

Effective Capacity Performance of α - κ - μ Fading Channels

Nuri KAPUCU^{1,*}¹Hitit University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering, 19030, Merkez/ÇORUM

Graphical/Tabular Abstract

Article Info:

Received: 08/04/2019

Revision 07/05/2019

Accepted: 07/06/2019

Highlights

- Effective capacity analysis of a single-input single-output system over α - κ - μ fading channels.
- Asymptotic analysis for the evaluation of the considered system at high SNR.
- Truncation error analysis.

Keywords

α - κ - μ fading channels
 Effective capacity
 High SNR analysis

In this work, a closed-form expression is derived for effective capacity of α - κ - μ fading channels. Then, an asymptotic expression is also proposed for the effective capacity of the considered channel model. In addition, an investigation of truncation error analysis is carried out for the infinite series representation which is included in the derived expression. Finally, the effective capacity performance is presented by obtaining the analytical results for different values of fading parameter with simulation results.

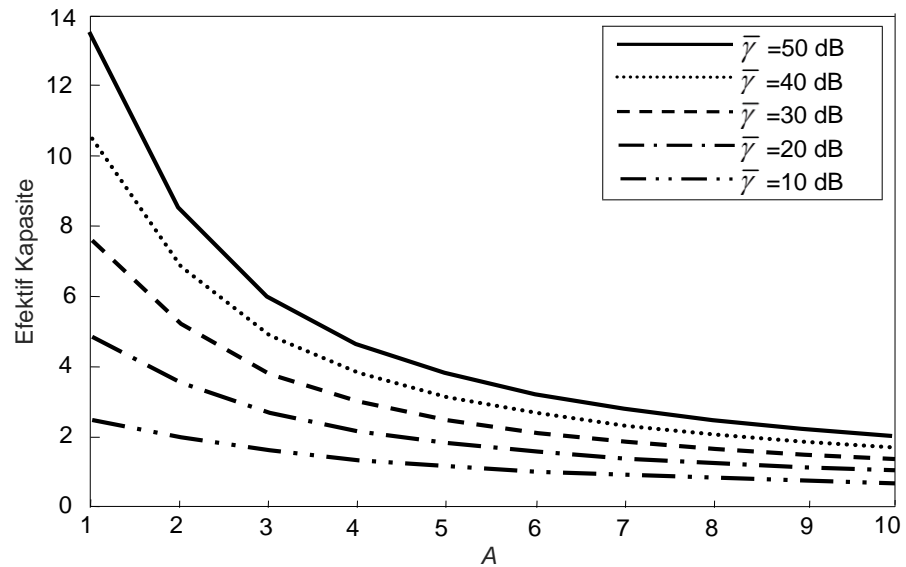


Figure A. Effective capacity of α - κ - μ fading channels with the change of A parameter when $\alpha=2, \kappa=1, \mu=1$

Purpose: The aim of this study is to derive analytical effective capacity expression for a single-input single-output wireless communication system operating over α - κ - μ fading channels. Also, a simplified expression is proposed for evaluation of effective capacity at high signal-to-noise ratio (SNR) regime.

Theory and Methods: Probability density function (PDF) approach is used for the derivation of effective capacity expression. In order to solve the effective capacity integral, the exponential term is expressed in term of Meijer's G function. In asymptotic analysis, it is assumed that the exponential term approaches 1 when the average SNR goes to infinity.

Results: Numerical results show that, the analytical results are in excellent agreement with the simulation results. The asymptotic results show a good fit to the analytical and simulation results at high SNR region. From truncation error analysis, it is seen that truncating the infinite series for the first 30 terms is enough to get the desired accuracy.

Conclusion: In this study, an effective capacity analysis is conducted for α - κ - μ fading channels. Analytical and asymptotic expressions are derived and the results are shown for the different configurations of fading parameter and A parameter.

GU J Sci, Part C, 7(2): 472-481 (2019)

Gazi Üniversitesi

Fen Bilimleri Dergisi

PART C: TASARIM VE TEKNOLOJİ

<http://dergipark.gov.tr/gujsc>

α - κ - μ Sönümlü Kanalların Efektif Kapasite Başarımı

Nuri KAPUCU^{1,*}¹Hittit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 19030, Merkez/ÇORUM

Öz

Bu çalışmada, α - κ - μ sönümlü kanalların efektif kapasitesi için kapalı formda bir ifade türetilmiştir. Daha sonra ele alınan kanal modelinin efektif kapasitesi için asimptotik bir ifade de önerilmiştir. Buna ek olarak, türetilen ifadede bulunan sonsuz seri için kesme hatası incelemesi gerçekleştirilmiştir. Son olarak ise α - κ - μ sönümlü kanalların efektif kapasite başarımı, farklı parametre değerleri için analitik sonuçlar elde edilerek benzetim sonuçları ile birlikte sunulmuştur.

Makale Bilgisi

Başvuru: 08/04/2019

Düzeltilme: 07/05/2019

Kabul: 07/06/2019

Anahtar Kelimeler

α - κ - μ Sönümlü Kanallar
Efektif Kapasite
Yüksek SNR Analizi

Keywords

α - κ - μ Fading Channels
Effective Capacity
High SNR Analysis

Effective Capacity Performance of α - κ - μ Fading Channels

Abstract

In this work, a closed-form expression is derived for effective capacity of α - κ - μ fading channels. Then, an asymptotic expression is also proposed for the effective capacity of the considered channel model. In addition, an investigation of truncation error analysis is carried out for the infinite series representation which is included in the derived expression. Finally, the effective capacity performance is presented by obtaining the analytical results for different values of fading parameter with simulation results.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kablosuz haberleşme kanallarında karşılaşılan sönümlenmenin doğru olarak modellenmesi, sistem başarımını anlamada ve geliştirmede oldukça önemlidir. Sönümlenme genellikle gölgeleme ve çok yollu yayılım etkilerine bağlı olarak karakterize edilir. Literatürde, bu etkileri kapsamak için farklı genelleştirilmiş karma (composite) sönümlenme modelleri önerilmiş ve çeşitli çalışmalar yapılmıştır [1-8]. [1] ve [2]'de küçük ölçekli sönümlenme etkilerini ortaya koyabilen α - κ - μ , α - η - μ ve α - λ - μ genelleştirilmiş sönümlenme modelleri önerilmiştir. [3]'te en iyi röle seçim tekniğini kullanan doğrudan dizili kod bölmeli çoklu erişim sistemlerinin α - η - μ sönümlü kanallardaki servis-dışı kalma olasılığı başarımı analiz edilmiştir. α - μ sönümlü kanallar [4]'te önerilmiş ve κ - μ ile η - μ sönümlü kanallar ise [5]'te detaylı olarak verilmiştir. Bir başka çalışmada [6] ortamın lineer olmama durumunu, saçılan dalgaların gücünü, baskın bileşenlerin gücünü ve çok yollu kümelenmeyi hesaba katan α - η - κ - μ isimli kompleks bir sönümlenme kanalı önerilmiştir. [7]'de hem sönümlenme hem de gölgeleme etkilerini incelemek için basit formda bir kompozit sönümlenme modeli olan Fisher-Snedecor F dağılımı sunulmuştur. [8]'de ise tek girişli tek çıkışlı bir kablosuz haberleşme sisteminin hata olasılığı Weibull/Log-Normal sönümlü kanallarda incelenmiştir.

Kablosuz haberleşme sistemlerinin genelleştirilmiş sönümlü kanallardaki başarımı literatürde [9-16]'da verilen çalışmalarda incelenmiştir. α - η - κ - μ sönümlü kanalların kapasitesi farklı adaptif iletim teknikleri kullanılarak [9]'da analiz edilmiştir. [10]'daki çalışmada α - η - κ - μ sönümlü kanalların fiziksel katman güvenliği Wyner hat dinleme modeline dayalı olarak araştırılmış ve servis-dışı kalma olasılığı ile kanal kapasitesi için nümerik sonuçlar sunulmuştur. [11]'de en yüksek oranlı birleştirme alıcısının η - μ ve κ - μ sönümlü kanallardaki ortalama bit hata oranı başarımı incelenmiştir. Tek girişli tek çıkışlı ve çok girişli tek

çıkışlı kablosuz haberleşme sistemlerinin Fisher-Snedecor F sönümlü kanallardaki efektif kapasitesi için kapalı formda ifadeler sırasıyla [12] ve [13]'te türetilerek başarımlı farklı kanal parametreleri için gösterilmiştir. [14]'te verilen çalışmada, tek girişli tek çıkışlı bir kablosuz haberleşme sisteminin servis-dışı kalma olasılığı, ortalama bit hata oranı ve kanal kapasitesi α - η - μ sönümlü kanallarda ele alınmıştır. Çeşitleme birleştirme alıcılarının α - μ , η - μ ve κ - μ sönümlü kanallardaki servis-dışı kalma olasılığı analizi detaylı bir şekilde [15]'te verilmiştir. [16]'da yazarlar Fisher-Snedecor F sönümlü kanalların kapasitesini çeşitli iletim teknikleri için analiz etmişlerdir.

Yukarıda bahsedildiği gibi çeşitli genelleştirilmiş sönümlü kanallarda kablosuz haberleşme sistemlerinin başarımlı üzerine yoğun bir şekilde çalışılmıştır. Bahsedilen kanal modellerinden farklı olarak son zamanlarda α - κ - μ genelleştirilmiş sönümlü kanallar ilgi çekmektedir. Bu kanal yapısının ilgi çekmesinde Rayleigh, Nakagami- m , Rice, Weibull ve κ - μ gibi çeşitli popüler kanal modellerini kapsaması etkili olmuştur. Aynı zamanda α - κ - μ sönümlü kanallarda çok az sayıda çalışma mevcuttur [17-22]. [17] ve [18]'de yazarlar servis-dışı kalma olasılığı, bit hata oranı ve ortalama kanal kapasitesi için ifadeler türeterek başarımlı analizi yapmıştır. α - κ - μ dağılımının ikinci derece istatistikleri [19]'da ele alınmıştır. [20] ve [21]'de yazarlar α - κ - μ sönümlü kanallarda spektrum algılama üzerine çalışmalar yapmışlardır. [22]'de aynı dağılım için en yüksek olasılık (maximum likelihood, ML) kestirim yöntemi önerilmiştir. Bilindiği kadarıyla, literatürde α - κ - μ sönümlü kanalların efektif kapasitesini analiz eden herhangi bir çalışma bulunmamaktadır.

Bu çalışmada, α - κ - μ genelleştirilmiş sönümlü kanalların efektif kapasitesi analitik olarak kapalı formda türetilmiştir. Daha sonra yüksek işaret-gürültü oranı (signal-to-noise ratio, SNR) bölgesinde analizi kolaylaştırmak için asimptotik bir ifade de önerilmiştir. Bunlara ek olarak, ele alınan kanal modelinin olasılık yoğunluk fonksiyonunda (probability density function, PDF) bulunan sonsuz seri toplamı belirli bir sayıda terim için hesaplatıldığında efektif kapasite ifadesi için meydana gelen kesme hatası analizi sunulmuştur. Bu sayede türetilen ifadenin kullanılabilirliği gösterilmiştir. Son olarak, elde edilen analitik ifadelerden bulunan nümerik sonuçlar benzetim sonuçları ile kıyaslamalı olarak verilmiştir.

2. KANAL MODELİ (CHANNEL MODEL)

α - κ - μ dağılımı sönümlenmeden kaynaklanan küçük ölçekli değişimleri modellemede kullanılan genel ve başarılı bir kanal modelidir. Bu kanal modeline ait anlık SNR'nin PDF'si şu şekildedir [17]:

$$f_{\gamma}(\gamma) = \sum_{j=0}^{\infty} \frac{\alpha \mu^{\mu+2j} \kappa^j (1+\kappa)^{\mu+j}}{2\Gamma(\mu+j) j! e^{\kappa\mu} \bar{\gamma}^{\alpha(\mu+j)/2}} \gamma^{\frac{\alpha}{2}(\mu+j)-1} e^{-\frac{\mu(1+\kappa)}{\bar{\gamma}^{\alpha/2}} \gamma^{\alpha/2}} \quad (1)$$

burada γ anlık SNR'yi, $\bar{\gamma}$ ortalama SNR'yi, $\Gamma(\cdot)$ Gamma fonksiyonunu, $\alpha > 0$ ortamın lineer olmayan etkilerini tanımlayan parametreyi, $\kappa > 0$ baskın bileşenlerin toplam gücünün saçılan dalgaların toplam gücüne oranını, $\mu > 0$ çok yollu kümelerin sayısını ifade etmektedir. Bu dağılımda $\alpha > 2$ olduğunda κ - μ dağılımı elde edilmektedir. Diğer özel durumlar Tablo 1'de özetlenmiştir.

Tablo 1. α - κ - μ dağılımının kapsadığı özel durumlar

Sönümlenme	α	κ	μ
Tek taraflı Gaussian	2	$\rightarrow 0$	0.5
Rayleigh	2	$\rightarrow 0$	1
Nakagami- m	2	$\rightarrow 0$	m
Rice	2	k	1

3. EFEKTİF KAPASİTE ANALİZİ (EFFECTIVE CAPACITY ANALYSIS)

Efektif kapasite, matematiksel olarak aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır [12]:

$$C = -\frac{1}{A} \log_2 \left(E \left[(1+\gamma)^{-A} \right] \right) \text{ bit/s/Hz} \quad (2)$$

burada $A = \theta TB / \ln 2$, $E(\cdot)$ beklenen değer operatörü, θ asimptotik zayıflama oranı, T blok uzunluğu ve

B ise band genişliğidir. Eşitlik (2)'deki ifade yeniden aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$C = -\frac{1}{A} \log_2 \left(\underbrace{\int_0^\infty (1+\gamma)^{-A} f_\gamma(\gamma) d\gamma}_I \right) \tag{3}$$

Eşitlik (3)'te $\theta \rightarrow 0$ olduğunda $A \rightarrow 0$ olacağı için Shannon ergodik kapasite elde edilmektedir. Eşitlik (1) ile verilen PDF ifadesi I integralinde yerine yazılırsa

$$I = \beta \int_0^\infty \gamma^{\frac{\alpha}{2}(\mu+j)-1} e^{-\frac{\mu(1+\kappa)}{\bar{\gamma}^{\alpha/2}} \gamma^{\alpha/2}} (1+\gamma)^{-A} d\gamma \tag{4}$$

haline dönüşür. Burada

$$\beta = \sum_{j=0}^\infty \frac{\alpha \mu^{\mu+2j} \kappa^j (1+\kappa)^{\mu+j}}{2\Gamma(\mu+j) j! e^{\kappa\mu} \bar{\gamma}^{\alpha(\mu+j)/2}} \tag{5}$$

şeklinde. Bilindiği kadarıyla eşitlik (4)'teki integral için kapalı formda bir çözüm bulunmamaktadır. Bu yüzden integralde bulunan üstel terim ifadesi için aşağıda verilen fonksiyonel ilişki kullanılmıştır [23, (8.4.3.1)]:

$$e^{-x} = G_{0,1}^{1,0} \left(x \middle| \begin{matrix} - \\ 0 \end{matrix} \right) \tag{6}$$

Burada $G_{p,q}^{m,n} \left(\cdot \middle| \begin{matrix} \cdot \\ \cdot \end{matrix} \right)$ terimi Meijer'in G fonksiyonunu ifade etmektedir [24]. Eşitlik (6)'dan faydalanarak eşitlik (4) aşağıdaki gibi yeniden düzenlenmiştir:

$$I = \beta \int_0^\infty \gamma^{\frac{\alpha}{2}(\mu+j)-1} (1+\gamma)^{-A} G_{0,1}^{1,0} \left(\frac{\mu(1+\kappa)}{\bar{\gamma}^{\alpha/2}} \gamma^{\alpha/2} \middle| \begin{matrix} - \\ 0 \end{matrix} \right) d\gamma \tag{7}$$

Eşitlik (7)'deki integral [23, (2.24.2.4)] yardımıyla çözülmüş ve I ifadesi aşağıdaki gibi türetilmiştir:

$$I = \sum_{j=0}^\infty \frac{\alpha^A \mu^{\mu+2j} \kappa^j (1+\kappa)^{\mu+j} \sqrt{2}}{2\Gamma(\mu+j) j! e^{\kappa\mu} \bar{\gamma}^{\alpha(\mu+j)/2} (2\pi)^{\alpha-0.5}} G_{\alpha,\alpha+2}^{\alpha+2,\alpha} \left(\frac{\left(\frac{\mu(1+\kappa)}{\bar{\gamma}^{\alpha/2}} \right)^2}{4} \middle| \begin{matrix} \Delta \left(\alpha, 1 - \frac{\alpha}{2} (\mu+j) \right) \\ \Delta \left(\alpha, A - \frac{\alpha}{2} (\mu+j) \right), \Delta(2,0) \end{matrix} \right) \tag{8}$$

Burada $\Delta(k,a) = \frac{a}{k}, \frac{a+1}{k}, \dots, \frac{a+k-1}{k}$ olarak tanımlanmaktadır. Eşitlik (8)'deki ifade (3)'te yerine konularak, C

$$C = -\frac{1}{A} \log_2 \left(\sum_{j=0}^\infty \frac{\alpha^A \mu^{\mu+2j} \kappa^j (1+\kappa)^{\mu+j} \sqrt{2}}{2\Gamma(\mu+j) j! e^{\kappa\mu} \bar{\gamma}^{\alpha(\mu+j)/2} (2\pi)^{\alpha-0.5}} G_{\alpha,\alpha+2}^{\alpha+2,\alpha} \left(\frac{\left(\frac{\mu(1+\kappa)}{\bar{\gamma}^{\alpha/2}} \right)^2}{4} \middle| \begin{matrix} \Delta \left(\alpha, 1 - \frac{\alpha}{2} (\mu+j) \right) \\ \Delta \left(\alpha, A - \frac{\alpha}{2} (\mu+j) \right), \Delta(2,0) \end{matrix} \right) \right) \tag{9}$$

olarak bulunmuştur.

4. YÜKSEK SNR ANALİZİ (HIGH SNR ANALYSIS)

Yüksek SNR şartları altında, $\bar{\gamma} \rightarrow \infty$, iken eşitlik (1)'de verilen PDF ifadesinde bulunan üstel terim

$$\exp\left(-\frac{\mu(1+\kappa)}{\bar{\gamma}^{\alpha/2}}\gamma^{\alpha/2}\right) \rightarrow 1 \quad (10)$$

olarak alınabilir. Buna göre PDF ifadesi tekrar düzenlenip (4)'te yerine konulursa

$$I^{asm} = \beta \int_0^{\infty} \gamma^{\frac{\alpha}{2}(\mu+j)-1} (1+\gamma)^{-A} d\gamma \quad (11)$$

elde edilir. Daha sonra [24, (3.194.3)] yardımıyla ve (5) kullanılarak, I^{asm}

$$I^{asm} = \sum_{j=0}^{\infty} \frac{\alpha \mu^{\mu+2j} \kappa^j (1+\kappa)^{\mu+j} B(\lambda, A-\lambda)}{2\Gamma(\mu+j) j! e^{\kappa \mu} \bar{\gamma}^{\alpha(\mu+j)/2}} \quad (12)$$

olarak türetilmiştir. Burada $\lambda = \alpha(\mu+j)/2$ ve $B(\cdot, \cdot)$ beta fonksiyonudur [24]. (11) ifadesi (3)'te yerine yazılarak asimptotik efektif kapasite, C^{asm} , aşağıdaki gibi elde edilmiştir:

$$C^{asy} = -\frac{1}{A} \log_2 \left(\sum_{j=0}^{\infty} \frac{\alpha \mu^{\mu+2j} \kappa^j (1+\kappa)^{\mu+j} B(\lambda, A-\lambda)}{2\Gamma(\mu+j) j! e^{\kappa \mu} \bar{\gamma}^{\alpha(\mu+j)/2}} \right) \quad (13)$$

Görüldüğü gibi, eşitlik (13), eşitlik (9)'daki ifadeye göre hem karmaşıklık açısından daha basit hem de temel fonksiyonlar içermektedir.

5. NÜMERİK SONUÇLAR (NUMERICAL RESULTS)

Bu bölümde, α - κ - μ sönümlü kanalların efektif kapasitesi için (9)'dan elde edilen analitik sonuçlar ve (13)'ten elde edilen asimptotik sonuçlar, benzetim sonuçları ile karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Aynı zamanda türetilen efektif kapasite ifadesinde bulunan sonsuz seri açılımından kaynaklanan kesme hatası için nümerik sonuçlar Tablo 2 ve Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 2. Eşitlik (9)'daki Sonsuz Seri Açılımının Belirli Bir Sayıda Terim İçin Efektif Kapasite Değerleri

J	$\alpha = 1, \kappa = 2, \mu = 3$	
	Efektif Kapasite ($\bar{\gamma} = 10$ dB)	Efektif Kapasite ($\bar{\gamma} = 20$ dB)
5	1.7845771635382834	3.1896056381891116
10	1.7754825951689117	3.1893603710119596
15	1.775465687348759	3.1893602669638383
20	1.7754657274611227	3.189360267161789
25	1.7754657274553383	3.1893602671617605
30	1.7754657274553385	3.1893602671617605
35	1.7754657274553385	3.1893602671617605

Tablo 2'de ise eşitlik (9) için efektif kapasite değerleri sonsuz toplamın üst sınırı J terim alındığında $\alpha = 1, \kappa = 2, \mu = 3$ için iki farklı ortalama SNR değerine göre verilmektedir. Ondalıklı kısım 16 hane olarak

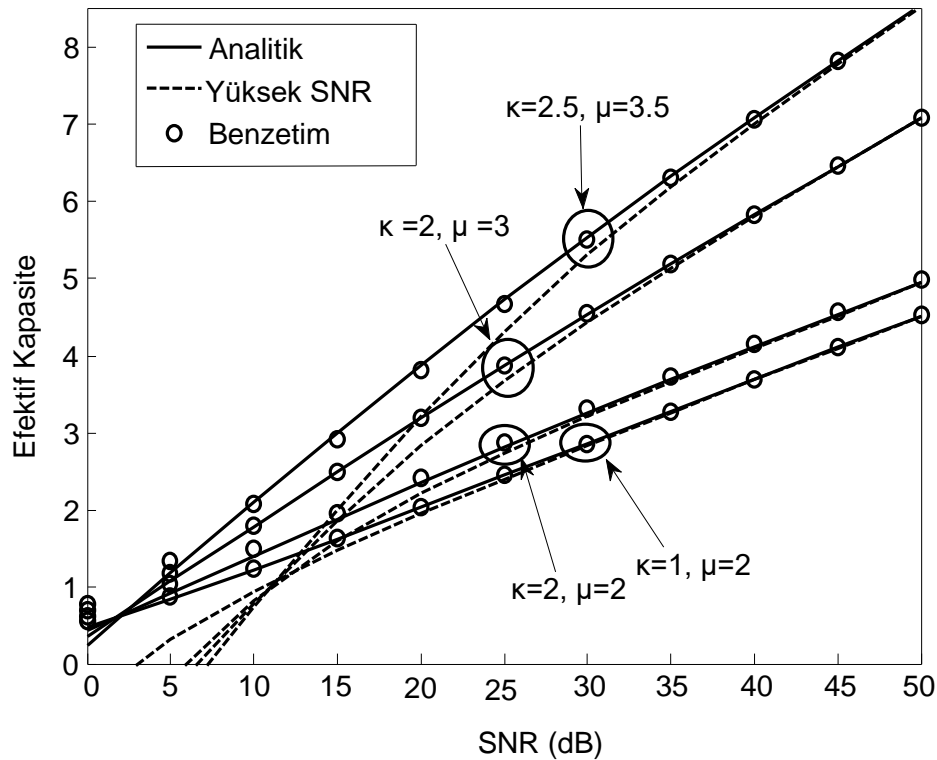
alınmıştır. Ortalama SNR 10 dB olduğunda efektif kapasite değeri $J=30$ 'dan sonra değişmez iken ortalama SNR 20 dB olduğunda ise $J=25$ 'ten sonra değişmediği görülmektedir. Buna göre türetilen ifadelerde sonsuz seri toplamın üst sınırının 30 alınmasının yeterli olduğu anlaşılmaktadır. Tablo 3'te bağıl kesme hatası (relative truncation error, RTE) sonuçları gösterilmektedir. Bu tablodan da görüleceği gibi RTE çok hızlı bir şekilde küçülmektedir. Örneğin 10 dB değerinde 20 terim için 3.2580×10^{-12} iken ortalama SNR yükseldikçe daha az terim alınarak çok küçük RTE değerleri elde edilmektedir.

Tablo 3. Eşitlik (9)'daki Sozsuz Seri Açılımının Belirli Bir Sayıda Terim İçin RTE Değerleri

J	$\alpha = 1, \kappa = 2, \mu = 3$	
	RTE ($\bar{\gamma} = 10$ dB)	RTE ($\bar{\gamma} = 20$ dB)
5	0.0051	7.6902×10^{-5}
10	9.5230×10^{-6}	3.2624×10^{-8}
15	2.2593×10^{-8}	6.2066×10^{-11}
20	3.2580×10^{-12}	8.9114×10^{-15}

Tablo 2 ve Tablo 3'ten anlaşılacağı gibi türetilen analitik ifadelerin bağıl kesme hatası, sonsuz seri açılımındaki üst sınırın küçük değerleri için hızlı biçimde azalmaktadır.

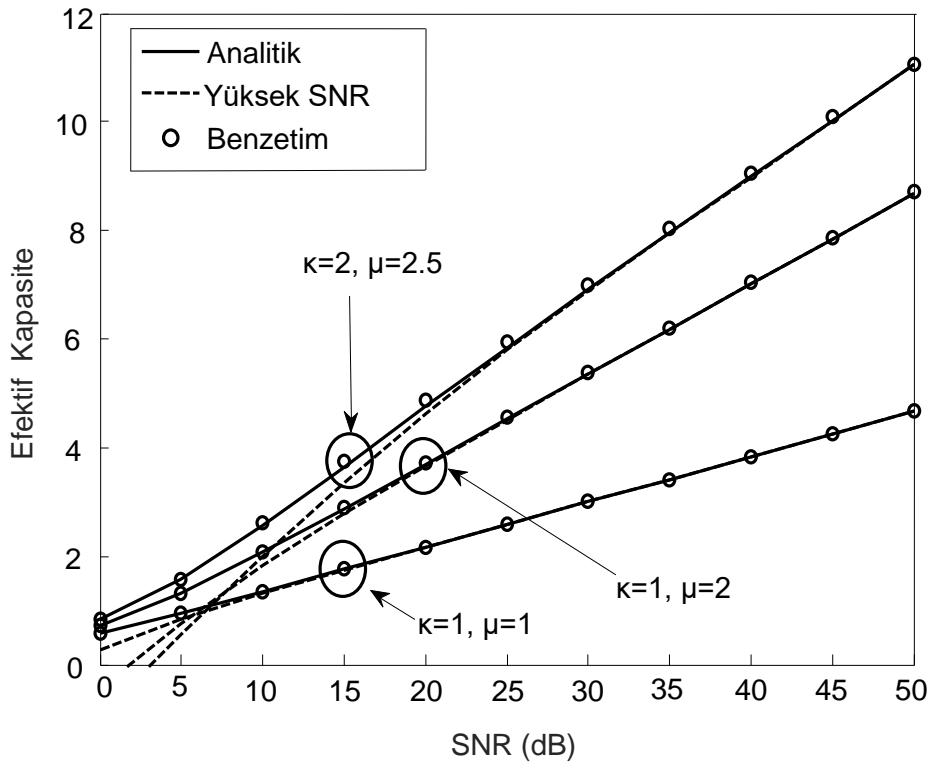
Şekil 1'de $\alpha=1$ iken farklı κ ve μ değerleri için efektif kapasite gösterilmektedir. Şekil 1'de eşitlik (9) ile elde edilen analitik sonuçların benzetim sonuçları ile tam uyum içinde olduğu görülmektedir. Aynı zamanda eşitlik (13) ile elde edilen asimptotik sonuçlar yüksek SNR bölgesinde hem analitik hem de benzetim sonuçları ile mükemmel uyum sağlamaktadır. Verilen sonuçlar incelendiğinde; $\kappa=1, \mu=2$ durumundan $\kappa=2, \mu=2$ durumuna geçişte elde edilen kapasite artışı ile $\kappa=2, \mu=2$ durumundan $\kappa=2, \mu=3$ durumuna geçişte sağlanan kapasite artışı kıyaslandığında μ parametresinin değerinin artırılmasının daha yüksek kapasite artışına neden olduğu görülmektedir.



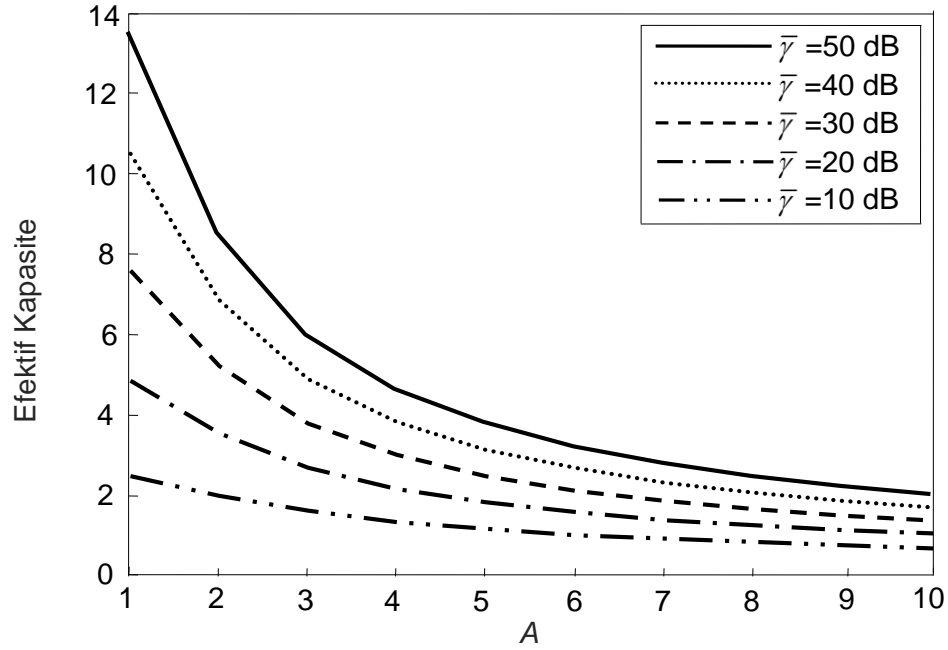
Şekil 1. $\alpha=1$ ve $A=4$ iken α - κ - μ sönümlü kanalların efektif kapasitesi

Şekil 2’de $\alpha=2$ olduğunda farklı κ ve μ değerleri için efektif kapasite sonuçları verilmektedir. Yine bu şekilden de görüleceği gibi elde edilen analitik sonuçlar, asimptotik sonuçlar ve benzetim sonuçları mükemmel bir uyum içindedir. Şekil 1 incelendiğinde $\alpha=1, \kappa=1, \mu=2$ durumunda efektif kapasite 50 dB’de yaklaşık 4.5 bit/s/Hz iken Şekil 2’ye bakılırsa aynı SNR değerinde $\alpha=2, \kappa=1, \mu=2$ iken efektif kapasite yaklaşık 8.6 bit/s/Hz olmaktadır. Bu sonuca göre κ ve μ değerleri sabit iken $\alpha=1$ ’den $\alpha=2$ ’ye geçişte efektif kapasitenin neredeyse 2 katına çıktığı görülmektedir. Aynı zamanda Şekil 1 ve Şekil 2 incelenirse sönümlenme parametresinin değerleri arttırıldığında beklenildiği gibi kanal şartlarının iyileşmesine paralel olarak efektif kapasitenin de arttığı sonucu gözlenmektedir.

Şekil 1 ve Şekil 2’deki bütün sonuçlar $A=4$ durumunda ortalama SNR değişimine göre gösterilmiştir. Şekil 3’te ise A parametresinin değişiminin efektif kapasiteye olan etkisi incelenmektedir. Bu şekilde $\alpha=2, \kappa=1, \mu=1$ alınarak farklı ortalama SNR değerlerine göre efektif kapasitenin A parametresine göre değişimi verilmektedir. Bu şekilden görüleceği üzere ortalama SNR değeri azaldıkça efektif kapasite de azalmaktadır. Aynı zamanda A parametresinin artışı da efektif kapasitenin azalmasına neden olmaktadır. Bunun nedeni, θ ile gösterilen gecikme kısıtının değerinin artmasıdır. $\theta \rightarrow 0$ olduğunda ise efektif kapasite Shannon kapasitesine yaklaşmaktadır.



Şekil 2. $\alpha=2$ ve $A=4$ iken α - κ - μ sönümlü kanalların efektif kapasitesi



Şekil 3. $\alpha=2, \kappa=1, \mu=1$ iken A parametresinin değişimine göre α - κ - μ sönümlü kanalların efektif kapasitesi

6.SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada, α - κ - μ sönümlü kanallar için efektif kapasite analizi yapılmıştır. Efektif kapasite için analitik ve yüksek SNR ifadeleri türetilerek sönümlenme parametresinin ve A parametresinin farklı değerleri için başarımları incelenmiştir. Elde edilen analitik sonuçların benzetim sonuçları ile tam uyum içinde olmasıyla yapılan analizlerin doğruluğu gösterilmiştir. Buna ek olarak α - κ - μ dağılımı bazı popüler kanal modellerini özel durum olarak içerdiği için bu çalışmada türetilen analitik ifade aracılığıyla farklı kablosuz kanal ortamları için de efektif kapasite analizleri yapılması mümkündür.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] G. Fraidenraich, M. D. Yacoub, The α - η - μ and α - κ - μ Fading Distributions, IEEE Ninth International Symposium on Spread Spectrum Techniques and Applications, Manaus, (2006), 16-20.
- [2] A. K. Papazafeiropoulos, S. A. Kotsopoulos, The α - λ - μ and α - η - μ Small-Scale General Fading Distributions: A Unified Approach, Wireless Personal Communications, 5: 4 (2011) 735-751.
- [3] N. Kapucu, M. Bilim, I. Develi, Outage Performance of Cooperative DS-CDMA Systems With Best Path Selection Over α - η - μ Fading Channels, Electronics Letters, 53: 11 (2017) 752-754.
- [4] M. D. Yacoub, The α - μ Distribution: A Physical Fading Model For The Stacy Distribution, IEEE Transactions on Vehicular Technology, 56: 1 (2007) 27-34.
- [5] M. D. Yacoub, The κ - μ Distribution and The η - μ Distribution, IEEE Antennas and Propagation Magazine, 49: 1 (2007) 68-81.

- [6] M. D. Yacoub, The α - η - κ - μ Fading Model, IEEE Antennas and Propagation Magazine, 64: 8 (2016) 3597-3610.
- [7] S. K. Yoo, S. L. Cotton, P. C. Sofotasios, M. Matthaiou, M. Valkama, G. K. Karagiannidis, The Fisher-Snedecor F Distribution: A Simple And Accurate Composite Fading Model, IEEE Communications Letters, 21: 7 (2017) 1661-1664.
- [8] M. Bilim, Karma Weibull/Log-Normal Sönümlenmeli Kanalin Hata Olasılığı Analizi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji, 7(1) (2019) 203-212.
- [9] X. Li, X. Chen, J. Zhang, Y. Liang, Y. Liu, Capacity Analysis of α - η - κ - μ Fading Channels, IEEE Communications Letters, 21: 6 (2017) 1449-1452.
- [10] A. Mathur, Y. Ai, M. R. Bhatnagar, M. Cheffena, T. Ohtsuki, On Physical Layer Security of α - η - κ - μ Fading Channels, IEEE Communications Letters, 22: 10 (2018) 2168-2171.
- [11] D. Dixit, P. R. Sahu, Performance of L -Branch MRC Receiver in η - μ and κ - μ Fading Channels for QAM Signals, IEEE Wireless Communications Letters, 1: 4 (2012) 316-319.
- [12] F. S. Almeahadi, O. S. Badarneh, On the Effective Capacity of Fisher-Snedecor F Fading Channels, Electronics Letters, 54: 18 (2018) 1068-1069.
- [13] S. Chen, J. Zhang, G. K. Karagiannidis, B. Ai, Effective Rate of MISO Systems over Fisher-Snedecor F Fading Channels, IEEE Communications Letters, 22: 12 (2018) 2619-2622.
- [14] O. S. Badarneh, M. S. Aloqlah, Performance Analysis of Digital Communication Systems over α - η - μ Fading Channels, IEEE Transactions on Vehicular Technology, 65: 10 (2016) 7972-7981.
- [15] C. B. Issaid, M. -S. Alouini, R. Tempone, On the Fast and Precise Evaluation of the Outage Probability of Diversity Receivers over α - μ , κ - μ and η - μ Fading Channels, IEEE Transactions on Wireless Communications, 17: 2 (2018) 1255-1268.
- [16] N. Kapucu, M. Bilim, Analysis of Analytical Capacity for Fisher-Snedecor F Fading Channels with Different Transmission Schemes, Electronics Letters, 55: 5 (2019) 283-285.
- [17] J. M. Moualeu, D. B. da Costa, W. Hamouda, U. S. Dias, A. A. de Souza, Performance Analysis of Digital Communication Systems over α - κ - μ Fading Channels, IEEE Communications Letters, 23: 1 (2019) 192-195.
- [18] E. Salahat, A. Hakam, Performance analysis of α - η - μ and α - κ - μ generalized mobile fading channels, 20th European Wireless Conference, Barcelona, (2014) 1-6.
- [19] A. K. Papazafeiropoulos, S. A. Kotsopoulos, Second-order Statistics for the Envelope of α - κ - μ Fading Channels, IEEE Communications Letters, 14: 4 (2010) 291-293.
- [20] B. Samudhyatha, S. Gurugopinath, K. Saraswathi, Maximum eigenvalue-based spectrum sensing over α - κ - μ and α - η - μ fading channels, IEEE 28th Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PIMRC), Montreal, (2017) 1-5.
- [21] S. Gurugopinath, S. Shobitha, Energy-based Bayesian spectrum sensing over α - κ - μ fading channels, 9th International Conference on Communication Systems and Networks (COMSNETS), Bangalore, (2017) 95-100.

- [22] F. P. Batista, R. A. A. de Souza, A. M. O. Ribeiro, Maximum likelihood estimator for the α - κ - μ fading environment, IEEE Wireless Communications And Networking Conference, Doha, (2016) 1-6.
- [23] Prudnikov, A. P., Brychkov, Y. A., Marichev, O. I., Integrals and series: more special functions (Vol. 3) , New York: Gordon Breach Sci. Publ., 1990.
- [24] Gradshteyn, I. S., Ryzhik, I. M., "Table of integrals, series and products", Academic Press, London, UK, 2007.