

بررسی تجربی تاثیر ازدیاد هوای اضافی بر افزایش CO در مشعل های خانگی

راشد حاجیان^{1*}، سهیلا خوش نویسان²، میثم ریاحی³

شرکت بهینه سازان صنعت تأسیسات - خیابان آزادی، خیابان توحید، بلاک 37، طبقه دوم، واحد 3

(* راشد حاجیان: rashedhajian@yahoo.com)

در پروژه بهینه سازی مشعل های خانگی که با هدف افزایش راندمان و کاهش گازهای آلاینده محیط زیست [1] انجام شد، 1000 دستگاه مشعل با ظرفیت حرارتی خانگی (70-500 کیلووات) در موتورخانه های شهر تهران مورد بررسی قرار گرفته و گازهای خارج شده از دودکش قبل و بعد از بهینه سازی مورد آنالیز قرار گرفته است. نتایج آنالیزها قبل از بهینه سازی نشان میدهد که حدود 49 درصد مشعل های تحت بررسی، به دلیل داشتن هوای اضافی بیش از حد، مونوکسیدکربن تولید می کنند. برای مشاهده روند کمی تغییرات مونوکسیدکربن با افزایش هوای اضافی، دو مشعل خانگی با ظرفیت های بین 70000 kcal/hr و 200000 kcal/hr مورد آزمایش قرار گرفته است. این آزمون ها در لوله آزمون شعله 100 کیلووات آزمایشگاه مشعل سازمان پژوهشهای علمی و صنعتی ایران انجام شده است. در این آزمایش ها هوای اضافی بیشتر از مقدار استاندارد، وارد فرآیند احتراق شده و با آنالیز گازهای خروجی، تاثیر آن بر مونوکسیدکربن خروجی از دودکش، بررسی شده است. طبق آزمایش های انجام شده، هنگامی که هوای اضافی در این مشعل ها از حدود 80% بیشتر می شود، افزایش مونوکسیدکربن شیب بسیار زیادی داشته و در هر دو مورد، غلظت مونوکسیدکربن، خیلی سریع به بالاتر از 1200ppm می رسد.

واژه های کلیدی: مشعل، هوای اضافی، مونوکسیدکربن

1- مقدمه

گاز مونوکسیدکربن، بی رنگ، بی بو، سمی و سرطانزا است. این گاز به راحتی جذب خون شده و با هموگلوبین وارد واکنش می شود و با جذب اکسیژن آن در نهایت سبب مرگ می گردد. سردرد، خواب آلودگی و ضعف حافظه از علائم اولیه آن هستند. حد مجاز مونوکسیدکربن در گاز خروجی دودکش 100 ppm و حد منجر به مرگ آن 700ppm است. این گاز در اثر احتراق ناقص سوخت در محفظه احتراق به وجود می آید. احتراق ناقص میتواند دلایل مختلفی داشته باشد، از جمله:

- 1- نسبت سوخت به هوا صحیح نباشد
 - 2- سوخت و هوا به خوبی و به طور یکنواخت با یکدیگر مخلوط نشوند
 - 3- مشعل استاندارد نبوده و پروفیل شعله، از شکل مطلوب خارج شده باشد
- هوای اضافی نیز یکی از پارامترهای مهم در احتراق می باشد و به صورت زیر تعریف می شود:

$$(1) \quad \text{مقدار استوکیومتری هوای لازم برای احتراق} - \text{کل هوای ورودی به محفظه احتراق} = \text{هوای اضافی}$$

1- کارشناس مکانیک - شرکت بهینه سازان صنعت تأسیسات

2- کارشناس مکانیک - شرکت بهینه سازان صنعت تأسیسات

3- کارشناس ارشد مواد - شرکت بهینه سازان صنعت تأسیسات

بسته به نوع سوخت، درصد مشخصی هوای اضافی برای اختلاط کامل سوخت و هوا لازم است؛ اما بیش از آن سبب هدر رفتن سوخت و انرژی و کاهش بازدهی احتراق می شود. بالا بودن مقدار هوای اضافی همچنین می تواند باعث احتراق ناقص شود. به طور کلی هوای اضافی بالا، یک نشانه منفی و نامطلوب برای سیستم احتراق محسوب می شود [2].

درباره تاثیرات هوای اضافی و بررسی مولفه های احتراقی، مطالعات و پژوهش هایی تا کنون انجام شده است که اغلب آن ها به کوره ها مربوط می شود. واتالورا (Vuthaluru) و همکارش در سال 2005، یک کوره با مشعل دیواری را مدل سازی عددی کردند [3]. در این مدل سازی علاوه بر بررسی دماها، غلظت اکسیژن و تاثیر هوای اضافی نیز بررسی شده است. در سال 2006 نیز عباسی و خوشمنش، کوره ذوب شیشه را به کمک نرم افزار فلونت (Fluent) شبیه سازی کردند [4]. غلامی قصری و همکارانش در سال 2011 به بررسی تاثیر هوای اضافی بر کارکرد کوره مکش طبیعی، پرداختند و در آن، مدل سازی و شبیه سازی کوره H-202 پالایشگاه تهران در محیط نرم افزاری فلونت به منظور تعیین شرایط عملیاتی بهینه با اهداف بهینه سازی مصرف سوخت، و کاهش آلاینده های محیط زیست انجام گرفت [5].

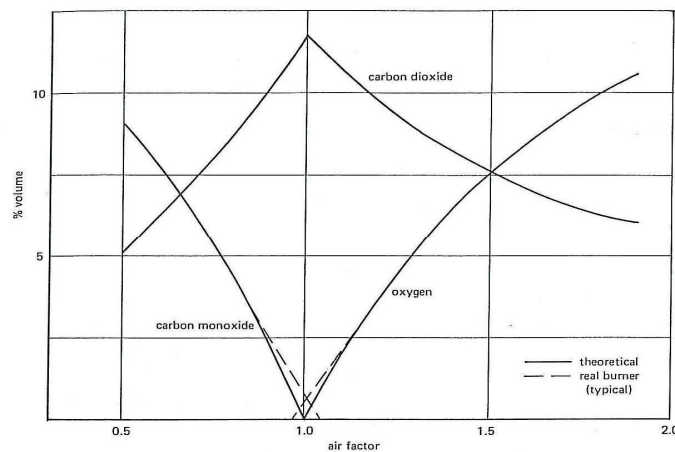
درباره مونوکسید کربن، پژوهش های مختلفی تاکنون انجام و برای سرعت تولید آن در فرآیندها، روابط مختلفی ارائه شده است. به عنوان نمونه، هتل (Hottel) در سال 1965 پژوهشی انجام داده و رابطه ی نرخ تولید مونوکسید کربن در فرآیند را به صورت زیر بیان کرده است:

$$-\frac{df_{CO}}{dt} = 12 \times 10^{10} \exp\left(\frac{-16000}{RT}\right) f_{O_2}^{0.2} f_{CO} f_{H_2O}^{0.5} \left(\frac{P}{RT}\right) \quad (2)$$

که در آن f نشانه کسر مولی هر ماده، R نشانه ثابت گازها $\left(\frac{8.314 \text{ kcal}}{\text{kg mol K}}\right)$ ، T نشانه دمای مطلق (K)، P نشانه فشار مطلق (atm) و R^* نیز نشانه ثابت گازها در واحدی دیگر $\left(\frac{82.06 \text{ atm cm}^3}{\text{g mol K}}\right)$ می باشند [6].

بر اساس استاندارد ملی ایران به شماره 7595:

الف) میزان منو اکسید کربن زمانی که مشعل در ولتاژ تغذیه اعلام شده توسط سازنده و با گاز مرجع مربوط به خانواده گازی که مشعل برای آن طراحی شده است تحت آزمون قرار می گیرد، نباید بیش از 100 میلی گرم بر کیلووات ساعت (93ppm) باشد؛



نمودار 1- نمودار معروف تغییرات مونوکسید کربن با هوا

ب) میزان منواکسید کربن در شرایطی که مشعل در 85 درصد ولتاژ تغذیه اعلام شده توسط سازنده و گاز مرجع مربوط به خانواده‌های گازی که مشعل برای آن طراحی شده است تحت آزمون قرار می‌گیرد، نباید بیش از 2140 میلی‌گرم بر کیلووات ساعت (2000 ppm) باشد؛

پ) میزان منواکسید کربن در شرایطی که مشعل با شرایط مشابه بند الف در ولتاژ تغذیه اعلام شده توسط سازنده و گاز احتراق ناقص مربوط به خانواده گازی که مشعل برای آن طراحی شده تحت آزمون قرار می‌گیرد نباید بیش از 2140 میلی‌گرم بر کیلووات ساعت (2000 ppm) باشد.

ت) مشعل باید به ابزاری مجهز گردد که در صورت افت ولتاژ به مقدار کمتر از 85 درصد میزان اعلام شده توسط سازنده، بتواند به کارکرد ایمن خود ادامه دهد و میزان CO در محصولات احتراق از یک درصد حجمی تجاوز ننماید یا موجب قطع ایمن گردد [7].

بسیاری از افرادی که با پدیده های احتراقی سروکار دارند و به خصوص تکنسین های تنظیم کننده مشعل موتورخانه ها، بر این باور هستند که هرچقدر هوای اضافی بیشتری وارد فرآیند احتراق شود، شعله ی بهتری وجود داشته و مشعل، با راندمان بهتر کار می کند. البته ترویج این نگاه به این دلیل است که در مورد هوای اضافی و رابطه آن با CO، نموداری مثل نمودار 1 [8]، ارائه می شود. این نمودار و نمودارهای مشابه، فقط به بخش مربوط به کاهش مقدار CO، در اثر افزایش هوای ورودی می پردازند.

2- پروژه بهینه سازی 1000 دستگاه مشعل خانگی با هدف افزایش راندمان و کاهش

گازهای آلاینده محیط زیست

در این پژوهش، بررسی بر روی 1000 دستگاه مشعل خانگی در حال کار، انجام شده است. در موتورخانه های چندین شهرک مسکونی، بیمارستان و مدرسه، با دستگاه آنالیز گاز، برخی پارامترهای احتراقی از جمله مقدار هوای اضافی و مقدار مونوکسید کربن، اندازه گیری شده و پس از تنظیم مشعل ها در بهترین راندمان مشعل و دیگ، مجدداً این کار تکرار گردیده است. نتایج بررسی نشان می دهد که در حدود 495 دستگاه از این مشعل ها، با کاهش هوای اضافی، مونوکسید کربن تولید شده نیز کاهش پیدا کرده است. در جدول 1، نتیجه آنالیز 30 نمونه از مشعل های مورد آزمون، پیش از بهینه سازی و پس از بهینه سازی، آورده شده است.

جدول 1 - نتیجه آنالیز 30 نمونه از مشعل های مورد آزمایش، پیش از بهینه سازی و پس از بهینه سازی

	قبل از بهینه سازی				بعد از بهینه سازی			
	ft(°c)	CO(ppm)	Excess Air(%)	CO2(%)	ft(°c)	CO(ppm)	Excess Air(%)	CO2(%)
1	170.90	34	86.30	6.39	180.90	10	76.50	6.74
2	128.60	1779	372.30	2.52	192.20	146	113.10	5.59
3	322.40	315	140.19	4.94	281.90	7	85.40	6.42
4	203.70	765	102.80	5.87	249.70	36	46.60	8.12
5	127.20	342	47.80	8.05	152.90	82	33.70	8.90
6	166.10	116	52.50	7.80	197.30	2	26.80	9.40
7	119.30	449	185.70	4.20	148.40	18	163.30	4.50
8	184.00	505	243.30	3.50	196.40	3	189.80	4.10
9	192.90	209	136.80	5.00	188.70	11	92.20	6.20

10	163.60	24	68.70	7.10	179.70	6	39.60	8.50
11	142.50	490	93.70	6.14	211.40	9	45.50	8.18
12	169.80	1028	428.40	2.30	175.70	414	373.10	2.50
13	174.40	754	267.20	3.20	162.40	16	218.70	3.70
14	229.30	974	144.40	4.90	230.60	6	79.90	6.60
15	107.60	63	288.40	3.10	172.30	39	35.60	8.80
16	254.30	815	205.60	3.89	290.90	15	92.90	6.17
17	215.80	74	172.90	4.36	197.90	14	147.40	4.81
18	154.00	599	51.40	7.86	144.00	0	21.20	9.82
19	85.80	2401	147.50	4.81	92.40	60	27.60	9.32
20	201.20	309	113.70	5.57	197.30	10	79.00	6.65
21	139.00	537	131.00	5.15	153.50	25	67.10	7.12
22	221.90	201	38.60	8.59	251.30	125	30.10	9.15
23	221.90	321	90.80	6.24	232.10	55	48.50	8.01
24	149.20	1163	215.40	3.77	187.20	188	85.40	6.42
25	147.4	232	67.9	7.1	153.6	11	35.9	8.6
26	152.3	765	305.8	2.9	235.3	11	123.2	5.3
27	166	7	44.3	8.2	188.4	3	18.8	10
28	221	167	33.7	8.9	240.1	23	9.7	10.9
29	201	1060	511	1.9	307.2	88	46.2	8.1
30	175.8	156	3.1	11.5	195.4	28	2.7	11.6

پس از مشاهده نتایج پروژه تصمیم بر آن شد که برای دو نمونه مشعل خانگی با ظرفیت های بین 70000kCal/hr و 200000 kCal/hr، آزمایش در مراحل بیشتری انجام گرفته و روند رشد میزان مونوکسیدکربن، با دقت بیشتری بررسی شود.

3- ترسیم نمودار تجربی برای دو مشعل خانگی

آزمایش ها بر روی دو مشعل مختلف انجام گردید.

آزمایش اول بر روی مشعلی با ظرفیت حرارتی 120000kCal/hr تا 200000 kCal/hr انجام شد؛ در ابتدا مشعل، بر روی لوله آزمون شعله استاندارد¹، آزمایشگاه نصب گردید. سپس مشعل روشن و وضعیت کارکرد آن در ظرفیت 130000 kCal/hr قرار گرفت و مقدار هوای اضافی از مقدار استاندارد خود، در پنج مرحله افزایش و پس از رسیدن به شرایط پایدار، با دستگاه آنالیزکننده گاز TESTO مدل 350X/XL [9]، محصولات خروجی از دودکش، مورد بررسی قرار گرفت. جدول 2 نتایج بدست آمده را به صورت عددی، و نمودار 2، روند این تغییرات را نمایش می دهند.

آزمایش دوم نیز روی همان بستر تست انجام شد. در آزمایش دوم محصولات خروجی از دودکش، برای دو ظرفیت کاری مختلف 45000 kCal/hr و 51000 kCal/hr و به روش مشابه آزمایش اول، اندازه گیری شد. همانطور که در نتایج بدست آمده از این آزمایش، مشاهده می شود، در هر دو ظرفیت کاری مورد بررسی، نتایج کاملاً با هم تناسب دارند.

نتایج عددی آزمایش دوم را نیز می توان در جداول 3 و 4، و روند تغییرات را در نمودار 3 مشاهده کرد.

در جدول 3 نتایج مربوط به ظرفیت 45000 kCal/hr و در جدول 4 نتایج مربوط به ظرفیت 51000 kCal/hr،

آورده شده است.

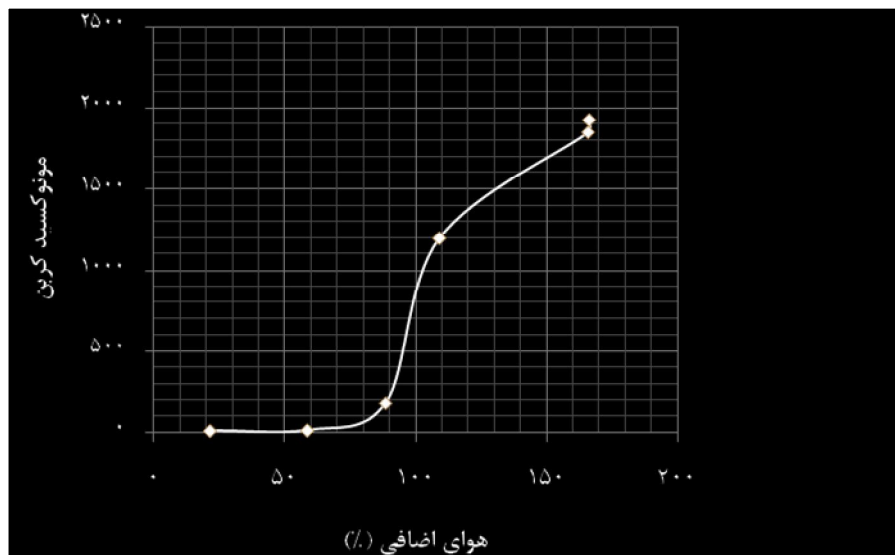
¹ Test flame tube

جدول 2

EAir(%)	CO(ppm)
21/5	12
58/6	15
88/5	184
109	1199
165/8	1850
166/2	1925

EAir(%) = درصد هوای اضافی

CO(ppm) = غلظت مونوکسید کربن



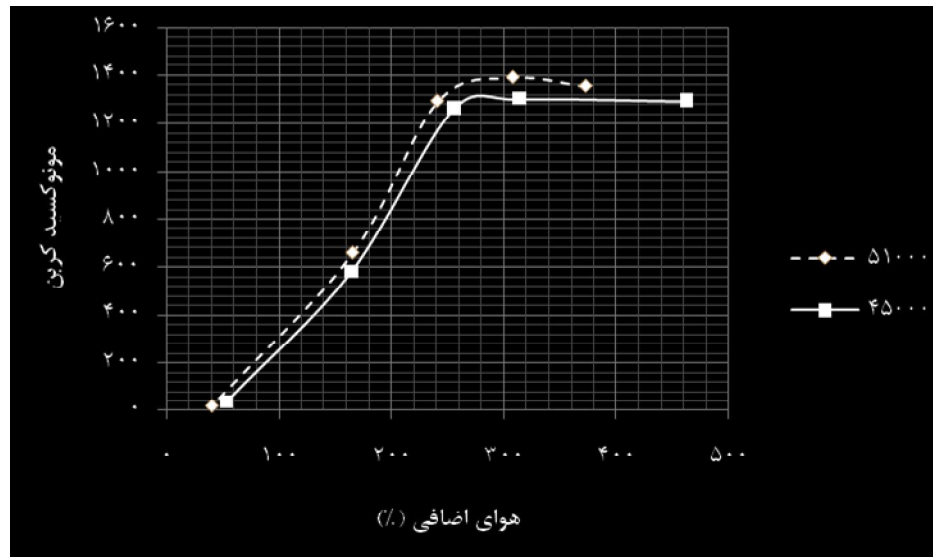
نمودار 2 - نمودار تغییرات مونوکسید کربن با هوای اضافی، در آزمایش اول

جدول 4

EAir(%)	CO(ppm)
373/1	1355
308/2	1391
240/9	1294
165/5	660
40/4	20

جدول 3

EAir(%)	CO(ppm)
462/6	1295
313/7	1303
255/5	1263
164/4	581
53/4	35



نمودار 3 - نمودار تغییرات مونوکسید کربن با هوای اضافی، در آزمایش دوم

4- بحثی پیرامون نتایج آزمایش اول

همانطور که در نمودار مربوط به آزمایش اول مشخص است، مونوکسید کربن تا هوای اضافی حدود 80%، با شیب کاملاً ملایم افزایش می‌یابد. طبق نمودار بدست آمده، تغییرات کوچک در مقدار هوای اضافی، بعد از 80% می‌تواند در افزایش مقدار مونوکسید کربن، بسیار موثر باشد.

5- بحثی پیرامون نتایج آزمایش دوم

در آزمایش دوم که در دو ظرفیت کاری مختلف انجام شده است، سعی شده تا نقاط مورد آزمایش، تقریباً به صورت نظیر به نظیر انتخاب شوند تا مقایسه‌ی وضعیت نمودار در دو ظرفیت مختلف، امکان پذیر باشد. همانطور که در نمودار 3 مشاهده می‌شود، روند تغییرات مقدار مونوکسید کربن با افزایش هوای اضافی در دو ظرفیت مختلف یک مشعل، کاملاً مشابه یکدیگر می‌باشد.

در این آزمایش همچنین روند تقریباً S شکل بودن نمودار، قابل مشاهده است و نتایج آزمایش اول در این آزمایش هم تأیید شده است.

6- نتیجه‌گیری و پیشنهاد

با توجه به نتایج به دست آمده از این آزمایش‌ها، ضعف بسیاری از مشعل‌های در حال کار در مجتمع‌های مسکونی که تولید زیاد مونوکسید کربن دارند، ناشی از مقدار بالای هوای اضافی آن‌ها است و با یک تنظیم ساده می‌توان میزان مونوکسید کربن آن‌ها را به مقدار پایین تری رساند.

براساس آزمایش‌های دقیق‌تر انجام شده روی دو مشعل خانگی، وقتی هوای اضافی از حدود 80% بیشتر می‌شود، به صورت ناگهانی، افزایش محسوسی در نرخ ازدیاد CO اتفاق می‌افتد و با ادامه‌ی افزایش هوای اضافی، به یک ثبات نسبی می‌رسد.

- برخی دلایل در بیان نامطلوب بودن هوای اضافی بیش از حد نیاز، به شرح ذیل می باشند:
- 1- هنگامی که هوای ورودی، بیش از حد مورد نیاز می شود، هوا توسط حجم های (Bulk) هوایی جریان می یابد. از این رو سوخت، فقط با سطح بیرونی این حجم ها در تماس بوده و در نتیجه با هوای داخل حجم، به خوبی مخلوط نمی شود. پیشنهاد می شود که در یک کار پژوهشی مجزا، این پدیده، شبیه سازی شود تا جزئیات آن روشن تر شود.
 - 2- فرآیند احتراق را می توان مثلی تصور کرد که با سه مولفه سوخت، اکسیدکننده و گرمای احتراق، درگیر است [10]. به دلیل وجود هوای بیش از حد و در نتیجه کاهش دمای شعله، در یکی از پارامترهای مهم احتراق، یعنی گرمای مناسب، ایجاد ضعف می شود و در نهایت احتراق به صورت ناقص انجام می شود.
 - 3- اگر گذر حجمی هوای اضافی که قرار است مصرف شود زیاد باشد، انتقال این حجم از هوای اضافی علاوه بر مشکلات احتراقی که ایجاد می کند، به دلیل نیاز به دمنده قوی تر، برق مصرفی را نیز افزایش می دهد. در نتیجه اگر ابعاد کاری مشعل، خیلی بزرگ باشد (مثل مشعل های صنعتی) این مصرف اضافی برق، افزایش هزینه و هدر رفتن انرژی را در پی خواهد داشت.

تشکر و قدردانی

در نهایت بر خود لازم می دانیم که از کارشناسان آزمایشگاه سوخت و احتراق سازمان پژوهش های علمی و صنعتی ایران، به جهت همکاری های بی دریغشان، قدردانی نموده و از خداوند متعال برای ایشان توفیق روزافزون مسئلت داریم.

مراجع

1. "گزارش بهینه سازی 1000 دستگاه مشعل خانگی"، (مجرى: آزمایشگاه سوخت و احتراق سازمان پژوهش های علمی و صنعتی ایران - کارفرما: شرکت بهینه سازی مصرف سوخت کشور)
2. "شگفتی در موتورخانه"، نتایج مثبت اجرای طرح بهینه سازی مصرف سوخت 5 هزار ساختمان در ایران، شرکت بهینه سازان صنعت تاسیسات، مجله صنعت تاسیسات، شماره 71
3. R. Vuthaluru, H.B. Vuthaluru, "Modeling of a wall fired furnace for different operating conditions using FULUENT", Fuel Processing Technology, No. 87, pp.633-639, 2006.
4. A. Abbassi, K. Khoshmanesh, "Numerical simulation and experimental analysis of an industrial glass melting furnace", Applied Thermal Engineering, No. 28, pp. 450-459, 2007.
5. محمد علی غلامی قمصری، محسن دوازده امامی، ارجمند مهربانی، "بررسی هوای اضافه بر کارکرد کوره مکش طبیعی"، سومین کنفرانس ملی کاربرد CFD در صنایع شیمیایی و نفت.
6. Walter R. Niessen, Nlessen Consultants S.P. Andover, Massachusetts, "COMBUSTION AND INCINERATION PROCESSES", Third Edition, Revised and Expanded
7. استاندارد ملی ایران 7595، مشعل های گازسوز دمنده دار خودکار - ویژگی ها و روش های آزمون
8. J.R. Cornforth, "combustion engineering and gas utilization", 3rd edition, 1992
9. TESTO catalog, Description of the system components, General description
10. "Fundamentals Of Combustion", Mishra, PHI Learning Pvt. Ltd., 2008