

Çöz-ve-Aktar İşbirlikli Haberleşme Sistemlerinin Weibull Sönümlü Kanallardaki Performans Analizi

Performance Analysis of Decode-and-Forward Cooperative Communication Systems in Weibull Fading Channels

Nuri KAPUCU, Mehmet BİLİM, İbrahim DEVELİ

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Erciyes Üniversitesi

nurikapucu@erciyes.edu.tr, bilim@erciyes.edu.tr, develi@erciyes.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, işbirlikli çeşitlemede çöz-ve-aktar yönteminin Weibull sönümlü kanallardaki sembol-hata oranı analiz edilmiştir. Bir kaynak, bir röle ve bir hedeften oluşan üç düğümlü işbirlikli sistem ele alınmıştır. Kaynaktan ve röleden alınan sinyallerin hedefte birleştirilmesinde en yüksek oranlı birleştirme yöntemi kullanılmıştır. İlk olarak, anlık işaret-gürültü oranı ifadesine ait olasılık yoğunluk fonksiyonu ve moment çıkarıcı fonksiyonu türetilmiştir. Daha sonra, moment çıkarıcı fonksiyon yaklaşımı ile M-li faz kaydırmalı anahtarlama ve M-li dördün genlik modülasyonu kullanan çöz-ve-aktar tekniği için sembol-hata oranı ifadeleri elde edilmiştir. Buna ek olarak, Weibull sönümlenme parametresinin değeri değiştirilerek başarımlı analiz yapılmıştır.

Abstract

In this work, the symbol error rate (SER) performance of decode-and-forward (DF) cooperative diversity is analyzed over Weibull fading channels. Three-node cooperation model which consists of a source, a destination and a relay is considered and it is assumed that maximum ratio combining (MRC) is used at the destination node for combining the received signals from source and relay. First, probability density function (PDF) of instantaneous signal-to-noise ratio (SNR) and moment generating function (MGF) of instantaneous SNR are obtained. Then, the average symbol error rate (SER) expressions are derived by using MGF based approach for DF protocol with the M-ary phase shift keying (M-PSK) and M-ary quadrature amplitude modulation (M-QAM). In addition, performance evaluations are carried out by varying Weibull fading parameter.

1. Giriş

Kablosuz haberleşme sistemlerini olumsuz olarak etkileyen en önemli sorunlardan bir tanesi çok-yollu sönümlenme etkisidir. Bu olumsuz etkiyi engellemek için işbirlikli çeşitleme yöntemi

geliştirilmiştir [1-3]. İşbirlikli bir sistemde, kaynak ile hedef arasındaki direk iletme ek olarak kaynak mesajı röle aracılığıyla hedefe iletilmektedir. Yaygın olarak kullanılan işbirlikli çeşitleme protokollerinden birisi çöz-ve-aktar tekniğidir. Çöz-ve-aktar yönteminde, öncelikle kaynak mesajını hem hedefe hem de röleye gönderir. Röle, alınan mesaj işaretini çözer ve hedefe iletir [4].

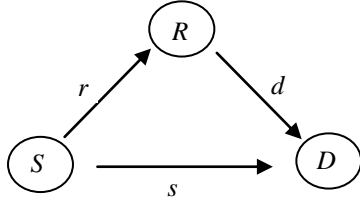
Çöz-ve-aktar yönteminin performansı çeşitli sistem ve kanal modelleri için literatürde incelenmiştir. Daha önceki çalışmalarda çoğunlukla Rayleigh ve Nakagami- m sönümlü kanal modelleri üzerine yoğunlaşmıştır. [4]'te, çöz-ve-aktar yöntemini de içeren çeşitli işbirlikli haberleşme sistemlerinin performans analizi sunulmuştur. İkki ve ark. [5], Rayleigh sönümlü kanallarda en iyi röle seçimine dayalı çöz-ve-aktar tekniğinin servis-dışı kalma olasılığını ve kanal kapasitesini vermiştir. Su ve ark., [6, 7]'deki çalışmalarında çöz-ve-aktar tekniğinin Rayleigh sönümlü kanallarda optimum güç tahsisini ve sembol-hata oranı analizini gerçekleştirmişlerdir. [8]'de sunulan çalışmada, çöz-ve-aktar işbirlikli sistemlerin Nakagami- m sönümlü kanallardaki hata olasılığı analiz edilmiş ve kapalı formda ifadeler türetilmiştir. [9, 10]'daki çalışmalarda çöz-ve-aktar işbirlikli haberleşme sisteminin Nakagami- m sönümlü kanallarda güç tahsisi ve performans analizi ele alınmıştır. Duong ve ark. [11], Nakagami- m sönümlü kanallarda röle seçimine dayalı çöz-ve-aktar işbirlikli çeşitleme yönteminin sembol-hata oranı ve servis-dışı kalma olasılığı için kapalı formda ifadeler önermişlerdir. Literatürde, işbirlikli haberleşme sistemlerinin Weibull sönümlü kanallardaki performansını inceleyen az sayıda çalışma bulunmaktadır. Seçmeli birleştirme (Selection Combining, SC) yöntemi temel alınarak Weibull sönümlü kanallarda çöz-ve-aktar ile kuvvetlendir-ve-aktar işbirlikli haberleşme sistemlerinin performansı incelenmiştir [12, 13]. Bununla birlikte, literatürde en yüksek oranlı birleştirme (Maximum Ratio Combining, MRC) yöntemini kullanarak Weibull sönümlü kanallarda çöz-ve-aktar tekniğinin performansı ile ilgili herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmada, çöz-ve-aktar işbirlikli haberleşme sisteminin Weibull sönümlü kanallardaki performansı [7, 9, 14]'de izlenen moment çıkarıcı fonksiyon (Moment Generating

Function, MGF) yaklaşımı ve hedefte MRC yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir.

Bildirinin geri kalanı şu şekilde düzenlenmiştir: Sistem ve kanal modeli ikinci bölümde açıklanmış ve sistemin performansını analiz etmek için gerekli olan analitik ifadeler türetilmiştir. Üçüncü bölümde ise çeşitli modülasyon yöntemlerinin kullanıldığı çöz-ve-aktar işbirlikli haberleşme sistemlerinin sembol-hata oranlarına ait ifadeler sunulmuştur. Nümerik sonuçlara dördüncü bölümde yer verilmiş ve beşinci bölümde ise sonuç kısmı yer almaktadır.

2. Sistem ve Kanal Modeli

Bu çalışmada ele alınan işbirlikli haberleşme sistemi Şekil 1'de gösterilmiştir. Buna göre, sistemde bir kaynak (Source, S), bir röle (Relay, R) ve bir hedef (Destination, D) düğümü olduğu varsayılmış ve bu düğümlerin her birinde sadece birer verici ve alıcı anten bulunduğu kabul edilmiştir. Sistemde iletim şu şekilde gerçekleşmektedir: ilk olarak, kaynak mesaj sinyalinin hem röleye hem de hedefe iletir. Daha sonra ise röle aldığı sinyali çözer ve hedefe iletir. Kaynaktan ve röleden alınan sinyaller hedefte MRC yöntemi ile birleştirilir.



Şekil 1: Tek röleli çöz-ve-aktar işbirlikli haberleşme sistemi.

S - D , S - R ve R - D kanallarına ait sönümlenme katsayıları sırasıyla s , r ve d ile ifade edilmiştir. s , r ve d katsayılarının birbirlerinden bağımsız olduğu kabul edilmiştir. Tüm toplanabilir beyaz Gauss gürültülü (Additive White Gaussian Noise, AWGN) terimlerin sıfır ortalamaya ve eşit N_0 varyansına sahip olduğu varsayılmıştır. MRC yöntemi kullanılarak hedefte elde edilen çıkış işaret-gürültü oranı ifadesi aşağıdaki gibi verilebilir [7, 9, 14]:

$$\gamma_{\text{MRC}} = \frac{P_1 |s|^2}{N_0} + \frac{P_2 |d|^2}{N_0}. \quad (1)$$

P_1 ve P_2 sırasıyla kaynak ve rölenin iletim güçlerini ifade etmektedir. s , r ve d katsayıları Weibull dağılımı ile tanımlanmaktadır ve rastgele bir X değişkeninin Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonu (Probability Density Function, PDF) şu şekildedir:

$$p_X(x) = \frac{m x^{m-1}}{\Omega} \exp\left(-\frac{x^m}{\Omega}\right), \quad x > 0, \quad m > 0, \quad \Omega > 0 \quad (2)$$

burada m sönümlenme parametresi ve Ω ölçekleme parametresidir. Sembol-hata oranı analizi için moment çıkararak fonksiyon temelli yaklaşımdan faydalanılacaktır. Bu sebeple, Weibull dağılımının anlık işaret-gürültü oranına ait MGF ifadesi gerekmektedir. Öncelikle eşitlik (2), [15, (2.3)]'de yerine koyularak Weibull dağılımının anlık işaret-gürültü oranına ait PDF şu şekilde yazılabilir:

$$p_\gamma(\gamma) = \frac{\Omega^{\beta-1} \gamma^{\beta-1} \beta}{\bar{\gamma}^\beta} \exp\left(-\frac{\Omega^{\beta-1} \gamma^\beta}{\bar{\gamma}^\beta}\right). \quad (3)$$

burada $\beta = m/2$. MGF ifadesi ise aşağıdaki formül kullanılarak türetilir:

$$M_\gamma(s) = \int_0^\infty p_\gamma(\gamma) \exp(-s\gamma) d\gamma. \quad (4)$$

Eşitlik (3), (4)'teki integralde yerine yazılır ve [16, (2.3.2.13)] ifadesi yardımıyla Weibull dağılımına ait MGF aşağıdaki gibi elde edilebilir:

$$M_\gamma(s) = \begin{cases} U_1 = \frac{\Omega^{\beta-1} \beta}{\bar{\gamma}^\beta} \sum_{j=0}^{q-1} \frac{\left(\frac{\Omega^{\beta-1}}{\bar{\gamma}^\beta}\right)^j}{j!} \Gamma(\beta + j\beta) \\ \times \left(s^{-\beta-j\beta}\right) {}_{p+1}F_q \left(1, \Delta(p, \beta + j\beta); \Delta(q, 1 + j); (-1)^q z\right), & 0 < \beta < 1 \\ U_2 = \frac{\Omega^{\beta-1} \beta}{\bar{\gamma}^\beta} \sum_{h=0}^{p-1} \frac{(-1)^h}{h! \beta} \Gamma\left(\frac{\beta + h}{\beta}\right) \left(\frac{\Omega^{\beta-1}}{\bar{\gamma}^\beta}\right)^{-(\beta+h)/\beta} \\ \times \left(s\right)^h {}_{q+1}F_p \left(1, \Delta(q, (\beta + h)/\beta); \Delta(p, 1 + h); (-1)^p z^{-1}\right), & \beta > 1 \end{cases} \quad (5)$$

burada $\Gamma(x) = \int_0^\infty t^{x-1} e^{-t} dt$ Gamma fonksiyonu olarak tanımlanmakta, $\Delta(k, a) = (a/k, (a+1)/k, \dots, (a+k-1)/k)$ ve $z = p^p \Omega^{q(\beta-1)} / (s^p q^q \bar{\gamma}^{q\beta})$ olarak verilmektedir.

${}_pF_q(a_1, \dots, a_p; b_1, \dots, b_q; x)$ ise genelleştirilmiş 'hypergeometric' fonksiyondur ve aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır [17, (9.14.1)]:

$${}_pF_q(a_1, \dots, a_p; b_1, \dots, b_q; x) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(a_1)_k (a_2)_k \dots (a_p)_k}{(b_1)_k (b_2)_k \dots (b_q)_k} \frac{x^k}{k!}, \quad p \geq 1, q \geq 1. \quad (6)$$

Eşitlik (5) sadece $0 < \beta < 1$ ve $\beta > 1$ aralığında tanımlıdır. Buna göre, $\beta = 1$ durumunda MGF ifadesi şu şekildedir:

$$M_\gamma(s) = U_3 = \frac{1}{1 + s\bar{\gamma}}. \quad (7)$$

3. Sembol-Hata Oranı Analizi

Çöz-ve-aktar yöntemi için koşullu sembol-hata oranı ifadesi [7, 9, 14]'de izlenen yol kullanılarak aşağıdaki gibi verilebilir:

$$P_{e,PSK}(\gamma_{MRC}, \gamma_r) = P_{e,PSK}(\gamma_{MRC}) \Big|_{\bar{P}_2=0} P_{e,PSK}(\gamma_r) + P_{e,PSK}(\gamma_{MRC}) \Big|_{\bar{P}_2=P_2} (1 - P_{e,PSK}(\gamma_r)) \quad (8)$$

burada röle düğümünün sahip olduğu işaret-gürültü oranı $\gamma_r = P_1|r|^2/N_0$ ifadesi ile tanımlanmaktadır. Eşitlik (8) iki ayrı durumun birleşimini temsil etmektedir. Bu durumlardan birincisi rölenin doğru çözmediği durum, ikincisi ise rölenin doğru çözdüğü durum olarak belirtilebilir. Röle doğru çözmediği zaman iletim gücü $\bar{P}_2 = 0$ ve doğru çözdüğü zaman ise iletim gücü $\bar{P}_2 = P_2$ olarak alınmaktadır [9]. M -li faz kaydırmalı anahtarlama (M -ary phase shift keying, M -PSK) modülasyonu kullanıldığı zaman herhangi bir işaret-gürültü oranı, γ , değeri için koşullu olasılık aşağıdaki gibi verilebilir [15]:

$$P_{e,PSK}(\gamma) = \frac{1}{\pi} \int_0^{(M-1)\pi/M} \exp\left(-\gamma \frac{g_{PSK}}{\sin^2 \theta}\right) d\theta \quad (9)$$

burada $g_{PSK} = \sin^2(\pi/M)$. Eşitlik (8) ve (9) kullanılarak, koşullu sembol-hata oranı aşağıdaki gibi yazılabilir [7, 9, 14]:

$$P_{e,PSK}(s, r, d) = \left(\frac{1}{\pi} \int_0^{(M-1)\pi/M} \exp\left(-\frac{P_1|s|^2 g_{PSK}}{N_0 \sin^2 \theta}\right) d\theta \right) \times \left(\frac{1}{\pi} \int_0^{(M-1)\pi/M} \exp\left(-\frac{P_1|r|^2 g_{PSK}}{N_0 \sin^2 \theta}\right) d\theta \right) + \left(\frac{1}{\pi} \int_0^{(M-1)\pi/M} \exp\left(-\frac{(P_1|s|^2 + P_2|d|^2) g_{PSK}}{N_0 \sin^2 \theta}\right) d\theta \right) \times \left(1 - \left(\frac{1}{\pi} \int_0^{(M-1)\pi/M} \exp\left(-\frac{P_1|r|^2 g_{PSK}}{N_0 \sin^2 \theta}\right) d\theta \right) \right) \quad (10)$$

MGF temelli yaklaşım eşitlik (10)'a uygulanarak ortalama sembol-hata oranı aşağıdaki gibi ifade edilebilir [7, 9, 14]:

$$P_{e,PSK} = \left(\frac{1}{\pi} \int_0^{(M-1)\pi/M} M_{\gamma_s} \left(-\frac{g_{PSK}}{\sin^2 \theta} \right) d\theta \right) \times \left(\frac{1}{\pi} \int_0^{(M-1)\pi/M} M_{\gamma_r} \left(-\frac{g_{PSK}}{\sin^2 \theta} \right) d\theta \right) + \left(\frac{1}{\pi} \int_0^{(M-1)\pi/M} M_{\gamma_s} \left(-\frac{g_{PSK}}{\sin^2 \theta} \right) M_{\gamma_d} \left(-\frac{g_{PSK}}{\sin^2 \theta} \right) d\theta \right) \times \left(1 - \left(\frac{1}{\pi} \int_0^{(M-1)\pi/M} M_{\gamma_r} \left(-\frac{g_{PSK}}{\sin^2 \theta} \right) d\theta \right) \right) \quad (11)$$

burada $\gamma_s = P_1|s|^2/N_0$, $\gamma_r = P_1|r|^2/N_0$ ve $\gamma_d = P_2|d|^2/N_0$ olarak ifade edilmektedir.

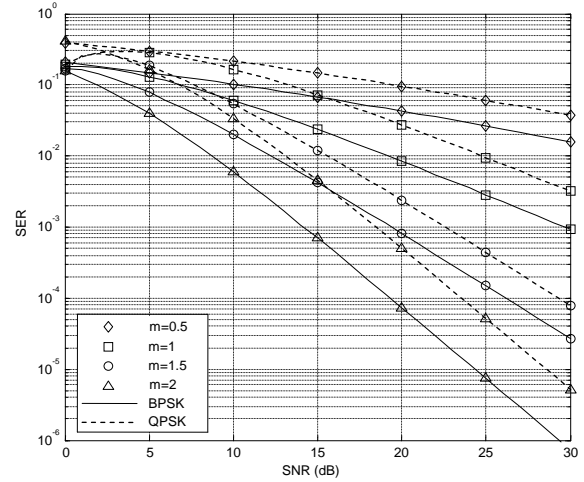
M -li dördün genlik modülasyonu (M -ary quadrature amplitude modulation, M -QAM) kullanıldığı durumda herhangi bir işaret-gürültü oranı, γ , değeri için koşullu olasılık aşağıdaki gibi verilebilir [15]:

$$P_{e,QAM}(\gamma) = \left(\frac{4}{\pi} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{M}} \right) \int_0^{\pi/2} \exp\left(-\gamma \frac{\psi}{\sin^2 \theta}\right) d\theta \right) - \left(\frac{4}{\pi} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{M}} \right)^2 \int_0^{\pi/4} \exp\left(-\gamma \frac{\psi}{\sin^2 \theta}\right) d\theta \right) \quad (12)$$

burada $\psi = 3/(2(M-1))$. M -PSK modülasyonu için izlenen yol ile eşitlik (5), (7), (8) ve (12) kullanılarak, M -QAM modülasyonu durumundaki sembol-hata oranı ifadesi elde edilir.

4. Nümerik Sonuçlar

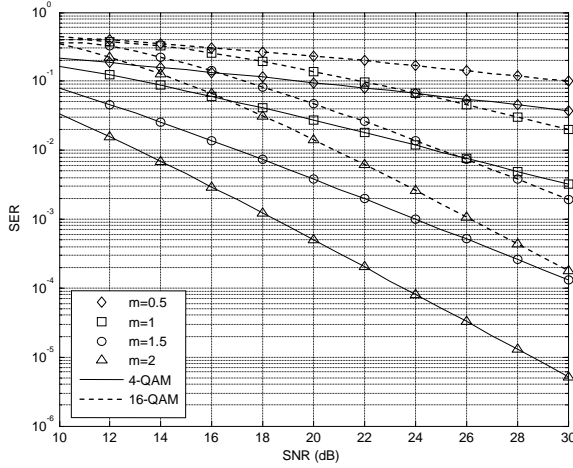
Çalışmanın bu bölümünde, çöz-ve-aktar tipi işbirlikli haberleşme sisteminin simetrik Weibull sönümlü kanallardaki sembol-hata oranı performansını farklı senaryolarla birlikte gösteren nümerik sonuçlar sunulmuştur. Nümerik sonuçlar elde edilirken bir önceki bölümde türetilen eşitlik (5), (11) ve (12)'deki ifadelerden faydalanılmıştır. Şekil 2'de sırasıyla ikili faz kaydırmalı anahtarlama (Binary Phase Shift Keying, BPSK) ve dördün faz kaydırmalı anahtarlama (Quadrature Phase Shift Keying, QPSK) modülasyonları için farklı Weibull sönümleme, m , parametreleri gözetilerek sistem performansı incelenmiştir. Şekil 3'te ise dördü dördün genlik modülasyonu (4-Quadrature Amplitude Modulation, 4-QAM) ve onaltılı dördün genlik modülasyonu (16-Quadrature Amplitude Modulation, 16-QAM) için ele alınan sistemin başarımları analizleri verilmiştir.



Şekil 2: BPSK ve QPSK modülasyonlarını kullanan çöz-ve-aktar işbirlikli haberleşme sisteminin sembol-hata oranı.

Şekil 2'deki nümerik sonuca bakıldığında, Weibull sönümleme parametresi, m , değeri arttıkça çöz-ve-aktar tipi işbirlikli haberleşme sisteminin BPSK için bit-hata oranı performansının iyileştiği görülmektedir. Aynı durum QPSK modülasyonunun sembol-hata oranı için de geçerlidir. Örnek olarak, BPSK için $m=1$ alındığında 10^{-3} sistem performansı 30

dB'de gözlemlenirken $m=1.5$ alındığında aynı sistem performansı ≈ 19 dB'de elde edilmektedir. Buna göre, $m=1$ ve $m=1.5$ durumlarında 10^{-3} 'lük sembol-hata oranı performansı için ≈ 11 dB'lik bir fark söz konusudur. 10^{-3} 'lük sistem performansı, $m=2$ alındığında ise ≈ 14 dB'de gerçekleşmektedir. $m=1$ ve $m=2$ durumları aynı sistem performansları için karşılaştırıldığında, ≈ 16 dB'lik bir fark gözlenmektedir.



Şekil 3: 4-QAM ve 16-QAM modülasyonlarını kullanan çöz-aktar işbirlikli haberleşme sisteminin sembol-hata oranı.

Şekil 3'te ise farklı bir modülasyon çeşidi olan 4-QAM ve 16-QAM modülasyonları için sistemin sembol-hata oranı performansı incelenmiştir. Bu nümerik sonuca göre sayısal yorumlama yapmak gerekirse, 4-QAM için 10^{-2} 'lik sistem performansı sırasıyla, $m=1$ durumu için ≈ 25 dB'de, $m=1.5$ durumu için ≈ 17 dB'de gözlenmektedir. Yine 4-QAM için diğer bir örnek ise, $m=2$ alındığında ≈ 18 dB'de 10^{-3} 'lük bir sistem performansı söz konusuysa, $m=1.5$ alındığında aynı sistem performansı ≈ 24 dB'de elde edilmektedir. Beklenildiği gibi 16-QAM modülasyonu kullanılan sistemin performansı kötüleşmektedir. Örnek olarak, 4-QAM modülasyonu kullanılan sistemin $m=1.5$ durumunda gösterdiği başarımla, 16-QAM modülasyonu kullanıldığı durumda $m=2$ olduğu zaman ≈ 30 dB'de elde edilmektedir. Bunlara ek olarak, yine bu nümerik sonuçlara göre m değeriyle doğru orantılı olarak sistemin sembol-hata oranı performansının iyileştiği görülmektedir. Şekil 2 ve 3'teki nümerik sonuçlar kıyaslanırsa, $m=2$ durumunda 10^{-2} 'lik sistem performansı BPSK modülasyonu için ≈ 8.5 dB'de, 4-QAM için ise ≈ 14 dB'de sağlanmaktadır.

5. Sonuçlar

Bu çalışmada simetrik Weibull sönümlü kanallardaki çöz-aktar tipi işbirlikli haberleşme sistemlerinin sembol-hata oranı analizi analitik olarak gerçekleştirilmiştir. Analitik çözümlerde MGF yaklaşımı kullanılmış, işbirlikli haberleşme sisteminin hedef düğümünde MRC temelli birleştirme tekniği esas alınmıştır. MGF yaklaşımı kullanıldığı için Weibull sönümlü kanallarda anlık işaret-gürültü oranına ait MGF ifadesi türetilmiştir. Nümerik sonuçlara bakıldığında, beklenildiği gibi en iyi performans BPSK modülasyonu kullanıldığı

durumda elde edilmiştir. Elde edilen nümerik sonuçlara göre sistemin PSK modülasyonu ile verdiği performansın QAM modülasyonu ile verdiği performanstan daha iyi olduğu görülmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmektedir. Proje No: FBY-11-3682.

6. Kaynaklar

- [1] Laneman, J. N. ve ark., "An Efficient Protocol For Realizing Cooperative Diversity in Wireless Networks," *IEEE International Symposium On Information Theory*, 2001, pp. 294.
- [2] Sendonaris, A., Erkip, E. ve Aazhang, B., "User cooperation diversity—Part I: System description," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 51, no. 11, pp. 1927-1938, 2003.
- [3] Sendonaris, A., Erkip, E. ve Aazhang, B., "User cooperation diversity—Part II: Implementation aspects and performance analysis," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 51, no. 11, pp. 1939-1948, 2003.
- [4] Laneman, J. N., David, N. C. ve Wornell, G. W., "Cooperative Diversity in Wireless Networks: Efficient Protocols and Outage Behavior," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 50, no. 12, pp. 3062-3080, 2004.
- [5] Ikki, S. S. ve Ahmed, M. H., "Performance analysis of adaptive decode-and-forward cooperative diversity networks with best-relay selection," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 58, no. 1, pp. 68-72, 2010.
- [6] Su, W., Sadek, A. K. ve Liu, R. J. K., "SER performance analysis and optimum power allocation for decode-and-forward cooperation protocol in wireless networks," in *Proc. IEEE WCNC*, 2005, pp. 984-989.
- [7] Su, W., Sadek, A. K. ve Liu, R. J. K., "Cooperative communication protocols in wireless Networks: performance analysis and optimum power allocation", *Wireless Personal Communications*, vol. 44, pp. 181-217, 2008.
- [8] Kim, Y. G. ve Beaulieu, N. C. "Exact closed-form solutions for the BEP of decode-and-forward cooperative systems in Nakagami- m fading channels," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 59, no. 9, pp. 2355-2361, 2011.
- [9] Lee, Y. ve Tsai, M-H., "Performance of decode-and-forward cooperative communications over Nakagami- m fading channels," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 58, no. 3, pp. 1218-1228, 2009.
- [10] Lee, Y., Tsai, M-H. ve Sou, S-I., "Performance of decode-and-forward cooperative communications with multiple dual-hop relays over Nakagami- m fading channels," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 8, no. 6, pp. 2853-2859, 2009.
- [11] Duong, T. Q., Bao, V. N. Q. ve Zepernick, H-J., "Performance of selection decode-and-forward relay networks over Nakagami- m fading channels," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 13, no. 3, pp. 172-174, 2009.
- [12] Lei, Y., Zeng, Z. ve Cheng, W., "Performance analysis of selection combining in decode-and-forward cooperative diversity networks over Weibull fading channels," in *Proc. 2nd Networks Security Wireless Communications*

- and Trusted Computing (NSWCTC) Conf.*, 2010, pp. 87-90.
- [13] Lei, Y., Cheng, W. ve Zeng, Z., "Performance analysis of selection combining in amplify-and-forward cooperative diversity networks over Weibull fading channels," in *Proc. IEEE ICCTA*, 2009, pp. 648-651.
- [14] Chu, S.-I., Lin, W.-C., Lee, H.-P. ve Chang, H.-C., "Performance analysis and power allocation for decode-and-forward cooperative communications over Rician fading channels," *Wireless Communications and Mobile Computing.*, doi:10.1002/wcm.1194, 2011.
- [15] Simon, M. K. ve Alouini, M-S., *Digital Communication over Fading Channels*, Wiley, New York, 2000 (2nd ed.).
- [16] Prudnikov, A. P., Brychkov, Y. A. ve Marichev, O. I., *Integrals and Series*, Gordon and Breach, Amsterdam, 1986(vol. 1).
- [17] Gradshteyn, I. S. ve Ryzhik, I. M., *Table of Integrals Series, and Products*, Academic, San Diego, 2000(6th ed.).