ile QoE arasında doğrusal olmayan bir ilişki mevcuttur. Bu ilişki bir QoE değeri olan ortalama kanaat puanı (Mean Opinion Score, MOS) ve QoS'i belirleyen çeşitli faktörlere göre farklılık göstermektedir. QoS ve QoE'nin belirlenmesinde iki yol kullanılabilir. İlk olarak QoS kalitesi bilinen bir sistemin QoE kalitesi tahmin edilebilir. İkinci yol olarak ise istenen QoE değerine göre gerekli olan ağ altyapı sistemi kestirilebilir [4].

QoE ölçümleri öznel ve nesnel ölçüm olarak yapılmaktadır. Öznel ölçümler sistemleri deneyen kullanıcılardan veri toplanmasından dolayı hem zaman hem de maliyet açısından verimli olmamaktadır. Nesnel ölçümler ise öznel ölçümleri tahmin edebildiği için daha avantajlıdır. Örneğin, Uluslararası Telekomünikasyon Birliği'nin (ITU) E-model iletim tahmin aracı ile bir sistemin QoS değerlerini kullanarak daha çok ses ve video değerlendirmelerinde kullanılan MOS bulunmaktadır. MOS değeri de QoE ölçüsünün ne derece olduğunu belirtir. QoS değerlerinin ölçümü laboratuvarlarda uygun şartlar altında belirli gecikme, band genişliği, paket kaybı oranlarında yapılmaktadır. Gerçek hayatta kullanıcıların hareket halinde olmalarına, yakınlarında başka kullanıcıların olup olmasına bağlı olarak bu oranlar değişmektedir. Bu da direkt olarak QoS'in değişmesine sebep olduğu için kullanıcıların gerçek hayattaki memnuniyeti deneysel ortamda yapılan QoE ile tam olarak örtüşmemesine sebep olabilmektedir [5].

QoE hakkında son yıllarda yapılan çalışmalar çeşitlilik göstermeye başlamıştır. Zoraze, Baldo, Mangues-Bafalluy ve Giupponi tarafından yapılan çalışmada LTE sistemlerde gerçekleşen mobil telefonun hareket halindeyken bağlı olduğu bir hücreden başka hücreye geçmesi (handover) esnasında QoE de göz önünde tutulmuştur. LTE'de hücreler arası geçiş sırasında sinyal gücünün en yüksek olduğu hücreye geçiş yapılmaktayken bu çalışmada QoE'nin en yüksek olacağı hücreye geçiş yapılması sağlanmıştır [6]. Daha iyi bir QoE için yapılan çalışmalardan biri de Nihei, Satoda ve Yoshida'nın katkıda bulunduğu ani gecikmeler için iletim kontrolü metodudur. Bu metoda göre iki kalite gösterge metodu birleştirilir ve ortaya çıkan kaliteye durumuna göre kod seçimini ve ses paketlerinin gönderilme sıklığını belirleyen bir kontrol mekanizması oluşturulur. Bu da MOS değerinin yaklaşık 0.4 artmasını sağlamıştır [7].

Oh ve Kim'in üstünde çalıştığı projede VoIP servislerinde kullanıcı tarafından algılanan QoS değerinin artması ile telsiz haberleşme kaynağının verimliliğinin artması arasında bir denge bulunduğu düşünülmüştür. Bu dengeden maksimum verim elde etmek için G.711, G.729 ve G.723.1 kodları sırasıyla kullanılarak en fazla yapılabilecek tekrar iletim sayısı bulunmuştur. Bu yazı da ayrıca VoIP sisteminin özelliklerine göre sistem performansı ve QoS performansının artırılabilirdiği gözlenmiştir [8].

VoIP sistemlerde QoE ölçümü kullanıcıların VoIP sistemi kullandıklarındaki memnuniyetini tahmin etmek için yapıldığından, VoIP hizmet sağlayıcıları da kullanıcı memnuniyetini arttırmak için QoE başarımını zaman ve maliyet açısından en uygun şekilde gerçekleştirmek istemektedir. Bu yüzden uygun yöntemler hayata geçirilir. VoIP sistemlerinde paket kaybının önüne geçilmesi için hatalı olarak iletilen veya hiç iletilmeyen paketler verici tarafından tekrar iletilmektedir. Tekrar iletim yardımıyla alıcı tarafın vericinin yolladığı paket-

leri eksiksiz olarak elde etmesi amaçlanmaktadır. Bu çalışmada ise VoIP sistemlerde kayıpsız bir iletişimin gerçekleştirilmesi için uygulanan tekrar iletimin QoE'ye etkisi incelenmiştir. Bu inceleme esnasında tekrar iletimin belirli bir değere kadar QoE'yi arttırdığı gözlenmiştir. Buna karşın tekrar iletimin sayısına ve veri iletim hızına bağlı olarak QoE'nin her zaman artmadığı tam tersine düştüğü gözlenmiştir. VoIP iletişiminde tekrar iletim konusunda yüksek kullanıcı memnuniyeti için bir kısıtlama olduğu anlaşılmıştır.

Bu bildirinin kalan kısmında şu konular ele alınmıştır: 2. bölümde QoE metrikleri ve bunların kullanıldıkları alanlar ele alınmıştır. Bu metriklerden E-model 3. bölümde açıklanmıştır. 4. bölümde ise yapılan çalışmanın sistem modeli hakkında bilgi verilmiştir. 5. bölümde gerçekleştirilen benzetim çalışmalarına yer verilmiştir. Son bölüm olan 6. bölümde ise genel olarak çalışma sonuçları ele alınmıştır.

## 2. Kullanıcı Deneyim Kalitesi Metrikleri

QoE'nin ölçümü için ITU tarafından çeşitli ölçüm yöntemleri sunulmuştur. Bu yöntemlerden bazıları PESQ, PEAQ, PSQM, PAMS, E-Model'dir.

PESQ (Perceptual Evaluation of Speech Quality), ses kalitesinin otomatikleştirilmiş bir şekilde test edildiği standarttır. PESQ ile telefon ağından giriş verilen ses kalitesi ile telefon ağının çıkışından alınan ses kalitesi karşılaştırılır. ITU standartlarına göre P.862 olarak adlandırılan PESQ, ITU-T P.861 kodlu PSQM'in geliştirilmesiyle oluşturulmuştur. PESQ'le beraber sinyal bozulması doğal ve yapay ses örneklerinin kullanılmasını sağlayarak yeni metodlarla hesaplanmaktadır. Transcoding, iletim kanalındaki hatalar, kodak hataları, sistem tarafından oluşturulan gürültüler, paket kayıpları, zaman kırpma gibi ölçümlerde kullanılır. PESQ'in prensibi ayrılmış işaret ve referans işaretlerin öncelikle zaman ve frekansları hizalanır. Daha sonra filtreden (IRS) geçirildikten sonra 2 sinyal de eş zamanlanır ki arada VoIP nedeniyle oluşan gecikmelerin, zaman kayıplarının önüne geçilebilsin. Sesteki bozulmaları açıklamak için de iki işaret de frekans bölgesine geçirilerek birbirlerinden farkları alınır. Böylece iki işaretin ses farklılıkları ortaya çıkar. Zamanla gürültünün mü eklendiği yoksa işarette kayıp mı olduğuna bağlı olarak ses farkları ağırlıklandırılıp toplanır. Bundan sonra da MOS değeri hesaplanarak sesin kalitesi kestirilir. PESQ'nun en önemli avantajı ağ üzerinde veya bozulma türleri hakkında herhangi bir varsayım yapılmasına gerek kalmamasıdır [9].

PEAQ (Perceptual Evaluation of Audio Quality), alınan sesin nesnel olarak kullanıcı deneyimini ölçmek için kullanılan bir standarttır. Bu standartta, insan kulağının özellikleri temel alınarak oluşturulan parametreler birleştirilerek bir çıkış değeri hesaplanır. PEAQ ölçümünde test ve referans ses örnekleri hizalanarak her örneğin karşılaştırılmasıyla QoE kalitesi MOS cinsinden hesaplanır [10].

PSQM (Perceptual Speech Quality Measure), hesaplama ve modelleme algoritmasıdır. 300-3400 Hz aralığındaki ses kalitesini değerlendirip ölçer. PAQM'in (Perceptual Audio Quality Measure) daha genelleştirilmiş ve telefon konuşma işaretleri için optimize edilmiş halidir. PSQM algoritması konuşma işaretinin farklı kodlarla ve iletim ortamlarında iletimindeki bozulmaları ölçer. Bozulma zaman veya frekans bölgesinde ölçülmediği için sinyal-gürültü oranından (SNR) farklılık gösterir. Bozulma fiziko-akustik bölgede ölçülür. Böylece gerçek telefon kullanıcılarına benzer bir ses alımı sağlanır [11].

PAMS (Perceptual Analysis Measurement System), kodak kullanımına bağlı olarak kırpma, paket kaybı, gecikme ve

bozulma gibi zararlı faktörler tarafından etkilenen sistemlerdeki ses kalitesini ölçme amaçlı kullanılan algoritmadır. İnsan algı faktörlerine dayalı bir model kullanılır. Bir referans bir de bozulmuş ses işareti öncelikle eş zamanlanır. İnsan ifadelerine göre bu ses işaretleri modellenir. İki sinyal arasındaki farklar değerlendirilip hatalar sezilir. Daha sonra algısal hatalar subjektif olarak eşlenir. PAMS ile beraber Dinleme Kalite Skoru (Listening Quality Score) ve Dinleme Skoru (Listening Effort Score) ortaya çıkartılır [12].

Yukarıda belirtilen modellerin birçok avantajı olmasına rağmen referans işaret gereksiniminden dolayı kullanımlarında pratik zorluklar oluşmaktadır. Bu nedenden ötürü çalışmamızda referans işaret gerektirmeyen E-Model kullanılmıştır. Bu modelin detayları aşağıda verilmiştir.

### 3. E-Model

E-Model ITU'nun geliştirdiği bir iletim tahmin aracıdır. ITU-T G.107 E-model ile uçtan uca telefon bağlantısında kullanıcıların aldığı ses kalitesi kestirilmektedir. Bu ölçüm metodunda orijinal ses sinyaline gerek duyulmaz. Diğer metodlardan farklıdır çünkü bir ağ benzetim aracını da temsil eder. Her kalite düşümü türünün belli bir faktöre bağlı olduğu varsayılan hesaplama gerektiren bir metottur. Paketlenmiş seslerin kalitesini tahmin edebilmek için iletim parametreleri kullanılır. R (Rating Factor) ile kullanıcının deneyimi matematiksel olarak modellenir. Bu modelden alınan çıktı da MOS'a göre eşleştirilir. E-model farklı bozulma faktörleri çerçevesinde bir çok öznel testin sonucunda ortaya çıkan temel bir değer hesaplar ve bu değer sayesinde ağ faktörleriyle birlikte kaliteye karar verilir. R faktörü aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$R = R_0 - I_s - I_d - I_{e,eff} + A. \quad (1)$$

Bu formülde  $R_0$  SNR değerini,  $I_s$  ses işaretine hasar veren faktörlerin tamamından gelen bozulma faktörü katsayısını,  $I_d$  gecikmeden dolayı oluşan bozulma faktörü katsayısını,  $I_{e,eff}$  ses işaretinden daha çok veya daha az olan gürültülerden oluşan ve kodek cinsine göre değişen bozulma katsayılarının tamamını,  $A$  ise avantaj faktörü katsayısını temsil etmektedir [13]. Çizelge 1'de %1 paket kayıp oranında R faktörünü hesaplamak için kullanılan değerler verilmiştir.

Çizelge 1. Paket Kayıp Oranı %1 için E-model Parametreleri

$R_0$	93.2
$I_s$	0
$I_d$	0.48
$I_{e,eff}$	17.92
$A$	5

R faktörü hesaplamasının içinde bir değişken olan  $I_{e,eff}$  değeri  $I_e$  ve patlamış paket kaybı (burst packet loss, BPL) değerlerine bağlıdır. Bu değerler de VoIP sistemde kullanılan kodeklere göre farklılık göstermektedir. Çizelge 2'de  $I_e$  ve Bpl değerlerinin kodeklere göre aldığı değerler gösterilmektedir. Bu değerlere göre 8 kHz örnekleme hızına sahip olan 64 kbit/sn bit iletim oranlı ITU-T G.711 kodeki en iyi  $I_{e,eff}$  değerini vermektedir. Bu da diğer kodek kullanımlarına göre daha iyi bir R faktörü değeri sağlamaktadır.

PSTN telefon haberleşmelerinde  $R_0$  ve  $I_s$ , VoIP telefon haberleşmelerinde ise  $I_d$  ve  $I_e$  R faktörünün hesaplanmasında ön plana çıkan faktörlerdendir. Eğer tek yönlü gecikme 150 ms'nin altındaysa  $I_d$  değeri sabit bir değerde kalmaktadır. Buna

Çizelge 2.  $I_e$  ve Bpl değerlerinin kodeklere göre değişimi

Kodek	$I_e$	Bpl
G.711	0	4.3
G.711 + PLC	0	25.1
G.726 (32 kbps)	7	23
G.723 + VAD	15	16.1
G.729A + VAD	11	19
GSM-EFR	5	10

karşın tek yönlü gecikme süresi 150 ms'nin üstüne çıkarsa R faktöründeki  $I_d$  değeri her 10 ms fazlalık için 1 değer artmaktadır.  $I_e$  değerinin artmasına sebep olan ise düşük bit oranlı kodekler ve paket kayıpları da R faktörüne ayrı ayrı etki etmektedir. Kodekler 10 değer, paket kayıplarının her yüzdece değeri de 5 değer olarak R-faktörünü olumsuz yönde etkilemektedirler.

R-faktörü hesaplandıktan sonra 0 ile 100 arasında bir değer bulunur. Bu değer 0 değerine yakınsa kötü, 100 değerine yakınsa iyi bir ses kalitesinin olduğu anlaşılmaktadır. Bu değer daha sonra MOS değerine dönüştürülür. MOS değeri insanların dinledikleri seslerin kalitesini puanlandırırdıkları bir değerdir. Bu değere göre iletilen sesin ne kadar kaliteli olduğu yorumlanabilir. MOS değerleri ile ses kalitesi 1 ile 5 arasında bir değer almaktadır. Kişilerin değerlendirmesi sonucu çıkan ortalama değer 1'e ne kadar yakınsa o sesin kalitesi o kadar kötü, 5'e ne kadar yakınsa o sesin kalitesi de o kadar iyi olarak değerlendirilir[14].

R-faktöründen MOS değerine de aşağıdaki formüller kullanılarak geçilebilir:

$$MOS = \begin{cases} 1 + 0.035R + \frac{1}{4.5} \frac{(R-60)(100-R)7R}{10^6} & R < 0 \\ 0 \leq R \leq 100 & \\ R > 100 & \end{cases} \quad (2)$$

Dar bantlı E model'de MOS değerlerinin erişilebilir en yüksek değeri 4.41'dir. Bu değer de R faktöründe 93.2'ye denk gelmektedir.

Çizelge 3. MOS değerlerinin sınıflandırılması

MOS	Kalite	Sesteki Bozulma
5	Çok iyi	Algılanamaz
4	İyi	Algılanabilir fakat rahatsız edici değil
3	Orta	Kısmen rahatsız edici
2	Yetersiz	Rahatsız edici
1	Kötü	Çok rahatsız edici

### 4. Sistem Modeli

VoIP üzerinden kullanıcı deneyimi ölçüm sistemi için öncelikle örnek bir test paketi tanımlanmıştır. Bu test paketi 1600 bit uzunluğundadır. İlk 160 bit IP başlığıdır. IP başlığı IP sürümünü, başlık uzunluğunu, servis tipini, çerçeve uzunluğunu, düşme süresini (Time to Live, TTL) ve kaynak adres ile hedef adresini içeren başlıktır. IP başlığının hemen ardından gelen 64 bitlik kısım ise UDP (User Datagram Protocol) başlığıdır. Bu sistemde UDP kullanılması sebebi gönderilen VoIP ses paketlerinin tam olarak iletilip iletilmediği geri bildirim yapılarak kontrol edilmemesidir. UDP başlığının içinde kaynak adresin ve hedef adresin port numaraları, yük uzunluğu ve opsiyonel hata kontrolü bulunmaktadır. Bir sonraki 96 biti içeren başlık ise RTP (Real Time Transmission Protocol)

başlıdır. RTP başlığında tarih, yük tipi, sıra numarası, işaretleyici gibi bilgiler bulunur. VoIP test paketinin geriye kalan 1280 biti ise aktarılmak istenen ses işaretinin örneklerini içerir.

VoIP veri paketleri G.711 kodeki kullanılarak modellenmiştir. G.711 kodeki ile analog ses işaretleri Darbe Kod Modülasyonu (Pulse Code Modulation, PCM) kullanılarak sayısal işaretlere dönüştürülüp sıkıştırılmaktadır. Bu sayede band genişliği daha verimli bir şekilde kullanılmaktadır. G.711 ile öncelikle 300-4000 Hz arasındaki analog ses işaretleri 8000 Hz'de örneklenmektedir. Daha sonra örneklenen bu işarete düzgün olmayan kuantalama uygulanmaktadır. Her bir kuantaya seviyesi 8 bit ile tanımlandığından dolayı G.711 kodeki 64 kbit/s iletim hızına erişir. Bu da G.711'in diğer kodeklerden daha verimli olmasını sağlamaktadır.

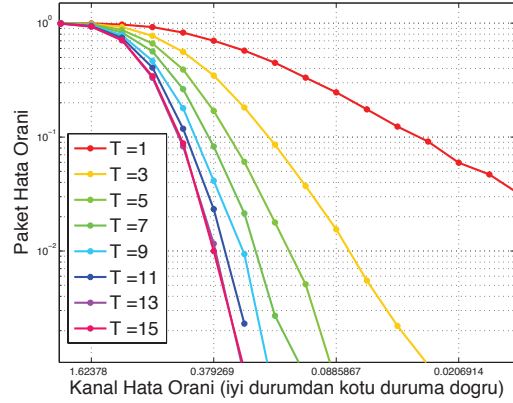
VoIP paketleri iletilirken kayıplı kanallarda iletiildiği varsayılmıştır. Bu çalışmada sabit kanal bozulması modeli, her bittin sonra değişken bozulmalı kanal modeli ve her paketten sonra değişken bozulmalı kanal modeli kullanılmıştır. Değişken bozulmalı kanal modelleri Gilbert-Elliot kanal modeli temel alınarak oluşturulmuştur. Gilbert-Elliot kanalı iyi ve kötü durum olarak 2 durumlu saklı Markov modelidir. Bu modele göre bitlerin veya paketlerin iyi ve kötü kanaldan hangisinden geçeceği olasılıkla belirlenmiştir. Eğer bitler veya paketler iyi kanaldan geçerlerse herhangi bit hatasına rastlanmaz. Ancak kötü kanaldan geçerlerse kanalın bozucu etkisine maruz kalarak bit hatasına rastlanır.

## 5. Benzetim Çalışmaları

Bu çalışmada VoIP sistemde tekrar iletimin kullanıcı deneyimine etkisi incelenirken benzetim çalışmaları için MATLAB programı kullanılmıştır. Öncelikle 1600 bit uzunluğunda bir test paketi oluşturulmuştur. Bu test paketinin ilk 320 biti olan IP başlığı bölümü tamamen 1 geri kalanı da 0 olacak şekilde tanımlanmıştır. Ardından test paketinin iletileceği kanallar modellenmiştir. %10'dan %0.01'e kadar logaritmik bir şekilde azalan bozulma oranları olan 15 farklı kanal tanımlanmıştır. Her bir kanal belirlenen sayıdaki her test paketi için bozulmalı kanallarda ayrı ayrı paket hata oranı hesaplaması yapılmıştır. Paket hata oranları tekrar iletim sınırına göre ayrı ayrı hesaplanmıştır. Tekrar iletim sınırı (Şekillerde  $T$  ile gösterilmiştir), iletilmek istenen veri paketinin iletim sırasında bir şekilde bozulması veya iletilmemesi halinde tekrardan iletilme sayısını belirlemektedir.

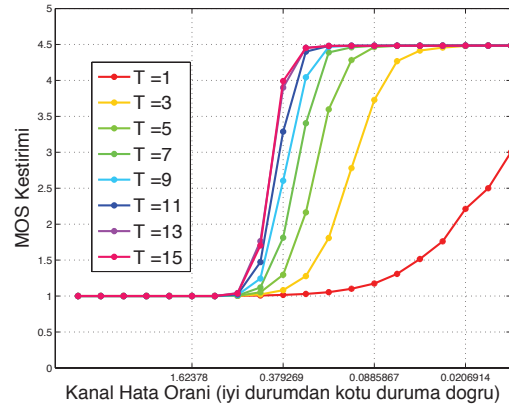
Şekil 1'de görüldüğü üzere kanal bozulması azaldıkça gönderilen VoIP paketlerinin hata oranı da azalmaktadır. Bu grafikte ayrıca tekrar iletim limiti arttıkça kanal bozulması oranı yüksek bir değerde olsa bile paket hata oranının düşük değerde çıktığı gözlenmiştir. Bunun nedeni tekrar iletim sayısı arttıkça gönderilen paketlerin tamamen iletilme olasılığının artmasıdır.

Bu benzetimde her paketin iletim süresi 20 ms olarak belirlenmiştir. Tekrar iletilen her paket sayısı orantılı olarak paketlerin iletim zamanı da belirli bir artış göstermektedir. Bu MOS değerini etkileyen bir faktördür. Aynı zamanda bu benzetimde paketlerin belirli bir mesafeden iletilmesi de modellenmiştir. Bu mesafeden dolayı yaşanan gecikme de iletim zamanına eklenmiştir. MOS değeri bu benzetimde gecikme süresi ve paket kayıp oranına bağlı olarak hesaplanmıştır. Paket hata oranı hesaplanırken belirli bir tekrar iletim sınırı ve kanal bozulmalı değerlerdeki iletilemeyen paket sayısının gönderilen toplam paket sayısına oranıyla bulunmuştur. Uzaktan bağımsız olan gecikme süresini bulmak için belirli değerlerdeki tekrar iletim sınırında ve kanal bozulma oranında gönderilen paketlerin ortalamasının alınmasıyla hesaplanmıştır. Şekil 2'de görüldüğü



Şekil 1. Farklı tekrar iletim sınırlarının paket hata oranı-kanal bozulma grafiği

üzere tekrar iletim sayısı arttıkça MOS değeri yüksek bozulmalı kanalda da iyi bir değer almaktadır.

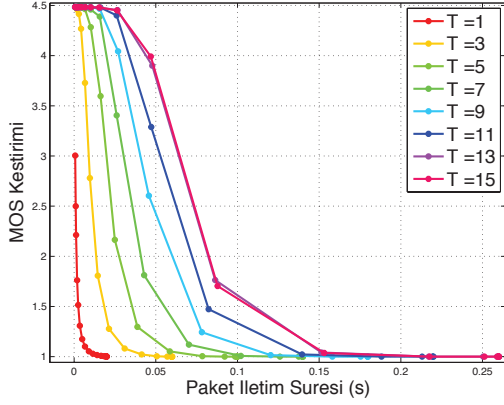


Şekil 2. Farklı tekrar iletim sınırlarının MOS kestirimi - kanal bozulma grafiği

Tekrar iletim sayısı arttıkça paketlerin iletim süresi aynı oranda artmaktadır. Paket iletiminde gecikmeye neden olan bu durum uzun sürerse kullanıcı memnun kalmamaktadır. Bu yüzden benzetim çalışmalarında iletim süresi 250 ms'den fazla olan paketlerin otomatik olarak düşürüldüğü varsayılmıştır. Şekil 3'teki grafik MOS kestiriminin iletim zamanıyla değişimini göstermektedir. Grafik analiz edildiğinde tekrar iletim limiti yüksek olan olan paketlerin daha uzun sürede iletiildiği gözlenmektedir. İletim süresi kısa olan paketlerin MOS değerleri yüksekken, iletim süresi uzadıkça MOS değerlerinin bir süreden sonra düştüğü açıkça görülmektedir.

## 6. Sonuçlar

Bu çalışmada öncelikle VoIP sistemleri ayrıntısıyla araştırılmıştır. VoIP sistemlerin geleneksel ses iletim yöntemlerinden farkları, iyi ve kötü yanları ortaya çıkarılmıştır. VoIP sistemlerinde gönderilen sesin kalitesinin incelendiği QoS ve QoE'nin arasındaki fark araştırılıp QoS değerinin ağ altyapısının



Şekil 3. Farklı tekrar iletim sınırlarının MOS kestirimi - iletim zamanı grafiği

daki teknik değerlere bağlı iken, QoE değeri hem bu teknik değerlere hem de kullanıcıların memnuniyet değerlerine bağlı olduğu görülmüştür.

VoIP sistemlerde QoE hesabı için kullanılan metrikler ayrıntılı olarak incelenmiş ve E-model'in bu çalışmamızda kullanılmasının uygun olacağına karar verilmiştir. Benzetim çalışmalarında G.711 kodu ile VoIP paketleri modellenmiş ve bu VoIP paketlerin tekrar iletiminin QoE'ye etkisi incelenmiştir. Bu inceleme sonucunda tekrar iletim sayısının belli bir değere kadar artması QoE'ye olumlu bir etki yaptığı yani VoIP haberleşmesinin daha iyi bir hale getirildiği gözlenmiştir. Buna karşılık tekrar iletim sayısının çok fazla artırılması iletim zamanının da artmasına neden olduğundan QoE değerinin düşmeye başladığı gözlenmiştir.

## 7. Kaynaklar

- [1] Aşırım, A., "IP Üzerinden Ses İletimi", Y.L. Tezi, Elektrik-Elektronik Müh., İTÜ, İstanbul, Türkiye, 2002.
- [2] Cantekinler, M.K., Bolat, A., Çetin, T., Güçlü, T., Çaycı, A.D. ve Yılmaz, R., (2008 Haziran). IP Tabanlı Hizmetler: VoIP ve IPTV [Araştırma Raporu].

- [3] Nokia Corporation, Quality of Experience (QoE) of Mobile Services: Can It Be Measured and Improved?, Telecom Services White Papers, 2004.
- [4] Rahrer, T., Fiandra, R., Wright, S., (2006, Aralık, 13). Triple-play Services Quality of Experience (QoE) Requirements [Teknik Rapor].
- [5] Mitra, K., Zaslavsky, A., ve Åhlund, C. (2014). QoE modelling, measurement and prediction: A review. arXiv preprint arXiv:1410.6952.
- [6] Zoraze, A., Baldo, N., Mangues-Bafalluy, J. ve Giupponi L., "Machine learning based handover management for improved QoE in LTE", NOMS, 2016, 794 - 798.
- [7] Nihei, K., Satoda, K. ve Yoshida, H., "A QoE Indicator and a Transmission Control Method for VoIP on Mobile Networks Considering Delay Spikes", IEEE-ICC, 2016, 1 - 6.
- [8] Oh, s., Kim, J., "Application-aware Retransmission Design for VoIP Services in BWA Networks", ICACT, 2012, 122-131.
- [9] Opticom GmbH, (2005). PESQ – Perceptual Evaluation of Speech Quality, 2016. <http://www.opticom.de/technology/pesq.php>
- [10] Kuipers, F., Kooij, R., De Vleeschauwer, D., ve Brunnström, K., Techniques for measuring quality of experience. IFIP WWIC, 2010, 216-227.
- [11] ITU-T Recommendation P. 861. Objective quality measurement of telephoneband (300 - 3400 Hz) speech codecs" 1996.
- [12] Khalil, I., "Handbook of Research on Mobile Multimedia", IGI, ABD, 2006.
- [13] ITU-T, "Rec. G.107: The E-model, a computational model for use in transmission planning," Geneva (Switzerland), 2002.
- [14] Silva, E., Galvão, L., Mota, E. ve Iano, Y., "Mean Opinion Score Measurement Based on E-model During a VoIP Call", AICT, 2015, 132-135.