



## اندازه‌گیری کسر حجمی فازها در یک جریان دو فاز گاز-مایع با استفاده از پراکندگی تابش گاما

علی فاتحی پیکانی<sup>۱</sup>، غلام‌حسین روشنی<sup>۲\*</sup> و سید امیرحسین فقهی<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup>دانشگاه شهیدبهشتی، دانشکده مهندسی هسته‌ای، گروه کاربرد پرتوها

<sup>۲</sup>دانشگاه صنعتی کرمانشاه، دانشکده انرژی، گروه مهندسی برق

مقاله مستقل، تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۷/۱۹، تاریخ بازنگری: ۱۳۹۶/۰۱/۱۲، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۴/۱۸

### چکیده

محاسبه کسر حجمی فازها در یک جریان چندفازی به خصوص در جریان‌های دوفازی گاز-مایع در صنعت نفت و پتروشیمی، دارای اهمیت به سزایی است. اطلاع از کسر حجمی هر یک از فازها، پارامتر مهمی جهت اندازه‌گیری دبی هر فاز در یک جریان چندفازی است. در این تحقیق، با استفاده از تکنیک پراکندگی پرتوهای گاما و با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، کسرهای حجمی گاز و مایع در یک جریان دوفازی اندازه‌گیری شده است. با تغییر کسرهای حجمی گاز و مایع، چگالی جریان دوفازی تغییر کرده، تعداد پرتوهای گاما پراکنده شده در اثر اندرکنش با سیال در زوایای مختلف نسبت به راستای اولیه تابش تغییر می‌کند. در این روش، از یک چشمه تک انرژی سزیم ۱۳۷ و یک آشکارساز سدیم یدید ۳ اینچی برای ثبت پرتوهای پراکنده شده، استفاده شده است و شمارش‌های ثبت شده در آشکارساز، به عنوان ورودی‌های شبکه عصبی مصنوعی چندلایه در نظر گرفته شده‌اند. خروجی شبکه نیز، کسر حجمی گاز بود که با درصد خطای میانگین نسبی کمتر از ۲/۵٪ پیش‌بینی شد.

**کلمات کلیدی:** جریان دوفازی؛ کسر حجمی؛ تابش گاما؛ شبکه عصبی مصنوعی.

## Volume Fraction Measurement in Gas-Liquid Two Phase Flow Using Gamma Radiation Scattering

A. Fatehi<sup>1</sup>, G.H. Roshani<sup>2,\*</sup>, S.A.H. Feghi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Shahid Beheshti University, Department of Radiation Application, Tehran, Iran.

<sup>2</sup>Electrical Engineering Department, Kermanshah University of Technology, Kermanshah, Iran.

### Abstract

During the last three decades, development, evaluation, and use of multiphase-flow- measurement systems have been a major focus for the oil and gas industry worldwide. Volume fraction measurement of the multi phase flows, especially gas - liquid two phase flows is so important issue in the oil and petroleum industry. Volume fractions are key parameters in multi phase flow rate metering. In this study, volume fraction of each phase was measured using gamma ray scattering and artificial neural network. The density of two phase flow is related to the volume fractions and number of the scattered gamma can be changed with this density. <sup>137</sup>Cs single energy source and one 3-inch NaI (TI) scintillation detector were used and the registered counts in the detector were applied to the multi layer neural network. The output of the network was gas volume fraction which was predicted with the mean relative error of less than 2.5%.

**Keywords:** Two Phase Flow; Volume Fraction; Gamma Radiation; Artificial Neural Network.

## ۱- مقدمه

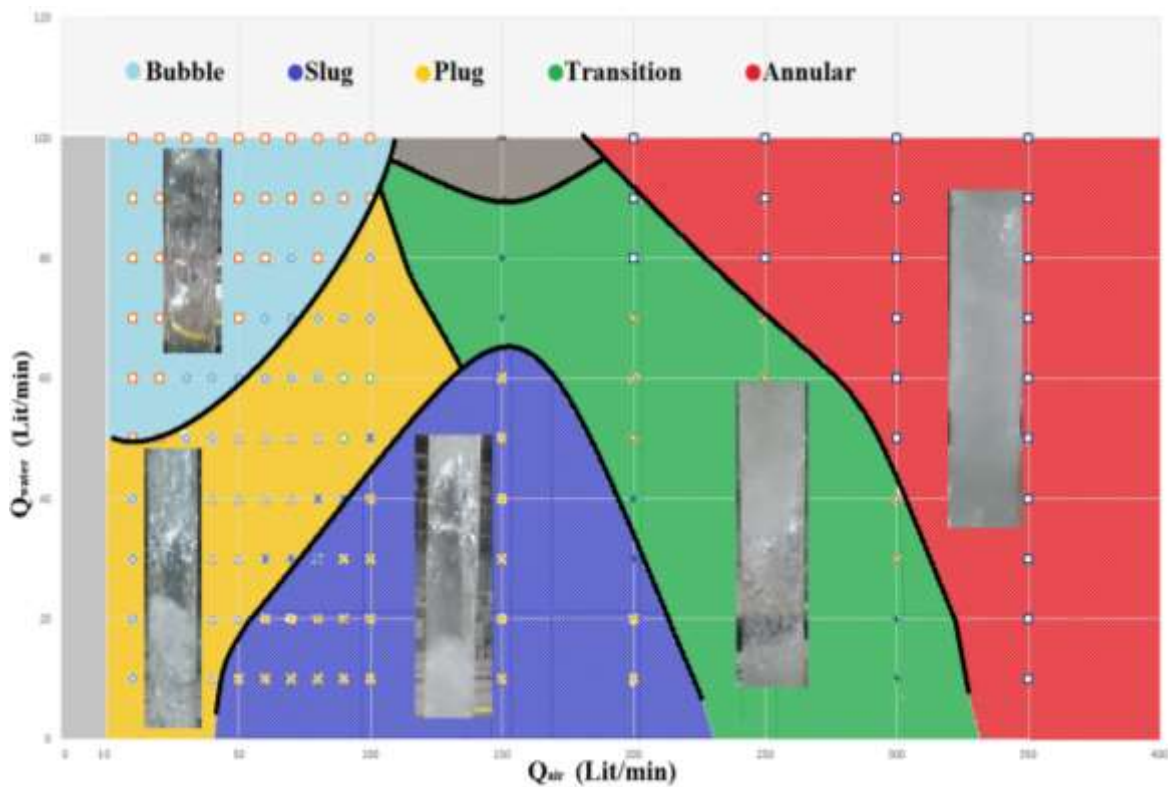
هر سیستم جریان‌سنج چندفازی، نیاز به استحصال چندین پارامتر دارد تا بر اساس آن‌ها، نرخ دبی سیال عبوری را مشخص کند. مهمترین و اصلی‌ترین این پارامترها، کسر حجمی هر یک از فازهاست. روش‌های متنوعی بدین منظور موجود است از جمله: روش مکانیکی، هیدرولیکی، صوتی، الکتریکی، اشعه گاما، نوترون، میرایی امواج میکرو و طیف‌سنجی براساس اشعه مادون قرمز که در این بین، روش تضعیف گاما جزو دقیق‌ترین آن‌هاست. بهره بردن از تکنیک‌های هوش مصنوعی در زمینه کلاس‌بندی و پیش‌بینی هم، جزو لاینفک جریان‌سنج‌های چندفازی است. مایعات و گازها، اجزای اصلی مخازن نفت و گاز بوده که از طریق خطوط لوله منتقل می‌شوند. تخمین مقادیر این اجزا در اقتصادی بودن یا نبودن عملیات حفاری ضروری است. ابوالوفا و همکارش، اولین کسانی بودند که طرح اندازه‌گیری نسبت‌های مولفه‌های یک مخلوط سه‌فازی را با استفاده از تضعیف گامای چند انرژی پیشنهاد دادند [۱]. در سال ۱۹۹۲ لاهی و همکارانش، تلاش‌های فراوانی برای تعیین درصد حجمی سه‌فازی در رژیم‌های گوناگون و لوله‌های افقی انجام دادند [۲]. عدم استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی که در آن سال‌ها هنوز رایج نبود، منجر به نتایج ضعیف این کار شد. در سال ۱۹۹۳ بیشاپ و همکارش، ایده استفاده از هوش مصنوعی در تعیین رژیم و تخمین درصد حجمی در سیالات چند فازی را مطرح کردند [۳]. در سال ۱۹۹۹ آبرو و همکارش، پیشگام بهینه‌سازی ساختار درصد حجمی سنجی با استفاده از تضعیف اشعه گاما در سیالات دوفازی شدند [۴]. استفاده از چشمه آمرسیوم ۲۴۱ با انرژی گامای به مراتب پایین‌تر که خود سبب کاهش سایز سیستم سنجش به دلیل کاهش حفاظ مورد نیاز می‌شد، استفاده از آشکارسازهای کوچک‌تر و استفاده از سیستم چند پرتویی به جای تک پرتویی به منظور کاهش وابستگی به رژیم جریانی، از موارد مطرح در این پژوهش بود. در سال ۲۰۰۹ سالگادو و همکارانش، تشخیص درصد حجمی گاز-نفت-آب در شاره‌های سه‌فازی را با استفاده از کد مونت کارلویی MCNP و شبکه‌های عصبی مصنوعی بررسی کردند [۵]. چشمه رادیوآکتیو به‌کاربرده شده شامل، ایزوتوپ‌های یوروم ۱۵۲ و باریوم ۱۳۳ با انرژی‌های به ترتیب، ۱۲۱ و ۳۵۶ کیلوالکترون ولت بود؛ همچنین از ۳

آشکارساز NaI با ابعاد ۱ اینچ در ۱ اینچ که در زوایای ۰، ۴۵ و ۹۰ درجه نسبت به راستای باریکه گاما قرار گرفته‌اند، استفاده شده بود. در سال ۲۰۱۰ سیچر و همکارانش، اندازه‌گیری درصد حجمی مستقل از رژیم جریانی و مقدار شوری آب در شاره‌های چندفازی را به طور همزمان بررسی کردند [۶]. در سال ۲۰۱۲، علی ربیعی و مجتبی شمسایی ظفرقندی، اقدام به تعیین رژیم و درصد حجمی جریان‌های دوفازی کردند [۷]. آن‌ها از چهار آشکارساز در زوایای ۱۸۰، ۱۴۰، ۶۸ و ۵۲ درجه استفاده کردند و درصد حجمی، با خطای کمتر از ۳ درصد تشخیص داده شد. از معایب عمده این کار، تعداد آشکارسازهای زیاد آن بود که دلیل این امر هم در الگوریتم استفاده شده نهفته بود. ۸۰ درصد داده‌ها، به عنوان داده آموزش و ۲۰ درصد باقی، به عنوان تست استفاده شده بودند که کمی دور از عرف این کار است (معمولاً ۷۰ درصد داده‌ها، به عنوان آموزش و ۳۰ درصد، به عنوان تست مورد استفاده قرار می‌گیرد) و همین امر منجر به پایین شدن خطای گزارش شده خواهد شد. در سال ۲۰۱۴ العبد، مقایسه‌ای بین تکنیک‌های پراکندگی اشعه گاما و تکنیک‌های اشعه گامای عبوری به منظور اندازه‌گیری درصد حجمی گاز و روی محلول‌های دوفازی انجام داد [۸]. اگر چه هر دو روش جواب‌های مناسب و قابل قبولی را ارائه می‌دادند، اما نتایج حاکی از دقت بالاتر و خطای پایین‌تر تکنیک‌های مبتنی بر پراکندگی اشعه گاما بود. در همین سال ناظمی و همکارانش، ایده جدیدی برای پیش‌بینی کسر تخلخل در جریان دوفازی مستقل از تغییرات چگالی فاز مایع مطرح کردند و با استفاده از دو آشکارساز و یک چشمه تک انرژی توانستند، کسر حجمی را در جریان دوفازی گاز-مایع بدون نیاز به شناسایی رژیم پیش‌بینی کنند [۹]. ناظمی، آزمایشات خود را روی ساختار استاتیک و روی رژیم‌های لایه‌ای، حلقوی و همگن انجام داد. در سال ۲۰۱۴ نیز روشی و همکارانش، با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی چندلایه و با استفاده از یک آشکارساز و یک چشمه دوانرژی توانستند، کسرهای حجمی را در جریان سه فازی نفت-آب-گاز با درصد میانگین خطای مطلق کمتر از ۱ درصد پیش‌بینی کنند [۱۰] و یکسال بعد نیز، با استفاده از دوآشکارساز و یک چشمه سزیم، هم رژیم و هم کسرهای حجمی را برای جریان دوفازی با دقت بسیار خوبی

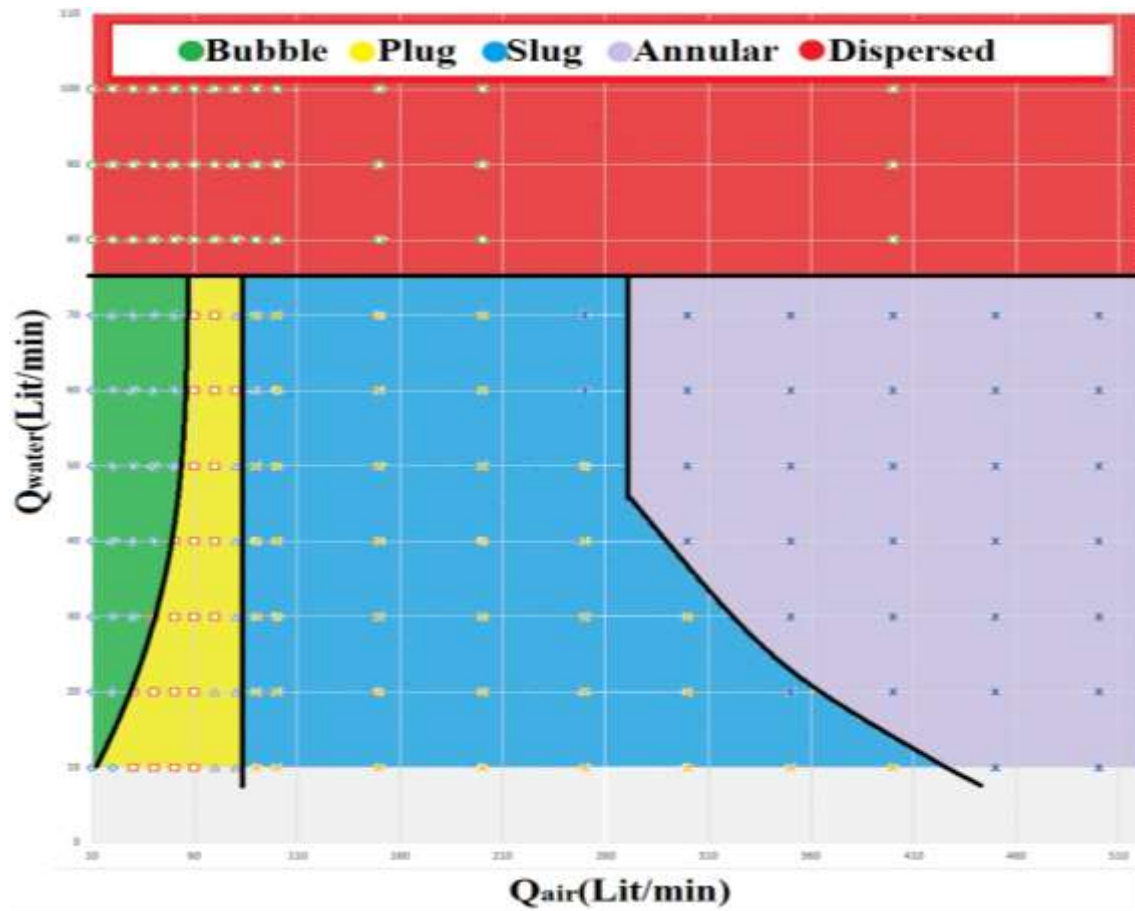




شکل ۱- حلقه تست جریان دو فازی گاز- مایع دانشگاه شهید بهشتی



شکل ۲- نقشه رژیم جریان دو فازی آب-هوا در حالت عمودی



شکل ۳- نقشه رژیم جریان دو فازی آب-هوا در حالت افقی

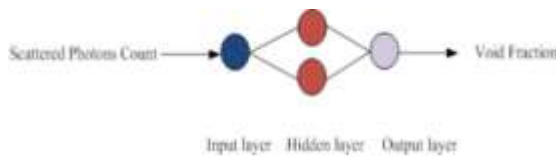
اکتیویته چشمه با توجه به الزامات مربوط به ایمنی محیط و پرتوکار توانستیم، مدت زمان اندازه‌گیری را تا ۲۰ ثانیه کاهش دهیم که بسیار حائز اهمیت است. چیدمان آزمایش در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴- چیدمان آزمایشگاهی

برای اندازه‌گیری هسته‌ای، از یک چشمه ۸ میلی کوری سزیم ۱۳۷ با انرژی گامای ۶۶۲ کیلو الکترون ولت استفاده شد که داخل حفاظ سربی استوانه‌ای شکل به ضخامت ۷ سانتی‌متر قرار گرفته بود که این حفاظ علاوه بر جذب پرتوها، نقش موازی ساز پرتوهای خروجی از دهانه آن به سمت لوله مورد آزمایش را نیز داشت. از یک آشکار ساز سدیم یدید ۳ در ۳ اینچ در زاویه ۹۰ درجه نسبت به راستای چشمه و لوله برای ثبت پرتوهای پراکندگی استفاده شد [۸]. فاصله چشمه تا مرکز لوله، ۴۰ سانتی‌متر و فاصله آشکار ساز تا مرکز لوله، ۳۵ سانتی‌متر و مدت زمان اندازه‌گیری، ۲۰ ثانیه است.

دلیل انتخاب چشمه سزیم و هندسه مذکور، بررسی صورت گرفته روی سه موضوع مهم شامل: خطای آماری ناشی از ذات تابش‌های هسته‌ای، حساسیت نسبت به تغییرات کسر حجمی و همچنین چگالی سیال است که از طریق کد MCNP انجام گرفته بود [۹-۱۲]؛ همچنین با بالابردن



شکل ۵- ساختار شبکه MLP مورد استفاده برای پیش‌بینی کسر حجمی هوا

جدول ۱- مشخصات شبکه مورد استفاده برای پیش‌بینی

کسر حجمی هوا	
MLP	شبکه عصبی
۱	تعداد نرون‌ها در لایه ورودی
۲	تعداد نرون‌ها در لایه مخفی
۱	تعداد نرون‌ها در لایه خروجی
۱۴۰	تعداد تکرارها (epoch)
tansig	تابع فعالسازی نرون‌ها

آموزش شبکه پیشنهادی توسط الگوریتم لوبنرگ-مارکوارد انجام شده است. برای آموزش این شبکه، از ۱۶ نمونه (تقریباً ۷۰ درصد داده‌ها) و برای تست آن از ۶ نمونه (تقریباً ۳۰ درصد داده‌ها) استفاده شده است. بهترین ساختار شبکه عصبی، توسط تست و بهینه‌سازی ساختارهای شبکه عصبی مختلف بدست آمد. ساختارهای مختلف زیادی با لایه‌های پنهان متفاوت و با تعداد مختلف نرون‌ها در هر لایه تست شدند و بهترین آن به عنوان مدل شبکه عصبی پیشنهادی انتخاب شد؛ همچنین از نرم‌افزار متلب برای ایجاد شبکه عصبی پیشنهادی استفاده شده است. مقادیر مربوط به آموزش و تست شبکه و همچنین مقادیر واقعی و مقادیر پیش‌بینی شده کسر حجمی هوا، توسط شبکه پیشنهادی در جدول‌های ۲ و ۳ آورده شده است. لازم به ذکر است، تمامی شمارش‌های اعمال شده به شبکه عصبی مصنوعی به عنوان ورودی، شمارش‌های خالص هستند و در روند ثبت شمارش، شمارش زمینه از شمارش کلی کسر شده است. شمارش زمینه طی ۱۰ آزمایش مختلف ثبت گردید و میانگین آن از شمارش کلی هر آزمایش کسر شد تا بدین صورت از شمارش خالص در آموزش و تست شبکه استفاده گردد.

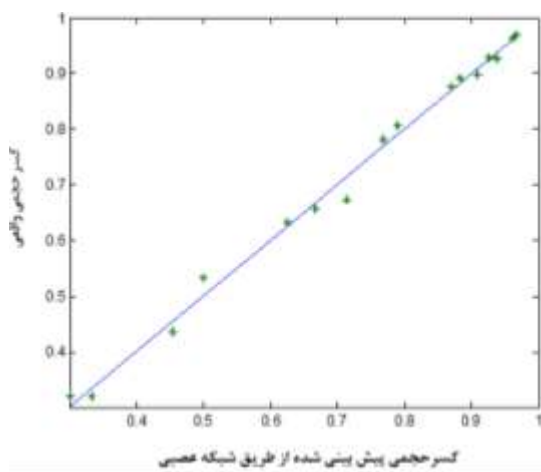
با تغییر دبی آب و هوا توسط شیرهای کنترلی موجود در خطوط انتقال آن‌ها، ۳۰ حالت مختلف جریان دوفازی در لوله عمودی ایجاد شد. سپس برای هر حالت، ۵ طیف خروجی آشکارساز در زمان ۲۰ ثانیه بدست آمد که شامل، تعداد کل شمارش پرتوهای رسیده به آشکارساز بود و با میانگین‌گیری از ۵ شمارش، مقادیر متوسط به ازای هر حالت تولید شد.

### ۳- شبکه‌ی عصبی مصنوعی

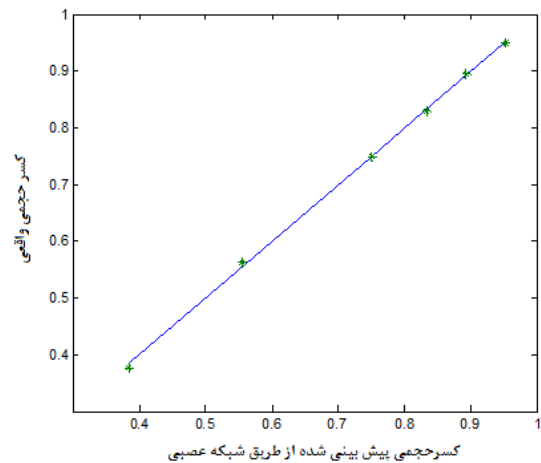
شبکه‌های عصبی به عنوان ابزاری قدرتمند برای پیش‌بینی، طبقه‌بندی، مدل‌سازی و بهینه‌سازی شناخته شده است. در سال‌های اخیر، شبکه‌های عصبی مصنوعی کاربردهای وسیعی در مهندسی هسته‌ای پیدا کرده‌اند. شبکه‌های عصبی مصنوعی، الگویی برای پردازش اطلاعات می‌باشند که با تقلید از شبکه‌های عصبی بیولوژیکی مانند مغز انسان ساخته شده‌اند. این شبکه‌ها از تعداد زیادی نرون با ارتباطات قوی داخلی تشکیل شده‌اند که هماهنگ با هم برای حل مسائل مخصوص کار می‌کنند. این شبکه‌ها درست مثل انسان‌ها با استفاده از مثال‌ها آموزش می‌بینند. امروزه شبکه‌های عصبی در کاربردهای مختلفی نظیر، مسائل تشخیص الگو<sup>۱</sup> که خود شامل مسائلی مانند، تشخیص خط<sup>۲</sup>، شناسایی گفتار<sup>۳</sup> و پردازش تصویر<sup>۴</sup> می‌باشند و نیز مسائل دسته‌بندی<sup>۵</sup>، تقریب توابع، کنترل یا مدل‌سازی سیستم‌هایی به کار می‌روند که ساختار داخلی ناشناخته یا بسیار پیچیده‌ای دارند [۱۳-۱۴]. مزیت اصلی استفاده از شبکه عصبی در هریک از مسائل فوق، قابلیت فوق‌العاده شبکه عصبی در یادگیری و نیز پایداری شبکه عصبی در مقابل اغتشاشات ناچیز ورودی‌ها است. برای پیش‌بینی کسر حجمی هوا، همان طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، از شمارش‌های ثبت شده در آشکارساز پراکندگی، به عنوان ورودی شبکه استفاده شده است و کسر حجمی هوا، به عنوان خروجی شبکه پیش‌بینی می‌شود. در جدول ۱ نیز، مشخصات شبکه بهینه پیشنهادی بیان شده است.

<sup>1</sup> Pattern Recognition  
<sup>2</sup> Character Recognition  
<sup>3</sup> Speech Recognition  
<sup>4</sup> Image Processing  
<sup>5</sup> Classification

ساخت این حلقه تست، به دست آوردن داده‌هایی در جهت ساخت دستگاه‌های اندازه‌گیری جریان دوفازی است. اندازه-گیری کسر حجمی هوا، به عنوان یکی از مهم‌ترین داده‌های لازم در جریان سنجی مورد آزمایش قرار گرفت و داده‌های آن به دست آمد. این داده‌ها در مدلسازی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، مورد استفاده قرار گرفت. نمودارهای مربوط به مقایسه نتایج پیش‌بینی شده، از طریق شبکه عصبی مصنوعی و نتایج آزمایشگاهی کسر حجمی هوا، در شکل ۶ آورده شده‌اند.



(الف)



(ب)

شکل ۶- مقایسه نتایج پیش‌بینی شده از طریق شبکه و نتایج آزمایشگاهی کسر حجمی برای الف) آموزش شبکه و ب) تست شبکه عصبی

جدول ۲- داده‌های استفاده شده برای آموزش شبکه عصبی

و مقادیر کسر حجمی هوا		
شمارش پرتوهای پراکندگی	کسر حجمی پیش-بینی شده	کسر حجمی واقعی
۱۱۱۷۰۱	۰/۹۶۴۶۹۳	۰/۹۶۷۷۴۲
۱۱۲۰۰۵	۰/۹۵۹۶۶۱	۰/۹۶۱۵۳۸
۱۱۳۶۳۱	۰/۹۲۷۳۸۲	۰/۹۳۷۵۰۰
۱۱۳۵۶۸	۰/۹۲۸۸۰۳	۰/۹۲۵۹۲۶
۱۱۴۷۲۱	۰/۸۹۹۷۳۸	۰/۹۰۹۰۹۱
۱۱۴۹۴۳	۰/۸۹۳۴۰۶	۰/۸۸۲۳۵۳
۱۱۵۴۹۶	۰/۸۷۶۴۹۹	۰/۸۶۹۵۶۵
۱۱۷۳۴۰	۰/۸۰۶۳۵۸	۰/۷۸۹۴۷۴
۱۱۷۸۴۸	۰/۷۸۲۶۹۷	۰/۷۶۹۲۳۱
۱۱۹۷۵۹	۰/۶۷۲۲۰۷	۰/۷۱۴۲۸۶
۱۱۹۹۹۹	۰/۶۵۵۵۷۹	۰/۶۶۶۶۶۷
۱۲۰۳۱۳	۰/۶۳۲۷۶۵	۰/۶۲۵۰۰۰
۱۲۱۵۳۷	۰/۵۳۱۵۴۵	۰/۵۰۰۰۰۰
۱۲۲۵۰۶	۰/۴۳۵۴۴۶	۰/۴۵۴۵۴۵
۱۲۳۴۹۷	۰/۳۲۰۹۷۸	۰/۳۳۳۳۳۳
۱۲۳۵۰۷	۰/۳۱۹۶۸۵	۰/۳۰۱۲۰۵

جدول ۳- داده‌های استفاده شده برای تست شبکه عصبی و

مقادیر کسر حجمی هوا		
شمارش پرتوهای پراکندگی	کسر حجمی پیش-بینی شده	کسر حجمی واقعی
۱۱۲۶۵۵	۰/۹۴۷۸۸۶	۰/۹۵۲۳۸۱
۱۱۴۸۵۱	۰/۸۹۶۰۵۰	۰/۸۹۲۸۵۷
۱۱۶۷۹۲	۰/۸۲۹۶۴۶	۰/۸۳۳۳۳۳
۱۱۸۴۹۶	۰/۷۴۹۲۵۲	۰/۷۵۰۰۰۰
۱۲۱۲۰۲	۰/۵۶۱۳۲۱	۰/۵۵۵۵۵۶
۱۲۳۰۴۱	۰/۳۷۵۹۸۴	۰/۳۸۴۶۱۵

#### ۴- بحث و نتایج

همانطور که اشاره شد، در این پژوهش یک حلقه تست جریان دوفازی طراحی و ساخته شد که قابلیت تولید اکثر رژیم‌های جریانی و کسرهای حجمی هوا را دارد. هدف از

است. با استفاده از شمارش پرتوهای پراکنده شده در زاویه ۹۰ درجه نسبت به راستای تابش که در آشکارساز ثبت شده‌اند و انتخاب آن به عنوان ورودی شبکه عصبی MLP پیشنهادی، کسر حجمی فاز گاز از رنج ۰/۳ تا ۰/۹۸ با درصد میانگین خطای نسبی کمتر از ۲/۵٪ پیش‌بینی شد. از نکات قابل توجه این پژوهش، زمان اندازه‌گیری کوتاه آن (۲۰ ثانیه) و اندازه‌گیری روی رژیم‌های جریان متفاوت و دارای نوسان است.

### ۶- مراجع

- [1] Abouelwafa M, Kendall E (1980) The measurement of component ratios in multiphase systems using alpha-ray attenuation. J Phys E Sci Instrum 13: 341.
- [2] Lahey Jr R, Açıkgöz M, Franca F (1992) Global volumetric phase fractions in horizontal three-phase flows. AIChE J 38: 1049-1058.
- [3] Bishop CM, James GD (1993) Analysis of multiphase flows using dual-energy gamma densitometry and neural networks. Nucl Instrum Meth A 327: 580-593.
- [4] Abro E, Khoryakov V, Johansen G, Kocbach L (1999) Determination of void fraction and flow regime using a neural network trained on simulated data based on gamma-ray densitometry. Meas Sci Technol 10: 619.
- [5] Salgado CM, Brandão LE, Schirru R, Pereira CM, da Silva AX, Ramos R (2009) Prediction of volume fractions in three-phase flows using nuclear technique and artificial neural network. Appl Radiat Isotopes 67: 1812-1818.
- [6] Satre C, Johansen G, Tjugum S (2010) Salinity and flow regime independent multiphase flow measurements. Flow Meas Instrum 21: 454-461.
- [7] Rabiei A, Shamsaei M, Kafaee M, Shafaei M, Mahdavi N (2012) Void fraction and flow regime determination by means of MCNP code and neural network. Nukleonika 57: 345-349.
- [8] El Abd A (2014) Intercomparison of gamma ray scattering and transmission techniques for gas volume fraction measurements in two phase pipe flow. Nucl Instrum Meth A 735: 260-266.
- [9] Nazemi E, Fegghi S, Roshani G (2014) Void fraction prediction in two-phase flows independent of the liquid phase density changes. Radiat Meas 68: 49-54.
- [10] Nazemi E, Fegghi S, Roshani G, Peyvandi RG, Setayeshi S (2015) Precise void fraction measurement in two-phase flows independent of

مطابق با جدول‌های ۲ و ۳ و شکل ۶، مشخص است که پیش‌بینی کسر حجمی هوا با استفاده از شبکه عصبی پیشنهادی، بسیار نزدیک به نتایج آزمایشگاهی است. جدول ۴، خطاهای بدست آمده برای شبکه پیشنهادی را نشان می‌دهد که درصد میانگین خطای نسبی (MRE%)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین خطای مطلق (MAE%) شبکه طبق روابط (۱) - (۳) محاسبه شده‌اند:

$$MRE \% = 100 \times \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \left| \frac{X_j(Exp) - X_j(Pred)}{X_j(Exp)} \right| \quad (1)$$

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

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N |X_j(Exp) - X_j(Pred)| \quad (3)$$

N بیانگر تعداد داده‌ها بوده و X(Exp) و X(Pred) به ترتیب، مقادیر آزمایشگاهی و مقادیر پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی پیشنهادی می‌باشند.

چشمه سزیم مورد استفاده در این پژوهش با توجه به گسیل فوتون‌های با انرژی ۶۶۲ کیلو الکترون ولت، بالاترین وابستگی به چگالی سیال عبوری را خواهد داشت. در واقع غالب اندرکنش‌ها در این حالت پراکندگی کامپتون خواهد بود و سیستم ارائه شده، دقیق‌ترین سیستم به منظور تشخیص کسر حجمی جریان‌های دوفازی است. در صورت مواجه شدن با جریان سه فازی، باید از یک چشمه دو انرژی استفاده نمود که انرژی پایین فوتون‌ها و وابستگی به عدد اتمی مواد را هم در بگیرد.

### جدول ۴- خطاهای به دست آمده برای نتایج آموزش و تست

مدل شبکه عصبی پیشنهادی		
خطا	آموزش	تست
MRE%	۲/۳۷۳۴	۰/۷۷۵۶
MAE	۱/۳۶۱۴	۰/۴۴۲۰
RMSE	۰/۱۷۰	۰/۰۰۵۰

### ۵- نتیجه‌گیری

در این تحقیق، روشی برای اندازه‌گیری کسر حجمی فازها در یک جریان دوفازی گاز-مایع پیشنهاد شده است که در آن از یک چشمه تک انرژی و تنها از یک آشکارساز استفاده شده



[۱۳] رضایی آشتیانی ح (۱۳۹۵) پیش‌بینی نیرو و گشتاور در فرآیند نورد داغ ورق با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و روش المان محدود. مکانیک سازه‌ها و شماره‌ها ۱۶۲-۱۴۹: ۶(۳).

[۱۴] خجسته‌فرا، بهشتی اول س ب، نصرالله زاده ک، ذوالفقاری م (۱۳۹۳) در نظر گرفتن اثرات عدم قطعیت‌های مدل‌سازی بر منحنی شکنندگی فروریزش با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی. مکانیک سازه‌ها و شماره‌ها ۳۴-۲۵: ۴(۲).

the flow regime using Gamma-ray attenuation. Nucl Eng Technol.

[11] Roshani G, Fegghi S, Mahmoudi-Aznaveh A, Nazemi E, Adineh-Vand A (2014) Precise volume fraction prediction in oil-water-gas multiphase flows by means of gamma-ray attenuation and artificial neural networks using one detector. Measurement 51: 34-41.

[12] Roshani G, Nazemi E, Fegghi S, Setayeshi S (2015) Flow regime identification and void fraction prediction in two-phase flows based on gamma ray attenuation. Measurement 62: 25-32.