

بررسی مشعل های سنتی و مشعلهای بر اساس تکنولوژی مدرن Radation در ایران و جهان

ابراهیم زوار حسینی^{۱*}، احمد پسندیده فرد^۲، اسماعیل زوار حسینی^۳

اصفهان ، میدان آزادی ، خیابان هزار جریب ، دانشگاه فنی شهید مهاجر اصفهان

*Zavarhosseini@Yahoo.com

چکیده

اصولاً قاعده دنیا در انتخاب سیستمی که ورودی آن انرژی است؛ بر این پایه استوار است که این انتخاب چه اثراتی میتواند بر روی حاملهای انرژی و واکنشی بر روی محیط زیست داشته باشد. این موارد، موضوعات مهمی می باشد که درکشورمان ، به خصوص در حوزه انتخاب مشعل، بسیار ناآشنا و غریبه هستند. به همین جهت در این مقاله سعی شده است این موضوع را بیشتر باز کنیم و تمام این موارد مهم را به درستی و عادلانه به چالش بکشیم و بطور خیلیموشکافانه ، تمام مسائل ریز و درشت مشعل ها را بررسی نماییم. علاوه بر موارد فوق که گفته شد ، در این مقاله به تحلیل مشعل های سنتی و مدرن در ایران و خارج از ایران و همچنین در رابطه با تکنولوژی ساخت آنها پرداخته شده ؛ ضمناً به بررسی نقش هوای اضافه در فرآیند احتراق، صرفه جویی انرژی ناشی از افت حرارتی دوکش، با استفاده از مشعل با تکنولوژی هوای اضافه کم، توضیح داده شده است. با توجه به اندازه گیری های انجام شده در آزمایشگاه احتراق گروه صنعتی ایران رادیاتور، با این روش حدود ۱٪ الی ۳٪ در راندمان سامانه گرمایشی صرفه جویی حاصل می شود.

واژه های کلیدی: احتراق- انرژی -تشنشع- هوای اضافه - شعله ، انتقال حرارت

۱- مقدمه

مصرف سوخت بالا و آلودگی هوای شهرهای بزرگ ایران که ناشی از عقب ماندگی تکنولوژی مشعل و سیستمهای احتراقی است از یکسو و پیشرفتهای پرشتاب و شگفت انگیز در زمینه مشعل ، سیستم های احتراقی برای کاهش مصرف سوخت و جلوگیری از آسیب های ناشی از مصرف بیش از حد آن به محیط زیست ، موجب بروز شکافی عمیق و فاصله ای قابل ملاحظه بین تولید مشعل های داخلی (سنتی) و مشعل های بر اساس تکنولوژی روز گردیده است. این فاصله در حدی است که بخش اعظم کارشناسان ذیربط را به تکاپو واداشته است. در میان مؤلفه های مصرف انرژی در ساختمان ، سیستم های گرمایشی که عمده تاً از سوخت های فسیلی استفاده می کنند و از جمله مصرف کنندگان عمده انرژی هستند از اهمیت ویژه ای برخوردار می باشند. چرا که حدود ۵۳٪ از گاز طبیعی مصرفی کشور به گرمایش ساختمان ها اختصاص می یابد [۱]. توجه به عوامل گوناگونی که در میزان مصرف انرژی ساختمان نقش دارند تأثیر فراوانی در ارائه راهکار های صرفه - جویی در بخش ساختمان و کاهش مصرف انرژی در این بخش دارد. آنچه که مسلم است در میان تمامی عوامل تأثیر گذار ، بکارگیری تجهیزات با ظرفیت مناسب (بعنوان مثال انتخاب دیگ و مشعل متناسب با بار حرارتی مورد نیاز ساختمان) ، استفاده از تجهیزات با راندمان بالا)

۱- دانشجوی مهندسی تاسیسات حرارتی، برودتیو تهویه مطبوع ، دانشگاه فنی شهید مهاجر اصفهان

۲- استادیار و عضو هیئت علمی دانشگاه فنی شهید مهاجر اصفهان

۳- کارشناس تاسیسات حرارتی، برودتیو تهویه مطبوع

مشعل و دیگ با راندمان بالا) و کنترل سامانه گرمایش (بعنوان مثال سیستم های کنترل هوشمند موتورخانه) از عوامل مؤثر در میزان مصرف انرژی گرمایشی در ساختمان محسوب می شوند .

۲- مشکلات مشعل های سنتی

۲-۱- مشکلات ناشی از طراحی و تکنولوژی تولید

کیفیت نامناسب احتراق ، عدم هماهنگی ابعاد شعله با محفظه احتراق ، مصرف برق زیاد برای تامین هوا ، کیفیت نامناسب اقلام و قطعات بکارگرفته شده

۲-۲- مشکلات در بکارگیری

خاموش و روشن شدن مداوم مشعل ، بهم خوردن تنظیم اولیه در موقع نصب ، نیاز به دیگ با ابعاد بسیار بزرگ

۲-۳- عدم هماهنگی ابعاد شعله با محفظه احتراق

بهم خوردن شکل شعله (از جمله به علت تغییراتی که در شعله پخش کن برای کم کردن صدای شعله مشعل صورت گرفته است) ، وضع نامناسب طول و قطر شعله (طول شعله باید حداکثر مساوی ۸۰ درصد طول محفظه احتراق باشد و امروزه سعی می شود که قطر بزرگتری برای شعله مشعل در طراحی مورد نظر قرار گیرد) ، بالا بودن درجه حرارت در ناحیه خروجی محفظه احتراق به دلیل برخورد و یا نزدیکی خیلی زیاد سرشعله به انتهای محفظه احتراق (که در نهایت موجب آسیب رسیدن به دیگ و کاهش عمر مفید آن و همچنین کاهش میزان حرارت دهی دیگ می گردد) .

۲-۴- مصرف برق زیاد برای تامین هوا

برق مصرفی دمنده های مشعلهای تولید داخل نسبت به مشعلهای تولید روز دنیا حدود ۵۰٪ بیشتر است که بطور عمده ناشی از دوعامل ، کیفیت الکتروموتور، بافت و قرارگیری پره های دمنده می باشد .

۲-۵- کیفیت اقلام و قطعات بکار گرفته شده

مدتهاست که به انتخاب قطعاتی نظیر رله ی مشعل ، قطعات سرمشعل ، شیرهای برقی و ... از نظر طول عمر و کارایی و مطابقت آنها با استانداردهای روز دنیا توجه کفایت نداشته است (جدا از تدوین استانداردها و جدید برای مشعل ها که جایز آئمی تواند گامی مهم در ارتقاء کیفیت مشعلهای سنتی در ایران گردد). متأسفانه در مواردی ، بخشی از این اقلام توسط فروشندگان لوازم تاسیسات و مشعل برای کسب سود بیشتر تعویض گردیده و اقلام به مراتب نامرغوب و غیر قابل اعتمادتری جایگزین می شوند.

۲-۶- خاموش و روشن شدن مشعل

این عامل در مشعلهای سنتی باعث افزایش مصرف سوخت ، قرار گرفتن در معرض شوک حرارتی و اتلاف انرژی حرارتی می شود .

۲-۷- بهم خوردن تنظیم اولیه در موقع نصب

۲-۷-۱- دلایل عدم توجه به عوارض بهم خوردن تنظیم

پائین بودن قیمت سوخت ، اطلاعات محدود سرویس کاران و عدم بکارگیری ابزار لازم (از جمله آنالایزر) برای تنظیم مشعل

۲-۸- نیاز به دیگ با ابعاد بسیار بزرگ

۲-۸-۱- دلایل نیاز به دیگ با ابعاد بسیار بزرگ

شکل و ابعاد شعله در مشعلهای سنتی، سرعت کم سیالات خروجی از دهانه مشعل، بدلیل پائین بودن سرعت سیال، برای انتقال حرارت بیشتر در روش جابجایی، نیاز به سطح بیشتر است.

۳- مشعلهای پیشرفته

مشعلهای پیشرفته که بکارگیری آنها روزه روز افزایش یافته و براساس پیش بینی ها در آینده ای نزدیک جایگزین مشعلهای سنتی میگردد (حداقل برای دیگهای کوچک و تا سقف ۵۰۰/۰۰۰ کیلوکالری در ساعت) بطور عمده گاز سوز پیش مخلوط بوده و امتیاز برتر آنها حذف شعله رو به جلوی خاصیت انتقال حرارت جابجایی با شعله های جانبی (یا بطور عمده جانبی) و با ویژگی انتقال حرارت تشعشعی که در مجموع از طریق افزایش سطح شعله به وسیله تقسیم شعله به شعله های بسیار کوچک است، حاصل میگردد.

۳-۱- مشعل های پیشرفته و ویژگیهای برتر آن

یکنواختی در انتقال حرارت به دیگ، افزایش دامنه تنظیم، کاهش هوای اضافی و آلاینده های زیست محیطی، پایدار بودن تنظیم اولیه، کاهش ابعاد و وزن دیگ، ایجاد شعله با صدای خیلی کم، هزینه مناسب برای تولید

۴- دسته بندی مشعلها

۴-۱- علمی

بر اساس روش اختلاط سوخت و هوا

۴-۲- کاربردی-تجاری

بر اساس شکل شعله و کاربرد مشعل

۴-۱- دسته بندی مشعل ها از لحاظ علمی

مشعل های انتشاری یا نفوذی، مشعل های اتمسفریک، مشعل های دمشی، مشعل های مخلوط ماشینی

۴-۲- دسته بندی مشعل ها از لحاظ تجاری - کاربردی

مشعل های Low Velocity، Medium Velocity، High Velocity، Flat Flame، Radiant Tube، blue flame و Flameless، Swirl، Wide Flame، Variable flame، Regenerative، Recuperative

۴-۲-۱- مشعلهای Low Velocity

مشعل های Low Velocity به مشعلهایی گفته می شود که سرعت سیال خروجی از دهانه مشعل حداکثر 20m/Sec است. این مشعلها معمولاً برای محفظه های احتراق زیر 600°C بکار میروند (از جمله دیگهای آبگرم و بخار). متأسفانه مشاهده شده است که برخی صنایع برای صرفه جویی در هزینه، این مشعل ها را بر روی کوره های صنعتی که با درجه حرارت بالا کار می کنند نصب کرده اند. این عمل موجب عوارضی نظیر آسیب دیدن سر مشعل و شعله پخش کن گردیده که در نهایت سبب بهم ریختن وضع شعله از نظر شکل و کیفیت احتراق می گردد. ضمن اینکه سیال این مشعل از سرعت لازم برای بکارگیری در

کوره های صنعتی برخوردار نبوده و موجب کاهش در سرعت انتقال حرارت و یکنواختی درجه حرارت می گردد و فشار محفظه احتراق موجب افت شدید در ظرفیت مشعل می گردد. (چون فشار هوای احتراق مشعلهای سرعت پائین معمولاً کم است).

۴-۲-۲- مشعلهای Medium Velocity

مشعلهایی هستند که سرعت سیال خروجی از دهانه مشعل حداکثر 40m/Sec است. این مشعلها معمولاً در کوره های ذوب، کوره های پیشگرم فولاد، کوره های تولید هوای گرم بکار می روند. یکی از اشکالات بکارگیری این مشعل در ایران، بکارگیری آن با فشار هوای کمتر است؛ که موجب کاهش سرعت سیال و تبدیل مشعل به مشعل سرعت پائین می گردد. در مواردی هم این مشعل جایگزین مشعلهای سرعت بالا می شود که در نهایت موجب عدم یکنواختی در حرارت دهی می گردد.

۴-۲-۳- مشعلهای High Velocity

این مشعلها، مشعلهایی هستند که خروجی محصولات احتراق از دهانه مشعل از 70 تا 230 متر بر ثانیه است. سرعت سیال برای ایجاد یکنواختی در کوره های صنعتی بکار گرفته میشوند؛ چون مانع از ایستایی محصولات احتراق در کوره میگردند. کاربرد عمده این مشعل در کوره های عملیات حرارتی، کوره های شاتل و... است که روز به روز بر کاربرد این مشعل افزوده می شود. مشعل های High Velocity خیلی کم در کوره های ایران بکار گرفته می شوند. در موارد محدودی که بکار گرفته شده اند، به دلیل چیدمان نامناسب، از ویژگی آن که همانا ایجاد سیال یکنواخت است، بهره گرفته نشده است.

۴-۲-۴- مشعلهای شعله مسطح Flat Flame

مشعلهایی هستند که شعله آن به جای حرکت رو به جلو و مخروطی بودن؛ حرکت رو به دیواره (کوره) دارد و بصورت یک دیسک دایره ای شکل است. سیال حرکت رو به جلو ندارد و انرژی حرارتی شعله، از طریق جابجایی، به دیواره داخلی کوره و از دیواره، بصورت تشعشعی به مواد منتقل می شود (برای ایجاد یکنواختی و عدم تمرکز). کاربرد این مشعل در گرم کردن وان های گالوانیزه، کوره های عملیات حرارتی و در مواردی جایگزین المنت ها در کوره هایی که از طریق المنت های برقی گرم می شوند، می گردد. (چون در بسیاری از موارد استفاده از کوره های با المنت های برقی، فقط برای ایجاد یکنواختی بهتر است نه مضر بودن محصولات احتراق برای مواد حرارت گیرنده در فرآیند)، کوره های پیشگرم فولاد (بخصوص در بخش یکنواخت کننده حرارت)، کوره های پخت آجر نسوز. بکارگیری مشعلهای شعله مسطح در گرم کردن وان های گالوانیزه در ایران در حال گسترش است؛ ولی متأسفانه از بکارگیری آن در کوره های عملیات حرارتی، کوره های شاتل و حتی جایگزینی برای المنت های برقی چندان خبری نیست در حالیکه با بکارگیری این مشعل (بخصوص در کوره های کوچک و اصطلاحاً Box Furnace). ضمن بالا رفتن کیفیت تولید، بخاطر ایجاد یکنواختی، صرفه جویی قابل ملاحظه ای در مصرف سوخت صورت میگیرد.

۴-۲-۵- مشعلهای Radiant Tube

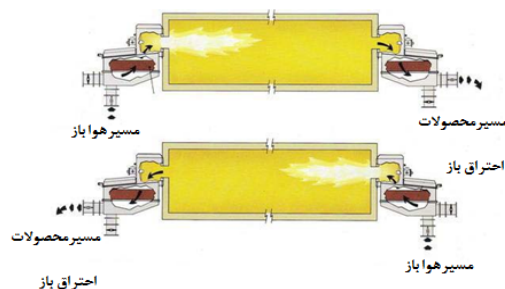
شعله این نوع از مشعل طوریست که می تواند در داخل یک لوله قرار گیرد و بدون آنکه شعله، برخورد مستقیم و متمرکزی با لوله داشته باشد، لوله را بطور یکنواخت گرم کند. این مشعل در کوره هایی بکار میرود که محصول احتراق برای مواد حرارت گیرنده مضر است. نوع Recuperative این مشعل در حال حاضر برای کوره های تا 1300°C استفاده می شود. در ایران بکارگیری مشعلهای Radiant-Tube بسیار محدود است و در مواردی که توسط تیمهای داخلی با استفاده از مشعلهای Radiant-Tube کار شده، از رکوپراتور استفاده نشده که در نهایت موجب مصرف بالای سوخت گردیده است (برای مثال در یک کوره عملیات حرارتی که نقطه تنظیم درجه حرارت بر روی 950°C است، محصولات احتراق با 1160°C وارد دودکش می شوند)، در کوره های ذوب (بخصوص ذوب سرب و روی) و کوره های نگهدارنده مذاب آلومینیم.

۴-۲-۶- مشعل های Recuperative

مشعل های Recuperative به مشعلهایی گفته می شود که در مشعل مسیری برای خروج محصولات احتراق منظور می شود . مسیر طوری طراحی و ساخته میشود که محصولات احتراق خروجی بتواند هوای ورودی (هوای احتراق) را گرم کند.

۴-۲-۷- مشعل های Regenerative

این مشعلها بصورت جفت ، جفت با هم در مدار هستند یکی مشعل و دیگری نقش دودکش را دارد. در بدنه این مشعلها بستری معمولاً از اجناس سرامیکی تعبیه شده که محصولات احتراق می توانند از آن عبور کرده (زمانیکه مشعل نقش دودکش را پیدا می کند) و انرژی خود را تا حد قابل ملاحظه ای از دست می دهد در مرحله بعدی که به مشعل تبدیل شده و عبور محصولات احتراق از آن قطع می شود ، هوای احتراق از بسترسرامیکی عبور کرده و انرژی ذخیره شده در آن را جذب می نماید.



شکل ۱: برشی از یک کوره به همراه مشعل Regenerative

در این نوع از مشعلها هوای احتراق تا 1300°C می تواند گرم شود. در ایران به دلیل بالا بودن قیمت این نوع از مشعلها و ارزان بودن سوخت تاکنون از این مشعلها استفاده نشده است .

۴-۲-۸- مشعلهای Variable flame

مشعلهای شعله متغیر از خانواده مشعلهای - Mixing Nozzle هستند و در این نوع از مشعلها معمولاً گاز یا هوا از مسیرهای چرخشی و خطی عبور کرده و با جابجایی میزان گاز و هوا از هریک از مسیرها ، به شعله شکلهای متفاوتی داده می شود تا شعله ضمن گرفتن شکل هماهنگ با محفظه احتراق، پروفایل متفاوتی در حرارت دهی به محفظه احتراق برای جوابگویی به نیاز فرآیند صورت گیرد .یکی از مهمترین مشعلهای شعله متغیر ، مشعلهای Register – type می باشند .یکی از ویژگی های مهم این نوع مشعل ، امکان پایین آوردن NO_x با جهت دهی مناسب به هوا (یا گاز) می باشد. بیشترین کاربرد مشعلهای شعله متغیر در ایران ، بر روی دیگهای Water-Tube (به خصوص دیگهای نیروگاهی) است که در مواردی زیاد به دلیل عدم آشنایی با نقش عوامل شکلهای به شعله و تاثیر گذاری آن و یا آسیب دیدن این مکانیزمها به شکل مناسبی بکارگرفته نمی شوند؛ بخصوص در زمان تعویض سوخت که لزوم تنظیم مجدد شعله را طلب می نماید.

۴-۲-۹- مشعلهای Wide Flame

مشعلهایی هستند که معمولاً باید در محفظه ای محدود ، واکنش احتراق آنها تکمیل شود. قطر شعله این مشعلها خیلی زیاد و طول شعله خیلی کوتاه است بعنوان مثال یک مشعل به ظرفیت اسمی ۱۷۰۰۰۰ کیلوکالری در ساعت دارای قطری حدود ۲۵۰ سانتیمتر و طولی حدود ۳۰۰ سانتیمتر می باشد. این نوع از مشعلها معمولاً برای تولید هوای گرم (در کوره های تولید هوای داغ) استفاده می شوند .

مشعلهای Swirl

۴-۲-۱۰

این مشعلها برای تولید شعله با کمترین میزان (ممکن) آلاینده No_x است. ضمن اینکه به دلیل فاصله شعله آن از سرمشعل، موجب حذف فرسودگی سرمشعل بر اثر حرارت زیاد می گردد. تولید این مشعلها و کاربرد آن هنوز به گستردگی دیگر مشعلها نیست و می توان گفت که تاکنون از مرحله تحقیق بطور کامل خارج نشده است.

مشعلهای بدون شعله Flameless

۴-۲-۱۱

همانطوریکه از اسم آن مشخص است، به شکل مرسوم شعله ای ندارد و موجب واکنش احتراق در کل محفظه می گردد. این مشعل جهت ایجاد یکنواختی بسیار خوب در محفظه احتراق و کاهش تمرکز نقاط با دمای بالا (در شعله) و کاهش آلاینده ای نظیر No_x طراحی و ساخته شده است. ضمن اینکه سرمشعل تا حد زیادی از آسیب دیدگی در مقابل دمای بالا محافظت می شود. در مورد این مشعل هم می توان گفت که هنوز از مرحله تحقیق بطور کامل خارج نشده است.

مشعل شعله آبی (با سوخت مایع)

۴-۲-۱۲

این مشعل برای ایجاد شعله ای با سوخت مایع است (بخصوص گازوئیل) که قابلیت بکارگیری در دیگهای Condensing را داشته باشد طراحی و ساخته شده است. از ویژگیهای برتر این مشعل تولید No_x خیلی پائین و جذب آلاینده های چربی مانند، که بر سطح داخلی دودکش رسوب می کند است. یکی از روش ها برای کاهش No_x در مشعلهای کوچک گازوئیل سوز (مشعل های Package) طراحی و ساخت مشعلهای Blue Flame (شعله آبی) است. برگشت محصولات احتراق در این مشعل موجب بخار شدن سریع (تبدیل شدن به گاز) و تشکیل شعله آبی و کاهش No_x می گردد.

۵- مشعلهای شعله شاخه ای

مشعلهای شعله شاخه ای برای افزایش انتقال حرارت تشعشعی از شعله به محفظه احتراق که از جمله موجب کاهش No_x می گردد، طراحی و ساخته شده اند. در سالهای اخیر، کاربرد این مشعل در دیگهای نیروگاهی هم افزایش چشمگیری داشته است (بخصوص دیگهایی که برای استفاده از سوختهای مایع طراحی شده اند و با گازسوز شدن، بدلیل کاهش تشعشع، از کارایی آنها کاسته شده است).

۶- مشعلهای Low No_x

این مشعلها با مرحله ای کردن هوای احتراق، باعث کاهش No_x می شوند و بدین علت به مشعل های فوق، مشعل های Low No_x گفته می شود. No_x گازی خطرناک است؛ گازی سرطان زا و یکی از عوامل مهم در تشکیل بارانهای اسیدی، که در جهان امروز در حال گسترش است. این گاز عمدتاً محصول واکنش نیتروژن موجود در هوای احتراق با اکسیژن در درجه حرارتهای بالای شعله می باشد. برای کاهش گازهای اکسید نیتروژن که به دلیل ترکیب متفاوتی از اکسیژن و نیتروژن No_x گفته می شود، سعی می شود که از آزادسازی انرژی حرارتی ناشی از واکنش احتراق در فضای کوچک جلوگیری شود و واکنش و آزاد شدن انرژی در چند مرحله صورت گیرد. ضمن اینکه امکان جذب سریع انرژی حرارتی در هر مرحله بوجود آید. مهمترین روش برای کاهش درجه حرارت شعله و در نهایت کاهش No_x مرحله ای کردن احتراق و شاخه ای کردن شعله (برای افزایش سطح شعله جهت انتقال سریع حرارت از شعله) می باشد. لازم است در اینجا اشاره ای به برگشت دادن بخشی از محصولات احتراق از طریق هوای احتراق برای کاهش درجه حرارت شعله شود. هوای دور نازل بعنوان هوای اولیه، هوای شعله پخش کن وسط بعنوان هوای ثانویه، هوای شعله پخش کن کنار بعنوان هوای ثالثیه می باشد.

۷- مقایسه شعله سوخت گازی و شعله سوخت مایع

۷-۱- بافت شعله

شعله سوخت مایع، استحکام و شکل ثابتی دارد و شعله سوخت گاز تا حدی بدون استحکام است. (تفاوت این دو نوع شعله را در مشعلهای کوره های دوار سیمان می توان به وضوح دید).

۷-۲- دامنه تنظیم^۱:

در مشعلهای مازوت سوز (گازوئیل سوز حدود 6:1)، در مشعلهای گازسوز 10:1 (حتی در موارد معدودی 50:1) (دامنه تنظیم برای کوره هایی که منحنی حرارتی دارند و باید از دمای خیلی پائین گرم شوند، تاثیر گذار است).

۷-۳- رنگ شعله

شعله سوخت مایع شدیداً تشعشعی است و حدود ۶۵ درصد انرژی انتقالی از شعله در محفظه احتراق بصورت تشعشعی است در حالیکه این مورد برای شعله گاز حدود ۳۰ درصد است.

این دو ویژگی دو اثر مهم دارد:

- انرژی حرارتی تشعشعی باعث می شود که شعله سوخت مایع انرژی بیشتری را در محفظه احتراق از دست بدهد و درجه حرارت محصولات خروجی کمتر شود.
- تشعشع بالای شعله، در برخی از کوره ها ایجاد مزاحمت می کند و برای اینکه قطعات نزدیک به شعله سریع گرم نشوند، شعله مخفی می شود (با ایجاد مثلاً دیواره).

۸- تکنولوژی های نو در مشعل های امروزی

با استفاده از تکنولوژی های جدید در مشعل، ضمن افزایش راندمان از طریق کاهش میزان هوای اضافی به میزان ۵ درصد (درعین کاهش آلاینده ها) توانسته اند حرارت ساز را به میزان قابل ملاحظه کوچک نمود و در دیگهای خانگی با جذب حداکثر انرژی حرارتی محصولات احتراق، دمای محصولات احتراق ورودی به دودکش را به ۶۰ درجه سانتیگراد برسانند.

تکنولوژی های نو در مشعل، در چارچوب زیر ارزیابی می شوند:

۱- کیفیت احتراق

۲- بافت شعله برای انتقال حرارت بهتر

برای بحث در مورد تکنولوژی های نو در مشعل، بهتر است آنها را در چارچوب گرماساز تقسیم نمائیم. مثلاً: مشعلهای دیگ و مشعلهای کوره (یا مشعلهای فرآیندی)

۸-۱- کیفیت احتراق در مشعلهای دیگ

برای مشعلهای دیگ، منظور از کیفیت احتراق، احتراقی کامل با حداقل آلاینده هاست. برای مثال در این احتراق میزان CO باید زیر ۱۰۰ ppm و میزان NO_x زیر ۹۰ ppm باشد. در عین حال، حداکثر هوای اضافی برای گاز نباید بیش از ۲۰ درصد، برای سوختهای مایع، بیشتر از ۳۰ درصد و برای سوختهای جامد بیشتر از ۵۰ درصد باشد. براساس محدوده بالا در تکنولوژی های روز دنیا در حال حاضر؛ حداکثر هوای اضافه به زیر ۵ درصد رسیده است. در مورد آلاینده NO_x هم در تکنولوژیهای روز دنیا برای دیگ به زیر 10PPM رسیده اند. در حالیکه مشعلهای تولید داخل در محدوده مناسبی برای هوای اضافی قرار ندارند و در بهترین حالت برای گاز، زیر ۳۰ درصد هستند.

^۱نسبت حداکثر ظرفیت مشعل به حداقل ظرفیت آن

۸-۲- بافت شعله برای انتقال حرارت بهتر

طراحی مشعلهای تکنولوژیک برای دیگ به این سمت می رود که بتوان در محفظه احتراق حداکثر انتقال حرارت را داشت. در عین حال انتقال حرارت به محفظه احتراق بطور یکنواخت باشد و تمرکز حرارتی در محفظه احتراق دیگ بوجود نیارد. در حال حاضر بهترین راه برای انتقال حرارت حداکثری و یکنواخت برای دیگ های کوچک، انتقال حرارت بصورت تشعشعی تشخیص داده شده است. برای رسیدن به این نوع انتقال حرارت، سطح شعله را افزایش می دهند. عمدتاً سطح شعله از طریق شاخه ای کردن شعله افزایش می یابد.

۸-۳- کیفیت احتراق در مشعلهای کوره

در مشعلهای کوره ها، بحث کیفیت احتراق به دو شکل زیر مورد بررسی قرار می گیرد.

۸-۳-۱- کیفیت احتراق به شکل طبیعی

در این صورت، کیفیت احتراق، دقیقاً در چارچوب کیفیت احتراق در دیگ مورد بحث قرار می گیرد و سعی در بدست آوردن احتراقی کامل با حداقل هوای اضافی و حداقل آلاینده هاست.

۸-۳-۲- کیفیت احتراق هماهنگ با فرایند

در بسیاری از موارد؛ داشتن کیفیت احتراق هماهنگ با فرایند، نمی تواند بهترین و کاملترین احتراق باشد. مثلاً در کوره ای که نیاز به محیطی شدیداً احیایی است (مثلاً بخش پخت لعاب کوره های تونلی کاشی و سرامیک و...) باید واکنش احتراق با هوای کمتری صورت گیرد و محصولات احتراق شامل میزان قابل ملاحظه ای منوکسید کربن و هیدروژن باشد. (البته برای کاهش آلاینده ها، محصولات احتراق قبل از ورود به دودکش باید کاملاً سوخته شوند). مثلاً در کوره های شیشه، برای حفاظت از آجرهای نسوز، باید محفظه احتراق کاملاً اکسیدی باشد و احتراق با هوای اضافی قابل ملاحظه ای صورت گیرد. در محیط های خنثی نیز سعی می شود که در محدوده واکنش استوکیومتری عمل شود (که تا حدی آلاینده ها بیشتر از حد استاندارد هستند).

۸-۴- بافت شعله برای انتقال حرارت بهتر

در این بخش می توان علاوه بر بافت شعله برای انتقال حرارت بیشتر، به بافت مشعل برای انتقال حرارت بیشتر (و یا جذب انرژی حرارتی بیشتر) هم اشاره کرد. روش عمده انتقال حرارت در کوره های صنعتی، انتقال حرارت به روش جابجایی و انتقال حرارت به روش تشعشعی است. در قسمت های قبل مشعلهای مدرنی که انتقال حرارت آنها به روش جابجایی بود و عنوان مشعلهای تجاری برای آنها منظور شد را معرفی کردیم؛ در ادامه معرفی آنها، مشعلهایی که انتقال حرارت آنها به روش تشعشعی است پرداخته می شود.

۹- مشعل پیش مخلوط تشعشعی

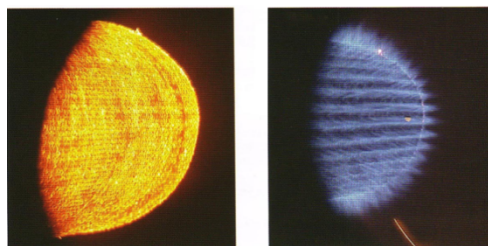
این مشعل که مشعلی پیش مخلوط گازسوز است، به جای شعله روبه جلو، دارای شعله ای جانبی و به تعداد بسیار زیاد است (و یا شعله ای به تعداد بسیار زیاد و طول خیلی کم) این شعله به دلیل سطح بسیار زیادی که دارد، موجب افزایش تشعشع از شعله به میزان قابل ملاحظه می گردد که در نهایت باعث می شود شعله بخش اعظم انرژی خود را در محفظه احتراق از دست

بدهد، ضمن اینکه به دلیل سرد شدن سریع شعله، NO_x آن بسیار پائین است. با هوای اضافی بسیار کم؛ آلاینده ای نظیر منوکسید کربن آن هم می تواند بسیار کم باشد.

۱۰- مزایای مشعلهای مدرن

۱۰-۱- یکنواختی در انتقال حرارت به دیگ

با حذف شعله رو به جلو و افزایش سطح شعله از طریق ایجاد هزاران شعله کوچک عملاً روش انتقال حرارت از جابجایی به تشعشعی (بطور عمده) تبدیل شده و ضمن کاهش فضای مورد نیاز شعله که خود موجب کاهش ابعاد محفظه احتراق میگردد، با انتقال حرارت از طریق تشعشع، یکنواختی مناسبی در انتقال حرارت بوجود می آورد. با کوتاه شدن شعله، خطر برخورد آن با دیگ کمتر شده و امکان نزدیکی سطح انتقال حرارت به شعله و بالا بردن سرعت انتقال حرارت از طریق کاهش فاصله بوجود می آید.



شعله حداقل

شعله حداکثر

شکل ۲

۱۰-۲- افزایش دامنه تنظیم

نسبت حداکثر ظرفیت مشعل پیشرفته به حداقل ظرفیت آن بسیار وسیعتر از مشعلهای سنتی است. در مشعلهای سنتی این نسبت در حد ۳ به ۱ است (در مشعلهای گازوئیل سوز این محدوده کمتر هم می باشد) ولی در مشعلهای جدید این محدوده به حدود ۲۰ به ۱ رسیده است (نباید فراموش کرد که برخی اقدامات برای افزایش دامنهنظیم در مشعلهای سنتی نیز صورت گرفته که بالاترین مورد مدون مشعلی از شرکت North American آمریکا است که این دامنه را به ۵۰ به ۱ رسانده است، افزایش دامنه تنظیم موجب عدم نیاز به خاموش کردن مشعل (حتی در فصل گرم) میگردد چون میتوان در صورت گرم شدن مثلاً آب و رسیدن آن به درجه حرارت مورد نیاز، حجم شعله را در حدی پائین آورد که افزایش درجه حرارت متوقف گردد. با عدم نیاز به خاموش کردن مشعل عملاً پیش پاکسازی و عوارض مربوطه به آن (شوگ حرارتی و اتلاف انرژی حرارتی) از بین رفته، ضمن اینکه دیگهایی که این نوع مشعل در آن بکار میرود عملاً تحت فشار جزئی طراحی می شوند تا جلوی نفوذ هوا از منافذ گرفته شود.

۱۰-۳- کاهش هوای اضافی و آلاینده های زیست محیطی

به دلیل اختلاط مناسب گاز و هوا قبل از رسیدن به سر مشعل، نیاز چندانی به هوای اضافی زیاد برای احتراق کامل در این نوع از مشعلها نبوده و میزان هوای اضافی در این مشعل حدود ۵ درصد است. با کاهش هوای اضافی، اتلاف انرژی حرارتی ناشی از آن نیز کم می شود. علی رغم اینکه هوای اضافه در این مشعلها به میزان قابل ملاحظه ای کاهش یافته ولی موجب آن نگردیده که میزان منوکسید کربن بالا رود؛ بلکه به دلیل اختلاط بسیار خوب گاز و هوای احتراق، عملاً میزان منوکسید کربن فوق العاده کاهش یافته و در محدوده مناسبی می باشد. به دلیل افزایش سطح شعله و بالا رفتن انتقال حرارت تشعشعی آن، درجه حرارت شعله پایین آمده و موجب کاهش قابل ملاحظه NO_x میگردد.

۱۰-۴- پایدار بودن تنظیم اولیه

وسیله کنترل کننده نسبت گاز به هوا در این مشعلها طوری ساخته شده اند که هرگونه تغییر در میزان هوا موجب تغییر یکسان در میزان گاز میگردد که در نهایت، نسبت گاز به هوا در هرشرایطی حفظ میگردد. البته این قابلیت با توجه به نزدیکی فشار هوا و گاز در این مشعلها بوجود آمده است. بنابراین برخلاف مشعلهای سنتی که در موقع نصب و یا تعویض محل نصب، تنظیم اولیه آن بهم می خورد، مشعلهای جدید در نصب، وضعیت اولیه خود را حفظ کرده و شرایط محفظه احتراق در کیفیت احتراق اثر چندانی ندارد.

۱۰-۵- کاهش ابعاد و وزن دیگ

با تغییر در بافت و ابعاد شعله؛ حذف شعله های رو به جلو؛ کاهش فضای مورد نیاز برای شعله، عمده شدن انتقال حرارت به روش تشعشعی، امکان کاهش قابل ملاحظه ابعاد دیگ را بوجود آورده است. حجم و وزن دیگهای کوچک جدید به کمتر از ۲۵٪ دیگ های سنتی رسیده است.

۱۰-۶- ایجاد شعله با صدای خیلی کم

علی رغم اینکه شعله مشعلهای پیش مخلوط به دلیل ایجاد واکنش سریع می تواند پرمدا باشد؛ به دلیل تقسیم شعله به شعله های بسیار کوچک و جدا از هم؛ صدای شعله مشعل خیلی کم است.

۱۱- ساخت مشعلهای مدرن

ساخت این مشعلها؛ چنانچه شروع آن بر اساس روند پیشنهادی باشد؛ چندان پیچیده نخواهد بود. برای ساخت مشعلهای پیشرفته، قطعات آن باید به دقت مورد بررسی قرار گیرند، قطعات اصلی مشعل پیشرفته: دمنده هوا، مخلوط کننده گاز و هوا، شیرهای قطع ایمن، سیستم مراقبت از شعله و سر مشعل

۱۲- صرفه جویی انرژی در مشعلهای سنتی و مشعلهای با تکنولوژی هوای اضافه کم

۱۲-۱- احتراق و هوای اضافه

اصولاً احتراق به عنوان یک واکنش بین اکسیژن و هیدروکربن های سوخت می باشد که در اثر آن محصولات احتراق (اکسید های کربن، بخار آب و اکسیدهای نیتروژن) گرما تولید میشود. به صورت تئوریک ثابت می شود که برای احتراق یک متر مکعب گاز طبیعی به حدود 10 m^3 هوا نیاز خواهیم داشت [۲].

۱۲-۲- میزان هوای لازم

با توجه به اینکه ۲۰/۹٪ حجم هوا را اکسیژن تشکیل می دهد خواهیم داشت:

$$1.99 \left(\frac{100}{20.9} \right) = 9.52 \approx 10 \text{ m}^3$$

اما در عمل و به منظور اطمینان کامل از احتراق، همواره مقداری هوا، مازاد بر میزان هوای تئوری مورد استفاده قرار می گیرد. میزان نسبت هوای اضافی به هوای تئوری را Excess air می نامند.

$$\lambda (\text{Excess air}) = \frac{\text{میزان هوای اضافی}}{\text{میزان هوای تئوری}}$$

تعیین دقیق میزان هوای اضافه به عوامل گوناگون وابسته است به نحوی که میزان هوای احتراق باید به گونه ای تنظیم شود که ضمن به حداقل رساندن تلفات حرارتی ناشی از گازهای داغ خروجی از دودکش، بالاترین میزان CO_2 و کمترین میزان CO را دارا باشد.

۱۲-۳- راندمان احتراق و تأثیر هوای اضافه بر آن

برای هر سیستم احتراق (شامل دیگ و مشعل) حداکثر راندمان احتراق هنگامی حاصل می شود که احتراق با کمترین حد ممکن هوای اضافه صورت گیرد .

۱۲-۴- اتلاف حرارتی

مهمترین جزء اتلافات حرارتی ، اتلاف حرارتی از دودکش می باشد . تلفات حرارتی دودکش خود به دو دسته تقسیم می گردد :

(۱) اتلاف حرارت ، ناشی از خروج حرارت توسط بخار آب

(۲) اتلاف حرارت ، ناشی از خروج حرارت توسط محصولات احتراق خشک

به صورت متوسط در بهترین شرایط عملکرد دیگ و مشعل (دیگهای سنتی و مشعلهای مخلوط سرنازل) ، حدود ۱۹٪ انرژی حرارتی توسط گازهای دودکش تلف می شود که از این میان حدود ۱۱٪ مربوط به تلفات خروج حرارت توسط بخار آب و حدود ۸٪ مربوط به تلفات خروج حرارت توسط محصولات احتراق خشک می باشد. لذا با توجه به عوامل توضیح داده شده واضح است که هر قدر میزان هوای اضافه برای احتراق کامل بتواند به حد تئوری نزدیک شود، از میزان افت حرارتی دودکش کاسته شده و در نتیجه به میزان حرارت مفید مورد استفاده افزوده خواهد شد.

۱۳- آنالیز احتراق در مشعل های سنتی و مشعل های با تکنولوژی هوای اضافه کم

با توجه به نتایج آنالیزهای احتراق در این نوع مشعلها ، احتراق کامل در بالاترین ظرفیت حرارتی ، معمولاً با هوای اضافه بین ۱۴٪ الی ۲۰٪ امکان پذیر می باشد . در این شرایط که معمولاً درجه حرارت دودکش حدود $200^{\circ}C$ می باشد، به صورت متوسط حدود ۲۰٪ انرژی حرارتی از طریق دودکش تلف می شود. در مشعل با تکنولوژی هوای اضافه کم عملاً با پیش مخلوط نسبی گاز و هوا^۱ از یک طرف نیاز به هوای اضافه کاهش می یابد به نحوی که عملاً ظرفیت حرارتی حداکثر در محدوده هوای اضافه بین ۴٪ الی ۸٪ محقق می گردد و از طرف دیگر به دلیل تشکیل شعله های شاخه ای و افزایش سطح شعله (به دلیل تشکیل جبهه های شعله مجزا) میزان انتقال حرارت تشعشعی در محفظه احتراق افزایش یافته و در نتیجه محصولات احتراق در خروجی با دمای کمتری خارج خواهند شد. مجموع عوامل فوق باعث کاهش ۱٪ الی ۳٪ در تلفات دودکش می گردد.

۱۳-۱- نتیجه آزمون مشعل مخلوط سرنازل در ظرفیت حداکثر

```

Fuel: Naturalgas
  2.64      % Oxygen
   3      ppm CO
 10.41     % CO2
  47      ppm NO
  1.4      ppm NO2
445.6     °C Flue temp.
  48      ppm NOx
  -1      ppm SO2
   8      ppm H2
-----
  79.8     ppm CxHy
  72.5     % EffH
  0.0000   % EffG
  30.3     % Rati
  33.7     °C Amb. temp.
  0.93     °C Device temp.
  3.0      1/m Pump flow
 11.9     % Q2ref
 14.4     % CO2max
          % CO2max air

```

شکل ۳: نتیجه آزمون مشعل مخلوط سر نازل در ظرفیت حداکثر در Test bench مطابق استاندارد ملی ISIRI 7595 و استاندارد [EN676]

۱۳-۲- نتیجه آزمون مشعل با تکنولوژی هوای اضافه کم در ظرفیت حداکثر

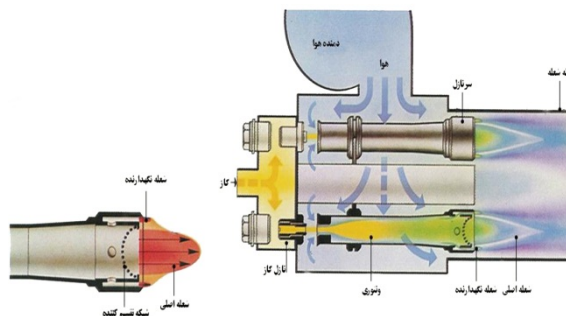
```

Fuel: Naturalgas
  0.77      % Oxygen
   40      ppm CO
  11.47     % CO2
   44      ppm NO
   3.2      ppm NO2
  545.5     °C Flue temp.
   47      ppm NOx
   -0      ppm SO2
   10      ppm H2
-----    ppm CxHy
  76.7     % EffN
  69.7     % EffG
0.0003     Rati
  27.4     °C Amb. temp.
  30.3     °C Device temp.
  0.94     1/m Pump flow
   3.0     % O2ref
  11.9     % CO2max
   3.8     % Excess air

```

شکل ۴: نتیجه آزمون مشعل با تکنولوژی هوای اضافه کم در ظرفیت حداکثر در Test bench مطابق استاندارد ملی ISIRI 7595 و استاندارد EN676 [۳]

۱۴- اصول عملکرد مشعل با تکنولوژی هوای اضافه کم



شکل ۵: مشعل با تکنولوژی هوای اضافه کم

همانگونه که در شکل نشان داده شده است ، گاز با عبور از نازل های تعبیه شده در ورودی و نتوری و در طی عبور از ونتوری با هوا کاملاً مخلوط می شود . در منطقه سر نازل با توجه به عملکرد شبکه تقسیم کننده ، پروفیل شعله شکل می گیرد و به دلیل وجود این شبکه از برگشت شعله و به دلیل وجود شعله نگهدارنده از پرش شعله جلوگیری می گردد و مشعل در دامنه تنظیماز عملکرد مطمئنی برخوردار میگردد. با توجه به نحوه اختلاط گاز و هوا ، صدای ناشی از عملکرد مشعل در حد مطلوب 64-67 db می باشد که در مقایسه با مشعلهای مخلوط سر نازل (که حدود 75-72 db میباشد) از کاهش قابل ملاحظه ای برخوردار است که خود به عنوان مزیت نسبی دیگر این مشعل شناخته می شود.

۱۴-۱- میزان صرفه جویی سالیانه یک مشعل گازی با تکنولوژی هوای اضافه کم

با توجه به اینکه اکثراً ، مشعلهای خانگی در محدوده 100,000 kcal/h عمل می نمایند و هر مشعل در این محدوده حدود 12 m³/h گاز طبیعی مصرف می نماید، اگر حداقل ۱٪ از اتلاف حرارتی به روش توضیح داده شده جلوگیری گردد، یک مشعل با ظرفیت فوق حداقل حدود 219 m³ در سال و در نهایت در کل کشور حدود 21,900,000 m³/year صرفه جویی در مصرف گاز را به دنبال خواهد داشت. بدست آوردن میزان واقعی صرفه جویی سالانه با حدود ۱٪ کاهش از میزان افت دودکش نیازمند در دست داشتن آمار و اطلاعات لازم از ساعات متوسط عملکرد مشعل در سیستم گرمایشی و نیز تعداد مشعل های موجود در کشور می باشد . لذا پیش فرض های زیر به عنوان حداقل در نظر گرفته می شود :

حداقل میانگین روزانه ساعات عملکرد یک مشعل 100,000 kcal/h در سال در سیستم گرمایشی (آب گرم + رادیاتور) :
5 h

حداقل تعداد مشعلهای موجود در کشور در محدوده حرارتی 100,000 kcal/h : 100,000

مصرف گاز طبیعی یک مشعل : 12 m³/h

ساعات کارکرد یک مشعل در سال : 5×365=1825

میزان گاز مصرفی یک مشعل در سال : 1825×12=21900 m³

میزان صرفه جویی سالیانه یک مشعل گازی با تکنولوژی هوای اضافه کم : 21900×1%=219 m³/burner

میزان صرفه جویی سالیانه گاز در کشور در مشعلهای 100,000 kcal/h : 219×100,000=21,900,000 m³

۱۵- نتیجه گیری

با توجه به موارد مطرح شده و به دلیل عیان بودن مشکلات ، به شکلی که مورد قبول کارشناسان این رشته می باشد ، امیدواریم که متخصصان ذیربط و سازمان های مربوطه ، دست بدست هم داده ، ضمن ارتقاء کیفیت مشعلهای تولید داخل که پائین بودن کیفیت آنها حتی مورد قبول خودتولید کنندگان داخلی است ، تا حدی از میزان مصرف سوخت با وضع فاجعه بار کنونی بکاهیم . (قابلذکر است که بر اساس برخی فعالیتهای توسط کارشناسان مرتبط به کمیته استاندارد مشعل ویکی از تولید کنندگان مشعل ، اقداماتی هر چند جزئی ولی با اهمیت ، شروع شده که امیدواریم تداوم یابد) . کشور ما با توجه به داشتن کارشناسان و متخصصان مجرب در این زمینه پتانسیل این امر مهم را دارد ولی این امر مهم در زمینه انرژی و صنعت به تنهایی کاری پیش نخواهد برد ؛ بلکه توجه خاص مسئولان مربوطه را نیاز دارد تا با حمایت های مالی و معنوی خود بتوانند این متخصصان و محققان را در کشور حمایت کنند تا با توکل به خدا و تلاش آنان، کشور گام های محکمی در راستای این مهم بردارد .

[۱] نشریه مدیریت بهینه سازی مصرف سوخت در ساختمان

[۲] Industrial heating / بخش ۲ / صفحه ۳۹

[۳] آزمایشگاه احتراق گروه صنعتی ایران رادیاتور

[۴] در تهیه اینمقاله از کاتالوگ شرکت های زیر استفاده شده است :

Joannes
Herman
Weisman
Dreizler
Bray
Aeromatic
Riello
Nst
Jiannoni

[۵] گزارش گروه صنعتی ایران رادیاتور، شرکت مشعل کار