

ÇOKLU GİRİŞİMCİ VE İLİNTİLİ SÖNÜMLENME İLE ÇEŞİTLEME VE ADAPTİF ANTEN SİSTEMLERİNİN BAŞARIMI

Aysel ŞAFAK, Sertaç BAHADIR, Oğuzhan ÇAKIR

Başkent Üniversitesi
Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü
Bağlıca Kampüsü, 06530 Ankara, fax: (0312) 234 10 51
asafak@baskent.edu.tr , bahadir@baskent.edu.tr , ocakir@baskent.edu.tr

ÖZET : Rayleigh sönümlü, ilintili L inci mertebeden, maksimum oranda birleştirme (MRC) sistemlerinin başarımı analitik olarak hesaplandı. Bağdaşım ve bağdaşım dışı DPSK, BPSK ve BFSK için moment üretme fonksiyonu yardımıyla çeşitleme sistemlerindeki bit hata oranları için yeni tam formüller geliştirildi. Çok sayıda girişimcinin varlığında ve ilintili gölgelenmeli kanallarda, çeşitli modülasyon teknikleri ve sistem parametreleri için hücresel sistemlerin başarımı ve sistem kapasitesi üzerinde adaptif anten dizilerinin etkileri hesaplandı. Elde edilen sonuçlar maksimum oranda birleştirme (MRC) sisteminin başarımı ile karşılaştırıldı. Bütün durumlarda adaptif dizi antenlerin MRC sisteminden daha iyi performans gösterdiği ve bit hata oranını önemli ölçüde düşürdüğü, dolayısıyla hücresel sistemlerin başarımını ve sistem kapasitesini arttırdığı gözlemlendi.

Anahtar Kelimeler: Maksimum oranda birleştirme (MRC), adaptif anten sistemi, İlintili sönümlenme, Bit hata oranı.

1.Giriş

Hücresel sistemlerin başarımını ve sistem kapasitesini etkileyen temel faktörlerden biri coğrafik yapı ve binalar nedeniyle oluşan çok yollu sönümlenmedir. Çok yollu yayılma nedeniyle alıcı antene farklı genlik ve fazda gelen sinyaller alıcı sinyalin genliğinde ani değişikliklere neden olurlar. Anten çeşitlemesi, spektrum verimliliğinde herhangi bir kayba neden olmadığından sönümlenmeden kaynaklanan kayıpları azaltmak için sık kullanılan bir yöntemdir. Farklı antenlerden alınan veya gönderilen sinyallerin istatistiksel olarak birbirinden bağımsız olabilmeleri için, alıcı ve verici antenler arasındaki uzaklığın radyo frekansı taşıyıcı dalga boyundan yeterince büyük olması gerekmektedir. Pratikte antenler arasındaki uzaklığın yeterince büyük olmaması nedeniyle sinyaller birbiriyle ilintili olacaklardır. İlintisiz sönümlenme için çeşitleme sistemlerinin başarım analizleri daha önce bir çok yazar tarafından incelenmiştir[1-4].Çok sayıda girişimcinin varlığında ve ilintili sönümlenmeli kanallardaki

çeşitleme sistemlerinin başarımı ile ilgili sınırlı sayıda yayın bulunmaktadır[5-6].

Çeşitleme sistemlerinde, çok yollu sönümlenme ve gölgelenmenin etkisini yok etmek için birden fazla anten kullanılmakta ve bu antenlerden alınan sinyal seviyelerine bakılarak iyi olanı seçilmektedir. Adaptif anten sistemlerinde ise, hem istenen sinyal üzerindeki çok yollu sönümlenmenin etkisini azaltmak hem de girişim yapan sinyalleri bastırmak mümkündür.

Bu çalışmada; çok sayıda girişimcinin varlığında Rayleigh sönümlenmeli ilintili kanallarda MRC çeşitleme sisteminin ve adaptif anten dizgelerinin, hücresel sistemlerin başarımı ve sistem kapasitesi üzerindeki etkileri hesaplandı. Elde edilen sonuçlardan adaptif dizi antenlerin MRC çeşitleme sisteminden daha iyi performans gösterdiği ve bit hata oranını belirgin miktarda düşürdüğü dolayısıyla hücresel sistemlerin başarımını ve sistem kapasitesini arttırdığı gözlemlendi.

2. İlintili Sönümlü Çeşitleme (MRC) Sistemlerinde Bit Hata Oranı

2.1 Bağdaşım dışı Sezim Başarımı

Bağdaşım dışı sezim durumunda ve gürültünün varlığında γ anlık sinyal-gürültü oranı için şartlı bit hata oranı;

$$P_e(\gamma) = \frac{1}{2} \exp(-a\gamma) \quad a=1:\text{DPSK}, a=1/2:\text{NCFSK} \quad (1)$$

Gürültünün sönümden bağımsız olduğu kabul edilirse Rayleigh sönüm için ortalama bit hata oranı,

$$P_e = \int_0^{\infty} P_e(\gamma) p(\gamma) d\gamma \quad (2)$$

γ için moment üretme fonksiyonu;

$$\Psi_\gamma(s) = \int_0^{\infty} p_\gamma(\gamma) \exp(-s\gamma) d\gamma \quad (3)$$

γ için moment üretme fonksiyonu ve (2). denklemden yararlanılarak ortalama bit hata oranı;

$$P_e = \frac{1}{2} \Psi_\gamma(s) \Big|_{s=a} \quad \Psi_\gamma(s) = \Psi_{\bar{\gamma}}(\bar{s}) \Big|_{s_1=s_2=\dots=s_L=a} \quad (4)$$

Burada $\bar{\mathbf{y}} = \bar{\mathbf{u}}^H \mathbf{R}_n^{-1} \bar{\mathbf{u}}$ ve $\Psi_{\bar{\mathbf{y}}}(\bar{\mathbf{s}})$ ise aşağıdaki gibidir;

$$\begin{aligned} \Psi_{\bar{\mathbf{y}}}(\bar{\mathbf{s}}) &= \int_0^\infty \cdots \int_0^\infty p_{\bar{\mathbf{y}}}(\bar{\mathbf{y}}) \exp(-\bar{\mathbf{s}}\bar{\mathbf{y}}) d\bar{\mathbf{y}} \\ &= \int_{-\infty}^\infty \cdots \int_{-\infty}^\infty \frac{1}{\pi^L |\mathbf{R}_u|} \exp\left\{-\bar{\mathbf{u}}^H (\mathbf{R}_u^{-1} + \bar{\mathbf{s}} \mathbf{R}_n^{-1}) \bar{\mathbf{u}}\right\} d\bar{\mathbf{u}} \quad (5) \\ &= \frac{1}{\pi^L |\mathbf{R}_u|} \frac{\pi^L}{|\mathbf{R}_u^{-1} + \bar{\mathbf{s}} \mathbf{R}_n^{-1}|} = \frac{1}{|\mathbf{I} + \bar{\mathbf{s}} \mathbf{R}_u \mathbf{R}_n^{-1}|} = \frac{1}{|\mathbf{I} + \bar{\mathbf{s}} \gamma_0 \mathbf{R}|} \end{aligned}$$

Burada $\gamma_0 = E_b / N_0$ dir. $\mathbf{R}$ kanal yayılım matrisidir. $\mathbf{R}$ Hermitian bir matris olduğuna göre (5). denklem aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\Psi_{\bar{\mathbf{y}}}(\mathbf{s}) = \prod_{i=1}^L \frac{1}{(1 + s\gamma_0 \lambda_i)} \quad \mathbf{s} = s_1 = s_2 \dots = s_L \quad (6)$$

Burada λ_i $\mathbf{R}$ matrisinin özdeğerleridir.

(4) nolu denklemden ortalama bit hata oranı;

$$P_e = \frac{1}{2} \prod_{i=1}^L \frac{1}{1 + a\gamma_0 \lambda_i} \quad (7)$$

Sabit ilinti için $\mathbf{R}$ matrisi;

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} 1 & \rho & \cdots & \rho \\ \rho & 1 & \cdots & \rho \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \rho & \rho & \cdots & 1 \end{bmatrix}_{L \times L} \quad (8)$$

$\mathbf{R}$ matrisinin özdeğerleri aşağıdaki gibidir;

$$\lambda_i = \begin{cases} (1 - \rho) & 1 \leq i \leq L - 1 \\ (L - 1)\rho + 1 & i = L \end{cases} \quad (9)$$

Burada $\rho = J_0(2\pi f_D \tau)$ olarak ifade edilir. (7) ve (9). denklemlerden yararlanarak DPSK ve NCFSK için sabit ilinti ile ortalama bit hata oranı;

$$P_e = \frac{1}{2} \frac{1}{[1 + a\gamma_0((L - 1)\rho + 1)]} \frac{1}{[1 + a\gamma_0(1 - \rho)]^{L-1}} \quad (10)$$

2.2 Bağdaşımli Sezim Başarımı

Bağdaşımli sezim durumunda ve gürültünün varlığında γ (anlık sinyal-gürültü oranı) için şartlı bit hata oranı;

$$P_e(\gamma) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(\sqrt{a\gamma}) \quad a=1:\text{CPSK}, a=1/2:\text{CFSK} \quad (11)$$

(2).denklem birçok sadeleştirme ve hesaplamadan sonra aşağıdaki gibi yazılabilir ;

$$P_e(\gamma) = \frac{\sqrt{a}}{2\pi} \int_a^\infty \frac{1}{z\sqrt{z-a}} \exp(-\gamma z) dz \quad (12)$$

(4) ve (6). denklemler kullanılarak bağdaşımli sezim için ortalama bit hata oranı aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

$$\begin{aligned} P_e &= \frac{\sqrt{a}}{2\pi} \int_a^\infty \frac{\Psi_{\bar{\mathbf{y}}}(\mathbf{s})}{s\sqrt{s-a}} ds \\ &= \frac{\sqrt{a}}{2\pi} \int_a^\infty \frac{1}{s\sqrt{s-a}} \prod_{i=1}^L \frac{1}{(1 + s\gamma_0 \lambda_i)} ds \quad (13) \end{aligned}$$

3. Adaptif Anten Sistemlerinin Başarımı

Adaptif dizi anten, tek bir çıkış sinyali oluşturacak şekilde genlik kontrol ve faz kaydırma devreleri içeren çok sayıda anten elemanından oluşur. Dizideki ilk elemanı faz için referans olarak alır ve dizi elemanları arasındaki açıklığı d ile gösterirsek m 'inci dizi elemanından alınan sinyalin faz kayması aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\phi_{mi} = (2\pi d(m - 1) / \lambda) \sin \theta_i \quad (14)$$

Anten elemanlarının çıkışındaki sinyal :

$$X_{mi}(t) = \exp[j(\omega t + \phi_{mi})] \quad (15)$$

θ_i doğrultusundaki toplam dizi çıkışı :

$$y_i(t) = \sum_{m=1}^M w_m \exp[j(\omega t + \phi_{mi})] \quad (16)$$

olur. Burada w_m , m 'inci anten elemanının çıkışına uygulanan karmaşık ağırlık fonksiyonudur. w_m 'lerin uygun seçimiyle dizi anten istenen sinyali θ_i doğrultusunda alacak ve sıfırları θ_i doğrultusundaki girişim kaynaklarına doğru çevirecektir. Böylece çıkıştaki sinyal-gürültü ve sinyal-girişim oranları maksimum yapılacaktır. Adaptif anten dizgelerinin başarımı ortak kanal girişim olasılığı ve bit hata oranı cinsinden değerlendirilir.

3.1 Ortak Kanal Girişim Olasılığı

Adaptif dizi antenlerin kullanımı ortak kanal girişim olasılığını düşürür. A, Erlang cinsinden trafik yoğunluğunu, B, tıkanma olasılığını, M hücre başına mevcut toplam kanal sayısını göstermek üzere kanal kullanım verimliliği $\eta = A(1-B)/M$ olur. Adaptif dizi antenlerin kullanıldığı hücresel sistemlerde, μ ; hücre başına hüzme sayısını, $M\eta/\mu$ hüzme başına aktif kanal sayısını gösterirse, ortak kanal girişim olasılığı,

$$\Pr \left(\frac{P_{0d}}{P_{0u}} \leq \alpha, \mu \right) = \Pr \left(\frac{P_{0d}}{P_{0u}} \leq \alpha \left(\frac{\eta}{\mu} \right) \right) \quad (17)$$

Girişim yapan M_i ortak kanal hücresinin aktif olma olasılığı :

$$\Pr \left(M_i \right) = \binom{6}{M_i} \left(\frac{\eta}{\mu} \right)^{M_i} \left(1 - \frac{\eta}{\mu} \right)^{6-M_i} \quad (18)$$

Toplam ortak kanal girişim olasılığı ise aşağıdaki gibi ifade edilir;

$$\sum_M \Pr \left(\frac{P_{0d}}{P_{0u}} \leq \alpha, \mu \right) = \sum_M \Pr \left(\frac{P_{0d}}{P_{0u}} \leq \alpha | M_i \right) \binom{6}{M_i} \left(\frac{\eta}{\mu} \right)^{M_i} \left(1 - \frac{\eta}{\mu} \right)^{6-M_i} \quad (19)$$

3.2 Bit Hata Oranı

Hücrel sistemlerde bit hata olasılığı P_e ;

$$P_e = \sum_{n=1}^6 \binom{6}{n} P_n(e|n) ac^n (1-ac)^{6-n} \quad (20)$$

Rician sönümlü bağıdaşsızsız DPSK&FSK için şartlı hata olasılığı:

$$P_n(e|n) = [1/2(R+1)] \exp(-K_d R / R+1) \quad (21)$$

Rician faktör $K_d = P_{sd}/P_{od}$ ve istenen sinyalin yerel ortalama gücü $P_{od} = P_{sd} + P_{od} = P_{od}(1+K_d)$ dir. P_{sd} ; istenen sinyalin alıcıya doğrudan ulaşan (LOS) bileşenlerinin toplamını ve P_{od} ; yansıyarak gelen bileşeni gösterir.

$$R = \frac{P_{od} T_b}{A P_{ou} T_b + B N_0} = \frac{1}{K+1} \left[\frac{A}{P_{od}/P_{ou}} + \frac{B}{E_b/N_0} \right]^{-1} \quad (22)$$

Bağıdaşsızsız DPSK için; $A=B=1$, bağıdaşsızsız FSK için; $A=B=2$ dir. Bağıdaşsımlı BPSK&FSK için

$$P_n(e|n) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{P_{od} T_b}{A P_{ou} T_b + B N_0}} \right) \quad (23)$$

Burada $E_b/N_0 = P_{od} T_b / N_0$ dir. N_0 , gürültü yoğunluğunu ve T_b bit süresini gösterir. $R_u = D/r$ ve $G = g/r$ için,

$$P_{od}/P_{ou} = R_u^{\gamma_1} (G + R_u / 1 + G)^{\gamma_2} / n \quad (24)$$

İstenen sinyal gölgelemeli ve Rician sönümlü olduğunda, şartlı hata olasılığı $P_n(e|n)$,

$$P_n(e|n) = \frac{1}{2\sqrt{2\pi}(1+R)} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{t^2}{2}} e^{\left(\frac{K'R}{1+R} e^{\sigma_{dt}} \right)} dt \quad (25)$$

Burada $K_d' = \exp(m_{sd})/P_{od}$ dir. İstenen ve girişim sinyalleri tamamen ilintili gölgelemeli ise,

$$P_n(e|n) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{2(R+1)} e^{\left(\frac{KR}{R+1} \right)} f_{P_{od}, P_{ou}}(P_{od}, P_{ou}) dP_{od} dP_{ou} \quad (26)$$

R ifadesindeki $E_b/N_0 = (T_b \xi_d / N_0) e^{\sigma_{dx}}$ dir. R denklemindeki P_{od}/P_{ou} aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$\frac{P_{od}}{P_{ou}} = \left(\frac{G + R_u}{G + 1} \right)^{\gamma_2} R_u^{\gamma_1} e^{\left[m_d - m_u + (\sigma_d - \sigma_u \rho_{d,u}) x - \sigma_u \sqrt{1 - \rho_{d,u}^2} y \right]} \quad (27)$$

$$x = \tau_d = \frac{1}{\sigma_d} \ln \frac{P_{od}}{\xi_d}, \quad y = (\tau_u - \rho_{d,u} \tau_u) / (\sqrt{1 - \rho_{d,u}^2}),$$

$$\tau_u = \frac{1}{\sigma_u} \ln \frac{P_{ou}}{\xi_u} \quad (28)$$

4. Sonuçlar

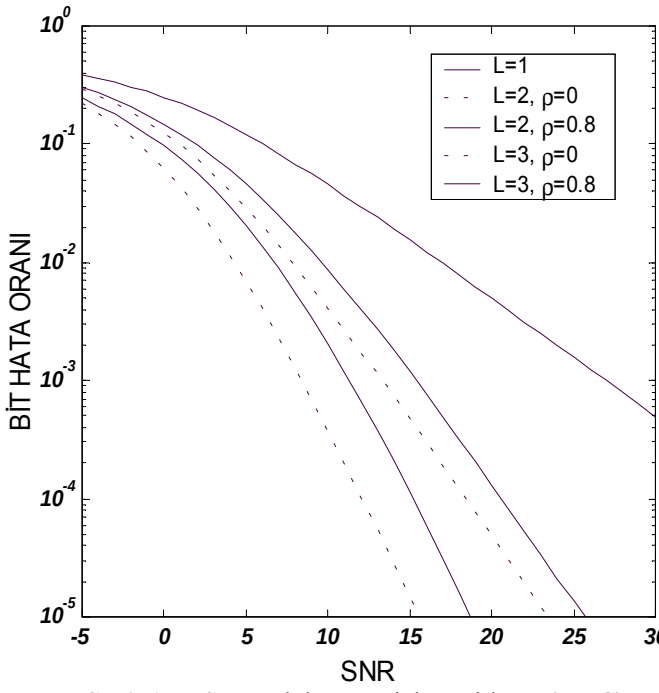
Şekil.1'de DPSK ve Şekil.2'de NCFSK, Şekil.3'de CPSK ve Şekil.4'de CFSK modülasyonları için çeşitleme (MRC) sistemlerinin başarımı üzerinde

çeşitleme kolları arasındaki ilintinin etkileri görülmektedir. Çeşitleme kol sayısı arttıkça bit hata oranı düşmekte sistemin başarımı artmaktadır. Çeşitleme kolları arasındaki ilinti arttıkça sistemin başarımı azalmaktadır. DPSK modülasyonlu çeşitleme sistemleri NCFSK modülasyonunun kullanıldığı çeşitleme sistemlerinden daha iyi performans sergilemektedir. CPSK modülasyonlu çeşitleme sistemleri CFSK modülasyonunun kullanıldığı çeşitleme sistemlerinden daha iyi performans sergilemektedir.

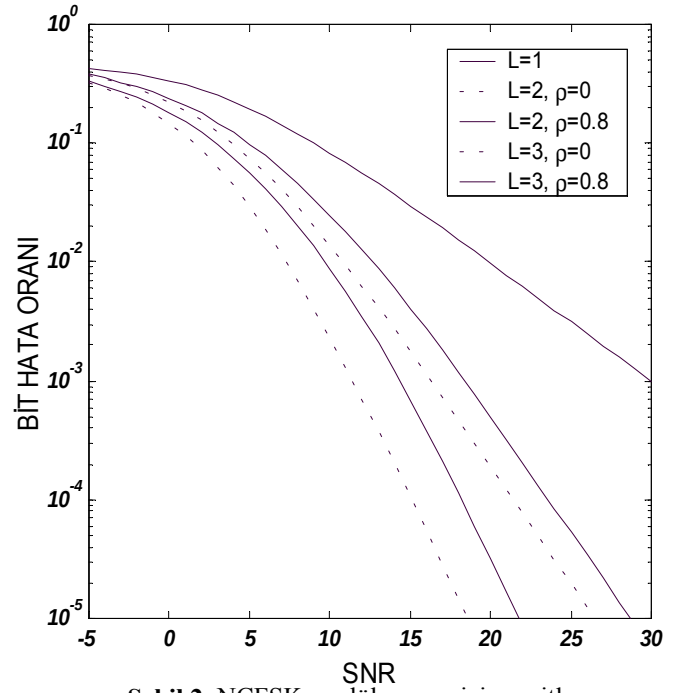
Şekil.5'de $\rho=0.8$ ve Şekil.6'da $\rho=0$ alınarak tek girişimci için DPSK modülasyonlu adaptif anten dizgeleri ile çeşitleme sistemleri karşılaştırılmıştır. Anten eleman sayısı arttıkça adaptif anten dizgelerinde bit hata oranı düşmekte, dolayısıyla sistemin başarımı artmaktadır. Şekil.5-8'de görüldüğü gibi adaptif anten dizgeleri MRC sisteminden daha iyi performans sergilemektedir. Şekil.7'de $\rho=0$ ve Şekil.8'de $\rho=0.8$ için iki girişimcinin varlığında DPSK modülasyonlu adaptif anten dizgeleri ile çeşitleme sistemleri karşılaştırılmıştır. Kanallar arasındaki ilintinin artmasıyla sistemin başarımı bozulmaktadır. Şekil.5-8'de görüldüğü gibi bütün durumlarda adaptif anten dizgeleri bit hata oranını MRC sisteminden daha fazla düşürmekte dolayısıyla hücrel sistemlerin başarımını ve sistem kapasitesini önemli ölçüde arttırmaktadır.

5. Kaynakça

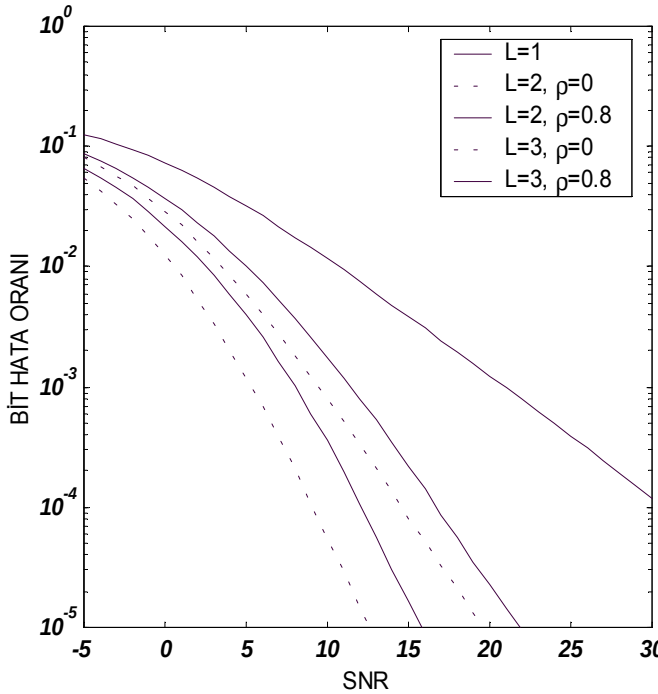
- [1] Winter J.H, "On the Capacity of Radio Communication Systems with diversity in a Rayleigh Fading Environment", IEEE 3. Select. Areas Comm, vol.5, pp-871-878, June 1987
- [2] Amit Shah, Alexander M. Haimovic, Marvin K. Simon and Mohammed-Slim Alouni "Exact Bit-Error Probability for optimum Combining with a Rayleigh Fading Gaussian Cochannel Interferers" IEEE Trans. Veh Technol., vol 48, pp.908-912 June 2002
- [3] Valentine A.Aalo ve J. Zhang, "Performance of Antenna Array Systems with Optimum Combining in a Rayleigh Fading Environment", IEEE Comm. Letters, vol.4, no.4, pp.125-127, April 2000.
- [4] K. Pahlavan ve J. W. Matthews, "Performance of Adaptive Matched Filter Receivers Over Fading Multipath Channels", IEEE Trans. Commun.vol.38,pp. 2106-2113, Dec. 1990
- [5] Valentino A-Aola, "Performance of Maximal-Ratio Diversity Systems in a Correlated Nakagami Fading Environment", IEEE Trans.on.Comm, vol.43, No.8, pp-2360-2369, August 1995
- [6] A. Şafak, S.Bahadır, B.Uslu, "Gezgin İletişim Sistemlerinde Adaptif Hüzme Şekillendirme", URSI TÜRKİYE'2002 1. Ulusal Kongresi, İTÜ, pp. 106-109, 18-20 September 2002



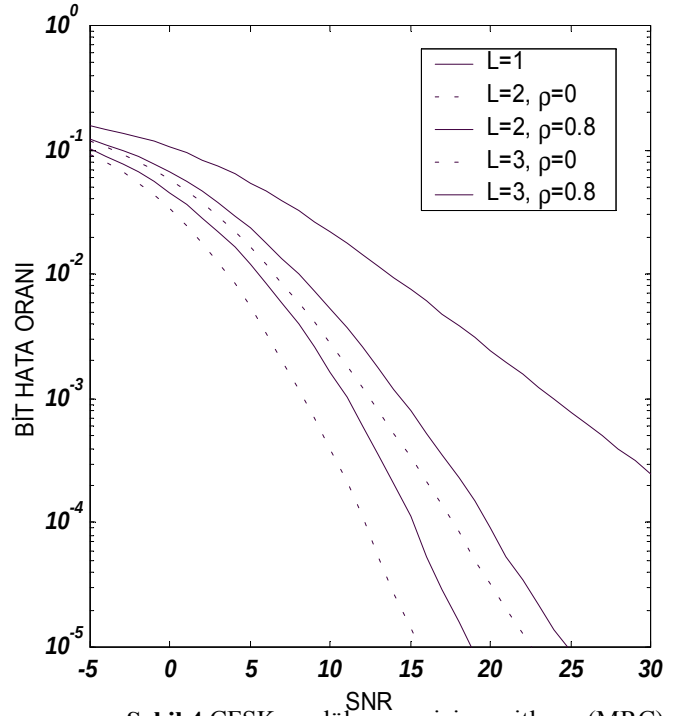
Şekil 1. DPSK modülasyonu için çeşitleme (MRC) sistemlerinin başarımı üzerinde kanallar arası ilintinin etkileri



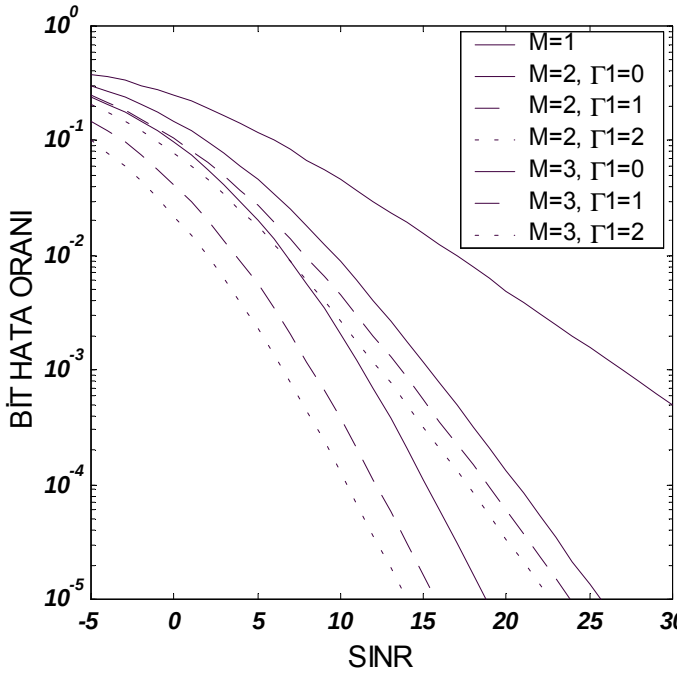
Şekil 2. NCFSK modülasyonu için çeşitleme (MRC) sistemlerinin başarımı üzerinde kanallar arası ilintinin etkileri



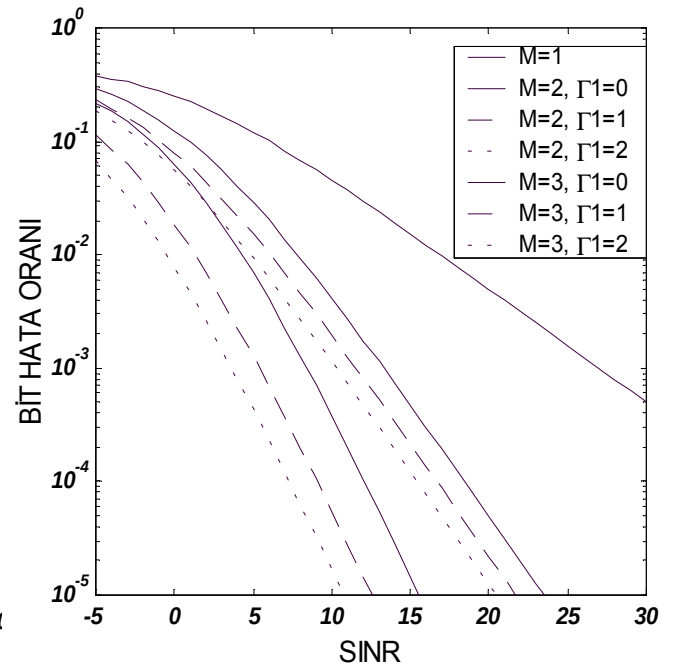
Şekil 3. CPSK modülasyonu için çeşitleme (MRC) sistemlerinin başarımı üzerinde kanallar arası ilintinin etkileri



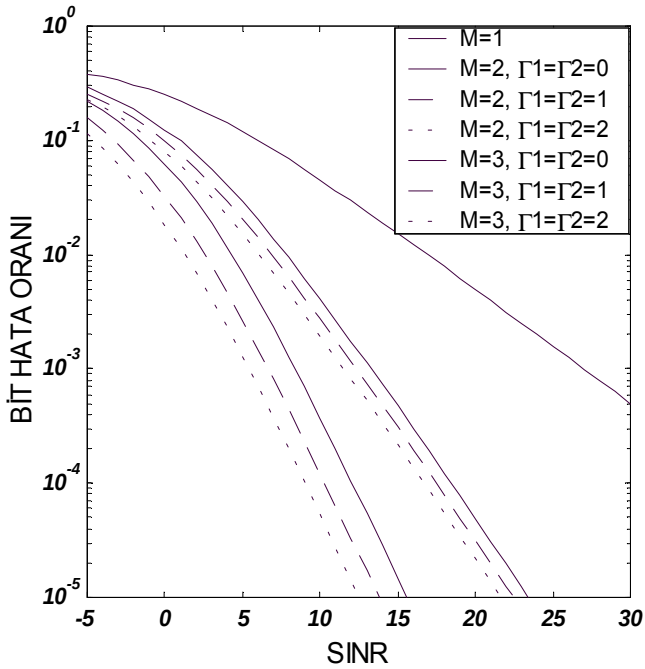
Şekil 4. CFSK modülasyonu için çeşitleme (MRC) sistemlerinin başarımı üzerinde kanallar arası ilintinin etkileri



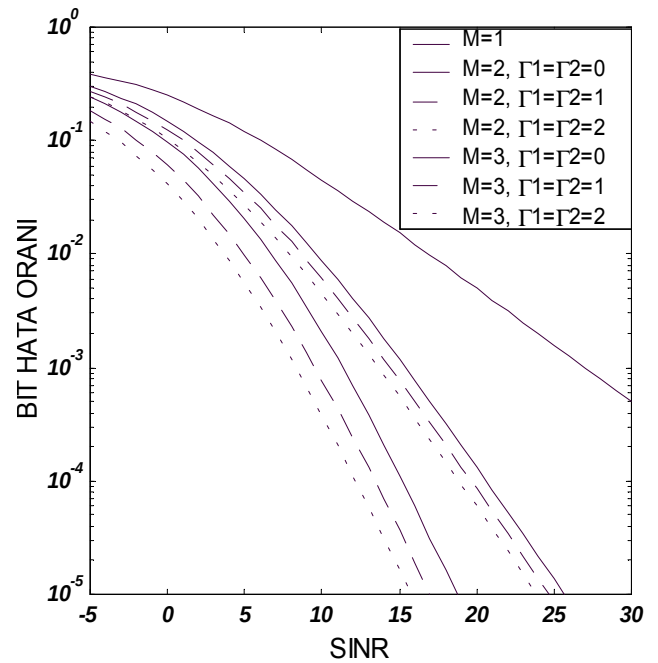
Şekil 5. Tek girişimci için ($\Gamma_1=0,1,2$) adaptif anten dizileri ile çeşitleme (MRC) sistemlerinin karşılaştırılması. $\rho=0.8$, Modülasyon:DPSK alınmıştır.



Şekil 6. Tek girişimci için ($\Gamma_1=0,1,2$) adaptif anten dizileri ile çeşitleme (MRC) sistemlerinin karşılaştırılması. $\rho=0$, Modülasyon:DPSK alınmıştır.



Şekil 7. İki girişimci için ($\Gamma_1=\Gamma_2=0,1,2$) adaptif anten dizileri ile çeşitleme (MRC) sistemlerinin karşılaştırılması. $\rho=0$, Modülasyon:DPSK alınmıştır.



Şekil 8. İki girişimci için ($\Gamma_1=\Gamma_2=0,1,2$) adaptif anten dizileri ile çeşitleme (MRC) sistemlerinin karşılaştırılması. $\rho=0.8$, Modülasyon:DPSK alınmıştır.