

Derin Öğrenme-Tabanlı Optimum Eşik Değeri ile Cihazdan Cihaza İşbirlikli İletişim Sistemlerinin Hata Başarımının İyileştirilmesi

Emre ÇAKAR¹, Ahmet EMİR^{1*}, Ferdi KARA¹, ve Hakan KAYA¹

¹Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, TÜRKİYE

*(ahmet.emir@beun.edu.tr)

Özet – Makine öğrenmesi teknikleri, hesaplama hızları, başarımları ve tam bilgiye sahip olunmayan durumlarda bile sunduğu çözümler sayesinde birçok mühendislik problemleri için vazgeçilmez bir araç haline gelmiştir. Tüm mühendislik alanlarında olduğu gibi, kablosuz iletişim sistemlerinde de makine öğrenmesi algoritmaları araştırmacılar tarafından yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada da makine öğrenmesi sınıfı olan derin öğrenme (Deep Learning -DL), kablosuz iletişim tekniklerinden biri olan işbirlikli iletişim (cooperative communication) sistemlerine uygulanmıştır. İşbirlikli haberleşme sistemlerinde, eşik değer tabanlı Çöz-Aktar (Decode and Forward -DF) protokolü kullanan röleler için röledeki eşik değerin ne olması gerektiği sistem performansında önemli rol oynamaktadır. Bu çalışmada, işbirlikli iletişim sistemlerinin hata başarımlarının artırılması amacıyla röledeki eşik değerin DL tekniği kullanılarak rölelere ulaşan gürültülü veriden adaptif bir şekilde belirlenmesi önerilmektedir. DL modeli kullanılarak elde edilen optimum eşik değer ifadeleri, sistemin uçtan uca bit hata olasılığı ifadesinin nümerik olarak minimize edilmesiyle elde edilen optimum değerlerle karşılaştırılmıştır. DL tekniği kullanılarak elde edilen eşik değerler, nümerik olarak hesaplanan değerler ile oldukça yakın elde edilmiştir. Sabit eşik değer kullanımı ile optimum eşik değer kullanımı karşılaştırıldığında sistemin aynı hata olasılığında iletişim yapabilmesi için optimum eşik değer kullanımı yaklaşık 3dB daha düşük işaret gürültü oranına ihtiyaç duyduğu gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler – makine öğrenmesi, derin öğrenme, işbirlikli iletişim, optimum eşik değeri, bit hata oranı

Maximization of Error Performance of Device-to-Device (D2D) Cooperative Communication Systems with Deep Learning Aided-Optimum Threshold

Abstract – Machine learning techniques have become practical tools for many engineering problems thanks to computational speeds, performances and solutions even in situations where complete knowledge is not available. Likewise, in all engineering fields, machine learning algorithms are widely used by researchers in wireless communication systems. In this study, the deep learning (DL) which is a subset of machine learning, is applied to cooperative communication systems in wireless communications. In cooperative communication systems, for relays using threshold-based DF (Decode - Forward) protocol, the threshold value at relays have dominant effect on system performance. In this study, in order to increase the error performance of cooperative communication systems, it is proposed to determine the threshold value of the relay adaptively from the noisy signals reaching to the relays by using DL technique. The optimal threshold value expressions by obtained using the DL model have been compared with the optimum values obtained by numerically minimizing the end-to-end (e2e) bit error probability expression of the system. The threshold values obtained by using the DL technique have matched well with the numerically calculated values. Compared to usage of fixed threshold, it has been observed that optimum threshold usage needs approximately 3dB lower Signal to Noise Ratio (SNR) for the same error probability target.

Keywords – machine learning, deep learning, cooperative communication, optimum threshold, bit error rate

DOI: 10.36287/setsci.4.5.001

I. GİRİŞ

Makine öğrenmesi teknikleri, on yıllardır tahmin (prediction), tanıma (recognition) ve sınıflandırma (classification) uygulamaları için kullanılmaktadır. İnsan beyninin özelliklerinden yararlanılarak geliştirilen adaptif bilgi işleme ve öğrenme algoritması olan yapay sinir ağları ile yürütülen çalışmalar 1970'li yıllara dayanmaktadır. Yapay sinir ağları insan beyninin fonksiyonel özelliklerine paralel olarak, öğrenme, ilişkilendirme, sınıflandırma, genelleme, özellik belirleme ve optimizasyon gibi konularda oldukça başarılı performans göstermektedirler. Bir yapay sinir ağı modeli en genel formda, giriş(ler), aktivasyon fonksiyon(lar)u, ağırlık katsayı(lar)ı, eşik girdi(leri)si ve çıkış(lardan)tan oluşmaktadır. Modelin eşik girdi değerleri ve ağırlıkları, izin verilen tolerans içerisinde bir çıkış üretilene kadar değiştirilir. Hesaplama hızları, karmaşık fonksiyonlar üzerindeki başarımları ve problem için tam bilgiye sahip olunmayan durumlarda bile sunduğu çözümler sayesinde yapay sinir ağları doğrusal olmayan mühendislik problemleri için vazgeçilmez bir araç haline gelmiştir. Yapay sinir ağları çoğunlukla sınıflandırma, eğri uydurma, kümeleme ve regresyon problemleri için kullanılmaktadırlar [1]. Ayrıca literatürde yapay sinir ağlarının kanal dengeleme, kanal kestirimi gibi haberleşme problemlerinin çözümlerinde de uygulandığı çalışmalar mevcuttur [2], [3], [4].

2000'li yıllara kadar yapılan bilimsel çalışmalarda daha az katmandan oluşan yapay sinir ağları kullanılmasına karşın 2000'li yıllarda GPU (Graphics Processing Unit- Grafik İşleme Birimi) hızlarının artması ve normal işlemcilerle göre çok daha fazla hesap yapabilme yeteneğine sahip olması, daha çok katmandan ve nöronlardan oluşan, bir makine öğrenmesi sınıfı olan, derin sinir ağları (Deep Neural Network -DNN) kullanımını artırmıştır. Yapay Sinir Ağı olarak derin öğrenme (Deep Learning -DL) terimi ilk kez 2000 yılında Igor Aizenberg ve arkadaşları tarafından kullanılmıştır [5].

DL giriş, gizli ve çıkış katmanlarından oluşur. Giriş katmanı, bir ağa girdi olarak gelen öğrenilmesi istenen örneğin özniteliklerinin giriş olarak verildiği katmandır. Giriş katmanı, dış ortamdan alınan sinyalleri temsil etmektedir. Çıkış katmanı ise girişlere yapay sinir ağına verdiği tepkidir. Giriş değerleri ve giriş değerlerine karşılık gelen çıkış değerleri ikisi birlikte eğitim verisi olarak adlandırılır. Bu eğitim seti yapay sinir ağına verilerek öğrenme işlemi gerçekleştirilir. Bu tarz öğrenme sistemi denetimli öğrenim (supervised learning) sistemidir. Denetimli öğrenim sisteminde, ağı hesapladığı çıkış değeri ile beklenen çıkış değeri arasındaki hata değerleri en aza indirilmeye çalışılmaktadır. Gizli Katmanlar (Hidden Layers), giriş katmanı ile çıkış katmanları arasındaki katmanlardır. Katman sayısı ve üzerindeki nöron sayısı problemden probleme değişebilmektedir. Bu katmalarda ileri yönlü hesaplamalar ve geri yönlü hata yayılımı yapılır. Katman sayısının çok olması hesaplama karmaşıklığına ve hesaplama süresinin artmasına sebep olur. Karmaşık problemlerde problem çözümü için genelde katman sayıları ve katmanlardaki nöron sayıları fazladır [6].

Son yıllarda, derin öğrenme algoritmaları araştırmacılar tarafından kablosuz iletişim sistemlerinde de yaygın olarak kullanılmaktadır. Örneğin [7]'de bir OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing- Dikgen Frekans Bölmeli Çoğullama) sisteminde kanal kestirimi ve bit dizisi tespiti için derin öğrenme kullanılmıştır. [8]'de CSI (Channel State Information-Kanal Durumu Bilgisi) bilinmeden oluşturulan sinir ağlarına dayanan ortak dengeleyici (joint equalizer) ve

kod çözücüsü (decoder) önerilmiştir. [9]'da kitlesel (massive) MIMO (multiple input multiple output – çoklu giriş çoklu çıkış) sistemi içinde derin öğrenme yoluyla sönümlemeli kanalın kestirimini önermiştir. [10]'da LSTM (Long Short Term Memory-Uzun Kısa Süreli Bellek) ağı kullanılarak DL temelli NOMA şemasının performansı araştırılmıştır. [11]'de IoT (İnternet Türü Nesnelere- İnternet of Things)'deki masif cihazların güvenilir bağlantılarının kurulması için DL destekli bir esnek/sabit-kaynak atamasız (grant free) NOMA şeması önerilmiştir. [12]'de aşağı yönlü (downlink) NOMA sistemlerinde girişim sinyallerinin modülasyon sırasını kör bir şekilde saptamak için bir makine öğrenme (Machine Learning-ML) algoritması önerilmiştir. [13]'te çok kullanıcılı downlink NOMA sistemlerinde her bir kullanıcının modülasyon sırasının tespiti için DL bazlı kör sınıflandırma kullanılmıştır. [14]'te bir OFDM-IM sistemindeki veri bitlerini kestirmek için tamamen bağlı katmanlara sahip derin bir sinir ağı kullanan DeepIM olarak adlandırılan yeni bir DL tabanlı sezici önerilmiştir.

Bu çalışmada ise derin öğrenme, kablosuz iletişim tekniklerinden biri olan işbirlikli iletişim (cooperative communication) sistemlerine uygulanmıştır. Çalışmanın bundan sonraki bölümleri şu şekilde sunulmuştur. Bölüm II'de Materyal ve Yöntem başlığı altında Üç Atlamalı İşbirlikli Kablosuz Haberleşme Sistem Modeli ve önerilen DL Modeli tanıtılmıştır. Bölüm III'te benzetim sonuçları sunulmuştur. Son olarak Bölüm IV'te sonuçlar tartışılarak çalışma sonlandırılmıştır.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, işbirlikli iletişim sistemlerinin hata başarımlarının arttırılması amacıyla, sistemin uçtan uca hata olasılığını minimum yapan optimum parametre değerleri DL tekniği ile belirlenmiştir.

A. Üç Atlamalı İşbirlikli Kablosuz Haberleşme Sistem Modeli

Kablosuz iletişim kanallarında sistem performansını olumsuz etkileyen nedenlerden birisi de sönümlemedir. Bu olumsuz etki, çeşitli teknikler ile en aza indirilerek hata performansının iyileştirilmesi sağlanabilir. Bu tekniklerden bir tanesi olan çeşitleme (diversity), genel olarak bir mesaj işaretinin birbirinden bağımsız birden fazla yoldan iletilmesiyle iletim güvenilirliğinin arttırılması tekniğidir. Mobil cihazların birbirleriyle işbirliği yaparak elde edilen İşbirlikli iletişim (cooperative communication) çeşitleme yöntemi olarak ortaya atılmıştır [15], [16].

Klasik noktadan noktaya haberleşmeden farklı olarak, işbirlikli iletişimde röle olarak adlandırılan cihaz sadece kendi verilerini değil, işbirliği içerisinde olduğu cihazın verilerini de alıp yollamakla sorumludur. Sistem performansını arttırmak için rölede alınan işaret kuvvetlendirilip iletilmekte (Amplify and Forward -AF) veya alınan işaret önce demodüle edilip (çözülüp) sonra tekrar modüle edilerek (kodlanarak) iletilmektedir (Decode and Forward -DF) [17].

İşbirlikli çeşitlemede, AF protokolünün kullanılması durumunda, röleye gelen sinyal ile birlikte kaynak-röle arasındaki gürültünün AF röle tarafından kuvvetlendirilip hedefe iletilmesi sistem performansını kötü yönde etkilemektedir. Seçilen rölenin tam kod çözme varsayımı altında DF protokolünün kullanılması durumunda ise kaynak-röle arasındaki gürültü hedefe iletilmemektedir. DF rölede tam kod çözme, kaynaktan gönderilen sinyalin doğru bir biçimde

rölede çözülmesi (elde edilmesi) anlamına gelmektedir. DF rölede tam kod çözme olasılığını arttırmak için literatürde bazı yöntemler kullanılmaktadır. Bunlardan bir tanesi sıklıkla kullanılan Seçme İşbirliği (Selection Cooperation -SC) olarak adlandırılan yöntemdir. Bu yöntemde kaynaktan rölelere gelen sembolün işaret gürültü oranı (İGO) değerine bakılmaktadır. Kaynaktan röleye gelen sembolün İGO değeri belirli bir eşik değerinden küçük olan rölenin, sembolü doğru çözemeyeceğine karar verilir ve seçim dışında bırakılır. İGO değeri eşik değerinden büyük olan rölelerin ise gelen sembolü doğru çözdüğü varsayılır. Fakat bu yöntemde rölelerde kullanılan eşik değerinin kötü seçimine bağlı olarak, kaynaktan röleye gelen sembolün İGO değeri belirli bir eşik değerinin üzerinde olsa dahi, röle gelen sembolü yanlış çözüp hedefe yanlış sembol gönderebilmekte ve alıcıda hatalı karara hatalara neden olmaktadır. Bu olaya hata yayılımı (error propagation) denmektedir ve sistem performansını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu nedenle rölelerde kullanılan eşik değerinin doğru biçimde belirlenmesi önem teşkil etmektedir.

Literatürde [18]'de yapılan çalışmada, iki atlamalı işbirlikli haberleşme sisteminde ortamda tek röle bulunması durumunda DF röle için optimum eşik değer analitik olarak bulunmuştur. Bir diğer çalışma [19]'da yine tek röle için optimum eşik değer ifadesi Nakagami-m sönümlenmeli kanallar için elde edilmiştir. [20]'de yapılan çalışmada, iki atlamalı işbirlikli haberleşme sisteminde Rayleigh sönümlenmeli kanallar için ortamda çok röle bulunması durumunda optimum eşik değer ifadesinin ne olması gerektiği araştırılmıştır. Sistemin uçtan uca hata olasılığı ifadesinin minimum yapan değer numerik olarak elde edilmiş ve bu değer optimum eşik değer olarak adlandırılmıştır. Elde edilen optimum eşik değer için bir ifade türetilmemiştir. Optimum değer elde edilebilmesi için tüm eşik değerler için hata olasılığının değerlendirilmesi gerekmektedir. Literatürde yapılan çalışmalarda ortamda çok röle bulunması durumunda optimum eşik değer ifadesini veren bir bağıntı (fonksiyon) elde edilememiştir. Sistemin uçtan uca hata olasılığı ifadesini minimum yapan optimum eşik değer ifadesinin ortamdaki röle sayısı (M), kaynak-hedef, kaynak-röle ve röle-hedef arası bağlantı kalitelerine bağlı olarak değişeceği açıkça gözükmesine rağmen, optimum eşik değer ifadesinin analitik yollarla elde edilmesi son derece zordur. Bu nedenle [21]'de, optimum eşik değer ifadesini elde etmek için makine öğrenmesi tekniklerinden yapay sinir ağları (YSA) kullanımı önerilmiştir.

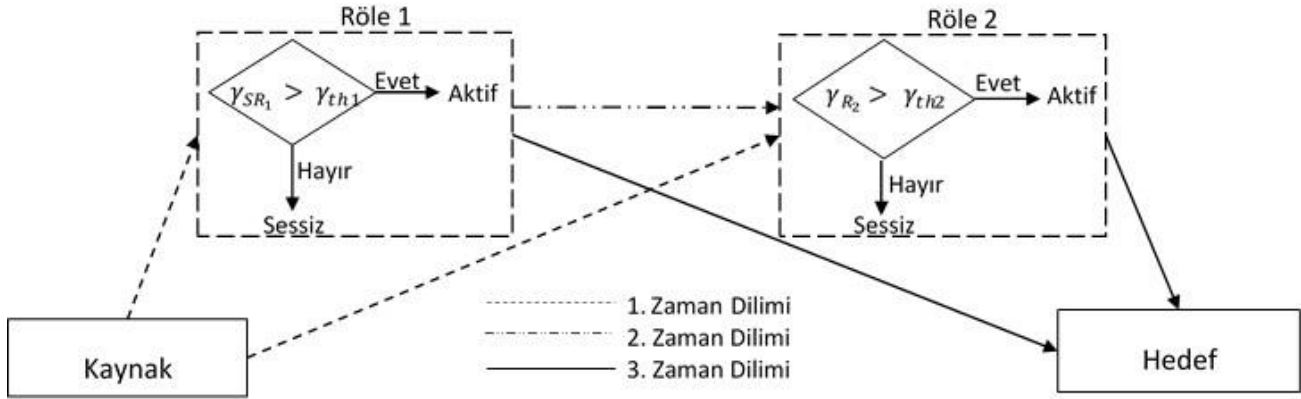
Son yıllardaki kablosuz iletişime ihtiyaç duyan cihaz sayısındaki üstel artış, makineler arası iletişim (machine-to-machine M2M) ve sensör ağları gibi kavramların ortaya çıkması, 5G ve ötesi olarak adlandırılan yeni nesil ağları için kritik istekleri de beraberinde getirmiştir. Çok geniş (ultra-high) kapsama alanı (coverage) ve yüksek gezginlik (high mobility) de önemli isteklere olarak ortaya çıkmıştır [22] ve bu isteklerin sağlanabilmesi için işbirlikli-iletişim kullanımı önem arz etmektedir [23]. Literatürde, iki atlamalı işbirlikli sistemlerini inceleyen bir çok çalışma [15]- [21] olmasına rağmen, kullanıcının servis sağlayıcısı (baz istasyonuna) çok uzak olduğu durumlarda özellikle çok geniş kapsama alanının sağlanabilmesi için çok atlamalı işbirlikli iletişime ihtiyaç duyulmaktadır. Literatürde, çok çok atlamalı işbirlikli-iletişim sistemlerinin genellikle kesinti olasılıkları incelenmiş olup [24], hata başarımını inceleyen çalışmalarda ise rölelerde

oluşabilecek hatalı çözme olasılığı (perfect decoding) dolayısıyla da hata yayılımları göz ardı edilmiştir [25]. [26]'da ise 5G ve ötesi ağlarda kullanımı öngörülen üç atlamalı DF protokolü kullanan işbirlikli-iletişim sisteminin hata başarımları incelenmiştir. Her bir rölenin SC kullandığı varsayılarak rölelerin belirlenen eşik değerlerin üzerinde olduğu durumlarda aktif olduğu düşünülmüştür. Rölelerdeki yanlış çözme olasılıkları da dikkate alınarak önerilen sistem için uçtan-uca olasılığı ifadesi hata yayılımı altında elde edilmiştir. Sonuçlar rölelerde sabit eşik değer kullanıldığı durum için verilmiştir. Önerilen sistemin uçtan uca hata olasılığı ifadesini minimum yapan optimum eşik değer ifadesi analitik türetilmemiştir.

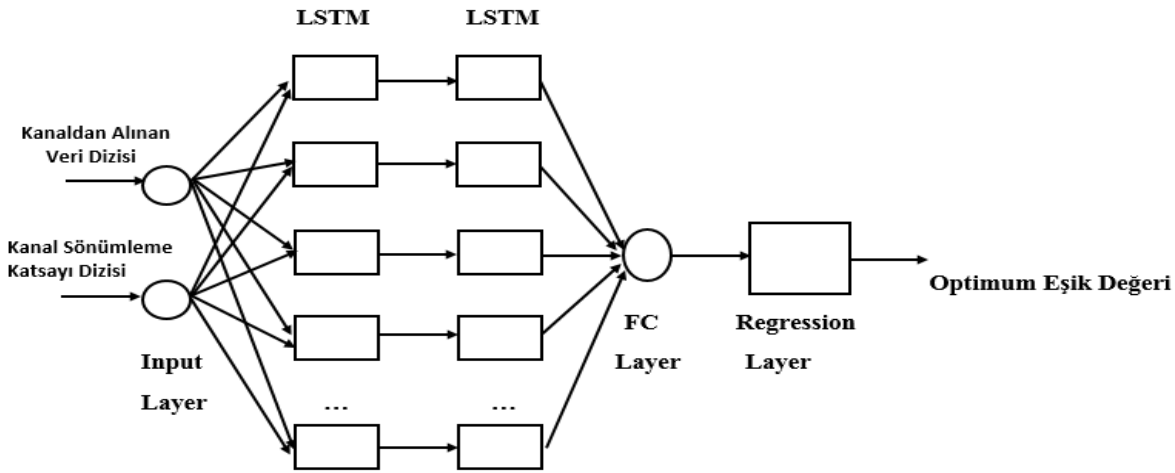
Bu çalışmada, [26]'da verilen çok atlamalı işbirlikli iletişim sistemi için optimum eşik değeri ve optimum güç paylaşımlarının belirlenmesi için DL tabanlı kestirim yöntemi önerilmiştir. [21]'de kullanılan YSA modelinden farklı olarak, optimum eşik değerini elde etmek için ortamdaki röle sayısı, yol katsayıları ve bit başına işaret gürültü oranı vb. değerler bu çalışmada giriş katmanında öznitelik olarak kullanılmamıştır. Rölelere gelen ham bilgi (sönümleme ve gürültüye maruz kalmış kablosuz olarak alınan modüleli semboller) giriş olarak alınarak önerilen DL algoritması öznitelik çıkarımı ara katmanlarda yapmış ve çıkış olarak istenilen eşik değer ifadesini kestirmiştir.

Bu çalışmada, [26]'da verilen üç atlamalı işbirlikli iletişim sistemi ele alınmıştır. Sistem de kaynak (S) ve hedef (D) arasında direkt hattın büyük engeller (obstacle) veya mesafeye bağlı yüksek yol kaybı (path-loss) sebebiyle var olmadığı varsayılmıştır. Bu nedenle kaynak ve hedef arasındaki iletişimin ortamda bulunan iki adet röle ile sağlandığı durum ele alınmıştır. Sistemde bulunan röleler eşik değer tabanlı seçmeli işbirliği yapmakta ve DF protokolü kullanmaktadırlar. Tüm birimlerin tek antenli olduğu durum ve rölelerin yarı-çift yönlü (half-duplex) olduğu varsayılmıştır. Bu nedenle toplam iletişim üç zaman diliminde tamamlanmaktadır. Sistem modeli Şekil 1'de verilmiştir. Birinci zaman diliminde kaynak hedefe göndermek istediği veriyi rölelere iletir ve her iki röle bu işareti alır. İkinci zaman diliminde, röle1 alınan sinyalin İGO değerinin (γ_{SR1}) eşik değerinden (γ_{th1}) yüksek ya da düşük olmasına göre aktif ya da suskun olacağına karar verir. $\gamma_{SR1} > \gamma_{th1}$ durumunda röle1 aktif olur ve hedeften aldığı işareti DF protokolü kullanarak ikinci zaman diliminde röle2 ve hedefe gönderir. $\gamma_{SR1} < \gamma_{th1}$ durumunda ise röle1 alınan işaretin kalitesine güvenmez ve yapılacak çözme işlemi sırasında hatalı çözme olasılığının artacağını dolayısıyla da hata yayılımının artacağını göz önünde bulundurarak ikinci zaman diliminde suskun kalır.

Üçüncü zaman diliminde ise röle2 birinci zaman diliminde kaynaktan ve ikinci zaman diliminde -eğer gönderilmiş ise- röle1 den alınan işaretleri MRC kullanarak birleştirir. Röle2' MRC işlemi sonrasında oluşan toplam İGO değerine ($\gamma_{R2} = \gamma_{SR2} + \gamma_{R1R2}$) göre aktif ya da suskun kalır. Tıpkı röle1'de olduğu gibi $\gamma_{R2} < \gamma_{th2}$ ise röle sembollerinin doğru çözülemeyeceğini varsayar ve suskun kalır. $\gamma_{R2} > \gamma_{th2}$ durumunda ise DF protokolü kullanarak MRC işlemi sonucu elde edilen toplam işareten sembollerini kestirip tekrar modüle ederek hedefe aktarır.



Şekil 1. Üç Atlı İşbirlikli Kablosuz Haberleşme Sistem Modeli



Şekil 2: Önerilen DL Modeli

İkinci ve üçüncü zaman diliminde, röle1 ve röle2'den alınan sinyaller hedefte MRC kullanılarak birleştirilir. MRC sonucunda alınan toplam sinyal üzerinden kaynak gönderilmek istenen sembolleri kestirilir.

B. Derin Öğrenme Modeli

Her bir zaman adımındaki zaman dizisinin ve diğer dizi verilerinin elemanları arasındaki uzun vadeli bağımlılıkları öğrenme kabiliyetinden dolayı Şekil 2'de gösterilen LSTM katman tabanlı derin öğrenme ağ modeli kullanılmıştır. DL modeli, ikisi seri bağlı LSTM katmanından olan 5 katmandan oluşur. İlk LSTM katmanı 30 gizli nöron, ikinci LSTM katmanı 10 gizli nöron oluşmaktadır. Oluşturulan model, simülasyon verilerine göre çevrimdışı olarak eğitilmiştir. Eğitim prosedüründe, Kanal Durumu Bilgisinin kullanıcılar tarafından bilindiği varsayılmıştır. Çıktıda kestirilen optimum eşik değeridir.

III. SİMÜLASYON SONUÇLARI

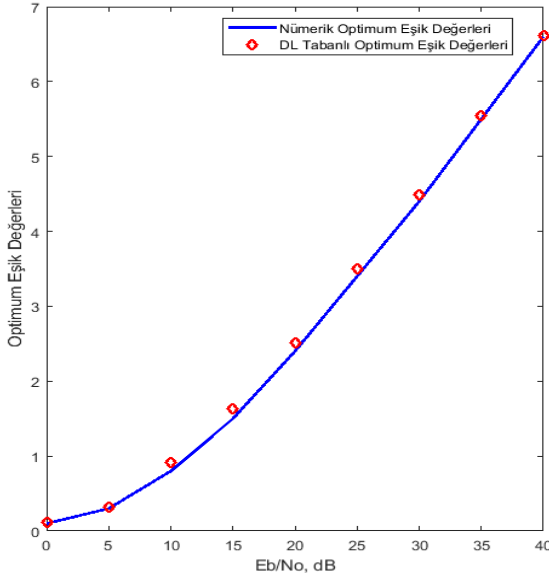
Simülasyonlar MATLAB ortamında gerçekleştirilmiştir. Sistemdeki her iki röle için kanal sönümlenme katsayılarının, ortalama kanal güçleri $\sigma_{SR1}^2 = 3dB$, $\sigma_{SR2}^2 = 0dB$, $\sigma_{R1R2}^2 = 3dB$, $\sigma_{R1D}^2 = 0dB$, $\sigma_{R2D}^2 = 3dB$ olan rayleigh rasgele değişkeni olduğu varsayılmıştır. Modülasyon için İkili Faz Kaydırmalı Anahtarlama (Binary Phase Shift Keying -BPSK) kullanılmıştır. Her birim tek antene sahiptir. LSTM ağında

yapılan eğitimde her bir örnekte 10 bit eğitilmektedir. Toplamda 10 milyon örnek için eğitim yapılmıştır. Sistemin toplam gücü (P), kaynak (Ps) ve rölelere (PR1 ve PR2) eşit olarak paylaştırılmıştır (PR1= PR2=Ps=P/3). Bu durumda röle1 ve röle2'deki optimum eşik değerler nümerik olarak hesaplanıp LSTM ağında eğitilmiştir. 0-40dB arasında 5dB adımlar ile nümerik olarak hesaplanan röle2 için, uçtan uca hata olasılığını minimum yapan optimum eşik değerler 0 (sıfır) olarak bulunmuştur. Röle1 için, 0-40dB arasında 5dB adımlar ile nümerik olarak hesaplanan ve DL eğitimi sonucunda kestirilen optimum eşik değerler Tablo 1'de verilmiştir. Tablo 1'de verilen DL Modeli Çıkış değerleri her bir İGO değerinde 10 örneğin ortalaması olarak sunulmuştur.

Tablo 1. DL ve nümerik sonuçların karşılaştırılması

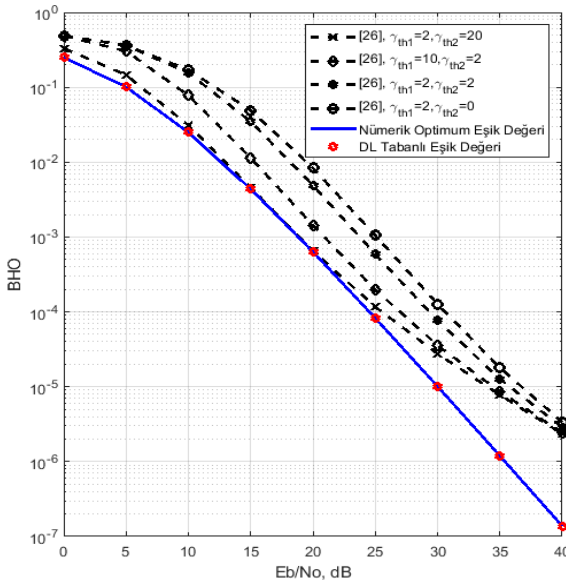
İşaret Gürültü Oranı (ϵ_b/N_0 , dB)	Nümerik γ_{th}^{opt}	DL Modeli Çıkışı
0	0.10	0.11
5	0.30	0.32
10	0.80	0.92
15	1.50	1.63
20	2.40	2.51
25	3.40	3.50
30	4.40	4.49
35	5.50	5.54
40	6.60	6.62

Şekil 3'te nümerik olarak hesaplanan optimum eşik değerleri ile, DL Modeli ile kestirilen optimum eşik değerleri grafiksel olarak verilmiştir.



Şekil 3: Optimum Eşik Değerleri

Şekil 4'te uçtan uca hata olasılığının değişimi, optimum eşik değerleri ve [26]'da verilen sabit optimum olmayan rasgele seçilmiş eşik değerleri için karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 4: Uçtan Uça Hata Olasılığı

IV. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Bu çalışmada 5G ve ötesi ağlar için kullanımı öngörülen çok atlamalı işbirlikli sistem modellerinden biri olan üç-atlamalı DF protokolü kullanan eşik değeri tabanlı seçmeli işbirlikli iletişim sisteminin hata performansının minimize edilmesi amaçlanmıştır. Hatanın minimize edilmesi için rölelerde bulunan eşik değerlerinin DL kullanılarak optimize edilmiştir. Önerilen DL tabanlı optimum eşik değeri belirleme yönetimi

ile rölelerde harici bir bilgiye ihtiyaç duyulmadan kablosuz haberleşme ortamından alınan gürültülü ve kanal etkisi maruz kalmış sinyaller kullanılarak optimum eşik değeri sezimi yapılmıştır. Rölelerde eşik değerlerinin adaptif olarak belirlenmesi ile tüm İGO değerleri için sistemin uçtan-uca hata performansının en iyi değere ulaştığı gözlemlenmiştir. Kullanılan optimum eşik değeri ile sabit eşik değeri kullanımına göre aynı hata performansına ortalama 3dB daha düşük güçte ulaşıldığı gözlemlenmiştir. Bu durum, rölelerdeki enerji verimliliği açısından son derece önemlidir. Ayrıca yapılan simülasyon sonuçlarına göre, röle2'nin sürekli olarak aktif olması gerektiği gözlemlenmiştir. Bu durum şu şekilde açıklanabilir: röle2'nin aktif olmadığı durumda hedefe en yakın (en iyi kanal durumuna sahip) röleden veri aktarımı olmadığı için, röle1 hata yaptığında sadece hatalı veriler hedefe ulaşmaktadır. Röle1 hata yapmadığı durumda ise röle1 ile hedef arasındaki sönümlemeden kaynaklı hatalar oluştuğunda çeşitleme sağlanamamaktadır. Bu durum sonucunda röle2 için optimum eşik değeri (γ_{th}^{opt}) sürekli olarak sıfır "0" çıkmaktadır.

TEŞEKKÜR

Bu proje Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) birimi tarafından 2019-75737790-01 proje numarası ile desteklenmektedir

KAYNAKLAR

- [1] Haykin, S. 1999. Neural Networks: A Comprehensive Foundation. *The Knowl. Eng. Rev.* 13(4):409-412
- [2] Zhou, X., Wang, X. 2003. Channel Estimation for OFDM Systems Using Adaptive Radial Basis Function Networks. *IEEE Trans. Veh. Tech.* 52(1):48-59.
- [3] Burse, K., Yadav, R.N., Shrivastava, S.C. 2010. Channel Equalization Using Neural Networks: A Review. *IEEE T. Syst. Man. Cy. C*, 40 (3): 352-57.
- [4] Cheng, C.H., Huang, Y.H., Chen, H.C. 2015. Channel Estimation in OFDM Systems Using Neural Network Technology Combined with a Genetic Algorithm. *Soft Comput. Springer Berlin Heidelberg*. 1-10 pp.
- [5] I. N. Aizenberg, N. N. Aizenberg ve J. Vandewalle, "Multiple-Valued Threshold Logic and Multi-Valued Neurons", *Multi-Valued and Universal Binary Neurons*, Boston, USA, 2000, pp. 25-80.
- [6] K. Güzel, "Geri Yayılımlı Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağları-1," [Çevrimiçi]. Available: <https://medium.com/@billmuhh/geri-yayılımlı-çok-katmanlı-yapay-sinir-ağları-1-47daa3856247> . [Erişildi: 16 11 2018].
- [7] Gao, X., Jin, S., Wen, C. and Li, G. "ComNet: Combination of Deep Learning and Expert Knowledge in OFDM Receivers", *IEEE Communications Letters (Early Access)*, 2018.
- [8] Xu, W., Zhong, Z., Be'er, Y., You, X. and Zhang, C. "Joint Neural Network Equalizer and Decoder", 15th International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS), 2018.
- [9] Liao, R., Wen, H., Wu, J., Song, H., Pan, F. and Lian Dong. "The Rayleigh Fading Channel Prediction via Deep Learning", *Hindawi Wireless Communications and Mobile Computing*, Vol. 2018, pp:1-11, 2018.
- [10] Gui, G., Huang, H., Song, Y. and Sari, H. "Deep Learning for an Effective Nonorthogonal Multiple Access Scheme", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 67, Iss. 9: 8440-8450, 2018.
- [11] N. Ye, X. Li, H. Yu, A. Wang, W. Liu, and X. Hou, "Deep Learning Aided Grant-Free NOMA Toward Reliable Low-Latency Access in Tactile Internet of Things," *IEEE Trans. Ind. Informatics*, vol. 15, no. 5, pp. 2995-3005, 2019.
- [12] N. Zhang, K. Cheng, and G. Kang, "A Machine-Learning-Based Blind Detection on Interference Modulation Order in NOMA Systems," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 22, no. 12, pp. 2463-2466, 2018.
- [13] M. Choi, D. Yoon, and J. Kim, "Blind Signal Classification for Non-Orthogonal Multiple Access in Vehicular Networks," pp. 1-12.
- [14] T. V. Luong, Y. Ko, N. A. Vien, and D. H. N. Nguyen, "Deep Learning-Based Detector for OFDM-IM," *IEEE Wirel. Commun. Lett.*, vol. PP, no. c, p. 1, 2019.
- [15] Sendonaris, A., Erkip, E., Aazhang, B. 1998. Increasing uplink capacity via user cooperation diversity, *IEEE International Symposium on Information Theory*, pp.156, USA.
- [16] Laneman, J.N., Tse, D.N.C., Wornell, G.W. 2001 An efficient protocol for realizing cooperative diversity in wireless networks, *IEEE ISIT*, 294 pp.,

USA

[17] Laneman, J.N., Tse, D.N.C., Wornell, G.W. 2004. Cooperative Diversity in Wireless Networks: Efficient Protocols and Outage Behavior. *IEEE Trans. Inf. Theory* 50 (12): 3062–80.

[18] Onat, F.A., Adinoyi, A., Fan, Y., Yanikomeroglu, H., Thompson, J.S., Marsland, I.D. 2008. Threshold Selection for SNR-Based Selective Digital Relaying in Cooperative Wireless Networks. *IEEE Trans. on Wirel. Commun.* 7 (11): 4226–4237.

[19] Ikki, S., M.H. Ahmed. 2007. Performance of Decode-and-Forward Cooperative Diversity Networks Over Nakagami-M Fading Channels. *IEEE Global Telecommunications Conference*, 4328–33 pp., USA.

[20] Onat, F.A., A., Fan, Yanikomeroglu, H., Poor, H.V. 2008. Threshold Based Relay Selection in Cooperative Wireless Networks. *GLOBECOM - IEEE Global Telecommunications Conference*, 1-5 pp., USA.

[21] F. Kara, H. Kaya, O. Erkaymaz, and E. Öztürk. Prediction of the optimal threshold value in df relay selection schemes based on artificial neural networks. In *INnovations in Intelligent SysTems and Applications (INISTA)*, 2016 International Symposium on. IEEE, 2016.

[22] J. G. J. G. Andrews et al., “What will 5G be?,” *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 32, no. 6, pp. 1065–1082, 2014.

[23] A. Maaref and Y. Cao, “User Cooperation for 5G Wireless Access Networks,” *Int. J. Wirel. Inf. Networks*, vol. 22, no. 4, pp. 298–311, 2015.

[24] M. O. Hasna and M. S. Alouini, “Outage probability of multihop transmission over Nakagami fading channels,” *IEEE Commun. Lett.*, vol. 7, no. 5, pp. 216–218, 2003.

[25] K. Xie, X. Wang, J. Wen, and J. Cao, “Cooperative Routing with Relay Assignment in Multiradio Multihop Wireless Networks,” *IEEE/ACM Trans. Netw.*, vol. 24, no. 2, pp. 859–872, 2016.

[26] Çakar, E., Kara, F., ve Kaya, H. 2019. Error Analysis of Threshold Based Three-hop Device to Device (D2D) Communication Systems, *27th IEEE Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*,