

YANKI ÇÖZÜNÜRLÜĞÜNÜ ARTIRMAK İÇİN PRONY YÖNTEMİNİN KULLANILMASI

Gaye Yeşim TAFLAN¹, Hülya GÖKALP²

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kurupelit, Samsun
¹gtaflan@omu.edu.tr, ²hgokalp@omu.edu.tr

Anahtar Kelimeler: Prony, ARMA modelleme, FFT, tayf kestirimi

ÖZET

Bu çalışmada, radyo kanal yankı profilinde çözünürlüğü artırmak için parametrik yöntemlerden biri olan ARMA benzeri özellik gösteren Prony yöntemi kullanıldı. Prony yöntemi ile yankı çözünürlüğünde yaklaşık 2 katlık bir iyileşme gözlemlendi. Özellikle bant içi girişimin olduğu durumlarda, Prony yöntemi ile elde edilen tayfın, yankı profili hakkında daha ayrıntılı bilgi verdiği görüldü.

1. GİRİŞ

Teknolojideki ilerlemeler ve kullanıcıların daha geniş bant gerektiren hizmetlere olan talebinin artması ile geniş bantlı telsiz haberleşme sistemleri yaygınlaşmaya başlamıştır. Buna bağlı olarak, radyo kanalı özelliklerinin daha geniş bantlar için çıkartılması gerekmektedir. Bu nedenle giderek artan bant genişlikleri için kanal sondalama ölçümleri yapılmıştır [1]. Radyo kanalı yayılım özelliklerini belirlemeye yönelik bu ölçümlerde, bant genişliği arttıkça yankı çözünürlüğü iyileştiği için kanal ile ilgili daha ayrıntılı bilgi elde edilebilmektedir. Yüksek çözünürlük sağlayan tayf kestirim yöntemleri kullanılarak kanal verileri ölçüm yapılan banttan daha geniş bir banda ilişkin veriler gibi kullanılabilir [2].

[2]'deki çalışmada 31.25 Mhz'lik bant genişliğinde elde edilen kanal verilerinden Prony yöntemi kullanılarak elde edilen yankı profilinden hesaplanan tutarlı bant genişliklerinin 200MHz'e kadar çıktığı belirtilmiştir. Bu ise, yankı çözünürlüğünde yaklaşık 6 kat iyileşme ya da ölçümlerin sanki 200MHz'den daha geniş bir bant için yapılmış gibi kullanılabileceği anlamına gelebilir. Ancak, genelde çalışmalarda çözünürlükteki iyileşmenin 1.5-2 kat arasında değiştiği belirtilmiştir [3].

Bu çalışmada, Prony yönteminin yankı çözünürlüğünü iyileştirmedeki başarımını incelemek amacıyla sürekli dalga frekans modülasyonu (SDFM) kanal sonda cihazı ile 1920-1980MHz aralığında elde edilen kanal verileri kullanıldı. SDFM kanal verileri ile değişen frekans aralıkları (bant genişlikleri) için kanal özellikleri elde edilebilmektedir [4]. Bu özellik, yankı çözünürlüğünde k kat iyileşme sağlayan Prony yöntemi ile elde edilen tayfın doğruluğunu sınamamızı sağlar; Prony yöntemi ile belli bir bant

genişliği için elde edilen yankı profili, FFT ile k kat daha geniş bant için elde edilen yankı profili ile benzerlidir.

Bu çalışmada, 2. bölümde radyo kanalı ölçümleri ve SDFM hakkında bilgi verildikten sonra, 3. bölümde Prony yöntemi açıklandı. 4. bölümde verilerin işlenmesi ve 5. bölümde veriler kullanılarak elde edilen bulgular ve 6. bölümde ise sonuç kısmı yer almaktadır.

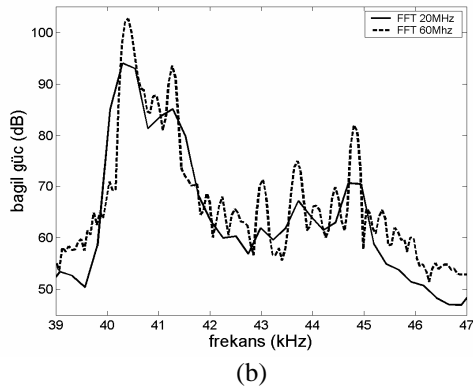
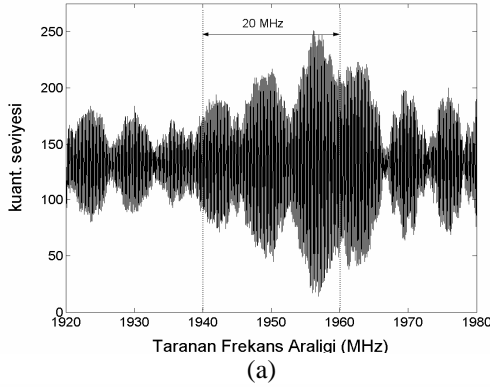
2. RADYO KANALI ÖLÇÜMLERİ

Radyo kanalı ölçümlerinde, sürekli dalga frekans modülasyonu kullanıldı. Ölçümler, Manchester kent merkezinde 5km'ye varan alıcı-verici uzaklıkları için gerçekleştirildi [4]. 1920-1980MHz frekans aralığı, 100Hz veya 250Hz tarama sıklıklarında 1s süresince tarandı. Alıcı ve verici anten yükseklikleri sırasıyla 2.5m ve 46m'dir. Kullanılan antenler, dik kutuplanmalı yönsüz antenlerdir. Ölçüm sistemine ve ölçümlere ilişkin ayrıntılı bilgi [4]'te bulunabilir.

Sürekli dalga frekans modülasyonunda, ölçüm yapılan frekans aralığı zamanda doğrusal olarak taranır. Bu yöntemde algılayıcı çıkışı, farklı frekansta sinüslerin toplamı biçimindedir. Bu sinüslerin frekansı, yankı gecikmelerine; genlikleri ise yankı genliklerine karşılık gelir. Dolayısı ile algılayıcı çıkışındaki sinyalin tayf analizi yapılarak kanalın yankı profili bulunabilir.

Yankı profilindeki, yankı gecikme çözünürlüğü taranan bant genişliğinin tersi ile orantılıdır. 60MHz için olan verilerin hepsi kullanıldığında yankı gecikme çözünürlüğü yaklaşık 16ns'dir ve karşılık gelen uzaysal çözünürlük $16ns \times 3 \times 10^8 = 4.8m$ olarak bulunur. Kanal sonda cihazından tek bir tarama için alınan veri şekil 1.a'da gösterilmiştir. Eğer sadece ortadaki 20MHz'lik kısma ilişkin veriler kullanılsaydı (şekil 1.a), bu kez yankı gecikme çözünürlüğü üç kat kötüleşerek $1/20MHz = 50ns$ olur. Uzaysal çözünürlük ise, 150m'dir. Şekil 1.b'de ise algılayıcı çıkışında 20MHz ve 60MHz'lik bant genişliklerinde elde edilen sinyallerin tayfları verilmiştir. FFT ile elde edilen bu tayflar karşılaştırılırsa, 20MHz'lik kısım için olan yankı profilinde (bütün çizgi), ilk gelen güçlü yankılardan (40-42kHz aralığı) sadece 2 tane çözünebilirken, 60MHz için elde edilen profile

(kesikli çizgi) 3 tane yankı çözünebilmiştir ve 4. yankının varlığı görülebilmektedir.



Şekil 1. Tek taramada elde edilen kanal verisi: a)algılayıcı çıkışının taranan frekanslara karşılık gelen örneklenmiş biçimi b) Algılayıcı çıkışının tayfı

3. PRONY YÖNTEMİ

Prony yönteminde, sinyal modelleme sürecinden geçirilerek işlenir. Bu yöntemde, sinyal belirli sayıda kutup ve sıfır kullanılarak modellenir ve $H(z)$ geçiş işlevi,

$$H(z) = \frac{B(z)}{A(z)} = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + \dots + b_M z^{-M}}{1 + a_1 z^{-1} + \dots + a_N z^{-N}} \quad (1)$$

biçiminde tanımlanır. Burada b_i 'ler pay katsayılarını, a_i 'ler ise payda katsayılarını simgelemektedir ve $H(z)$, $h(n)$ birim vuruş tepkesinin z dönüşümüdür. (1) eşitliğinde ters z dönüşümü alındığında

$$h(n) + a_1 h(n-1) + \dots + a_N h(n-N) = b_0 \delta(n) + b_1 \delta(n-1) + \dots + b_M \delta(n-M) \quad (2)$$

elde edilir ve matris olarak

$$\begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_M \\ \dots \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h(0) & 0 & 0 & \dots & 0 \\ h(1) & h(0) & 0 & \dots & 0 \\ h(2) & h(1) & h(0) & & \\ \vdots & \vdots & & & \\ h(M) & & & & \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & h(M+1) & \vdots & & h(M+1-N) \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ 0 & h(K) & \vdots & & h(K-N) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ \dots \\ a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_N \end{bmatrix} \quad (3)$$

biçiminde yazılabilir. Burada, a_i ve b_i katsayılarını hesaplamak amacıyla, matrisi parçalara ayırırsak, bu bağıntı

$$\begin{bmatrix} b \\ \dots \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_1 & \dots \\ \vdots & H_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ \dots \\ a \end{bmatrix} \quad (4)$$

biçimini alır. O halde, sırasıyla a_i ve b_i katsayıları

$$\begin{aligned} a &= -H_2^{-1} h_3 \\ b &= H_1 a \end{aligned} \quad (5)$$

eşitlikleri çözülerek bulunur.

3.1. Ön Süzgeçlemeli Prony Yöntemi

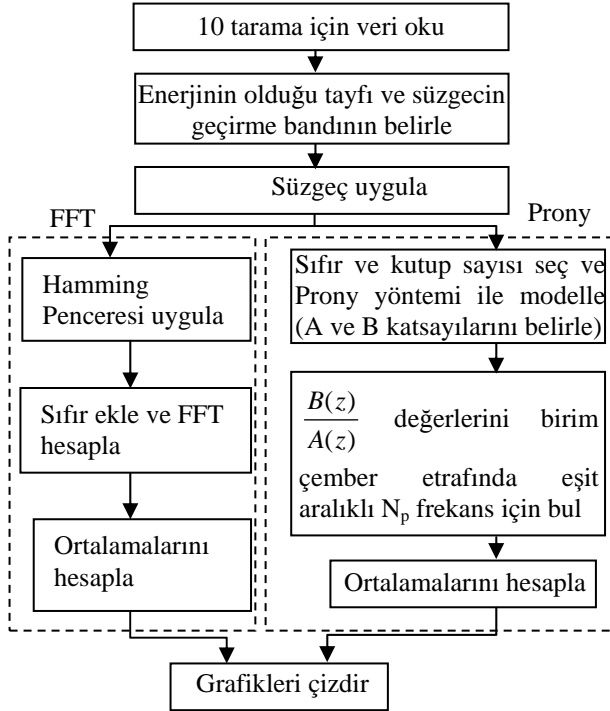
[3]'teki çalışmada, Prony yöntemi uygulanmadan önce sinyal bandının bir FIR süzgeci ile sadece enerjinin olduğu frekans aralığına sınırlamanın Prony yöntemi ile elde edilen tayftaki başarıyı iyileştirdiği gösterilmiştir. Prony yönteminde kullanılan ön süzgeçleme, sinyal bandı dışındaki enerjiyi azaltarak bu frekanslarda oluşabilecek yalancı tepeleri önler. Süzgecin geçirme bandını belirlemek için sinyal tayfı FFT ile bulunur. Sinyal, FIR süzgeçten geçirildikten sonra Prony yöntemi ile tayfı bulunur.

4. VERİLERİN İŞLENMESİ

SDFM yöntemi ile kanal sonda cihazından elde edilen veriler her bir tarama verisi ayrı bir satıra gelecek biçimde bir matrise yazılır. Belirlenen sayıdaki tarama için olan kanal verisi okutulduktan sonra, FFT kullanılarak sinyalin enerjisinin olduğu tayf belirlenir ve bu tayftan yararlanılarak, ön süzgeçleme için kullanılacak olan FIR süzgecin geçirme bandı belirlenir (Şekil 2). Belirlenen geçirme bandı kullanılarak sinyal süzülür. Çözünürlükteki iyileştirmeyi sınamak amacıyla, FFT yöntemi için kullanılan örnek sayısı, Prony yöntemi için kullanılan örnek sayısının 2-4 katı olarak belirlendi.

Prony yönteminde, süzgeçten süzülerek alınan veriler, kutup ve sıfır sayıları seçilerek Prony yöntemi ile modellenir. Bu modelleme sonunda kanal geçiş işlevinin, $H(z) = \frac{B(z)}{A(z)}$, pay ve paydasındaki çok terimlerin katsayıları bulunmuş olur. Daha sonra birim çember etrafında eşit aralıklı N_p frekans noktası için $H(z)$ 'nin değeri bulunur. Her tarama için ayrı ayrı hesaplanan genlik değerlerinden ortalama genlik değeri hesaplanır ve çıkışa aktarılır. Böylece Prony yöntemi ile tayf (ortalama yankı profili) elde edilmiş olur.

FFT yöntemi için tayf incelemesinde ise, tayfsal sınırtıyı azaltmak amacıyla Hamming pencereleme uygulanır. Veri nokta sayısını ikiye katlayacak kadar sıfır eklendikten sonra FFT hesaplanır. Ortalama genlik değerleri hesaplanır ve çıkışa aktarılır. Yankı profili yani sinyalin tayfı hakkında bilgi edinilmiş olur.



Şekil 2. Verilerin işlenmesi sırasında takip edilen adımlar

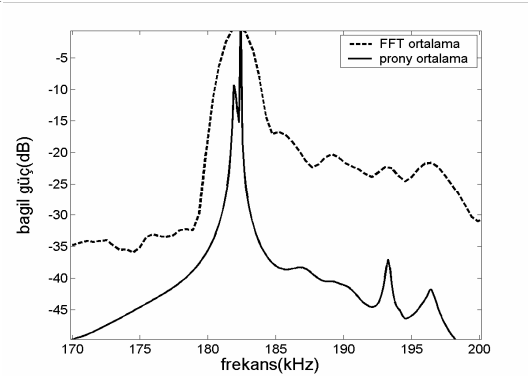
5. BULGULAR

5.1. Yankı Profili İçin Ortalama Alınacak Süre

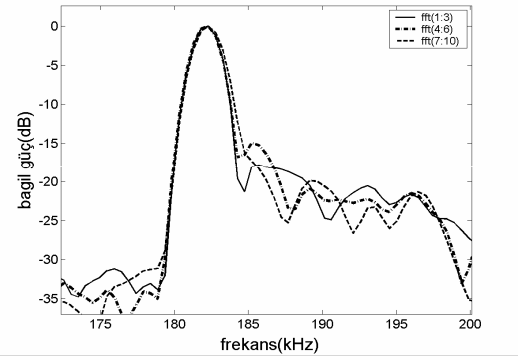
Farklı taramalar için yankı profili genliklerinin ortalamaları alınarak profildeki değişimi azaltılabilir. Bu FFT ile elde edilen tayfta, gürültü tabanını en az 5dB kadar aşağı indirir. Ancak yüksek hareket hızlarında alıcı hareket ettikçe, bazı yankıların alıcıya geliş yolu uzarken bazılarının ise kısalmıştır. Bu ise bir kaynaktan gelen sinyalin, zaman içinde farklı yankı gecikme dilimlerinde belirmesine yol açar. Bunun sonucunda FFT ile elde edilen ortalama yankı profilinde tepeler daha az belirginleşir. Ancak bu durum daha keskin tepeler veren Prony yönteminde dikkat edilmez ise bir yankının sanki birbirine yakın gecikmeleri olan birden fazla yankı gibi algılanmasına yol açar. Bunun nedeni yankı gecikmesinin taramadan taramaya değişmesi sonucu Prony yöntemi ile elde edilen tayfta yankının farklı frekans diliminde (yankı gecikmesi) belirmesine ve ortalamalarının alınması sonucu birbirine yakın birkaç tepe elde edilmesine yol açar. Ancak bu durum daha az tarama alındığında ortaya çıkmaz.

Bu durumu incelemek için, alıcının hareket hızının 27km/saat olduğu bir kanal verisi kullanıldı. FFT ve Prony yöntemlerini kullanarak 10 ardışıl tarama için elde edilen yankı profillerinin ortalaması alındı (Şekil 3). Şekil 3 incelendiğinde, Prony yöntemi ile ana yankı bileşeni için iki tepe ayırt edilirken, FFT yönteminde, 182kHz'de tek bir yankı olduğu görülür. Prony yönteminde iki frekans bileşeninin, FFT yönteminde ise tek bir frekans bileşeninin olması, Prony yönteminde kullanılan derece sayısının fazla

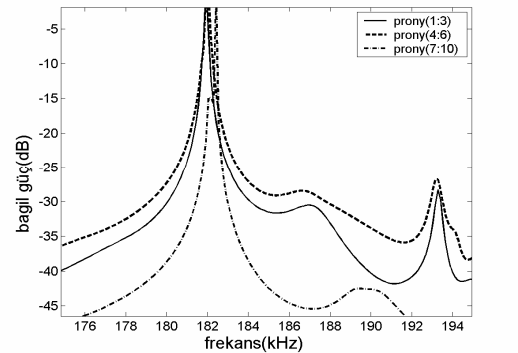
olmasından dolayı ortaya çıkan bir yalancı (sahte) yankı gibi yorumlanabilir veya Prony yöntemi, iyi bir tayf kestirim yöntemi değildir kanısına varılabilir. Ancak bu yorumun doğrulanması için daha az sayıda taramaların ortalamalarının da değerlendirilmesi gerekir. Şekil 4'te üç tarama için FFT ile elde edilen tayflar verilmiştir. Birbirini izleyen zaman dilimleri için olan ortalama tayflarda en yüksek enerjili frekans bileşeni değişmemiştir. Şekil 5'te Prony yöntemi ile taramadan taramaya (zamanla) ana yankının frekansının, dolayısı ile de karşılık geldiği yankı gecikmesinin değiştiği görülmüştür. Oysa bu durum, Şekil 4'te yani FFT ile yapılan incelemede görülmez. Bu Prony yöntemi ile elde edilen tayfta çözünürlüğün daha iyi olmasının, başka deyişle tayfta ana yankıya ait bileşenin daha dar olmasının ve daha keskin bir tepe vermesinin bir sonucudur.



Şekil 3. Prony ve FFT yöntemleri kullanılarak ardışıl 10 taramanın ortalamalarının tayfları



Şekil 4. FFT yöntemi kullanılarak ardışıl taramaların ortalamalarının tayfları



Şekil 5. Prony yöntemi kullanılarak ardışıl taramaların ortalamalarının tayfları

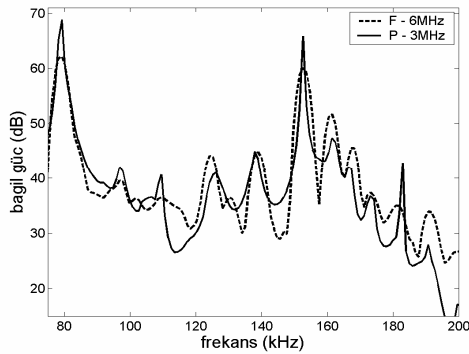
5.2. Çözünürlükteki İyileşme

Prony yöntemi ile çözünürlükte elde edilecek iyileşme farklı yankı yoğunlukları için incelendi. 5.2.1 alt bölümünde, bir orta yankılı kanal için, 5.2.2 alt bölümünde ise az yankılı kanal için inceleme sonuçları verilmiştir.

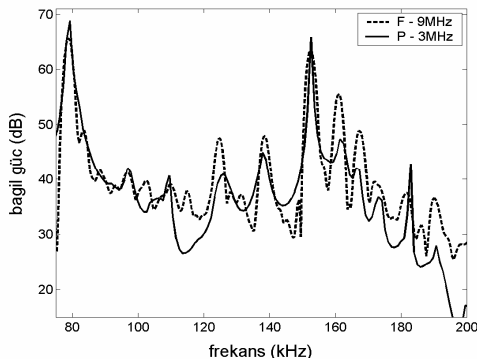
5.2.1. Orta Yankılı Kanal İçin Çözünürlük

Şekil 6'da, 3MHz ve 6 MHz bant genişliğindeki sinyallere sırasıyla Prony ve FFT yöntemleri uygulandığında elde edilen tayflar verilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi her iki yöntemle bulunan tepelerin frekansları benzemektedir. Başka deyişle, Prony yöntemi ile FFT yöntemine göre iki kat daha iyi çözünürlük elde edilmiştir. Ancak, bu iki yöntem ile bulunan frekans bileşenlerinin bağlı güç değerleri birbirleri ile tamamen örtüşmemektedir.

Şekil 7'de 3MHz ve 9 MHz bant genişlikleri için sırasıyla Prony yöntemi ve FFT yöntemi uygulandığında elde edilen tayflar görülmektedir. Burada, Prony yöntemi ile 80-90kHz, 128-135kHz ve 143-150kHz bant aralıklarındaki sinyalleri ayıramamıştır. Bu aralıklardaki sinyallerin genlik seviyeleri maksimum bağlı genlik değerinin 20-30dB altındadır. Prony yönteminin bağlı genliği yüksek olan frekans bileşeninin yanında yer alan zayıf bileşenleri tam olarak ayıramadığı görülmektedir. Çözünemeyen yankıların düşük güçte olduğu göz önünde tutulursa yaklaşık olarak 3 kat çözünürlükte iyileştirme sağladığı söylenebilir.



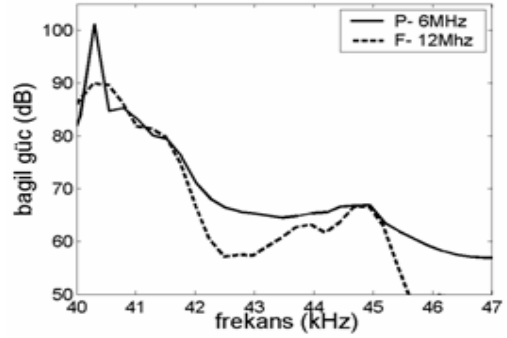
Şekil 6. 3 ve 6MHz bant genişlikleri için sırasıyla Prony ve FFT yöntemleri ile elde edilen tayflar



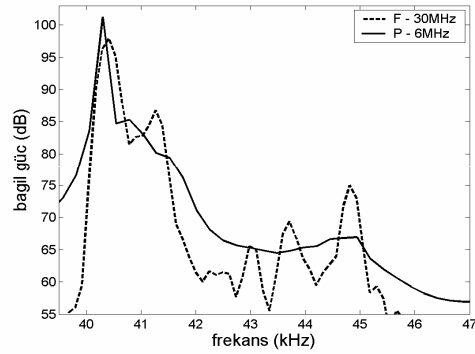
Şekil 7. 3 ve 9MHz bant genişlikleri için sırasıyla Prony ve FFT yöntemleri ile elde edilen tayflar

5.2.2. Az Yankılı Kanal İçin Çözünürlük

Az yankılı kanaldan alınan veriler kullanılarak Prony yöntemi ile 6MHz, ve FFT yöntemi ile 12 ve 30MHz için çözünürlük incelemesi yapıldı. Prony yöntemi ile 6MHz frekans aralığı için çizdirilen tayfta 41kHz'de bulunan bileşen, FFT ile 12MHz için elde edilen tayfta görülmemektedir (Şekil 8). Ancak 30MHz'lik kısım için yapılan incelemelerde (Şekil 9) bu frekans bileşeninin var olduğu görülmektedir. Buradan şu sonuç çıkarılabilir: Sinyal dar bantlı ve frekans bileşeninin güçleri arasındaki fark 15dB'den küçük ise Prony yöntemi ile 4-5 kata yakın iyileşme sağlanabilir.



Şekil 8. 6 ve 12MHz bant genişlikleri için sırasıyla Prony ve FFT yöntemleri ile elde edilen tayflar



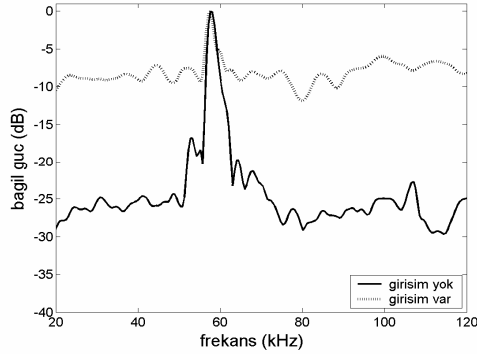
Şekil 9. 6 ve 30MHz bant genişlikleri için sırasıyla Prony ve FFT yöntemleri ile elde edilen tayflar

5.3. Bant İçi Girişim ve Çözünürlük

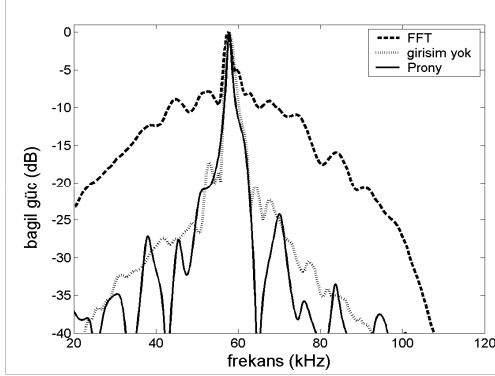
Bant içi girişim sinyalin bir taramasına dışarıdan girişim olması ve belirli zaman aralığının değişmesidir. Şekil 10'da bant içi girişimin olduğu sinyale, FFT uygulanması sonucunda elde edilen tayf incelendiğinde, sinyalin gürültü seviyesinin yaklaşık 15dB yükseldiği görülür.

Şekil 11'de ise bant içi girişimin olduğu sinyale, ön süzgeçleme yapılarak FFT ve Prony yöntemleri ile yankı profilleri elde edilmiştir. Burada dikkat edilmesi gereken durum, FFT yöntemine ön süzgeçleme yapılması durumunda sadece sinyalin yan frekans bileşenlerinin bağlı güç seviyelerinin azaldığıdır. Ancak sinyal enerjisinin olduğu süzgecin geçirme bandında gürültü tabanında bir azalma olmamıştır. Buna karşılık, ön süzgeçleme uygulanmış Prony

yöntemi ile gürültü tabanı aşağı çekilmiş ve yankıların belirlenmesi sağlanmıştır.



Şekil 10. Band içi girişim olan ve girişim olmayan veriler için FFT yöntemi ile elde edilen tayflar



Şekil 11. Band içi girişim olan ve olmayan veriler için FFT ve Prony yöntemleri ile elde edilen tayflar

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada, ARMA benzeri özellik gösteren Prony yönteminin, FFT ile karşılaştırılarak yankı çözünürlüğüne etkisi incelendi. Öncelikle bu yöntemde, farklı kanal verileri için yaklaşık 2 kat iyileşme sağlandı. Bazı verilerde bu oranın daha da arttığı görüldü. Prony yöntemi ile elde edilen yankı profilleri incelendiğinde, frekans değerleri belirlenebilirken bağıl güçler tam olarak belirlenemedi. Birbirine yakın, bağıl güçleri sırasıyla yüksek ve düşük olan yankıların ayrıştırılmasında düşük güce sahip yankı her zaman ayırt edilemedi. Bant içi girişimin olduğu verilerde, FFT yöntemine göre, yankıların bağıl genlikleri daha iyi belirlendi.

KAYNAKLAR

- [1] Molisch A. F., *et al*, "A comprehensive standardized model for ultrawideband propagation channels," IEEE Trans. On Antennas and Propagation, Vol.54, No.11, Nov 2006
- [2] Vilar E., Shen X., Ndzi D., "Wideband characterization of scattering channels," 10th Inter. Conf. on Antennas and Propagation, April 1997
- [3] Kumerasan R. , Feng Y., "FIR prefiltering improves Prony's method ," IEEE Trans. On Signal Processing, Vol.39, No.3, pp.736-741, March1991

[4] Salous S., Gökalp H., "Dual frequency sounder for UMTS frequency division duplex channels," IEE Proc. On Commun., Vol. 149, No.2, April 2002