

افزایش کار آیی جریان سنج دوفازی با استفاده از روش‌های استخراج ویژگی حوزه‌ی فرکانس و شبکه عصبی در طیف خروجی آشکارساز

سیاوش حسینی^۱، سعید ستایشی^۲، غلامحسین روشنی^۳، عبدالحمید زاهدی^۴ و فرزین شماع^{۵*}

اطلاعات مقاله	چکیده
دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۱۱/۲۶ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۶/۰۹	دانش تشخیص مشخصه‌های جریان‌های چند فازی از جمله دوفازی‌ها در بسیاری از صنایع از جمله صنایع نفت، هسته‌ای، شیمی به عنوان مسئله‌ای کلیدی همواره مطالعه شده و مورد توجه بوده است. در این مقاله یک جریان دو فازی ^۶ با سه رژیم حلقوی ^۷ ، لایه‌ای ^۸ و همگن ^۹ با استفاده از کد مونت کارلو ^{۱۰} در بازه‌ی کسر خالی ۵٪-۹۰٪ شبیه‌سازی شده است. در شبیه‌سازی انجام شده از یک چشمه سزیم ۱۳۷ و دو آشکارساز NaI به منظور ثبت فوتون‌های دریافتی استفاده شده است. با استفاده از نرم‌افزار متلب، سیگنال‌های حاصله توسط تحلیل فرکانسی (تبدیل فوریه) وارد بُعد فرکانس شده اند و شش ویژگی میانگین فرکانسی سیگنال، دامنه فرکانس غالب، واریانس، انحراف معیار، مجذور میانگین مربعات و کشیدگی به صورت یکسان از دو آشکارساز استخراج شده است. با بررسی تمام حالات ممکن و در نظر گرفتن این نکته که معیار تشخیص رژیم‌ها، تفکیک پذیری نمودارها می‌باشد، حالاتی که نمودار آن‌ها هیچ نقطه تلاقی ندارند به عنوان ویژگی مناسب انتخاب گردیدند. در این پژوهش از دو شبکه‌ی عصبی پرسپترون چندلایه به منظور تشخیص نوع رژیم‌های جریانی و تعیین درصدهای حجمی استفاده شده است. با استفاده از تکنیک استخراج ویژگی مطرح شده و شبکه عصبی طراحی شده، نوع رژیم جریانی به درستی تشخیص داده شدند و درصدهای حجمی با میانگین نسبی خطای ۱/۱۵ تعیین گردیدند.
واژگان کلیدی: استخراج ویژگی، رژیم سنجی، سیالات دوفازی، شبکه عصبی، مونت کارلو.	

۱- مقدمه

حجم هر کدام از فازها نمود پیدا می‌کند که راه‌حل آن استفاده از دستگاه‌های جریان سنج می‌باشد که به صورت لحظه‌ای و برخط دبی حجمی هریک از فازها را مشخص می‌کنند. دستگاه‌های جریان سنج برای بدست آوردن دبی سیالات به چند پارامتر نیاز دارند که یکی از شاخص‌ترین آن‌ها، کسر حجمی هریک از فازها می‌باشد. روش‌های مختلفی برای تشخیص کسر حجمی فازها وجود دارند که مهم‌ترین آن استفاده از روش تضعیف اشعه گاما می‌باشد.

جریان‌های چند فازی رایج ترین جریان‌ها در محیط و طبیعت‌اند. به عنوان مثال جریان خون در بدن جانوران، حباب‌های درون ظرف حاوی مایع و... نمونه‌هایی از جریان‌های چند فازی هستند. کشور ایران به دلیل داشتن رتبه قابل توجه در میان صادرکنندگان نفت جهان از تنوع محصولات بسیاری نیز برخوردار است. با ایجاد تغییراتی در پارامترهای چاه نفت، نیاز به آگاهی از جریان سیالات و

* Phase Flow

⁷ Annular

⁸ Stratified

⁹ Homogenous

¹⁰ Monte Carlo N-Particle

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: f.shama@aut.ac.ir

۱. کارشناس ارشد برق، دانشکده انرژی، دانشگاه صنعتی کرمانشاه

۲. دانشیار، دانشکده مهندسی انرژی و فیزیک، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۳. استادیار، دانشکده انرژی، دانشگاه صنعتی کرمانشاه

۴. استادیار، دانشکده انرژی، دانشگاه صنعتی کرمانشاه

۵. استادیار، گروه مهندسی برق، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی،

کرمانشاه، ایران

عصبی نوع رژیم‌های جریانی با دقت ۱۰۰٪ تشخیص داده شد. سپس در ادامه برای تعیین درصد‌های حجمی از سه شبکه عصبی جداگانه استفاده گردید [۷]. در سال ۲۰۱۶، در پژوهش‌های ناظمی و همکاران با استفاده از یک باریکه پهن^۱ گامای تک انرژی و دو آشکارساز NaI به منظور ثبت فوتون‌های عبوری و همچنین با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی، درصد حجمی فازها با میانگین نسبی خطای ۱/۵ تعیین گردید. در این پژوهش، نوع رژیم جریانی با دقت بالایی تشخیص داده شد [۸]. در سال ۲۰۱۶، روشی و همکاران امکان استفاده از یک آشکارساز برای تشخیص نوع رژیم و تعیین درصد‌های حجمی را مورد بررسی قرار دادند که نتایج بررسی آنها نشان داد، تنها رژیم‌های حلقوی و لایه‌ای با استفاده از یک آشکارساز، به صورت کامل قابل تشخیص‌اند [۹].

در پژوهش‌های پیشین [۷-۱۱] از مشخصه‌های (۱- full count under Compton-۲ energy peak-۳ continuum) برای تشخیص نوع رژیم و تعیین درصد حجمی استفاده شده است. اما در این پژوهش با به‌کارگیری مشخصه‌های فرکانسی و ترکیب مختلف این ویژگی‌ها، دقت درپیش‌بینی درصد‌های حجمی نسبت به پژوهش‌های قبلی پیشرفت قابل توجهی پیدا کرده است. رابرت هنوس و همکارانش در تحقیقات خود [۱۲ و ۱۳] از استخراج ویژگی در حالت دینامیک استفاده کردند که تنها نوع رژیم‌های جریانی قابل تشخیص بودند.

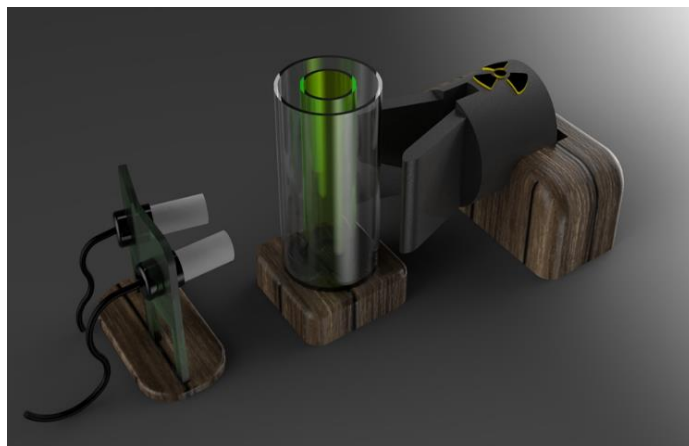
در این مقاله سعی شده است با به‌کارگیری ویژگی‌های فرکانسی سیگنال‌های دریافتی در آشکارسازها، تعیین نوع رژیم و درصد‌های حجمی در سیالات دوفازی با دقت بالا انجام شود.

۲- ساختار شبیه‌سازی شده

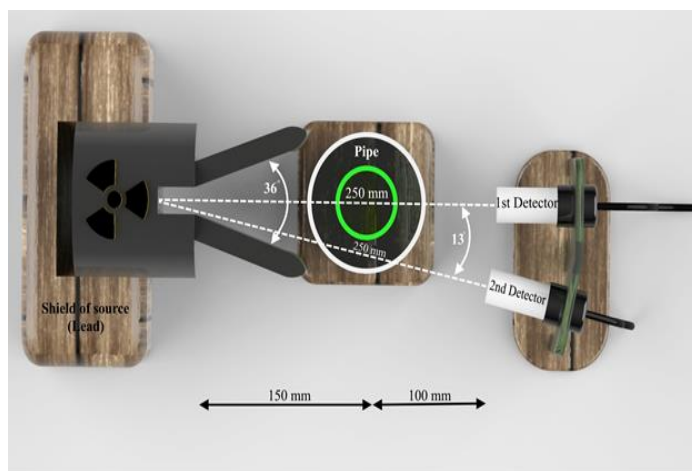
ساختار موجود در شکل (۱) با استفاده از کد مونت کارلو شبیه‌سازی شده است. در این شبیه‌سازی از یک لوله به قطر داخلی ۹۵ میلی‌متر و ضخامت ۲/۵ میلی‌متر استفاده شده است. همچنین مطابق شکل زیر، از یک منبع سزیم ۱۳۷ با زاویه دهانه ۳۶ درجه و دو آشکارساز ۲۵/۴ میلی‌متر در فاصله ۲۵۰ میلی‌متر از منبع برای ثبت فوتون‌های انتقالی از منبع اشعه گاما استفاده شده است. آشکارساز اول در زاویه صفر نسبت به منبع و آشکارساز دوم در زاویه ۱۳

در این زمینه این نکته قابل ذکر است که استفاده از روش‌های هوش مصنوعی در زمینه‌ی پیش‌بینی جریان‌های چندفازی عضوی جدانشدنی از این مجموعه هستند [۱]. اولین پژوهش‌ها در زمینه‌ی جریان‌های چندفازی در سال ۱۹۸۰ توسط ابوالوفا و همکارانش انجام شد. از آن زمان تا سال ۱۹۹۳ تلاش‌هایی به منظور افزایش دقت، کاهش خطا و همچنین کاهش هزینه‌های ساخت دستگاه‌های جریان سنج انجام شده بود که به دلیل عدم استفاده از روش‌های هوشمند و هم چنین رایج نبودن استفاده از این ابزار، نتایج قابل توجهی بدست نیامد [۲]. در سال ۱۹۹۳، جیمز استفاده از هوش مصنوعی را برای نخستین بار به منظور رژیم سنجی و تعیین درصد‌های حجمی مطرح کرد [۳]. در سال ۱۹۹۹ به منظور تشخیص رژیم‌های حلقوی، لایه‌ای و همگن از تلفیق شبکه عصبی و استخراج ویژگی استفاده شد که میزان خطای پیش‌بینی ۳ درصد محاسبه گردید. ساختار شبکه‌ی عصبی آن‌ها بدین صورت بود که در طیف خروجی آشکارساز، در بازه‌ی انرژی ۶۸ KeV - ۳۰، ۳۸ مشخصه استخراج گردید و به عنوان ورودی شبکه استفاده شد. این عملکرد، یکی از مهم‌ترین نقاط ضعف این کار بود، زیرا این نوع استخراج مشخصه بسیار حساس به نویز می‌باشد [۴]. در سال ۲۰۰۲، الپرین گامی مؤثر در تلفیق هوش مصنوعی و جریان سنجی برداشت و با استفاده از تبدیل موجک ناشی از تغییرات فشار خروجی و نتوری اقدام به تشخیص هوشمند رژیم سیالات دوفازی کرد. تبدیل موجک یکی از مهم‌ترین و پرکاربردترین تبدیلات ریاضی در حوزه پردازش سیگنال‌ها می‌باشد [۵]. علی ربیعی و همکاران در سال ۲۰۱۲، به منظور تعیین رژیم و درصد‌های حجمی در جریان‌های دوفازی پژوهش‌هایی را انجام دادند. ایشان با استفاده از ۴ آشکارساز در زوایای ۱۸۰، ۱۴۰، ۶۸ و ۵۲، سه رژیم حلقوی، حبابی و لایه‌ای را به درستی تشخیص دادند. که در این پژوهش درصد حجمی با خطای کمتر از ۳ درصد نیز تشخیص داده شد. از جمله معایب این کار می‌توان به تعداد بالای آشکارسازها اشاره کرد [۶]. در سال ۲۰۱۴، روشی و همکاران یک چیدمان آزمایشگاهی به منظور اندازه‌گیری جریان‌های دوفازی در سه رژیم حلقوی، لایه‌ای و همگن ارائه کردند. در این مطالعه با استفاده از یک شبکه

¹ Broad beam



(الف)



(ب)

شکل ۱- ساختار شبیه‌سازی شده توسط کد MCNPX (الف) نمای سه بعدی (ب) نمای بالا

این شبیه‌سازی برای سه رژیم حلقوی، لایه‌ای و همگن در رنج کسر خالی ۰٪ - ۵٪ انجام شده است.

۳- استخراج ویژگی

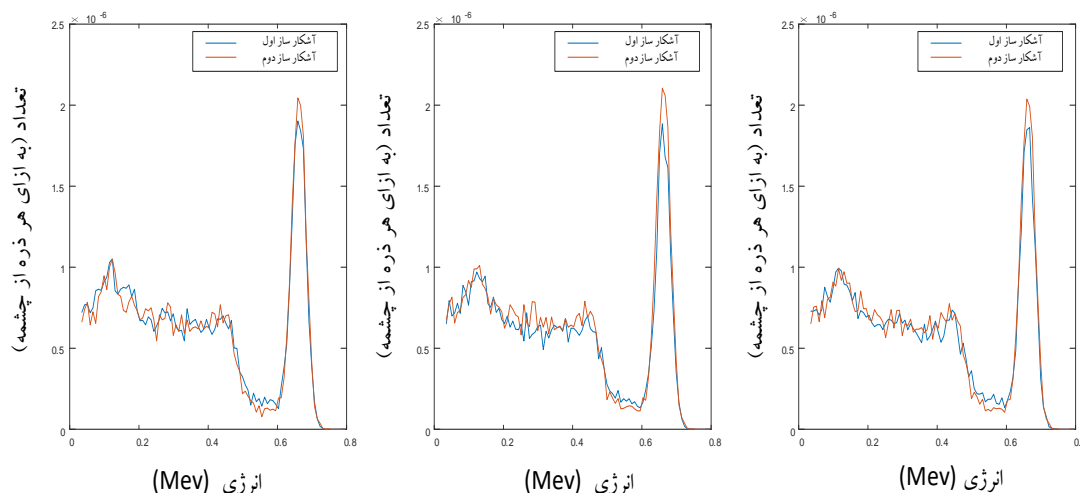
در شکل (۳) نمودار انرژی‌های ثبت شده در طیف خروجی آشکارسازها به ازای رژیم‌های حلقوی، همگن و لایه‌ای در درصد کسر خالی ۵٪ نمایش داده شده است. به منظور افزایش دقت و کاهش خطای ناشی از تشخیص فازها و درصد‌هایشان نیاز به استفاده از روش‌های پردازش و تحلیل سیگنال‌ها در کنار شبکه‌های عصبی حس می‌شود. به منظور کاهش حجم محاسبات و کار با داده‌های کمتر به جای کار با کل سیگنال‌های موجود و همچنین قابل درک بودن سیگنال‌ها برای شبکه‌های عصبی می‌توان از روش‌های استخراج مشخصه که روشی بسیار مفید در

درجه نسبت به منبع قرار گرفته‌اند. نحوه ی چیدمان ساختار ذکر شده بر اساس توضیحات و شبیه‌سازی‌های مندرج در مرجع [۸] انتخاب شده است.

در این پژوهش همانطور که در شکل (۲) مشخص است، گازوئیل به عنوان فاز مایع و هوا به عنوان فاز گاز در نظر گرفته شده است. انرژی چشمه سزیم ۱۳۷ بین ۰-۶۶۲ KeV تغییر می‌کند و در هر لحظه تعداد فوتون‌های دریافتی توسط آشکارسازها ثبت می‌شوند.

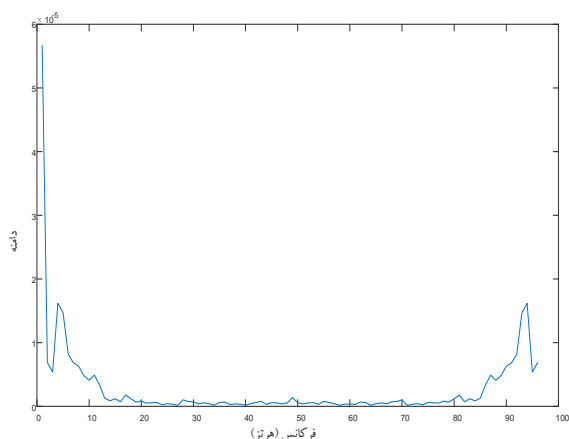


شکل ۲- رژیم‌های شبیه‌سازی شده



شکل ۳- انرژی ثبت شده در طیف خروجی آشکارساز اول و دوم در کسر خالی ۵ درصد. الف) رژیم حلقوی در کسر خالی ۵ درصد ب) رژیم همگن در کسر خالی ۵ درصد ج) رژیم لایه‌ای در کسر خالی ۵ درصد

در شکل (۴)، یک نمونه سیگنال مربوط به آشکارساز اول در رژیم حلقوی و کسر خالی ۵ درصد در حوزه فرکانس مشاهده می‌شود.



شکل ۴- سیگنال در حوزه فرکانس آشکارساز اول رژیم حلقوی (void=5%)

همانگونه که از شکل (۵) قابل برداشت است، در هر سه رژیم، با تغییر درصد هوا در لوله، فرکانس غالب سیگنال ثابت مانده و فقط اندازه دامنه فرکانس غالب تغییر می‌کند که این مسأله بیانگر این است که تغییر درصد هوا هیچ تأثیری بر روی فرکانس غالب ندارد. به عنوان مثال، در شکل (۶) سیگنال رژیم حلقوی در آشکارساز اول مشاهده می‌شود که فرکانس غالب تمامی سیگنال‌ها در یک نقطه بوده و همانطور که گفته شد، باید دامنه فرکانس غالب را به عنوان مشخصه فرکانسی در نظر گرفت.

تحلیل سیگنال‌های دیجیتال است استفاده نمود. این ویژگی‌ها به گونه‌ای استخراج می‌شوند که در کنار کم‌شدن حجم اطلاعات، مشخصه‌های اصلی سیگنال حفظ شده و از طرفی بتوان سیگنال اصلی را با استفاده از این مشخصه‌ها بازسازی نمود. در این پژوهش با استفاده از تحلیل فرکانسی ابتدا سیگنال‌های دریافتی در طیف خروجی آشکارسازها، وارد حوزه فرکانس شده‌اند. سپس به منظور استخراج ویژگی‌های سیگنال، شش ویژگی میانگین فرکانسی سیگنال، دامنه فرکانس غالب، واریان، انحراف معیار، مجذور میانگین مربعات و کشیدگی از هر دو آشکارساز استخراج گردیده است [۱۲ و ۱۳]. روابط ویژگی‌های میانگین (m)، مجذور میانگین مربعات (RMS)، واریانس (σ^2)، انحراف معیار (σ) و کشیدگی (g) به ترتیب در معادلات ۱-۵ به صورت زیر تعریف شده‌اند:

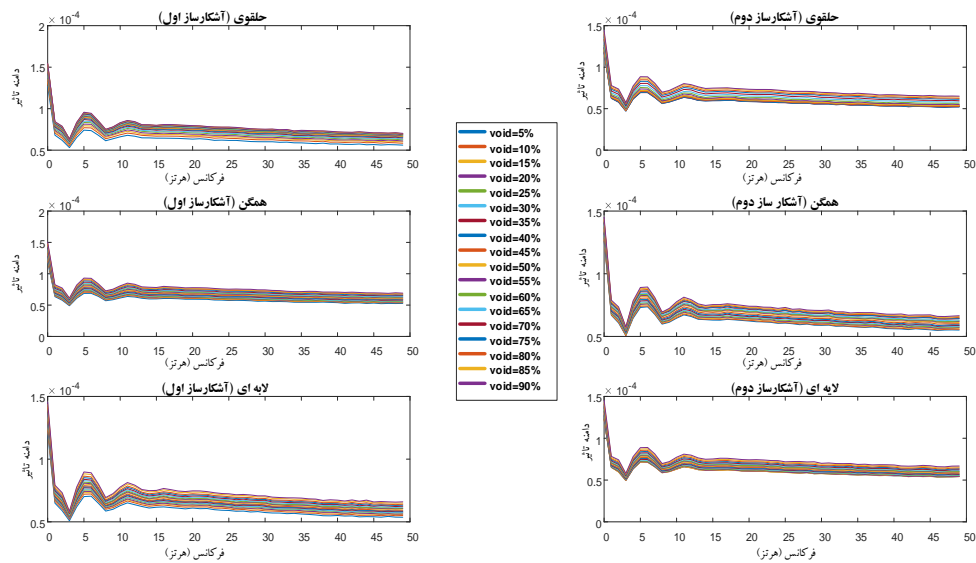
$$m = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x[n] \tag{1}$$

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N |X[n]|^2} \tag{2}$$

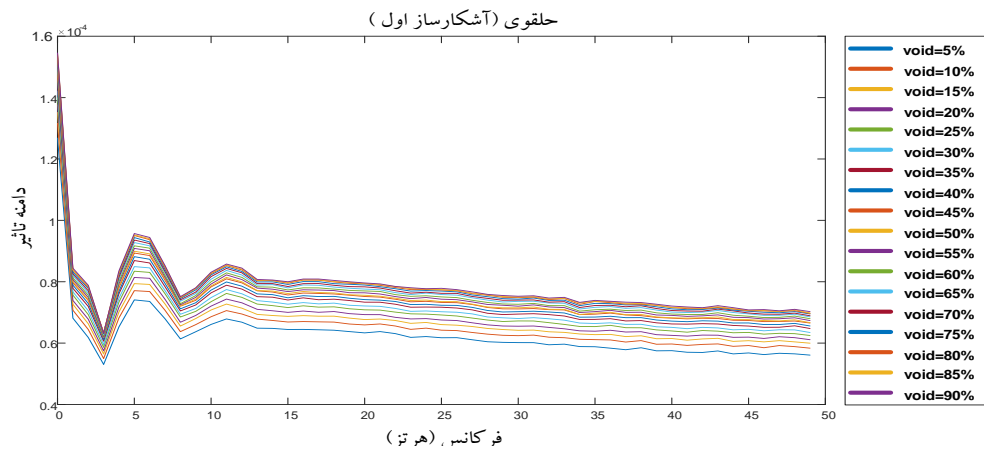
$$\sigma^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x[n]-m)^2 \tag{3}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{n=1}^N (x[n]-m)^2} \tag{4}$$

$$g = \frac{m_4}{\sigma^4} \text{ و } m_4 = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (x[n]-m)^4 \tag{5}$$



شکل ۵- مقایسه تبدیل فوریه سیگنال‌های سه رژیم براساس میزان درصد هوا



شکل ۶- سیگنال تبدیل فوریه رژیم حلقوی (آشکارساز اول) در تمامی درصدهای هوا

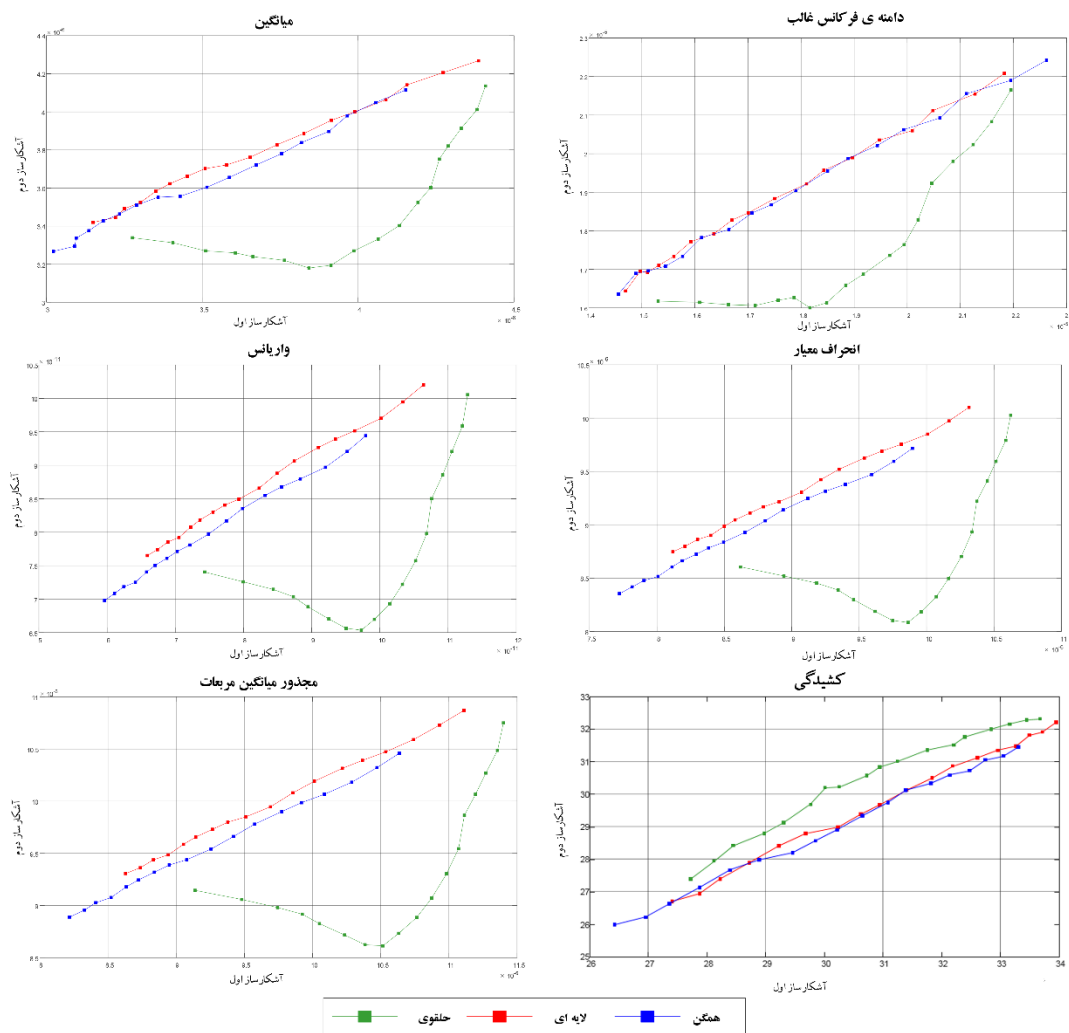
نمودارشان با یکدیگر برخورد ندارد (انحراف معیار، واریانس و مجذور میانگین مربعات) بیشتر از بقیه ویژگی‌ها می‌باشد. همچنین این مسئله قابل ذکر است که نقاط مشخص شده در هر نمودار مربوط به درصدهای حجمی مختلف است. به منظور صحت‌سنجی روش پیشنهادی، به صورت تصادفی یکی از ویژگی‌هایی که در شکل (۷) بررسی شد و امکان تشخیص رژیم‌ها و درصدهای حجمی در نمودار میسر بود، انتخاب شده و به عنوان ورودی به شبکه عصبی اعمال می‌شود.

۴- رژیم سنجی و تعیین درصدهای حجمی با استفاده از شبکه عصبی

شبکه‌های عصبی مصنوعی^۱، ابزاری برای پردازش اطلاعات

در رژیم حلقوی که در شکل (۶) مشخص است با افزایش میزان هوای داخل لوله از ۵ درصد تا ۹۰ درصد، اندازه‌ی دامنه‌ی فرکانس غالب به تدریج افزایش می‌یابد. در شکل (۷)، شش ویژگی استخراج شده از آشکارسازها نمایش داده شده‌اند. معیار قابل تشخیص بودن رژیم‌ها، درصدهای حجمی و همچنین میزان تأثیر هر ویژگی در جریان سنجی، تفکیک‌پذیری نمودارها می‌باشد. به عبارتی امکان تشخیص رژیم زمانی وجود دارد که نمودارها با یکدیگر برخورد نداشته باشند. همان‌گونه در شکل (۷) مشخص است از ۶ ویژگی استخراج شده از سیگنال‌ها، با استفاده از دو ویژگی آن‌ها، امکان تشخیص رژیم‌ها و درصد کسر خالی ممکن نمی‌باشد. این بدان معناست که تأثیر سه ویژگی که منحنی

¹ Artificial Neural Network

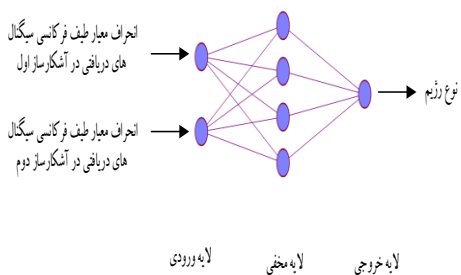


شکل ۷- ویژگی‌های استخراج شده برحسب آشکارساز اول و دوم

شبکه عصبی با اعداد ۰، ۱، ۲ کد گذاری شده‌اند که به ترتیب بیانگر رژیم حلقوی، همگن و لایه‌ای می‌باشند. در خروجی شبکه عصبی طراحی شده به منظور رژیم‌سنجی آستانه‌های تعبیه شده است به طوری که اگر خروجی شبکه در بازه $[-0/5, +0/5]$ باشد عدد صفر، اگر خروجی شبکه در بازه $[0/5, 1/5]$ باشد، عدد یک و اگر خروجی شبکه در بازه $[1/5, 2/5]$ باشد، بیانگر عدد دو می‌باشد که به ترتیب نمایانگر رژیم‌های حلقوی، همگن و لایه‌ای می‌باشند [۲۰ و ۲۱]. تعداد داده‌های استفاده شده برای ترین و تست شبکه عصبی به ترتیب ۳۹ (حدود ۷۰ درصد کل داده‌ها) و ۱۵ (حدود ۳۰ درصد تعداد کل داده‌ها) می‌باشد. کارکرد شبکه عصبی ارائه شده در شکل (۹) و (۱۰) به ترتیب برای داده‌های آموزش و تست به صورت نمودار رگرسیون، برازش

می‌باشند که با الهام گرفتن از شبکه‌های عصبی بیولوژیکی مانند مغز انسان طراحی شده‌اند [۱۴ و ۱۵]. این شبکه‌ها از تعداد زیادی نرون با ارتباط وزن دار داخلی که هماهنگ با هم برای حل مسائل ویژه عملی کنند، تشکیل شده است [۱۶ و ۱۷]. یکی از مرسوم‌ترین انواع شبکه‌های عصبی، پرسپترون چندلایه^۱ است [۱۸ و ۱۹] در این مقاله از دو شبکه عصبی پرسپترون چندلایه مجزا به منظور رژیم‌سنجی و تعیین درصدهای حجمی استفاده شده است. مشخصات و ساختار شبکه عصبی استفاده شده به منظور رژیم‌سنجی در جدول ۱ و شکل (۸) نمایش داده شده است. ویژگی انحراف معیار طیف فرکانسی سیگنال‌های دریافتی در آشکارساز اول و دوم به عنوان دو ورودی شبکه‌ی عصبی در نظر گرفته شده‌اند. خروجی

¹ Multi-Layer Perceptron (MLP)



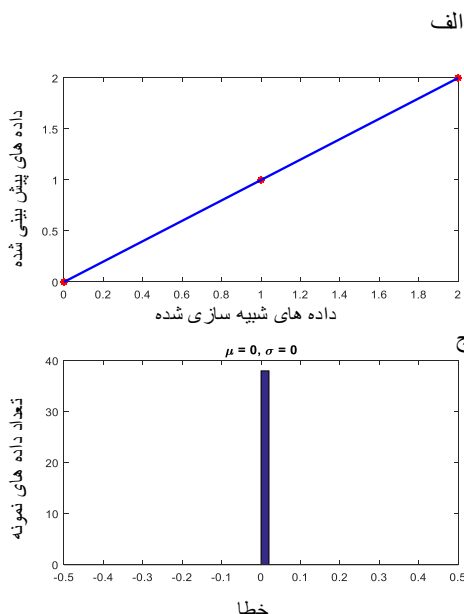
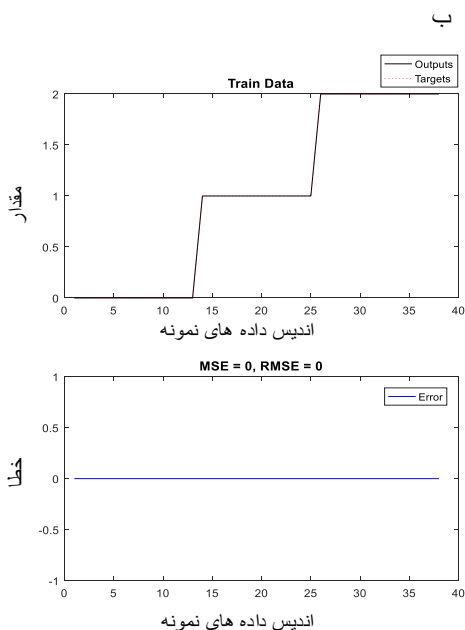
شکل ۸- ساختار شبکه عصبی پیشنهادی به منظور رژیم سنجی

داده، نمودار هیستوگرام خطا و نمودار خطا نشان داده شده است.

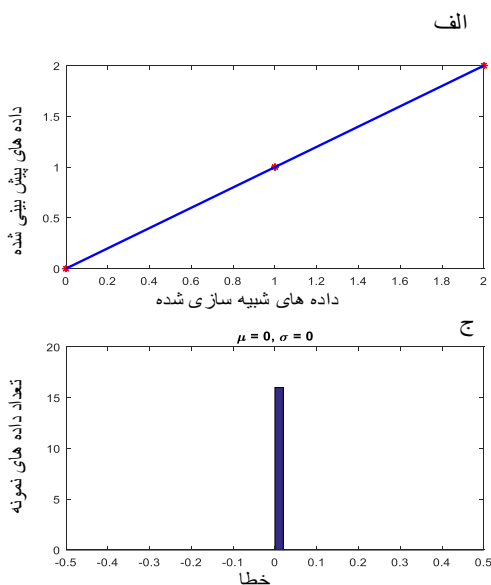
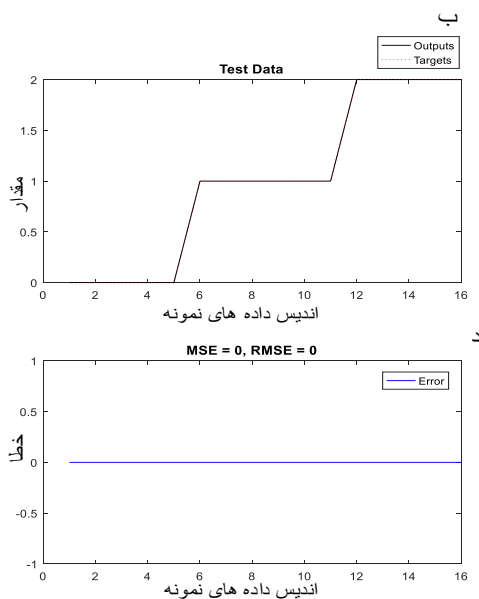
جدول ۱- مشخصات شبکه عصبی ارایه شده به منظور

رژیم سنج

۲	تعداد نرون ها در لایه ورودی
۴	تعداد نرون ها در لایه مخفی اول
۱	تعداد نرون ها در لایه خروجی
۲۵۰	بیشینه مقدار تکرار یا Epochs



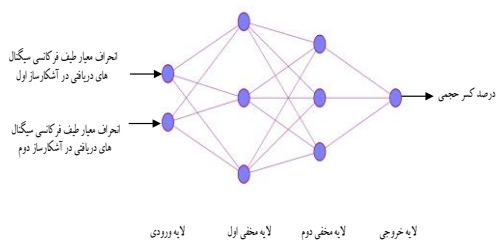
شکل ۹- نمودار شبکه عصبی پیشنهادی برای داده‌های آموزش به منظور رژیم سنجی الف)نمودار رگرسیون ب) نمودار برازش داده ج)نمودار هیستوگرام خطا د) نمودار خطا



شکل ۱۰ - نمودار شبکه عصبی پیشنهادی برای داده‌های تست به منظور رژیم سنجی الف)نمودار رگرسیون ب) نمودار برازش داده ج)نمودار هیستوگرام خطا د) نمودار خطا

جدول ۲: مشخصات شبکه عصبی ارابه شده به منظور تعیین

درصد حجمی	
۲	تعداد نرون‌ها در لایه ورودی
۳	تعداد نرون‌ها در لایه مخفی اول
۳	تعداد نرون‌ها در لایه مخفی دوم
۱	تعداد نرون‌ها در لایه خروجی
۲۵۰	بیشینه مقدار تکرار یا Epochs
Tansig	تابع فعال ساز

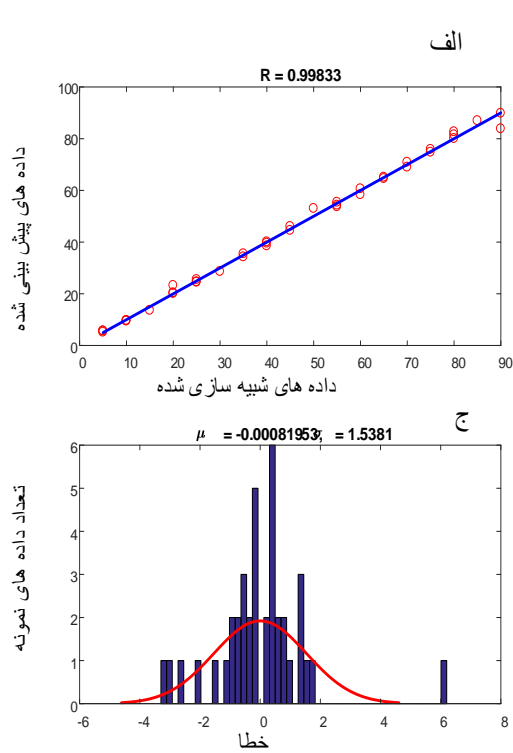
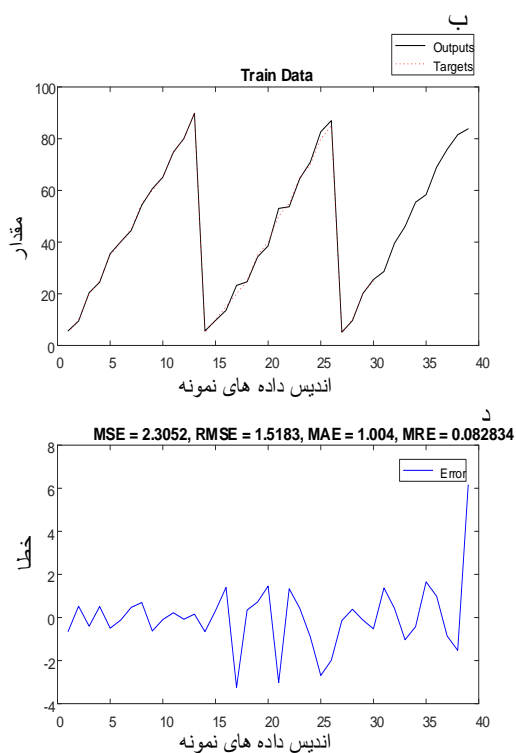


شکل ۱۱- ساختار شبکه عصبی پیشنهادی به منظور تعیین درصد کسر حجمی

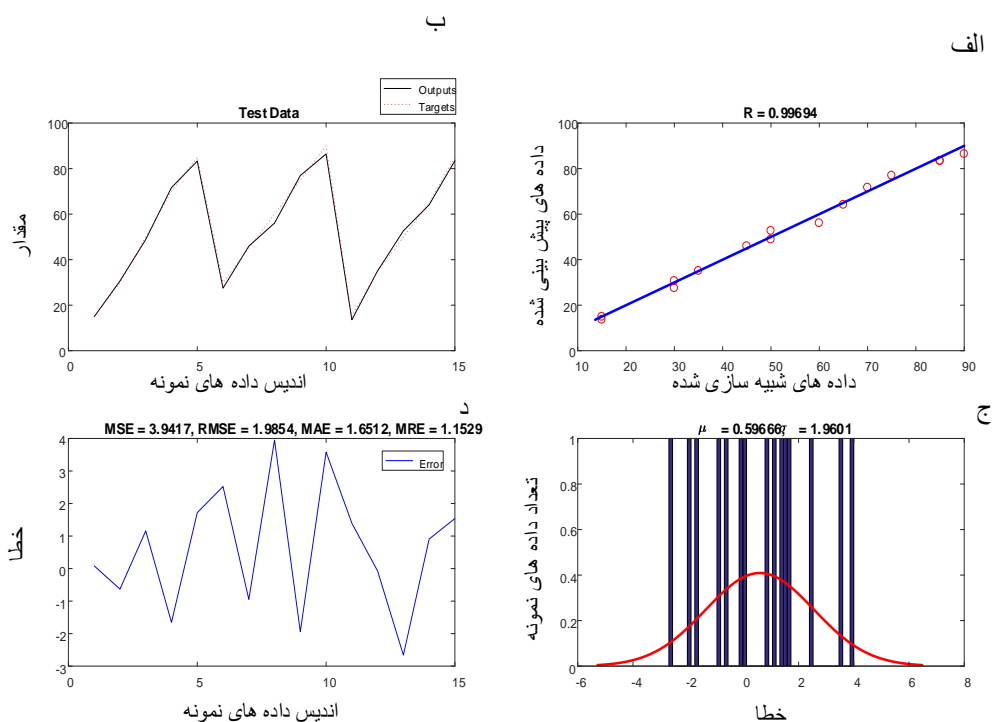
در نمودارها همانگونه که مشاهده می‌شود، تمامی رژیم‌ها در بخش آموزش و تست به صورت کامل (۱۰۰٪) تشخیص داده شده‌اند که این موضوع بیانگر صحت کار انجام شده می‌باشد.

به منظور تعیین درصدهای حجمی از یک شبکه عصبی با پارامترهای مجزا استفاده شده است. در شبکه‌ی ارائه شده در جهت تعیین درصدهای حجمی از ویژگی انحراف معیارهای طیف فرکانسی سیگنال‌های دریافتی در آشکارسازهای عبوری و پراکندگی به عنوان دو ورودی شبکه‌ی عصبی استفاده شده است و خروجی شبکه مذکور درصدهای حجمی می‌باشد. مشخصات و ساختار شبکه عصبی استفاده شده به منظور تعیین درصدهای حجمی در جدول ۲ و شکل (۱۱) نمایش داده شده است.

کارکرد شبکه عصبی ارائه شده به منظور تعیین درصد کسر حجمی در شکل ۱۲ و ۱۳ به ترتیب برای داده‌های آموزش و تست به صورت نمودار رگرسیون، برازش داده، نمودار هیستوگرام خطا و نمودار خطا نشان داده شده است.



شکل ۱۲- نمودار شبکه عصبی پیشنهادی برای داده‌های آموزش به منظور تعیین درصد کسر حجمی (الف) نمودار رگرسیون (ب) نمودار برازش داده (ج) نمودار هیستوگرام خطا (د) نمودار خطا



شکل ۱۳- نمودار شبکه عصبی پیشنهادی برای داده‌های تست به منظور تعیین درصد کسر حجمی (الف) نمودار رگرسیون (ب) نمودار برازش داده (ج) نمودار هیستوگرام خطا (د) نمودار خطا

جدول ۳- مقایسه‌ی درصد‌های حجمی شبیه‌سازی شده و درصد‌های پیش‌بینی شده توسط شبکه‌ی عصبی برای داده‌های تست

درصد کسر حجمی شبیه‌سازی شده مورد استفاده در داده‌های تست	درصد کسر حجمی پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی برای داده‌های تست
۱۵	۱۴/۹۱
۳۰	۳۰/۶۳
۵۰	۴۸/۸۴
۷۰	۷۱/۶۵
۸۵	۸۳/۲۸

لازم به ذکر است که در پژوهش پیشین انجام شده [۸]، از شمارش‌های ثبت شده زیر قله تمام انرژی سزیم در دو آشکارساز به عنوان ورودی شبکه عصبی استفاده گردید که با استفاده از این روش، درصد حجمی فازها با میانگین نسبی خطای ۱/۵ تعیین گردید. در این پژوهش با به کارگیری مشخصه‌های فرکانسی سیگنال‌های موجود، درصد حجمی فازها با میانگین نسبی خطای ۱/۱۵ تعیین شدند که نسبت به تحقیق پیشین خطای اندازه‌گیری بهبود

به منظور بررسی بهتر و اطمینان از صحت عملکرد شبکه‌ی عصبی طراحی شده از چهار معیار خطای درصد میانگین نسبی خطا^۱، میانگین مربع خطا^۲، مجذور میانگین مربع خطا^۳ و میانگین قدر مطلق خطا^۴ طبق روابط ۷-۱۰ استفاده شده است که نتایج آنها داخل شکل (۱۲) و (۱۳) مشاهده می‌شود [۱۹-۲۱].

$$MRE = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \left| \frac{X_j(Exp) - X_j(Pred)}{X_j(Pred)} \right| \quad (7)$$

$$MSE = \frac{\sum_{j=1}^N (X_j(Exp) - X_j(Pred))^2}{N} \quad (8)$$

$$RMSE = \left(\frac{\sum_{j=1}^N (X_j(Exp) - X_j(Pred))^2}{N} \right)^{0.5} \quad (9)$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N |X_j(Exp) - X_j(Pred)| \quad (10)$$

در جدول ۳ و ۴، مقایسه‌ی درصد‌های حجمی شبیه‌سازی شده و درصد‌های پیش‌بینی شده توسط شبکه‌ی عصبی برای برخی از داده‌های تست و آموزش به ترتیب نمایش داده شده است.

⁴ Mean Absolute Error (MAE)

¹ Mean Relative Error (MRE)

² Mean Square Error (MSE)

³ Root Mean Square Error (RMSE)

۵- نتیجه گیری

در این مطالعه سه رژیم جریانی حلقوی، لایه‌ای و همگن توسط کدهای MCNPX شبیه‌سازی شدند. سپس سیگنال‌های ثبت شده در آشکارسازها توسط تحلیل فرکانسی وارد حوزه فرکانس شدند و شش ویژگی میانگین فرکانسی سیگنال، دامنه فرکانس غالب، واریانس، انحراف معیار، مجذور میانگین مربعات و مجذور مجموع مربعات به صورت یکسان از سیگنال‌های حوزه‌ی فرکانسی آشکارسازها استخراج شده است. با بررسی تمام حالات ممکن، ویژگی انحراف معیار طیف فرکانسی آشکارسازها به عنوان ورودی به شبکه عصبی اعمال شده است. همچنین از دو شبکه‌ی عصبی پرسپترون چند لایه به منظور تشخیص نوع رژیم‌های جریانی و تعیین درصد‌های حجمی استفاده شده است. با استفاده از تکنیک استخراج ویژگی مطرح شده و شبکه عصبی طراحی شده، نوع رژیم جریانی به صورت کامل تشخیص داده شد و درصد‌های حجمی با میانگین نسبی خطای ۱/۱۵ تعیین شدند.

یافته است و نشان‌دهنده دقت بالای شبکه‌ها و روش مطرح شده می‌باشد. همچنین در جدول ۵ این مقاله با سایر کار-های گذشته مقایسه شده است.

جدول ۴- مقایسه‌ی درصد‌های حجمی شبیه‌سازی شده و درصد‌های پیش‌بینی شده توسط شبکه‌ی عصبی برای داده‌های

آموزش

درصد کسر حجمی شبیه‌سازی شده مورد استفاده در داده‌های آموزش	درصد کسر پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی برای داده‌های آموزش
۵	۵/۶۴
۱۰	۹/۴۷
۲۰	۲۰/۴۰
۲۵	۲۴/۴۸
۳۵	۳۵/۴۹
۴۰	۴۰/۱۱

جدول ۵: مقایسه با سایر کارهای پیشین.

مطالعات گذشته	خطای تشخیص درصد‌های حجمی
[۷]	۱,۲
[۸]	۱,۵
[۱۰]	۱,۴
این مقاله	۱,۱

مراجع

- [1] E. Nazemi, S. Farzin, and S. Mohammadi, "Designing a simple radiometric system to predict void fraction percentage independent of flow pattern using radial basis function", Metrology and Measurement Systems, 2018.
- [2] M. S. A. Abouelwafa, and E. J. M. Kendall, "The measurement of component ratios in multiphase systems using y-ray attenuation", Journal of Physics E: Scientific Instruments, Vol. 13, 1980.
- [3] C. M. Bishop, and G. D. James, "Analysis of multiphase flows using dual-energy gamma densitometry and neural networks", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, Vol. 327, 1993, pp. 580-593.
- [4] E. Abro, and G. A. Johansen, "Improved void fraction determination by means of multibeam gamma-ray attenuation measurements", Flow Measurement and Instrumentation, Vol. 10, 1999, pp. 99-108.
- [5] T. Elperin, and M. Klochko, "Flow regime identification in a two-phase flow using wavelet transform", Experiments in Fluids, Vol. 32, 2002, pp. 674-682.
- [6] A. Rabiei, M. Shamsaei, M. Kafaee, M. Shafaei, and N. Mahdavi, "Void fraction and flow regime determination by means of MCNP code and neural network", Nukleonika, Vol. 57, No. 3, 2012, pp. 345-349.
- [7] G. H. Roshani, E. Nazemi, S. A. H. Feghhi, and S. Setayeshi, "Flow regime identification and void fraction prediction in two-phase flows based on gamma ray attenuation", Measurement, 2014.
- [8] E. Nazemi, G. H. Roshani, S. A. H. Feghhi, S. Setayeshi, E. Eftekhari Zadeh, A. Fatehi, "Optimization of a method for identifying the flow regime and measuring void fraction in a broad beam gamma-ray attenuation technique", International Hydrogen Energy, 2016.
- [9] G. H. Roshani, E. Nazemi, and S. A. H. Feghhi, "Investigation of using ^{60}Co source and one detector for determining the flow regime and void fraction in gas-liquid two-phase flows", Flow Measurement and Instrumentation, 2016, pp. 73-79.

- [10] E. Nazemi, S. A. Fegghi, G. H. Roshani, R. G. Peyvandi, and S. Setayeshi, Precise void fraction measurement in two-phase flows independent of the flow regime using gamma-ray attenuation, *Nuclear Engineering and Technology*, Vol. 48, No. 1, 2016 February 1, pp. 64-71.
- [11] E. Nazemi, S. A. H. Fegghi, and G. H. Roshani, "void fraction prediction in two-phase flows independent of the liquid phase density changes", *Radiation Measurements*, Vol. 68, 2014, pp. 49-54.
- [12] R. Hanus, M. Zych, L. petryka, M. Jaszczur, and P. Hanus, "Signals feature extraction in liquid-gas flow measurements using gamma densitometry time domain", *EDP science*, 2016.
- [13] R. Hanus, M. Zych, M. Kusy, M. Jaszczur, and L. petryka, "Identification of liquid-gas flow regime in a pipeline using gamma-ray absorption technique and computational intelligence methods", *Flow Measurement and Instrumentation*, 2018.
- [۱۴] مصطفی لشکر بلوکی، "پیش بینی کشش سطحی مایعات یونی بر پایه ایمیدازولیوم با بکارگیری شبکه عصبی مصنوعی، "مدلسازی در مهندسی، دوره ۱۷، شماره ۵۸، پاییز ۱۳۹۸، صفحه ۱-۱۳.
- [۱۵] فاطمه کرد و کامیار موقرنژاد، "بررسی تجربی و مدلسازی شبکه عصبی برای پیشبینی ضریب شکست الکلهای خالص و مخلوط دوتایی"، "مدلسازی در مهندسی، دوره ۱۷، شماره ۵۶، بهار ۱۳۹۸، صفحه ۳۷۵-۳۸۷.
- [۱۶] علی حیدری، داود توکلی و پویان فخاریان، "تقریب مقادیر ویژه ورق با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی"، "مدلسازی در مهندسی، دوره ۱۱، شماره ۳۵، زمستان ۱۳۹۲، صفحه ۴۹-۶۲.
- [17] C. M Salgado, L. E. B. Brandão, C. M. N. A. Pereira, and W. L. Salgado, "Salinity independent volume fraction prediction in annular and stratified (water-gas-oil) multiphase flows using artificial neural networks", *Progress in Nuclear Energy*, Vol. 76, 2014, pp. 17-23.
- [18] S. Hosseini, G. H. Roshani, and S. Setayeshi, "Precise gamma based two-phase flow meter using frequency feature extraction and only one detector", *Flow Measurement and Instrumentation*, 2020.
- [19] M. Bahiraei, N. Mazaheri, and S. Hosseini, "Neural network modeling of thermo-hydraulic attributes and entropy generation of an ecofriendly nanofluid flow inside tubes equipped with novel rotary coaxial double-twisted tape", *Powder Technology*, Vol. 369, 2020 June 1, pp. 162-75.
- [20] M. Bahiraei, L. K. Foong, S. Hosseini, and N. Mazaheri, "Neural network combined with nature-inspired algorithms to estimate overall heat transfer coefficient of a ribbed triple-tube heat exchanger operating with a hybrid nanofluid", *Measurement*, Vol. 174, 2021 April 1, p. 108967.
- [21] M. Bahiraei, L. K. Foong, S. Hosseini, and N. Mazaheri, "Predicting heat transfer rate of a ribbed triple-tube heat exchanger working with nanofluid using neural network enhanced by advanced optimization algorithms", *Powder Technology*, Vol. 381, 2021 March 1, pp. 459-76.