

# Sayısal modülasyonlu haberleşme işaretlerinden Wigner-Ville zaman-frekans dağılımlarına dayalı öznitelik çıkarımı

**Abdulkadir ŞENGÜR\***

Fırat Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Bölümü, Elazığ

## Özet

*Bir haberleşme işaretinin modülasyon türünü otomatik olarak algılayabilen sistemlerin önemi gittikçe artmaktadır. Bu sistemler genellikle askeri ve/veya sivil amaçlı olarak geliştirilmektedirler. Elektronik savaş en önemli askeri uygulama alanı olurken, izge yönetimi, işaret onaylama, girişim tespit etme, engelleme ve son zamanlarda oldukça önemli bir uygulama alanı olan internet radyoları ise sivil amaçlı gerçekleştirilen uygulamalardandır. Literatürde, haberleşme işaretlerinin otomatik algılanması için genellikle analitik zaman ve/veya frekans bölgesi işaret işleme teknikleri kullanılır. Fakat haberleşme işaretleri gürültünün etkisiyle durağan olmayan bir yapıdadırlar ve dolayısıyla geleneksel analitik zaman ve/veya frekans bölgesi işaret işleme teknikleriyle elde edilen özniteliklerle yeterince karakterize edilemezler ve teorik karar yöntemleriyle de yeterince doğru sınıflandırılmazlar. Ye ve Wenbo, sayısal modülasyonlu işaretlerin zaman-frekans dağılımlarına bağlı öznitelikleriyle yapay sinir ağlarını sınıflandırıcısı kullanarak düşük SNR'lerde bile dayanıklı bir sistem önermiştir (Ye ve Wenbo, 2007). Çalışma, Wignnet-Ville ve çapraz Margenau-Hill zaman-frekans dağılımını kullanarak ASK-2, ASK-4, FSK-2, FSK-4, PSK-2 ve PSK-4 işaretlerini karakterize edecek öznitelikleri elde etmiştir. Oysaki sadece Wigner-Ville zaman frekans dağılımı kullanılarak da aynı sayısal modülasyon işaretlerini karakterize edecek öznitelikler elde edilebilir. Dolayısıyla, bu çalışmada, sayısal modülasyonlu haberleşme işaretlerinin otomatik sınıflandırılmasına yönelik zaman-frekans dağılımlarına dayalı öznitelik çıkarımı amaçlanmıştır. Sayısal modülasyonlardan ASK-2, ASK-4, FSK-2, FSK-4, PSK-2 ve PSK-4 işaretlerinin Wigner-Ville zaman frekans dağılımlarının zamana göre marjinalleri, yine Wigner-Ville dağılımlarının frekanssa göre birinci momentleri öznitelik çıkarımında kullanılmıştır. Bilgisayar benzetimleriyle Wigner-Ville zaman-frekans dağılımına dayalı özniteliklerin sayısal modülasyonlu haberleşme işaretlerini yeterince karakterize ettiği görülmüştür.*

**Anahtar Kelimeler:** Sayısal modülasyonlar, zaman-frekans dağılımları, öznitelik çıkarımı, Wigner-Ville dağılımı.

\*Yazışmaların yapılacağı yazar: Abdülkadir ŞENGÜR. ksengur@gmail.com.

Makale metni 04.03.2009 tarihinde dergiye ulaşmış, 24.05.2010 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 30.06.2011 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Bu makaleye "Şengür, A., (2011) 'Sayısal modülasyonlu haberleşme işaretlerinden Wigner-Ville zaman-frekans dağılımlarına dayalı öznitelik çıkarımı', İTÜ Dergisi/D Mühendislik, 10: 1, 3-10" şeklinde atıf yapabilirsiniz.

## Wigner-Ville time-frequency distributions based feature extraction for digital modulated communication signals

### Extended abstract

Signal identification/classification is a process that is based on feature extraction from the signal of interest. Interest in communication signal classification algorithms has increased with the emergence of new communication technologies. Automatic classification of the digital modulation type of an intercepted signal is a rapidly evolving field. Its applications include both military and civilian purposes such as electronic warfare, spectrum management, and signal confirmation and interference identification. Several methods have been proposed helpfully explored the classification of digitally modulated signals in literacy. Most of them use the analytic signal representation to calculate the time domain or frequency domain features that are classified by the decision theoretic classifier. When traveling in a wireless channel, communication signals are corrupted by noise, and are generally non stationary and time-varying. The time domain features or frequency domain features extracted intuitively can not describe the non stationarity of communication signals, and the threshold values of a decision theoretic classifier cannot be chosen adaptively. Considering that real communication signals corrupted by noise are generally non stationary, and time frequency distributions are especially suitable for the analysis of non stationary signals, time-frequency distributions are introduced for the modulation classification of communication signals. Thus, Ye and Wenbo proposed Wigner-Ville and cross Margenau-Hill distribution based features for efficient characterization of the MASK, MPSK and MFSK signals where  $M$  is limited to 2 and 4. (Ye and Wenbo, 2007). Moreover, they employed a multilayer perceptron (MLP) classifier as the robust classifier. They concluded that the MLP classifier with time-frequency features improves the probability of correct classification in a noisy environment. In this work, we demonstrated that only Wigner-Ville time-frequency distribution based features can be used to characterize the MASK, MFSK and MPSK digital modulations. As we aforementioned that Ye and Wembo (2007) used both Wigner-Ville and cross Margenau-Hill distribution based features for characterization of the MASK, MPSK and MFSK signals. Here, we limited our works to feature extraction. As we know that features are key in pattern classification and features carry distinctive information about the digi-

tal modulation types and allow the classifier to work with smaller datasets. Thus, a feature extraction mechanism is carried out based on Wigner-Ville time-frequency distribution and no classification schema is indented in this study. We proposed three key features for identification of the MASK, MPSK and MFSK signals. The first key feature is the marginals of Wigner-Ville time frequency distribution with respect to time. The marginals of Wigner-Ville time frequency distribution for MFSK and MPSK signals are constants, whereas, those of MASK signals are multistep functions, after removing the peaks by median filtering. This feature can be used to discriminate between MASK signals and MPSK and MFSK. The second key feature is the first moment of the Wigner-Ville time frequency distribution, with respect to frequency. The first moments of Wigner-Ville distribution for MASK and MPSK signals are constants, whereas, those of MFSK signals are multistep functions, after removing the peaks by median filtering. Thus, this feature can be used to discriminate between MFSK signals and MPSK and MASK. The third key feature is used to discriminate between MPSK signals and MASK and MFSK. The instantaneous frequency of the Wigner-Ville distribution of MPSK signals has peaks at phase changes. If median filtering is not applied to the instantaneous frequency of the Wigner-Ville distribution of the MPSK signals, these peaks, which occur in the phase changes, provide useful information for MPSK signals. The computer simulations of the proposed Wigner-Ville time frequency distribution based feature extraction mechanism are carried out by using MATLAB. The digital modulations were simulated according to the following parameters; Sample numbers of message signal 1000 samples Sampling frequency, 25 KHz Carrier frequency, 10 KHz and Baud rate 300 baud. The message signal is generated by using random integer up to  $M = 8$  level. Then, this message signal is re-sampled at baud rate (300 baud) for pulse shaping before passing through respective modulators. The robustness of the proposed feature extraction schema is tested with 15 dB SNR rate. Based on the computer simulations, it is seen that the features based on the Wigner-Ville time frequency distributions are well enough to characterize the digital modulations. In conclusions, we intended to extract features for characterization of digital modulation signals. We did not utilize any classification process for performance evaluation. Performance evaluation of different classifiers will be considered in our future works.

**Keywords:** Digital modulations, time-frequency distributions, feature extraction, Wigner-Ville distribution.

## Giriş

Bir haberleşme işaretinin sayısal modülasyon türünü otomatik olarak bulmayı sağlayan sistemler her geçen gün artmaktadır. Bu sistemler genellikle askeri amaçlı veya sivil amaçlı olarak geliştirilmektedir. Elektronik savaş en önemli askeri uygulama alanı olurken, izge yönetimi, işaret onaylama, girişim tespit etme ve engelleme ve son zamanlarda oldukça önemli bir uygulama alanı olan internet radyoları ise sivil amaçlı gerçekleştirilen uygulamalardandır (Azzouz ve Nandi, 1996).

Geçmiş yıllarda, bir haberleşme işaretinin modülasyon türünü otomatik olarak belirleyebilen çok sayıda yaklaşım önerilmiştir (Guldemir ve Sengur, 2006, 2007; Mobasseri, 2000, Wong ve Nandi, 2004). Bu yaklaşımların çoğunda, zaman ve/veya frekans bölgesi analitik işaret işleme teknikleri ile öznelilik vektörü oluşturulmuş ve teorik karar yöntemleri ile sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiştir (Azzouz ve Nandi, 1996). Fakat kablosuz bir ortamda iletilen haberleşme işaretleri gürültünün etkisiyle durağan olmayan bir yapıdadırlar ve dolayısıyla geleneksel zaman ve/veya frekans bölgesi işaret işleme teknikleri ile elde edilen öznelilikler ile yeterince karakterize edilemezler ve teorik karar yöntemleri ile de yeterince doğru sınıflandırılmazlar. Böylece, kablosuz bir ortamda bulunan haberleşme işaretlerinin hem zaman hem de frekans bölgesinde incelenmesi gerekmektedir (Ye ve Wenbo, 2007).

Literatürde zaman-frekans analizi kullanılarak otomatik sayısal modülasyon tanıma uygulamaları mevcuttur. Lin ve Kuo (1994), MPSK (M-seviye faz kaydırmalı anahtarlama) işaretlerini sınıflandırmak için Morlet dalgacığını kullanmıştır. Çalışma, MPSK işaretlerindeki faz değişimlerinin tespit etmek için Dalgacık Dönüşümü (DD) ve sınıflandırma için de maksimum olabirlik yaklaşımı kullanmıştır. Hong ve Ho (1999), Haar DD ve istatistiksel karar teorisi ile beyaz Gauss gürültüsü ile bozulmuş MPSK, MFSK (M-seviye frekans kaydırmalı anahtarlama) ve MQAM (M-seviye dördün genlik modülasyonu) işaretlerini sınıflandırmıştır. Ye ve Wenbo (2007), sayısal modülasyonlu işaretlerin

zaman-frekans dağılımlarına bağlı öznelilikleri ile yapay sinir ağlarını sınıflandırıcısı kullanarak düşük SNR'de bile dayanıklı bir sistem önermiştir. Önerilen sistem Wigner-Ville zaman-frekans dağılım ile Margenau-Hill zaman-frekans dağılımı özneliliklerini kullanmaktadır. Zhou ve Wu (2006), MFSK işaretlerinin otomatik sınıflandırılması için DD ve kümeleme analizi önermiştir. FSK işaretlerinin DD genliği ile yeni bir kümeleme yöntemi olan çıkarımcı bulanık c-ortalama yaklaşımı kullanılmıştır.

Bu çalışmada, sayısal modülasyonlu haberleşme işaretlerinin otomatik sınıflandırılmasına yönelik zaman-frekans dağılımlarına dayalı öznelilik çıkarımı amaçlanmıştır. Zaman-frekans analizi için Wigner-Ville dağılımı kullanılmıştır. Sayısal haberleşme işaretlerinden ASK-2, ASK-4, FSK-2, FSK-4, PSK-2 ve PSK-4 işaretlerinin Wigner-Ville zaman frekans dağılımlarının zamana göre marjinaleri, yine Wigner-Ville dağılımlarının frekansa göre birinci momentleri (anlık frekansları) ve ayrıca PSK-2 ve PSK-4 işaretleri için anlık frekansta meydana gelen pikler kullanılmıştır. Yapılan uygulamalarda Wigner-Ville dağılımının sayısal modülasyonlu haberleşme işaretlerini yeterince karakterize ettiği görülmüştür.

## Öznelilik çıkarımı

### Wigner-Ville dağılımının zamana göre marjinali

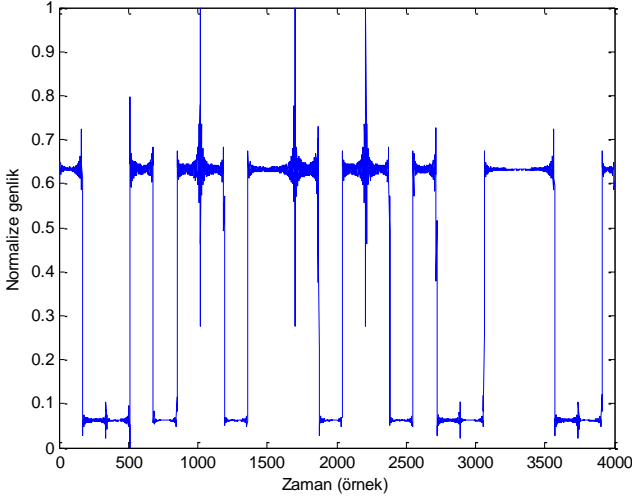
Bir  $s(t)$  işaretinin Wigner-Ville dağılımı (WVD) aşağıdaki gibi tanımlanır;

$$WV_s(t, f) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t + \frac{\tau}{2})s^*(t - \frac{\tau}{2})e^{-j2\pi f\tau} d\tau \quad (1)$$

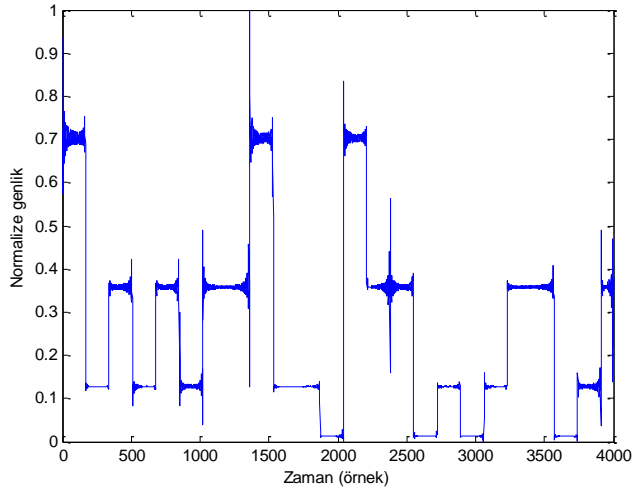
WV dağılımının zamana göre marjinali ise aşağıdaki gibi tanımlanır;

$$m_f(t) = \int_{-\infty}^{\infty} WV_s(t, f)df \quad (2)$$

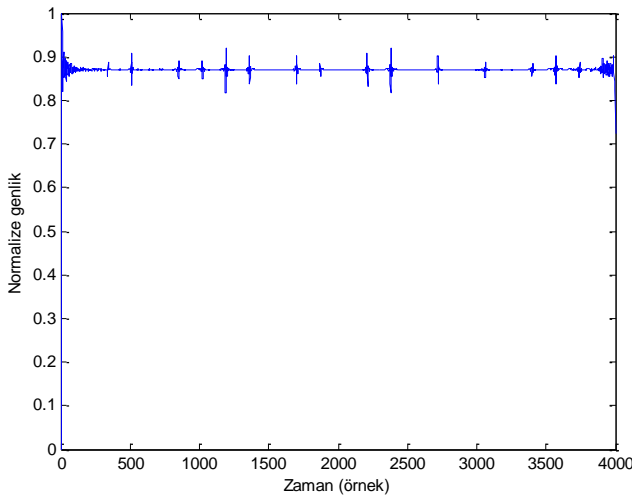
ASK-2, ASK-4, FSK ve PSK işaretlerinin WV dağılımının zamana göre marjinaleri Şekil1-4'te sırası ile gösterilmiştir.



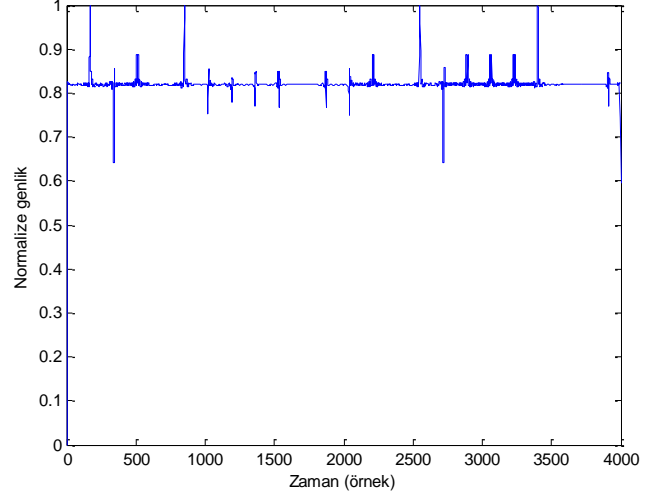
Şekil 1. ASK-2'nin WV dağılımı zaman marjinali



Şekil 2. ASK-4'ün WV dağılımı zaman marjinali



Şekil 3. FSK için WV dağılımı zaman marjinali



Şekil 4. PSK için WV dağılımı zaman marjinali

Şekil 1-4'ten görüleceği gibi medyan filtreleme- den sonra PSK ve FSK işaretlerinin WV dağılı- mının zamana göre marjinaleri sabit bir fonksi- yon iken, ASK modülasyonu için bu işaret çok adımlı bir fonksiyondur. Böylece ilk öznitelik aşağıdaki gibi tanımlanır (Ye ve Wenbo, 2007);

$$ma_f = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| m_f(i) - \sum_{j=1}^N m_f(j) \right| \quad (3)$$

$m_f$ , ASK işaretlerinin FSK ve PSK işaretlerden ayırt edilmesi için kullanılırken, ASK-2 ve ASK-4 işaretlerinin birbirinden ayırt edilmesi için aşağıda tanımlanan ikinci öznitelik kullanılmıştır.

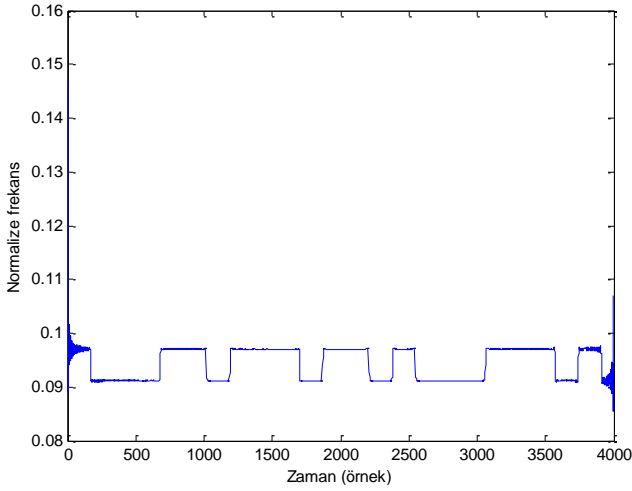
$$\sigma_f = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left[ m_f(i) - \sum_{j=1}^N m_f(j) \right]^2 - (ma_f)^2} \quad (4)$$

### Wigner-Ville dağılımının birinci momenti (Anlık Frekans)

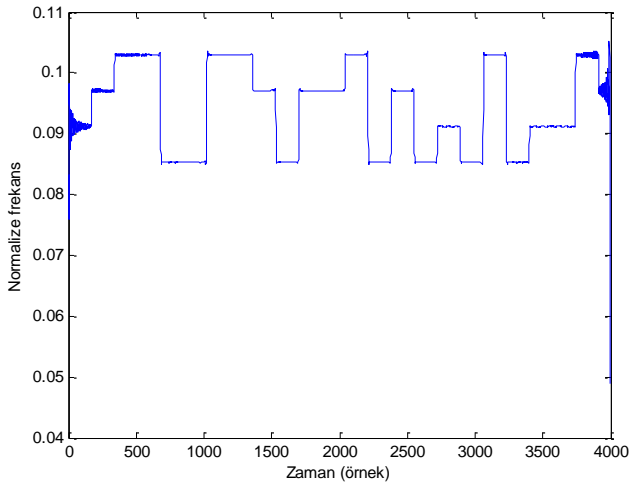
Wigner-Ville dağılımının frekansa göre birinci momenti anlık frekans olarak adlandırılır ve aşağıdaki gibi ifade edilir (Ye ve Wenbo, 2007);

$$f_a(t) = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} f WV_s(t, f) df}{\int_{-\infty}^{\infty} WV_s(t, f) df} \quad (5)$$

Medyan filtrelemeden sonra FSK-2 ve FSK-4 işaretlerinin anlık frekansları çok adımlı bir fonksiyon iken ASK ve PSK işaretlerinin anlık frekansları sabit bir fonksiyondur. Şekil 5-8'de sırası ile FSK-2, FSK-4, ASK ve PSK işaretlerinin anlık frekansları verilmiştir.



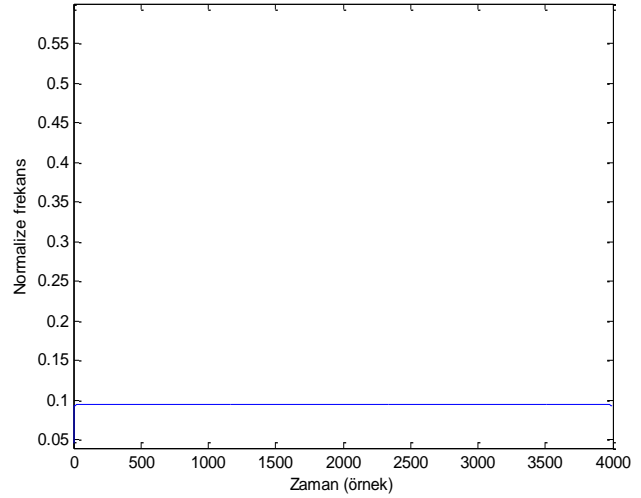
Şekil 5. FSK-2 için anlık frekans



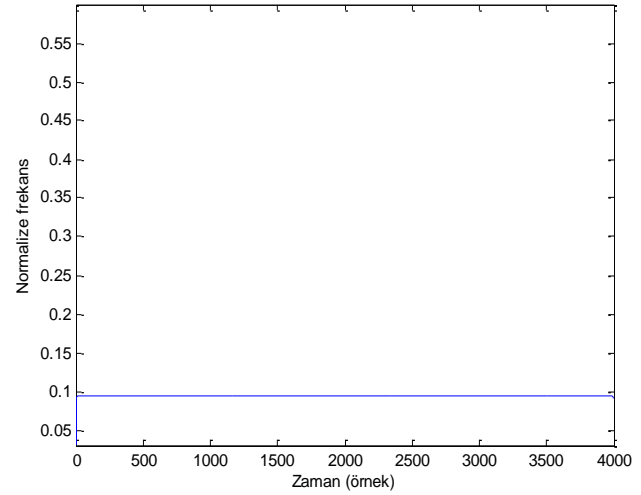
Şekil 6. FSK-4 için anlık frekans

Yine Denklem 3 ve 4 kullanılarak her bir sayısal modülasyon için anlık frekans öznelikleri hesaplanmaktadır. PSK-2 ve PSK-4 işaretlerini karakterize etmek için yine Wigner-Ville zaman-frekans dağılımının frekansa göre birinci momenti yani anlık frekans kullanılmıştır. Daha önce de belirtildiği gibi medyan filtrelemeden sonra FSK işaretleri için anlık frekans çok adımlı bir fonksiyon iken, PSK ve ASK işaretleri için

anlık frekans medyan filtreleme uygulandıktan sonra sabit bir fonksiyon olmaktadır.

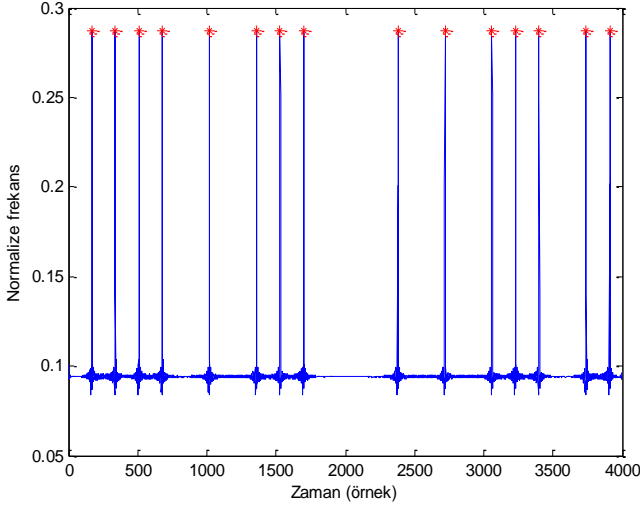


Şekil 7. PSK için anlık frekans

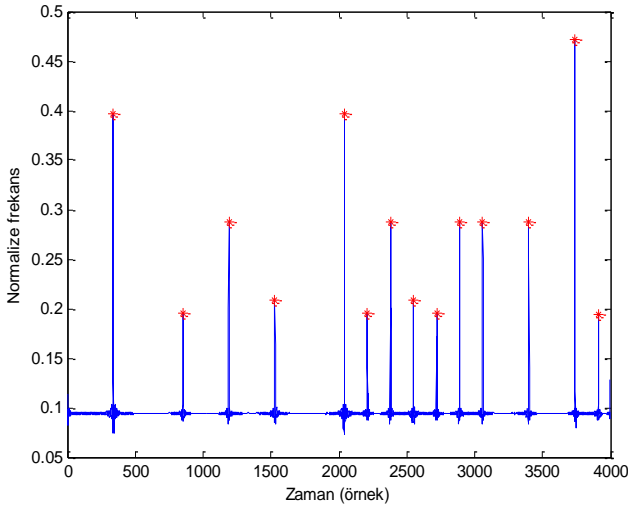


Şekil 8. ASK için anlık frekans

PSK işaretlerinin anlık frekanslarına medyan filtreleme uygulanmadığı takdirde her faz değiştiği anda anlık frekansta bir pik oluşmakta ve bu piklerin normalize frekans değerleri PSK modülasyon türü için önemli bilgiler sunmaktadır. Bu durum sırası ile Şekil 9-10'da gösterilmiştir. PSK-2 işareti, medyan filtrelenmemiş anlık frekans için sabit frekans değerinde pik üretirken, PSK-4 işareti değişken frekans değerlerinde pikler üretmektedir. Eğer elde edilen pik değerlerine Denklem 4 uygulanırsa, PSK-2 ve PSK-4 için ayırt edici bir değer elde edilecektir.



Şekil 9. PSK-2 için anlık frekans

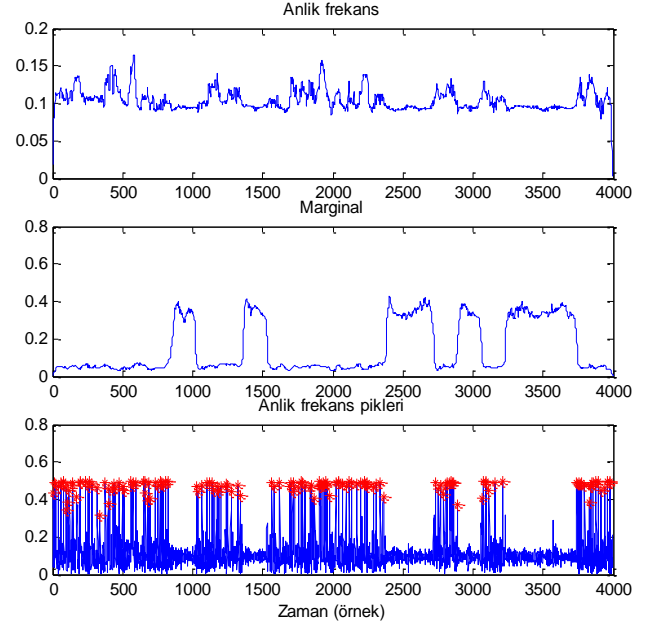


Şekil 10. PSK-4 için anlık frekans

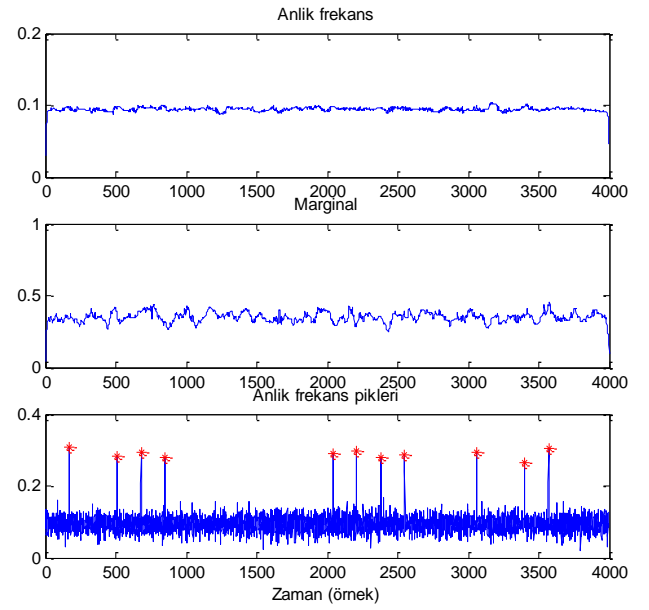
### Gürültüye karşı duyarlılık

Sayısal haberleşme işaretlerinin kablosuz bir ortamda iletimi sırasında oluşabilecek gürültülerin öznelilik çıkarımına etkisi bu bölümde incelenmiştir. Daha önceki bölümde verilen öznelilikler her bir sayısal modülasyon türünü diğerlerinden ayırt etmek için kullanılmıştı. Bu çalışmada kullanılan sayısal haberleşme işaretlerine tek SNR (15dB) değerinde beyaz gürültü eklenerek, özneliliklerin gürültüye karşı duyarlılıkları incelenmiştir.

Şekil 11-13'te sırası ile ASK-2, PSK-2 ve FSK-4 için SNR 15dB için öznelilikler gösterilmiştir.



Şekil 11. ASK-2 için 15dB SNR için öznelilikler

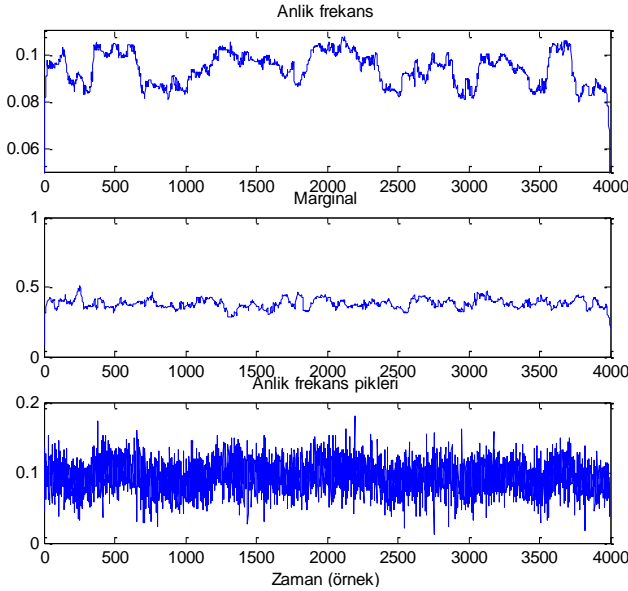


Şekil 12. PSK-2 için 15dB SNR için öznelilikler

### Sonuçlar ve tartışma

Bu çalışmada sayısal modülasyonlu haberleşme işaretlerinin otomatik sınıflandırılmasına yönelik, Wigner-Ville zaman-frekans dağılımına dayalı öznelilik çıkarımı gerçekleştirilmiştir. Önerilen öznelilikler, Wigner-Ville dağılımının zamana bağlı marjinali ve Wigner-Ville dağılımının

frekansa bağlı birinci momentidir (anlık frekans). Bilgisayar benzetimleri için MATLAB programı kullanılmıştır. Sayısal modülasyonların benzetimi için kullanılan parametreler ise şöyledir: Bilgi işareti 1000 örnekten oluşmakta, örnekleme frekansı 25 Khz, taşıyıcı frekansı, 10 Khz ve Baud oranı ise 300'dür.



Şekil 13. FSK-4 için 15dB SNR için öznitelikler

ASK-2 ve ASK-4 işaretlerinin Wigner-Ville dağılımının zamana göre marjinali medyan filtrelemeden sonra çok adımlı bir fonksiyonken, FSK ve PSK işaretlerinin marjinali medyan filtrelemeden sonra sabit bir değerdir. Bu özellik ASK işaretlerini bir guruba ayırırken FSK ve PSK işaretlerini ayrı bir gurup olarak gösterir. Wigner-Ville dağılımının frekansa göre birinci momenti anlık frekans olarak adlandırılır ve FSK işaretlerinin anlık frekansı çok adımlı bir fonksiyonken, PSK ve ASK işaretlerinin anlık frekansları medyan filtrelemeden sonra sabittir. Anlık frekansın bu özelliği FSK işaretlerini diğer işaretlerden ayırır. Diğer taraftan PSK işaretlerinin anlık frekansı, medyan filtreleme uygulanmamışsa Şekil 9-10'da gösterildiği gibi her PSK işaretinin her faz değişimi için oluşan pikleri barındırır. İşte oluşan bu piklerin anlık frekansları PSK-2 için sabit iken, PSK-4 işaretleri için değişkendir. Bu özellik PSK-2 ile PSK-4 işaretlerinin birbirinden ayrıştırılması için kullanılır. Fakat burada önemli bir nokta, ASK işa-

retlerinin de anlık frekanslarının pikli bir yapıda olmasıdır. Ancak ASK işaretlerinin marjinali çok adımlı bir yapı gösterdiğinden bu özelliği ile bir önceki öznitelik ile PSK ve FSK işaretlerinden ayrılmıştır.

Diğer taraftan sayısal haberleşme işaretlerinin Wigner-Ville zaman frekans dağılımına dayalı özniteliklerinin beyaz gürültüye karşı duyarlılığı incelenmiştir. Böylece sayısal modülasyonlu işaretlere 15dB SNR değerinde beyaz gürültü eklenerek, özniteliklerin nasıl değiştiği ilgili şekillerde gösterilmiştir. Gürültülü FSK işaretlerinin anlık frekansı bozulsada yine çok adımlı bir yapı göstermekte, sabit olan marjinali de yine sabit yapısını korumuştur. En fazla medyan filtreleme uygulanmayan anlık frekans, gürültüden etkilenmektedir. PSK işaretleri için yine sabit olan marjinal ve anlık frekans gürültüden çok etkilenmemekle birlikte filtrelenmeyen anlık frekansta da istenmeyen pikler oluşmaktadır. Bu sorunun giderilmesi için belli bir eşik değerinin üzerindeki pikler seçilmektedir.

## Kaynaklar

- Azzouz, E.E. ve Nandi, A.K., (1996). Automatic modulation recognition of communication signals, *Kluwer Academic Publishers*, London.
- Guldemir, H. ve Sengur, A., (2006). Comparison of clustering algorithms for analog modulation classification, *Expert Systems with Applications*, **30**, 642-649.
- Guldemir, H. ve Sengur, A., (2007). Online modulation recognition of analog communication signals using neural network, *Expert Systems with Applications*, **33**, 206-214.
- Hong, L. ve Ho, K.C., (1999). Identification of digital modulation types using the wavelet transform, *Proceedings, IEEE Military Communications Conference (MILCOM '99)*, **1**, 250-254.
- Lin, Y.C. ve Kuo, C.C., (1994). Modulation classification using wavelet transform, *Wavelet Applications in Signal and Image Processing II, of Proceedings of SPIE Proceedings of SPIE*, 260-271, San Diego, Calif, USA.
- Mobasseri, B G., (2000). Digital modulation classification using constellation shape, *Signal Processing*, **80**, 2, 251-277.
- Wong, M.L.D. ve Nandi, A.K., (2004). Automatic digital modulation recognition using artificial

- neural network and genetic algorithm, *Signal Processing*, **84**, 2, 351-365.
- Ye, Y. ve Wenbo, M., (2007). Digital modulation classification using multi-layer perceptron and time-frequency features, *Journal of Systems Engineering and Electronics*, **18**, 249-254.
- Zhou, X. ve Wu, Y., (2006). Automatic classification of MFSK signals by the wavelet transforms communications and networking in China, *ChinaCom apos; 06. First International Conference*, 1-5.