

MSK Modülasyonlu OFDM Sistemleri*

Ali Emre Pusane[†], Ümit Aygözü[†] ve Erdal Panayırıcı[‡]

[†] İstanbul Teknik Üniversitesi
Elektrik-Elektronik Fakültesi
80626 Maslak, İstanbul

[‡] Işık Üniversitesi
Elektronik Mühendisliği Bölümü
80620 Maslak, İstanbul

eeapanay@isikun.edu.tr

Özetçe

Ortogonal frekans bölmeli çoğullama (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM) frekans-seçici kanallar üzerinden iletimde sağladığı yüksek başarımdan dolayı çok taşıyıcı sistemlerin günümüzde tercih edilen bir türüdür. Kullandığı frekans bölgesini çok sayıda alt kanallara bölerek kanalın frekans-seçiciliğinden kurtulur. Bu bildiride, MSK modülasyonlu işaretlerin iletilmesi durumunda frekans-seçici sönümlemeden kurtulmak amacıyla OFDM sistemi kullanımı önerilmiş, değişik kodlar tasarlanmış, bilgisayar benzetimleri yardımıyla bu sistemlerin hata başarımları incelenmiştir.

1 Giriş

Günümüzde önemi hızla artan gezgin ve telsiz iletişim sistemleri, iletişim kanalının neden olduğu toplamsal Gauss gürültüsüne ek olarak sönümlemeden (fading) ve faz seyirmesinden de büyük ölçüde etkilenmektedir. Bu tür sistemler için, gerek kullanıcı sayısının artması ve gerekse gezgin anten boyutları veya uydunun ışınım sınırlamaları nedeniyle band ve güç verimliliği yüksek iletişim tekniklerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Bu teknikler genellikle kafes kodlamalı modülasyon (trellis coded modulation, TCM) tekniğine dayalıdır. Sabit zarf, sürekli faz ve içerdiği doğal kodlama gibi özellikleriyle gezgin iletişim kanallarında yeğlenen hızlı frekans kaydırmalı anahtarlama (minimum shift keying, MSK), bir önkodlayıcı yardımıyla kodlanarak band ve güç verimliliği yüksek çoklu kafes kodlamalı (multiple trellis coded modulation, MTCM) MSK sistemlerin oluşturulması için de oldukça uygun bir modülasyon tekniğidir.

Diğer taraftan geniş bantlı iletişim sistemlerinde, özellikle frekans seçici kanallar üzerinden iletimde yüksek başarımlarından dolayı, "çok taşıyıcı (multicarrier)" sistemler günümüzde yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. Bu sistemlerin OFDM (orthogonal frequency division multiplexing) olarak adlandırılan biçimi [1,2], tüm iletişim kanalını belli sayıda alt-kanallara bölerek bilgiyi birbirine dik (orthogonal) seçilmiş alt-taşıyıcı frekanslarda iletme ilkesine dayanmaktadır. OFDM sistemlerde alt-taşıyıcıların spektrumlarının örtüşmelerine izin verildiğinden band verimliliği açısından da bir üstünlük sağlanmış olur. Öte yandan, OFDM tek taşıyıcı sistemlerle karşılaştırıldığında oldukça uzun bir işaretleme periyoduna sahip olduğundan hızlı sönümlemelere karşı daha iyi başarıma sahiptir.

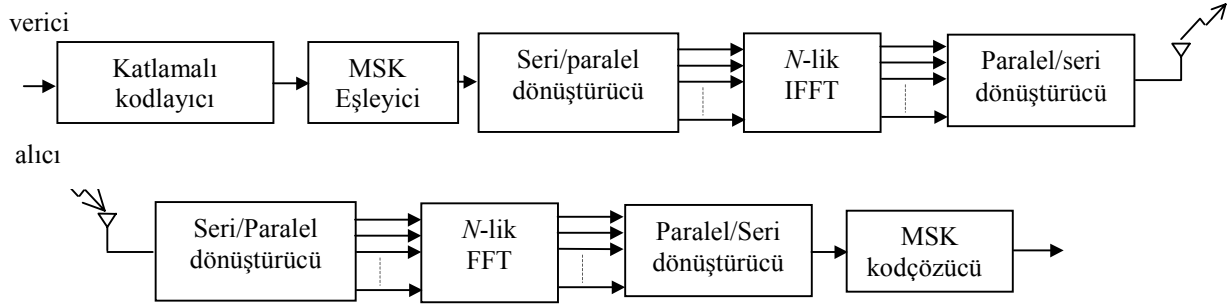
Literatürde, son yıllarda çok taşıyıcı sistemler arasında oldukça ön plana çıkan OFDM ile çeşitli kodlama türlerinin birleştirilmesi [3,4] ve giriş işaret kümesi sınırlandırma [5] konularında araştırmalara rastlamak mümkündür.

Bu bildiride çoklu kafes kodlu MSK modülasyonunu OFDM iletim tekniği ile birleştirerek özellikle sönümlemeli kanallar için yüksek başarıma sahip bir iletişim sistemi önerilmektedir.

* Bu çalışma 100EE006 no.lu proje çerçevesinde TÜBİTAK tarafından desteklenmektedir.

2 Sistem Modeli

Ele alınan iletişim sisteminin blok diyagramı Şekil 1 ' de görülmektedir.

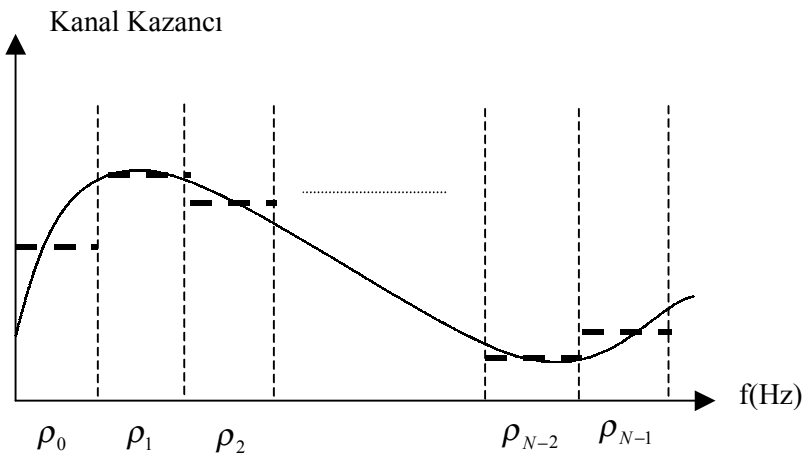


Şekil 1. Çoklu kafes kodlamalı MSK modüasyonlu OFDM sistemi

Verici kısımda bilgi dizisi, katlamalı kodlayıcı yardımıyla kodlanarak çoklu kafes kodlu MSK işaretini oluşturmak üzere önceden belirlenmiş kanal simgelerine eşleştirilir. OFDM sisteminin en karakteristik özelliği olan dik taşıyıcıları gerçekleştirmek için uygulaması kolay ve maliyeti düşük olan hızlı Fourier (Fast Fourier Transform, FFT) ve ters hızlı Fourier dönüştürücülerden (Inverse Fast Fourier Transform) yararlanılmaktadır. Kodlanmış ve eşlenmiş simge dizisini alt-taşıyıcılara ötelemek amacı ile N 'lik IFFT bloğu kullanılır. Burada, N sayısı alt-kanal sayısını gösterir ve pratikte 512, 1024 gibi değerler olabilir. Dikkat edilmesi gereken nokta ise IFFT ve FFT işlemlerinin hızlı ve etkin yapılabilmesi için N değerinin 2'nin bir üssü olarak seçilmesidir. IFFT işlemine uygun biçime getirilmek amacıyla kodlanmış işaret dizisi 1-giriş, N -çıkışlık bir seriden paralele dönüştürücü devresine uygulanarak N li bir paralel dizi oluşturulur. IFFT bloğu çıkışı yeniden seri biçime dönüştürülerek simgeler arka arkaya kanala gönderilir.

Alıcı tarafta ise peşpeşe alınan her N kanal simgesi paralele dönüştürülüp FFT si alınır. Tekrar seriye dönüştürülünce çoklu kafes kodlanmış MSK işaret dizisinin kanalın sönmleme ve gürültü etkileriyle bozulmuş biçimi elde edilir. Alıcının son adımında ise MTCM kod çözücü kafes kodların en büyük olabilirlikli çözümünü gerçekleştiren Viterbi algoritmasını kullanarak iletilen bilgiyi yeniden elde etmeye çalışır.

Geniş bantlı iletişimde en kötü durumlardan birisi de iletişim kanalının frekans seçici olmasıdır. OFDM tekniği böyle bir kanalı çok sayıda (N adet) birbiriyle örtüşebilen alt-bandlara bölerek kullanmayı sağlarken, eldeki frekans-seçici kanalı frekans-seçici olmayan yani düzgün sönmlemeye (flat fading) sahip N adet alt-banda böler.(Şekil 2) Böylece, her bir banddan iletilen işaretler alıcıda daha kolay çözülebilir.



Şekil 2. Frekans-seçici kanal

Viterbi algoritmasını kullanmayı kolaylaştıran başka bir etken ise kanal girişindeki IFFT ve kanal çıkışındaki FFT işlemleri nedeniyle sönmlemenin alt-kanallar üzerinde etkisinin, $\rho_k, 0 < k < N - 1$ sönmleme katsayılarının FFT çıkışında kodlanmış simgeleri çarpması biçiminde olmasıdır, (1).

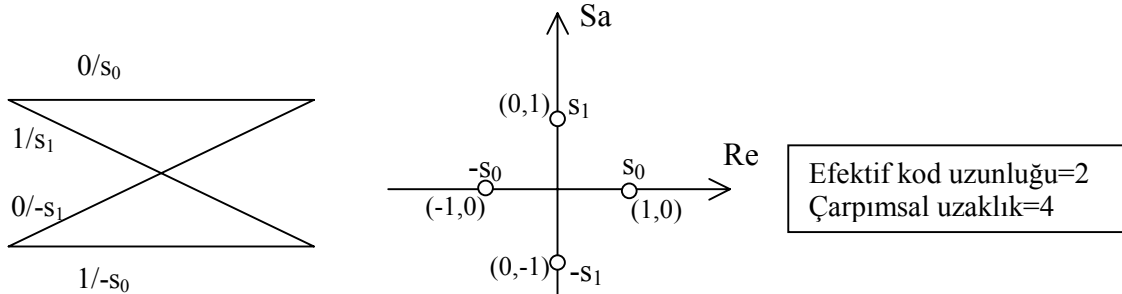
$$r_k = \rho_k C_k + n_k \quad 0 < k < N - 1 \quad (1)$$

Burada, r_k N 'lik bir iletim çerçevesi içerisinde k . zaman diliminde kod çözücü girişine gelen örnektir. C_k bu çerçevede k . alt-kanaldan iletilmiş olan çoklu kafes kodlu MSK simgesini gösterirken, n_k sıfır ortalamalı, boyut başına $N_o/2$ varyanslı istatistiksel bağımsız Gauss dağılımlı gürültü örneğidir. ρ_k ise kanalın k . alt-kanalının bu çerçeve süresince geçerli sönmüleme katsayısıdır ve kompleks Gauss dağılımı ile modellenebilir. Böylece, iletimde problemlere neden olan frekans-seçici kanal, alıcı tarafından bakıldığında zaman-seçici kanala dönüştürülmüş olup sisteme oldukça büyük bir çeşitleme (diversity) eklemiştir.

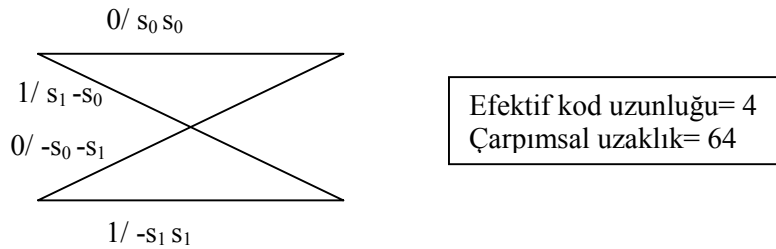
3 Çoklu MSK Kodları

Yukarıda görülen (1) denkleminde de kolaylıkla anlaşılacağı gibi frekans-seçici kanalın giriş ve çıkışına eklenen IFFT ve FFT işlemlerinin bir sonucu olarak iletişim kanalının bilgi üzerine etkisi zaman-seçici sönmülemeli kanalda olduğu gibi gözlenmektedir. Buna göre, bu iletişim sisteminde kullanılmak üzere tasarlanacak kodların da zaman-seçici kanallara özgü ölçütlere göre tasarlanması gerekmektedir. Özellikle yüksek işaret/gürültü oranlarında zaman-seçici sönmülemeli kanallar için iki önemli ölçüt bulunmaktadır. Bunlardan ilki olan etkin kod uzunluğu (effective code length, ECL) aynı durumda başlayıp aynı durumda sona eren yol çiftleri üzerindeki farklı kanal simgesi sayısıdır. İkinci derecede önemli hata başarımlı ölçütü ise çarpımsal uzaklıktır. (product distance, d_p^2) Çarpımsal uzaklık, ilk ölçütün sağlandığı zaman aralıkları için hesaplanan kanal simgesi karesel uzaklıklarının çarpılması ile elde edilir. Yüksek hata başarımlı bir kod tasarlarken ilk hedefimiz efektif kod uzunluğunu büyütme, ikinci olarak da karesel uzaklığı artırmaktır.

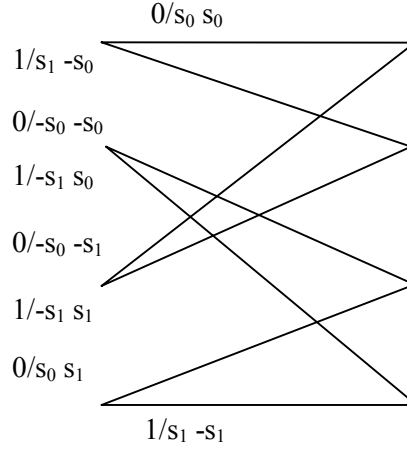
Bu ölçütlere göre kodlanmamış ve çeşitli oranlarda kodlanmış türlü kodlar tasarlanmış ve bilgisayar benzetimleri yardımıyla hata başarımları incelenmiştir. Karşılaştırma amacıyla referans olarak kodlanmamış MSK alınmıştır, (Şekil 3). Şekil 4 ve 5' te 1/2 oranlı kodlanmış 2 ve 4-durumlu MSK kodları verilmiştir. Şekil 6 ve 7' de ise kodlama oranı yükseltilerek 2/3 oranlı 2 ve 4-durumlu MSK kodları verilmiştir.



Şekil 3. Kodlanmamış MSK

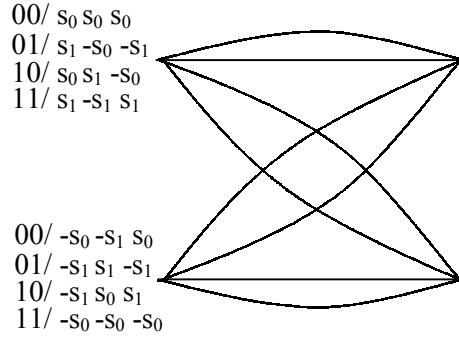


Şekil 4. 1/2 oranlı 2-durumlu kodlanmış MSK



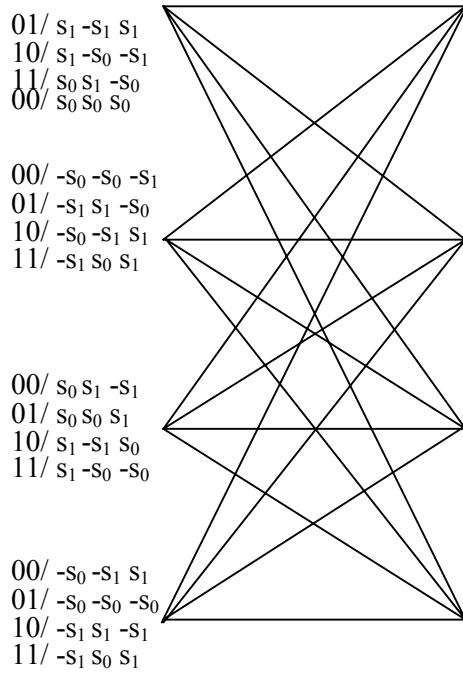
Efektif kod uzunluğu= 6
Çarpımsal uzaklık= 256

Şekil 5. 1/2 oranlı 4-durumlu kodlanmış MSK



Efektif kod uzunluğu= 3
Çarpımsal uzaklık= 16

Şekil 6. 2/3 oranlı 2-durumlu kodlanmış MSK

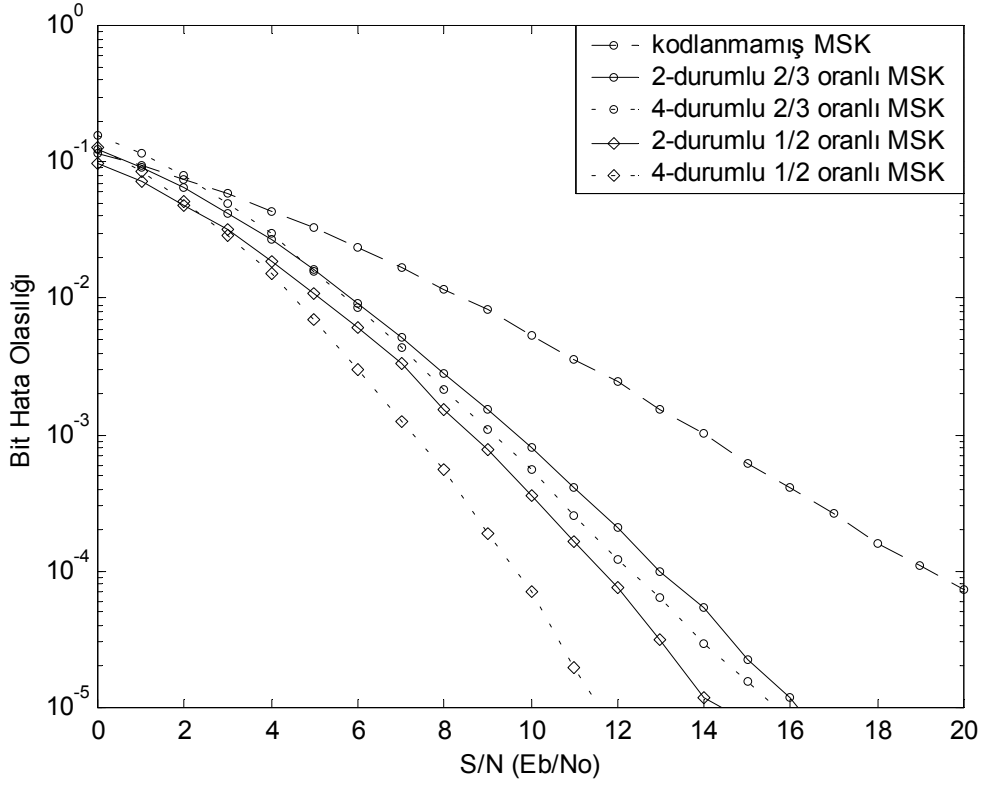


Efektif kod uzunluğu= 4
Çarpımsal uzaklık= 32

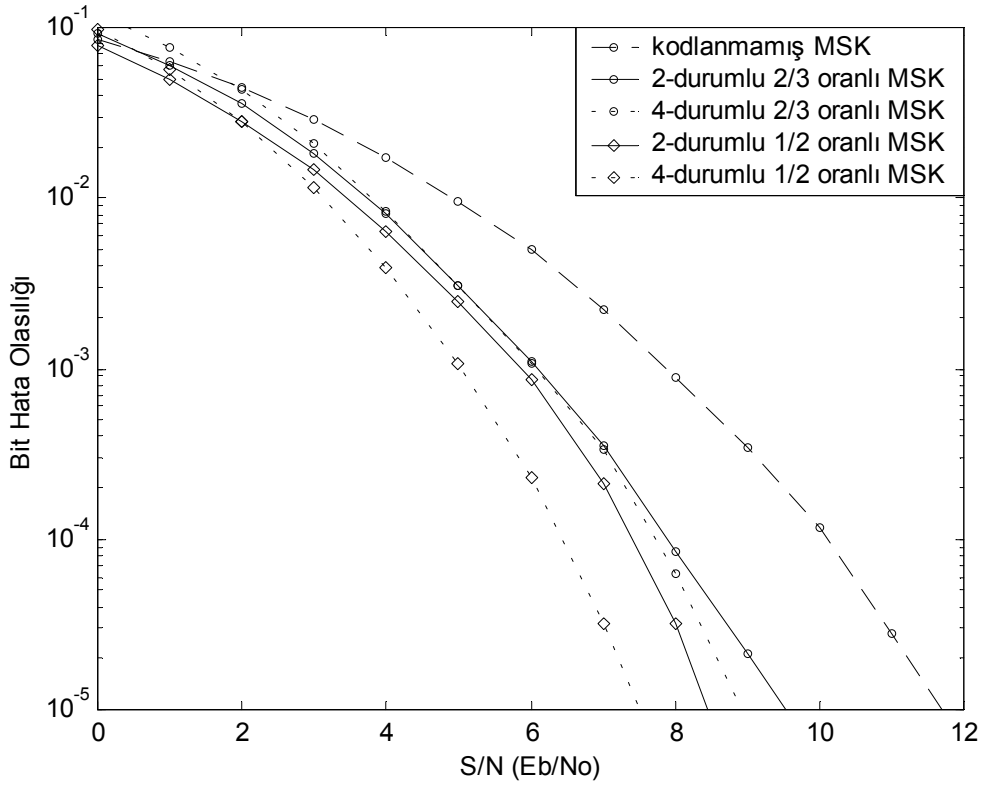
Şekil 7. 2/3 oranlı 4-durumlu kodlanmış MSK

4 Hata Başarımı

Bilgisayar benzetimleriyle Bölüm 3' te verilen kodların hata başarımları incelenmiştir.



Şekil 8. Tasarlanan MSK kodlarının Rayleigh sönümlmeli kanalda hata başarımları



Şekil 9. Tasarlanan MSK kodlarının Rician sönümlmeli ($K=10$) kanalda hata başarımları

Rayleigh ve Rician dağılımlı sönülmeye sahip kanallar üzerinde yapılan benzetimlerde alıcı tarafta kanal durum bilgisinin ideal olarak kestirildiği ve eşzamanlamanın ideal olduğu varsayımları yapılmıştır. FFT ve IFFT tabanlı 128 olarak seçilmiştir. Benzetim ile sözkonusu kodların değişik işaret-gürültü oranlarında Rayleigh ve Rician sönümlenmeli kanallarda bit hata olasılıkları elde edilmiştir. Kodlanmamış, 1/2 oranlı kodlanmış ve 2/3 oranlı kodlanmış MSK kodlarının Rayleigh sönümlenmeli kanaldaki hata başarımları Şekil 8'de, Rician sönümlenmeli kanaldaki hata başarımları ise Şekil 9'da verilmiştir.

Benzetim sonuçları incelendiğinde Rayleigh ve Rician kanallarda kodlanmamış MSK göre Bölüm 3'te önerilen kodların oldukça yüksek bir hata başarımlarına sahip oldukları görülebilir. Bunun başlıca nedeni, zaman-seçici sönümlenmeli kanallar için verilen ölçütlerin kodlama yaparak iyileştirilmesidir.

Rayleigh sönümlenmeli kanalda, 10^{-5} bit hata olasılığına ulaşmak için kodlanmamış MSK kullanılması durumunda yaklaşık 24dB işaret-gürültü oranına gereksinim duyulurken, kodlayıcı oranından özveride bulunularak elde edilen çoklu kodlanmış MSK için bu değer 12-16 dB aralığında değişmektedir.

Rician sönümlenmeli kanalda ise, yine 10^{-5} bit hata olasılığına ulaşmak için kodlanmamış MSK için 12 dB işaret-gürültü oranı gerekirken, kodlama sonucunda bu değer de 7-9 dB değerlerine inmiştir.

Benzetim sonuçlarından da görüldüğü gibi kodlayıcı oranı arttıkça kodun ulaşabileceği hata başarımları da düşmektedir. Böyle bir sistem tasarlanırken istenen veri hızı ile hata başarımları birlikte gözönünde tutularak bir denge noktasına ulaşılmalıdır.

5 Sonuç

Bu bildiride ortogonal frekans bölmeli çoğullama ile çoklu kafes kodlu MSK birleştirilmiş ve frekans-seçici sönümlenmeli kanallar üzerinden iletişime uygun bir sistem önerilmiştir. Kullanılan FFT ve IFFT nedeniyle kanalın frekans-seçicilikten zaman-seçiciliğe dönüşmesi ile oluşan yeni hata başarımları ölçütleri gözönüne alınarak çeşitli MSK kodları tasarlanmış, bilgisayar benzetimleri yardımıyla hata başarımları incelenmiştir.

Kaynakça

- [1]. Cimini L.J., Jr., "Analysis and simulation of a Digital Mobile Channel Using Orthogonal Frequency Division Multiplexing", *IEEE Transactions on Communications*, Vol.33, No.7, ss.665-675, Temmuz 1985.
- [2]. L. Litwin, "OFDM An Introduction to Multicarrier Modulation", *IEEE Potentials*, ss. 36-38, Nisan-Mayıs 2000.
- [3]. Harada M., Yamazato T. Katayama M. Ogawa A., "OFDM systems with multiple Trellis Coded Modulation", *The 11th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, Vol.2, ss.814-818, 2000 .
- [4]. D. Agrawal, V. Tarokh, A. Naguib, N. Seshadri, "Space-Time Coded OFDM for High Data-Rate Wireless Communication Over Wideband Channels", *Vehicular Technology Conference 1998*, ss. 2232-2236.
- [5]. D.L. Goeckel, G. Ananthaswamy, "On the Design of Multidimensional Signal Sets for OFDM Systems", *IEEE Transactions on Communications* dergisine gönderilmiş, Mart 2000 .