



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

MIMO Sistemlerde Alamouti Uzay Zaman Blok Kodlamanın Weibull Sönümlenme Kanalı Üzerindeki Performans Analizi

 Abdülkadir Can ÇAKIR^{a,*},  Halil YİĞİT^b,  Kerem KÜÇÜK^c

^{a,c} *Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, TÜRKİYE*

^b *Bilişim Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, TÜRKİYE*

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: can.cakir@kocaeli.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.481091

ÖZET

Kablosuz haberleşme sistemlerinin performansı kanal sönümlenmelerinden etkilenmektedir. Yeni nesil kablosuz sistemlerin gelişimiyle beraber güvenilir bağlantı ihtiyaçları da artmaktadır. Kablosuz iletişimdeki en büyük zorluk, sönümlenmelerden en az etkilenen kesintisiz iletişimin gerçekleştirilmesidir. Çeşitleme teknikleri ile çoklu anten teknolojileri bu noktada yardımcı olmaktadır. Bu çalışmada, alıcı ve vericide kullanılan Çoklu Giriş Çoklu Çıkış (MIMO) anten yapısı, hem iç hem de dış ortamdaki radyo yayılım ortamını modelleyen Weibull sönümlenme kanalı ve İkili Faz Kaydırmalı Anahtarlama (BPSK) modülasyonu altında vericide çeşitleme tekniklerinden olan Alamouti Uzay Zaman Blok Kodlamanın (STBC) performansı analiz edilmiştir. Weibull sönümlenme kanalında çoklu anten ve STBC kullanılmasının, Bit Hata Oranını (BER) azalttığı ve sistem performansını arttırdığı gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Alamouti Uzay Zaman Blok Kodlama (STBC), Weibull Sönümlenme Kanalı, Çoklu Giriş Çoklu Çıkış (MIMO) antenler

Performance Analysis of Alamouti Space Time Block Coding over Weibull Fading Channel in MIMO Systems

ABSTRACT

The performance of wireless communication systems is affected by channel fading. The requirement of reliable communication is increased with the improvement of next generation wireless systems. The main challenge in wireless communication is the realization of uninterrupted communication that is least affected by these fadings. Diversity techniques and multiple antennas technologies are assisted at this point. In this study, the performance of Alamouti Space Time Block Coding (STBC), a technique of diversity in the transmitter, is analyzed under Multiple Input Multiple Output (MIMO) antenna configurations in both receiver and transmitter side, Weibull fading channel, modeling the radio propagation environment both inside and outside, and Binary Phase Shift Keying (BPSK) modulation. It has been observed that the use of multiple antennas and STBC in the Weibull fading channel improves system performance such as Bit Error Rate (BER).

Keywords: Alamouti Space Time Block Coding (STBC), Weibull Fading Channel, Multiple Input Multiple Output (MIMO) antennas

I. GİRİŞ

Kablosuz iletişim sistemlerinin yaygın kullanımı ve kullanıcı sayısındaki artış mevcut ihtiyaçların karşımasına neden olmuştur. Kablosuz iletişimin güvenilirliği ve performansı, çoklu yol yayılımının neden olduğu kanal sönümlemesinden oldukça etkilenir. Çoklu anten teknolojileri ile beraber kullanılan çeşitleme teknikleri, kanalda mevcut olan bu sönümlemenin etkilerini azaltmaya yarar. Çoklu anten teknolojilerinden olan Çoklu Giriş Çoklu Çıkış (MIMO) sistemlerde, verici tarafında birden fazla anten ile parçalanarak iletilen veriler, alıcı tarafında da birden fazla anten ile alınır [1, 2]. Elde edilen bu veriler birleştirilir ve bu sayede bağlantının güvenilirliği artırılmış olur. Vericide çeşitleme sağlayan tekniklerden birisi Uzak Zaman Kodlama ailesine dahil olan Uzak Zaman Blok Kodlarıdır (STBC). Bunun en kolay ve verimli hali olan Alamouti yönteminin anahtar özelliği, en büyük benzerlik (Maximum Likelihood, ML) yöntemi ile en fazla çeşitleme kazancı gerçekleştirmesidir. STBC ve bununla ilgili olan MIMO sinyal işleme ile ilgili yapılan çalışmalar son zamanlarda oldukça ilgi görmektedir [3].

STBC'lerin performanslarını analiz etmek için çok sayıda araştırma yapılmıştır. [3] ve [4]'te STBC'nin Bit Hata Oranı (Bit Error Rate, BER) ve kapasite performansı Rayleigh sönümleme kanalında farklı modülasyon türleri için ve MIMO sistemlerde farklı kanal parametreleri için incelenmiştir. Alamouti STBC'nin farklı modülasyon türleri ve kanal modelleri altında MIMO sistemlere uygulanarak BER ve Sembol Hata Oranı (Symbol Error Rate, SER) analizi gerçekleştirilmiştir [5, 6]. [7-9] çalışmalarında ise STBC uygulanan MIMO sistemlerin farklı sönümleme kanalları altındaki kanal kapasitesinin performansı araştırılmıştır.

Literatürde bulunan performans araştırmalarının çoğu, dış ortamdaki kanal sönümlemesini modellemek için tercih edilen Rayleigh, Ricean ve Nakagami dağılımları üzerinde gerçekleştirilmiştir [10, 11]. Son zamanlarda, MIMO sistemlerin hem iç hem de dış ortamlar için deneysel kanal ölçümlerine iyi uyum gösteren Weibull sönümleme kanalındaki performansı ilgi konusu olmuştur [12, 13]. IEEE Taşınır Teknoloji Toplum Radyo Yayılım Komitesi, kablosuz kanalı daha iyi modellediği gerekçesiyle Weibull modelini önermektedir [14]. Ancak bu kadar önemli bir sönümleme modelinin, STBC uygulanan MIMO sistemlerdeki performansı hakkında mevcut literatürde çok az şey bilinmektedir [7].

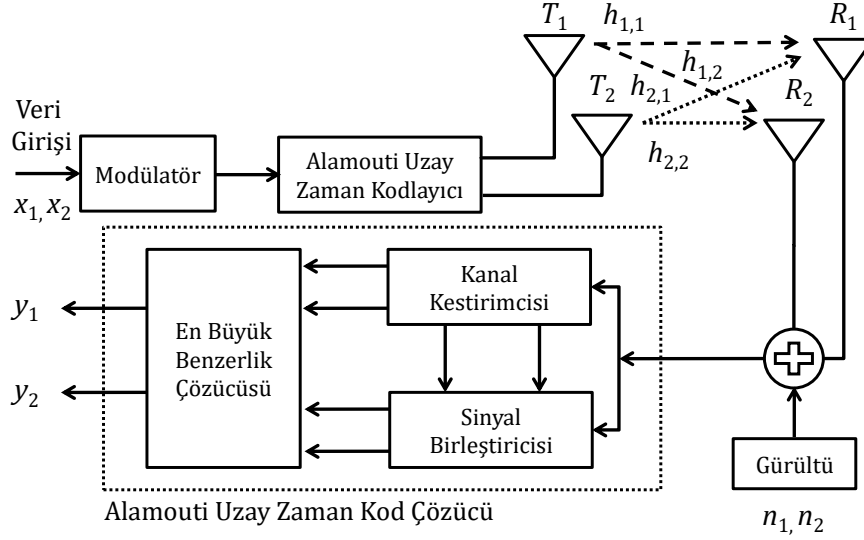
Bu çalışmada, MIMO anten sistemi kullanılarak Weibull sönümleme kanalı ve BPSK modülasyonu altında Alamouti kodlamanın BER performans analizi gerçekleştirilmiştir. Mevcut literatüre ek olarak, sönümleme kanalı parametrelerindeki değişikliklerin etkileri değerlendirilerek, Weibull ve Rayleigh kanal modellerinin performansı karşılaştırılmıştır.

II. ALAMOUTİ UZAY ZAMAN BLOK KODLAMA

STBC ailesinin en çok kullanılan türü olan Alamouti kodlama 1998 yılında geliştirilmiştir. Bu metotla iletilecek sinyal, uzay zaman kodları ile kodlanır ve sonrasında verici antenler ile iletilir. Alıcı tarafında ise kodlanmış sinyal, ML yöntemi ile çözülerek tekrar elde edilir. Bu şekilde, vericide tam bir çeşitleme elde edilir. Kullanılan bu çeşitleme tekniği Çoklu Giriş Tekli Çıkış (Multiple Input Single Output, MISO) ve MIMO anten yapısına sahip sistemlere uygulanır. Verici tarafında aynı

dercede çeşitleme elde edebilmek için iletilecek sinyalin kopyaları eş zamanlı olarak her bir verici anteninden gönderilir [15, 16].

Şekil 1’de alıcı ve verici tarafında çoklu antene sahip Alamouti Uzay Zaman Kodlamanın blok şeması gösterilmektedir.



Şekil 1. Alamouti STBC Blok Şeması [3]

Alıcı ve verici tarafında MIMO anten yapısı kullanılan sistemde gönderilecek veriler öncelikle modülörde BPSK modülasyonuna uğrar. Daha sonra bu veriler uzay ve zaman üzerinde kodlanarak iki farklı sembole sahip kod matrisi oluşturulur. Alamouti Uzay Zaman Kodlayıcının çıkışında elde edilen bu semboller verici antenlere gönderilir. Kullanılan Alamouti kod matrisi X aşağıdaki şekilde gösterilir.

$$X = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 \\ -x_2^* & x_1^* \end{bmatrix} \quad (1)$$

Belirli bir sembol periyodunda, iki farklı antenden eş zamanlı olarak MIMO kanalı ($H_{2 \times 2}$) üzerinden iki sinyal iletir [4, 15].

Tablo 1. Kodlama sonrası iletim sırası

İletim Zamanı	1'inci Anten (T_1)	2'nci Anten (T_2)
t	x_1	x_2
$t+S$	$-x_2^*$	x_1^*

Tablo 1’de gösterildiği gibi, verilen t zamanında birinci antenden x_1 , ikinci antenden x_2 sembolü gönderilir. Bir sonraki sembol zamanında ($t+S$) ise $-x_2^*$ sinyali birinci antenden, x_1^* sinyali ikinci antenden iletir. Burada * karmaşık eşlenik işlemidir. Gönderilen bu semboller alıcı tarafında bulunan

R_1 ve R_2 antenleri tarafından t ve $t+S$ zamanlarında sırasıyla alınır. Sonrasında (2) eşitliğinde ifade edilen N gürültü matrisi eklenerek Alamouti Uzay Zaman Kod Çözücüye gönderilir [3]. Alıcı tarafında elde edilen bu sinyalleri gösteren R matrisinin MIMO sistemlerdeki kullanımı (3) eşitliğinde; açık formu ise (4) eşitliğinde gösterilmiştir.

$$N = \begin{bmatrix} n_{11} & n_{12} \\ n_{21} & n_{22} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$R = X.H \quad (3)$$

$$\begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} \\ r_{21} & r_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 \\ -x_2^* & x_1^* \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{bmatrix} \quad (4)$$

R matrisi göz önüne alındığında, iki alıcı antenden alınan sinyaller aşağıdaki gibi elde edilir [4, 15].

$$r_{11} = x_1 \cdot h_{11} + x_2 \cdot h_{21} + n_{11} \quad (5)$$

$$r_{12} = -x_2^* \cdot h_{11} + x_1^* \cdot h_{21} + n_{12} \quad (6)$$

$$r_{21} = x_1 \cdot h_{12} + x_2 \cdot h_{22} + n_{21} \quad (7)$$

$$r_{22} = -x_2^* \cdot h_{12} + x_1^* \cdot h_{22} + n_{22} \quad (8)$$

Burada h_{ij} , $i=1,2, j=1,2$ verici ve alıcı antenleri arasındaki kanal sönmüleme katsayısıdır. n_{11} , n_{12} , n_{21} ve n_{22} alıcı gürültüsünü temsil eden Gauss dağılımlı karmaşık rastgele değişkenlerdir.

III. ALAMOUTİ UZAY ZAMAN KOD ÇÖZÜCÜ

Alamouti Uzay Zaman Kod Çözücünün içinde bulunan Sinyal Birleştiricisi, alınan sinyallere gürültünün eklendiği R matrisindeki sinyalleri kombine ederek birleştirir ve sonrasında bunları ML çözücüsüne gönderir. Birleştirilen sinyaller \tilde{x}_1 ve \tilde{x}_2 aşağıda gösterilmektedir.

$$\tilde{x}_1 = h_{11}^* \cdot r_{11} + h_{12} \cdot r_{12}^* + h_{21} \cdot r_{21} + h_{22} \cdot r_{22}^* \quad (9)$$

$$\tilde{x}_2 = h_{12}^* \cdot r_{11} - h_{11} \cdot r_{12}^* + h_{22}^* \cdot r_{21} - h_{21} \cdot r_{22}^* \quad (10)$$

R matrisinin elemanları (9) ve (10) eşitliklerinde yerine koyulduğunda;

$$\tilde{x}_1 = [(h_{11})^2 + (h_{12})^2 + (h_{21})^2 + (h_{22})^2] \cdot x_1 + h_{11}^* \cdot n_{11} + h_{12} \cdot n_{12}^* + h_{21}^* \cdot n_{21} + h_{22} \cdot n_{22}^* \quad (11)$$

$$\tilde{x}_2 = [(h_{11})^2 + (h_{12})^2 + (h_{21})^2 + (h_{22})^2] \cdot x_2 - h_{11} \cdot n_{12}^* + h_{12}^* \cdot n_{11} - h_{21} \cdot n_{22}^* + h_{22}^* \cdot n_{21} \quad (12)$$

elde edilir. Elde edilen \tilde{x}_1 ve \tilde{x}_2 değerlerinin x_1 ve x_2 sembolleriyle benzerliklerinin hesaplanması, ML çözücüsü ile gerçekleştirilir. ML kod çözücü iki sembolü çözmek için iki bağımsız karar istatistiği kullanır. x_1 sembolünün kodunu çözmek için (13) eşitliğinde verilen karar istatistiği,

$$|[(r_{11} \cdot h_{11}^* + r_{12}^* \cdot h_{12}) - x_1]^2 + d \cdot |x_1|^2 \quad (13)$$

x_2 sembolünü tespit etmek için (14) eşitliğinde verilen karar istatistiği minimize edilir [4],[15],[16].

$$|[(r_{21} \cdot h_{21}^* + r_{22}^* \cdot h_{22}) - x_2]^2 + d \cdot |x_2|^2 \quad (14)$$

Burada, d metriği $N_r=2$ için (15) eşitliği ile hesaplanır.

$$d = (-1 + \sum_{i=1}^{N_r=2} \cdot \sum_{j=1}^{N_t=2} |h_{ij}|^2) \quad (15)$$

IV. WEIBULL SÖNÜMLEME KANALI

Rayleigh dağılımı genellikle verici ve alıcı arasında direk görüş açısının bulunmadığı kentsel ortamdaki çoklu yol sönmülmesini modellemek için kullanır. Merkezi Limit Teoremi (Central Limit Theorem, CLT) kullanılarak teorik olarak elde edilebilen Rayleigh kanalı, gelen radyo yollarının sayısı sınırlı olduğundan ve mevcut şartlar içinde CLT geçerliliğini yitirdiğinden uygun bir kanal modeli olmayabilir. Ayrıca, bazı bulgular Weibull dağılımı ile sinyal genliğinin daha iyi tanımlanabileceğini göstermektedir. Bu nedenle, hem iç hem de dış radyo yayılım ortamını modelleyen Weibull kanal modeli son zamanlarda oldukça ilgi çekmektedir [5, 8, 17, 18].

Weibull dağılımının Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu, $f(y)$ (Probability Density Function, PDF) (15) eşitliği ile Kümülatif Yoğunluk Fonksiyonu, $F(y)$ (Cumulative Density Function, CDF) ise (16) eşitliği ile belirtilmektedir [12].

$$f(y) = \frac{\gamma}{\beta} \left(\frac{y}{\beta}\right)^{\gamma-1} e^{-\left(\frac{y}{\beta}\right)^\gamma}; y > 0 \quad (16)$$

$$F(y) = 1 - e^{-\left(\frac{y}{\beta}\right)^\gamma} \quad (17)$$

γ sadece tam sayı değeri alabilen, Weibull kanalın PDF'sinin şeklini belirleyen parametre ve β 0 ile ∞ arasında değerler alabilen ölçekleme (sönümleme) parametresidir. β değeri arttığında, sönmülleme şiddeti azalır. Bu nedenle bit hata oranı azalır [6]. $\gamma = 1$ olduğu durumda, Weibull dağılımı bir üstel dağılım olur; $\gamma = 2$ olduğunda ise, Weibull dağılımı bir Rayleigh dağılımına dönüşür [8, 19].

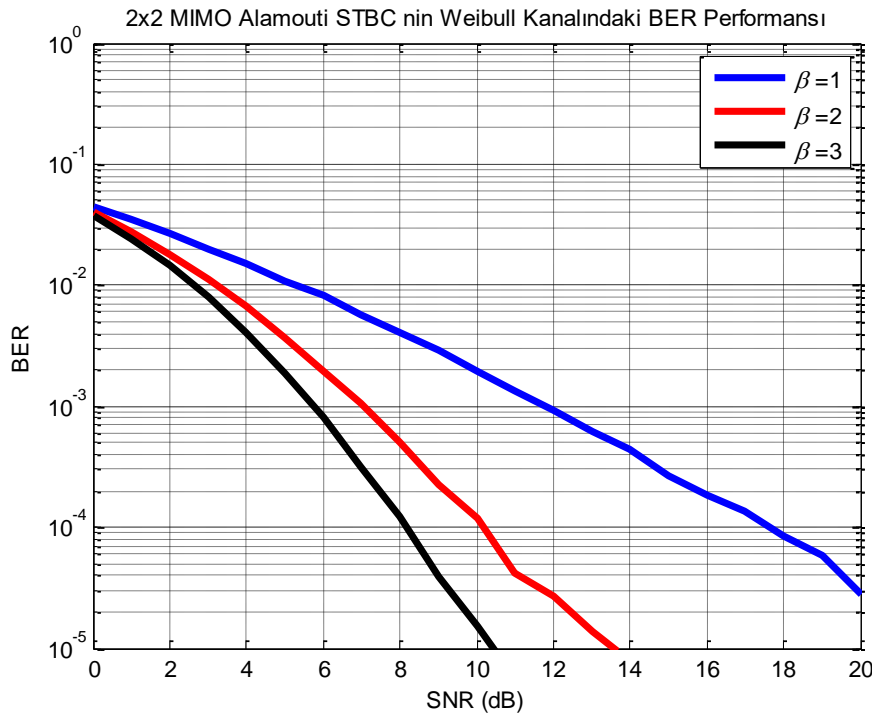
Bir Weibull rasgele değişkeni üretmek için basit ve doğrudan bir yöntem, düzgün dağılımlı bir rasgele değişken üretmek ve daha sonra Weibull rasgele değişkeninin CDF'sinin tersini kullanarak eşlemektir [12].

$$F^{-1}(x) = \beta \cdot [-\ln(1 - x)]^{\frac{1}{\gamma}} \quad (18)$$

x düzgün dağılımlı bir rasgele değişkendir.

V. BENZETİM SONUÇLARI

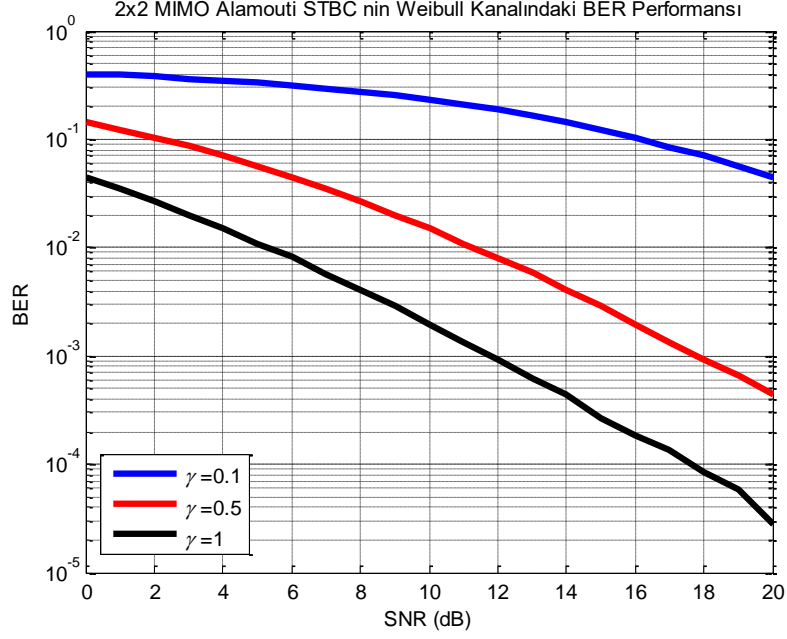
MIMO teknolojisine uygun olarak, alıcı ve verici 2×2 'lik çoklu antenler ile donatılmıştır. STBC'nin bit hata oranı performansı Weibull sönümlenme kanalı üzerinden [0dB 20dB] SNR aralığında ve BPSK modülasyonu kullanılarak değerlendirilmiştir. Tüm sonuçlar MATLAB yazılımı kullanılarak elde edilmiştir.



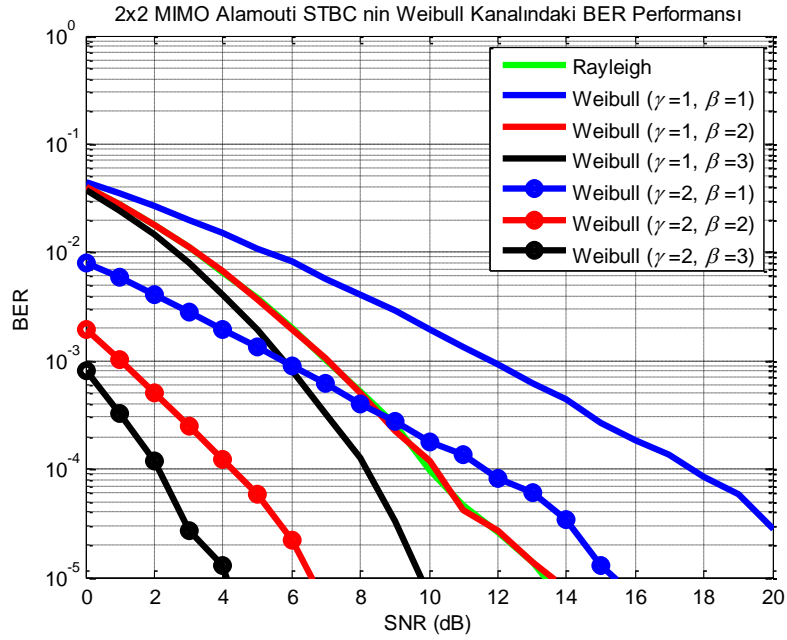
Şekil 2. β Değerinin Weibull Kanalındaki BER Performansı

Şekil 2'de Weibull kanalının ölçeklendirme parametresi olan β değerinin BER performansına olan etkisi incelenmiştir. β değerinin azalması durumunda sönümlenme şiddeti arttığından dolayı sistem performansının azaldığı Şekil 2'den açıkça görülmektedir. Sönümlenme şiddetinin artmasıyla ortaya çıkan kayıp, alıcı tarafında çeşitlilik derecesinin artırılmasıyla, yani alıcı anten sayısının artırılmasıyla ortadan kaldırılabılır.

Şekil 3'te Weibull kanalın PDF'sini belirleyen γ parametresinin BER performansına olan etkisi analiz edilmiştir. γ değerinin artış gösterdiğinde sönümlenme derecesinin azaldığı; sonuç olarak BER'in azalmasıyla sistem performansının olumlu yönde değişiklik gösterdiği; γ değerinde azalma olduğunda sönümlenme derecesinin arttığı; sonuç olarak BER'in artmasıyla sistem performansının olumsuz yönde etkilendiği Şekil 3'te görülmektedir.



Şekil 3. γ Değerinin Weibull Kanalındaki BER Performansı



Şekil 4. Rayleigh ve Weibull Kanalındaki BER Performansı

Şekil 4'te Rayleigh sönümlenme kanalı ile farklı γ ve β değerlerine sahip Weibull kanalının BER performansına olan etkisi incelenmiştir. Rayleigh sönümlenme kanalı ile farklı γ ve β parametre değerlerine sahip Weibull sönümlenme kanalı karşılaştırıldığında; γ ve β değerleri arttığında hata oranının azaldığı ve sistemin performansının arttığı, $\gamma = 1$ ve $\beta = 2$ değerlerinin olduğu Weibull kanalı ile Rayleigh kanalının hata oranının ve sistem performansının paralellik gösterdiği Şekil 4'te açıkça görülmektedir.

VI. SONUÇ

Bu çalışmada, Weibull sönümlenme kanalı üzerinde Alamouti STBC çeşitlemesi kullanan 2×2 'lik MIMO anten teknolojisine sahip sistemin performans analizi yapılmıştır. Mevcut yapılan çalışmalara Weibull sönümlenme kanalındaki parametre değişikliklerinin ortaya koyduğu etkiler eklenmiştir. Aynı zamanda, Rayleigh sönümlenme kanalı ile Weibull sönümlenme kanalının performansları da karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, Weibull sönümlenme kanalı üzerinde çoklu yol sönümlenme etkisini azaltan MIMO anten teknolojisi ve Alamouti uzay zaman blok kodlama kullanımı hem bit hata oranını azaltır hem de sistem performansını artırır.

VII. KAYNAKLAR

- [1] Ü.E. Seda, "Channel Estimation Techniques for MIMO-OFDM Systems over Frequency Selective Fading Channels," *International Journal of Applied Mathematics, Electronics and Computers*, vol. 4, no. Special Issue-1, pp. 33-36, 2016.
- [2] M. Pappa, C. Ramesh, M.N. Kumar "Performance Comparison of Massive MIMO and Conventional MIMO Using Channel Parameters," International Conference on Wireless Communications, Signal Processing and Networking, Chennai, Hindistan, 2017, pp. 1808-1812.
- [3] N. Agarwal, S. Nema, "Performance Analysis of Alamouti Scheme in Rayleigh Channel," International Conference on Communication, Information and Computing Technology, Mumbai, Hindistan, 2012, pp. 1-6.
- [4] E. Başar, Ü. Aygözü, E. Panayırıcı, H.V. Poor, "Space-Time Block Coded Spatial Modulation," *IEEE Transactions on Communication*, vol. 59 no. 3, pp. 823-832, 2011.
- [5] S.S. Chauhan, S. Kumar, "Bit Error Probability and Capacity Analysis of Space-Time Block Codes in Spatially Correlated MIMO Weibull Fading Channels," *WSEAS Transaction on Communications*, vol. 13, pp. 209-216, 2014.
- [6] A.M. Alshamali, M.S. Aloqlah, "Performance Analysis of Spatial Modulation over Weibull Fading Channels," *WSEAS Transaction on Communications*, vol. 11, no. 12, pp. 604-607, 2013.
- [7] M. Michail, C. Zhong, "Low-SNR Analysis of MIMO Weibull Fading Channel," *IEEE Communications Letters*, vol. 16, no. 5, pp. 694-697, 2012.
- [8] J. Cheng, C. Tellambura, N.C. Beaulieu, "Performance Analysis of Digital Modulations on Weibull Fading Channels," IEEE 58th Vehicular Technology Conference, Orlando, Amerika Birleşik Devletleri, 2003, pp. 236-240.
- [9] T. Hashem, M.I. Islam, "Performance Analysis of MIMO Link Under Fading Channels," 17th International Conference on Computer and Information Technology, Dhaka, Bangladeş, 2014, pp. 498-503.

- [10] M.C. Lee, W.H Chung, T.S. Lee., “BER Analysis for Spatial Modulation in Multicast MIMO Systems,” *IEEE Transactions on Communications*, vol. 64, no. 7, pp. 2939-2951, 2016.
- [11] A. Oturak, E. Öztürk, “Performances of Alamouti Space-Time Coded OFDM Signals Over Nakagami-M Fading Channels,” 20th Signal Processing and Communications Applications Conference, Muğla, Türkiye, 2012, pp. 1-4.
- [12] P. Huang, D. Rajan, J. Camp, “Weibull and Suzuki Fading Channel Generator Design to Reduce Hardware Resources,” IEEE 2013 Wireless Communications and Networking Conference, Shanghai, Çin, 2013, pp. 3443-3448.
- [13] T. Aldalgamouni, A.M. Magableh, S. Al-Theiabat, “Performance of Downlink CDMA-SFBC Over Weibull Fading Channels,” *Journal of Communications*, vol. 7, no. 4, pp. 321-328, 2012.
- [14] A.E Canbilen, S.S Gültekin, I. Develi, “BER Analysis of SM-MIMO Systems with MRC Detectors over Weibull Fading Channels,” 25th Signal Processing and Communications Applications Conference, Antalya, Türkiye, 2017, pp. 1-4.
- [15] S.M. Alamouti, “A Simple Transmit Diversity Technique for Wireless Communications,” *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 16, no. 8, pp. 1451-1458, 1998.
- [16] V. Tarokh, H. Jafarkhani, A.R. Calderbank, “Space-Time Block Codes from Orthogonal Designs,” *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 45, no. 5, pp. 1456-1467, 1999.
- [17] F. Babich, G. Lombardi, “Statistical analysis and characterization of the indoor propagation channel,” *IEEE Transactions on Communications*, vol. 48, no. 3, pp. 455–464, 2000.
- [18] A. Bessate, F.E. Bouanani, “A New Performance Results of MIMO System with Orthogonal STBC over Independent and Identical Weibull Fading Channels,” International Conference on Advanced Communication Systems and Information Security, Marrakesh, Fas, 2016 pp. 1-7.
- [19] G. Sadeque, S.C. Mohonta, F. Ali, “Modeling and Characterization of Different Types of Fading Channel,” *International Journal of Science, Engineering and Technology Research*, vol. 4, no. 5, pp. 1410-1415, 2015.