

# آشکار سازی سیگنال های مخابراتی



## به کمک برازش خم

حمید نوراللهی<sup>۱</sup>، سید ابوالفضل حسینی<sup>۲\*</sup>، علی شهزادی<sup>۳</sup> و رامین شقاقی کندوان<sup>۴</sup>

<sup>۱،۲،۴</sup> گروه آموزشی مخابرات دانشکده برق و کامپیوتر، واحد یادگار امام خمینی (ره)،

شهری، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

<sup>۳</sup> گروه آموزشی مخابرات، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

### چکیده

در این مقاله روش جدیدی برای آشکار سازی سیگنال های مخابراتی پیشنهاد شده است که بر مبنای استخراج ویژگی های سیگنال مخابراتی به کمک برازش خم عمل می کند. در هر یک از سمبل های سیگنال مخابراتی یک تابع تقریب کسر گویا به وسیله برازش بر منحنی سیگنال آن ایجاد می شود. ویژگی های جدید به وسیله ضرایب چند جمله ای صورت و مخرج این تابع تقریب کسر گویا تعیین می شوند. در روش پیشنهادی دو فاز آموزش و آزمون در نظر گرفته شده است. ابتدا در فاز آموزش الگوریتم، تعداد مشخصی سمبل های تصادفی تولید می شود و توسط مدولاسیون دودویی ASK و FSK مدوله می شوند، در ادامه سیگنال مدوله شده هر یک از سمبل ها در کانال به نوفه جمع شونده گوسی آغشته می شود و توسط آنتن گیرنده دریافت، سپس نمونه های مشخصی از شکل موج سیگنال دریافت شده با نرخ نمونه برداری مشخص استخراج می شود. به ازای هر  $N=1500, 12500$  نمونه از سیگنال یک منحنی کسر گویا با درجه  $L$  و  $M$  مشخص برازش می شود؛ سپس تمامی ضرایب صورت و مخرج تابع کسر گویا برازش شده با درجات  $M$  و  $L$  مختلف ذخیره شده و هیستوگرام ضرایبی که قابلیت تفکیک کامل دو رده صفر و یک را دارند، به دست می آیند؛ لذا تمامی ضرایب با درجات  $M$  و  $L$  مختلفی که امکان تفکیک کامل را دارند همراه با مرز تصمیم گیری شان در یک جدول ذخیره می شوند. گفتنی است که داده های مورد استفاده جهت استخراج و شناسایی ضرایب تفکیک کننده، داده های آموزشی هستند. سرانجام جهت آنالیز کارایی روش پیشنهادی، تعداد مشخصی از داده های آزمون با مدولاسیون مشخص ارسال و با مقایسه با مرزهای تصمیم گیری به دست آمده در فاز آموزش نسبت به رده بندی آن در رده مورد نظر تصمیم گیری می شود. نتایج رده بندی روش پیشنهادی بیانگر برتری روش پیشنهادی در مقایسه با روش احتمال خطا تئوری است.

واژگان کلیدی: آشکار سازی، استخراج ویژگی، برازش منحنی، رده بندی

## Signal detection Using Rational Function Curve Fitting

Hamid Nourollahi<sup>1</sup>, S. Abolfazl Hosseini<sup>2\*</sup>, Ali Shahzadi<sup>3</sup> & Ramin Shaghghi Kandovan<sup>4</sup>

Department of Communication Engineering, Faculty of Electrical and Computer Engineering, Yadegar -e- Imam Khomeini (RAH) Shahre Rey Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran<sup>1,2,4</sup>

Department of Communication Engineering, Faculty of Electrical and Computer Engineering, Semnan University, Iran<sup>3</sup>

### Abstract

In this manuscript, we proposed a new scheme in communication signal detection which is respect to the curve shape of received signal and based on the extraction of curve fitting (CF) features. This feature extraction technique is proposed for signal data classification in receiver. The proposed scheme is based on curve fitting and approximation of rational fraction coefficients. For each symbol of received signal, a specific rational function approximation is developed to fit with received signal curve and the coefficients of the numerator and denominator polynomials of this function are considered as new extracted features. Then it will be shown that the coefficients of this polynomials have the potential for using as new features in a statistical classifier and have better performance in competition with other solutions such as linear and even nonlinear feature extraction methods in classification. The criteria

\* Corresponding author

\* نویسنده عهده دار مکاتبات

used in performance evaluation are probability of error and signal to noise ratio in FSK and ASK modulations. For each symbol of received signal, a specific rational function approximation is developed to fit with received signal curve and the coefficients of the numerator and denominator polynomials of this function are considered as new extracted features. In the proposed method, there are two phases train and test, which are described in the following two steps. First, in the train phase, the algorithm starts by using binary FSK and ASK modulations, so first, a system generate a number of random symbols then signal is modulated by binary ASK and FSK. The Modulated FSK and ASK signals are corrupted in the channel with noise. The noise-corrupted signal enters the receiver at the corresponding transmitted interval. Then, the samples are extracted from the modulated signals based on predetermined sample rates. Then, we fit a rational fraction curve with degrees of L and M to each set of N samples. Afterward, we apply all the numerator (L+1) and denominator (M) coefficients to 0 and 1 classes in the binary FSK and ASK modulations. We store all the specific coefficients of the deterministic symbols at different M and L values to create the corresponding histogram in each class. In each histogram (i.e., the coefficients of a class), we extract and store specific coefficients that completely discriminate between the two classes. Therefore, we determine all the histograms where there is a good approximation of discrimination and create the related table. Note that the data used in histograms are the training data. Then, in order to analyze and evaluate the performance of the proposed curve fitting method, we send the testing data through the channel corresponding to the related modulator. The results of the proposed classification method show that it provides smaller error rate regarding to the theoretical error rate probability in AWGN channel.

**Keywords:** detection, feature extraction, curve fitting, classification

یک طرفه (بیان آزمون UMP)، آشکارساز ALR، آشکارساز GLR، آشکارساز Clairvoyance، آزمون (آشکارساز) راثو (Rao Test) اشاره کرد.

به طور کلی آشکارسازی را از لحاظ ماهیت سیگنال به دو دسته کلی آشکارسازی سیگنال های قطعی<sup>۱</sup> و تصادفی تقسیم می کنند.

از روش های متداول آشکارساز سیگنال های قطعی می توان به آشکارساز فیلتر منطبق، آشکارساز فیلتر منطبق توسعه یافته (GMF) و از آشکارسازهای سیگنال تصادفی به آشکارساز انرژی و آشکارساز انرژی تعمیم یافته اشاره کرد.

مخابرات یک دانش تخصصی غنی از چگونگی مدل کردن کانال ها از انواع مختلف آن [1]، [2]، جبران غیر ایده آل بودن سخت افزارهای مختلف [3] [4]، طراحی آشکارسازها و سیگنالینگ بهینه ای است که انتقال مطمئن داده را فراهم می کند [5]. از آنجایی که تفاوت اشکال در سیگنال های دریافتی سمبل ها منجر به ضرایب متفاوت در تابع برازش خم می شوند؛ لذا به نظر می رسد که به کمک این ضرایب برازش خم می توان به رده بندی خم های سیگنال های سمبل ها دست پیدا کرد. در ادامه به ضرورت و دلایل به کارگیری هوش مصنوعی در سامانه های مخابراتی و آشکارسازی سیگنال اشاره می شود.

نخست آنکه بیشتر الگوریتم های پردازش سیگنال در مخابرات دارای پایه و استدلال قوی در آمار و تئوری اطلاعات هستند و اغلب برای مدل های ریاضی مهار شدنی قابل پیاده سازی و بهینه هستند. حال آنکه یک سامانه

## ۱- مقدمه

تئوری آشکارسازی در واقع کاربرد آزمون فرضیه آماری در کشف سیگنال های آغشته به نوفه را بیان می دارد. گستردگی کاربرد این موضوع در سامانه های مختلف (در رادار برای تشخیص وجود و یا عدم وجود هدف، در سونار برای تشخیص حضور زیردریایی دشمن، در پزشکی برای تشخیص بی نظمی در ضربان قلب، در کنترل برای تشخیص وقوع تغییرات ناگهانی در سامانه تحت کنترل، در پردازش تصویر برای تشخیص اثر انگشت، در لرزه نگاری برای تشخیص بود و نبود میدان های نفتی و سایر کاربردها از قبیل: آشکارسازی یک چرخ بال در تصاویر مادون قرمز، آنالیز داده های حاصل از پدیده های فیزیکی، آزمایشات پزشکی و ...) میزان اهمیت پژوهش در این راستا را بیان می دارد.

در مسائل مربوط به آشکارسازی با دو سؤال، مواجه هستیم، آیا آشکارساز طراحی شده عملکرد خوبی دارد و آیا این آشکارساز اشتباه هم می کند؟ پس باید آشکارسازی طراحی شود که علاوه بر بهینه بودن، احتمال خطا را نیز به کمینه برساند.

روش های آشکارسازی با فرضیه ساده عبارتند از آزمون فرضیه باینری در ساختارهای مختلف آشکارسازی، آشکارساز بیشینه احتمال پسین (MAP)، آشکارساز ML، آشکارساز بیز، آشکارساز بیز چندگانه (آزمون فرضیه چندگانه)، آشکارساز Min-Max، آشکارساز نیمین - پیرسون

از روش های آشکارسازی اصول آزمون های فرضیه مرکب نیز می توان به آزمون فرضیه مرکب دوطرفه و

<sup>1</sup> Deterministic

عملی دارای بسیاری غیر ایده‌آل‌ها و غیرخطی‌هاست [4] (همچون تقویت‌کننده‌های غیرخطی و کوانتیزه رزلوشن محدود). سامانه ارتباطی مبتنی بر هوش مصنوعی (شناسایی پترن) نیاز به یک مدل ریاضی مهار شدنی ندارد و می‌تواند برای پیکربندی سخت‌افزاری مشخصی بهینه شود و کانال نیز می‌تواند برای این‌گونه غیر ایده‌آل بودن‌ها، بهتر بهینه شود.

دوم یکی دیگر از اصول طراحی سامانه‌های مخابراتی تقسیم پردازش سیگنال بر روی زنجیره‌ای از بلوک‌های مستقل چندگانه است که هرکدام یک تابع تعریف شده و ایزوله شده (مانند کدینگ منبع / کانال، مدولاسیون، تخمین کانال، متعادل‌سازی) را اجرا می‌کند. اگرچه این یافته منجر به سامانه‌های مؤثر و قابل کنترل امروزی شده، اما بلوک‌های پردازش بهینه‌شده انفرادی ممکن است به بهترین کارایی ممکن انتها به انتها منجر نشود. برای مثال جداسازی کدینگ کانال و منبع برای کانال‌های عملی و طول‌های بلوک کوتاه (به مرجع [6] و مرجع‌های داخل آن رجوع شود) همچون جداسازی کدینگ و مدولاسیون [7] به‌عنوان زیر بهینه<sup>۱</sup> شناخته می‌شوند. تلاش در جهت بهینه‌سازی زنجیره‌ای از این مؤلفه‌ها بر پایه گراف‌های عامل‌شان [8] منجر به دستیابی به بهره<sup>۲</sup>، اما در عین حال منجر به پیچیدگی محاسباتی و غیرعملی بودن آن نیز می‌شود.

سوم در [9] از شبکه هوش مصنوعی<sup>۳</sup> به‌عنوان یک تقریب زن جهانی یاد شده‌است و یافته‌های اخیر برای یادگیری الگوریتم با شبکه عصبی بازگشتی یک ظرفیت [10] قابل توجهی را نشان می‌دهد که می‌تواند تورینگ کامل<sup>۴</sup> [11] را تداعی کند. همچنین اثبات می‌شود که الگوریتم‌های یادگیری در ساختار موازی برخلاف هزینه انرژی کمتر از سرعت و دقت بیشتری نسبت به ساختار معادل غیر موازی‌شان، برخوردارند [12].

چهارم ساختارهای با حافظه توزیع شده و پردازش‌های موازی حجیم همچون واحدهای پردازش گرافیکی<sup>۵</sup> که تراشه‌های خاصی برای پردازش‌های شبکه‌های عصبی بازگشتی هستند [13]، از مصرف انرژی کمتر و مؤثر قابل توجهی برخوردارند [14].

یک سامانه ارتباطی انتهابه‌انتهای آموزش‌دیده آن ساختار ماژولار سخت‌گیرانه را ندارد و برای کارایی انتهابه‌انتهای طراحی شده‌است.

در همین اواخر به‌کارگیری روش‌های هوش مصنوعی همچون شناسایی پترن در سامانه‌های مخابراتی به‌منظور رسیدن به یک مدل نزدیک به شرایط واقعی بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند.

در [15] به بررسی مناسب‌ترین برازش خم در یک سری داده دلخواه داده شده به‌کمک خانواده‌ای از منحنی‌ها و سطح‌ها اشاره شده‌است. در بررسی صورت‌گرفته، کمینه‌کردن مجموع فواصل عمودی نقاط با سطح مورد هدف با معیار میرایی در برازش مورد توجه قرار گرفته‌است.

در [16] به مسأله برازش خم از دید نگاشت داده‌های جداسازی غیرخطی به نوع جداسازی خطی آن پرداخته‌است؛ درحقیقت تبدیل خطی یا تربیعی، نگاشت داده‌ها را به یک فضای جدید برای رده‌بندی بهتر هموار می‌کند. همچنین سعی شده‌است که فضای جدید نگاشت شده دارای ابعاد کمتر و برابر با تعداد رده‌ها باشد؛ سپس در فضای جدید از بردار ماشین پشتیبان خطی برای رده‌بندی داده‌های آموزشی استفاده شده‌است.

برازش خم به‌عنوان یک رده‌بندی‌کننده دودویی<sup>۶</sup> در الگوریتم کدهای خروجی تصحیح‌کننده خطا<sup>۷</sup> برای حل مسائل رده‌بندی چند رده در مرجع [17] پیشنهاد شده‌است. مؤلف با ارائه پنج کدکننده و هشت دکدکننده از الگوریتم کدهای خروجی تصحیح‌کننده خطا و با مقایسه نتایج برازش خم با رده‌بندی آداپوست<sup>۸</sup> و طبقه‌بند نزدیک‌ترین میانگین<sup>۹</sup> روش برازش خم را به‌عنوان یک طبقه‌بند پایه مطلوب معرفی کرده‌است.

در داده‌های ابر طیفی کاهش ویژگی (انتخاب یا استخراج ویژگی) از اهمیت بالایی برخوردار است در [18] و [19] یک روش استخراج ویژگی بر پایه برازش خم کسر گویا ارائه شده‌است. برای هر پیکسل از یک تصویر ابر طیفی، یک تابع تقریب کسر گویا مجزا از طریق برازش بر منحنی پاسخ طیفی آن پیکسل تولید شده‌است. ضرایب چندجمله‌ای صورت و مخرج این تابع به‌عنوان ویژگی‌های جدید معرفی شده‌است. روش پیشنهادی بر ماهیت هندسی منحنی‌های پاسخ طیفی تأکید و تمرکز دارد و بر این واقعیت تأکید دارد که توالی نقاط در این منحنی‌ها حاوی اطلاعات مفیدی است.

سیگنال صدای تولیدشده از فعالیت مکانیکی قلب دارای اطلاعات مفیدی است که می‌تواند در عمل‌های

<sup>6</sup> binary classifier

<sup>7</sup> Error Correcting Output Codes (ECOC)

<sup>8</sup> Adaboost classification

<sup>9</sup> Nearest Mean Classifier (NMC)

<sup>1</sup> sub-optimal

<sup>2</sup> Gain

<sup>3</sup> Artificial Neural Networks (ANN)

<sup>4</sup> Turing-complete

<sup>5</sup> graphic processing units (GPUs)

دریچه قلب به کار گرفته شود. جهت تفکیک سیگنال‌های قلب در حالت‌های طبیعی و غیرطبیعی اشخاص استخراج ویژگی حائز اهمیت می‌شود. مؤلف در [20] استخراج ویژگی‌ها را در دنباله سیگنال صدای قلب به کمک برازش خم مدنظر قرار داده است.

در [21] به کمک برازش خم یک مدل جهت پیش‌گویی اتلاف مسیر بر پایه اندازه‌گیری‌های میدانی توان سیگنال در سامانه مخابراتی وایمکس پیشنهاد شده است.

در این مقاله یک روش نوین از آشکارسازی سیگنال‌های مخابراتی مبتنی بر برازش منحنی و تقریب ضرایب کسر گویا ارائه شده است. در مقادیر مختلفی از سیگنال به نوفه و نرخ نمونه‌برداری، هیستوگرام ضرایب قابل تفکیک نشان داده می‌شود. همچنین کارایی این روش به کمک نتایج شبیه‌سازی در مقایسه با روش آشکارسازی احتمال خطای تئوری با مقایسه احتمال خطای در شرایط برابر کانال و سیگنال به نوفه در مدولاسیون‌های FSK و ASK نمایش داده می‌شود.

## ۲- مروری کوتاه بر تئوری آشکارسازی ردهیک و روش‌های برازش خم

روش‌های مختلف آشکارسازی سیگنال‌های تصادفی از آزمون فرضیه دودویی در ساختارهای مختلف آشکارسازی، آشکارساز بیشینه احتمال پسین (MAP)، آشکارساز ML، آشکارساز بیز، آشکارساز بیز چندگانه (آزمون فرضیه چندگانه)، آشکارساز Min-Max، آشکارساز نیمین - پیرسون از یک تئوری مشترک مبتنی بر تابع چگالی احتمال رخداد هر یک از فرضیه‌ها تبعیت می‌کند.

### ۲-۱- تئوری آشکارسازی ردهیک

در [22] به یک نتیجه کلی در خصوص روش‌های مختلف ردهیک اشاره شده و به یک معادله آزمون بهینه کلی در مسأله آزمون فرضیه دودویی دست پیدا کرده است. در به کارگیری از آزمون بیز یا آشکارساز نیمین - پیرسون، آزمون بهینه درحقیقت آزمون نسبت بیشینه تشابه است که عبارت است از:

$$\Lambda(R) = \frac{P_{r|H_1}(R|H_1)}{P_{r|H_0}(R|H_0)} \underset{H_0}{\overset{H_1}{>}} \eta \quad (1)$$

$$\Lambda(R) = \frac{P_{r|H_1}(R|H_1)}{P_{r|H_0}(R|H_0)} \underset{H_0}{\overset{H_1}{<}} \eta$$

معادله بالا در حالت کلی مستقل از ابعاد فضای مشاهده است. آزمون شامل مقایسه متغیر عددی  $\Lambda(R)$  با یک سطح آستانه  $\eta$  است. علاوه بر این می‌توان برای تعیین  $R$  از معادله (۲) بهره برد:

$$\beta_i(R) = \sum_{j=0}^{M-1} C_{ij} P_r(H_j|R) \quad (2)$$

$i=0,1, \dots, M-1$

که در آن  $M$  الفبای مدولاسیون و  $\beta_i(R)$  مقداری است که در سبیل دریافتی  $\Lambda$  می‌بایست محاسبه و کمترین مقدار آن جهت  $R$  موردنظر، انتخاب شود.

## ۲-۲- برازش منحنی و قابلیت تفکیک‌کنندگی آن

در بسیاری از مسائل مربوط به اندازه‌گیری، رابطه‌ای ریاضی بین مقادیر مشاهده و متغیر نشان‌دهنده دفعات اندازه‌گیری می‌توان یافت. برازش منحنی ره‌یافتی معمول برای یافتن این رابطه ریاضی است؛ به علاوه، برازش منحنی به منظورها، نظیر کاهش نوفه و هموارسازی داده‌ها، جبران‌سازی خطا، درون‌یابی و برون‌یابی داده‌ها نیز قابل استفاده است.

هدف از برازش منحنی یافتن تابعی مانند  $f(t)$  از یک دسته از پیش مشخص شده توابع برای مجموعه نقاطی به فرم  $\{(t, I_t) | t = 1, 2, \dots, N\}$  است؛ به نحوی که فاصله وزن‌دار بین نقاط مشاهده و مقادیر حاصل از  $f(t)$  کمینه شود. معیارهای متعدد برازش نظیر حداقل مربعات<sup>۱</sup> (LS)، کمینه مطلق مانده‌ها<sup>۲</sup> (LAR)، یا برازش مربعی دوگانه<sup>۳</sup> می‌تواند برای انجام برازش خطی یا غیرخطی (نمایی و یا گونه‌ای دیگر) به کار رود. در روش کمینه مربعات، تابع  $f(t)$  از طریق کمینه‌سازی عبارت میانگین خطای مربعی وزن‌دار که در معادله (۳) مشاهده می‌کنید به دست می‌آید:

$$\frac{1}{N} \sum_{t=1}^N w_t (f(t) - I_t)^2 \quad (3)$$

در روش‌های LAR و برازش مربعی دوگانه از فرایندی بر پایه تکرار برای یافتن  $f(t)$  بهره برده می‌شود که مقاوم‌تر و در عوض پیچیده‌تر است.

مدل‌های متنوعی از برازش منحنی نظیر چندجمله‌ای، خطی، اسپلاین و... وجود دارد. در این پژوهش یک مدل خاص از برازش غیرخطی با استفاده از

<sup>1</sup> Least squares

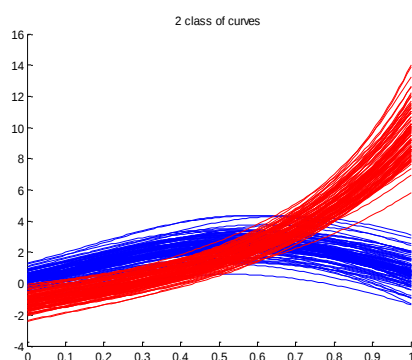
<sup>2</sup> Least absolute residuals

<sup>3</sup> Bisquare fitting

با چندجمله‌ای‌هایی با درجه پایین در صورت و مخرج این یعنی در مقایسه با مدل چندجمله‌ای برای همان ساختار، به محاسبه تعداد ضرایب کمتری نیاز داریم و حجم محاسبات قابل قبول اگرچه مدلی غیر خطی محسوب می‌شوند، اما مدل غیر خطی ساده‌ای هستند.

## ۳-۲- قابلیت برازش منحنی برای اهداف رده‌بندی

در بخش‌های قبلی مسأله برازش منحنی و تقریب پده توضیح داده شدند. از آنجا که تفاوت بین منحنی‌های مختلف، موجب تفاوت در ضرایب تابع تقریب‌زن پده متناظر با آنها می‌شود، به نظر می‌رسد که این ضرایب می‌توانند به‌عنوان ویژگی‌هایی ممیز برای تفکیک منحنی‌هایی از خانواده‌های مختلف از یکدیگر عمل کنند. برای مثال در ادامه دو نمونه از دسته منحنی‌ها به رنگ‌های آبی و قرمز که در شکل (۱-الف) آمده است همراه با هیستوگرام ضرایب مربوطه و ضرایب تفکیک‌کننده به‌ترتیب در شکل‌های (۱-ب و ۱-پ) آمده است. همان‌گونه که در شکل مشاهده می‌کنید ضرایب برازش منحنی در دو منحنی در برخی ضرایب با یکدیگر هم‌پوشانی دارند و در برخی ضرایب به‌طور کامل از یکدیگر تفکیک‌پذیرند. چنان که در این شکل مشهود است، هیستوگرام بعضی از این ضرایب به‌تنهایی توانایی تفکیک دو خانواده منحنی را دارد. این واقعیت انگیزه اولیه برای استفاده از ضرایب برازش منحنی را به‌عنوان ویژگی ممیز در امر رده‌بندی سیگنال‌های دریافتی در گیرنده فراهم می‌کند.



(شکل ۱-الف): دو نمونه دسته منحنی  
(Figure 1-a): Two samples of curved clusters

توابع کسری گویا مد نظر قرار گرفته که تعداد پارامترهای آن از تعداد نقاط مشاهده به میزان قابل توجهی کمتر است. مدل یادشده با الهام از تقریب‌زن چندجمله‌ای Padé پیشنهاد شده‌است.

از روش‌های برازش منحنی می‌توان به روش‌های برازش به کمک توابع چندجمله‌ای، برازش به کمک خط (چندجمله‌ای درجه ۱)، برازش به کمک چندجمله‌ای درجه  $n$  تقریب چندجمله‌ای کسر گویا اشاره کرد. در ادامه روش تقریب چندجمله‌ای کسر گویا تشریح می‌شود.

در میان تمام تقریب‌های به فرم کسر گویا و از مرتبه‌ای خاص از یک تابع معلوم  $f(t)$ ، تابع تقریب‌زن معرفی‌شده توسط هنری پده<sup>۱</sup>، بهترین تقریب را ارائه می‌دهد، به‌گونه‌ای که سری توانی تابع تقریب‌زن و تابع تقریب زده‌شده بر هم منطبق می‌شوند. این تابع تقریب‌زن، در بسیاری موارد از سری تیلور نیز بهتر عمل می‌کند و حتی در مواقعی که سری تیلور واگرا می‌شود می‌تواند همچنان تقریب خوبی ارائه دهد. تابع  $f$  و پارامترهای صحیح  $L \geq 0$  و  $M \geq 0$  را در نظر بگیرید. تابع تقریب‌زن چندجمله‌ای پده از مرتبه  $(L, M)$  به‌صورت تابع کسری گویای زیر تعریف می‌شود:

$$[L/M]_f(t) \triangleq \hat{f}(t) = \frac{\sum_{j=0}^L c_{j+M+1} t^j}{1 + \sum_{j=1}^M c_j t^j} \quad (4)$$

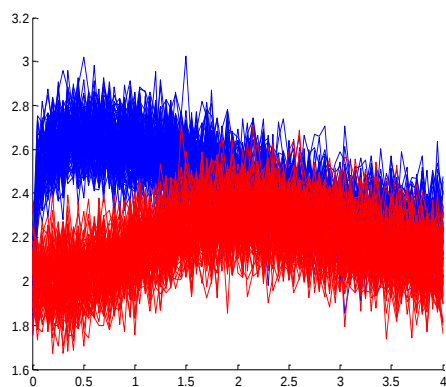
این تقریب بر  $f(t)$  با نهایت دقت ممکن منطبق است، به‌گونه‌ای که:

$$f^{(i)}(0) = \hat{f}^{(i)}(0) \quad i = 0, 1, \dots, M + L \quad (5)$$

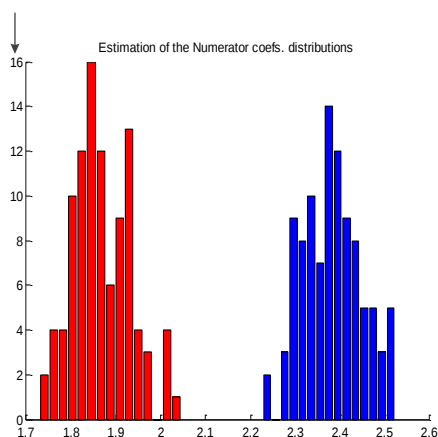
که در آن  $f^{(i)}(.)$  عبارت است از مشتق  $i$ ام تابع  $f$ . به‌بیان دیگر، اگر تابع تقریب‌زن را به‌صورت سری مک لورن گسترش دهیم، نخستین  $M+L$  جمله آن با جملات متناظر در بسط مک لورن  $f(t)$  منطبق است. در حالتی که  $M$  صفر باشد، تقریب‌زن پده همان گسترش مک لورن تابع  $f(t)$  خواهد بود.

از مزایای چندجمله‌ای کسر گویا می‌توان به داشتن فرم به‌نسبه ساده، مستقل‌بودن از متریک مورد استفاده و قابلیت تطبیق با جابه‌جایی نقاط و تغییر مقیاس محورها، قابلیت منطبق‌شدن بر گروه وسیع‌تری از اشکال نسبت به مدل چندجمله‌ای، قدرت درونیابی بهتر به‌دلیل هموارتربودن و داشتن خاصیت نوسانی کمتر (در مقایسه با چندجمله‌ای‌ها)، قدرت برون‌یابی فوق‌العاده، خواص مجانبی بسیار خوب، قابلیت اعمال به ساختارهای پیچیده

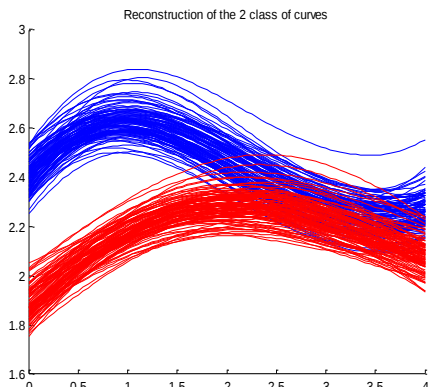
<sup>1</sup>Henri Padé



(شکل ۱-ث): دو نمونه دسته منحنی آغشته به نوفه  
(Figure-1-e): The noise-corrupted curve clusters

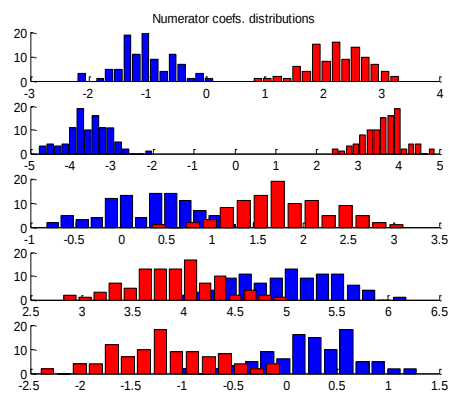


(شکل ۱-ج): ضرایب تفکیک کننده  
(Figure-1-f): the discriminating coefficients

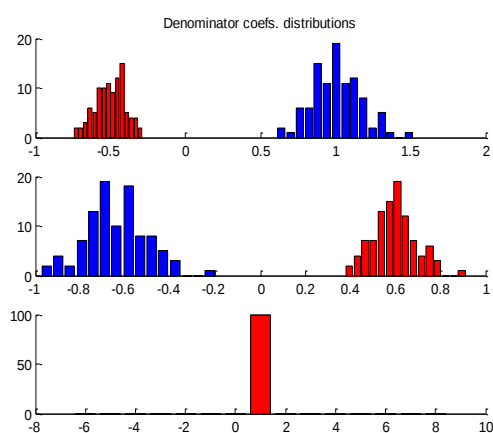


(شکل ۱-چ): دسته منحنی‌های بازسازی شده  
(Figure-1-g): The reconstructed curve clusters from the noise-corrupted curve clusters

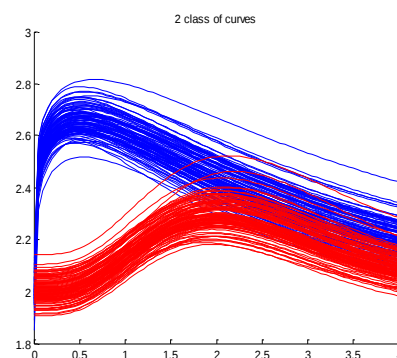
در ادامه امکان تفکیک و رده‌بندی منحنی‌ها در شرایطی که منحنی سیگنال‌های ارسالی با مدولاسیون مربوطه آغشته به نوفه جمع‌شونده گوسی باشند، بررسی شده‌اند. در شکل (۱-ث) دو نمونه دیگر از دسته منحنی نمایش داده شده‌است و در شکل‌های (۱-ث، ۱-ج، ۱-چ) به ترتیب دسته منحنی‌های آغشته به نوفه و ضرایب تفکیک‌کننده و دسته منحنی‌های بازسازی شده به نمایش در آمده‌اند.



(شکل ۱-ب): هیستوگرام ضرایب صورت برازش خم دو نمونه دسته منحنی  
(Figure 1-b): histograms of numerator coefficients for two different clusters of curves



(شکل ۱-پ): هیستوگرام ضرایب مخرج برازش خم دو نمونه دسته منحنی  
(Figure 1-c): histograms of denominator coefficients for two different clusters of curves



(شکل ۱-ت): دو نمونه دسته منحنی  
(Figure-1-d): Two samples of curved clusters

### ۳- روش استخراج ویژگی پیشنهادی

اشاره شد که هر سیگنال دریافتی از یک فرستنده مخابراتی ترکیبی از سیگنال فرستنده، تداخل و نوفه است؛ لذا سیگنال دریافتی ماهیت تصادفی داشته و شکل هندسی خاصی ندارد. به بیانی دیگر، هر سیگنال دریافتی را می‌توان به صورت نمودار تابعی به فرم  $f(t)$  در نظر گرفت. اگر چه رابطه ریاضی دقیق  $f(t)$  بر ما آشکار نیست، اما مقادیر تابع در  $N$  نقطه متوالی اندازه‌گیری شده است که می‌تواند به ما برای برآوردن یک منحنی بر این منحنی کمک کند. نشان خواهیم داد که می‌توان با روشی مبتنی بر کمینه‌مربعات خطا، تقریبی ریاضی از  $f(t)$  به فرم یک تابع کسری گویا با چندجمله‌ای‌هایی در صورت و مخرج به دست آورد؛ سپس نشان داده خواهد شد که ضرایب این چندجمله‌ای‌ها قابلیت این را دارند که به عنوان ویژگی‌های استخراجی جدید برای یک طبقه‌بند آماری (نظیر طبقه‌بند بیشینه احتمال) به کار روند و نتایج رضایت‌بخشی را در رقابت با برخی دیگر از روش‌های استخراج ویژگی خطی و حتی غیرخطی اعم از با نظارت و بدون نظارت تولید کنند. تقریب کسری برای تابع  $f(t)$  متناظر با شکل موج سیگنال دریافتی آغشته به نوفه در گیرنده به صورت زیر در نظر گرفته می‌شود:

$$[L/M]_f(t) \triangleq \hat{f}(t) = \frac{\sum_{j=0}^L c_{j+M+1} t^j}{1 + \sum_{j=1}^M c_j t^j} \quad (6)$$

که در آن بردار ضرایب  $C = \{c_1, c_2, \dots, c_{M+L+1}\}^T$  از طریق کمینه سازی میانگین مربعات خطا به صورت زیر تعیین می‌شود.

$$E = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (\hat{f}(t) - f(t))^2 \quad (7)$$

که در آن  $N$  تعداد نقاط نمونه‌برداری شده از سیگنال است. با محاسبه و برابر صفر قراردادن مشتق بالا نسبت به ضرایب خواهیم داشت:

$$\frac{\partial E}{\partial c_i} = 0; \quad i=1, \dots, M \quad (8)$$

$$\sum_{t=1}^N \frac{-2t^j}{1 + \sum_{j=1}^M c_j t^j} \left( \sum_{j=0}^L c_{j+M+1} t^j \right) \times (\hat{f}(t) - f(t)) \quad (9)$$

$$\frac{\partial E}{\partial c_i} = 0; \quad i=M+1, \dots, M+L+1 \quad (10)$$

$$\sum_{t=1}^N \frac{-2t^{i-M-1}}{1 + \sum_{j=1}^M c_j t^j} (\hat{f}(t) - f(t)) = 0 \quad (11)$$

یک شرط لازم و نه کافی برای حل دستگاه معادلات غیرخطی بالا یافتن بردار  $C$  می‌باشد به گونه‌ای که:

$$\frac{\sum_{j=0}^L c_{j+M+1} t^j}{1 + \sum_{j=1}^M c_j t^j} = f(t); \quad t = 1, \dots, N \quad (12)$$

بدین ترتیب یک دستگاه از  $N$  معادله خطی با  $M+L+1$  مجهول خواهیم داشت که به صورت زیر قابل بازنویسی است:

$$\sum_{j=0}^L c_{j+M+1} t^j - f(t) \sum_{j=1}^M c_j t^j = f(t); \quad t = 1, \dots, N \quad (13)$$

و با نمایش آن به صورت ماتریسی خواهیم داشت:

$$A_{N \times (M+L+1)} C_{(M+L+1) \times 1} = B_{N \times 1} \quad (14)$$

که در آن:

$$A_{N \times (M+L+1)} = [a_{tj}] \quad (15)$$

$$a_{tj} = \begin{cases} -f(t)(t)^j & j = 1, \dots, M \\ (t)^j & j = M+1, \dots, M+L+1 \end{cases} \quad (16)$$

$$B = [f(1), f(2), \dots, f(N)]^T \quad (17)$$

منطقی به نظر می‌رسد که  $M+L+1 < N$  تا تعداد ویژگی‌های استخراجی در مقایسه با تعداد نمونه‌های اولیه گرفته شده از سیگنال کاهش قابل توجهی داشته باشد؛ بنابراین ماتریس  $A$  مربعی نخواهد بود و دستگاه معادلات خطی ۱۴ نمی‌تواند پاسخی یکتا داشته باشد و حتی ممکن است پاسخی نداشته باشد. با این حال می‌توان با بهره‌گیری از شبه‌وارون‌ها بردار  $C$  را به گونه‌ای یافت که نرم ماتریس  $AC-B$  کمینه شود. در این مقاله ما از شبه‌وارون مور-پن<sup>۱</sup> روز استفاده می‌کنیم.

### ۳-۱- به کارگیری برازش خم در آشکارسازی

روش جدیدی در خصوص آشکارسازی سیگنال‌های مخابراتی با مدولاسیون مختلف به کمک برازش منحنی و تقریب کسر گویا پیشنهاد شده است. برای هر سمبل از مدولاسیون انتخابی یک تابع تقریبی کسرگویای جداگانه از طریق برازش بر منحنی سیگنال ارسالی هر سمبل در بازه زمانی مربوطه تولید می‌شود. ویژگی‌های جدید و متمایز این سیگنال‌ها، ضرایب صورت و مخرج این تابع انتخاب می‌شوند. روش پیشنهادی بر مقایسه و آنالیز ضرایب برازش خم از نمونه‌های نمونه‌برداری شده سمبل‌های مدولاسیون استوار است. کانال دارای نوفه جمع‌شونده گوسی در نظر گرفته شده است و مدولاسیون‌های دیجیتال ASK و FSK دودویی مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. نتایج رده‌بندی با طبقه‌بند به وسیله ویژگی ضرایب معرفی شده حکایت از کارایی و قدرت روش پیشنهادی در مقایسه با سایر روش‌های رایج و معمول را دارد.

<sup>1</sup> Moore\_Penrose

## به کمک تقریب کسر گویا

در روش پیشنهادی دو مرحله آموزش و آزمون وجود دارد که در ادامه دو مرحله تشریح شده است. در ابتدا تعدادی بیت صفر و یک را به صورت تصادفی تولید می کنیم که در اینجا تعداد پانصد تا صفر و یک را تولید کردیم؛ سپس آنها را به وسیله مدولاسیون ASK/FSK مدوله می کنیم؛ سپس سیگنال مدوله شده وارد کانال AWGN می شود.

در گیرنده سیگنال آغشته به نوفه را دریافت و در هر بازه زمانی ارسالی بیت (Bit interval) نمونه می گیریم. به هر مجموعه N تایی نمونه ها یک منحنی کسر گویا با درجه L و M برازش می کنیم. هیستوگرام تمام ضرایب صورت که L+1 تا و M خرج M تا را برای دو رده مختلف صفر و یک به طور مجزا رسم می کنیم. برای هر کدام از هیستوگرام ها (ضریب های یک رده) بررسی می کنیم که کدام ضریب قابلیت تفکیک کامل دو رده را دارد و آنها را ذخیره می کنیم؛ علاوه بر آن با مقایسه هیستوگرام هایی که قابلیت تفکیک دو رده را دارند، می توان مرز تصمیم گیری را تعیین کرد؛ لذا تمام هیستوگرام هایی را که در آنها با تقریب خوبی تفکیک وجود دارد، همراه با مرز تصمیم گیری شان مشخص می کنیم و جدول مربوط به تفکیک L و M های مختلف را تشکیل می دهیم. داده هایی که هیستوگرام آنها را ترسیم می کنیم، داده های آموزشی هستند؛ سپس جهت آنالیز و بررسی کارایی روش پیشنهادی برازش منحنی مجموعه ای از صفر و یک های تولید شده در مرحله آزمون وارد مدولاتور ASK/FSK شده و پس از عبور از کانال در گیرنده نمونه برداری شده و با برازش خم اعمال شده به آن ضرایب تابع کسر گویا برازش شده به ازای L و M های مختلفی که در گام آموزش به دست آمده بودند، محاسبه می شوند؛ سپس با مقایسه این ضرایب با مرز تصمیم گیری به دست آمده در تفکیک بین دو رده در مرحله آموزش، نسبت به انتخاب رده سیگنال دریافتی تصمیم گیری می شود.

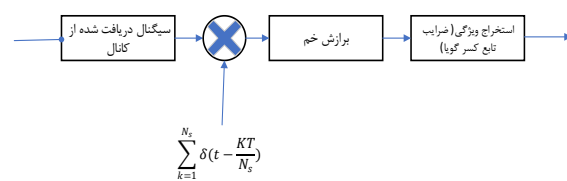
## ۴-۱- شبیه سازی

در ابتدا مدولاسیون دودویی شیفتر فرکانسی را در سامانه مد نظر قرار دادیم. بدین صورت که در نرم افزار متلب یک دنباله تصادفی پانصدتایی از صفر و یک تولید ، سپس

در مدل پیشنهادی یک سامانه ارسال و دریافت عمومی مخابرات با مدولاسیون کلید زنی شیفتر دامنه و فرکانس در نظر گرفته شده است. همان گونه که در اشکال ۲ و ۳ نشان داده شده است، ابتدا دنباله ای تصادفی داده ها وارد سامانه شده، سپس با اعمال مدولاسیون کلیدزنی دامنه / فرکانس سیگنال مدوله می شود و بعد از آن، وارد کانال AWGN می شود.

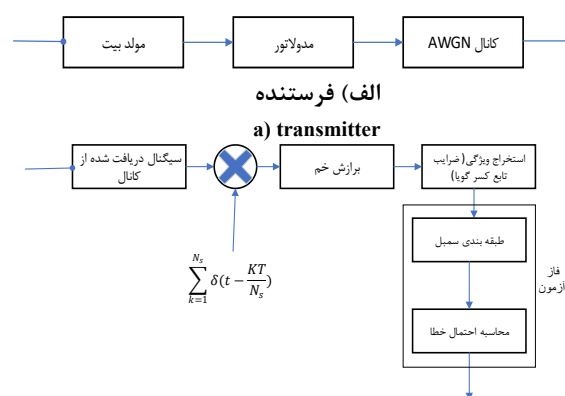
در گیرنده، عکس عمل در فرستنده انجام می شود، سیگنال دریافتی از آنتن گیرنده به وسیله طبقه بند آموزش دیده دمدوله و آشکار می شود. البته این عمل دمدوله سازی و آشکارسازی توسط تقریب کسر گویا صورت می پذیرد.

کلیه این عملیات در مرحله آموزش و آزمون صورت می گیرد. در مرحله آموزش رده بند را به کمک داده های آموزشی آموزش می دهیم و سپس در مرحله آزمون با داده های جدید از طبقه بند آزمون صحت و خطا گرفته می شود تا کارایی طبقه بند مشخص شود.



شکل (۲): مدل سامانه در گام آموزش

(Figure-2): system model in train phase



ب) گیرنده

b) receiver

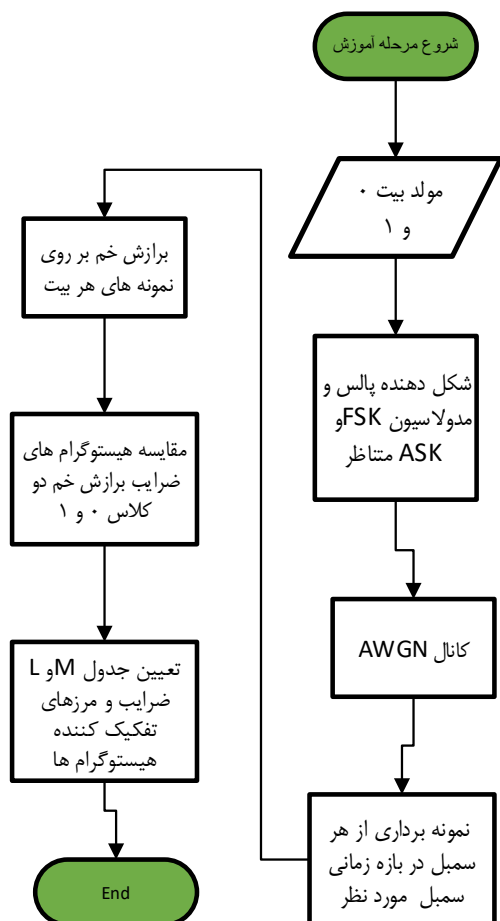
شکل (۳): مدل سامانه در گام آموزش و آزمون

الف) فرستنده ب) گیرنده

(Figure-3): system model in train and test phases  
a) transmitter b) receiver

در حقیقت ضرابی از مرحله آزمون را انتخاب می‌کنیم که در مرحله آموزش با  $L$  و  $M$  مشخص به‌دست آمده‌بودند. با مقایسه ضرایب تعیین‌شده در مرحله آزمون با مرزهای تصمیم‌گیری معادل در مرحله آموزش در خصوص تعیین سمبل‌ها تصمیم‌گیری صورت می‌پذیرد. در نتایج به‌دست‌آمده از شبیه‌سازی دو معیار نرخ نمونه‌برداری از سمبل‌ها و میزان سیگنال به نوفه سیگنال ارسالی مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند.

#### الف) مرحله آموزش



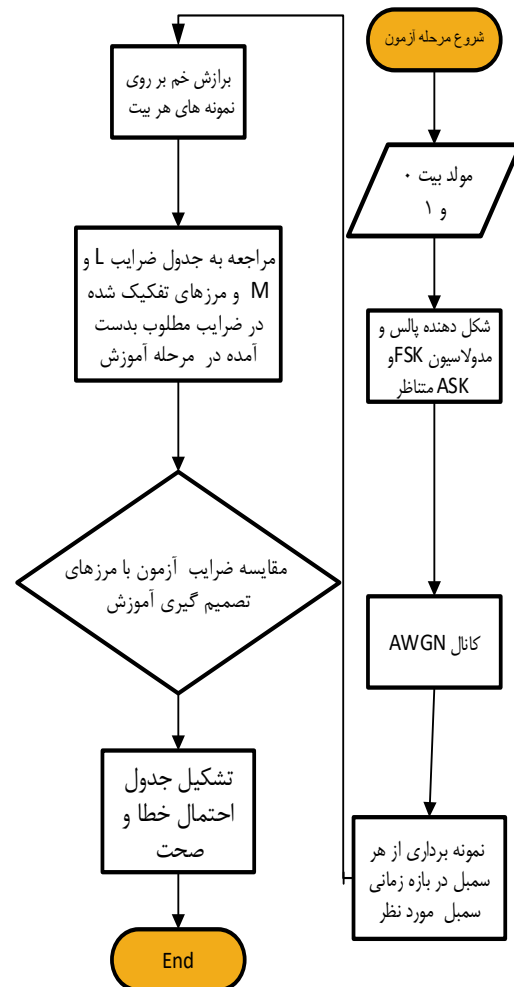
باتوجه به اینکه نتایج به‌دست‌آمده در سیگنال به نوفه‌های بسیار پایین نیز قابل قبول بوده و تعداد هیستوگرام ضرایب زیاد است، به‌ناچار در بعضی موارد فقط به جدولی شامل تعداد ضرایب تفکیک‌کننده بسنده شده‌است. در ادامه روند نمای چگونگی انجام مراحل مختلف آموزش و آزمون در شکل (۴) آمده است. در کلیه نتایج به‌دست‌آمده مقادیر  $L, M$  به‌صورت زیر در نظر گرفته‌شده‌اند:

$$L+M+1=nf; 4 \leq nf \leq 10$$

دنباله ورودی را در FSK با فرکانس‌های  $F1=500$  و  $F2=F1+\text{freqSep}$  مدوله شیفت فرکانسی اعمال کردیم که فاصله فرکانسی برابر  $\text{freqSep}=500$  است. در مدولاسیون ASK نیز به‌طور مشابه یک دنباله تصادفی پانصدتایی از صفر و یک تولید کردیم و بیت‌های صفر و یک را به نگاشتی با سیگنال سینوسی با دامنه‌های ۵ و -۵ اعمال کردیم. سیگنال‌های مدوله‌شده FSK و ASK در کانال به نوفه آغشته می‌شوند، کانال را نوفه گوسی جمع‌شونده AWGN در نظر گرفته‌ایم. در گیرنده سیگنال آغشته به نوفه را در هر بازه زمانی بیت (bit interval) دریافت می‌کنیم. به هر مجموعه‌N تایی نمونه‌ها یک منحنی کسر گویا با درجه  $L$  و  $M$  برازش می‌کنیم. هیستوگرام تمام ضرایب صورت که  $L+1$  تا و مخرج  $M$  تا را برای دو رده مختلف صفر و یک به‌طور مجزا رسم می‌کنیم. برای هر کدام از هیستوگرام‌ها (ضریب‌های یک رده) می‌بینیم کدام ضریب بیشترین فاصله را دارد و ذخیره می‌کنیم. برای همه ضریب‌های به‌دست‌آمده جدولی از  $L$  و  $M$ ‌های مختلف به‌دست‌آمده را براساس آن ضریبی که بیشترین فاصله را بین دو رده ایجاد می‌کند، تشکیل و مرتب می‌کنیم. توجه کنید که داده‌هایی که هیستوگرام آنها را می‌کشیم، داده‌های آموزش هستند. با رسم نمودار هیستوگرام ضرایب نمونه‌های صفر و یک‌ها را مشاهده کردیم که گستردگی متفاوت را با یکدیگر داشتند. حتی در بعضی از  $L$  و  $M$ ‌ها ضرایب به‌طور کامل تفکیک شدند؛ همچنین جهت آنالیز ضرایب در هر یک از  $L$  و  $M$ ‌ها با تعیین مرز تفکیک ضرایب، جدولی را تشکیل دادیم که در این جدول احتمال خطا و صحت را در مرحله آزمون محاسبه خواهیم کرد. در مرحله دوم یعنی مرحله آزمون سیگنالی با دنباله‌ای به طول ۵۰۰ از ۰ و ۱ را تولید و مدوله متناظر BFSK یا BASK می‌کنیم. آنگاه با عبور از کانال AWGN از سیگنال دریافتی آغشته به نوفه نمونه‌برداری کرده یک منحنی کسر گویا با درجه  $L$  و  $M$  برازش می‌کنیم. با مراجعه به جدول ضرایب  $L$  و  $M$  و مرزهای تفکیک‌شده در ضرایب مطلوب به‌دست‌آمده در گام آموزش، ضرایب به‌دست‌آمده از مرحله آزمون را جهت آشکارسازی سیگنال‌های ارسالی فرستنده به کار می‌بریم.

با توجه به تعدد ضرایب در ادامه ضرایبی از برازش  
خم در مدولاسیون های FSK و ASK را با تفکیک کامل از  
یکدیگر بررسی می کنیم.

#### الف) مرحله آزمون



(شکل-۴): روندنمای مراحل مختلف آموزش و آزمون در روش پیشنهادی

(Figure-4): block diagram of train and test phases in proposed method

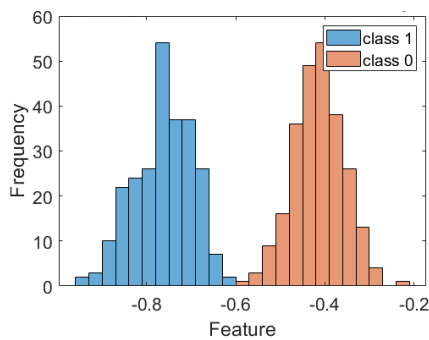
#### ۴-۲- نتایج شبیه سازی در مدولاسیون FSK

##### دودویی

نتایج شبیه سازی با مقادیر مختلف سیگنال به نوفه و نرخ نمونه برداری آمده است

الف) SNR=-15dB و نرخ نمونه برداری N=12500

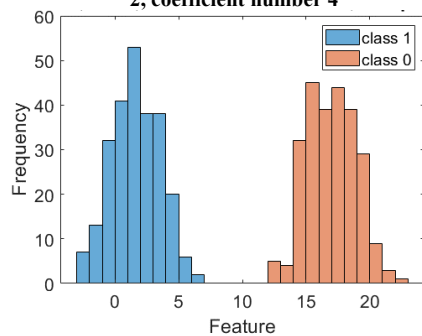
تعداد کل هیستوگرام ها در این حالت ۹ مورد بوده که در اینجا چهار مورد از آنها نمایش داده شده است.



(شکل-۵): هیستوگرام ضرایب صفر و یک با  $L=1, M=2$

شماره ضریب ۴

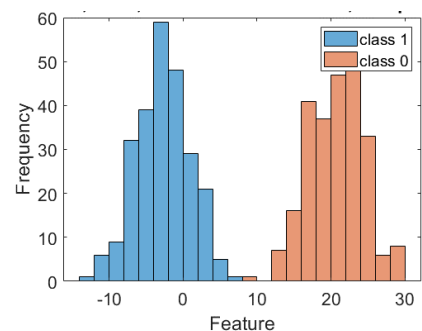
(Figure-5): Histogram of coefficients 0 and 1 with  $L = 1, M = 2$ , coefficient number 4



(شکل-۶): هیستوگرام ضرایب صفر و یک با  $L=3, M=1$

شماره ضریب ۴

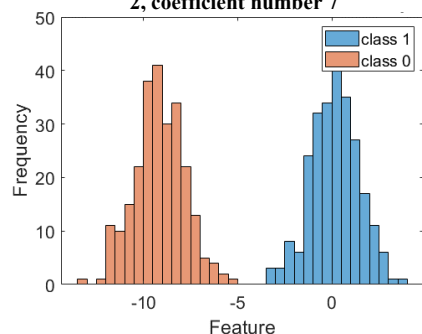
(Figure-6): Histogram of coefficients 0 and 1 with  $L = 3, M = 1$ , coefficient number 4



(شکل-۷): هیستوگرام ضرایب صفر و یک با  $L=4, M=2$

شماره ضریب ۷

(Figure-7): Histogram of coefficients 0 and 1 with  $L = 4, M = 2$ , coefficient number 7



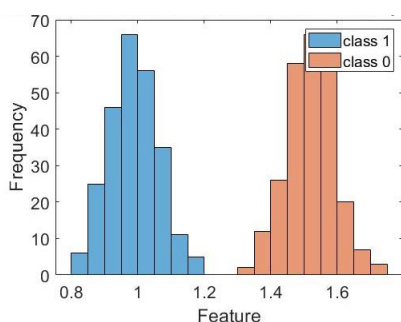
(شکل-۸): هیستوگرام ضرایب صفر و یک با  $L=3, M=0$

شماره ضریب ۲

(Figure-8): Histogram of coefficients 0 and 1 with  $L = 3, M = 0$ , coefficient number 2

| ردیف | L | M | شماره ضریب | صحت |
|------|---|---|------------|-----|
| 16   | 4 | 2 | 5          | 500 |
| 17   | 4 | 2 | 7          | 500 |
| 18   | 3 | 4 | 8          | 500 |
| 19   | 3 | 4 | 7          | 500 |
| 20   | 4 | 5 | 10         | 500 |
| 21   | 2 | 1 | 2          | 499 |
| 22   | 2 | 1 | 4          | 499 |
| 23   | 4 | 2 | 4          | 499 |
| 24   | 4 | 2 | 6          | 499 |
| 25   | 5 | 3 | 6          | 499 |
| 26   | 5 | 3 | 8          | 499 |
| 27   | 5 | 3 | 7          | 499 |
| 28   | 5 | 3 | 9          | 499 |
| 29   | 5 | 1 | 5          | 498 |
| 30   | 5 | 1 | 7          | 498 |
| 31   | 5 | 1 | 6          | 498 |

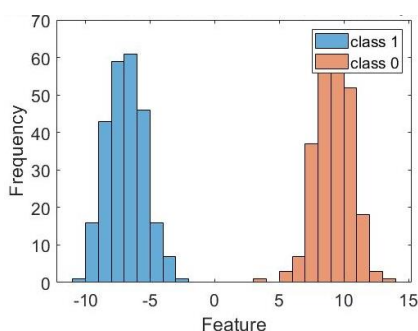
در ادامه هیستوگرام چهار نمونه از ۳۱ مورد ضرایب صورت و مخرج (L,M) از صفر و یک‌ها که در جدول (۲) آمده است. در این هیستوگرام‌های ضرایب، تفکیک کامل مشاهده می‌شود.



(شکل-۹): هیستوگرام ضرایب صفر و یک با  $L=3, M=0$

شماره ضریب ۱

(Figure-9): Histogram of coefficients 0 and 1 with  $L = 3, M = 0$ , coefficient number 1



(شکل-۱۰): هیستوگرام ضرایب صفر و یک با  $L=3, M=0$  و

شماره ضریب ۳

(Figure-10): Histogram of coefficients 0 and 1 with  $L = 3, M = 0$ , coefficient number 3

به کمک ضرایب به دست آمده در مرحله آموزش، پانصد سمبل در مرحله آزمون را جهت بررسی کارایی روش پیشنهادی مورد بررسی قرار داده‌ایم که نتایج آن در جدول (۱) آمده است. تعداد بیت‌هایی که به درستی آشکارسازی شده‌اند، بیان‌گر میزان قدرت آشکارسازی در انتخاب تعداد ضرایب صورت و مخرج منحنی برازش خم کسر گویا و انتخاب ضریب مورد نظر در تفکیک سمبل‌ها است.

(ب)  $SNR=-9dB$  و نرخ نمونه‌برداری برابر  $N=12500$

تعداد بیت‌های پانصد از پانصد سمبل ارسالی که به درستی آشکارسازی شده‌اند، کارایی روش پیشنهادی را نشان می‌دهد. همان گونه که انتظار داریم با مقایسه با حالت الف مشاهده می‌شود که با افزایش سیگنال به نوفه تعداد ضرایب تفکیک کننده افزایش یافته است.

(جدول-۱): صحت سمبل‌های دریافتی از ۵۰۰ سمبل ارسالی با

$SNR=-15dB$  و نرخ نمونه‌برداری  $N=12500$

(Table-1): number of accuracy for 500 transmitted symbols with  $SNR=-15dB$  and sampling rate  $N=12500$

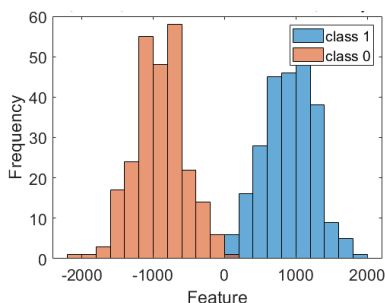
| ردیف | L | M | شماره ضریب | صحت |
|------|---|---|------------|-----|
| 1    | 3 | 0 | 2          | 500 |
| 2    | 3 | 1 | 4          | 500 |
| 3    | 4 | 2 | 7          | 500 |
| 4    | 4 | 2 | 6          | 500 |
| 5    | 5 | 3 | 9          | 500 |
| 6    | 3 | 1 | 3          | 499 |
| 7    | 3 | 1 | 5          | 499 |
| 8    | 4 | 0 | 5          | 499 |
| 9    | 1 | 2 | 4          | 498 |

(جدول-۲): صحت سمبل‌های دریافتی از ۵۰۰ سمبل ارسالی با

$SNR=-9dB$  و نرخ نمونه‌برداری  $N=12500$

(Table-2): number of accuracy for 500 transmitted symbols with  $SNR=-9dB$  and sampling rate 12500

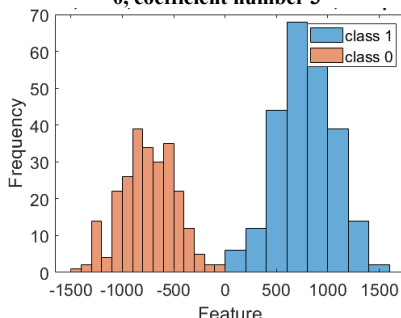
| ردیف | L | M | شماره ضریب | صحت |
|------|---|---|------------|-----|
| 1    | 0 | 3 | 4          | 500 |
| 2    | 1 | 2 | 4          | 500 |
| 3    | 1 | 2 | 3          | 500 |
| 4    | 3 | 0 | 1          | 500 |
| 5    | 3 | 0 | 3          | 500 |
| 6    | 3 | 0 | 2          | 500 |
| 7    | 3 | 1 | 4          | 500 |
| 8    | 3 | 1 | 3          | 500 |
| 9    | 3 | 1 | 5          | 500 |
| 10   | 4 | 0 | 4          | 500 |
| 11   | 4 | 0 | 3          | 500 |
| 12   | 4 | 0 | 5          | 500 |
| 13   | 2 | 3 | 5          | 500 |
| 14   | 2 | 3 | 6          | 500 |
| 15   | 3 | 2 | 6          | 500 |



(شکل-۱۵): هیستوگرام ضرایب صفر و یک با  $L=5, M=0$  و

شماره ضریب ۳

(Figure-15): Histogram of coefficients 0 and 1 with  $L=5, M=0$ , coefficient number 3



(شکل-۱۶): هیستوگرام ضرایب صفر و یک با  $L=5, M=1$  و

شماره ضریب ۴

(Figure-16): Histogram of coefficients 0 and 1 with  $L=5, M=1$ , coefficient number 4

در اینجا نیز به کمک ضرایب به دست آمده در مرحله آموزش، پانصد سمبل در مرحله آزمون را جهت بررسی کارایی روش پیشنهادی مورد بررسی قرار داده ایم که نتایج آن در جدول (۴) آمده است. در مقایسه با مدولاسیون FSK در قسمت ۲-۳ الف برخلاف سیگنال به نوفه به مراتب پایین تر، تعداد پنج مورد از حالت های تفکیک کننده سمبل ها وجود دارد.

(جدول-۴): صحت سمبل های دریافتی از ۵۰۰ سمبل ارسالی با

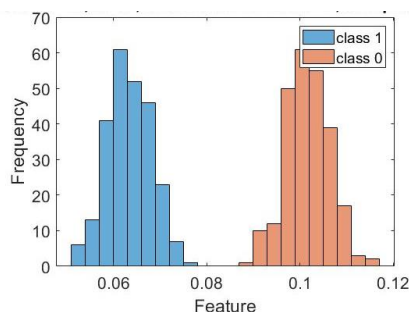
$N=1500$  و  $SNR=-25dB$  نرخ نمونه برداری

(Table-4): number of accuracy for 500 transmitted symbols with  $SNR=-25dB$  and sampling rate  $N=1500$

| ردیف | L | M | شماره ضریب | صحت |
|------|---|---|------------|-----|
| 1    | 5 | 1 | 5          | 500 |
| 2    | 5 | 1 | 4          | 500 |
| 3    | 6 | 1 | 3          | 500 |
| 4    | 5 | 0 | 3          | 497 |
| 5    | 5 | 1 | 5          | 500 |

(ب)  $SNR=-23dB$  و نرخ نمونه برداری  $N=1500$

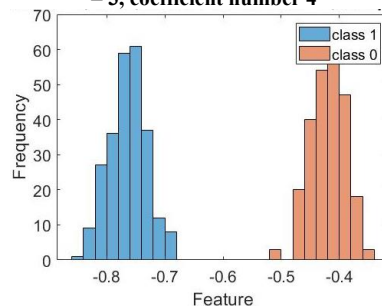
تعداد هیستوگرام ها با تفکیک کامل ضرایب ۵۴ مورد بوده که در اشکال زیر چهار مورد به عنوان نمونه آورده شده است:



(شکل-۱۱): هیستوگرام ضرایب صفر و یک با  $L=0, M=3$  و

شماره ضریب ۴

(Figure-11): Histogram of coefficients 0 and 1 with  $L=0, M=3$ , coefficient number 4



(شکل-۱۲): هیستوگرام ضرایب صفر و یک با  $L=1, M=2$  و

شماره ضریب ۴

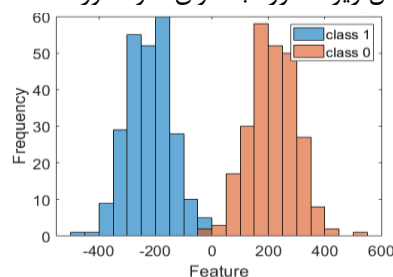
(Figure-12): Histogram of coefficients 0 and 1 with  $L=1, M=2$ , coefficient number 4

### ۳-۴ نتایج شبیه سازی در مدولاسیون

#### ASK دودویی

الف)  $SNR=-25dB$  و نرخ نمونه برداری  $N=1500$

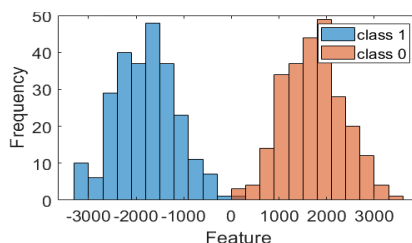
تعداد هیستوگرام ها با تفکیک کامل ضرایب ۵ مورد بوده که در اشکال زیر ۴ مورد به عنوان نمونه آورده شده است:



(شکل-۱۳): هیستوگرام ضرایب صفر و یک با  $L=6, M=1$  و

شماره ضریب ۳

(Figure-13): Histogram of coefficients 0 and 1 with  $L=6, M=1$ , coefficient number 3



(شکل-۱۴): هیستوگرام ضرایب صفر و یک با  $L=5, M=1$  و

شماره ضریب ۵

(Figure-14): Histogram of coefficients 0 and 1 with  $L=5, M=1$ , coefficient number 5

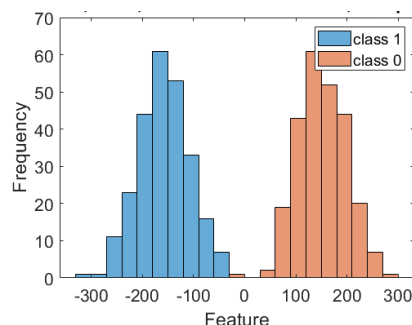
در اینجا نیز به کمک ضرایب به دست آمده در مرحله آموزش، پانصد سمبل در مرحله آزمون را جهت بررسی کارایی روش پیشنهادی مورد بررسی قرار داده‌ایم که نتایج آن در جدول (۵) آمده است. در مقایسه با حالت الف مشاهده می‌شود که با افزایش اندکی در سیگنال به نوفه از  $-25\text{dB}$  به  $-23\text{dB}$  تعداد ضرایب تفکیک‌کننده افزایش پیدا کرده است؛ همچنین در مقایسه با مدولاسیون FSK در قسمت ۳-۲ الف برخلاف سیگنال به نوفه کمتر، تعداد حالت‌های تفکیک‌کننده سمبل‌ها، افزایش پیدا کرده است.

(جدول-۵): صحت سمبل‌های دریافتی از ۵۰۰ سمبل ارسالی با

$N=1500$  و  $\text{SNR}=-23\text{dB}$  نرخ نمونه‌برداری

(Table-5): number of accuracy for 500 transmitted symbols with  $\text{SNR}=-23\text{dB}$  and sampling rate  $N=1500$

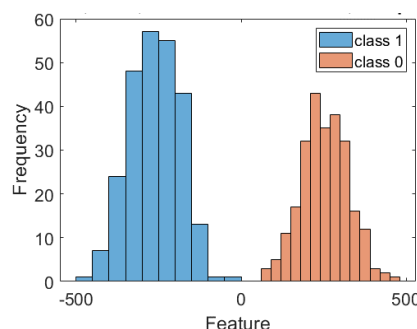
| ردیف | L | M | شماره ضریب | صحت |
|------|---|---|------------|-----|
| 1    | 0 | 6 | 7          | 500 |
| 2    | 4 | 2 | 6          | 500 |
| 3    | 4 | 2 | 5          | 500 |
| 4    | 4 | 2 | 7          | 500 |
| 5    | 5 | 1 | 3          | 500 |
| 6    | 5 | 1 | 5          | 500 |
| 7    | 5 | 1 | 7          | 500 |
| 8    | 5 | 1 | 2          | 500 |
| 9    | 5 | 1 | 4          | 500 |
| 10   | 5 | 1 | 6          | 500 |
| 11   | 6 | 0 | 2          | 500 |
| 12   | 6 | 0 | 4          | 500 |
| 13   | 6 | 0 | 1          | 500 |
| 14   | 6 | 0 | 3          | 500 |
| 15   | 5 | 2 | 3          | 500 |
| 16   | 5 | 2 | 5          | 500 |
| 17   | 5 | 2 | 7          | 500 |
| 18   | 1 | 5 | 7          | 500 |
| 19   | 1 | 5 | 6          | 500 |
| 20   | 3 | 3 | 7          | 500 |
| 21   | 4 | 2 | 4          | 500 |
| 22   | 1 | 6 | 7          | 500 |
| 23   | 6 | 1 | 3          | 500 |
| 24   | 6 | 1 | 2          | 500 |
| 25   | 6 | 1 | 4          | 500 |
| 26   | 1 | 7 | 9          | 500 |
| 27   | 1 | 7 | 8          | 499 |
| 28   | 2 | 6 | 7          | 499 |
| 29   | 5 | 3 | 5          | 499 |
| 30   | 6 | 2 | 4          | 499 |
| 31   | 6 | 2 | 3          | 499 |
| 32   | 7 | 1 | 2          | 499 |
| 33   | 5 | 0 | 2          | 498 |
| 34   | 1 | 6 | 8          | 498 |
| 35   | 5 | 2 | 4          | 498 |
| 36   | 5 | 2 | 6          | 498 |
| 37   | 5 | 2 | 8          | 498 |
| 38   | 2 | 6 | 8          | 498 |
| 39   | 0 | 5 | 6          | 497 |
| 40   | 5 | 0 | 1          | 497 |
| 41   | 0 | 7 | 8          | 497 |
| 42   | 4 | 3 | 5          | 497 |
| 43   | 4 | 3 | 7          | 497 |
| 44   | 4 | 3 | 6          | 497 |
| 45   | 4 | 3 | 8          | 497 |
| 46   | 2 | 6 | 9          | 497 |



(شکل-۱۷): هیستوگرام ضرایب صفر و یک با  $L=5, M=0$ .

شماره ضریب ۲

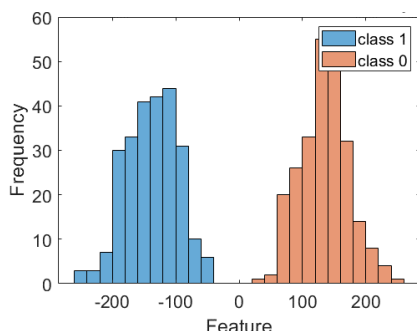
(Figure-17): Histogram of coefficients 0 and 1 with  $L=5, M=0$ , coefficient number 2



(شکل-۱۸): هیستوگرام ضرایب صفر و یک با  $L=6, M=0$ .

شماره ضریب ۲

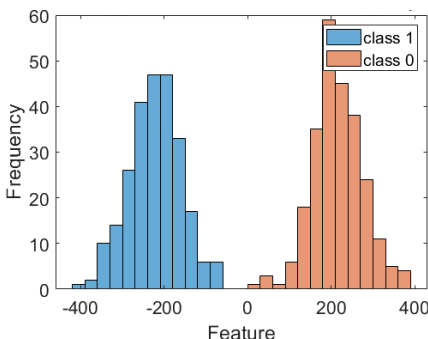
(Figure-18): Histogram of coefficients 0 and 1 with  $L=6, M=0$ , coefficient number 2



(شکل-۱۹): هیستوگرام ضرایب صفر و یک با  $L=5, M=1$ .

شماره ضریب ۳

(Figure-19): Histogram of coefficients 0 and 1 with  $L=5, M=1$ , coefficient number 3



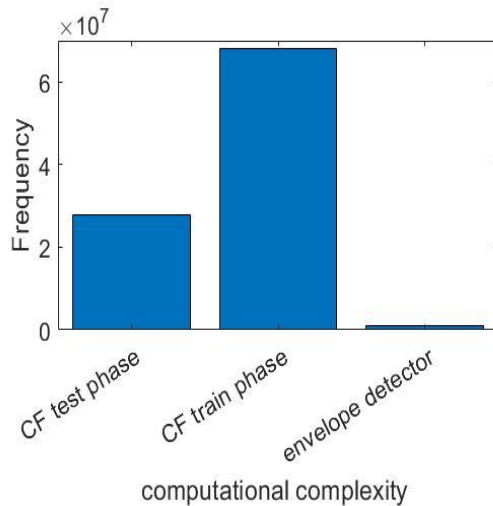
(شکل-۲۰): هیستوگرام ضرایب صفر و یک با  $L=6, M=1$ .

شماره ضریب ۳

(Figure-20): Histogram of coefficients 0 and 1 with  $L=6, M=1$ , coefficient number 3

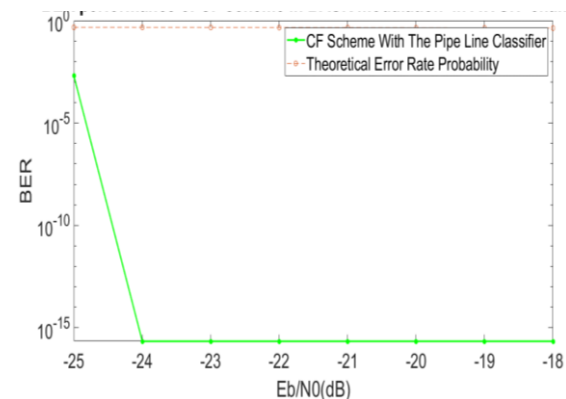
| ردیف | L | M | شماره ضریب | صحت |
|------|---|---|------------|-----|
| 47   | 7 | 2 | 3          | 497 |
| 48   | 2 | 5 | 7          | 496 |
| 49   | 2 | 5 | 6          | 496 |
| 50   | 2 | 5 | 8          | 496 |
| 51   | 7 | 0 | 1          | 496 |
| 52   | 3 | 5 | 6          | 495 |
| 53   | 5 | 3 | 4          | 495 |
| 54   | 5 | 3 | 6          | 495 |

متداول آشکارساز پوش در نرخ نمونه برداری  $N=1500,12500$  با یکدیگر مقایسه می شوند. همان گونه که در هیستوگرام (شکل ۲۳) مشاهده می کنید، روش پیشنهادی، محاسبات بیشتری در مقایسه با روش های متداول همچون آشکارساز پوش دارد، به خصوص در فاز آموزش که استخراج مقادیر مناسب L و M با مقداردهی مقادیر مختلف به آنها و مقایسه ضرایبی که قابل تفکیک دو رده را دارند، با محاسبات بیشتری صورت می پذیرد.



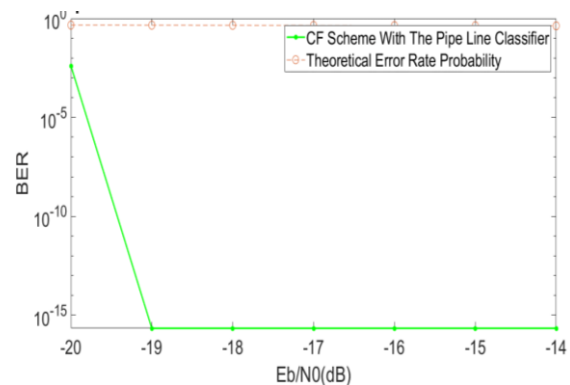
(شکل-۲۳): هیستوگرام مقایسه میزان پیچیدگی روش پیشنهادی و روش آشکارساز پوش  
(Figure-23): Computational complexity of the proposed detector and envelope detector

همچنین جهت مقایسه کارایی روش پیشنهادی با روش احتمال خطای تئوری، نمودار شبیه سازی مقایسه بین دو روش در اشکال ۲۱ و ۲۲ آمده است.



(شکل-۲۱): مقایسه کارایی روش پیشنهادی با روش تئوری در مدولاسیون BASK

(Figure-21): The performance of the proposed scheme and the theoretical error rate probability scheme in BASK



(شکل-۲۲): مقایسه کارایی روش پیشنهادی با روش تئوری در مدولاسیون BFSK

(Figure-22): The performance of the proposed scheme and the theoretical error rate probability scheme in BFSK

## ۶- نتیجه گیری

در طرح برازش خم یک روش جدید آشکارسازی سیگنال های مخابراتی مبتنی بر برازش منحنی و تقریب ضرایب کسر گویا ارائه گردید. کارایی این روش به کمک نتایج شبیه سازی نشان داده شد که این نتایج گویای عملکرد و کارایی بیشتر روش پیشنهادی است. همچنین نتایج نشان می دهد که با افزایش سیگنال به نوفه، تعداد ضرایب تفکیک کننده به طور چشم گیری افزایش می یابد.

علاوه بر این، کارایی روش پیشنهادی با روش محاسبه احتمال خطای تئوری بر حسب سیگنال به نوفه های مختلف در مدولاسیون FSK و ASK مقایسه شد که نتایج شبیه سازی بیان گر برتری روش پیشنهادی است. در نمودارها از یک سیگنال به نوفه به بعد احتمال خطای روش پیشنهادی برازش خم صفر می شود. به ویژه در مدولاسیون ASK که نوفه کانال گوسی جمع شونده غالب و قدرت تخریبی بیشتری دارد، روش پیشنهادی برازش خم کسر، گویا عملکرد مطلوب تری داشته است.

## ۵- پیچیدگی محاسباتی

در ادامه پیچیدگی محاسباتی روش پیشنهادی با روش آشکارساز پوش مقایسه می شود. بدین منظور تمامی اعمال ضرب و جمع به کاررفته در آشکارساز برازش خم با روش

- distances", Journal of Computational and Applied Mathematics 158 2003 277–296, doi:10.1016/S0377-0427(03)00448-5
- [16] Mostafa Ghazizadeh Ahsaee, Hadi Sadoghi Yazdi, Mahmoud Naghibzadeh, " Curve fitting space for classification", Neural Comput & Applic 2011 20:273–285 DOI 10.1007 / s00521-010-0383-7
- [17] Maryam Haddadi, Maliheh Ahmadi, Mohammad Reza Keyvanpour, and Noushin Riahi " Using Curve Fitting in Error Correcting Output Codes" Journal of Soft Computing and Information Technology (JSCIT), 2016, Vol. 5, No. 1
- [18] Seyed Abolfazl Hosseini, Hassan Ghassemian, " Rational function approximation for feature reduction in hyperspectral data " Taylor & Francis, Remote Sensing Letters, 2016 ,Volume 7, Issue 2, Pages 101-110.
- [19] Mersedeh Beitollahi, S Abolfazl Hosseini, " Using Savitsky-Golay filter and interval curve fitting in order to hyperspectral data compression ", IEEE, Iranian Conference on Electrical Engineering (ICEE), Pages 1967-1972 , 2017
- [20] Maryam Hamidi, Hassan Ghassemian\*, Maryam Imani " Classification of heart sound signal using curve fitting and fractal dimension" Elsevier, Biomedical Signal Processing and Control 39, 2018 ,351–359
- [21] Yazan A. Alqudah, " Path Loss Modeling Based on Field Measurements Using Deployed 3.5GHzWiMAX Network " Springer Science+Business Media, LC, Wireless Pers Commun , 2012,DOI 10.1007/s11277-012-0612-8 Path.
- [22] HARRY L. VAN TREES, KRISTINE L. BELL, with ZHI TIAN, " Detection, Estimation, and Modulation Theory Part I: Detection, Estimation, and Filtering Theory Second Edition ", John Wiley & Sons, Inc. 2013
- [1] T. S. Rappaport, Wireless communications: Principles and practice, 2nd ed. Prentice Hall, 2002.
- [2] R. M. Gagliardi and S. Karp, Optical communications, 2nd ed. Wiley, 1995.
- [3] H. Meyr, M. Moeneclaey, and S. A. Fechtel, Digital communication receivers: Synchronization, channel estimation, and signal processing. John Wiley & Sons, Inc., 1998.
- [4] T. Schenk, RF imperfections in high-rate wireless systems: Impact and digital compensation. Springer Science & Business Media, 2008.
- [5] J. Proakis and M. Salehi, Digital Communications, 5th ed. McGraw-Hill Education, 2007.
- [6] A. Goldsmith, Joint source/channel coding for wireless channels, in Proc. IEEE Vehicular Technol. Conf., vol. 2, 1995, pp. 614–618.
- [7] E. Zehavi, 8-PSK trellis codes for a Rayleigh channel, IEEE Trans. Commun., vol. 40, no. 5, pp. 873–884, 1992.
- [8] H. Wymeersch, Iterative receiver design. Cambridge University Press, 2007, vol. 234.
- [9] K. Hornik, M. Stinchcombe, and H. White, Multilayer feedforward networks are universal approximators, Neural networks, vol. 2, no. 5, 1989, pp. 359–366.
- [10] S. Reed and N. de Freitas, Neural programmer-interpreters, arXiv preprint, 2015, arXiv: 1511.06279.
- [11] H. T. Siegelmann and E. D. Sontag, On the computational power of neural nets, in Proc. 5th Annu. Workshop Computational Learning Theory. ACM, 1992, pp. 440–449.
- [12] V. Vanhoucke, A. Senior, and M. Z. Mao, Improving the speed of neural networks on CPUs, in Proc. Deep Learning and Unsupervised Feature Learning NIPS Workshop, 2011.
- [13] Y.-H. Chen, T. Krishna, J. S. Emer, and V. Sze, Eyeriss: An energy efficient reconfigurable accelerator for deep convolutional neural networks, IEEE J. Solid-State Circuits, vol. 52, no. 1, 2017 pp. 127–138.
- [14] R. Raina, A. Madhavan, and A. Y. Ng, Large-scale deep unsupervised learning using graphics processors, in Proc. Int. Conf. Mach. Learn. (ICML). ACM, 2009, pp. 873–880.
- [15] A. Atieg, G.A. Watson, " A class of methods for fitting a curve or surface to data by minimizing the sum of squares of orthogonal

حمید نوراللهی دانش آموخته

کارشناسی و کارشناسی ارشد مهندسی

برق مخابرات از دانشگاه آزاد اسلامی

واحد یادگار امام خمینی (ره) شهرری

است. وی هم اکنون دانشجویی دکترای



برق مخابرات در همان واحد دانشگاه آزاد است. همچنین

ایشان به عنوان کارشناس رسمی دادگستری مشغول به

فعالیت هستند. زمینه های پژوهشی فعلی ایشان شبکه های

عصبی، یادگیری عمیق و پردازش سیگنال های مخابراتی و

پردازش تصویر است.

نشانی رایانامه ایشان عبارت است از:

h\_nourollahi@yahoo.com



### سید ابوالفضل حسینی تحصیلات

کارشناسی مهندسی برق کنترل را در دانشگاه صنعتی شریف و کارشناسی ارشد مهندسی برق مخابرات را در دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیر به

پایان رساند. همچنین ایشان مقطع دکترای برق مخابرات را در دانشگاه تربیت مدرس به پایان رساند. ایشان عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد یادگار امام خمینی (ره) است. زمینه‌های پژوهشی ایشان مباحثی نظیر بازشناسی الگو، پردازش تصویر، مهندسی سنجش از دور، پردازش گفتار و فیلترهای وافی را در بر می‌گیرد.

نشانی رایانامه ایشان عبارت است از:

[abolfazl.hosseini@modares.ac.ir](mailto:abolfazl.hosseini@modares.ac.ir)



### علی شهزادی فارغ‌التحصیل سال

۱۳۸۶ مهندسی برق در گرایش

مخابرات سامانه از دانشگاه علم و

صنعت ایران است. ایشان از سال

۱۳۸۸ تاکنون به‌عنوان عضو

هیئت علمی، از سال ۱۳۹۴ تاکنون عضو کمیته جذب گروه مخابرات و عضو کمیته بازنگری سرفصل دروس دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه سمنان بوده و با آن دانشگاه همکاری داشته و در حال حاضر نیز معاون آموزشی و تحصیلات تکمیلی دانشکده برق و کامپیوتر دانشگاه سمنان هستند. همچنین ایشان در گذشته عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد یادگار امام خمینی (ره) شهری بوده‌اند. زمینه‌های پژوهشی ایشان عبارتند از: تخمین و آشکارسازی، هوش مصنوعی و یادگیری عمیق، سامانه‌های مخابرات پهن‌بند، روش‌های بهینه‌سازی، شبکه‌های مخابرات بی‌سیم و سیار. نشانی رایانامه ایشان عبارتند از:

[shahzadi@semnan.ac.ir](mailto:shahzadi@semnan.ac.ir)



### رامین شقاقی کندوان تحصیلات

کارشناسی مهندسی الکترونیک را در

دانشگاه تهران و کارشناسی ارشد و

دکتری مهندسی برق مخابرات را در

دانشگاه آزاد اسلامی به پایان رساند.

ایشان عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد یادگار امام (ره) است. زمینه‌های پژوهشی ایشان در زمینه‌های بهینه‌سازی شبکه، یادگیری عمیق، شبکه‌های مخابرات بی‌سیم می‌باشد.

نشانی رایانامه ایشان عبارتند از:

[ramin.shaghagh@gmail.com](mailto:ramin.shaghagh@gmail.com)