



دانشگاه شهید چمران اهواز
مرکز پژوهشی شبکه‌های گازرسانی

گزارش ماهیانه فعالیت‌های انجام‌شده در آبان‌ماه ۱۳۹۳

GNRC-KHGC-MR 1393-07

۸ آذرماه ۱۳۹۳

گزارش فعالیت‌های آبان‌ماه ۱۳۹۳	عنوان
GNRC-KHGC- MR 1393-07	کد گزارش
۱۳۹۳/۹/۸	تاریخ
<p>دکتر مرتضی بهبهانی‌نژاد، عضو هیئت علمی گروه مهندسی مکانیک دانشگاه شهید چمران دکتر مازیار چنگیزیان، عضو هیئت علمی گروه مهندسی مکانیک دانشگاه شهید چمران مهندس محمدرضا کاویان‌نژاد، دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه شهید چمران مهندس مهدی طهماسبی، دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه شهید چمران مهندس علی نعمتی، دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه شهید چمران خانم فروزنده عمید، کارشناس شیمی کاربردی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج</p>	تدوین کنندگان
<p>در بخشی از فعالیت‌های این ماه به بهبود الگوریتم محاسباتی استفاده شده در شبیه‌سازی عددی هدررفت گاز از یک خط لوله طویل پرداخته شده‌است. همچنین پس از اعمال تغییرات لازم در کد محاسباتی مطابق با الگوریتم جدید، نتایج برنامه کامپیوتری اعتبارسنجی شده که شرح فعالیت‌های صورت گرفته در این راستا در فصل دوم گزارش آورده شده‌است. شایان ذکر است که علاوه بر فعالیت‌های انجام شده در این ماه، مقاله‌ای نیز با عنوان "بررسی اثرات انتقال حرارت در شبیه‌سازی فرآیند هدررفت گاز از خطوط لوله" جهت شرکت در سومین کنفرانس مهندسی فرآیند آماده و برای دبیرخانه کنفرانس ارسال گردید. متن کامل مقاله تهیه شده در پیوست الف گزارش آورده شده‌است. مدل سازی هدر رفت از شیر تخلیه نیز در این ماه انجام شد و به همراه برخی دیگر از تغییرات که شرح آن در فصل سوم گزارش ارائه شده‌است، ویرایش جدید نرم افزار ارائه گردید. در تکمیل اقدامات صورت گرفته در راستای بهینه‌سازی مصرف گاز کارخانه شیرین‌سفال، در گزارش این ماه هر یک از فعالیت‌های تعریف شده جهت دستیابی به راهکارهای عملی کاهش مصرف گاز، به صورت جداگانه مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته که شرح اطلاعات جمع‌آوری شده به تفصیل در فصل چهارم آورده شده‌است. بازدید از شرکت‌های کشت و صنعت فارابی و میرزا نیز از فعالیت‌های این ماه بوده و اقدامات انجام گرفته در این مورد در فصل پنجم ارائه شده‌است. در فصل ششم گزارش، با توجه به تغییر جانمایی مخازن تحت فشار، به شرح فعالیت‌ها در زمینه تولید نقشه‌های ایزومتریک آزمایشگاه تخصصی گاز پرداخته شده‌است. در انتها نیز به موارد ارجاعی خارج از برنامه تعیین شده در این ماه برای آزمایشگاه تخصصی گاز پرداخته شده‌است. لازم به ذکر است نقشه‌های ایزومتریک تفصیلی در لوح فشرده گزارش، موجود می‌باشد. فصل آخر نیز دربرگیرنده فعالیت‌های ماه آتی می‌باشد.</p>	چکیده

فهرست مطالب

۱	مقدمه.....
۴	۲ بررسی اثر انتقال حرارت بر جریان هدر رفت گاز در شبکه خطوط لوله.....
۸	۱.۲ مراجع.....
۹	۳ تکمیل نرم افزار محاسبه هدر رفت گاز.....
۱۰	۱.۳ محاسبه هدر رفت گاز از شیر اطمینان.....
۱۲	۲.۳ ارتقای محیط کاربری نرم افزار.....
۱۵	۳.۳ پیشنهادات جهت تکمیل کار.....
۱۶	۴ بهینه سازی مصرف گاز در کارخانه شیرین سفال.....
۱۷	۱.۴ ارائه معیاری برای محاسبه بازده کوره.....
۱۹	۲.۴ بررسی تغییر نسبت هوا به سوخت.....
۲۰	۳.۴ تغییر در ساختار نازل سوخت پاشها.....
۲۲	۱.۳.۴ انواع شعله ها.....
۲۵	۲.۳.۴ انواع مشعل.....
۲۹	۳.۳.۴ مشعل مورد استفاده در کارخانه شیرین سفال.....
۳۰	۴.۴ مطالعه اثر تغییر فشار گاز و تغییر چیدمان آجرها.....
۳۱	۵.۴ بررسی اتلافات حرارتی از دربها، دیوارها و سقف کوره.....
۳۲	۶.۴ امکان سنجی اتوماسیون.....
۳۳	۷.۴ مراجع.....
۳۴	۵ بهبود مصرف گاز در صنایع تولید شکر.....
۳۵	۱.۵ فرآیند کلی تولید شکر از نیشکر.....
۳۸	۲.۵ مصرف گاز در شرکتهای کشت و صنعت.....
۳۹	۳.۵ برنامه پیشنهادی مرکز پژوهشی.....
۴۲	۶ نقشه های آزمایشگاه تخصصی گاز.....
۴۲	۱.۶ نقشه های ایزومتریک ایستگاه تقویت و تقلیل فشار آزمایشگاه تخصصی گاز.....
۴۶	۲.۶ موارد ارجاع شده خارج از برنامه برای آزمایشگاه تخصصی گاز.....

۵۲.....	۳.۶ مراجع
۵۳.....	۷ فعالیت‌های ماه آتی
۵۴.....	الف بررسی اثرات انتقال حرارت در شبیه‌سازی فرآیند هدر رفت گاز از خطوط لوله.....
	ب پیشنهادیه طرح تحقیقاتی امکان‌سنجی راهکارهای بهبود مصرف گاز در یک شرکت
۶۷.....	کشت و صنعت

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۲: تغییرات عدد ماخ خروجی نسبت به تغییرات عدد ماخ ورودی..... ۵
- شکل ۲-۲: مقایسه میزان دبی هدررفت به ازای فشارهای ورودی متفاوت..... ۷
- شکل ۳-۲: تغییرات عدد ماخ ورودی به ازای نسبت‌های فشاری مختلف و طول‌های بی‌بعد گوناگون..... ۸
- شکل ۱-۳: شیر تخلیه در ایستگاه تقلیل فشار..... ۱۰
- شکل ۲-۳: عوامل افت موضعی در شیر تخلیه..... ۱۱
- شکل ۳-۳: تغییر در صفحه انتخاب روش هدر رفت گاز..... ۱۲
- شکل ۴-۳: صفحه جدید مربوط به محاسبه‌ی میزان هدر رفت گاز از ایستگاه تقلیل فشار گاز..... ۱۲
- شکل ۵-۳: پیام خطای ناشی از عدم انتخاب روش..... ۱۳
- شکل ۶-۳: پیام خطای ناشی از عدم انتخاب روش..... ۱۳
- شکل ۷-۳: پیام خطای ناشی از خالی گذاشتن فیلدهای ضروری (نمونه ۱)..... ۱۴
- شکل ۸-۳: پیام خطای ناشی از صفر وارد نمودن فیلدهای ضروری (نمونه ۲)..... ۱۴
- شکل ۹-۳: پیام خطای ناشی از صفر وارد نمودن فیلدهای ضروری..... ۱۴
- شکل ۱۰-۳: پیام خطای مرتبط با منطق اعداد پر شده..... ۱۵
- شکل ۱-۴: نمایش سرعت شعله و جبهه‌ی شعله..... ۲۲
- شکل ۲-۴: تقسیم‌بندی شعله‌ها..... ۲۲
- شکل ۳-۴: برنرهای محفظه اختلات، شعله‌ی این برنرها می‌تواند پیش‌آمیخته یا غیر پیش‌آمیخته باشد..... ۲۳
- شکل ۴-۴: برنر پیش‌آمیخته‌ی گازی ساده..... ۲۳
- شکل ۵-۴: طرح وارهای از دو شعله آرام..... ۲۴
- شکل ۶-۴: مشعل اتمسفریک به همراه شماتیکی از برش آن..... ۲۷
- شکل ۷-۴: نمونه‌ای از مشعل‌های پیش‌مخلوط دمشی..... ۲۸
- شکل ۸-۴: برشی از مشعل مخلوط سر نازل..... ۲۹
- شکل ۹-۴: ساختار نازل مورد استفاده در کارخانه شیرین سفال..... ۳۰
- شکل ۱۰-۴: دهانه مشعل و نازل مورد استفاده در کارخانه شیرین سفال..... ۳۰
- شکل ۱۱-۴: موقعیت قرارگیری ریگلاتور کاهنده فشار..... ۳۱
- شکل ۱۲-۴: چیدمان آجرها در کاخانه شیرین سفال اهواز..... ۳۱
- شکل ۱-۵: انتقال نیشکر به درون کارخانه..... ۳۶

- شکل ۵-۲: غلطک‌های آسیاب ۳۶
- شکل ۵-۳: سالن آسیاب ۳۷
- شکل ۵-۴: شماتیکی از فرآیند طی شده توسط بخار در کارخانه ۳۹
- شکل ۶-۱: مدل سه بعدی ایستگاه تقویت و تقلیل فشار از نمای ایزومتریک در نرم افزار PDMS ۴۲
- شکل ۶-۲: مدل سه بعدی ایستگاه تقویت و تقلیل فشار از نمای بالا در نرم افزار PDMS ۴۳
- شکل ۶-۳: مدل سه بعدی مخازن ایستگاه تقویت و تقلیل فشار در نرم‌افزار PDMS ۴۳
- شکل ۶-۴: جانمایی تجهیزات و انشعاب‌های ایستگاه تقویت و تقلیل فشار آزمایشگاه تخصصی گاز ۴۴
- شکل ۶-۵: مدل سه بعدی انشعاب شماره ۱ (BRANCH 1) ایستگاه تقویت و تقلیل فشار که با رنگ سیاه نشان داده شده است. ۴۴
- شکل ۶-۶: نقشه ایزومتریک انشعاب شماره ۱ (BRANCH 1) ایستگاه تقویت و تقلیل فشار ۴۵
- شکل ۶-۷: ستون مربوط به مشخصات و تعداد لوله و اتصالات بکار رفته در نقشه ایزومتریک انشعاب شماره ۱ ۴۶
- شکل ۶-۸: نقشه سوله از نمای بالا (ابعاد به متر) ۴۷
- شکل ۶-۹: ابزار دقیق بکار رفته در آزمایشگاه به ترتیب پیتوتیوپ (الف)، ترموکوپل (ب) و ترنسمیتر فشار (ج) ۴۹
- شکل ۶-۱۰: ساپورت پنل خارجی کولر گازی ۵۰
- شکل ۶-۱۱: ساپورت نوع دو ۵۱
- شکل ۶-۱۲: یک نمونه از جانمایی ساپورت‌ها در یکی از پلان‌های پایپینگ ۵۲

فهرست جدول‌ها

- جدول ۴-۱: معیار مصرف انرژی حرارتی، الکتریکی و کل در فرآیندهای تولید آجر ماشینی در استان خوزستان [۱] ۱۸
- جدول ۶-۱: مشخصات لوله های بکاررفته برای پاپینگ درون سوله بر اساس استاندارد API-5L ۴۷
- جدول ۶-۲: تعداد و نوع اتصالات بکاررفته در پاپینگ درون سوله ۴۸
- جدول ۶-۳: فاصله بین ساپورت‌ها [۱] ۵۲

۱ مقدمه

در این گزارش فعالیت‌های انجام شده در آبان‌ماه ۱۳۹۳ توسط مرکز پژوهشی شبکه‌های گازرسانی استان خوزستان تشریح می‌شود. مطابق با برنامه از پیش تنظیم شده، موارد زیر برای فعالیت‌های این ماه در نظر گرفته شده بود:

۱. بررسی اثر انتقال حرارت بر جریان هدر رفت گاز در شبکه خطوط لوله
۲. تکمیل موارد مربوط به مدل‌سازی پرچ از ایستگاه‌های تقلیل فشار
۳. انجام مراحل پیش‌بینی شده جهت تکمیل پروژه بهینه‌سازی مصرف در کارخانه آجرسازی شیرین سفال
۴. بازدید از شرکت‌های کشت و صنعت میرزا کوچک خان، کشت و صنعت نیشکر دهخدا و شرکت کشت و صنعت فارابی
۵. اصلاح نقشه‌های ایزو و نمای سه‌بعدی آزمایشگاه با توجه به جانمایی جدید مخازن
۶. در تکمیل فعالیت‌های انجام شده در ماه‌های گذشته در راستای شبیه‌سازی عددی هدر رفت گاز از شبکه‌های گازرسانی، تعمیر مساله از یک خط لوله به یک شبکه در دستور کار قرار داشت. بدین منظور لازم است تا از الگوریتم حل بدست آمده برای محاسبه هدر رفت گاز از یک خط لوله، در الگوریتم محاسبه هدر رفت از شبکه‌ای از انشعابات بهره برد. اما با توجه به حساسیت بسیار بالای برخی از پارامترهای جریان نظیر عدد ماخ در خروجی انشعاب نسبت به تغییرات عدد ماخ ورودی، کد محاسباتی فراهم شده همگرایی بسیار ضعیفی داشت. لذا جهت همگرا شدن جواب لازم بود تا روند سعی خطا با اعمال برخی از محدودیت‌ها انجام شود که این امر زمان محاسبات را به شدت افزایش می‌داد. از طرفی با توجه به وجود انشعابات متعدد در یک شبکه، استفاده از الگوریتم ارائه شده برای یک خط لوله عملاً

کاربردی نخواهد داشت. از اینرو در بخش از فعالیت‌های این ماه با بهبود الگوریتم موجود، همگرایی کد محاسباتی افزایش و زمان محاسبات به میزان قابل توجهی کاهش یافت. همچنین به منظور اطمینان از صحت کد محاسباتی تهیه شده مطابق با الگوریتم جدید، نتایج آن با مثال‌های موجود در سایر مراجع موجود مورد اعتبارسنجی قرار گرفت. شرح کامل فعالیت‌های انجام گرفته در این راستا به تفصیل در فصل دوم آورده شده است.

۷. در ادامه‌ی فعالیت‌های مربوط به تکمیل نرم افزار محاسبه هدر رفت گاز، در این ماه بازدیدی از یک ایستگاه تقلیل فشار شهری انجام شده و محاسبه‌ی هدر رفت از شیر تخلیه‌ی ایستگاه به نرم افزار اضافه گردید. همچنین در راستای ارتقای محیط کاربری نرم افزار اقداماتی انجام گرفته که گزارش آن در فصل سوم ارائه شده است.

۸. پیرو فعالیت‌های انجام شده در راستای بهینه‌سازی مصرف انرژی کارخانه شیرین سفال مطابق با جدول زمانبندی ارائه شده، در ماه گذشته مجموعه‌ای از فعالیت‌ها جهت دستیابی به راهکارهای کاربردی برای کاهش مصرف گاز این کارخانه مطرح شدند. در تکمیل اقدامات صورت گرفته، در این ماه ابتدا هر یک از فعالیت‌های مشخص شده به صورت جداگانه مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته تا بدین ترتیب اطلاعات اولیه مورد نیاز جهت اجرای هر یک جمع‌آوری شوند. شرح کامل نتایج حاصل از مطالعات انجام شده به تفصیل در فصل چهارم آورده شده است. لازم به ذکر است که در این ماه بازدیدی نیز از کارخانه شیرین سفال صورت گرفت که نتایج حاصل از آن متناسب با هر یک از بخش‌های مطرح شده در فصل چهارم آورده شده است.

۹. از دیگر اقدامات انجام شده در این ماه بازدید از شرکت‌های کشت و صنعت فارابی و میرزا کوچک خان می‌باشد. شایان ذکر است که علیرغم پیگیری فراوان امکان بازدید از شرکت دهنخدا فراهم نگردید. بر اساس بازدیدهای انجام شده در این ماه و ماه گذشته یک دید کلی از فرایند تولید شکر فراهم شده و بر اساس این دید برنامه‌ای جهت انجام مطالعات گسترده در زمینه‌ی معرفی راهکارهای کاهش مصرف گاز در این شرکت‌ها در فصل پنجم ارائه شده است.

۱۰. به دلیل جانمایی جدید مخازن تحت فشار آزمایشگاه تخصصی گاز، نیاز بود که مدل سه‌بعدی و نقشه‌های ایزومتریک ایستگاه تقویت و تقلیل فشار این آزمایشگاه مجدداً ترسیم گردد. لذا پیرو گزارش ماه قبل، اقدامات لازم جهت این کار از ماه گذشته آغاز شد که خوشبختانه در این ماه تکمیل گردید. برای ترسیم نقشه‌ها از نرم‌افزار معروف پایپینگ یعنی PDMS استفاده

شد. همچنین مدل‌سازی و طراحی لوله‌کشی براساس استانداردهای ASME و ASTM انجام گردید تا مدل تهیه شده و نقشه‌های تولیدی، برای اجرا و ساخت این آزمایشگاه معتبر و قابل توجیه باشند. در نهایت با طی گام‌های پیشین، نقشه‌های ایزومتریک توسط نرم‌افزار مذکور، ساخته شد. همچنین جهت اجرای پایپینگ درون سوله آزمایشگاه، مواردی خارج از برنامه تعیین شده برای این ماه به مرکز ارجاع داده شد که در همین ماه تکمیل گردیده و در قالب یک لوح فشرده به شرکت گاز استان خوزستان ارسال گردید. شرح بیشتر این فعالیت‌ها در فصل ششم ارائه شده است. لازم به ذکر است نقشه‌های ایزومتریک تولید شده در لوح فشرده گزارش موجود می‌باشند. فصل آخر نیز در برگیرنده فعالیت‌های ماه آتی می‌باشد.

۲ بررسی اثر انتقال حرارت بر جریان هدر رفت گاز در شبکه خطوط لوله

پیش از این در ماه‌های گذشته، مساله محاسبه دبی گاز هدر رفت از یک خط لوله با در نظر گرفتن اثرات انتقال حرارت مورد بررسی قرار گرفت. در این راستا پس از استخراج معادلات حاکم و تعیین شرایط مرزی، الگوریتم جهت حل معادلات ارائه گردید و سپس کد محاسباتی مطابق با الگوریتم مذکور تدوین شد. همچنین به منظور اعتبارسنجی الگوریتم و کد محاسباتی تهیه شده، نتایج آن با مسایل حل شده‌ی موجود در مراجع علمی مورد مقایسه قرار گرفت که انطباق بسیار خوبی مابین نتایج مشاهده می‌شد. با این وجود حساسیت بسیار بالای روند حل مساله به حدس‌های اولیه و فرآیند سعی و خطا، منجر به زمانبر شدن و همگرایی بسیار ضعیف الگوریتم مذکور شده بود.

به منظور شبیه‌سازی فرآیند هدر رفت گاز از یک شبکه، می‌بایست از الگوریتم ارائه شده برای یک خط لوله بهره گرفت. با توجه به تعدد انشعابات موجود در یک شبکه، استفاده مکرر از الگوریتم مذکور فرآیند شبیه‌سازی هدر رفت حتی از یک شبکه‌ی ساده نیز بسیار زمانبر شده و عملاً کارایی و کاربردی نخواهد داشت. همچنین با توجه افزایش تعداد مراحل سعی و خطا در یک شبکه (با توجه به وجود اتصالاتی نظیر T-شکل)، حساسیت روند حل به حدس‌های اولیه بیشتر شده و همگرایی آن به شدت کاهش خواهد یافت.

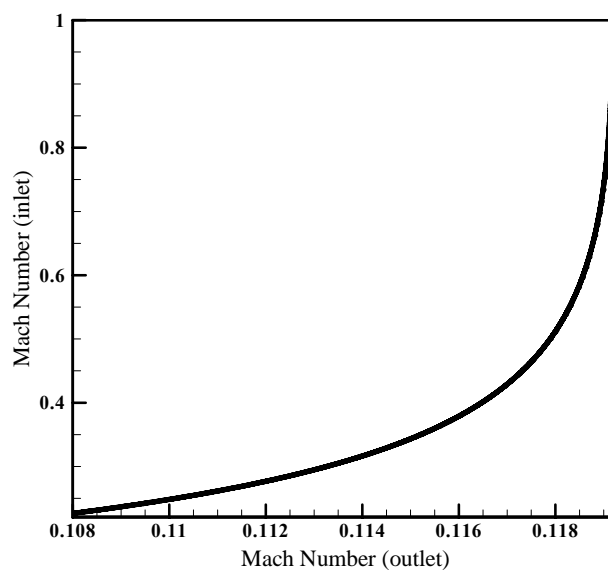
از اینرو جهت شبیه‌سازی هدر رفت گاز از یک شبکه، پیش از هر کاری می‌بایست ابتدا الگوریتم حل و کد محاسباتی متناسب با آن اصلاح گردد. لذا در گام نخست با بررسی کد محاسباتی، مشکل اصلی همگرایی ضعیف روند حل و زمانبر بودن آن مشخص شد. بدین‌گونه که مشاهده گردید در صورتی که عدد ماخ جریان در ورودی لوله بیش از $m^* 1$ حدس زده شود، مساله به سرعت واگرا

^۱ عدد ماخی در ورودی لوله که به ازای آن جریان در خروجی صوتی شود.

خواهد شد.

پیش از این به منظور حل این مشکل تصمیم بر آن شد تا روند سعی و خطا و حدس‌های اولیه بگونه‌ای کنترل شود که در حین فرآیند حل، جریان درون لوله صوتی نشود. بدین ترتیب اصلاح عدد ماخ ورودی حدس زده شده با روش‌های محاسباتی موجود امکان‌پذیر نبوده و می‌بایست عدد ماخ ورودی بتدریج از یک حدس اولیه پایین افزایش یافته تا به شرایط جریان صوتی درون لوله (حالت خفگی جریان) رسید. این امر زمان محاسبات را به شدت افزایش خواهد داد.

از طرفی با بررسی تغییرات عدد ماخ خروجی به ازای عدد ماخ در ورودی انشعاب، مشاهده شد که شدت تغییرات ماخ خروجی در شرایط نزدیک شدن به جریان صوتی درون لوله بسیار زیاد است (شکل ۱-۲). لذا می‌بایست گام تغییرات عدد ماخ ورودی بسیار کوچک در نظر گرفته شده، تا بدین ترتیب بتوان شرایط خفگی جریان درون لوله را شناسایی و از واگرایی نتایج جلوگیری شود. لازم به ذکر است که این امر زمان مورد نیاز برای محاسبات را چندین برابر افزایش خواهد داد.



شکل ۱-۲: تغییرات عدد ماخ خروجی نسبت به تغییرات عدد ماخ ورودی

با توجه به این موضوع که نقص الگوریتم و کد محاسباتی ارائه شده مربوط به مرحله شناسایی شرایط خفگی جریان در لوله است، لذا با توجه به شکل ۱-۲ تصمیم بر آن شد تا حل از انتها به سمت ابتدای لوله انجام شده تا بدین ترتیب علاوه بر اطمینان از صوتی بودن شرایط مورد بررسی به ازای تمامی مقادیر حدس زده شده، بتوان از روش‌های محاسباتی معمول جهت اصلاح حدس‌های اولیه بهره برد و زمان محاسبات به میزان قابل توجهی کاهش داد.

لازم به ذکر است که به منظور شروع حل از انتها به ابتدای لوله می‌بایست از تفاضل پسر و برای

حل معادلات حاکم استفاده کرد. همچنین در این شرایط با معلوم بودن عدد ماخ در خروجی جریان (عدد ماخ ۱ به ازای شرایط صوتی درون لوله)، لازم است تا فشار و دمای جریان در خروجی لوله حدس زده شده و با توجه به مقادیر معلوم این پارامترها در ابتدای لوله اصلاح گردند. در نهایت با همگرا شدن جواب، تمامی پارامترهای جریان در طول محاسبه خواهند شد. در ادامه روند گام به گام حل مساله مطابق با الگوریتم جدید جهت محاسبه دبی هدر رفت گاز آورده شده است.

۱. فرض می‌شود جریان در خروجی انشعاب صوتی شده و عدد ماخ خروجی به مقدار یک می‌رسد (اصطلاحاً جریان دچار خفگی شده است).

۲. فشار و دمای جریان در خروجی لوله حدس زده شده و طی یک فرآیند سعی و خطا بگونه‌ای اصلاح می‌شود تا فشار و دما در خروجی جریان به مقدار معلوم خود برسند.

۳. فشار اصلاح شده در خروجی انشعاب (با فرض خفگی جریان)، با فشار اتمسفر مقایسه می‌شود. چنانچه فشار خروجی برابر یا بیش از فشاری باشد که خط به آن تخلیه می‌شود (فشار اتمسفر)، آنگاه فرض خفگی جریان صحیح است. بدین ترتیب با در اختیار داشتن مقدار صحیح عدد ماخ و به تبع آن سرعت جریان در ورودی، می‌توان دبی هدر رفت از انشعاب را محاسبه نمود.

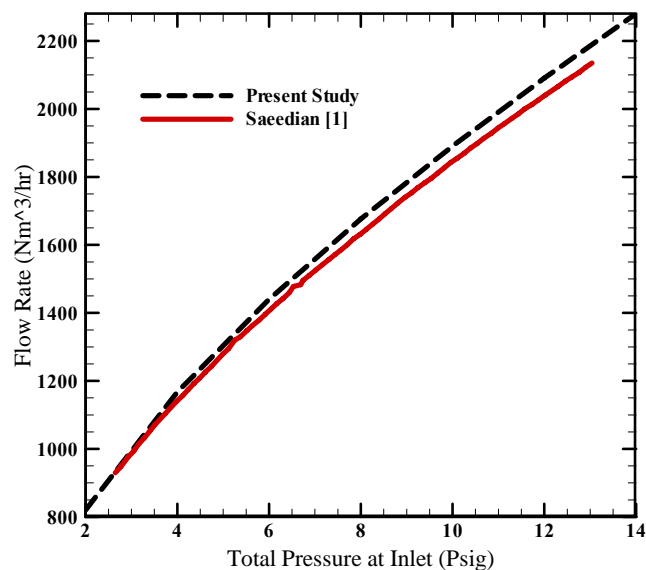
۴. حال در صورتی که فشار خروجی محاسبه شده از فشاری که خط به آن تخلیه می‌شود (فشار اتمسفر) کمتر باشد، فرض خفگی جریان صحیح نمی‌باشد.

۵. در صورت عدم خفگی جریان، لازم است تا عدد ماخ (و به تبع آن سرعت) در ورودی مجدداً حدس زده شده و طی یک روند سعی و خطا به نحوی اصلاح گردد که فشار محاسبه شده در خروجی انشعاب به فشار اتمسفر برسد. در این شرایط نیز با بدست آوردن مقدار صحیح سرعت در ورودی، می‌توان دبی هدررفت از انشعاب را محاسبه نمود. لازم به ذکر است که در این بخش مشابه الگوریتم قبل می‌بایست از تفاضل پیشرو استفاده کرد.

همان‌گونه که مشاهده می‌شود، تنها بخش مربوط به شناسایی شرایط خفگی جریان تغییر یافته و مابقی روند حل مساله مشابه با الگوریتم ارائه شده‌ی پیشین است. در ادامه پس از اصلاح کد محاسباتی مطابق با الگوریتم جدید، جهت اطمینان از صحت نتایج آن لازم است تا با حل نمونه مسایل موجود در مراجع علمی، از اعتبار نتایج آن اطمینان حاصل گردد.

مساله اول دبی هدررفت را خط لوله‌ای ۲ اینچ و به طول ۴ متر را به ازای فشارهای ورودی متفاوت مورد مطالعه قرار می‌دهد. البته لازم به ذکر است که در مساله مربوطه جریان آدیاباتیک فرض

شده‌است. پیش از این سعیدیان مساله مذکور را توسط شبیه‌سازی کامپیوتری به کمک نرم‌افزار فلونت حل کرده و نتایج خود را با داده‌های تجربی مقایسه نمود [۱]. شکل ۲-۲ مقایسه نتایج مساله حل شده به کمک الگوریتم جدید را با نتایج ارائه شده توسط سعیدیان مقایسه می‌کند [۱]. همان‌گونه که مشاهده می‌شود نتایج حاصل از الگوریتم ارائه شده انطباق مناسبی با نتایج حاصل از شبیه‌سازی ارائه شده توسط سعیدیان دارند.

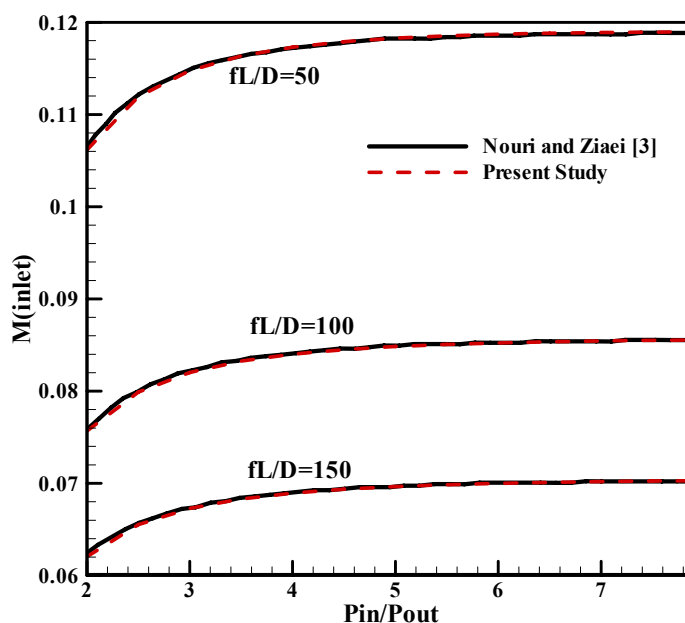


شکل ۲-۲: مقایسه میزان دبی هدررفت به ازای فشارهای ورودی متفاوت

مساله دوم نیز به نحوی انتخاب شده‌است که علاوه بر در نظر گرفتن ترم انتقال حرارت در معادلات انرژی، بتوان مقایسه‌ای مابین الگوریتم‌های پیشین و جدید در زمان محاسبات انجام داد. لذا مساله نمونه دوم معرفی شده در گزارش مردادماه سال ۹۳ که جهت اعتبارسنجی الگوریتم پیشین معرفی شده بود، مجدداً با الگوریتم جدید حل شده‌است [۲]. همان‌گونه که از شکل ۲-۳ می‌توان مشاهده نمود، نتایج حاصل از شبیه‌سازی حاضر تطابق بسیار خوبی با نتایج عددی نوری-بروجردی را نشان می‌دهند. همچنین لازم به ذکر است که زمان محاسبات جهت حل این مساله به کمک الگوریتم پیشین در حدود ۴۰ دقیقه محاسبه شد. در صورتی که با استفاده از الگوریتم جدید و اصلاح برنامه کامپیوتری، محاسبات مربوطه در زمان کمتر از ۲ دقیقه به نتیجه‌ای کاملاً مشابه رسیده‌است.

بدین ترتیب با بکارگیری الگوریتم ارائه شده، شبیه‌سازی هدر رفت گاز از شبکه خطوط لوله در دستور کار مرکز پژوهشی قرار گرفته که نتایج آن در ماه آتی ارائه خواهند شد. همچنین لازم به ذکر است که مقاله‌ای با عنوان " بررسی اثرات انتقال حرارت در شبیه‌سازی فرآیند هدر رفت گاز از خطوط لوله " به منظور شرکت در سومین کنفرانس علمی مهندسی فرآیند تهیه و جهت داوری به

دبیرخانه کنفرانس ارسال گردید. متن کامل مقاله در پیوست الف گزارش آورده شده است.



شکل ۲-۳: تغییرات عدد ماخ ورودی به ازای نسبت‌های فشاری مختلف و طول‌های بی‌بعد گوناگون

۱.۲ مراجع

[۱] سعیدیان، حجت، شبیه‌سازی عددی گاز هدررفت در شبکه‌های گازرسانی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه مکانیک، دانشکده مهندسی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اسفند ۱۳۹۱.

[۲] گزارش ماهیانه فعالیت‌های انجام‌شده در تیرماه ۱۳۹۳، GNRC-KHGC-MR 1393-03، مرکز پژوهش شبکه‌های گازرسانی، مردادماه ۱۳۹۳.

[3] A.Nouri-Borujerdi, M.Ziaei, "Simulation of Compressible Flow in High Pressure Buried Gas Pipelines", International Journal of Heat and Mass Transfer. 52 (2009) 5751-5758.

۳ تکمیل نرم افزار محاسبه هدر رفت گاز

در راستای تکمیل نرم افزار پرچ طبق برنامه ریزی های قبلی مراحل زیر پیش بینی شده بود:

- بررسی صحت استفاده از فرض گاز ایده آل
- محاسبه ی گاز هدر رفت از شیرهای اطمینان ایستگاهها
- ارتقای محیط کاربری نرم افزار و ارائه ی راهنمایی های لازم به کاربر توسط نرم افزار

صحت سنجی فرض کامل در ماه گذشته انجام شد و مشاهده گردید که استفاده از فرض گاز کامل تاثیر چندانی بر روی میزان دبی خروجی نداشته و بیشتر در دقت محاسبه ی دمای گاز خروجی موثر می باشد. در هر صورت با توجه به اینکه متغیر مورد توجه میزان دبی گاز خروجی است، از اینرو بدون تغییر در نرم افزار می توان از همان مدل قبلی استفاده نمود.

از جمله برنامه هایی که جهت تکمیل نرم افزار هدر رفت مدنظر بود، محاسبه ی گاز هدر رفت از شیرهای اطمینان ایستگاهها می باشد. با توجه به مسئولیت این شیرها در ایستگاه، می بایست با افزایش فشار در خروجی ایستگاه و رسیدن آن به حد معین (به عنوان مثال فشار 70 Psig در خروجی TBS) عمل کرده و گاز را تخلیه نمایند. انتظار طبیعی بدین شکل است که با کاهش فشار ایستگاه و قرار گرفتن آن در محدوده مجاز، تخلیه ی گاز از این شیر قطع شده و شبکه به کار خود ادامه دهد. با توجه به صحبت هایی که با کارشناسان مربوطه انجام شد، مشخص گردید که بستن شیر به صورت مکانیکال بوده و تنها با حضور افراد در محل انجام می شود. با توجه به اینکه این مرحله با فاصله ی زمانی نسبتا قابل توجهی انجام می شود، محاسبه ی گاز هدر رفت ناشی از این پدیده از اهمیت ویژه ای برخوردار است. بر این اساس بازدید از یکی از ایستگاه های تقلیل فشار منطقه ای انجام شده و مدل سازی مربوط به این حالت نیز انجام گرفت. نتایج این مدل سازی به صورت یک بخش مجزا به نرم افزار اضافه شده که در ادامه ی این فصل جزئیات آن تشریح شده است.

در ویرایش های قبلی نرم افزار، تمرکز اصلی بیشتر بر روی قابلیت های محاسباتی نرم افزار بود. از

اینرو در برخی مواقع مرتکب شدن خطا توسط کاربر در پر کردن فیلدهای خالی نرم‌افزار می‌توانست منجر به ارائه نتایج نادرست و یا در بعضی مواقع خروج ناخواسته از نرم‌افزار شود. جهت رفع این مشکل نیز یک سری اصلاحات بر روی منوها و فیلدهای نرم‌افزار انجام گرفت که در ادامه‌ی فصل تشریح خواهند شد.

۱.۳ محاسبه هدر رفت گاز از شیر اطمینان

همانگونه که پیشتر اشاره شد، هدر رفت از شیرهای اطمینان زمانی آغاز می‌شود که فشار بعد از رگولاتور بالاتر از حد مجاز خروجی ایستگاه شود. در این صورت شیر عمل کرده و گاز را تخلیه می‌نماید. در شکل ۱-۳ نمایی از یک شیر تخلیه در یک ایستگاه تقلیل فشار منطقه‌ای ارائه شده‌است.



شکل ۱-۳: شیر تخلیه در ایستگاه تقلیل فشار

یکی از پارامترهای مهم در محاسبه‌ی میزان هدر رفت، اندازه‌ی فشار خط اصلی قبل از شیر اطمینان می‌باشد. خوشبختانه همان‌گونه که در شکل ۱-۳ ملاحظه می‌شود، قبل از شیردر ایستگاه یک فشارسنج نصب شده‌است. به‌منظور اطلاع از نحوه‌ی تغییر فشار خط اصلی، با همکاری مسئولین مرتبط بازدید از یکی از ایستگاه‌های تقلیل فشار منطقه‌ای انجام گرفت. در این بازدید با انجام برخی تغییرات در ایستگاه اجازه داده شد که شیر اطمینان عمل کرده و گاز از این شیر تخلیه گردد. در این حالت مشاهده شد که فشار خط اصلی در چند ثانیه اول کمی تغییر نموده و سپس بر روی عددی

ثابت ماند. بر این اساس فرضی که در مدل‌سازی مسائل قبلی استفاده شده در این حالت نیز منطقی بوده و می‌توان فشار خط اصلی که شیر تخلیه بر روی آن سوار می‌باشد را در زمان تخلیه ثابت در نظر گرفت.

تحلیل مسئله هدر رفت گاز در گذشته نشان داده که افت‌های موضعی و به خصوص افت ناشی از انقباض ناگهانی که بیشتر در محل انشعابات رخ می‌دهد تاثیر به‌سزایی در میزان دبی هدر رفت گاز دارد. افت‌های موضعی که در مسیر گاز خروجی از شیر اطمینان وجود دارد مشتمل بر افت‌های ناشی از انقباض ناگهانی، عبور از یک ریدیوسر، عبور از یک پلاگ واو، عبور از مقطع خروجی در شیر اطمینان و عبور از یک زانویی می‌باشد. نمای از نزدیک شیر که در آن عوامل افت موضعی مشهود می‌باشد در شکل ۲-۳ ارائه شده‌است.



(ب)



(الف)

شکل ۲-۳ عوامل افت موضعی در شیر تخلیه

طول معادل برخی از این افت‌های موضعی همچون زانویی و شیر پلاگ از مدل‌سازی‌های گذشته در اختیار بود. به منظور محاسبه‌ی طول معادل و یا ضریب تصحیح فشار دیگر افت‌های موضعی از مدل‌سازی‌های CFD استفاده شده و تقریبی برای آنها در مورد ایستگاه مورد بازدید بدست آمد. البته شایان ذکر است که با توجه به اینکه متناسب با ظرفیت و محدوده فشار کاری ایستگاه تقلیل فشار، قطر خطوط اصلی ایستگاه و بالطبع انشعابات تغییر خواهد کرد، از اینرو برای سایر ایستگاه‌ها مدل‌سازی‌ها متناسب با آن ایستگاه‌ها اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. در هر صورت بر مبنای اطلاعات موجود

از ایستگاه مطالعه شده، ماژول‌های مناسب برای نرم‌افزار طراحی شده و تغییراتی در نرم‌افزار ایجاد گردید. این تغییرات در شکل ۳-۳ و شکل ۳-۴ ارائه شده‌است. بدین وسیله کاربر با وارد نمودن اطلاعات مورد نیاز، مشابه با دیگر بخش‌ها تنها با یک کلیک میزان گاز هدر رفت را در اختیار خواهد داشت.

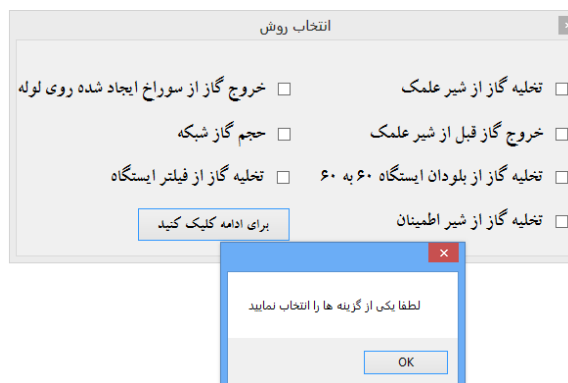
شکل ۳-۳: تغییر در صفحه انتخاب روش هدر رفت گاز

شکل ۳-۴: صفحه جدید مربوط به محاسبه‌ی میزان هدر رفت گاز از ایستگاه تقلیل فشار گاز

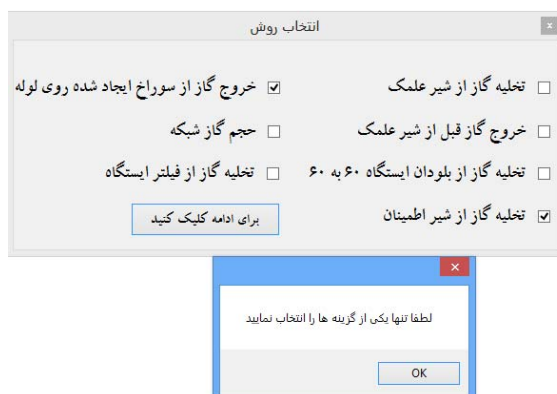
۲.۳ ارتقای محیط کاربری نرم‌افزار

در ویرایش‌های گذشته نرم‌افزار به مقادیر وارد شده توسط کاربر هیچ‌گونه حساسیتی نداشته و از اینرو کاربر هر مقدار دلخواهی را می‌توانست وارد نماید. همچنین در صورت خالی ماندن فیلدها، نرم‌افزار بدون آنکه پیغام خطایی دهد و کاربر را متوجه خطای خود کند، اجرا شده و بدون اینکه نتایج را نشان دهد در این حالت باقی می‌ماند. جهت رفع این مشکلات، بازنگری کلی در بخش

گرافیکی نرم‌افزار انجام شده و تمامی فیلدها به مقادیری که توسط کاربر وارد می‌شوند حساس شده‌است. برای نشان دادن این قابلیت‌های جدید، چند حالت نمونه در ادامه ارائه شده‌است. به عنوان مثال چنانچه کاربر در صفحه انتخاب روش، بدون انتخاب مسئله مورد نظر بر روی دکمه ارائه کلیک نماید و یا دو روش را به صورت همزمان انتخاب نماید با پیام ارائه شده در شکل ۳-۵ و شکل ۳-۶ مواجه می‌شود.



شکل ۳-۵: پیام خطای ناشی از عدم انتخاب روش



شکل ۳-۶: پیام خطای ناشی از عدم انتخاب روش

همچنین چنانچه کاربر فیلدی را خالی بگذارد، با خطایی مشابه با شکل ۳-۷ یا شکل ۳-۸ و در صورت صفر وارد نمودن مقادیر با شکل ۳-۹ مواجه می‌شود.

شکل ۳-۷: پیام خطای ناشی از خالی گذاشتن فیلدهای ضروری (نمونه ۱)

شکل ۳-۸: پیام خطای ناشی از صفر وارد نمودن فیلدهای ضروری (نمونه ۲)

شکل ۳-۹: پیام خطای ناشی از صفر وارد نمودن فیلدهای ضروری

در بعضی فیلدها که مقادیر به هم مرتبط می‌باشند نیز برنامه به‌طوری طراحی گردید که در صورت وارد نمودن مقادیر غیرمنطقی، کاربر با پیام هشدار روبه‌رو شود. به عنوان مثال در بخش محاسبه حجم گاز درون شبکه، مجموع درصد ترکیبات گاز باید برابر با ۱۰۰ درصد باشد، حال چنانچه کاربر به اشتباه مقادیری وارد نمود که در این شرط صدق نمی‌کنند با پیام خطا مطابق با

شکل ۳-۱۰: مواجهه خواهد شد.

شکل ۳-۱۰: پیام خطای مرتبط با منطق اعداد پر شده

۳.۳ پیشنهادات جهت تکمیل کار

بازدیدهای انجام شده و مطالعه‌ی نقشه‌های تیپ ایستگاه‌های تقلیل فشار گروه تحقیقاتی را به این نتیجه رسانده‌است که جهت مدل‌سازی هدر رفت از شیرتخلیه و فیلتر ایستگاه، تغییراتی را در نرم‌افزار ایجاد نماید. بسیاری از متغیرهایی که کاربر می‌بایست برای دو حالت ذکر شده وارد نماید، برای هر ایستگاه با توجه به ظرفیت و فشار کاری مشخص و ثابت می‌باشد. بر این اساس با صرف‌نظر از برخی پارامترها که تاثیر جزئی دارند، می‌توان مقادیر هدر رفت را تنها بر اساس انتخاب ظرفیت ایستگاه مشخص نمود. به عبارتی برای محاسبه هدر رفت گاز از فیلتر و شیر اطمینان تنها کاربر ظرفیت ایستگاه، فشار کاری و زمان را وارد نموده و محاسبات انجام خواهد گرفت. شایان ذکر است که لازمی رسیدن به چنین نقطه‌ای، انجام انواع مدل‌سازی‌های CFD بوده تا بتوان افت‌های موضعی مربوط به هر یک را محاسبه و در دل نرم‌افزار قرار داد. بر این اساس پیشنهاد می‌شود که جهت ارائه یک نرم‌افزار جامع، فاز مطالعاتی جدیدی با رویکرد اضافه نمودن اطلاعات مربوط به تمامی ایستگاه‌ها در نرم‌افزار تعریف شود.

۴ بهینه‌سازی مصرف گاز در کارخانه شیرین سفال

در راستای بهینه‌سازی مصرف سوخت در کارخانه آجرپزی شیرین سفال اهواز جهت کاهش گاز مصرفی این کارخانه، در ماه گذشته مسیر اصلی دستیابی به راهکارهای کاربردی در قالب مجموعه فعالیت‌هایی طرح و تدوین گردید که این فعالیت‌ها به شرح زیراند.

۱. ارائه معیاری برای محاسبه بازده کوره
۲. بررسی تغییر نسبت هوا به سوخت
۳. تغییر در ساختار نازل سوخت پاش
۴. مطالعه اثر تغییر فشار گاز
۵. بررسی اثر چیدمان گاز
۶. بررسی اتلافات حرارتی از دیوارها، درب‌ها و سقف کوره
۷. امکان سنجی اتوماسیون فرآیند پخت آجر

در تکمیل اقدامات صورت گرفته در ماه گذشته، ابتدا هر یک از فعالیت‌های مشخص شده را به صورت جداگانه مورد مطالعه و بررسی قرار داده تا بدین ترتیب اطلاعات اولیه مورد نیاز جهت اجرای هر یک از این موارد جمع‌آوری شوند. از اینرو در گزارش این فصل ابتدا به منظور دستیابی به معیاری برای سنجش نتایج آزمایشات آتی و اثربخشی راهکارهای پیشنهادی، پارامتر مصرف ویژه انرژی^۲ (SEC) را تعریف کرده تا بتوان مصرف انرژی کارخانه شیرین سفال را پس از اعمال هر تغییر با استانداردهای موجود برای کارخانجات آجر مقایسه نمود.

^۱ Specific Energy Consumption

در بخش بررسی نسبت هوا به سوخت پس از تعریفی از احتراق کامل به بیان نسبت هوا به سوخت و عوامل موثر بر آن پرداخته می‌شود. در قسمت بررسی نازل‌ها نیز به بررسی انواع مشعل‌ها و نازل‌های مربوط به آن‌ها و ویژگی‌های آن‌ها پرداخته می‌شود که اینگونه می‌توان براساس اطلاعات ارائه شده، مشعل کارآمدتر را انتخاب کرد. در قسمت بررسی اثرات تغییر فشار و چیدمان آجرها همان‌گونه که در گزارش ماه گذشته اشاره شد در کارخانه افشین ۲ از روش کاهش فشار گاز و تغییر نوع چیدمان استفاده شده است که اجرای این روش کاهش ۳۰ درصدی در مصرف گاز این کارخانه را به همراه داشته است. در این بخش به بیان روش مذکور پرداخته می‌شود. در قسمت بررسی اتلافات توضیح مختصری در رابطه با اتلافات حرارتی درب‌ها، دیوارها و سقف کوره داده شده سپس در قسمت امکان‌سنجی اتوماسیون نیز پس از برقراری تماس با شرکت گاما پرتو صنعت و اطلاع از نحوه‌ی اتوماسیون به شرح آن پرداخته خواهد شد. گزارش بازدید از کارخانه شیرین سفال در هر بخش به طور مختصر توضیح داده شده است.

۱.۴ ارائه معیاری برای محاسبه بازده کوره

به منظور تعیین معیار مصرف انرژی‌های حرارتی، الکتریکی و کل در فرآیندهای پخت و تولید آجر و همچنین نحوه‌ی ارزیابی و اندازه‌گیری میزان مصرف انرژی، از تعاریف موجود در استاندارد ملی ایران استفاده می‌شود. لذا در ادامه ابتدا به تعریف پارامتر مصرف ویژه انرژی (SEC) پرداخته شده و سپس محدوده استاندارد این پارامتر برای کارخانجات آجری، مطابق با مکانیزم پخت و تولید آجر و همچنین استان محل استقرار کارخانه ارائه خواهد شد.

مصرف ویژه انرژی (SEC) عبارت است از میزان انرژی که به ازای یک واحد تولید مصرف می‌شود. این پارامتر یک معیار جهانی بوده که در تمام دنیا برای مقایسه میزان مصرف انرژی کارخانجات مختلف پذیرفته شده است. مصرف ویژه انرژی (SEC) بصورت سه شاخص مصرف ویژه انرژی حرارتی (SEC_{th})، مصرف ویژه انرژی الکتریکی (SEC_e) و مصرف ویژه انرژی کل (SEC_{tot}) بیان می‌شود.

مصرف ویژه انرژی حرارتی، میزان مصرف انرژی حرارتی را به ازای واحد تولید بیان می‌کند. مقدار مصرف ویژه انرژی حرارتی بر حسب مگاژول بر تن آجر تولیدی بیان شده که با استفاده از رابطه (۱-۴) بدست می‌آید.

$$SEC_{th} = \frac{m_f \times H_v}{t} \quad (1-4)$$

که در آن m_f مصرف سوخت (بر حسب لیتر، نرمال متر مکعب یا کیلوگرم)، H_v ارزش حرارتی واحد سوخت مصرفی (بر حسب مگاژول بر لیتر، مگاژول بر متر مکعب یا مگاژول بر کیلوگرم) و t میزان تولید محصول آجر (بر حسب تن) می‌باشند. لازم به ذکر است که ارزش حرارتی سوخت مصرفی را باید بر اساس ارزش حرارتی سوخت هر منطقه در نظر گرفت.

مصرف ویژه انرژی الکتریکی، میزان مصرف انرژی الکتریکی را به ازای واحد تولید بیان می‌کند. مقدار مصرف ویژه انرژی الکتریکی بر حسب کیلووات ساعت بر تن آجر تولیدی، بیان شده که با توسط رابطه (۲-۴) بیان می‌شود.

$$SEC_e = \frac{E_c}{t} \quad (2-4)$$

که در آن E_c انرژی الکتریکی مصرفی (بر حسب کیلووات ساعت) و t میزان تولید محصول آجر (بر حسب تن) می‌باشد.

مصرف ویژه انرژی کل میزان کل مصرف انرژی (مجموع انرژی الکتریکی و حرارتی) به ازای واحد تولید را بیان می‌کند. مقدار مصرف ویژه انرژی کل بر حسب مگاژول بر تن آجر تولیدی بیان شده و از رابطه (۳-۴) بدست می‌آید.

$$SEC_{tot} = SEC_{th} + (10.8 \times SEC_e) \quad (3-4)$$

در رابطه (۳-۴) ضریب ۱۰/۸، ضریب تبدیل انرژی الکتریکی (بر حسب کیلووات ساعت) به انرژی حرارتی (بر حسب مگاژول) می‌باشد.

معیارهای مناسب برای مصرف مخصوص انرژی، متناسب با نوع فرآیند تولید آجر و همچنین محل استقرار کارخانه مربوطه در استاندارد مربوطه ارائه شده است. جدول ۱-۴ معیارهای مصرف انرژی در فرآیند تولید آجر ماشینی در انواع کارخانجات واقع در استان خوزستان را نشان می‌دهد.

جدول ۱-۴: معیار مصرف انرژی حرارتی، الکتریکی و کل در فرآیندهای تولید آجر ماشینی در استان خوزستان

[۱]

معیار مصرف انرژی کل	معیار مصرف انرژی الکتریکی	معیار مصرف انرژی حرارتی	نوع کارخانه
(مگاژول بر تن)	(کیلووات ساعت بر تن)	(مگاژول بر تن)	

	دارای کوره تونلی			
$SEC_{tot} \leq 3920$		$SEC_e \leq 48$		$SEC_{th} \leq 3400$
	دارای کوره هوفمن			
$SEC_{tot} \leq 3890$		$SEC_e \leq 45$		
	دارای کوره تونلی			$SEC_{th} \leq 2800$
$SEC_{tot} \leq 3320$		$SEC_e \leq 48$		
	دارای کوره تونلی			
$SEC_{tot} \leq 3180$		$SEC_e \leq 35$		

قبل از انجام تغییراتی جهت کاهش مصرف سوخت در کارخانه شیرین سفال باید ابتدا SEC کنونی محاسبه و سپس با معیارهای ارائه شده در استاندارد مقایسه شود. در نهایت با ارائه راهکارها و همچنین ایجاد تغییرات مذکور، مقدار جدید پارامتر SEC بدست می‌آید که می‌توان میزان تاثیر آن را تعیین کرد.

۲.۴ بررسی تغییر نسبت هوا به سوخت

سوخت‌ها عمدتاً از هیدروکربن‌ها تشکیل شده‌اند که شامل دو عنصر هیدروژن و کربن می‌باشد. هنگام سوختن، هیدروژن با اکسیژن تولید آب کرده و کربن با اکسیژن در احتراق کامل، تولید دی‌اکسید کربن می‌نماید. در صورت عدم کافی بودن اکسیژن، احتراق ناقص صورت می‌گیرد. مواد حاصل از این نوع احتراق، دی‌اکسید کربن، بخار آب، مونوکسید کربن و مواد سمی و بدبو خواهد بود. بنابراین احتراق ناقص از دو جهت زیان‌آور است. یکی عدم استفاده کامل از انرژی سوخت و دیگری تولید گازهای خطرناک که تنفس آن‌ها زیان‌آور می‌باشد. لذا با تنظیم هوای ورودی به مشعل می‌توان به حد مطلوب دی‌اکسید و مونوکسید کربن دست یافت تا احتراق از آلودگی کمتر و راندمان بهتری برخوردار باشد. بطور کلی در یک احتراق کامل مخلوط سوخت و هوا باید سریعاً قابل اشتعال بوده و احتراق با حداقل هوای اضافی صورت گیرد.

فرآیند احتراق در صورتی پایدار می‌ماند که نسبت سوخت به هوا در بازه مناسب خود قرار داشته باشد. به عنوان مثال احتراق گاز طبیعی با هوا در دمای محیط تنها در صورتی انجام می‌پذیرد که حجم

سوخت بین ۵ تا ۱۵ درصد حجم هوا باشد. به عبارت دیگر اگر سوخت کم‌تر از ۵ درصد هوا یا بیش‌تر از ۱۵ درصد هوا باشد هیچ‌گونه احتراقی انجام نمی‌شود [۲].

مقدار هوای اضافه به نوع سوخت بستگی دارد، هر چقدر مقدار هوای اضافه بیش‌تر از مقدار لازم باشد، مقدار انرژی که از طریق دودکش خارج می‌شود افزایش می‌یابد. بنابراین در سیستم‌های احتراقی تلاش بر این است که هوای اضافه به حداقل ممکن برسد. به طور مثال برای احتراق گاز طبیعی میزان هوای اضافه می‌بایست بین ۱۰ تا ۱۵ درصد باشد [۳]. لازم به ذکر است که تغییرات دمایی و فشار بارومتریک محیط می‌تواند مقدار هوای اضافه را بین ۵ تا ۱۰ درصد تغییر دهد [۴].

در بازدید انجام شده در این ماه از کارخانه شیرین سفال مشخص گردید که هیچ‌گونه اطلاعات دقیقی از نسبت هوا به سوخت وجود نداشته و در واقع به دلیل قدیمی بودن مشعل‌های مورد استفاده، این اطلاعات در دسترس نمی‌باشد. بعلاوه فقط کوره‌سوز براساس تجربه و رنگ شعله، نسبت هوا به سوخت را توسط شیر گاز تنظیم می‌کند، که این امر فرآیند احتراق را از راندمان بهینه دور خواهد کرد.

۳.۴ تغییر در ساختار نازل سوخت پاش‌ها

از آنجا که نحوه اختلاط سوخت و هوا در تعیین نوع و کیفیت شعله ایجاد شده نقش مهمی ایفا می‌کند و بخش تاثیرگذار در نحوه اختلاط سوخت و هوا، مشعل و نازل آن است، لذا در این قسمت به بررسی ساختار مشعل‌ها و نازل‌های مربوط به آن‌ها پرداخته خواهد شد. پیش از آن ابتدا به برخی از مفاهیم پایه‌ای از مبحث سوخت و احتراق در زمینه ایجاد شعله معرفی می‌گردد.

• اختلاط سوخت و هوا

اختلاط سوخت و هوا اهمیت زیادی در کیفیت احتراق دارد. چنانچه سوخت و هوا دارای نسبت مناسب بوده ولی به درستی با هم مخلوط نشوند، احتراقی رخ نمی‌دهد. چون احتراق در اثر ترکیب سوخت با اکسیژن هوا ایجاد می‌شود، در صورت عدم برخورد بین این دو مولکول، احتراقی رخ نمی‌دهد. برخورد این دو مولکول در صورتی امکان‌پذیر که اولاً سوخت به صورت مولکولی یا حداقل به صورت ذرات ریز بوده و ثانیاً ذرات سوخت کاملاً با هوا مخلوط شده باشند. هر عامل تولید تلاطم، مثل چرخنده، هم زن و پخش کننده می‌تواند ایجاد اختلاط نماید. در مشعل‌ها چنانچه از چرخنده استفاده شود، اختلاط سوخت و هوا بهتر انجام می‌گیرد.

• بازگشت شعله

اگر سرعت گاز در یک شعله پایدار از سرعت شعله کم‌تر باشد، شعله به سمت منبع جریان پیش رود. به این پدیده بازگشت شعله می‌گویند.

- شعله پایدار

اگر گازهای نسوخته در لوله‌ی مشعل با سرعتی برابر سرعت شعله حرکت کنند، در این صورت شعله از لوله‌ی مشعل خارج شده و در سطح خروجی آن شکلی مخروطی به خود می‌گیرد. در این حالت یک شعله پایدار به وجود آمده‌است.

- نسبت هم‌ارزی سوخت

از تقسیم نسبت سوخت به هوای موجود به نسبت سوخت به هوای تئوری، نسبت هم‌ارزی به‌دست می‌آید. برای مخلوط سوخت و هوا ممکن است یکی از سه حالت زیر اتفاق بیافتد.

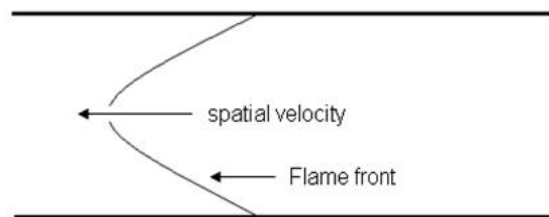
○ مخلوط استوکیومتری: در این حالت میزان هوای موجود در مخلوط برابر با کم‌ترین هوای لازم برای ایجاد یک احتراق کامل خواهد بود. در این مخلوط نسبت هم‌ارزی برابر یک می‌باشد.

○ مخلوط رقیق یا فقیر: اگر در یک مخلوط نسبت سوخت به هوای واقعی از نسبت سوخت به هوای تئوری بیش‌تر باشد، مخلوط موجود را رقیق یا فقیر گویند. در این حالت نسبت هم‌ارزی کم‌تر از یک می‌باشد. معمولاً برای نزدیک‌تر شدن به احتراق کامل و کاهش آلاینده‌ها از مخلوط رقیق استفاده می‌کنند.

○ مخلوط غنی: اگر در مخلوطی نسبت سوخت به هوای موجود از نسبت سوخت به هوای تئوری کم‌تر باشد، مخلوط موجود یک مخلوط غنی خواهد بود و نسبت هم‌ارزی آن بیشتر از یک می‌باشد.

- سرعت شعله

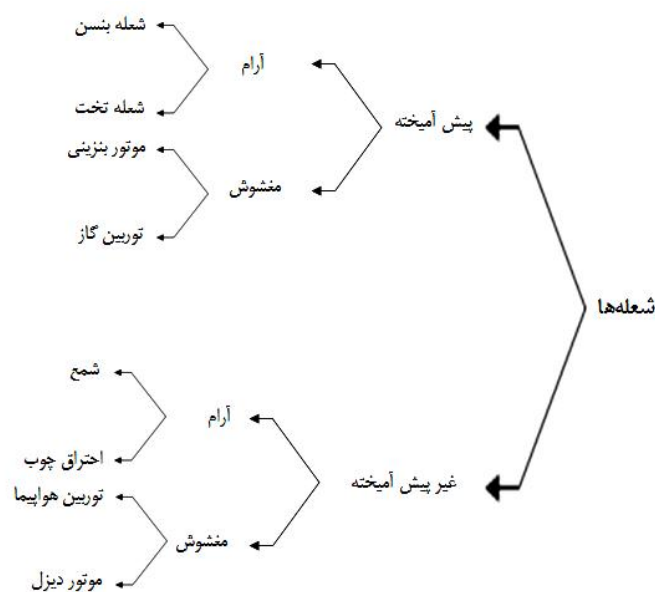
جبهه‌ی شعله با سرعت معینی به سمت گازهای نسوخته حرکت می‌کند. این سرعت را سرعت شعله می‌نامند. در شکل ۴-۱ سرعت شعله و جبهه‌ی شعله نشان داده شده‌است.



شکل ۴-۱: نمایش سرعت شعله و جبهه‌ی شعله

۱.۳.۴ انواع شعله‌ها

در فرآیندهای احتراق، سوخت و اکسیدکننده مخلوط شده و می‌سوزند. بر اساس این‌که سوخت و اکسیدکننده ابتدا مخلوط شده و سپس می‌سوزند یا این‌که احتراق و مخلوط شدن هم‌زمان رخ دهد، شعله‌ها را به دو دسته‌ی اصلی تقسیم‌بندی می‌کنند. سپس هر نوع از این شعله‌ها براساس این‌که جریان سیال آرام یا مغشوش است، مجدداً به دو نوع تقسیم می‌شوند. تقسیم‌بندی کلی شعله‌ها را می‌توان در شکل ۴-۲ مشاهده نمود [۵].

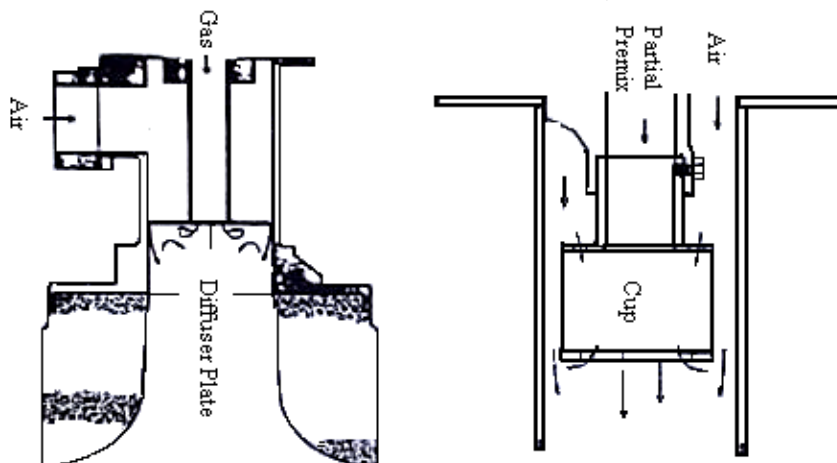


شکل ۴-۲: تقسیم‌بندی شعله‌ها

برخی از شعله‌ها نیز بسته به شرایط می‌توانند پیش آمیخته یا غیر پیش آمیخته باشند. در برنرهای^۳ محفظه اختلالات که نمونه‌ای از آن‌ها در شکل ۴-۳ نشان داده شده‌است، بخشی از هوا و سوخت با هم مخلوط می‌شوند و این باعث بروز رفتاری مشابه پیش آمیختگی و غیر پیش آمیختگی در شعله‌ی برنر

^۳Burner

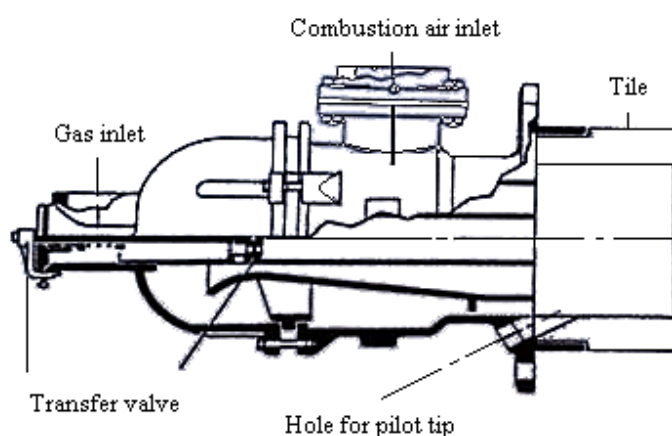
شده که میزان خصوصیات هر کدام به مقدار اختلاط بستگی دارد [۵].



شکل ۳-۴: برنرهای محفظه اختلاط، شعله‌ی این برنرها می‌تواند پیش‌آمیخته یا غیر پیش‌آمیخته باشد.

شعله پیش‌آمیخته

در این شعله‌ها جبهه‌ی شعله به صورت پیش‌آمیخته می‌سوزد و به داخل جریان سیال نسوخته انتشار پیدا می‌کند. در اکثر تجهیزاتی که از شعله‌های پیش‌آمیخته استفاده می‌شود، هوای مورد نیاز معمولاً به موازات سوخت تامین می‌گردد. شکل ۴-۴ یک برنر پیش‌آمیخته‌ی گازی ساده را نشان می‌دهد که برای تولید شعله‌ای بلند و درخشان طراحی شده‌است. در این نوع خاص، هوای مورد نیاز از طریق جداره‌ی بین ورودی گاز و پوسته تامین می‌گردد. با کم کردن سرعت نسبی سوخت و هوا و همچنین سرعت اختلاط آن‌ها، طول شعله افزایش می‌یابد. چنین شعله‌هایی در وسایلی استفاده می‌شوند که در آن‌ها به تشعشع یکنواخت در یک محیط وسیع نیاز است [۵].



شکل ۴-۴: برنر پیش‌آمیخته‌ی گازی ساده

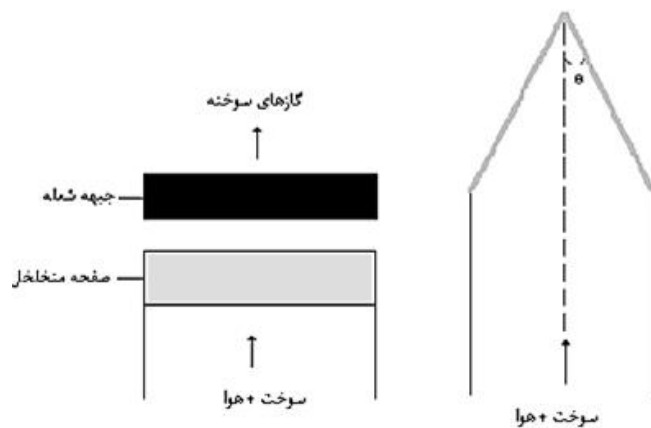
در شعله‌های پیش‌آمیخته اگر شدت اغتشاش زیاد نباشد جبهه‌ی شعله‌ی پیش‌آمیخته، به صورت آرام و منحنی شکل تشکیل می‌شود. در این صورت می‌توان دید که شعله‌های مغشوش از تجمع

تعداد زیادی شعله‌های پیش آمیخته‌ی آرام تشکیل شده‌اند. امتیاز احتراق پیش آمیخته این است که امکان کنترل احتراق بسیار بیش‌تر است. پیش آمیختگی در شرایط کم بودن سوخت، از ایجاد دماهای بالا جلوگیری کرده و در نتیجه احتراق با تولید کمی NO انجام می‌شود. به علاوه در این شرایط فقط مقدار کمی دوده تشکیل خواهد شد.

علی‌رغم این امتیازات به علت امکان تجمع تصادفی حجم‌های بزرگ از واکنش دهنده‌های پیش آمیخته که می‌توانند در یک انفجار غیر قابل کنترل محترق شوند، احتراق پیش آمیخته به طور وسیع استفاده نمی‌شود. شعله‌های پیش آمیخته نیز خود به دو بخش تقسیم می‌گردند.

- شعله پیش آمیخته آرام

در شعله‌های پیش آمیخته آرام سوخت و اکسیدکننده پیش از احتراق مخلوط شده و جریان آرام است. طرحواره‌ای از دو شعله آرام در شکل ۴-۵ نشان داده شده‌است.



شکل ۴-۵: طرحواره‌ای از دو شعله آرام

- شعله‌های پیش آمیخته مغشوش

در این حالت سوخت و اکسیدکننده به صورت پیش آمیخته به سمت بالا حرکت می‌کنند. به وسیله گردش مجدد گازهای داغ پشت یک جسم پایدار کننده‌ی شعله، شعله به طرف مخلوط سوخت و هوای نسوخته انتشار پیدا می‌کند. اگر جریان نزدیک شونده آرام باشد، شعله‌ی پیش آمیخته به صورت V شکل تشکیل می‌شود. اما اگر جریان نزدیک شونده مغشوش باشد، در این صورت زاویه شعله بسته به سرعت نزدیک شدن واکنش دهنده‌ها تغییر می‌کند.

شعله‌های غیر پیش‌آمیخته

این نوع شعله‌ها با توجه به میزان شدت اغتشاش به دو دسته‌ی مغشوش و آرام تقسیم بندی می‌شوند. این شعله‌ها اغلب در کوره‌ها و مشعل‌های صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرند. شعله‌های غیر پیش‌آمیخته روشنایی زرد رنگی دارند. این رنگ به وسیله سوختن ذرات دوده در واکنش‌های شیمیایی پر سوخت در شعله‌های غیر پیش‌آمیخته‌ی با سوخت زیاد، حاصل می‌شود. تحلیل شعله‌های غیر پیش‌آمیخته بسیار سخت‌تر از تحلیل شعله‌های پیش‌آمیخته است. زیرا نسبت هم‌ارزی سوخت در این شعله‌ها تمام گستره‌ی از صفر تا بی‌نهایت را شامل می‌شود. در این شعله‌ها احتراق پر سوخت در طرف سوخت و احتراق کم سوخت در طرف هوا رخ می‌دهد. در این شعله‌ها، جبهه‌های شعله در مناطق نزدیک به ماکزیمم دما، جایی که ترکیب استوکیومتری موجود می‌باشد، تشکیل می‌شوند. از چرخش در برنرهای غیر پیش‌آمیخته بسیار استفاده می‌شود و این کار گاهی حتی در شعله‌های با سوخت مایع و جامد نیز صورت می‌گیرد. شعله‌های غیر پیش‌آمیخته را می‌توان به دو بخش تقسیم نمود.

- شعله غیر پیش‌آمیخته آرام

در این شعله‌ها سوخت و اکسیدکننده در خلال خود فرایند احتراق مخلوط می‌شوند و جریان آرام است. این شعله‌ها به دو شکل مورد استفاده قرار می‌گیرند:

- شعله‌های غیر پیش‌آمیخته جریان متقابل

- شعله‌های غیر پیش‌آمیخته جریان آرام هم‌جهت

- شعله‌های غیر پیش‌آمیخته مغشوش

شدت اغتشاش در این شعله‌ها بسیار بالا می‌باشد. از آن‌جا که در این شعله‌ها، پخش سوخت و هوا به سمت منطقه شعله، در مقایسه با سرعت واکنش بین سوخت و اکسیدکننده در منطقه شعله آهسته است، این شعله‌ها را در گذشته شعله‌های پخشی می‌نامیدند.

۲.۳.۴ انواع مشعل

مشعل دستگاهی است که موجب اختلاط سوخت و هوا گردیده و در نهایت احتراق را به شکل و ترتیبی پایان می‌دهد که مطابق با نیاز دستگاه مورد نظر باشد. بر اساس روش‌های علمی، مشعل‌ها را با توجه به نحوه‌ی اختلاط سوخت و هوا به ۴ دسته تقسیم بندی می‌کنند.

۱. مشعل‌های انتشاری (نفوذی)

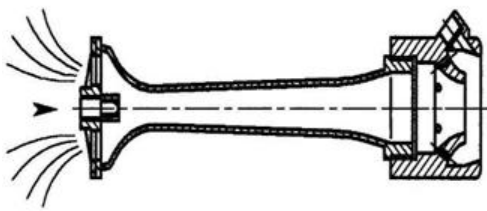
مشعل انتشاری یا تشعشعی یا دیفیوژن^۴ به مشعل‌هایی گفته می‌شود که در آن سوخت به طور مستقل وارد محفظه‌ی احتراق گردیده و در ناحیه احتراق با هوا ترکیب شده و احتراق صورت می‌گیرد. مهم‌ترین ویژگی این مشعل‌ها، شعله‌ی درخشان آن‌ها می‌باشد. ویژگی‌های دیگر این مشعل‌ها نیز عبارتند از:

- شعله‌ی این مشعل‌ها صدای بسیار کمی دارد.
- در این مشعل‌ها برگشت شعله وجود ندارد.
- مقدار حرارت ایجاد شده را می‌توان در آن‌ها بوسیله شیر سوخت تنظیم نمود.
- درجه حرارت شعله‌ی آن‌ها، بسیار پایین‌تر از دیگر شعله‌ها است.
- طول شعله‌ی این مشعل‌ها به دلیل واکنش‌های مرحله‌ای بسیار بلند است.
- مشعل‌های انتشاری را می‌توان به دو دسته‌ی تقریباً مجزا تقسیم بندی کرد:
- مشعل‌های انتشاری تجاری
- مشعل‌های انتشاری صنعتی

۲. مشعل‌های اتمسفریک

در این مشعل سوخت با سرعت زیادی از نازل خارج شده و بوسیله خلائی که در اطراف خود ایجاد می‌کند، بخش یا تمام هوای مورد نیاز برای احتراق را تامین کرده و به همراه خود به لوله می‌برد. بیش‌ترین کاربرد این دستگاه‌ها در لوازم گازسوز خانگی نظیر اجاق گاز، آبگرمکن، بخاری و ... می‌باشد. کاربرد صنعتی این مشعل محدود است و در مواردی در کوره‌های ذوب آهن و عملیات حرارتی به کار رفته‌است. بیش‌تر مشعل‌های دستگاه‌های حرارت‌ساز تجاری نیز از این نوع مشعل‌ها می‌باشند. شعله‌ی این مشعل‌ها یکنواخت بوده و حرارت بالایی تولید می‌کنند. معمولاً تشعشع شعله‌ی این مشعل‌ها پایین است. شکل ۴-۶ یک مشعل اتمسفریک به همراه برشی از آن را نشان می‌دهد.

^۴ Diffiusion



شکل ۴-۶: مشعل اتمسفریک به همراه شماتیکی از برش آن

۳. مشعل‌های دمشی

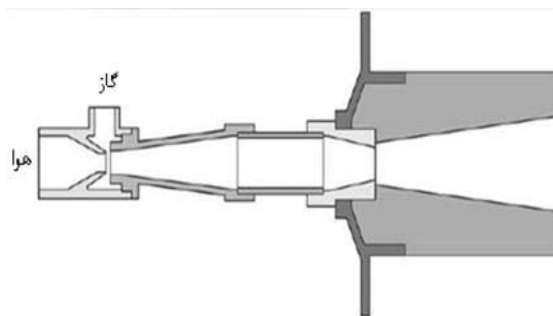
مشعل‌های دمشی به مشعل‌هایی گفته می‌شود که هوای مورد نیاز برای احتراق در آن‌ها بوسیله‌ی یک دستگاه مکانیکی مانند دمنده تامین می‌گردد. این مشعل‌ها تقریباً بیش‌تر مشعل‌های به کار برده شده در صنایع را تشکیل می‌دهند. مشعل‌های دمنده دار نیز به دو بخش تقسیم می‌شوند.

• مشعل‌های پیش مخلوط دمشی

مشعل‌های پیش مخلوط دمشی مشعل‌هایی هستند که در آن‌ها هوا با سرعت از نازل خارج شده و گاز را که با فشار بسیار پایین (معمولاً در حد صفر) در اطراف نازل وجود دارد، با خود به داخل می‌کشند. فشار صفر برای اطراف نازل به وسیله‌ی دستگاهی به نام صفر رگلاتور تامین می‌گردد. از نظر کلی مشعل‌های پیش مخلوط دمشی با مشعل‌های اتمسفریک قابل مقایسه هستند. با این تفاوت که در این مشعل‌ها به جای گاز هوا با سرعت از نازل خارج شده و گاز اطراف را با خود به داخل می‌کشد. در شکل ۴-۷ نمونه‌ای از این مشعل‌ها نشان داده شده‌است. مزایای مشعل‌های پیش مخلوط دمشی عبارتند از:

- رسیدن به نسبت استوکیومتری در این مشعل‌ها بسیار آسان است.
- کنترل نسبت سوخت به هوا بسیار آسان و دقیق خواهد بود.
- چنانچه فشار گاز برابر اتمسفر باشد، در تمامی مراحل نسبت سوخت به هوا خود به خود کنترل خواهد شد.
- مخلوطی با فشار بسیار بالا قابل دستیابی است.
- به دلیل داشتن فشار بسیار بالای مخلوط، امکان داشتن محصولات احتراق با سرعت زیاد که موجب یکنواختی حرارت در حرارت ساز می‌شود، وجود خواهد داشت.
- در این مشعل‌ها به دلیل مخلوط بسیار خوب هوا و گاز، طول شعله بسیار کوتاه بوده که منجر به کوتاه شدن فضای محفظه‌ی احتراق می‌شود.

○ به سادگی می‌توان مشعل را از یک سوخت گازی به سوخت گازی دیگر تبدیل کرد.

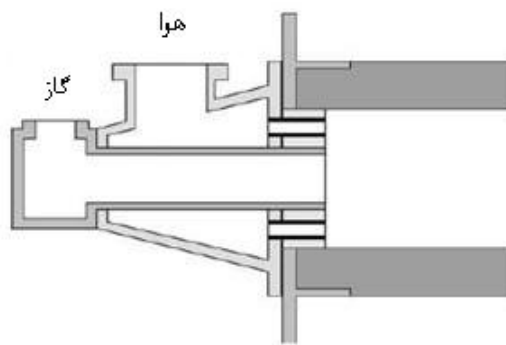


شکل ۴-۷: نمونه‌ای از مشعل‌های پیش مخلوط دمشی

• مشعل‌های مخلوط سر نازل

در مشعل‌های مخلوط سر نازل، اختلاط سوخت و هوا و احتراق، به طور هم‌زمان در قسمت سر دهانه مشعل صورت می‌گیرد (شکل ۴-۸). این مشعل‌ها در نیروگاه‌های بخار و کوره‌های صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرند. مزایای این مشعل‌ها عبارتند از:

- برگشت شعله وجود ندارد.
- فشار هوای مشعل می‌تواند کم باشد.
- پایداری در مقابل پرش شعله افزایش یافته و مشعل می‌تواند با هوای اضافی نیز کار کند.
- امکان استفاده از هوای پیش‌گرم با حرارت‌های بالا در این مشعل‌ها وجود دارد.
- این مشعل‌ها قادر به کار با سوخت‌های مختلف (گاز، مایع، جامد) به صورت جداگانه یا ترکیبی می‌باشند.
- در این مشعل‌ها پایداری شعله ناشی از عدم یکنواختی مخلوط بوده و در نتیجه نقاطی در قسمت سر مشعل یافت می‌شوند که بیش‌ترین سرعت سوختن را دارا می‌باشند.



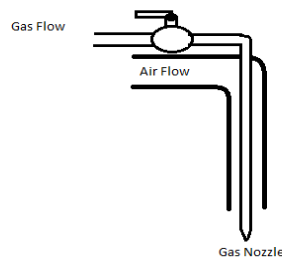
شکل ۴-۸: برشی از مشعل مخلوط سر نازل

۴. مشعل‌های مخلوط ماشینی

همان‌طور که از نام این مشعل‌ها پیداست، اختلاط گاز و هوا به وسیله‌ی دستگاهی که شباهت زیادی به دمنده‌ی هوا دارد، صورت می‌گیرد. معمولاً در این مشعل‌ها گاز و هوا وارد دستگاه گردیده و در آن مخلوط شده و به خارج هدایت می‌شوند. ویژگی این مشعل‌ها، تامین مخلوطی از گاز و هوا با فشار بالا است. این مشعل‌ها شعله‌ای کوتاه با درجه حرارت بالا دارند.

۳.۳.۴ مشعل مورد استفاده در کارخانه شیرین سفال

ساختار نازل مشعل مورد استفاده در کوره‌های کارخانه شیرین سفال مانند شکل ۴-۹ و شکل ۴-۱۰ است. بگونه‌ای که هوای مورد نیاز توسط یک دمنده تامین می‌گردد و قابل اندازه‌گیری نیست. همانگونه که از شکل ۴-۹ و شکل ۴-۱۰ مشخص است، میزان گاز مورد نیاز نیز به وسیله شیر موجود تغییر می‌کند بگونه‌ای که تنظیم نسبت هوا به سوخت، طول شعله، دمای شعله و ... از مقدار ایده‌آل خود اختلاف دارند. لذا راندمان احتراق کاهش یافته و مصرف سوخت افزایش می‌یابد. بنابراین می‌بایست مشعل و نازلی انتخاب گردد که بیشترین دما را به همراه کمترین نسبت هوا به سوخت برای ما فراهم کند.



شکل ۴-۹: ساختار نازل مورد استفاده در کارخانه شیرین سفال
شکل ۴-۱۰: دهانه مشعل و نازل مورد استفاده در کارخانه شیرین سفال

۴.۴ مطالعه اثر تغییر فشار گاز و تغییر چیدمان آجرها

در جهت بررسی اثر گذاری فشار گاز ورودی و همچنین تغییر نوع چیدمان آجرها ابتدا به مقایسه فشار گاز مصرفی در کارخانه شیرین سفال با فشار گاز مصرفی در کارخانه افشین ۲ پرداخته می‌شود. فشار گاز ورودی به کوره‌ها در کارخانه شیرین سفال در بازدید مهرماه در لوله ۲ اینچی در حدود ۲۵psi و در بازدید آبان‌ماه در حدود ۲۰psi بوده‌است. در صورتیکه فشار گاز ورودی در کارخانه آجرپزی افشین ۲ در لوله ۳ اینچی ۳۰psi بوده که با کاهش فشار آن به ۱۵psi توانسته‌اند به صرفه‌جویی نزدیک به ۳۰ درصد در مصرف گاز دست یابند. طی تماس برقرار شده با آقای مهندس علیجانوند، یکی از کاتالوگ‌های مربوط به تغییرات اعمالی در اختیار مرکز پژوهشی قرار گرفت. در ادامه طرح مذکور به صورت مختصر شرح داده می‌شود.

همانگونه که از شکل ۴-۱۱ پیداست در ابتدای لوله قبل از کنتور و تصحیح کننده‌ی مربوط به آن، یک رگلاتور جهت تقلیل فشار از ۳۰ به ۱۵psi بر روی لوله ۳ اینچ نصب شده‌است. لازم به ذکر است که یک لوله ۱/۲۵ اینچی با فشار ۳۰psi را می‌بایست جهت پیش‌گرم در نظر گرفت. به طوری که از یک گاری متصل به لوله با فشار ۳۰psi، جهت پیش‌گرم کوره استفاده می‌شود. سپس مابقی گاری‌ها را که به لوله با فشار ۱۵psi متصل اند را در سیستم قرار داده و کوره به طور عادی به کار خود ادامه می‌دهد. البته به گفته‌ی آقای مهندس علیجانوند، نوع چیدمان آجرها در این روش از اهمیت بالایی برخوردار است و باید به صورت دیواری مشبک بوده تا آتش در بین دیواره به صورت ملایم جریان یابد. خوشبختانه در کارخانه آجرپزی شیرین سفال نوع چیدمان آجرها همانند شکل ۴-۱۲ به صورت دیواری مشبک می‌باشد.



شکل ۴-۱۱: موقعیت قرارگیری ریگلاتور کاهش‌دهنده فشار



شکل ۴-۱۲: چیدمان آجرها در کاخانه شیرین سفال اهواز

در ماه‌های آتی در جهت بررسی اثر بخش بودن کاهش فشار و همچنین تغییر چیدمان، لازم است تا چندین کوره با چیدمان یکسان را در نظر گرفته و فشارهای متفاوتی را به هر کدام اعمال کرد. در نهایت نیز با برداشت اطلاعاتی نظیر میزان آجر تولیدی به همراه میزان گاز مصرف شده، بازده هر یک از کوره‌ها محاسبه شده و اثربخشی تغییرات اعمالی مشخص خواهد شد.

۵.۴ بررسی اتلافات حرارتی از درب‌ها، دیوارها و سقف کوره

به منظور بررسی اتلافات، در ابتدا به ساختار کوره پرداخته می‌شود. دیواره‌ی کوره را از موادی می‌سازند که دمای ذوب و نرم شدن بالایی داشته باشند و بتواند حرارتی را که در کوره به وجود

می‌آید، تحمل کند. همچنین مقاومت مکانیکی بالایی داشته و تحت تاثیر فعل و انفعالات شیمیایی قرار نگیرد. این گونه اجسام را به طور عام نسوز می‌گویند. نسوزهای خوب معمولا گران بوده، لذا دیواره کوره‌ها را نازک اختیار می‌کنند و برای استحکام، پشت دیواره‌ها را با آجرهای نسوز و ارزان قیمت می‌سازند. از آنجا که ضخامت دیواره‌ها و سقف زیاد است، بنابراین اتلاف حرارت از آن‌ها نسبت به درب‌های کوره بسیار ناچیز است. لذا در ابتدا لازم است به طور مختصر به بررسی درب‌های کوره پرداخته شود.

به دلیل نازک بودن درب‌های کوره، راحت‌ترین و ارزان‌ترین کار این است که درب‌های کوره دو جداره ساخته شوند. به طوری که بین هر یک از جداره‌ها هوا قرار گیرد. بدین ترتیب با توجه به این موضوع که رسانندگی هوا نسبت به سایر مواد کم است، انتظار می‌رود اتلاف حرارت از درب‌ها کاهش یابد.

همچنین می‌توان از گازهای خروجی حاصل از احتراق، در خشک کن‌ها استفاده کرد، لذا می‌بایست موقعیت کوره‌ها و قسمت خشک کن و همچنین سایر عوامل موثر مورد بررسی قرار گیرند.

۶.۴ امکان سنجی اتوماسیون

در اتوماسیون تمام فعالیت‌های کنترلی از قبیل روشن خاموش شدن مشعل‌ها، کنترل دما و احتراق در اتاق کنترل توسط کوره‌سوز صورت می‌گیرد. بگونه‌ای که در کوره سنسورهایی به منظور اندازه‌گیری دما (ترموکوپل) و همچنین شیرهای عملگر^۵ معروف به شیر تدریجی برای کنترل دما، احتراق، روشن و خاموش کردن مشعل‌ها استفاده می‌شوند. سپس از طریق کابل‌ها و آنتن‌های موجود اطلاعات دریافتی به مانیتورهای موجود در اتاق کنترل ارسال شده و نمودارهایی براساس این اطلاعات دریافتی رسم خواهند شد. نهایتا نیز این نمودارها با نمودارهای حالت ایده‌آل فرآیند پخت آجر که از قبل در اختیار است مقایسه می‌شوند.

در تماس برقرار شده با مسئولین شرکت گاما پرتو صنعت، مشخص گردید که به منظور راه‌اندازی سیستم اتوماسیون هیچ نیازی به خارج کردن کوره از خط تولید نیست و هزینه این کار نیز برای کوره‌ای با ۳۰ قمیر در حدود ۷۰ میلیون تومان خواهد بود. به دلیل هزینه‌بر بودن اتوماسیون ابتدا سعی می‌شود سایر روش‌های مطرح شده در این گزارش را مورد بررسی قرار داده تا بتوان با صرف حداقل هزینه‌ی ممکن، بهترین نتیجه را بدست آورد.

^۵ Control Valve

۷.۴ مراجع

- [1] Institute of Standards and Industrial Research of Iran, Building bricks- Criteria for Energy consumption in production processes, ISIRI,7965, 1st. Rev,2011.
- [2] Baukal, C. E.; Industrial Burners Handbook , , C. R. C. press L. L. C., 2003.
- [3] The energy Research Institute, How to Save Energy and Money in Boilers and Furnace Systems , University of Cape Town.
- [۴] عبدالله، س، ک. الطافی، م. کاهش مصرف سوخت با کاهش هوای اضافه مشعل، پنجمین کنفرانس سوخت و احتراق ایران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، بهمن‌ماه ۱۳۹۲.
- [۵] ابراهیمی فردویی، الف. ساخت مشعل چرخشی و بررسی تجربی شعله چرخشی، دانشگاه کاشان، ۱۳۹۰.

۵ بهبود مصرف گاز در صنایع تولید شکر

در مهرماه سال جاری از طرف ریاست محترم شرکت گاز استان خوزستان، بررسی میزان مصرف گاز مشترکین پرمصرف و ارائه‌ی راهکارهایی جهت بهبود مصرف گاز به عنوان یکی از سرفصل‌های کاری مرکز پژوهشی شبکه‌های گازرسانی تعریف شد. در این راستا با توجه به اینکه در این اعلام اولویت به شرکت‌های کشت و صنعت نیشکر داده شده‌بود، بررسی این شرکت‌ها مورد توجه قرار گرفت. شرکت‌های اعلام شده شامل بر شرکت‌های زیر می‌باشند.

- کشت و صنعت هفت تپه
- کشت و صنعت کارون
- کشت و صنعت فارابی
- کشت و صنعت میرزا کوچک خان
- کشت و صنعت دهخدا

بر این اساس پس از هماهنگی با نمایندگان هر یک از این شرکت‌ها، بازدیدی توسط تیم تحقیقاتی از این شرکت‌ها به عمل آمد. شایان ذکر است که متأسفانه علیرغم پیگیری زیاد امکان برقراری ارتباط با نماینده کشت و صنعت دهخدا فراهم نشده و با توجه به زمان‌بر شدن این مسئله، نتایج ارائه شده در این بخش منحصر به دیگر شرکت‌ها می‌باشد. بر اساس بازدیدهای انجام شده ملاحظه گردید که فرآیند کلی تولید و تصفیه شکر در کارخانه‌ها مشابه می‌باشد. از اینرو در ادامه ابتدا این فرآیند به صورت کلی تشریح شده و سپس در مورد چالش‌ها و مشکلات موجود در شرکت‌هایی که مورد بازدید قرار گرفته‌اند تشریح می‌شود. لازم به ذکر است که در نتیجه‌ی بازدیدهای انجام گرفته، مراحل لازم جهت مطالعه‌ی علمی شرکت و ارائه‌ی راهکارهای لازم جهت بهبود مصرف گاز

در قالب پیشنهادیه طرح تحقیقاتی آماده شده و در پیوست ب ارائه شده است.

۱.۵ فرآیند کلی تولید شکر از نیشکر

کارخانه‌هایی که از شکر برای تولید نیشکر استفاده می‌نمایند، عمدتاً دارای دوبخش مستقل تولید شکر خام (شکر زرد) و تصفیه شکر می‌باشند. به‌طور کلی مراحل مربوط به هر یک از این بخش‌ها را می‌توان موارد زیر برشمرد.

• مراحل تولید شکر خام

- برداشت و انبار کردن نیشکر
- شستشوی نیشکر
- عصاره‌گیری از نیشکر
- استفاده از فرآیند انتشار برای عصاره‌گیری از نیشکر
- توزین شربت خام
- آهک زنی به شربت خام نیشکر
- ته نشین سازی ناخالصی‌ها و زلال‌سازی شربت نیشکر
- تغلیظ شربت
- طباحی برای تولید شکر خام

• مراحل تصفیه شکر خام و تولید شکر سفید:

- آفیناسیون شکر خام
- حل کردن شکر خام
- تصفیه شربت شکر خام به روش استفاده از ترکیبات فسفات‌دار و شیرآهک
- تصفیه شربت شکر خام به روش استفاده از شیر آهک و گاز کربنیک
- طباحی برای تولید شکر سفید
- مقیاس تولید وزنی

همان‌گونه که مشاهده می‌شود، فرآیند تولید شکر از نیشکر فرآیندی با گستردگی فراوان بوده که در ادامه به‌طور خلاصه این فرآیند تشریح می‌شود. در واحد شکر خام، نیشکر پس از شستشو توسط ابزارهایی شبیه چاقو خرد شده و توسط شریدر به قطعات ریز تبدیل می‌شود. قطعات ریز نیشکر توسط نقاله به آسیاب‌ها انتقال داده می‌شوند (شکل ۵-۱).



شکل ۵-۱: انتقال نیشکر به درون کارخانه

آسیاب‌ها معمولاً از ۴ تا ۶ مرحله تشکیل شده‌اند. در هر واحد بر اثر فشاری که به قطعات نیشکر وارد می‌شود، شربت آن استخراج می‌شود. آسیاب‌ها (شکل ۵-۲) در سالنی مجزا تحت نام سالن آسیاب‌ها قرار گرفته و به کمک توربوموتورهایی به گردش درمی‌آیند. نمایی از سالن آسیاب در شکل ۵-۳ ارائه شده‌است.



شکل ۵-۲: غلطک‌های آسیاب

قطعات خرد شده نیشکر از آسیابی به آسیاب بعدی رفته و ضمن فشردن در بین غلتک‌ها از آنها عصاره‌گیری می‌شود. معمولاً "عصاره‌گیری در آسیاب اول تنها با فشردن‌سازی بین غلتک‌هاست، اما در عصاره‌گیری در آسیاب‌های بعدی گذشته از فشردن‌سازی، استفاده از جریان محلول قندی یا آب نیز برای کمک به استخراج صورت می‌گیرد. شربتی که از آسیاب اول و آسیاب دوم خارج می‌شود با هم مخلوط شده و به عنوان شربت مخلوط به قسمت تصفیه منتقل می‌گردد. برای استخراج قند از نیشکر در آسیاب‌های بعدی جریانی غیر هم جهت از آب (شربت) و نیشکر خرد شده برقرار می‌شود، بدین ترتیب در آخرین آسیاب، بر روی نیشکر قبل از قرار گرفتن در بین غلتک‌ها، آب

پاشیده می‌شود تا با خیس شدن نیشکر امکان بهتری برای استخراج قند باقی مانده در آن فراهم گردد. شربت خروجی از آسیاب آخر، بر روی نیشکری که می‌خواهد به آسیاب قبلی وارد شود پاشیده می‌شود و به همین ترتیب، شربت خروجی از آن آسیاب نیز بر روی نیشکری که می‌خواهد به آسیاب قبل از آن وارد شود، پاشیده می‌شود. به این ترتیب در نهایت در آخرین آسیاب، نیشکر عصاره‌گیری شده و باگاس خارج می‌شود و شربت نیز در نهایت از آسیاب دوم بیرون می‌رود و با مخلوط شدن با شربت خروجی از آسیاب اول به مرحله تصفیه منتقل می‌شود. شربت خام نیشکر که از عصاره‌گیری بدست می‌آید، رنگ سبز مایل به خاکستری یا سبز تیره داشته و pH آن غالباً " حدود ۵/۴-۵/۲ می‌باشد.



شکل ۵-۳: سالن آسیاب

با توجه به ناخالصی‌های موجود در شربت خام نیشکر، یکی از راه‌های جداسازی این مواد از روش آهک زنی است. در اثر آهک زنی که به صورت افزودن شیرآهک انجام می‌شود، ضمن خنثی شدن حالت اسیدی شربت، بسیاری از ناخالصی‌ها، آماده رسوب کردن می‌شوند. در برخی از کارخانه‌ها به جای مقداری از آهک و یا کل آن از منیزیم یا ترکیبات منیزیم و در برخی موارد از ساکارات برای تصفیه شربت خام استفاده می‌شود. پس از افزودن شیرآهک به شربت حدود ۱۵ تا ۲۰

دقیقه زمان داده می‌شود سپس شربت را با عبور دادن از مبدل‌های حرارتی به دمای حدود ۱۰۷-۱۰۴ درجه سانتیگراد می‌رسانند و به قسمت ته‌نشین‌سازی ناخالصی‌ها منتقل می‌کنند. گرم کردن شربت، ویسکوزیته آنرا کاهش داده و موجب تسریع ته‌نشینی ناخالصی‌ها می‌شود.

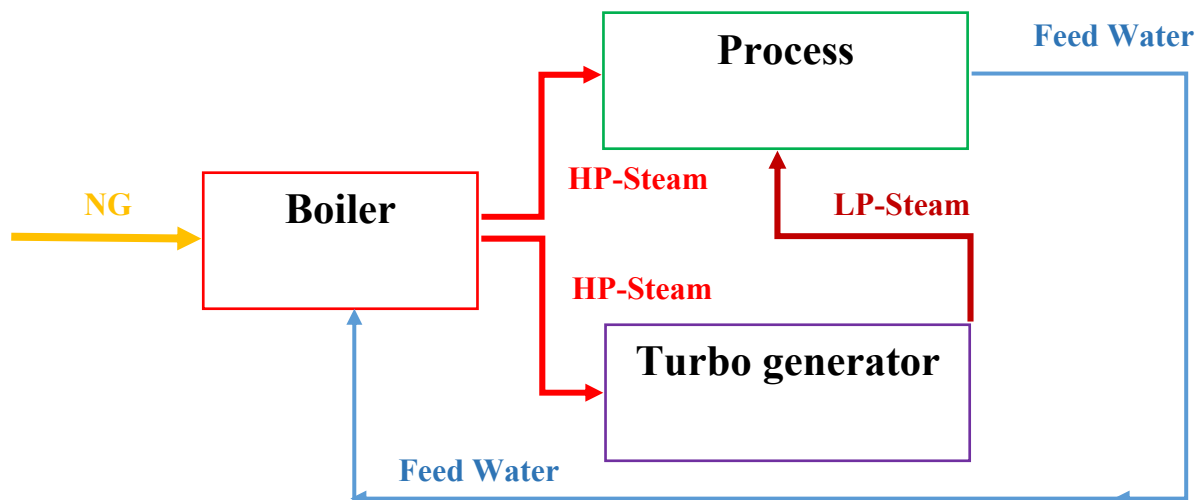
برای ته‌نشینی مناسب مواد غیرقندی و حفظ حداکثر ساکاروز در شربت و کاهش قند وارد شده به گل‌های ته‌نشین شده، وجود انیدرید فسفریک در شربت اهمیت زیادی دارد. چنانچه این ماده در شربت نیشکر کمتر از ۳۰۰ (ppm) باشد، ته‌نشینی ناخالصی‌ها بخوبی صورت نمی‌گیرد. به عبارت دیگر ماده فوق می‌تواند در شربت ایجاد فسفات کلسیم نامحلول کرده که دارای جذب سطحی مناسب است و ضمن رسوب کردن، ناخالصی‌های زیادی را به خود جذب کرده و رسوب می‌دهد. پس از ته‌نشینی ناخالصی‌های شربت در کلاریفایر، شربت زلال جدا شده به مرحله بعد می‌رود و گل ته‌نشین شده نیز غالباً توسط صافی‌های خلاگردان صاف شده و شربت باقی مانده در آن تا حد امکان جداسازی می‌شود. همان‌طور که ملاحظه شد، تصفیه شربت خام نیشکر کامل نیست، بلکه سعی می‌شود که تصفیه و جداسازی ناخالصی‌ها در این مرحله در حدی انجام می‌شود که بتوان از شربت حاصل، طی مرحله کریستالیزاسیون، شکر خام بدست آورد.

در ادامه شربت در تبخیرکننده‌های چند مرحله‌ای (مثلاً "اوپراتورهای ۳ یا ۴ یا ۵ مرحله‌ای") متصل به خلا تغلیظ می‌شود. شربت غلیظ حاصل شده به دیگ‌های پخت تحت خلا منتقل می‌شود. در این دیگ‌ها با فرآیند مخصوص، رطوبت شکر گرفته شده و در نهایت شکر زرد از آنها خارج خواهد شد. در ادامه‌ی فرآیند نیز با استفاده از هیترهایی و طی فرآیندهای مخصوص تولید شکر سفید انجام خواهد شد.

۲.۵ مصرف گاز در شرکت‌های کشت و صنعت

بازدیدهای مقدماتی انجام شده از شرکت‌های کشت و صنعت نیشکر بیانگر این موضوع است که بخش قابل توجهی از انرژی مصرفی مورد نیاز این کارخانه‌ها از طریق سوزاندن گاز طبیعی تامین می‌شود. بویلرها به کمک انرژی حاصل از اشتعال گاز طبیعی، بخار را در فشار بالا تولید کرده و این بخار در فرآیندهای مختلف کارخانه مورد استفاده قرار می‌گیرد. در برخی از کارخانه‌ها علاوه بر استفاده از بخار در فرآیندها، بخشی از آن نیز صرف تولید انرژی الکتریکی در کارخانه می‌شود. بر این اساس می‌توان شماتیکی از فرآیند طی شده توسط بخار در کارخانه را مطابق با شکل زیر در نظر گرفت. با توجه به شکل ۴-۵ ملاحظه می‌شود که بخشی از بخار فشار بالا جهت انجام فرآیندهای مرتبط با تولید شکر، مصرف شده و بخش دیگری جهت تولید انرژی الکتریکی مصرف می‌شود.

بخار کم فشار خروجی از توربین‌های مولد برق نیز مجدداً در بخش‌های فرآیندی مورد استفاده قرار می‌گیرند.



شکل ۴-۵: شماتیکی از فرآیند طی شده توسط بخار در کارخانه

با توجه به شماتیک ارائه شده، مطالعه میزان مصرف انرژی در کارخانه‌های تولید شکر را می‌توان از چند دیدگاه به شرح زیر انجام داد:

- مطالعه عملکرد بویلرها و بررسی کارایی مشعل‌ها و بویلرها
- مطالعه فرآیندهای تولید نیشکر و بررسی میزان مصرف بخار در آنها
- مطالعه بخش تولید توان و بررسی کارایی سیستم تولید توان

۳.۵ برنامه پیشنهادی مرکز پژوهشی

همان‌گونه که پیش‌تر اشاره شد، مصرف گاز عمدتاً به عنوان سوخت مشعل‌ها و جهت تولید بخار در این صنایع می‌باشد. بر این اساس جهت بهبود مصرف گاز مسئله باید از دو دیدگاه مورد بررسی قرار گیرد. دیدگاه نخست در مورد کارایی مشعل‌ها و کوره‌ها در استفاده از انرژی حرارتی گاز بوده و دیدگاه دیگر مربوط به بررسی میزان بخار لازم جهت انجام فرآیندهای مورد نیاز کارخانه است. بر این اساس گام نخست به منظور نیل به هدف اصلی، یافتن شناخت جامع از کلیه فرآیندهای درگیر در مصرف و توزیع انرژی می‌باشد که با انجام بازدید از بخش‌های مختلف و مطالعه نقشه‌های موجود به انجام می‌رسد.

در راستای انجام طرح‌های توسعه کارخانه و یا بنا به دلایلی دیگر، ممکن است تغییراتی در

طراحی اولیه کارخانه ایجاد شده‌باشد. بر این اساس ضروری است که به منظور پیدا نمودن سرخ‌های ابتدایی از دلایل انحراف کارخانه از متوسط مصرف انرژی جهانی، نقشه‌های طراحی، آمار مصارف و تولید کارخانه، آمار خرابی‌ها و دیگر اطلاعات موجود در این رابطه مطالعه و ارزیابی شوند. در ادامه نقاط انرژی بر کارخانه که عمدتاً بویلرها، توربین‌های تولید توان و تغلیظ کننده‌ها و خشک‌کن‌ها می‌باشند به عنوان تابع هدف تعیین شده و به منظور انجام تحلیل‌های ترمودینامیکی و ارزیابی عملکرد تجهیزات مربوطه، اندازه‌گیری‌های مشخصات مربوط به آنها از جمله اندازه‌گیری دبی، فشار و دمای سیال ورودی و خروجی و آنالیز ترکیب گازهای خروجی از مشعل‌ها انجام شود. با داشتن اطلاعات ترمودینامیکی، تجهیزات از لحاظ بهره‌وری مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته و بدین ترتیب ارزیابی کلی از وضعیت فعلی کارخانه بدست آید. درگام بعدی بر اساس نتایج بدست آمده و تحلیل داده‌ها و همچنین بررسی الگوهای کاهش مصرف و طرح‌های ارتقای کارخانه‌های مشابه در کشور و جهان، راهکارهایی که بتواند میزان مصرف گاز در کارخانه را بهبود ببخشد، معرفی شوند. به‌طور حتم بسیاری از راهکارهای معرفی شده، علیرغم اثرگذاری بر مصرف گاز، ممکن است غیرقابل اجرا بوده و یا فاقد توجیه اقتصادی و محیط زیستی باشند. از اینرو راهکارهای معرفی شده با توجه به محدودیت‌های موجود ارزیابی شده و در نهایت روش‌های مناسب و قابل اجرا همراه با توجیه اقتصادی یا زیست محیطی معرفی شوند. در نهایت نیز با توجه به اثرگذاری راهکارها، اولویت‌های اجرایی و مراحل مرتبط تشریح گردند. بر این اساس جهت انجام پروژه مراحل زیر می‌بایست مد نظر قرار گیرند:

۱. شناسایی کامل فرآیندها و شبکه تولید، توزیع و مصرف انرژی
۲. بررسی آمار مصارف پیشین انواع حامل‌های انرژی مشتمل بر سوخت، گاز و برق و مطالعه نقشه‌ها و اطلاعات مربوط به شرایط طراحی کارخانه جهت بررسی انطباق، انحراف و تفاوت‌های سیستم موجود
۳. مطالعه و تحقیق در ارتباط با سایر پروژه‌های مشابه انجام شده در سطح کشور و جهان
۴. تعیین نقاط انرژی بر کارخانه و شناسایی وضعیت فعلی شبکه تولید، توزیع و مصرف انرژی با استفاده از داده‌برداری‌های تجربی فلو، فشار و دما حین کارکرد مجموعه
۵. تحلیل ترمودینامیکی و آنالیز انرژی بویلرها
۶. تحلیل ترمودینامیکی و آنالیز انرژی توربوژنراتورها

۷. تحلیل ترمودینامیکی و آنالیز انرژی خشک‌کن‌ها و سایر فرآیندهایی که با استفاده از بخار در پروسه تولید شکر درگیر می‌باشند.

۸. تحلیل داده‌ها و ارائه سناریوهای مختلف جهت بهبود مصرف انرژی در کارخانه

۹. بررسی امکان‌پذیری و توجیه اقتصادی سناریوهای ارائه شده

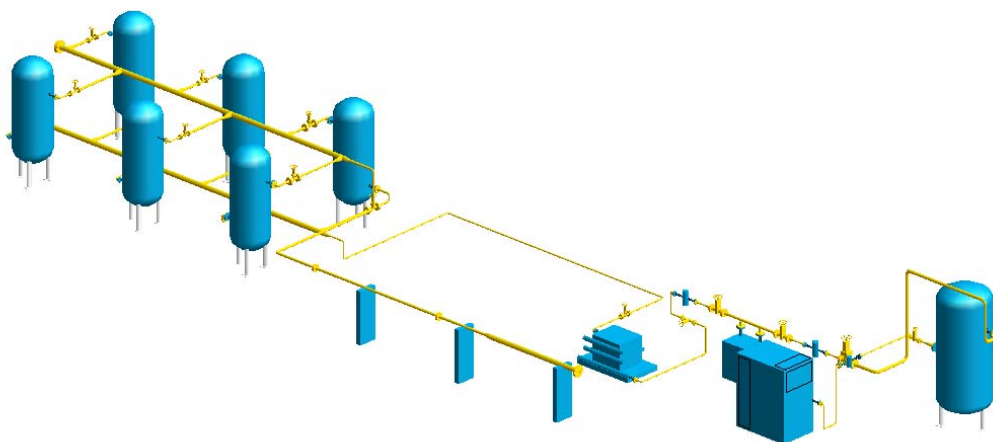
۱۰. معرفی راهکارهای مناسب، اولویت‌بندی و تعیین مراحل کار

۶ نقشه‌های آزمایشگاه تخصصی گاز

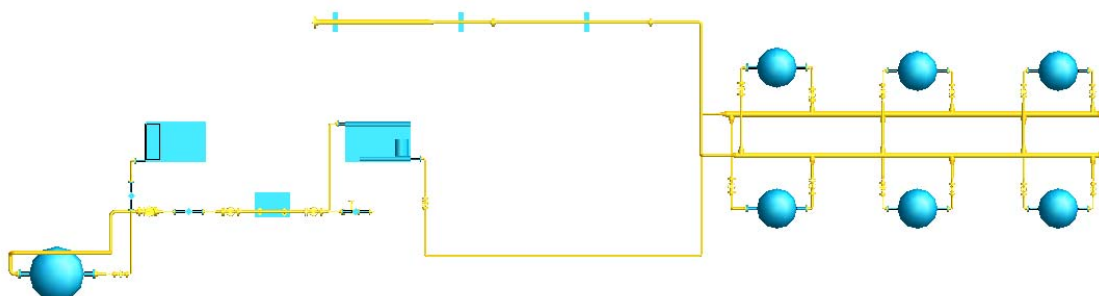
پیرو مطالبی که در مقدمه گزارش ذکر شد، در این ماه نقشه‌های ایزومتریک ایستگاه تقویت و تقلیل فشار و موارد ارجاعی خارج از برنامه برای پاپینگ درون سوله انجام گردید. لذا در دو بخش مطالب این فصل ارائه شده که در ادامه ذکر می‌شود.

۱.۶ نقشه‌های ایزومتریک ایستگاه تقویت و تقلیل فشار آزمایشگاه تخصصی گاز

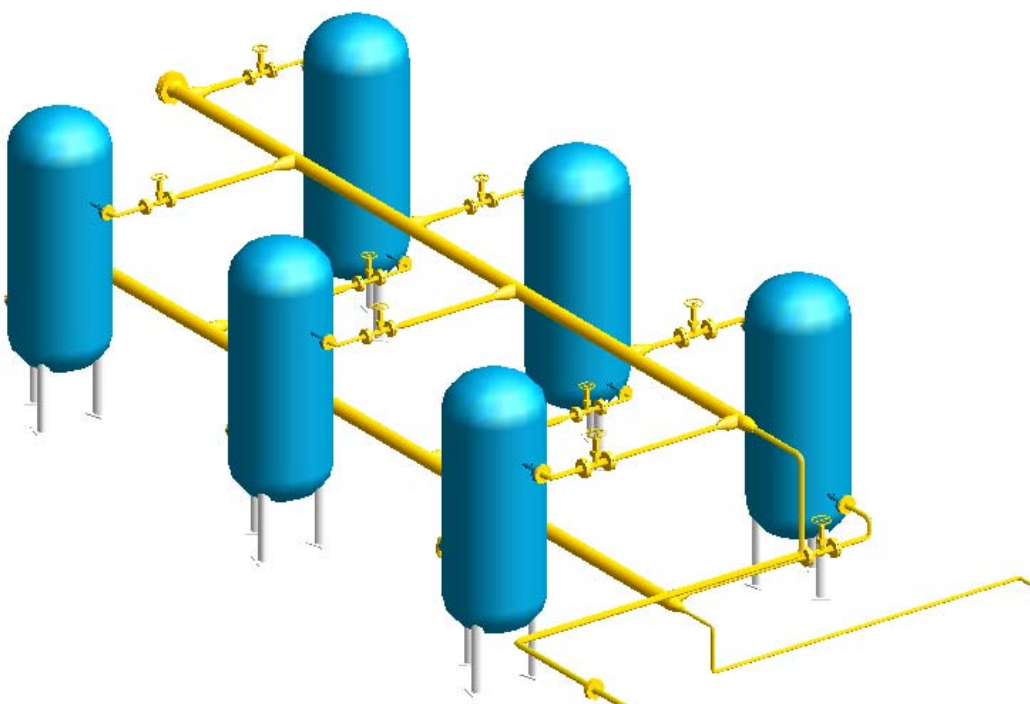
همانگونه که در مقدمه ذکر شد، نقشه‌های ایزومتریک ایستگاه تقویت و تقلیل فشار آزمایشگاه تخصصی گاز در این ماه ساخته شد. برای تهیه این نقشه‌ها ابتدا مدل ایستگاه مذکور در نرم‌افزار PDMS ساخته شد. در شکل ۱-۶ تا شکل ۳-۶ مدل سه‌بعدی این ایستگاه از نماهای متفاوت نشان داده شده‌است.



شکل ۱-۶: مدل سه بعدی ایستگاه تقویت و تقلیل فشار از نمای ایزومتریک در نرم‌افزار PDMS



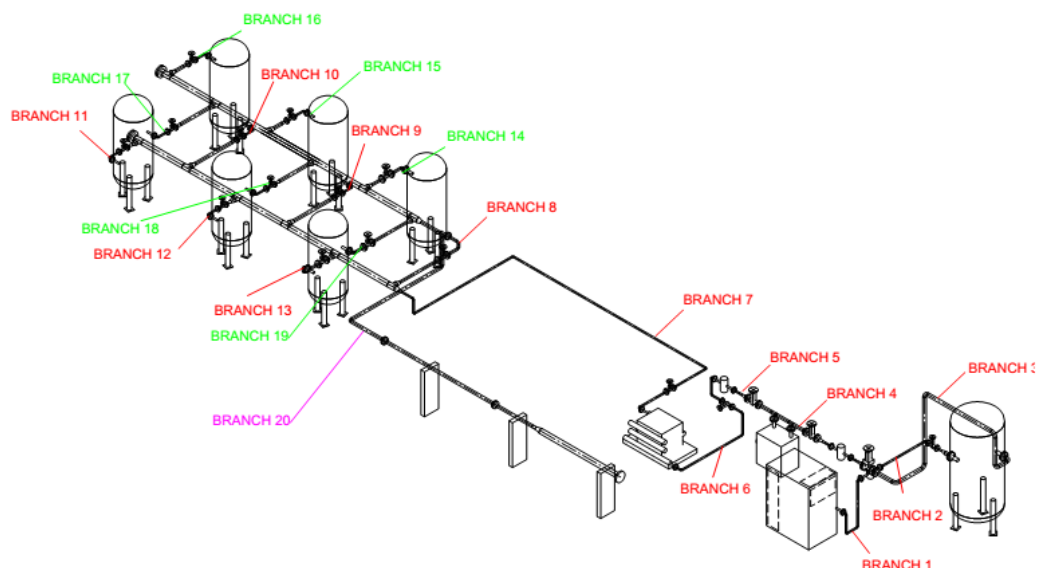
شکل ۶-۲: مدل سه بعدی ایستگاه تقویت و تقلیل فشار از نمای بالا در نرم‌افزار PDMS



شکل ۶-۳: مدل سه بعدی مخازن ایستگاه تقویت و تقلیل فشار در نرم‌افزار PDMS

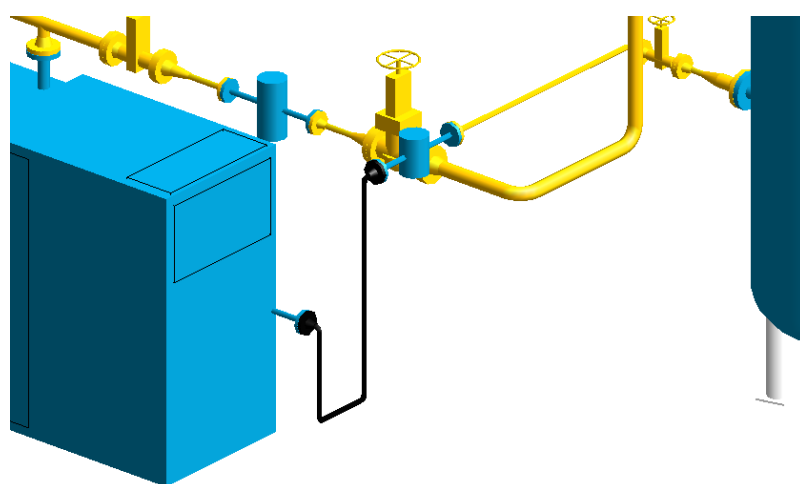
همانگونه که در مقدمه ذکر شد، قدم بعدی تولید نقشه‌ای ایزومتریک است. برای تهیه نقشه‌های ایزومتریک، برای هر انشعاب یک نقشه ایزومتریک تهیه گردید که در لوح فشرده گزارش موجود می‌باشد. برای سادگی در خواندن نقشه‌ها، عکس مربوط به انشعاب نیز به همراه نقشه آورده شده و با رنگ سیاه از دیگر انشعاب‌ها متمایز گردیده‌است. همچنین از شکل ۶-۴ می‌توان به عنوان راهنما کمک

گرفت که اسم و جانمایی انشعاب‌ها را نشان می‌دهد (فایل اتوکد این شکل در لوح فشرده گزارش موجود است).

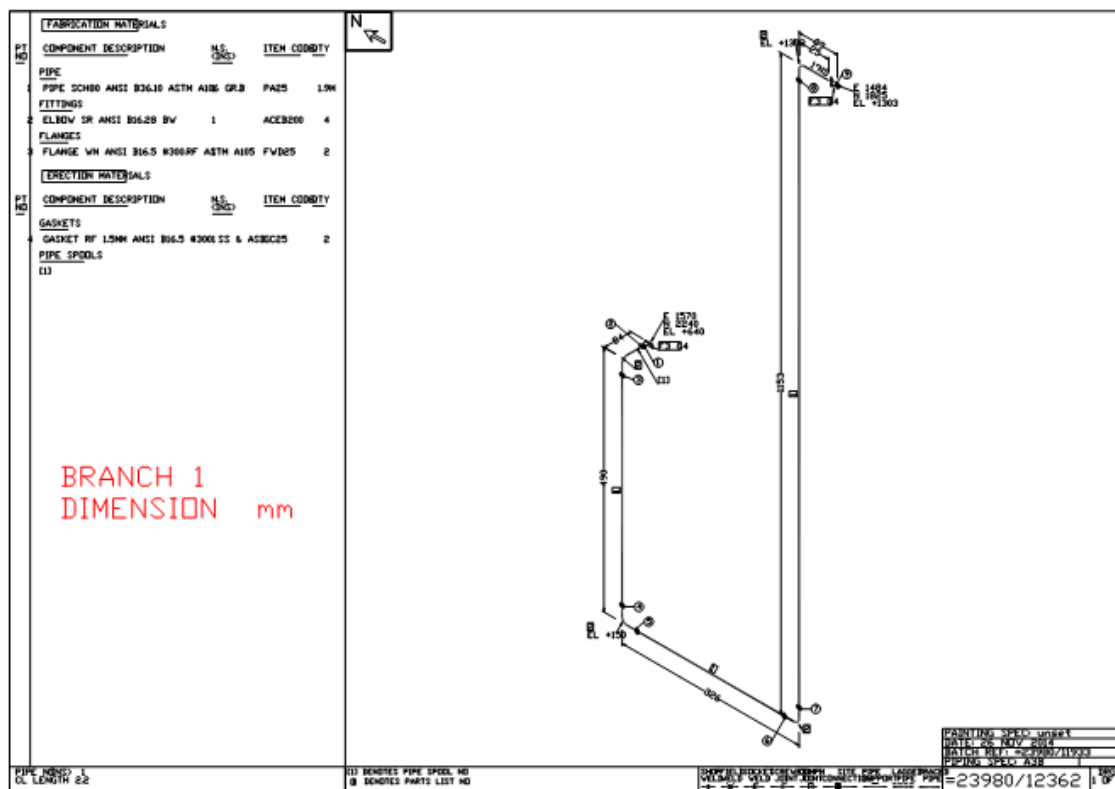


شکل ۶-۴: جانمایی تجهیزات و انشعاب‌های ایستگاه تقویت و تقلیل فشار آزمایشگاه تخصصی گاز

یک نمونه از نقشه ایزومتریک تولید شده به همراه عکس مربوطه برای یک انشعاب، برای مثال انشعاب شماره ۱ (BRANCH 1) در شکل ۶-۵ و شکل ۶-۶ ارائه شده است.



شکل ۶-۵: مدل سه بعدی انشعاب شماره ۱ (BRANCH 1) ایستگاه تقویت و تقلیل فشار که با رنگ سیاه نشان داده شده است.



شکل ۶-۶: نقشه ایزومتریک انشعاب شماره ۱ (BRANCH 1) ایستگاه تقویت و تقلیل فشار

در ستون سمت چپ در نقشه ایزومتریک نیز می‌توان نوع لوله و اتصالات مربوطه به همراه کلاس کاری و جنس و تعداد آنها را مشاهده کرد که همانگونه که در مقدمه ذکر شد براساس استانداردهای طراحی ASME و ASTM انتخاب شده و در مدل سازی بکار برده شده‌اند. در شکل ۶-۷ این ستون در نمایی بزرگتر و وضوح بیشتر نشان داده شده‌است.

FABRICATION MATERIALS			
PT NO	COMPONENT DESCRIPTION	N.S. (INS)	ITEM CODE QTY
PIPE			
1	PIPE SCH80 ANSI B36.10 ASTM A106 GR.B		PA25 1.9M
FITTINGS			
2	ELBOW SR ANSI B16.28 BW	1	ACEB200 4
FLANGES			
3	FLANGE WN ANSI B16.5 #300.RF ASTM A105		FWD25 2
ERECTION MATERIALS			
PT NO	COMPONENT DESCRIPTION	N.S. (INS)	ITEM CODE QTY
GASKETS			
4	GASKET RF 1.5MM ANSI B16.5 #3001 SS & ASBGC25		
PIPE SPOOLS			
[1]			

شکل ۶-۷: ستون مربوط به مشخصات و تعداد لوله و اتصالات بکار رفته در نقشه ایزومتریک انشعاب شماره ۱

در انتها لازم به ذکر است که نقشه‌های ایزومتریک آزمایشگاه به تفکیک در لوح فشرده گزارش موجود می‌باشند.

۲.۶ موارد ارجاع شده خارج از برنامه برای آزمایشگاه تخصصی گاز

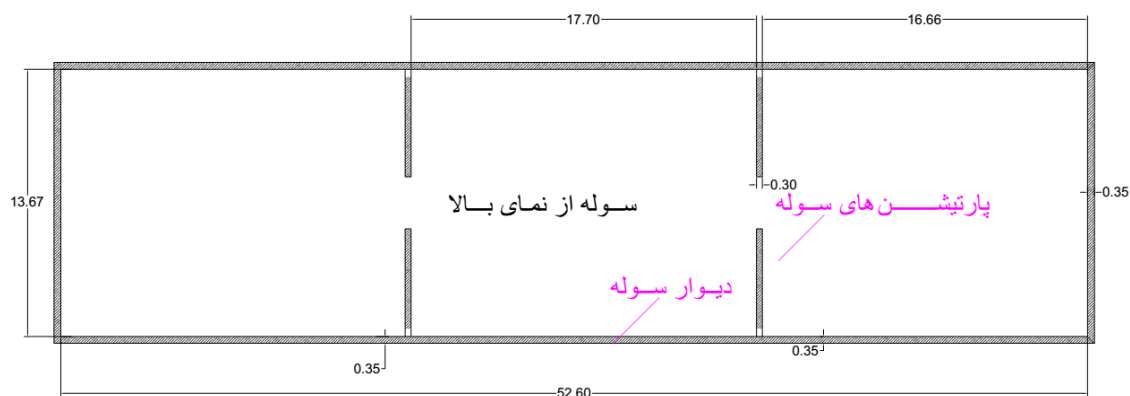
در این ماه علاوه بر تهیه نقشه‌های ایزومتریک ایستگاه تقویت و تقلیل فشار آزمایشگاه تخصصی گاز، موارد خارج از برنامه‌ای جهت اجرای پایپینگ درون سوله این آزمایشگاه به مرکز پژوهشی شبکه‌های گازرسانی ارجاع داده شد. لازم به ذکر است که تمامی موارد مذکور با جزئیات کامل در این ماه انجام شده و در قالب یک لوح فشرده به شرکت گاز استان خوزستان ارسال گردید. در ادامه به این موارد به صورت خلاصه پرداخته خواهد شد.

۱. نقشه ایزومتریک پایپینگ

برای تهیه نقشه ایزومتریک، لازم است که مدل سه‌بعدی پایپینگ در نرم‌افزار تهیه گردد. برای این کار از نرم‌افزار PDMS استفاده شد. در نهایت با استفاده از مدل سه‌بعدی اقدام به تهیه نقشه‌های ایزومتریک گردید.

۲. نقشه پلان سوله

جهت تهیه این نقشه از محل مورد نظر اندازه‌گیری به عمل آمده و سپس در نرم‌افزار اتوکد اقدام به تهیه نقشه گردید. در شکل ۶-۸ یک نمونه از این نقشه آورده شده‌است.



شکل ۶-۸: نقشه سوله از نمای بالا (ابعاد به متر)

۳. سایزینگ لوله‌های داخلی

مشخصات لوله‌های بکار برده شده مطابق با جدول ۶-۱ است.

جدول ۶-۱: مشخصات لوله‌های بکاررفته برای پایپینگ درون سوله بر اساس استاندارد API-5L

قطر نامی	قطر خارجی (mm)	ضخامت (mm)	جرم لوله بر واحد طول (kg/m)
۲	۶۰/۳	۳/۹۱	۵/۴۴

۴. تعداد اتصالات شامل زانو، سه راهی، شیرآلات، و متراژ مصالح پروژه

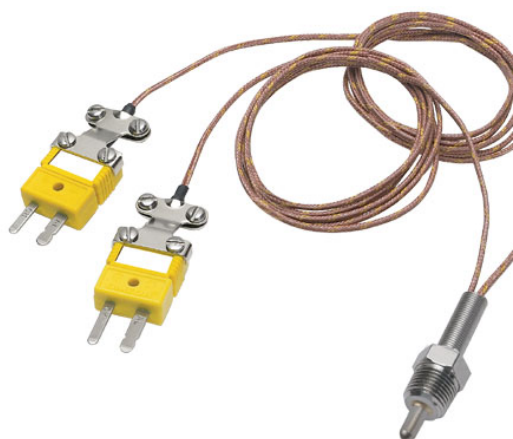
با استفاده از نرم‌افزار PDMS بعد از تولید مدل سه‌بعدی، می‌توان اقدام به تهیه گزارش از اقلام به‌کار رفته در این مدل کرد. در جدول ۶-۲ این اقلام ذکر شده‌است.

جدول ۶-۲: تعداد و نوع اتصالات بکاررفته در پاپینگ درون سوله

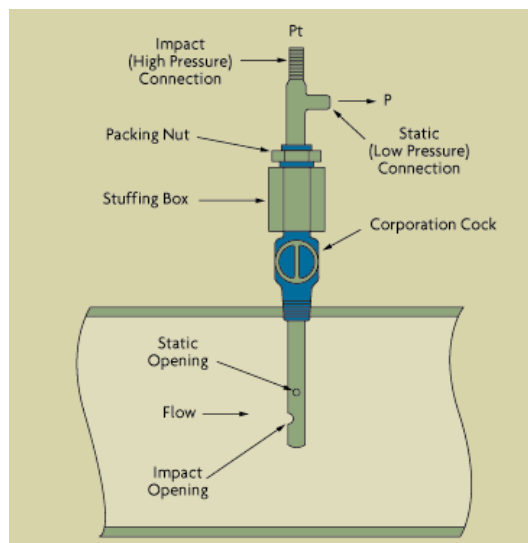
اسم	تعداد
ELBOW SR ANSI B16.28 BW	۶۳
FLANGE BLIND ANSI B16.5 #300.RF	۲
FLANGE WN ANSI B16.5 #300.RF	۲
GASKET ANSI B16.20 #300 SPIRAL WOND	۲
REDUDER ECC ANSI B16.9 BW	۱
TEE ANSI B16.9 BW	۲۶
PIPE SCH40 NPS2 ANSI B36.10	۸۱۲ متر
PLUG VALVE ANSI B16.10 BW #300	۲۹

۵. نحوه اتصال قطعات ابزار دقیق به لوله‌ها

ابزار دقیق به کار رفته در آزمایشگاه تخصصی گاز شامل ترنس‌میتور فشار، ترموکوپل و پیتوتیوپ است. این سنسورها الکترونیکی بوده و روی لوله نصب می‌شوند. محل اتصال سنسورهای مذکور به لوله، رزوه‌ای است. لذا برای نصب آن‌ها روی لوله، باید لوله سوراخ شده و روی آن یک مهره جوش داده شود و سپس این سنسورها روی این مهره بسته شوند. نمونه‌ای از این سنسورها در شکل ۶-۹ نشان داده شده است.



(ب)



(الف)



(ج)

شکل ۶-۹: ابزار دقیق بکار رفته در آزمایشگاه (الف) پیتونیوب (ب) ترموکوپل و (ج) ترنسمیتر فشار

۶. نقشه جزییات ساپورت

برای انتخاب ساپورت جهت پایپینگ آزمایشگاه تخصصی گاز، دو نوع ساپورت مدنظر قرار گرفت که شامل موارد زیر است.

- ساپورت نوع یک

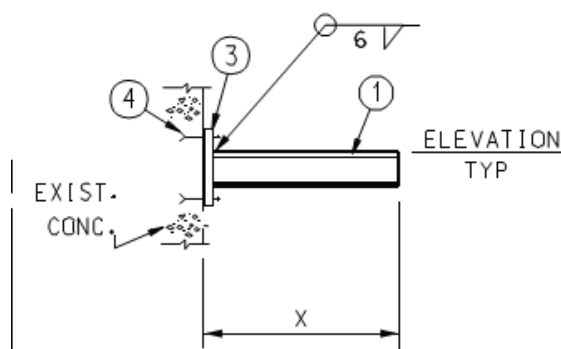
این ساپورت از نوع ساپورت‌های کولرهای گازی برای نصب پنل خارجی آن روی دیوار استفاده می‌شود. از مزیت‌های این ساپورت، تحمل وزن زیاد تا حدود ۱۰۰ کیلوگرم، پیش-ساخته بودن و ظاهر زیبای آن می‌باشد. نمونه‌ای از این ساپورت در شکل ۶-۱۰ نشان داده شده است.



شکل ۶-۱۰: ساپورت پنل خارجی کولر گازی

- ساپورت نوع دو

این ساپورت از یک تیرآهن و یک صفحه تکیه‌گاه تشکیل شده‌است. مقدار وزن قابل تحمل توسط آن بستگی به قطر لوله دارد. این ساپورت هندسه ساده‌ای داشته و برای حمل لوله‌های افقی بکار می‌رود. شکل ۶-۱۱ این ساپورت نشان می‌دهد.



شکل ۶-۱۱: ساپورت نوع دو

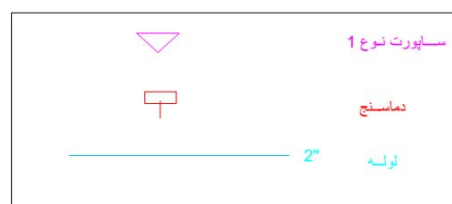
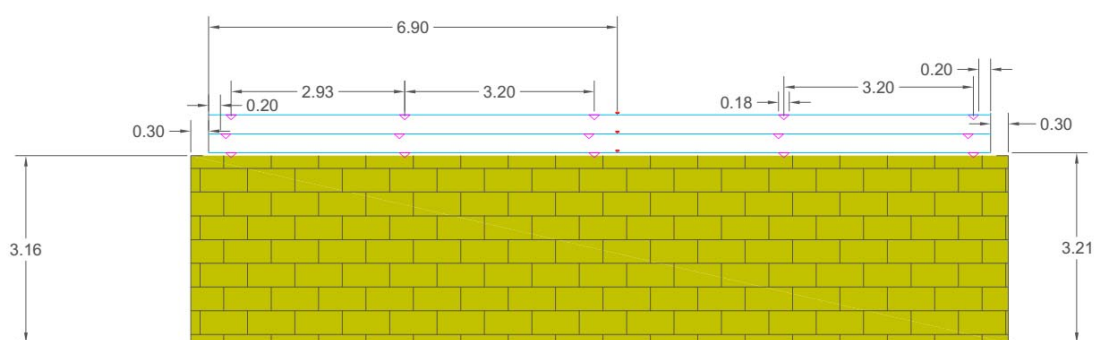
لازم به ذکر است جزییات هر ساپورت در لوح فشرده ارسال شده به شرکت گاز استان خوزستان موجود است.

۷. نقشه محل ساپورت در پلان ساختمان

بعد از انتخاب ساپورت لازم است فاصله بین آن‌ها تعیین گردد. مطابق با هندبوک‌های پایپینگ برای لوله‌های با قطر نامی ۲ اینچ و سیال هوا، حداکثر این مقدار فاصله حدود ۳.۹۲ متر است. در جدول ۶-۳ می‌توان این فاصله را مشاهده کرد. با داشتن این معیار فاصله و استفاده از نرم‌افزار اتوکد، مکان ساپورت‌ها روی لوله‌ها تعیین شد. نمونه‌های از مکان ساپورت‌ها روی یکی از پلان‌های پایپینگ در شکل ۶-۱۲ نشان داده شده‌است.

جدول ۳-۶: فاصله بین ساپورت‌ها [۱]

NPS (DN)	Suggested maximum span, ft (m)	
	Water service	Steam, gas, or air service
1 (25)	7 (2.13)	9 (2.74)
2 (50)	10 (3.05)	13 (3.96)
3 (80)	12 (3.66)	15 (4.57)
4 (100)	14 (4.27)	17 (5.18)
6 (150)	17 (5.18)	21 (6.40)
8 (200)	19 (5.79)	24 (7.32)
12 (300)	23 (7.01)	30 (9.14)
16 (400)	27 (8.23)	35 (10.7)
20 (500)	30 (9.14)	39 (11.9)
24 (600)	32 (9.75)	42 (12.8)



plan B

ابعاد به متر

شکل ۳-۶: یک نمونه از جانمایی ساپورت‌ها در یکی از پلان‌های پایینگ

۳.۶ مراجع

[1]. Nayyar, Mohinder L., Piping handbook, 7th ed, McGraw-Hill, 2000

۷ فعالیت‌های ماه آتی

در این بخش فعالیت‌هایی که برای ماه آتی پیش‌بینی شده‌است ارائه می‌گردد. این فعالیت‌ها مشتمل بر موارد ذیل می‌باشند.

۱. تکمیل مدل سازی‌ها جهت بررسی اثر انتقال حرارت بر جریان هدر رفت گاز در شبکه خطوط لوله

۲. انجام مراحل پیش‌بینی شده جهت تکمیل پروژه بهینه‌سازی مصرف در کارخانه آجرسازی شیرین سفال

۳. انجام شبیه‌سازی پرج متناظر با آزمایشگاه تحقیقاتی گاز

۴. آماده سازی موارد مرتبط با هفته پژوهش

۵. بازدید از کشت و صنعت دهخدا

الف بررسی اثرات انتقال حرارت در شبیه‌سازی
فرآیند هدر رفت گاز از خطوط لوله

بررسی اثرات انتقال حرارت در شبیه‌سازی فرآیند هدررفت گاز از خطوط لوله

مرتضی بهبهانی نژاد^۱، مازیار چنگیزیان^۲، محمدرضا کاویان نژاد^۳

دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده مهندسی، گروه مکانیک

bnmorteza@scu.ac.ir

چکیده

در این مقاله اثرات انتقال حرارت بر پارامترهای جریان در فرآیند هدررفت گاز از یک خط لوله مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته‌است. در پژوهش حاضر جریان درون لوله به صورت دائم، تراکم‌پذیر و لزج در نظر گرفته شده و سیال عامل (گاز متان) گاز کامل فرض شده‌است. با این فرضیات ابتدا مدل ریاضی و سپس معادلات حاکم مربوطه برای شرایطی که هدررفت با فرض تبادل حرارتی مابین گاز و محیط پیرامون صورت بگیرد و همچنین شرایطی که این فرآیند آدیاباتیک فرض شود، ارائه شده‌است. سپس الگوریتم و روش عددی مورد استفاده جهت حل مجموعه معادلات حاکم ذکر شده و به منظور اعتبارسنجی شبیه‌سازی عددی حاضر نیز، نتایج حاصل از آن با نتایج سایر محققین مورد مقایسه قرار گرفته که انطباق مناسبی میان آن‌ها مشاهده می‌گردد. در آخر نیز مساله نمونه‌ای با در نظر گرفتن طول‌های مختلف برای لوله، در دو وضعیت تبادل حرارتی جریان با محیط پیرامون و فرض جداره آدیاباتیک انشعاب حل شده و نتایج این شبیه‌سازی‌ها با یکدیگر مقایسه می‌شوند. در شبیه‌سازی انجام شده، اثرات اصطکاک و انتقال حرارت بر پارامترهای جریان نظیر عدد ماخ ورودی، عدد ماخ خروجی، دما و دبی گاز در دو وضعیت مذکور مورد بررسی قرار گرفته‌است. نتایج بیانگر این است که در فشارهای ورودی متفاوت و برای انشعابات با طول‌های مختلف، انتقال حرارت جریان تأثیری چشمگیری بر عدد ماخ ورودی نداشته اما طول مورد نیاز برای خفگی را در لوله‌های طویل کاهش می‌دهد. عمده اثر انتقال حرارت بر پارمتر دما مشاهده شده و لازم به ذکر است که بیشینه تغییرات دبی جرمی محاسبه شده برای طول بی‌بعد ۲۰۰ و برابر با ۲ درصد بوده‌است.

واژه‌های کلیدی: گاز هدررفت، جریان‌های تراکم‌پذیر، انتقال حرارت، افت فشار، خط لوله، شبیه‌سازی عددی

^۱دکترای مهندسی مکانیک، دانشیار گروه مکانیک، دانشکده مهندسی، مرکز پژوهشی شبکه‌های گازرسانی، دانشگاه شهید چمران اهواز

^۲دکترای مهندسی مکانیک، استادیار گروه مکانیک، دانشکده مهندسی، مرکز پژوهشی شبکه‌های گازرسانی، دانشگاه شهید چمران اهواز

^۳دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، دانشکده مهندسی، مرکز پژوهشی شبکه‌های گازرسانی، دانشگاه شهید چمران اهواز

۱- مقدمه

یکی از مباحث مهم و قابل توجه در صنعت گاز، محاسبه گازهای هدررفت بوده و مسئله کاهش حجم گازهای محاسبه نشده همواره بعنوان یک معضل مورد توجه قرار گرفته است. در این بین نیز فرآیند پرچ گاز به عنوان یک پدیده‌ی خودخواسته که در حین راه‌اندازی سیستم جهت خارج نمودن هوا از شبکه و همچنین یافتن نقاط نشستی در شبکه بکارگرفته می‌شود، یکی از اصلی‌ترین منابع هدررفت گاز در شبکه‌ها به حساب می‌آید. در این حالت گاز با فشار در شبکه به جریان می‌افتد. از آنجا که هدف از پرچ تخلیه‌ی شبکه از ناخالصی‌های موجود می‌باشد، بخش‌هایی از شبکه باز بوده و از اینرو گاز به همراه ناخالصی‌ها با فشار از این نقاط خارج می‌گردد. با توجه به باز بودن شبکه، سرعت گاز در خطوط بسیار بالا رفته و از اینرو از وسایل اندازه‌گیری متداول نمی‌توان برای اندازه‌گیری گاز پرچ شده استفاده نمود. در این زمینه رابطه‌ی متداولی توسط صنعتگران مورد استفاده قرار می‌گیرد که با فرض خروج جریان از طریق سوراخی بر روی خط اصلی بنا نهاده شده‌است. در شرایط واقعی این مدل، حالت خاصی از پرچ بوده و در حالت واقعی پرچ، گاز از خط اصلی وارد انشعابی با قطر کمتر شده و پس از طی مسیر در این انشعاب، به اتمسفر تخلیه می‌گردد. لذا با توجه به صرف‌نظر از افت‌های طولی و موضعی در مدل سازی پرچ با فرض خروج گاز از سوراخی بر روی خط اصلی، خط‌های قابل توجهی در محاسبه حجم گاز هدررفت طی این فرآیند بروز خواهد داد. از اینرو جهت محاسبه دقیق‌تر میزان گاز پرچ شده از شبکه لازم است تا فرآیند مذکور پس از تعیین معادلات حاکم و شرایط مرزی موردنظر شبیه‌سازی شود.

در این راستا پیش از این سعیدیان فرآیند پرچ گاز را جهت محاسبه میزان گاز هدررفت، در خط لوله، اتصالاتی نظیر زانویی و T-شکل و چند شبکه نمونه شبیه‌سازی نمود. وی اعتبار نتایج حل عددی خود را با نتایج حاصل از تست‌های تجربی و شبیه‌سازی‌های سه بعدی انجام شده توسط نرم‌افزار فلونتت مورد سنجش قرار داد. نکته قابل توجه این است که با توجه به کم بودن طول اتصالات و همچنین خط لوله و شبکه‌های شبیه‌سازی شده توسط سعیدیان، از فرض آدیاباتیک بودن جداره لوله استفاده شده و از اثرات انتقال حرارت جریان با حیط پیرامون صرف‌نظر شده‌است [۱]. لازم به ذکر است که با توجه به کم بودن طول انشعابات و اتصالات شبیه‌سازی شده و همچنین بالا بودن سرعت جریان در این فرآیند، فرصت کافی برای انتقال حرارت با محیط پیرامون وجود نداشته و آدیاباتیک در نظر گرفتن جریان فرضی قابل قبول است. با افزایش طول لوله‌ها انتظار می‌رود در طول لوله تحت تاثیر تبادل حرارتی مابین جریان و محیط پیرامون قرار گیرند. در ادامه به‌صورت مختصر به بیان پیشینه‌ی پژوهش‌های انجام شده در زمینه شبیه‌سازی جریان‌های دائم، لزج و تراکم‌پذیر درون لوله‌ها پرداخته می‌شود.

در اواخر قرن نوزدهم یک حل تحلیلی برای جریان تراکم‌پذیر بدون اصطکاک در لوله‌ای که در معرض انتقال حرارت با محیط پیرامونش قرار گرفته باشد، توسط رایلی ارائه شد. پس از آن نیز در اوایل قرن بیستم، فانو یک حل تحلیلی برای جریان تراکم‌پذیر در لوله‌ای که فقط در معرض اصطکاک خالص (بدون انتقال حرارت) قرار داشته باشد بدست آورد [۲]. کیث و کرول، مرور مفصلی از جریان صوتی گاز در لوله‌ها (به خصوص لوله‌های طویل) ارائه دادند. آن‌ها دریافتند که دبی جرمی با افزایش هد سرعت به‌صورت مجانبی تا مقدار مشخصی افزایش می‌یابد که این مقدار مشخص برای دو وضعیت حرارتی آدیاباتیک و هم‌دما تقریباً یکسان است [۳]. یوها و همکاران یک مدل ریاضی از رهاسازی تصادفی گاز درون خطوط لوله برای جریان‌های پایایی یک‌بعدی و آدیاباتیک ارائه نمودند. آن‌ها نشان دادند که مدل سوراخ برای رهایش گاز از سوراخ‌های کوچک و مدل لوله برای رهایش گاز از میان سوراخ‌های کامل (شکست خط لوله) مناسب است. همچنین در این پژوهش، مدلی جدید برای پیش‌بینی جریان رهاشده از یک سوراخ با شرایطی مابین دو حالت فوق ارائه شده است [۴]

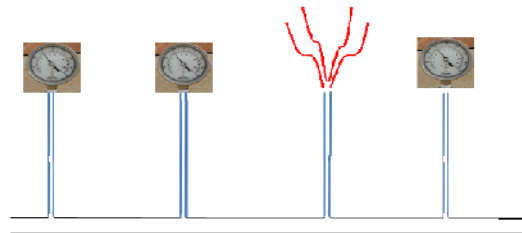
در زمینه‌ی ترکیب حل‌های رایلی و فانو جهت در نظر گرفتن همزمان اثرات انتقال حرارت و اصطکاک دیواره لوله، پژوهش‌های متعددی صورت گرفته‌است. توپلاک در سال ۱۹۷۴ جریان درون لوله را با فرض شار حرارتی و ضریب اصطکاک ثابت حل نمود [۵]. اکبلوم و گولمن آنالیزهای تحلیلی موجود را با نتایج آزمایشات تجربی برای جریان‌های تراکم‌پذیر درون لوله‌ای که

در معرض انتقال حرارت و اصطکاک دیواره‌اند، مقایسه نمودند. تمرکز اصلی پژوهش آن‌ها عمدتاً بر هندسه‌های خاص نظیر نازل‌های همگرا و واگرا بود [۶]. لندرام نیز حدود خفگی و متغیرهای جریان را برای یک جریان یک‌بعدی و تراکم‌پذیر و در معرض انتقال حرارت مورد بررسی قرار داد. وی نتایج خود را در غالب نمودارهایی کلی برای هر ضریب اصطکاک مشخص و شار حرارتی یکنواخت دیواره ارائه داد. هدف اصلی در این پژوهش تعیین محدوده‌های حالت خفگی جریان در طراحی سیستم‌های انرژی بود [۷]. نوری نیز جریان تراکم‌پذیر یک بعدی در لوله‌ای مدفون در خاک را شبیه‌سازی کرد و اثرات ناشی از انتقال حرارت جابجایی در سطح زمین و همچنین اثرات ناشی از تغییر دمای گاز ورودی را بر افت فشار و دبی جرمی جریان مورد بررسی قرار داد. در پژوهش مذکور اثرات انتقال حرارت و اصطکاک بر پارامترهای جریان به‌صورت همزمان در نظر گرفته شده بود [۸].

در تمامی پژوهش‌های پیشین مطرح شده، هیچ‌گونه فعالیتی در ارتباط با مقایسه نتایج حاصل از فرض آدیاباتیک بودن جریان و فرض انتقال حرارت غیرهم‌دمای گاز با محیط پیرامون در فرآیند پرج صورت نگرفته است. از اینرو در این پژوهش سعی بر آن شده است تا اثرات در نظر گرفتن ترم انتقال حرارت در معادلات اصلی بر پارامترهای مختلف جریان مورد بررسی قرار داده شود. بدین ترتیب که مساله نمونه‌ای را در دو وضعیت تبادل حرارتی با محیط پیرامون و جداره آدیاباتیک انشعاب و برای طول لوله‌های مختلف حل نموده و نتایج این شبیه‌سازی‌ها با یکدیگر مقایسه می‌شوند.

۲- مدل ریاضی و معادلات حاکم

جریان گاز خروجی از لوله ماهیت غیردائم دارد. با این حال به کمک یک‌سری فرضیات ساده‌سازی چون در نظر گرفتن زمان طولانی برای پرج و نیز ثابت بودن فشار در ابتدای لوله می‌توان مسئله را در حالت دائم یا شبه دائم در نظر گرفت. جهت بررسی صحت فرض ثابت بودن فشار در ابتدای لوله، مرکز پژوهشی شبکه‌های گازرسانی چندین تست بر روی شبکه‌ی توزیع شهرستان اهواز انجام داده است. بدین ترتیب که گاز از بخشی از شبکه آزاد شده و تاثیر این پدیده بر خط اصلی مشاهده شد که شماتیک تست مذکور در شکل (۱) نشان داده شده است. با اندازه‌گیری فشار در بخش‌های مختلف خط اصلی در تست‌های متعدد مشاهده گردید که در اغلب موارد فشار در راستای خط اصلی تقریباً ثابت بوده است و در نتیجه فرض ثابت بودن فشار در ابتدای لوله، فرضی منطقی است [۹]. بدین ترتیب مخزنی با فشار ثابت و برابر با فشار اولیه‌ی خط (فشار در خط اصلی) در نظر گرفته شده که توسط لوله‌ای (لوله‌ی انشعاب) با طول و قطر مشخص به اتمسفر تخلیه می‌شود. از اینرو فشار مخزن، دمای مخزن، طول لوله، قطر لوله و فشار در خروجی لوله (برابر با فشار اتمسفر) معلومات مسئله می‌باشند.



شکل (۱): شماتیک تست مورد نظر [۹]

علاوه بر فرض دائم بودن فرآیند پرج، فرضیات دیگری نظیر جریان لزج، تراکم‌پذیر و یک‌بعدی در نظر گرفته شده است. سیال عامل متان فرض شده و از قانون گاز ایده‌آل برای محاسبه چگالی استفاده شده است. لذا در این نوع جریان با توجه به فرضیات صورت گرفته، چهار مجهول وجود دارد که برای حل آن‌ها به چهار معادله نیاز است. معادله‌های بقای جرم، انرژی، اندازه حرکت و

معادله حالت از آن دسته معادلات هستند. با توجه به این موضوع که هدف از پژوهش حاضر مقایسه‌ی اثرات ناشی از تبادل حرارتی جریان گاز با وضعیتی است که مساله آدیاباتیک در نظر گرفته شود، لازم است تا معادلات حاکم را در دو بخش جداگانه و با اعمال فرضیات مذکور مطرح کرد. در ادامه ابتدا معادلات حاکم برای حالتی که فرآیند پرج آدیاباتیک فرض شده باشد (به عبارتی جریان فرصت کافی برای تبادل حرارتی نداشته باشد) مطرح شده و سپس به ذکر معادلات حاکم با فرض تبادل حرارتی گاز با محیط پیرامون پرداخته می‌شود.

۲-۱- فرض آدیاباتیک بودن جریان

جهت استخراج معادله پیوستگی، لوله‌ای با سطح مقطع ثابت بر حسب مکان در نظر گرفته شده است. معادله پیوستگی را می‌توان به شکل رابطه (۱) نوشت. با مشتق‌گیری از رابطه (۱) در راستای x معادله پیوستگی به شکل رابطه (۲) به دست می‌آید.

$$\rho u = \text{Constant} = G \quad (1)$$

$$\frac{d\rho}{dx} = -\frac{\rho}{u} \frac{du}{dx} \quad (2)$$

همچنین معادله اندازه حرکت در راستای x را نیز می‌توان به صورت رابطه (۳) بیان نمود.

$$\frac{dP}{dx} + \rho u \frac{du}{dx} = -\frac{1}{2} \rho u^2 \frac{f}{D} \quad (3)$$

پارامتر f در رابطه (۳) بیانگر ضریب اصطکاک درون لوله بوده و در شبیه‌سازی حاضر نیز از رابطه هالند که توسط رابطه (۴) بیان می‌شود، جهت محاسبه ضریب اصطکاک استفاده خواهد شد [۱۰].

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -1.8 \log \left[\frac{6.9}{Re} + \left(\frac{\varepsilon}{3.7D} \right)^{1.11} \right] \quad (4)$$

پارامتر Re همان عدد رینولدز درون لوله بوده و از رابطه (۵) محاسبه می‌شود.

$$Re = \frac{\rho u D}{\mu} \quad (5)$$

همچنین گاز طبیعی به عنوان گاز کامل فرض شده است. لذا می‌توان فرم دیفرانسیلی معادله حالت را طبق رابطه (۶) بیان نمود.

$$\rho R \frac{dT}{dx} = \frac{dP}{dx} - RT \frac{d\rho}{dx} \quad (6)$$

پس از آن با توجه به فرضیات جریان فانو از قبیل جریان پایای یک بعدی و آدیاباتیک و ثابت فرض نمودن ظرفیت گرمایی ویژه در فشار ثابت، می‌توان معادله انرژی را به فرم دیفرانسیلی رابطه (۷) به دست آورد.

$$\rho C_p \frac{dT}{dx} + \rho u \frac{du}{dx} = 0 \quad (7)$$

۲-۲- فرض وجود انتقال حرارت

لازم به ذکر است که در شرایطی که جریان دارای تبادل حرارتی با محیط پیرامون خود باشد، سه معادله پیوستگی، مومنتوم و حالت مشابه آن چیزی هستند که در بخش معادلات حاکم با فرض آدیاباتیک بودن جریان مطرح شدند. لذا در این بخش از ذکر مجدد سه رابطه‌ی (۲)، (۳) و (۶) خودداری شده و تنها به بیان معادله انرژی پرداخته خواهد شد. با ثابت فرض نمودن ظرفیت گرمایی ویژه در فشار ثابت و همچنین فرض گاز ایده‌آل، معادله انرژی به صورت رابطه (۸) بیان می‌شود.

$$\rho u \frac{\pi D^2}{4} \left(C_p \frac{dT}{dx} + u \frac{du}{dx} \right) = \pi DU (T_\infty - T_0) \quad (8)$$

که در این رابطه T_0 دمای سکون جریان بوده و نسبت مابین این دما و دمای استاتیک جریان (T) را نیز می‌توان به صورت رابطه (۹) بیان نمود [۲].

$$\frac{T_0}{T} = 1 + \frac{\gamma - 1}{2} M^2 \quad (9)$$

پارامتر U در رابطه (۸) ضریب انتقال حرارت کلی جریان بوده و با توجه به مدل حرارتی موجود تعیین می‌شود. بدین گونه که با فرض وجود انتقال حرارت جابجایی مابین جریان و جداره داخلی لوله، انتقال حرارت هدایتی در جداره لوله و خاک، ضریب انتقال حرارت کلی به صورت رابطه (۱۰) بدست می‌آید.

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i} + \frac{D \ln(1 + 2\delta/D)}{2k_w} + \frac{D \text{Cosh}^{-1}\left(\frac{2H}{D + 2\delta}\right)}{2k_s} \quad (10)$$

h_i در رابطه (۱۰) عبارت است از ضریب جابجایی جریان گاز درون لوله که توسط رابطه (۱۱) بیان می‌شود [۱۱].

$$\frac{h_i D}{k_g} = 0.023 Re^{0.8} Pr^{1/3} \quad (11)$$

۳- الگوریتم حل

عامل محرک گاز برای برقراری جریان درون لوله، اختلاف فشار میان دو سر لوله است. هر چه اختلاف فشار مابین خروجی و ورودی لوله بیش‌تر شود، گاز با سرعت بیشتری در لوله به جریان می‌افتد. در صورتی که فشار در خروجی به حدی کم شود که ماخ خروجی لوله برابر با یک شود (فشار در این حالت P^* نامیده می‌شود)، آن‌گاه سرعت در ورودی به ماکزیمم مقدار خود می‌رسد. به عبارتی دبی عبوری از لوله در حالت بیشینه مقدار خود بوده و کاهش فشار در خروجی به کمتر از P^* تاثیری بر میزان دبی عبوری از لوله ندارد. در این حالت اصطلاحاً جریان خفه شده است.

با توجه به موارد مذکور جریان گاز درون لوله می‌تواند دو رفتار متفاوت از خود نشان دهد. حالت نخست شرایطی است که جریان گاز کاملاً زیرصوتی باشد. در این حالت عدد ماخ در تمام نقاط خط لوله کوچکتر از یک بوده و جریان در طول لوله زیرصوتی است. حالت دوم نیز شرایطی است که جریان گاز در خروجی صوتی شود. در این حالت جریان به اصطلاح خفه شده و سرعت در ورودی به ماکزیمم مقدار خود رسیده است.

با توجه به معلوم بودن فشار و دما جریان در ورودی لوله و امکان محاسبه چگالی به کمک معادله حالت، کفایت تا سرعت جریان در ورودی لوله را بدست آورده تا بدین ترتیب بتوان تمامی پارامترهای جریان را در طول لوله محاسبه نمود. برای تعیین سرعت در ورودی باید معادلات حاکم که یک سری معادلات وابسته به یکدیگر هستند به صورت همزمان و با یک روند سعی و خطا حل شوند. وابسته به شرایط حرارتی مساله (آدیاباتیک و یا وجود انتقال حرارت)، الگوریتم و مسیر حل متفاوت خواهد بود. لذا در ادامه الگوریتم مورد استفاده در هر یک از شرایط به صورت جداگانه ارائه خواهند شد.

۳-۱- فرض آدیاباتیک بودن جریان

به منظور تخمین سرعت اولیه می‌بایست هر دو حالتی که جریان در طول لوله زیرصوتی باشد و یا در خروجی صوتی شود را مد نظر قرار داد. در حالتی که عدد ماخ در خروجی برابر با یک شود، می‌توان از روابط (۱۲) و (۱۳) که از همان معادلات جریان فانو به دست آمده‌اند، برای محاسبه پارامترهای جریان استفاده نمود.

$$\frac{4fL}{D} = \frac{1 - M^2}{\gamma M^2} + \frac{\gamma + 1}{2\gamma} \ln \left[\frac{(\gamma + 1)M^2}{2 + (\gamma - 1)M^2} \right] \quad (12)$$

$$\frac{P}{P_{exit(M=1)}} = \frac{1}{M} \left[\frac{\gamma + 1}{2 + (\gamma - 1)M^2} \right] \quad (13)$$

الگوریتم حل مساله در این شرایط بدین گونه است که ابتدا فرض می‌شود عدد ماخ در خروجی برابر با یک است. سپس با قرار دادن طول لوله، قطر و ضریب اصطکاک در رابطه (۱۲)، عدد ماخ در ورودی تعیین می‌گردد. در ادامه به کمک رابطه (۱۳) با داشتن عدد ماخ در ورودی و فشار اولیه، فشار در خروجی محاسبه می‌گردد. چنانچه فشار خروجی از فشاری که خط بدان تخلیه می‌شود (فشار اتمسفر) بیشتر باشد، آن‌گاه فرض اولیه درست بوده و با داشتن دما و عدد ماخ در ورودی می‌توان سرعت گاز در ورودی لوله و سپس تمامی پارامترهای جریان را در طول لوله محاسبه نمود. در صورتی که فشار خروجی از فشاری که خط بدان تخلیه می‌شود (فشار اتمسفر) کمتر باشد، می‌توان نتیجه گرفت ماخ خروجی کمتر از یک بوده و جریان گاز زیرصوتی است. در این حالت پس از یک حدس اولیه برای مقدار سرعت در ورودی، با حل معادلات (۲)، (۳)، (۴) و (۷) به صورت همزمان و با استفاده از روش رانگ کوتای مرتبه چهار، مقادیر مجهولات در طول لوله با یک روند سعی و خطا تعیین می‌شوند.

۳-۲- فرض وجود انتقال حرارت

به منظور تخمین سرعت اولیه در این شرایط نیز می‌بایست هر دو حالتی که جریان در طول لوله زیرصوتی باشد و یا در خروجی صوتی شود (جریان دچار خفگی شده باشد) را مد نظر قرار داد. ذکر این نکته ضروری است که به منظور بررسی وضعیت خفگی جریان می‌بایست معادلات حاکم را مجدداً بازآرایی نموده تا به فرم‌هایی بر حسب عدد ماخ در آورده شوند. بدین ترتیب با در نظر داشتن روابط (۲)، (۳)، (۴) و (۸) و همچنین تعریف عدد ماخ جریان به صورت $M = u/(\gamma RT)^{1/2}$ برای یک گاز کامل و بازنویسی مجدد روابط مذکور، می‌توان به روابط (۱۴)، (۱۵) و (۱۶) رسید.

$$\frac{dP}{dx} = -\frac{\gamma P}{1 + \gamma M^2} \left[\frac{f}{2D} M^2 + \frac{dM^2}{dx} \right] \quad (14)$$

$$\frac{dM^2}{dM} = \frac{dT}{T} - 2 \frac{dP}{P} \quad (15)$$

$$\frac{dT}{dx} = - \frac{1}{1 + \frac{\gamma - 1}{2} M^2} \left[\frac{4U}{GDC_p} (T_\infty - T_0) - \frac{\gamma - 1}{2} T \frac{dM^2}{dx} \right] \quad (16)$$

در نهایت با قرار دادن روابط (۱۴) و (۱۶) در رابطه (۱۵)، می‌توان به رابطه (۱۷) که بر حسب ۲ متغیر ماخ و دما باشد دست یافت.

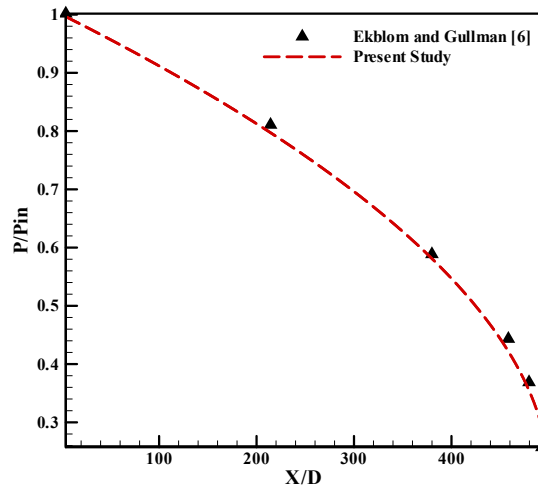
$$\frac{dM^2}{dx} = - \frac{M^2}{1 - M^2} \left[\frac{4U}{GDC_p} (1 + \gamma M^2) \frac{T_\infty - T_0}{T} + \frac{\gamma f M^2}{D} \left(1 + \frac{\gamma - 1}{2} M^2 \right) \right] \quad (17)$$

الگوریتم حل مساله در این شرایط بدین‌گونه است که ابتدا احتمال خفگی جریان مورد بررسی قرار می‌گیرد. از اینرو با در نظر گرفتن یک حدس اولیه برای عدد ماخ ورودی و با توجه به معلوم بودن دمای گاز در ورودی لوله، دو رابطه (۱۶) و (۱۷) را به‌صورت همزمان حل کرده و مقدار ماخ و دما در تمام طول لوله محاسبه می‌شوند. همچنین با داشتن دما و عدد ماخ جریان، به کمک رابطه (۱۵) فشار و به تبع آن سایر پارامترهای جریان قابل محاسبه خواهند بود. این روند تا زمانی ادامه می‌یابد که عدد ماخ خروجی برابر با یک شود. در ادامه فشار محاسبه شده در خروجی انشعاب (با فرض خفگی جریان)، با فشار اتمسفر مقایسه می‌شود. چنانچه فشار خروجی برابر یا بیش از فشاری باشد که خط به آن تخلیه می‌شود (فشار اتمسفر)، آنگاه فرض خفگی جریان صحیح است. در غیر این صورت لازم است تا عدد ماخ مجدداً در ورودی حدس زده شده و طی یک روند سعی و خطا مشابه مرحله قبل به نحوی اصلاح گردد که فشار محاسبه شده در خروجی انشعاب به فشار اتمسفر برسد. لازم به ذکر است که در این بخش نیز از روش رانگ کوتای مرتبه چهار جهت محاسبه مقادیر مجهولات در طول لوله استفاده می‌شود.

۴- اعتبارسنجی کد محاسباتی

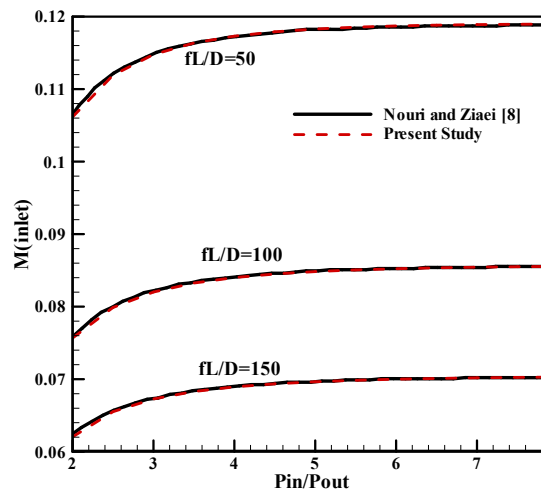
جهت انجام محاسبات مطابق با الگوریتم‌های ارائه شده یک برنامه‌ی کامپیوتری به زبان فرترن تهیه گردید. لازم به ذکر است که به‌منظور استفاده از برنامه تهیه شده، ابتدا می‌بایست اعتبار نتایج آن مورد سنجش قرار گرفته و تایید گردند. لذا صحت برنامه مذکور از طریق مقایسه نتایج تحقیق حاضر با داده‌های تجربی و عددی سایر محققین قبلی مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در ادامه به‌ترتیب به معرفی هر یک از دو مساله نمونه منتخب پرداخته و نتایج این مقایسه‌ها ارائه خواهند شد.

در اولین قدم جهت اصلاح و اعتبارسنجی برنامه، لازم است تا صحت معادلات حاکم مورد استفاده و همچنین نحوه‌ی بکارگیری آن‌ها در روند حل مساله مورد سنجش قرار گیرد. از اینرو مساله اول بگونه‌ای انتخاب شد تا به دور از پیچیدگی‌های الگوریتم حل نهایی (نظیر محاسبات مربوط به ضرایب انتقال حرارت، روند سعی و خطا و ...)، صرفاً اعتبار معادلات حاکم مورد استفاده را بسنجد. مساله موردنظر تغییرات فشار را در طول یک لوله با نسبت طول به قطر ۵۰۰ و با در نظر گرفتن اثر اصطکاک دیواره و همچنین عایق بودن لوله مورد بررسی قرار می‌دهد. سیال عامل جریان هوای عبوری از لوله‌ای با قطر ۰/۵ متر و ضریب اصطکاک ثابت ۰/۰۲۱ است. عدد ماخ، فشار و دمای جریان در ورودی لوله به‌ترتیب برابر با ۰/۲۳، ۳۹۲ کیلوپاسکال و ۲۵ درجه سانتیگراد می‌باشند. لازم به ذکر است که نتایج حاصل از حل این مساله با داده‌های تجربی ارائه شده توسط اکبلوم و گولمن-استراند مقایسه شده و در شکل (۲) آورده شده‌است [۶]. همان‌طور که از شکل (۲) قابل مشاهده است، انطباق بسیار خوبی مابین نتایج حل عددی حاضر و داده‌های تجربی ارائه شده وجود دارد. لذا می‌توان نتیجه گرفت که معادلات حاکم مورد استفاده و نحوه‌ی بکارگیری آن‌ها صحیح و قابل اعتماد است.



شکل (۲): تغییرات فشار جریان گاز در طول لوله

مساله دوم به نحوی انتخاب شده است که علاوه بر مطالعه جریان در شرایط خفگی و وجود اثرات انتقال حرارت، نیازمند به فرآیند سعی و خطا در روند حل مساله نیز می باشد. مساله نمونه دوم، تغییرات عدد ماخ جریان در ورودی و خروجی را نسبت به تغییرات اختلاف فشار در دو سر انشعاب برای طول های بی بعد (fL/D) مختلف مورد بررسی قرار می دهد. سیال عامل مورد بررسی گاز متان، با دمای ورودی 303 K ، ضریب انتقال حرارت هدایتی 0.035 W/mK ، عدد پرانتل 0.71 ، جرم مولکولی $16/04\text{ kg/kmol}$ و نسبت گرمای ویژه $1/299$ می باشد. انشعاب مورد نظر لوله ای فولادی با قطر $1/4$ متر، ضخامت جداره 0.02 متر، زبری دیواره 0.046 میلی متر و ضریب انتقال حرارت هدایتی 30 W/mK بوده که در عمق $1/5$ برابر قطر خود در زیر خاک دفن شده است. خاک پیرامون خط لوله دارای ضریب انتقال حرارت هدایتی 0.52 W/mK بوده و دما و فشار محیط اطراف سطح خاک به ترتیب برابر با 283 و 101 kPa است. لازم به ذکر است که در شکل (۳) مقایسه نتایج حاصل از حل این مساله با نتایج نوری ارائه شده است [۸]. همان گونه که قابل مشاهده است، نتایج حاصل از شبیه سازی حاضر تطابق بسیار خوبی را با نتایج عددی نوری نشان می دهند.

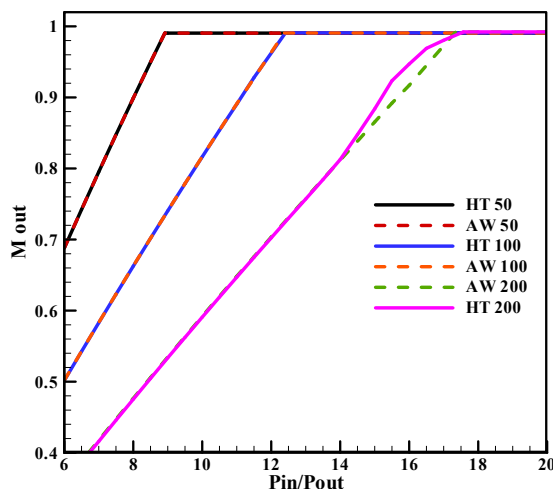


شکل (۳): تغییرات عدد ماخ ورودی به ازای نسبت های فشاری مختلف و طول های بی بعد گوناگون

۵- نتایج

به منظور بررسی تاثیرات انتقال حرارت بر پارامترها جریان در فرآیند هدررفت، تصمیم بر آن شد تا یک مساله نمونه یک بار با در نظر گرفتن انتقال حرارت با محیط و بار دیگر با فرض آدیاباتیک بودن جریان حل شود. بدین ترتیب که نتایج حاصل از حل مساله در این دو وضعیت با یکدیگر مقایسه شده و شدت تغییرات پارامترهای جریان بر اثر انتقال حرارت گاز با محیط اطراف مشخص می‌شوند. همچنین با در نظر گرفتن طول بی‌بعد تعریف شده (به فرم fL/D)، اثرات مشخصات فیزیکی لوله نیز بر پارامترهای جریان مورد بررسی قرار می‌گیرند. لازم به ذکر است که نمونه مثال دوم که پیش‌تر در بخش اعتبارسنجی کد محاسباتی معرفی شد، به عنوان مساله نمونه جهت بررسی اثرات انتقال حرارت بر پارامترهای جریان در نظر گرفته شده است.

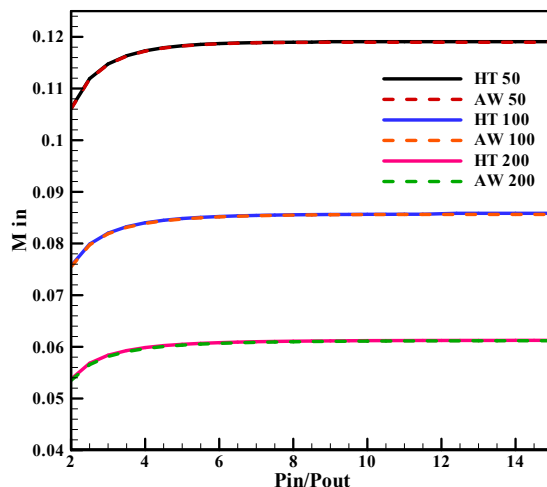
شکل (۴) عدد ماخ خروجی را به ازای نسبت فشار ورودی به خروجی، برای مقادیر مختلف طول‌های بی‌بعد (۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰) و در دو حالت با فرض وجود انتقال حرارت با محیط پیرامون (با عبارت HT) و فرض جریان آدیاباتیک (با عبارت AW) را نشان می‌دهد. همانگونه که از این شکل مشاهده می‌شود، هر چه طول لوله بلندتر باشد به فشار ورودی بیش‌تری برای رسیدن به شرایط خفگی نیاز است. اثرات انتقال حرارت بر عدد ماخ خروجی تنها در طول‌های بی‌بعد بالا و همچنین در نسبت‌های فشاری بالا و نزدیک به شرایط خفگی خود را نشان می‌دهد. همانطور که از شکل (۴) قابل مشاهده است از یک نسبت فشاری مشخص به بعد، وجود انتقال حرارت با محیط منجر به افزایش ناچیز عدد ماخ خروجی و به تبع آن کاهش فشار اولیه مورد نیاز (کمتر از ۲ درصد) برای خفه شدن جریان در این طول می‌شود.



شکل (۴): اثر انتقال حرارت بر عدد ماخ خروجی به ازای نسبت‌های فشاری مختلف و طول‌های بی‌بعد گوناگون

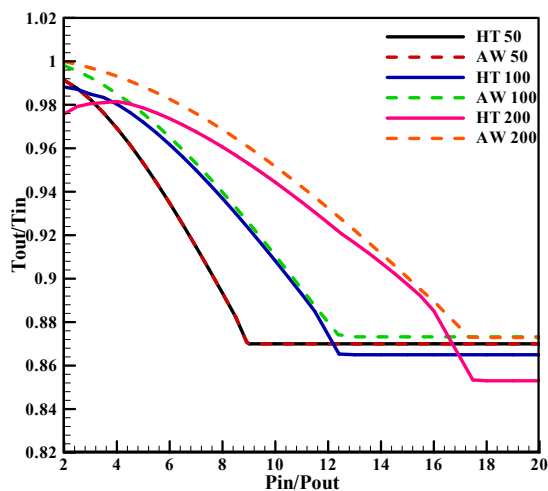
شکل (۵) تغییرات عدد ماخ ورودی را به ازای نسبت فشار ورودی به خروجی و برای مقادیر مختلف طول بی‌بعد و در دو حالت جریان آدیاباتیک و وجود انتقال حرارت با محیط پیرامون نشان می‌دهد. به ازای هر یک از طول‌های بی‌بعد مورد بررسی، عدد ماخ ورودی در یک نسبت فشاری معین به بیشینه خود رسیده و سپس ثابت می‌ماند. همچنین از نتایج نشان داده شده در شکل (۵) نیز می‌توان برداشت نمود که یک جریان خفه شده به ازای عدد ماخ ورودی بزرگتر به طول لوله‌ی کوتاه‌تری نیاز دارد. علاوه بر این از مقایسه شیب نمودارها در دو شکل (۴) و (۵) می‌توان نتیجه گرفت که عدد ماخ خروجی نسبت به عدد ماخ ورودی

حساسیت بیشتری را به تغییرات فشار ورودی نشان می‌دهد. همچنین اثرات انتقال حرارت نیز بر عدد ماخ ورودی مورد بررسی قرار گرفته که نتایج، تغییرات چشمگیری را برای هیچ یک از مقادیر طول بی‌بعد لوله نشان نمی‌دهد.



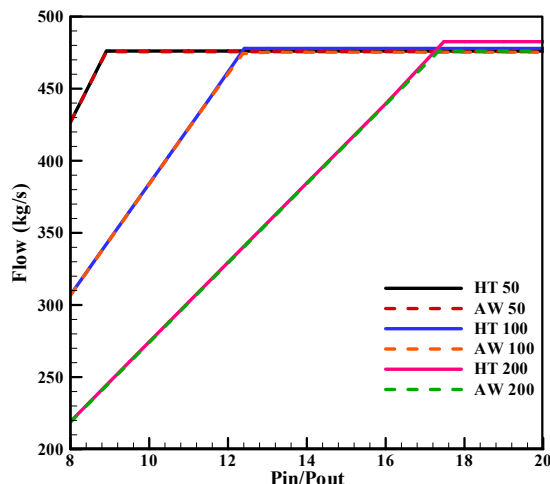
شکل (۵): اثر انتقال حرارت بر عدد ماخ ورودی به ازای نسبت‌های فشاری مختلف و طول‌های بی‌بعد گوناگون

شکل (۶) اثر انتقال حرارت گاز با محیط پیرامون بر نسبت دمای خروجی به دمای ورودی (کاهش دما در طول لوله) را به ازای نسبت فشار ورودی به خروجی و برای مقادیر مختلف طول‌های بی‌بعد نشان می‌دهد. قابل مشاهده است که برای مقادیر بالای طول لوله و در صورت در نظر گرفتن انتقال حرارت با محیط پیرامون، دمای گاز در طول لوله افت دمایی بیشتری را نسبت به حالت جریا آدیاباتیک تجربه می‌کند. همچنین کاهش دما برای نسبت‌های فشاری پایین و با فرض انتقال حرارت با محیط واضح‌تر بوده است.



شکل (۶): اثر انتقال حرارت بر افت دما به ازای نسبت‌های فشاری مختلف و طول‌های بی‌بعد گوناگون

شکل (۷) دبی جرمی گاز رها شده را به ازای نسبت‌های فشاری گوناگون و برای طول‌های بی‌بعد مختلف در ۲ حالت با در نظر گرفتن انتقال حرارت با محیط پیرامون و جداره آدیاباتیک نشان می‌دهد. همانگونه که مشاهده می‌شود برای مقادیر کوچک طول بی‌بعد، انتقال حرارت جریان گاز با محیط پیرامون تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر دبی جرمی رها شده نداشته و در طول بی‌بعد ۲۰۰ نیز تنها افزایشی ۲ درصدی را در مقدار دبی خفه‌شده به همراه داشته‌است. انتظار می‌رود که اثرات انتقال حرارت بر دبی جرمی با افزایش طول لوله بیش‌تر شود.



شکل (۷): اثر انتقال حرارت بر نرخ جرمی به ازای نسبت‌های فشاری مختلف و طول‌های بی‌بعد گوناگون

۶- نتیجه‌گیری

نتایج شبیه‌سازی‌های صورت گرفته بیانگر این است که به ازای طول‌های بی‌بعد بالاتر از ۲۰۰ (که می‌تواند به منزله لوله‌هایی با زبری زیاد و یا نسبت طول به قط بالا باشد)، اثرات انتقال حرارت جریان گاز با محیط پیرامون بر پارامترهای جریان افزایش پیدا کرده و چشم‌پوشی از آن می‌تواند منجر به بروز خطا در محاسبات شود. البته لازم به ذکر است که تاثیرات انتقال حرارت بر دبی هدررفت محاسبه شده (به عنوان اصلی‌ترین پارامتر مدنظر در این پژوهش) برای طول بی‌بعد ۲۰۰ تنها در حدود ۲ بوده‌است. در میان پارامترهای مورد بررسی، دمای جریان بیش‌ترین تاثیرپذیری را از انتقال حرارت جریان با محیط پیرامون داشته‌است. همچنین می‌توان گفت در طول‌های بی‌بعد کوچک‌تر از ۲۰۰، فرض آدیاباتیک بودن جریان صحیح بوده و نیازی به در نظر گرفتن ترم انتقال حرارت در معادلات جریان وجود نخواهد داشت.

تشکر و قدردانی

نگارندگان از دانشگاه شهید چمران اهواز و شرکت گاز استان خوزستان به‌دلیل فراهم نمودن امکانات لازم تشکر و قدردانی می‌نمایند.

فهرست علائم و نشانه‌ها

R : ثابت گاز
 Re : عدد رینولدز


C_p : ظرفیت گرمایی ویژه در فشار ثابت
 D : قطر داخلی لوله

T : دمای استاتیک	f : ضریب اصطکاک
U : ضریب انتقال حرارت کلی	G : مقدار ثابت حاصل ضرب چگالی در سرعت
u : سرعت جریان	H : عمق مرکز لوله دفن شده تا سطح زمین
γ : نسبت گرماهای ویژه	h : ضریب انتقال حرارت جابجایی
δ : ضخامت دیواره‌ی لوله	k : ضریب انتقال حرارت هدایتی
ε : ضخامت زبری لوله	L : طول لوله
μ : لزجت سیال	M : عدد ماخ
ρ : چگالی	Pr : عدد پراتل
0 : اندیس حالت سکون	P : فشار استاتیک
w : اندیس دیوار لوله	g : اندیس گاز
	s : اندیس خاک

مراجع

- [۱] سعیدیان، حجت، شبیه‌سازی عددی گاز هدررفت در شبکه‌های گازرسانی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه مکانیک، دانشکده مهندسی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اسفند ۱۳۹۱.
- [2] Anderson, J.D., "Modern Compressible Flow with Historical Perspective", McGraw-Hill Publishing Company, (2002).
- [3] J.M. Keith, D.A. Crowl, "Estimating sonic gas flow rates in pipelines", J. Loss Prevention Process Ind. 18 (2) (2005) 55–62
- [4] Yuhua, D., Huilin, G., Zhou, J., Yaorong, F., "Evaluation of Gas Release Rate through Holes in Pipelines", Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2002, pp. 423-428.
- [5] E. Toplak, Gasströmung durch Rohre unter Berücksichtigung der Rohrreibung und eines Wärmeaustauschs mit der Umgebungs bei konstanter Heizflächenbelastung, Forsch. Ing.-Wes. 40 (1974) 120–125
- [6] A. Ekblom, J. Gullman-Strand, "Experimental Study of Compressible Pipe Flow with Friction and Heat Addition", M.Sc. Thesis, Department of Mechanics of KTH, Stockholm, Sweden, 1998.
- [7] C.S. Landram, One-Dimensional, Steady Compressible Flow with Friction Factor and Uniform Heat Flux at the Wall Specified, Report UCRL-ID-128670, Lawrence Livermore National Laboratory, CA, October 1997
- [8] A.Nouri-Borujerdi, M.Ziaei, "Simulation of Compressible Flow in High Pressure Buried Gas Pipelines", International Journal of Heat and Mass Transfer. 52 (2009) 5751-5758
- [۹] گزارش فنی تدوین نرم‌افزار محاسبه دبی رها شده GNPURG (ویرایش سوم)، KHGCRO TR 1391-03، دفتر پژوهش شرکت گاز استان خوزستان، بهمن‌ماه ۱۳۹۱.
- [10] Haaland. S., "Simple and Explicit Formulas for the Friction Factor in Turbulent Pipe Flow", J. Fluids Eng. 105 (1983) 89-90.
- [11] Bergman, T.L., Incropera, F.P., DeWitt, D.P., Lavine, A.S., "Introduction to Heat Transfer", John Wiley and Sons, (2007).

ب پیشنهادیه طرح تحقیقاتی امکان-
سنجی راهکارهای بهبود مصرف گاز در یک
شرکت کشت و صنعت

شماره فرم:	بسمه تعالی پرسشنامه پیشنهاد پروژه پژوهشی	 شرکت ملی گاز ایران مدیریت پژوهش و فناوری
کد پروژه:		
تاریخ:		

الف) کلیات پروژه:

۱. عنوان پروژه به فارسی:

امکان سنجی راهکارهای بهبود مصرف گاز طبیعی در کارخانه کشت و صنعت ???

۲. عنوان پروژه به انگلیسی:

Feasibility Study for Methods to Improve Natural Gas Consumption in ??? Sugar Cane Industry

۳. نوع پروژه: بنیادی کاربردی توسعه ای خدماتی

۴. سازمان مجری:

کد اقتصادی:

۴-۱. معاون پژوهشی / مدیر عامل:

نام و نام خانوادگی: مدرک تحصیلی: مرتبه علمی:

۴-۲. مجری پروژه:

نام و نام خانوادگی: مدرک تحصیلی: مرتبه علمی:

۵. اعتبار کلی پروژه (ریال):

۶. زمان اجرای پروژه (ماه): ده ماه

۷. خلاصه پروژه (حداکثر ۱۰۰ کلمه):

پروژه حاضر در ارتباط با شناسایی و ارائه راهکارهایی جهت بهبود مصرف گاز در کارخانه کشت و صنعت ??? می باشد. گام نخست در انجام پروژه شناسایی کامل سیستم است. برای این منظور نقشه های طراحی سیستم و وضعیت موجود در کارخانه مطالعه می شوند. در ادامه با انجام اندازه گیری های متعدد دبی، فشار و دما کارکرد فعلی تجهیزات و بهره وری آنها مشخص خواهد شد. سپس با تحلیل نتایج اندازه گیری ها و مطالعه پژوهش های و اقدامات انجام گرفته در سایر شرکت های مشابه داخلی و خارجی، راهکارهای بهبود مصرف گاز معرفی می شوند. راهکارهای ارائه شده از لحاظ اقتصادی و اجرایی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و در نهایت روش های مناسب به همراه اولویت بندی اجرایی معرفی خواهند شد.

ب) مشخصات مجری / همکاران اصلی پروژه:

۱. نام و نام خانوادگی: همکاران اصلی

بعضاً: مجریه

۲. مدرک تحصیلی: ۳. نوع استخدام:

۴. آدرس، تلفن و نمایر محل کار:

۵. آدرس، تلفن منزل / تلفن همراه:

۶. آدرس پست الکترونیکی:

۷. خلاصه سوابق علمی، تخصصی و تحقیقاتی:

۱-۷. مدارج تحصیلی و تخصصی (کارشناسی و بالاتر):

ردیف	درجه تحصیلی	رشته تحصیلی	نام موسسه محل تحصیل	کشور محل تحصیل	سال دریافت
۱	کارشناسی	کارشناسی			
۲	کارشناسی ارشد	کارشناسی ارشد			
۳	دکتری	دکتری			

۲-۷. اهم فعالیتهای تحقیقاتی پایان یافته و یا در حال اجراء و تألیفات در ارتباط با موضوع پروژه (حتماً ذکر

گردد):

۳-۷. اهم فعالیتهای صنعتی پایان یافته و یا در حال اجراء (حتماً ذکر گردد):

* اینجانب بدینوسیله مراتب فوق را تأیید نموده و بعنوان مجری مسئول در پروژه حاضر، فعالیت خواهم داشت.

محل امضاء:

(امضاء مجری و همکاران پروژه ضروری می باشد)

ب) مشخصات مجری / همکاران اصلی پروژه:

۱. نام و نام خانوادگی: مجریه همکاران اصلی

۲. مدرک تحصیلی: ۳. نوع استخدام:

۴. آدرس، تلفن و نمابر محل کار:

۵. آدرس، تلفن منزل / تلفن همراه:

۶. آدرس پست الکترونیکی:

۷. خلاصه سوابق علمی، تخصصی و تحقیقاتی:

۷-۱. مدارج تحصیلی و تخصصی (کارشناسی و بالاتر):

ردیف	درجه تحصیلی	رشته تحصیلی	نام موسسه محل تحصیل	کشور محل تحصیل	سال دریافت
۱	کارشناسی				
۲	کارشناسی ارشد				
۳	دکتری				

۷-۲. اهم فعالیتهای تحقیقاتی پایان یافته و یا در حال اجراء و تألیفات در ارتباط با موضوع پروژه (حتماً ذکر گردد):

۷-۳. اهم فعالیتهای صنعتی پایان یافته و یا در حال اجراء (حتماً ذکر گردد):

اینجانب.....بدینوسیله مراتب فوق را تأیید نموده و بعنوان مجری همکار در پروژه حاضر، فعالیت خواهم داشت.

محل امضاء:

(امضاء مجری و همکاران پروژه ضروری می باشد)

ج) اطلاعات تفصیلی پروژه:

۱. اهداف و تشریح پروژه:

سالانه صدها میلیون مترمکعب گاز توسط کارخانه‌های تولید شکر در کشور مورد استفاده قرار گرفته و گاز به عنوان سوخت مشعل‌ها، عمده‌ی نیاز انرژی این کارخانه‌ها را تامین می‌نماید. مطالعات انجام شده بیانگر این است که مجموع صنایع تولید قند و شکر جزو عمده‌ترین صنایع مصرف‌کننده انرژی در بخش صنایع غذایی بوده و به‌طور کلی ۵ درصد از مصرف انرژی بخش صنعت کشور را به‌خود اختصاص می‌دهند. در کارخانه‌های تولید شکر کشور متأسفانه میزان مصرف انرژی در حدود دو برابر میزان متوسط مصرف انرژی به ازای یک تن تولید در جهان می‌باشد. با توجه به بالا بودن این انحراف که منجر به تحمیل هزینه‌های گزاف اقتصادی و زیست محیطی به کشور می‌شود، می‌بایست مشکلات موجود شناسایی و در نهایت مصرف انرژی این صنایع بهینه‌سازی شود. برای این منظور طرح حاضر با هدف امکان‌سنجی و شناسایی راهکارهای اجرایی جهت بهبود مصرف گاز در کارخانه؟؟؟؟ مورد توجه قرار گرفته‌است.

مطالعات اولیه نشان می‌دهند که مصرف گاز عمدتاً به عنوان سوخت مشعل‌ها و جهت تولید بخار می‌باشد. بر این اساس جهت بهبود مصرف گاز مسئله از دودیدگاه مورد بررسی قرار می‌گیرد. دیدگاه نخست در مورد کارایی مشعل‌ها و کوره‌ها در استفاده از انرژی حرارتی گاز بوده و دیدگاه دیگر مربوط به بررسی میزان بخار لازم جهت انجام فرآیندهای مورد نیاز کارخانه است. بر این اساس گام نخست به‌منظور نیل به هدف اصلی، یافتن شناخت جامع از کلیه‌ی فرآیندهای درگیر در مصرف و توزیع انرژی می‌باشد که با انجام بازدید از بخش‌های مختلف و مطالعه‌ی نقشه‌های موجود به انجام می‌رسد.

در راستای انجام طرح‌های توسعه کارخانه و یا بنابه‌دلایلی دیگر، ممکن است تغییراتی در طراحی اولیه کارخانه ایجاد شده باشد. بر این اساس ضروری است که به‌منظور پیدا نمودن سرخ‌های ابتدایی از دلایل انحراف کارخانه از متوسط مصرف انرژی جهانی، نقشه‌های طراحی، آمار مصارف و تولید کارخانه، آمار خرابی‌ها و دیگر اطلاعات موجود در این رابطه مطالعه و ارزیابی شوند. در ادامه نقاط انرژی بر کارخانه که عمدتاً بویلرها، توربین‌های تولید توان و تغلیظ‌کننده‌ها و خشک‌کن‌ها می‌باشند به عنوان تابع هدف تعیین شده و به منظور انجام تحلیل‌های ترمودینامیکی و ارزیابی عملکرد تجهیزات مربوطه، اندازه‌گیری‌های مشخصات مربوط به آنها از جمله اندازه‌گیری دبی، فشار و دمای سیال ورودی و خروجی و آنالیز ترکیب گازهای خروجی از مشعل‌ها انجام خواهد گرفت. با داشتن اطلاعات ترمودینامیکی، تجهیزات از لحاظ بهره‌وری مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته و بدین ترتیب ارزیابی کلی از وضعیت فعلی کارخانه بدست خواهد آمد. درگام بعدی بر اساس نتایج بدست آمده و تحلیل داده‌ها و همچنین بررسی الگوهای کاهش مصرف و طرح‌های ارتقای کارخانه‌های مشابه در کشور و جهان، راهکارهایی که بتواند میزان مصرف گاز در کارخانه را بهبود ببخشد، معرفی می‌شوند. به‌طور حتم بسیاری از راهکارهای معرفی شده، علیرغم اثرگذاری بر مصرف گاز، ممکن است غیرقابل اجرا بوده و یا فاقد توجیه اقتصادی و محیط زیستی باشند. از اینرو راهکارهای معرفی شده با توجه به محدودیت‌های موجود ارزیابی شده و در نهایت روش‌های مناسب و قابل اجرا همراه با توجیه اقتصادی یا زیست محیطی معرفی خواهند شد. در نهایت نیز با توجه به اثرگذاری راهکارها، اولویت‌های اجرایی و مراحل مرتبط تشریح می‌شوند.

۲. دلایل ضرورت و توجیه اجرای پروژه در شرکت ملی گاز ایران:

انرژی و تامین آن مهم‌ترین و زیربنایی‌ترین مسئله کشورهاست، چرا که نقش اساسی و ویژه‌ای را در رشد و توسعه اقتصادی و رفاه اجتماعی ایفا می‌کند. رشد بالای جمعیت کشور در دو دهه اخیر و به پیامد آن نیاز روز افزون کشور به توسعه در بخش‌های کشاورزی، صنعت و ساختمان جهت ایجاد اشتغال و برآورد نیازهای غذایی از یکسو و نیاز به رفاه بیشتر از سوی

دیگر، باعث افزایش تقاضای نهاده‌های انرژی در کشور گردیده‌است. به پیامد این افزایش تقاضا، صنعت انرژی کشور فشار مضاعفی را بر دوش خود احساس می‌کند. بنابراین کسر بالایی از سرمایه‌های دولت را که می‌توانست در سایر بخش‌ها با ارزش افزوده بیشتر نسبت به بخش انرژی کشور سرمایه‌گذاری گردد، به خود اختصاص می‌دهد. متأسفانه در این بین میزان مصرف گاز در کشور به‌عنوان یکی از حامل‌های انرژی بسیار فراتر از میزان مصرف متوسط جهانی می‌باشد. به‌طوریکه مصرف چین با آن جمعیت میلیاردي و انواع صنایع فعال از مصرف گاز ایران با جمعیتی نزدیک به ۸۰ میلیون، کمتر می‌باشد. هم‌اکنون ایران چهار برابر متوسط جهانی، ۱۸ برابر ژاپن و معادل کل صنایع ۱۸ کشور عضو اتحادیه اروپا گاز مصرف می‌کند. از دلایل عمده‌ی این مصرف بسیار بالاتر از متوسط جهانی، عدم استفاده مناسب از گاز در مصارف خانگی و صنعتی است. البته این ضعف ناشی از برخی رویکردها و واقعیت‌ها در کشور بوده که برخی از آنها را می‌توان موارد زیر دانست.

- قیمت‌های پایین حامل‌های انرژی و یارانه‌های بیش از حد
- نبود انگیزه و علاقه در صنایع در جهت بهره‌وری انرژی و استفاده بهینه از حامل‌ها
- فرسوده بودن صنایع و تجهیزات مصرف‌کننده و نبود نقدینگی کافی در صنایع جهت نوسازی
- دولتی بودن عمده صنایع مهم کشور و حمایت مالی دولت از این صنایع

باتوجه به مطالب ذکرشده جهت حفظ و صیانت از این سرمایه ملی که شرکت ملی گاز ایران متولی عرضه آن می‌باشد، ضرورت دارد تا در مقوله مصرف گاز به‌عنوان یک سوخت ارزان و در دسترس بازننگری شود و راه‌های افزایش بهره‌وری و بهینه‌سازی مصرف آن مورد مطالعه قرار گیرند. در این راستا صنایع تولید شکر به‌عنوان یکی از مشتریان پرمصرف شرکت ملی گاز نمونه بسیار مناسبی برای انجام این کار می‌باشند. با انجام این طرح می‌توان پتانسیل‌های موجود و همچنین تغییرات لازم جهت کاهش مصرف و یا به عبارتی بهبود مصرف گاز را معرفی نموده و پس از اجرایی کردن پیشنهادات می‌توان در راستای بهینه‌کردن مصرف انرژی در این صنایع گام‌های موثری برداشت.

۳. جنبه جدید بودن و نوآوری پروژه:

در پروژه‌ی حاضر مبتنی بر داده‌های میدانی و اندازه‌گیری‌های جدید، وضعیت تولید، توزیع و مصرف انرژی با تمرکز بر گاز و فرآیندهای مرتبط با آن انجام خواهد گرفت. در ادامه راهکارهای ارائه شده از لحاظ اقتصادی و فنی مورد مطالعه و ارزیابی قرار گرفته و بر مبنای این مطالعات، راهکارهای اجرایی معرفی خواهند شد. علاوه بر این با توجه به اینکه در گذشته مطالعات ممیزی برای شرکت انجام شده‌است، آسیب‌شناسی عدم استفاده از راهکارهای پیشنهاد شده و همچنین در صورت اجرا، تاثیر و یا عدم تاثیر این راهکارها بر مصرف انرژی و گاز شرکت بررسی خواهد شد.

۴. موارد استفاده موضوع و واحدهای استفاده‌کننده از نتیجه پروژه:

شرکت ملی گاز ایران، شرکت کشت و صنعت و همچنین کلیه‌ی شرکت‌های مرتبط با تولید و تصفیه شکر

۵. مراحل اجرای پروژه:

- ۱-۵. شناسایی کامل فرآیندها و شبکه تولید، توزیع و مصرف انرژی
- ۲-۵. بررسی آمار مصارف پیشین انواع حامل‌های انرژی مشتمل بر سوخت، گاز و برق و مطالعه نقشه‌ها و اطلاعات مربوط به شرایط طراحی کارخانه جهت بررسی انطباق، انحراف و تفاوت‌های سیستم موجود
- ۳-۵. مطالعه و تحقیق در ارتباط با سایر پروژه‌های مشابه انجام شده در سطح کشور و جهان
- ۴-۵. تعیین نقاط انرژی بر کارخانه و شناسایی وضعیت فعلی شبکه تولید، توزیع و مصرف انرژی با استفاده از داده‌برداری‌های تجربی فلو، فشار و دما حین کارکرد مجموعه
- ۵-۵. تحلیل ترمودینامیکی و آنالیز انرژی بویلرها
- ۶-۵. تحلیل ترمودینامیکی و آنالیز انرژی توربوژنراتورها
- ۷-۵. تحلیل ترمودینامیکی و آنالیز انرژی خشک‌کن‌ها و سایر فرآیندهایی که با استفاده از بخار در پروسه تولید شکر درگیر می‌باشند.
- ۸-۵. تحلیل داده‌ها و ارائه سناریوهای مختلف جهت بهینه‌سازی مصرف انرژی در کارخانه
- ۹-۵. بررسی امکان‌پذیری و توجیه اقتصادی سناریوهای ارائه شده
- ۱۰-۵. معرفی راهکارهای مناسب، اولویت بندی و تعیین مراحل کار
- ۱۱-۵. تدوین گزارشات و مستندسازی پروژه

۶. سابقه اجرایی یا پروژه‌های مشابه در ایران یا خارج از کشور با ذکر ماخذ:

۷. کلید واژه‌ها:

شناسایی و امکان‌سنجی، بهبود مصرف گاز، تولید و تصفیه شکر

۸. زمانبندی پروژه (مطابق بند ج-۵) :

شماره فعالیت	مراحل اجرایی	نفر ساعت نیروی انسانی	درصد پیشرفت	زمانبندی (ماه)															
				۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲				
۱	۱-۵	۵۰۰	۱۰																
۲	۲-۵	۲۵۰	۱۵																
۳	۳-۵	۲۵۰	۲۰																
۴	۴-۵	۱۰۰۰	۴۰																
۵	۵-۵	۲۵۰	۴۵																
۶	۶-۵	۲۵۰	۵۰																
۷	۷-۵	۷۰۰	۶۵																
۸	۸-۵	۷۰۰	۸۰																
۹	۹-۵	۵۰۰	۹۰																
۱۰	۱۰-۵	۲۰۰	۹۵																
۱۱	۱۱-۵	۲۰۰	۱۰۰																

۹. مقاطع و محتوی گزارشهای پروژه:

گزارشها	محتوی گزارش شامل نتایج کدامیک از مراحل بند ۸ است ؟	زمان ارسال گزارش پس از شروع پروژه
گزارش اول	مراحل ۱-۵ تا ۴-۵	شش ماه
گزارش نهایی	کلیه مراحل	دوازده ماه

* تذکر : گزارش نهایی شامل کلیه مراحل پروژه می گردد.

د) هزینه های پروژه :

۱. هزینه های پرسنلی اعم از مجری و همکاران:

ردیف	نام و نام خانوادگی	مدرک تحصیلی	کل ساعات کار برای پروژه	هزینه (ریال)
۱		دکترای مکانیک	۱۲۰۰	
۲		دکترای مکانیک	۱۰۰۰	
۳		ارشد اقتصاد	۳۰۰	
۴		ارشد مدیریت	۳۰۰	
۵	دانشجوی کارشناسی ارشد	لیسانس مکانیک	۱۰۰۰	
۶	دانشجوی کارشناسی ارشد	لیسانس مکانیک	۱۰۰۰	
جمع کل (ریال) :				

۲. هزینه مسافرت های ضروری (اعم از هزینه بلیط، اسکان، غذا، حمل و نقل، حق مأموریت و ...) :

ردیف	مقصد	منظور از مسافرت	تعداد افراد	نفر روز	هزینه (ریال)
جمع کل (ریال) :					

۳. هزینه دستگاهها، وسایل و مواد مورد نیاز که باید از محل اعتبار پروژه خریداری شوند :

ردیف	نام دستگاه، وسیله یا مواد	مصرفی	سرمایه ای	محل تأمین		تعداد	قیمت واحد		قیمت کل	
				داخل	خارج		ریال	دلار	ریال	دلار
۱	دستگاه اندازه گیری دبی مایع اولتراسونیک		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		۱	۲۰۰,۰۰۰,۰۰۰	۲۰۰,۰۰۰,۰۰۰		۲۰۰,۰۰۰,۰۰۰
۲	دستگاه اندازه گیری دبی بخار اولتراسونیک		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		۱	۶۰۰,۰۰۰,۰۰۰	۶۰۰,۰۰۰,۰۰۰		۶۰۰,۰۰۰,۰۰۰
۳	دستگاه آنالایزر گاز		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		۱	۶۵۰,۰۰۰,۰۰۰	۶۵۰,۰۰۰,۰۰۰		۶۵۰,۰۰۰,۰۰۰
۴	دستگاه اندازه گیری و ثبت دما		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		۱	۳۵,۰۰۰,۰۰۰	۳۵,۰۰۰,۰۰۰		۳۵,۰۰۰,۰۰۰
۵	دستگاه اندازه گیری دما به روش غیر تماسی		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		۱	۱۵,۰۰۰,۰۰۰	۱۵,۰۰۰,۰۰۰		۱۵,۰۰۰,۰۰۰
جمع کل: یک میلیارد و پانصد میلیون ریال										۱,۵۰۰,۰۰۰,۰۰۰

* تذکر: هزینه تجهیزاتی از قبیل رایانه، چاپگر، CD، دیسکت و ... برعهده سازمان مجری است.

۴. آیا برای پیشبرد پروژه، نیاز به همکاری با مؤسسات دیگر می باشد؟ (به جزء سازمان مجری و کارفرما)

بلی خیر

نام مؤسسه: نوع همکاری: انجام آزمایشات مرتبط هزینه مربوطه (ریال):

۵. هزینه های دیگر:

ردیف	نوع هزینه ها	هزینه (ریال)
۱	تکثیر اوراق، تایپ و تهیه گزارشها و مراجع	۱۰,۰۰۰,۰۰۰
۲	ارتباطات، حمل و نقل، پست، دورنویس و باربری	۱۰,۰۰۰,۰۰۰
۳	هزینه های پیش بینی نشده	۳۰,۰۰۰,۰۰۰
	جمع کل (ریال): پنجاه میلیون ریال	۵۰,۰۰۰,۰۰۰

۶. کل هزینه ها:

ردیف	نوع هزینه	هزینه (ریال)
۱	پرسنلی	
۲	مسافرتهاى ضرورى	
۳	وسایل و مواد مورد نیاز	
۴	سایر مؤسسات	
۵	هزینه های دیگر	
۶	بالاسرى دانشگاه (هزینه تجهیزات مشمول بالاسرى نمى گردد)	
۷	بیمه	
۸	مالیات (۵٪ اعتبار کل پروژه)	
	جمع کل هزینه های پروژه (ریال):	

● ملاحظات:

- ۱- تکمیل این پرسشنامه دلیل بر تصویب پروژه نمی باشد.
- ۲- مجری پروژه صحت مندرجات این پرسشنامه را تأیید می نماید.

امضاء مجری:

تاریخ: