

مدلسازی اثر تغییر ترکیبات گاز پالایشگاه گاز بیدبلند بر روی محصولات احتراق بویلر بوسیله شبکه عصبی مصنوعی

امین جهانی¹، سالم بعنونی²

1- دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک گرایش تبدیل انرژی - دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول

2- دکترای مکانیک گرایش تبدیل انرژی - دانشگاه شهید چمران اهواز

A_JAHANI1365@YAHOO.COM

چکیده

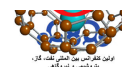
در اثر احتراق گاز طبیعی در بویلر پالایشگاه، آلاینده های مختلفی بوجود می آید. تعدادی از آلاینده ها در احتراق گاز طبیعی نسبت به سایر آلاینده ها وابستگی بسیار زیادی به کیفیت و ترکیب گاز طبیعی دارد. تغییرات عمده در ترکیب درصد اجزای سوخت موجب تغییر عملکرد بویلر و افزایش میزان در اثر احتراق گاز طبیعی در بویلر پالایشگاه می شود. بدست آوردن رابطه بین تغییر ترکیبات گاز و محصولات احتراق بویلر مستلزم حل روابط پیچیده احتراقی بوده که در این پروژه با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی این کار صورت می پذیرد. نتایج نشان می دهد که با افزایش هیدروکربن ها مقدار آلاینده NO_x افزایش، CO افزایش، H_2 افزایش و CO_2 افزایش می یابد.

کلمات کلیدی: احتراق گاز طبیعی، محصولات احتراق، بویلر، شبکه عصبی مصنوعی

1- مقدمه

احتراق در اثر ترکیب اجزاء یک سوخت با اکسیژن ایجاد می گردد و همواره توام با آزاد شدن انرژی حرارتی است. هم اکنون بیش از هشتاد درصد از انرژی تولیدی جهان در نتیجه احتراق ایجاد می گردد. تولید برق در نیروگاه های حرارتی از نوع گازی یا بخاری، حرکت خودروها، کشتی ها، هواپیماها و موشک ها و گرمایش منازل و ادارات از مهمترین کاربردهای احتراق می باشند. هر جا احتراق وجود دارد، مساله آلودگی هوا نیز مطرح است. با توجه به اینکه آلودگی هوا به یکی از معضلات جوامع بشری تبدیل گردیده است، ارائه راهکار به منظور کاهش آلاینده های ناشی از احتراق ضروری می گردد. در این تحقیق سعی می گردد با تغییرات در ترکیبات گاز تولیدی پالایشگاه بیدبلند، مقدار آلاینده های ناشی از احتراق بویلر پالایشگاه را کاهش داد.

در این پژوهش سعی بر این است که بین ترکیبات گاز پالایشگاه و محصولات احتراق اندازه گیری شده ارتباط برقرار نمود که با توجه به اینکه این کار مستلزم حل روابط پیچیده احتراقی می باشد،



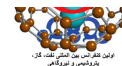
استفاده از روش های مدل سازی که دارای قدرت پیش بینی و دقت بالایی هستند ضروری می گردد، که استفاده از شبکه عصبی مصنوعی در این جا انتخاب گردیده است. ظهیری و همکارانش [1] به بررسی اثر ترکیب درصد اجزای سوخت گاز طبیعی بر روی میزان انتشار آلاینده های ناشی از احتراق در توربین های گازی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که با افزایش ترکیب درصد هیدروکربن های سنگین تر، میزان انتشار آلاینده NO_x افزایش می یابد. الشریف [6] به بررسی اثرات ترکیبات گاز طبیعی بر روی اکسید نیتروژن، ساختار شعله و سرعت سوختن پرداختند و به این نتیجه دست یافتند که افزایش اتان در گاز طبیعی منجر به افزایش سرعت سوختن، CO و NO_x در شعله های کم می گردد. کاراوالاکیس [9] به بررسی اثر ترکیبات گاز طبیعی بر روی آلاینده های گازی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که با افزایش هیدروکربن های سنگین تر، میزان آلاینده NO_x نیز افزایش می یابد.

2- ترکیبات گاز طبیعی و محصولات حاصل از احتراق بویلر پالایشگاه گاز بیدبلند

مطالعه موردی در این پروژه بر روی ترکیبات گاز پالایشگاه بیدبلند و محصولات احتراق بویلر شماره 6 آن از سال 1385 تا 1390 انجام گردیده است. گاز پالایشگاه بیدبلند مشتمل بر 16 ترکیب بوده که در اثر احتراق آن محصولاتی تولید می گردند. در جدول شماره (1)، مشخصات ترکیبات گاز و در جدول شماره (2)، مشخصات محصولات احتراق بویلر پالایشگاه نشان داده شده است.

جدول (1): ترکیبات گاز تولیدی پالایشگاه گاز بیدبلند

ردیف	ترکیبات گاز پالایشگاه	فرمول	وزن مولکولی	ارزش حرارتی ($kcal/ft^3$)	انتالپی تشکیل ($kcal/mol$)
1	carbon dioxide	CO_2	00.01	0	000.00
2	hydrogen sulphide	H_2S	00.000	100.20	00.00
3	nitrogen	N_2	20.010	0	0
4	methane	CH_4	10.002	220.00	010.0
5	ethane	C_2H_6	00.000	000.00	020
6	propane	C_3H_8	00.000	000.20	020
7	Iso butane	C_4H_{10}	00.100	000.0	002.1
8	N-butane	C_4H_{10}	00.12	000.20	000
9	Iso pentane	C_5H_{12}	00.10	020.0	000.0
10	N-pentane	C_5H_{12}	02.100	020.20	000.1
11	2,2 dimethyl butane	C_6H_{14}	00.102	1000.00	000.0
12	2,3 dimethyl butane	C_6H_{14}	00.102	1000	002.0
13	2 methyl pentane	C_6H_{14}	00.102	1000	001.0
14	3 methyl pentane	C_6H_{14}	00.102	1000.00	001.1
15	N-hexane	C_6H_{14}	00.102	1101	000
16	heptane +	C_7H_{16}	100.100	1200.20	000.0



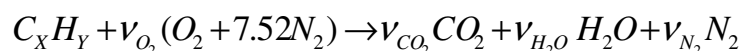
جدول (2): محصولات احتراق بویلر شماره 6 پالایشگاه بیدبلند

ردیف	محصولات احتراق بویلر	وزن مولکولی	انتالپی تشکیل (kcal/mol)
1	H ₂	2.016	0
2	SO ₂ (ppm)	64.064	1000.0
3	NO ₂ (ppm)	46.011	0.01
4	NO (ppm)	30.011	21.00
5	CO (ppm)	28.011	1020.0
6	O ₂	32	0

3- فرآیند احتراق گاز طبیعی

فرآیند احتراق مشتمل بر اکسیداسیون اجزای ترکیب سوختی است که قابلیت اکسید شدن دارند و لذا می توان آن را به صورت معادله ای شیمیایی بیان کرد. در طی فرآیند احتراق جرم هر عنصر ثابت باقی می ماند. بنابراین نوشتن معادله شیمیایی و حل مسائلی که در بردارنده مقادیری اجزاء مختلف و متعدد هستند، اساساً مستلزم بقای جرم هر عنصر است. در اغلب فرآیندهای احتراق، اکسیژن بصورت هوا بکار می رود نه بصورت اکسیژن خالص. در محاسبات احتراق شامل هوا، فرض می کنیم هوا از 21 درصد اکسیژن و 79 درصد نیتروژن تشکیل شده است. این فرض منجر می گردد که برای هر مول اکسیژن، 3/76 مول نیتروژن وجود دارد. $\frac{79}{21} = 3.76$

واکنش احتراق کامل با یک سوخت هیدروکربوری و هوا را می توان چنین نوشت:



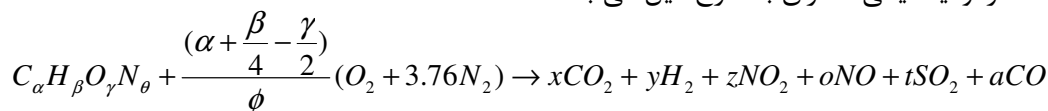
$$\nu_{CO_2} = X$$

$$2\nu_{H_2O} = Y$$

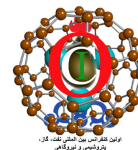
$$\nu_{N_2} = 3.76 \times \nu_{O_2}$$

$$\nu_{O_2} = \nu_{CO_2} + (\nu_{H_2O}) / 2 = X + Y / 4$$

با توجه به روابطی که در بالا ذکر گردید، واکنش احتراق گاز پالایشگاه بیدبلند همراه با خواص ترمودینامیکی احتراق به شرح ذیل می باشد.



با توجه به اینکه محصولات احتراق بیش از 4 محصول می باشد، بررسی تغییر ترکیبات و محصولات احتراق گاز طبیعی از این روش مشکل و زمانبر می باشد. تحلیل تغییر ترکیبات گاز تولیدی پالایشگاه بر روی محصولات احتراق بویلر، نیازمند حل روابط پیچیده احتراقی بوده که موجب افزایش میزان خطا در تحلیل همچنین زمانبر بودن آن می گردد. با توجه به اینکه دادهای پالایشگاه گاز بیدبلند بطور مستند موجود می باشد، بجای حل روابط پیچیده از



روش های مدل سازی که دارای قدرت پیش بینی و دقت بالایی هستند استفاده می گردد. شبکه عصبی مصنوعی می تواند انتخابی مناسب به منظور مدل سازی ترکیبات گاز تولیدی پالایشگاه و محصولات احتراق بویلر همچنین بررسی اثرات تغییر ترکیبات بر روی ارزش حرارتی گاز و محصولات احتراق بویلر باشد

4- بررسی تغییر ترکیبات و محصولات احتراق گاز پالایشگاه بیدبلند

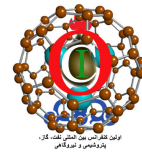
در این قسمت، مطابق جداول شماره (3) و (4) محدوده تغییرات حاصل شده در ترکیبات گاز و محصولات احتراق بویلر مربوط به پالایشگاه گاز بیدبلند از سال 1385 تا سال 1390 (6 سال) بررسی می گردد، همچنین انحراف معیار، بیشترین، کمترین و میانگین مقادیر ذکر شده در طول دوره آماری مشخص می گردد.

جدول (3): محدوده تغییرات ترکیبات گاز پالایشگاه

ردیف	ترکیبات گاز پالایشگاه	formula	max	min	average	انحراف معیار	درصد تغییرات
1	carbon dioxide	CO ₂	2.343	0	0.57	0.73	100
2	hydrogen sulphide	H ₂ S	2.2	0	0.59	0.46	100
3	nitrogen	N ₂	9.526	0.766	5.65	1.99	92
4	methane	CH ₄	94.388	78.327	86.64	2.72	17
5	ethane	C ₂ H ₆	10.715	1.701	4.71	1.94	84
6	propane	C ₃ H ₈	5.582	0.394	1.63	1.32	93
7	I butane	C ₄ H ₁₀	0.692	0.015	0.23	0.16	98
8	n butane	C ₄ H ₁₀	1.382	0.015	0.4	0.33	99
9	I pentane	C ₅ H ₁₂	0.363	0	0.093	0.059	100
10	n pentane	C ₅ H ₁₂	0.235	0	0.07	0.045	100
11	2,2dim but	C ₆ H ₁₄	0.006	0	0.002	0.002	100
12	2,3dim but	C ₆ H ₁₄	0.009	0	0.003	0.002	100
13	2meth pen	C ₆ H ₁₄	0.028	0	0.01	0.008	100
14	3meth pen	C ₆ H ₁₄	0.02	0	0.007	0.005	100
15	n hexane	C ₆ H ₁₄	0.045	0	0.015	0.011	100
16	heptane +	C ₇ H ₁₆	0.087	0	0.024	0.023	100

جدول (4): محدوده تغییرات محصولات حاصل از احتراق بویلر شماره 6 پالایشگاه

ردیف	محصولات احتراق بویلر	max	min	average	انحراف معیار	درصد تغییرات
1	H ₂	39	0	5.88	5.28	100
2	SO ₂ (ppm)	4	0	0.81	0.96	100
3	N ₂ (ppm)	5.4	0	1.34	1.44	100
4	NO (ppm)	116.9	48.1	81.45	17.38	59
5	CO (ppm)	17.2	0	1.53	3.39	100
6	Flue temperature	490.3	222.4	282.35	59.68	55
7	Amb temprature	42.4	10.2	29	7.43	76
8	O ₂	11.98	1.2	5.33	7.37	90



با بررسی تغییرات ترکیبات گاز تولیدی پالایشگاه بیدبلند مشاهده می گردد که ترکیباتی نظیر 3 methyl pentane ، 2 methyl pentane ، 2,3 dimethyl butan ، 2,2 dimethyl butan ، n hexane و heptanes + در طول دوره 6 ساله دارای مقادیر بسیار کم و نزدیک به صفر می باشد، لذا در بررسی اثر تغییرات ترکیبات بر روی محصولات احتراق (H_2 ، SO_2 ، NO_2 ، NO و CO) با استفاده از شبکه عصبی، از اثرات تغییر ترکیباتی که در بالا اشاره گردید صرف نظر نموده و ثابت فرض می شوند.

4- مدل شبکه عصبی برای بررسی اثر تغییرات ترکیبات گاز بر روی محصولات احتراق

بویلر پالایشگاه بیدبلند

ایجاد یک شبکه عصبی برای مدل سازی و پیش بینی شامل سه مرحله می باشد؛ ایجاد داده های مورد نیاز برای آموزش شبکه، ارزیابی ساختارهای مختلف شبکه عصبی جهت انتخاب ساختار مناسب و در پایان، تست شبکه عصبی توسط داده هایی که قبلاً در آموزش شبکه به کار نرفته اند. در این پروژه شبکه عصبی شامل 19 ورودی (16 عدد ترکیب گاز به همراه اکسیژن و دماهای محیط و گاز) و 5 خروجی (محصولات احتراق بویلر) می باشد.

در شبکه مذکور، اطلاعات استفاده شده جهت شبیه سازی، مربوط به دوره 6 ساله از سال 1385 تا سال 1390 می باشد که بطور منظم هر ماه 4 مرتبه اندازه گیری می شود، بطوریکه در یک روز هم ترکیبات گاز و هم محصولات احتراق بویلر اندازه گیری می شود، که با مرتب سازی و حذف اطلاعات مربوط به مواقعی که بویلر شماره 6 در سرویس نبوده، در مجموع 200 داده جهت آموزش و 70 داده جهت تست انتخاب گردید.

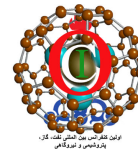
شبکه مورد استفاده سه لایه بوده که لایه اول 19 نرون (متناظر با تعداد ورودی ها)، لایه دوم (مخفی) 20 نرون و لایه سوم (آخر) 5 نرون (متناظر با تعداد خروجی ها) طراحی گردیده است. تعداد لایه ها دبلند و نرون ها برحسب سعی و خطا می باشد و قانون خاصی ندارد. برای لایه اول از تابع انتقال Logsig و لایه دوم Tansig و لایه سوم Purelin استفاده شده است. الگوریتم یادگیری شبکه نیز Trainlm انتخاب شده است.

5- نتایج

در این قسمت نتایج حاصله از شبکه عصبی مصنوعی برای ترکیبات گاز مورد بررسی قرار می گیرد که در ذیل به آن پرداخته شده است.

6-1- اثر تغییرات گاز متان بر روی محصولات احتراق

گاز متان برای رسیدن به حداکثر مقدار خود 10 درصد افزایش داشته است. در مدل شبکه عصبی، تغییرات متان به ازای هر 2 درصد تغییر بررسی گردیده است. با افزایش 2 درصدی متان، گاز هیدروژن 97 درصد افزایش، SO_2 14 درصد افزایش، NO_2 7 درصد افزایش، NO 12 درصد افزایش، CO 1/3 برابر گردیده است.



2-6- اثر تغییرات گاز اتان بر روی محصولات احتراق

گاز اتان برای رسیدن به حداکثر مقدار خود 80 درصد افزایش داشته است. در مدل شبکه عصبی، تغییرات اتان به ازای هر 10 درصد تغییر بررسی گردیده است. با افزایش 10 درصدی گاز اتان، گاز هیدروژن 41 درصد افزایش، گاز SO_2 2/7 برابر می گردد، گاز NO_2 14 درصد افزایش، گاز NO 24 درصد افزایش، گاز CO 87 درصد افزایش یافته است.

3-6- اثر تغییرات گاز پروپان بر روی محصولات احتراق

پروپان برای رسیدن به حداکثر مقدار خود 1/2 برابر گردیده است. در مدل شبکه عصبی، تغییرات پروپان به ازای هر 10 درصد تغییر بررسی گردیده است. با افزایش 10 درصدی گاز پروپان، گاز هیدروژن 30 درصد افزایش، گاز SO_2 11 درصد افزایش، گاز NO_2 7 درصد افزایش، گاز NO 2/33 برابر گردیده و گاز CO 28 درصد افزایش می یابد.

4-6- اثر تغییرات گاز ایزو بوتان بر روی محصولات احتراق

گاز ایزوبوتان برای رسیدن به حداکثر مقدار خود 70 درصد افزایش داشته است. در مدل شبکه عصبی، تغییرات ایزو بوتان به ازای هر 10 درصد تغییر بررسی گردیده است. با افزایش 10 درصدی گاز ایزو بوتان، هیدروژن 26 درصد افزایش، گاز SO_2 64 درصد افزایش، NO_2 28 درصد کاهش، NO 48 درصد افزایش، CO 12 درصد افزایش می یابد.

5-6- اثر تغییرات گاز نرمال بوتان بر روی محصولات احتراق

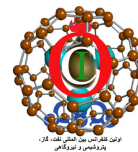
گاز نرمال بوتان برای رسیدن به حداکثر مقدار خود 1/1 برابر گردیده است. در مدل شبکه عصبی، تغییرات نرمال بوتان به ازای هر 10 درصد تغییر بررسی گردیده است. با افزایش 10 درصدی گاز نرمال بوتان، گاز هیدروژن 28 درصد افزایش، گاز SO_2 9 درصد افزایش، NO_2 7 درصد کاهش، گاز NO 63 درصد افزایش می یابد. گاز CO 25 درصد افزایش می یابد.

6-6- اثر تغییرات گاز ایزو پنتان بر روی محصولات احتراق

گاز ایزوپنتان برای رسیدن به حداکثر مقدار خود 80 درصد افزایش داشته است. در مدل شبکه عصبی، تغییرات ایزوپنتان به ازای هر 20 درصد تغییر بررسی گردیده است. با افزایش 20 درصدی گاز ایزوپنتان، گاز هیدروژن 85 درصد افزایش، گاز SO_2 43 درصد کاهش، NO_2 13 درصد افزایش، گاز NO 27 درصد افزایش، گاز CO 1/05 برابر می گردد.

7-6- اثر تغییرات گاز نرمال پنتان بر روی محصولات احتراق

گاز نرمال پنتان برای رسیدن به حداکثر مقدار خود 1/2 برابر گردیده است. در مدل شبکه عصبی، تغییرات نرمال پنتان به ازای هر 15 درصد تغییر بررسی گردیده است. با افزایش 15 درصدی گاز نرمال پنتان، گاز هیدروژن 51 درصد افزایش، گاز SO_2 3 درصد افزایش، گاز NO_2 بطور متوسط 14 درصد کاهش، گاز NO بطور متوسط 9 درصد افزایش و گاز CO بطور متوسط 56 درصد افزایش می یابد.



6-8- اثر تغییرات گاز دی اکسید کربن بر روی محصولات احتراق

گاز CO₂ برای رسیدن به حداکثر مقدار خود 60 درصد افزایش داشته است. در مدل شبکه عصبی، تغییرات CO₂ به ازای هر 5 درصد تغییر بررسی گردیده است. با افزایش 5 درصدی گاز CO₂، گاز هیدروژن 30 درصد کاهش، گاز SO₂ 2 درصد افزایش، گاز NO₂ 2 درصد کاهش، گاز NO 5 درصد افزایش و گاز CO 27 درصد افزایش می یابد.

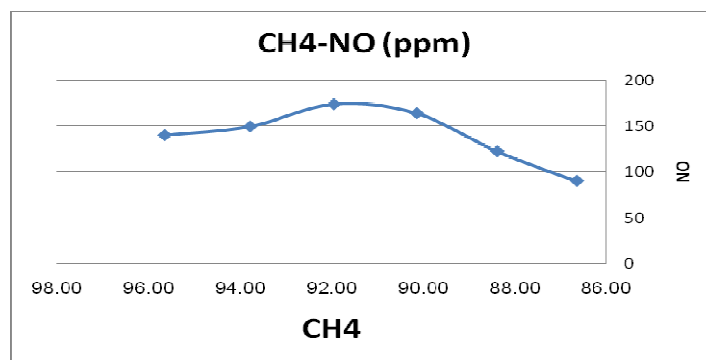
6-9- اثر تغییرات گاز هیدروژن سولفید بر روی محصولات احتراق

گاز H₂S برای رسیدن به حداکثر مقدار خود 80 درصد افزایش داشته است. در مدل شبکه عصبی، تغییرات H₂S به ازای هر 10 درصد تغییر بررسی گردیده است. با افزایش 10 درصدی گاز H₂S، گاز هیدروژن 34 درصد افزایش، گاز SO₂ 42 درصد افزایش، گاز NO₂ 4 درصد افزایش، گاز NO 7 درصد افزایش و گاز CO 91 درصد کاهش می یابد تا صفر گردد.

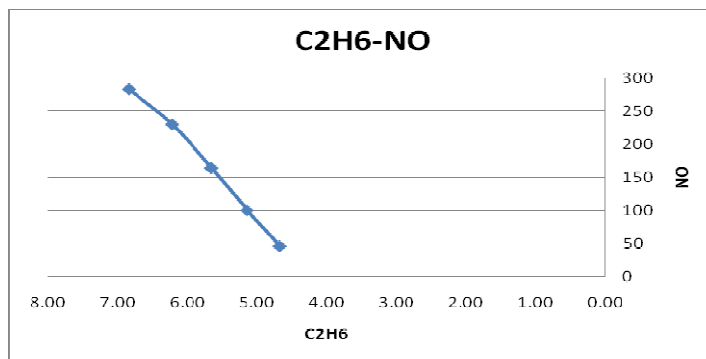
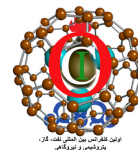
6-10- اثر تغییرات گاز نیتروژن بر روی محصولات احتراق

گاز N₂ برای رسیدن به حداکثر مقدار خود 60 درصد افزایش داشته است. در مدل شبکه عصبی، تغییرات N₂ به ازای هر 10 درصد تغییر بررسی گردیده است. با افزایش 10 درصدی گاز N₂، گاز هیدروژن 1/27 برابر، گاز SO₂ 41 درصد کاهش، گاز NO₂ 31 درصد افزایش، گاز NO 27 درصد افزایش و گاز CO 6/8 برابر می گردد.

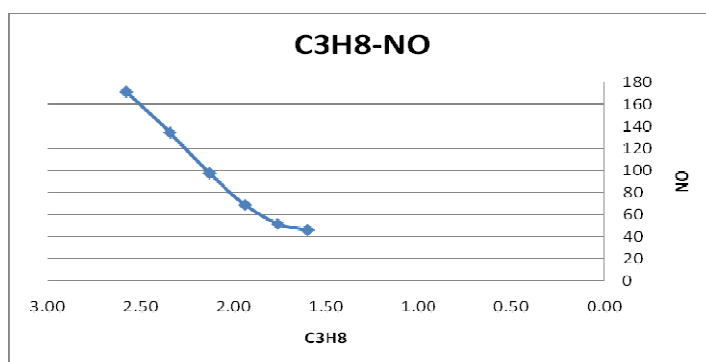
در نمودارهای شماره (1) تا (3) تغییرات گاز متان، اتان و پروپان بر روی آلاینده NO مشاهده می گردد.



نمودار شماره (1) : تغییرات گاز متان بر روی آلاینده NO



نمودار شماره (2) : تغییرات گاز اتان بر روی آلاینده NO



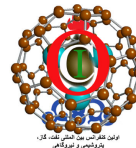
نمودار شماره (3) : تغییرات گاز پروپان بر روی آلاینده NO

6- نتیجه گیری

با بررسی های صورت گرفته مشخص می گردد که بطور کلی با افزایش هیدروکربن ها، مقدار H_2 افزایش، مقدار NO افزایش و مقدار CO نیز افزایش می یابد.

7- تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله مراتب تشکر خود را از مسئولین آزمایشگاه شیمی پالایشگاه بیدبلند خصوصا آقای مهندس فخرایی برای کمک های بی دریغ شان در جهت هر چه بهتر شدن کار اعلام می دارند.



منابع

- 1- ظهیری، علیرضا، 1386، بررسی اثر ترکیب درصد اجزای سوخت گاز طبیعی بر روی میزان انتشار آلاینده های ناشی از احتراق در توربین های گازی، دومین کنفرانس احتراق ایران
- 2- کتابخانه فنی پالایشگاه گاز بیدبلند
- 3- ممبینی، کامران، 1387، سوخت و احتراق، نشر شرح
- 4- Albrecht, Bogdan, 2010, Prediction and Measurement of the Product Gas Composition of the Ultra Rich Premixed Combustion of Natural Gas: Effects of Equivalence Ratio, Residence Time, Pressure, and Oxygen Concentration, Combustion Science and Technology, 433-456
- 5- Davis, Gray, 2001, Variability in Natural Gas Fuel Composition and Its Effects on the Performance of Catalytic Combustion Systems, California energy commission
- 6- El-sharif, A.S , 1998 , Effects of natural gas composition on the nitrogen oxide, flame structure and burning velocity under laminar premixed flame conditions, Fuel , 1539-1547
- 7- Jahanian , omid , 2011 , A Comprehensive Numerical Study on Effects of Natural Gas Composition on the Operation of an HCCI Engine, Oil & Gas Science and Technology, 1340-1353
- 8- Handbook of natural gas engineering
- 9- Karavalakis, Georgios, 2011, Air pollutant emissions of light-duty vehicles operating on various natural gas compositions, Journal of Natural Gas Science and Engineering, 8-16
- 10- Yunus a.cengel, Thermodynamics an engineering approach