

بهبود وضعیت احتراق در کوره حرارتی H-H1 واحد تبدیل کاتالیستی شرکت پالایش نفت آبادان از طریق تغییر طراحی مشعلها

محمد حصان^{۱*}، عیسی خوشرو رودبارکی^۲

شرکت تولیدی و مهندسی شعله صنعت

(*) (info@sholehsanat.ir)

چکیده

در صنایع نفت، گاز، پالایش و پتروشیمی ایران، انواع مختلفی از کوره‌های حرارتی طراحی و ساخته شده است که در نتیجه آن، فناوری‌های گوناگونی از مشعل و سیستم‌های احتراق به خدمت گرفته شده است. این درحالیست که طی سالیان گذشته، در بخش وسیعی از صنایع داخلی، مشعل‌ها و سیستم‌های احتراق همراه با فناوری‌های روز، ارتقاء داده نشده و از آخرین دستاوردها و پیشرفت‌های این حوزه بهره نبرده‌اند. همچنین به دلیل عدم بهره‌گیری صنایع نفت از مشاوران خبره احتراق صنعتی، نه تنها در تامین، طراحی یا جایگزینی مشعل‌ها و سیستم‌های احتراق مشکلات عدیده‌ای وجود دارد، بلکه معمولاً بهره‌برداران نیز از آموزش کافی در این حوزه بی‌بهره‌اند. در این مطالعه سعی بر این است که یک نمونه همکاری مشترک با قدیمی‌ترین پالایشگاه کشور، شرکت پالایش نفت آبادان، با هدف به‌روزرسانی و بهبود عملکرد مشعل‌های کوره واحد تبدیل کاتالیستی H-H1، از طریق تغییر طراحی مشعل‌ها، مورد بررسی قرار گیرد. از مهمترین نتایج این تغییر طراحی، می‌توان به افزایش ظرفیت حرارتی ۱۸ درصدی مشعل‌ها برای استفاده در طرح‌های توسعه‌ای، حفظ میزان آلاینده‌های زیست محیطی در محدوده استاندارد و کاهش ۱۶ درصدی مصرف سوخت اشاره نمود.

واژه‌های کلیدی: مشعل اتمسفریک صنعتی - کوره حرارتی - احتراق صنعتی

۱- مقدمه

در صنعت نفت، گاز، پالایش و پتروشیمی کشور انواع مختلف کوره‌های حرارتی^۳ بکار گرفته شده که طی سالیان متمادی، از شرکت‌های خارجی خریداری شده‌اند. به رغم پیشرفت‌های وسیع کشور در علوم گوناگون؛ و افزایش سطح علمی کارشناسان حوزه‌های مختلف صنعت، به دلیل غفلت از اهمیت سوخت و احتراق، آنگونه که باید به دانش احتراق صنعتی توجه نشده است. لذا از ارزیابی دقیق فنی یا دریافت مشاوره در خصوص مشعل‌ها و سیستم احتراق مورد نیاز، که قلب تپنده این کوره‌ها هستند، غفلت شده است. معمولاً آموزش‌های پایه مشعل و سیستم احتراق، توسط طراحان و تولیدکنندگان خارجی به درستی ارائه نشده و آموزش‌های لازم دوره‌ای احتراق صنعتی، نیز در برنامه‌های آموزشی صنایع گنجانده نشده است. از سوی دیگر در طول سالیان در بخش وسیعی از صنایع داخلی، مشعل‌ها و سیستم احتراق همراه با فناوری‌های روز، ارتقاء داده نشده‌اند و چنانچه در ده‌ساله اخیر خرید و راه‌اندازی شده باشند، از آخرین دستاوردها و فناوری‌ها بهره نبرده‌اند.

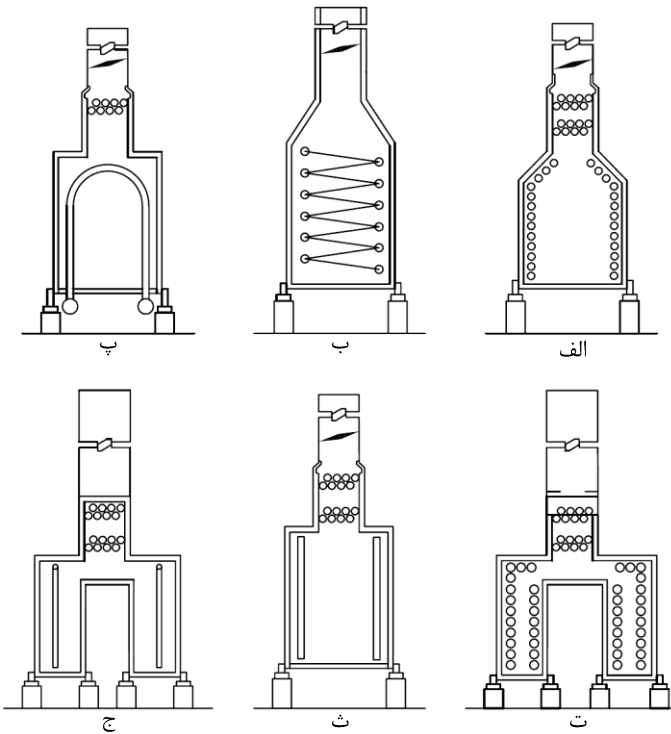
۱-۱- کلیات علمی مورد نیاز برای بررسی کوره‌های حرارتی و مشعل‌ها

طبق استاندارد، کوره‌های حرارتی صنایع نفت، به آن دسته‌ای از گرمکن‌ها اطلاق می‌شود که حرارت طی واکنش احتراق از سوخت آزاد شده و به سیال داخل کویل‌های لوله‌ای، منتقل می‌شود (ناحیه تشعشع).

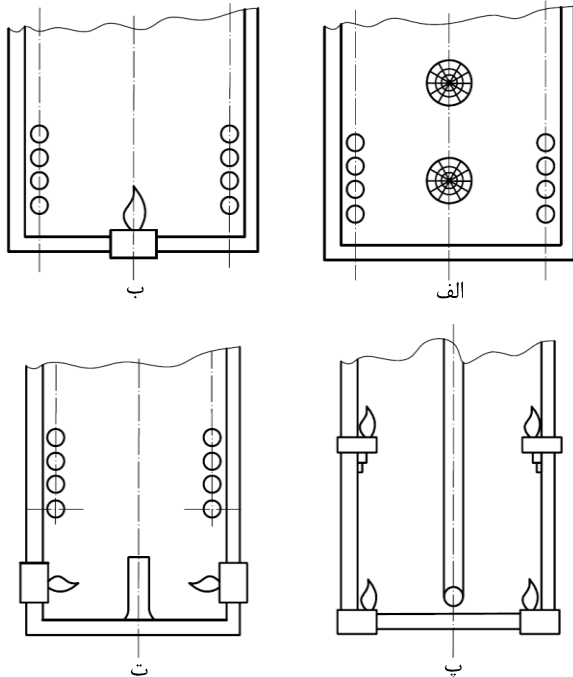
۱- واحد تحقیق و توسعه، شرکت تولیدی و مهندسی شعله صنعت

۲- مسئول مهندسی فرآیند احتراق، شرکت پالایش نفت آبادان

³ Fired Heater



شکل ۱- انواع مهم کوره‌های حرارتی: الف) کابین شکل با کویل افقی، ب) استوانه‌ای با کویل حلزونی، پ) جعبه‌ای با کویل میله‌ای، ت) جعبه‌ای با کویل افقی، ث) استوانه‌ای با کویل عمودی، ج) جعبه‌ای با کویل عمودی



شکل ۲- انواع مهم چیدمان مشعل‌ها در کوره‌های حرارتی: الف) اضلاع مخالف لوله‌ها، ب) رو به بالا، پ) وجهین در چند طبقه، ت) وجهین در یک طبقه

کوره‌های حرارتی عموماً براساس ساختار کوره، چیدمان کویل و مشعل‌ها، دسته‌بندی می‌شوند. از مشهورترین کوره‌های حرارتی و چگونگی چیدمان مشعل، می‌توان به دسته‌بندی انجام شده در شکل‌های اول و دوم اشاره نمود.

در طراحی فرآیند از انتخاب‌های ترکیبی متفاوتی بین نوع کوره و چیدمان مشعل استفاده می‌شود. بعنوان مثال کوره ۱-الف را می‌توان با چیدمان ۲-الف، ۲-ب و ۲-ت بکار برد و یا کوره ۱-ج را می‌توان با ۲-ب و ۲-پ بکار گرفت.

۱-۲- پیش‌نیازهای طراحی/بررسی

کوره‌های حرارتی و مشعل‌ها

طبق استاندارد جهت طراحی مناسب در این کوره‌ها، توضیحاتی کلی می‌توان ارائه داد [۳ و ۴]:

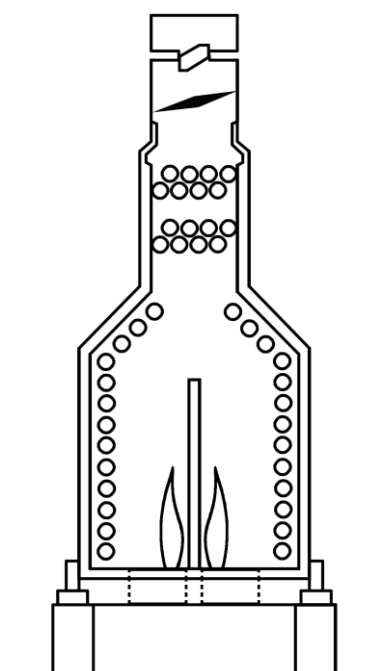
- استفاده از این کوره‌ها در شرایط احتراقی بالاتر از حد بیشینه طراحی، مجاز نیست.
- محاسبات طراحی برای کارایی احتراق کوره براساس LHV سوخت انجام شده و در آن ۱,۵ درصد از مقدار انرژی نرمال آزاد شده از سوخت، بعنوان اتلاف تشعشع در نظر گرفته می‌شود. در صورتیکه از بخش پیشگرم^۱ در این کوره‌ها استفاده شود این عدد به ۲,۵ درصد افزوده خواهد شد.
- مقدار بیشینه هوای اضافی مجاز در این کوره‌ها در حالت مکش طبیعی برای سوخت گازی ۲۰ درصد و برای سوخت مایع ۲۵ درصد است. این مقدار در حالت هوای اجباری به ۱۵ و ۲۰ درصد، به ترتیب برای گاز و سوخت مایع کاهش می‌یابد.
- در محاسبه کارایی کوره و مقدار دمای مجاز لوله‌های کویل باید مقاومت حرارتی ناشی از رسوب‌نشینی سیالات عبوری در لوله‌ها در نظر گرفته شود.

¹ Convection Section

- مقدار گرمای حجمی آزاد شده در ناحیه تشعشع نباید از 125 kW.hr/m^3 برای حالت مایع‌سوز و 165 kW.hr/m^3 برای حالت گازسوز تجاوز نماید.
- در کوره‌های استوانه‌ای نسبت ارتفاع ناحیه تشعشعی (h) به قطر دایره‌ای فرضی که لوله‌های کویل بر روی آن مستقر می‌شوند (w) حداکثر باید ۲٫۷۵ باشد. برای حالت‌هایی که کوره استوانه‌ای نبوده و لوله‌های کویل در وجوه قرار دارند نسبت ارتفاع (h) دیواره (در حالت کویل افقی) یا ارتفاع لوله‌ها (در حالت کویل عمودی)، به عرض قرارگیری لوله‌ها (w) محدودیت‌های ذیل را دارد:

جدول ۱- محدودیت h/w در کوره‌های غیراستوانه‌ای

h/w	h/w	میزان جذب حرارت
min.	max.	MW
۱٫۵	۲	تا ۳٫۵
۱٫۵	۲٫۵	۳٫۵ تا ۷
۱٫۵	۲٫۷۵	بیش از ۷



شکل ۳- چیدمان کویل، دیواره جداکننده و مشعل‌ها در کوره H-H1 شرکت پالایش نفت آبادان

- مقدار خلا دودکش در قوس بالایی^۱ کوره (ناحیه‌ای با خلا حداقل)، در شرایط بهره‌برداری بیشینه (۱۲۰ درصد ظرفیت کاری نرمال کوره)، در دمای دودکش و هوای اضافی طراحی، حداقل باید ۲۵ پاسکال باشد.
- تعداد و ظرفیت مشعل‌ها باید به گونه‌ای باشد که شعله قابل رویت حداکثر دو سوم ارتفاع ناحیه تشعشع کوره را تحت پوشش قرار دهد.
- در صورتیکه مشعل‌ها به صورت افقی و در وجهین مخالف هم نصب شوند حداقل فاصله میان شعله قابل رویت دو مشعل ۱٫۲ متر است.
- بیشینه منوکسیدکربن مجاز برای کوره‌های با مشعل کف در حداکثر ظرفیت کاری مشعل برای حالت گازسوز و مایع‌سوز به ترتیب ۴۰ ppm و ۸۰ ppm است. البته در صنایع نفت و گاز داخلی حتی تا ۱۵۰ ppm را نیز مجاز دانسته‌اند.
- در صنایع داخلی مقدار مجاز NO_x ، ۳۵۰ ppm در نظر گرفته می‌شود.

۲- کوره H-H1 پالایش نفت آبادان

۲-۱- شرح اولیه

واحد تبدیل کاتالیستی شرکت پالایش نفت آبادان در سال ۱۹۶۲ میلادی توسط شرکت Fluor و براساس طراحی شرکت UOP ساخته شده است (شکل ۳). در این واحد، تبدیل ۲۴۰۰۰ بشکه در روز نفتای خام تولیدی از واحدهای تقطیر با درجه آرام‌سوزی^۲ ۴۷، به ۱۹۰۰۰ بشکه در روز محصول پلاتنرمیت با درجه آرام‌سوزی ۹۶ صورت می‌پذیرد. کوره H-H1 این واحد، با هدف افزایش درجه حرارت نفتای خوراک پیشگرم شده (۲۶۰ درجه سانتیگراد) در مبدل‌های پیش از خود، به ۳۴۰ درجه سانتیگراد طراحی شده است. اهمیت کار تحقیقاتی انجام گرفته زمانی محسوس‌تر خواهد بود که بدانیم به دلیل حساسیت تولید بنزین در کشور، هیچ پالایشگاهی جرات خطر کردن در این زمینه را نداشته است.

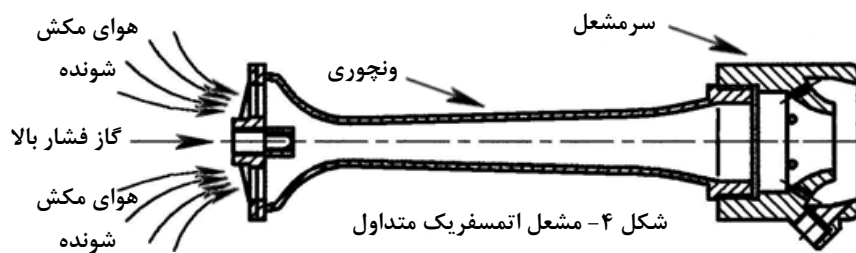
^۱ Arch Section

^۲ معیاری برای مرغوبیت بنزین.

طبق توضیحات ارائه شده در بند ۱-۱، کوره حرارتی H-H1 در زمره کوره‌های کابین شکل با کویل افقی و با مشعل‌های رو به بالا، قرار دارد. یعنی ترکیبی از طراحی شکل ۱-الف با شکل ۲-ب خواهد بود.

هدف از این مطالعه بررسی و بهینه‌سازی سیستم احتراق از طریق تعویض مشعل‌های کوره، به منظور رفع مشکلات و ناهنجاری‌های ناشی از عدم امکان ایجاد بار حرارتی، بوده است. ضمن اینکه در صورت نیاز بتوان از مشعل‌ها در ظرفیت حرارتی بالاتر استفاده نمود. اگرچه بر روی بدنه مشعل‌ها نام John Zinc قید شده، اما بنظر میرسد که تنها سفارش اولیه به آن شرکت بوده و طراحی و ساخت اصلی از شرکت NAO آمریکا باشد. ظرفیت حرارتی کوره $7,8 \times 10^6$ kCal/hr است و مشعل‌ها از نوع اتمسفریک بوده و از کف کوره، (مطابق شکل ۳ در دو طرف دیواره میانی) مجموعاً به تعداد ۲۲ دستگاه رو به بالا قرار گرفته‌اند. بنابراین ظرفیت حرارتی طراحی هر مشعل تقریباً $355,000$ kCal/hr است.

۲-۲- مشعل اتمسفریک



مشعل اتمسفریک [۲]

مشعلی است که با تزریق سوخت گازی پرفشار و خروج سریع آن از یک نازل، خلا مناسبی در ونچوری مشعل ایجاد شده و تمام یا بخشی از هوای مورد نیاز

برای احتراق در آن مکش شده و با سوخت پیش مخلوط می‌شود. این مشعل‌ها براساس فشار گاز ورودی به دو دسته فشار ضعیف و فشار قوی تقسیم‌بندی می‌شوند. دسته دوم (شکل ۴) اساساً کاربرد صنعتی داشته و فشار گاز ورودی در آنها بین ۵ psi تا ۶۰ psi متغیر است. در صورت طراحی درست نازل و ونچوری، مشعل اتمسفریک صنعتی امکان فراهم‌سازی مخلوطی یکنواخت از گاز و هوا، که منجر به تشکیل شعله‌ای با درجه حرارت بالا می‌شود را داشته و علاوه بر تامین تمام هوای مورد نیاز برای احتراق؛ امکان ایجاد هوای اضافی را نیز دارد.

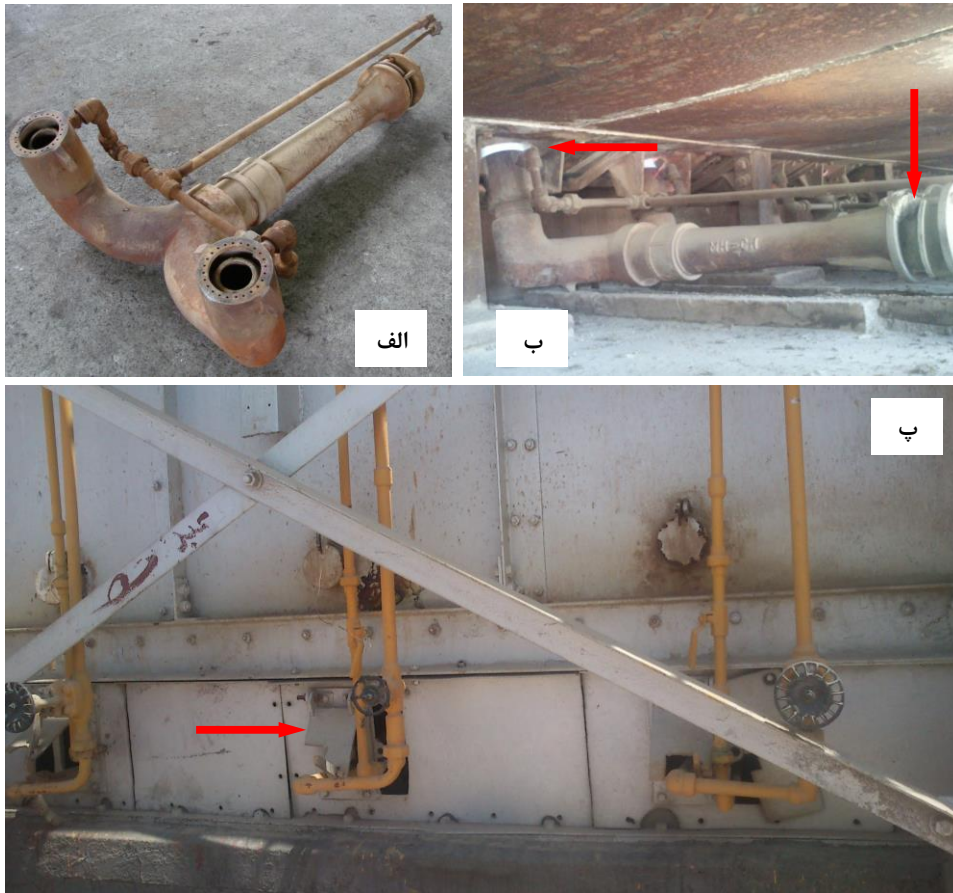
مشعل موجود اتمسفریک در پالایش نفت آبادان (شکل ۵-الف) طراحی بیرونی پیچیده‌ای داشته است. همانطور که در شکل نشان داده شده، ونچوری از طریق یک سه راهی با زاویه ۹۰ درجه، به دو سرمشعل متصل می‌شود. بنا به آنچه در شکل ۵-ب نشان داده شده در بخش پشتی مشعل دستگیره و دریچه‌ای برای کنترل دستی مقدار هوای ورودی به مشعل نیز تعبیه شده است. مشعلها در طبقه زیرین کوره کاملاً محصور بوده و شرایط نصب غیرمنعطفی دارد. دلیل این طراحی بیرونی پیچیده را در شرایط نشیمنگاه مشعل‌ها و موقعیت نصب مشعل‌ها در طبقه زیرین کوره میتوان جستجو نمود.

علاوه بر دریچه پشتی مشعل، همانطور که در شکل ۵-ب واضح است دریچه‌ای بر روی دیواره کوره، (دقیقاً در محل اتصال مشعل به انشعاب گاز) تعبیه شده که می‌توان جریان هوای ثانویه زیر کوره را توسط آن تا حدی کنترل نمود. این هوای ثانویه در اثر خلا داخل کوره و سرعت شعله، از کناره سرمشعل (شکل ۵-ب) به داخل ناحیه تشعشع کشیده می‌شود. البته تاثیرگذاری مثبت هوای ثانویه در مقایسه با هوای اولیه در این نوع از مشعل‌ها کمتر است و دلیل آن را می‌توان در کنترل پذیری ضعیف‌تر این هوا جستجو نمود.

۲-۳- پیشبرد مطالعه، طراحی، ساخت و اجرا

تغییر طراحی مشعل‌ها در کوره‌های موجود صنایع نفت جزء سخت‌ترین فرآیندهاست. به این دلیل که طراحی اولیه کوره امکان تغییر نداشته و مشعل جایگزین باید بگونه‌ای ساخته شود که در شرایط نصب حداقل تغییرات را موجب شود.

ازینرو کمیته فنی شرکت شعله‌صنعت تصمیم بر این گرفت همانطوری که در شکل ۶ قابل ملاحظه است، ابعاد بیرونی و شرایط نصب مشعل‌ها (گوشواره، نشیمنگاه و ...) را کاملاً حفظ نموده و با تغییر ونچوری و سرمشعل؛ بهبود احتراق، کیفیت



شکل ۵- مشعل اتمسفریک و کوره H-H1 [۱]

شعله، امکان کاهش-افزایش هوای اولیه و حداقل وابستگی به هوای ثانویه را فراهم آورد. این امر زمانی بهتر قابل درک خواهد بود که بدانیم با افزایش هوای اولیه، واکنش احتراق کمتر به هوای ثانویه متکی بوده و فرآیند احتراق سریعتر تکمیل شده و

در نتیجه طول شعله کمتری بدست خواهد آمد. ضمن اینکه با افزایش هوای اولیه امکان افزایش حجم گاز عبوری و افزایش ظرفیت مشعل با حفظ شرایط زیست محیطی وجود خواهد داشت.

البته در بخش پشتی این مشعل نیز دریچه‌ای برای کنترل میزان هوای اولیه در نظر گرفته شده است تا بهره‌بردار در صورت نیاز با کم کردن هوای اولیه از سرعت تکمیل واکنش احتراق کاسته و طول شعله را با محفظه احتراق هماهنگ نماید.

رویه در پیش گرفته شده در این پروسه تحقیقاتی به ترتیب ذیل بوده است:

- طراحی و ساخت یک بستر آزمون، متناسب با تست این نوع از مشعل‌ها.



شکل ۶- مشعل اتمسفریک همگام‌سازی شده شرکت شعله صنعت براساس مشعل موجود شرکت پالایش نفت آبادان، نصب شده بر روی بستر آزمون [۱]

- همگام سازی چگونگی نصب و ابعاد مشعل‌های اتمسفریک تولیدی شرکت شعله‌صنعت با مشعل موجود شرکت پالایش نفت آبادان.
- تست مشعل موجود پالایش نفت آبادان در فضای آزاد و در بستر آزمون.
- طراحی، ساخت و تست یک نمونه مشعل همگام‌سازی شده در فضای آزاد و در بستر آزمون.
- مقایسه نتایج دو مشعل.
- تولید بیست و چهار دستگاه (بیست و دو دستگاه اصلی و دو دستگاه یدکی) و نصب و راه‌اندازی بر روی کوره.
- آنالیز کوره پس از جایگزینی مشعل‌ها و مقایسه با شرایط قبل از تغییرات.

در مرحله ارزیابی عملکرد هر یک از دو مشعل بر روی بستر آزمون (مشعل موجود پالایش نفت آبادان NAO و مشعل طراحی شده توسط شرکت شعله‌صنعت SSECO) به این ترتیب عمل شد، که فشار گاز ورودی به مشعل از مقدار کمینه ۷۰۰ میلی‌بار تا ۲ بار، در چند مرحله افزوده شده و پس از به ثبات رسیدن شرایط بستر آزمون در هر مرحله، آنالیزگیری محصولات احتراق انجام گرفته است. این فرآیند تا زمانیکه میزان آلاینده‌ها در محدوده استانداردهای بین‌المللی (قید شده در بند ۱-۲ این مقاله) باشد ادامه یافته و در هر مرحله میزان گاز ورودی به مشعل توسط جریان‌سنج خوانده و ثبت شده است (جدول ۲). لازم به ذکر است که ارزش حرارتی گاز طبیعی در این مطالعه ۸۳۰۰ کیلوکالری در هر نرمال متر مکعب در نظر گرفته شده است.

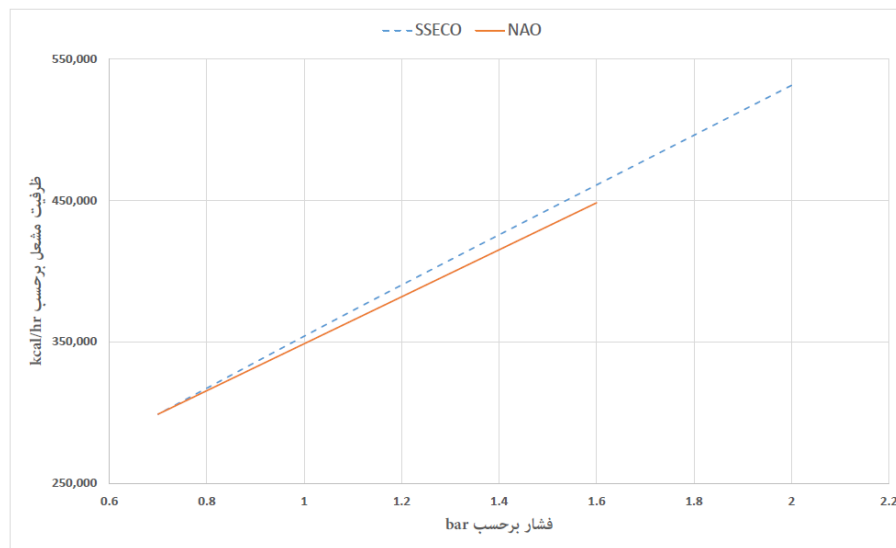
جدول ۲- مقایسه نتایج اندازه‌گیری شده

مرحله	فشار گاز ورودی به مشعل (bar)	دبی گاز طبیعی (nm ³ /hr)	ظرفیت حرارتی مشعل (kCal/hr)	% هوای اضافی	CO (ppm)	NO _x (ppm)	دمای دودکش (°C)
مشعل موجود	۰٫۷	۳۶	۲۹۸٫۸۰۰	۳۲	۲	۷۶	۹۶۸
پالایش نفت آبادان (NAO)	۱٫۲	۴۶	۳۸۱٫۸۰۰	۱۶	۰	۸۳	۱۰۱۱
	۱٫۶	۵۵	۴۴۸٫۲۰۰	۵	۷	۸۵	۱۰۶۰
	۱٫۷	۵۷	۴۷۳٫۱۰۰	۰	۷۴۰	۷۷	۱۰۴۰
	۲٫۰	۶۲	۵۱۴٫۶۰۰	۰	۲۳۰۰۰	۵۸	۱۰۰۷
مشعل شعله‌صنعت (SSECO)	۰٫۷	۳۶	۲۹۸٫۸۰۰	۳۵	۰	۵۴	۷۳۷
	۱٫۲	۴۷	۳۹۰٫۱۰۰	۱۷	۰	۷۲	۸۳۳
	۲٫۰	۶۴	۵۳۱٫۲۰۰	۲	۹	۸۶	۹۵۳

همانطور که از جدول فوق استخراج می‌شود در مشعل NAO به دلیل شرایط طراحی، در فشار بالاتر از ۱٫۶ بار، میزان CO به شدت بیش از حد استاندارد است. لذا ظرفیت این مشعل را نمی‌توان بیش از ۴۵۰ هزار کیلوکالری در ساعت دانست. البته کاهش NO_x در مراحل ۴ و ۵ را باید در اثر احتراق ناقص و پایین آمدن دمای شعله دانست.

برای مشعل طراحی شده شعله صنعت آنالیز محصولات احتراق تا فشار ۲ بار در محدوده استاندارد است ضمن اینکه از حیث آلاینده‌ها شرایط این مشعل در فشار ۲ بار و ظرفیت بالاتر؛ نزدیک به مشعل NAO در فشار ۱٫۶ بار و ظرفیت پایین‌تر است. همچنین باتوجه به ارتفاع بستر آزمون و ستون دمای دودکش در جدول ۲، می‌توان چنین استنباط نمود که طول شعله مشعل جدید کوتاهتر از مشعل NAO است.

شکل ۵ نمودار رشد ظرفیت مشعل‌ها در فشارهای مختلف گاز ورودی، در چهارچوب استاندارد زیست‌محیطی نمایش می‌دهد. از این شکل پرواضح است که ظرفیت مشعل جدید SSECO در شرایط استاندارد آلاینده‌گی، ۱,۱۸۵ برابر مشعل NAO است.



شکل ۷- مقایسه مشعل اتمسفریک NAO با مشعل شعله صنعت (ظرفیت-فشار گاز ورودی)

۲-۴- مقایسه آنالیز احتراق کوره H-H1 قبل و پس از تغییر مشعل‌ها

باتوجه به افزایش ظرفیت مورد نظر در مشعل‌های جدید و آنالیز مناسب محصولات احتراق، پروژه تحقیقاتی با ساخت و نصب بیست و دو دستگاه مشعل با طراحی جدید بر روی کوره از حالت پایلوت خارج شد. با توجه به طراحی مناسب انجام گرفته در مشعل‌های جدید، نیاز به هوای ثانویه کنترل نشده، شدیداً کاهش یافته، دریچه‌های ورود هوای ثانویه اکثراً بسته شد. لذا اثر شعله‌ها روی دیواره میانی از نظر بافت شعله و یکنواختی به شدت بهبود یافته و شرایط تشعشع به کوپل‌ها مناسب گردید (شکل ۸).

آنالیز محصولات احتراق کوره قبل و پس از تعویض مشعل‌ها طبق جدول ذیل است:

جدول ۳- آنالیز محصولات احتراق کوره H-H1، قبل و پس از تعویض مشعل‌ها

E.Air (%) هوای اضافی	FT (°C) دمای گازهای خروجی	NO _x (ppm)	NO ₂ (ppm)	NO (ppm)	CO ₂ (ppm)	CO (ppm)	O ₂ (%)	تاریخ آنالیز	
۱۴,۸	۴۵۹,۳	۷۹	۴,۰	۷۵	۱۰,۰۲	۹	۳,۰۱	۹۴/۰۵/۲۵	مشعل ۲۲ شعله صنعت (SSECO)
۴۴,۶	۵۲۳,۸	۷۴	۳,۷	۷۰	۷,۷۶	۱۷	۷,۰۵	۹۳/۰۸/۲۸	مشعل ۲۲ (NAO)



شکل ۸- مقایسه پخش دمایی شعله مشعل‌ها بر روی دیواره میانی در ناحیه تشعشع کوره H-H1: عکس بالایی شرایط شعله‌ها قبل از تغییر مشعل‌ها و عکس پایینی شرایط شعله‌ها پس از جایگزینی مشعل‌ها می‌باشد. [۱]

۲-۵- نتیجه‌گیری از تغییرات اعمالی بر روی کوره H-H1

طبق جداول پیشین و اطلاعات دریافتی از شرکت پالایش نفت آبادان نتایج ذیل قابل استحصال است:

- با نصب مشعل‌های جدید طول شعله کوتاهتر و یکنواختی بسیار بهتری بدست آمده است.
- با توجه به جدول ۲ تعویض مشعل‌ها افزایش مناسب نزدیک به ۱۸ درصدی در ظرفیت حرارتی کوره به دنبال داشته است. که در صورت امکان می‌توان برای طرح‌های توسعه‌ای از این توان سود برد.
- همانطور که در بند ۱-۲ قید شد حداکثر هوای اضافی مجاز برای این نوع مشعل‌ها ۲۰ درصد است [۳] که از جدول قبل این متغیر از ۴۴٫۶ درصد در حالت اولیه، به ۱۴٫۸ درصد تا حالت جدید کاهش یافته است، که مسلماً کاهش هوای اضافی خود به معنای کاهش اتلاف حرارتی است.
- میزان NO_x و CO کاملاً در چهارچوب استاندارد است.
- دمای گازهای خروجی از دودکش کاهش مناسب ۶۵ درجه‌ای داشته است که این نیز به معنای کاهش اتلاف حرارت می‌باشد.

- دمای دیواره شمالی و جنوبی^۱ با تعویض مشعل‌ها به میزان ۳۷ درجه سانتیگراد کاهش یافته است. این کاهش دما و یکنواختی به معنای کاهش آسیب‌دیدگی نسوز در دراز مدت است. این موضوع باعث کاهش هزینه‌های تحمیلی دوره تعمیر و نگهداری و کاهش زمان مورد نیاز و نیروی انسانی درگیر در دوره‌های توقف خواهد بود.

جدول ۴- تعرفه گاز طبیعی صنایع

۲۶۵۰	پتروشیمی
۱۳۲۰	فولاد
۱۰۰۰	سایر صنایع
مبلغی بعنوان عوارض نیز به مبالغ فوق افزوده می‌شود.	

- میانگین گاز مصرفی کوره به میزان ۱۶ درصد کل گاز مصرفی کوره معادل $193 \text{ nm}^3/\text{hr}$ کاهش یافته است. با توجه به قیمت

۱۳۱۷ ریالی بازی هر نرمال متر مکعب گاز (اعلام حسابداری صنعتی شرکت پالایش نفت آبادان) صرفه‌جویی معادل ۱۸۳.۰۱۰.۳۲۰ ریالی در هر ماه را فقط برای کاهش مصرف گاز در برخواهد داشته است.

تشکر و قدردانی

شایسته است قدردان مدیریت، مهندسان و کارشناسان محترم شرکت پالایش نفت آبادان و شرکت تولیدی و مهندسی شعله‌صنعت باشیم که پیشبرد این پروژه تحقیقاتی بدون صبر و مساعدت آنان میسر نبود.

مراجع

- ۱- آرشیو اسناد و تصاویر از پروژه‌های شرکت تولیدی و مهندسی شعله‌صنعت.
- 2- Baukal, C.E., and Schwartz, R.E., *The John Zink Combustion Handbook*, 1st Edition, CRC Press, 2001.
- 3- API Recommended Practice, "*Burners for Fired Heaters in General Refinery Services*", 3rd Edition, 2014.
- 4- API, "*Fired Heaters for General Refinery Services*", 4th Edition, 2007.

¹ Skin Temperature