

اندازه‌گیری تجربی و پیش‌بینی ضرایب انتشار گاز متان: مطالعه موردی منطقه هفت عملیات انتقال گاز

زهرامحمدی خرسندی^۱، ابوالفضل شجاعیان^۱، علیرضا بهرامیان^{۱*}، محمدرضا پیرزادی جهرمی^۲ و مهدی علیزاده^۲

۱- گروه مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی همدان، همدان، ایران

۲- منطقه هفت عملیات انتقال گاز ایران، همدان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۹/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۰۴

چکیده

در فرآیندهای انتقال گاز طبیعی، به دلایلی از جمله نشتی و شکستگی لوله مقدار زیادی گاز متان به محیط منتقل شده که سهم بالایی در افزایش گازهای گلخانه‌ای دارد. رویکرد جهانی کاهش گازهای گلخانه‌ای سبب شده تا در راستای کنوانسیون‌های جهانی و برنامه اقدام ملی کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، برنامه کاهش اتلاف گاز از خطوط انتقال گاز مد نظر قرار گیرد. هدف از این پژوهش، ابتدا اندازه‌گیری تجربی میزان انتشار گاز متان ناشی از نشتی شیرهای بلودان موجود در نواحی مختلف منطقه هفت عملیات انتقال گاز ایران و سپس پیش‌بینی میزان ضرایب انتشار گاز به کمک شبکه عصبی پرسپترون چند لایه با قانون پسا انتشار خطا و الگوریتم یادگیری لوبنبرگ-مارکوارت است. بر این اساس، تأثیر پارامترهای عملیاتی مؤثر بر میزان انتشار گاز شامل دمای محیط، فشار خط لوله، نوع شیربلودان، وضعیت باز یا بسته بودن شیر کنار گذر قبل از بلودان، وضعیت نشت داخلی شیر کنار گذر قبل از بلودان، عمر شیر، صدای ناشی از نشتی و غلظت نشتی در محدوده ۱۰-۱۰۰۰۰ ppm مورد بررسی قرار گرفت. برای یافتن پارامترهای مؤثر بر میزان نشر، شش الگو مختلف براساس پارامترهای ورودی متفاوت تعریف شد. نتایج حاصل از پیش‌بینی ضرایب نشر متان با استفاده از شبکه عصبی نشان داد که الگوی با پارامترهای ورودی شامل دمای محیط، فشار خط لوله، عمر شیر، صدای ناشی از نشتی و غلظت نشتی بهترین نتایج را نشان می‌دهد. بررسی میزان خطا و ضریب همبستگی الگوی پیشنهادی نشان از کمترین میزان خطا ($RMSE = 0/0547$ و $MSE = 0/0255$) و ضریب همبستگی بالای نتایج ($R^2 = 0/97853$) در بین الگوهای مختلف است که می‌توان از آن جهت پیش‌بینی میزان نشر گاز متان در خطوط لوله استفاده نمود.

کلمات کلیدی: گاز گلخانه‌ای، ضرایب نشر متان، شبکه عصبی، خطوط لوله انتقال گاز، کاهش انتشار

مقدمه

فسیلی نظیر ذغال سنگ، نفت و گاز طبیعی باعث افزایش شدید گازهای گلخانه‌ای در جو زمین شده است [۱ و ۲]. از جمله این گازها می‌توان به دی‌اکسیدکربن (CO_2)، نیتروژن اکسید (N_2O).

نیاز بشر به انرژی و مصرف انواع سوخت‌های

*مسئول مکاتبات
آدرس الکترونیکی
bahramian@hut.ac.ir
شناسه دیجیتال: (DOI: 10.22078/pr.2020.4006.2822)

بیش از ۱۵۰٪ افزایش داشته است. منابع اصلی متان ورودی به اتمسفر شامل دو بخش فرآیندهای طبیعی و موارد ناشی از فعالیت‌های بشری است [۱۰-۱۲]. طبق تحقیقات به عمل آمده متان منتشر شده در اثر فعالیت‌های بشری در حدود ۱/۵ برابر منابع طبیعی انتشار متان است [۱۳]. مقدار متانی که در فرآیندهای مختلف نفت و گاز سوزانده شده یا به اتمسفر رها می‌شود، بالغ بر ۵۳۰۰ میلیارد فوت مکعب در سال گزارش شده است که در حدود ۲۵٪ مصرف سالیانه گاز ایالات متحده آمریکا و ۳۰٪ مصرف اتحادیه اروپا است [۱۴]. با توجه به اهمیت موضوع، کاهش میزان انتشار گاز متان با برنامه‌ریزی روی فعالیت‌های مختلف بشر امکان‌پذیر است. بنابراین، کاهش ناشی در خطوط انتقال، ایستگاه‌های تقویت فشار و شبکه توزیع گاز از اهمیت بالایی برخوردار است. در سال‌های اخیر تحقیقاتی بسیار اندکی در زمینه بررسی میزان نشر متان در تجهیزات فرآیندی و خطوط انتقال گاز طبیعی منتشر شده است. ددیکوف و همکاران با استفاده از دستگاه‌های اندازه‌گیری دقیق و استفاده از آشکارسازهای حساس به نشت گاز، میزان انتشار گاز متان از تجهیزات انتقال گاز شرکت Gazprom روسیه را طی سال‌های ۱۹۹۶ تا ۱۹۹۷ اندازه‌گیری و نتایج به دست آمده را به تمامی خطوط لوله انتقال گاز روسیه بسط دادند [۱۵]. نتایج این تحقیق نشان داد که ۱٪ از کل میزان انتشار گاز متان مربوط به بخش تولید و فرآوری، ۲٪ مربوط به خط لوله و ۷٪ مربوط به ایستگاه‌های تقویت فشار است [۱۵]. در تحقیق همزمان سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا و شرکت Gazprom طی سال‌های ۹۶-۹۵ میلادی میزان انتشار گاز متان اندازه‌گیری و صحت نتایج ددیکوف و همکارانش مورد تأیید قرار گرفت.

متان (CH_4)، کلروفلوئوروکربن‌ها (CFCs)، هیدروفلوئوروکربن‌ها (HFCs) و پرفلوئوروکربن‌ها (PFCs) اشاره کرد. وجود گازهای گلخانه‌ای موجب می‌شود تا بخش زیادی از انرژی خورشیدی (تابش مادون قرمز) توسط اتمسفر جذب شود که به نوبه خود سبب افزایش دمای سطح زمین می‌شود [۳-۵]. با توجه به اهمیت گرمایش زمین و پیامدهای ناشی از آن، راهبردهای متعددی برای کاهش اثرات گلخانه‌ای ارائه شده است. از جمله براساس پیمان کیوتو، تعدادی از کشورهای صنعتی متعهد شدند که سطح انتشار گازهای گلخانه‌ای خود را طی سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۲ میلادی حداقل ۵٪ در مقایسه با سطح آن کاهش دهند [۶ و ۷]. ایران جزء اولین کشورهای امضاکننده پیمان کیوتو بوده و با توجه به این موضوع تا سال ۲۰۲۰ فرصت دارد بدون هزینه بر انتشار گازهای گلخانه‌ای ادامه دهد و اگر فعالیتی در جهت کاهش انتشار در قالب ساز و کار وسعه پاک پروتوکل کیوتو انجام دهد، درآمدی نیز کسب نماید. در اجلاس پاریس تعهداتی بر ایران اعمال گردید و مقرر شد ایران نیز ملزم به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای باشد.

در بررسی‌های علمی و عملی در سطح جهانی پارامتر پتانسیل گرمایش جهانی^۱ برای تعیین اثر گلخانه‌ای گازهای مختلف در نظر گرفته شده است. در اصل پتانسیل گرمایش جهانی، نمایانگر این است که هر حجم مشخص گاز، چند برابر همان حجم دی اکسید کربن، باعث گرمایش زمین می‌شود. مقدار این پارامتر به توانایی هر گاز در جذب نور مادون قرمز و طول عمر آن گاز بستگی دارد [۸]. برای مثال، پتانسیل گرمایش جهانی برای گاز متان ۲۵ می‌باشد و این موضوع نشان می‌دهد که حجم مشخصی از گاز متان معادل ۲۵ برابر همان حجم دی اکسید کربن اثرات گلخانه‌ای دارد. لذا، کشورها به کاهش منابع انتشار گازهای گلخانه‌ای نظیر متان توجه ویژه‌ای پیدا کرده‌اند [۶، ۷ و ۹]. از سال ۱۷۵۰ میلادی تاکنون، غلظت گاز متان در اتمسفر

1. Global Warming Potential

و بررسی رفتارهای پیچیده یک سیستم توسط ترکیب توابع نسبتاً ساده شناخته شده است [۱۹] و [۱۴]. عموماً شبکه‌های عصبی از چند لایه مجزا تشکیل شده‌اند. همچنین از میان انواع آرایش‌های شبکه عصبی، شبکه برگشتی^۲ از طریق ارتباط بین خروجی یک نورون و ورودی آن یا نورون‌های همان لایه یا لایه قبل به‌صورت یک حلقه در تشخیص و عیب‌یابی سیستم‌های پیچیده و کنترل فرآیندی مبتنی بر مدل مورد استفاده گسترده‌ای قرار گرفته است [۲۰ و ۱۹]. لازم به ذکر است دقت در نتایج یک شبکه تابع شناسایی دقیق پارمترهای مؤثر بر فرآیند (به‌عنوان داده‌های ورودی) و در نظر گرفتن کلیه عوامل مؤثر بر آن فرآیند است [۲۰]. از جمله تحقیقات صورت گرفته در این زمینه، استامنکوویچ و همکارانش میزان نشر گاز متان را به‌کمک دو دیدگاه شبکه عصبی و مدل برازش خطی چندگانه (MLR)^۳ مورد مطالعه قرار دادند [۱۴]. آنها در بخش شبکه عصبی از دو الگوریتم آموزش پسا انتشار (BPNN)^۴ و مدل برازش عمومی (GRNN)^۵ جهت ارزیابی داده‌های تجربی به‌دست آمده از میزان نشر گاز متان در ۲۰ کشور اروپایی استفاده نمودند. نتایج تحقیقات آنها نشان داد شبکه عصبی با استفاده از هر دو الگوریتم آموزش نسبت به مدل برازش خطی چندگانه هم‌خوانی بهتری با نتایج تجربی در پیش‌بینی میزان نشر گاز متان دارد. هدف از این پژوهش ابتدا اندازه‌گیری تجربی میزان انتشار گاز متان ناشی از نشتی گاز شیرهای بلودان در نواحی مختلف منطقه هفت عملیات انتقال گاز ایران و سپس پیش‌بینی ضرایب انتشار گاز به‌کمک شبکه عصبی مصنوعی است. همچنین، تأثیر پارمترهای عملیاتی مؤثر بر میزان نشر گاز مورد بررسی قرار گرفت.

لیچدربوهمر و همکاران میزان انتشار گاز متان ناشی از عملیات انتقال گاز طبیعی شرکت Gazprom را اندازه‌گیری کرده و نقش کاهش این انتشار را در چارچوب سیاست‌های کاهش گازهای گلخانه‌ای مورد بررسی قرار دادند. آنها از روش شار برای اندازه‌گیری میزان انتشار گاز متان استفاده کردند [۱۶]. نتایج این تحقیق نشان داد میزان انتشار گاز از شبکه انتقال گاز ۰/۶٪ میزان گاز طبیعی ورودی به شبکه است. منسوری و چاوشی در مطالعه‌ای با عنوان ارزیابی میزان انتشار گاز متان از خروجی پالایشگاه نفت تهران انجام دادند. میزان انتشار گاز متان از ۴۴ خروجی دودکش پالایشگاه طی مدت ۲۰ ماه به‌صورت روزانه توسط دستگاه Testo 350 XL به‌صورت مستقیم اندازه‌گیری شد [۱۷]. همچنین، بیدهندی در سال ۱۳۹۲ مقدار نشر گاز متان ناشی از سوزاندن گازهای سرچاهی یکی از واحدهای تقویت فشار واحد شماره ۱ بهره‌برداری نفت و گاز گچساران را توسط نرم‌افزار HYSYS و Flarenet شبیه‌سازی نمود [۱۸]. نتیجه این تحقیق نشان داد روزانه ۳۱/۳۱ تن گاز متان به‌دلیل بازدهی کم فلر به‌صورت نسوخته به اتمسفر رها می‌شود.

در بررسی‌های میدانی به‌عمل آمده در منطقه ۷ عملیات انتقال گاز که از سال ۱۳۹۵ در حال انجام است مشخص شد یکی از عمده‌ترین منابع نشر گاز متان در خطوط انتقال گاز طبیعی، ایستگاه‌های شیر بین راهی شامل شیرهای بلودان و ونت لانچر رسیورها می‌باشد. با توجه به اهمیت پیش‌بینی میزان انتشار گاز در واحدهای انتقال گاز و پیچیدگی موضوع اندازه‌گیری تجربی در نقاط مختلف خط لوله و در مناطق مختلف جغرافیایی و هزینه‌های ناشی از آن، استفاده از روش‌های مدل‌سازی به‌کمک تکنیک‌های عددی و تحلیلی می‌تواند کمک شایانی به تعیین میزان نشر متان از نواحی مختلف فرآیند و در نتیجه، کاهش هزینه‌های عملیاتی و اجرایی نماید. شبکه عصبی مصنوعی (ANN)^۱ به‌عنوان یکی از روش‌های مؤثر جهت پیش‌بینی

1. Artificial Neural Network

2. Recurrent Networks

3. Multiple Linear Regression

4. Back-propagation Neural Network

5. General Regression Neural Network

متفاوت انجام گرفت. محاسبه میزان انتشار (ضریب نشر) گاز متان: با استفاده از دستگاه Anemometer Mini Air 20 میزان سرعت خروج گاز از بلودان‌ها اندازه‌گیری شده و با استفاده از سطح مقطع عبور گاز، میزان دبی حجمی گاز خروجی محاسبه می‌شود. میزان انتشار (ضریب نشر) معمولاً برحسب دبی جرمی^۱ گزارش می‌شود. لذا، شدت جریان جرمی گاز خروجی از حاصلضرب دبی حجمی اندازه‌گیری شده در دانسیته گاز محاسبه می‌گردد. از آنجا که دما و فشار گاز متان خروجی (نشت) پایین بوده (فشار نزدیک به فشار اتمسفر و دمای آن برابر دمای محیط)، لذا با تقریب مناسبی می‌توان از قانون گاز ایده‌آل در محاسبات استفاده نمود. همچنین، در این تحقیق فرض شده است که گاز موجود در خط لوله تماماً متان باشد.

توصیف مدل شبکه و پارامترهای موثر آن

تعیین مدل شبکه: در این کار از شبکه عصبی پرسپترون چند لایه با قانون پس انتشار خطا و الگوریتم یادگیری لوبنبرگ-مارکوورت موجود در جعبه ابزار نرم‌افزار متلب استفاده شده است. این الگوریتم وزن‌های شبکه را به گونه‌ای تغییر می‌دهد که تابع عملکرد با سرعت بیشتری کاهش پیدا کند. همچنین، این الگوریتم به دلیل همگرایی سریع‌تر در آموزش شبکه‌های با اندازه متوسط در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت. پارامترهای ورودی و خروجی شبکه: مهم‌ترین پارامترهای ورودی شبکه به دو بخش پارامترهای تجهیزاتی نظیر نوع شیر بلودان، وضعیت باز یا بسته بودن شیر کنار گذر قبل از شیر بلودان و همچنین وضعیت نشت داخلی آن، عمر شیر بلودان، کارخانه سازنده شیر و صدای نشتی از شیر بلودان و نیز پارامترهای عملیاتی شامل دما، فشار و غلظت نشت تقسیم‌بندی شد.

جهت یافتن پارامترهای موثر بر میزان نشر، الگوهای مختلف براساس پارامترهای عملیاتی تعریف شده و سپس این الگوها توسط شبکه عصبی مورد بررسی قرار گرفته است. در نهایت، مقایسه نتایج پیش‌بینی شبکه با داده‌های تجربی صورت گرفت.

اندازه‌گیری میزان انتشار گاز متان

تجهیزات و مکان اندازه‌گیری: منطقه هدف جهت اندازه‌گیری میزان نشر گاز متان به‌عنوان مطالعه موردی منطقه هفت عملیات انتقال گاز ایران در نظر گرفته شد. این منطقه، شامل پنج استان غرب کشور از جمله استان‌های همدان، مرکزی، کرمانشاه، لرستان و ایلام بوده و وظیفه انتقال گاز را با ۴۵۰۰ km خط لوله در حال بهره‌برداری و سه ایستگاه تقویت فشار و ۳۵۰ ایستگاه بین راهی به عهده دارد. جهت اندازه‌گیری میزان انتشار گاز متان در ایستگاه‌های مختلف شیر بین راهی در منطقه ۷ عملیاتی انتقال گاز از دستگاه سرعت‌سنج Ane-mometer Mini Air 20 با پراب پروانه‌ای نوع ماکرو با قطر ۸۵ mm ساخت شرکت Schiltknecht Messtech-nik AG, Gossau, Switzerland استفاده گردید. این دستگاه قابلیت اندازه‌گیری دما و سرعت جریان سیال را در بازه ۰/۰۲ تا ۴۰ m/s دارا بوده و دقت اندازه‌گیری میزان سرعت سیال ۱٪ مقیاس کامل می‌باشد. همچنین با توجه به اختلاف قطر بلودان و پراب پروانه‌ای دستگاه، جهت هدایت تمامی گازهای خارج شده به پراب پروانه‌ای و جلوگیری از تأثیرات محیط اطراف بر سرعت اندازه‌گیری شده از یک دیسک و لوله رابط رزوه‌دار استفاده گردید. این تجهیز به دهانه بلودان متصل گردیده و با استفاده از آن قطر بلودان به قطر پراب دستگاه تبدیل و تمام جریان نشتی از پراب پروانه‌ای گذرانده شده و این امر باعث گردیده است که هیچ‌گونه جریان کنارگذری از اطراف لوله رابط وجود نداشته باشد. با استفاده از این دستگاه ۶۲ مورد اندازه‌گیری میزان نشتی در بلودان‌های موجود در ایستگاه‌های شیر بین‌راهی مختلف در شرایط عملیاتی و جغرافیایی

1. Mass Flow Rate

تمامی داده‌ها در بازه صفر و یک قرار گرفتند. نرمال‌سازی از طریق رابطه زیر انجام شد:

$$X_n = \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (1)$$

رابطه اخیر نمایانگر این است که برای نرمال‌سازی هر داده، نسبت اختلاف داده مورد نظر (x) و کمینه مقدار داده‌ها (xmin) به اختلاف کمینه (xmin) و بیشینه (xmax) داده‌ها به‌دست آمده است. در جدول ۲ مقادیر کمینه و بیشینه پارامترهای عملیاتی مختلف جهت استفاده در نرمال کردن داده‌ها آورده شده است.

تنها پارامتر خروجی شبکه عصبی ضریب نشر گاز در نظر گرفته شد.

کدگذاری داده‌های کیفی: از آن جهت که داده‌های ورودی به شبکه عصبی می‌بایست کمی باشند و با توجه به اینکه تعدادی از پارامترهای مناطق اندازه‌گیری به‌صورت کیفی هستند، این داده‌ها کدگذاری شد تا به داده‌های کمی و قابل فهم برای شبکه عصبی تبدیل شوند. جدول ۱ کدگذاری داده‌های کیفی را نشان می‌دهد.

نرمال‌سازی داده‌ها: جهت کاهش خطای شبکه، داده‌های ورودی نرمال‌سازی شدند. به‌عبارت دیگر،

جدول ۱ کدگذاری داده‌های کیفی به‌عنوان پارامترهای ورودی

پارامتر	وضعیت پارامتر	کد اختصاص یافته	پارامتر	نام کارخانه سازنده	کد اختصاص یافته
نشت داخلی شیر کنار گذر قبل از بلودان	بدون نشتی	۰	نوع شیر	AUDCO	۰
	نشتی کم	۱		Godazesh	۱
	نشتی زیاد	۲		MEC--LA VALVO CANICA	۲
طول عمر شیر بلودان (سال)	$X < 5$	۰		AUDCO Super H	۳
	$5 < X < 10$	۱		GALLI & Casiaxa	۴
	$10 < X < 20$	۲			
صدای نشتی از شیر بلودان	بدون نشتی (کمتر از ۱۰۰۰ ppm)	۰	3Z	Pishgam	۵
	بدون صدا (۱۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ ppm)	۱			
	نشت صدادر (بیشتر از ۱۰۰۰۰ ppm)	۲			

جدول ۲ مقادیر کمینه و بیشینه پارامترهای عملیاتی جهت نرمال‌سازی

نوع داده	پارامتر	کمینه	بیشینه	پارامتر	کمینه	بیشینه
ورودی	P (psi)	۵۰۰	۹۱۰	نشت داخلی شیر کنار گذر	۰	۲
	T (K)	۲۷۱	۲۹۷	عمر شیر بلودان (سال)	۰	۲
	C (ppm)	۱۰	۱۰۰۰۰	کارخانه سازنده شیر	۰	۶
	(kg/s)	۰	۴/۵۶	صدای نشتی	۰	۲
خروجی	kg/hr K	۰	۵۱/۱۲۳۳			

معیار انتخاب بهترین الگو، شبکه‌ای است که بهترین دقت را در پیش‌بینی ضرایب نشر متان ارائه دهد. لازم به ذکر است در این تحقیق پارامترهایی از جمله تعداد نوروهای لایه‌های میانی و درصد تقسیم‌بندی داده‌ها تغییر داده شده است و در نهایت، داده‌های جدول ۳ براساس بهترین نتایج هر الگو به‌دست آمده گزارش شده است.

بحث و نتایج

نتایج الگوهای موثر

شکل ۱ منحنی‌های رگرسیون مدل به‌کار رفته در الگوی چهارم در پیش‌بینی میزان ضرایب انتشار گاز را نشان می‌دهد. بررسی منحنی‌های برازش حاصل از اجرای شبکه توسط این الگو نشان دادند شبکه روی داده‌های آموزش عملکرد مناسبی دارد ($R^2=0.9685$). همچنین انتخاب تصادفی داده‌ها در مجموعه تأیید در کنار برازش داده‌ها نسبتاً قابل قبول می‌باشد.

توابع خطا: روابط خطای میانگین مربعات (MSE)، انحراف جذر میانگین مربعات (RMSE) و برازش (R^2) در زیر آمده است.

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_i - M_i)^2 \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_i - M_i)^2} \quad (3)$$

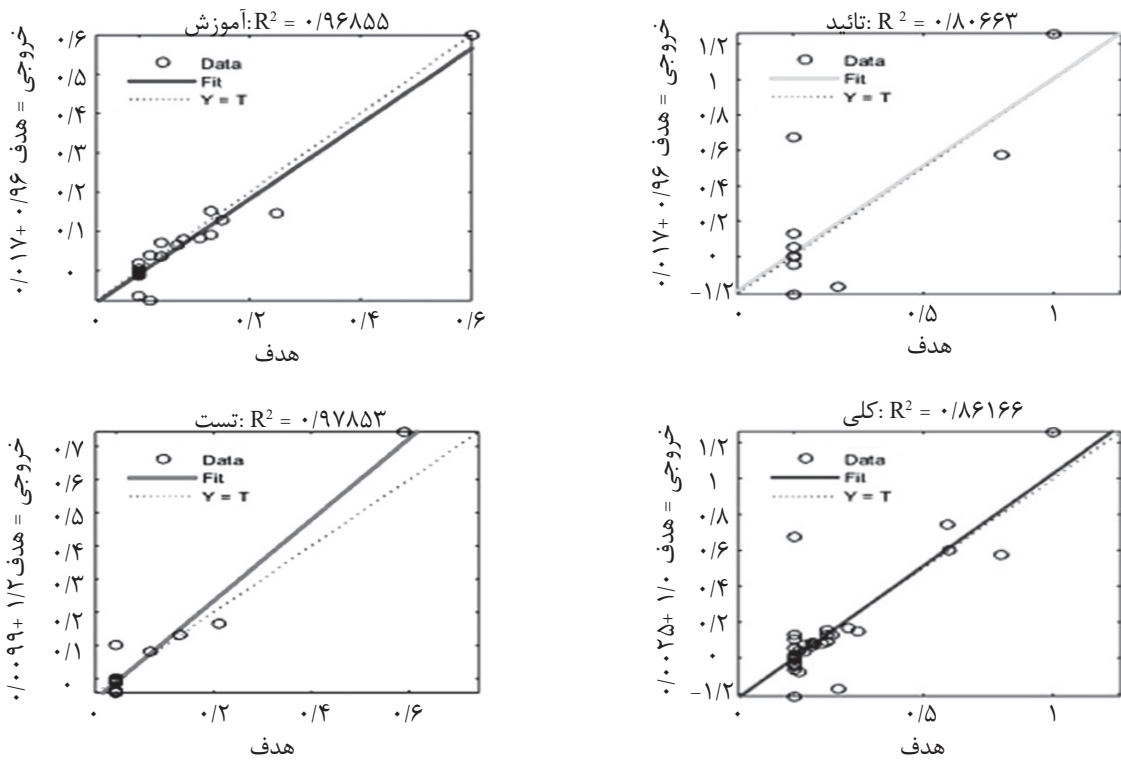
$$R^2 = 1 - \frac{\sum (P_i - M_i)^2}{\sum (M_i - \langle M \rangle)^2} \quad (4)$$

در روابط P_i ، M_i و N به ترتیب خروجی مدل پیش‌بینی شده داده i ام، مقدار اندازه‌گیری شده داده i ام و تعداد داده‌ها می‌باشند.

الگوهای پیشنهادی: جهت اجرای شبیه‌سازی شبکه عصبی و تعیین پارامترهای موثر بر میزان انتشار گاز متان، الگوهای مختلفی در این پژوهش در نظر گرفته شد که خلاصه‌ای از آن در جدول ۳ آمده است. در هر الگو سعی شده است اثر پارامترهای مختلف ورودی بر عملکرد شبکه مورد بررسی قرار گیرد. لازم به ذکر است که در تمامی الگوها خروجی شبکه عصبی ضریب انتشار گاز متان است.

جدول ۳ الگوهای در نظر گرفته شده در این پژوهش طبق بهترین نتایج به‌دست آمده در پیش‌بینی میزان ضریب انتشار متان

مقدار	پارامترهای شبکه	شماره الگو (پارامترهای عملیاتی)	مقدار	پارامترهای شبکه	شماره الگو (پارامترهای عملیاتی)
۶	نورون‌های لایه میانی	چهارم: (دما، فشار، صدای نشی، غلظت نشی و عمر شیر)	۱۰	نورون‌های لایه میانی	اول: (بررسی دما و فشار)
	درصد آموزش		۷۰	درصد آموزش	
	درصد تست		۱۵	درصد تست	
	درصد تأیید		۱۵	درصد تأیید	
۷	نورون‌های لایه میانی	پنجم: (دما، فشار، صدا و غلظت نشی، عمر و کارخانه سازنده شیر)	۵	نورون‌های لایه میانی	دوم: (بررسی دما، فشار و صدای نشی از شیر بلودان)
	درصد آموزش		۷۰	درصد آموزش	
	درصد تست		۱۵	درصد تست	
	درصد تأیید		۱۵	درصد تأیید	
۱۰	نورون‌های لایه میانی	ششم: (دما، فشار، صدا و غلظت نشی، عمر و کارخانه سازنده شیر، وضعیت نشی شیر کنارگذر)	۱۰	نورون‌های لایه میانی	سوم: (بررسی دما، فشار، صدای نشی از شیر بلودان و غلظت نشی)
	درصد آموزش		۵۰	درصد آموزش	
	درصد تست		۲۵	درصد تست	
	درصد تأیید		۲۵	درصد تأیید	



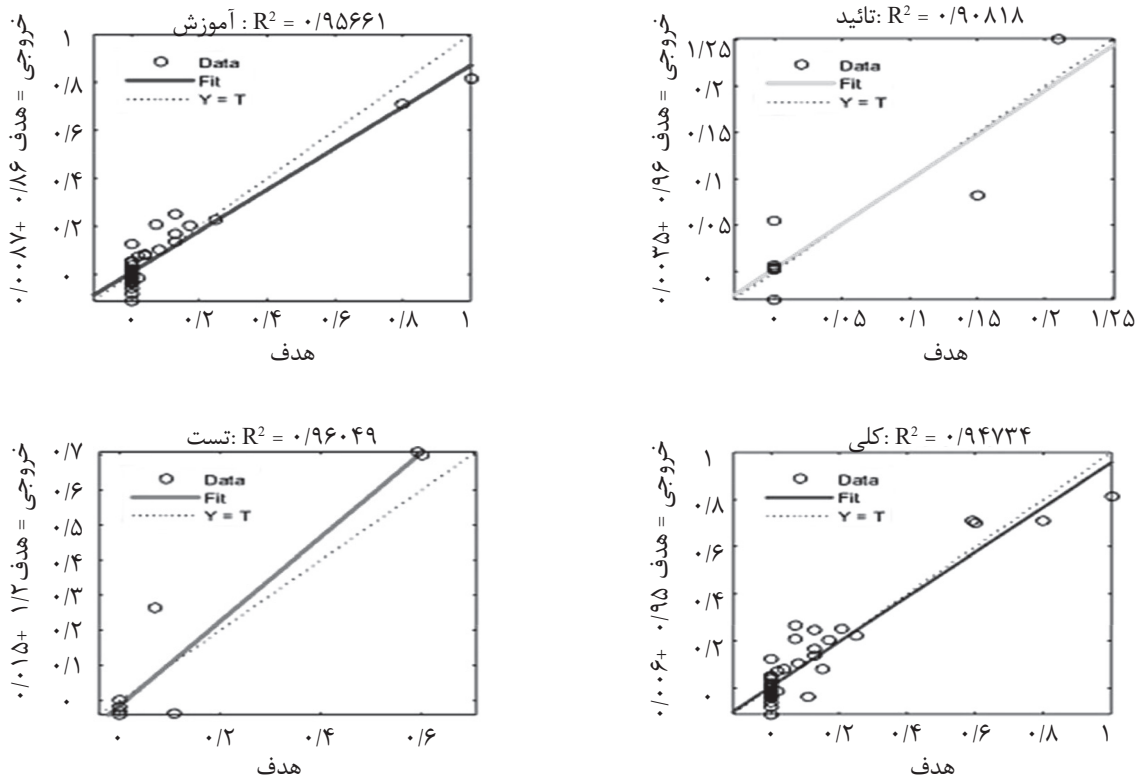
شکل ۱ منحنی‌های برازش مدل به‌کار رفته در الگوی چهارم جهت پیش‌بینی میزان ضرایب انتشار گاز

است اما انتخاب تصادفی داده‌ها در این مجموعه چندان مناسب نیست زیرا بیشتر داده‌ها دارای مقدار صفر هستند. همچنین، برازش مجموعه تست $(R^2 = 0.96049)$ و انتخاب تصادفی داده‌ها تقریباً مناسب است.

بررسی خطای شبکه در الگوهای مختلف و انتخاب الگوی برتر

جدول ۴ نتایج میزان خطا و برازش الگوهای مختلف شبکه عصبی را برای مجموعه تست جهت پیش‌بینی ضریب نشر متان نشان می‌دهد. با بررسی هم‌زمان دو فاکتور میزان خطا و ضریب همبستگی می‌توان الگوی چهارم که دارای کمترین میزان خطا ($RMSE = 0.05047$, $MSE = 0.00255$) و ضریب همبستگی نسبتاً بالایی است ($R^2 = 0.97853$) را به‌عنوان الگوی پیشنهادی معرفی نمود. همچنین، در این الگو انتخاب تصادفی داده‌ها نیز به خوبی صورت گرفته است. شکل ۳ نتایج تغییرات خطای میانگین مربعات برحسب تکرارها برای بهترین الگو (چهارم) جهت ارزیابی رفتار شبکه را نشان می‌دهد.

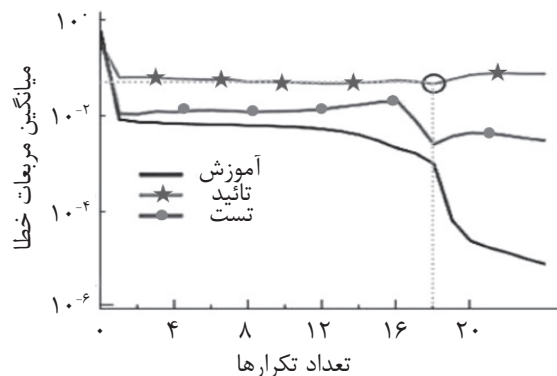
به‌علاوه، برازش مجموعه تست ($R^2 = 0.97853$) نیز قابل قبول بوده و انتخاب تصادفی داده‌ها نیز مناسب است. لذا در مجموع، تنوع داده‌های شبکه و پایین بودن میزان انحراف مقادیر پیش‌بینی شده در مقابل مقادیر واقعی نشان می‌دهد پارامترهای در نظر گرفته شده در این الگو مناسب بوده و این الگو جهت پیش‌بینی میزان ضرایب انتشار گاز متان مناسب ارزیابی می‌شود. با این وجود، تحقیقات بیشتر روی سایر الگوها می‌تواند این موضوع را تأیید یا رد نماید. شکل ۲ منحنی‌های برازش مدل به‌کار رفته در الگوی ششم در پیش‌بینی میزان ضرایب انتشار گاز را نشان می‌دهد. بررسی منحنی‌های برازش این شکل نشان می‌دهد که عملکرد شبکه روی داده‌های آموزش مناسب است زیرا هم انتخاب تصادفی داده‌ها در این مجموعه به‌خوبی صورت گرفته است و هم مقدار عددی برازش داده‌ها به یک نزدیک است ($R^2 = 0.9566$) سایر نتایج به‌دست آمده از این منحنی نشان می‌دهد که علی‌رغم اینکه برازش مجموعه تأیید داده‌ها مناسب



شکل ۲ منحنی‌های برازش مدل به کار رفته در الگوی ششم جهت پیش‌بینی میزان ضرایب انتشار گاز

جدول ۴ نتایج میزان خطا و رگرسیون الگوهای پیشنهادی در پیش‌بینی ضریب نشر متان

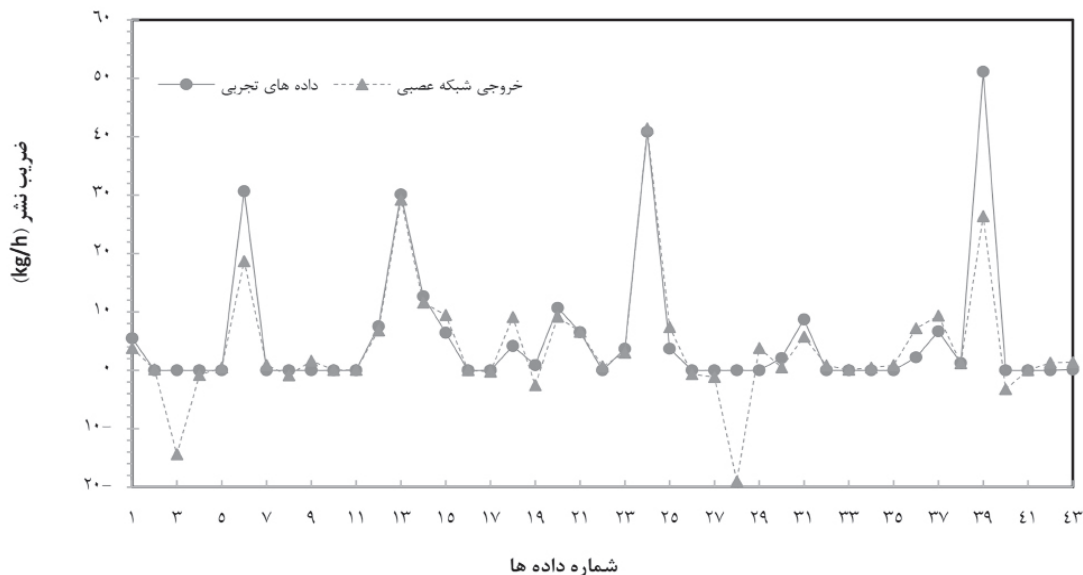
الگو	RMSE	MSE	R ²	الگو	RMSE	MSE	R ²
اول	۰/۲۷۶۶۲	۰/۰۷۶۵۲	۰/۰۹۴۱۰	چهارم	۰/۰۵۰۴۷	۰/۰۰۲۵۵	۰/۹۷۸۵۳
دوم	۰/۰۶۳۰۴	۰/۰۰۳۹۷	۰/۹۰۲۲۵	پنجم	۰/۱۱۳۹۴	۰/۰۱۲۹۸	۰/۹۹۸۱۰
سوم	۰/۳۶۵۲۴	۰/۱۳۳۴۰	۰/۷۱۴۹۶	ششم	۰/۰۹۷۷۴	۰/۰۰۹۵۵	۰/۹۶۰۴۹



شکل ۳ نتایج تغییرات میانگین مربعات خطا برحسب تعداد تکرارها برای بهترین الگو (چهارم)

چهارم جهت پیش‌بینی ضرایب انتشار گاز متان مورد تأیید است. مقایسه نتایج پیش‌بینی ضریب نشر متان توسط شبکه عصبی براساس الگوی چهارم با داده‌های تجربی پس از خارج کردن داده‌ها از حالت نرمال شده برای کلیه داده‌ها با مقدار واقعی در شکل ۴ نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل ۴ مشخص است تطابق قابل قبولی میان مقادیر پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی و داده‌های تجربی برقرار می‌باشد.

با توجه به اینکه خطای آموزش کمتر از خطای تأیید بوده و الگوی خطاهای تأیید و تست با یکدیگر مشابه هستند، لذا می‌توان گفت که شبکه رفتاری منطقی دارد. همچنین، خطای شبکه برای داده‌های ارزیابی با افزایش تعداد تکرار سیر نزولی داشته و در نهایت، به مقدار تقریباً ثابتی می‌رسد که بیانگر توانایی یادگیری شبکه است. از طرفی با توجه به شکل ۱، که نشان داد تقسیم بندی داده‌ها به خوبی انجام شده و همبستگی خوبی بین مقادیر پیش‌بینی شده و مقادیر واقعی وجود دارد، لذا نتایج الگوی



شکل ۴ مقایسه داده‌های تجربی ضریب انتشار گاز متان با مقادیر پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی براساس الگوی چهارم

لوله، صدا نشستی، غلظت نشست، عمر و کارخانه سازنده شیر و وضعیت نشست شیر کنارگذر قبل از بلودان در محدوده غلظت نشستی ۱۰۰۰۰ ppm-۱۰ مورد بررسی قرار گرفت. برای یافتن پارامترهای مؤثر بر میزان نشر، شش الگوی مختلف عملیاتی تعریف شده و پس از آموزش شبکه بهترین الگو براساس آنالیز نتایج خروجی شبکه انتخاب گردید. داده‌های خروجی از شبکه نشان داد که الگوی چهارم با در نظر گرفتن پارامترهای دما، فشار گاز، صدای نشستی از شیر بلودان، غلظت نشستی و عمر شیر با مشخصات شبکه شامل لایه میانی با شش

نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف پیش‌بینی و کنترل میزان انتشار گاز متان موجود در ایستگاه‌های شیر بین راهی منطقه هفت عملیات انتقال گاز ایران از دو دیدگاه تجربی و مدل‌سازی مورد بررسی قرار گرفته است. ابتدا میزان انتشار گاز متان از شیرهای بلودان اندازه‌گیری شد و سپس، میزان ضرایب انتشار گاز به کمک شبکه عصبی مصنوعی براساس الگوریتم لونیگ-مارکوارت پیش‌بینی گردید. بر این اساس، تأثیر پارامترهای عملیاتی مؤثر بر میزان انتشار گاز شامل دمای محیط، فشار گاز درون خط

میزان ضرایب نشر گاز را بدون اندازه‌گیری‌های میدانی تعیین نمود.

تشکر و قدردانی

این مقاله تحت حمایت و مشارکت دانشگاه صنعتی همدان و شرکت انتقال گاز ایران در غالب انجام پایان‌نامه دانشجویی کارشناسی ارشد انجام شده است. نویسندگان مقاله از تمامی کارکنان عزیز منطقه هفت عملیات انتقال گاز ایران که به انجام این تحقیق کمک نمودند، تشکر و قدردانی می‌نمایند.

حروف اختصاری

ANN: شبکه عصبی مصنوعی
 BPNN: الگوریتم آموزش پسا انتشار
 GRNN: مدل برازش عمومی
 MLR: مدل برازش خطی چندگانه
 MSE: خطای میانگین مربعات
 RMSE: انحراف جذر میانگین مربعات

نرون می‌تواند نتایج بهتری نسبت به سایر الگوها جهت پیش‌بینی ضرایب نشر گاز متان داشته باشد. درحالی‌که پارامترهایی نظیر نوع کارخانه سازنده و میزان نشت داخلی از شیرکنار گذر قبل از بلودان نه تنها تأثیر مثبتی بر نتایج شبکه نداشت بلکه باعث افزایش میزان خطای پیش‌بینی شبکه شد. با توجه به نتایج به‌دست آمده از این تحقیق، از آنجا که اندازه‌گیری میزان انتشار گاز در تمامی مناطق و شرایط جغرافیایی دشوار و پرهزینه است می‌توان به کمک نتایج شبکه عصبی و الگوی پیشنهاد شده

علائم و نشانه‌ها

K : ضریب انتشار گاز (kg/h)
 \dot{m} : نرخ جرمی انتشار گاز (kg/s)
 P : فشار خط (psi)
 T : دما (K)

مراجع

- [۱]. سعیدی م، سیاوشی ف، تولید هیدروژن با بازیافت گاز دورریز واحد آمونیاک برای تأمین خوراک پیل سوختی اکسید جامد و کاهش گازهای گلخانه‌ای، نشریه شیمی و مهندسی شیمی ایران، دوره ۳۶، شماره ۴، صفحات ۲۳۷-۲۲۱، ۱۳۹۶.
- [2]. United Nations Economic Commission for Europe (UNECE), Protocol to abate acidification, Eutrophication and ground-level ozone, UNECE, Gothenburg, 1999.
- [3]. Kiehl Jeffrey T, Kevin E Trenberth (1997) Earth's annual global mean energy budget, Bulletin of the American Meteorological Society, 78. 2. 197-208.
- [4]. Stocker Th F, Qin D, Plattner G K, Tignor M (2007) Summary for policymakers climate change, The physical science basis, contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change, Special Report on Emissions Scenarios.
- [5]. Nakicenovic N, Swart R (2000) IPCC special report on emissions scenarios, Cambridge University Press, U.K.
- [6]. Grubb M (1992) The economics of the Kyoto protocol, World Economics, 4. 3. 2212-2223.
- [7]. Harrison M R, Campbell M L, Shires Th M, Cowgil R M (1996) EPA/GRI methane emissions from the natural gas industry, Technical Report, GRI-94/0257.1, EPA-600/R-96-080b: 2.
- [8]. Le Treut H, Somerville R (2007) Intergovernmental panel on climate change fourth assessment report, Chapter 1, Historical overview of climate change science, Cambridge University Press, Cambridge, U.K.
- [۹]. مرادی ا، امینیان م، میزان نشر گازهای گلخانه‌ای، درسال، نشریه نشاء علم، دوره ۳، شماره ۱، صفحات ۱-۱۱، ۱۳۹۱.
- [10]. Khoshnevisan B, Rafiee S, Omid M, Yousefi M, Movahedi M (2013) Modeling of energy consumption and GHG (greenhouse gas) emissions in wheat production in Esfahan province of Iran using artificial neural networks, Energy, 52. 1. 333-338.
- [11]. Steczko K, Fronski A, Rachwalski J () Inventory of methane emissions from gas industry problem solved or still opened oil and gas institute, Krakow, Poland, 1, 1: 1-14. 2010.

- [12]. Shahpari A, Aminsharei F, Ghashang M (2019) Application of PHAST software in methane emission factor for startup process of gas compressors (Case study: Iran gas transmission operation district 2), *Journal of Air Pollution and Health*, 4, 1. 27-32.
- [13]. Shires T M, Loughran Ch L, Jones S, Hopkins E (2009) Compendium of greenhouse gas emissions estimation methodologies for the oil and natural gas industry, American Petroleum Institute, Washington, DC.
- [14]. Stamenkovic L J, Antanasijevic D Z, Rištic M D, PERIC-Grujic A A, Pocajt V V (2015) Modeling of methane emissions using the artificial neural network approach, *Journal of the Serbian Chemical Society*, 80. 3. 421-433.
- [15]. Dedikov J V, Akopova G S, Gladkaja N G, Piotrovskij A S, Markellov V A, Salichov S S, Kaesler H, Ramm A, MuK Iler von Blumencron A, Lelieveld J (1999) Estimating methane releases from natural gas production and transmission in Russia, *Atmospheric Environ.*, 33. 1. 3291-3299.
- [16]. Lechtenböhmer S, Dienst C, Fishedick M (2007) Tapping the leakages: Methane losses, mitigation options and policy issues for Russian long distance gas transmission pipelines, *journal of greenhouse gas control*, 1. 4: 387-395.
- [۱۷]. منصوری ن.، چاوشی ب.، ارزیابی میزان انتشار و ضریب انتشار (فاکتور انتشار) گاز متان از خروجی‌های پالایشگاه نفت تهران، چهارمین همایش تخصصی مهندسی محیط زیست، صفحات ۱۲-۱، ۱۳۸۹.
- [۱۸]. مرادی بیدهندی، م.، محاسبه مقدار نشر گاز متان در اثر سوزاندن گازهای سرچاهی در فلر (مطالعه موردی)، ماهنامه علمی ترویجی اکتشاف نفت و گاز، دوره ۱، شماره ۱۰۵، صفحات ۳۳-۲۶، ۱۳۹۲.
- [19]. Ehsani M R, Bateni H, Parchikolaei Gh R (2013) Modeling of oxidative coupling of methane over Mn/Na₂WO₄/SiO₂ catalyst using artificial neural network, *Iran, Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, 32. 3, 107-114.
- [۲۰]. صیاد امین ج.، رفیعی س.، بهادری ع.، شبکه عصبی برای جداسازی دی اکسید کربن از مخلوط‌های گازی مختلف با استفاده از هیدرات‌های نیمه گازی در حضور بهبود دهنده‌ها، نشریه شیمی و مهندسی شیمی ایران، دوره ۳۸، شماره ۱، صفحات ۲۴۱-۲۳۱، ۱۳۹۸.



Experimental Measurement and Prediction of Methane Emission Factors: Case Study District Seven of Gas Transmission Operation

Zahra Mohammadi Khorsandi¹, Abolfazl Shojaeian¹, Alireza Bahramian^{1*}, Mohammad Reza Pirzadi Jahromi² and Mehdi Alizadeh²

1. Chemical Engineering Department, Hamedan University of Technology, Iran

2. Iranian Gas Transmission Company, District Seven of Gas Transmission Operation, Hamedan, Iran

bahramian@hut.ac.ir

DOI: 10.22078/pr.2020.4006.2822

Received: June/09/2020

Accepted: August/22/2020

Introduction

The human need for energy and the consumption of all types of fossil fuels such as coal, oil and natural gas have greatly increased greenhouse gas emissions in the atmosphere [1,2]. Among the greenhouse gases can be carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄), chlorofluorocarbons (CFCs), hydrofluorocarbons (HFCs) and perfluorocarbons (PFCs) [3-5]. In 1997, under the Kyoto Convention, a number of industrialized countries were pledged to reduce their greenhouse gas emissions [6]. The global warming potential for methane gas is 25, and this indicates that a given volume of methane gas is equivalent to 25 times the amount of greenhouse gas carbon dioxide [5,6]. According to research, the amount of methane released by human activities is about 1.5 times the natural sources of methane emissions [7]. The amount of methane that is burned or released into the various processes of oil and gas is reported to be over 5300 billion cubic feet per year, which is about 25% of US annual gas consumption and 30% of EU consumption [8]. There has been very little research in recent years to investigate the amount of methane emissions in process equipment and natural gas transmission lines.

The purpose of this study is to first empirically measure methane emission rate due to leakage of blowdown valve in different points of Iranian gas transmission operations district of 7 and then to predict gas diffusion coefficients using artificial neural network. The effect of operating parameters on gas emission was also investigated. In

order to find the parameters affecting the emission rate, different patterns have been defined based on operational parameters and then these patterns have been investigated by neural network. Finally, the results of network prediction were compared with the experimental data.

Materials and Methods

Anemometer Mini Air 20 speedometer was used to measure methane emissions at various valve stations in the 7th district of the gas transmission operation and 62 blowdown valve leakages were measured using this device. The emission factor is measured using the Anemometer Mini Air 20, and the flow rate is calculated using the gas cross section. The emission rate (emission factor) is usually reported in terms of mass flow rate. Therefore, the mass flow rate of the outlet gas is calculated from the product of the measured volume flow rate at the gas density. Since the methane output temperature and pressure are equal to the atmospheric pressure and the ambient temperature, and then the ideal gas law can be used in the calculations. The study also assumes that the gas in the pipeline is all methane.

Modeling Description

In this study, multilayer perceptron neural network with error propagation law and Levenberg-Marquardt learning algorithm are used in MATLAB software box. This algorithm changes the weights of the network in such

a way as to reduce the performance function more rapidly. Also, this algorithm was used in this study because of its faster convergence in medium size network training. To find the effective input parameters on the emission factor, six different operating patterns were defined and the best model was selected based on the ANN analysis.

Results and Discussion

The fourth model: [Figure 1](#) shows the regression curves of the model used in the fourth model to predict gas diffusion coefficients. Examination of the regression curves obtained by performing this model shows that the network performs well on training data ($R^2=0.9685$).

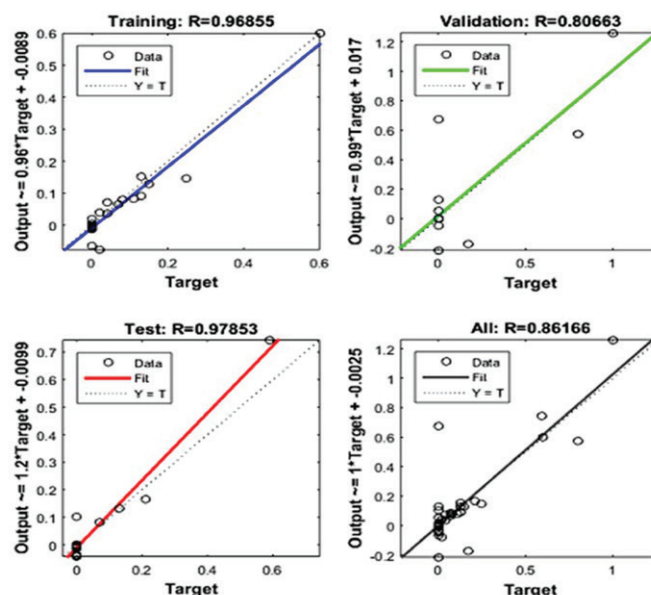


Fig. 1 Model regression curves used in the fourth model to predict the amount of gas emission factors.

Also random selection of data in confirmation set along with data regression Also, the test set regression ($R^2=0.97853$) is acceptable, and the random selection of the data is also appropriate. According to Pattern 6, in [Figure 2](#), the regression curves of the model used in the sixth model in predicting gas diffusion coefficients is shown. Examination of the regression curves of this figure shows that the network performance on

the training data is appropriate because both the random selection of data in this set is well done, and the numerical value of the data regression is close to ($R^2=0.9566$). The other results from this curve show that although the data confirmation regression is appropriate, the random selection of data in this set is not good because most data have zero values.

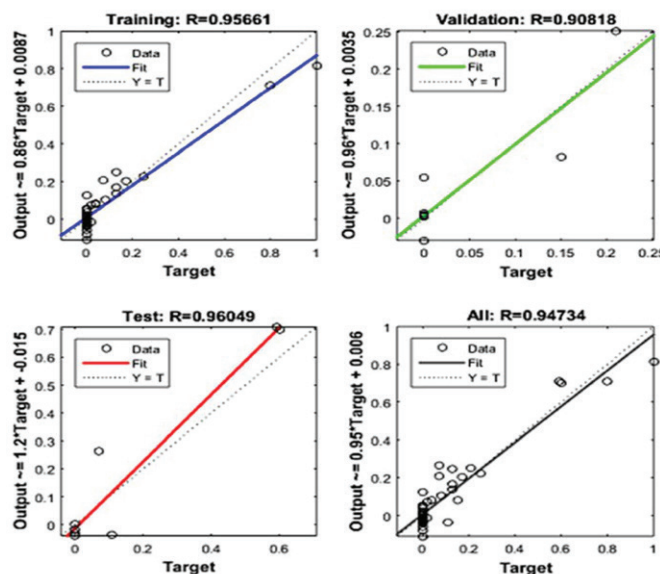


Fig. 2 Model regression curves used in the sixth model to predict gas emission factors.

According to the effect of the mentioned parameters on the gas emission factor, to find the effective parameters on the emission factor, six different operating patterns were defined and the best model was selected based on the ANN analysis.

References

1. United Nations Economic Commission for Europe (UNECE) (1999), Protocol to Abate Acidification, Eutrophication and Ground-level Ozone, UNECE, Gothenburg.
2. Kiehl JT, Trenberth KE (1997) Earth's annual global mean energy budget, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78, 2: 197-208.
3. Stocker ThF (2007) Intergovernmental Panel on Climate Change, Summary for policymakers, *The Physical Science Basis*, 1-18.
4. Nakicenovic N (2000) IPCC Special Report on Emissions Scenarios, Cambridge University Press, U.K., 1-28.
5. Le Treut H, Somerville R (2007) Intergovernmental panel on climate change fourth assessment report, Chapter 1, Historical Overview of Climate Change Science, Cambridge University Press, Cambridge, U.K.
6. Harrison MR, Campbell ML, Shires ThM, Cowgil RM (1996) EPA/GRI methane emissions from the natural gas industry, Technical Report, GRI-94/0257.1, EPA-600/R-96-080b, 2.
7. Shires TM, Loughran Ch L, Jones S, Hopkins E (2009) Compendium of greenhouse gas emissions estimation methodologies for the oil and natural gas industry, American Petroleum Institute, Washington, DC.
8. Stamenkovic LJ, Antanasijevic DZ, Rištic MD, PERIC-Grujic AA, Pocajt VV (2015) Modeling of methane emissions using the artificial neural network approach, *Journal of the Serbian Chemical Society*, 80, 3: 421-433.