

İşbirlikli Ağlarda Dalgacık Tabanlı Taşıyıcı İnterferometri OFDM ile PAPR Azaltma

^{1,*}Dr. Bilgin Yazlık, ²Prof. Dr. Cebrail Çiflikli

¹Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü

²Kayseri Üniversitesi, Kayseri Meslek Yüksekokulu

*bilginyazlik@nevsehir.edu.tr

Özet: Dikgen Frekans Bölmeli Çoğullama (OFDM) yöntemi kablosuz haberleşme sistemlerinde sıklıkla kullanılan bir modülasyon tekniğidir. OFDM ile gerçekleştirilen iletişimde, FFT kullanımından dolayı Tepe Ortalama Güç Oranı (PAPR) problemi karşımıza çıkmaktadır. OFDM'de meydana gelen PAPR problemini gidermek amacıyla farklı teknikler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden birisi de taşıyıcı interferometri (CI) kodlarının kullanımıdır. CI-OFDM sistemi, CI kodlarının yerine Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) kullanımı ile de gerçekleştirilebilmektedir. Bu çalışmada bir alıcı, bir verici ve bir aktarıcı içeren işbirlikli kablosuz bir ağda ilk defa PAPR ile mücadele etmek için CI-OFDM sistemi, dalgacık dönüşümü kullanılarak (CI Dalgacık OFDM) gerçekleştirilmiştir. Önerilen sistemin performansını ortaya koymak için bit hata olasılığı (BER) performans analizi ve PAPR analizi gerçekleştirilmiştir. Önerilen sistemin hem PAPR hem de BER performansının, mevcut bilinen sistemler ile kıyas edildiğinde, benzetim çalışması kapsamında kullanılan tüm birleştirme yöntemleri ve aktarım stratejileri için dikkate değer oranda arttığı tespit edilmiştir. Sistem performansında dikkate değer oranda bir artış sağlıyor olsa da bununla birlikte dalgacık dönüşümlerinin kullanılması nedeni ile işlemel karmaşada bir artış oluşmaktadır. Bu durum sistemin tükettiği enerji miktarını artırmaktadır.

Anahtar Kelimeler: PAPR azaltma, İşbirlikli ağlar, Dalgacık dönüşümü, Taşıyıcı interferometri, OFDM.

1. Giriş

OFDM sistemlerde, gönderilen işarete IFFT uygulanmaktadır. IFFT işleminden dolayı gönderilen işarete çok sayıda alt taşıyıcı eklenmektedir. Bundan dolayı işarete zaman ekseninde gözlemlenen yüksek tepe değerleri oluşmaktadır. Bu yüksek tepe değerlerinden dolayı OFDM sistemlerde yüksek PAPR problemi söz konusu olmaktadır (Arvola, 2017; Wiegandt, 2003). PAPR problemi, OFDM sistemlerde mücadele edilmesi gereken bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır ve OFDM sistemin performansı analiz edilirken PAPR parametresi önemli bir gösterge olarak kullanılmaktadır (Arvola, 2017; Natarajan, 2002).

Bu çalışmada PAPR analizi, x eksenini dB ve y eksenini tamamlayıcı kümülatif dağılım fonksiyonu (CCDF) kullanılarak gösterilmektedir. İşaretin kümülatif dağılım fonksiyonu şu şekilde yazılabilir (Anwar, 2005):

$$\begin{aligned} & Prob\{PAPR\{s(n)\} < y^2\} \\ & = Prob\left\{\frac{|s(0)|^2}{\text{mean}|s(n)|^2} < y^2, \frac{|s(1)|^2}{\text{mean}|s(n)|^2} \right. \\ & \left. < y^2, \dots, \frac{|s(N-1)|^2}{\text{mean}|s(n)|^2} < y^2\right\} \end{aligned} \quad (1)$$

$$= \left(Prob \left\{ \frac{|s(n)|^2}{mean|s(n)|^2} < y^2 \right\} \right)^N$$

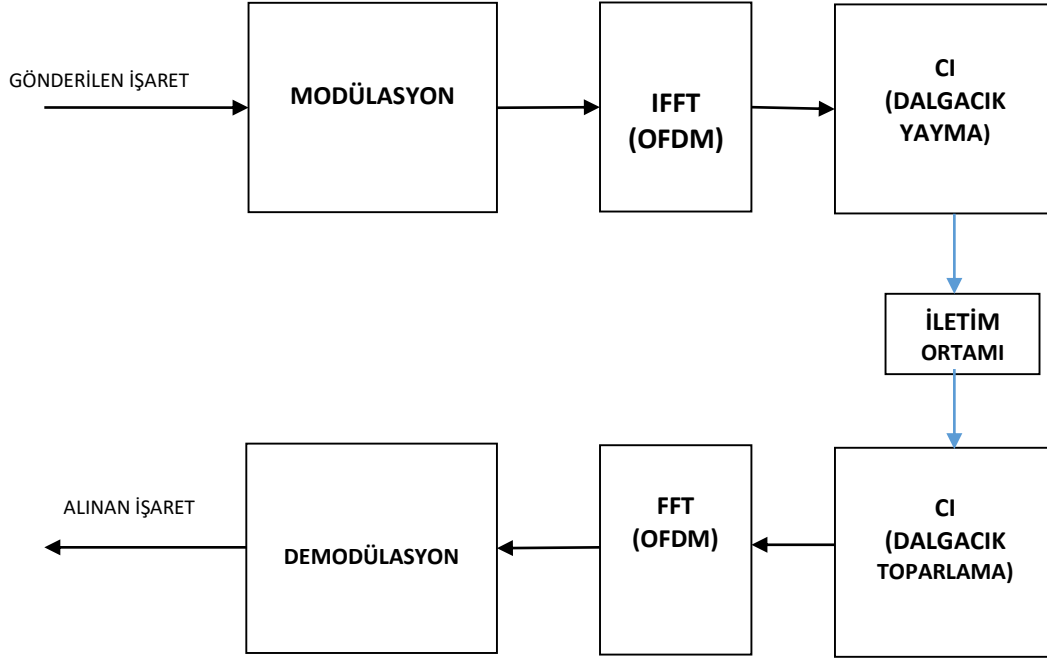
Bu eşitliklerde, N alt taşıyıcı sayısını ve y ise gözlemlenen PAPR seviyesini ifade etmektedir. CCDF ifadesi ise şu şekilde gösterilir:

$$CCDF = 1 - \left(Prob \left\{ \frac{|s(n)|^2}{mean|s(n)|^2} < y^2 \right\} \right)^N \quad (2)$$

1. Taşıyıcı interferometri OFDM

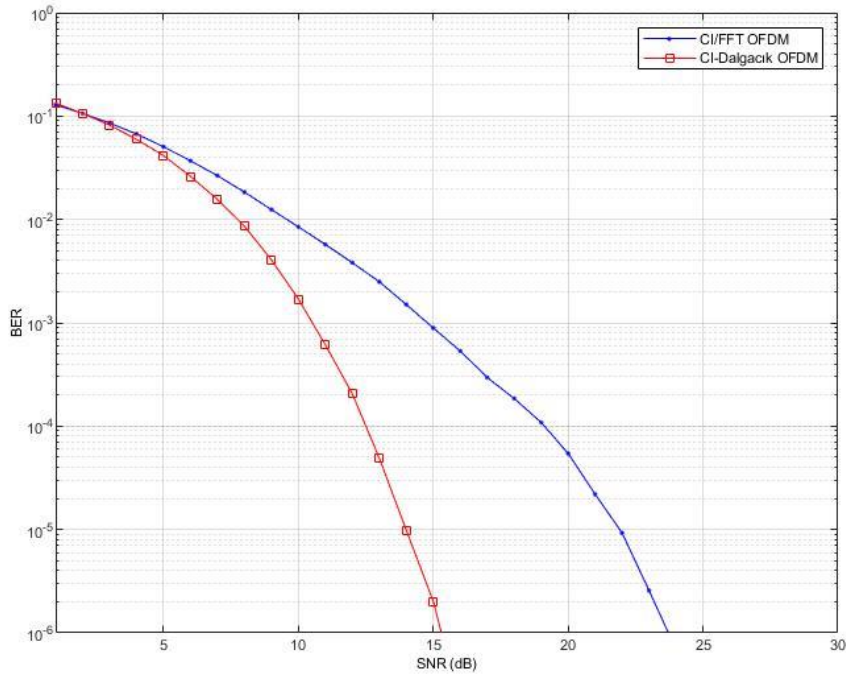
OFDM tekniğinin kullanıldığı haberleşme sistemlerinde PAPR problemi karşımıza çıkmaktadır (Arvola, 2017). OFDM sistemlerde PAPR problemini gidermek için kullanılan yöntemlerden birisi de taşıyıcı interferometri kodlarının kullanımıdır (CI OFDM). Taşıyıcı interferometri kodlarının kullanılması ile gerçekleştirilen OFDM sistemlerde, bu kodların yerine FFT'nin kullanılabilmesi (CI-FFT OFDM) bilinmektedir, buna ilave olarak FFT kodları sistemin performansını iyileştirmektedir (Anwar, 2006), (Yazlık, 2008). Dalgacık dönüşümleri, FFT yerine kullanılabilen, işaretin zaman bilgisini de muhteva eden dönüşümlerdir. CI-FFT OFDM sistemlerde de FFT yerine dalgacık dönüşümleri kullanılmaktadır. Dalgacık dönüşümlerinin kullanımı sistemin performansını artırmaktadır (Yazlık, 2008). Herhangi bir haberleşme işareti, Fourier analizi kullanılarak sinüs ve kosinüs işaretlerinin toplamı ile ifade edilebilmektedir. Bundan dolayı Fourier analizi ile işaretin sadece frekans ve genlik bilgisi saklanabilmektedir. Fourier analizi neticesinde analiz edilen işaretin harmoniklerinin oluşum anları tam olarak bilinmemektedir. Bu da bir dezavantaj olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu dezavantajın üstesinden gelebilmek ve daha iyi pencere analizi yapabilmek için dalgacık dönüşümleri geliştirilmiştir. Dalgacık dönüşümleri ile işaretin frekans ve genlik bilgisine ilave olarak zaman bilgisi de eklenmektedir. Bunu yapabilmek için işaret küçük alt pencerelere bölünerek analiz edilmektedir. Bu sayede harmoniklerin gerçekleşme anları da tespit edilebilmekte ve özellikle analiz edilen işaretin yeniden oluşturulmasında oldukça iyi neticeler elde edilmektedir.

Bu çalışmada ilk defa CI FFT OFDM uygulaması, dalgacık dönüşümleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 1'de CI Dalgacık OFDM sistemin modeli yer almaktadır. Modelden de görüleceği üzere işaret kanala verilmeden önce dalgacık dönüşümleri kullanılarak yaymaya tabii tutulmakta ve kanaldan alındıktan sonra tekrar dalgacık toparlamaya tabii tutulmaktadır. Bu sayede işarete oluşan tepeler yok edilebilmektedir (Yazlık, 2021).



Şekil 1. CI dalgacık ofdm sistem modeli

Şekil 2’de CI Dalgacık OFDM’nin BER performansı Rayleigh kanal modeli kullanılarak gösterilmektedir. Grafikte CI FFT OFDM sistem ile önerilen CI Dalgacık OFDM sistemin performansları kıyaslanmıştır. Grafik dikkatle incelendiğinde 10^{-6} seviyesinde BER performansı yakalayabilmek için CI FFT OFDM’de yaklaşık 23 dB güce ihtiyaç varken, aynı BER performansı için CI Dalgacık OFDM’de yaklaşık 15 dB güç gereksinimi söz konusudur.



Şekil 2. CI – Dalgacık OFDM sistem ile CI – FFT OFDM sistemin BER parametresi ile kıyaslanması (Kanal: Rayleigh)

2. Kablosuz iş birlikli ağda CI-Wavelet OFDM uygulama

Bu bölümde, bir önceki bölümde takdim edilen dalgacık tabanlı taşıyıcı interferometri OFDM sistemi, temel bir kablosuz işbirlikli ağda (bir kaynak, bir aktarıcı ve bir alıcı içeren) çeşitleme kazancı kazanımı amacı ile kullanılmakta ve sistemin performans analizi yapılmaktadır.

Şekil 3'te yer alan önerilen sistemin girişinde bulunan işaret ilk aşamada QPSK modülasyonuna tabi tutulmaktadır. İkinci adımda OFDM tekniğinden bilindiği üzere IFFT uygulanmaktadır. Üçüncü aşamada işaret üzerinde taşıyıcı interferometri etkisi oluşturmak için dalgacık dönüşümü uygulanmaktadır. Benzetim çalışmalarında, kalabalık bir şehirdeki kablosuz haberleşme kanalını oldukça iyi modelleyen ve çalışmalarda yoğun bir biçimde kullanılan Rayleigh sönümlü kanal modeli kullanılmıştır (Osseiran, 2016; Sachan, 2020). Modelin verici kısmından gönderilen işaret Rayleigh sönümlü kanaldan geçerek alıcıya iletilmektedir. Alıcıya ulaşan işaret, taşıyıcı interferometri yayılımının tersi için tekrar dalgacık toplama işlemine tabii tutulmaktadır. Bu işlemden sonra OFDM demodülasyonu için FFT uygulanmakta ve nihai olarak QPSK demodülasyonu ile işaret demodüle edilmektedir. Önerilen bu model Şekil 4'te gösterilen bir verici, bir aktarıcı ve bir alıcı içeren kablosuz işbirlikli bir ağda tüm haberleşme kanallarında kullanılmıştır (Gao, 2018; Heidarpour, 2019;).

Benzetim çalışmalarında kullanılan taşıyıcı interferometri işareti k'nıncı set için aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$CI_k = \left\{ e^{j\left\{\left(\frac{2\pi}{N}\right) \cdot 0 \cdot k + 0 \cdot \Delta\theta\right\}}, e^{j\left\{\left(\frac{2\pi}{N}\right) \cdot 1 \cdot k + 1 \cdot \Delta\theta\right\}}, e^{j\left\{\left(\frac{2\pi}{N}\right) \cdot 2 \cdot k + 2 \cdot \Delta\theta\right\}}, \dots, \right. \\ \left. e^{j\left\{\left(\frac{2\pi}{N}\right) \cdot (N-1) \cdot k + (N-1) \cdot \Delta\theta\right\}} \right\} \quad (3)$$

Burada, N taşıyıcı sayısını ifade etmektedir. $\Delta\theta$ değeri işaretlerin birbirleri ile minimum ilişkili olmalarını sağlayacak şekilde seçilmelidir (Dang, 2017).

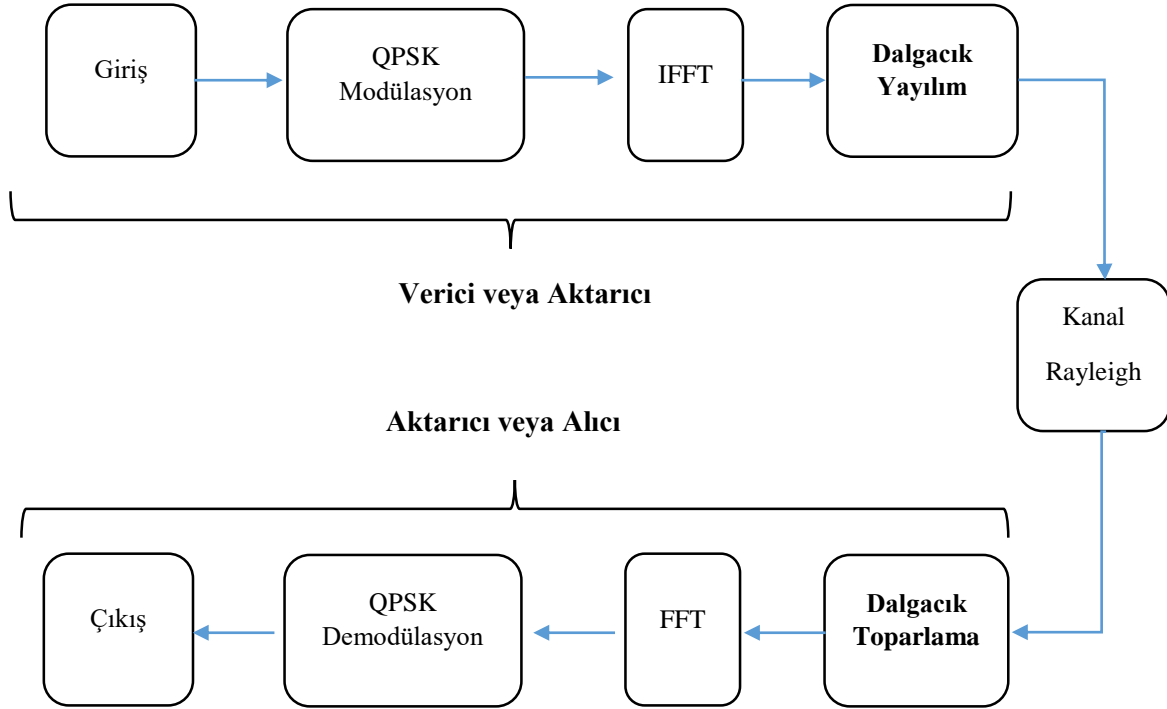
Önerilen taşıyıcı interferometri OFDM sistemde k'nıncı sembol için gönderilen işaret şu şekilde yazılır:

$$s_k(t) = A \cdot Re \left\{ \sum_{i=0}^{N-1} a_k^n e^{j\left(2\pi f_c t + 2\pi f_i t + \frac{2\pi}{N} \cdot k \cdot i\right)} \right\} \quad (4)$$

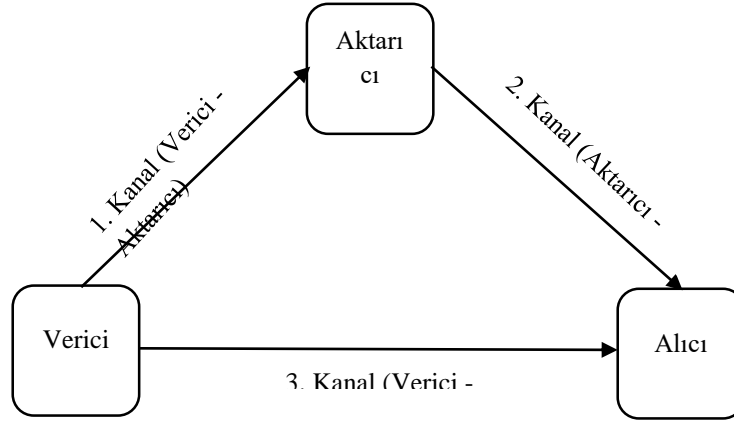
Bu eşitlikte (Eş. 4) a_k^n k'nıncı sembol seti içerisindeki n'inci sembolü ifade etmektedir. $\frac{2\pi}{N} \cdot k \cdot i$ ise dikgen taşıyıcı interferometri kodları üretebilmek için gerekli olan faz kayması bileşenini ifade etmektedir (Moulika, 2019). Alıcıya Rayleigh sönümlenmeli kanal üzerinden ulaşan işaret ise şu şekilde yazılır:

$$r(t) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=0}^{N-1} \sum_{i=0}^{N-1} Re \left[\alpha_i \alpha_k e^{j(2\pi f_c t + 2\pi i \Delta f t + i \Delta \theta_k + \phi_i)} \right] + n(t) \quad (5)$$

Burada α_i i'ninci taşıyıcı için sönümlenme kazancını ve ϕ_i ise aynı taşıyıcı için faz kaymasını ifade etmektedir. n(t) ile gösterilen gürültü bileşeni ise AWGN'dir.



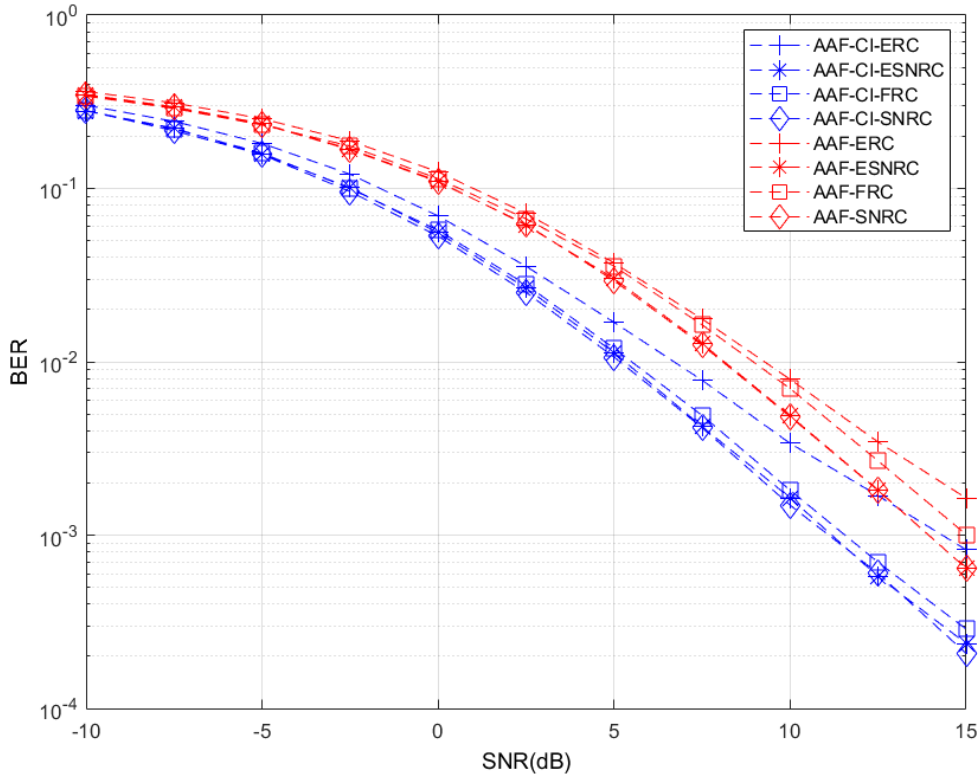
Şekil 3. İşbirlikli kablosuz ağda cı dalgacık OFDM uygulanmasına dair sistem modeli



Şekil 4. Önerilen sistemin gerçekleştirildiği işbirlikli ağa ait model

Tablo 1. Benzetim çalışması parametreleri

Modülasyon Şekli	QPSK ve BPSK
Kanal Modeli	Rayleigh Sönümlmeli Kanal
Aktarım Stratejisi	AAF
Birleştirme Metotları	ERC, FRC, SNRC ve ESNRC
Dalgacık Filtresi	db5



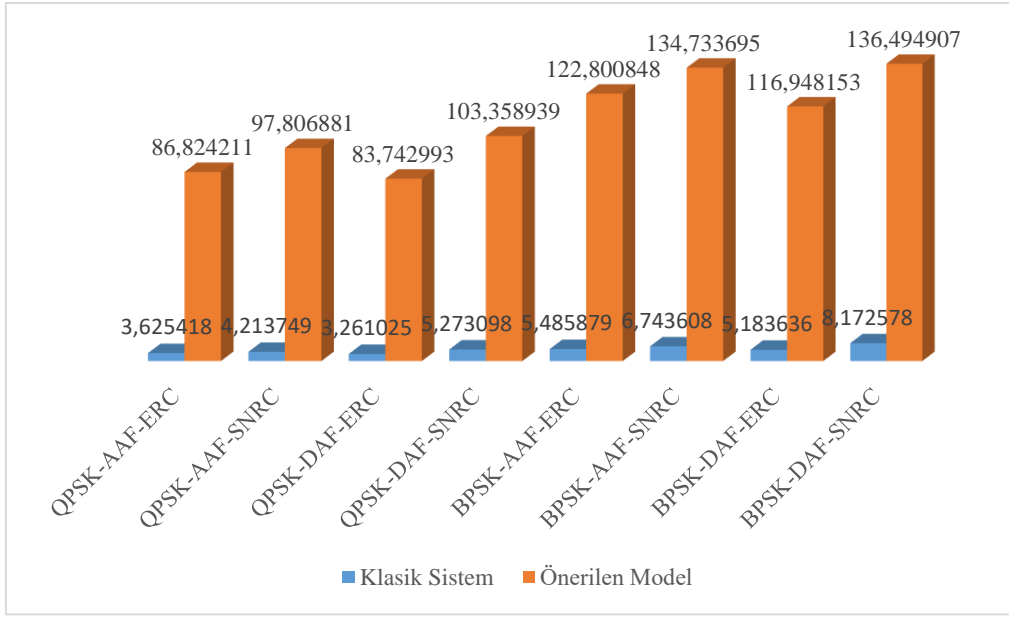
Şekil 5. Önerilen sistem ile klasik sistemin kuvvetlendir ve aktar tipi aktarıcı kullanımı durumunda performans grafiği

IV. International Turkic World Congress on Science and Engineering
23-24 June 2022, Niğde - Türkiye

Şekil 5'te yer alan grafikte mavi ile gösterilen çizgiler önerilen sisteme ait iken kırmızı ile gösterilen çizgiler klasik sisteme aittir. Önerilen sistemin farklı türden birleştiricilerin kullanılması durumunda her bir birleştirici için ayrı ayrı daha iyi performans sergilediği açıkça görülmektedir. Tablo 2'de yukarıda yer alan grafiğin sayısal verileri sunulmuştur.

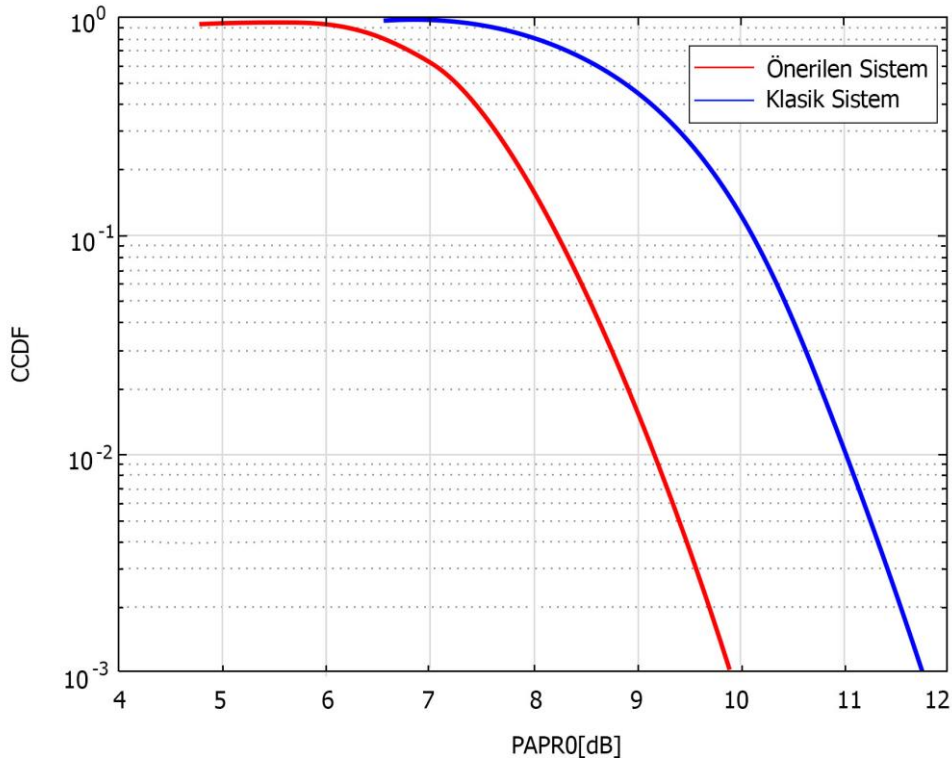
Tablo 2. Şekil 5'te yer alan grafiğe ait veriler

SNR (dB)	BİT HATA OLASIĞILI (BER) ÖNERİLEN SİSTEM			
	ERC	FRC	SNRC	ESNRC
-10	0,30143	0,28122	0,28058	0,27946
-7,5	0,2435	0,22016	0,21506	0,22259
-5	0,18177	0,15978	0,15659	0,15709
-2,5	0,12071	0,09969	0,09583	0,10096
0	0,06939	0,05735	0,05301	0,05552
2,5	0,03551	0,02787	0,02511	0,02659
5	0,01688	0,01194	0,01064	0,01129
7,5	0,00782	0,0049	0,00417	0,00422
10	0,00338	0,00182	0,00149	0,00164
12,5	0,00169	0,0007	0,0006	0,00058
15	0,00082	0,00029	0,00021	0,00024



Şekil 6. Önerilen sistemin işlemsel karmaşıklık analizi (saniye)

Önerilen sistemde, dalgacık dönüşümlerinin kullanılıyor olması doğal olarak işlemsel karmaşayı artırmaktadır. Bu durum Şekil 6'da yer alan grafik ile analiz edilmiştir. Grafik dikkatle incelendiğinde, önerilen sistemin işlemsel karmaşa açısında bir dezavantaj sergilediği görülmektedir.



Şekil 7. Önerilen sistemin PAPR performansı

Şekil 7'de önerilen sistemin PAPR açısından performans analizi sunulmaktadır. Grafikten görüleceği üzere 10^{-3} seviyesinde önerilen sistem yaklaşık 2 dB kadarlık bir avantaj sergilemektedir.

3. Sonuçlar

OFDM sistemlerde Fourier dönüşümünün kullanılmasından dolayı yüksek PAPR problemi meydana gelmektedir. Taşıyıcı interferometri yayılımının OFDM sistemlerde PAPR oranını düşürdüğü bilinmektedir. Benzetim çalışmaları kapsamında önerilen sistemin PAPR kazancı açısından performansı da incelenmiştir. Elde edilen bulgulara göre önerilen sistem beklendiği üzere PAPR oranını klasik sisteme kıyasla belirgin bir şekilde düşürmektedir. PAPR performansı açısından 10^{-3} CCDF değeri için yaklaşık 2 dB daha üstün olacak şekilde, klasik sisteme kıyasla başarılı bir performans sergilediği açıkça görülmektedir.

Önerilen sistemin iletişim kalitesini artırdığı BER ve PAPR performans artışından anlaşılmaktadır. Fakat, önerilen sistem sayesinde ulaşılan performans kazancına karşılık işlemsel karmaşada önemli bir artış meydana gelmektedir. Dalgacık dönüşümleri, benzetim çalışmaları esnasında Fourier dönüşümlerine daha fazla işlem yükü oluşturmaktadırlar. Önerilen sistemde dalgacık dönüşümlerinin kullanılıyor olması beklendiği üzere işlemsel yükü artırmaktadır. İşlemsel yükteki artışın doğal bir sonucu olarak sistemin tükettiği enerji miktarında da bir artış söz konusu olmaktadır. Pil teknolojisi her geçen gün iyileşmekte, mobil cihazların kullanım süreleri uzamaktadır, bu gelişmelere bakarak bahse konu problemin elde edilen kazançlara kıyasla mücadele edilmesi gerekli olsa da kabul edilebilir olduğu düşünülmektedir. İletişim kalitesindeki artışa karşılık, enerji tüketimindeki artış makul bir takas olarak değerlendirilebilir.

Kaynaklar

- Anwar, K., Peak-to-Average Power Ratio Reduction of OFDM Signals Using Carrier Interferometry Codes and Iterative Processing, Yüksek Lisans Tezi, Nara Institute of Science and Technology, 2005.
- Anwar, K., Yamamoto, H., A new design of carrier interferometry OFDM with FFT as spreading codes, 543 – 546. *IEEE Radio and Wireless Symposium*, 2006, San Diego, 2006. IEEE. doi: 10.1109/RWS.2006.1615214.
- Arvola, A., Tölli, A. Gesbert, D., Rate maximization via PAPR reduction in MIMO-OFDM uplink: A user cooperation approach, 1-6, *2017 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, 2017, Paris. IEEE. doi: 10.1109/ICC.2017.7997123
- Dang, S., Coon, J. P. Chen, G., Outage performance of two-hop OFDM systems with spatially random decode-and-forward relays, *IEEE Access*, 5: 27514-27524, 2017. doi: 10.1109/ACCESS.2017.2773658.
- Gao, J., Zhang, Y., Liu, Y., A novel diversity receiver design for cooperative transmission system, *IEEE Access*, 6: 27176-27182, 2018. doi: 10.1109/ACCESS.2018.2832189.
- Heidarpour, A. R., Ardakani, M., Tellambura, C., Di Renzo, M., Relay selection in network-coded cooperative MIMO systems, *IEEE Transactions on Communications*, 67 (8): 5346-5361, 2019. doi: 10.1109/TCOMM.2019.2911276.
- Moulika, V., Shahain, N., J., Bhagyalakshmi, L., Performance investigation of cooperative diversity techniques for 5G wireless networks, 1-5. *2019 IEEE 1st*

**IV. International Turkic World Congress on Science and Engineering
23-24 June 2022, Niğde - Türkiye**

International Conference on Energy, Systems and Information Processing (ICESIP), Chennai, India, IEEE, 2019. doi: 10.1109/ICESIP46348.2019.8938347.

- Natarajan, B., Carrier Interferometry For Next Generation CDMA and TDMA Wireless Systems: A Multicarrier Framework, Doktora Tezi, Colorado State University, 2002.
- Osseiran A., Monseraat, F., Marsch, P., 5G Mobile and Wireless Communications Technology, Cambridge University Press, 2016.
- Sachan, Wireless Cellular Communications: Principles, Designs and Applications, Independently published, 2020.
- Wiegandt, D., Spread OFDM Via Carrier Interferometry Spreading Codes: Performance, Throughput and PAPR Enhancement, Doktora Tezi, Colorado State University, 2003.
- Yazlık, B., Dalgacık Dönüşümü Kullanılarak Taşıyıcı İnterferometri OFDM Sisteminin Gerçekleştirilmesi ve Bit Hata Oranı Başarımının İncelenmesi, Erciyes Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 2008.
- Yazlık, B., İşbirlikli Ağlarda Çeşitleme İçin Taşıyıcı İnterferometri OFDM'nin Dalgacık Dönüşümü İle Gerçekleştirilmesi Ve Sistem Başarımının İncelenmesi, Erciyes Üniversitesi, Doktora Tezi, 2021.