

تخمین دمای تجزیه هیدرات در حضور بازدارنده ها با استفاده از الگوی شبکه عصبی و مقایسه آن با مدل های Kasper و Yusif

جواد صیاد امین^{۱*}، بهروز عباسی سورکی^۱ رشید ارشادی فارسانی^۲

^۱استادیار دانشگاه گیلان، دانشکده فنی، گروه مهندسی شیمی
^۲دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه گیلان، دانشکده فنی، گروه مهندسی شیمی

چکیده

بازدارنده های ترمودینامیکی را می توان جهت جلوگیری از تشکیل هیدرات و مشکلات حاصل از آن در گاز طبیعی، تولید نفت حمل و نقل استفاده کرد. نمک ها و گلیسرول بازدارنده های اصلی جهت جلوگیری از تشکیل هیدرات می باشند که بطور متداول برای گل حفاری بکار برده می شوند. در این مقاله دمای تجزیه هیدرات به صورت تابعی از کسر مولی بازدارنده و فشار در نظر گرفته شد و از شبکه عصبی برای تخمین دمای تجزیه هیدرات^۱ در حضور بازدارنده ها استفاده شد. آموزش شبکه ارائه شده بر اساس داده های آزمایشگاهی مستخرج از مقالات مختلف صورت گرفته است. مدل حاصل از شبکه عصبی دارای خطای میانگین مربعات مجموع ۱۲/۲۷ بوده که در مقایسه با مدل های شناخته شده موجود، یوسف [۱] و کاسپر [۲]، قابل توجه است.

کلمات کلیدی

دمای تجزیه هیدرات، بازدارنده، شبکه عصبی

نکات برجسته پژوهش

- ارائه یک مدل دقیق تخمین زنده تشکیل هیدرات متان و گاز طبیعی در حضور سیال حفاری
- کارآیی مدل ارائه شده در مقایسه با دو مدل شناخته شده و معروف Kasper و Yusif

*Sayyadamin@gmail.com

^۱ The suppression of hydrate dissociation temperature

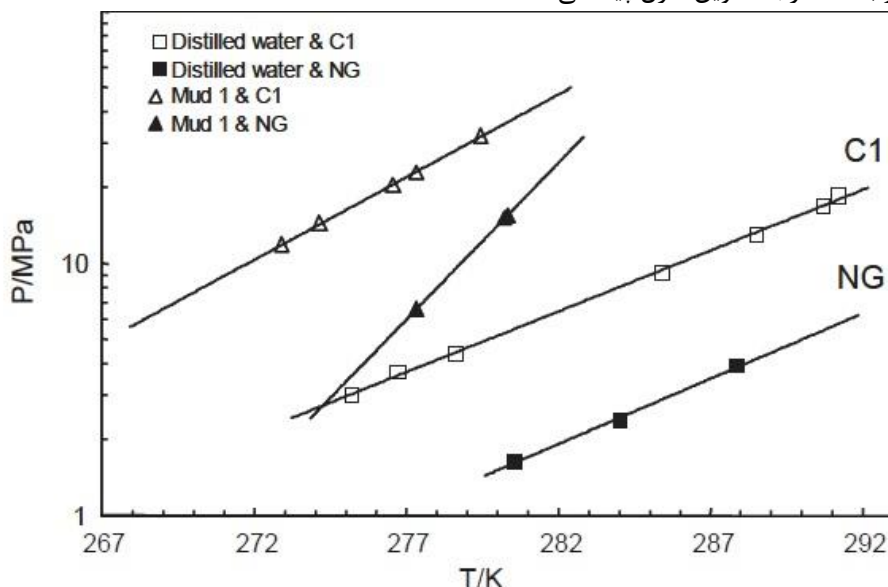
۱. مقدمه

برای کنترل کردن خطر تشکیل هیدرات در عملیات حفاری و تولید، معمولاً از بازدارنده های ترمودینامیکی استفاده شود. از معروفترین روابط موجود جهت تخمین اثر بازدارنده هیدرات، روابط همراشمیت [۴] در سال ۱۹۸۳، نیلسن بوکلین [۳] در سال ۱۸۹۳ و ویوسف و یانگ [۱] در سال ۱۹۹۳ می باشند. این معادلات جهت محاسبه دمای تجزیه هیدرات (ΔT)، تفاوت دمای تجزیه شدن هیدرات در حضور آب خالص و دمای تجزیه هیدرات در حضور بازدارنده، می باشند که در نظر نگرفتن فشار دقت آنها را تا حدودی کاهش داده است [۵]. در سال ۲۰۰۵ کاسیر و همکارانش [۲] معادله ای را برای یک نوع بازدارنده تشکیل هیدرات پیشنهاد نمودند که قادر به تخمین ΔT با دقت قابل قبولی بود منتها چنانچه ترکیبی از چند بازدارنده استفاده می شد دقت معادله به شدت کاهش می یافت. برای رفع این مشکل، یک مدل بر پایه ساختار شبکه عصبی ارائه شد که در برگیرنده تعداد بیشتری از بازدارنده های هیدرات با مقادیر مختلف باشد. مسئله اثر پذیری ممانعت از تشکیل هیدرات در فشار های مختلف را نیز رفع نماید. از آنجا که افزایش فشار، دمای تجزیه هیدرات را افزایش می دهد، فشار شرایط عملیاتی در شبکه عصبی لحاظ گشته است.

بنابراین در این مطالعه دمای تجزیه هیدرات، ΔT ، فشار سیستم، نوع و کسر مولی بازدارنده اجزای شبکه عصبی را تشکیل می دهد. در ادامه این مقاله ابتدا به اثرگذاری فشار بر روی بازدارنده های مختلف هیدرات متان و گاز طبیعی پرداخته شده، برخی تعریف مورد نیاز برای آشنایی با شبکه عصبی ارائه شده و در انتها نتایج حاصل از مدل ساخته شده بر پایه شبکه عصبی ارائه گردیده است.

۲. تاثیر فشار بر روی خصوصیات هیدرات در حضور بازدارنده:

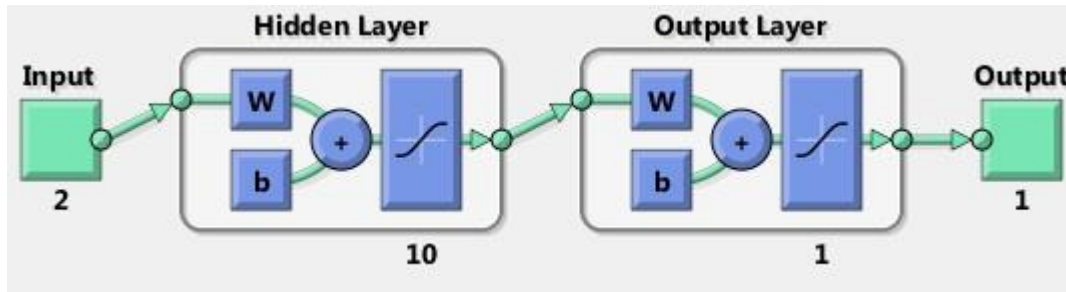
در اکثر معادلات پیشنهادی برای تجزیه هیدرات [۵-۱] فرض اساسی این بود که دمای تجزیه هیدرات فقط به غلظت بازدارنده بستگی دارد در حالی که اطلاعات برگرفته از شکل ۱ [۲] گواه این مطلب است فشار تاثیر بسزایی بر روی دمای تجزیه هیدرات دارد بعنوان مثال در فشار ۱۵ مگاپاسکال، ΔT گل حفاری C، ۱۵/۵ درجه کلوین است در حالیکه در فشار ۵/۵ مگاپاسکال این مقدار به ۱۲ درجه کلوین تنزل پیدا می کند.



شکل ۱: اثر بازدارنده سیال حفاری بر روی هیدرات متان و گاز طبیعی برگرفته از مرجع

۳. استفاده از شبکه عصبی

برای انجام محاسبات نقطه تجزیه کریستال های هیدرات گازی از یک شبکه عصبی با دو لایه مطابق شکل (۱) استفاده شد. تابع انتقال به صورت tansig انتخاب شد.



شکل ۲: الگوی شبکه دو لایه ای استفاده شده

برای سنجش میزان دقت نتایج بدست آمده، از دو نوع تابع میانگین قدر مطلق خطای نسبی^۱ (TAAD%) و مجموع مربعات خطا^۲ (SSR) استفاده شده است که به صورت زیر معرفی می گردند.

$$SSR = \sum_{i=1}^N (r_{cal,i} - r_{exp,i})^2 \quad (1)$$

$$TAAD\% = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|r_{cal,i} - r_{exp,i}|}{r_{exp,i}} \times 100 \quad (2)$$

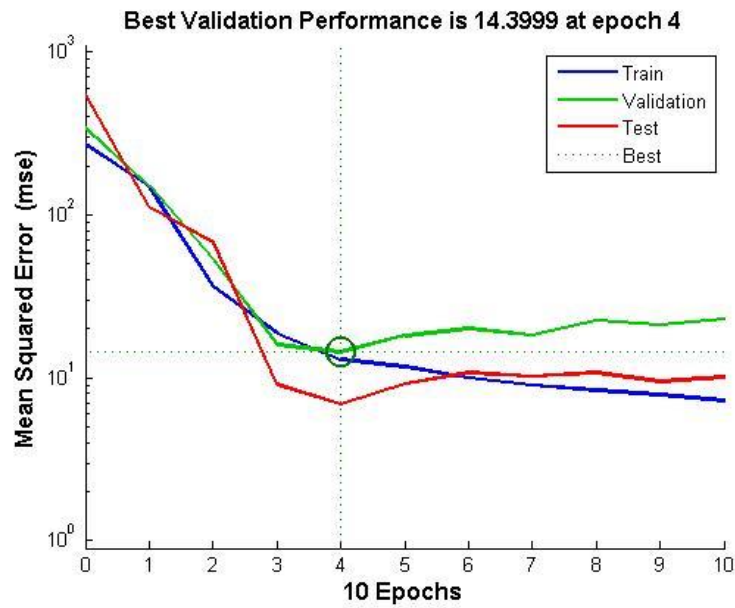
که $r_{cal,i}$ مقدار دمای تجزیه هیدرات محاسبه شده توسط شبکه عصبی و $r_{exp,i}$ مقدار دمای بدست آمده از نتایج آزمایشگاهی می باشد.

۴. نتایج

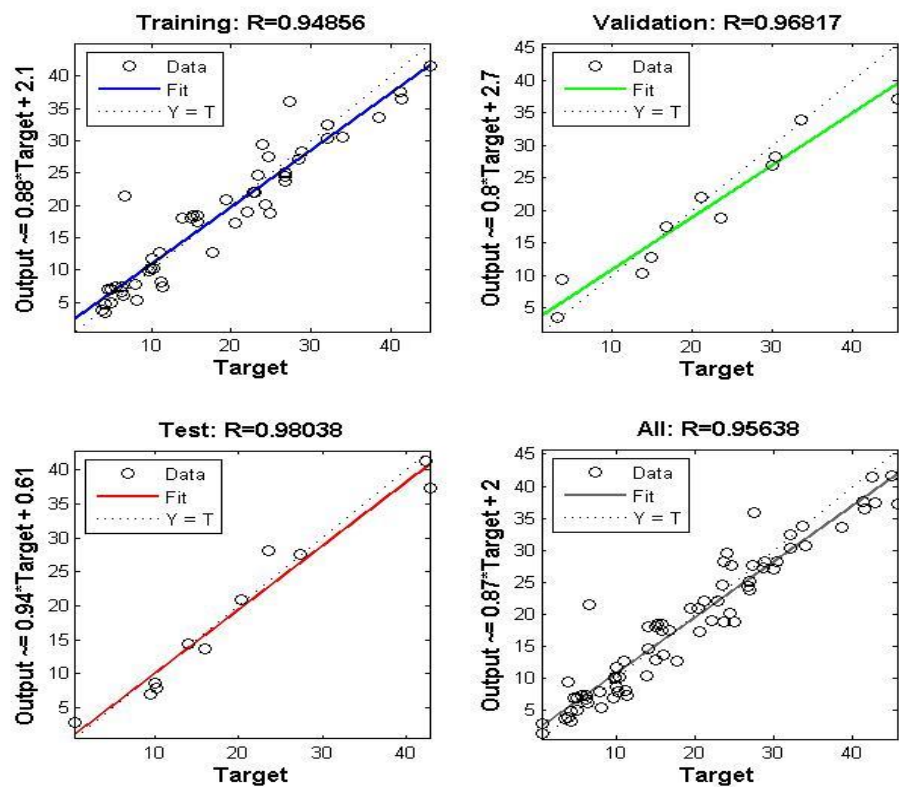
استفاده از شبکه عصبی برازش قابل قبولی برای داده های آزمایشگاهی انجام داده است. در شکل های زیر میزان کارایی شبکه و تطبیق آن با داده های تجربی را مشاهده می کنید.

^۱ Total average absolute deviation

^۲ SSR: sum of squares of the difference between the data and predicted/calculated values



شکل ۳: میزان کارایی شبکه



شکل ۴: برازش داده های تجربی بوسیله شبکه

در جدول زیر برای بازدارنده های گلیسرول و NaBr، NaCl، CaCl₂ مقدار ΔT این شبکه با مقایسه با یوسف [۱] و کاسپر [۲] آورده شده است، لازم به ذکر می باشد که برای بازدارنده های مخلوط شده معادله کاسپر [۲] قادر به پیش بینی ΔT نمی باشد.

جدول ۱- مقادیر بدست آمده از معادلات [۱]، Yusif، [۲] Kasper و شبکه عصبی در مقایسه با مقدار آزمایشگاهی [۱]

بازدارنده	X_{in}	P (Psia)	$\Delta T_{exp}^{[1]}$	$\Delta T_{Yusif}^{[1]}$	$\Delta T_{Kasper}^{[2]}$	$\Delta T_{Neural Net.}$
5% CaCl ₂ +5% Glycerol	0.0228	2604	5.0137	4.43		4.9349
5% CaCl ₂ +5% Glycerol	0.0228	3350	3.3518	4.43		3.6199
5% CaCl ₂ +5% Glycerol	0.0497	2635	11.376	12.07		7.313
5% CaCl ₂ +5% Glycerol	0.0497	1879	9.9119	12.07		8.7035
5% KCl+5% Glycerol	0.0261	2750	4.1706	4.88		4.7733
5% KCl+5% Glycerol	0.0261	1645	3.826	4.88		9.4339
10% KCl+10% Glycerol	0.0568	2805	9.8435	13.35		10.1833
10% KCl+10% Glycerol	0.0568	1915	9.6912	13.35		9.9549
3% NaCl+5% KCl+5% Glycerol	0.0387	2890	8.1302	7.59		5.3736
3% NaCl+5% KCl+5% Glycerol	0.0387	1912	7.8765	7.59		7.7566
10% NaCl+10% KCl+5% Glycerol	0.1069	2890	23.9302	28.74		29.456
10% NaCl+10% KCl+5% Glycerol	0.1069	2280	24.6187	28.74		27.5936
10% NaCl+10% KCl+5% Glycerol	0.1069	1812	23.5648	28.74		28.1124
5% NaCl+5% KCl+15% Glycerol	0.0762	3140	15.7024	18.34		17.4235
5% NaCl+5% KCl+15% Glycerol	0.0762	2540	16.7722	18.34		17.4992
5% NaCl+5% KCl+15% Glycerol	0.0762	1940	15.7128	18.34		18.4607
20% NaCl+20% Glycerol	0.1564	2640	42.7856	45.04		37.4398
20% NaCl+20% Glycerol	0.1564	2120	42.4152	45.04		41.352
30% Glycerol	0.0774	4045	10.0029	17.73	10.8394	11.7197
30% Glycerol	0.0774	3045	15.0072	17.73	10.7595	18.0518
30% Glycerol	0.0774	2045	15.1966	17.73	10.6476	18.4379
20% Glycerol	0.0466	2085	5.5693	8.94	5.596	7.3015
20% Glycerol	0.0466	4205	0.4941	8.94	5.6996	2.9323
20% Glycerol	0.0466	3103	4.5089	8.94	5.6547	6.9701
20% Glycerol	0.0466	3240	4.9547	8.94	5.6611	6.9522
20% Glycerol	0.0466	4090	4.1139	8.94	5.6955	3.3386
20% Glycerol	0.0466	3065	9.5094	8.94	5.6529	6.9521
10% Glycerol	0.0213	3260	3.7399	3.24	2.0479	3.8345
10% Glycerol	0.0213	2112	6.1823	3.24	2.0247	6.6167
10% Glycerol	0.0213	4055	0.4616	3.24	2.0595	1.2886
10% Glycerol	0.0213	2215	6.3862	3.24	2.0272	6.0724
10% Glycerol	0.0213	2000	6.1946	3.24	2.0218	7.3169
20% NaCl	0.1052	4055	6.5616	26.5	20.9117	21.4506
20% NaCl	0.1052	2600	30.4054	26.5	20.6014	28.2403
20% NaCl	0.1052	3675	23.3418	26.5	20.843	24.6259
20% NaCl	0.1052	1810	27.2542	26.5	20.3485	27.5592
30.6% NaBr	0.1011	3650	26.8048	25.19	22.2012	23.7598
30.6% NaBr	0.1011	3030	28.5043	25.19	22.0143	27.1529
30.6% NaBr	0.1011	2020	26.7854	25.19	21.6073	25.082
20% NaCl+10% Glycerol	0.1158	4000	26.6838	33.6		24.4459
20% NaCl+10% Glycerol	0.1158	3100	33.9092	33.6		30.6084
20% NaCl+10% Glycerol	0.1158	1720	32.0605	33.6		32.5108

20% NaCl+20% Glycerol	0.1564	4125	41.1613	45.04		37.5226
20% NaCl+20% Glycerol	0.1564	2687	45.5711	45.04		37.14
20% NaCl+20% Glycerol	0.1564	2090	44.8905	45.04		41.575
20% NaBr	0.0667	4040	10.2234	14.51	11.9925	7.8998
20% NaBr	0.0667	3140	13.9024	14.51	11.8564	14.4883
20% NaBr	0.0667	1980	15.9022	14.51	11.6075	13.7028
20.8% NaCl+20% Glycerol	0.1615	5292	28.8146	46.24		28.1971
20.8% NaCl+20% Glycerol	0.1615	2917	27.3757	46.24		35.9675
22.1% NaCl+15% Glycerol	0.1474	5128	29.9599	42.85		26.9526
22.1% NaCl+15% Glycerol	0.1474	2691	41.3779	42.85		36.4188
23.4% NaCl+10% Glycerol	0.1345	5421	22.8038	39.29		21.9849
23.4% NaCl+10% Glycerol	0.1345	2963	38.5795	39.29		33.6208
26% NaCl	0.1328	5140	20.2641	35.16	31.7207	20.8682
26% NaCl	0.1328	5160	19.3035	35.16	31.7247	20.8564
26% NaCl	0.1328	3683	32.1211	35.16	31.3704	30.3834
26% NaCl	0.1328	2908	33.6445	35.16	31.1221	33.8364
15.1% CaCl ₂	0.0622	2943	14.9683	13.2	13.8618	12.8454
30% Glycerol	0.0774	3011	13.8993	17.73	10.7564	18.1096
12.5 Glycerol	0.0272	1860	11.1152	4.41	10.8766	8.1275
12.5 Glycerol	0.0272	1435	10.3015	4.41	10.7798	10.2367
20.44% NaCl	0.1074	4268	21.9872	27.21	21.6292	19.0497
19.22% CaCl ₂	0.0792	4020	17.6044	18.28	20.7743	12.6851
19.22% CaCl ₂	0.0792	3350	20.5518	18.28	20.6638	17.3214
19.22% CaCl ₂	0.0792	2840	23.583	18.28	20.5637	18.7378
19.22% CaCl ₂	0.0792	2820	24.8611	18.28	20.5595	18.7267
19.22% CaCl ₂	0.0792	1870	24.3663	18.28	20.3105	20.1329
19.22% CaCl ₂	0.0792	1000	21.0874	18.28	19.9312	22.0497
14.42% CaCl ₂	0.0595	2080	13.8481	12.43	12.7655	10.3
14.42% CaCl ₂	0.0595	1030	10.928	12.43	12.4987	12.6643

۵. نتیجه گیری

همانطور که در شکل (۳) نشان داده شده است، شبکه پس از ۴ دور محاسبات^۲ به بهترین آموزش رسیده است. نتایج قادر خواهد بود کلیه داده های آزمایشگاهی را پوشش دهد. به منظور بررسی دقیق تر نتایج مدل، آنالیز رگرسیون میان خروجی های شبکه و اهداف مطلوب مورد ارزیابی قرار گرفت (شکل (۴)). ضریب همبستگی بدست آمده در پیش بینی چگالی ۰/۹۵۶۳ می باشد که نشان دهنده عملکرد موفق مدل شبکه عصبی می باشد. همچنین پایین بودن میانگین قدر مطلق خطای نسبی (TAAD%) ۲۷/۵۹ درصد، در مقایسه با مدل یوسف [۱]، ۶۱/۹۱ درصد و مدل کاسپر [۲]، ۶۱/۶۸ درصد، نشان از دقت عمل بالای این روش در مدت زمان کوتاهتری می باشد.

^۲epoch

جدول ۲- مقایسه میزان خطای شبکه عصبی با دو روش دیگر

روش بکار برده شده	SSR	TAAD%
با استفاده از شبکه عصبی	12.27	27.59
Yousif et al. معادله	38.38	61.91
Kasper et al. معادله	28.43	61.68

فهرست علائم و نشانه ها

ΔT	دمای تجزیه هیدرات
X_{in}	کسر مولی بازدارنده
P	فشار

6. مراجع

- [1] Yousif, M.H., Young, D.B., 1993. "A simple correlation to predict the hydrate point suppression in drilling fluids", The 1993 SPE/IADC Drilling Conference, Amsterdam, The Netherlands, 23-25 February, pp. 287- 294.
- [2] Kasper K. Østergaard, Rahim Masoudi, Bahman Tohidi, Ali Danesh, Adrian C. Todd, " A general correlation for predicting the suppression of hydrate dissociation temperature in the presence of thermodynamic inhibitors", Journal of Petroleum Science and Engineering, Volume 48, Issues 1-2, 30 July 2005, Pages 70-80
- [3] Nielsen, R.B., Bucklin, R.W., 1983. *Why not use methanol for hydrate control?* *Hydrocarbon Process*, 62 (4), 71-78.
- [4] Hammerschmidt, E.G., 1934. *Formation of gas hydrates in natural gas transmission lines*, Ind. Eng. Chem. Res. 26, 851.
- [5] Amir H. Mohammadi, Dominique Richon, "Gas Hydrate Phase Equilibrium in the Presence of Ethylene Glycol or Methanol Aqueous Solution", Ind. Eng. Chem. Res. 2010, 49, 8865-8869