

شبیه سازی عددی مشعل های نیروگاه شازند اراک جهت بهبود فرآیند احتراق در بویلر

سید مصطفی حسینعلی پور^۱ مصطفی باغشیخی^۲ امیر راجا^۳
محمدحسین برقی^۴ کاظم اسماعیل پور^۵ آروین بهروان^۶
محمود رحیمی^۷

^{۱،۳} مرکز انرژی، آب و محیط زیست دانشگاه علم و صنعت ایران

^{۲،۴،۵،۶} شرکت دانش بنیان به فرآوران نوین آریا سرد

^۷ کارشناس احتراق و مدیریت انرژی نیروگاه شازند

چکیده

نیروگاه شازند که به عنوان یکی از مهم ترین نیروگاه های کشور در منطقه مرکزی وظیفه ایجاد تعادل در شبکه سراسری برق جنوب و شمال کشور را بر عهده دارد، همواره با مشکلات فراوانی در زمینه احتراق خود روبرو بوده است. از مهم ترین این مشکلات می توان به سوختن مرتب نازل های گاز و استبیلایزهای مشعل در حالت کارکرد مازوت سوز، بالابودن NOx و SOx حاصل از احتراق در خروجی دودکش این نیروگاه و همچنین عدم تنظیم مناسب هوای تقسیم شده در مشعل آن اشاره نمود. تغییر میزان دبی در مسیر هوای اولیه، ثانویه و ثالثیه تاثیرات فراوانی بر دمای شعله، ساختار و شکل شعله دارد. در نیروگاه شازند، کنترل دبی هوا در بخش های مختلف مشعل به صورت دستی انجام می گیرد و به دلیل اینکه هیچ بازخورد کمی از فرآیند احتراق در کوره صورت نمی پذیرد، بنابراین، نمی توان انتظار داشت که تنظیم دستی و کیفی دمپرها منجر به ایجاد احتراقی بهینه در مشعل های بویلر نیروگاه شازند گردد.

در این مطالعه با بررسی شرایط موثر در عملکرد مشعل های نیروگاهی به خصوص پروژه های انجام شده در زمینه مشعل های نیروگاه شازند، به شبیه سازی عددی یکی از مشعل های این نیروگاه با استفاده از ابزار CFD پرداخته شده و تاثیر برخی عوامل موثر در کارکرد آن بررسی گردیده است. از مهم ترین نتایج استخراج شده در این مطالعه می توان به کاهش درجه حرارت لوله های گاز با زیاد شدن زاویه پره های هوای اولیه و افزایش دمای این لوله ها و میزان NOx تولیدی در حالت بسته شدن مسیر هوای ثالثیه اشاره نمود.

واژه های کلیدی: نیروگاه شازند، مشعل نیروگاهی، احتراق، شبیه سازی عددی

مذکور، در ذیل آورده شده است. نتایج به دست آمده از این پژوهش نشان داده است که با کاهش میزان دبی هوای اولیه، شعله تشکیل شده به مشعل نزدیک می‌شود که می‌تواند باعث ایجاد مشکلاتی چون سوختگی تجهیزات مشعل گردد. همچنین در صورت برگشت شعله در حد جزئی، منطقه‌ای از واتروال‌هایی که در مجاورت مشعل قرار گرفته دچار اورهیت شده و می‌سوزد. در صورت برگشت کامل شعله که بیشتر در مورد سوخت‌های مایع رخ می‌دهد، مشکلات مشعل تشدید شده و سوختگی شدیدی در نازل‌های گاز و استبیلایزر ایجاد می‌شود. شایان ذکر است که با توجه به پریودیک فرض نمودن جریان در مشعل و مدل‌سازی تنها از آن، اثر پدیده‌هایی که در هندسه کامل مشعل رخ می‌دهند (نظیر چرخش جریان و ...) در این پژوهش مورد بررسی قرار نگرفته است که این امر خطای زیادی در نتایج آن ایجاد می‌نماید.

در دیگر پژوهش صورت گرفته در حوزه مشعل نیروگاه شازند، شاهمنصوری به بهینه‌سازی هوای احتراق در بویلر نیروگاه شازند پرداخته است [۲]. در این مقاله سعی شده با کنترل هوا و سوخت، احتراق را از نظر تولید اجزائی چون CO، NOx، CO2 و O2 بهینه نماید. مهم‌ترین پارامترهایی که تغییرات آن‌ها در نتایج تست‌های ایشان منظور شده است عبارتند از: تغییر وضعیت دمپ‌های هوای اولیه از ۲۵٪ بازشدگی تا بازشدگی کامل، تغییر میزان هوای ورودی به مشعل‌ها، خارج کردن تعدادی از مشعل‌ها با توجه به میزان درصد اکسیژن در محصولات احتراق، استارت GR-Fan برای سوخت مازوت در یک مرحله از تست‌ها و نهایتاً بالانس کردن میزان درصد اکسیژن در دو طرف کوره با تنظیم هوای ورودی. ایشان در این پژوهش گزارش نمودند که در سوخت مازوت بهترین وضعیت تولید آلاینده‌ها با در سرویس آمدن GR-Fan و ۲۵٪ باز بودن دمپ‌های اولیه حاصل گردید. همچنین با توجه به شرایط کاری بویلر و بدون وجود GR-Fan بهترین وضعیت در حالت ۷۵٪ باز بودن دمپ‌های اولیه و میزان هوای حدود ۱/۶ درصد حاصل شد که با توجه به ایجاد هوای بیشتر جهت خنک‌کاری نازل‌های گاز در این حالت، وضعیت ۷۵٪ باز بودن دمپ‌های اولیه به عنوان نقطه بهینه انتخاب گردید. از طرفی در سوخت گاز بهترین شرایط در وضعیت ۲۵٪ باز بودن دمپ‌های اولیه حاصل شد. همچنین در سوخت گاز مشخص گردید که در بار ۳۰۰ مگاوات وجود ۲۲ مشعل گاز مناسب‌تر خواهد بود، لذا وضعیت ۲۵٪ باز بودن دمپ‌های اولیه با ۲۲ مشعل گاز در بار کامل به عنوان نقطه بهینه انتخاب گردید. در

همواره از بویلر به عنوان قلب تپنده یک نیروگاه یاد می‌شود و به نظر قلب تپنده یک بویلر نیز فرآیند احتراق و مشعل‌های آن می‌باشد. از این روست که عدم کارکرد مناسب مشعل‌ها و احتراق نامناسب در آن منجر به کاهش توان کل واحد و آسیب رسیدن به سایر المان‌های بویلر می‌تواند گردد. همچنین احتراق نامناسب در کوره می‌تواند منجر به تولید آلاینده خطرناکی نظیر CO، NOx، SOx و ... گردد که این امر لطمات جبران‌ناپذیری به محیط زیست منطقه وارد می‌آورد. در حوزه احتراق در مشعل‌های نیروگاهی، پژوهش‌های زیادی، هم بر روی بویلر نیروگاه شازند و هم بر روی بویلر سایر نیروگاه‌ها انجام شده است که در این بخش به پاره‌ای از این موارد و نتایج حاصل از آن‌ها اشاره می‌گردد.

یکی از مسائل مهم در مشعل‌های نیروگاه شازند، تنظیم مناسب دبی هوای احتراق در بخش‌های سه گانه مشعل و تقسیم آن در مسیرهای مختلف ورود هوا به درون کوره می‌باشد. عدم تنظیم مناسب هوای ورودی به مسیرهای مختلف مشعل (اولیه، ثانویه و ثالثیه) باعث ایجاد مشکلاتی در برخی از مشعل‌های این نیروگاه و در نتیجه ایجاد خسارت‌های قابل توجهی شده است. در یکی از پژوهش‌های صورت گرفته در مورد نیروگاه شازند، موسوی ترشیزی و همکاران به بررسی اثر هوای اولیه مشعل نیروگاه شازند بر شکل و محل شعله پرداخته‌اند [۱]. در این پژوهش با ابزار CFD و استفاده از نرم‌افزار FLUENT به بررسی نحوه تقسیم هوا و تاثیر آن بر عملکرد مشعل در حالت گازسوز پرداخته شده است. ایشان برای بررسی پدیده احتراق، از پیش‌پردازنده Pre-PDF استفاده کرده که این پیش‌پردازنده نیز از نرم‌افزار تحلیلی CHEMKIN برای تدوین معادلات احتراقی خود بهره می‌گیرد. در این پژوهش همچنین با در نظر گرفتن میزان ۸٪ هوای اضافی برای احتراق سوخت گازی، مدل تشعشعی PI، در نظر گرفتن احتراق به صورت غیر پیش‌آمیخته، زوایای نصب ۴۵ درجه برای پره‌های استبیلایزر و ... به مدل‌سازی فرآیند احتراق پرداخته شده است. در این مطالعه، تنها $\frac{1}{8}$ مشعل شبیه‌سازی شده که این مسئله امکان ایجاد خطا در نتایج را به وجود می‌آورد. دبی جرمی گذرنده از این بخش مشعل برابر با $2.93 \frac{Kg}{s}$ در نظر گرفته شده که به نسبت‌های مختلف بین مسیر هوای اولیه و ثانویه تقسیم می‌گردد (مسیر هوای ثالثیه بسته در نظر گرفته شده است). بخشی از نتایج پژوهش

نهایت در زمان تعویض سوخت نیاز به تنظیم مجدد دمپرها می‌باشد.

در تحقیق دیگر که توسط موسوی ترشیزی و همکاران ایشان [۳] انجام شد، سوختگی نازل‌های گاز مشعل نیروگاه سازند در حالت مازوت مورد بررسی قرار گرفت. طبق مطالعه ایشان، مشکلات موجود در مشعل‌ها که تکنسین‌های نیروگاه را مجبور می‌کند در دوره‌های حدود ۶ ماهه به تعمیر یا تعویض مشعل‌ها اقدام نمایند، مربوط به طراحی اولیه و یا راه‌اندازی آن‌ها می‌باشد. در این پژوهش ایشان از سه منظر ارزیابی آماری تخریب، بررسی روند تخریب نازل‌ها و تغییرات ریزساختاری آن‌ها و نهایتاً با بررسی دمای نازل‌ها در طول کارکرد با مازوت و گاز طبیعی به این نتیجه رسیدند که می‌بایست تغییراتی در شکل نازل‌ها ایجاد شود. شایان ذکر است که در این مطالعه هیچ‌گونه بهینه‌سازی بر روی شکل نازل‌ها انجام نشده است. بنابراین می‌توان با انجام فرآیند بهینه‌سازی با تابع هدف دمای سطح نازل‌ها، شکل آن‌ها را بهبود بخشید. در این مطالعه مشاهده گردید که دمای نازل‌ها بعد از اصلاح در هر دو حالت گاز و مازوت کاهش یافته است.

در پژوهشی دیگر، سهرابی کاشانی به بررسی تاثیرات تنظیم هوای اضافی بر راندمان بویلر در نیروگاه‌های کشور پرداخته است [۴]. ایشان در پژوهش خود، سه نیروگاه شهید منتظری اصفهان، نیروگاه زرگان و بندرعباس را مورد بررسی قرار داده‌اند. ایشان تاثیرات میزان هوای اضافه را بر تولید آلاینده‌ها و عملکرد بویلر تحلیل نموده است. در این پژوهش مشاهده گردید که با تنظیم و تغییر مقدار هوای اضافه در احتراق نسبت به مقدار مشخص شده در مدارک طراحی، افزایش در راندمان بویلر مشاهده می‌گردد. نتیجه اینکه به مرور زمان و با کارکرد نیروگاه، احتمالاً نقطه کارکرد بهینه نیروگاه از نقطه اشاره شده در مدارک طراحی فاصله می‌گیرد.

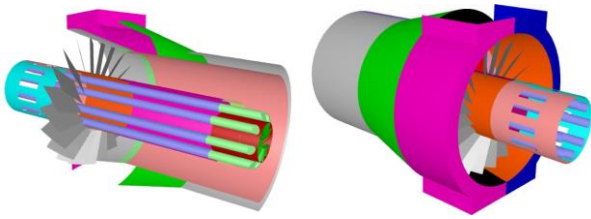
در پژوهشی دیگر نجفی و همکاران به بررسی تاثیرات چرخش جریان بر عملکرد احتراق پرداختند [۵]. ایشان با در نظر گرفتن یک محفظه احتراق استوانه‌ای با سیستم احتراق پیش مخلوط و با استفاده از ابزار CFD، تاثیر هوای چرخشی و شدت‌های مختلف آن را بر وضعیت احتراق از جمله شکل و نحوه توزیع درجه حرارت شعله، رفتار جریان و در نهایت نرخ انجام واکنش شیمیایی احتراق مورد بررسی قرار دادند. از این پژوهش مشخص گردید که وجود چرخش در هوای احتراق باعث گسترده‌گی شعله می‌گردد. به نظر می‌رسد که با افزایش

بی‌رویه شدت چرخش، شعله بیش از حد باز شده، پیوستگی آن در مرکز از بین رفته و به سمت عقب حرکت می‌کند. این پدیده که به برگشت شعله معروف است، موجب بروز خساراتی به بخش‌هایی از مشعل می‌گردد. در این مناطق دما به صورت قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. محدوده انجام واکنش تحت تاثیر جریان چرخشی گسترش یافته و نرخ آن نیز در شدت‌های بالا به نحو چشم‌گیری افزایش می‌یابد. شایان ذکر است که در نظر گرفتن یک محدوده استوانه‌ای برای شعله که در این پژوهش اعمال شده است و در نظر گرفتن شرط مرزی نامناسب برای آن، باعث شده که در نتایج ایشان، شعله کاملاً به صورت مستقیم حرکت نماید. این در حالی است که در واقعیت به دلیل داغ بودن ناحیه شعله، شعله به سمت بالا متمایل می‌گردد. این امر باعث می‌شود که دما در بخش‌های فوقانی مشعل و یا مشعل‌های طبقات بالاتر بویلر افزایش چشم‌گیری یابد و می‌بایست به جهت افزایش دقت حل، در مطالعات در نظر گرفته شود.

عنبرسوز و همکاران در پژوهشی دیگر به بررسی اثر قطر ذرات سوخت و دبی هوای ورودی بر راندمان احتراق و میزان تولید و انتشار آلاینده‌های اکسیدهای ازت و دوده پرداختند [۶]. بدین منظور ایشان با استفاده از هندسه‌های موجود از بویلر کوره نیروگاه توس، به شبیه‌سازی کل این محفظه با استفاده از نرم‌افزار FLUENT پرداختند. نتایج این پژوهش که برای سوخت مایع انجام گرفته است نشان داد که با کاهش قطر ذرات سوخت، راندمان احتراق، دمای ماکزیمم بویلر و میزان آلاینده NOx افزایش یافته و میزان دوده کاهش می‌یابد. همچنین بررسی اثر دبی هوا بر احتراق نشان داد که با توجه به سنگین بودن سوخت و اختلاط ناقص آن با هوا، بیشینه دما و راندمان بویلر در دبی هوای بالاتر از مقدار استوکیومتریکی رخ می‌دهد. در دبی بهینه هوای ورودی، میزان NOx حداکثر شده و با افزایش بیشتر دبی هوا، مجدداً دما و راندمان آن کاهش می‌یابد.

۲- مبانی مهندسی و روش انجام کار

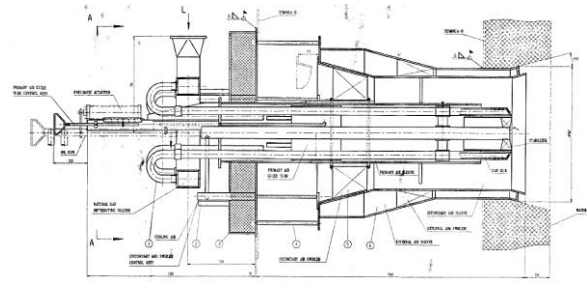
برای انجام تحلیل‌های CFD در ابتدا با مراجعه به نقشه‌ها و اطلاعات هندسی، تلاش شده تا هندسه مشعل بویلر نیروگاه سازند و با در نظر گرفتن جزئیاتی از قبیل توزیع‌کننده‌های هوا، مسیرهای هوای اولیه، ثانویه و ثالثیه، پره‌های موجود در مسیر هوای اولیه و ثانویه و ... ایجاد گردد. در شکل زیر تصویری از هندسه مشعل ارائه شده است.



شکل ۲: هندسه مشعل مدل‌سازی شده

پس از تولید هندسه مشعل، ناحیه جلوی شعله با توجه به فواصل مشعل‌ها (فواصل روبرویی و جانبی) در بویلر نیروگاه شازند، یک هندسه مطابق شکل ۳ برای مدل‌سازی ایجاد شده است. مطابق این تصویر سطح زرد رنگ دارای شرط مرزی تقارن می‌باشد. به دلیل قرارگیری مشعل‌ها به صورت روبروی هم در بویلر، به نظر می‌رسد در نظر گرفتن شرط مرزی تقارن در انتهای ناحیه شعله (که به اندازه نصف فاصله بین دو مشعل روبروی هم در نظر گرفته شده است) از نظر فیزیکی معنادار می‌باشد. سطوح جانبی که دارای رنگ سبز هستند به صورت پرئودیک تعریف شده تا اثرات حضور چند مشعل مجاور و در یک طبقه در مسئله دیده شود. حضور مشعل‌های مجاور در یک طبقه باعث افزایش دما در شعله یک مشعل می‌شود و می‌بایست حضور آن‌ها به نوعی در شبیه‌سازی در نظر گرفته شود. این امر همان‌طور که ذکر گردید با در نظر گرفتن شرط مرزی پرئودیک برای سطوح جانبی شعله ایجاد شده است. سطح قرمز رنگ دارای شرط مرزی فشار خروجی می‌باشد. با در نظر گرفتن این شرط مرزی می‌توان صعود شعله به سمت بالا و اثرات آن بر دمای مشعل را در شبیه‌سازی لحاظ کرد.

با توجه به اینکه چگونگی توزیع جریان هوای بین مسیرهای هوای اولیه، ثانویه و ثالثیه مشخص نمی‌باشد، هوای ورودی به کل مشعل در صفحات آبی رنگ و در قالب شرط مرزی دبی هوای ورودی کل لحاظ شده تا دبی هوا در مسیرهای مختلف با توجه به افت فشار مربوطه در هر مسیر توزیع گردد. در تحلیل‌های اولیه در این بخش فرض شده که هیچ دمپری بسته نبوده و مسیر هوا برای هر سه مجرا کاملاً باز است. از طرفی شایان ذکر است که بر اساس نظرات کارشناسان نیروگاه بخشی از مسیر هوای ثالثیه به دلیل سوختن رینگ‌های ترشیری در برخی مشعل‌ها مسدود می‌باشد. فلذا در این مقاله اثر بسته بودن کامل مسیر هوای ثالثیه بر احتراق مورد بررسی قرار گرفته است که در ادامه به آن پرداخته می‌شود.



شکل ۱: تصویری از هندسه مشعل

همچنین لازم به توجه است که نتایج شبیه‌سازی برای سوخت مازوت بوده و اطلاعات ورودی بر مبنای شرایط کاری MCR می‌باشد.

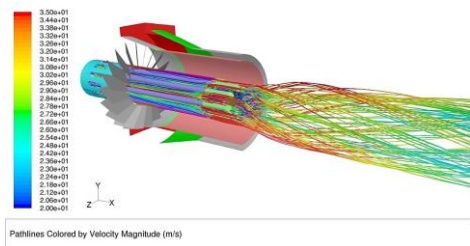
جدول ۱: شرایط مرزی ورودی برای تحلیل مشعل در شرایط کاری

MCR [۷]

مقادیر	پارامترهای عملکردی
۲۰/۵ کیلوگرم بر ثانیه	دبی هوای ورودی
۱۰/۸۳ کیلوگرم بر ثانیه	دبی سوخت ورودی
۵۶۰ درجه کلوین	درجه حرارت هوای ورودی
۴۷۰ درجه کلوین	درجه حرارت سوخت ورودی

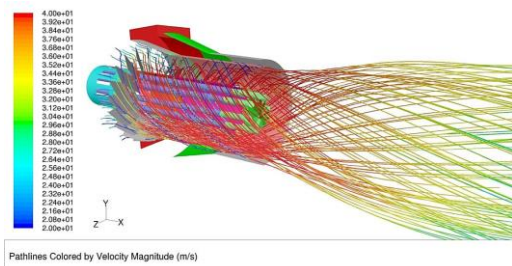
در شکل ۲ تصویری از هندسه کل مشعل به همراه نمای برش خورده آن نشان داده شده است. در تولید هندسه تلاش شده تا با توجه به نقشه‌های محدود موجود در نیروگاه از مشعل و همچنین تصاویر تهیه شده از آن در بازدیدهای صورت گرفته از نیروگاه تا حد امکان مدلی مشابه با هندسه واقعی تولید گردد. بدین منظور در تولید هندسه، ۲۰ پره در مسیر هوای ثانویه و ۱۲ پره در مسیر هوای اولیه لحاظ گردید. شایان ذکر است که تعداد پره‌های موجود در هندسه اصلی بیشتر بوده اما به نظر می‌رسد با اعمال همین تعداد پره، اختلاط لازم بین سوخت و هوا ایجاد گردد تا بتوان تأثیر چرخش جریان، آشفستگی و اختلاط بر احتراق دیده شود که در فازهای آتی پروژه می‌توان نسبت به تدقیق هندسه مشعل اقدام نمود. پره‌های قرار گرفته در مسیر جریان هوای اولیه و ثانویه به ترتیب با رنگ‌های سبز و خاکستری نشان داده شده‌اند.

در شکل ۵ خطوط جریان با رنگ‌بندی سرعت برای مسیر هوای اولیه به تصویر کشیده شده است. مطابق این شکل مشاهده می‌گردد که به دلیل حضور پره‌های سوپرلر مسیر هوای اولیه، چرخش در جریان شکل گرفته که بر روی اختلاط بین سوخت و هوا و شکل شعله بسیار تأثیرگذار است.



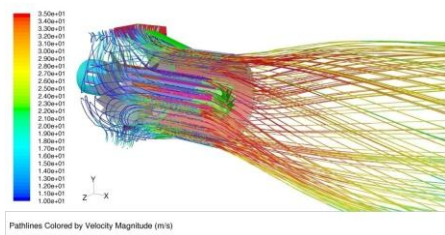
شکل ۵: خطوط جریان با رنگ‌بندی سرعت برای مسیر هوای اولیه

در شکل ۶ خطوط جریان با رنگ‌بندی سرعت برای مسیر جریان هوای ثانویه ارائه شده است. مطابق شکل ۶ مشاهده می‌گردد که به علت حضور پره‌های هادی در مسیر هوای ثانویه نیز، چرخشی قابل توجه در جریان هوا شکل می‌گیرد.

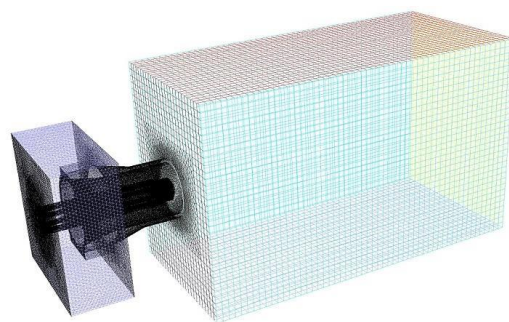


شکل ۶: خطوط جریان هوا با رنگ‌بندی سرعت جریان برای مسیر هوای ثانویه

در شکل ۷ نیز خطوط جریان هوا برای مسیر هوای ثالثیه به تصویر کشیده شده است. علی‌رغم اینکه در مسیر هوای ثالثیه پره‌های هادی در جریان وجود نداشته اما به دلیل تماس با مسیر هوای در حال چرخش ثانویه، کمی از مومنوم چرخشی جریان ثانویه به هوای ثالثیه نیز انتقال یافته و همان‌طور که در شکل دیده می‌شود، هوای ثالثیه پس از خروج از مشعل، دچار چرخش شده است.



شکل ۷: مسیر هوای ثالثیه با رنگ‌بندی سرعت جریان



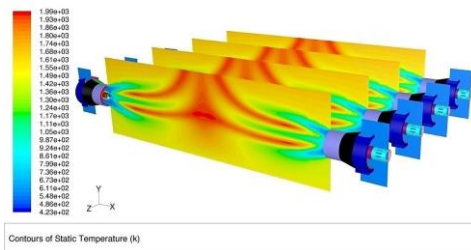
شکل ۳: هندسه مدل‌سازی شده برای تحلیل عددی مشعل بویلر نیروگاه سازند

در این پروژه تلاش شده است تا تأثیر پارامترهایی بر روی احتراق مورد مطالعه قرار گیرد که در مطالعات انجام شده قبلی به آن‌ها اشاره‌ای نشده است. یکی از پارامترهایی که می‌تواند در شکل و ساختار شعله بسیار اثرگذار باشد، میزان چرخش جریان هوا است. این میزان می‌تواند با تغییر زاویه پره‌های مسیر هوای اولیه تغییر نماید. بنابراین در این پژوهش تأثیر زاویه پره‌های مسیر هوای اولیه و باز و بسته شدن مسیر هوای ثالثیه مورد بررسی قرار گرفته است.

۳- نتایج

۳-۱- زاویه پره‌های مسیر هوای اولیه معادل ۴۵ درجه و مسیر هوای ثالثیه باز

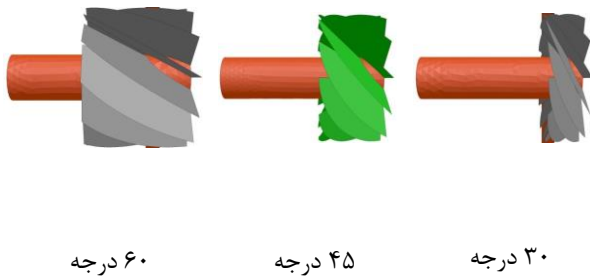
با توجه به اینکه زاویه پره‌های مسیر هوای اولیه در مشعل نیروگاه سازند معادل ۴۵ درجه می‌باشد، لذا در ابتدا نتایج مربوط به پره‌های ۴۵ درجه و مسیر هوای ثالثیه باز ارائه شده و سپس تأثیر بسته شدن مسیر هوای ثالثیه و تغییر در زاویه پره‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. در شکل ۴ تصویری از کانتورهای درجه حرارت در برشی از وسط مشعل نشان داده شده است. با توجه به اینکه ترم جاذبه در هنگام حل کردن معادلات ناویر-استوکس فعال شده است، مشاهده می‌گردد که در نقاط داغ شعله که مومنوم افقی جت نیز کاهش یافته، شعله به سمت بالا منحرف می‌گردد.



شکل ۴: کانتورهای درجه حرارت در برشی از وسط مشعل

۳-۲- بررسی تاثیر بسته شدن هوای ثالثیه

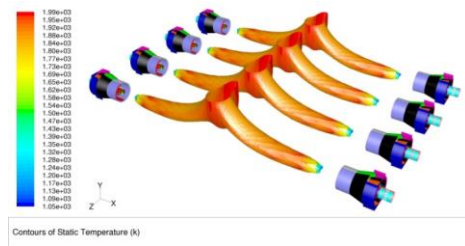
همانطور که ذکر گردید، باز یا بسته بودن مسیر هوای ثالثیه بر چگونگی شکل‌گیری شعله بسیار تأثیرگذار می‌باشد. شکل ۸ کانتور درجه حرارت بر روی سطوح دارای کسر مولی ۰/۱۲ دی‌اکسیدکربن برای زاویه ۴۵ درجه و مسیر هوای ثالثیه باز و بسته نشان داده شده است. این سطوح تقریباً نشان‌دهنده شکل شعله می‌باشد.



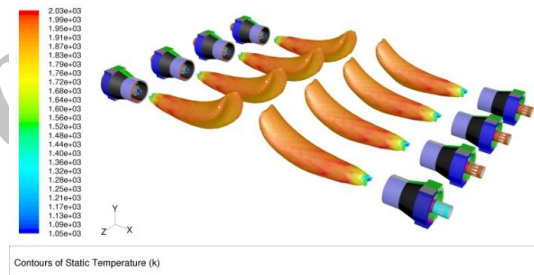
شکل ۹: نحوه مدل‌سازی پره‌های مسیر جریان هوای اولیه

مطابق شکل ۹ انتظار می‌رود با توجه به کاهش سطح مقطع موثر جریان عبوری در زاویه ۳۰ درجه، شاهد دبی عبوری کمتری از هوای اولیه بوده و هوای بیشتری از مسیرهای ثانویه و ثالثیه عبور کند. البته لازم به یادآوری می‌باشد که بخشی از هوای اولیه از کنار لوله‌های گاز خارج می‌شود که دارای پره‌های هادی نبوده و پره‌های هادی صرفاً بخشی از مساحت گذرنده هوای اولیه را تشکیل می‌دهد.

در شکل ۲۰ کانتورهای درجه حرارت برای هر چهار حالت عملکردی مختلف ارائه شده است. با بررسی نتایج ارائه شده در شکل ۲۰ مشاهده می‌گردد که تغییرات محسوس عملکردی در کانتور درجه حرارت بین زوایای ۳۰ و ۴۵ مشاهده نمی‌گردد. اما در زاویه ۴۵ درجه با بسته شدن مسیر هوای ثالثیه و توزیع کل دبی هوا در مسیر هوای اولیه و ثانویه مشاهده می‌گردد که طول شعله کمتر شده، اما عرض شعله گسترش یافته است. تحت زاویه ۶۰ درجه نیز مشاهده می‌گردد که نسبت به زاویه ۴۵ درجه کمی طول شعله کاهش یافته، اما شعله گسترش عرضی داشته است. از طرفی درجه حرارت ماکزیمم شعله برای دو تصویر اول معادل ۲۰۰۰ درجه کلوین اما برای دو تصویر انتهایی که طول شعله کاهش یافته و شعله از عرض رشد کرده کارشناسان نیروگاه، هم اکنون مشعل‌های نیروگاه با زاویه پره‌های اولیه ۴۵ درجه با بخشی از مسیر هوای ثالثیه بسته عمل می‌کنند. بنابراین با افزایش زاویه پره‌های مسیر هوای اولیه، دمای شعله افزایش می‌یابد. افزایش دمای شعله می‌تواند منجر به افزایش تولید آلاینده‌هایی نظیر NOx شده و همچنین باعث سوختن بخش‌های مختلف مشعل گردد.



مسیر هوای ثالثیه باز



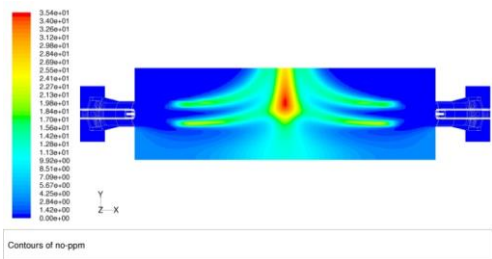
مسیر هوای ثالثیه بسته

شکل ۸: کانتورهای درجه حرارت بر روی سطوح دارای کسر مولی دی‌اکسیدکربن ۰/۱۲

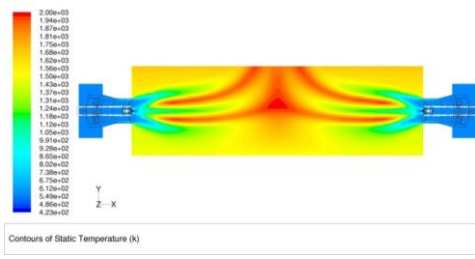
مطابق شکل ۸ مشاهده می‌گردد که با بسته شدن مسیر هوای ثالثیه درجه حرارت شعله افزایش یافته، طول شعله کاهش یافته و شعله از عرض رشد می‌کند که می‌تواند منجر به افزایش تابش بر روی اجزای مختلف مشعل و افزایش دمای آن‌ها گردد.

۳-۳- بررسی تأثیر تغییر زاویه پره‌های هوای اولیه

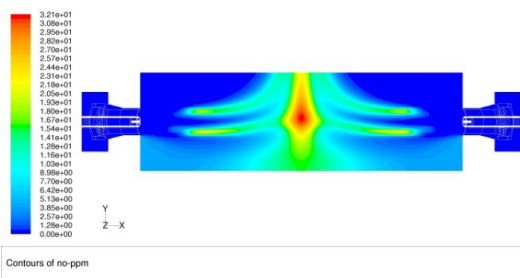
یکی از پارامترهای هندسی مورد مطالعه در این تحقیق، زاویه پره‌های مسیر هوای اولیه می‌باشد. با بسته شدن پره‌ها افت فشار در مسیر هوای اولیه بیشتر شده و در نتیجه دبی هوای توزیع شده بین مسیر هوای ثانویه و ثالثیه افزایش می‌یابد. در شکل ۹ نحوه مدل‌سازی پره‌های مسیر هوای اولیه برای زوایای ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه نشان داده شده است.



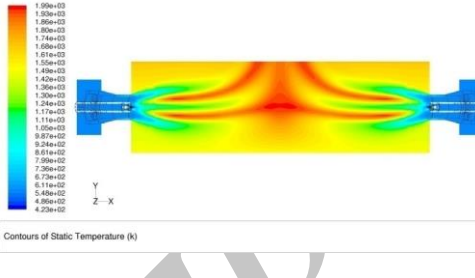
الف- زاویه پره‌های هادی ۳۰ درجه- مسیر هوای ثالثیه باز



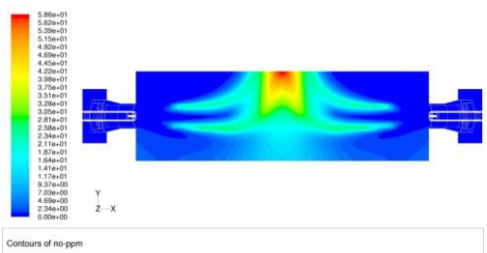
الف- زاویه پره‌های هادی ۳۰ درجه- مسیر هوای ثالثیه باز



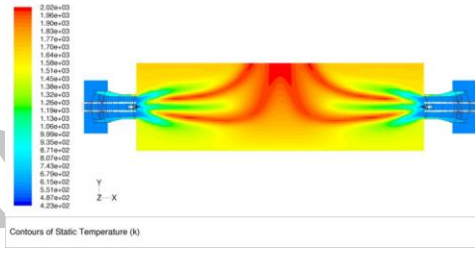
ب- زاویه پره‌های هادی ۴۵ درجه- مسیر هوای ثالثیه باز



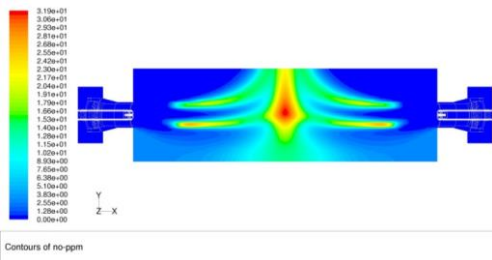
ب- زاویه پره‌های هادی ۴۵ درجه- مسیر هوای ثالثیه باز



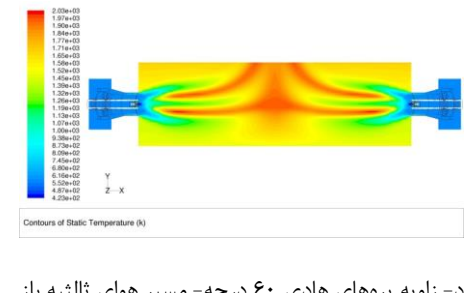
ج- زاویه پره‌های هادی ۴۵ درجه- مسیر هوای ثالثیه بسته



ج- زاویه پره‌های هادی ۴۵ درجه- مسیر هوای ثالثیه بسته



د- زاویه پره‌های هادی ۶۰ درجه- مسیر هوای ثالثیه باز



د- زاویه پره‌های هادی ۶۰ درجه- مسیر هوای ثالثیه باز

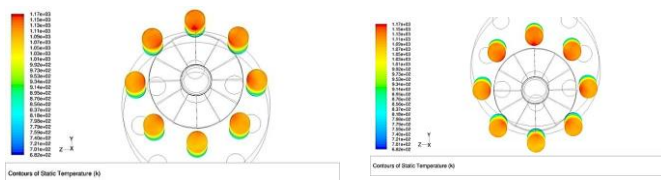
شکل ۲۱: کانتورهای NOx ppm در برش مقطعی از جریان با شرایط کاری مختلف

شکل ۲۰: کانتورهای درجه حرارت در برش مقطعی از جریان با شرایط مرزی مختلف

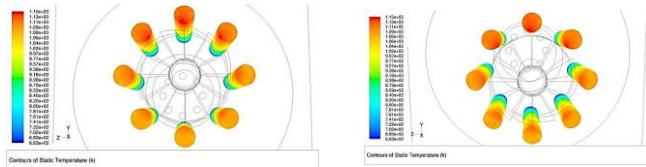
۴-۳- بررسی تولید آلاینده NOx در مشعل

مطابق شکل ۲۱ مشاهده می‌گردد که مقدار آلاینده NOx تولیدی با بسته شدن مسیر هوای ثالثیه افزایش یافته است. زیرا یکی از اهداف وجود هوای ثالثیه در مشعل، خنک‌کاری شعله از اطراف و کنترل NOx تولیدی می‌باشد. بنابراین با بستن مسیر آن، دمای شعله افزایش یافته و میزان NOx تولیدی افزایش خواهد یافت. همچنین همانطور که در شکل مشاهده می‌گردد با افزایش زاویه پره‌ها، میزان حداکثر NOx

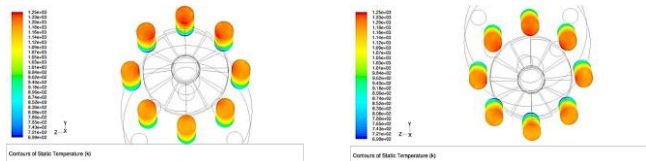
یکی از اهداف این مقاله، بررسی میزان تولید آلاینده‌های حاصل از احتراق مشعل با شرایط کاری مطابق با شرایط کاری نیروگاه می‌باشد. لذا در شکل ۲۱ کانتورهای آلاینده تولیدی NOx در برشی مقطعی از جریان ارائه شده است.



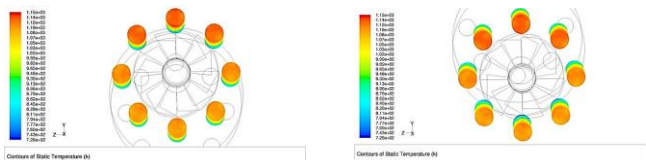
الف- زاویه پره‌های هادی ۳۰ درجه- مسیر هوای ثالثیه باز
نمای از بالا
نمای از پایین



ب- زاویه پره‌های هادی ۴۵ درجه- مسیر هوای ثالثیه باز
نمای از بالا
نمای از پایین



ج- زاویه پره‌های هادی ۴۵ درجه- مسیر هوای ثالثیه بسته
نمای از بالا
نمای از پایین



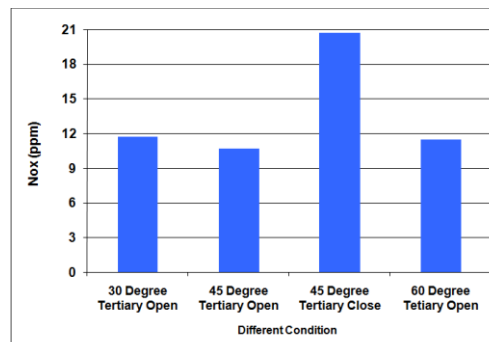
د- زاویه پره‌های هادی ۶۰ درجه- مسیر هوای ثالثیه باز
نمای از بالا
نمای از پایین

شکل ۲۳: کانتورهای درجه حرارت بر روی لوله‌های گاز در شرایط مختلف عملکردی

در شکل ۲۳ تصاویر از دو نمای مختلف نشان داده شده است. با توجه به اینکه در این مقاله تأثیر نیروی بویانسی در مدل‌سازی‌ها لحاظ شده و شعله پس از شکل‌گیری به سمت بالا متمایل می‌گردد، درجه حرارت بر روی لوله‌های بالایی گاز بیشتر بوده و همچنین وسعت ناحیه داغ شکل گرفته بر روی لوله‌های بالایی بیشتر می‌باشد.

با مراجعه به شکل ۲۳ مشاهده می‌گردد که با بسته شدن مسیر هوای ثالثیه درجه حرارت بر روی لوله‌های گاز حدوداً ۹۵ درجه افزایش یافته است. علت این امر را می‌توان در عدم خنک‌کاری صحیح شعله توسط هوای ثالثیه، تغییر در شکل شعله و در نهایت تابش بیشتر از شعله به لوله‌های گاز ذکر نمود. در شکل ۲۴ مقادیر درجه حرارت ماکزیمم بر روی لوله‌های گاز در شرایط مختلف عملکردی ارائه شده است. با مراجعه به شکل ۲۴ تأثیر قابل توجه بسته بودن مسیر هوای ثالثیه بر درجه حرارت لوله‌های گاز کاملاً واضح می‌باشد.

افزایش یافته است. لازم به ذکر است که برای بررسی میزان تولید آلاینده‌ها، مقدار ماکزیمم NOx تولیدی حاصل از احتراق مورد نظر نبوده و مقدار متوسط NOx تولیدی برای هر مشعل می‌بایست محاسبه گردد. در شکل ۲۲ مقادیر متوسط NOx بدست آمده از احتراق یک مشعل در شرایط کاری مختلف ارائه شده است.



شکل ۲۲: تأثیر پارمترهای هندسی مشعل بر NOx تولیدی

با مراجعه به شکل ۲۲ مشاهده می‌گردد که متوسط NOx تولیدی در زاویه پره‌های ۴۵ درجه و در شرایط باز بودن مسیر هوای ثالثیه دارای کمترین مقدار بوده و با بسته شدن مسیر هوای ثالثیه، آلاینده NOx به میزان ۹۴٪ افزایش خواهد یافت.

۳-۵- دمای نازل‌های گاز

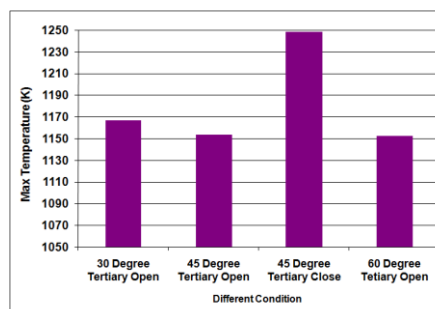
با توجه به تخریب‌های متوالی که در بخش‌های مختلف مشعل نیروگاه شازند به وجود آمده است، یکی از دلایل انجام تحلیل بر روی این مشعل استخراج توزیع درجه حرارت بر روی نازل‌های گاز مشعل و در حالت مازوت سور می‌باشد. بر اساس تحلیل‌های صورت گرفته در چهار حالت عملکردی مختلف توزیع درجه حرارت کاملاً تحت تأثیر پارمترهای هندسی و چگونگی تنظیم دبی و شکل‌گیری شعله می‌باشد. در شکل ۲۳ کانتورهای درجه حرارت بر روی سطوح نازل‌های گاز نشان داده شده است.

تشکر و قدردانی

در این بخش لازم می دانیم که از زحمات کلیه مدیران و کارشناسان محترم نیروگاه شازند که در طی بازدیدهای به عمل آمده از آن مجموعه، کمال همکاری و مشاوره را داشته اند تشکر و قدردانی نماییم. همچنین از مشاوره مدیران و معاونان شرکت مینابویلر در طول انجام این پژوهش تشکر و قدردانی می نماییم.

مراجع

- [1] سید ابراهیم موسوی ترشیزی، علی رفیعی و احسان الله سعادت، "شبیه سازی مشعل های نیروگاه شازند به روش عددی و بررسی اثر هوای اولیه بر شکل و محل شعله"، بیستمین کنفرانس بین المللی برق، شرکت توانیر، پژوهشگاه نیرو، تهران، ۱۳۸۴.
- [2] سعید شاهمنصوری، "بهینه سازی هوای احتراق در بویلر نیروگاه حرارتی شازند اراک"، موسسه پژوهش در مدیریت و برنامه ریزی انرژی، دانشکده فنی دانشگاه تهران - ۱۳۸۵.
- [3] Ebrahim Moussavi Tarshizi, Ehsan Allah Saadati & Ali Rafiee, "Optimization of Gas Nozzles Geometry In Dual-Fuel Burners of Power Stations", Journal of failure analysis & prevention, 8:362-369, 2008.
- [4] امیر سهرابی کاشانی، "افزایش راندمان احتراق در بویلرهای نیروگاهی از طریق تنظیم هوای اضافی، اولین کنفرانس احتراق ایران، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ۱۳۸۴.
- [5] امیرفرهاد نجفی، احسان سعادت و محمدحسن سعیدی، "تحلیل عددی اثرات جریان هوای چرخشی بر عملکرد احتراق یک مشعل نیروگاهی"، بیست و یکمین کنفرانس بین المللی برق، پژوهشگاه نیرو، شرکت توانیر، تهران، ۱۳۸۵.
- [6] مرتضی عنبرسوز، سید محمد جوادی، محمد پسندیده فرد و حمید ایزدی، "مدل سازی عددی نیروگاه توس به منظور امکانسنجی افزایش راندمان: شبیه سازی جریان " و احتراق داخل بویلر.
- [7] Shazand (Arak 4x325MW Thermal Power Plant, Summary of Heat Transfer Performance Calculation-1.



شکل ۲۴: مقادیر درجه حرارت ماکزیمم بر روی لوله های سوخت

۴- نتیجه گیری

در این مقاله مطالعات اولیه ای بر روی مشعل بویلر نیروگاه شازند در دستور کار قرار گرفت. با توجه به تحلیل های صورت گرفته مشاهده گردید که حضور دبی هوا در مسیر جریان ثالثیه و باز بودن دمپر آن بر پارامترهای مهمی از قبیل NOx و درجه حرارت نازل های گاز تأثیرات قابل توجه دارد.

با مراجعه به نتایج مشاهده گردید که با افزایش زاویه پره های مسیر هوای اولیه، افت در مسیر هوای اولیه کمتر شده و دبی بیشتری از هوا از روی لوله های گاز عبور می کند. لذا با افزایش زاویه پره های مسیر هوای اولیه، کاهش درجه حرارت لوله های گاز مشاهده گردید. از طرفی بسته بودن مسیر هوای ثالثیه باعث افزایش قطر شعله شده که علی رغم ثابت بودن درجه حرارت شعله، تشعشع بیشتری را به لوله های گاز انتقال داده و به میزان قابل توجهی درجه حرارت آن ها افزایش می یابد.

اما پارامتر دیگری که مورد توجه قرار گرفت آلودگی NOx بود. در زوایای ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه NOx تولیدی تقریباً مشابه بود. اما با بسته شدن مسیر هوای ثالثیه، امکان خنک کاری شعله از بین رفته و افزایش درجه حرارت منجر به افزایش NOx تولیدی گردید.

بر اساس مطالعات صورت گرفته و دید مهندسی ایجاد شده در این مقاله، ابزاری به وجود آمده است که می توان به کمک آن عملکرد یک مشعل نیروگاهی را مورد ارزیابی قرار داد.