



کاربرد مدل شبکه‌ی عصبی در پیش‌بینی فشار نقطه‌ی شبنم میادین گاز میعانی ایران

شبنم ابراهیم‌زاده^{۱*}، مریم قاسمی^۱، محمدعلی عمادی^۲، پوهشکده‌ی ازدیادپرده‌دشت

چکیده

تعیین نقطه‌ی شبنم یکی از مهم‌ترین عناصر محاسبات مهندسی مخزن است. از جمله روش‌های مورد استفاده در تعیین فشار نقطه‌ی شبنم روش آزمایشگاهی است که پرهزینه و زمان‌بر می‌باشد. به همین دلیل شناسایی روش‌های جایگزین در تعیین نقطه‌ی شبنم بسیار ضروری به نظر می‌رسد، یکی از این روش‌ها استفاده از شبکه‌های عصبی است. هدف این مقاله ارائه‌ی کاربرد دقیق از مدل شبکه‌ی عصبی جهت پیش‌بینی فشار نقطه‌ی شبنم سیالات گاز میعانی مخازن زیراشباع کشور است. این مدل پیشنهادی بر اساس روش پس‌انتشار خطای پیشرو و ورودی‌هایی مثل ترکیبات غیرهیدروکربنی نظیر دی‌اکسید کربن و نیتروژن و ترکیبات هیدروکربنی نظیر متان و C_7^+ و همچنین دما و جرم مولکولی C_7^+ است و در آن از ۱۱۹ داده‌ی آزمایشگاهی از نمونه‌ی چاه‌های مختلف میادین گاز میعانی ایران استفاده می‌شود. این روش شبکه‌ی عصبی بر مبنای دست‌یابی به حداقل خطا عمل می‌کند. شبکه‌ی عصبی توسط ۱۱۹ داده‌ی آزمایشگاهی از نمونه‌ی چاه‌های مختلف میادین گاز میعانی کشور آموزش داده شده و به منظور اعتباردهی، با تعدادی داده‌ی آزمایشگاهی از نمونه‌ی سیالات گاز میعانی سایر مخازن آزمایش شد. نتایج ساختاری شبکه بر مبنای سه لایه شامل یک لایه‌ی ورودی با شش نرون، یک لایه‌ی میانی با بیست نرون و یک لایه‌ی خروجی با یک نرون است. نتایج مدل نشان می‌دهد که خروجی شبکه با مقدار مطلوب آن در فاز آزمایش با خطایی معادل ۱/۵۷۶۷ درصد مطابقت دارد که این نشان‌دهنده‌ی اطمینان از صحت مدل شبکه‌ی عصبی در این مطالعه است.

واژگان کلیدی فشار نقطه‌ی شبنم، شبکه‌ی عصبی، الگوریتم پس‌انتشار خطای پیشرو

مقدمه

تعیین دقیق فشار نقطه‌ی شبنم برای سیالات گاز میعانی بسیار حائز اهمیت است [۳]. برخی محققین جهت تعیین فشار نقطه‌ی شبنم روابطی را بر اساس متغیرهایی مثل دما، ترکیبات هیدروکربنی و مشخصه‌های C_7^+ ارائه کرده‌اند. به عنوان مثال در ۱۹۵۲ ارگانیک^۱ و گلدینگ^۲ روابطی را برای پیش‌بینی فشار اشباع سیال گاز میعانی و مخلوط نفت فرار^۴ ارائه کردند. در ۱۹۶۷ نمسن^۵ و کندی^۶ رابطه‌ی بین فشار نقطه‌ی شبنم سیالات مخازن هیدروکربنی با ترکیبات، دما و مشخصه‌های C_7^+ پیشنهاد کردند. در ۲۰۰۱ هومود^۷ و آل‌مرهون^۸ رابطه‌ی تجربی جدیدی برای پیش‌بینی فشار نقطه‌ی شبنم در سیالات گاز میعانی بر اساس داده‌های موجود یک میدان ارائه کردند [۱]. در ۲۰۰۲ الشار کاوی^۹ مدل تجربی جدیدی به صورت تابعی از آنالیز گاز و دمای سیال جهت تخمین فشار نقطه‌ی شبنم سیال گاز میعانی ارائه کردند [۴].

۲- شبکه‌ی عصبی

شبکه‌ی عصبی روشی برای محاسبه است که بر پایه‌ی اتصال به هم پیوسته‌ی چندین واحد پردازشی ساخته می‌شود. شبکه از تعداد دلخواهی نرون تشکیل می‌شود که مجموعه‌ی ورودی را به خروجی ربط می‌دهند. ساختار توپولوژیک معمول‌ترین شبکه‌ی عصبی چند لایه در شکل -۱ نشان داده شده است [۵].

در مدل شبکه‌ی عصبی ورودی به هر نرون در عوامل وزنی ضرب می‌شود و نتایج با هم جمع می‌شوند [۱]. به طور معمول زمانی که تعداد n ورودی

تعیین دقیق خواص ترمودینامیکی سیالات مخزن جهت انجام محاسبات مهندسی مخزن در مراحل ذخیره‌سازی، تولید و برنامه‌ریزی بسیار مهم و اساسی است. یکی از مهم‌ترین خواص ترمودینامیکی سیالات گاز میعانی فشار نقطه‌ی شبنم است. به دلیل اهمیت زمان تشکیل میعان در مناطق ته‌چاهی، پیش‌بینی هر چه دقیق‌تر فشار نقطه‌ی شبنم بسیار مهم است. زمانی که سیال گاز میعانی در بالاتر از فشار نقطه‌ی شبنم تولید می‌شود سیال تولیدی حاوی مایعات است که روی سطح جمع می‌شود [۱]. جهت پیش‌بینی خواص ترمودینامیکی سیال مخزن روش‌های مختلف شبیه‌سازی عددی و همچنین روش‌های آزمایشگاهی وجود دارد. به دلیل اینکه روش‌های آزمایشگاهی پرهزینه و زمان‌بر است به طور معمول جهت تخمین اولیه‌ی خواص سیالات از شبیه‌سازی عددی استفاده می‌شود. از مدل شبکه‌ی عصبی می‌توان به عنوان مدلی جایگزین جهت تعیین رفتار ترمودینامیکی سیالات از جمله نقطه‌ی شبنم استفاده کرد [۲]. در این مطالعه شبکه‌ی عصبی جهت تعیین فشار نقطه‌ی شبنم در سیالات گاز میعانی ایران و همچنین تعیین بهترین نمونه‌های یکی از میادین گازی کشور به کار می‌رود.

۱- روابط تعیین فشار نقطه‌ی شبنم

در سیالات گاز میعانی هنگامی که در نواحی اطراف چاه فشار به کمتر از فشار نقطه‌ی شبنم می‌رسد تولید چاه به سرعت کاهش می‌یابد. به همین دلیل

*نویسنده‌ی عهده‌دار مکاتبات (ebrahimzadeh_sh@yahoo.com)

در سال‌های اخیر دانشمندان زیادی با استفاده از کاربردهای مدل شبکه‌ی عصبی، برخی از مشکلات اساسی مهندسی نفت را حل کرده‌اند [۵]. به‌عنوان مثال در ۱۹۹۸ الشار کاوی و فدا^۱ یک مدل شبکه‌ی عصبی برای تعیین فشار نقطه‌ی شبنم و ضریب تراکم‌پذیری گاز در فشار نقطه‌ی شبنم گاز معیانی بر اساس ترکیبات اولیه ارائه کردند. همچنین در ۲۰۰۳ استار تزنمن^۱ یک مدل شبکه‌ی عصبی برای پیش‌بینی فشار نقطه‌ی شبنم در سیال گاز معیانی با ورودی‌هایی شامل ترکیبات هیدروکربنی، غیرهیدروکربنی، جرم مولکولی و چگالی ویژه⁺ C_7 با دقتی معادل ۷/۷۳۳۶ درصد ارائه کرد [۱]. در این مطالعه با استفاده از مدل شبکه‌ی عصبی و با حداقل ورودی‌ها به رابطه‌ای جهت پیش‌بینی فشار نقطه‌ی شبنم سیالات گاز معیانی کشور خواهیم رسید.

۳- روش کار

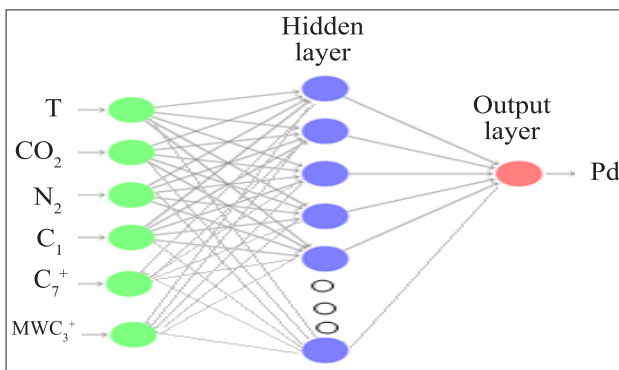
یکی از مهم‌ترین تصمیمات در توسعه‌ی مدل شبکه عصبی انتخاب داده‌هایی با دقت زیاد است [۱۰]. در این مطالعه داده‌های ورودی شامل متغیرهای دما، فشار نقطه‌ی شبنم، ترکیبات غیرهیدروکربنی، ترکیبات هیدروکربنی نظیر متان و C_7^+ و جرم مولکولی C_7^+ است و در آن از ۱۱۹ داده‌ی آزمایشگاهی استخراج‌شده از گزارش‌های سال‌های ۱۹۹۱ تا ۲۰۱۰ استفاده شده و شبکه‌ی عصبی با استفاده از الگوریتم پس‌انتشار خطا اطلاعات را پردازش می‌کند. همان‌طور که در شکل ۲- مشاهده می‌شود در این مطالعه شبکه‌ی عصبی شامل سه لایه است؛ یک لایه‌ی ورودی (i) با شش نرون، یک لایه‌ی میانی (j) با بیست نرون و یک لایه‌ی خروجی (k) با یک نرون.

روابط ۴ و ۵ از جمله معمول‌ترین توابع فعال‌ساز هستند که در فاز آموزش شبکه به کار می‌روند [۶]:

$$F_j = \frac{1}{(1 + e^{- (v_j)})} \quad (4)$$

$$F_j = \frac{(1 - e^{- (v_j)})}{(1 + e^{- (v_j)})} \quad (5)$$

[v] نشان‌دهنده‌ی مجموع وزن‌های همه‌ی ورودی‌ها و F_j خروجی نرون است که در طور شبکه، ورودی نرون بعد خواهد بود. در این مطالعه رابطه‌ی ۴- برای



شکل ۲ | شبکه‌ی عصبی مورد نظر جهت پیش‌بینی فشار نقطه‌ی شبنم

و یک خروجی داریم تابع فعالیت بر اساس رابطه‌ی ۱- خواهد بود.

$$A_j(\bar{x}, \bar{w}) = \sum_{i=0}^n x_i w_{ji} \quad (1)$$

$A_j(\bar{x}, \bar{w})$ تابع فعالیت و w_{ji} عامل وزنی است [۵]. معمولاً بیشترین مقدار تابع فعالیت یک و کمترین آن صفر است. به‌وضوح می‌توان دید که خروجی تابع فعالیت به ورودی‌ها و وزن‌های متناظر بستگی دارد. می‌توان خروجی را بر اساس رابطه‌ی ۲- محاسبه کرد [۶].

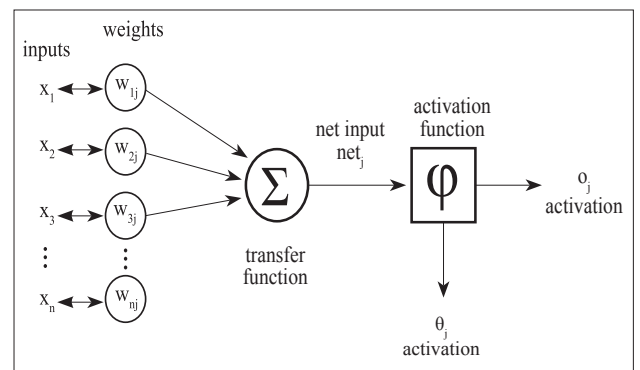
$$O_j(\bar{x}, \bar{w}) = \frac{1}{1 + e^{A_j(\bar{x}, \bar{w})}} \quad (2)$$

انواع مختلفی از شبکه‌ی عصبی مصنوعی وجود دارد [۷]. الگوریتم پس‌انتشار خطا یکی از معمول‌ترین الگوریتم‌ها در شبکه‌ی عصبی پیشرو است [۸]. اساس کار این الگوریتم بر مبنای مشتق‌گیری از تابع خطا نسبت به وزن‌های شبکه است. در این روش فرض بر آن است که وزن‌های شبکه به‌طور تصادفی انتخاب شده‌اند. در هر گام، خروجی شبکه محاسبه شده و بر حسب مقدار اختلاف آن با خروجی مطلوب، وزن‌ها تصحیح می‌شوند تا در نهایت این خطا به کمترین مقدار ممکن برسد (رابطه‌ی ۳- [۹]). در این الگوریتم باید توابعی استفاده شوند که دارای مشتق باشند [۶].

$$e = (1/2) \sum_{i=1}^N \{d(i) - a(i)\}^2 \quad (3)$$

e مقدار خطا و d و a به ترتیب مقادیر مطلوب و خروجی شبکه‌اند و بعد از هر مرحله آموزش خطا محاسبه می‌شوند. زمانی که خطا کمتر از مقدار خاصی می‌شود مرحله‌ی آموزش به پایان خواهد رسید. دقت داده‌های ورودی از اساسی‌ترین موارد جهت حصول نتایج صحیح از شبکه است.

در محاسبه‌ی مقدار خطا انتخاب مربع تفاضل بین خروجی واقعی و خروجی مطلوب از چندین جنبه قابل بحث است. اولاً با استفاده از توان دوم، مقدار خطا همواره مثبت خواهد بود. ثانیاً اگر اختلاف بین خروجی واقعی و مطلوب کم باشد توان دوم منجر به کوچک‌تر شدن آن می‌گردد.



شکل ۱ | ساختار معمول‌ترین شبکه‌ی عصبی [۶]



پراکندگی ناشی از خطاهایی باشد که در اثر جذب هیدروژن سولفور بر بدنه ی ظروف نمونه گیری رخ داده است. به همین دلیل ترکیب هیدروژن سولفور به عنوان متغیر ورودی مدل از ادامه ی مطالعه حذف می شود.

بر اساس نتایج فاز آموزش مدل شبکه ی عصبی جهت پیش بینی مقدار خروجی (فشار نقطه ی شبنم)، با توجه به مقادیر مطلوب گزارش شده رابطه ی بین متغیرهای ورودی انتخابی به دست می آید. در این مطالعه الگوی پس انتشار خطای پیشرو^{۱۲} جهت پیش بینی فشار نقطه ی شبنم با حداقل خطا تشخیص داده شده و مورد استفاده قرار گرفت. در شکل ۵- می توان نتایج خروجی فاز آموزش مدل شبکه ی عصبی را مشاهده کرد. همان طور که مشخص است منحنی مربوط به فشار نقطه ی شبنم پیش بینی شده بر اساس مدل شبکه ی عصبی، مطابقت خوبی با منحنی مربوط به فشار نقطه ی شبنم گزارش شده دارد. جهت اطمینان از فاز آموزش شبکه ی عصبی، این فاز با تعدادی داده ی واقعی متفاوت با داده های مربوط به فاز آموزش مورد آزمایش قرار می گیرد. شکل ۶- نشان دهنده ی مطابقت کامل نتایج خروجی مدل شبکه ی عصبی با

لایه ی خروجی و تابع فعال ساز و رابطه ی ۵- در لایه ی میانی استفاده می شود. جهت اطمینان از صحت شبکه، خروجی شبکه با داده های آزمایشگاهی مطلوب بر اساس مقدار خطا (طبق رابطه ی ۳-) مقایسه می گردد.

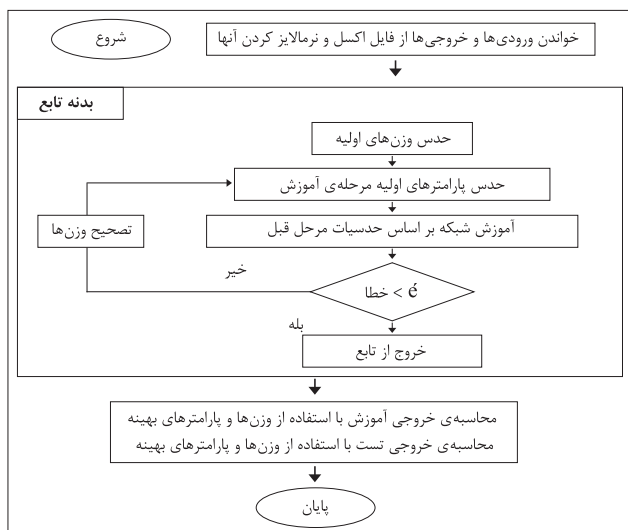
۴- بحث و بررسی

در این مطالعه داده های انتخابی شامل مقادیر آزمایشگاهی دما، نقطه ی شبنم، ترکیبات غیر هیدروکربنی نظیر نیتروژن، دی اکسید کربن و هیدروژن سولفور و ترکیبات هیدروکربنی مثل C_1, C_7^+ و جرم مولکولی C_7^+ از میداین گاز جنوبی کشور است:

$$Pd = f(T, zi, MwC_7^+) \quad (6)$$

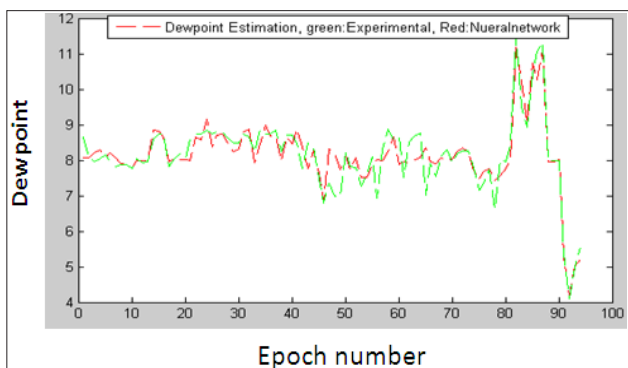
جدول ۱- حدود مقادیر آزمایشگاهی ورودی ها و خروجی مورد استفاده در مدل شبکه ی عصبی را نشان می دهد. (۱۱۹ داده ی آزمایشگاهی برگرفته از گزارش های سال های ۱۹۹۱ تا ۲۰۱۱).

شکل ۳- درصد مولی برخی از ترکیبات این مطالعه را بر حسب عمق نشان می دهد. همان گونه که در این شکل نشان داده شده پراکندگی مقدار ترکیب هیدروژن سولفور نسبت به عمق مخزن بسیار زیاد است. ضمن اینکه توزیع این ماده نسبت به عمق نیز از الگوی خاصی تبعیت نمی کند و ممکن است این

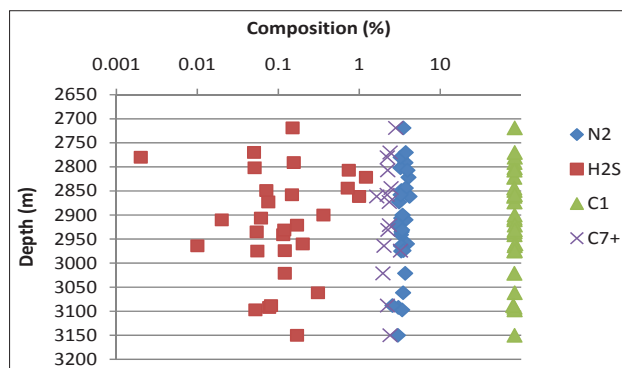


شکل ۴ | الگوریتم کد نوشته شده در این مطالعه را نشان می دهد.

property	minimum	maximum
Dew point pressure, Kpa	11031.6	47675.2
Temperature, °C	36.6	138
Hydrogen sulfide, mol fraction	0	1.4
Carbon dioxide, mol fraction	0.63	3.9
nitrogen, mol fraction	0.06	9.73
Methane, mol fraction	77.68	89.63
Heptan-plus, mol fraction	0.5	6.65
Molecular weight C_7^+	91.85	208.07



شکل ۵ | نتایج فاز آموزش مدل شبکه ی عصبی (خطوط سبز خروجی های مطلوب و خطوط قرمز خروجی شبکه در همگی نمونه ها)



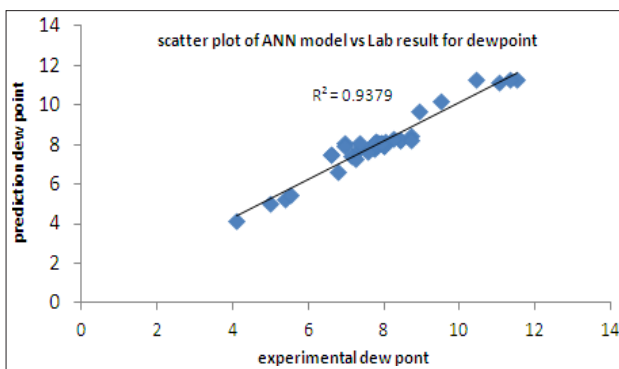
شکل ۶ | پراکندگی درصد مولی ترکیبات بر حسب عمق برای یکی از مخازن گاز میعانی کشور

نتیجه گیری

در این پژوهش جهت تخمین فشار نقطه‌ی شبنم سیالات گاز میعانی ایران از مدل شبکه‌ی عصبی بر اساس تابعی از درصد مولی ترکیبات هیدروکربنی و غیرهیدروکربنی و دما استفاده شد.

شبکه بر مبنای داده‌های جمع‌آوری شده از نتایج آزمایش‌های انجام شده روی نمونه‌های گاز میعانی مخازن مختلف جنوب کشور است که با توجه به اینکه مجموع مربعات خطا، حداقل ممکن است نتیجه‌ی شبکه، نشان از عملکرد مناسب آن دارد.

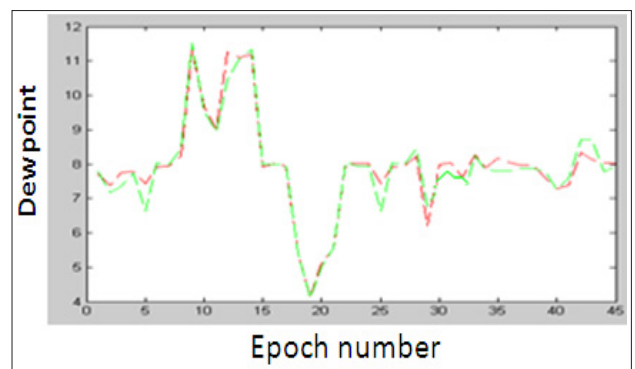
ساختار نهایی شبکه‌ی عصبی با الگوی پیشرو با یک لایه‌ی میانی شامل بیست نرون و یک لایه‌ی خروجی شامل یک نرون است. تطابق مطلوب داده‌های خروجی فاز آموزش و آزمایش صحت شبکه‌ی عصبی طراحی شده در این مطالعه را تأیید می‌کند. این روش به دلیل سرعت زیاد و هزینه‌ی کم می‌تواند جایگزین مناسبی جهت تعیین فشار نقطه‌ی شبنم در سیالات گاز میعانی میداین زیراشباع کشور با استفاده از خواص ترمودینامیکی (PVT) باشد. ■



شکل ۷ | پراکندگی نتایج فاز آزمایش شبکه‌ی عصبی و داده‌های مطلوب

داده‌های گزارش شده از نتیجه‌ی آزمایش‌های به‌دست آوردن فشار نقطه‌ی شبنم در سیالات گاز میعانی مخازن زیراشباع ایران است. در این شکل خطوط سبز نشان‌دهنده‌ی خروجی‌های مطلوب و خطوط قرمز نشان‌دهنده‌ی خروجی شبکه هستند. شکل ۷- میزان پراکندگی نتایج خروجی شبکه‌ی عصبی (فشار نقطه‌ی شبنم پیش‌بینی شده) و خروجی مطلوب (گزارش شده از طریق آزمایش) را حول محور $y=x$ نشان داده است. پراکندگی نقاط حول $y=x$ نشان می‌دهد که مقدار خروجی شبکه با مقادیر مطلوب یا واقعی تطابق کاملاً خوبی دارند. در جدول ۲- میزان خطای مدل شبکه‌ی عصبی در این مطالعه نشان داده شده است. بر اساس نتایج این جدول، مدل شبکه‌ی عصبی طراحی شده در این مطالعه حداقل خطا را دارد.

جدول ۲ میزان خطای شبکه‌ی عصبی این مطالعه	
میزان خطای فاز آموزش (train)	میزان خطای فاز آزمایش (test)
۷/۷۳۳۶	۱/۵۷۶۷



شکل ۶ | نتایج فاز آزمایش مدل شبکه‌ی عصبی

پانویس‌ها

¹mghasemi.m@gmail.com

²Organick

³Golding

⁴Volatile

⁵Nemeth

⁶Kennedy

⁷Humoud

⁸Al-Marhoun

⁹Elsharkawy

¹⁰Foda

¹¹Startzman

¹²Feed Forward Back Propagation Algorithm

منابع

[1] A. Gonzalez, M. A. Barrufet, R. Startzman (2002), Improved Neural Network Model Predicts Dewpoint Pressure Of Retrograde Gases, Journal Of Petroleum Science & Engineering

[2] Laszlo K. Nemeth, A Correlation Of Dew Point Pressure With Reservoir Fluid Composition And Temperature, Submitted To The Graduate College Of The TEXAS A&M University For Degree Of Doctor Of Philosophy, May 1966.

[3] A.M. Elsharkawy, Predicting The Dew Point Pressure For Gas Condensate Reservoir: Empirical Model And Equations Of State, Fluid Phase Equilibria (2002)

[4] M.K. Alarfaj, A. Abdulraheem, Y.R. Busaleh, Estimation (2012), Dewpoint Pressure Using Artificial Intelligence.

[5] A. Lashin, Reservoir Parameter Estimation Using Well Logging Data And Production History Of The KALADAFHOLT Geothermal Field. Report 2005, Number 12, Submitted In The United Nations University.

[۶] اجزوی آشنایی با شبکه عصبی و کاربردهای آن در صنعت نفت، دکتر ساداتی، عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

[7] S. Hykin, A Comprehensive Foundation, Second Edition, 2005

8 R. Rojas: Neural Networks, Springer-Verlag, Berlin, 1996

[8] A.K. Verma, B.A. Cheadle, A. Routray, W.K. Mohanty & Lalu Mansinha. Prosity And Permeability Estimation Using Neural Network Approach From Well Log Data. Geoconvention 2012. Vision.

[9] R. Rabunai, J. Dorado, Artificial Neural Network In Real Life-Application, Copyright 2006-Chapter 3