

اهمیت تدوین و اجرای معیار مصرف انرژی در فرآیند تولید آمونیاک جهت کاهش مصرف گاز طبیعی و انتشار CO₂

عزیز عظیمی^۱، احمد خوشگرد^۲، قدرت... نصیری^۳، مریم مومنی فر^۳

^۱گروه مهندسی مکانیک- دانشکده مهندسی- دانشگاه شهید چمران اهواز

^۲گروه مهندسی شیمی- دانشکده فنی- دانشگاه آزاد اسلامی- واحد جنوب

^۳شرکت ملی صنایع پتروشیمی ایران

aazimi@asme.Org

چکیده

در این مقاله، با توجه به اینکه فرآیندهای شیمیایی نظیر فرآیند تولید آمونیاک به شدت انرژی بر بوده و نیاز به حامل‌های انرژی نظیر برق، بخار، گاز سوخت و غیره دارند، محاسبات شدت مصرف انرژی برای تولید این محصول در کشور انجام پذیرفت که با انجام این محاسبات، مقدار شدت انرژی مصرفی، معیار مصرف انرژی و مقدار صرفه‌جویی در مصرف گاز طبیعی و انتشار CO₂ برای تولید این محصول بدست آورده شد. به منظور تدوین معیار مصرف انرژی در فرآیند تولید محصول فوق علاوه بر لحاظ نمودن جریان‌های انرژی عبوری از مرز واحد (حامل‌های انرژی ورودی و خروجی از واحد)، راندمان تبدیل حامل‌های انرژی به انرژی اولیه (سوخت) نیز در نظر گرفته شد. با ارزیابی و مطالعه حامل‌های انرژی عملیاتی نسبت به حالات طراحی و جهانی به تعیین معیارهایی جهت بهبود وضع واحدهای موجود پرداخته شد و در نهایت با توجه به محدودیت زمانی یک ساله برای بهبود وضعیت هر واحد، مقدار انرژی صرفه‌جویی شده و در نهایت مقدار گاز طبیعی صرفه‌جویی شده برآورد گردید. مقدار کاهش در انتشار CO₂ معادل این گاز نیز در مرحله اول، بالغ بر حدود یک میلیون تن در یک سال برای تمام واحدهای پتروشیمی تولیدکننده آمونیاک تخمین زده شد.

کلمات کلیدی: شدت مصرف انرژی، مجتمع‌های پتروشیمی، فرآیند تولید آمونیاک، اطلاعات طراحی، داده‌های عملیاتی، مقادیر جهانی، معیار مصرف انرژی، انتشار CO₂.

مقدمه

امروزه بکارگیری منطقی انرژی در صنایع بویژه صنایع نفت، گاز و پتروشیمی در کلیه سطوح به عنوان یک ضرورت مورد توجه کارشناسان و دست‌اندرکاران قرار گرفته است. بدین منظور برنامه‌ریزی‌های متعددی در زمینه صرفه‌جویی و بکارگیری منطقی انرژی برپایه استانداردها و معیارهای علمی مصرف بهینه حامل‌های انرژی در بسیاری از کشورها در دست اقدام است. این برنامه‌ریزی‌ها بطور کلی بر پایه ساختارهای علمی و

قانونی استوار بوده و به منظور تعیین میزان مصرف انرژی مطابق با شرایط طراحی و استانداردهای جهانی انجام می‌پذیرد که در مطالعه و بررسی صنایع و مجتمع‌های موجود، عمدتاً شامل موارد زیر هستند:

۱- برنامه‌های ممیزی و صرفه‌جویی انرژی به منظور محاسبه انحراف از شرایط طراحی و معیارهای جهانی،

۲- راه‌کارهای مالی، فنی و سازمانی مورد نیاز جهت بالابردن بهره‌وری در بخش انرژی به منظور برطرف نمودن انحراف در مصرف بهینه انرژی،

۳- توسعه آموزش برنامه‌های مصرف بهینه انرژی و بکارگیری منطقی آن مطابق با استانداردها و معیارهای مصرف صحیح انرژی.

موارد فوق ابزارهای کارآمدی هستند که می‌توانند دست‌اندرکاران را جهت بررسی مصرف انرژی در صنایع و مجتمع‌های موجود و برنامه‌ریزی‌های مورد نظر در راستای نگهداری اینگونه صنایع در حد استانداردهای تعیین شده صحیح و جهانی یاری نمایند. ممیزی انرژی در حقیقت مجموعه اقداماتی است که برای بررسی، شناسایی و چگونگی مصرف انرژی در یک فرآیند تولیدی انجام می‌شود و در نهایت راه‌کارهای مناسب در نگهداری مصرف انرژی یک واحد مطابق با استانداردهای تعیین شده و جهانی ارائه می‌شود. از پیامدهای اجرای ممیزی انرژی در یک واحد صنعتی می‌توان به ایجاد بینش صحیح از بخش‌های عمده مصرف‌کننده انرژی برای مدیریت آن واحد اشاره نمود. البته در برخی موارد اجرای یک برنامه بهینه‌سازی انرژی فقط با آگاه‌سازی کارکنان و مدیریت یک واحد صنعتی از چگونگی مصرف انرژی می‌تواند موجب صرفه‌جویی انرژی و رعایت نمودن معیارهای مصرف صحیح انرژی در آن واحد شود.

از سوی دیگر، کنترل مصرف انرژی مستقل از فرآیند نبوده و تمام راه‌کارهای ارائه شده در نهایت به کنترل بهینه شرایط عملیاتی فرآیند ختم می‌گردد. لذا با توجه به آنکه اعمال تغییر در شرایط فرآیندی به عنوان یکی از راه‌کارهای بهینه‌سازی در مصرف انرژی محسوب می‌گردد، لذا می‌توان بصورت لحظه‌ای روند تغییرات مصرف انرژی را بوسیله شاخص مصرف انرژی ویژه^۱ (SEC) بر اساس تغییرات شرایط فرآیندی ملاحظه نمود. تعیین و ثبت شاخص مصرف انرژی ویژه این امکان را فراهم می‌آورد که بهترین شرایط عملیاتی را تعیین و تنظیم نمود.

بعنوان مثال بخار، بواسطه ویژگی‌هایی که دارد، از دیرباز تاکنون بعنوان یک عامل انتقال انرژی در صنایع و فرآیندهای تولید مورد استفاده قرار گرفته‌است. بخار آب به سادگی توسط فرآیند تبخیر، در بویلرها و دیگ‌های بخار، تولید شده و سپس با خطوط لوله به مصرف‌کننده‌های مختلف بخش‌های فرآیند و تولید انتقال می‌یابد. بدین ترتیب فرصت‌های بسیاری در بهینه‌سازی تولید، توزیع و مصرف سطوح مختلف بخار در صنایع جهت کاهش مصرف انرژی و هزینه‌ها وجود خواهد داشت.

همچنین بهینه‌سازی انرژی الکتریکی نسبت به سایر انرژی‌ها از جایگاه خاصی برخوردار بوده و دارای ویژگی‌هایی است. این انرژی از درجه بالاتری^۲ برخوردار بوده، با هزینه بالا تولید می‌شود و نیروگاه‌ها کمتر از ۵۰٪ از انرژی‌های اولیه را به برق تبدیل می‌نمایند. برق برخلاف مصرف آسان، در تولید دارای مسائل و

^۱ Specific Energy Consumption

^۲ High Grade Energy

هزینه‌های زیاد بوده و تا چندین برابر قیمت انرژی‌های اولیه بالغ می‌شود. بنابراین مصرف بهینه این انرژی و جلوگیری از هرگونه اتلاف این نوع انرژی نیز می‌بایست یکی از اهداف اصلی در بهینه‌سازی انرژی باشد. در این مقاله، اهمیت تدوین معیار مصرف انرژی در فرآیند تولید آمونیاک در کشور جهت کاهش مصرف گاز طبیعی و انتشار CO₂ انجام پذیرفت که با انجام محاسبات لازم، مقدار شدت انرژی مصرفی، معیار مصرف انرژی و مقدار صرفه‌جویی در مصرف گاز طبیعی و انتشار CO₂ برای تولید این محصول بدست آورده‌شد. به منظور تدوین معیار مصرف انرژی در فرآیند تولید محصول فوق علاوه بر لحاظ نمودن جریان‌های انرژی عبوری از مرز واحد (حامل‌های انرژی ورودی و خروجی از واحد)، راندمان تبدیل حامل‌های انرژی به انرژی اولیه (سوخت) نیز در نظر گرفته‌شد. انجام محاسبات شدت انرژی به همراه لحاظ نمودن این فاکتور می‌تواند منجر به تعیین راه‌کار مناسب برای کاهش انرژی‌بری واحد در یک بازه زمانی مناسب را تا سطح قابل قبول فراهم نماید. با ارزیابی و مطالعه حامل‌های انرژی عملیاتی نسبت به حالات طراحی و جهانی به تعیین معیارهایی جهت بهبود وضع واحدهای موجود پرداخته شد و در نهایت با توجه به محدودیت زمانی یک ساله برای بهبود وضعیت هر واحد، مقدار انرژی صرفه‌جویی شده و در نهایت مقدار گاز طبیعی صرفه‌جویی شده برآورد گردید. مقدار کاهش در انتشار CO₂ معادل این گاز نیز در مرحله اول، بالغ بر حدود یک میلیون تن در یک سال برای تمام واحدهای پتروشیمی تولیدکننده آمونیاک تخمین زده‌شد.

واحدهای فرآیند صنایع پتروشیمی

صنایع پتروشیمی را می‌توان به پنج واحد اصلی تقسیم کرد:

واحدهای بالادست،

واحدهای بنیادی،

واحدهای واسطه‌ای،

واحدهای نهایی،

واحدهای پایین‌دست.

واحدهای بنیادی، واسطه‌ای و نهایی در داخل مجتمع پتروشیمی قرار دارند. خوراک این مجتمع‌ها را واحدهای بالادست تامین کرده و محصول نهایی آنها را واحدهای پایین‌دست مصرف می‌کنند. واحدهای بالادست، به واحدهایی گفته می‌شود که توسط آنها خوراک واحدهای بنیادی (به عبارت دیگر ماده اولیه مجتمع‌های پتروشیمی) تهیه می‌شود. واحدهای بنیادی اولین واحدهایی هستند که در مجتمع‌های پتروشیمی دیده شده که بر حسب پیچیدگی این مجتمع‌ها و تنوع محصولات آنها ممکن است یک یا چند واحد بنیادی در یک مجتمع ساخته شود. واحد تولید آمونیاک از نوع واحدهای بنیادی محسوب می‌شوند. واحدهای واسطه‌ای به واحدهایی گفته می‌شود که از نظر خط تولید و بر حسب ضرورت در میان واحدهای بنیادی و واحدهای نهایی قرار گرفته باشند و بر حسب مورد، ممکن است که یک یا چند واحد واسطه‌ای در خط تولید یک محصول وجود داشته باشد.

تشریح فرآیند تولید آمونیاک

در این قسمت، برای آشنایی با فرآیند تولید آمونیاک، شرح فرآیند مختصری از تولید این ماده شیمیایی در یک واحد موجود در تولید آمونیاک از مجتمع پتروشیمی رازی ارائه می‌گردد. مجتمع پتروشیمی رازی بزرگترین تولیدکننده آمونیاک، کود اوره، اسید سولفوریک و گوگرد و تنها تولیدکننده اسید فسفریک و کود دی‌آمونیم فسفات (کود مخلوط فسفات و سولفات آمونیوم) در ایران می‌باشد. فرآورده‌های مذکور علاوه بر تامین نیازهای داخلی، سالیانه با صدور گوگرد، آمونیاک، اوره و اسید سولفوریک به بازارهای جهانی، نقش ارزنده‌ای در رفع نیازمندی‌های ارزی مجتمع و صنایع پتروشیمی ایفا می‌نمایند.

این مجتمع یکی از مهمترین کارخانه‌های تولید کودهای ازته و فسفات و مواد شیمیایی کشور می‌باشد. اولین فاز واحدهای این مجتمع در سال ۱۳۴۹ به دنبال عملیات ساختمانی چهار ساله به بهره‌برداری رسید. به علت قدمت واحدها و صدمات وارده در جنگ تحمیلی، ظرفیت قابل حصول به میزان ۲,۴۰۰,۰۰۰ تن رسید، انتظار می‌رود با تکمیل پروژه‌های در دست اجرا واحدهای تولیدی به ظرفیت بیش از ۳,۰۰۰,۰۰۰ (سه میلیون تن) در سال برسد.

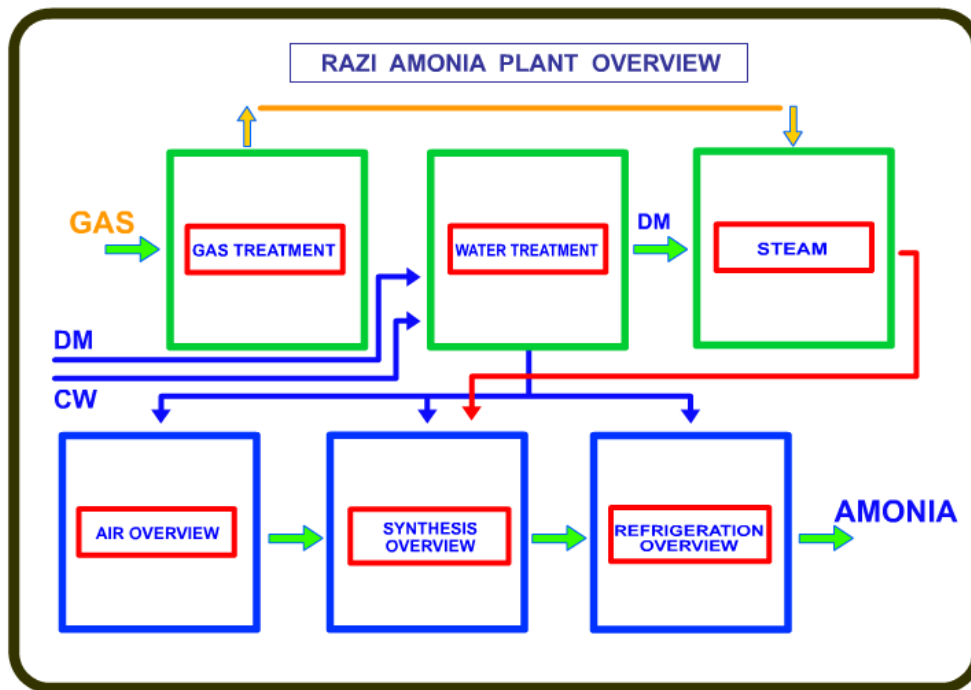
اصلی‌ترین خوراک مجتمع گاز است که از هفت حلقه چاه اختصاصی شرکت واقع در منطقه مسجدسلیمان استخراج می‌گردد. عمق این چاه‌ها به تفاوت از ۳۹۶۰ تا ۴۲۷۰ متر است که گاز مورد نیاز مجتمع را با فشاری در حدود ۱۵۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع (۲۲۰۰ پوند بر اینچ مربع) تامین می‌نمایند. این گاز حاوی ۲۴٪ هیدروژن سولفور (H₂S)، ۶۴٪ متان و ۱۱٪ گاز کرینیک است و بقیه آن را هیدروکربورهای سبک تشکیل می‌دهند، که مخلوط آنها را گاز ترش نامیده‌اند. گاز ترش پس از نم‌زدایی در واحد جذب آب^۳ مسجدسلیمان، بوسیله یک خط لوله ۲۰ اینچی بطور ۱۷۴ کیلومتر که حداکثر ظرفیت آن در حال حاضر حدود ۲۲۰ میلیون فوت مکعب در روز است، به مجتمع فرستاده می‌شود. در مواقعی که میزان گاز مذکور جوابگوی نیاز مصرفی مجتمع نباشد، کمبود آن از طریق شرکت ملی گاز منطقه اهواز تامین می‌گردد.

تولیدات مجتمع از قبیل آمونیاک، گوگرد و محلول‌های اسید سولفوریک و فسفریک به همراه اوره و دی‌آمونیم فسفات از طریق بندر امام خمینی (ره) صادر می‌شوند. در شکل ۱ چرخه تولید مجتمع ارائه شده‌است.

در این مجتمع، گاز ترش پس از ورود به این واحدها در تماس با محلول شیمیایی مناسب قرار گرفته و با این محلول گازهای اسیدی H₂S و CO₂ از هیدروکربورها جدا می‌شوند و در حقیقت گاز ترش به دو شاخه گاز شیرین (عمدتاً متان) به عنوان ماده خام برای تهیه آمونیاک و مابقی جهت سوخت توربین‌های گاز مولد برق، دیگ‌های بخار و کوره‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. از گازهای اسیدی برای تولید گوگرد استفاده می‌شود. ظرفیت دو واحد ۱ و ۲ هر کدام ۷۰/۵ میلیون فوت مکعب و ظرفیت واحد ۳، ۸۱ میلیون فوت مکعب گاز ترش در روز است.

خوراک اصلی واحدهای آمونیاک گازهای شیرین (متان) حاصل از واحد تصفیه گاز و همچنین ازت هوا است. گاز متان پس از اختلاط با بخار و فعل و انفعال در قسمت ریفرمر اولیه به هیدروژن، منواکسیدکربن و دی‌اکسیدکربن تبدیل می‌گردد. واکنش ریفرمینگ با تزریق هوا در ریفرمر ثانویه تکمیل شده و همزمان با

³ Dehydration Plant



شکل ۲: شماتیک اجزای واحد تولید آمونیاک در پتروشیمی رازی

جمع‌آوری اطلاعات لازم

جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز که از دقت کافی برخوردار بوده‌باشد، اولین گام در راه بهینه‌سازی و تجزیه و تحلیل هر سیستم موجود می‌باشد. در نتیجه ابتدا باید اطلاعات تولید و مصرف انرژی در واحدهای مورد بررسی در مجتمع‌های پتروشیمی جمع‌آوری شده و سپس به تجزیه و تحلیل آنها پرداخته شود. لازم است از اندازه‌گیری‌ها و روشهای مناسب جمع‌آوری اطلاعات طوری استفاده نمود که بتوان اطلاعات مورد نیاز از مجتمع‌ها جمع‌آوری شده و بموقع، با سرعت کافی و با روشی مناسب در اختیار تیم تجزیه و تحلیل داده‌ها قرار گیرد.

از طرفی دیگر، برآورد و محاسبه مقدار مصرف انرژی ویژه برای هر یک از واحدهای مورد بررسی، نیازمند جمع‌آوری دو نمونه از اطلاعات پیرامون تجهیزات و یا فرآیند مرتبط با مصرف حامل‌های انرژی است:

- ۱- پارامترهای طراحی،
- ۲- پارامترهای عملیاتی.

پارامترهای مورد نظر با توجه به هدف بررسی، یعنی محاسبه شاخص‌ها و مقایسه وضعیت واحدها با حالت طراحی و جهانی بر اساس فیزیک حاکم بر تجهیزات و یا پروسه‌های مورد نظر قابل تعیین است. از آنجائیکه جمع‌آوری اطلاعات طراحی و عملیاتی موجود در تاسیسات واحدهای فرآیندی مورد بررسی (لیست ارائه شده در جدول ۱) جهت محاسبه شاخص‌های مصرف حامل‌های انرژی زمان‌بر و طولانی بنظر می‌رسید، پرسشنامه‌هایی به شکل فرم تهیه شد و تکمیل آنها به همه گروه‌های کاری مستقر در مجتمع‌های مختلف پتروشیمی سپرده شد. اما از آنجا که میزان تولید محصولات و نیز مصرف انرژی و دیگر اطلاعات متغیر با زمان، در شرایط مختلف به خصوص در فصول متفاوت سال متغیر است، جمع‌آوری اطلاعات برای ۳ سال بهره‌برداری انجام گردید.

جدول ۱: لیست مجتمع‌های پتروشیمی دارای واحدهای فرآیندی تولید آمونیاک

ردیف	نام مجتمع	لیسانس	تاریخ احداث	تاریخ بهره‌برداری
۱	غدیر	KellOge	۱۳۸۵	۱۳۸۶
۲	شیراز	ICI and H&G	۱۳۶۲	۱۳۶۴
۳	رازی ۱	KellOge	۱۳۴۶-۴۹	۱۳۴۹
۴	رازی ۲	KellOge	۱۳۵۶	۱۳۵۶
۵	رازی ۳	Cazale (Linde & Basf)	۱۳۸۴-۸۵	۱۳۸۶
۶	خراسان	KellOge	۱۳۷۰	۱۳۷۵
۷	کرمانشاه	KellOge	۱۳۸۳	۱۳۸۶

مقادیر جهانی مصرف انرژی ویژه در تولید آمونیاک

جدول ۲ مقادیر مختلف جهانی در مصرف حامل‌های انرژی و خوراک مورد نیاز را برای تولید آمونیاک با استفاده از روش‌های مختلف به نمایش گذاشته‌است [۱]. در واحدهای تولید آمونیاک مجتمع‌های پتروشیمی این شاخص برای حالت‌های طراحی و عملیاتی محاسبه گردیده‌است که در بخش‌های بعدی به شرح آن پرداخته می‌شود.

جدول ۲: مصارف جهانی حامل‌های انرژی برای تولید ۱ تن آمونیاک با استفاده از روش‌های مختلف [۱].

ردیف	نوع فرآیند	الکتریسیته kWh	گاز طبیعی MMCal	آب خنک‌کننده M ³	آب فرآیندی M ³	گاز طبیعی (خوراک) MMCal
۱	M. W. KellOggs ImprOved PrOcess KAAP-KRES	۸۸/۱۸۴۹	۱۵۱۱/۱۱	۱۵۰/۲۱۷	۱/۲۵۲	۶۵۰۰
۲	ICI "AMV" PrOcess	۱۳۲/۲۷۷	۰	۱۴۰/۲۰۳	۱/۰۰۱۵	۷۶۳۸/۸۹
۳	ICI "LCA" PrOcess	۰	۰	۷۵/۹۴۳	۰/۴۱۷۳	۷۵۶۱/۱۱
۴	MW KellOgg	۵۲/۹۱۱	۰	۱۹۵/۲۸۲	۱/۰۸۵	۷۵۹۴/۴۴

محاسبه شدت انرژی و تعیین معیار

یکی از مهمترین اهداف در هر مجتمع پتروشیمی، رسیدن به بیشترین بهره‌وری یعنی افزایش تولید در کنار کاهش هزینه‌های تولید و آلودگی‌های زیست محیطی می‌باشد. مواد اولیه، انرژی، نیروی انسانی و مسأله تعمیر و نگهداری تجهیزات، عمده‌ترین هزینه‌ها را تشکیل می‌دهند و آلودگی‌های زیست محیطی نیز رابطه مستقیمی با مسأله میزان مصرف انرژی دارد. بنابراین جهت افزایش بهره‌وری کل در یک مجموعه از مجتمع‌ها، نیاز است تا اقدامات و فعالیت‌هایی برای افزایش بهره‌وری در مجتمع‌هایی که وضعیت نامناسب‌تری از نقطه نظر مصرف انرژی دارند، انجام پذیرد. اما تشخیص و تفکیک اینگونه مجتمع‌ها، نیازمند تعریف و تدوین معیارها و استانداردهایی جهت مقایسه وضعیت موجود هر یک از واحدهای فرآیندی مجتمع‌های پتروشیمی با مقادیر طراحی‌شان و داده‌های جهانی می‌باشد که در صورت نیاز، این واحدها از دیدگاه افزایش بهره‌وری مورد بررسی ممیزی انرژی و مطالعات دقیق‌تر قرار می‌گیرند.

از آنجا که یکی از مهمترین عوامل در افزایش بهره‌وری در یک صنعت بهینه‌سازی مصرف انرژی است، عمده‌ترین معیار مورد استفاده محققین در این زمینه شاخص مصرف انرژی ویژه است که در بسیاری از منابع و مآخذ از آن نام برده شده‌است. تعریف این شاخص در یک واحد فرآیندی از یک مجتمع پتروشیمی، از نسبت میزان مصرف انرژی واحد فرآیندی بر میزان کل تولید محصولات آن واحد در یک بازه زمانی معین می‌باشد:

$$(1) \quad \text{کل انرژی مصرف شده در یک مدت مشخص} \\ \text{کل محصول تولیدی در یک مدت مشخص} = \text{شاخص مصرف انرژی ویژه}$$

واضح است که انرژی در یک کارخانه در قالب حامل‌های متفاوتی از جمله سوخت، برق، بخار و آب مصرف می‌شود. بنابراین برای محاسبه کل مصرف انرژی در یک واحد فرآیندی باید مصرف انرژی برای هر یک از حامل‌ها به صورت زیر محاسبه شود:

الف - سوخت مصرفی: میزان سوخت‌های مصرفی در انواع مختلف که عمدتاً نوع گاز می‌باشد و در تجهیزات مختلف غیراز مولدهای تولید برق یا بویلرهای تولید بخار به مصرف می‌رسد. این مقدار در ارزش حرارتی سوخت‌ها ضرب شده و به واحد MJ/year در رابطه فوق وارد می‌شود.

ب - برق مصرفی: برق مصرفی یا از طریق شبکه سراسری تأمین می‌شود و یا در خود مجتمع تولید می‌شود. برق تولیدی در مجتمع و برق دریافتی از شبکه با واحد MJ/year در رابطه فوق وارد می‌شوند.

ج - بخار مصرفی: بخار مصرف شده در واحد نیز می‌تواند در خود واحد تولید شده و یا از بیرون از واحد تأمین شود. انرژی بخار تولیدی در داخل و یا دریافتی از خارج از واحد برحسب فشار و دبی بخار به واحد MJ/year در رابطه فوق وارد می‌شوند البته فرض می‌شود که بخار دریافتی از بیرون معادل تولید بخار در یک بویلر با راندمان متوسط ۸۰٪ درون واحد می‌باشد.

د - هوای مصرفی: هوای مصرف شده در واحد نیز می‌تواند در خود واحد تولید شده و یا از بیرون از واحد تأمین شود. انرژی مصرف شده جهت تهیه هوای مورد نیاز واحد (تولیدی در داخل واحد یا دریافتی از خارج از واحد) برحسب دبی هوا با فرض اینکه در یک کمپرسور با بازده ۸۰٪ تولید می‌گردد، به واحد MJ/year در رابطه فوق وارد می‌شود.

و - نیتروژن مصرفی: نیتروژن مصرف شده در واحد نیز می‌تواند در خود واحد تولید شده و یا از بیرون از واحد تأمین شود. انرژی مصرف شده جهت تهیه نیتروژن فشرده مورد نیاز واحد (تولیدی در داخل واحد یا دریافتی از خارج از واحد) برحسب دبی نیتروژن با فرض اینکه در یک کمپرسور با بازده ۸۰٪ تولید می‌گردد، به واحد MJ/year در رابطه فوق وارد می‌شود.

ی - آب خنک‌کننده: آب خنک‌کننده مورد نیاز نیز در می‌تواند در خود واحد تولید شده و یا از بیرون از واحد تأمین شود. انرژی مصرف شده در داخل واحد جهت تهیه آب خنک‌کننده مورد نیاز بر حسب دبی آب به واحد MJ/year در رابطه فوق وارد می‌شود. بر اساس بررسی‌های انجام شده بر روی واحدهای عملیاتی تولیدکننده آب خنک‌کننده، انرژی معادل مصرفی برای تولید ۱ متر مکعب آب خنک‌کننده برابر ۰/۳۳ MJ است.

از آنجا که هدف از واحدهای فرآیندی موجود یا در حال احداث، تولید یک محصول پتروشیمی است، بنابراین ظرفیت تولید محصول هر واحد به tOn/year در نظر گرفته شده و وارد رابطه (۱) می‌شود. محصولات و تمام حامل‌های انرژی در یک دوره زمانی مشخص و یا سالانه محاسبه شده و سپس وارد رابطه فوق می‌گردند. البته قبل از استفاده از رابطه (۱) می‌بایست محاسبات مصرف انرژی را به دو صورت زیر انجام داد و سپس به محاسبه شدت مصرف انرژی حرارتی، الکتریکی و کل پرداخت:

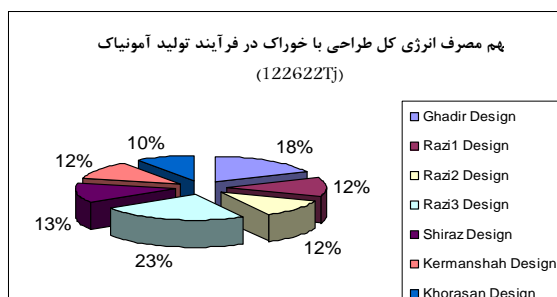
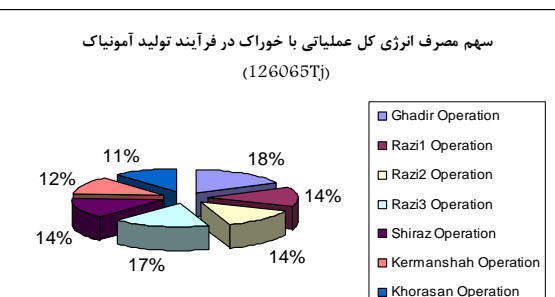
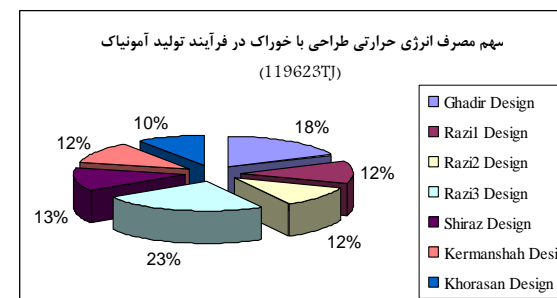
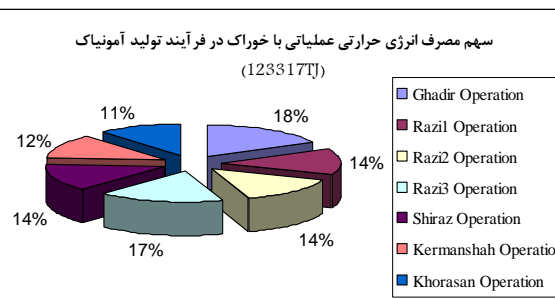
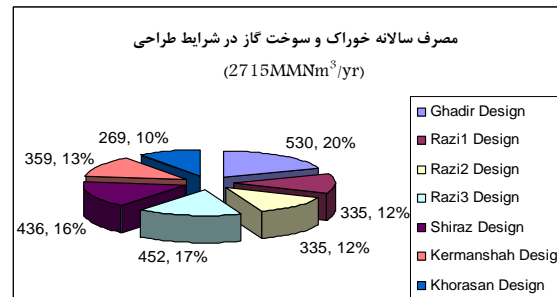
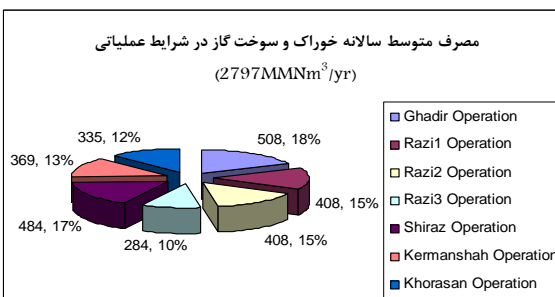
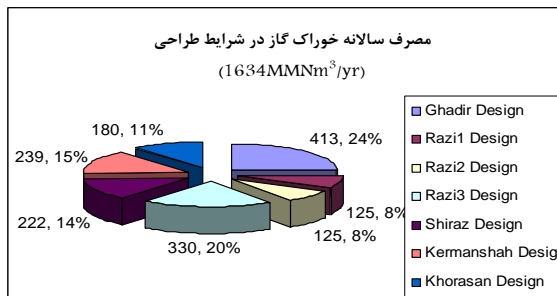
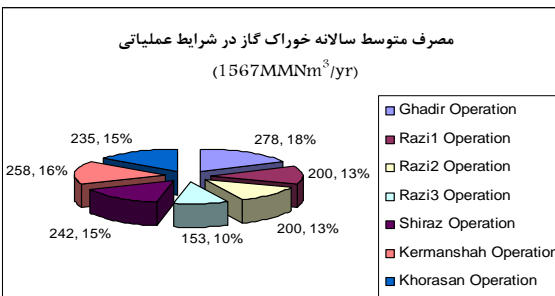
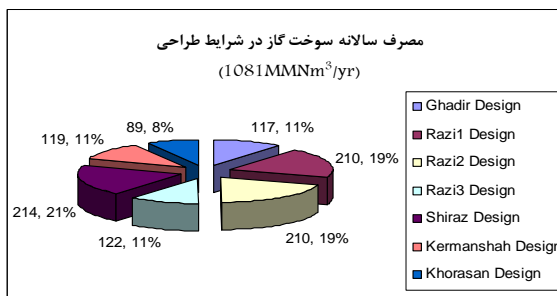
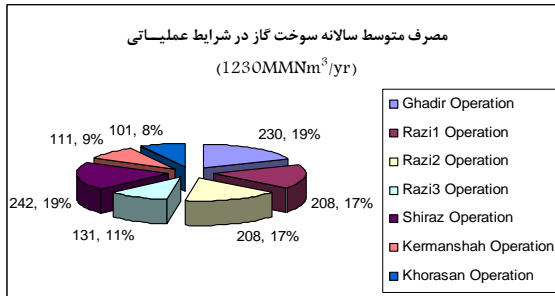
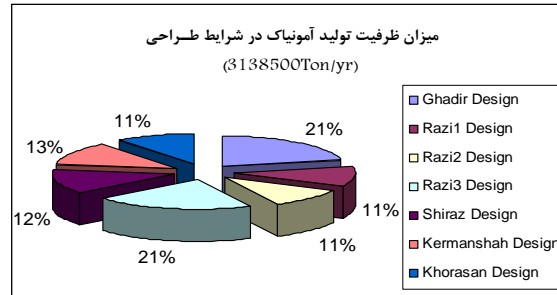
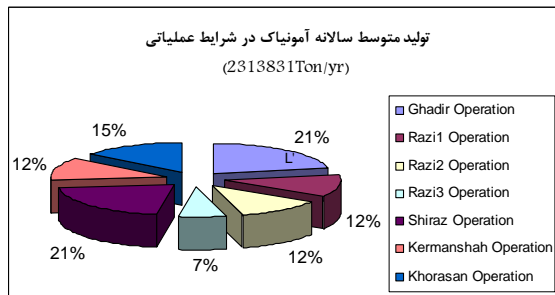
- میزان مصرف انرژی الکتریکی فرآیند در حالت طراحی و عملیاتی بر اساس میزان برق، هوای فشرده و ابزار دقیق، نیتروژن فشرده و آب کولینگ مصرفی واحد و همچنین راندمان‌های تبدیل و تعیین ضرایب تبدیل محاسبه می‌گردد. در اینجا فرض می‌شود که تبدیل انرژی‌های الکتریکی فوق به انرژی سوخت براساس تولید این انرژی‌ها توسط یک نیروگاه گازی با راندمان متوسط ۳۳٪ انجام می‌گردد.
- میزان مصرف ویژه انرژی حرارتی فرآیند در حالت طراحی و عملیاتی بر اساس مصارف سوخت‌های مایع، گاز طبیعی، بخارهای مصرفی در سطوح مختلف و همچنین کندانس برگشتی (بر اساس ارزش حرارتی، آنتالپی و راندمان‌های تبدیل) محاسبه می‌شوند. برای این منظور ارزش حرارتی سوخت‌های مایع و گاز طبیعی که مستقیماً در واحدهای تولیدی مورد استفاده قرار می‌گیرند با انرژی معادل برای تولید بخار مورد نیاز فرآیند (و لحاظ نمودن راندمان تبدیل ۰/۸ برای تولید بخار در بویلر) جمع و نهایتاً انرژی حرارتی معادل بخارها و کندانس برگشتی از آن کم می‌شود.
- انرژی‌بری کل فرآیند بر اساس مجموع انرژی‌های حرارتی و الکتریکی واحد محاسبه می‌گردد.

در نهایت نیز شاخص‌های حرارتی، الکتریکی و کل فرآیند در حالت طراحی، عملیاتی و شاخص‌های جهانی بمنظور تدوین معیار مصرف واحدهای موجود با یکدیگر مقایسه شده و میزان صرفه‌جویی انرژی طی یک دوره یک ساله مد نظر قرار می‌گیرد و سپس مقدار معادل تولید CO₂ براساس میزان مصرف سوخت محاسبه می‌گردد. شایان ذکر است در ارتباط با حامل‌های انرژی تولید شده در واحد، در صورتیکه برای تولید اینگونه حامل‌های انرژی از سوخت مصرفی و یا جریان برق ورودی به واحد استفاده شده‌باشد، این حامل‌های انرژی در محاسبات شاخص مصرف انرژی ویژه در نظر گرفته نشده‌اند.

همانطور که گفته شد تمام محاسبات براساس داده‌های موجود عملیاتی در سه سال اخیر (۱۳۸۵، ۱۳۸۶ و ۱۳۸۷) انجام پذیرفته‌است و برای واحدهایی که در سال‌های ۱۳۸۶ و یا ۱۳۸۷ راه‌اندازی شده‌اند، از داده‌های عملیاتی موجود پس از راه‌اندازی واحد استفاده شده‌است. نتایج عددی حاصل از محاسبات انرژی و نمودارهای مربوط به سوخت و خوراک مصرفی، تولید، سهم انرژی‌های حرارتی، الکتریکی و کل و همچنین مقایسه نتایج عملیاتی با طراحی و جهانی در واحدهای تولید آمونیاک در اشکال صفحات بعد ارائه شده‌اند.

بحث و نتیجه‌گیری

همانطور که از نتایج مشاهده می‌شود فرآیندهای شیمیایی نظیر فرآیند تولید آمونیاک به شدت انرژی‌بر بوده و علاوه بر نیاز به حامل انرژی از خارج از واحد، در خود فرآیند نیز بدلیل شرایط انجام واکنش‌های گرم‌آزا، حامل انرژی نظیر بخار تولید می‌شود که در خود فرآیند نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این پروژه با ارزیابی و مطالعه حامل‌های انرژی مورد استفاده در حالت طراحی و جهانی منتج به تعیین معیارهایی برای



بهبود بهره‌برداری از واحدهای موجود گردید.

به همین منظور، مقایسه شاخص‌های انرژی‌بری عملیاتی و طراحی هر یک از واحدهای موجود در داخل کشور منجر به تعیین سطح قابل‌دسترس برای کاهش تلفات انرژی در آن واحد با بهبود شرایط عملیاتی و بهره‌برداری یا انجام اقدامات کم‌هزینه خواهد شد. مقایسه شاخص‌های انرژی‌بری هر فرآیند با شاخص طراحی تولید همان محصول نیز امکان تعیین سطح قابل بهبود یا کاهش مصرف انرژی از طریق بهبود یا اصلاح فرآیند را فراهم می‌نماید. اقدامات لازم برای دستیابی به این امر لزوماً از نوع اقدامات پرهزینه می‌باشد که امکان‌سنجی میزان کاهش انرژی‌بری تا سطح طراحی و دستیابی به آن نیز براساس انجام ممیزی‌های تفصیلی از تجهیزات یا فرآیندهای منتخب انجام‌پذیر خواهد بود.

بدون شک نظارت و هدف‌گذاری یکی از مهمترین وظایف مدیریت انرژی برای بهینه‌سازی در مصرف انرژی است و این مهم بدون اندازه‌گیری حامل‌های مختلف انرژی در مجتمع‌های پتروشیمی موجود و تعیین معیارها و استانداردهای مناسب (همانند شرایط طراحی و استانداردهای جهانی) جهت مطالعه و بررسی وضعیت مصرف انرژی در اینگونه مجتمع‌ها امکان‌پذیر نمی‌باشد. تعیین درصدهای مندرج در تقسیم‌بندی‌های ذیل توسط کارشناسان و مشاوران با سابقه مدیریت HSEQ شرکت ملی پتروشیمی، مدیران واحدهای فرآیندی با در نظر گرفتن همزمان ترم‌های جهانی و پتانسیل‌های داخلی طی یک جلسه تعیین گردیده‌است. در نهایت با توجه به انحراف واحدهای موجود از مقادیر طراحی‌شان، واحدها توسط تیم یاد شده مورد بررسی قرار گرفت که نتیجه این بررسی این شد که واحدهای موردنظر به چهار دسته تقسیم شوند:

۱- واحدهایی که مقادیر مصرف انرژی ویژه کل عملیاتی‌شان از مقادیر طراحی‌شان بسیار انحراف داشته و این امر بدین علت بوده‌است که در سال ۱۳۸۷ راه‌اندازی شده‌اند و هنوز به حالت پایدار فعالیت خود نرسیده‌اند. برای این نوع واحدها پیشنهاد شد که مقادیر مصرف انرژی ویژه کل عملیاتی‌شان را به ۲۰ درصد بالای مقادیر طراحی‌شان در طی یک سال کاهش دهند.

۲- واحدهایی که مقادیر مصرف انرژی ویژه کل عملیاتی‌شان از مقادیر طراحی‌شان زیاد انحراف نداشته و در حالت پایای فعالیت خود کار می‌کنند. برای این نوع واحدها پیشنهادی برای کاهش مقادیر مصرف انرژی ویژه کل عملیاتی‌شان تا ۵۰ درصد اختلاف بین مقادیر عملیاتی و طراحی‌شان در طی یک سال ارائه شد.

۳- واحدهایی که مقادیر مصرف انرژی ویژه کل عملیاتی‌شان در حدود مقادیر طراحی‌شان می‌باشند. برای این نوع واحدها پیشنهادی جهت کاهش مقادیر مصرف انرژی ویژه کل عملیاتی‌شان به میزان ۵ درصد در طی یک سال ارائه شد.

شایان ذکر است در نهایت می‌بایست تمام واحدهای دسته ۱ الی ۳ در طی یک پریود زمانی مقادیر مصرف ویژه انرژی کل آنها به سطح معیار جهانی برسد. نتایج عددی و همچنین معیارهای تعیین‌شده جهت کاهش مصرف انرژی ویژه در جدول ۳ برای تولید آمونیاک ارائه شده‌است. بطور خلاصه می‌توان برخی از دلایل عمده افزایش مصرف انرژی در شرایط عملیاتی نسبت به طراحی در واحدهای فرآیندی را بازگو کرد:

▪ تلفات انرژی در خطوط انتقال و در نتیجه افت کیفیت حامل انرژی در ورودی واحد نظیر افت دمای بخار از واحد سرویس جانبی که منجر به افزایش دبی بخار مصرفی می‌گردد.

▪ در فرآیندهایی نظیر آمونیاک در خود فرآیند نیز بخار تولید می‌گردد که بدلیل مشکلات فرآیندی، بخار تولیدی در فرآیند دمای کمتری از شرایط طراحی را دارا می‌گردد. لذا این امر موجب افزایش مصرف بخار از خارج فرآیند می‌گردد.

▪ در برخی از فرآیندها تجهیزات انرژی بر نصب شده در واحد از نظر کارایی انرژی تطابق با طراحی واحد نداشته و موجب افزایش انرژی بری واحد می‌گردد.

▪ فقدان برخی تجهیزات اندازه‌گیری و کنترل مصرف حامل‌های انرژی بخصوص در واحدهای قدیمی علاوه بر افزایش مصرف موجب عدم امکان اندازه‌گیری و محاسبه دقیق انرژی بری واحدها شده‌است.

در ادامه نیز با توجه به صرفه‌جویی مصرف انرژی و بالطبع آن صرفه‌جویی در مصرف سوخت در طی پریود یک ساله، می‌توان مقدار معادل در کاهش انتشار گاز کربنیک را برآورد نمود. بدین صورت که هر تراژول انرژی صرفه‌جویی شده از سوختن گاز طبیعی معادل با ۵۶/۱ تن گاز کربنیک می‌باشد. همانطور که از جدول ۳ مشاهده می‌شود مقدار گاز کربنیک معادل انرژی صرفه‌جویی شده برای تمام واحدهای تولیدکننده آمونیاک برابر با ۹۹۲۴۹۷ تن در یک سال می‌شود.

جدول ۳: معیار شاخص مصرف انرژی ویژه کلی در مجتمع‌های پتروشیمی تولیدکننده آمونیاک

ردیف	نام مجتمع پتروشیمی	گروه	طراحی [MJ/ton]	عملیاتی [MJ/ton]	تولید عملیاتی [ton/year]	انرژی صرفه‌جویی شده معادل سوخت [MJ/ton]	مقدار معادل گاز کربنیک [ton/year]
۱	غدیر	۲	۳۳۷۵۰/۳	۴۲۷۰۲/۴	۵۱۴۱۷۰	۴۴۸۹۰	۹۹۲۴۹۷
۲	شیراز	۳	۳۸۸۲۵/۲	۳۶۵۰۵	۴۸۰۰۷۷		
۳	رازی ۱ یا ۲	۲	۴۳۱۰۰/۳	۶۳۸۷۰/۵	۵۴۵۰۶۸		
۴	رازی ۳	۲	۴۳۷۱۱/۹	۶۸۰۱۵/۶	۳۱۵۷۷۶		
۵	خراسان	۲	۳۵۵۱۱/۸	۴۲۸۵۱/۲	۳۳۶۵۳۳		
۶	کرمانشاه	۲	۳۶۲۶۳	۵۴۶۸۳/۲	۲۸۰۰۹۳		
۷	ایران	-	۳۸۴۳۳	۴۱۰۷۴	-	-	-
۸	معیار جهانی	-	۳۲۵۱۴		-	-	-

مراجع

1. SRI Consulting, PEP YearbOOK, VOL. 1, AmmOia PrOductiOn, pp. 71-74, 2008.
۲. هاشمی، م.، "روشهای جلوگیری از اتلاف مصرف انرژی در کشور"، سازمان بهینه‌سازی مصرف سوخت کشور.
۳. "بررسی و ارائه پیشنهادات جهت اصلاح و بهینه سازی اتلاف بخار فشار پایین مجتمع پتروشیمی رازی"، گزارش پروژه، پژوهشگاه صنعت نفت، تیرماه ۱۳۸۴.