



تشخیص دبی آب و هوا، مستقل از تغییرات دمایی در جریان دوفازی با استفاده از تکنیک تضعیف پرتوهای گاما و شبکه عصبی مصنوعی

اعرابی جشوقانی، پیمان^(۱) - خرسندی، مجید*^(۱) - فقهی، سیدامیرحسین^(۱)

^۱ دانشکده مهندسی هسته‌ای دانشگاه شهید بهشتی، گروه کاربرد پرتوها

چکیده:

تکنیک تضعیف پرتوهای گاما یکی از روش‌های پرکاربرد برای اندازه‌گیری دبی در جریان‌های چندفازی است. در این پژوهش به کمک شبکه عصبی، مقدار دبی آب و هوا بصورت مستقل از تغییرات دمایی و با دقت بالایی در یک حلقه جریان دوفازی در محیط آزمایشگاه پیش‌بینی شد. در این راستا، ترکیبی از یک سیستم اندازه‌گیری مبتنی بر پرتوهای گاما و یک شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی دبی در رژیم همگن جریان دوفازی گاز-مایع مورد استفاده قرار گرفت. دو شبکه عصبی چند لایه پرسپترون توسط داده‌های استخراج شده از طیف ارتفاع پالس یک چشمه سزیم-۱۳۷، در دمای ۲۲ درجه سانتی‌گراد و در شرایط دینامیک سیال دوفازی، مورد آموزش و تست قرار گرفت. برای بررسی تاثیر دما بر خروجی‌های شبکه عصبی، منحنی کالیبراسیون دمایی با استفاده از اندازه‌گیری‌های تجربی به دست آمد. شبکه عصبی آموزش دیده در دمای ۲۲ درجه سانتی‌گراد، بوسیله داده‌های جدید بدست آمده در دمای ۳۰ درجه مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج نشان داد که با استفاده از منحنی کالیبراسیون دمایی، دبی‌های اندازه‌گیری شده آب و هوا در شرایط دینامیک، با متوسط اختلاف نسبی کمتر از ۸٪ درصد قابل پیش‌بینی هستند.

کلمات کلیدی: دبی سنجی، جریان چندفازی، تضعیف پرتو گاما، شبکه عصبی، آشکارساز یدور سدیم

Identification of Air and Water Flow Rates, Independent of Temperature Changes in Gas-Liquid Two-Phase Flow Using Gamma-ray attenuation technique and Neural Networks

P. Aarabi Jeshvaghani, M. Khorsandi*, S.A.H. Feghhi
Radiation Application Department, Shahid Beheshti University, G.C, Iran

Abstract:

Multiphase flow rates measurement by gamma-ray attenuation technique is known as one of the most applied methods. In this work, the air and water flow rates independent of temperature were accurately predicted in a two-phase flow loop in the laboratory. In this way, a combination of gamma-ray measurement system and artificial neural network (ANN) was used in order to predict the flow rates in the homogeneous gas-liquid two-phase flows regime. Two MLP networks were developed based on features extracted from recorded Cs-137 pulse height distribution in a dynamic condition of flow at 22°C. The temperature calibration curve were also obtained for investigating the temperature effect on neural network outputs. The neural network trained at 22°C were tested for data obtained at 30°C. The result showed that the air and water flow rates measured at dynamic condition are predicted with mean relative difference less than 8%.

Keywords: Flow metering, Multi-phase, Gamma-ray attenuation, Neural Network, Sodium Iodide Detector



مقدمه:

یکی از تکنیک‌های اندازه‌گیری جریان‌های چند فازی که امروزه بسیار مورد توجه قرار گرفته است و در صنعت نفت کاربرد زیادی دارد، اندازه‌گیری جریان فاز بر اساس تضعیف تابش‌های پرتو گاما در یک مخلوط چندفازی است. اولین طرحی مربوط به اندازه‌گیری نسبت‌های مولفه‌های یک مخلوط سه فاز با استفاده از تکنیک تضعیف گامای چند-انرژی، در سال ۱۹۸۰ پیشنهاد داده شد [۱]. در سال ۱۹۹۳ نیز Bishop و همکارانش؛ ایده استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی را برای تعیین رژیم و تخمین درصد حجمی سیالات چند فازی مطرح کردند [۲]. علاوه بر این، در سال‌های اخیر نیز مطالعات متعددی برای شناسایی رژیم و کسر حجمی جریان‌های چند فازی انجام شده است [۳-۴]. با این حال در پژوهش‌هایی که تا کنون گزارش شده است، تغییرات دمایی سیستم برای کارکرد در شرایط واقعی و همچنین نوسانات بوجود آمده در پیش‌بینی مقادیر کسر حجمی آب و هوا در بازه‌های دمایی مختلف، مورد بررسی قرار نگرفته است.

هدف پژوهش حاضر، تعیین دبی آب و هوا با جبران‌سازی دما در حلقه جریان دوفازی با استفاده از تکنیک تضعیف پرتوهای گاما است. بدین منظور، ابتدا تأثیر دما بر سیستم آشکارسازی و همچنین خروجی‌های شبکه عصبی مورد نظر برای پیش‌بینی مقادیر، مورد بررسی قرار گرفت. سپس منحنی کالیبراسیون دمایی برای آشکار ساز یدور سدیم ۳ اینچی تعیین شد. شمارش‌های بدست آمده از آشکار ساز در دماهای مختلف (دو دمای نمونه)، پس از تصحیح توسط منحنی کالیبراسیون، به شبکه عصبی مصنوعی اعمال گردید و مقادیر دبی آب و هوا با حداقل مقدار اختلاف نسبی تعیین شد. نتایج بدست آمده موبد کاهش موثر اختلاف مقادیر پیش‌بینی شده با مقادیر واقعی، پس از تصحیحات دمایی و افزایش قابل ملاحظه دقت پیش‌بینی با استفاده از شبکه عصبی مورد نظر است.

روش کار:

برای بهبود عملکرد شبکه عصبی مصنوعی و افزایش دقت آن در پیش‌بینی دبی‌های آب و هوا، پژوهش در دو مرحله انجام شد. در ابتدا شمارش‌های آشکار ساز در بازه ۱۷ تا ۵۰ درجه سانتی‌گراد دمای کاری محیط، بصورت تجربی ثبت شد و منحنی کالیبراسیون دمایی آشکار ساز مورد نظر بدست آمد. در مرحله بعد، براساس دبی‌های آب و هوای اندازه‌گیری شده در حلقه جریان دوفازی در شرایط دینامیک، اختلاف فشار ایجاد شده در محل اختلاط دو سیال و نیز

داشتن شدت پرتوهای عبوری (خروجی آشکارساز)، شبکه عصبی مصنوعی^۱ MLP تحت آموزش و تست قرار گرفت. برای بررسی عملکرد شبکه عصبی آموزش دیده نسبت به تغییرات دمایی، داده‌های حاصل از شرایط دمایی جدید ایجاد شد و مورد تست قرار گرفت. در نهایت، با استفاده از منحنی کالیبراسیون دمایی و تصحیح اثرات ناشی از تغییرات دما بر سیستم اندازه‌گیری، ورودی شبکه تصحیح گردیده و دقت پیش بینی مقادیر دبی آب و هوا با استفاده از یک شبکه ساده افزایش یافت.

منحنی کالیبراسیون دمایی:

نور خروجی از آشکارسازهای سوسوزن غیرآلی به دما وابسته است [۵]. علاوه بر این دما می‌تواند بر سیستم الکترونیک همراه با آشکارساز نیز اثر داشته باشد. این اثرات دما بر تعداد شمارش‌های ثبت شده در آشکارساز موثر بوده و موجب رخداد خطا در پیش‌بینی دبی‌های آب و هوا می‌شود. در شرایط عملی نیز دمای محیط کار دستگاه ثابت نیست و بر عملکرد شبکه عصبی مصنوعی نیز اثر منفی دارد. برای بررسی اثر تغییرات دما بر عملکرد شبکه عصبی در ابتدا منحنی کالیبراسیون دمایی براساس شمارش‌های قله انرژی ثبت شده از یک چشمه ^{137}Cs در یک آشکارساز یدور سدیم ۳ اینچی تعیین شد. الکترونیک همراه آشکارساز یک مازول طیف‌نگاری قابل حمل توسعه یافته است. نمایی از چیدمان آزمایش مورد نظر بر روی حلقه دوفازی ساخته شده در محیط آزمایشگاه، در شکل (۱) دیده می‌شود.



شکل (۱): چیدمان آزمایش: الف) سیستم آشکارسازی و اندازه‌گیری، ب) نمایی از حلقه دوفازی مورد نظر در محیط آزمایشگاه

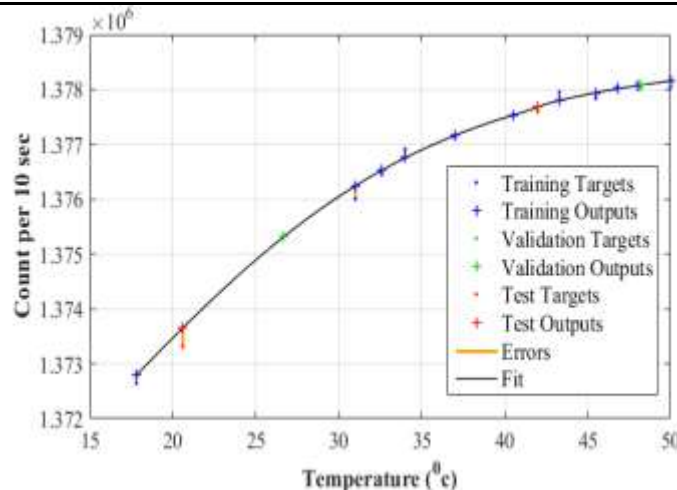
^۱Multi-Layer Perceptron



برای این منظور، شمارش‌ها در ۴ دمای مختلف در بازه ۱۷ الی ۵۰ درجه سانتی‌گراد، مطابق جدول (۱) ثبت شد. دماهای دیگر در منحنی کالیبراسیون، با استفاده از درون‌یابی بوسیله رگرسیون چند جمله‌ای به دست آمده‌اند. منحنی کالیبراسیون همراه با نقاط درون‌یابی شده در شکل (۲) نشان داده شده است.

جدول (۱): شمارش‌های ثبت شده توسط آشکارساز در دماهای مختلف

دما (سانتی‌گراد)	شمارش ثبت شده	خطای نسبی شمارش ($\frac{1}{\sqrt{n}}$)
۱۷	۱۳۷۲۶۴۳	۰/۰۸۵
۳۱	۱۳۷۶۰۰۵	۰/۰۸۵
۴۲	۱۳۷۷۵۹۵	۰/۰۸۵
۵۰	۱۳۷۸۰۳۳	۰/۰۸۵

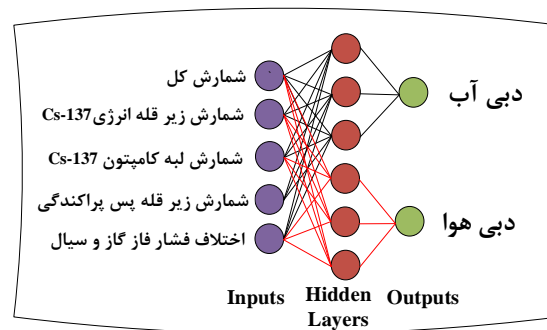


شکل (۲): منحنی کالیبراسیون دمایی بدست آمده در دماهای مختلف

شبکه عصبی مصنوعی:

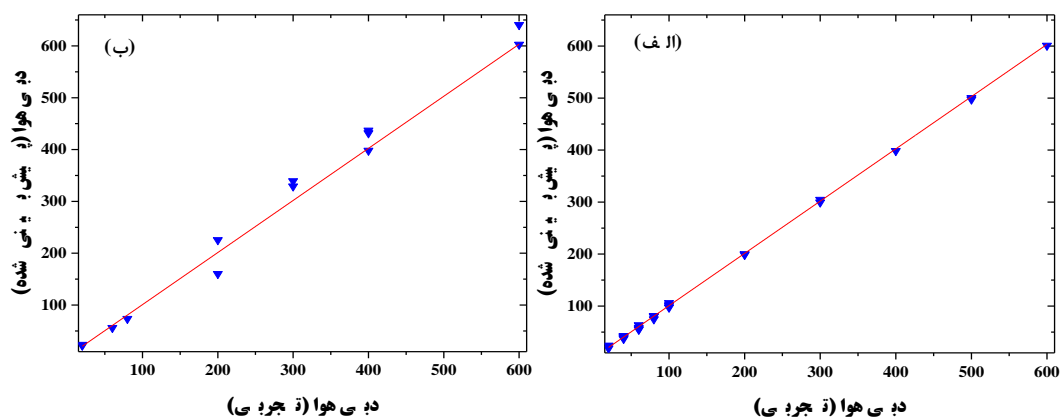
شبکه عصبی مصنوعی ابزار قدرتمندی است که در زمینه‌های مختلف از جمله دبی سنجی در جریان‌های چند فاز با استفاده از پرتوهای گاما نیز مورد استفاده قرار گرفته است [۴]. در این پژوهش دو شبکه عصبی MLP جداگانه برای تعیین دبی آب و هوا، به ترتیب با چهار و پنج ورودی پیشنهاد شده است. در این راستا، استخراج ویژگی‌هایی نظیر شمارش‌های کل، شمارش‌های زیر قله تمام-انرژی، شمارش‌های لبه کامپتون و شمارش‌های قله پس‌پراکندگی از

اندازه‌گیری تجربی و استفاده به‌عنوان ورودی در مدل عصبی پیشنهادی، باعث افزایش دقت مقادیر پیش‌بینی شده می‌گردد. بهترین ساختار برای شبکه عصبی با توجه به ورودی‌ها و لایه‌های پنهان، مطابق شکل (۳) بدست آمده است. برای پیش‌بینی دبی آب، چهار ورودی شمارش کل، شمارش زیر قله انرژی، شمارش لبه کامپتون و اختلاف فشار و برای دبی هوا نیز علاوه بر موارد فوق، داده‌های قله پس‌پراکندگی نیز مورد استفاده قرار گرفت تا دقت پیش‌بینی افزایش یابد.

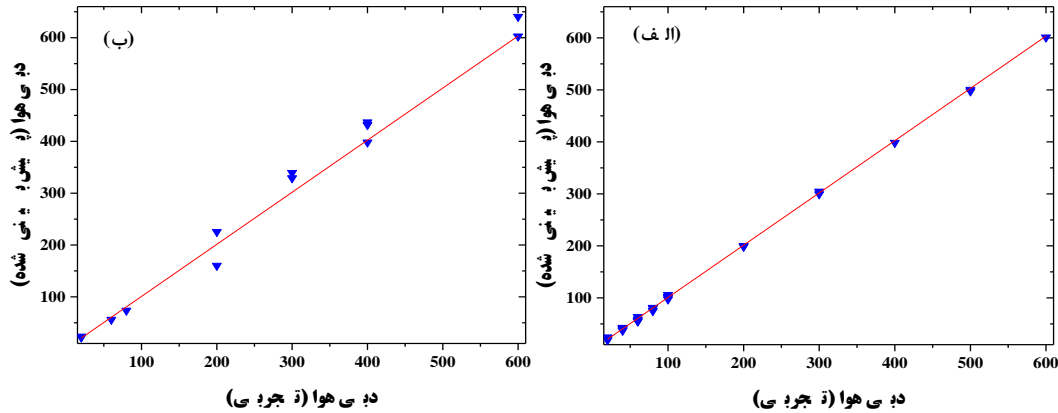


شکل (۳) ساختار شبکه عصبی استفاده شده در این پژوهش

شبکه عصبی بوسیله داده‌های ورودی‌هایی که در دمای ۲۲ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شده‌اند، تحت آموزش و تست قرار گرفت. منحنی رگرسیون دبی‌های آب و هوا برای آموزش و تست شبکه پیشنهادی در شکل‌های (۴) و (۵) نشان داده شده است.



شکل (۴) مقایسه مقادیر پیش‌بینی شده دبی هوا با مقادیر تجربی الف) داده‌های آموزش، ب) داده‌های تست



شکل (۵) مقایسه مقادیر پیش‌بینی شده دبی آب با مقادیر تجربی الف) داده‌های آموزش، ب) داده‌های تست

برای ارزیابی عملکرد شبکه در مراحل آموزش و تست، خطای نسبی متوسط (MRE) و خطای ریشه مربع میانگین (RMSE) در جدول ۲ داده شده‌اند. با توجه به این مقادیر، شبکه عصبی مورد نظر دبی‌های آب و هوا را در دمای ۲۲ درجه سانتی‌گراد، با حداقل اختلاف نسبی پیش‌بینی کرده است.

جدول (۲) مقدار خطاهای آموزش و تست شبکه عصبی پیشنهادی برای: (۱) آب، (۲) هوا

MRE1	RMSE1	MRE2	RMSE2	خطا
۰/۰۰۷	۰/۶	۰/۰۱	۲/۷	آموزش
۰/۲۱	۳/۱	۴/۷	۲۵/۸۷	تست

برای بررسی تاثیر تغییرات دما بر پیش‌بینی دبی آب و هوا، عملکرد شبکه عصبی آموزش دیده توسط داده‌های بدست آمده در دمای ۲۲ درجه سانتی‌گراد، با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد نیز مورد آزمایش قرار گرفت.

نتایج:

با توجه به اینکه شبکه‌های عصبی مورد نظر بوسیله داده‌های مربوط به دمای ۲۲ درجه سانتی‌گراد آموزش داده شده است، لذا برای بهبود عملکرد شبکه و افزایش دقت مقادیر پیش‌بینی شده، شمارش‌های مربوط به مشخصه‌های استخراج شده از



آشکارساز در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد، با استفاده از منحنی کالیبراسیون بدست آمده در مراحل قبلی، تصحیح شد. سپس داده‌های تصحیح شده به داده‌های آموزش شبکه عصبی بهنجار شد و بعنوان ورودی به شبکه عصبی اعمال گردید. مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده دبی آب و هوا به همراه اختلاف نسبی آنها و نیز مشخصه‌های استخراج شده از پاسخ آشکارساز، برای دبی‌های مختلف هوا و آب در دمای ۳۰°C، به ترتیب در جداول (۳) و (۴) ارائه شده است. همانطور که در این جداول مشاهده می‌شود، دبی هوا و آب به ترتیب با متوسط اختلاف نسبی ۰.۸٪ و ۰.۴٪ نسبت به مقادیر تجربی پیش‌بینی شده است، در حالی که مشخصه‌های استخراج شده از آشکارساز در دمایی غیر از دمای ۲۲°C (دمای استفاده شده برای آموزش شبکه) اندازه‌گیری و ثبت شده‌اند.

جدول (۳) مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده دبی هوا پس از انجام تصحیحات برای دمای ۳۰°C همراه با مشخصه‌های استخراج شده از پاسخ آشکارساز

اختلاف فشار (mbar)	نرخ شمارش لبه کامپتون (#/10sec)	نرخ شمارش قله تمام انرژی (#/10sec)	نرخ شمارش کل (#/10sec)	اختلاف نسبی (%)	دبی هوا پیش‌بینی شده (L/min)	دبی هوا اندازه‌گیری شده (L/min)
۱۲۰	۱۰۳۰۳	۳۶۷۲۴	۱۳۱۰۰۲	۱۹	۲۳/۸	۲۰
۵۱۰	۱۰۳۰۹	۳۶۶۵۷	۱۳۱۰۴۷	۵	۴۲	۴۰
۶۲۰	۱۰۳۶۳	۳۶۶۷۴	۱۳۱۲۳۴	۵/۷	۶۳/۵	۶۰
۱۱۰۰	۱۰۳۳۳	۳۶۶۶۴	۱۳۱۱۵۸	۴/۴	۷۶/۵	۸۰
۱۲۲۰	۱۰۳۲۳	۳۶۶۸۰	۱۳۱۳۰۵	۶/۲	۹۴	۱۰۰

بحث و نتیجه‌گیری:

شبکه عصبی مصنوعی یکی از ابزارهای مهم در پیش‌بینی رفتار سیالات چندفازی با استفاده از تکنیک تضعیف پرتوهای گاما است. براساس مطالب ارائه شده در این پژوهش، می‌توان اثر تغییر دمای محیط کار به‌عنوان یک عامل موثر بروز خطا در اندازه‌گیری‌های دوفازی را با استفاده از منحنی کالیبراسیون دمایی و یک شبکه عصبی مناسب، تصحیح نمود. این فرآیند موجب افزایش دقت در پیش‌بینی دبی‌های چندفازی می‌گردد که نتیجه مستقیم آن افزایش دقت در تعیین کسر حجمی هر فاز در این جریان‌های مختلط است.



جدول (۴) مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده دبی آب پس از انجام تصحیحات برای دمای 30°C همراه با مشخصه‌های استخراج شده از پاسخ آشکارساز

اختلاف فشار (mbar)	نرخ شمارش قله پس پراکندگی (#/10sec)	نرخ شمارله کامپتون (#/10sec)	نرخ شمارش قله تمام انرژی (#/10sec)	نرخ شمارش کل (#/10sec)	اختلاف نسبی (%)	دبی آب پیش‌بینی شده (L/min)	دبی آب اندازه‌گیری شده (L/min)
۱۲۰	۱۴۶۰۰	۱۰۳۰۳	۳۶۷۲۴	۱۳۱۰۰۲	۷/۶۵	۲۱/۵	۲۰
۴۲۰	۱۴۷۴۳	۱۰۳۵۳	۳۶۸۶۴	۱۳۱۷۲۷	۰/۳۱	۴۰/۱۲	۴۰
۱۱۲۰	۱۴۸۱۰	۱۰۴۰۶	۳۶۹۴۶	۱۳۲۰۹۲	۲/۷	۵۸/۴۰	۶۰
۷۰۰	۱۴۶۳۰	۱۰۲۵۹	۳۶۵۵۴	۱۳۰۵۹۲	۴/۴	۷۶/۵۰	۸۰
۱۱۰۰	۱۴۶۱۰	۱۰۲۸۳	۳۶۵۲۰	۱۳۰۵۸۲	۵/۱	۱۰۵	۱۰۰

در این پژوهش، برای بهبود عملکرد شبکه عصبی طراحی شده، ورودی‌های آن (شمارش ثبت شده توسط آشکارساز) با استفاده از منحنی کالیبراسیون دمایی تصحیح شد. با بکارگیری ویژگی‌های استخراج شده از پاسخ آشکارساز و نیز انجام تصحیحات دمایی بر روی آنها، مقدار میانگین خطای نسبی برای دبی آب و هوا به حداقل مقدار رسیده و دبی‌های آب و هوا در شرایط دینامیک سیال، با دقت قابل قبولی پیش‌بینی شده‌اند.

مراجع:

- [۱] M.S.A. Abouelwafa, E.J.M. Kendall, the measurement of component ratios in multiphase systems using gamma-ray attenuation, J. Phys. E: Sci.Instrum. 13 (1980) 341–345
- [۲] C. M. Bishop, J. D. Jame. Analysis of multiphase flows using dual energy gamma densitometry and neural networks. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 327(2):580–593, 1993
- [۳] J. Chunguo, B. Qiuguo, Flow regime identification of gas-liquid two-phase flow in vertical pipe using RBF Neural Networks. In: Chinese Control and Decision Conference (CCDC), 2009.
- [۴] C.M. Salgado, C.M.N.A. Pereira, R. Schirru, L.E.B. Brandao, Flow regime identification and volume fraction prediction in multiphase flows by means of gamma-ray attenuation and artificial neural networks, Prog. Nucl. Energy 52 (2010) 555–562.
- [۵] G. F. Knoll. Radiation detection and measurement. John Wiley & Sons, 2010.