NRI-ER-899-PPCPN 41-00-L

فرصت مطالعاتی صنعتی

گزارش نهایی

مدیر پروژه:

امیرحسین خلیلی گرکانی

واحد مجری:

گروه پژوهشی شیمی و فرآیند

DOI: 10.30503/nripress.2020.336


بسم الله الرحمن الرحيم

فرصت مطالعاتی صنعتی
گزارش نهایی

مدیر پروژه:

امیرحسین خلیلی گرکانی

گروه پژوهشی پشتیبان: گروه پژوهشی شیمی و فرآیند

واحد مجری: گروه پژوهشی شیمی و فرآیند

انتشارات پژوهشگاه نیرو

تیر۱۴۰۱

کد ثبت گزارش: NRI-ER-899-PPCPN 41-00-L

DOI: 10.30503/nripress.2020.336

ایران. وزارت نیرو. پژوهشگاه نیرو. گروه پژوهشی شیمی و فرآیند

فرصت مطالعاتی صنعتی: گزارش نهایی/ مدیر پروژه: خلیلی گرکانی، امیرحسین. کارفرما: پژوهشگاه نیرو، ۱۴۰۱.

۲۷۶ ص.: مصور، نمودار، جدول

۱. احمدی، سید احمد، مدیر واحد مجری. ۲. گروه پژوهشی شیمی و فرآیند.
۳. مهندسی فرآیندهای شیمیایی

انتشارات پژوهشگاه نیرو
گروه پژوهشی شیمی و فرآیند

کلیه حقوق معنوی اثر متعلق به پدیدآورندگان، کلیه حقوق مادی متعلق به پژوهشگا نیرو و نشر مطالب در حدود متعارف، با ذکر منبع بلامانع است.

نشانی: تهران، شهرک غرب، انتهای بلوار شهید دادمان، پژوهشگاه نیرو، کدپستی: ۱۴۶۸۶۱۳۱۱۳

تلفن: ۹-۸۸۰۷۹۴۰۱

نمابر: ۸۸۰۷۸۲۹۶

وبگاه: www.nri.ac.ir

پست الکترونیک انتشارات: publications@nri.ac.ir

فرم تعهدنامه اصالت اثر

متعهد می‌شوم که مطالب مندرج در این گزارش حاصل کار پژوهشی اینجانب امیرحسین خلیلی گرکانی، مدیر پروژه فرصت مطالعاتی صنعتی و همکاران به شرح زیر است و دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این پژوهش از آن‌ها استفاده شده است مطابق مقررات، مورد ارجاع قرار گرفته و در فهرست منابع ذکر گردیده است.

■ گزارش حاصل انجام همه مراحل پروژه است.

□ گزارش حاصل انجام ..... مرحله از ..... مرحله پروژه است.

همکاران :

۱.

۲.

۳.

۴.

فهرست مطالب

فصل ۱ تحلیل فنی، اقتصادی و زیست محیطی بازیافت بخار فلش تولیدی از خط کندانس برگشتی پالایشگاه گاز ایلام ۱۷

۱-۱ مقدمه..... ۱۸

۱-۲ سیستم‌های تولید، توزیع، مصرف و بازیابی بخار..... ۱۹

1-2-1 بخار..... ۲۰

1-2-2 آشنایی با انواع بخار..... ۲۶

۱-۲-۱ بخار فلش..... ۲۹

۱-۲-۲ تولید بخار..... ۳۴

۱-۲-۳ توزیع بخار ۴۳

۱-۲-۴ مصارف نهایی..... ۵۵

۱-۲-۵ بازیابی کندانس..... ۶۴

۱-۳ پتانسیل‌های صرفه جویی انرژی در بخش‌های تولید و توزیع بخار..... ۶۶

۱-۳-۱ بهبود سیستم تولید بخار..... ۶۶

۱-۳-۲ بهبود سیستم توزیع بخار..... ۶۹

۱-۳-۳ جمع بندی فرصتهای بهبود عملکرد..... ۷۵

۱-۴ بازیافت حرارت از مایع حاصل از میعان، بخار ساده و بخار فلش..... ۷۸

۱-۴-۱ بازیافت حرارت از میعانات..... ۷۸

۱-۴-۲ بازیافت ساده بخار..... ۹۳

۱-۴-۳ بازیابی بخار از طریق ظرف یا تانک فلش..... ۹۸

۱-۴-۴ بازیابی بخار توسط افزایش فشار..... ۱۰۰

۱-۵ بررسی فنی و اقتصادی راهکارهای اصلاحی جهت بازیابی بخار فلش LP در خط کندانس برگشتی پالایشگاه گاز ایلام..... ۱۱۱

۱-۵-۱ بررسی فنی و اقتصادی بازیابی بخار فلش تولیدی در خط کندانس برگشتی با استفاده از تانک فلش و کمپرسور بخار..... ۱۱۳

۱-۵-۲ بررسی فنی و اقتصادی بازیابی بخار فلش با استفاده از نصب یک درام و اجکتور قبل از شیر فشارشکن..... ۱۲۰

1-5-3 برآورد انتشار گازهای گلخانه‌ای..... ۱۲۴

۱-۶ نتیجه‌گیری ۱۳۳

فصل ۲ بررسی طرحهای قابل استفاده به منظور بهرهبرداری از LIQUID WASTE مازاد پتروشیمی اروند و ارائه طرح توجیهی (فنی-اقتصادی) جهت انتخاب روش بهینه ۱۳۵

۲-۱ مقدمه ۱۳۶

۲-۱-۱ پسماندهای ارگانوکلر ۱۳۸

۲-۱-۲ ترکیبات قلیاییهای حاوی سولفید ۱۳۹

۲-۱-۳ بخش مونومری C_5-C_9 ..... ۱۳۹

۲-۱-۴ روشهای تعیین مشخصات ۱۳۹

۲-۲ مطالعه تکنولوژی‌های جدید استفاده از Liquid Waste ۱۴۱

۲-۳ مطالعه روش‌های مرسوم استفاده از Liquid Waste ۱۴۴

۲-۳-۱ بازیافت OCW اولیه ۱۴۵

۲-۳-۲ فرآورش EDC به VC ۱۴۷

۲-۳-۳ پلیمریزاسیون VC، VDCو سایر ترکیبات غیر اشباع ۱۴۸

۲-۳-۴ تراکم چندگانه OCW با محلول سدیم تتراسولفید ۱۵۰

۲-۳-۵ تبدیل اتیلن دی کلراید به محصولات با ارزش بالا نظیر تتراکلرو اتیلن و تری کلرو اتیلن ۱۵۲

۲-۳-۶ جمع‌بندی ۱۵۳

۲-۴ بررسی امکان بکارگیری روشها و تکنولوژیهای مطالعه شده برای استفاده از Liquid Waste در مجتمع .. ۱۵۴

۲-۴-۱ روش کنونی بکار گرفته شده در مجتمع پتروشیمی اروند ۱۵۵

۲-۴-۲ سیستم زباله‌سوز پیشرفته بدون آلایندگی ۱۵۶

۲-۴-۳ تقطیر جزء به جزء جهت جداسازی اجزاء با ارزش پسماند ۱۶۰

۲-۵ بررسی میزان انتشار گازهای گلخانهای و آلایندههای هوا در صورت تبدیل Liquid Waste به محصولات با ارزش افزوده و انرژی ۱۶۷

۲-۵-۱ مطالعات انجام شده در زمینه انتشار گازهای گلخانهای ۱۶۸

۲-۵-۲ بررسی انواع نشر ۱۶۹

۲-۵-۳ روشهای کاهش انتشار ۱۷۱

۲-۵-۴ محاسبه انتشارات احتراقی ۱۷۲

۲-۶ اولویت بندی و انتخاب بهینه ترین روش ۱۸۰

مراجع ۱۸۱

فصل ۳ بازیابی و بکارگیری گازهای فلر در صنعت پتروشیمی ۱۸۴

۳-۱ مقدمه ۱۸۵

۳-۲ سامانه بازیافت گاز فلر ۱۹۱
۳-۲-۱ عوامل موثر در انتخاب و طراحی سیستم بازیابی فلر ۱۹۳
۳-۲-۲ کمپرسور سامانه بازیافت گاز فلر ۱۹۴
۳-۲-۳ پارامترهای طراحی سیستم FGRU ۲۰۰
۳-۳ تولید انرژی الکتریکی ۲۰۱
۳-۳-۱ روش‌های تولید انرژی الکتریکی ۲۰۲
۳-۳-۲ تولید برق از فلر پتروشیمی ۲۱۰
۳-۴ سرمایه‌گذاری مورد نیاز ایده‌های بازیابی گاز فلرها ۲۱۲
مراجع ۲۱۵
فصل ۴ مکانیسم‌ها و مشوق‌های بین المللی زیست محیطی شامل NAMAS، GCF، JCM و CDM ۲۱۶
۴-۱ مقدمه ۲۱۷
۴-۱-۱ مفهوم و هدف کلی مکانیسم اقدامات کاهش انتشار مناسب ملی (NAMA) ۲۱۷
۴-۱-۲ مفهوم و هدف کلی صندوق اقلیم سبز (GCF) ۲۱۹
۴-۱-۳ مفهوم و هدف کلی مکانیسم اعتبار مشترک (JCM) ۲۲۰
۴-۱-۴ مفهوم و هدف کلی مکانیسم توسعه پاک (CDM) ۲۲۰
۴-۲ اقدامات کاهش انتشار مناسب ملی (NAMA) ۲۲۰
۴-۲-۲ روش‌های عملی برای شناسایی و توسعه مفاهیم NAMA ۲۲۳
۴-۲-۳ چالش MRV ۲۲۴
۴-۲-۴ تفهیم NAMAها برای اجرا و توسعه شرایط آب و هوایی انعطاف پذیر و کم کربن ۲۲۵
۴-۲-۵ شناسایی و اولویتبندی فرصت‌های NAMA ۲۲۶
۴-۲-۶ روند فرآیند ۲۳۳
۴-۲-۷ چارچوب سازمانی/ نهادی NAMA ۲۳۵
۴-۲-۸ وضعیت ناماها ۲۳۷
۴-۲-۹ هزینه‌ها، تأمین اعتبار و سایر نیازهای پشتیبانی ۲۳۹
۴-۳ معرفی JCM ۲۴۲
۴-۳-۱ مفاهیم و اهداف مکانیسم اعتبار مشترک (JCM) ۲۴۲
۴-۳-۲ رویکرد JCM ۲۴۳
۴-۳-۳ کمیته مشترک (دبیرخانه) ۲۴۴
۴-۳-۴ ویژگی‌های مکانیسم JCM ۲۴۵
۴-۳-۵ محدوده پروژه‌های ثبت شده ۲۴۶

۴-۳-۶ مهمترین اهداف JCM ۲۴۶
۴-۳-۷ وزارت محیط زیست ژاپن (MOE) بعنوان تأمین کننده منابع مالی JCM ۲۴۶
۴-۳-۸ کشورهای شریک JCM ۲۴۹
۴-۳-۹ چرخه پروژه‌های JCM و CDM ۲۵۱
۴-۴ معرفی GCF ۲۵۴
۴-۴-۱ دلایل ایجاد صندوق اقلیم سبز(GCF) ۲۵۵
۴-۴-۲ معرفی صندوق GCF ۲۵۵
۴-۴-۳ نمونه هایی از پروژه های ثبت شده ۲۶۰
۴-۴-۴ مراحل عملیاتی ثبت پروژه GCF ۲۶۴
۴-۵ معرفی CDM ۲۶۶
۴-۵-۱ شرح مکانیسم توسعه پاک ۲۶۹
۴-۵-۲ وضعیت کنونی پروژههای مکانیسم توسعه پاک ۲۷۱
۴-۵-۳ ایران و پروژههای مکانیسم توسعه پاک ۲۷۴

فهرست شکل‌ها

شکل ۱-۱. شماتیک یک سیستم بخار ۲۰
شکل ۱-۲. شمایی از مولکول‌های آب در فاز مایع و بخار ۲۱
شکل ۱-۳. گرمایش با آب یا روغن داغ[۲] ۲۲
شکل ۱-۴. انتقال حرارت از طریق جابجایی[۲] ۲۳
شکل ۱-۵. گرمایش با بخار[۲] ۲۴
شکل ۱-۶. انتقال حرارت بر اساس چگالش[۲] ۲۵
شکل ۱-۷. برخی تجهیزات گرمایش غیرمستقیم ۲۶
شکل ۱-۸. نمودار فازی آب و بخار [۲] ۲۷
شکل ۱-۹. تبخیر فلش هنگام خروج کندانس از تله بخار ۳۰
شکل ۱-۱۰. مقدار بخار فلش قابل حصول در شرایط مختلف الف) واحد SI و ب) واحد انگلیسی ۳۱
شکل ۱-۱۱. مقایسه میزان تولید بخار فلش در دو حالت با اختلاف فشارهای کوچک و بزرگ[۳] ۳۲
شکل ۱-۱۲. استفاده از بخار فلش[۳] ۳۴
شکل ۱-۱۳. دیگ‌های بخار عمودی و افقی ۳۶
شکل ۱-۱۴. دیگ بخار فایر تیوب یا لوله آتشین[۵] ۳۷
شکل ۱-۱۵. نمای شماتیک الف) دیگ بخار عقب خشک و ب) دیگ بخار عقب تر ۳۸

شکل ۱-۱۶. نحوه عملکرد دیگ واترتیوب ۳۹
شکل ۱-۱۷. نحوه انتقال حرارت تشعشعی در دیگ بخار واترتیوب ۴۰
شکل۱-۱۸. انتقال حرارتی جابجایی در دیگ واترتیوب ۴۰
شکل ۱-۱۹. نمای یک دیگ بخار واترتیوب با درام طولی ۴۱
شکل ۱-۲۰. دیگ بخار واترتیوب با درام متقاطع ۴۲
شکل ۱-۲۱. دیگ بخار واتر تیوب با درام خمیده (دیگ استرلینگ) ۴۲
شکل ۱-۲۲ حلقه بخار و میعانات[۶] ۴۴
شکل ۱-۲۳. یک نمونه از خطوط انشعابی[۶] ۴۷
شکل ۱-۲۴. انواع صافی‌ها نوع سبدی و نوع Y[۶] ۴۷
شکل ۱-۲۵. انواع تله‌های بخار ۵۱
شکل ۱-۲۷. مبدل حرارتی پوسته و لوله[۱] ۵۷
شکل ۱-۲۸. اجزاء یک مبدل‌های حرارتی صفحه‌ای[۱] ۵۸
شکل ۱-۲۹. اجزاء یک مبدل‌های حرارتی ژاکت دار[۱] ۵۹
شکل ۱-۳۰. عملیات ترموکمپرسور[۱] ۶۱
شکل ۱-۳۲. نسل جدید تله بخار های بایمتالیک ساخت شرکت ADCA ۷۰
شکل ۱-۳۳. ظرف فلش ساخت شرکت ADCA ۷۱
شکل ۱-۳۴. شیر بلودان ساخت ADCA ۷۲
شکل ۱-۳۵. نمودار جریان عملکرد کارآمد بویلر[۷] ۷۸
شکل ۱-۳۶. مقادیر حرارت نهان و آشکار ذخیره شده برای آب در دماها و فشارهای مختلف ۸۰
شکل ۱-۳۷. نمونه‌ای از صرفه جویی در تولید حرارت بر اساس برگشت مایع اشباع بعنوان تغذیهٔ دیگ بخار ۸۰
شکل ۱-۳۸. محل تأسیسات A، B و C و دیگ بخار D ۸۱
شکل ۱-۳۹. یک راه ساده در بازیابی حرارت از مایع حاصل از میعان داغ و آلوده ۸۲
شکل ۱-۴۰. بازیافت مایه حاصل از میعان ۸۳
شکل ۱-۴۱. نمونه‌ای از لوله‌کشی و اهمیت آن در اتلاف حرارتی ۸۴
شکل ۱-۴۲. صعود مایع حاصل از میعان به لولهٔ برگشتی بخاطر فرآیند درون دیگ ۸۶
شکل ۱-۴۳. مبدل حرارتی بخار به آب ۸۶
شکل ۱-۴۴. ورودی هوا به دستگاه گرم‌کننده ۸۷
شکل ۱-۴۵. پمپ‌های الکتریکی جهت برگشت مایع حاصل از میعان از مخزن دریافت کننده به دیگ بخار ۸۸
شکل ۱-۴۶. پمپ اتوماتیک با دریچهٔ پمپی که مایع حاصل از میعان را به مخزن تخلیهٔ دیگ بخار تحویل می‌دهد. ۸۹
شکل ۱-۴۷. رابطهٔ بین ارتفاع و دما ۹۰

شکل ۱-۴۸. مخزن سرویس مستقر در ارتفاع بالا که از مخزن اصلی توسط یک دریچهٔ پمپی تغذیه می‌شود..... ۹۱
شکل ۱-۴۹. مقایسهٔ تلفات حرارتی دو نیمهٔ عایق شده و عایق نشدهٔ مخزن در ۶۰۰۰ ساعت..... ۹۳
شکل ۱-۵۰. کندانسور که در آن از یک آب پاش دوش حمام یا باغبانی استفاده شده است..... ۹۴
شکل ۱-۵۱. مخزن فلش..... ۹۵
شکل ۱-۵۲. روش استفاده از بخار فلش در یک سیستم گرمایش..... ۹۶
شکل ۱-۵۳. آرایش مبدل‌های حرارتی سیستم گرمایش..... ۹۸
شکل ۱-۵۴. بررسی نمونه سیستم توزیع بخار با تانک فلش..... ۹۹
شکل ۱-۵۵. نحوه نصب تانک فلش بصورت عمودی..... ۱۰۰
شکل ۱-۵۶. مکانیزم عملکرد اجکتور بخار..... ۱۰۱
شکل ۱-۵۷. شماتیک فرآیند بکارگیری اجکتور در بازیابی بخار فلش..... ۱۰۲
شکل ۱-۵۸. شمای کلی اجکتور مافوق صوت..... ۱۰۳
شکل ۱-۵۹. شماتیک دو نوع اجکتور با ساختمان‌های متفاوت..... ۱۰۴
شکل ۱-۶۰. تغییرات سرعت و فشار در طول اجکتور..... ۱۰۴
شکل ۱-۶۱. نمودارهای شرکت TLV برای انتخاب اجکتور بازیابی بخار فلش..... ۱۰۸
شکل ۱-۶۲. نمای کلی نحوه بازیابی بخار فلش از مخازن تغذیه دیگ بخار..... ۱۰۹
شکل ۱-۶۳. نمای کلی ترکیب سیستم کمپرسور بخار..... ۱۱۰
شکل ۱-۶۴. نمای کلی نحوه کاهش هزینه‌های بازرسی..... ۱۱۱
شکل ۱-۶۵. نمونه‌ای از سیستم MVR جهت افزایش فشار بخارات فلش..... ۱۱۲
شکل ۱-۶۶. نمونه‌ای از سیستم چند مرحله‌ای TVR جهت فشار افزایی بخارات فلش..... ۱۱۳
شکل ۱-۶۷. نمودار ترمودینامیکی کمپرسور مکانیکی فشارافزایی بخار برای افزایش راندمان انرژی در طراحی فرآیندها..... ۱۱۴
شکل ۱-۶۸. سیستم فشارافزایی بخار و تزریق آب بر مبنای دو مرحله افزایش فشار..... ۱۱۴
شکل ۱-۶۹. بازه‌های طراحیشده برای فشارافزایی بخار..... ۱۱۵
شکل ۱-۷۰. شماتیک بازیابی بخار فلش با استفاده از فلش‌درام و کمپرسور در محیط ASPEN HYSYS..... ۱۱۷
شکل ۱-۷۱. نتایج شبیه‌سازی سیستم TVR مورد نیاز جهت فشار افزایی بخارات فلش..... ۱۲۲
شکل۱-۷۲. درخت تصمیم‌گیری برای انتخاب روش محاسبه احتراق ثابت جهت محاسبه انتشار CO_2 برای تمامی منابع احتراقی به غیر از فلرها..... ۱۲۹
شکل ۲-۱. راه اندازی تجهیزات آزمایشی برای دهیدروکلرید قلیایی OCW و جداسازی آنها: ۱- فلاسک کلسین در ترموستات قرار می گیرد. ۲- میکسر ؛ ۳- دماسنج ؛ ۴- کندانسور مستقیم ؛ ۵- ALLONGE؛ ۶- گیرنده های VC و VDC ؛ ۷-خلاء ؛ ۸ مانومتر ؛ ۹- ترموستات..... ۱۴۰

شکل ۲-۲. طرحهای مونتاژ اتوکلاو راکتور برای کوپلیمریزاسیون محصولات دهیدروکلریداسیون OCW قلیایی با کسر C9-C5 ۱- هود. ۲- راکتور قرقره ؛ کمربند ۳ ولت ؛ ۴ مهر و موم ؛ ۵-مانومتر ؛ ۶ دماسنج ؛ پوشش بالای ۷ راکتور ؛ ۸- لوله نیپل ؛ ۹-پشتیبانی ؛ ۱۰- خروجی حامل گرما ؛ موتور ۱۱ ترموستات ؛ اتوکلاو ۱۲ راکتور با کاپشن حرارتی ؛ ورودی حامل ۱۳ گرما ؛ کنترل از راه دور ۱۴ ترموستات ؛ ۱۵- خروجی فلنج ؛ شیر آب ۱۶؛ ترموستات ۱۷ ؛ موتور ۱۸ مخلوط کن محفظه ؛ ۱۹- اتصال مواد واکنش دهنده ؛ تنظیم کننده سرعت ۲۰ موتور..... ۱۴۱
شکل ۲-۳. نمودار جریان بلوک برای تولید مونومر وینیل کلراید (VCM) و تشکیل پسماندهای مایع ارگانوکلری (OCW)..... ۱۴۳
شکل ۲-۴. تغییر غلظت ترکیبات غیر اشباع OCW در داخل ستون اصلاح پس از کلر در دمای ۶۰Cº، نسبت مولی ۱:۱۰ OCW به CL_2 و کاتالیزور FE، فشار ۱/۵ اتمسفر..... ۱۴۶
شکل ۲-۵. تغییر غلظت EDC در OCW در داخل ستون اصلاح پس از کلر در دمای ۶۰Cº، نسبت مولکولی ۱:۱۰ OCW به CL_2 و FE -CATALYST..... ۱۴۷
شکل ۲-۶. وابستگی عملکرد VC و VDC به غلظت NAOH در مخلوط OCW دهیدروکلرید شده. (۷۵Cº، ۲ ساعت ، ۳۰۰ دور در دقیقه، NAOH: CA $(OH)_2$ = 1: 2)..... ۱۴۸
شکل ۲-۷. نرخ تبدیل OCW، کوپلیمر OCW نامحلول و کسری C9–C5 وابستگی به دما (۶٪ $ALCL_3$، ۴ ساعت) ...۱۴۹
شکل ۲-۸. غلظت اجزای OCW (1.2-EDC و 1،1،2-TCE) و پلیمرهای تیوکول در حین تراکم با سولفیدها (۸۳-۹۰ سانتیگرادNA_2S_4 :OCW: قلیایی حاوی سولفید = ۱: ۲: ۱ ؛ CAO-5٪ ؛ کاتالیست-۰/۵ درصد وزنی٪ ۱H-ایمیدازولیوم).۱۵۱
شکل ۲-۹. تغییر غلظت قلیایی حاوی سولفید در طول تعامل با OCW (۸۳-۹۰Cº :OCW: NA2S4 قلیایی حاوی سولفید = ۱: ۲: ۱ ؛ CAO-5٪ ؛ کاتالیست-۰/۵ درصد وزنی٪ ایمیدوستات، فشار ۱ اتمسفر)..... ۱۵۲
شکل ۲-۱۰. چیدمان برجهای تقطیر در نظر گرفته شده A: گازهای سبک باقیمانده، B: کلرفرم، C: EDC و D: باقیمانده پسماند سنگین..... ۱۶۱
شکل ۲-۱۱. شماتیک شبیهسازی انجام شده در نرمافزار ASPEN PLUS..... ۱۶۲
شکل ۲-۱۲. درخت تصمیم‌گیری برای انتخاب روش محاسبه احتراق ثابت جهت محاسبه انتشار CO_2 برای تمامی منابع احتراقی به غیر از فلرها..... ۱۷۳
شکل ۳–۲. مقایسه روشهای بازیابی گازهای فلر..... ۱۸۶
شکل ۳–۳. فرآیند کلی سیستم بازیافت گاز فلر با کمپرسور رینگ مایع..... ۱۹۱
شکل ۳–۴. نمایی از آب‌بند (BLACKWELL ET AL., 2015)..... ۱۹۲
شکل ۳–۵. نمایی از کولر هوایی مورد استفاده در سیستم بازیابی گاز فلر (BLACKWELL ET AL., 2015) ۱۹۳
شکل ۳–۶. نمایی از اجزای کمپرسور رینگ مایع شرکت ایتالیایی GARO..... ۱۹۵
شکل ۳–۷. کمپرسور مارپیچی خشک..... ۱۹۶
شکل ۳–۸. کمپرسور مارپیچی روغن‌کاری شونده..... ۱۹۷

شکل ۳–۹. کمپرسور رفت و برگشتی..... ۱۹۸
شکل ۳–۱۰. کمپرسور تیغه لغزشی..... ۱۹۹
شکل ۳–۱۱. نمونه‌ای از منحنی کمپرسورهای رینگ مایع دو مرحله‌ای شرکت GARO..... ۲۰۱
شکل ۳–۱۲. شمای کلی فرآیند تولید انرژی الکتریکی و حرارت از گاز فلر..... ۲۰۲
شکل ۳–۱۳. شمای کلی فرآیند تولید برق از گاز همراه با استفاده از فناوری میکروتوربین..... ۲۰۳
شکل ۳–۱۴. شمای کلی یک میکروتوربین به همراه اجزای آن..... ۲۰۳
شکل ۳–۱۵. شمای کلی یک توربین گازی به همراه اجزای آن..... ۲۰۴
شکل ۳–۱۶. شمای کلی فرآیند تولید برق با سیکل توربین گازی [۵]..... ۲۰۵
شکل ۳–۱۷. خانواده توربینهای شرکت سولار با توجه به توان تولیدی..... ۲۰۵
شکل ۳–۱۸. سوختهای قابل استفاده در سیستمهای توربین شرکت سولار [۱۷]..... ۲۰۶
شکل ۳–۱۹. شمای کلی فرآیند تولید برق با سیکل توربین گازی (NEZHADFARD & KHALILI-GARAKANI, 2020)۲۰۷
شکل ۳–۲۰. تنوع سوخت قابل استفاده در ماشینهای گازی..... ۲۰۸
شکل ۳–۲۱. نحوه سوخترسانی در سه نوع ماشین گازی شرکت واتسیلا..... ۲۰۸
شکل ۳–۲۲. تصویر نیروگاه ماشین گازی پتروآمازوناس..... ۲۱۰
شکل ۳–۲۳. سیستم بازیابی گاز فلر..... ۲۱۲
شکل ۴-۱. انواع NAMAها..... ۲۲۲
شکل ۴-۲. روش عملیاتی کردن NAMAها..... ۲۲۶
شکل ۴-۳. پنج مرحله توسعه متدولوژی طرح ضمنی..... ۲۲۸
شکل ۴-۴. هفت مرحله از روش طرح کلی..... ۲۳۰
شکل ۴-۵. جزییات بیشتری از مفاهیم NAMA شناسایی شده..... ۲۳۱
شکل ۴-۶. جزییات بیشتری از پیشنهادات NAMA توسعه یافته..... ۲۳۲
شکل ۴-۷. چارت تصمیم گیری برای روش‌های توسعه NAMA..... ۲۳۳
شکل ۴-۸. ویژگی‌های NAMA و پشتیبانی‌های مالی..... ۲۳۵
شکل ۴-۹. چرخه توسعه NAMA..... ۲۳۶
شکل ۴-۱۰. سیکل عمومی NAMA..... ۲۳۷
شکل ۴-۱۱. تعداد NAMAها در مراحل مختلف..... ۲۳۸
شکل ۴-۱۲. توزیع منطقهای NAMAها..... ۲۳۸
شکل ۴-۱۳. توزیع بخشی NAMAها..... ۲۳۹
شکل ۴-۱۴. نوع اقدامات در NAMAها..... ۲۳۹
شکل ۴-۱۵. نمودار مراحل ثبت پروژه‌های NAMA..... ۲۴۱

شکل ۴- ۱۶. مکانیسم JCM بین ژاپن و کشور میزبان..... ۲۴۳
شکل ۴-۱۷. نحوه انجام فرآیند JCM بین ژاپن و کشور میزبان..... ۲۴۵
شکل ۴-۱۸. نحوه اجرای یک نمونه از پروژههای JCM توسط MOE..... ۲۴۷
شکل ۴-۱۹. نحوه تأمین مالی پروژه های JCM..... ۲۴۸
شکل ۴-۲۰. مراحل ثبت پروژه های JCM..... ۲۴۹
شکل ۴-۲۱. مراحل تحقق پروژههای JCM..... ۲۴۹
شکل ۴-۲۲. چرخه فرآیندهای JCM و CDM..... ۲۵۲
شکل ۴-۲۳. مستندات مورد نیاز JCM..... ۲۵۲
شکل ۴-۲۴. نحوه توسعه و تدوین METHODOLOGY در مکانیسم JCM..... ۲۵۳
شکل ۴-۲۵. نحوه رجیستری و صدور اعتبارات JCM..... ۲۵۳
شکل ۴-۲۶. نمونه هایی از پروژه های ثبت شده JCM ارایه شده..... ۲۵۴
شکل ۴-۲۷. چرخه ارائه پیشنهاد اولیه در مکانیزم GCF..... ۲۶۴
شکل ۴-۲۸. چرخه تهیه پیشنهاد پروژه در مکانیزم GCF..... ۲۶۵
شکل ۴-۲۹. نمودار ثبت پروژه GCF در کشور..... ۲۶۶
شکل ۴-۳۰. سهم کشورهای مختلف در حال توسعه از تعداد پروژههای ثبت شده مکانیسم توسعه پاک..... ۲۷۲
شکل ۴-۳۱. سهم کشورهای در حال توسعه از گواهی کاهش انتشار سالیانه حاصل از پروژههای ثبت شده..... ۲۷۳
شکل ۴-۳۲. نمودارسهم صنایع گوناگون از میزان استفاده از امتیازات پیمان کیوتو..... ۲۷۴

فهرست جداول

جدول ۱-۱. خلاصهای از اقدامات موثر بر راندمان انرژی در سیستمهای توزیع بخار..... ۷۵
جدول ۱-۲. فرصتهای بهبود عملکرد برای تولید، توزیع و بازیابی بخشهای مختلف سیستمهای بخار صنعتی..... ۷۶
جدول ۱-۳. پتانسیلهای صرفهجویی انرژی..... ۷۷
جدول ۱-۴. قطر لولههای مایع حاصل از میعان (میزان بار در مرحلهٔ شروع شرایط متوسط)..... ۸۳
جدول ۱-۵. اتلاف حرارتی در لولهها (تشعشع حرارتی هر یک لولهٔ فولادی افقی بدون عایق که بطور آزاد در مقابل هوا ^{o}C ۱۰-۲۰ قرار داده شده است)..... ۹۱
جدول ۱-۶. انواع و مشخصات اجکتورهای شرکت TLV..... ۱۰۶
جدول ۱-۷. نتایج و مشخصات جریانهای بخار و کندانس LP حاصل از شبیهسازی..... ۱۱۷
جدول ۱-۸. مشخصات هندسی فلشدرام، پمپ و کمپرسور موردنیاز حاصل از شبیهسازی..... ۱۱۸
جدول ۱-۹. برآورد هزینه سرمایهگذاری و سالانه راهکار فشار افزایی بخار توسط فلش درام و کمپرسور..... ۱۱۹

جدول ۱-۱۰. خلاصه‌ای از نتایج راهکار فشارافزایی با استفاده از فلش درام و کمپرسور بخار ۱۲۰
جدول ۱-۱۱. برآورد هزینه‌های سرمایه‌گذاری و عملیاتی راهکار بازیابی بخار فلش توسط نصب اجکتور ۱۲۳
جدول ۱-۱۲. خلاصه‌ای از راهکار بازیابی و فشارافزایی بخار فلش با استفاده از نصب اجکتور ۱۲۳
جدول ۱-۱۳. ضرایب انتشار آلاینده‌ها در فرآیند احتراق با سوخت گاز طبیعی ۱۳۰
جدول ۱-۱۴. مقادیر ΔH تولیدی و مصرفی در بویلر LP قبل و بعد از بازیافت بخار فلش ۱۳۲
جدول ۱-۱۵. میزان کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و سایر آلاینده‌ها با اجرای راهکارهای پیشنهادی ۱۳۳
جدول ۱-۱۶. مقایسه دو راهکار پیشنهادی بکارگیری MVR و TVR جهت فشارافزایی و بازیابی بخار فلش ۱۳۴
جدول ۲-۱. ترکیب شیمیایی OCW برای تولید EDC و VC ۱۳۷
جدول ۲-۲. خواص فیزیکی کسر C_9–C_5 ۱۳۹
جدول ۲-۳. ترکیبات شیمیایی کمی اندازه گیری شده دو نمونه سبک و سنگین پسماند حاصل از واحد EDC/VCM ۱۵۵
جدول ۲-۴. شاخص‌های اقتصادی اکسیداسیون احتراقی با استفاده از زباله سوز با راندمان بالا ۱۵۹
جدول ۲-۵. جزئیات بیشتری از آیتمهای هزینه و درآمد در سناریو استفاده از زباله سوز با راندمان بالا ۱۶۰
جدول ۲-۶. مشخصات محصولات تولیدی ۱۶۱
جدول ۲-۷. آنالیز شیمیایی ترکیبات کلرفرم و EDC جدا شده از برج ۱۶۱
جدول ۲-۸. مشخصات برجهای موجود ۱۶۳
جدول ۲-۹. آنالیز جذب نیتروژن ساختار کربنی تولید شده ۱۶۳
جدول ۲-۱۰. هزینه تجهیزات به تفکیک اجزا ۱۶۴
جدول ۲-۱۱. میزان مصرف یوتیلیتی در سناریوهای اول و دوم تقطیر جزء به جزء ۱۶۵
جدول ۲-۱۲. شاخص‌های اقتصادی ایده‌های مربوط به تقطیر جزء به جزء ۱۶۶
جدول ۲-۱۳. جزئیات بیشتری از آیتمهای هزینه و درآمد در سناریوهای تقطیر جزء به جزء ۱۶۶
جدول ۲-۱۴ ضرایب انتشار آلایندهها در فرآیند احتراق با سوخت گاز طبیعی ۱۷۵
جدول ۲-۱۵ میزان انتشار آلاینده های زباله سوز جدید (ارائه شده توسط شرکت سازنده) ۱۷۶
جدول ۲-۱۶. میزان انتشار گازهای گلخانهای و آلایندهها ۱۷۶
جدول ۲-۱۷. هزینههای آسیب آلایندههای مختلف در ایران (SHAFIEPOUR, 2009) ۱۸۰
جدول ۲-۱۸. نتایج اقتصادی و میزان آلایندگی سناریوهای پیشنهادی ۱۸۰
شکل ۳–۱. رتبه بندی ۳۰ کشور اول از نظر حجم انتشار گازهای فلر ۱۸۵
جدول ۳–۱. ترکیب درصد نهایی فلر مجتمعهای پتروشیمی (بر اساس درصد وزنی) ۱۸۸
جدول ۳۳–۱. مشخصات ماشینهای گازی دوگانهسوز و گاز-دیزل شرکت واتسیلا ۲۰۹
جدول ۳–۲. میزان جریان گاز فلر، ارزش حرارتی و میزان توان الکتریکی قابل تولید از فلر پتروشیمیهای کشور ۲۱۱
جدول ۳۳–۳. هزینه ثابت ایدههای بازیابی گاز فلرهای پارسیان جهت استفاده به عنوان گاز سوخت ۲۱۳

جدول ۳۳–۴. هزینه سرمایهگذاری لازم برای استفاده از گاز فلر مجتمع های پتروشیمی..... ۲۱۴
جدول ۴-۱. لیست طولانی از صفحه نمایش سریع نماها برای ترینیداد و توباگو..... ۲۲۸
جدول ۴-۲. گازهای گلخانه ای پیمان کیوتو و ضرایب تبدیل آنها به گاز دی اکسید کربن..... ۲۶۹
جدول ۴-۳. اطلاعات پروژههای ثبت شده و در حال ثبت و CERحاصل از آنها در ماه سپتامبر ۲۰۰۸میلادی..... ۲۷۱
جدول۴-۴. اطلاعات پروژههای ثبت شده و در حال ثبت و CERحاصل از آنها در ماه آگوست ۲۰۱۰میلادی..... ۲۷۱

فصل ۱ تحلیل فنی، اقتصادی و زیست محیطی بازیافت بخار فلش تولیدی از خط کندانس برگشتی پالایشگاه گاز ایلام

۱-۱ مقدمه

اتلاف هر نوع انرژی تولید شده از منابع فسیلی، علاوه بر خسارات مالی جبران‌ناپذیری که دارد، زیان‌های غیرقابل انکاری نیز بر محیط زیست ملی ما و جهان وارد خواهد آورد. اکنون سالیان متمادی از زمانی می‌گذرد که کشورهای پیشرفته که حتی برخی از آن‌ها از حداکثر امکانات طبیعی و صنعتی برای تولید انرژی برخوردارند، در کنار تلاش در جهت استفاده از انرژی های نو (خورشید، باد، امواج، ...)، استفاده صحیح از انرژی را در رأس اهم اهداف خود قرار داده و صاحبان صنایع، صنعتگران، مدیران سازمان‌ها، ..... و حتی سازندگان ساختمان‌های مسکونی و بالاخره استفاده کنندگان این بناها را مخاطب قرار داده و با وضع دستورالعمل‌ها و در مواردی ضوابط و قوانین بازدارنده، آن‌ها را تشویق، راهنمائی و حتی راهبری درجهت جلوگیری از اتلاف انرژی می‌نمایند.

انجام پاره‌ای از این اقدامات، اگر در زمان مناسب نسبت به اِعمال آن‌ها اقدام گردد، حتی هیچگونه هزینهٔ اضافی را نیز تحمیل نخواهد نمود و جهت همه گیر شدن جنبش جلوگیری از اتلاف انرژی، دائما جلسات توجیهی و سمینارهائی برای تصمیم گیرندگان برگزار می‌گردد تا از پی‌آمدها و بهتر بگوئیم عواقب مختلف آن آگاه گردند. در کنار اقدامات فوق، تلاش متخصصین و دانشمندان در جهت اختراع، ابداع و تولید وسایل و تجهیزات کارآمد نیز جبههٔ دیگری است که برای مبارزه با اتلاف انرژی گشوده شده است که از جمله آن‌ها می توان به تولید صنعتی تجهیزات و لامپ‌های پر انرژی، کم مصرف و بادوام اشاره کرد.

با توجه به روند افزایش جمعیت و تبعات آن و هرجه بیشتر مستهلک شدن منابع تولید انرژی، چندان دور نخواهد بود که نه تنها افراد، بلکه جوامع نیز درموقعیتی قرار نداشته باشند که بتوانند به میزان مورد علاقهٔ خود انرژی مصرف نمایند بلکه با هرچه فشرده‌تر شدن جوامع، حتما اهرم‌های ملی و جهانی و خود محدود کننده‌ای وارد عمل خواهند گردید که ابتکار عمل در زمینهٔ تولید و مصرف انرژی را بعهده خواهند گرفت.

در عرصهٔ رقابت جهانی در راستای مصرف بهینه و تولید هرچه بیشتر، کشورها، جوامع و صنایعی موفق تر خواهند بود که در این رقابت که شاید از دیدگاهی بتوان آن را مبارزه برای تنازع بقاء و ادامهٔ فعالیت نامید، با تحقیقات و مطالعات موفق به یافتن و پس از آن بکار بردن راه‌های جلوگیری از اتلاف انرژی شوند.

علیرغم اینکه کاربرد بعضی از اقدامات صرفه جویانه (یا بهتر است گفته شود استفاده صحیح و جلوگیری کننده از اتلاف بیهوده)، نیاز به مقداری سرمایه‌گذاری اولیه دارند که البته میزان آن بستگی به دامنه و وسعت اقدامات بعمل آمده دارد، ولی نکته‌ای که مبرهن و غیرقابل انکار می‌باشد آن است که این سرمایه‌گذاری اولیه در مدت کوتاهی خودبخود مستهلک می‌گردد.

بطورکلی زمانی که سؤالی درباره سوخت مورد نیاز صنایع مطرح می‌شود، اغلب این حقیقت نادیده گرفته می‌شود که منظور باید بیشتر معطوف به منابع حرارتی[1] باشد تا منابع سوختی. در هر زمانی و مخصوصا در زمان حال، بهتر است که اهمیت حرارت، معادل اهمیت سوخت در نظر گرفته شود. حتی در حساب شده‌ترین تأسیسات حرارتی ، مقادیری اتلاف غیرقابل پرهیز انرژی وجود دارد. اما می‌توان همین مقادیر نسبتا کوچک تلف حرارتی را در جهت کارهای مفید مصرف کرد.

این پروژه به مسئلهٔ تولید بهتر حرارت از منبع سوخت نمی‌پردازد، بلکه به استفاده بهتر از حرارت ذخیره شده به صورت بخار یا آب داغ نظر دارد. بخار در دیگ بخار تولید شده و برای رفع نیازهای حرارتی فرآیندهای قسمت‌های مختلف تأسیسات، توزیع می‌گردد. با از دست دادن حرارت، بخار به مایع حاصل از میعان تبدیل می‌شود ولی هنوز

[1] Heat Supply

مقداری حرارت (که قبلا از دیگ بخارگرفته شده است) در آن باقی می‌ماند. حرارت مزبور را می‌توان از طریق استفاده از فلاش بخار[۲] یا خود مایع حاصل از میعان، بازیافت[۳] نمود. همچنین در فرآیندهای معین، آب تبخیرشده حاوی مقداری حرارت نهان نیز می‌باشد.

۲-۱ سیستم‌های تولید، توزیع، مصرف و بازیابی بخار

بطور کلی سه نوع اصلی از انرژی وجود دارد که در فرآیندهای صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرد: برق، گرمای مستقیم و بخار. برق به روش های مختلفی از جمله درایو مکانیکی، گرمایش و واکنش های الکتروشیمیایی استفاده می‌شود. انرژی با سوخت مستقیم باعث انتقال مستقیم گرمای احتراق سوخت به یک فرآیند می‌شود. اما بخار ضمن تأمین حرارت موردنیاز فرآیندها، قادر است کنترل فشار، محرک مکانیکی و جداسازی قطعات را نیز فراهم کند. ضمن آنکه منبع تأمین کننده آب در بسیاری از واکنشهای فرآیندی هم بشمار می رود.

بخار مزایای عملکردی بسیاری دارد که آن را به وسیله ای ضروری برای تأمین انرژی تبدیل می‌کند. این مزایا شامل سمیت کم، سهولت حمل و نقل، راندمان بالا، ظرفیت گرمایی بالا و هزینه کم نسبت به سایر گزینه‌ها می‌باشد. بخار مقدار قابل توجهی انرژی را بر اساس واحد جرم (بین ۱۰۰۰ تا ۱۲۵۰ واحد حرارتی انگلیس در هر پوند [Btu/lb]) نگه می‌دارد که می‌تواند به عنوان کار مکانیکی از طریق توربین یا به عنوان گرما برای استفاده از فرآیند استخراج شود. از آنجا که بیشترین مقدار حرارت بخار به صورت گرمای نهان ذخیره می‌شود، مقادیر زیادی از گرما می تواند به طور کارآمد در دمای ثابت منتقل شود که این یک ویژگی مفید در بسیاری از برنامه های گرمایش فرآیندی است.

از بخار در بسیاری از فرآیندهای تماس مستقیم نیز استفاده می‌شود. به عنوان مثال، بخار به عنوان منبع هیدروژن در ریفرمینگ متان با بخار استفاده می‌شود که یک فرایند مهم برای بسیاری از کاربردهای تصفیه مواد شیمیایی و نفت است. بخار همچنین برای کنترل فشار و درجه حرارت بسیاری از فرآیندهای شیمیایی استفاده می‌شود. سایر کاربردهای قابل توجه بخار، حذف آلاینده ها از سیال فرآیند و تسهیل تقسیم اجزای هیدروکربنی است. بسیاری از مزایای موجود در بخار در مقدار قابل توجهی انرژی که صنعت برای تولید آن استفاده می‌کند منعکس می‌شود. به عنوان مثال در سال ۲۰۰۶، تولید کنندگان ایالات متحده حدود ۴۷۶۲ تریلیون Btu از انرژی بخار استفاده کردند که حدود ۴۰٪ از کل انرژی مورد استفاده در فرآیندهای صنعتی را برای تولید محصول نشان می‌دهد.

میزان بخار مورد استفاده در صنایع پر مصرف بسیار قابل توجه است. به عنوان مثال، در سال ۲۰۰۶ صنایع تولیدات جنگلی تقریباً ۲،۱۱۷ تریلیون Btu انرژی برای تولید بخار مصرف کرد که به استثنای مواد اولیه مورد استفاده این صنعت، حدود ۷۶٪ از کل انرژی در سایت را شامل می‌شود. صنایع شیمیایی تقریباً ۱۵۰۴ تریلیون Btu انرژی برای تولید بخار مصرف کرده است که به استثنای مواد اولیه مورد استفاده در این صنعت، تقریباً ۴۷٪ از کل انرژی در سایت را شامل می‌شود. همچنین صنعت پالایش نفت نیز به استثنای مواد اولیه حدود ۹۱۵ تریلیون Btu انرژی برای تولید بخار مصرف کرده است که حدود ۲۸٪ از کل انرژی مصرفی این صنعت در سایت را تشکیل می‌دهد[۴].

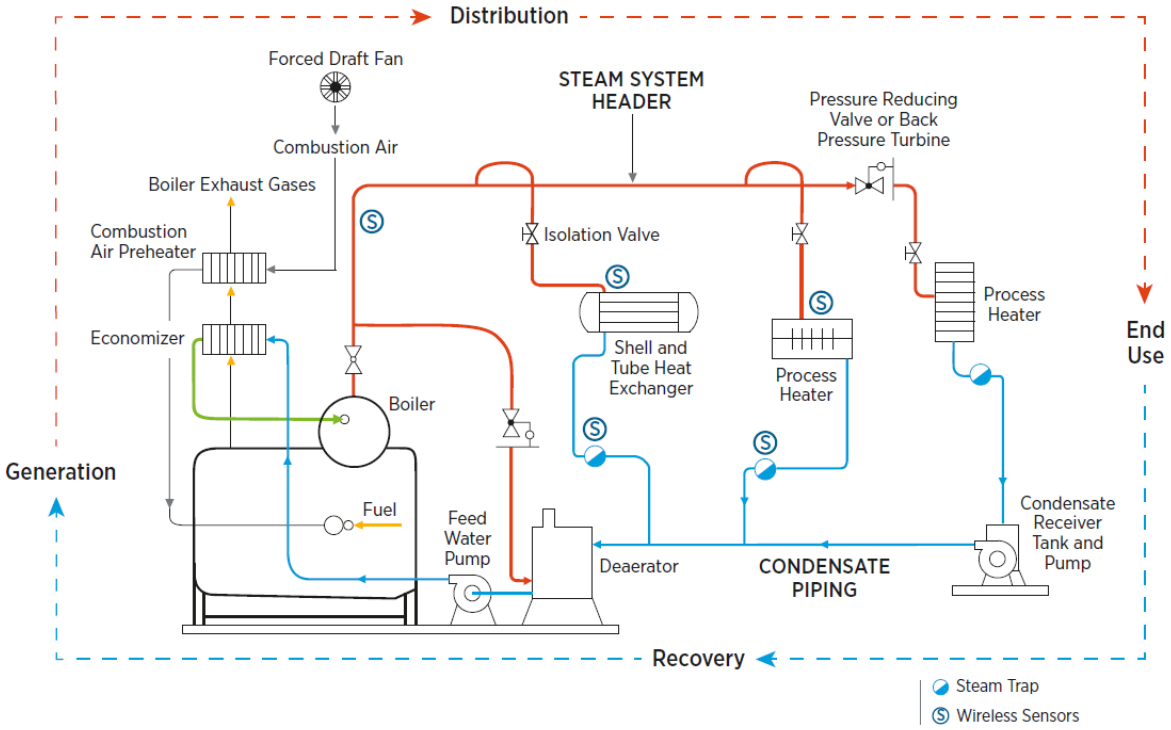
---

[2] Flash Steam

[3] Recovery

[4] Lawrence Berkeley National Laboratory Washington DC, R.D.C.V.V., *Improving Steam System Performance a sourcebook for industry*. 2004.

بطور کلی اجزای یک سیستم بخار شامل تولید، توزیع، استفاده نهایی و بازیابی بخار از طریق بازگرداندن کندانسهای داغ به بویلر می باشند. این چهار منطقه هنگام خروج از بویلر تا زمان بازگشت از طریق سیستم بازگشت میعانات، مسیر بخار را دنبال می‌کنند. شکل شرح کلی و شماتیکی از چهار ناحیه اصلی سیستم بخار را ارائه می‌دهد که در ادامه گزارش این بخشها با جزئیات بیشتری توصیف می‌گردد.



شکل ۱-۱. شماتیک یک سیستم بخار

۱-۲-۱ بخار

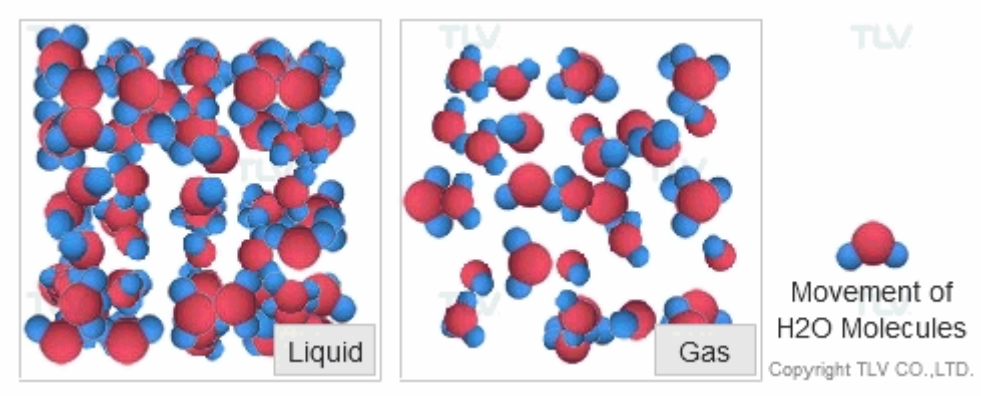
بخار به گاز تشکیل شده در حین تغییر حالت آب از مایع به گاز گفته می‌شود. در مقیاس ملکولی، این تغییر حالت زمانی اتفاق می‌افتد که مولکول‌های آب بتوانند از پیوندهای هیدروژنی[5] که عامل نگهداری آن‌ها در کنار هم هستند، جدا شوند.

۱-۲-۱-۱ نحوه عملکرد بخار

در آب مایع، مولکول‌های آب به صورت پایدار به هم متصل و از هم جدا هستند. با این حال، زمانی که مولکول‌های آب گرم می‌شوند، پیوندهای متصل کننده‌ی ملکول‌ها به یکدیگر، با سرعت بیشتری نسبت به سرعت تشکیل خود، شکسته می‌شوند. در نهایت، با تأمین مقدار گرمای کافی، بعضی مولکول‌ها آزاد خواهند شد. این مولکول‌های آزاد،

[5] Hydrogen bonds

عامل تشکیل نوعی گاز شفاف هستند که ما به عنوان بخار یا به صورت دقیق‌تر بخار خشک[6] می‌شناسیم، (شکل ۱-۲).



شکل ۱-۲. شمایی از مولکول‌های آب در فاز مایع و بخار

۱-۲-۱-۲ بخار خشک و بخار مرطوب

در صنایع استفاده کننده از بخار، دو نوع بخار تحت عنوان بخار خشک و بخار مرطوب وجود دارند. عبارت بخار خشک، زمانی در مورد بخار استفاده می‌شود که همه مولکول‌های آب موجود در بخار، به حالت گازی باقی بمانند. بخار خشک، نوعی گاز شفاف است. عبارت بخار مرطوب، زمانی در مورد بخار استفاده می‌شود که بخشی از مولکول‌های آب موجود در بخار انرژی (گرمای نهان) خود را از دست داده و برای تشکیل قطرات کوچک آب، به مایع تبدیل شده باشند. برای مثال، یک کتری در حال جوش را در نظر بگیرید. آب در ابتدا توسط یک المنت قطعه گرم می‌شود. در اثر تماس آب با المنت و افزایش دمای آن، تحرک مولکول‌های آب بیشتر می‌شود و آب شروع به جوشیدن می‌کند. بعد از جذب انرژی کافی، بخشی از آب تبخیر می‌شود که می‌تواند نشان دهنده‌ی افزایش ۱۶۰۰ برابری حجم ملکولی باشد.

گاهی اوقات می‌توان خروج مه از لوله خروجی کتری را مشاهده کرد. این بخار غلیظ، مثالی در مورد چگونگی و زمان ورود بخار خشک به محیطی سرد و اتلاف بخشی از انرژی آن در اثر انتقال به هوای آزاد است. در صورت کاهش انرژی به مقدار کافی، پیوندهای بین مولکولی دوباره تشکیل می‌شوند و قطرات هوابرد[7] کوچک را می‌توان مشاهده کرد. به مخلوط آب در حالت مایع (قطرات کوچک) و حالت گازی (بخار)، بخار مرطوب گفته می‌شود.

۱-۲-۱-۳ بخار به عنوان منبع انرژی یا گرما

بخار یکی از معمول‌ترین و موثرترین وسیله ها برای انتقال حرارت در صنایع است، اما تنها ماده موجود نیست. دیگر سیالات نظیر آب و روغن داغ نیز برای گرمایش غیرمستقیم در مبدل های حرارتی به کار می روند.

بر خلاف انتقال حرارت به وسیله جابجایی (مانند آب داغ)، در انتقال حرارت به وسیله چگالش (مانند بخار) تغییر دما روی نمی دهد. بخار بر روی سطح انتقال حرارت به هنگام چگالش، گرمای نهان خود را به محصول می دهد. مایع

[6] Dry Steam
[7] Airborne

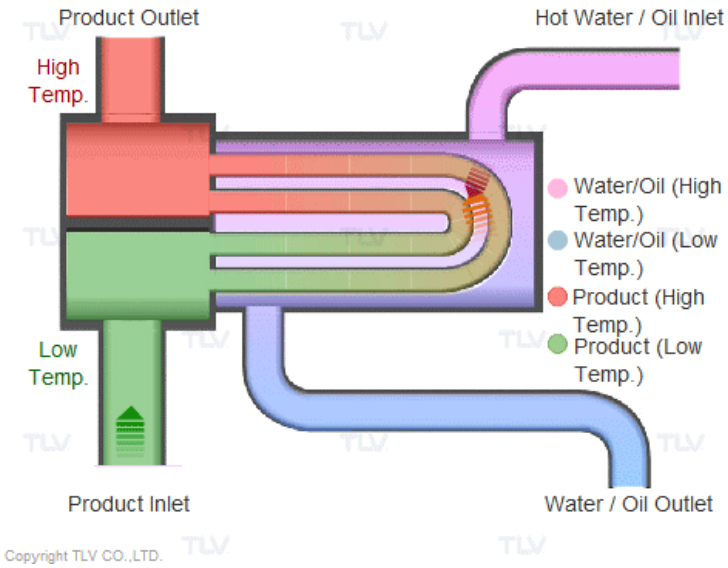
چگالیده هنوز به صورت محسوس گرما دارد و دمای آن برابر با دمای بخاری که از آن به وجود آمده است می باشد. این پدیده منجر به گرمایش یکنواخت در تمام طول سطح انتقال حرارت می گردد.

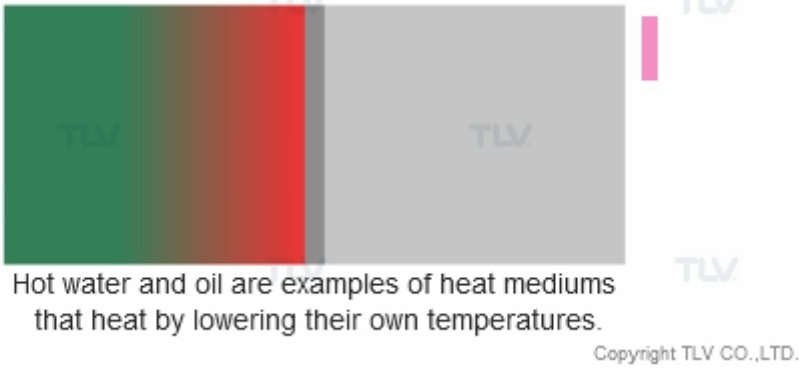
اگر فشار در سطح انتقال حرارت مبدل مورد نظر ثابت باشد، گرمایش یکنواخت در دمای ثابت را در تمامی قسمت های مبدل حرارتی مشاهده خواهیم کرد.

از طرف دیگر، با استفاده از آب یا روغن داغ، دمای ماده گرمایشی به هنگام انتقال حرارت محسوس بین ماده و محصول کاهش خواهد یافت. اختلاف دما به دلیل کم شدن هر لحظه دمای سیال در مراحل مختلف عبور از مبدل، همیشه در حال افزایش است. این پدیده منجر به یک گرمایش ناهمگون خواهد شد که ممکن است بر کیفیت محصول گرم شده اثر سوء بگذارد.

مکانیزم گرمایش با آب یا روغن داغ (انتقال حرارت به وسیله جابجایی)

انتقال حرارت از یک ماده مایع مانند آب یا روغن داغ با استفاده از گرمای محسوس آن ماده انجام می پذیرد. مطابق شکل ۱-۳، سیال در دماهای بالا به مبدل حرارتی وارد می شود. در حالی که مایع انرژی گرمایی خود را از دست می دهد، دمایش افت می کند و مبدل حرارتی را در دماهای پایین تری ترک می کند. میزان انرژی رها شده از هر واحد مایع نسبتاً پایین است، (معمولاً در حدود ۱۷ kcal/kg).





شکل ۱-۳. گرمایش با آب یا روغن داغ

مطابق شکل ، در نقطه مقابل، آب داغ و روغن از طریق جابجایی به انتقال گرما می پردازند که در آنها پدیده تغییر حالت رخ نمی دهد. در صورت جابجایی آزاد، انتقال حرارت به شدت آهسته صورت می گیرد. بنابراین، معمولاً از یک پمپ جهت ایجاد جریان در سطوح انتقال حرارت به منظور افزایش نرخ انتقال حرارت استفاده می شود. به این پدیده گرمایش از طریق جابجایی به صورت اجباری می گویند.

نرخ انتقال حرارت بین یک سیال در حرکت و یک سطح جامد معمولاً توسط ضریب انتقال حرارت جابجایی تعیین می گردد. مقادیر آن به طور نسبی به شرح ذیل است:

- برای آب داغ: ۱۰۰۰- ۶۰۰۰ ($W/m^2°C$)
- برای بخار: ۶۰۰۰- ۱۵۰۰۰ ($W/m^2°C$)

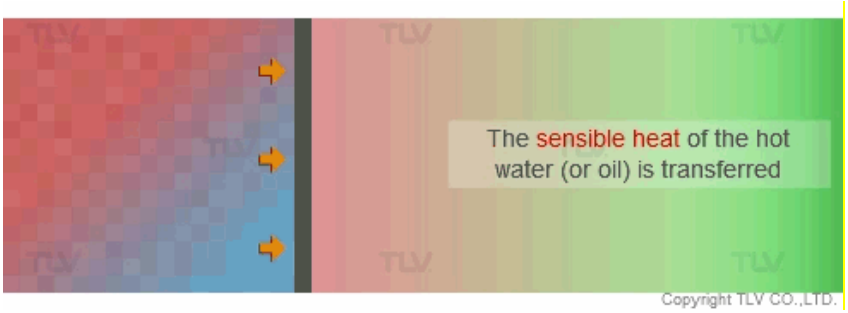
در یک مبدل حرارتی، فرآیند انتقال حرارت را نمی توان فقط به ضریب انتقال حرارت جابجایی محدود کرد زیرا انتقال حرارت مابین چندین ماده مختلف روی می دهد. بنابراین به طور کل ترکیبی از سه مکانیزم زیر خواهد بود:

- ✓ انتقال حرارت از سیال گرم کننده به سطح مبدل حرارتی
- ✓ انتقال حرارت در طول دیواره مبدل حرارتی
- ✓ انتقال حرارت بین دیواره مبدل حرارتی و سیال (محصول) گرم شونده

پس اندازه گیری انتقال حرارت در یک مبدل حرارتی به تعیین ضریب کلی انتقال حرارت یعنی مقدار U بستگی دارد که از سه مکانیزم بالا به دست خواهد آمد و واحد آن همان $W/m^2°C$ خواهد بود.

برای اهداف این بحث، تجهیزات استفاده نهایی از بخار به سه دسته اساسی تقسیم می شوند:

- ✓ صنایع اصلی و اصلی تجهیزات استفاده نهایی در صنایع پر انرژی
- ✓ تجهیزات تهویه و کنترل
- ✓ تجهیزات اضافی



شکل ۱-۴. انتقال حرارت از طریق جابجایی

مکانیزم گرمایش با بخار (انتقال حرارت بر اثر چگالش)

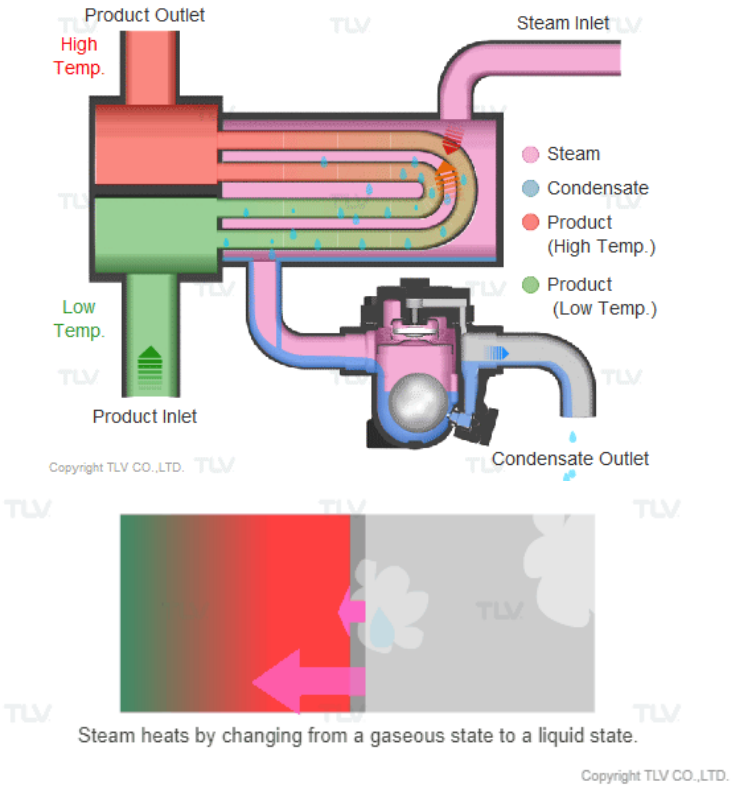
بخار در حالت گازی به مبدل حرارتی وارد می شود. انتقال حرارت از طریق بخار اشباع[8] از گرمای نهان موجود در بخار استفاده می کند و مقادیر زیادی از انرژی چگالش (تغییر به حالت مایع) را آزاد می نماید. مایع چگالیده با دمایی نزدیک به دمای بخار اشباع از مبدل حرارتی بیرون می آید. میزان انرژی به‌دست آمده از هر واحد بخار بالا است (نزدیک به ۵۳۹ kcal/kg و بیش‌تر با استفاده از بخار خلاء)، شکل .

[8] Saturated Steam

رمز این پدیده در انتقال حرارت ناشی از فراید چگالش نهفته است. گرمای نهان موجود در بخار به وسیله چگالش لحظه ای بخار به حالت مایع آزاد می شود. مقدار گرمای نهان آزاد شده ۲ تا ۵ برابر بزرگ‌تر از گرمای محسوس در دسترس در آب داغ (آب اشباع) پس از چگالش است. این گرمای نهان به صورت لحظه ای آزاد شده و از طریق سطح انتقال حرارت به محصول تحت گرمایش منتقل می شود. از طریق چگالش، بخار به صورت طبیعی بر خلاف سطح انتقال حرارت جریان پیدا می کند. این پدیده به افزایش سرعت فرایندگرمایش کمک می کند، شکل .

استفاده از گرمای نهان گرمایش با بخار برای انتقال حرارت بسیار موثرتر از استفاده از گرمای محسوس (گرمایش با آب یا روغن داغ) می باشد و مقادیر بیشتری از انرژی در بازه زمانی کوتاه‌تری آزاد می گردد. این پدیده سبب به وجود آمدن مزایای زیر می گردد:

- ✓ گرمایش یکنواخت از طریق انتقال حرارت پنهان که سبب بهبود کیفیت محصول و تولید می شود.
- ✓ توانایی فشار در کنترل دما (با تغییر فشار می توان دما را کنترل نمود) که بواسطه آن می توان دما را سریعاً و با دقت زیاد تنظیم کرد.
- ✓ ضریب انتقال حرارت بالاتر که منجر به سطح انتقال حرارت کوچک‌تر و کاهش اندازه تجهیزات خواهد شد.



شکل ۱-۵. گرمایش با بخار



شکل ۱-۶. انتقال حرارت بر اساس چگالش

بطورکلی، بخار به دلیل کاربردهای گرمایشی خود به دو صورت منبع گرمای مستقیم و غیر مستقیم شناخته می‌شود که در ادامه به تشریح آنها پرداخته می شود.

گرمایش مستقیم با بخار

روش گرمایش مستقیم با بخار به فرآیندهایی اشاره دارد که در آن‌ها بخار در تماس مستقیم با جسم گرم شونده قرار دارد. بعنوان مثال در یک فرآیند پخت مواد غذایی به کمک بخار، یک سبد بخارپزی بر روی یک کتری آب در حال جوش گذاشته می‌شود. در زمان جوشیدن آب، بخار وارد سبد شده و باعث پختن غذا می‌شود. در این مجموعه، تولیدکننده بخار و محفظه بخارپز به هم متصل هستند.

قاعده کلی در پختن غذا به کمک بخار این است که با برقراری تماس مستقیم بین بخار و جسم گرم شونده، گرمای نهان بخار مستقیماً به غذا منتقل می‌شود و قطرات آب تشکیل شده در طی میعان می‌توانند رطوبت لازم را تأمین کنند.

در صنعت، روش گرمایش مستقیم با بخار اغلب برای پختن، استریل کردن، بخارپوشانی[۹] ، ولکانش[۱۰] و سایر فرآیندها استفاده می‌شود.

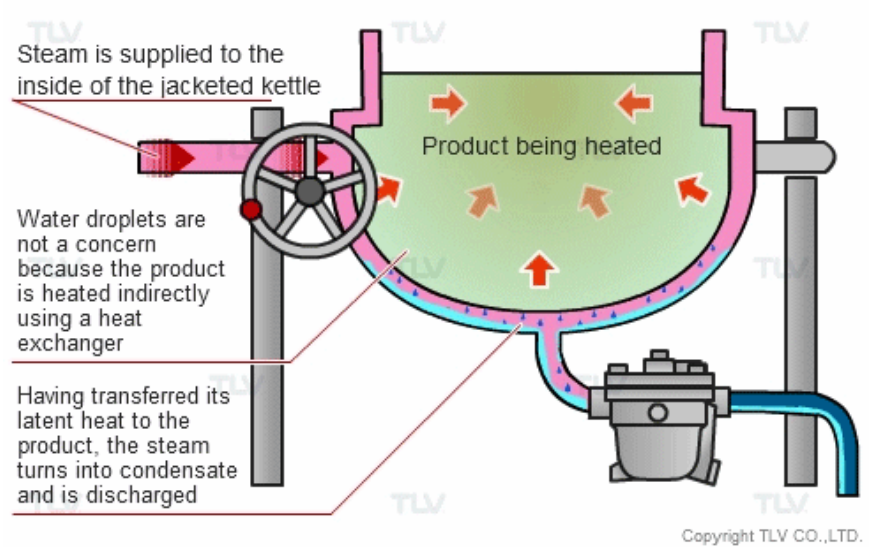
گرمایش غیر مستقیم با بخار

روش گرمایش غیر مستقیم با بخار به فرآیندهایی اشاره دارد که در آن‌ها بخار در تماس مستقیم با جسم گرم شونده نیست. این روش در صنعت به طور گسترده استفاده می‌شود، چرا که تأمین کننده‌ی گرمایش سریع و یکنواخت است. این روش معمولا از یک مبدل حرارتی برای گرم کردن جسم مورد نظر استفاده می‌کند.

[9] Steam smothering
[10] Vulcanization

ansar.co.ir





شکل ۱-۷. برخی تجهیزات گرمایش غیرمستقیم

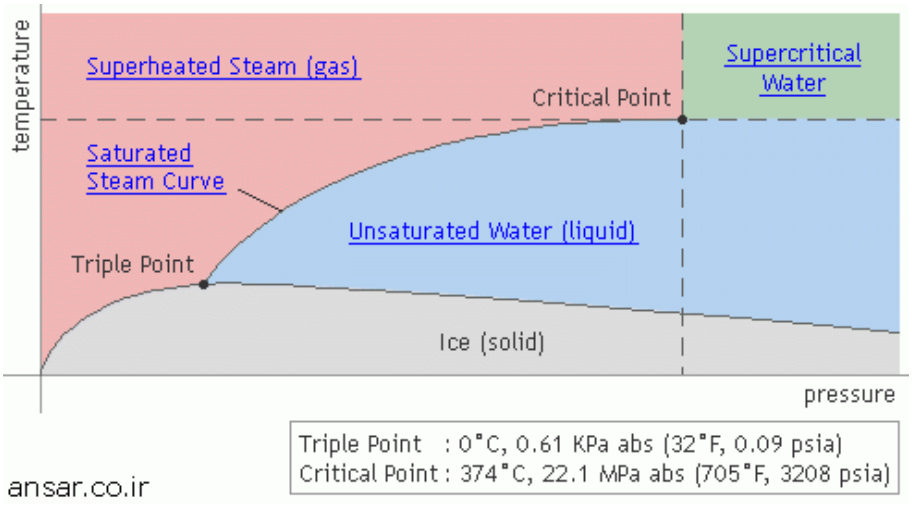
مزیت این روش نسبت به گرمایش مستقیم با بخار این است که قطرات آب تشکیل شده در طول گرمایش، بر روی جسم مورد نظر تاثیر ندارند، شکل . بنابراین، بخار می‌تواند در چند زمینه مختلف مانند ذوب کردن، خشک کردن، جوشاندن و موارد مشابه استفاده شود. گرمایش غیر مستقیم با بخار در گستره فرآیندهای مختلفی مانند تولید مواد غذایی و نوشیدنی، لاستیک ماشین، کاغذ، مقوا، سوخت ، دارو و موارد مشابه استفاده می‌شود.

۱-۲-۲ آشنایی با انواع بخار

اگر آب بیش از نقطه جوش خود گرم شود، به بخار یا آب در حالت گازی تبدیل می‌شود. با این حال، بخار تنها به یک شکل نیست. خصوصیات بخار تا حد زیادی با توجه به فشار و دمای وارد شده به آن تغییر می‌کنند. در ادامه با انواع بخار شامل بخار اشباع، بخار خشک، بخار سوپر هیت، بخار فلش و ... آشنا می شویم، شکل .

۱-۲-۱ رابطه‌ی فشار- دمای آب و بخار

بخار اشباع (خشک) زمانی حاصل می‌شود که آب تا نقطه جوش گرم شده (گرمایش محسوس[11]) و سپس با گرمایش نهان[12] تبخیر شود. اگر این بخار تا بالاتر از نقطه اشباع گرم شود، به بخار فوق گرم تبدیل می‌شود.



شکل ۱-۸. نمودار فازی آب و بخار

۱-۲-۲-۲ بخار اشباع (خشک)

همانگونه که در خط سیاه موجود در نمودار بالا نشان داده شده است، بخار اشباع در فشار و دمایی تشکیل می‌شود که بخار (گاز) و آب (مایع) بتوانند در کنار هم موجود باشند. به عبارت دیگر، بخار اشباع زمانی تشکیل می‌شود که سرعت تبخیر آب برابر با سرعت میعان باشد.

بخار اشباع خصوصیات بسیاری دارد که آن را به ویژه در دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد و بالاتر به یک منبع گرمایی فوق العاده تبدیل می‌کند. بعضی از مهمترین مزایای استفاده از بخار اشباع برای گرمایش عبارتند از:

- گرمایش سریع و یکنواخت به کمک انتقال حرارت نهان در نتیجه بهبود کیفیت و بهره‌وری محصول.
- فشار می‌تواند دما را کنترل کند. در نتیجه دما به سرعت و با دقت ایجاد می‌شود.
- ضریب انتقال حرارت بالا در نتیجه نیاز به سطح انتقال حرارت کوچکتر و کاهش هزینه‌ی تجهیزات.
- بخار از آب تولید می‌شود در نتیجه بی خطر، تمیز و کم هزینه است.

ضمن توجه به خصوصیات و مزایای ناشی از استفاده از بخار اشباع برای گرمایش، بررسی مطالب زیر نیز به هنگام گرمایش به کمک بخار اشباع ضروری بنظر میرسد:

- ✓ ممکن است در صورت استفاده از بخار غیر خشک برای گرمایش فرآیند، بازده گرمایش کاهش یابد. برخلاف تصور کلی، همه بخار تولید شده از یک دیگ بخار، تنها بخار خشک اشباع نیست و دارای کمی بخار مرطوب بوده که این بخار حاوی مقداری مولکول‌های آب تبخیر نشده است.
- ✓ اتلاف گرمای تابشی موجب تشکیل مایع از بخار می‌شود. بنابراین، بخار مرطوب تولید شده مرطوب‌تر شده و میعان تشکیل می‌شود که این میعان باید از طریق نصب تله‌های بخار در مکان‌های مناسب جداسازی شود.

[11] Sensible heat
[12] Latent heating

- ✓ میعانات سنگین تشکیل شده در جریان بخار را می‌توان به کمک تله‌های بخار قیفی[۱۳] جداسازی کرد. به هر حال بخار مرطوب بازده گرمایش را کاهش می‌دهد و باید جداسازی شود.
- ✓ افت فشار بخار در سیستم لوله کشی که به دلیل اصطکاک می باشد، می تواند به صورت متناظر موجب کاهش دمای بخار نیز گردد.

۱-۲-۲-۳ بخار غیر اشباع (مرطوب)

بخار غیراشباع[۱۴] رایج‌ترین نوع بخار موجود در واحدهای صنعتی است. وقتی بخار با استفاده از دیگ بخار تولید می‌شود، معمولا دارای کمی رطوبت ناشی از مولکول‌های آب تبخیر نشده است که وارد بخار توزیع شده می‌شود. حتی ممکن است بهترین دیگ‌ها، بخاری با ۳ تا ۵ درصد رطوبت تولید کنند. هنگامی که آب به حالت اشباع رسیده و شروع به تبخیر می‌کند، معمولا مقداری آب به شکل مه یا قطرات ریز وارد بخار و جریان توزیع شده می‌شود. این یکی از دلایل اصلی استفاده از ظرف جداکننده بخار جهت جداسازی مایعات از بخار توزیع شده است.

۱-۲-۲-٤ بخار فوق گرم

بخار فوق گرم[۱۵] از طریق گرمایش بیشتر بخار اشباع یا مرطوب تا بالاتر از دمای نقطه اشباع بخار تولید می‌شود. این گرمایش موجب تشکیل بخاری با دمای بیشتر و چگالی کمتر نسبت به بخار اشباع در فشار یکسان می‌شود. بخار فوق گرم اغلب در تجهیزات محرکه مانند توربین‌ها استفاده شده و معمولا در زمینه انتقال حرارت استفاده نمی‌شود.

مزایای استفاده از بخار فوق گرم برای حرکت توربین‌ها

- ✓ برای حفظ خشکی بخار برای تجهیزات محرک با بخار[۱۶]، زیرا عملکرد این تجهیزات در اثر وجود مایعات دچار مشکل می‌شود.
- ✓ بهبود بازده حرارتی و قابلیت کار (برای مثال، دستیابی به تغییرات بیشتر در حجم ویژه از حالت فوق گرم تا فشارهای کمتر یا حتی شرایط خلاء.)
- ✓ تولید و توزیع بخار به صورت فوق گرم بهتر است، برای اینکه در طول کارکرد عادی تجهیزات میعانات تولید نمی‌شوند و در نتیجه خطر آسیب ناشی از خوردگی، فرسایش و حالت کربنی کاهش می‌یابد.
- ✓ همچنین از آنجایی که بازده حرارتی نظری توربین با استفاده از مقدار آنتالپی در ورودی و خروجی توربین محاسبه می‌شود، افزایش میزان فوق گرم بودن بخار و همچنین افزایش فشار، موجب افزایش آنتالپی در قسمت خروجی توربین شده و در نتیجه نقش موثری در بهبود بازده حرارتی دارد.

معایب استفاده از بخار فوق گرم برای گرمایش

- ❖ ضریب انتقال حرارت پایین و در نتیجه کاهش بهره‌وری و نیاز به سطح انتقال حرارت بیشتر.

---

[13] Drip leg steam traps
[14] Unsaturated Steam
[15] Superheated Steam
[16] Steam-driven equipment

- دمای بخار متغیر حتی در فشار ثابت (بخار فوق گرم باید سرعت بالایی را حفظ کند، در غیر این صورت به دلیل اتلاف گرما از سیستم، دما کاهش می‌یابد.)
- در بخار سوپر هیت از گرمای محسوس برای انتقال حرارت استفاده می‌شود در نتیجه دما متغیر بوده و کاهش دما می‌تواند اثری منفی بر کیفیت محصول داشته باشد.
- ممکن است دما بسیار بالا باشد و در نتیجه ممکن است تجهیزات قوی‌تری لازم و هزینه اولیه تجهیزات افزایش یابد.

بنا به دلایل فوق جهت گرمایش در مبدل‌ها و سایر تجهیزات انتقال حرارت، بخار اشباع نسبت به بخار فوق گرم ارجحیت دارد. از سوی دیگر، اگر بخار به عنوان منبعی برای گرمایش مستقیم و همچنین نوعی گاز با دمای بالا محسوب شود، نسبت به هوای داغ دارای یک مزیت است، برای اینکه می‌توان از آن به عنوان یک منبع گرما برای گرمایش در شرایط بدون اکسیژن استفاده کرد. همچنین، تحقیقاتی در مورد استفاده از بخار فوق گرم در صنایع فرآوری غذا مانند پختن و خشک کردن در حال انجام است.

۱-۲-۲-۵ آب فوق بحرانی

آب فوق بحرانی[17]، آبی است که در حالتی بالاتر از نقطه بحرانی خود قرار دارد (دمای ۳۷۴ درجه سانتیگراد و فشار ۲۲ مگاپاسکال یا ۲۲۰ بار). در نقطه بحرانی، گرمای نهان بخار صفر بوده و حجم مخصوص آن دقیقا برابر با حالت مایع یا گاز است. به عبارت دیگر، آب در دما و فشاری بالاتر از نقاط بحرانی، دارای حالتی غیر قابل تشخیص است که بطور مشخص مایع یا گاز نیست. آب فوق بحرانی برای حرکت توربین‌های موجود در نیروگاه‌ها استفاده می‌شود که نیازمند بازده بیشتری هستند. تحقیقات در مورد آب فوق بحرانی با تاکید بر استفاده از آن به عنوان سیالی دارای خواص مایع و گاز و به ویژه کاربرد آن به عنوان حلال در واکنش‌های شیمیایی، در حال انجام است.

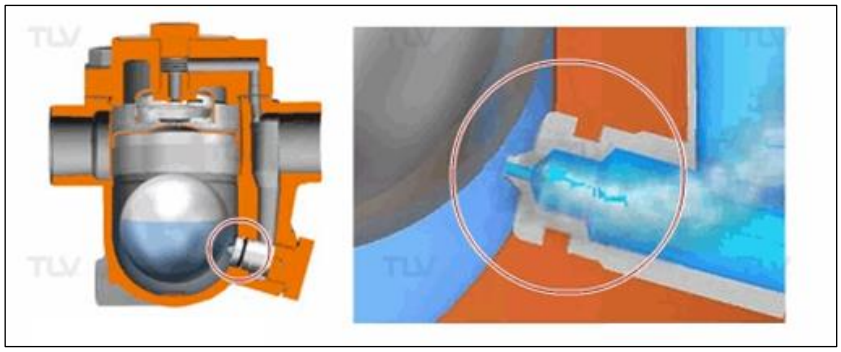
در یک سیستم بخار، اغلب بخار خارج شده از تله‌های بخار به اشتباه بخار اشباع تصور می‌شود، در حالی این نوع بخار، بخار آنی (Flash steam) است. تفاوت این دو نوع بخار این است که بخار اشباع به سرعت در خروجی لوله ناپدید می‌شود، در حالی که بخار آنی حاوی قطرات آب قابل مشاهده است که به سرعت تشکیل می‌شوند.

۱-۲-۱ بخار فلش

بخار فلش نوعی بخار است که از میعانات داغ هنگام کاهش فشار حاصل می‌شود. بخار فلش با بخار نرمال تفاوتی ندارد، بخار فلش فقط نوعی نام‌گذاری بخار است که به هدف توضیح نحوه تشکیل بخار ارائه شده‌است. بخار نرمال یا زنده[18]، در یک دیگ بخار، بخارساز یا دستگاه بازیافت گرمای تلف شده[19] تولید می‌شود، در حالی که بخار آنی هنگام افت فشار زیاد میعانات پر فشار و داغ، مانند زمان خروج از یک تله بخار ایجاد می‌شود.

آب میعانات شده داغ دارای انرژی زیادی می‌باشد که در شرایط پایین آمدن فشار، مانع ماندن آن در حالت مایع می‌شود. نتیجه این است که انرژی اضافی موجب تبخیر آنی بخشی از میعانات می‌شود. بخشی از میعانات خارج شده از دهانه تله بخار به دلیل اختلاف فشار تبخیر می‌شوند، ۱-۹.

[17] Supercritical water
[18] Live
[19] Waste heat recovery generator



شکل ۱-۹. تبخیر فلش هنگام خروج کندانس از تله بخار

مطلب منحصر به فرد و خاصی در مورد بخار فلش وجود ندارد. بخار فلش از بخار اشباع که مستقیماً از یک دیگ بخار می‌آید، خشک‌تر است و همانند آن مفید می‌باشد. در بسیاری مواقع به کمک وسایل ساده می‌توان از بخار فلش بازیافت حرارت و در نتیجه صرفه‌جویی اقتصادی انجام داد. هنگامی که بخار در لوله یا مخزن متراکم می‌شود، در اثر میعان، مایعی در همان دمای بخار تشکیل می‌گردد.

بعنوان مثال جداول بخار نشان می‌دهند که اگر فشار ۱۰۰ psi (۷ bar) باشد، دمای مایع مزبور ۳۳۸ °F (۱۷۰ °C) خواهد بود که حاوی ۳۰۹ Btu/lb (۷۱۹ kJ/kg) حرارت آشکار می‌باشد.

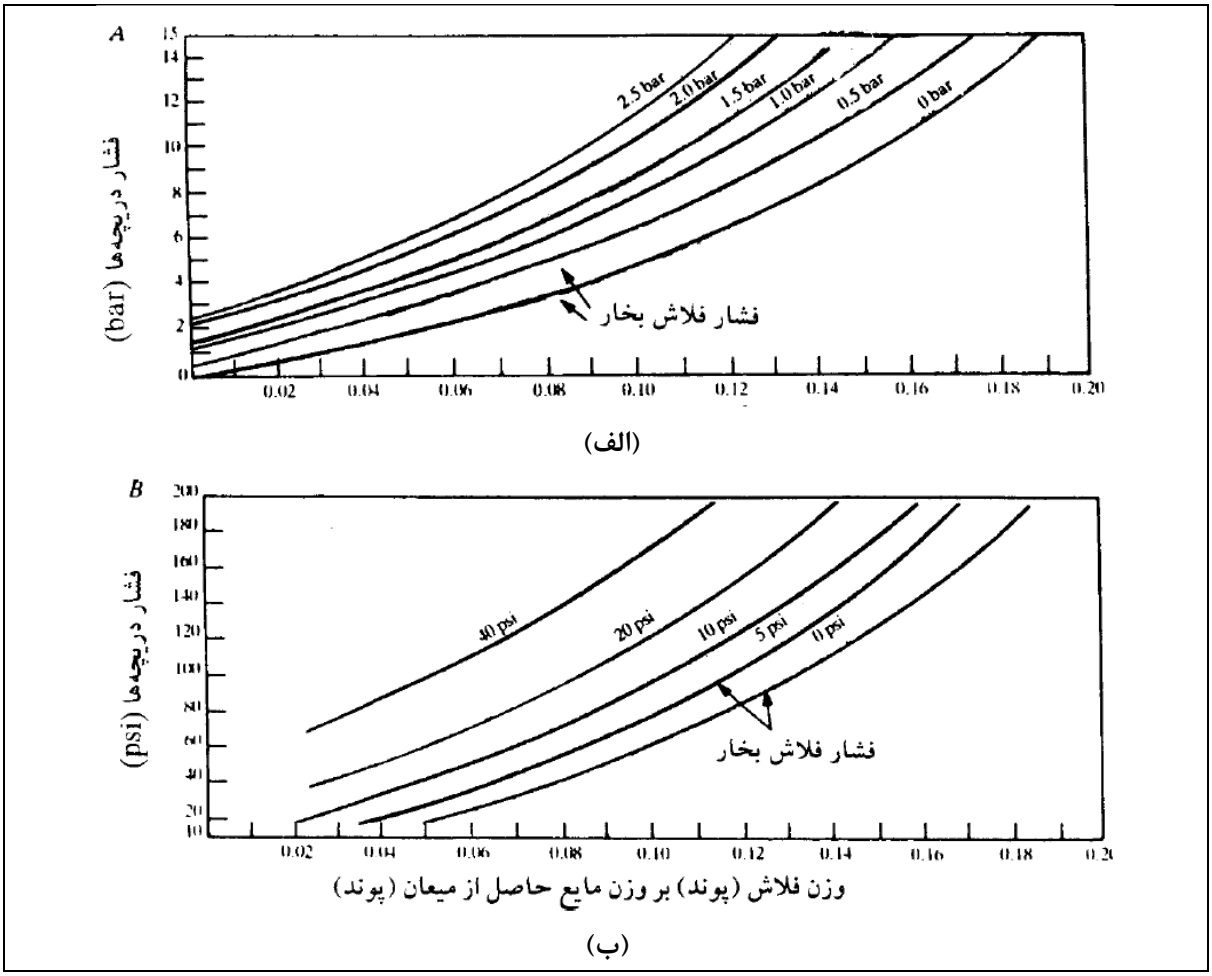
سپس این مایع مطابق با آنچه که بیان‌شد از طریق دریچهٔ بخار تخلیه می‌شود. اگرچه ممکن است چند درجه‌ای از دمای مایع بخاطر تبادل حرارت با محیط کاسته شود، اما فرق چندانی با هنگام ورود به دریچه نخواهد کرد. خروجی دریچه با سیستم برگشت داده می‌شود، تا به مخزن تغذیه دیگ بخار که در فشار اتمسفر قرار دارد رسانده شود.

بطورکلی آب در فشار اتمسفر نمی‌تواند دمای بیش از ۲۱۲ °F (۱۰۰ °C) (نقطه جوش در این فشار) داشته باشد. بنابراین آب که با انرژی حاوی ۳۰۹ Btu/lb (۷۱۹ kJ/kg) وارد دریچه می‌شود باید آن را با انرژی ۱۸۰ Btu/lb (۴۱۹ kJ/kg) ترک کند. اما سؤالی که مطرح می‌شود این‌است که چه اتفاقی برای مابقی انرژی که نمی‌تواند در آب باقی بماند، رخ می‌دهد؟

در پاسخ سؤال فوق باید گفت که این انرژی صرف تبخیر مجدد آب و تبدیل آن به بخار می‌شود، این چیزی است که بخار فلش نامیده می‌شود. واضح است که با افزایش اختلاف فشار اولیه و فلش، بخار فلش بیشتری تولید می‌گردد. شکل ۱-۱۰ نشان می‌دهد که در تبدیل فشارهای فوق الذکر، چه مقدار بخار فلش تولید می‌شود.

برای نمونه در شکل ۱-۱۰الف مشاهده می‌شود که اگر بخار در ابتدا با فشار ۹ bar متراکم شود و با فشار ۰/۵ bar تخلیه گردد، ۰/۱۳ kg بخار به ازاء هر کیلوگرم مایع حاصل از میعان تولید می‌شود. بنابراین اگر ۱۰۰۰ kg/hr دبی جرمی وجود داشته باشد، معادل ۱۳۰ kg بخار فلش در فشار ۰/۵ bar فراهم خواهد شد.

همچنین در شکل ۱-۱۰ب مشاهده می‌شود که اگر بخار در ابتدا با فشار ۱۲۰ psi متراکم شده و با فشار ۵ psi تخلیه گردد، ۰/۱۳ lb بخار به ازاء هر پوند مایع حاصل از میعان تولید می‌شود. بنابراین اگر ۲۰۰۰ lb/hr دبی جرمی وجود داشته باشد معادل ۲۶۰ lb بخار فلش در فشار ۵ psi فراهم خواهد بود.



شکل ۱-۱۰. مقدار بخار فلش قابل حصول در شرایط مختلف الف) واحد SI و ب) واحد انگلیسی

دلیل تشکیل بخار فلش

بخار فلش به دلیل تغییر نقطه اشباع آب نسبت به فشار تشکیل می‌شود. برای مثال در فشار جو، نقطه اشباع آب ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد و در فشار ۱۰ بار یا یک مگاپاسکال، ۱۸۴ درجه سانتی‌گراد است. بنابراین، با ورود میعانات تحت فشار در دمای ۱۸۴ درجه سانتی‌گراد به محیط، چه اتفاقی می‌افتد؟

مهمترین عامل در تشکیل بخار فلش، دما و مقدارگرمای مایع حاصل از میعانات حین ورود به محیط است. این میعانات دارای انرژی بسیار زیاد (آنتالپی بالا) بوده و در نتیجه تمام آن به صورت مایع باقی نمی‌ماند و بخشی از آن تبخیر شده و موجب کاهش دمای میعانات باقی مانده تا دمای اشباع می‌شود (به طور مثال ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد در صورتی که میعانات وارد محیط شود). این پدیده تحت عنوان تبخیر فلش شناخته می‌شود.

به عبارت دیگر، هنگامی که میعانات داغ وارد محیطی با فشار کم می‌شود، آنتالپی آن (انرژی کل) ثابت مانده، اما نقطه اشباع آن کاهش می‌یابد (دمایی که در آن میعانات می‌تواند به صورت مایع یا گاز وجود داشته باشد). برای جبران مقدار انرژی اضافی، بخشی از مولکول‌های آب انرژی اضافی را به صورت گرمای نهان جذب کرده و برای تشکیل بخار، تبخیر می‌شوند.

در هنگام خروج میعانات، اگر از دریچه‌های ترمواستاتیکی یا هر نوع دیگر استفاده شود که مانع حرکت مایع می‌شوند (تا اینکه مقداری ازحرارت آشکار آن از دست رود)، بایستی مقدار بخار فلش موجود نیز در محاسبات منظور شود.

همچنین این واقعیت را هم باید در نظر داشت که بازیابی بخار فلش در یک فشار کم، ایجاد فشاری متقابل در مسیر لوله برگشتی می‌نماید. این نکته بیشتر زمانی که تأسیسات با فشار بالا و کنترل ترمواستاتیکی کار می‌کنند، حائز اهمیت خواهد بود.

محاسبه درصد بخار فلش تولید شده

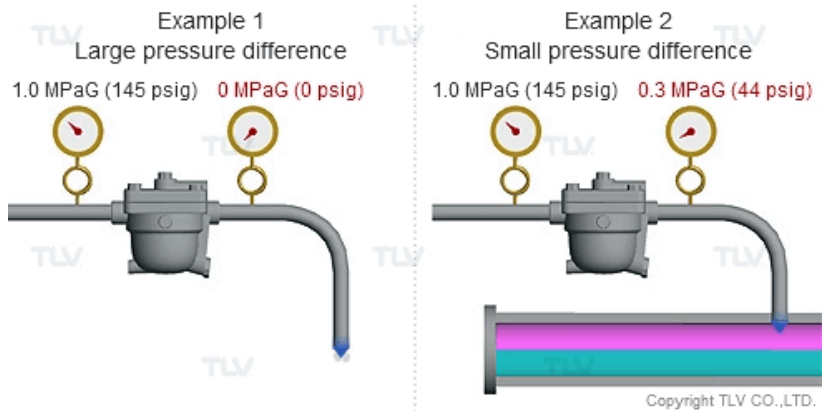
می‌توان درصد بخار فلش تولید شده (نسبت بخار فلش) را به کمک مقادیر زیر محاسبه کرد:

$$Flash(\%) = \frac{h_{f1} - h_{f2}}{h_{fg2}}$$

h_{f1} آنتالپی ویژه آب اشباع در ورودی

h_{f2} آنتالپی ویژه آب اشباع در خروجی

h_{fg2} گرمای نهان بخار اشباع در خروجی



Calculations

Example 1

$$\frac{781.4 - 419.0}{2256.5} \times 100 = 16.1\ [\%]$$

Example 2

$$\frac{781.4 - 605.2}{2133.0} \times 100 = 8.3\ [\%]$$

Steam Table (SI Metric Units)

Press. (MPaG)	Temp. (°C)	Specific Enthalpy (kJ/kg) hf	hfg	hg	
-0.1	11.1	46.8	2474.5	2521.3	
-0.01	97.1	406.8	2264.1	2671.0	Outlet Side (ex.1)
0	100.0	419.0	2256.5	2675.5	
0.05	111.6	468.2	2225.3	2693.5	
0.1	120.4	505.6	2200.0	2706.5	
0.2	133.7	562.1	2163.0	2725.1	Outlet Side (ex.2)
0.3	143.7	605.2	2133.0	2738.2	
0.4	151.9	640.6	2107.6	2748.2	
1.0	184.1	781.4	1999.3	2780.7	Inlet Side (ex.1 and 2)

= h_{f1} = h_{f2} = h_{fg2}

TLV

شکل ۱-۱۱. مقایسه میزان تولید بخار فلش در دو حالت با اختلاف فشارهای کوچک و بزرگ

در تله بخارهایی که پیش از تخلیه به منظور سردسازی میعانات طراحی شده‌اند، مقدار گرمای محسوس میعانات موجود در ورودی تله، می‌تواند تا حد زیادی پایین‌تر از زمانی باشد که به کمک مقادیر فشار اشباع بخار ورودی محاسبه شده است. همانطور که در مثال‌های زیر دیده می‌شود، درصد بیشتری از بخار فلش زمانی تولید می‌شود که میعانات وارد شرایط محیط شود (مثال ۱) و مقدار آن نسبت به حالت وارد شده به یک سیستم بسته بیشتر است (مثال۲)، شکل ۱.

حجم بخار فلش تولید شده

بخار بسیار کم تراکم تر از آب می باشد، این به این معنی است که افزایش کوچکی در درصد بخار فلش تولید شده، می‌تواند به صورت افزایش زیاد در حجم بخار تولید شده ظاهر شود. شکل ۱، میزان اختلاف در نسبت بخار به میعان برای مثال ۱ و ۲ را به هنگام استفاده برای لوله‌کشی میعانات برگشتی، نشان می‌دهد. حجم مخصوص میعانات در دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد برابر با ۰،۰۰۱۰۴ m^3/kg و حجم مخصوص بخار اتمسفری برابر با ۱،۶۷ m^3/kg است. وقتی میعانات داغ با فشار یک مگا پاسکال وارد محیطی با فشار کمتر مانند فشار اتمسفر شود، ۱۶،۱ درصد از جرم میعان به بخار تبدیل می‌شود. نسبت حجمی نهایی به صورت زیر مقایسه می‌شود:

Condensate Volume: (1 – 16.1%) x 0.00104 m^3/kg = 0.000873 m^3/kg
Steam Volume: 16.1% x 1.67 m^3/kg = 0.269 m^3/kg
Flash to Condensate Ratio: 0.269 m^3/kg / 0.000873 m^3/kg = **308.1**

میزان بخار فلاش از طریق معادلات زیر قابل تخمین است:

$$m_{fs} = \frac{m_c(h_c - h_{fc})}{h_{fg}}$$

$$R_{fs} = 100\left(\frac{m_{fs}}{m_c}\right)$$

که در این معادلات:

m_c : Condensate Load (kg/h)
m_{fs} : Flash Steam Flow Rate (kg/h)
R_{fs} : Flash Steam Ratio (%)
h_c : Specific enthalpy of condensate (kJ/kg)
h_{fc} : Specific enthalpy of saturated water (kj/kg)
h_{fg} : Latent heat of flash steam (kJ/kg)

همچنین می توان میزان سوخت صرفه‌جویی شده درصورت بازیافت این میزان بخار فلش را از طریق معادلات زیر بدست آورد:

$$m_{fs} = \frac{m_c(h_c - h_{fc})}{h_{fg}}$$

$$H_r = \frac{m_{fs}(h_{fc} + h_{fg} - h_{rw})}{3.6}$$

$$M = 3.6H_r \cdot C_e \cdot h$$

$$FC = \frac{360H_r}{m_{fw}(h_s - h_{fw})}$$

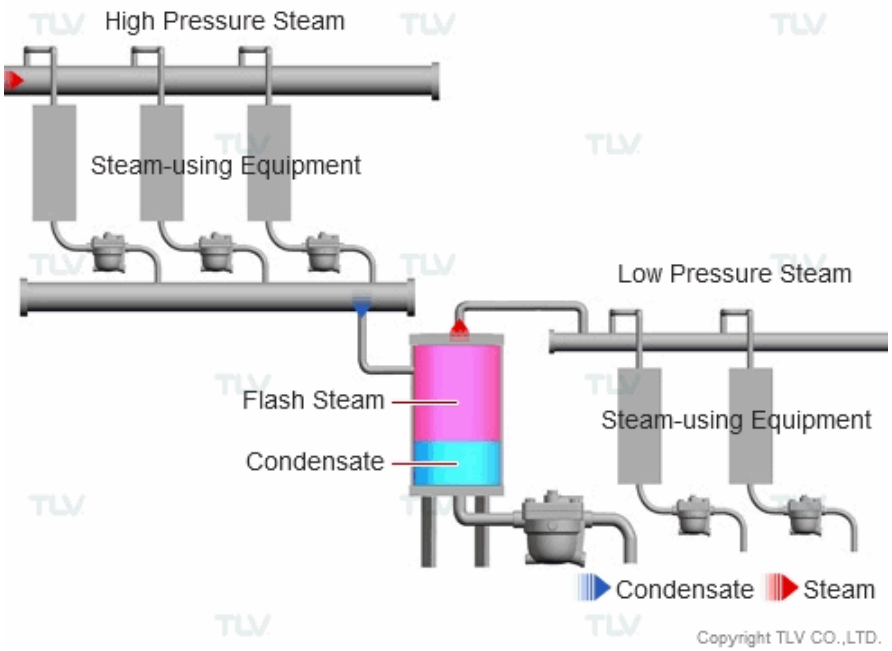
که در این معادلات:

m_c : Condensate Load (kg/h)

m_{fw} : Feed Water Rate (kg/h)
C_e : Energy Unit Cost ($/MJ)
h : Annual Operating Hours (h)
H_r : Heat Recovered (W)
M : Monetary Fuel Savings (x1000$/year)
FC : % Fuel Conserved (%)
m_{fs} : Flash Steam Flow Rate (kg/h)
h_{rw} : Specific enthalpy of raw water (kJ/kg)
h_c : Specific enthalpy of condensate (kJ/kg)
h_{fc} : Specific enthalpy of saturated water (kj/kg)
h_{fg} : Latent heat of flash steam (kJ/kg)
h_{fw} :Specific enthalpy of feed water (kJ/kg)

با بخار فلش چه کاری انجام می‌شود؟

ابر بخار تشکیل شده توسط بخار فلش نوعی محصول جانبی طبیعی ناشی از تخلیه کندانس است. از آنجایی که بخار فلش دارای کیفیتی برابر با بخار زنده است، تأسیسات جدید اغلب سعی دارند در صورت امکان از مقادیر زیاد بخار فلش دوباره استفاده کنند. استفاده مجدد از بخار فلش تولید شده توسط یک سیستم فشار بالا برای استفاده در یک سیستم فشار پایین، می‌تواند موجب صرفه‌جویی در مصرف انرژی و بهبود محیط کار یک واحد تولیدی از طریق کاهش ابرهای بخار شود، شکل ۱۲. هنگام راه‌اندازی یک سیستم مدیریت گرمای تلف شده، سیستم‌های بازیافت کندانس و سیستم‌های بازیافت بخار فلش اغلب با یکدیگر ارزیابی می‌شوند.



شکل ۱-۱۲. استفاده از بخار فلش

۱-۲-۲ تولید بخار

بخار در یک دیگ بخار (بویلر) یا یک مولد بخار بازیافت حرارت با انتقال گرمای گازهای احتراق به آب، تولید می‌شود. وقتی آب گرمای کافی را جذب می‌کند، از مایع به بخار تبدیل می‌شود. در بعضی از بویلرها، یک سوپرهیت بیشتر باعث افزایش میزان انرژی بخار می‌شود. بخار از بویلر یا مولد بخار تحت فشار به سیستم توزیع، جریان می‌یابد. بطورکلی بخش تولیدی سیستم بخار از یک بویلر برای افزودن انرژی به منبع تغذیه ورودی جهت تولید بخار استفاده می‌کند. انرژی از احتراق سوخت های فسیلی یا از گرمای تلفاتی فرآیندهای موجود آزاد می شود. یک بویلر سطح انتقال گرما (به طور کلی مجموعه ای از لوله ها) را بین محصولات احتراق و آب فراهم می‌کند. مهمترین قسمتهای سیستم تولید کننده بخار شامل بویلر، منبع سوخت، سیستم هوای احتراقی، سیستم تغذیه و سیستم تخلیه گازهای خروجی است. کلیه این اجزا با یکدیگر مرتبط هستند بطوریکه مشکلات یا تغییرات در یکی عموماً بر عملکرد سیستم های دیگر تأثیر می گذارد. طرحهای تحقیقاتی DOE با صنعت منجر به تولید مشعلهای با کارایی بالا و سایر فن آوری های دیگهای بخار صنعتی شده است.

برای طراحی سیستم اتوماسیون و کنترل مناسب تولید بخار، دانش عمیق و دقیق فرآیند و کنترل لازم است. بنابراین ضروری است که بین مهندسان مولد بخار و کنترل بحث و همکاری مثمر ثمری وجود داشته باشد.

انواع مختلفی از سیستمهای تولید بخار بشرح ذیل وجود دارد:

- محدوده ظرفیت ۱ تا ۳۰۰۰ تن/ساعت بخار
- محدوده فشار ۱-۳۵۰ بار بخار
- محدوده دمایی (دمای اشباع بسته به فشار عملیات تا $700^{o}C$) می باشد.

البته پارامترهای موثر دیگری نیز در طراحی مولد بخار و سیستم کنترل ناشی از آن وجود دارد که شامل موارد زیر می باشد:

- ✓ منبع حرارت مورد استفاده، مانند راکتور هسته‌ای، سوخت فسیلی (زغال سنگ، نفت، گاز)، یا ضایعات و غیره؛ بعنوان مثال در صورت احتراق، از سیستم شلیک شامل آماده سازی سوخت، گرمایش هوا و سیستم تمیز کردن گاز دودکش و غیره استفاده و باید کنترل شود.
- ✓ مراحل فشار (یک یا دو بار گرم شدن مجدد یا بیشتر)؛
- ✓ سایر سیستم های کمکی مانند پمپ آب تغذیه، مخزن ذخیره آب خوراک، پیش گرم کننده های آب تغذیه، سوپاپ ها، تجهیزات ایمنی و راه اندازی، دمنده های دود و غیره.

۱-۲-۲-۱ دیگ بخار و انواع آن

همانگونه که پیشتر ذکر شد در فرآیندهای مختلفی که به بخار نیاز دارند، این بخار توسط دیگ بخار تهیه می‌گردد. در یک دیگ بخار با استفاده از احتراق سوخت توسط مشعل، آب تا نقطه‌ی جوش حرارت می‌بیند و بخار تهیه شده از طریق لوله‌ها به تجهیزات و محل‌های مصرف منتقل می‌گردد. در واقع دیگ بخار یک مخزن تحت فشار است که وظیفه‌ی آن تبدیل آب به بخار بوده و با توجه به اینکه حاوی آب و بخار در دمای بالاتر از ۱۰۰ درجه سانتیگراد می-باشد، طراحی و عملکرد آن بر اساس قوانین و استانداردهای بین المللی تعریف می‌گردد. این استانداردها ممکن است بر اساس دستورالعمل‌های کشور سازنده، قوانین کشور استفاده کننده مانند بازدهی و مصرف انرژی، مدیریت هزینه ها و با گذشت زمان تغییر یابد. با توجه به این مطلب، مصرف کننده باید همیشه قوانین و استانداردهای بین المللی و

محلی را مدنظر قرار دهد. دیگهای بخار در انواع مختلفی شامل دیگ های بخار فایر تیوب[20] و واتر تیوب[21]، دیگ‌های بخار عمودی و افقی، دیگ‌های بخار عقب خشک[22] و عقب تر[23]، دیگ‌های بخار دو پاس، کوره برگشتی، سه پاس و چهار پاس در صنعت بکار گرفته می شوند.

دیگ‌های بخار افقی و عمودی

بطورکلی فضای موتورخانه و ابعاد آن و همچنین میزان بخار مورد نیاز، تعیین‌کننده‌ی انتخاب نوع افقی یا عمودی دیگ می‌باشد. برای کاربردهایی که به میزان کمی بخار نیاز دارند و همچنین فضای موتورخانه نیز باریک و کوچک می‌باشد، دیگ‌های بخار عمودی انتخاب مناسبی هستند. برای مصارفی که به مقادیر بالای بخار نیاز است از دیگ-



های افقی استفاده می‌گردد،

شکل ۱۳. معمولاً دیگ‌های بخار عمودی تا ظرفیت ۵۰۰ کیلوگرم در ساعت و دیگ‌های بخار افقی از ظرفیت ۵۰۰ کیلوگرم در ساعت تا ظرفیت‌های چندین تن در ساعت استفاده می‌شوند.

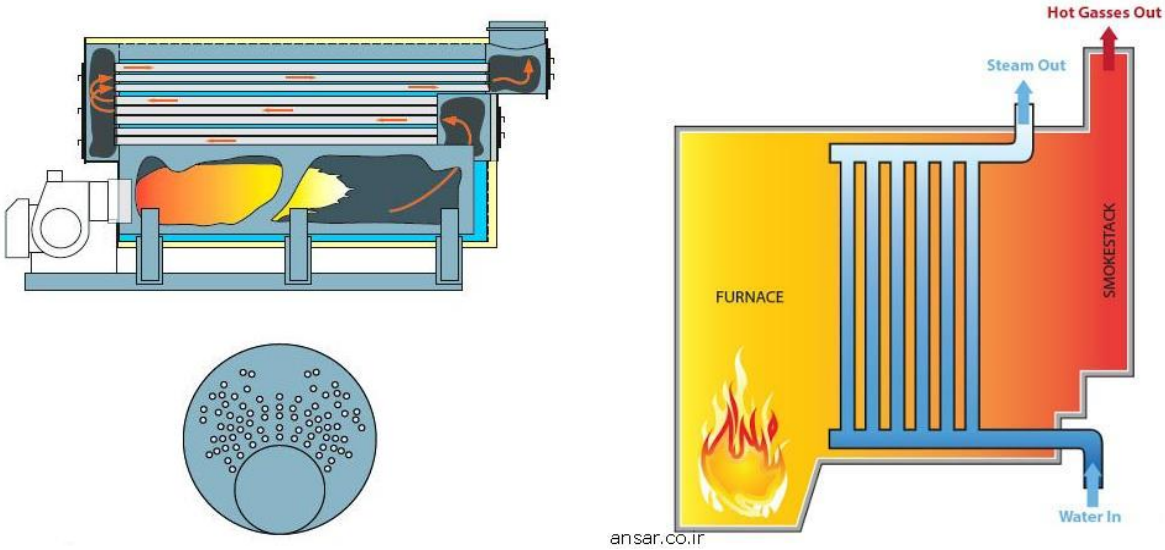


شکل ۱-۱۳. دیگ‌های بخار عمودی و افقی

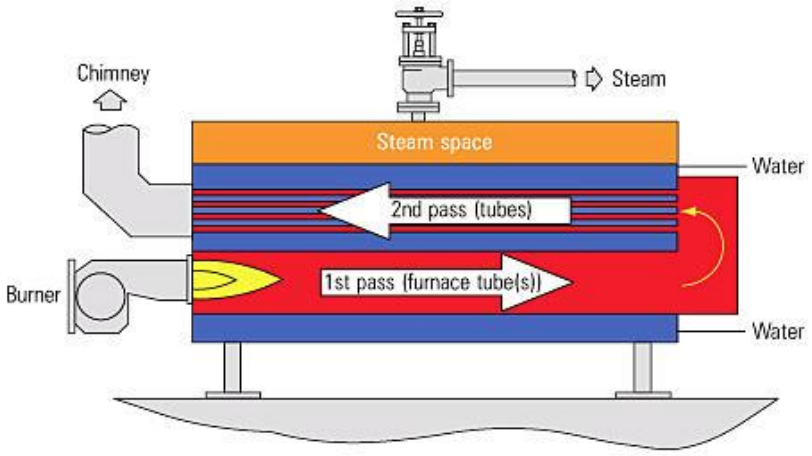
[20] Fire Tube
[21] Water Tube
[22] Dry Back
[23] Wet Back

دیگ بخار فایرتیوب

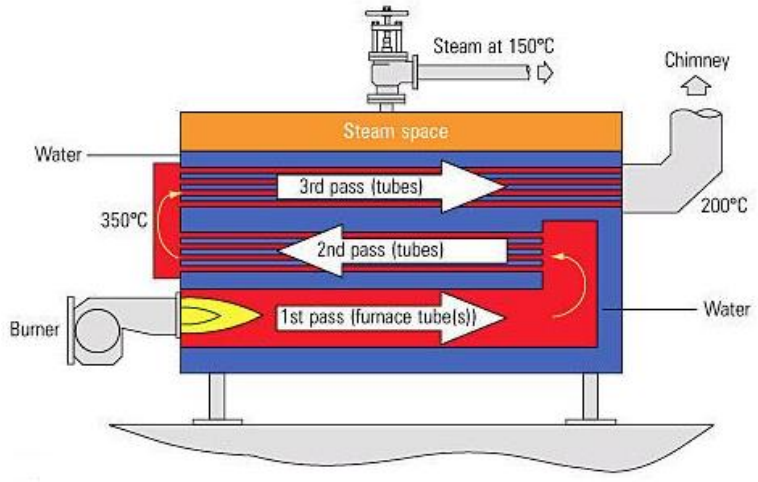
در این نوع از دیگ‌ها مواد حاصل از احتراق از داخل مجموعه‌ای از تیوب‌ها عبور نموده و آب روی پوسته‌ی بیرونی لوله‌ها جریان داشته و حرارت را دریافت می‌نماید. انرژی حرارتی منتقل شده به آب باعث بخار شدن آب می‌گردد، شکل ۱۴. این دیگ‌ها در مقایسه با دیگ‌های واترتیوب ارزان قیمت‌تر بوده و غالبا برای کاربردهای صنعتی کوچک و فشارهای کاری پایین‌تر استفاده می‌شوند. بازدهی این نوع از این دیگ‌ها بر اساس آرایش و ابعاد تیوب‌ها و تعداد پاس‌ها تعیین می‌گردد. مسلم است که هرچقدر سطح انتقال حرارت بیشتر باشد بازدهی دیگ نیز افزایش می‌یابد، اگرچه که هزینه‌ها و پیچیدگی دیگ نیز افزایش می‌یابد. در دیگ‌های فایرتیوب بدلیل حجم آبگیری بالای دیگ، زمان راه‌اندازی دیگ بالا می‌باشد.



شکل ۱-۱۴. دیگ بخار فایر تیوب یا لوله آتشین[۵]



(الف)



(ب)

شکل ۱-۱۵. نمای شماتیک الف) دیگ بخار عقب خشک و ب) دیگ بخار عقب تر

فشار کاری دیگ‌های فایرتیوب معمولاً بین ۶ تا ۱۸ بار نسبی می‌باشد اگرچه که توسط برخی از تولیدکننده‌ها تا ۳۲ بار نسبی نیز تولید می‌شوند. فشار کاری این نوع از دیگ ها دارای محدودیت بوده و نمی‌تواند از میزان استاندارد فراتر رود، زیرا بر اساس روابط مخازن جداره نازک، حداکثر تنش در محیط استوانه رخ می‌دهد و با توجه به قطر بالای دیگ فایرتیوب و در معرض فشار بودن پوسته، میزان تنش محدودیت خواهد داشت.

رابطه‌ی حاکم بر مخازن جداره نازک بصورت $\sigma=pr/t$ می‌باشد. که در این رابطه p فشار دیگ، r شعاع استوانه و t ضخامت ورق دیگ می‌باشد. در صورتی که ضخامت ورق افزایش داده شود فشار قابل تحمل دیگ افزایش می‌یابد ولی هزینه و شکل‌دهی ورق ضخیم‌تر دشوار می‌باشد.

ساختار ساده و جمع و جور، کارآیی مناسب در مقابل نوسانات مصرف بخار و قیمت ارزان‌تر از دیگر مزایای این بویلرها هستند. اما بالا بودن زمان راه اندازی به دلیل حجم بالای آب، عدم افزایش فشار بخار خروجی بدلیل نداشتن مخزن جداگانه آب و بخار و همچنین خشک نبودن کامل بخار خروجی از معایب دیگهای فایرتیوب بشمار می آید.

دیگ بخار عقب خشک و عقب تر

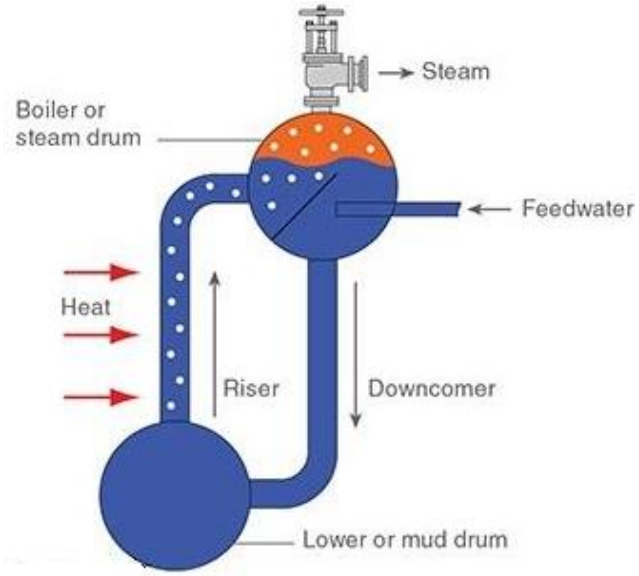
در دیگ‌های عقب خشک، دود در انتهای تمامی پاس‌ها به یک سطح در انتهای دیگ (صفحه لوله یا تیوب شیت) برخورد نموده و برگشت داده می‌شود. به دلیل اینکه اختلاف دمای بین پاس‌های دو و سه بالا می‌باشد، سطح تیوب شیت دچار تنش حرارتی زیاده شده و به مرور زمان باعث بروز ترک و نهایتا نشتی در بدنه دیگ می‌گردد. این دیگ-ها همچنین نیاز به عایقکاری توسط مواد نسوز در انتها دارند که خود مستلزم هزینه بوده و به مرور زمان نیز نیاز به تعویض و ترمیم خواهد داشت.

جهت رفع مشکلات فوق دیگ‌های عقب تر طراحی شده است. در این طراحی علاوه بر اینکه انتهای دیگ در ارتباط با مواد حاصل از احتراق نمی‌باشد، سطح انتقال حرارت افزایش یافته و در نتیجه بازدهی دیگ افزایش می‌یابد. در شکل ۱۵ هر دو نوع مختلف این دیگ ها نشان داده شده است.

دیگ‌های بخار واترتیوب

نحوه عملکرد دیگ‌های واترتیوب عکس دیگ‌های فایرتیوب است. به این صورت که آب در داخل لوله‌ها (تیوب ها) در گردش بوده و لوله‌ها توسط گازهای داغ احاطه شده‌اند و بدین ترتیب حرارت به آب منتقل شده و بخار می‌شود. به دلیل قطر کوچک لوله‌ها یک دیگ واترتیوب توانایی تحمل فشار بالاتری را نسبت به دیگ فایرتیوب دارد. بنابراین در کاربردهای فشار بالا مانند نیروگاه‌های بخار، مصارف بالای بخار و بخار سوپرهیت مناسب هستند. از معایب این دیگ‌ها می‌توان به گران قیمت بودن آن‌ها اشاره نمود.

اصول کار دیگ‌های واترتیوب بسیار ساده و جذاب می‌باشد. یک دیاگرام ساده و اولیه از یک دیگ واترتیوب در شکل ۱-۱۶، نشان داده شده است. بطور کلی این دیگ از دو درام در بالا و پایین تشکیل شده است. آب در درام پایین گرما گرفته و بخار تولید شده بوسیله‌ی جابجایی طبیعی به سمت درام بالایی حرکت می‌کند. در درام بالایی بخار از آب جدا شده و روی سطح آب قرار می‌گیرد. آب سرد تزریقی به دارم بالایی بدلیل چگالی بالاتر در قسمت زیرین قرار گرفته و آب گرم‌تر را در رایزر به صورت طبیعی به سمت بالا هدایت می‌کند. رفته رفته بخار بیشتری تولید شده و فشار در این سیستم بسته افزایش یافته و اختلاف بین چگالی آب و بخار اشباع کاهش می‌یابد تا جایی که این جریان طبیعی متوقف شود. در صورتی که بخار از دیگ خارج گردد، فشار درون سیستم افت کرده و جریان طبیعی آب تسریع می‌یابد. به منظورحفظ دبی خروجی بخار در دیگ‌های با فشار بالاتر، باید فاصله‌ی درام پایین و درام بخار افزایش یابد و یا چرخش اجباری به کار گرفته شود.



شکل ۱-۱۶. نحوه عملکرد دیگ واترتیوب

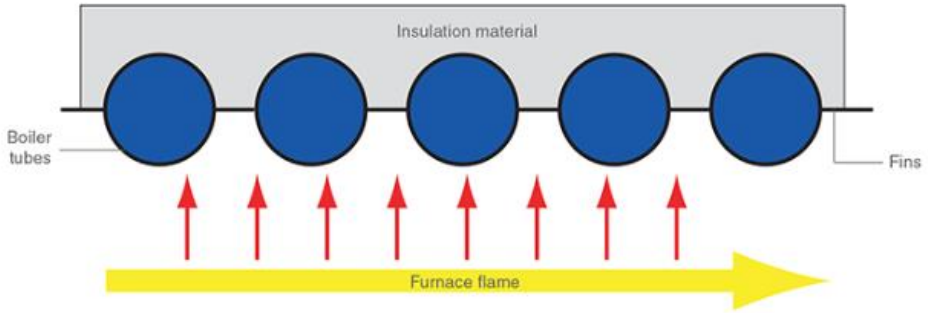
با افزایش تعداد تیوب‌ها، دستیابی به سطوح حرارتی بالا امکان‌پذیر می‌باشد. با توجه به جریان طبیعی، حرکت آب سریع‌تر بوده و در نتیجه نرخ انتقال حرارت افزایش‌یافته و و نهایتا بازدهی دیگ بالاتر خواهد بود. به دلیل قطر پایین تیوب‌ها، دستیابی به فشارهای کاری بسیار بالا امکان‌پذیر خواهد بود. به دلیل اینکه حجم آبگیری پایینی دارند، زمان راه‌اندازی آن‌ها نسبت به دیگ‌های فایرتیوب کمتر می‌باشد.

انتقال حرارت در دیگ می‌تواند به صورت هدایت، جابجایی و تشعشع انجام شود. تماس مستقیم شعله با تیوب‌ها باعث ایجاد آسیب و خرابی در تیوب‌ها می‌گردد. با عبور شعله از میان کوره، انتقال حرارت تشعشعی جذب می‌گردد که در

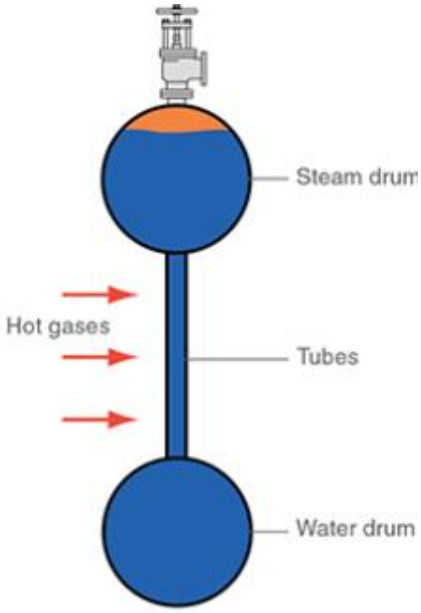
شکل ۷ نشان داده شده است. این قسمت به منظور جذب حرارت به روش جابجایی و هدایت از گازهای داغ طراحی شده است که در شکل۱۸ قابل مشاهده می‌باشد.

از دیگر مزایای بویلرهای واترتیوب می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- ✓ با افزایش تعداد تیوب ها، دستیابی به سطوح حرارتی بالا امکان‌پذیر می باشد.
- ✓ با توجه به جریان طبیعی، حرکت آب سریع‌تر بوده و در نتیجه نرخ انتقال حرارت افزایش یافته و نهایتا بازدهی دیگ بالاتر خواهد بود.
- ✓ به دلیل قطر پایین تیوب ها، دستیابی به فشارهای کاری بسیار بالا امکان‌پذیر خواهد بود.
- ✓ به دلیل اینکه حجم آبگیری پایینی دارند، زمان راه اندازی آن‌ها نسبت به دیگ های فایرتیوب کمتر می باشد. [۵]



شکل ۱-۱۷. نحوه انتقال حرارت تشعشعی در دیگ بخار واترتیوب

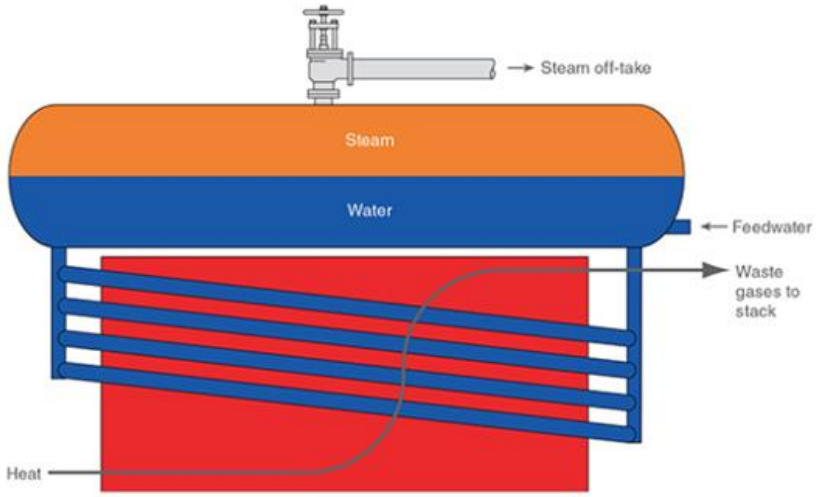


شکل۱-۱۸. انتقال حرارتی جابجایی در دیگ واترتیوب

دیگ‌های واترتیوب بر اساس مشخصات مختلفی دسته‌بندی می‌شوند. از معمول‌ترین این دسته‌بندی‌ها عبارتند از: موقعیت درام ذخیره (مثلا درام طولی یا متقاطع)، گردش آب (مثلا طبیعی یا اجباری)، تعداد درام (مثلا دو یا سه) و ظرفیت دیگ.

دیگ بخار واترتیوب با درام طولی

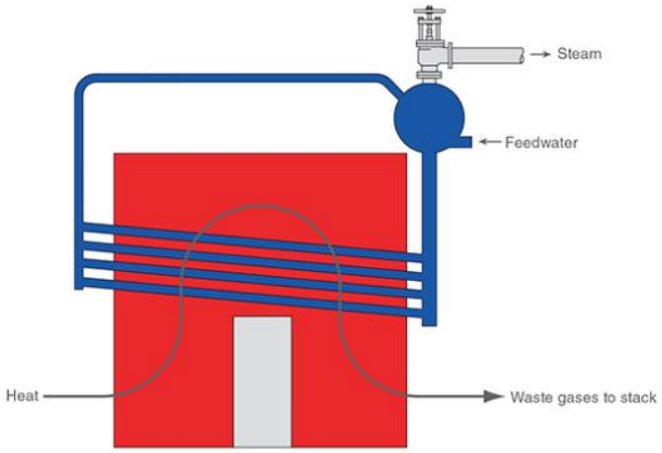
همانند آنچه در شکل ۱۹ مشاهده می‌شود نوع اصلی درام دیگ واترتیوب، به صورت شیب‌دار می‌باشد که بر اساس قانون ترموسیفون عمل می‌نماید. بدین صورت که آب تغذیه به درام طولی قرار گرفته در بالا وارد شده و به سمت پایین سرازیر می‌شود، سپس. با حرارت دیدن آب دمای آن افزایش یافته و چگالی آن کاهش می‌یابد. این اختلاف چگالی باعث جریان طبیعی به سمت بالا شده و جریان مجددا به درام بالایی وارد شده و ذرات بخار به سطح آب رفته و بدین صورت بخار تولید می‌شود. ظرفیت این بویلرها معمولا از ۲/۲ تا ۳۶ تن در ساعت می‌باشد.



شکل ۱-۱۹. نمای یک دیگ بخار واترتیوب با درام طولی

دیگ بخار واترتیوب با درام متقاطع

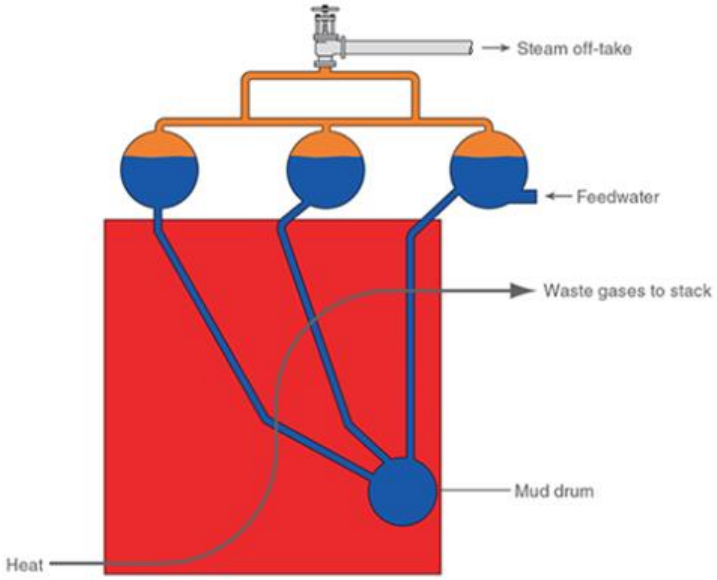
تفاوت یک بویلر با درام متقاطع با بویلر با درام طولی در این است که درام به صورت متقاطع در مسیر جریان حرارت قرار گرفته است. این امر سبب ایجاد توزیع دمای یکنواخت‌تر می‌شود. ولی لازم به ذکر است که در بارهای بالا در صورت خشک بودن تیوب‌های بالایی، احتمال بیش از حد گرم شدن و شکست لوله وجود دارد. همچنین یکی از مزایای این نوع دیگ، این است که به دلیل موقعیت متقاطع تیوب ها، امکان جانمایی تعداد بیشتری لوله شیب دار وجود دارد، شکل ۲۰.



شکل ۱-۲۰. دیگ بخار واترتیوب با درام متقاطع

دیگ بخار واتر تیوب با درام خمیده (دیگ استرلینگ)

یکی از انواع توسعه‌یافته‌ی دیگ‌های بخار واترتیوب، دیگ با درام خمیده یا استرلینگ می‌باشد. این نوع از دیگ نیز بر اساس دما و اختلاف چگالی عمل می‌نماید با این تفاوت که از چهار عدد درام استفاده می‌نماید. آب سرد تغذیه وارد درام بالایی سمت چپ شده و بواسطه‌ی چگالی بالاتر به درام پایین سرازیر شده و با جذب حرارت توسط درام و لوله ها، گرم شده و به سمت دو درام بالایی حرکت کرده تا اینکه حباب‌های بخار تشکیل شده به سطح آب بروند. این نوع از دیگ‌ها دارای سطح انتقال حرارت بالایی هستند و آب به طور طبیعی در آنها به چرخش در می‌آید، شکل ۲۱.



شکل ۱-۲۱. دیگ بخار واتر تیوب با درام خمیده (دیگ استرلینگ)

۱-۲-۲-۲ بویلر بازیافت حرارت[۲۴]

بویلرهای بازیافت حرارت ممکن است از نوع فایر تیوب یا لوله آب باشند و از حرارتی استفاده می کنند که در غیر این صورت (برای تولید بخار)، دور ریخته می‌شود. منابع معمول گرما برای بویلرهای بازیافت حرارت شامل گازهای خروجی یا محصولات با درجه حرارت بالا از یک فرآیند تولید خارجی در پالایشگاه‌ها و تاسیسات تولید مواد شیمیایی یا احتراق سوخت زائد در کوره بویلر است.

۱-۲-۲-۳ ژنراتورهای بخار بازیافت حرارت[۲۵]

ژنراتورهای بخار بازیافت حرارت انرژی را از اگزوز توربین گاز به ژنراتور بخار بازیافت حرارت بدون گاز یا مکمل برای تولید بخار انتقال می دهد. گازهای خروجی توربین گاز را در دمای ^{o}C ۵۳۸ یا بالاتر ترک می کنند و می توانند بیش از ۷۵ درصد کل انرژی سوخت ورودی را نشان دهند. این انرژی را می توان با عبور گازها از یک مبدل حرارتی (مولد بخار) برای تولید آب گرم یا بخار برای نیازهای فرآیند بازیابی کرد. اگر مقدار بخار مورد نیاز فرآیند بیش از مقدار تولید شده توسط بازیافت حرارت ساده باشد ، سوخت اضافی را می توان در یک مشعل مجرای درون خطی بین توربین گاز و ژنراتور بخار بازیافت حرارت سوزاند.

۱-۲-۳ توزیع بخار

سیستم توزیع بخار، جریان بخار را از بویلر یا ژنراتور به نقاط مصارف نهایی می‌رساند. بسیاری از سیستم های توزیع دارای چندین خطوط take off هستند که در فشارهای مختلف کار می‌کنند. این خطوط توزیع توسط انواع مختلف شیرهای جداسازی، شیرهای تنظیم کننده فشار و گاهی توربین های فشار برگشتی از یکدیگر جدا می‌شوند. یک سیستم توزیع با عملکرد مناسب، مقدار کافی بخار با کیفیت بالا را در فشارها و دماهای مناسب به مصرف نهایی می‌رساند. عملکرد سیستم توزیع موثر به تعادل فشار بخار مناسب، تخلیه مناسب میعانات، عایق بندی کامل و بهینه با تعمیر و نگهداری منظم و تنظیم موثر فشار نیاز دارد.

سیستم توزیع بخار پیوند اساسی بین مولد بخار و کاربر بخار است. روش‌های مختلفی برای انتقال بخار از یک منبع مرکزی به نقطه استفاده وجود دارد. منبع اصلی ممکن است یک بویلر یا یک سیستم تخلیه از یک منبع تولید همزمان باشد. بویلرها ممکن است سوخت اولیه را بسوزانند یا اینکه با استفاده از گازهای خروجی از فرآیندهای دمای بالا، موتورها و یا حتی از زباله سوزها و بویلرهای حرارتی باشند.

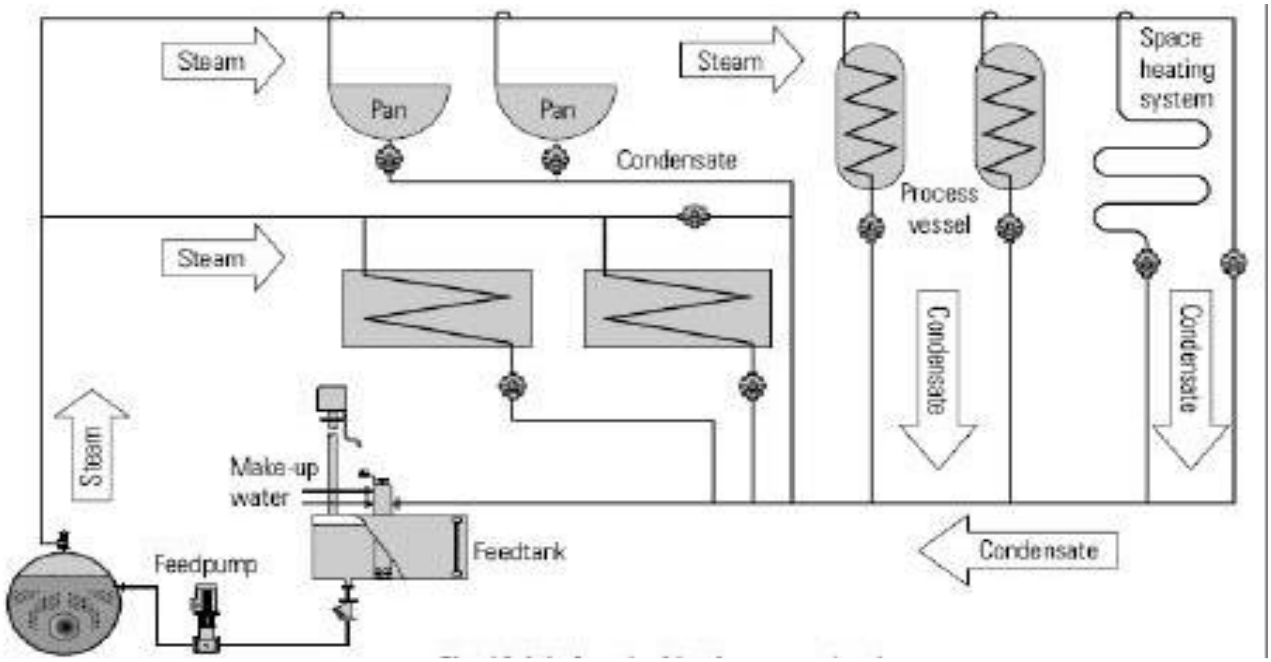
جهت ارسال بخار با کیفیت و فشار مناسب و به مقدار مورد نیاز فرآیند به هریک از تجهیزات، طراحی یک سیستم توزیع بخار کارآمد ضروری است. نصب و نگهداری سیستم توزیع بخار از موضوعات مهم است و باید در مرحله طراحی مورد توجه خاص قرار گیرد.

شکل ۲۲ اساس کار یک مدار بخار یا "حلقه بخار و میعانات" را نمایش می دهد. با متراکم شدن بخار در یک فرآیند، جریان در لوله تأمین ایجاد می شود. میعانات در مقایسه با بخار حجم بسیار کمی دارد و این باعث افت فشار می‌شود که باعث جریان بخار از طریق لوله ها می‌گردد.

---

[24] Waste Heat Recovery Boiler

[25] Heat Recovery Steam Generators



شکل ۱-۲۲ حلقه بخار و میعانات[۲۶]

بخار تولید شده در بویلر باید از طریق لوله کشی به نقطه ای برسد که انرژی گرمایی آن مورد نیاز باشد. در ابتدا یک یا چند لوله اصلی یا شبکه بخار وجود خواهد داشت که بخار را از بویلر در جهت کلی بخار حمل می‌کند. سپس لوله‌های شاخه‌ای کوچکتر می‌توانند بخار را به تک تک تجهیزات برسانند.

هنگامی که شیر اصلی جدا کننده بویلر (شیر تاج[۲۷]) باز می‌شود، بلافاصله بخار از بویلر به داخل و در امتداد شبکه بخار به نقاط تحت فشار پایین منتقل می‌شود. سیستم لوله‌کشی در ابتدا از بخار سردتر است، بنابراین گرما از بخار به لوله منتقل می‌شود. هوای اطراف لوله ها نیز از بخار سردتر است، بنابراین سیستم لوله کشی انتقال گرما را به هوا آغاز می‌کند.

بخار در تماس با لوله های کولر فوراً شروع به کندانس شدن می‌کند. هنگام راه اندازی سیستم، سرعت چگالش در حداکثر خود خواهد بود، زیرا این زمانی است که حداکثر اختلاف دما بین بخار و سیستم لوله کشی وجود دارد.

پس از گرم شدن سیستم لوله‌کشی، اختلاف دما بین بخار و لوله به حداقل می‌رسد، اما با انتقال گرما سیستم لوله‌کشی به هوای اطراف، مقداری کندانس شدن ایجاد می‌شود. این میزان چگالش معمولاً "running load" نامیده می‌شود.

میعانات حاصله به پایین لوله می ریزند و سپس این میعانات باید از نقاط مختلف استراتژیک در مجرای اصلی بخار تخلیه شوند. وقتی دریچه روی لوله بخار باز شود، بخار جریان یافته از سیستم توزیع وارد مجتمع می‌شود و دوباره با سطوح خنک کننده تماس می‌گیرد. بخار سپس انرژی خود را در گرم کردن یک وسیله و محصول (بار شروع) منتقل می‌کند و در صورت بالا رفتن دما، انتقال گرما به فرآیند (بار در حال اجرا) را ادامه می‌دهد.

---

[26] *STEAM DISTRIBUTION AND UTILIZATION* ,in *What is Steam?, In: Spirax Sarco Learning Centre, Block 2, 'Steam Engineering Principles and Heat Transfer'.* www.spiraxsarco.com. 2018.

[27] Boiler Crown Valve

اکنون بخار از بویلر به طور مداوم تأمین می شود تا بار متصل شده را تأمین کند و برای حفظ این منبع باید بخار بیشتری تولید شود. به منظور انجام این کار، آب بیشتری (و سوخت برای گرم کردن این آب) به بویلر داده می‌شود تا آبی را که قبلاً به بخار تبدیل شده را جبران کند. میعانات تشکیل شده در لوله های توزیع بخار و در تجهیزات فرآیند، منبع مناسبی برای استفاده از آب خوراک بویلر قابل استفاده است. اگرچه حذف این میعانات از فضای بخار مهم است اما به دلیل ارزشمند بودن نباید اجازه داده شود که به هدر برود. بازگرداندن تمام میعانات به مخزن تغذیه بویلر حلقه انرژی بخار را بسته و باید هر جا عملی باشد انجام شود.

فشار توزیع بخار تحت تأثیر عوامل مختلفی است، که مهمترین آنها به شرح ذیل می باشند:

- حداکثر فشار کار ایمن بویلر
- حداقل فشار مورد نیاز در پلنت

بخار از طریق لوله های توزیع عبور می کند و به دلایل زیر افت فشار آن ناگزیر است:

- مقاومت اصطکاکی درون شبکه لوله کشی
- متراکم شدن درون شبکه لوله‌کشی با انتقال گرما به محیط

بنابراین هنگام تصمیم گیری در مورد فشار توزیع اولیه باید این افت فشار لحاظ شود. یک کیلوگرم بخار در فشار بالاتر نسبت به فشار کم حجم کمتری را اشغال می کند. از این رو می توان گفت اگر بخار با فشار زیاد در بویلر تولید و با فشار زیاد توزیع شود، اندازه شبکه توزیع کمتر از همان بار حرارتی خواهد بود.

تولید و توزیع بخار در فشار بالاتر سه مزیت مهم را به همراه دارد:

- ✓ ظرفیت ذخیره سازی حرارتی بویلر افزایش می یابد، و به آن کمک می کند تا با نوسانات بیشتر کنار بیاید و خطر تولید بخار مرطوب و کثیف را به حداقل برساند.
- ✓ برای تجهیزاتی مانند لوله، فلنج، تکیه گاه، سیستم عایقکاری به ابزارهایی با سایز کوچکتر مورد نیاز است که این موضوع باعث کاهش هزینه ها می شود.
- ✓ هزینه عایق‌کاری تجهیزات با منافذ کوچکتر بمراتب کمتر است.

پس از توزیع در فشار بالا، لازم است که فشار بخار در هر منطقه یا نقطه استفاده در سیستم کاهش یابد تا با حداکثر فشار مورد نیاز برنامه مطابقت داشته باشد. کاهش فشار محلی متناسب با هر پلنت، منجر به بخار خشک‌تر در زمان استفاده خواهد شد.

بطورکلی مهمترین اجزای سیستم توزیع بخار به شرح ذیل می باشند:

- لوله ها
- نقاط تخلیه
- خطوط انشعابی
- صافیها
- فیلترها
- جداسازها
- تله های بخار
- دریچه های هوا

۱-۲-۳-۱ لوله ها

لوله‌های سیستم‌های بخار معمولاً از فولاد کربنی تا ANSI B 16.9 Al06 تولید می شوند. ممکن است از همان ماده برای خطوط میعانات استفاده شود، اگرچه لوله مس در برخی صنایع ترجیح داده می شود. برای شبکه بخار با حرارت بالا، عناصر آلیاژی اضافی مانند کروم و مولیبدن برای بهبود مقاومت در برابر کشش و مقاومت در برابر خزش در دماهای بالا در نظر گرفته شده‌اند. به طور معمول، لوله ها در طول ۶ متر تأمین می شوند.

از آنجائیکه هدف سیستم توزیع بخار، تأمین بخار با فشار صحیح تا محل استفاده است، در نتیجه اندازه خط لوله فاکتور مهمی است. لوله‌کشی بیش از حد به معنی:

- لوله‌ها، شیرآلات، اتصالات و غیره گران تر از حد لازم خواهند بود.
- هزینه‌های نصب بالاتر شامل کار پشتیبانی، عایق‌بندی و غیره انجام می‌شود.
- برای لوله‌های بخار به دلیل اتلاف گرمای بیشتر حجم بیشتری از میعانات تشکیل می‌شود. این به نوبه خود بدان معناست که یا به دام انداختن بخار بیشتری نیاز است یا بخار مرطوب به محل استفاده منتقل می‌شود.

لوله‌کشی کمتر از حد به معنی:

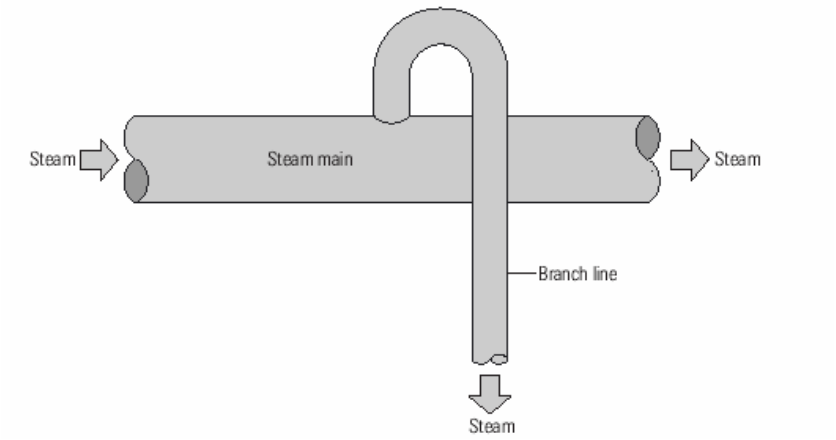
- ممکن است فشار کمتری در هنگام استفاده وجود داشته باشد و این امر احتمالاً مانع از عملکرد تجهیزات می شود.
- خطر کمبود تولید بخار وجود دارد.
- به دلیل افزایش ذاتی سرعت بخار، خطر فرسایش، چکش آب و سر و صدا بیشتر است.

۱-۲-۳-۲ نقاط تخلیه

هدف از نصب نقاط تخلیه، اطمینان حاصل کردن از این که میعانات می توانند به تله های بخار برسند. بنابراین باید به طراحی و مکان نقاط تخلیه دقت شود. همچنین باید با توجه به توقف جریان بخار، میعانات باقی مانده در یک بخار را در هنگام خاموشی در نظر گرفت. با کمک نیروی جاذبه اطمینان حاصل خواهد شد که آب (میعانات) در امتداد لوله های شیب دار حرکت کرده و در نقاط پایینی سیستم جمع می شود. تله های بخار باید در این نقاط پایینی نصب شوند.

۱-۲-۳-۳ خطوط انشعابی

بطور معمول خطوط انشعاب بسیار کوتاهتر از شبکه بخار هستند، شکل ۱-۲۳. به عنوان یک قاعده کلی در صورتی که طول خط انشعاب بیش از ۱۰ متر نباشد و فشار درشبکه اصلی کافی باشد، می توان لوله را در سرعت ۲۵ تا m/s ۴۰، sizing کرد و دیگر نگران افت فشار هم نبود.



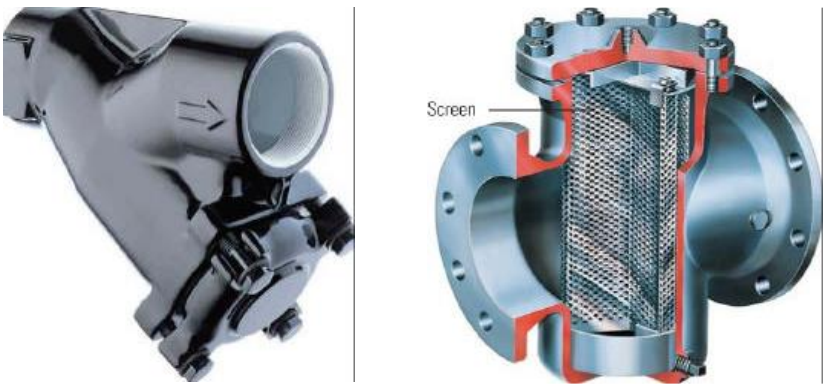
شکل ۱-۲۳. یک نمونه از خطوط انشعابی

۱-۲-۳-٤ صافی‌ها

هرچه بازار به طور فزاینده ای رقابتی می‌شود، تأکید بیشتری بر کاهش زمان توقف پلنت و نگهداری آن می شود. در سیستم‌های بخار و میعانات، خسارت به پلنت غالباً در اثر بقایای خط لوله مانند زنگ زدگی، ترکیب اتصال، فلز جوش و سایر مواد جامد ایجاد می‌شود که ممکن است به سیستم خط لوله راه پیدا کند. صاف کننده‌ها دستگاههایی هستند که این جامدات را در مایعات یا گازهای در حال جریان متوقف کرده و تجهیزات را از اثرات مضر آنها محافظت می‌کنند، بنابراین باعث کاهش زمان و تعمیر و نگهداری می‌شوند. یک صافی باید در بالادست هر تله بخار، جریان سنج و شیر کنترل نصب شود.

صافی ها را می توان با توجه به نحوه چینش آنها به دو نوع اصلی طبقه بندی کرد. یعنی نوع Y و نوع سبدی. این نوع صافی ها را می توان در شکل ۱-۲۴ مشاهده کرد.

صافی از نوع Y استاندارد معمول است و تقریباً به طور جهانی مورد استفاده قرار می‌گیرد. بدنه آن دارای یک شکل استوانه ای جمع و جور است که بسیار محکم است و می‌تواند فشارهای بالا را تحمل کند. به معنای واقعی کلمه یک مخزن تحت فشار است و غیر معمول نیست که صافی های نوع Y بتوانند فشارهای تا ۴۰۰ bar را تحمل کنند. استفاده از صافی ها در این فشارها به دلیل درجه حرارت بالا مربوط به بخار در این فشار پیچیده است. جنس این صافیها از مواد خاص و مقاومی مانند فولاد کروم مولیبدن می‌باشد.



شکل ۱-۲۴. انواع صافی‌ها نوع سبدی و نوع Y

صافی نوع سبدی با یک محفظه عمودی جهت دار مشخص می‌شود و به طور معمول بزرگتر از صافی نوع Y است. افت فشار در یک صافی سبدی از نوع Y کمتر است زیرا دارای یک سطح صافی آزاد بیشتر است که این مسئله باعث می‌شود که صافی نوع سبدی را به نوع ترجیحی برای کاربردهای مایع تبدیل کند. از آنجا که ظرفیت نگهداری نیز در صافی های نوع Y بیشتر است، صافی نوع سبدی در خطوط لوله بخار با قطر بیشتر نیز استفاده می‌شود. صافی های نوع سبدی فقط در خطوط لوله افقی قابل نصب هستند و برای صافی های سبد بزرگتر و سنگین‌تر، باید از پایه صافی استفاده کرد.

۱-۲-۳-۵ فیلترها

فیلترها برای حذف ذرات کوچکتر استفاده می‌شوند. در حالی که صافی ها همه ذرات قابل مشاهده در بخار را از بین می‌برند، گاهی اوقات لازم است ذرات کوچکتر را نیز حذف کرد، به عنوان مثال با بکارگیری برنامه های زیر:

- ✓ در صورت تزریق مستقیم بخار به درون فرآیندی که ممکن است باعث آلودگی محصول شود. مثال: در صنایع غذایی و برای استریلیزه کردن تجهیزات فرآیندی در صنایع دارویی.
- ✓ در مواردی که بخار کثیف ممکن است به دلیل لک شدن یا احتباس ذرات قابل مشاهده باعث رد محصول یا دسته فرآیند شود. مثال: دستگاه های ضدعفونی کننده و کاغذ / تخته.
- ✓ در مواردی که از رطوبت سازهای بخار حداقل انتشار ذرات مورد نیاز است. مثال: رطوبت سازهایی که در یک محیط "تمیز" استفاده می شوند.
- ✓ برای کاهش میزان محتوای آب بخار و اطمینان از تولید یک منبع اشباع خشک.

۱-۲-۳-۶ جداسازها

جدا کننده‌ها برای حذف قطرات معلق آب از بخار استفاده می شوند. بخار مرطوب بخار حاوی مقداری آب است که در حقیقت یکی از اصلی ترین نگرانی ها در هر سیستم بخار است. این امر می تواند بهره وری پلنت و کیفیت محصول را کاهش دهد و باعث آسیب به بیشتر اقلام پلنت و تجهیزات شود. در حالی که زهکشی و به دام انداختن می‌تواند بیشتر آب را از بین ببرد اما با قطرات آب معلق در بخار مقابله نمی‌کند. برای حذف این قطرات معلق آب، جداکننده ها در خطوط لوله بخار نصب می‌شوند.

وجود آب در بخار می تواند مشکلات زیادی ایجاد کند از جمله:

- از آنجا که آب مانعی فوق العاده در انتقال گرما است، وجود آن می تواند باعث کاهش بهره وری پلنت و کیفیت محصول شود.
- قطرات آب که با سرعت بالایی در بخار حرکت می‌کنند، باعث فرسایش seat valves و اتصالات سوپاپ می‌شود، شرایطی که به wiredrawing معروف است. قطرات آب همچنین میزان خوردگی را افزایش می‌دهد.
- افزایش پوسته پوسته شدن لوله ها و حرارت دادن سطح ناخالصی های موجود در قطرات آب.
- عملکرد نامنظم شیرهای کنترل و جریان سنج ها.
- خرابی سوپاپ ها و جریان سنج ها به دلیل فرسودگی سریع یا چکش آب.

۱-۲-۳-۷ تله های بخار

هیچ سیستم بخاری بدون تله های بخار کامل نمی‌شود و می توان گفت تله بخار مهمترین جزء در حلقه میعانات است زیرا مصرف بخار را به بازگشت میعانات متصل می‌کند. در یک تله بخار کاملاً و به معنای واقعی میعانات را (و همچنین هوا و سایر گازهای غیر قابل تغلیظ) پاکسازی و از سیستم خارج می‌کند و در نتیجه به بخار اجازه می‌دهد تا در یک شرایط خشک به مقصد رسیده و وظیفه خود را به طور موثر و اقتصادی انجام دهد. مقدار میعانات گازی یک تله بخار ممکن است به میزان قابل توجهی متفاوت باشد. ممکن است مجبور شود میعانات را در دمای بخار تخلیه کند (یعنی به محض تشکیل در فضای بخار) یا ممکن است لازم باشد که زیر دمای بخار تخلیه شود، که در این فرآیند مقداری از گرمای محسوس خود را از دست میدهد.

فشارهایی که تله های بخار می‌توانند تحت آن شرایط کار کنند ممکن است از خلاء تا بیش از صد بار باشد. متناسب با این شرایط، تله های بخار انواع مختلفی دارند که هرکدام مزایا و معایب خاص خود را دارند. البته یک تله بخار نمی تواند گزینه صحیحی برای همه کاربردها باشد. ملاحظات مربوط به انتخاب تله بخار شامل توانایی تله بخار در موارد زیر است:

- جابجایی هوای تخلیه در هنگام راه‌اندازی، یعنی آغاز فرآیند هنگامی که فضای عبور بخار با هوا پر می‌شود، که اگر جابجا نشود، انتقال گرما را کاهش داده و زمان گرم شدن را افزایش می دهد
- میعانات را خارج کرده اما هیچ بخاری را حذف نکند.
- عملکرد پلنت را به حداکثر برساند. به عبارت ساده، مگر اینکه به طور خاص برای آبگیری طراحی شده باشد، تا یک مبدل حرارتی در بهترین عملکرد خود کار کند. مسیر عبوری بخار باید با بخار خشک تمیز پر شود، که نوع تله بخار در این امر بسیار تأثیرگذار است.

بنابراین تله بخار یکی از اجزای مهم تمام سیستم‌های بخار (بجز سیستم‌های بخار یک لوله‌ای که برای گرمایش استفاده می‌شوند) بشمار می رود. سیال خروجی از تله بخار به صورت مایع است که در اثر دفع حرارت از بخار تشکیل شده است و هوا یا گازهای غیرقابل تقطیر را به نقطهٔ خروج هدایت می‌کند. در اثر اتلاف حرارت غیرقابل اجتناب از لوله‌هایی که کاملا عایق نیستند و نیز از تجهیزات پایانه (مانند رادیاتورها، فن کویل‌ها و مبدل‌های حرارتی) مقداری میعانات در لوله‌های بخار تشکیل و در لوله‌کشی سیستم‌های بخار به جریان می‌افتد. به محض اینکه میعانات در سیستم جمع می‌شود، باید بلافاصله تخلیه شود زیرا:

- .اگر چه میعانات دارای مقداری حرارت است ولی اگر برای استفاده از این حرارت، میعانات در داخل تجهیزات پایانه (مصرف کننده) باقی بماند سطح انتقال حرارت را کاهش خواهد داد. این امر مشکلات بهره-برداری دیگری را نیز به همراه دارد زیرا باعث حبس شدن هوا در داخل میعانات می‌گردد که این نیز سطح انتقال حرارت را بیشتر کاهش خواهد داد. همچنین وجود گازهای غیرقابل تقطیری چون CO_2 موجب خوردگی می‌شوند. بازیافت حرارت از میعانات فقط برای مواردی مطلوب و معمول است که میعانات به دیگ بخار بازنگردد.
- بخار در خط اصلی و انشعابات بسیار سریع حرکت می‌کند، بنابراین وقتی میعانات در نقطه‌ای جمع شود که در آن بخار بتواند مقداری از آن را با خود حمل کند، به دلیل وقوع ضربهٔ قوچ احتمال دارد خرابی‌های جدی به بار آورد. تلهٔ بخار باید در اولین فرصت تمام میعانات را با هوا و گازهای غیرقابل تقطیری که ممکن

است در سیستم وجود داشته باشد همراه با اندکی بخار زنده دفع کند. تله بخار یک شیر خودکار است که می‌تواند بخار را از میعانات یا سایر سیالات تشخیص دهد.

تله‌ها به صورت زیر گروه‌بندی می‌شوند:

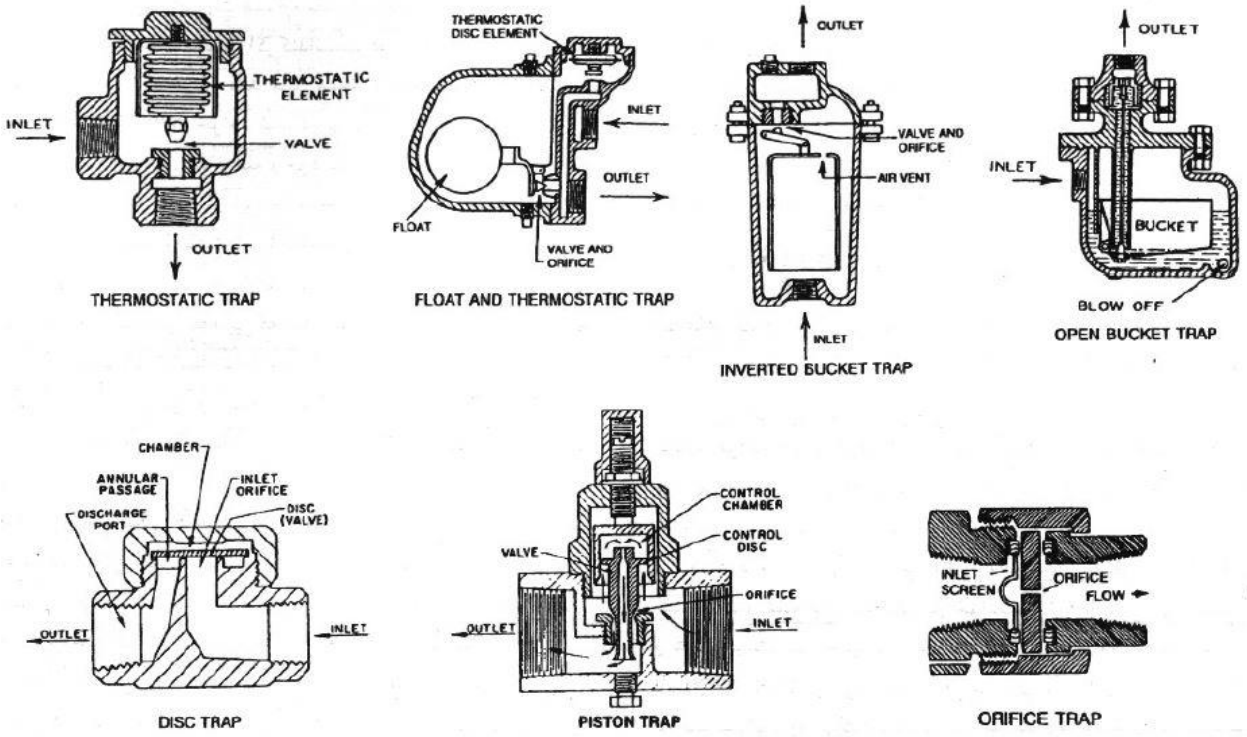
- ✓ الف . تله‌های ترموستاتیکی که به اختلاف درجه حرارت بخار و میعانات واکنش نشان می‌دهند.
- ✓ ب . تله‌های مکانیکی که بر مبنای اختلاف چگالی بخار و میعانات عمل می‌کنند.
- ✓ ج . تله‌های سینتیک که عملکرد آن‌ها به اختلاف مشخصه های جریان بخار و میعانات متکی است.

بطور کلی یک نوع تلهٔ خاص که برای تمام کاربردها مناسب باشد وجود ندارد و غالبا در اکثر سیستم‌ها بیش از یک نوع تله بخار استفاده می‌شود، شکل ۱-۲۵. اندازهٔ تله‌های بخار (بدون توجه به نوع آن) باید دقیقا برای هر کاربردی و بر مبنای مقدار میعاناتی که منتقل می‌شود تعیین گردد زیرا کمتر یا بیشتر از حدّ بودن ظرفیت تلهٔ انتخابی می‌تواند مشکلات جدّی‌ای را به همراه داشته باشد. کوچکتر بودن تله بخار ممکن است باعث انباشته شدن ناخواستهٔ میعانات شود که نهایتا منجر به خرابی زودرس تله می‌گردد. اگرچه انتخاب تلهٔ بزرگتر از حدّ نیاز باعث رفع مشکل مذکور می‌گردد ولی در صورت خراب شدن تله بخار، مقدار زیادی بخار هدر خواهد رفت.

تله‌های بخار ترموستاتیکی

در تله‌های بخار ترموستاتیکی یک عنصر بایمتال یا فانوسی باعث عمل کردن یک شیر می‌شود. هنگامی که میعانات وجود دارند این شیر باز می‌شود و در زمان وجود بخار، بسته خواهد شد. چون در ابتدای تشکیل میعانات، درجه حرارت آن برابر با درجه حرارت بخار است، بنابراین عضو ترموستاتیکی باید به گونه‌ای طراحی و تنظیم شود که فقط در درجه حرارت‌های کمتر از درجه حرارت بخار باز شود. در غیر این صورت همواره مقداری بخار زنده از درون تله خواهد گذشت. بنابراین اگر میعانات در تله یا بخشی از لوله‌های قبل از ساقهٔ تخلیه (که هر دو فاقد عایق هستند) انباشته شود. میعانات مادون سرد خواهد شد.

در برخی از تله‌های ترموستاتیکی یک ستون آب دائمی در بعد از تله بخار وجود دارد و بنابراین از اتلاف بخار جلوگیری می‌کند. در عین حال این امر موجب ممانعت از خروج هوا و گازهای غیرقابل تقطیر و باعث انباشته شدن بیش از حدّ میعانات در خطوط اصلی یا تجهیزات خواهد شد که می‌تواند مشکلاتی را در بهره‌برداری ایجاد کند. در تله‌هایی که انباشت میعانات وجود نداشته باشد، ممکن است قبل از بسته شدن شیر مقداری بخار تلف گردد. اگرچه تله‌های فانوسی و بایمتال هر دو نسبت به درجه حرارت حساس هستند ولی عملکرد آن‌ها بسیار متفاوت است.



شکل ۱-۲۵. انواع تله‌های بخار

تله‌های ترموستاتیکی فانوسی

تله‌های ترموستاتیکی فانوسی دارای سیال با درجه حرارت جوش کمتر از آب هستند. وقتی تله سرد باشد، جزء درون تله منقبض می‌شود و دهانهٔ خروجی باز خواهد شد. همزمان با ورود میعانات گرم به درون تله و قبل از آنکه درجه حرارت میعانات به درجه حرارت بخار برسد، سیال درون فانوس به جوش می‌آید و تبخیر می‌گردد. چون مایع موجود در فانوس در درجه حرارت کمتر از آب به جوش می‌آید، فشار مایع داخل فانوس بیشتر از فشار بخار خارج آن است و باعث منبسط شدن فانوس و بسته شدن دهانهٔ تخلیهٔ تله می‌گردد.

اگر فرض کنید که رابطهٔ درجه حرارت و فشار برای مایع درون فانوس مانند آب باشد، موازنهٔ نیروهای وارد بر فانوس تقریبا ثابت خواهد ماند و بستگی به تغییرات فشار بخار آب ندارد. بنابراین، در این نوع تله همیشه فشار متعادل است و در هر فشاری (در محدودهٔ کار تله) می‌تواند استفاده شود. در عین حال از این تله در هنگامی که بخار مافوق گرم وجود دارد نباید استفاده شود زیرا درجه حرارت مستقل از فشار است و احتمال دارد فانوس خراب شود یا بترکد.

بهترین کاربرد تله‌های ترموستاتیکی نوع فانوسی، سیستم‌های کم فشار با بارهای اندک ولی پایدار است. از این تله‌ها معمولا در اکثر سیستم‌های HVAC با رادیاتور و کنوکتور استفاده می‌شود.

تله‌های ترموستاتیک نوع بایمتال

تله‌های ترموستاتیک نوع بایمتال دارای یک عضو است که از دو فلز با ضریب انبساط متفاوت ساخته شده است. حرارت باعث تغییر شکل عضو می شود و دهانهٔ شیر تله باز یا بسته می‌گردد. چون عضو بایمتال فقط نسبت به درجه حرارت حساس است، غالبا در خروجی این تله ها یک شیر نصب می‌شود به گونه‌ای که فشار بخار آب سعی به بازکردن آن دارد. اگرچه تعادل فشار در این نوع تله به اندازهٔ تله فانوسی نیست ولی با طراحی صحیح عضو بایمتال، می توان منحنی فشار-درجه حرارت کار تله را به منحنی اشباع آب نزدیک کرد.

برخلاف تله‌های ترموستاتیکی فانوسی، در تله‌های ترموستاتیکی نوع بایمتال بخار آب مافوق گرم یا ضربهٔ قوچ اثر نامطلوبی نخواهد داشت و بنابراین می‌توان از آن‌ها در سیستم‌های بخار پرفشار استفاده کرد. بهترین محل مصرف این نوع تله‌ها عبارتند از: گرمکن‌های خطوط انتقال ، لوله‌کشی پوشش گرم کننده و تجهیزات انتقال حرارت که در آن‌ها اندکی انباشت میعانات مجاز باشد. اگر از این تله‌ها برای ساقهٔ تخلیه خط اصلی بخار استفاده می‌شود، عضو حساس تله بخار نباید باعث انباشته شدن میعانات در درون تله شود.

تله‌های بخار مکانیکی

تله‌های بخار مکانیکی در اثر نیروی شناوری که ناشی از اختلاف چگالی بخار و میعانات است کار می‌کنند. تله‌های شناور و ترموستاتیکی را عموما تله‌های F&T می‌نامند و ترکیبی است از دو نوع تله در یک بدنه:

I. یک عضو ترموستاتیکی نوع فانوسی که در اثر اختلاف درجه حرارت کار می‌کند و تخلیهٔ خودکار هوا و گازها را میسر می‌سازد.

II. یک بخش شناور که بر اساس نیروی شناوری کار می‌کند. در سیستم‌های بخار نباید از تله‌های شناور فاقد شیر هواگیر خودکار استفاده کرد.

در هنگام راه اندازی سیستم[۲۸]، شیر شناور بسته است و عضو ترموستاتیکی باز خواهد بود تا هوا به سرعت تخلیه شود و بتوان سیستم یا تجهیزات را سریعا با بخار پُر کرد. وقتی بخار وارد بدنهٔ تله می‌شود، عضو ترموستاتیکی بسته خواهد شد و هنگامی که میعانات وارد می گردد، شناور بالا خواهد رفت و میعانات تخلیه می‌شود. مقدار باز بودن شیر تخلیه، توسط شناور تنظیم می‌شود به گونه‌ای که میعانات به طور مداوم و به همان مقدار که به تله می‌رسد از آن خارج می‌گردد.

توانایی تله‌های F&T برای تخلیهٔ هوا و گازهای غیرقابل تقطیر بسیار زیاد است و می‌تواند میعانات را به طور مداوم و بدون انباشت در درون تله، تخلیه کند. این نوع تله، بارهای منقطع و متناوب را به خوبی انتقال می‌دهد و می‌تواند در اختلاف فشارهای خیلی کم نیز کار کند. کارکرد این تله‌ها بر روی خط اصلی و ساقهٔ تخلیهٔ رایزرهای سیستم‌های گرمایش با بخار کم فشار بسیار خوب است. اگرچه برخی از تله‌های F&T می‌توانند تا فشار ۲۵۰ پاسکال یا بیشتر از آن کار کنند ولی برای وقوع پدیدهٔ ضربهٔ قوچ مستعد هستند و بنابراین در سیستم‌های بخار پرفشار استفاده از انواع دیگر تله مناسب‌تر خواهد بود.

تله‌های بخار سطلی

تله‌های سطلی بر اساس نیروی شناوری کار می‌کنند ولی در آن‌ها به جای استفاده از گوی شناور، از یک سطل استفاده می‌شود که یا قسمت بالای آن باز است و یا به صورت معکوس نصب شده است. در تله‌های با سطل روباز، در ابتدای کار سطل خالی است و در کف بدنهٔ تله بخار قرار دارد. همزمان با ورود میعانات به تله، سطل به سمت بالا شناور می شود و دهانهٔ خروجی تله را می‌بندد.

ورود مقدار بیشتری میعانات باعث سرریز شدن آن به درون سطل می‌شود و سطل را به سمت پایین می‌راند و دهانهٔ تخلیه باز و میعانات تحت فشار بخار از سطل خارج می‌شود. در همان لحظه، قسمت تحتانی لولهٔ تخلیه بسته می‌شود

[28] start up

تا از عبور هوا جلوگیری کند. بنابراین این تله‌ها از نظر ممانعت از آزاد شدن هوا، همانند تله‌های F&T هستند و باید دارای شیر هواگیری خودکار باشند.

تله‌های با سطل معکوس

در تله‌های با سطل معکوس مشکل تخلیه هوا که در تله‌های با سطل روباز وجود دارد، بروز نخواهد کرد. ورود بخار و هوا باعث غوطه ور شدن سطل می‌شود و دهانهٔ تخلیه را می‌بندد. وقتی مقدار بیشتری میعانات به تله وارد می‌شود، هوا و بخار موجود در سطل از سوراخ بالای آن تخلیه و وارد بدنهٔ تله می‌گردد و در آنجا در اثر سرد شدن، تقطیر خواهند شد. وقتی جرم سطل از نیروی شناوری بیشتر گردد، سطل به سمت پایین حرکت می‌کند و دهانهٔ تخلیه باز می‌شود و فشار بخار، میعانات را به خارج می‌راند و چرخه تکرار می‌گردد.

بر خلاف اکثر تله‌های نوع قطع و وصلی، در تلهٔ با سطل معکوس هوا و گازهای غیرقابل تقطیر به طور مداوم تخلیه می‌شود. اگرچه تخلیهٔ میعانات به صورت متناوب است ولی چنانچه اندازهٔ این نوع تله صحیح انتخاب شود، انباشت میعانات وجود نخواهد داشت. تله‌های با سطل معکوس برای تمام فشارها ساخته می‌شوند و کابرد آن‌ها در ساقه‌های تخلیهٔ خطوط اصلی بخار و اکثر کاربردهای سیستم‌های HVAC بسیار خوب است. اگرچه از تله‌های با سطل معکوس می‌توان برای آن دسته از کویل‌هایی که مقدار بخارشان توسط درجه حرارت تنظیم می‌شود استفاده کرد ولی به کاربردن تله‌های F&T برای اینگونه کاربردها بهتر است زیرا توانائی تخلیهٔ هوای آن‌ها (که در اینگونه کاربردها ضرورت دارد) بیشتر است.

تله‌های بخار سینتیک

بسیاری از تجهیزات بر مبنای اختلاف بین مشخصات جریان بخار و میعانات و این حقیقت کار می‌کنند که وقتی میعانات به فشار پایین‌تر تخلیه می‌شود، مقدار حرارت آن بیشتر از آنست که در فاز مایع باقی بماند. این حرارت اضافی موجب می‌گردد مقداری از میعانات در فشار پایین تر به طور لحظه ای تبخیر شود.

تله‌های بخار ترمودینامیکی یا دیسکی

تله های ترمودینامیکی وسایلی ساده و فقط دارای یک جزء متحرک هستند. در هنگام راه‌اندازی سیستم که هوا یا میعانات وارد تله بخار می‌شود، دیسک از روی نشیمنگاه بلند خواهد شد و هوا یا میعانات تخلیه می‌گردد. هنگامی که بخار یا میعانات گرم (که مقداری از آن به علت اینکه در معرض فشار کم قرار گرفته است به صورت آنی تبخیر می-شود) وارد تله بخار گردد، زیاد بودن سرعت جریان بخار باعث کاهش فشار در قسمت زیرین دیسک و افزایش فشار در قسمت بالایی آن می‌گردد و دهانهٔ تخلیه سریعا بسته خواهد شد. پس فشار در قسمت بالا و زیرین دیسک متعادل می‌شود ولی چون مساحت تحت فشار در قسمت بالای دیسک بیشتر از مساحت قسمت زیرین دیسک است، تا زمانی که در اثر تقطیر بخار یا تخلیهٔ میعانات، و فشار قسمت بالای دیسک کاهش یابد دیسک بسته باقی خواهد ماند.

سپس دیسک دهانه تخلیه را باز می‌کند و چرخه تکرار می‌گردد. در این تله‌ها چرخهٔ باز و بسته شدن دیسک در فواصل زمانی ثابت رخ می‌دهد. این فواصل زمانی به سرعت تقطیر بخار در بالای دیسک بستگی دارد. چون برای عملکرد صحیح تله بخار دیسکی باید اختلاف فشار قابل توجهی در دو طرف تله بخار وجود داشته باشد، استفاده از آن‌ها در سیستم های کم فشار یا سیستم‌هایی که فشار معکوس آن‌ها زیاد است مناسب نمی‌باشد. بهترین کاربرد این تله‌ها در سیستم‌های پرفشار و ساقهٔ تخلیهٔ خطوط اصلی بخار است.

تله بخار ضربه‌ای یا پیستونی

در تله بخار ضربه‌ای یا پیستونی با تخلیهٔ مداوم اندکی بخار یا میعانات از درون روزنهٔ تخلیه، وضعیت فشار درون پیستون تغییر می‌کند. وقتی بخار زنده یا میعانات بسیار داغ که به طور آنی تبخیر می‌شود وارد محفظهٔ کنترل گردد، افزایش فشار باعث بسته شدن دهانهٔ شیر پیستونی خواهد شد. هنگامی که میعانات سردتر وارد تله شود، فشار درون محفظهٔ کنترل کاهش می یابد و دهانهٔ شیر باز می‌گردد.

اکثر تله‌های ضربه‌ای به صورت چرخه ای باز و به طور متناوب بسته می‌شوند ولی در برخی از آن‌ها، موقعیت پیستون به گونه‌ای تنظیم می‌گردد که میعانات به طور مداوم عبور کند. تله‌های ضربه ای را می‌توان برای کاربردهای تله های دیسکی نیز استفاده کرد، اگرچه به دلیل کوچک بودن روزنهٔ تخلیه و کم بودن لقی پیستون درون سیلندر، احتمال دارد دهانه شیرها توسط آشغال یا رسوب بسته شود.

تله بخار روزنه‌ای

تله های بخار روزنه‌ای فاقد جزء متحرک هستند. تمام انواع تله‌های دیگر دارای دهانه یا روزنهٔ تخلیه هستند و سطح مقطع این دهانه‌ها و روزنه‌ها بزرگتر از حدّ نیاز است و مقدار جریان میعانات توسط یک مکانیزم کنترل می‌شود و از اتلاف بخار زنده جلوگیری می‌کند. در تله‌های روزنه‌ای این مکانیزم وجود ندارد و مقدار جریان و میعانات توسط جریان دو فازی‌ای که از یک روزنه عبور می‌کند، کنترل می‌گردد.

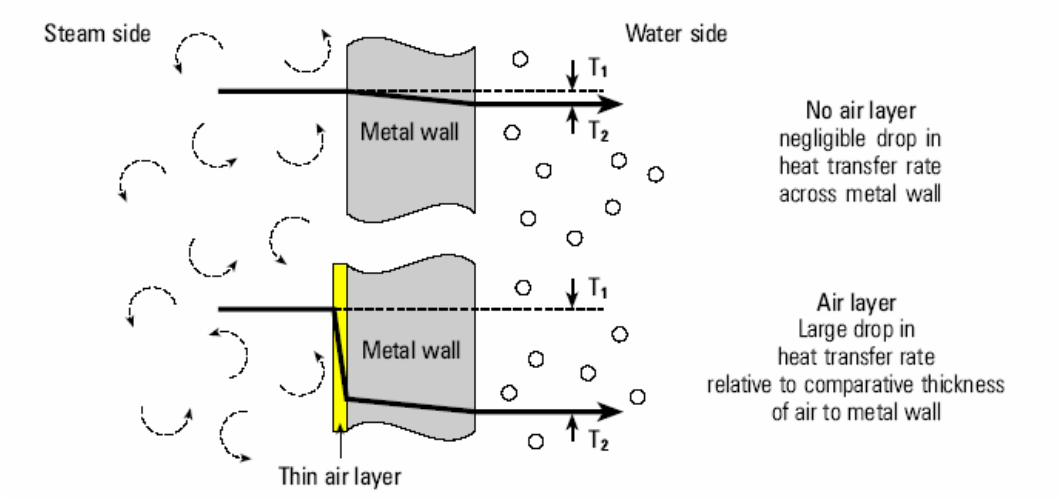
به عبارت ساده‌تر، مقدار میعاناتی که می‌تواند از یک روزنه عبور کند بیشتر از مقدار بخاری خواهد بود که از آن عبور می‌کند زیرا اولاً چگالی آن‌ها تفاوت دارد و ثانیاً تبخیر آنی میعانات باعث وقوع پدیدهٔ خفگی در روزنه می‌شود. در این تله‌ها از یک روزنه استفاده می‌گردد که بزرگتر از حدّ نیاز دبی میعانات است. بنابراین همواره تمام میعانات همراه با هوا و گازهای غیرقابل تقطیر و مقدار اندک و کنترل شده‌ای از بخار از درون تله عبور می‌کند. در این نوع تله معمولا مقدار اتلاف بخار همانند اکثر تله‌هایی است که به صورت چرخه‌ای باز و بسته می‌شوند.

اندازهٔ تله‌های روزنه‌ای باید با دقت بیشتری از سایر انواع تله‌های چرخه‌ای تعیین گردد. وقتی بار میعانات کم باشد اندازهٔ روزنه کوچک است و (همانند تله‌های ضربه‌ای) احتمال بسته شدن آن وجود دارد. تله‌های روزنه‌ای برای تمام فشارها مناسب هستند و می‌توانند در برابر هر فشار معکوسی به خوبی کار کنند. مناسبترین کاربرد این تله‌ها در شرایطی است که فشار و مقدار میعانات نسبت به زمان تغییر نکند (مانند ساقهٔ تخلیهٔ خطوط اصلی بخار).

۱-۲-۳-۸ دریچه های هوا

در مسیر توزیع بخار، اگر هوا با بخار مخلوط شود و همراه آن جریان داشته باشد، پاکتهای هوایی در سطوح تبادل گرما جایی که بخار متراکم می شود باقی می مانند. به تدریج، یک لایه نازک تشکیل می شود و یک پتوی عایق ایجاد می کند، که مانع انتقال گرما می شود، همانطور که در شکل ۱-۲۶ نشان داده شده است.

رسانایی حرارتی هوا ۰/۰۲۵ $W/m^{\circ}C$ است، در حالی که مقدار متناظر برای آب معمولاً ۰/۶ $W/m^{\circ}C$ است، برای آهن حدود ۷۵ $W/m^{\circ}C$ و برای مس حدود ۳۹۰ $W/m^{\circ}C$ است. یک فیلم از هوا فقط ۱mm ضخامت تقریباً همان مقاومت در برابر جریان گرما را دارد که دیواره ای از مس با ضخامت ۱۵m دارد.



شکل ۱-۲۶. تاثیر هوا بر روی انتقال حرارت[۶]

البته بعید است که هوا به صورت یکنواخت درون مبدل حرارتی وجود داشته باشد. به احتمال زیاد، غلظت هوای نزدیک به سطح چگالش بالاتر و در فاصله دورتر است. اگر بخواهیم مقاومت خود را در برابر جریان گرما نشان دهیم، آسان است که به عنوان یک لایه همگن با آن برخورد کنیم.

وقتی هوا به بخار اضافه می شود، مقدار حرارت حجم معینی از مخلوط کمتر از همان حجم بخار خالص است، بنابراین دمای مخلوط کاهش می یابد. از این رو حضور هوا یک تأثیر مضاعف دارد:

- ✓ این مقاومت در برابر انتقال حرارت از طریق اثر لایه گذاری خود را ارائه می دهد.
- ✓ زیرا باعث کاهش درجه حرارت فضای بخار می شود بنابراین شیب دما را در سطح انتقال حرارت کاهش می دهد

در بسیاری از فرآیندها، برای دستیابی به تغییر شیمیایی یا فیزیکی در یک محصول، حداقل دما لازم است، همانطور که در دستگاه ضدعفونی کننده حداقل درجه حرارت ضروری است. وجود هوا به ویژه مشکل ساز است زیرا باعث انحراف فشار سنج می‌شود.

۱-۲-٤ مصارف نهایی

کاربردهای مختلفی از مصرف بخار در صنایع و کارخانه ها وجود دارد. نمونه هایی از کاربردهای متنوع بخار شامل گرمایش فرآیند، محرک مکانیکی، تعدیل واکنش های شیمیایی و تقسیم اجزای هیدروکربنی است. تجهیزات متداول سیستم بخار شامل مبدل های حرارتی، توربین ها، برج های جداسازی، استریپرها و ظروف واکنش شیمیایی است.

در یک مبدل حرارتی، بخار گرمای نهان خود را به یک سیال فرآیند منتقل می‌کند. تا زمانی که متراکم شود، بخار در مبدل حرارتی توسط یک تله بخار نگه داشته می‌شود. در همین زمان تله میعانات را به سیستم بازگشت میعانات منتقل می‌کند. در یک توربین، بخار انرژی خود را به کار مکانیکی تبدیل می‌کند تا ماشینهای دوار مانند پمپ ها، کمپرسورها یا ژنراتورهای الکتریکی را به حرکت درآورد. در برج های جداساز، بخار جداسازی اجزای مختلف سیال فرآیند را تسهیل می‌کند. در کاربردهای stripping، بخار آلودگی ها را از مایع فرآیند خارج می‌کند. بخار همچنین به عنوان منبع آب برای برخی واکنش های شیمیایی استفاده می شود. بعنوان مثال، در فرآیند بازیابی متان، بخار منبع هیدروژن است.

۱-۲-٤-۱ کندانسورها

کندانسورهای مولد بخار با توربین های بخار متراکم و با سیستم های خارج کننده چند مرحله ای مرتبط هستند. در کاربردهای توربین بخار، کندانسورها معمولاً در خلاء کار می‌کنند. بدین صورت که انرژی را از بخار خروجی توربین گرفته و سپس عملیات بازیابی میعانات را انجام می دهد. در کاربردهای انژکتور بخار، کندانسورها با متراکم کردن بخار محرک و مواد قابل تغلیظ کشیده شده از فرآیند، اثربخشی آنها را افزایش و میزان بخار محرک را کاهش می‌دهند. کندانسورها می توانند از نوع سطحی یا فشار سنج باشند. کندانسورهای سطحی با آب خنک کننده‌ای که از طریق لوله های کندانسور در گردش است، عمل نموده و یک سطح خنک را ایجاد می‌کنند که باعث میعان بخار می‌شود. میعانات معمولاً در یک چاه میعانات جمع شده و به سیستم برگشت میعانات پمپ می‌شود. کندانسورهای فشارسنجی به تماس مستقیم آب خنک کننده و بخار متکی هستند. در کاربردهای تصفیه نفت و تولید مواد شیمیایی، از کندانسورها برای غلیظ کردن اجزای مخلوط گازی نیز استفاده می‌شود. در این کاربردها، کندانسورها از یک ماده خنک کننده برای استخراج انرژی از گازها و جمع آوری اجزای متراکم استفاده می‌کنند.

۱-۲-٤-۲ برج‌های تقطیر

صنایع پالایش نفت و تولید مواد شیمیایی از مقادیر زیادی بخار برای تسهیل عملیات جداسازی نفت خام یا مواد اولیه شیمیایی به اجزای مختلف استفاده می‌کنند. این فرآیند جداسازی متکی بر اختلاف در نقاط جوش این اجزای هیدروکربن است. برج های جداسازی از کوره ای برای گرم کردن نفت خام بالاتر از ۷۰۰ °F استفاده می‌کنند. با جوشیدن و بالا آمدن اجزای فرار برج، آنها در سینی ها خنک و متراکم می‌شوند. بخار به قسمت زیرین این برج ها تزریق می شود تا فشارهای جزئی هیدروکربن ها کاهش یابد که جداسازی آنها را تسهیل می کند و تشکیل کک بر روی سطوح سینی و برج را کاهش می دهد.

۱-۲-٤-۳ خشک کن ها

خشک‌کن‌ها میزان آب یک ماده جامد را کاهش می‌دهند. خشک‌کن‌ها بیشترین کاربرد نهایی بخار در صنعت کاغذ و کاغذ را به خود اختصاص می‌دهند. صنایع شیمیایی، منسوجات و صنایع غذایی نیز از مقدار زیادی بخار برای خشک کردن استفاده می‌کنند. خشک‌کن‌ها می توانند غیر مستقیم یا مستقیم باشند. خشک‌کن‌های غیرمستقیم با انتقال انرژی از بخار متراکم، گازهای دودکش یا مایع فرآیند با درجه حرارت بالا به محصول خشک شده، رطوبت را از بین می‌برند.

خشک‌کن‌ها مانند اواپراتورها می‌توانند به صورت چند مرحله ای چیده شوند. خشک‌کن‌های بخار چند مرحله ای از مجموعه فشارهای بخار آبشاری استفاده می‌کنند، به این ترتیب بخار آزاد شده از یک مرحله بالادست می‌تواند بخار را به مرحله بعدی برساند. در بسیاری از خشک کن های چند مرحله ای، از ترموکمپرسور برای افزایش فشار بخار در مراحل پایین دست استفاده می‌شود.

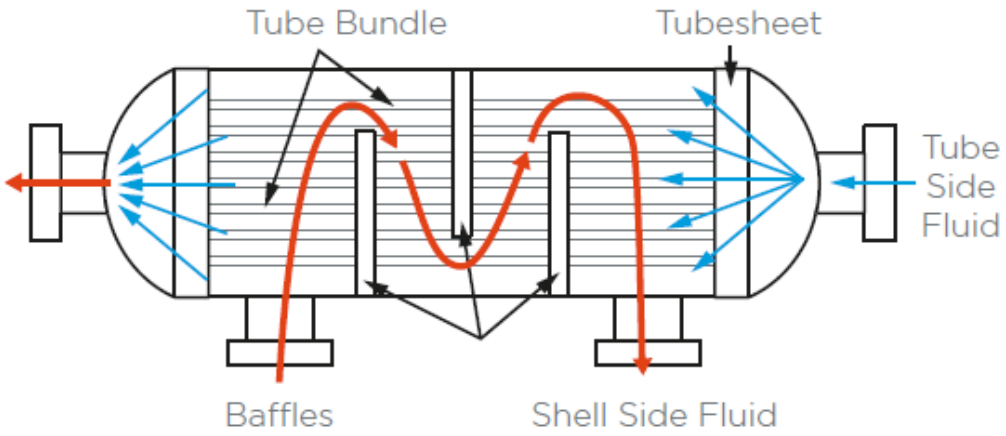
۱-۲-٤-٤ اواپراتورها

اواپراتورها میزان آب مایع را کاهش می‌دهند، به طوریکه با حرارت دادن از طریق بخار، مواد را غلیظ می‌کنند. از اواپراتورها در صنایعی مانند فرآوری مواد غذایی، تولید مواد شیمیایی، فولاد، محصولات جنگلی و منسوجات بسیار استفاده می‌شود. در بیشتر موارد، اواپراتورها مبدل های حرارتی پوسته و لوله هستند که بخار آن در سمت پوسته است و محصول در لوله ها متمرکز شده است. اواپراتورها می توانند تک اثره یا چند اثره باشند. اواپراتور تک اثره از بخار در یک مجموعه فشار و دما استفاده می‌کند تا بخار حاصل از محصول را جوش دهد. اواپراتورهای چند اثره بخار تولید شده از یک اواپراتور را گرفته و از آن برای گرم کردن محصول در اواپراتور فشار کم استفاده می‌کنند. اواپراتورهای چند اثره به طور کلی در عملیات تغلیظ مایعات، کارآمدتر از اواپراتورهای تک اثره هستند.

۱-۲-٤-۵ مبدل‌های حرارتی

مبدل‌های حرارتی انرژی گرمایی را از یک سیال به سیال دیگر منتقل می‌کنند. در تأسیسات تولیدی، بخار به دلایل زیادی منبع مشترک گرما است که برخی از آنها پیشتر مورد بحث قرار گرفتند. طیف گسترده ای از طرح های مبدل حرارتی وجود دارند که جهت گرمایش از بخار استفاده می‌کنند. در انتخاب مبدل حرارتی باید بسیاری از ملاحظات مربوط به نوع فرآیند و نوع محصول لحاظ شود. برخی از انواع مبدلهای حرارتی اصلی بکار گرفته شده عبارتند از:

- لوله ای
- صفحه و قاب
- ژاکت دار
- سیم پیچ



شکل ۱-۲۷. مبدل حرارتی پوسته و لوله

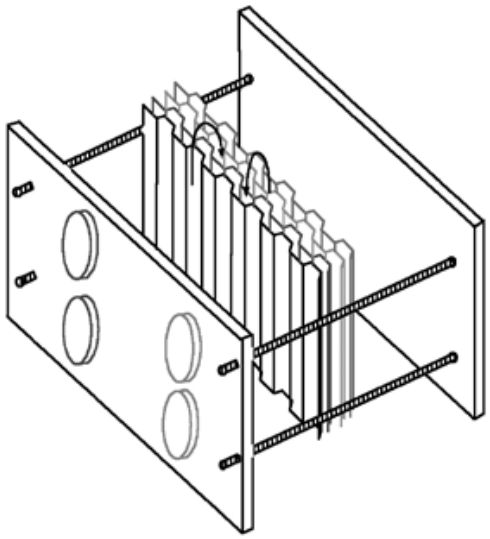
مبدل‌های حرارتی لوله‌ای

مبدل‌های حرارتی لوله‌ای، بسته‌های لوله‌ای هستند که توسط محیط گرم یا یک گرم کننده احاطه شده‌اند. این نوع مبدل‌های حرارتی شامل طرحهای لوله و پوسته و لوله پره ای هستند که در شکل ۱-۲۷ نشان داده شده است. مبدل‌های حرارتی لوله پره ای، اغلب برای گرم کردن هوا جهت خشک کردن و گرمایش فضا استفاده می‌شود. مبدل‌های حرارتی پوسته و لوله اغلب برای گرم شدن و تبخیر مایع استفاده می‌شود. از آنجا که سمت لوله مبدل‌های

حرارتی پوسته و لوله، می‌تواند جهت مقاومت در برابر فشارهای بالا طراحی شود، که گاهی اوقات از ۱۵۰۰ psig نیز بیشتر است، این نوع از مبدل‌های حرارتی اغلب در کاربردهای دما و فشار بالا استفاده می‌شوند.

مبدل‌های حرارتی صفحه‌ای

در مبدل‌های حرارتی صفحه ای، دو سیال تبادل گرما توسط صفحاتی از یکدیگر جدا می شوند. همانطور که در شکل ۱-۲۸ نشان داده شده، این صفحات موج دار یا رج دار هستند تا سطح موجود برای انتقال گرما افزایش یابد. مبدل‌های حرارتی صفحه ای اغلب در کاربردهای سیالاتی با ویسکوزیته پایین که خطر گرفتگی کمتر است، استفاده می‌شوند. انتهای صفحه به طور معمول توسط پوشش هایی با روکش واشر مهر و موم می‌شود که می‌تواند برداشته شده تا اجازه جدا شدن و تمیز کردن را بدهد. این نوع مبدل حرارتی هنگامی استفاده می‌شود که دما و فشار نسبتاً کم، معمولاً زیر $۳۰۰^{o}F$ و ۳۷۰psi باشد. در طراحی مبدل‌های حرارتی صفحه ای صفحات می توانند بهم جوش داده شده یا اینکه لحیم شوند. این امر، امکان استفاده در دمای بالاتر را فراهم کرده اما امکان تمیز کردن مکانیکی را از بین می‌برد.



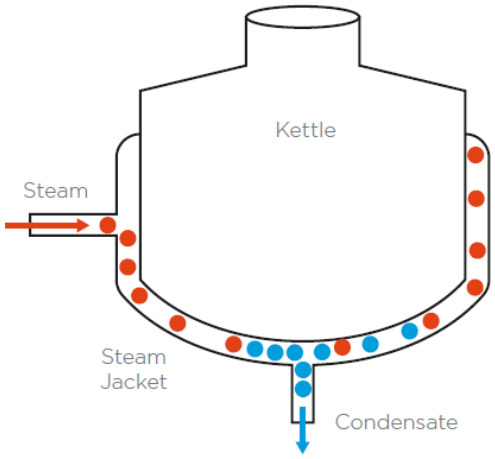
شکل ۱-۲۸. اجزاء یک مبدل‌های حرارتی صفحه‌ای

مبدل‌های حرارتی ژاکت دار

مبدل‌های حرارتی ژاکت دار از محفظه ای برای محصور کردن ظرفی که حاوی محصول گرم شده است استفاده می‌کنند. یک نمونه معمول از مبدل های حرارتی ژاکت دار، کتل ژاکت دار است. طرحی از یک مبدل حرارتی ژاکت دار در شکل ۱-۲۹ نشان داده شده است. مبدل های حرارتی ژاکت دار برای فرآیندهای بچ و برای انواع محصولاتی که تمایل به خراب شدن یا گرفتگی لوله یا سیم پیچ دارند، عملی هستند.

مبدل‌های حرارتی کویلی

مبدل‌های حرارتی سیم پیچ به طور مشخص از مجموعه سیم پیچهای غوطه ور در محیطی که در حال گرم شدن است استفاده می کنند. مبدل‌های حرارتی کویل به طور کلی جمع و جور هستند و یک منطقه انتقال حرارت بزرگ برای اندازه مبدل حرارتی ارائه می دهند.



شکل ۱-۲۹. اجزاء یک مبدل-های حرارتی ژاکت دار

۱-۲-٤-٦ ریبویلر

از ریبویلرها معمولاً در فرآیندهای تقطیر برای افزایش تفکیک اجزای مخلوطها استفاده می‌شود. ریبویلرها از گرما که غالباً توسط بخار تهیه می‌شود برای تبخیر اجزای فرار محصولی که از یک برج جداسازی خارج شده، استفاده می‌کنند. این اجزای فرار برای پردازش بیشتر به پایین دست برج جداساز ارسال می‌شوند.
اجزای باقیمانده مجدداً به برج جداسازی ارسال و یا برای فرآیند تقطیر خلاء ارسال می‌شوند. انواع مختلفی از ریبویلرها وجود دارند از جمله کتل ژاکت دار، کتل، ریبویلر داخلی و ریبویلر ترموسیفونی. تفاوت این طرح ها در نحوه گرم شدن محصول با بخار متفاوت است.

۱-۲-٤-۷ ریفرمر

معمولاً از ریفرمرهای بخار برای تولید هیدروژن از مواد اولیه هیدروکربنی مانند متان (بزرگترین جزء گاز طبیعی)، استفاده می شود. بطورکلی از هیدروژن در بسیاری از فرآیندهای تصفیه نفت و تولید مواد شیمیایی استفاده می‌شود. این نوع فرآیندها از بخار هم برای انرژی و هم به عنوان منبع هیدروژن استفاده می‌کنند. بخار با مواد اولیه هیدروکربن تزریق می شود تا واکنش زیر را آغاز کند:

$$CH_4 + H_2O \rightarrow CO + 3H_2$$

ریفرمرها اغلب مراحل ثانویه دارند که برای تبدیل مونوکسیدکربن به دی اکسید کربن و هیدروژن اضافی نیز استفاده می‌شوند. اگرچه مقادیر زیادی بخار در طول فرآیند اصلاح استفاده می‌گردد، اما مقداری بخار نیز توسط ریفرمرها تولید می شود که گاهی برای مصارف دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۱-۲-٤-۸ اجکتورهای بخار

اجکتورهای بخار از جریان بخار از طریق یک نازل برای ایجاد خلاء استفاده می‌کنند، (مشابه با ترموکمپرسور). آنها در انواع مختلف از فرآیندها و تجهیزات فرآیندی مورد استفاده قرار می‌گیرند. بطورکلی شرایط پایین فشار باعث تبخیر مایعات در دمای پایین می‌یابد. در نتیجه، بسیاری از فرآیندهای تولید مواد شیمیایی از اجکتورهای بخار برای

افزایش غلظت یک محصول استفاده می‌کنند. در تصفیه نفت، معمولاً از اجکتور بخار در برج های جداساز تقطیر در خلا جهت محصولات هیدروکربن سنگین استفاده می‌شود. از اجکتورهای بخار برای شروع و حفظ شرایط خلا در کندانسورهای توربین چگالش نیز استفاده می‌شود.

۱-۲-٤-۹ انژکتورهای بخار

به طور کلی انژکتورهای بخار برای اهداف گرمایشی، تزریق بخار مستقیم به مخزن یا لوله حاوی مایع فرآیندی استفاده می‌شوند. بسیاری از انواع انژکتورها از نازل و یک پخش کننده برای کشیدن مایع فرآیندی به درون بخار قبل از تزریق مخلوط به مایع فرآیند استفاده می‌کنند تا بدین ترتیب توزیع یکنواخت گرما ایجاد شود. از ویژگیهای مهم عملکرد انژکتورها می توان به کنترل دقیق مقدار بخار تزریق شده و مخلوط موثر بخار و فرآیند اشاره کرد.

۱-۲-٤-۱۰ توربین‌های بخار

از توربین های بخار برای راه اندازی ژنراتورهای الکتریکی یا سایر ماشین آلات دوار مانند کمپرسورها، پمپها و فن ها استفاده می‌شود. بسته به نیاز نسبی بخار، برق یا سایر بارهای مکانیکی، از توربین های بخار در طرح های مختلف در فرآیندها استفاده می شود. توربین های بخار ابزاری موثر برای کاهش فشار بخار هنگام استخراج کار مکانیکی را فراهم می‌کنند.

برخی توربین ها چند مرحله ای هستند که باعث می شود بخار قبل از رسیدن به اگزوز توربین، در فشارهای مختلف استخراج و قابل دسترسی شود. این امر انعطاف پذیری توربین را در تأمین نیازهای مختلف بخار و بار مکانیکی در فرآیند را فراهم می‌کند. به عنوان مثال، اگر توربین به یک ژنراتور الکتریکی متصل باشد، تنظیم مقدار بخار استخراج شده می تواند باعث تولید نیروی الکتریکی بیشتر یا کمتر شود، در حالی که بخار کمتر یا بیشتری را در اختیار پلنت قرار می‌دهد.

توربین های فشار برگشتی

توربین‌های فشار برگشتی بخار را در فشارهایی که از اتمسفر بیشتر است تولید می کنند و سپس این بخار خروجی برای سایر خدمات در فرآیند استفاده می شود. با استخراج کار مکانیکی از بخار، توربین های فشار برگشتی می‌توانند یک وسیله‌ای کارآمد برای تأمین بخار فشار پایین از یک هدر فشار بالا را فراهم کنند.

توربین های چگالشی

توربین های چگالشی بخار را به شرایط خلاء تخلیه می کنند. این بخار در یک مبدل حرارتی متراکم شده که از آن به عنوان کندانسور یاد می شود و به سیستم برگشت میعانات منتقل می شود. توربین های چگالشی معمولاً برای متراکم شدن بخار به منبع آب خنک کننده نیاز دارند.

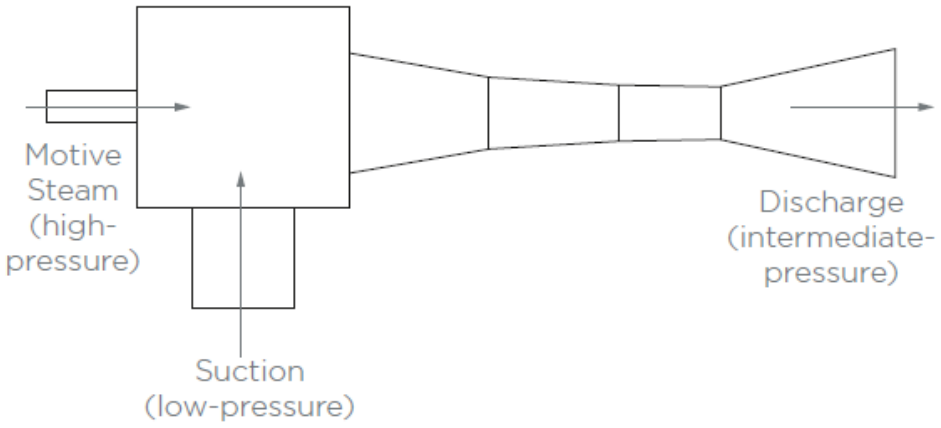
۱-۲-٤-۱۱استریپرها

استریپرهای بخار برای از بین بردن آلاینده ها از محلول استفاده می شوند. استریپرها معمولاً در مصارف تصفیه نفت و تولید مواد شیمیایی دیده می شوند، جایی که محلولهای فرآیندی حاوی اجزایی هستند که دارای نقاط جوش مختلف بوده و حذف یک یا چند جزء مورد نظر است.

تزریق بخار به محلول فرآیندی، فشار جزئی اجزای فرار را کاهش داده و به برخی از آنها اجازه می دهد بخار شده و با بخار دور شوند. بخار همچنین می‌تواند درجه حرارت مخلوط را افزایش دهد. غالباً بخار و آلاینده‌ها متراکم و جدا می‌شوند و در نتیجه امکان بازیافت میعانات و دفع یا جداسازی بیشتر آلاینده را فراهم می‌کنند.

۱-۲-٤-۱۲ ترموکمپرسورها

ترموکمپرسورها بخار فشار بالا و فشار کم را با هم ترکیب و یک بخار فشار متوسط ایجاد می‌کنند، شکل ۱-۳۰. غالباً بخار کم فشار انرژی کافی برای استفاده عملی ندارد، اما تخلیه آن به سیستم برگشت میعانات نیز می‌تواند اتلاف انرژی غیرضروری باشد. ترموکمپرسها از یک منبع بخار فشار بالا برای بازیابی انرژی از این منبع فشار کم استفاده می‌کنند و منبع بخار متوسطی را فراهم کرده که می توان به راحتی از آن استفاده نمود.



شکل ۱-۳۰. عملیات ترموکمپرسور

۱-۲-٤-۱۳ تجهیزات تهویه و کنترل

تجهیزات تهویه مطبوع به طور کلی برای بهبود عملکرد یا محافظت از تجهیزات اصلی در فرآیند استفاده می‌شود. به عنوان مثال، از desuperheaters اغلب برای کنترل انرژی منبع بخار ارسالی به تجهیزات مصرف کننده نهایی جهت کاهش خطر آسیب به تجهیزات یا بهبود موثر کنترل درجه حرارت فرآیند استفاده می‌شود.

Desuperheater

هدف از یک desuperheater این است که بخار سوپرهیت را از بخار نرمال خارج کند. اکثر تجهیزات گرمایش و فرآیندی کارایی بیشتری در استفاده از بخار اشباع شده به جای بخار فوق گرم دارند. desuperheaters جریانی از آب با خلوص بالا مانند میعانات را به جریان بخار تزریق می‌کنند. در نتیجه این عمل، بخار سوپرهیت گرما را به جریان آب داده و با این کار دمای آن را کاهش می دهد.

۱-۲-٤-۱٤خلاء شکن‌ها

وقتی جریان بخار به درون بخشی از سیستم بخار وارد می شود، اگر میزان استفاده از بخار پایین دست از میزان بخار بیشتر باشد، فشار کاهش یافته و شرایط خلاء ایجاد می‌شود. شرایط خلاء همچنین زمانی ایجاد می‌شود که بار در مبدل حرارتی به طور قابل توجهی کمتر از ظرفیت مبدل حرارتی باشد.
اگر فشار در مبدل حرارتی بیش از حد کاهش یابد، میعانات به دلیل فشار بیشتر در سمت پایین تله تخلیه نمی‌شوند. در صورت عدم اصلاح، سطح میعانات در مبدل حرارتی افزایش یافته و باعث کاهش سطح انتقال حرارت موجود و در نتیجه افزایش خطر خوردگی توسط میعانات می‌شود. لذا خلاءشکن‌ها وسیله‌ای تحت فشار هستند که اساساً مبدل حرارتی یا بخشی از سیستم را که در آن خلاء ایجاد شده است، تخلیه می کنند. با ورود هوا هنگام باز شدن، خلاءشکن ها فشار را برگردانده و اجازه می‌دهند تا میعانات تخلیه شود.

۱-۲-٤-۱۵ دریچه های هوا

قبل از راه‌اندازی، سیستم بخار حاوی هوایی است که باید خارج شود. وجود هوا در سیستم بخار باعث کاهش اثر انتقال حرارت و خوردگی میعانات می‌شود. دریچه های هوا این هوا را از بین می‌برند. دریچه‌های هوا اغلب وسایل ترموستاتیکی هستند و مشابه تله های بخار ترموستاتیک به اختلاف دما بین هوا و بخار متکی هستند. هنگامی که در سمت سیستم در معرض دمای پایین هوا قرار بگیرید، دریچه باز می‌شود. با رسیدن بخار دمای بالاتر به دریچه ،دریچه بسته می شود و از فرار بخار جلوگیری می‌کند.

۱-۲-٤-۱٦ تله‌های بخار

وجود تله‌های بخار جهت عملکرد صحیح تجهیزات مصرف کننده نهایی در یک سیستم بخار بسیار مهم هستند. تله های بخار سبب از بین رفتن میعانات با افت جزئی بخار و یا اصولاً بدون افت بخار می‌شوند. تله بخار باید به میعانات اجازه عبور داده و بخار را در فرآیند نگاه دارد. اگر انتقال حرارت خوب برای فرآیند حیاتی باشد بنابراین میعانات باید فوراً با دمای بخار تخلیه شود. نشت بخار در این نقطه باعث ناکارآمدی سیستم شده و کاملاً غیر اقتصادی است .
تجربه نشان داده که یک تله بخار خوب باید قابل اطمینان نیز باشد، یعنی با کمترین رسیدگی، عملکردی بهینه داشته باشد. دلایل عدم اطمینان از این قرار است:

- ✓ خوردگی
- ✓ ضربه قوچ (چکش آبی)
- ✓ تجمع کثیفی و گرد و غبار

اتلاف بیش از حد بخار منجر به تلفات اقتصادی می‌شود، از طرفی عدم خروج میعانات نیز باعث عملکرد ضعیف و در نتیجه منجر به پدیده چکش آب شود. تله‌ها همچنین می‌توانند گازهای غیر قابل چگالشی که عملکرد مبدل حرارتی را تحت تأثیر قرار می دهند را کاهش دهند.

۱-۲-٤-۱۷ عایقکاری

معمولاً تجهیزات مصرف کننده نهایی بخار مانند مبدل‌های حرارتی و توربینها به دلیل اتلاف حرارت قابل توجهی که در سطوح بیرونی این تجهیزات رخ می دهند، باید عایق بندی شوند. در مواردی که تجهیزات مورد نظر نیاز به بازرسی یا نگهداری مکرر دارند باید عایق های متحرک را در نظر گرفت.

۱-۲-٤-۱۸ چیلرهای جذبی

چیلرهای جذبی با استفاده از تغییرات جالب چرخه فشرده‌سازی بخار، جهت خنک‌سازی بکار گرفته می شوند. به جای کمپرسور که به طور کلی در انواع چیلرها استفاده می شود، چیلرهای جذبی از توانایی یک ماده در جذب مبرد در یک دمای ثابت استفاده کرده و سپس آن را در ماده دیگر آزاد می‌کنند. بعنوان مثال در سیستم های مبتنی بر آمونیاک، آب جاذب و آمونیاک مبرد است.

در سیستم‌های مبتنی بر لیتیوم بروماید، لیتیوم بروماید جاذب است در حالی که آب مبرد است. در یک چیلر جذبی برای افزایش فشار مبرد از پمپ به جای کمپرسور استفاده می‌شود. هنگامی که فشار آن بیشتر شود، محلول جاذب / منجمد کننده غالباً با بخار که مبرد را آزاد می کند، گرم می شود.

اگرچه چیلرهای جذبی نسبت به چیلرهای سنتی معمولاً ضرایب عملکرد (COP) کمتری که نشان دهنده کارایی ترمودینامیکی کمتر است را نشان می دهند، اما از برق کمتری در هر واحد خنک کننده استفاده کرده و برای بکارگیری در سیستم‌های بخار مناسب تر هستند.

۱-۲-٤-۱۹ رطوبت‌سازها

رطوبت‌سازها بخار را به هوا یا منبع گاز دیگری تزریق می‌کنند تا محتوای بخار آب آن افزایش یابد. در مرطوب‌سازی از بخار به عنوان منبع آب و انرژی استفاده می‌شود. عملیات رطوبت سازی در صنعت تولید مواد شیمیایی بیشتر یافت می‌شود، زیرا که کنترل درجه حرارت محیط و میزان رطوبت برای کیفیت محصول بسیار مهم است.

۱-۲-٤-۲۰ پیش گرمایش مجدد سیم پیچ های کنترل هوا

در حالی که گاهی از بخار در عملیات گرمایش جهت پیش گرم شدن و گرم شدن هوا استفاده می‌شود، روش‌های کارآمد دیگری نیز برای کنترل میزان رطوبت محیط وجود دارد. در بسیاری از سیستم‌های HVAC، هوای مطبوع باید دما و رطوبت خود را تنظیم کند. در فرآیندهای پیش گرم، از بخار برای گرم کردن منبع هوا استفاده می‌شود که به طور معمول مخلوطی از هوای برگشتی و هوای خارج است. سپس هوا برای دستیابی به رطوبت و درجه حرارت خاصی مطبوع می‌گردد. در عملیات گرمایش مجدد، هوا تا یک نقطه شبنم خاص خنک می‌شود تا آب را از بین برده و به رطوبت مطلوب برساند. در نتیجه، قبل از اینکه هوا به محیط کار برگردانده شود، کویل های بخار باید جریان هوای فرآیند را تا دمای مناسب گرم کنند. در هر دو برنامه گرم کردن و پیش گرم کردن، به طور کلی از مبدل‌های حرارتی لوله پره‌ای استفاده می‌شود.

۱-۲-٤-۲۱ ردیابی

در کاربردهای ردیابی، بخار جهت حفظ دمای مایع در مسیر لوله های موجود در سیستم توریع بخار استفاده می‌شود. یک کاربرد متداول خطوط ردیابی، جلوگیری از یخزدگی مایع فرآیند در لوله‌کشی ها است که خارج از یک منطقه تحت کنترل دما کار می‌کند. از آنجا که خطوط ردیابی در معرض شرایط انجماد قرار دارند، عایق بندی مناسب جریان بخار و تخلیه میعانات برای جلوگیری از یخ زدگی خطوط ردیابی بسیار ضروری است.

۱-۲-٤-۲۲ مترها

مترهای بخار برای اندازه گیری جریان بخار استفاده می شوند و برای ردیابی استفاده از بخار در یک قسمت خاص از سیستم بخار یا یک مصرف کننده نهایی خاص مهم هستند.

۱-۲-۵ بازیابی کندانس

سیستم برگشت میعانات (کندانس)، میعانات را به بویلر می‌فرستد. میعانات گازی در یک مخزن جمع آوری می‌شود. گاهی اوقات آب makeup و مواد شیمیایی به این مخزن اضافه می‌شوند، در حالی که بعضی اوقات نیز این کار در deaerator انجام می‌شود. از مخزن جمع آوری، میعانات به مایع گیرنده پمپ می‌شود که اکسیژن و گازهای غیر قابل تغلیظ را از بین می‌برد. پمپ‌های تغذیه بویلر، خوراک ورودی را به بالاتر از فشار بویلر افزایش می‌دهند و آن را به بویلر تزریق می‌کنند تا چرخه کامل شود.
بازیابی میعانات گازی از سیستم‌های بخار به لوله‌کشی، جمع‌آوری مخازن، تجهیزات پمپاژ و در بسیاری از موارد، جداکننده های بخار فلش، کنتورها و تجهیزات فیلتراسیون و پاکسازی نیاز دارد. با این حال، صرفه‌جویی در هزینه‌های حاصل از خرید، تصفیه و گرمایش آب make up، اغلب سرمایه گذاری در سیستم های بازیافت میعانات را بسیار عملی می‌کند.

۱-۲-۵-۱ لوله برگشتی میعانات

لوله‌های برگشتی میعانات تولیدی در سیستم بخار را به مبدأ تولید انتقال می‌دهند. لوله‌کشی میعانات باید اندازه و عایق بندی مناسبی داشته باشد. اگرچه نصب قطرهای بزرگتر لوله گران تر است، اما لوله‌های بزرگتر افت فشار کمتری را برای یک دبی مشخص ایجاد می‌کنند. این امر باعث کاهش بار پمپ های میعانات می‌شود. قطرهای بزرگتر لوله همچنین صدای مرتبط با جریان میعانات را کاهش داده و برای حمل بخار فلش نیز مناسب ترند. عایق بندی صحیح لوله های میعانات گازی کمک زیادی به حفظ انرژی گرمایی جریان می‌کند، که خود افزایش عملکرد سیستم بازیابی میعانات را فراهم می‌آورد.

۱-۲-۵-۲ عایقکاری

اجرای عایقکاری ضمن دستیابی به منافع صرفه جویی انرژی در واحدهای فرآیندی، مزایای ایمنی مهمی هم در پی خواهد داشت. از نظر صرفه جویی در مصرف انرژی، عایقکاری باعث کاهش اتلاف گرما از لوله های میعانات و سطوح تجهیزات بازیابی می‌شود. کاهش این اتلاف گرما همچنین می تواند از بار سیستم های خنک کننده نیز بکاهد. از

نظر ایمنی، عایقکاری باعث کاهش دمای سطح خارجی لوله کشی ها و سطوح مختلف تجهیزات و همچنین کاهش خطر سوختگی می‌شود.

۱-۲-۵-۳ مخازن گیرنده میعانات

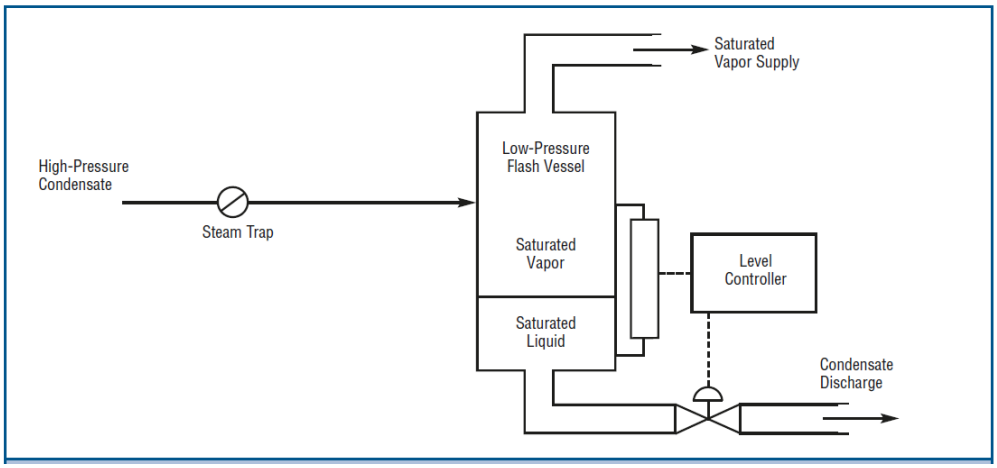
مخازن گیرنده میعانات، کلیه میعانات را از بخشهای مختلف سیستم بخار جمع آوری و در خود ذخیره می‌کنند. این مخازن معمولاً با فاصله در کنار سیستم میعانات گازی قرار گرفته و به کمک پمپ های ویژه، میعانات به آنها منتقل می‌شوند. میزان جریان های میعانات به دلیل تقاضاهای متفاوت بخار به خصوص در هنگام راه اندازی سیستم، می توانند بسیار متغیر باشند. مخازن گیرنده با ذخیره‌سازی میعانات، اثرات این جریانهای متغیر را بر روی پمپ های میعانات به حداقل می‌رسانند. از آنجا که بسیاری از پمپ‌های میعانات از نوع گریز از مرکز هستند، حفظ فشار مکش خاص برای جلوگیری از آسیب دیدگی مهم است. ببدین ترتیب که با حفظ حداقل سطح میعانات، مخازن گیرنده فشار استاتیک کافی را برای جلوگیری از ایجاد حفره تأمین می‌کنند.
بنابراین اکثر سیستم ها شامل یک مخزن بزرگ گیرنده میعانات هستند که تمام میعانات برگشتی از سیستم را جمع می کند. این مخزن همچنین ممکن است برای ذخیره آب قبل از تصفیه نیز استفاده شود.

۱-۲-۵-٤ پمپ های میعانات گازی

پمپ های میعانات، میعانات را از مخازن گیرنده به محل بویلر منتقل می کنند. درایور پمپ های میعانات گازی را می‌توان از موتورهای الکتریکی یا بخار و هوای فشرده، بسته به میزان دسترسی این منابع، تعبیه کرد. پمپ های میعانات معمولاً از نوع پمپ های گریز از مرکز هستند. پمپ های میعانات گازی بخار یا هوای فشرده در جاهایی استفاده می‌شود که پمپ های الکتریکی مناسب نباشند و به طور کلی این پمپ ها از نوع تحت فشار هستند. پمپ های میعانات گازی می توانند بر روی عملکرد تجهیزات مصرف کننده نهایی بخار نیز موثر باشد. استفاده بهینه و موثر از پمپ های میعانات، سبب انتقال سریع میعانات از تجهیزات مصرف کننده و افزایش عملکرد آنها شوند.

۱-۲-۵-۵ سیستم بازیابی بخار فلش

همانطور که در شکل ۱-۳۱ نشان داده شده است، مخازن بخار فلش امکان بازیافت بخار از خطوط میعانات را فراهم می‌کنند. مخازن بخار فلش با حذف بخار از سیستم میعانات، یک منبع کارآمد بخار را برای مصارف نهایی با فشار کم فراهم می‌کنند. به عنوان مثال، میعانات ۲۵۰ درجه فارنهایت دارای فشار اشباع حدود ۱۵ psig است. در نتیجه، بخار جدا شده توسط مخازن بخار فلاش را می‌توان در عملیاتهایی که به بخار با فشار کم نیاز دارند، مانند گرم کردن محیط و پیش گرم کردن استفاده کرد.



شکل ۱-۳۱. سیستم بازیابی بخار فلش.

۱-۲-۵-۶ کنتورهای میعانات گازی

کنتورهای میعانات گازی میزان جریان میعانات را در سیستم برگشت اندازه گیری می‌کنند. دانستن میزان جریان میعانات می تواند در نظارت بر سیستم میعانات و وضعیت تله های بخار مفید باشد. کنتورهای میعانات گازی اغلب از نوع چرخشی درون خطی هستند و برای اندازه‌گیری سرعت جریان به چرخش توربین متکی هستند.

۱-۲-۵-۷ تجهیزات تصفیه و پاکسازی

در بسیاری از سیستم‌ها، جریان بخار و میعانات باعث زنگ زدگی و آلودگی می‌شوند که یا از بویلر منتقل یا در لوله های فولاد کربن و در سطوح تبادل حرارت آلیاژ مس ایجاد می‌گردند. اگرچه از صاف کننده‌ها و فیلترها برای گرفتن ذرات معلق استفاده می‌شود، برخی از آلاینده‌ها در میعانات حل می‌شوند و در صورت بازگشت به بویلر می‌توانند مشکلاتی ایجاد کنند. در سیستم‌هایی که به سطح تمیزی بالایی نیاز دارند، از صیقل دهنده‌های میعانات استفاده می‌شود. صیقل دهنده‌های میعانات با استفاده از تبادل یونی این آلودگی ها را از بین می‌برند و از قرارگیری مجدد این آلودگی‌ها روی سطوح بویلر جلوگیری می‌کنند.

۱-۳ پتانسیلهای صرفه جویی انرژی در بخش‌های تولید و توزیع بخار

۱-۳-۱ بهبود سیستم تولید بخار

۱-۳-۱-۱ استفاده از بخار به جای روغن یا سیستم های آب گرم

به طور کلی بخار برای گرم کردن در فرآیندهای صنعتی بزرگ استفاده می شود. به طور سنتی بخار به عنوان واسطه توزیع برای گرم کردن در مکان‌های بزرگتر که در آنها مسیر لوله‌کشی طولانی وجود دارد، استفاده می‌شود. غالباً یک سایت هم دارای بخار و هم آب گرم برای گرمایش می‌باشد. جذابیت اصلی بخار برای کاربران صنعتی با تنوع مورد نیاز حرارتی، کاربرد همه کاره آن است. این امر به ویژه برای سایتهایی که انتشار گرما در دمای ثابت یا تزریق مستقیم بخار به یک فرآیند ارجحیت دارد، صادق است. بخار مزایای مختلفی دارد که از از جمله آنکه از آب تولید می شود، به این معنی که تمیز، بی رنگ و بی مزه است و آن را به یک گرمای نسبتاً ارزان و فراوان تبدیل می‌کند.

بخار دارای محتوای حرارتی بسیار بالایی است که در نتیجه آن به لوله‌کشی با قطر کمتری نیاز است که مقدار بیشتری گرما نسبت به آب با همان فشار را حمل می‌کند. توانایی آن برای آزاد کردن گرما در دمای ثابت به ویژه در عملیات فرآیندی مهم که می تواند طراحیهای پلنت را ساده کند، بسیار سودمند است. می‌توان آن را به راحتی توزیع و کنترل کرد. این امکان را می‌دهد که به راحتی با گسترش سیستم توزیع بخار بدون در نظر گرفتن پمپاژ و تعادل جریان در دسترس کاربران جدید قرار گیرد. بخار ماده استریل است و باعث می‌شود اولین انتخاب برای انجام کارهای ضدعفونی و رطوبت باشد. با این حال، هنگام مقایسه سیستم بخار با سیستم‌های آب تحت فشار، همه این مزایا دیگرمهم و حائز اهمیت نیستند.

مشکل عملیاتی بخار این است که تحت فشار توزیع می‌شود و این بدان معناست که بدلیل عدم وجود نشتی در سیستم، بسیار پرهزینه خواهد بود. این امر در مورد خرابی تجهیزات مانند تله‌های بخار نیز وجود دارد که در صورت باز نشدن، بخار آزادانه تخلیه می شود اما در صورت خرابی بسته شده، شرایط گرمایی را تأمین نمی‌کند و نگرانی‌های بیشتری در مورد ایمنی وجود دارد.

در مواردی که بخار تولید، توزیع و مصرف می‌شود، نیاز به استاندارد بالا برای نگهداری و روشهای عملیاتی مناسب وجود دارد. اگر چنین تعهدی وجود نداشته باشد، برای کنترل خودکار تولید و توزیع بخار، باید تجهیزات گران قیمت نصب شود. در بسیاری از موارد، حتی با رویه های مناسب، نصب تجهیزات کنترل اضافی در حال استاندارد شدن است. استفاده موثر از محصولات جانبی سیستم بخار می تواند عملکرد کلی را تا حد زیادی افزایش دهد. در عملیاتی که نیاز به استفاده از بخار به عنوان جزئی جدایی ناپذیر از یک فرایند است، باید تلاشهای افزونتری جهت استفاده بهینه از انرژی باقی مانده در بخار و آب با دمای نسبتاً بالا انجام گردد.

۱-۳-۱-۲ استفاده از سیستم‌های آب داغ

سیستم آب گرم از پمپ برای گردش آب در مدار بسته لوله های موجود در فرآیند استفاده می‌کند. سادگی و پایین بودن هزینه‌های این سیستم در کنار برخی ملاحظات فرآیندی، استفاده از آب گرم در فشارهای مختلف را نسبت به بخار ارجح می سازد.

۱-۳-۱-۳ استفاده از سیستم‌های آب داغ کم فشار

این سیستمها مزایای مختلفی دارند. مخزن تغذیه (یا مخزن تحت فشار) امکان انبساط حرارتی را فراهم می کند در حالی که بویلر تنها گرما را تأمین می کند. دمای سطح مبدل های حرارتی پایین است (^{o}C ۸۵>) و لذا حداقل نگرانی های ایمنی در فرآیند وجود دارد. استفاده از مایع در فشار کم به این معنی است که نشت آب گرم نیز بسیار کم رخ می دهد. با تلفات محدود یا بدون تلفات، نیاز به تصفیه آب حداقل خواهد بود. جدا از اتلاف حرارت حاصل از لوله‌کشی توزیع، تمام گرمای استفاده نشده به بویلر برمی‌گردد. دمای عملیاتی و فشار پایین تر در کنار هم، یک سیستم ارزان قیمت که به راحتی قابل نگهداری و مونیتورینگ است را در دسترس قرار می دهد.

۱-۳-۱-٤ استفاده از سیستم‌های آب داغ دما بالا

برای استفاده از مزایای آب گرم، می‌توان سیستمها را طوری طراحی کرد که در فشارها و دماهای بالاتر نیز کار کنند. در سیستمهای بزرگتر، جهت دستیابی به فشارهای بالاتر، از یک مخزن تحت فشار / تحت انبساط استفاده می شود.

مزیت سیستمهای آب داغ، پایین بودن هزینه های سرمایه‌گذاری آن نسبت به بویلر و سیستم توزیع است. اما در این میان پارامتر مهم اندازه لوله‌ها برای تأمین مقادیر قابل مقایسه گرما در یک دمای مشخص، استفاده از بخار را ترجیح می‌دهد. از سوی دیگر از معایب این سیستمها می‌توان به هزینه‌های عملیاتی بالاتر آنها اشاره کرد. به عنوان مثال، هزینه‌های جریان الکتریکی مربوط به پمپاژ آب در مدار مربوطه بیشتر از نیاز پمپ تغذیه بخار است. همچینی در یک سیستم بزرگ آب داغ، هزینه‌های پمپاژ می‌تواند قابل توجه باشد، در حالیکه بخار در لوله‌های عایق‌بندی شده خوب می‌تواند تا چندین کیلومتر بدون کمک حرکت کند.

۱-۳-۱-۵ استفاده از سیستم‌های روغن داغ

روغنها بعضاً به عنوان واسطه انتقال گرما انتخاب می شوند. استفاده از سیستم های سیال حرارتی محدود به تنظیمات گرمایش فرآیند است که در آن دمای بالاتر (^{o}C ۲۰۰- ۴۰۰) مورد نیاز است. استفاده از آنها برای گرمایش و یا سایر کارهایی که می توان از آب گرم یا بخار فشار متوسط استفاده کرد، به طور معمول قابل توجیه نیست. مزیت آنها دمای عملیاتی بالاتری است که بدون نیاز به فشارهای زیاد مورد نظر سیستم های بخار به دست می‌آید.
مشکل روغن داغ گرانی قابل توجه آن نسبت به آب است و در صورت بروز نشتی برای پرسنل خطرناک تر بوده و به محصول یا محیط زیست نیز آسیب می رساند. البته طراحی خوب، ایجاد سیستم‌های لوله‌کشی کاملاً جوش داده شده و سیستم های ایمنی مانند نظارت و مونیتورینگ، این خطرات را کاهش می‌دهد.

۱-۳-۱-۶ تصفیه آب ورودی

بمنظور افزایش کارایی انرژی در بویلرهای بخار و هیترهای آب گرم، انجام عملیات تصفیه آب ضروری است. ناخالصی های موجود در آب طبیعی منجر به خوردگی، رسوب و آلودگی بخار می شود. یک برنامه تصفیه آب خوب شامل تنظیم مقادیر هدف برای پارامترهای عملیاتی مانند PH ، قلیایی بودن، جامدات محلول (TDS)، سختی و نظارت جهت اطمینان از دستیابی به این اهداف است. علاوه بر صرفه جویی در انرژی، یک برنامه تصفیه آب مناسب سبب کاهش هزینه‌های آب و مواد شیمیایی و نگهداری أنها می‌شود.
تصفیه آب می تواند خارجی و داخلی باشد. تصفیه خارجی شامل استفاده از پلنت مهندسی برای اصلاح یا حذف ناخالصی های ناشی از آب ورودی به سیستم بویلر است. این تکنیک ها شامل تبادل یونی، اسمز معکوس و de-aeration هستند. تصفیه داخلی شامل افزودن مواد شیمیایی به طور مستقیم به آب بویلر برای اصلاح شیمی آب و در نتیجه جلوگیری از تشکیل مقیاس و خوردگی است. برخی از سیستم ها نیزجهت دستیابی به شیمی بهینه آب بویلر و در نتیجه عملکرد کارآمدتر انرژی، به ترکیب تصفیه داخلی و داخلی نیاز داشته باشند.

۱-۳-۱-۷ بهبود کارآیی بویلر

راندمان عملیاتی بویلزها می بایست بالاتر از ۷۵٪ باشد. حال اگر بویلر کارآیی لازم را نداشته باشد، لازم است برای بهبود این امر اقداماتی انجام شود. بازده تولید بخار تحت عنوان نسبت مقدار کالری در سوختی که به بخار خروجی تبدیل می‌شود، تعریف می‌گردد:

بازده (٪)= گرمای موجود در بخار/ گرمای اضافی بعنوان سوخت

تعیین عملکرد کلی بویلر هنگام ارزیابی هزینه های عملیاتی ضروری است. این مسئله می‌تواند تحت تأثیر عوامل زیادی از جمله تلفات ناشی از دمنده بویلر، استفاده از بویلرهای stand by، عملکرد بویلر با ظرفیت کم تر و اتلاف انرژی در داخل بویلر باشد.

۱-۳-۱-۸ بهینه سازی شرایط احتراق

با هدف به حداقل رساندن اکسیژن موجود در گاز دودکش، بدون تولید مقادیر بیش از حد مونوکسیدکربن، لازم است شرایط احتراق مرتباً بررسی و به طور خودکار کنترل شوند.

۱-۳-۱-۹ بهبودبخشی روش‌های عملکرد و کنترلهای بویلر

- ❖ کاهش تلفات مربوط به عملیات بویلر در بارهای کم.
- ❖ کاهش روشن/خاموش شدن پی در پی دیگ‌های بخار در پاسخ به بارگیری
- ❖ حذف بویلرهای بخار مورد نیاز در حالت استندبای
- ❖ حداقل سازی تعداد دیگ‌های بخار

۱-۳-۱-۱۰نصب دمپرهای جداسازی گاز دودکش

با قرار دادن یک دمپر عایق بر روی ورودی هوا به درون فنهای هوای احتراق، از کشیدن هوای بویلرها در هنگام عملیات جلوگیری شده و بدین ترتیب بخشی از تلفات مقاوم نیز کاهش می یابد.

.

۱-۳-۲ بهبود سیستم توزیع بخار

در فرآیند تولید و توزیع بخار با توجه به تغییرات فشار، دما و .. در طی تولید و توزیع بخار، پدیده‌هایی رخ می‌دهند که سبب ایجاد اختلال در عملکرد این سیستم‌ها می شوند که مهندسین بسیاری برای حل این دست مشکلات راهکارها و تجهیزات مختلفی را پیشنهاد کرده‌اند. در خطوط توزیع بخار همواره مقداری از بخار جاری در لوله‌ها به میعانات تبدیل می‌شود که البته این میعانات مشکل ساز بوده و سبب ایجاد خوردگی و سر و صدا و اختلال در سیستم توزیع خواهد شد لذا برای پیشگیری از این مشکل از تله‌های بخار استفاده می‌شود. مخلوط بخار و میعانات موجود در لوله‌ها که معمولا در دمای بالایی قرار دارند وارد تله‌های بخار شده و تله بخار، میعانات را از لوله حامل بخار خارج می‌کند. این میعانات گرم و فشار بالا ازخط حامل بخار خارج شده و وارد محیطی با فشار اتمسفر می‌شود. با این اتفاق افت فشاری در میعانات بوجود می‌آید که موجب می‌شود میعانات در دمای پایین‌تری تبخیر شده و بخشی از میعانات به بخار تبدیل شود که گاها حتی پس از این اتفاق مقدار بخار بیش از مقدار میعانات باقی مانده می‌شود به این بخار اصطلاحا بخار فلش گفته می‌شود که از افت فشار میعانات در دمای ثابت ناشی می‌شود.
هدر رفت بخار فلش موجب اتلاف آب و انرژی شده که در مقیاس بالا و بخصوص در کشور خشکی همانند ایران بسیار هزینه بر است و با پیشروی بحران آب این موضوع روزبروز حساس‌تر خواهد شد. اولین راه برای حل این مشکل جلوگیری از تولید بخار فلش در سیستم توزیع و حتی المقدور عدم اجازه‌ی ورود بخار فلش به خط برگشت میعانات می باشد. همان طور که می دانیم تله های بخار برای این که عملکرد مناسبی داشته باشند نیاز به یک اختلاف فشار

مناسب قبل و بعد خود دارند. با ورود بخار فلش به خط بازگشت میعانات، فشار خط میعانات افزایش یافته و رفته رفته اختلاف فشار دو سر تمامی تله بخارهایی که به خط میعانات می‌ریزند کمتر و کمتر می‌شود. بنابراین هیچ یک از تله‌های بخار قادر نخواهند بود کارآیی مناسبی داشته باشند و بسیاری از آنان از مدار خارج می‌شوند.
شرکت Valsteam ADCA پرتغال پس از سال‌ها تحقیق در این خصوص موفق به ساخت نسل جدیدی از تله‌های بخار شده که به طرز چشمگیری از تولید بخار فلش جلوگیری می‌کند، شکل ۱-۳۲. این تکنولوژی در واقع نوعی ازتله های بخار بایمتالیک بوده که قادر است دمای میعانات خروچی را مطابق با خواست کاربر تنظیم نماید. لذا در صورتی که ما این تله بخار را در حالتی تنظیم کنیم که میعانات را در دمای ۲۰ درجه زیر دمای saturated تخلیه نماید، آن گاه در خروجی تله بخار صرفا میعانات خواهیم داشت و بخار فلشی وارد خط بازگشت میعانات نخواهد شد. این تله بخار در کارخانه‌هایی که بخار را خریداری کرده و میعانات را می‌فروشند می‌تواند به شدت مورد توجه باشد چرا که این تله بخار حجم میعانات جمع‌آوری شده در انتهای شبکه ی توزیع بخار را به طرز چشمگیری افزایش خواهد داد.



شکل ۱-۳۲. نسل جدید تله بخار های بایمتالیک ساخت شرکت ADCA

پس از پیشگیری ازتولید بخار فلش راهکار بعدی، استفاده مفید از انرژی بخار فلش تولید شده است. از بخار فلش می‌توان برای انتقال حرارت درسیستم‌هایی که از آب گرم استفاده می‌کنند و در دماهای تقریبا کمتر از°C ۱۰۰ کار می کنند، استفاده کرد. برای جلوگیری از این هدر رفت که هم به صورت تلفات بخار و هم به صورت تلفات میعانات بوده راهکارهایی وجود دارد.
یکی از این راهکارها استفاده از ظرف فلش[۲۹] است، شکل ۱-۳۳. ظرف فلش وسیله ایست که به ما این امکان را می دهد تا میعانات را از مخلوط بخار فلش و میعانات جدا کرده و تا حد زیادی جلوی هدررفت بخار را بگیریم. هنگامی- که بخشی از میعانات خروجی از تله های بخار به بخار فلش تبدیل می‌شوند مخلوطی از بخار فلش و میعانات ایجاد می‌شود که به سمت قسمت تخلیه می‌رود .اگر در مسیر عبور آن ظرف فلش قرار گیرد، مخلوط بخار فلش و میعانات وارد محفظه ظرف فلش شده و پس از آن بخار به سمت دریچه‌ی خروجی موجود در بالای مخزن رفته و میعانات نیز

[29] Flash vessel

از دریچه‌ی پایینی خارج می‌شود. بدین ترتیب میعانات از بخار فلش جدا شده و می‌توان از آن برای مصارف دیگر استفاده کرد و یا به بویلر برگردانده و برای تولید بخار زنده استفاده کرد.



شکل ۱-۳۳. ظرف فلش ساخت شرکت ADCA

۱-۳-۲-۱ بلودان بویلر[۳۰]

همواره در فرآیندهای تولید و توزیع بخار با توجه به دما و فشار بالای آب و بخار، ناخالصی‌ها و ذرات معلقی وارد آب شده که سبب آلوده شدن آب و اختلال در فرآیند می‌شوند، که از بین آن‌ها می‌توان ایجاد خوردگی در خطوط لوله و تله های بخار و دیگر تجهیزات را نام برد. برای حل این مشکل از روشی استفاده می‌شود که به آن بلودان گفته می‌شود. بلودان فرآیندی است که در آن میزانی از آب بویلر توسط اپراتور بویلر دور ریخته می‌شود و به جای آن آب تمیز با درصد خلوص مناسب جایگزین می‌گردد تا از انباشت ناخالصی‌های موجود در آب بویلر هنگام تبخیر جلوگیری شود. این عمل در زمانبندی های مشخصی و به دو صورت اتوماتیک و دستی انجام می‌شود. بلودان از لحاظ روش انجام به دو دسته تقسیم می‌شود:

بلودان از کف[۳۱]

در این روش دریچه‌ای در کف بویلر قرار می‌گیرد که با باز شدن آن مقداری آب از کف بویلر خارج و محتویاتی که در کف بویلر انباشته شده‌اند در این روش به خوبی از کف بویلر خارج می‌شوند.

بلودان سطحی[۳۲]

[30] Blowdown Boiler
[31] bottom blowdown
[32] surface blowdown

در بلودان نوع سطحی، آب از سطح آب درون بویلر و یا درون درام خارج می‌شود. در این روش ذرات معلقی که در آب وجود داشته و تمایل کمتری به ته نشین شدن دارند به خوبی از داخل آب خارج می‌شوند. باید در نظر داشت آب یا همان بخار خارج شده در فرآیند بلودان در فشار و دمایی برابر درون بویلر قرار دارد و نباید آن را مستقیما وارد موتورخانه کرد. بلکه ابتدا وارد منبعی به نام منبع بلودان شده و از آن جا آن را وارد فاضلاب کرد و یا از انرژی آن مجدد در کارهای دیگر استفاده کرد.

مواد جامد معلق در آب تا زمانیکه آب در حال جوشیدن است معلق هستند، اما زمانیکه بویلر از حالت جوش خارج شود این ذرات بر روی نزدیک ترین سطح ته نشین خواهند شد. ریز ذرات جامد معلق در آب[۳۳] مقدار مجاز مشخصی دارند و مقدار این ذرات نباید از این مقدار مجاز تجاوز کند. میزان این ذرات به عوامل مختلفی از جمله نوع بویلر بستگی دارد ولی یک مقدار کلی برای آن در نظر گرفته شده است که از ppm ۲۰۰۰ تا ppm۱۰۰۰۰ می‌باشد. سنجش میزان مجاز ناخالصی موجود در آب از طریق اندازه‌گیری رسانایی الکتریکی آب انجام می‌شود. افزایش رسانایی آب نشانگر بالا رفتن آلودگی آن می‌باشد.

نکته‌ی مهم دیگر آن که انجام بلودان در بازه‌های زمانی کوتاه و در تعداد دفعات بیشتر نتیجه‌ی بهتری از یک بلودان طولانی مدت دارد و بهتر است به جای انجام یک بلودان از یک نقطه و برای مدت طولانی، این کار را در چند نقطه‌ی مختلف و در بازه های زمانی کوتاه انجام داد، شکل ۱-۳۴. در طی انجام عملیات بلودان به علت بالا بودن فشار و دمای درون بویلر، میعاناتی که خارج می شود فشار و دمای بسیار بالایی داشته و با ورود میعانات به محیطی با فشار اتمسفر، افت فشار ایجاد شده باعث به وجود آمدن بخار فلش خواهد شد که خود سبب اتلاف انرژی خواهد شد. مقدار بلودانی که باید روی یک سیستم انجام شود به عوامل مختلفی بستگی دارد که از این میان می‌توان به میزان آلودگی آب تغذیه اولیه، مقدار آب و نوع طراحی بویلر اشاره کرد و حتما باید برای هر سیستمی عوامل موثر بر مقدار بلودان مورد نیاز به صورت جداگانه بررسی شود.



شکل ۱-۳۴. شیر بلودان ساخت ADCA

[33] Total dissolved solid (TDS)

در برخی مواقع شرایط به گونه‌ای پیش می‌رود که به بلودان بی‌وقفه نیاز است ولی در بیشتر مواقع با یک بلودان کوتاه می‌توان مقدار زیادی از ذرات معلق موجود در آب را خارج کرد. نکته‌ی دیگری که توجه ما را جلب می‌کند این است که آب خروجی در فرآیند بلودان گرم بوده و دارای انرژی زیادی است. در صورتی که از این آب برای مصارف دیگری استفاده نشود در طولانی مدت مقدار قابل توجهی انرژی هدر می‌رود.

بنابراین پس از انجام بلودان آب خروجی به یک مبدل حرارتی و یا تانک فلش[۳۴] منتقل می‌شود تا از انرژی آن حتی الامکان استفاده شده و از هدر رفت انرژی جلوگیری نمود. در تانک فلش آب تبدیل به بخار کم فشار می‌شود و از این بخار در هواگیرها[۳۵] و یا جهت پیش گرمایش استفاده می‌شود.

در نهایت می‌توان مزیت‌های بلودان را به شرح ذیل نام برد:

- ✓ کاهش مصرف سوخت و مواد ناخالصی موجود در آب
- ✓ کاهش هزینه‌های تعمیرات و نگهداری
- ✓ دستیابی به بخار پاک و با کارایی بالاتر
- ✓ انجام مناسب انتقال حرارت
- ✓ کاهش چشمگیر اتلاف انرژی حدودا ۲٪ کل انرژی یک مجموعه
- ✓ کاهش چشمگیر خوردگی و آسیب دیدگی در تجهیزات تولید و خطوط توزیع بخار
- ✓ بالا بردن راندمان کاری

۱-۳-۲-۲ بهبود عایق‌کاری

این اقدامات می‌توانند شامل استفاده‌ی بیشتر از مواد عایق یا بررسی دقیق و ساخت مناسب آن‌ها باشد. فاکتورهای تعیین کننده در انتخاب مواد عایق شامل: هدایت حرارتی پایین، پایداری زیاد تحت تغییرات دما، مقاومت در برابر جذب آب و احتراق می‌باشد. دیگر مشخصه‌های مواد عایق ممکن است بسته به نوع کاربردش حائز اهمیت باشد، مانند تولورانس نوسانات زیاد دما، لرزش سیستم و استحکام تراکمی.

بهبود عایق‌کاری تجهیزات موجود درسیستم‌های توزیع حرارت می‌تواند به طور میانگین در یک دوره‌ی بازگشت ۱/ ۱ ساله، حدود ۳ تا ۱۳ درصد صرفه‌جویی انرژی به همراه داشته باشد.

۱-۳-۲-۳ بهبود تله‌های بخار

با استفاده از عنصر ترمواستاتیک مدرن[۳۶]، تله‌های بخار می‌توانند در عین بهبود قابلیت اطمینان، مصرف انرژی را نیز کاهش دهند. مزیت اصلی این تله‌ها این است که هنگام نزدیک شدن دما به بخار اشباع، باز شده و گازهای چگالش-ناپذیر را پس از هر بار باز شدن تخلیه می‌کند. این تله‌ها به هنگام راه‌اندازی باز هستند تا گرم شدن سیستم به سرعت انجام شود. تله‌های مدرن بسیار قابل اطمینان هستند و در محدوده‌ی وسیعی از فشار

[34] Flash tank
[35] Deaerator
[36] Modern thermostatic element

بخار آب قابل استفاده می‌باشند. صرفه جویی انرژی بسته به تعداد تله‌های نصب شده و کیفیت تعمیر و نگهداری، متغیر می‌باشد.

۱-۳-۲-٤ حفظ و نگهداری تله بخار

یک برنامه‌ی ساده برای بررسی و تحلیل تله‌های بخار این است که عملکرد صحیح آن‌ها پس از بهبود شرایط، حتماً منتج به صرفه‌جویی قابل توجه انرژی می‌شود. اگر برنامه بررسی و نظارت تله‌های بخار به طور منظم انجام نشوند، تنها ۱۵ تا ۲۰ درصد آن‌ها عملکرد مناسبی خواهند داشت. در برخی واحدها ممکن است حتی ۴۰ درصد تله‌های بخار عملکرد نامناسبی داشته‌باشند. صرفه جویی انرژی برای یک سیستم تله بخار دارای برنامه منظم بررسی، نظارت و تعمیر و نگهداری مداوم، با یک دوره‌ی بازگشت ۰/۴ ساله، حدود ۱۰ درصد می تواند باشد. این مقدار صرفه جویی انرژی، موجب بازگشت سرمایه سریعی می‌شود، اما اغلب به دلیل فرآیند نگهداری و هزینه‌های کم انرژی، اجرایی نمی‌شود.

۱-۳-۲-۵ نظارت اتوماتیک تله بخار

نصب سیستم نظارت اتوماتیک تله‌های بخار در کنارا یک برنامه‌ی تعمیر و نگهداری مداوم، حتی می‌تواند بدون اضافه کردن هزینه‌ای، انرژی بیشتری صرفه‌جویی کند. زیرا این سیستم می‌تواند به شکل سریع‌تری متوجه عملکرد نامناسب تله‌ی بخار شود. با استفاده از نظارت اتوماتیک تله بخار صرفه‌جویی انرژی به میزان ۵ درصد افزونتر از یک برنامه ساده تعمیر و نگهداری، با بازگشت سرمایه‌ی یک ساله حاصل خواهد آمد.

۱-۳-۲-٦ تعمیر نشتی‌ها

در سیستم‌های تله‌ی بخار، لوله‌های توزیع اغلب دچار نشتی می‌شوند که در صورت نبود سیستم نظارت و نگهداری متوجه این مشکل نخواهیم شد. علاوه بر صرفه‌جویی ۳ درصدی هزینه‌های انرژی در تولید بخار، داشتن چنین برنامه‌ای می‌تواند احتمال به وجود آوردن نشتی‌های بزرگ را کاهش دهد. اغلب هزینه های تعمیر نشتی دارای دوره-ی بازگشت سرمایه‌ی ۰/۳ ساله می باشند.

۱-۳-۲-۷ بازیابی بخار فلش

هنگامی که یک تله بخار محصول میعان را از یک سیستم توزیع بخار تحت فشار به فشار محیط تخلیه می‌کند، بخار فلش تولید می‌شود. این بخار را می‌توان برای گرمایش در فرآیند یا پیش‌گرمایش آب خوراک استفاده نمود. پتانسیل برای این مقدار به شدت به مکان وابسته است، هر چند بعید است که یک تولید کننده بخواهد سیستمی کاملاً جدیدی متشکل از لوله‌های انتقال بسازد تا بدین ترتیب این بخار کم ارزش به مکانی که به آن نیاز است منتقل شود؛ مگر این که بتوان آن را برای تله‌های بخار استفاده نمود.

۱-۳-۲-۸ بازگرداندن محصول میعان

استفاده‌ی مجدد از محصول میعان داغ، موجب صرفه‌جویی انرژی شده و نیاز به آب برای بویلر را نیز کاهش می‌دهد. صرفه‌جویی‌های قابل توجه در هزینه‌های انرژی و تهیه مواد شیمیایی مورد نیاز، ساختن یک سیستم بازیابی را جذاب می‌سازد. این سیستم تاکنون در اغلب واحدهای صنعتی اجرا شده است. طراحی باید با دقت فراوانی صورت گرفته تا افت راندمان را کاهش دهد. بیشترین صرفه‌جویی انرژی ممکن در این سیستم با دوره‌ی بازگشت یک ساله حدود ۱۰ درصد تخمین زده شده است.

فایده‌ی دیگر بازیابی محصول میعان، کاهش میزان جریان تخلیه است؛ زیرا با این کار کیفیت آب خوراک ورودی به دیگ بخار افزایش می‌یابد. در جدول ۱-۱، اهم راهکارهای بهبود راندمان انرژی در سیستم توزیع بخار، به طور خلاصه آورده شده است.

جدول ۱-۱. خلاصه‌ای از اقدامات موثر بر راندمان انرژی در سیستم‌های توزیع بخار

اقدامات	میزان صرفه‌جویی در سوخت (٪)	دوره بازگشت سرمایه (سال)
بهبود عایقکاری	۳-۱۳	۱/۱
بهبود تله‌های بخار	-	-
حفظ و نگه داری تله بخار	۱۰-۱۵	۰/۵
نظارت اتوماتیک تله بخار	۵	۱
تعمیر نشتی‌ها	۳-۵	۰/۴
بازیابی بخار فلش/ بازگرداندن محصول میعان*	۸۳	-
بازگرداندن محصول میعان به تنهایی	۱۰	۱/۱

* اگر چه این مورد نشانگر صرفه‌جویی واقعی بدست آمده از مطالعات موردی است، اما به نظر می‌رسد از نقطه نظر شماری از صرفه-جویی‌های کاربردی کلی، بسیار بیشتر باشد. پس این مورد به‌عنوان یک برآورد صرفه‌جویی کلی، به شمار نمی‌آید.

۱-۳-۳ جمع بندی فرصت‌های بهبود عملکرد

این بخش از گزارش، عوامل مهمی را مورد بحث قرار می دهد که هنگام تاسیس واحدهای صنعتی برای بهبود کارآیی سیستم بخار و کاهش هزینه های عملیاتی، باید مورد توجه قرار گیرند. بهبود عملکرد سیستم بخار نیاز به ارزیابی کل سیستم، شناسایی فرصت ها و انتخاب و اجرای عملی ترین پروژه ها دارد. به همین ترتیب، انتخاب صحیح بهترین پروژه ها نیاز به کمی سازی منافع حاصله و هزینه های هر پروژه دارد.

اجرای موفقیت آمیز این پروژه ها مستلزم مشارکت کلیه ذینفعان سیستم از جمله تولید، نگهداری و مدیریت است. به طور کلی، دستیابی به مشارکت مدیریتی مستلزم برقراری ارتباط آنالیزها از نظر اقتصادی است. به دلیل کاربردهای فراوان صنعتی برای بخار، طیف وسیعی از سیستمهای بخار، تنظیمات، برنامه های استفاده نهایی و روشهای عملیاتی وجود دارد و در نتیجه، روشهای مختلفی نیز جهت بهبود عملکرد سیستم بخار و شناسایی

فرصتهای بهبود وجود دارد. برخی از پتانسیلهای معمول جهت بهبود عملکرد حوزه های تولید، توزیع و بازیابی سیستم بخار در جدول ۱-۲ بطور خلاصه ذکر شده است.

جدول ۱-۲. فرصت‌های بهبود عملکرد برای تولید، توزیع و بازیابی بخشهای مختلف سیستمهای بخار صنعتی[۳۷]

فرصت‌ها	توضیحات
بخش تولید	
حداقل سازی هوای اضافی	مقدار گرمای از دست رفته روی استک را کاهش می دهد و اجازه می دهد انرژی بیشتری از سوخت به بخار منتقل شود.
تمیزکاری سطوح انتقال حرارت بویلر	انتقال گرما موثر از گازهای احتراق به بخار را تقویت می‌کند.
نصب تجهیزات بازیابی گرما (بهینه سازهای آب تغذیه و / یا پیش گرم کننده های احتراق)	گرمای موجود را از گازهای خروجی بازیابی کرده و با پیش گرم کردن آب خوراک یا احتراق مجدداً آن را به داخل سیستم منتقل می‌کند.
بهبود فرآیند تصفیه آب تا دمش بویلر به حداقل برسد	مقدار کل مواد جامد محلول در آب بویلر را کاهش می‌دهد که باعث دمیدن کمتر و در نتیجه اتلاف انرژی کمتری می‌شود
بازیابی انرژی از بویلر	انرژی موجود را به صورت جریان برگشتی به سیستم منتقل می‌کند و در نتیجه باعث کاهش اتلاف انرژی می‌شود
اضافه کردن و بازیابی عایق نسوز بویلر	کاهش اتلاف حرارتی بویلر و بازیابی بازده بویلر
بهینه سازی میزان تخلیه هواگیر	حداقل سازی اتلاف بخار قابل اجتناب
بخش توزیع	
تعمیر نشت بخار	حداقل سازی اتلاف بخار قابل اجتناب
بخار تخلیه شده	حداقل سازی اتلاف بخار قابل اجتناب
اطمینان از لوله کشی سیستم بخار، شیرآلات، اتصالات و ظروف به خوبی عایق بندی شده‌اند	کاهش اتلاف انرژی ناشی از لوله کشی و سطوح تجهیزات
اجرای یک تله بخار موثر	عبور بخار به سیستم میعانات را کاهش می‌دهد و باعث عملکرد کارآمد تجهیزات انتقال حرارت استفاده نهایی می‌شود
بخار را از خطوط استفاده نشده جدا کنید	اتلاف بخار قابل پیشگیری را به حداقل می‌رساند و اتلاف انرژی ناشی از لوله گذاری و سطوح تجهیزات را کاهش می‌دهد
استفاده از توربین های فشار برگشتی	یک روش کارآمد تر برای کاهش فشار بخار برای خدمات کم فشار ارائه

[37] Technologies, C.f.t.A.a.D.o.D.E., *Saving energy with Steam Production and Distribution*. 2001, CADDET Energy Efficiency.

بجای PRV ها	می‌دهد
بخش بازیافت	
بهینه سازی بازیافت میعانات	انرژی حرارتی موجود در میعانات را بازیابی می‌کند و مقدار آب makeup اضافه شده به سیستم را کاهش می‌دهد و باعث صرفه جویی در انرژی و مواد شیمیایی می‌شود
از میعانات فشار بالا برای ایجاد بخار کم فشار استفاده شود	بهره برداری از انرژی موجود در میعانات برگشتی

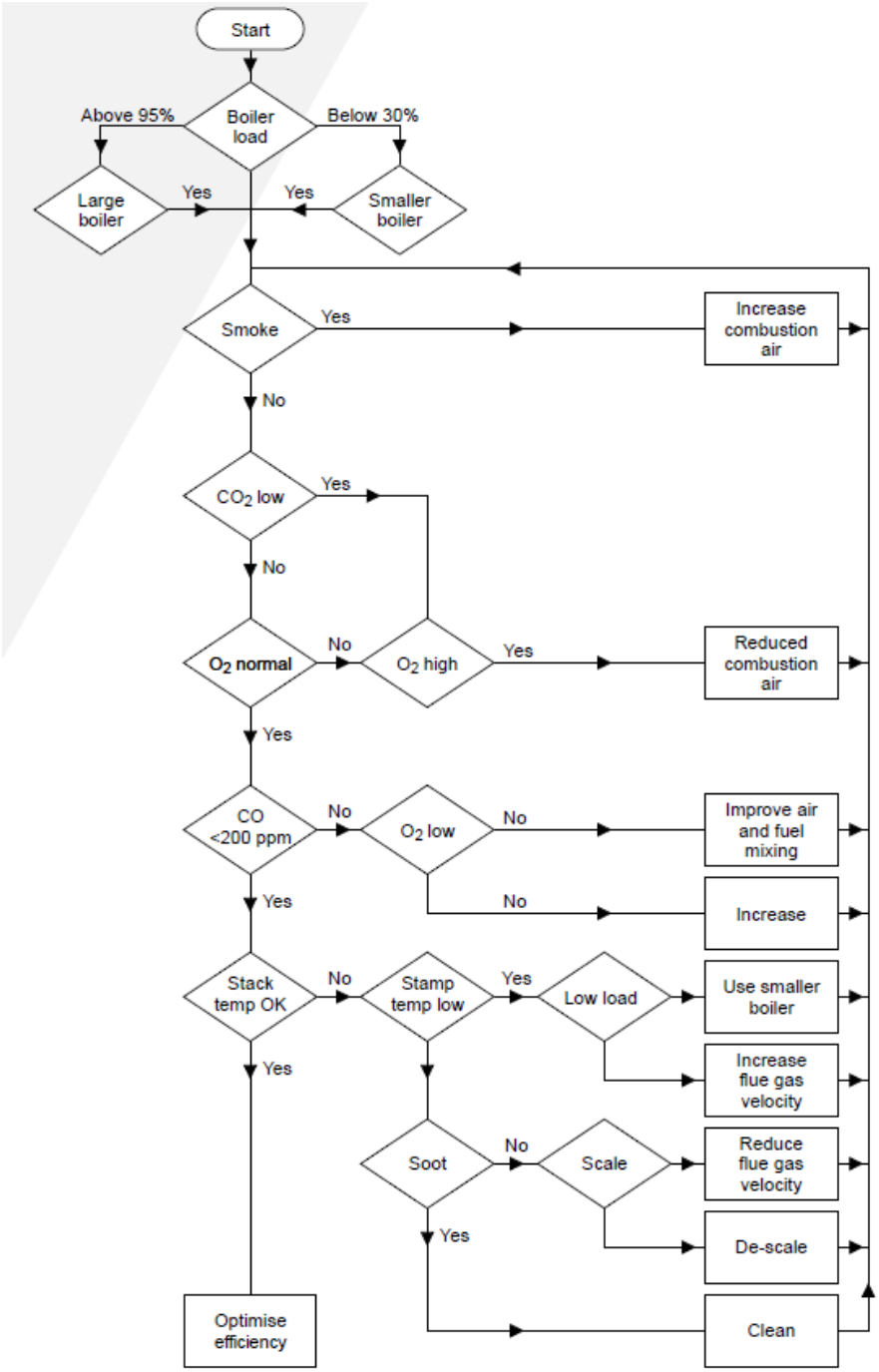
بنابراین آن دسته از اقداماتی که به عنوان حداقل هزینه های تولید و توزیع بخار توصیه می شوند همواره مورد توجه قرار می گیرند. این اقدامات به طور کلی از نظر فنی ساده و نسبتاً کم هزینه بوده و بازدهی جذابی نیز برای سرمایه گذاری خواهند داشت.

این اقدامات می توانند شامل مواردی از قبیل بهبود یا توسعه عایقکاری؛ بازگرداندن بیشتر میعانات؛ ایزوله کردن لوله‌ها؛ بهبود بازیابی بخار؛ کاهش نشت بخار و غیره باشند که در جدول ۱-۳ ارائه شده است.

جدول ۱-۳. پتانسیل‌های صرفه‌جویی انرژی

روشهای صرفه‌جویی	**پتانسیل صرفه‌جویی انرژی** (٪)
بازیابی میعانات	۲
بازیابی بخار فلش	<۳
بازیابی گرمای دمنده بویلر	<۳.۷۵
تصفیه آب ورودی	۲
بهبود راندمان بویلر	<۵
بهینه‌سازی چینش عناصر یک شبکه توزیع	<۸

شکل ۱-۳۵ خلاصه ای از اقدامات بهبود به منظور افزایش عملکرد بویلر و همچنین نحوه اجرای آن‌ها را با هدف دستیابی به یک بویلر با عملکرد کارآمدتر نمایش می دهد.



شکل ۱-۳۵. نمودار جریان عملکرد کارآمد بویلر

۱-٤ بازیافت حرارت از مایع حاصل از میعان، بخار ساده و بخار فلش

۱-٤-۱ بازیافت حرارت از میعانات

۱-٤-۱-۱ حرارت موجود در مایع حاصل از میعان

به منظور تولید بخار، باید ابتدا حرارت (از نوع آشکار و نه حرارت پنهان) به آب داده شود تا دمای آن به دمای نقطه جوش (بستگی به فشار محیط دارد) برسد. بعد از رسیدن به نقطهٔ جوش، هرگونه حرارت اضافی که داده‌شود تأثیری

در افزایش دما نداشته و فقط خواص فیزیکی آب را تغییر می‌دهد و تولید بخار می‌کند. این حرارت اضافی به حرارت نهان معروف است. حرارت آشکار و نهان ذخیره در بخار برای فشارهای مختلف در جداولی تحت عنوان جداول بخار[38] آورده شده‌اند، اما تا حد اختصار و مکفی می‌توان از شکل ۱-۳۶ برای تعیین مقادیر این دو نوع حرارت استفاده کرد. وقتی که بخار، حرارت خود را در تأسیسات از دست می‌دهد، به مایع تبدیل می‌شود، بنابراین وقتی مایع حاصل از میعان تأسیسات را ترک می‌کند، هنوز مقدار زیادی حرارت (گرفته شده از دیگ بخار) را به همراه دارد. بعلاوه آب مورد نیاز برای دیگ بخار باید به گونه‌ای باشد که واکنش شیمیایی در درون دیگ رخ ندهد (نمک‌های آب باید گرفته شود و PH آن کنترل گردد).

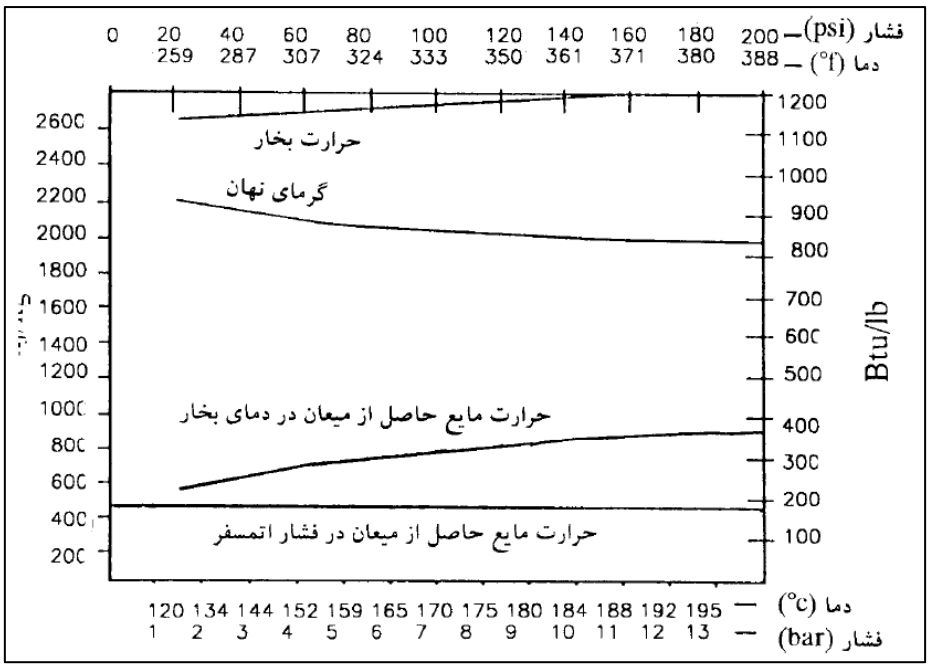
بنابراین بخاطر داشتن مقداری حرارت و شرایط مناسب شیمیایی بهتر است از همان مایع حاصل از میعان بعنوان آب تغذیهٔ دیگ بخار استفاده شود و بدین ترتیب تمام مایع مزبور به دیگ بخار برگردانده می‌شود. به کمک بازیافت حرارتی، دمای آب ورودی به دیگ بخار افزایش یافته و از اتلاف حرارتی جلوگیری می‌شود. این انتخاب نسبت به دیگ‌های بخاری که در آنها اکونومایزر[39] سیستم صرفه‌جویی وجود ندارد، از مزایای بیشتری برخودار است زیرا با نزدیک بودن دمای آب برگشتی به دمای اشباع دیگ، کار کمتری برای تبدیل آب به بخار مصرف می‌کند. درحقیقت می‌توان گفت که به ازای هر ۶ درجه سانتی‌گراد بالاتر بودن دمای آب ورودی به دیگ بخار تقریبا ۱٪ درمصرف سوخت صرفه‌جویی می‌شود.

حتی از مقادیر نسبتاً کم مایع حاصل از میعان نیز می‌توان بازیافت حرارتی ارزنده‌ای بدست آورد. به عنوان مثال بخشی از تأسیسات حدود۲۲۷ کیلوگرم (که مقدار نسبتاً کمی است) بخار در هر ساعت مصرف می‌کند. براساس ۸ ساعت در روز، ۵ روز در هفته، ۵۰ هفته در سال معادل چهارصد و پنجاه و چهار هزار کیلوگرم مایع حاصل از میعان تلف می‌شود و باید بجای آن معادل همین مقدار آب خالص با دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد بعنوان تغذیه دیگ بخار فراهم شود.

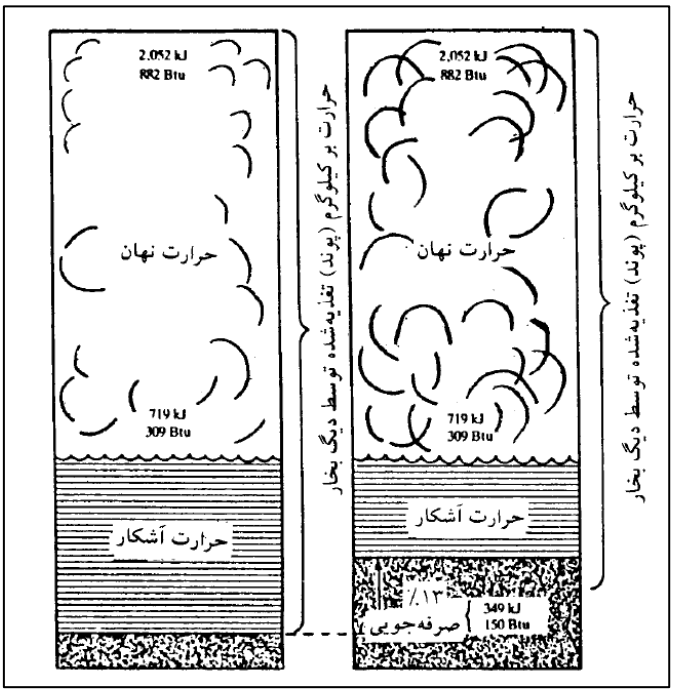
یک راه حل برای بازیافت حرارتی، این است که بعد از استفاده از بخار فلش در قسمت‌های مختلف تأسیسات، مایع حاصل از میعان باقیمانده با دمای ۹۳ درجه سانتی‌گراد به دیگ برگردانده شود. همانطور که در شکل ۱-۳۷ نشان داده شده‌است، با این کار معادل ۱۵۰ Btu/lb (۳۴۹ kJ/kg) انرژی در تهیهٔ بخار توسط دیگ بخار صرفه‌جویی می‌شود (فشار دیگ ۱۰۰ psi (۷/۹ bar) است). در تصویر سمت راست ناحیهٔ زیرین که سایه خورده است، نمایندهٔ حرارت ذخیره شده در آب ۱۰ درجه سانتی‌گراد است. در تصویر سمت چپ ناحیهٔ زیرین که سایه خورده است، نمایندهٔ حرارت ذخیره شده در آب ۹۳ درجه سانتی‌گراد است.

به کمک بازیافت حرارتی از مایع حاصل از میعان و با درنظرگرفتن نیاز سالانه یک میلیون پوند (چهارصد و پنجاه و چهار هزار کیلوگرم) بخار، سالانه ۱۰۰۰ گالن (۴۵۵۰ لیتر) سوخت نفتی صرفه‌جویی می‌شود. همچنین یادآوری می‌شود که با برگرداندن مایع حاصل از میعان به عنوان تغذیهٔ دیگ بخار مقدار ۱۰۰۰ گالن (۴۵۵۰ لیتر) آب خالص صرفه‌جویی می‌شود. جدا از اهمیت صرفه‌جویی در آب، اگر تأسیسات مزبور ۲۴ ساعت در روز و ۷ روز در هفته کار کنند، پتانسیل صرفه‌جویی فوق در ضریب ۴/۲ ضرب می‌شود.

[38] Vapour Tables
[39] Economizer



شکل ۱-۳۶. مقادیر حرارت نهان و آشکار ذخیره شده برای آب در دماها و فشارهای مختلف

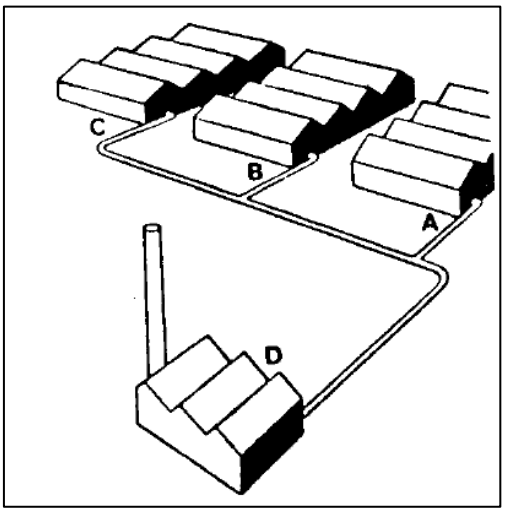


شکل ۱-۳۷. نمونه‌ای از صرفه جویی در تولید حرارت بر اساس برگشت مایع اشباع بعنوان تغذیهٔ دیگ بخار

۱-٤-۱-۲ موارد استثنا

در بعضی شرایط خاص ناشی از وسعت محل تأسیسات و در نتیجه طولانی بودن مسیر برگشت مایع حاصل از میعان و هزینهٔ سنگین انجام این کار و یا ناقابل بودن مقدار حرارت بازیافتی، از روش برگشت مایع حاصل از میعان جهت تغذیهٔ دیگ بخار استفاده نمی‌شود. اگرچه این موضوع بستگی مستقیم به شرایط واقعی محل تأسیسات دارد، اما در

هر حال باید از مایع مزبور استفاده کرد. برای نمونه ساختمان‌های A، B وC در شکل ۱-۳۸ از دیگ بخار مستقر در ساختمان D بهره می‌برند. فاصله بین A و D آنقدر زیاد است که با وجود عایق بودن لوله کشی این مسیر بیشتر حرارت مایع حاصل از میعان تا رسیدن به A تلف می‌شود. بنابراین هزینهٔ لوله کشی این مسیر بین A و D را نمی‌توان از طریق صرفه جویی در مصرف سوخت جبران نمود. البته در صورتی که آب خالص به سهولت در دسترس نباشد و تصفیه شیمیایی بر روی آب پرهزینه باشد، پیشنهاد می‌شود که هنوز از مایع حاصل از میعان جهت تغذیهٔ دیگ بخار استفاده گردد حتی اگربه صورت سرد به D برگردد. اگر مشکل کمبود آب خالص و هزینهٔ بالای تصفیه شیمیایی آن مطرح نباشد، بهتر است که از مایع حاصل از میعان در بخشی از نیازهای آب داغ ساختمان‌های A، B و C استفاده گردد و در انجام این کار، حداکثر استفاده از محتوای حرارتی بعمل آید.

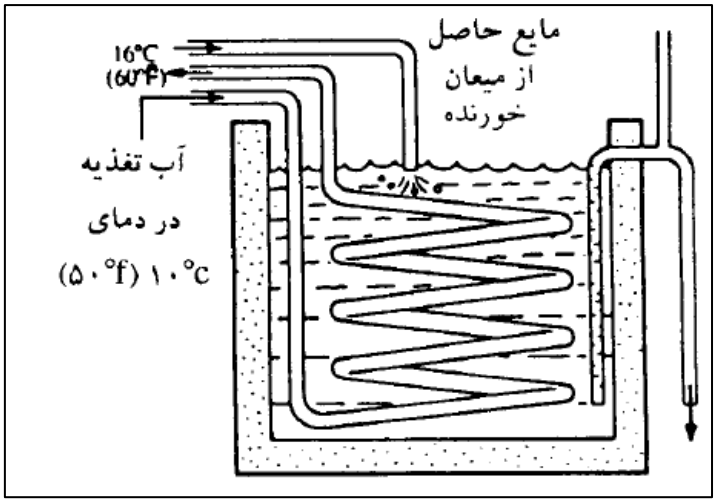


شکل ۱-۳۸. محل تأسیسات A، B و C و دیگ بخار D

۱-٤-۱-۳ مایع حاصل از میعان آلوده

دلیل دیگری که برگرداندن مایع حاصل از میعان به دیگ بخار را منتفی می‌سازد، آلودگی یا ترس از آلودگی مایع مزبور است. برای مثال در یک فرآیند آبکاری، در صورت وجود کوچکترین نشتی لوله‌های موجود، امکان ورود اسید به سیستم مایع حاصل از میعان پدید می‌آید. بدین ترتیب مایع آلوده بهتر است بجای دیگ بخار به مخازن پساب داغ فرستاده شود تا از آن‌ها استفاده دیگری شود. به عنوان راه حلی دیگر می‌توان از حرارت مایع آلوده با عبور دادن آن از یک مبدل حرارتی، استفاده کرد، (شکل ۱-۳۹). در این صورت هزینهٔ نصب مبدل حرارتی باید با ارزش بازیافت حرارتی از این طریق جبران شود. در بسیاری موارد که احتمال آلودگی وجود دارد، مایع حاصل از میعان از یک آشکارساز[۴۰] عبور داده می‌شود تا میزان آلودگی آن شناسائی شده و در صورت لزوم اخطار لازمه را بدهد. با توجه به هزینه زیاد، چنین امکاناتی در صورتی بکار برده می‌شوند که امکان بازیافت مقادیر زیاد مایع حاصل از میعان از منابع احتمالاً آلوده وجود داشته باشد.

[40] Decoder



شکل ۱-۳۹. یک راه ساده در بازیابی حرارت از مایع حاصل از میعان داغ و آلوده

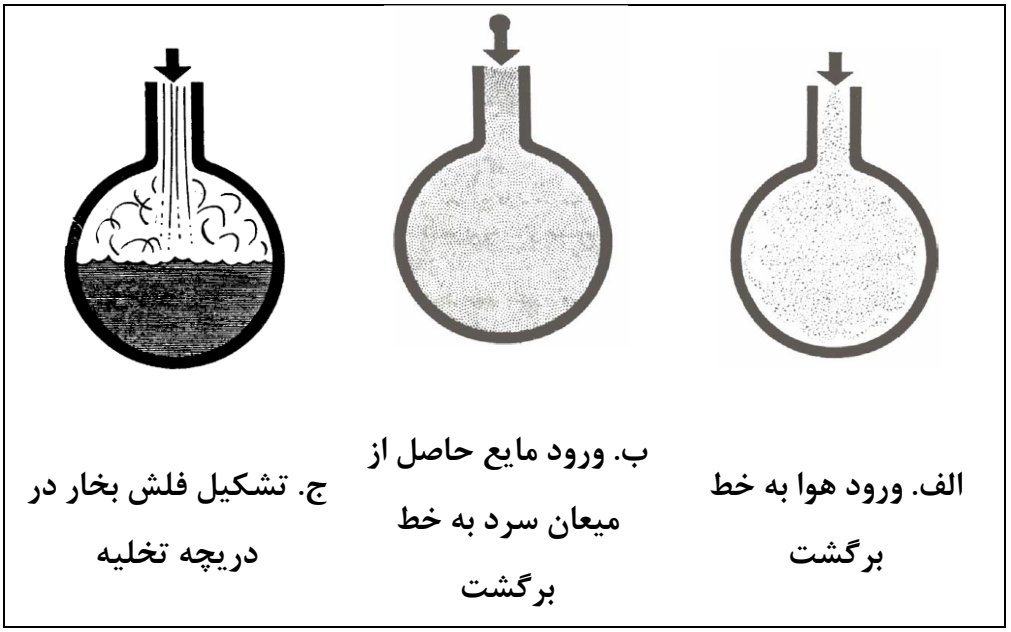
۱-٤-۱-٤ بازیافت مایع حاصل از میعان

مایع حاصل از میعان چه به دیگ بخار برگردانده شود و چه بطور موضعی استفاده گردد، مسئله چگونگی انتقال آب داغ وجود دارد. اساساً این سؤال‌های ساده در مورد اتصال دریچهٔ[۴۱] تخلیه به یک خط مشترک لوله وجود دارد. این خط چه ابعادی باید داشته باشد؟ یک خط مایع حاصل از میعان چه چیزی را باید انتقال دهد؟ در انجام این کار سه مرحله وجود دارد:

- ✓ در شروع ممکن است مقداری هوا از دریچه وارد خط لوله برگشتی شود، (شکل ۱-۴۰الف)
- ✓ در ادامه، مقدار زیادی مایع حاصل از میعان سرد وارد خط لوله می‌شود (شکل ۱-۴۰ب). باتوجه به اینکه تأسیسات مربوطه سرد می‌باشد، باعث تراکم سریع بخار (دو یا حتی سه برابر نرخ شرایط کارکرد معمولی) می‌شود. بعلاوه با توجه به نرخ شدید تراکم، افت فشار واحد می‌تواند قابل ملاحظه باشد.
- ✓ همانطور که تأسیسات گرم می‌شود از حجم مایع حاصل از میعان کاسته می‌شود. اما هرچه دمای مایع مزبور به دمای بخار نزدیک‌تر می‌شود، امکان ایجاد بخار فلش در دریچهٔ تخلیه بیشتر می‌گردد، (شکل ۱-۴۰ج). تجربه نشان داده‌است اگر ابعاد لوله، توان حمل آب در شرایط شروع را داشته باشد، قابلیت کافی برای انتقال مایع حاصل از میعان و بخار در شرایط کارکرد را دارد. اگر مقدار بار در شروع معلوم نباشد، معمولاً برای اکثر شرایط بهتر است معادل دوبرابر بار در شرایط کارکرد در نظرگرفته‌شود. در صورتی که شبهه‌ای وجود داشته باشد می‌توان این ظرفیت را افزایش داد.

---

[۴۱] Trap



شکل ۱-۴۰. بازیافت مایه حاصل از میعان

بعنوان مثال اگر تأسیساتی دارای بار کارکرد معادل ۱۵۰۰ lb/hr (۶۸۰ kg/hr) باشد، آنگاه قطر لوله به اندازه‌ای انتخاب می‌شود که بتواند جوابگوی بار شروع کار معادل ۳۰۰۰ lb/hr (۱۳۶۰ kg/hr) باشد. بنابراین، فشار کلی برگشتی و همچنین طول خط لوله بسیار اهمیت دارند. البته در اغلب موارد جهت سهولت درنظرگرفتن قطر لوله به ازای ۰/۱ inchWater/foot یا ۰/۸ mbar/m (۱۰ اینچ در ۱۰۰ فوت بخاطر مقاومت اصطکاکی) کافی در نظر گرفته می‌شود. جدول ۱-۴، ظرفیت حمل مایع حاصل از میعان در خطوط برگشت را تحت بارهای مختلف را نشان می‌دهد. شکل ۱-۴۱ نیز یک نمونهٔ کاربردی را نشان می‌دهد.

از جدول ۱-۴ می‌توان قطر لوله را بصورت زیر محاسبه کرد:

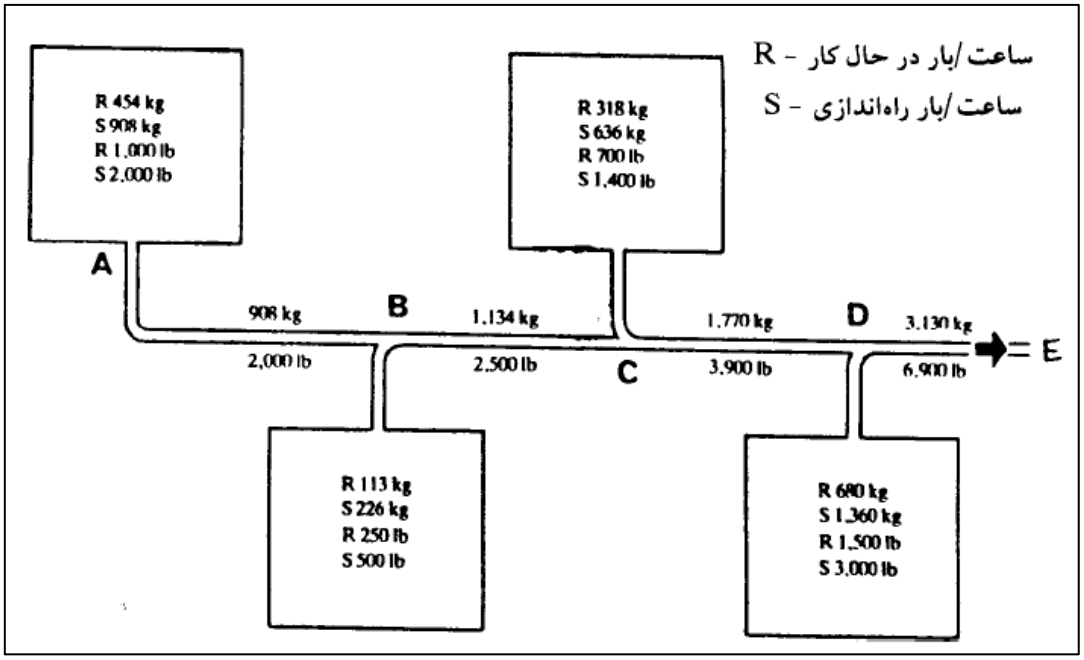
- از A به B ۲۰۰۰ lb/hr (۹۰۸ kg/hr) حمل می‌شود و قطر لوله ۱ ۱/۴ اینچ (۳۲ mm) است.
- از B به C ۲۵۰۰ lb/hr (۱۱۳۴ kg/hr) حمل می‌شود و قطر لوله ۱ ۱/۴ اینچ (۳۲ mm) است.
- از C به D ۳۹۰۰ lb/hr (۱۷۷۰ kg/hr) حمل می‌شود و قطر لوله ۱ ۱/۲ اینچ (۴۰ mm) است.
- از D به E ۶۹۰۰ lb/hr (۳۱۳۰ kg/hr) حمل می‌شود و قطر لوله ۲ اینچ (۵۰ mm) است.

اگر مایع حاصل از میعان از واحدی با استفاده از بخار با فشار بیشتر (مانند ۲۰۰ psi – ۱۴ bar)، بازیافت شود، قطر لولهٔ برگشت باید آنقدر بزرگ باشد تا بتواند بخار فلش اضافی را انتقال‌دهد. همچنین بهتر است بخار فلش بازیافت شود و شبیه بخار با فشار کم، مورد استفاده مطلوب قرارگیرد. این کار دو مزیت دارد، یکی استفاده بهتر از حرارت موجود و دیگری کاهش بار در لوله برگشت مایع حاصل از میعان.

جدول ۱-۴. قطر لوله‌های مایع حاصل از میعان (میزان بار در مرحلهٔ شروع شرایط متوسط)

حداکثر ظرفیت در شروع کار		اندازه لوله	
lb/hr	kg/hr	in	mm
۳۵۰	۱۶۰	۰/۵	۱۵

۸۲۰	۳۷۰	۰/۷۵	۲۰
۱۵۵۰	۷۰۰	۱	۲۵
۳۳۰۰	۱۵۰۰	۱/۲۵	۳۲
۵۰۰۰	۲۳۰۰	۱/۵	۴۰
۹۹۰۰	۴۵۰۰	۲	۵۰
۲۰۰۰۰	۹۰۰۰	۲/۵	۶۵
۳۱۰۰۰	۱۴۰۰۰	۳	۸۰
۶۳۰۰۰	۲۹۰۰۰	۴	۱۰۰



شکل ۱-۴۱. نمونه‌ای از لوله‌کشی و اهمیت آن در اتلاف حرارتی

۱-۴-۱-۵ نیروی بالابر[۴۲] مایع حاصل از میعان و فشار بر گشتی

اغلب تأسیسات مورد استفاده در صنایع گوناگون در طبقه همکف قرار دارند. به منظور راحتی در نصب، تعمیرات و پرهیز از ایجاد مشکل، خطوط برگشت مایع حاصل از میعان در ارتفا ع بالاتر از سطح زمین قرار می‌گیرند. با توجه به شرایط فوق‌الذکر، این سؤال مطرح می‌شود که آیا مایع مزبور می‌تواند خود را از دریچهٔ تخلیه به خطوط برگشت که ارتفاع بیشتری دارند برساند؟ درجواب باید گفت که این فشار بخار دریچه تخلیه است که در صورت وجود بدنه مقاوم دربرابر فشار، باعث بالارفتن مایع می‌شود.

اساساً برای هر psi ۱ فشار دریچه، مایع حاصل از میعان، ۲ فوت بالا می‌رود (برای هر bar ۰/۱، ۱ متر بالا می‌رود). البته باید به‌خاطرداشت که این موضوع باعث ایجاد فشار برگشتی و در نتیجه پایین‌آمدن اختلاف فشار در دریچه

---

[۴۲] Lifting

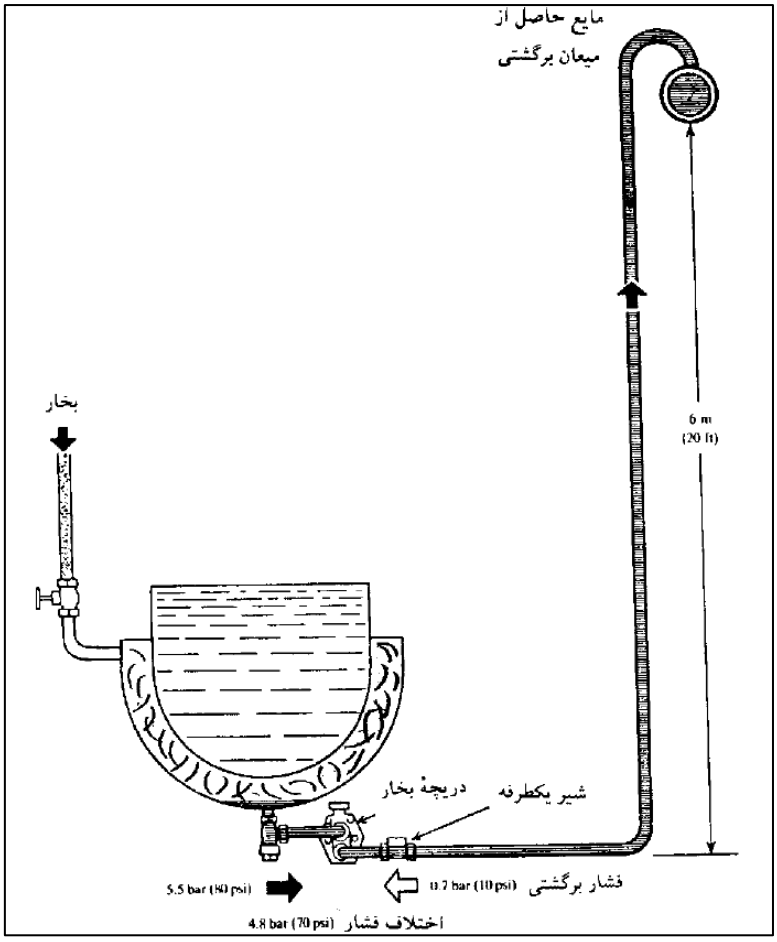
می‌گردد. بنابراین با وجود فشار برگشتی باید پرسید که آیا همیشه فشار بخار دریچه به اندازه کافی هست تا بتواند از پس فشار برگشتی برآید؟ و در این شرایط آیا دریچه، ظرفیت کافی را داراست؟

برای نمونه یک دیگ بخار با فشار بخار معادل ۸۰ psi (۵/۵ bar) وجود دارد. فرض براین است که وقتی دما به اندازه کافی بالا باشد، فشار دریچه نیز معادل ۸۰ psi (۵/۵ bar) می‌باشد. همانطور که در شکل ۱-۴۲ نشان داده شده‌است، مایع حاصل از میعان باید به ارتفاع ۲۰ فوت (۶ متر) بالا رود. این ارتفاع ۲۰ فوت (۶ متر) باعث ایجاد یک فشار برگشتی حدود ۱۰ psi (۰/۷ bar) می‌شود که قاعدتاً فشار ۸۰ psi (۵/۵ bar) دریچه برای مقابله با آن کافی می‌باشد. بنابراین ابعاد دریچه باید به اندازه‌ای باشد که اختلاف فشار ۷۰ psi (۴/۸ bar) را جوابگو باشد، بدیهی است این اختلاف در شروع کار سیستم، کمتراست. همیشه یک شیر یکطرفه[۴۳] بعد از دریچه بسته می‌شود تا از جاری‌شدن احتمالی ستون آب به داخل تأسیسات و از کارافتادن آن جلوگیری کند.

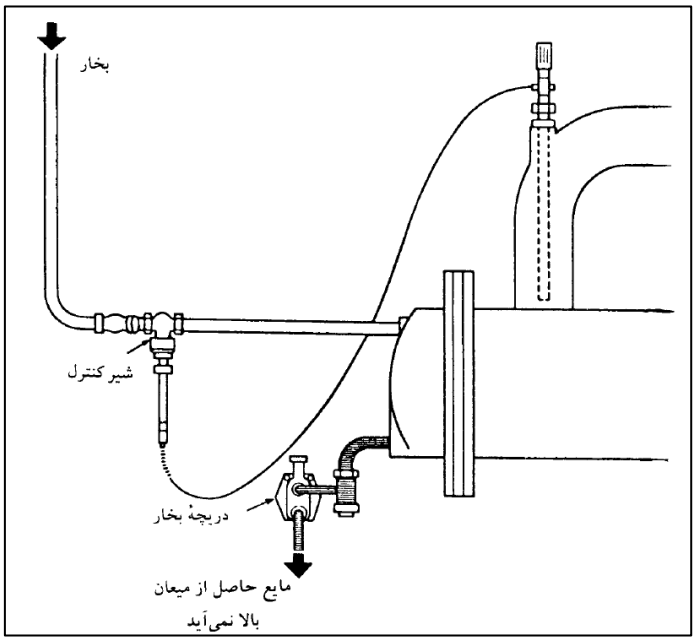
فرض کنید که در یک تأسیسات، فشار بخار ۱۵ psi (۱ bar) باشد. درحالیکه به نظر می‌آید هنوز اختلاف فشار مثبت (فشار بخار بیشتر از فشار برگشتی) وجود دارد، اما بسیار نامطمئن است. زیرا افت فشار در تأسیسات، مخصوصاً هنگام شروع کار فشار بخار دریچه را به زیر فشار برگشتی می‌کشد که باعث آب‌گرفتگی[۴۴] تأسیسات می‌شود. این موضوع مخصوصاً در تأسیساتی که به صورت ترمودینامیکی (اتوماتیک یا دستی) کنترل می‌شود، حائز اهمیت است. یک مثال عملی، مبدل حرارتی[۴۵] بخار به آب است، (شکل ۱-۴۳). تنها زمانی که دمای هوای بیرون در کمترین مقدار خود قرار دارد، نیاز به بیشترین حرارت دهی وجود دارد. برای زمانی که دمای بیرون بیشتر باشد، معمولا مبدل به‌گونه ای کنترل می‌شود که به بخار، نیاز کمتری باشد (با عمل خفه کردن[۴۶] منبع بخار) تأثیر این عمل آن‌است که فشار بخار درون محفظه بخار به صفر یا کمتر از فشار در حالت بار کم، کاهش می‌یابد. بدین ترتیب امکان بالابردن مایع حاصل از میعان وجود ندارد. هر کوششی در این راه باعث ایجاد آب‌گرفتگی و در نتیجه ضربه چکشی آب[۴۷] و حتی شکستگی[۴۸] لوله می‌شود.

نمونه متداول دیگری را می‌توان در باطری‌های گرم کنندهٔ هوا عنوان کرد. چنین تأسیساتی در شرایط معمولی ۲۵٪ هوای لازم را از هوای تازه و ۷۵٪ از طریق هوای برگشتی درون خود تأمین می‌کنند. بیشترین بار در این سیستم زمانی بوجود می‌آید که هوای بیرون (هوای تازه ورودی) در کمترین دمای خود باشد و یا هوای در گردش درون خود نیز در کمترین دما باشد (همانند بعد از تعطیلات آخر هفته که دستگاه خاموش بوده است).

[43] Check valve
[44] Water logging
[45] Heating Calorifier
[46] Throttle
[47] Water Hammer
[48] Fracture

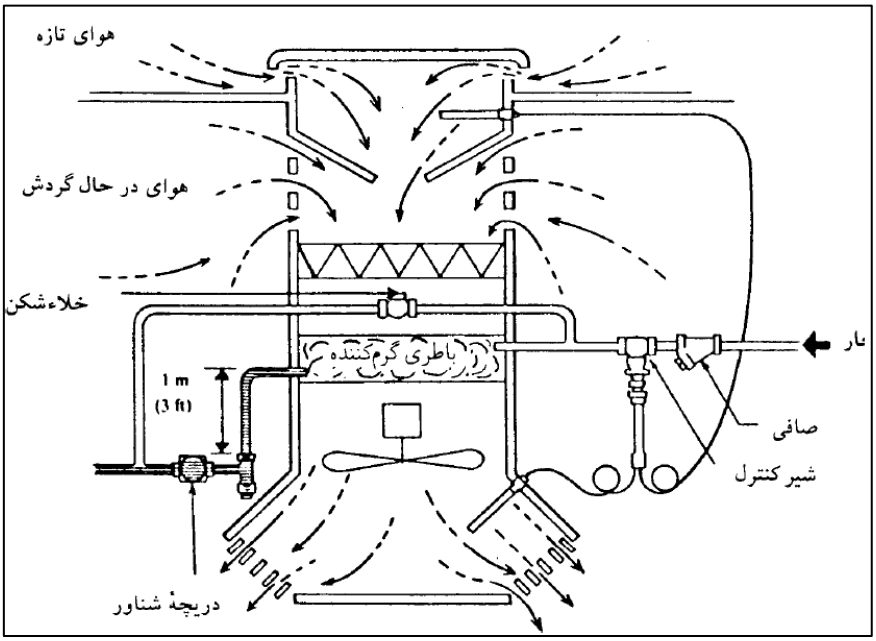


شکل ۱-۴۲. صعود مایع حاصل از میعان به لولهٔ برگشتی بخاطر فرآیند درون دیگ



شکل ۱-۴۳. مبدل حرارتی بخار به آب

به تدریج که دمای بیرون بالا رفته و دمای محیط در مقدار مطلوب ثابت نگهداشته‌شود، نیاز به باطری گرم‌کننده پایین می‌آید (شیر کنترلی[۴۹] که بخار را از منع می‌گیرد، عهده دار این کار است). در این شرایط نیز که بار سیستم بسیار پایین است و فشار بخار به حدود صفر یا حتی زیر آن سقوط می‌کند. همچنین بخار ممکن‌است در فشار زیر اتمسفر مشکلاتی در انتقال مایع حاصل از میعان بوجود آورد، بنابراین یک شیر یکطرفه (بعنوان شکنندهٔ خلاء) در محلی که در شکل ۱-۴۴ نشان داده شده است، بسته می‌شود. حال که فشار اتمسفر در باطری وجود دارد و دریچه نیز حدود ۳ فوت (۱متر) زیر نقطه خروج[۵۰] قرار گرفته است، اختلاف فشاری حدود ۱psi (۰/۰۷ bar) در دو سر دریچه ایجاد می‌شود. واضح است که در چنین شرایطی، هیچگونه افزایش ارتفاع یا فشار برگشتی در خط لوله برگشت مایع حاصل از میعان قابل تحمل نیست.



شکل ۱-۴۴. ورودی هوا به دستگاه گرم‌کننده

۱-٤-۱-٦ پمپ کردن مایع حاصل از میعان

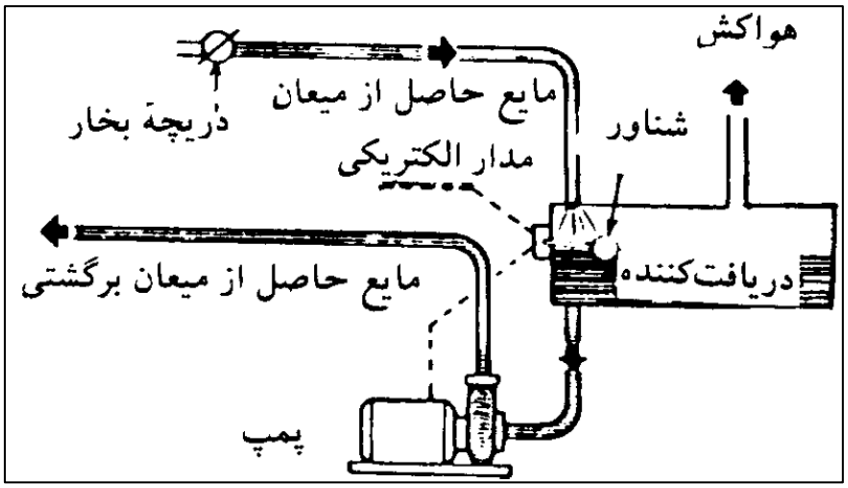
قابل ذکر است که مایع حاصل از میعان در بعضی شرایط خاص نمی‌تواند در خط لوله برگشت بالا رود و تنها در شرایط معینی بالا رفتن مایع مزبور ممکن خواهد بود. حتی در بهترین شرایط، بالا رفتن مایع هنگام روشن شدن سیستم دچار مشکل می‌شود، زیرا فشار برگشتی حاصل در لوله جلوی تخلیه مایع را درست در زمانی که کمترین نیاز به آن است می‌گیرد. این نیروی مقاوم از تخلیه هوای دریچه جلوگیری می‌کند، به این معنا که در هنگام تعمیر و نگهداری، ممکن است نیاز به خاکی‌کردن ستون آب باشد.

[49] Control Valve
[50] Drain Point

تمام این مشکلات را می‌توان با ریختن مایع حاصل از میعان به یک مخزن دریافت کننده[۵۱] و سپس فرستادن آن به طرف دیگ بخار به کمک یک پمپ مستقل، حل کرد. هواگیر (دارای منفذ) بودن دریافت‌کننده از اهمیت زیادی برخوردار است، زیرا جریان آزاد مایع اشباع به درون و بیرون مخزن را تضمین می‌کند. مخزن دریافت‌کننده نباید تحت فشار باشد زیرا تخلیه مایع حاصل از میعان از دریچه‌های بخار به خود مخزن را دچار اشکال می‌کند. این موضوع وقتی که دمای تأسیسات، کنترل می‌شود و یا در فشار پایین کار می‌کند، اهمیت بیشتری دارد.

گاهی اوقات فشار بیش از اندازه، معلول وجود بخار فلش است، در حالیکه مخزن دریافت کننده مشغول انتقال مایع حاصل از میعان در فشارهای متوسط یا بالا می‌باشد. با نصب یک مخزن فلش در مسیر برگشت مایع مزبور، قبل از مخزن دریافت کننده، امکان جدایی بخار فلش از مایع حاصل از میعان بوجود می‌آید و بنابراین تمام حرارت بازیافت می‌شود.

با انجام پیشنهاد فوق در محلی که بخار فلش بوجود می‌آید، کمترین تلفات حرارتی رخ داده و از حرارت موجود حداکثر استفاده بعمل می‌آید. با جمع شدن مایع حاصل از میعان در مخزن دریافت کننده، پمپ‌های الکتریکی اغلب آن را به دیگ بخار انتقال می‌دهند (شکل ۱-۴۵). این راه حل مخصوصاً برای لوله‌های بلند و پر پیچ و خم و ظرفیت بالا بسیار کارساز است.



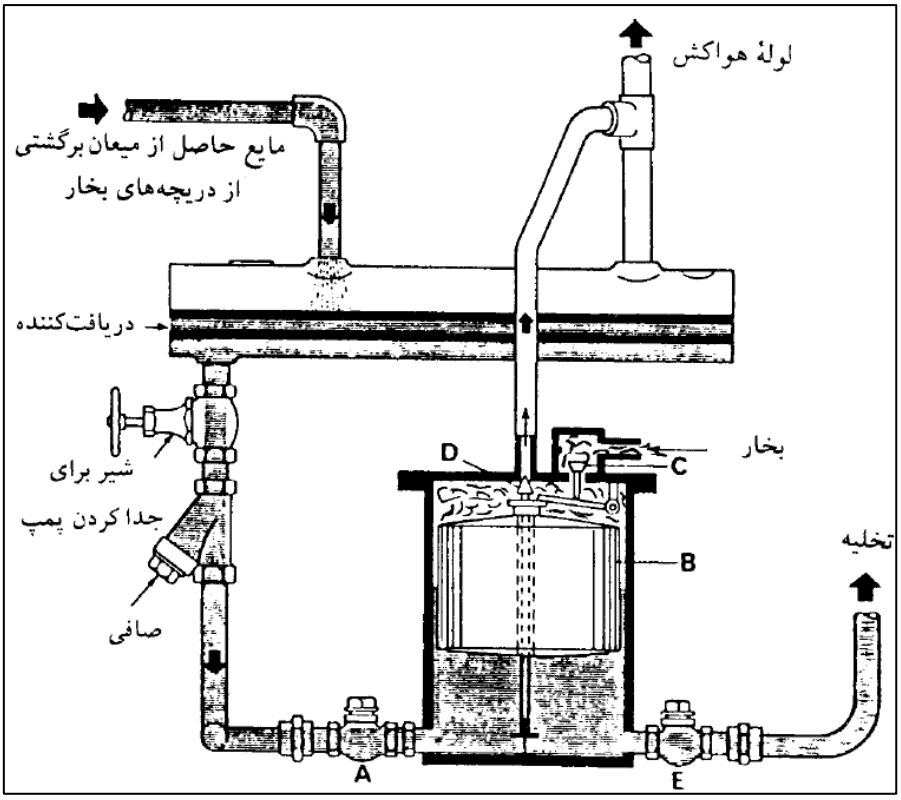
شکل ۱-۴۵. پمپ‌های الکتریکی جهت برگشت مایع حاصل از میعان از مخزن دریافت کننده به دیگ بخار

معمولاً دمای مایع حاصل از میعان جمع‌شده در مخزن دریافت‌کننده، بالا و حدود نقطه جوش در فشار اتمسفر است. بنابراین مسئله‌ای که پیش می‌آید، یافتن پمپی است که بتواند آب را با دمای بالای آن پمپ کند. مسئلهٔ دیگری که وجود دارد این‌است که در بعضی موارد مناسب‌تر بوده که مایع حاصل از میعان را در نقطه‌ای که منبع تغذیهٔ الکتریکی را در نقطه‌های که منبع تغذیه الکتریکی وجود ندارد و یا استفاده از برق بخاطر مسائل ایمنی امکان‌پذیر نیست، جمع‌آوری کرد. یکی از پیشنهادات بسیار عملی برای رساندن مایع حاصل از میعان به دیگ بخار، استفاده از پمپ اتوماتیک یا دریچهٔ پمپی[۵۲] (شکل ۱-۴۶) است. این یک وسیلهٔ ساده است که از بخار به عنوان واسطه استفاده می‌کند.

---

[۵۱] Receiver

[۵۲] Trap Pumping



شکل ۱-۴۶. پمپ اتوماتیک با دریچهٔ پمپی که مایع حاصل از میعان را به مخزن تخلیهٔ دیگ بخار تحویل می‌دهد.

این وسیله به گونه‌ای نصب می‌شود که مایع حاصل از میعان در اثر جاذبه از مخزن دریافت‌کننده و از طریق شیر یکطرفهٔ A به پمپ موردنظر حرکت می‌کند. هوا و بخار از نقطهٔ D خارج می‌شوند. با بالا آمدن سطح آب، شناور B بالا رفته و باعث بسته شدن بیشتر D و باز شدن شیر C (منبع بخار) می‌شود. حال بخار به آب فشار می‌آورد تا از شیر یکطرفهٔ E بگذرد. با عبور آب از E خروجی D باز و ورودی بخار C بسته می‌شود.

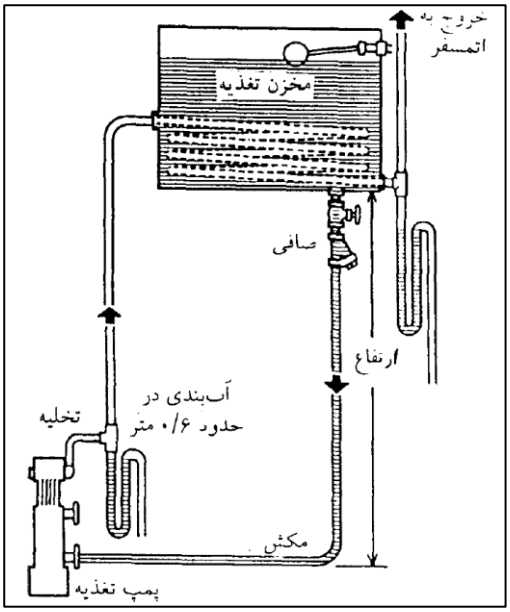
۱-٤-۱-۷ اندازه گیری مایع حاصل از میعان

یکی از مزایای بکارگیری سیستم دریچهٔ پمپی این است که می‌توان همزمان یک کنتور نوبتی[۵۳] (یا ضربه‌ای) ساده را نیز با آن بکار برد. ظرفیت در هر نوبت معلوم است. بنابراین با یک محاسبهٔ ساده می‌توان مقدار مایع انتقال‌یافته را بدست آورد. بعلاوه هر پوند بخار معادل یک پوند مایع حاصل از میعان است. بدین‌ترتیب می‌توان بطور غیر مستقیم مقدار مصرف بخار را نیز اندازه گرفت.

۱-٤-۱-۸ مشکل انتقال به واسطهٔ دمای بسیار بالا

[53] Stroke Counter

در بعضی موارد برگشت تمامی مایع حاصل از میعان دچار مشکل می‌شود زیرا آبی که تولید می‌شود دمای بسیار بالایی دارد و خطر وقوع پدیدهٔ کاویتاسیون[۵۴] در ورودی پمپ بوجود می‌آید (کاویتاسیون، ایجاد حباب‌های متعدد بخار در آب بخاطر دمای بالا و افت فشار می‌باشد. با ترکیدن حباب‌ها ضربه‌های متعددی به پره‌های پمپ وارد می‌شود که خوردگی مکانیکی[۵۵] آن را به سرعت بالا برده و آسیب جدی وارد می‌شود). برای رفع کاویتاسیون باید مخزن تغذیه را در ارتفاع بالایی نسبت به ورودی پمپ قرار داد تا فشار مثبت ایجاد شود. ارتفاع لازم برای هر دمایی برحسب فشار ورودی پمپ محاسبه می‌شود برحسب نوع پمپ تغییر می‌کند. اگر در این‌گونه محاسبات تردیدی وجود داشت بهتر است از سازنده راهنمایی لازم گرفته‌شود. شاید بدترین حالت، زمانی رخ دهد که پمپ، از نوع جابجایی مثبت[۵۶] باشد. شکل ۱-۴۷ رابطهٔ حداقل ارتفاع را با دما نشان می‌دهد. اگر از یک پمپ یا محرکهٔ بخار استفاده شود، می‌توان با عبور بخار از لوله مارپیچی که در مخزن تغذیه قرار دارد، حرارت خروجی را بازیابی کرد.



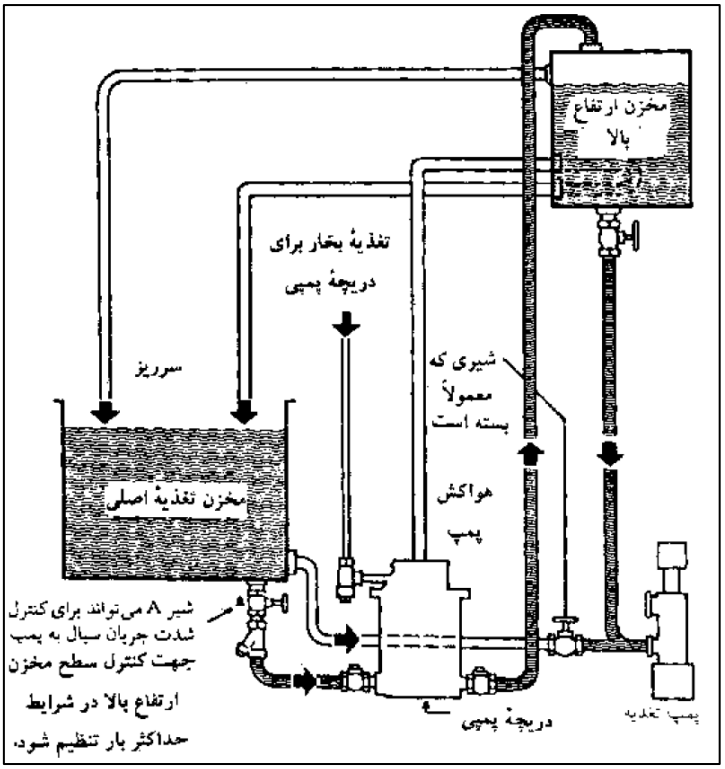
۱. ارتفاع ۵ ft (۱/۵ m) برای ۱۹۰ °F (۸۸ °C)
۲. ارتفاع ۱۰ ft (۳ m) برای ۲۰۰ °F (۹۳ °C)
۳. ارتفاع ۱۵ ft (۴/۶ m) برای ۲۱۰ °F (۹۹ °C)
۴. ارتفاع ۱۷ ft (۵/۲ m) برای ۲۱۲ °F (۱۰۰ °C)

شکل ۱-۴۷. رابطهٔ بین ارتفاع و دما

در بعضی تأسیسات ممکن است قرار دادن مخزن تغذیه در ارتفاعی که بتوان از همهٔ مایع دارای حرارت حاصل از میعان استفاده کرد، مشکل باشد. کاملا روشن است که تعویض پمپ تغذیهٔ دیگ بخار با نوع دیگری که جهت شرایط کار مناسب‌تر است، باید در نظرگرفته شود.

راه دیگر آن است که، از یک مخزن که الزاماً بزرگ نیست و در ارتفاع بالا قرار دارد، استفاده نمود. این مخزن توسط یک دریچهٔ پمپی از مخزن اصلی تغذیه می‌شود، (شکل ۱-۴۸).

[54] Cavitation
[55] Erosion
[56] Positive Displacement



شکل ۱-۴۸. مخزن سرویس مستقر در ارتفاع بالا که از مخزن اصلی توسط یک دریچهٔ پمپی تغذیه می‌شود.

۱-٤-۱-۹ حفظ حرارت و جلوگیری از اتلاف و تبادل آن با محیط بیرون

در بعضی موارد دیده شده که مسیر مایع حاصل از میعان برخلاف مسیر بخار، عایق‌بندی نشده‌است. با اینکه مایع مزبور از دمای پایین‌تری برخوردار است، اما منظور ازسیستم بازیافت حرارتی، اخذ حرارت درون مایع است به همین دلیل نباید اجازه داد ۷۵ درصد از حرارت آن مایع از طریق لوله‌هایی که عایق‌بندی نشده‌اند از دست برود. جدول ۱-۵ میزان دبی تلفات حرارتی از لوله‌های فولادی بدون عایق‌بندی که در معرض محیط ($^{\circ}$C ۲۰-۱۰) قرار گرفته‌اند را در واحد طول نشان می‌دهد. با یک عایق‌بندی معمولی می‌توان این اتلاف انرژی در ۲۵٪ کاهش داد. به عنوان نمونه لوله‌های به طول ۳۰۰ m و قطر ۵۰ mm را در نظر بگیرید که آب را با دمای $^{\circ}$C ۸۰ از خود عبور می‌دهد. در جدول ۱-۵ ملاحظه می‌شود که اتلاف حرارتی برای لوله‌های با قطر فوق معادل ۴۰ W/m) و درنتیجه برای لوله‌ای به طول ۳۰۰ m، اتلافی معادل ۷۲۰۰۰ W بوجود می‌آید. اما اگر این خط عایق‌بندی شود، تلفات حرارتی به ۱۸۰۰۰ W کاهش می‌یابد یعنی ۵۴۰۰۰ W از تلفات حرارتی کاسته‌می‌شود. با درنظر گرفتن متغیرهایی از قبیل ارزش حرارتی سوخت و بازده دیگ بخار، این اتلاف حرارتی در طول ۵۰ هفته در یکسال، ۷ روز در هفته و ۲۴ ساعت در روز، معادل ۸۵ تن ذغال سنگ، ۱۰۰۰۰ گالن (۵۰۰۰۰ لیتر) نفت یا ۱۸۵۰۰ Btu (۲۰۰۰ GJ) گاز است.

جدول ۱-۵. اتلاف حرارتی در لوله‌ها (تشعشع حرارتی هر یک لولهٔ فولادی افقی بدون عایق که بطور آزاد در مقابل هوا $^{\circ}$C ۲۰-۱۰ قرار داده شده است)

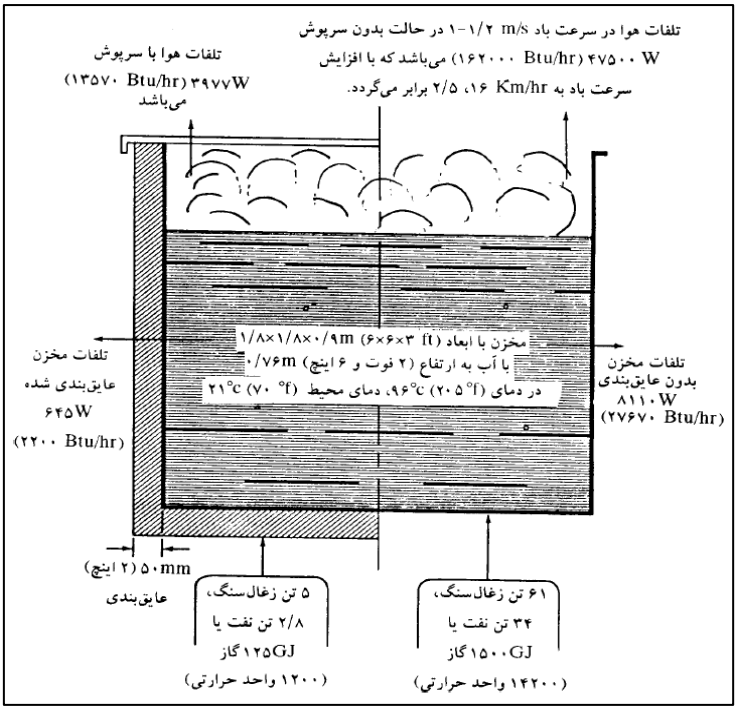
اختلاف دما	اندازه لوله (mm)								
	۱۵	۲۰	۲۵	۳۲	۴۰	۵۰	۶۵	۸۰	۱۰۰

°C	W/m								
۵۵	۵۹	۷۰	۸۸	۱۱۰	۱۱۸	۱۵۰	۱۸۰	۲۱۰	۲۶۰
۶۰	۶۶	۷۸	۹۸	۱۲۰	۱۳۰	۱۷۰	۲۰۰	۲۳۰	۲۹۰
۷۰	۸۰	۹۵	۱۲۰	۱۵۰	۱۶۰	۲۰۰	۲۴۰	۲۸۰	۳۵۰
۸۰	۹۶	۱۱۰	۱۴۰	۱۷۰	۱۹۰	۲۴۰	۲۹۰	۳۳۰	۴۱۰
۹۰	۱۱۰	۱۳۰	۱۶۰	۲۰۰	۲۳۰	۲۷۰	۳۳۰	۳۸۰	۴۸۰
۱۰۰	۱۳۰	۱۵۰	۱۹۰	۲۳۰	۲۶۰	۳۲۰	۳۹۰	۴۵۰	۵۵۰

بعبارت دیگر، این سوخت با ارزش در صورتی که لوله‌ها عایق‌بندی نشده‌باشند، به هدر می‌رود. همچنین باید درنظر داشت که هر جفت فلنج‌های اتصالی[۵۷] خطوط لوله نیز اتلاف حرارتی معادل ۶۰ cm از لوله را می‌باشند. در نهایت مایع حاصل از میعان تحویل مخزن تغذیه دیگ بخار می‌شود. نکاتی که برای جلوگیری از اتلاف حرارتی لوله‌ها ذکر شدند برای مخزن تغذیه نیز مطرح هستند.

بنابراین مخزن نیز باید به گونه مناسبی عایق‌بندی شود، بطوریکه به غیر از دیواره‌های مخزن، باید بر سر آن نیز یک سرپوش که منفذی به محیط داشته‌باشد، قرارگیرد. شاید یک راه عملی بهتر، این باشد که از یک صفحهٔ شناور که ازکره‌های توخالی پلاستیکی بوجود آمده‌است، بر سطح آب استفاده شود. این کار نه تنها از اتلاف حرارتی می‌کاهد، بلکه از جذب اکسیژن به درون آب نیز جلوگیری می‌کند. شکل ۱-۴۹ مخزنی را نمایش می‌دهد که نیمی از آن دارای عایق و نیم دیگر بدون پوشش است. بدین‌ترتیب می‌توان مقایسه‌ای میان تلفات حرارتی در دو حالت عایق‌شده و حالت عایق‌نشدهٔ مخزن انجام داد. حتی اگر این مخزن کوچک در نظر گرفته شود، اختلاف کاهش مقادیر اتلاف حرارتی در دو نیمه عایق‌شده و عایق‌نشده آن، اهمیت عایق‌بندی را نشان می‌دهد که منجر به صرفه‌جویی ارزشمندی در سوخت می‌شود.

[۵۷] منظور لبهٔ برگشتی محل اتصال دو لوله می‌باشد.



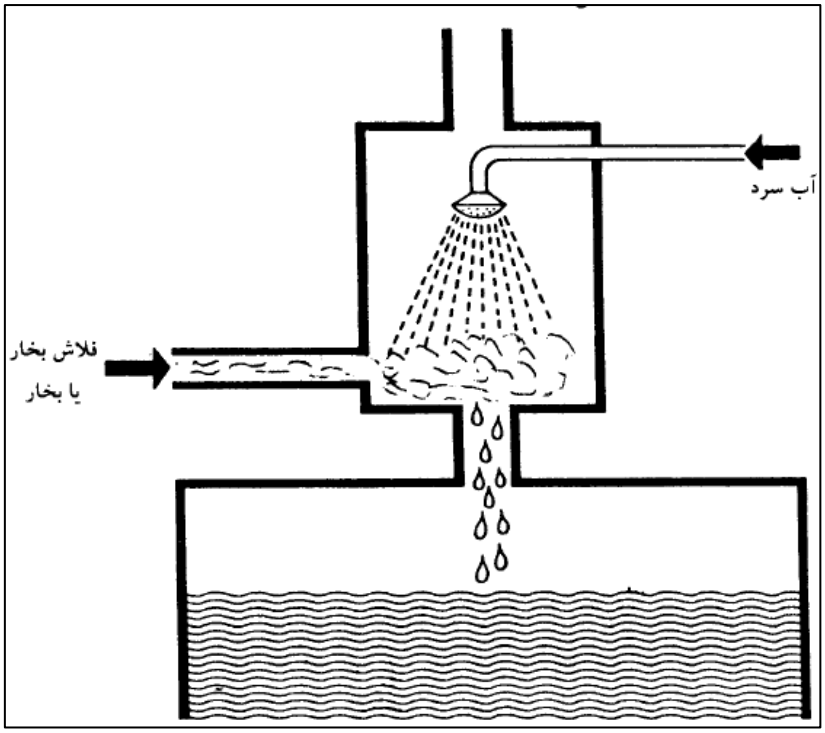
شکل ۱-۴۹. مقایسهٔ تلفات حرارتی دو نیمهٔ عایق شده و عایق نشدهٔ مخزن در ۶۰۰۰ ساعت

۱-٤-۲ بازیافت ساده بخار

در بسیاری فرآیندها، آب از محصولات تولیدشده در آن فرآیند تبخیر می‌گردد. بنابراین بخار بدست‌آمده حاوی مقدار ارزشمندی حرارت نهان حدود ۹۷۰ Btu/lb (۲۲۵۶ kJ/kg) در فشار اتمسفر است که معمولاً بدون استفاده مفید در محیط تخلیه می‌شود که نه تنها اتلاف انرژی به حساب می‌آید، بلکه گاهی اوقات مه[58] آزاردهنده‌ای نیز تولید می‌کند که خود سبب آسیب به ساختمان محل خواهدشد. یکی از راه‌های رفع مشکل فوق، جمع‌نمودن بخار در یک کانال و سپس استفاده از یک آب‌پاش جهت میعان بخار است، همانگونه که در شکل ۱-۵۰ نشان داده شده‌است.

آب جمع شده داغ بوده و می‌تواند منبع خوبی برای بسیاری از عملیات نظیر شستشو یا فرآیندهای لازم در تغذیه دیگ بخار باشد. البته این نکته ابتدائی نباید فراموش شود که هرگونه آلودگی هوا یا بخار از این طریق وارد آب نیز می‌شود. در این شرایط یکی از راه‌های مطلوب استفاده از این آب، استفاده آن در یک مبدل حرارتی است. مزایای بازیافت آنقدر با ارزش هست که بهتر است در هر تأسیساتی که بخار تولید می‌شود، به دقت مورد مطالعه قرار گیرند.

[58] Fog



شکل ۱-۵۰. کندانسور که در آن از یک آب پاش دوش حمام یا باغبانی استفاده شده است.

۱-٤-۲-۱ کاربرد بخار فلش

در تأسیسات صنعتی معمولی، واحدهایی وجود دارند که از طریق دریچه‌های بخار مایع حاصل از میعان را به خط لوله مشترک برگشت مایع که به مخزن تغذیه دیگ بخار می‌رود، تخلیه می‌نمایند. گاهی اوقات لوله‌های مزبور عایق‌بندی شده‌اند، ولی اغلب چنین نیست. مخزن تغذیه نیز یا سر باز بوده و گاهی عایق‌بندی شده است و یا از طریق یک منفذ با محیط ارتباط دارد. گاهی مایع برگشتی در سطح بالاتر از آب و گاهی پایین‌تر از آن قرار می‌گیرد. مخزن نیز ممکن است هم سطح، چند فوت بالاتر و یا حتی پائین‌تر ازسطح پمپ‌های تغذیهٔ دیگ بخار قرار داشته باشد.

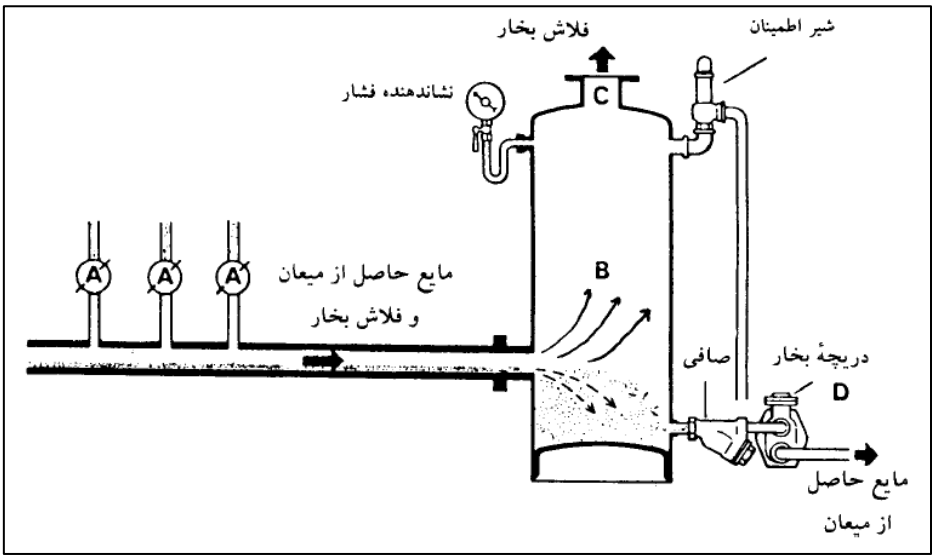
بخار فلش تشکیل شده در دریچه‌ها همراه با مایع حاصل از میعان در طول خطوط برگشت حرکت می‌کند. اگر لوله‌ها عایق نشده باشند، متراکم شده و حرارت مربوطه به صورت تبادل دما با هوای محیط تلف می‌شود. اگر لوله‌ها عایق شده باشند، مقدار زیادی حرارت به مخزن تغذیه می‌رسد. اگر برگشت مایع حاصل از میعان بالای سطح آب باشد، بخار فلش به درون هوا فرار می‌کند. اگر برگشت مایع مزبور پایین سطح آب باشد، بخار فلش متراکم شده و دمای تغذیه افزایش خواهد یافت. البته این امر فقط در صورتی رخ می‌دهد که درصد قابل ملاحظه‌ای از تغذیه آب سرد[۵۹] وجود داشته باشد.

با رعایت تمام مواردی که حرارت با ارزش مایع حاصل از میعان را حفظ می‌نماید (نظیر عایق‌بندی خطوط برگشت، عایق‌بندی و درپوش داشتن مخزن تغذیه و قراردادن لوله برگشت زیر سطح آب)، بیشتر حرارتی که وارد دریچه شده بود هنوز قابل دسترس است. اما آیا پمپ‌های تغذیه قادر به انتقال آن در چنین دمایی هستند؟ اگر ارتفاع (فشار) بالا

---

[۵۹] Cold Make-up

در مکش پمپ وجود نداشته باشد بالا بودن دمای آب، ممکن است حتی زمانی که پمپ‌ها در وضعیت خوبی هم باشند، منجر به پدیده کاویتاسیون شود.



شکل ۱-۵۱. مخزن فلش

معمولا روش‌های استاندارد بازیافت و جداسازی مایع حاصل از میعان، قادر به استفاده مطلوب از بخار فلش موجود در دریچه‌های بخار نیستند. روش صحیح استفاده از بخار فلش همزمان با رفع مشکلات انتقال مایع حاصل از میعان با دمای بالا، این است که در واحدهایی که با فشار بالای بخار کار می‌کنند، یک مخزن فلش در سیستم برگشت مشترک مایع حاصل از میعان یا بعد از دریچه ها نصب شود. آنگاه بخار فلش تولید شده از این طریق را می‌توان به یک سیستم یا واحد با فشار پایین بخار تحویل داد. شکل ۱-۵۱ یک نمونه ساده از این طرح را نشان می‌دهد.

مایع پر فشار حاصل از میعان از دریچه‌های A بطرف مخزن فلش B انتقال می‌یابد. مخزن فلش در یک فشار پایین‌تر قرار دارد، بطوریکه مقداری از مایع هنگام ترک دریچه تبدیل به بخار فلش می‌شود. بخار فلش از مسیر C و باقیمانده مایع نیز از ناحیهٔ B و از طریق دریچهٔ بخار D (که بهتر است از نوع شناور و تخلیه مداوم باشد) خارج می‌شود. ایده‌آل است که مخزن فلش در شرایطی نصب شود که نیاز مداوم به فلش وجود داشته باشد. بیشترین بازیافت زمانی حاصل می‌شود که طول لوله‌کشی در نتیجه اتلاف انرژی کمترین مقدار خود را داشته باشد. بدین دلیل وجود تعدادی واحد بازیافت حرارتی در نقاط مختلف تأسیسات بهتر از یک واحد بزرگ است. تمام مخازن و لوله کشی‌ها باید عایق‌بندی شده باشند.

ابر بخار تشکیل شده توسط بخار فلش نوعی محصول جانبی طبیعی ناشی از تخلیه کندانس است. از آنجایی که بخار فلش دارای کیفیتی برابر با بخار زنده است، تأسیسات جدید اغلب سعی دارند در صورت امکان از مقادیر زیاد بخار فلش دوباره استفاده کنند. استفاده مجدد از بخار فلش تولید شده توسط یک سیستم فشار بالا برای استفاده در یک سیستم فشار پایین، می‌تواند موجب صرفه‌جویی در مصرف انرژی و بهبود محیط کار یک واحد تولیدی از طریق کاهش ابرهای بخار شود. هنگام راه‌اندازی یک سیستم مدیریت گرمای تلف شده، سیستم‌های بازیافت کندانس و سیستم‌های بازیافت بخار فلش اغلب با یکدیگر ارزیابی می‌شوند.

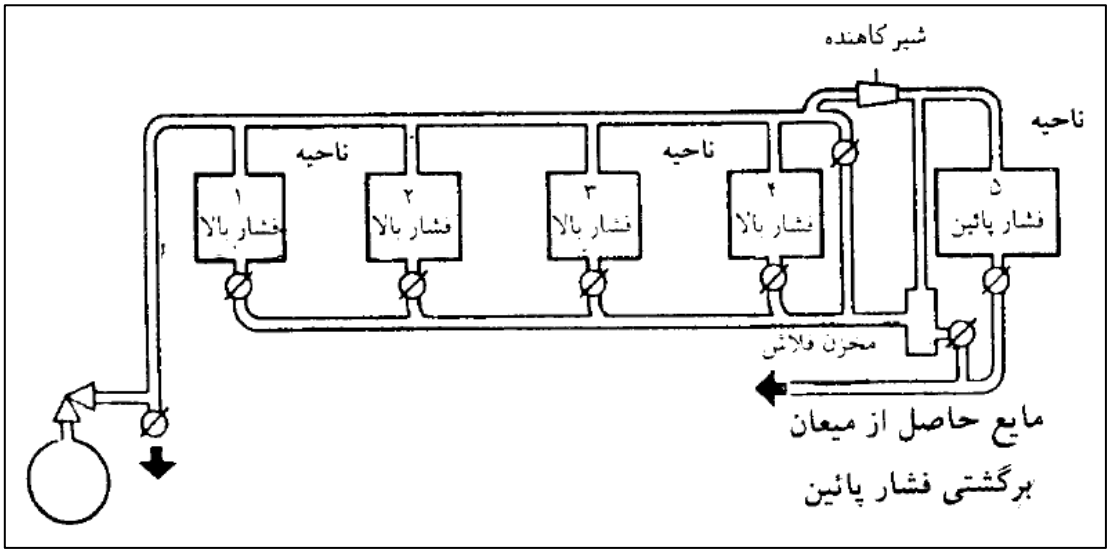
۱-٤-۲-۲ نمونه‌هایی از بازیافت بخار فلش

همانگونه که پیشتر گفته‌شد در خطوط بخار با فشار متوسط و زیاد و هنگام خروج میعانات از تله بخار، فشار کم موجود در خط بازیافت میعانات، موجب بازگشت دوباره مقداری از مایع به بخار شده که به آن بخار فلش می‌گویند. این بخار فلش حاوی انرژی گرمایی ارزشمندی است که در صورت استفاده مجدد موثر، می‌تواند به افزایش کارایی واحد و کاهش مصرف انرژی کمک کند. اغلب اوقات، بخار فلش ممکن است به جو منتقل شود و انرژی گرمایی متعاقبا هدر می‌رود. با این وجود، دو روش ممکن برای حفظ انرژی گرمایی وجود دارد: بازیابی فلش و فشرده سازی بخار.

یکی از متداول‌ترین روش‌های جذب گرما، نصب یک مخزن تحت فشار یا همان سیستم بازیابی فلش است. مخزن فلش، میعانات تخلیه‌شده از تله‌های بخار را دریافت کرده و اجازه می‌دهد تا بخار فلش به یک خط فشار کم هدایت شود تا دوباره در جاهای دیگر استفاده شود. دلایل واضح و مبرهنی برای استفاده از سیستم بازیافت فلش درتأسیسات وجود دارد، اما بهتر است که این سیستم در طراحی اولیه گنجانده شود.

سیستم گرمایش

یک سیستم گرمایش می‌تواند مثال خوبی جهت بکارگیری بخار فلش باشد. از مطالعهٔ جداول بخار می‌توان نتیجه گرفت که بخار پرفشار (HP) نسبت به بخار کم‌فشار (LP) حرارت پنهان کمتری دارد. بنابراین برای گرفتن حرارت لازم اقتصادی‌تر است که از بخار کم‌فشار استفاده گردد. اشکالی که در این مورد وجود دارد این است که فشار و دمای پایین بخار به منزلهٔ بزرگ‌تر بودن اندازهٔ لوله‌ها، گرم‌کننده‌های واحد مربوطه و تمام سطوح حرارتی می‌باشد. بنابراین سرمایهٔ لازم برای سیستم کم‌فشار نسبت به سیستم پرفشار تا حد قابل توجهی بالاتر است. می‌توان با انجام تسهیلاتی استفاده از این سیستم را در مجموع مقرون به‌صرفه ساخت. اگر مکانی که باید گرم شود مثلا شامل ۵ ناحیه باشد، آنگاه می‌توان چهار ناحیه را توسط بخار پرفشار تأمین نمود و با بازیابی بخار فلش از آنها، ناحیه پنجم را در فشارکم تغذیه کرد. این ترکیب در شکل ۱-۵۲ نشان داده شده‌است. بدین‌ترتیب سرمایهٔ انجام این کار در مقابل کل بازیافت حرارتی از بخار قابل جبران می‌باشد و از حرارت پنهان موجود استفاده مطلوب شده‌است.



شکل ۱-۵۲. روش استفاده از بخار فلش در یک سیستم گرمایش

کنترل فشار بخار فلش

در شکل ۱-۵۲ باید توجه شود که یک اتصال متقاطع بین منبع اصلی بخار پرفشار و لولهٔ بازیافت بخار فلش از طریق یک شیر کاهنده بخار وجود داشت. به این ترتیب شیر کاهنده، فشار منبع بخار کم‌فشار را کنترل می‌کند و در صورت لزوم هنگامی‌که بخار فلش کافی جهت تأمین تقاضا موجود نباشد، اجازهٔ ورود تغذیه اضافی به سیستم را می‌دهد.

شیر کاهنده مزبور باید از نوع حساس باشد تا در صورت وقوع تغییرات فشار و بار در سیستم بتواند سریعاً آن را درک و پاسخ لازم را بدهد. همیشه کنترل فشار و بخار اضافی الزامی نیست. برای مثال زمانی که از مبدل حرارتی بخار به آب برای گرمایش فضا استفاده می‌شود، به دلیل فضا و هزینه لازم، اقتصادی‌ترین حالت آن است که مبدل در فشار بالا استفاده شود اما عیب این روش آن است که در تخلیه مایع حاصل از میعان دما بالا، حرارت قابل توجهی تلف می‌شود. بخاطر پرهیز از این اتلاف انرژی، توصیه می‌شود که مایع حاصله از یک گرم‌کنندهٔ یا مبدل حرارتی ثانویه عبور کند. بدین‌ترتیب مقداری حرارت از مایع حاصل از میعان و بخار فلش جذب و صرف کار مثبت پیش گرمادهی آب درگردش می‌شود که موجب کاهش مصرف بخار مبدل حرارتی می‌گردد.

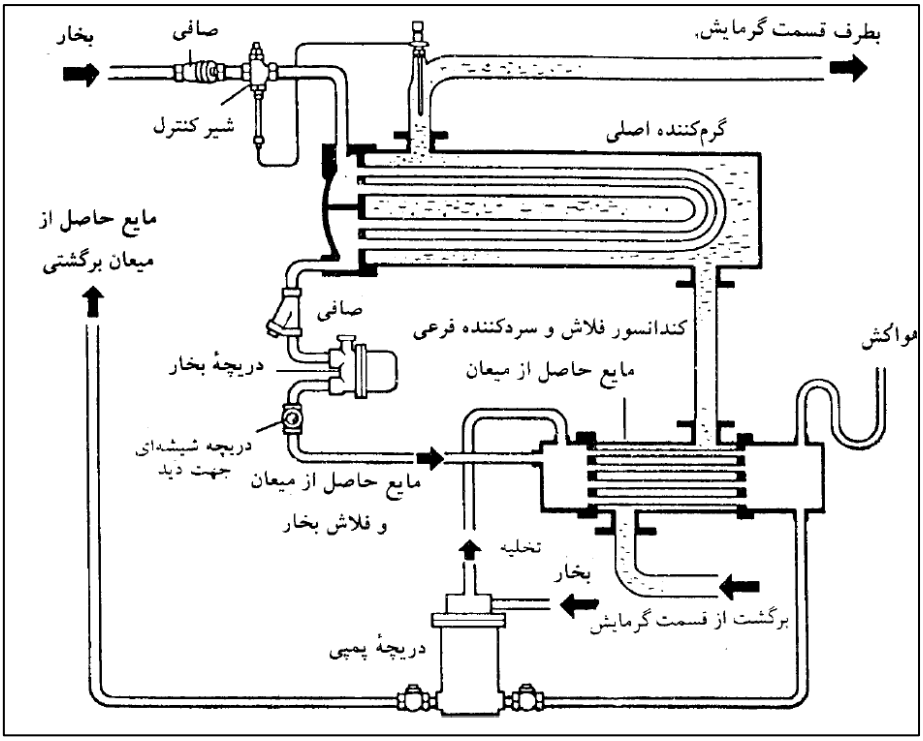
ابعاد مخزن فلش

از دیدگاه تئوری، بخار فلش در نقطه‌ای اتفاق می‌افتد که فشار بخار افت نماید. همانگونه که در شکل ۱-۵۳ ملاحظه می‌شود مکان رخداد این پدیده کف دریچهٔ بخار می‌باشد. از این نقطه به بعد، مایع حاصل از میعان و بخار فلش با هم در یک لوله حرکت می‌کنند و مخزن فلش درحکم یک جداکننده عمل می‌کند. بیشترین سرعت بخار در مخزن حدود ۱۰ ft/s (۳ m/s) است که امکان جداسازی را فراهم کرده و مایع حاصل از میعان می‌تواند از طریق یک دریچه بخار (ترجیحاً نوع شناور) تخلیه شود.

در همین راستا، ارتفاع مخزن نیز عامل مهمی است. توربولانس[۶۰] (آشفتگی) در نقطهٔ جدایی می‌تواند باعث پاشیدن ذرات آب به درون فضای بخار گردد. اگر به این ذرات اجازهٔ افزایش سرعت در خروجی فلش داده شود، امکان حمل آنها توسط بخار وجود دارد که در اینصورت باعث مرطوب شدن آن می‌گردد. روش قاطعی را نمی‌توان برای چگونگی محاسبهٔ ابعاد مخزن فلش عنوان کرد، اما تجربه نشان داده است در حالتی که سرعت خروج بخار فلش بیشتر از ۵۰ ft/s (۱۵ m/s) نیست، ارتفاع آن نباید کمتر از ۴-۳ ft (۱/۲-۱ m) باشد.

---

[۶۰] Turbulence

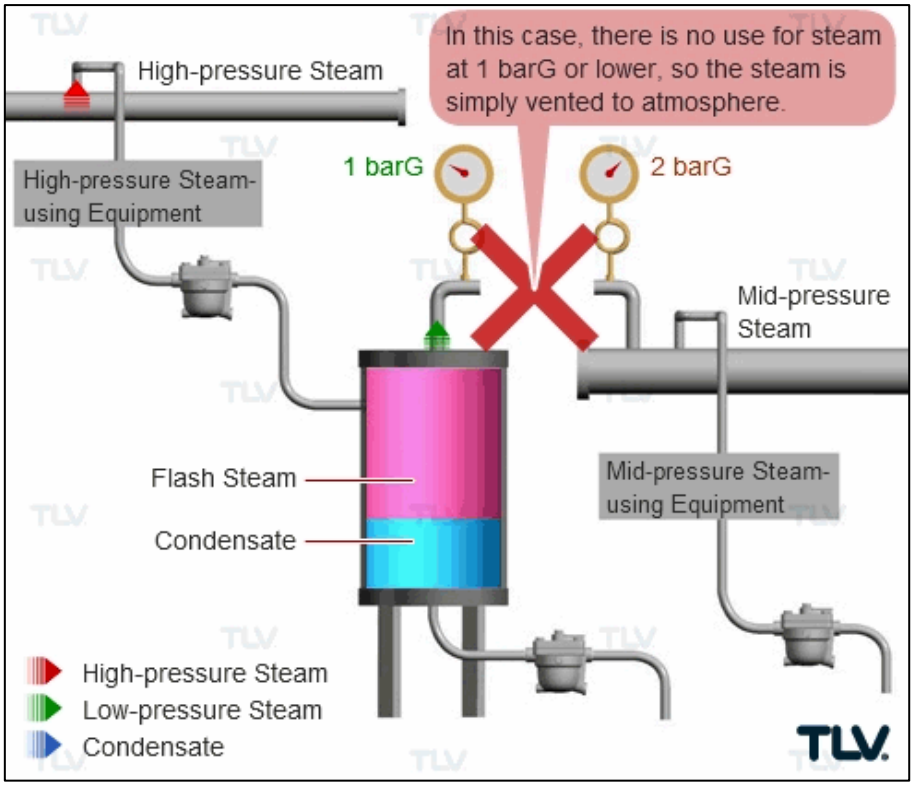


شکل ۱-۵۳. آرایش مبدل‌های حرارتی سیستم گرمایش

۱-٤-۳ بازیابی بخار از طریق ظرف یا تانک فلش

با اندازه‌گیری مناسب و نصب یک مخزن فلش، بخار فلش ممکن است در یک مبدل حرارتی و به منظور گرم‌کردن هوا، آب یا هر مایع دیگر، یا مستقیماً در فرآیندهای با فشار کم استفاده شود. بطور کلی ظرف یا تانک فلش می‌تواند برای مقاصد زیر بکار گرفته می‌شود:

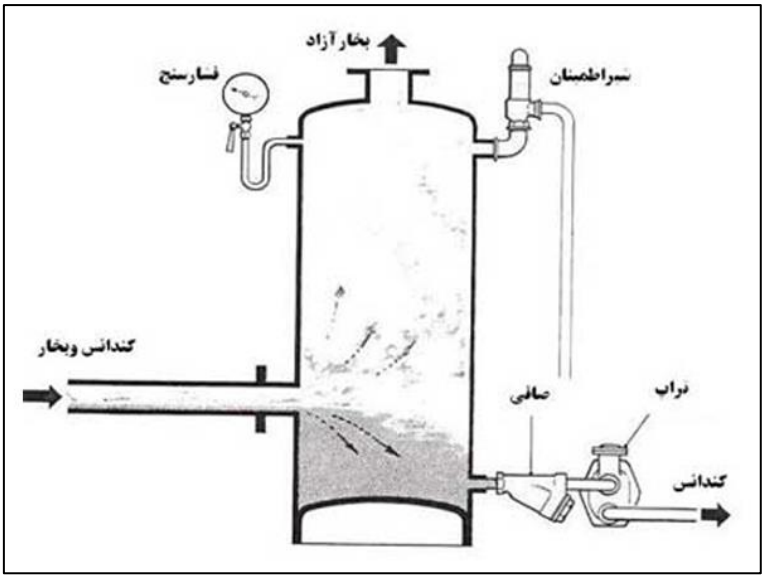
- جداسازی میعانات و بخار فلش
- کنترل روند تولید بخار فلش
- ایجاد فضای کافی برای آزاد شدن بخار فلش
- کاهش سرعت بخار فلش برای اطمینان از عدم انتقال میعانات با بخار فلش



شکل ۱-۵۴. بررسی نمونه سیستم توزیع بخار با تانک فلش

مخازن فلش را می‌توان به صورت عمودی یا افقی نصب کرد، اما آرایش عمودی نشان داده شده در شکل ۱-۵۴ روش مناسب‌تری است، زیرا جداسازی بهتر بخار و میعانات را فراهم نموده و منجر به بالاترین کیفیت ممکن جهت بخار فلش می‌شود.

مهمترین بخش در طراحی مخازن فلش عمودی، قطر داخلی است که باید به اندازه کافی بزرگ باشد تا از سرعت تخلیه کم بخار فلش اطمینان حاصل کند و انتقال میعانات به حداقل برسد. همچنین، اندازه مخزن برای آزاد شدن بخار فلش از میعانات به سطح کافی نیاز دارد. اگر اندازه برگشت خط میعانات به درستی اندازه باشد، میعانات بخار فلش را در خط میعانات آزاد می‌کنند. بنابراین مخزن فلش به یک مخزن جداکننده (بخارفلش و میعانات) تبدیل می‌شود، (شکل ۱-۵۵). سرعت خروجی از مخزن فلش نباید بیش از ۳۰۰۰ فوت در دقیقه باشد. متأسفانه، بیشتر خطوط میعانات گازی در عملیات صنعتی اندازه مناسبی ندارند. بنابراین لازم‌است، مخزن فلش باید فضای مناسبی را برای میعانات به منظور آزاد کردن بخار فلش فراهم کند.



شکل ۱-۵۵. نحوه نصب تانک فلش بصورت عمودی

۱-٤-٤ بازیابی بخار توسط افزایش فشار

بطورکلی بکارگیری یک سیستم بازیابی بخار فلش، منجر به مقدار مشخصی از فشار برگشتی در سیستم می‌شود. بنابراین نکته حائز اهمیت در اینجا حفظ دیفرانسیل فشار لازم در بالادست جریانها می‌باشد تا بدین‌ترتیب تله‌های بخار قادر به ادامه کار خود بوده و کارآیی مفید خود را از دست ندهند. بعلاوه باید بخار با فشار متوسط یا پایین که توسط مخزن فلش فراهم می‌شود نیز وجود داشته باشد. غالباً فشار بخار فلش بازیابی‌شده کمتر از حداقل فشار یا دمای مورد نیاز برای استفاده مجدد است. در چنین مواردی، افزایش فشار بخار از طریق اجکتور بخار[۶۱] می‌تواند راه حل مناسب‌تری را ارائه دهد.

پس با درنظرگرفتن شرایط عملیاتی مورد نیاز جهت بخار اولیه و میزان تخلیه تله‌های بخار، گاهی اوقات بین حداکثر فشار بخار فلش قابل دستیابی و حداقل فشار مورد نیاز برای استفاده مجدد عدم تطابق وجود دارد. به عنوان مثال، اگر فشار بخار فلش به حداکثر barg ۱ برسد و حداقل فشار قابل استفاده barg ۲ باشد، ممکن است بخار به جای استفاده مجدد، در اتمسفر تخلیه شود زیرا فشار به اندازه کافی بالا نیست تا بتواند حد آستانه فرایند را برآورده کند. اما اگر فقط فشار از barg ۱ به barg ۲ افزایش یابد، می‌توان از تخلیه بی‌رویه بخار جلوگیری کرد.

۱-٤-٤-۱ افزایش فشار بخار

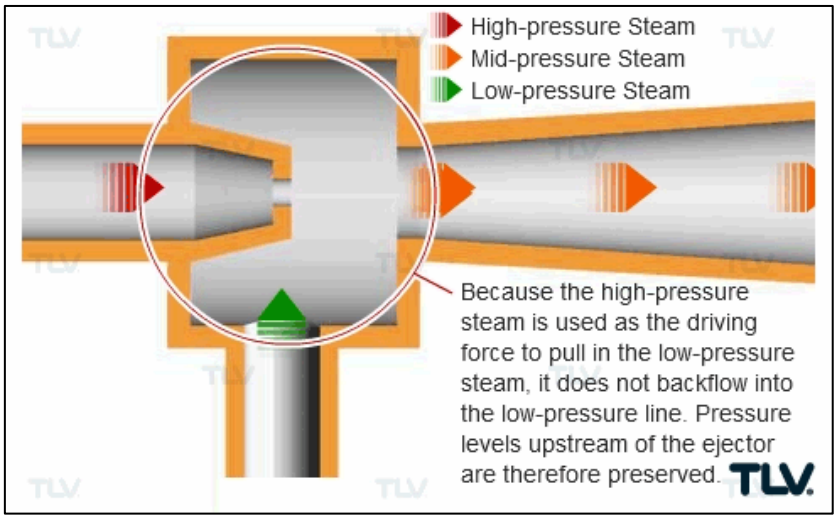
بطورکلی جهت افزایش فشار هوا، می‌توان از کمپرسورهای استاندارد هوا استفاده نمود. اما انجام فشار افزایی بخار فلش با استفاده از کمپرسورهای بخار مکانیکی مانند بخار فلش به دلیل وجود میعانات، چندان معمول نیستند. بعلاوه، افزایش فشار با افزودن گرما به سادگی امکان‌پذیر نیست، زیرا افزودن گرما بدون محفظه (مانند دیگ بخار) صرفاً باعث گرم‌شدن بیش از حد بخار و گسترش آن در طول لوله‌کشی بدون افزایش فشار می‌شود. پس چگونه

[61] Steam Compressors or Ejectors

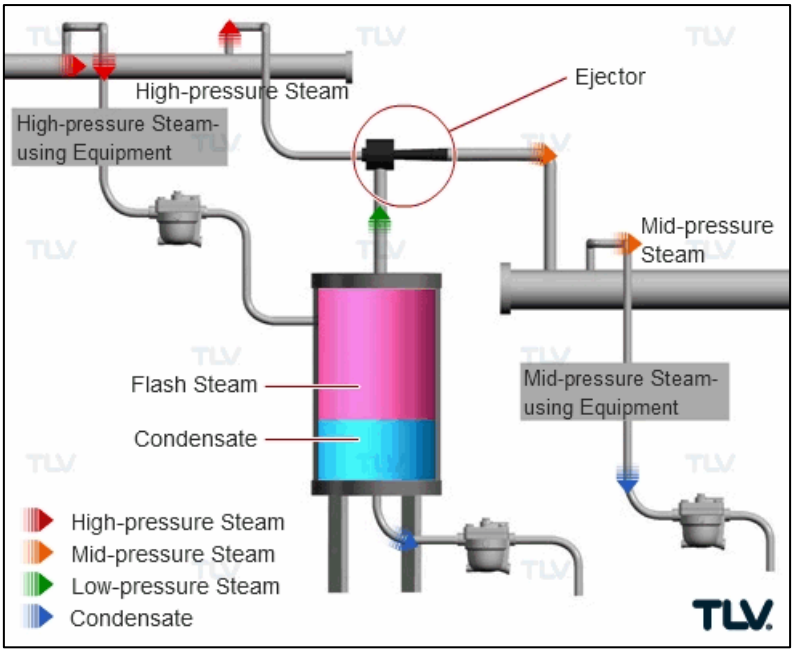
می‌توان فشار بخار را بالا برد؟ یک جواب این‌است که بخار کم‌فشار را با جریان بخار فشار بالاتر ترکیب کنیم. ادغام دو جریان، باعث می‌شود بخار با فشار بیشتری به خط بخار کم‌فشار برگردد، که البته این امر می‌تواند تله‌های بخار نصب شده در بالادست را با مشکل روبرو کند. به منظور جلوگیری از این برگشت جریان، استفاده از دستگاه اجکتور ضروری است.

بنابراین می‌توان با استفاده از دستگاه اجکتور بخار جهت جذب بخار کم‌فشار در جریان بخار فشار بالا، از برگشت جریان و نوسانات فشار در بالادست نیز جلوگیری نمود. این دستگاه، بخار فشار بالا (محرک) را از طریق مجرای کاهش‌یافته (نازل) با شدت به جلو فرستاده تا بدین‌ترتیب انرژی فشار خود را به سرعت تبدیل کند. این انرژی با سرعت بالا به نوبه خود یک اثر مکش ایجاد می‌کند که بخار فشارکم را به محفظه مخلوط کشانده و آن را در جریان مربوطه جذب می‌کند. از طرفی افزایش جرم جریان بخار ترکیبی باعث کاهش سرعت شده و با گسترش دوباره جریان از طریق قسمت پخش‌کننده، مجدداً انرژی سرعت به انرژی فشار تبدیل می‌شود. شکل ۱-۵۶، مکانیزم عملکرد اجکتور بخار را نمایش می‌دهد.

به عبارت دیگر، یک اجکتور بخار از فشار گرمایی برای مخلوط‌کردن جریان‌های بخار با دو فشار مختلف و نهایتاً ایجاد بخار خروجی در یک فشار سطح متوسط، استفاده می‌کند. این همان چیزی است که امکان افزایش فشار بخار فلش تا سطح قابل استفاده را فراهم می‌کند، (**Error! Reference source not found.**۱-۵۷).



شکل ۱-۵۶. مکانیزم عملکرد اجکتور بخار



شکل ۱-۵۷. شماتیک فرآیند بکارگیری اجکتور در بازیابی بخار فلش

یکی از پارامترهای مهم نشان‌دهنده کارآیی کمپرسور بخار یا اجکتور، نسبت نفوذ[۶۲] است که عبارت است از نسبت بخار متحرک مورد نیاز برای به‌دام‌انداختن فشار بخار با فشار کمتر و افزایش مؤثر فشار آن. به عنوان مثال، اگر برای بالا بردن یک تن بخار فلش به فشار مورد نظر، به ۴/۱ تن بخار فشار قوی نیاز باشد، نسبت نفوذ ۴/۱ خواهد بود. بنابراین در مواردی که هدف اصلی افزایش فشار بخار با استفاده از حداقل مقدار بخار فشار قوی ممکن است، نسبت نفوذ پایین‌تر نشان‌دهنده کارآیی بالاتر است.

نسبت نفوذ بیشتر نمایانگر مصرف بیشتر بخار دارای فشار بالاتر می‌باشد تا بدین‌ترتیب جریان ترکیبی در فشار مورد نیاز ایجاد شده و در نتیجه، حجم کل بخار خروجی افزایش یابد. احتمال رخداد این موضوع در حالتی‌که اختلاف فشار بین جریان با فشار بالا و جریان با فشار کم زیاد باشد، اجتناب‌ناپذیر خواهد بود. اما در بعضی موارد، ممکن است تقاضای کافی جهت بخارهای فشار مخلوط متوسط کافی نباشد. در چنین مواردی افزایش نسبت نفوذ اجکتور، ممکن است منجر به یک فرآیند ناکارآمد با بیش از حد تلفات شود.

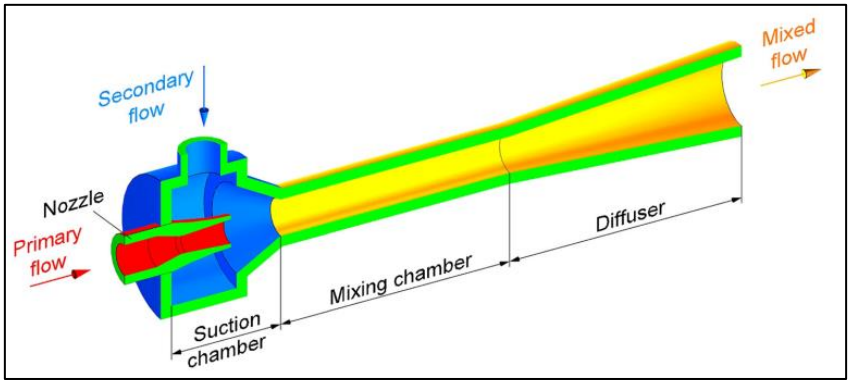
۱-۴-۴-۲ تشریح عملکرد دستگاه اجکتور

دستگاه اجکتور نوع ساده‌شده‌ای از یک پمپ خلأ یا یک کمپرسور خلأ می‌باشد که در آن هیچ‌گونه پیستون، شیر یا روتور و دیگر اجزای متحرک وجود ندارد. اجکتور از چهار قسمت اصلی شامل نازل ابتدایی، محفظه اختلاط[۶۳]، پخش‌کننده[۶۴] و تخلیه[۶۵] تشکیل شده‌است. در اجکتور، بخار با فشار بالا به محفظه بخار وارد می‌شود و در حین عبور از نازل بخار منبسط شده و نازل را در یک سرعت بسیار بالایی ترک می‌نماید. هوا، گاز یا بخار بوسیله نازل مکش

[62] entrainment ratio
[63] Mixing Chamber
[64] Diffuser
[65] Discharge

وارد محفظه بخار شده و به وسیله بخار با سرعت بالا به ورودی دیفیوزر یا نازل ونتوری شکل وارد و سپس از انتهای دیفیوزر خارج می‌شود. در دیفیوزر سرعت زیاد و فشار کم سیال به سرعت کم و فشار زیاد سیال تبدیل می‌شود که از فشار مکش مخلوط هوا بیشتر و یا به عبارت بهتر هد سرعت مخلوط به فشار تبدیل می‌شود که از فشار مکش مخلوط هوا بیشتر ولی از فشار بخار ورودی کمتر می‌باشد.

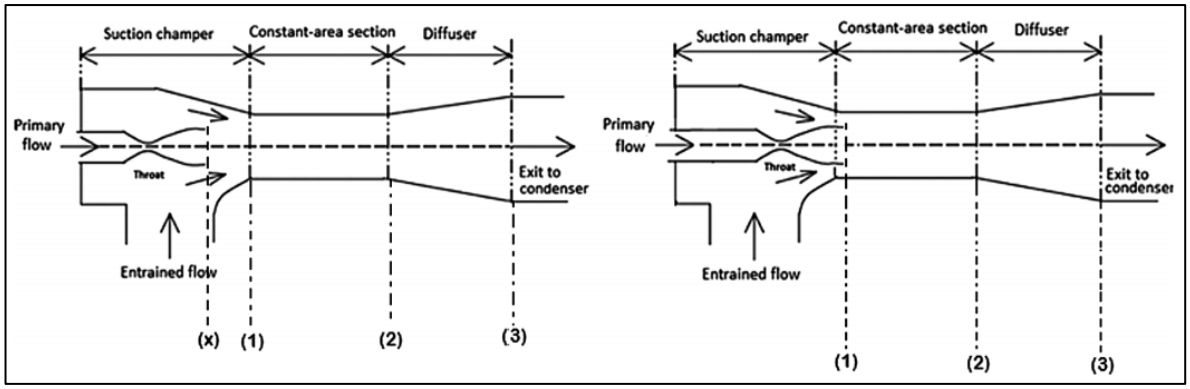
بنابراین می‌توان گفت اجکتور دستگاهی برای مکش، انتقال، تراکم و یا اختلاط گازها، بخارات، مایعات و حتی ذرات جامد می باشد و به نوعی کار کمپرسور را ایفا می‌کند، بطوری‌که در آن انرژی پتانسیل یک سیال محرک (گاز یا مایع) با فشار بالاتر و با عبور از یک نازل، به انرژی جنبشی تبدیل شده و با کاهش فشار استاتیک می‌تواند ماده ثانویه‌ای را مکش کند. در نتیجه سیال محرک و ماده ثانویه در قسمت تخلیه با یکدیگر مخلوط شده و متراکم می‌گردند، (**Error! Reference source not found.**-۵۸-۱). از آنجاکه اعمال تغییرات فشار و سرعت داخل این و سیله به خاطر حرکت سیال در داخل کانال های واگرا و همگراست، لذا آن را جزء دسته کمپرسورهای سیالی می‌دانند.



شکل ۱-۵۸. شمای کلی اجکتور مافوق صوت

ساختمان اجکتور و نحوه عملکرد

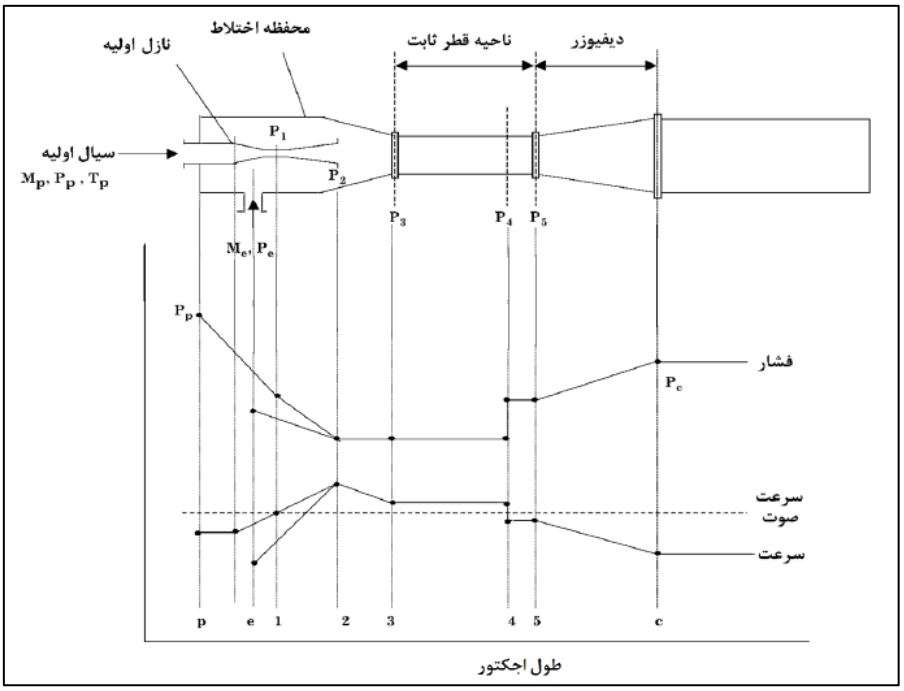
به طور کلی اجکتورها از لحاظ ساختمان به دو دسته فشار ثابت و سطح مقطع ثابت دسته‌بندی می‌شوند. اگر خروجی نازل در بخش سطح مقطع ثابت اجکتور باشد، اختلاط جریان‌های اولیه (محرک) و ثانویه دراین ناحیه صورت خواهدگرفت و در این صورت تئوری اختلاط در بخش مقطع ثابت مورد استفاده قرارمی‌گیرد. در صورتی که انتهای نازل در بخش مکش باشد، اختلاط جریان‌های یاد شده را در بخش مکش و در فشار ثابت فرض می‌کنند که این روش به تئوری اختلاط در فشار ثابت معروف است. اجکتورهای نوع دوم عملکرد بهتری دارند چون اختلاط مغشوش در اجکتور در شرایط فشار ثابت به صورت موثرتری انجام می‌شود. به همین دلیل در سیکل‌های تبریدی برای طراحی اجکتور از مدل اختلاط فشار ثابت استفاده می‌شود. تفاوت این دو مدل را در شکل ۱-۵۹ مشاهده می‌کنید.



الف) ساختمان اجکتور مقطع ثابت **ب) ساختمان اجکتور فشار ثابت**

شکل ۱-۵۹. شماتیک دو نوع اجکتور با ساختمان‌های متفاوت

نحوه عملکرد اجکتور بدین صورت است که سیال ابتدا وارد نازل شده و سرعتش به شدت افزایش پیدا می‌کند. درنتیجه آنتالپی سیال به انرژی جنبشی تبدیل و در نتیجه فشار آن به شدت کم شده و فشار داخلی اجکتور نیز خیلی کمتر از محیط خارجی می‌شود. این عمل سبب ایجاد خلأ شده و در نتیجه سیال ثانویه به محفظه اختلاط کشیده می‌شود و در آنجا با سیال داخل اجکتور مخلوط شده و در آخر ترکیبی از سیال محرک و سیال مکش شده از قسمت تخلیه به بیرون هدایت می‌شود. شکل ۱-۶۰ تغییرات سرعت و فشار در طول اجکتور را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۶۰. تغییرات سرعت و فشار در طول اجکتور

مزایا و معایب اجکتور

- **مزایای اجکتور**

از جمله مهمترین مزیت‌های بکارگیری اجکتور در صنعت می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود:

- انرژی حاصل از بخار اضافی را با افزایش فشار آن، مجدداً قابل استفاده می‌کند.
- می‌تواند به‌همراه دیگر تجهیزات بازیافت میعانات بکارگرفته شود. بطوریکه ابتدا میعانات تا فشار اتمسفر کاهش یافته و به بخار تبدیل شود. سپس بخار برای استفاده مجدد تحت فشار قرار می‌گیرد.
- دارای دریچه کاهش فشار با جداکننده داخلی و تله بخار بوده و قادر به حفظ بخار محرک خشک و اطمینان از کارآیی بالا در طولانی مدت می‌باشد.
- به برق احتیاج ندارد و لذا برای مناطق با خطر جرقه و انفجار مناسب است.
- با انواع گازهای خشک، مرطوب و خورنده کار می‌کند.
- هیچ قسمت متحرکی ندارد.
- عملیات آن ایمن است.
- هزینه ساخت و نصب پایینی دارد.
- عملاً نیاز به تعمیر و نگهداری ندارد.
- ایده‌آل جهت کاربردهای خطرناک مانند مواد سمی و اشتعال‌زا است.

➢ معایب اجکتور

اما در عین حال معایبی نیز به دنبال خواهد داشت، از قبیل:

- حساسیت زیاد به شرایط طرح
- پایین بودن بازده
- ایجاد آلودگی صوتی زیاد

طراحی اجکتور

برای طراحی اجکتورها از منحنی‌های تجربی استفاده می‌شود که در دهه‌های ۱۹۴۰ و ۱۹۵۰ تهیه شده‌است. این منحنی‌ها بر حسب شرایط بخار ورودی و خلأ مورد نیاز و پارامترهای دیگر، اطلاعات کلی از اجکتورها را ارائه می‌دهند. ولی با توجه به حساسیت فوق‌العاده جریان داخل اجکتور به مشخصات هندسی، این اطلاعات کلی برای ساخت اجکتورها کافی نخواهدبود.

بر اساس معادله برنولی اگر کاری انجام نشود یا به عبارت دیگر در یک جریان سیال بدون اصطکاک، انرژی ناشی از فشار و سرعت در تمام نقاط مسیر جریان ثابت باقی می‌ماند، درنتیجه هر افزایش سرعتی با یک کاهش فشار همراه خواهدبود. این اصل می‌تواند جهت جمع‌آوری یک جریان گاز کم‌فشار توسط یک جریان گاز محرک[۶۶] پرفشار برای مکش و فشرده‌نمودن به یک فشار متوسط (متعادل) مورد استفاده قرار گیرد.

همانگونه که پیشتر نیز ذکر شد نازل سیال محرک را از یک منبع فشار بالا دریافت می‌کند. با عبور جریان محرک از درون جت، سرعت افزایش و فشار کاهش می‌یابد که این افزایش سرعت بعلاوه کاهش فشار منجر به ایجاد مکش در اطراف نازل می‌شود. گاز کم‌فشار اطراف نازل به درون کشیده شده و سپس با جریان محرک مخلوط می‌شود. ونتوری بخشی از لوله است که در قسمت گلوگاه قطر کمی دارد، اما در قسمت انتهایی قطر آن افزایش می‌یابد. این قطر

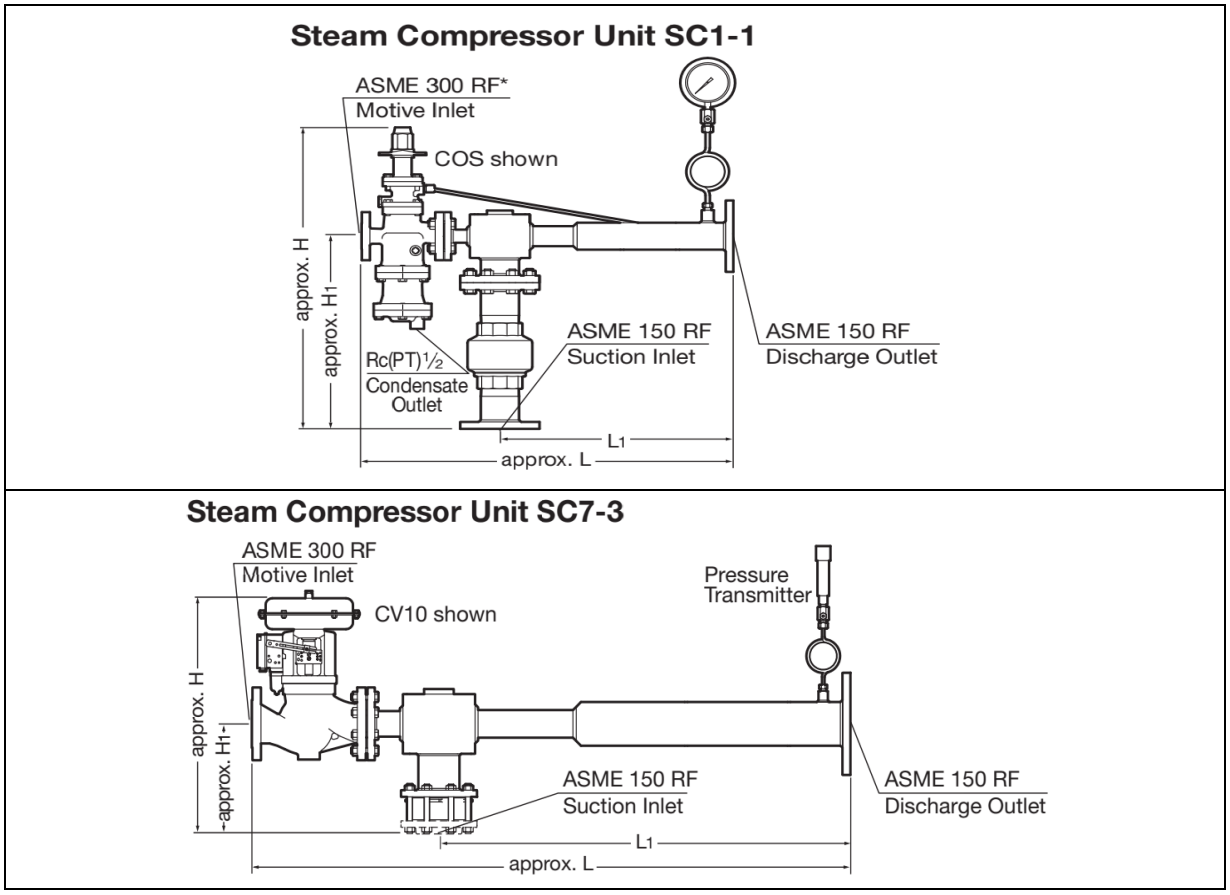
[66] motive gas

افزایش یافته در انتهای پایانی، منجر به کاهش سرعت و افزایش فشار سیال مخلوط می‌شود. ونتوری جریان سیال جت با سرعت بالا را به یک جریان با فشار متوسط جهت تحویل به سیستمی با این فشار متوسط تبدیل می‌نماید.
استفاده از اجکتورها جهت کاربردهای متفاوت متکی بر فاکتورهای زیر است:

- ✓ فشار بخار: انتخاب اجکتور بر مبنای فشار حداقل خط انتخاب شود.
- ✓ دمای بخار: انتخاب بر مبنای دمای حداکثر آب می‌باشد.
- ✓ دما و فشار مکش: با توجه به نیازهای کلی فرآیند، این انتخاب معمولاً به وسیله حداقل فشار مکش مورد نیاز (بالاترین خلأ) صورت می‌گیرد.
- ✓ ظرفیت مورد نیاز: جداولی برای تعیین ظرفیت اجکتورها وجود دارد که به آنها اشاره خواهد شد.

بطور کلی به‌دلیل پیچیدگی‌های موجود در طراحی اجکتورها، برخی شرکت‌ها همانند شرکت TLV اقدام به تهیه نمودارهایی جهت انتخاب سیستم‌های اجکتور بخار که برای بازیابی بخار فلش بکارگرفته می‌شوند، نموده‌اند. در جدول ۱-۶ به انواع اجکتورهای تولید شرکت TLV و مشخصات و ابعاد آن‌ها، اشاره شده‌است.

جدول ۱-۶. انواع و مشخصات اجکتورهای شرکت TLV

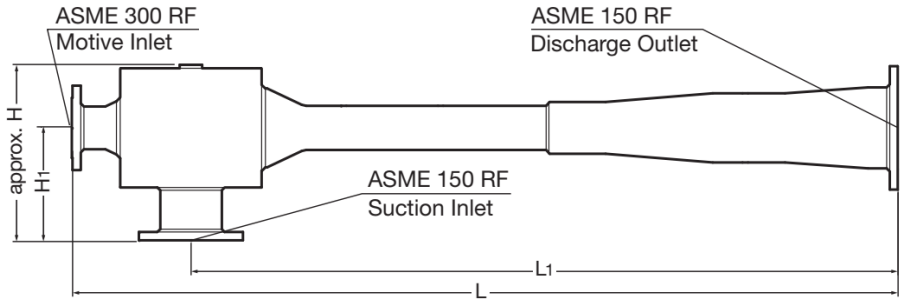


Steam Compressor Unit (mm)

Model	Size (ASME Class) Motive Inlet (300RF)	Discharge Outlet (150RF)	Suction Inlet (150RF)	L	L_1	H	H_1	Weight (kg)
SC1-1	25	80	80	868	545	782	500	50
SC1-2						862		
SC1-3				873		785		35
SC2-1	50	100		1152	734	845	530	100
SC2-2						921		
SC2-3				1158		835		85
SC7-1	80	150	100	1724	1140	710	300	155
SC7-3				1659		645		130

*No ASME standard exists for cast iron; machined to fit steel flanges
Other standards available, but length and weight may vary

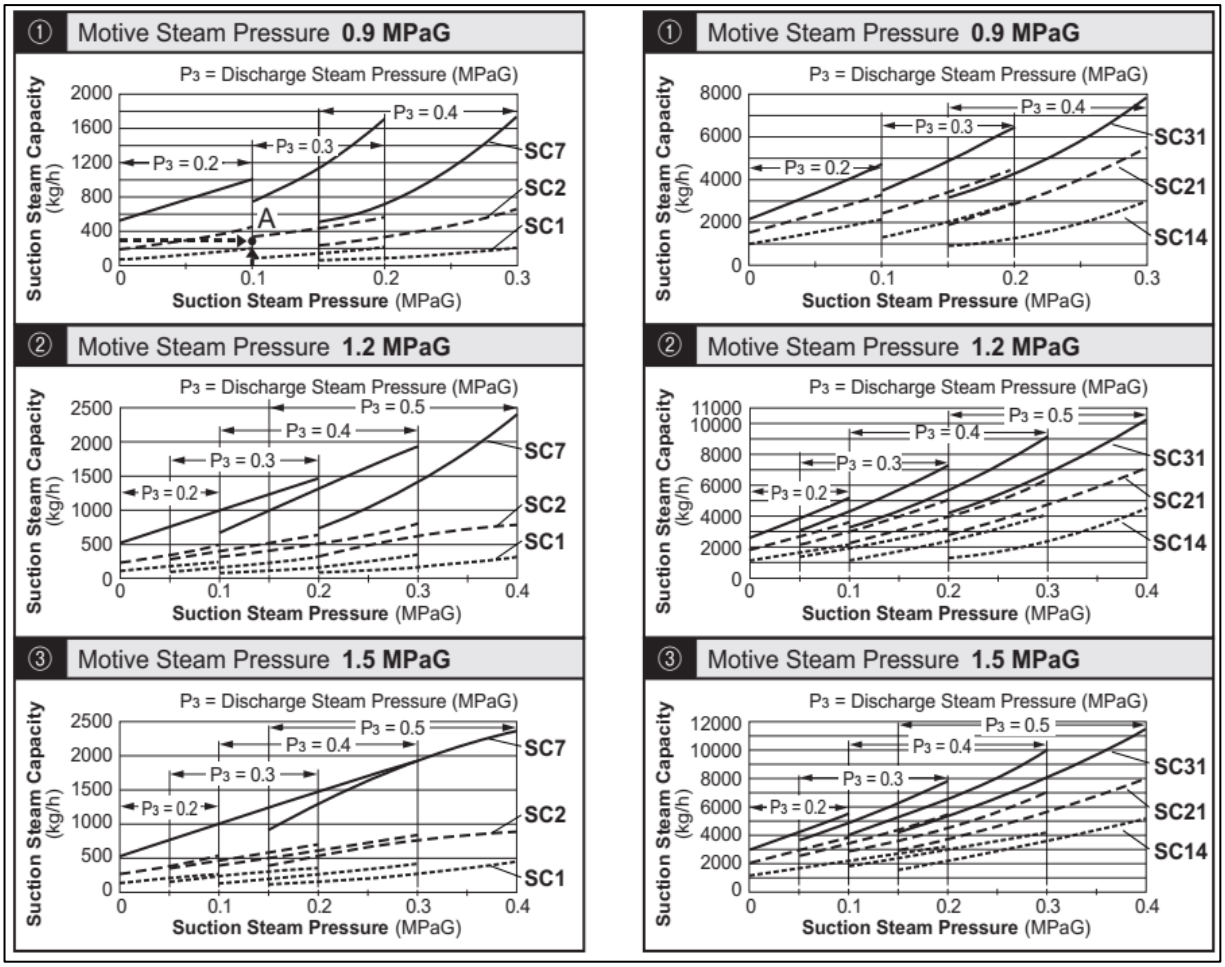
High-capacity Steam Compressor SC14/SC21/SC31



High-capacity Steam Compressor (mm)

Model	Size (ASME Class) Motive Inlet (300RF)	Discharge Outlet (150RF)	Suction Inlet (150RF)	L	L_1	H	H_1	Weight (kg)
SC14	100	200	150	2220	1900	475	300	240
SC21	150	250	200	2600	2155	620	400	440
SC31	200	300	250	3000	2500	720	450	700

همچنین این شرکت نمودارهایی را به‌منظور انتخاب انواع متفاوت اجکتورهای تولیدی خود ارائه کرده‌است که در شکل ۱-۶۱ ملاحظه می‌شود.



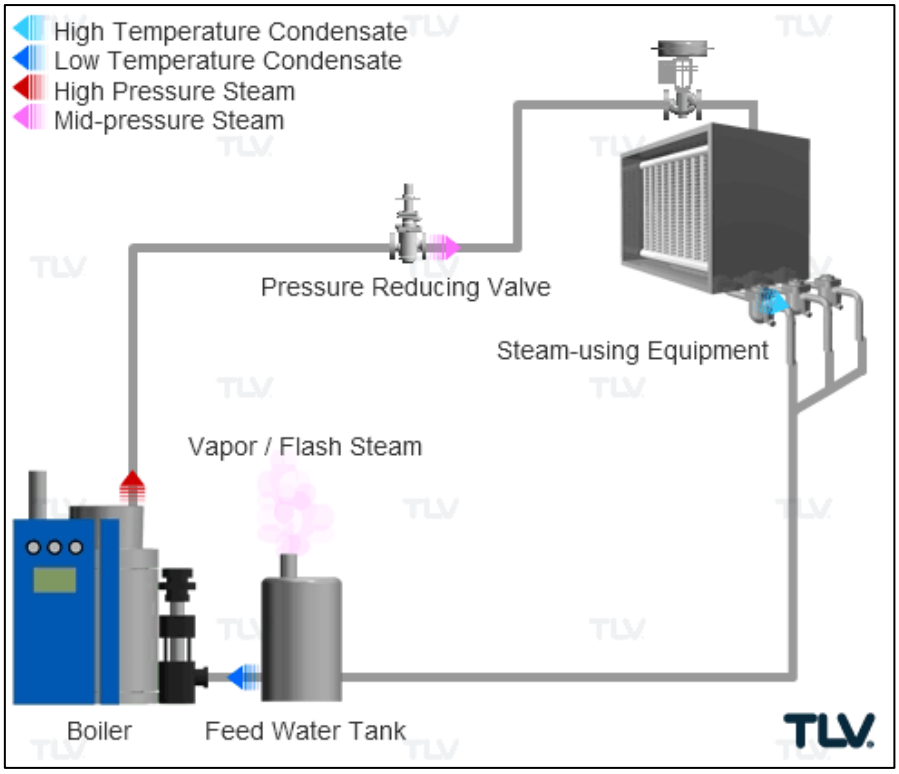
شکل ۱-۶۱. نمودارهای شرکت TLV برای انتخاب اجکتور بازیابی بخار فلش

بعنوان نمونه اگر فشار بخار محرک ۰/۹ مگاپاسکال گیج، فشار بخار خروجی ۰/۳ مگاپاسکال گیج، فشار بخار ورودی مکش ۰/۱ مگاپاسکال گیج و دبی بخار ورودی از بخش مکش ۳۰۰ کیلوگرم بر ساعت باشد، با استفاده از شکل ۱-۶۱(۱)، نقطه A مشخصات فشار مکش و دبی ورودی را با توجه به فشار خروجی مدنظر، نشان می‌هد. همانطور که مشاهده می‌شود، برای شرایط مد نظر فوق مدل‌های SC2 و یا SC7 قابل استفاده‌است.

۱-٤-٤-۳ فواید و کاربردهای بازیافت بخار فلش توسط دستگاه اجکتور

بازیابی بخار فلش از مخازن تغذیه بویلرها

بخار فلش غالباً هنگام جمع‌شدن میعانات فشار قوی در مخزن خوراک بویلرها از بین می‌رود. اما افت ناگهانی فشار در مسیر عبوری بخار در فرآیند، باعث می‌شود مقداری از میعانات گازی به بخار فلش تبدیل شده و در نتیجه سبب اتلاف انرژی از سیستم خواهد شد. با بکارگیری سیستم‌های کمپرسور هوا من‌جمله اجکتور، می‌توان ضمن بازیابی بخار فلش، از اتلاف انرژی بویلرها نیز جلوگیری بعمل آورد، (شکل ۱-۶۲).



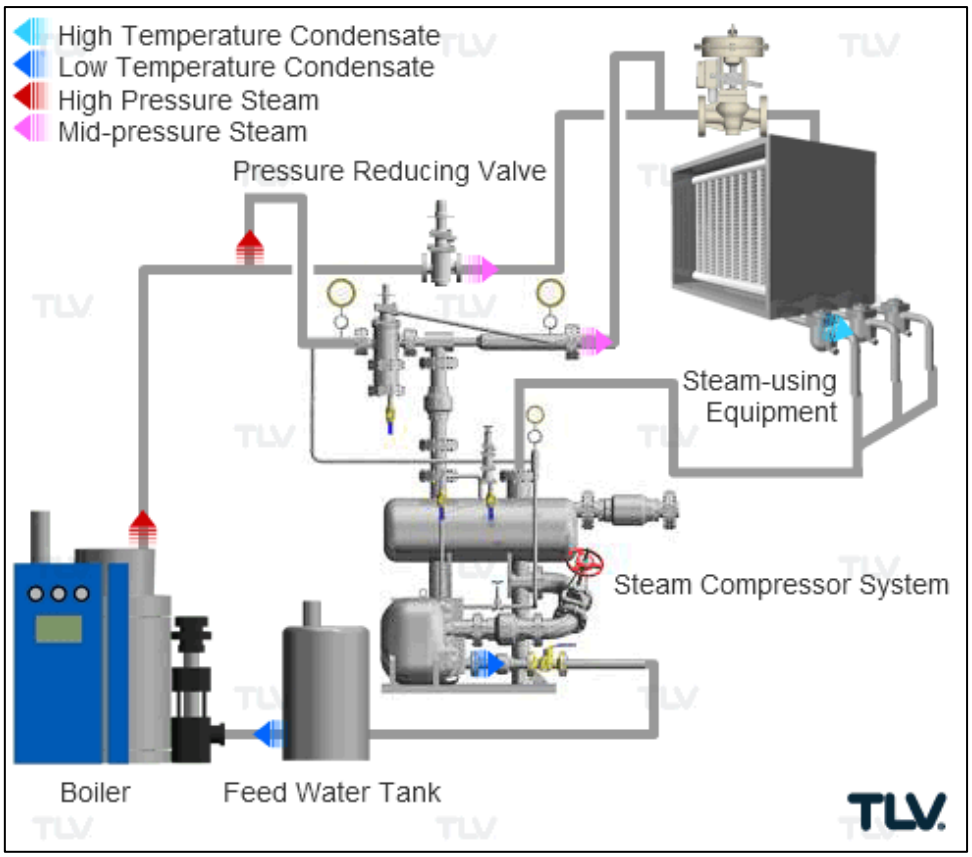
شکل ۱-۶۲. نمای کلی نحوه بازیابی بخار فلش از مخازن تغذیه دیگ بخار

بکارگیری ترکیب سیستم کمپرسور بخار

همانطور که اشاره شد اجکتورها یکی از دستگاه‌های مهم مورد استفاده در صنایع می‌باشند. این دستگاه‌ها دو وظیفه عمده بر عهده دارند که عبارت‌است از ایجاد خلأ و تخلیه گازها و دیگری مخلوط‌کردن سیالات. در بکارگیری و طراحی اجکتور هر یک از وظایف فوق و یا هر دو با هم می‌تواند مد نظر قرارگیرد. به عنوان مثال در صنایع غذایی برای بهبود کیفیت کنسانتره میوه‌ها و همچنین افزایش ظرفیت واحد از شرایط تحت خلأ استفاده می‌شود و همچنین در پالایشگاهها برای جدا کردن مواد نفتی سنگین که دمای جوش بالا دارند از تقطیر تحت خلأ استفاده می‌کنند که برای ایجاد خلأ می‌توان از اجکتور استفاده‌کرد. در بعضی موارد از اجکتور برای مخلوط مایعات و گازها و مایعات استفاده می‌شود و همچنین برای جدا کردن ذرات معلق در گازها آنها را با مایعات مخلوط می‌کنند که برای این کار از اجکتور استفاده می‌شود. اجکتور کاربردهای تازه ای نیز پیدا کرده که به عنوان نمونه می‌توان به جایگزینی اجکتور با کمپرسور در یک سیکل تبرید اشاره کرد.

برای ایجاد خلأ از دستگاههای دیگری نیز استفاده می‌کنند که متداولترین آنها پمپ های خلأ می‌باشد. این دستگاه‌ها به علت ظرفیت محدود تخلیه و همچنین داشتن قسمتهای مکانیکی متحرک زیاد هزینه نصب و تعمیر و نگهداری بالایی دارند.

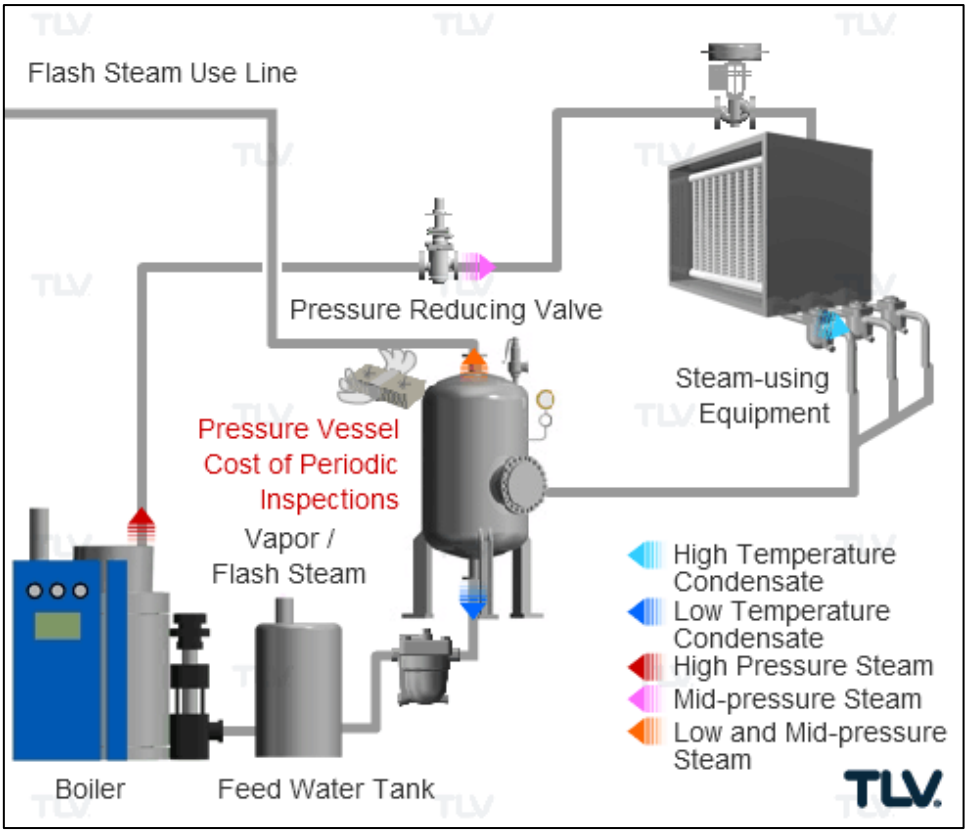
اجکتور بخار می‌تواند مزایای فوق را فراهم کند و به روش‌های مختلفی قابل استفاده است. شکل ۱-۶۳ یکی از نمونه‌های اجکتور بخار را که در سیستم بخار گنجانده شده‌است، نمایش می‌دهد.



شکل ۱-۶۳. نمای کلی ترکیب سیستم کمپرسور بخار

جلوگیری از بازرسی‌های دوره‌ای پرهزینه لازم برای مخازن تحت فشار

هزینه بازرسی مورد نیاز از مخازن تحت فشار در هر سال کاملاً مشهود و قابل توجه می‌باشد. از آنجا که اجکتور بخار فاقد مخزن تحت فشار است، لذا نیازی به بازرسی‌های دوره‌ای اجباری نمی‌باشد، (شکل ۱-۶۴).



شکل ۱-۶۴. نمای کلی نحوه کاهش هزینه‌های بازرسی

۱-۵ بررسی فنی و اقتصادی راهکارهای اصلاحی جهت بازیابی بخار فلش LP در خط کندانس برگشتی پالایشگاه گاز ایلام

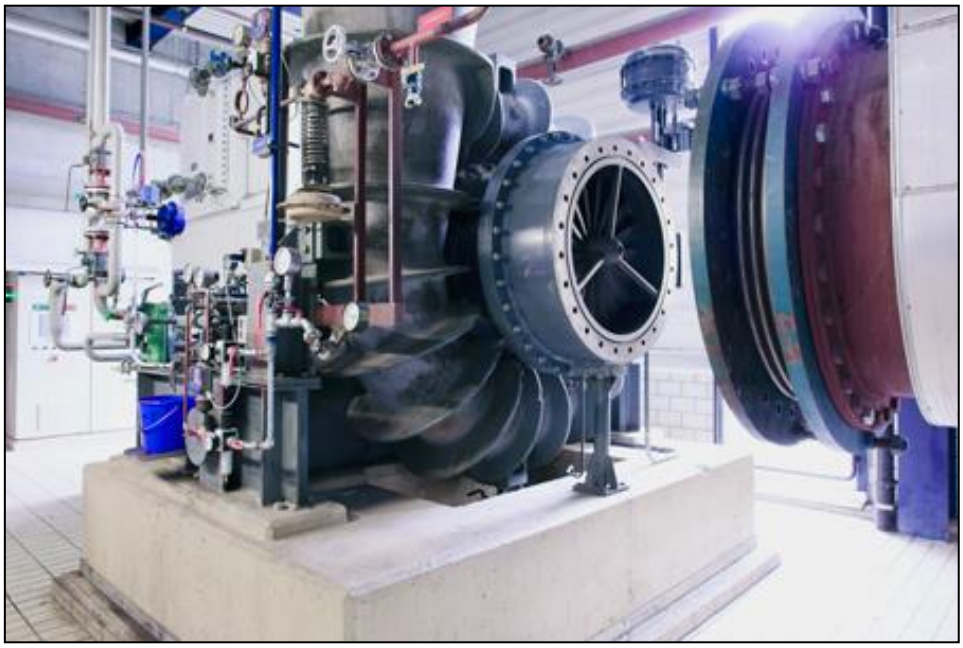
معمولاً در سیستم‌های بخار جهت کاهش تلفات آب و انرژی، آب مورد نیاز جهت عملکرد سیستم کندانس برگشتی از مصرف‌کننده‌های نهایی بخار از قبیل مبدل‌های حرارتی، لاین‌های تریسینگ و... جمع‌آوری می‌شود. از آنجایی که عموماً کندانس خروجی از مصرف‌کننده‌های نهایی فشار بالاتری نسبت به شرایط اتمسفری دارند، درصورت جمع‌آوری آنها در مخزن اتمسفریک، امکان تولید بخار فلش وجود دارد و از آنجایی که بخار فلش مورد نظر از فشار پایینی برخوردار است، متأسفانه امکان استفاده از آن در هدرهای سیستم موجود وجود ندارد. بنابراین هرگونه راهکاری که در این رابطه ارائه‌شود، با درنظرگرفتن ملاحظات اقتصادی برای رفع این مشکل می‌تواند رهنمودی مناسب باشد.

تکنولوژی فشارافزایی بخار، یک راهکار اقتصادی و جذاب از نظر بهره‌وری انرژی است که قادر به بازیافت بخار فشار پایین می‌باشد. از آنجا که بخار آب مهم‌ترین عامل انتقال انرژی در سیستم‌های بخار بوده که در سطوح مختلف دما و فشار مورد استفاده قرار می‌گیرد، بنابراین بازیافت و جلوگیری از اتلاف بخار می‌تواند راهکار جذابی محسوب گردد.

جهت افزایش فشار بخارات فلش دو راهکار در عمل وجود دارد؛

۱- استفاده از فشار افزایی مکانیکی بخار[۶۷] (MRV)
۲- استفاده ار فشار افزایی حرارتی[۶۸] (TVR)

می‌توان گفت سیستم TVR یک اجکتور بخار با ظرفیت بالا است. عملکرد اجکتورها بر این مبناست که با استفاده از نازل همگرا-واگرا ابتدا جریان اولیه که به آن بخار Motive هم گفته می‌شود به سرعت بسیار بالا می‌رسد. نمایی از هر یک از دو تکنولوژی در شکل ۱-۶۵ و شکل ۱-۶۶ نمایش شده‌است.



شکل ۱-۶۵. نمونه‌ای از سیستم MVR جهت افزایش فشار بخارات فلش

[67] Mechanical Vapor Recompression (MVR)
[68] Thermal Vapor Recompression (TVR)



شکل ۱-۶۶. نمونه‌ای از سیستم چند مرحله‌ای TVR جهت فشار افزایی بخارات فلش

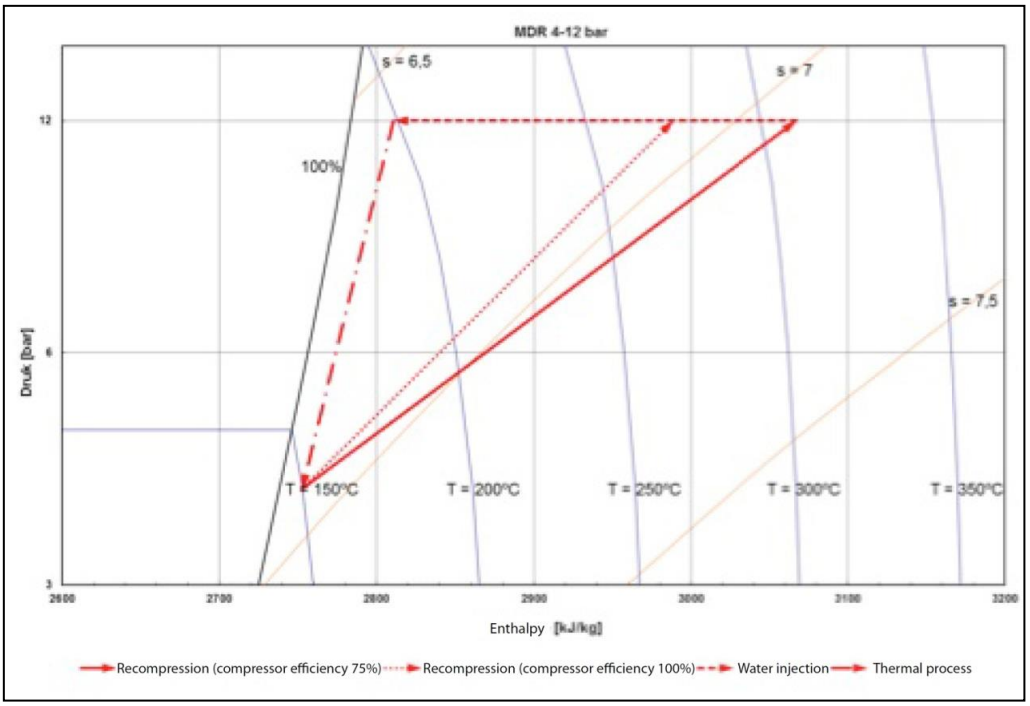
۱-۵-۱ بررسی فنی و اقتصادی بازیابی بخار فلش تولیدی در خط کندانس برگشتی با استفاده از تانک فلش و کمپرسور بخار

همانطور که گفته شد تکنولوژی فشار افزایی بخار، یک راهکار اقتصادی و جذاب از نظر بهره‌وری انرژی است که قادر به بازیافت بخار فشار پایین می‌باشد و چون بخار آب مهم‌ترین عامل انتقال انرژی در صنایع نفت، گاز و پتروشیمی بوده که در سطوح مختلف دما و فشار مورد استفاده قرار می‌گیرد، پس بازیافت و جلوگیری از اتلاف بخار می‌تواند راهکار جذابی محسوب گردد. بخار فشار بالا برای چرخاندن توربین استفاده می‌شود و پس از آن که فشار بخار کمتر می‌گردد برای گرمایش در فرآیندها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

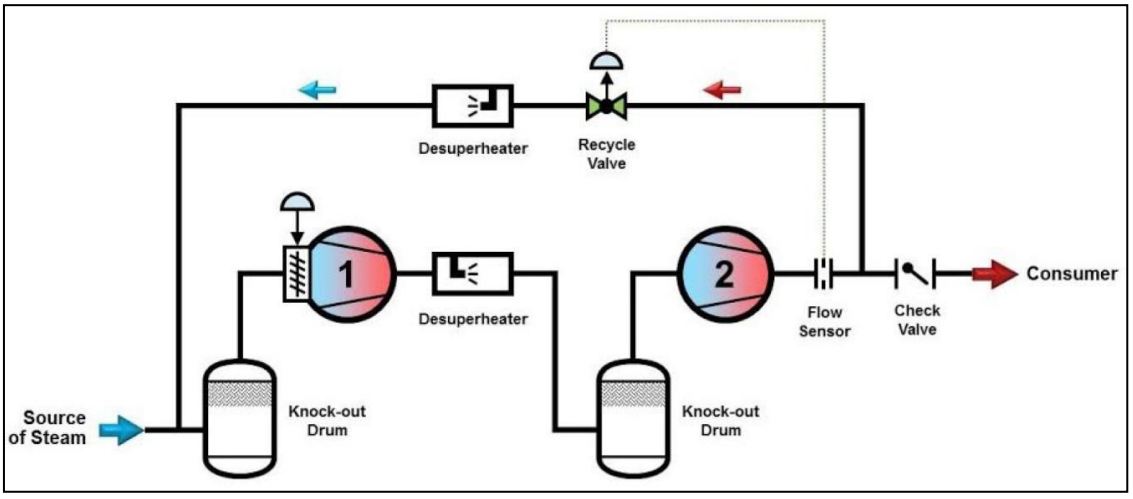
در پالایشگاه گاز ایلام، بخار LP پس از انتقال گرما به فرآیند، به کندانس با فشار حدود ۳/۴۴ بار تبدیل می‌شود. این کندانس به هدر جمع‌آوری کندانس که فشار آن ۰/۴۵ بار است، ارسال می‌شود. با ورود کندانس ۳/۴۴ بار به هدر ۰/۴۵ بار، فلش رخ می‌دهد و بدین‌ترتیب حدود ۶۸۰۰ کیلوگرم بر ساعت بخار فلش با فشار ۰/۴۵ بار تولید می‌گردد. درنتیجه لازم‌است این بخار به کولرهای هوایی موجود منتقل‌شده تا در آنجا مجدداً به کندانس تبدیل شود. بنابراین در نتیجه فشار افزایی دوباره این بخار که به‌منظور جلوگیری از اتلاف انرژی حرارتی و بعضاً آب بعنوان یک حامل انرژی انجام می شود، بخار فلش تولیدشده مجدداً به هدرهای بخار جهت مصرف در فرآیند برگردانده می‌شود.

۱-۵-۱-۱ فشار افزایی مکانیکی بخار

می‌توان گفت سیستم MRV یک پمپ گرمایی است که در حین فشارافزایی، دما و فشار جریان بخار تا فشار بخار اشباع افزایش می‌یابد که انرژی مورد نیاز جهت افزایش فشار در مقایسه با گرمای نهان موجود در بخار بازیافت‌شده ناچیز می‌باشد. برای مثال مطابق با شکل ۱-۶۷ مقدار انرژی اضافه‌شده جهت فشار افزایی 310 kJ/kg می‌باشد که گرمای نهان بخار 3060 kJ/kg است، فرآیند مورد نظر با خط قرمز نشان داده شده است. به طور کلی سیستم فشار افزایی، یک فرآیند انتقال حرارت است که به واسطه آن کیفیت منبع حرارتی افزایش می‌یابد و درجه اول این یک فرآیند آنتروپی ثابت (بازده ۷۵ درصد) در مقابل فرآیند سوپرهیت کردن بخار می‌باشد.



شکل ۱-۶۷. نمودار ترمودینامیکی کمپرسور مکانیکی فشارافزایی بخار برای افزایش راندمان انرژی در طراحی فرآیندها.



شکل ۱-۶۸. سیستم فشارافزایی بخار و تزریق آب بر مبنای دو مرحله افزایش فشار.

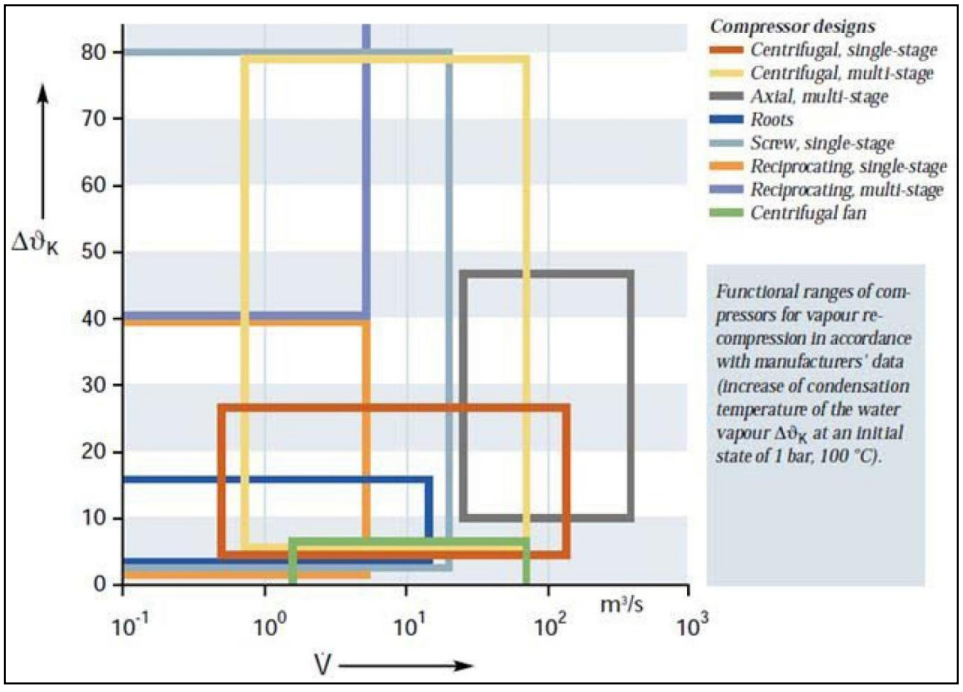
در شکل ۱-۶۸ شماتیک فشار افزایی دو مرحله‌ای بخار و تزریق آب به بخار (دی سوپرهیت کردن) نشان داده شده‌است. ناکاد درام و دمیستر از سایش و آسیب‌زدن به پره‌های کمپرسور جلوگیری می‌کند. جهت راه‌اندازی شیر ریسایکل موردنیاز می‌باشد تا شرایط بخار، به شرایط مورد نظر برسد.

۱-۵-۱-۲ عملکرد انرژی سیستم کمپرسور بخار

عملکرد انرژی MVR معمولاً به صورت ضریب عملکرد (COP) بیان می‌شود که متناسب با استاندارد پمپ گرمایی است. عدد COP نشان‌دهنده نسبت بازیافت انرژی گرمایی به انرژی مصرفی توسط کمپرسور می‌باشد که این ضریب برای موارد صنعتی معمولی در کمترین حد ۳/۵ تا در بهترین شرایط به ۱۰ می‌رسد. موارد زیر می‌تواند به افزایش COP کمک نماید؛

- نسبت فشارافزایی پایین که در موارد عمومی حدود ۳ و در بیشترین حالت ۶ می‌باشد.
- ظرفیت‌های پایین که کمترین آن حدود یک تن بر ساعت می‌باشد.
- تزریق آب پس از فشارافزایی

تکنولوژی MVR در بازه وسیعی تولید می‌شود که نوع کمپرسور به مقدار نسبت فشار و دما ورودی/خروجی و حجم بخار بستگی دارد. شکل ۱-۶۹ یک نگاه اجمالی از انواع کمپرسورهای مکانیکی فشار افزایی در بازه‌های متفاوت را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۶۹. بازه‌های طراحی‌شده برای فشارافزایی بخار

از نظر فنی و اقتصادی، کمپرسور مکانیکی فشار افزایی بخار معمولاً بدون ریسک می‌باشد و این سیستم برای فرآیندهایی که بخار فشار پایین اضافی زیادی دارند، بسیار جذاب است. به عنوان مثال چند مورد از فواید این تکنولوژی در ادامه ارایه می‌گردد؛

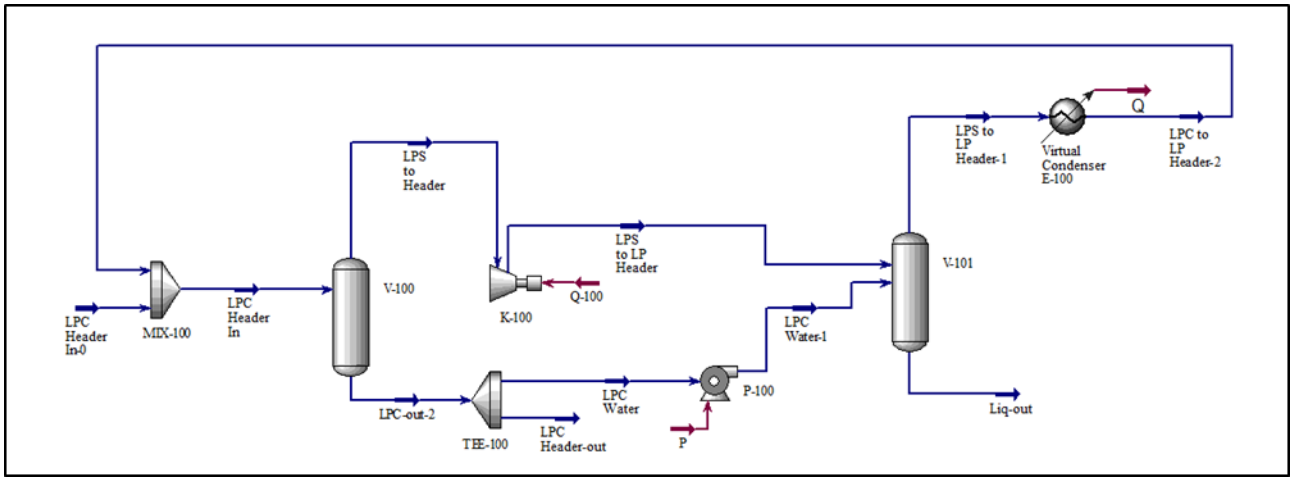
- زمان بازگشت سرمایه کوتاه معمولا بین یک تا سه سال[۶۹]
- کاهش اتلاف انرژی و بعضا در مصرف آب
- کاهش مصرف انرژی‌های فسیلی و افزایش راندمان استفاده از انرژی
- انعطاف‌پذیری در تولید بخار
- قابلیت طراحی برای ظرفیت‌های بالا تا ۲۰۰ تن بر ساعت
- انعطاف‌پذیری در قابلیت موازی کردن واحد کمپرسورها
- قابلیت کنترل نسبت توان به مقدار انرژی گرمایی در موارد ترکیبی توان و حرارت
- قابلیت مدیریت در موارد جانبی وابسته به قیمت برق. مثلا زمانی که قیمت برق بیش از ۱۱۳ دلار بر مگاوات ساعت باشد، کمپرسور خاموش گردد.
- امکان استفاده از انرژی الکتریکی تولیدشده از منابع تجدیدپذیر در مصرف برق کمپرسور
- تکنولوژی اثبات شده و قابل اطمینان

۱-۵-۱-۳ بررسی بکارگیری سیستم کمپرسور بخار در پالایشگاه گاز ایلام

در پالایشگاه گاز ایلام دبی کندانس برگشتی LP به هدر کندانس مربوطه، تقریباً معادل ۹۶۴۰۰ کیلوگرم بخار بر ساعت و با فشار ۰/۴۵ بار می‌باشد. در این قسمت پیشنهاد می‌شود جریان کندانس برگشتی وارد یک فلش‌درام شده تا ضمن انجام عملیات فلش، مقادیر بخار فلش تولیدی نیز توسط آن جداسازی گردد. مطابق با نتایج شبیه‌سازی انجام‌شده در محیط ASPEN HYSYS، حدود ۶۸۰۰ کیلوگرم بر ساعت بخار فلش با فشار ۰/۴۵ بار تولید می‌شود. بخار حاصل پس از خارج‌شدن از فلش‌درام، با استفاده از یک کمپرسور بخار مکانیکی مجدداً تا فشار ۳/۴۴ بار فشار افزایی شده و جهت استفاده در فرآیند به سمت هدرهای LP ارسال می‌گردد. شکل ۱-۷۰ شماتیکی از نحوه انجام فرآیند فوق را در محیط نرم‌افزاری ASPEN HYSYS نمایش می‌دهد.

---

[۶۹] بر اساس تجربه‌های بین‌المللی



شکل ۱-۷۰. شماتیک بازیابی بخار فلش با استفاده از فلش‌درام و کمپرسور در محیط ASPEN HYSYS

همانگونه که مشاهده می‌شود جریان کندانس برگشتی LP (LPC Header In) با شرایط عملیاتی 147.5ºC و 3.44barg ابتدا وارد یک فلش درام تحت فشار 0.45barg شده و در نتیجه این افت فشار و انجام عملیات فلش، جریانی تحت عنوان بخار فلش (LPS to Header) با دمای 110.6ºC، فشار 0.45barg و دبی 6800kg/h از بالای درام خارج می‌شود. در ادامه با هدف فشارافزایی، جریان بخار فلش از یک کمپرسور بخار عبور کرده تا مجدداً فشار آن به 3.44barg برسد. از آنجاکه دمای خروجی از کمپرسور حدود 262.1 ºC بوده، لذا جهت دستیابی به دمای هدر بخار LP، به همراه جریانی از آب (LPC Water-1) مجدداً وارد درام دیگری شده تا بدین ترتیب دما و فشار جریان بخار فلش نیز معادل دما و فشار هدر بخار LP (147.5ºC و 3.44barg) گردد.

بنابراین با استفاده از دو عدد فلش‌درام و یک کمپرسور بخار، دما و فشار بخار فلش به طوری تنظیم می‌شود که این بخار فلش تولیدی مجدداً به هدر بخار LP ارسال و قابل استفاده در فرآیند شود. اما در این میان جریانی از آب با دبی 746kg/h نیز مورد نیاز می‌باشد تا به کمک آن دمای افزایش‌یافته بخار فلش نیز جهت استفاده مجدد کاهش یابد. بدین‌ترتیب، جهت تأمین مقدار آب موردنیاز فلش‌درام V-101، از جریان کندانس خروجی از پایین فلش‌درام V-101 (LPC-out-2) استفاده شده‌است. نکته حائز اهمیت دیگر در این مدل‌سازی، قرار دادن یک مبدل مجازی بجای مصرف‌کننده‌های نهایی بخار LP در عملیات فرآیندی مربوطه می باشد.

جدول ۱-۷. نتایج و مشخصات جریان‌های بخار و کندانس LP حاصل از شبیه‌سازی

	Vapour Fraction	***Temperature*** *(ºC)*	***Pressure*** *(barg)*	***Molar Flow*** *(kgmole/h)*	***Mass Flow*** *(kg/h)*	***Liquid Volume Flow*** *(m³/h)*
LPC Header In	0	147.5	3.44	5353.23	96439	96.63
LPS to Header	1	110.6	0.45	377.03	6800.19	6.80
LPS to LP	1	262.1	3.44	377.03	6800.19	6.80
LPC-out-2	0	110.6	0.45	4976.20	89646.8	89.83
LPC Header-	0	110.6	0.45	4934.79	88900.8	89.08
LPC Water	0	110.6	0.45	41.41	745.95	0.75
LPC Water-1	0	110.6	3.44	41.41	745.95	0.75

LPS to LP	1	147.5	3.44	418.43	7538.09	7.55
Liq-out	0	147.5	3.44	0.003	0.049	5.00E-05
LPC to LP	0	147.5	3.44	418.43	7538.09	7.55

پس از انجام شبیه‌سازی راهکار پیشنهادی و دست یافتن به یک مدل فرآیندی جهت تشریح نحوه عملکرد طرح، مشخصات هندسی و فیزیکی هریک از تجهیزات تشکیل‌دهنده آن نیز معین می‌شوند. در جدول ۱-۸ مشخصات هندسی دو عدد فلش‌درام، یک پمپ و یکعدد کمپرسور مورد نیاز را جهت اجرایی‌نمودن راهکار بازیابی بخار فلش تولیدی در خط کندانس برگشتی با استفاده از تانک فلش و کمپرسور بخار را ارائه شده‌است.

جدول ۱-۸. مشخصات هندسی فلش‌درام، پمپ و کمپرسور موردنیاز حاصل از شبیه‌سازی

Object	***Variable***	***Value***	***Units***
V-100	Tank Volume	16.8134	m^3
	Vessel Diameter	1.8288	*m*
	Vessel Length or Height	6.4008	*m*
V-101	Tank Volume	2.10168	m^3
	Vessel Diameter	0.9144	*m*
	Vessel Length or Height	3.2004	*m*
K-100	Power	565.613	*kW*
	Pressure Ratio	3.0434	*m*
	Adiabatic Efficiency	75	*m*
P-100	Power	0.0879864	*kW*
	NPSH available	0.00135992	m

۱-۵-۱-٤ بررسی مقادیر صرفه جویی انرژی

با اجرای راهکار پیشنهادی فوق می‌توان معادل 7538kg/h بخار LP را از مجموع بخار فلش تولیدشده در خط کندانس برگشتی و همچنین آب Make up تزریقی، بازیابی و به هدر بخار LP ارسال نمود. بدین‌ترتیب، هم میزان بخار LP موردنیاز که توسط بویلرهای LP پالایشگاه تولید می‌شوند، کاهش یافته و هم از بار عملیاتی کولرهای هوایی AC-6401/6402 که می‌بایست بخار فلش تولیدی را مجدداً به کندانس تبدیل نماید، کاسته می‌شود. دستآورد مهم این طرح، صرفه‌جویی قابل‌توجهی در مصرف سوخت (گاز طبیعی) بویلرهای LP معادل 4.84 MMm^3 در سال خواهدبود. همچنین محاسبات نشان می‌دهند این مقدار کاهش مصرف گاز طبیعی با فرض قیمت جهانی ۲۲ سنت به ازای هر مترمکعب گاز طبیعی، بیش از یک میلیون دلار در سال صرفه‌جویی انرژی برای پالایشگاه در پی خواهدداشت.

۱-۵-۱-۵ بررسی و آنالیز پارامترهای اقتصادی

زمانی یک ایده می‌تواند به مرحله عملیاتی برسد که از لحاظ اقتصادی، ارزیابی و نتایج نشان از مقرون به صرفه بودن آن باشد. در ارزیابی‌های اقتصادی، کل سرمایه‌گذاری که مجموع سرمایه‌گذاری ثابت و سرمایه‌گذاری عملیاتی می‌باشد تخمین زده می‌شود. بدین منظور ابتدا مقدار سرمایه‌گذاری ثابت تعیین می‌شود که شامل هزینه‌های مستقیم و

غیرمستقیم می‌باشد. سرمایه‌گذاری عملیاتی، هزینه‌های راهبری و تعمیر و نگهداری طرح در هر سال است که معمولاً درصدی از سرمایه‌گذاری کل در نظر گرفته می‌شود.

به طور کلی سرمایه‌گذاری ثابت را می‌توان به دو دسته هزینه‌های مستقیم و غیر مستقیم طبقه‌بندی نمود که هزینه‌های مستقیم مربوط به خرید و نصب تجهیزات، ابزار دقیق و کنترل، سیستم‌های الکتریکی و لوله‌کشی، فعالیت‌های عمرانی و خدمات رفاهی و محوطه‌سازی می‌باشد. هزینه‌های غیرمستقیم نیز هزینه‌های مهندسی، نظارت، موارد قانونی، حقوق پیمانکاران و پیش‌بینی نشده را شامل می‌شود. سرمایه‌گذاری عملیاتی، هزینه‌های راهبری طرح را دربر می‌گیرد که بواسطه اجرای طرح هر سال به شرکت تحمیل می‌شود و شامل هزینه تعمیر و نگهداری، حقوق و دستمزد، هزینه برق مصرفی، هزینه استهلاک و سایز هزینه های پیش بینی نشده می باشد.

بدین‌ترتیب در بررسی اقتصادی راهکار پیشنهادی بازیابی بخار فلش تولیدی در خط کندانس برگشتی با استفاده از تانک فلش و کمپرسور بخار، فرضیات ذیل جهت محاسبات اقتصادی مورد استفاده قرار گرفته‌است:

- عمر مفید طرح ۲۰ سال
- هزینه سرمایه‌گذاری تجهیزات اصلی شامل کمپرسور، پمپ و دو عدد وسل بترتیب معادل ۱/۴۸، ۰/۰۴ و ۰/۰۱ میلیون دلار[۷۰]
- میزان بهره بانکی ۲۰ درصد
- هزینه کلیه لوازم جانبی ۱۰ درصد
- هزینه لوله کشی حدود ۴ درصد
- هزینه نصب و راه اندازی حدود ۸ درصد
- هزینه تعمیرات و نگه‌داری سیستم در سال ۲/۵ درصد
- قیمت مبنای تجهیزات مربوط به سال ۲۰۱۵ بوده است که با شاخص هزینه[۷۱] به‌روز شده‌است. (شاخص هزینه مربوط به سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۲۱ به ترتیب ۵۵۶.۸ و ۷۵۴.۷ بوده‌است).

جدول ۱-۹. برآورد هزینه سرمایه‌گذاری و سالانه راهکار فشار افزایی بخار توسط فلش درام و کمپرسور

Items	***Unit***	***Cost***
Main equipment cost		
Mechanical Vapor Recompression (MRV), (K-100)	USD	1,483,410
Pump, (P-100)		39,550
Vessel, (V-100/101)		9,040
Piping, Instruments, Controls and Electrical		229,000
Installation Cost and Commissioning		132,000
Total Direct Cost		1,893,000
Total Indirect Cost		99,580
Fixed Capital investment	USD	1,992,580
Annual Cost	USD/y	307,079

[70] Steaming ahead with MVR, Mechanical vapour recompression (MVR) can improve energy efficiency in process plants and offers possibilities for integrating renewable electricity and demand side management, writes Egbert Klop Edition of COGENERATION & ON-SITE POWER PRODUCTION, 2015.

[71] Chemical Engineering Plant Cost Index (CEPCI)

Items	*Unit*	*Cost*
Annual Incoming		1,064,320
Discount Rate	%	20
IRR	**%**	**37.9**
NPV	USD	**1,694,850**
Payback time	Year	**2.63**

بدین ترتیب ابتدا هزینه‌های سرمایه‌گذاری و عملیاتی سالانه جهت راهکار فشارافزایی با استفاده از فلش درام و کمپرسور بخار، محاسبه و سپس پارامترهای اقتصادی نظیر IRR و NPV جهت بررسی مقرون به‌صرفه بودن طرح برآورد می‌شوند. نتایج حاصل از این محاسبات در جدول ۱-۹ ارائه شده‌است.

مطابق جدول ۱-۹، نتایج بررسی‌های اقتصادی نشان می‌دهند زمان بازگشت سرمایه جهت راهکار فوق بیشتر از دو سال بوده، ضمن آنکه میزان بازدهی IRR آن نیز بیش از ۳۵ درصد می‌باشد که حاکی از اقتصادی‌بودن اجرای این طرح می‌باشد. البته این امر بر اساس قیمت‌های جهانی گاز طبیعی محقق خواهدشد، حال آنکه با توجه به قیمت پایین گاز طبیعی در داخل کشور (۶۵۰۰ ریال بازای هر مترمکعب)، اجرای این طرح صرفه اقتصادی نخواهد داشت. در ادامه و در جدول ۱-۱۰ خلاصه ای از راهکار فشارافزایی با استفاده از فلش درام و کمپرسور بخار ارائه شده‌است.

جدول ۱-۱۰. خلاصه‌ای از نتایج راهکار فشارافزایی با استفاده از فلش درام و کمپرسور بخار

مورد مطالعه	بخار کم‌فشار LP
عنوان طرح	بازیابی بخار فلش تولیدی کم فشار با استفاده از تانک فلش و فشارافزایی آن توسط کمپرسور بخار
خلاصه طرح	در این طرح پیشنهاد می‌شود جریان کندانس برگشتی (147.5^oC و 3.44barg) و دبی حدود 96000kg/h ابتدا وارد یک فلش درام تحت فشار 0.45barg شده و در نتیجه این افت فشار و انجام عملیات فلش، جریان بخار فلش با دمای 110.6^oC، فشار 0.45barg و دبی 6800kg/h از بالای درام خارج می شود. در ادامه با هدف فشارافزایی، جریان بخار فلش از یک کمپرسور بخار عبور کرده تا مجدداً فشار آن به 3.44barg برسد
وضعیت بهبود یافته	بازیافت بخار کم‌فشار، افزایش راندمان انرژی، کاهش مصرف آب و گاز طبیعی
کاهش مصرف بخار	7538 kg/h
کاهش مصرف گاز طبیعی	611 m^3/h
میزان صرفه‌جویی سالیانه	1,064.30 $
سرمایه‌گذاری	مطابق با بررسی‌های انجام شده، برای نصب سیستم کمپرسور بخار شامل دو عدد فلش درام و یک‌عدد پمپ و کمپرسور، حدود ۱،۹۹۲،۵۸۰ دلار سرمایه‌گذاری نیاز است.
مصرف برق در کمپرسور	656.613 kW
قیمت حامل‌های انرژی	برق: 6 Cent/kW.h

۱-۵-۲ بررسی فنی و اقتصادی بازیابی بخار فلش با استفاده از نصب یک درام و اجکتور قبل از

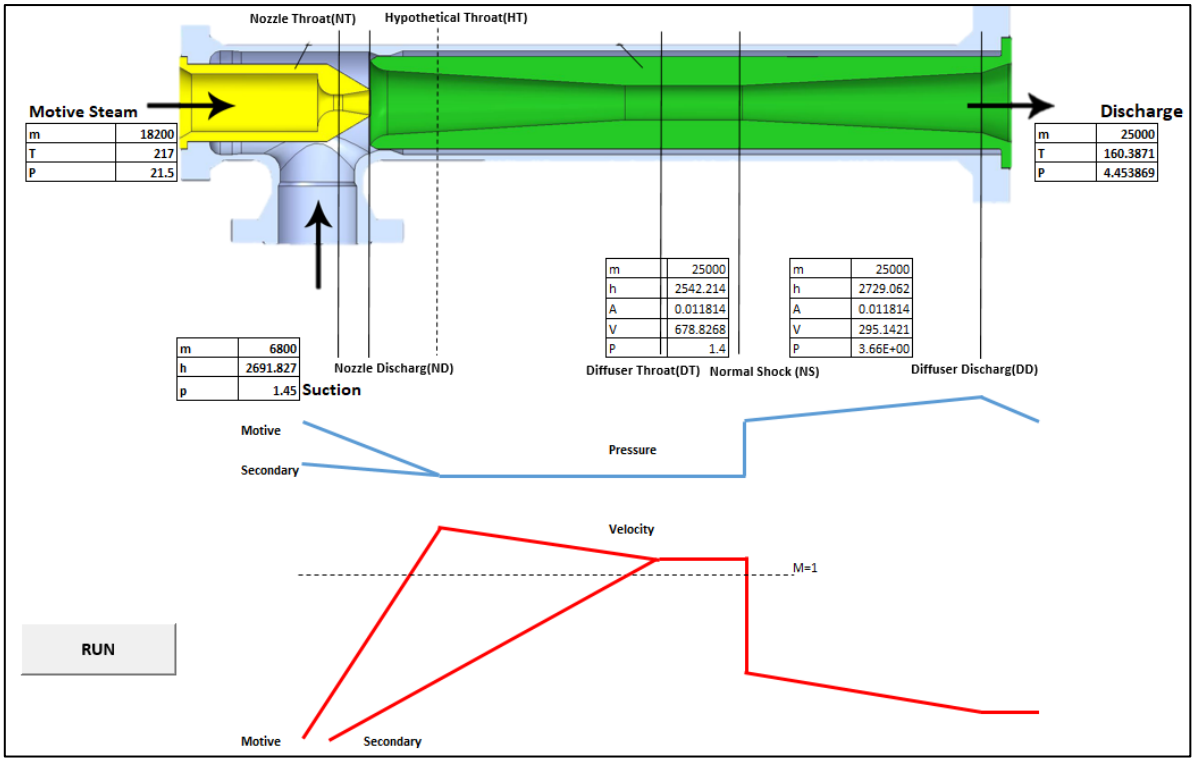
شیر فشارشکن

همانطور که می‌دانیم با افزایش سرعت، فشار سیال کاهش می‌یابد. این کاهش فشار تا فشاری کمی پایین‌تر از فشار بخار ثانویه که همان فشار بخار فلش است ادامه خواهد یافت تا امکان مکش سیال ثانویه فراهم شود. از آنجایی که سرعت سیال در خروجی نازل همگرا-واگرا مافوق صوت است برای فشار افزایی مجدد بخار و کاهش سرعت آن، این‌بار از نازل واگرا-همگرا استفاده می‌شود. عملکرد و میزان مصرف بخار اولیه اجکتور متأثر از شرایط بخار اولیه، شرایط بخار ثانویه، میزان فشار مورد نیاز جهت بخار قابل بازیابی و دبی جریان ثانویه می‌باشد. از نظر فنی و ایمنی، سیستم TVR بدون ریسک می‌باشد و این سیستم برای فرآیندهایی که بخار فشار پایین اضافی زیادی دارند، بسیار جذاب است. همانطور که پیشتر نیز ذکر شد، از مهمترین فواید این تکنولوژی می‌توان به موارد ذیل اشاره‌نمود؛

- زمان بازگشت سرمایه کوتاه معمولا بین یک تا سه سال
- کاهش اتلاف انرژی و برخی موارد کاهش مصرف آب
- کاهش مصرف انرژی‌های فسیلی و افزایش راندمان استفاده از انرژی
- انعطاف‌پذیری در تولید بخار
- عدم استفاده از اجزای مکانیکی و استهلاک پایین
- راه‌اندازی و بهره‌برداری ساده
- بی‌نیاز به مصرف برق و عدم تاثیر پذیری از نوسانات شبکه
- تکنولوژی اثبات شده و قابل اطمینان

۱-۵-۲-۱ بررسی فنی و عملیاتی نصب اجکتور

همانگونه که نتایج حاصل از انجام شبیه‌سازی و محاسبات ارائه‌شده در بخش ۱-۲ نشان می‌دهد در شرایط عملیاتی موجود پالایشگاه گاز ایلام، بخار فلشی معادل ۶۸۰۰ کیلوگرم در ساعت در خط کندانس برگشتی بخار LP بوجود می‌آید که به علت پایین بودن فشار آن، امکان استفاده از آن وجود ندارد. ولی با تفاسیر ارائه شده، امکان افزایش فشار این بخارات و استفاده مجدد آن در هدر LP وجود دارد. با توجه به شرایط بخار در دسترس سایت، شرایط بخار Motive همان شرایط بخار MP با فشار 20.5 barg و دمای 217 ^{o}C خواهدبود و فشار بخار فلش تولیدی نیز 0.45 barg است. این بخار می‌بایست تا شرایط مربوط به هدر بخار LP پالایشگاه یعنی فشار 3.44 barg، فشار افزایی شود. جهت برآورد میزان بخار Motive مورد نیاز، شبیه‌سازی سیستم TVR یا همان اجکتور، توسط نرم‌افزار شبیه‌ساز اجکتورهای بخار پژوهشگاه صنعت نفت انجام شده‌است. نتایج مربوط به شبیه‌سازی نصب یک دستگاه اجکتور قبل از شیر فشارشکن موجود در فرآیند، در شکل ۱-۷۱ نمایش داده شده‌است.



شکل ۱-۷۱. نتایج شبیه‌سازی سیستم TVR مورد نیاز جهت فشار افزایی بخارات فلش

همانطور که مشاهده می‌شود جهت فشار افزایی ۶۸۰۰ کیلوگرم در ساعت بخار فلش با فشار 0.45 barg، نیاز به ۱۸۲۰۰ کیلوگرم در ساعت بخار MP می‌باشد که در آن‌صورت کل میزان بخار ارسالی به هدر LP، بجای 18200kg/h، با افزایشی به مقدار 6800kg/h، حدود ۲۵۰۰۰ کیلوگرم در ساعت خواهدشد.

بنابراین، کل میزان صرفه‌جویی انرژی قابل استحصال از بکارگیری دستگاه اجکتور در مسیر عبوری بخار MP قبل ورود به شیر فشارشکن، چیزی حدود ۶۸۰۰ کیلوگرم در ساعت بخار LP برآورد می‌شود. بدین‌ترتیب، هم میزان بخار MP که می‌بایست در شیر فشارشکن PCV-6380، فشار آن شکسته و به بخار LP تبدیل شود، کاهش یافته و هم از بار عملیاتی کولرهای هوایی AC-6401/6402 که می بایست بخار فلش تولیدی را مجدداً به کندانس تبدیل نمایند، کاسته می‌شود. بدین‌صورت که حدود 18200kg/h بخار MP قبل از ورود به شیرفشارشکن، وارد دستگاه اجکتور شده و بعنوان بخار Motive سبب فشارافزایی بخار فلش تولیدشده در خط کندانس برگشتی با فشار پایین، شده و در نتیجه معادل 6800kg/h بخار LP تولیدی از اجکتور به سوی هدر LP ارسال می‌گردد.

اما دستآورد مهم تر اجرای این راهکار، صرفه‌جویی قابل‌توجهی است که در مصرف سوخت (گاز طبیعی) بویلرهای بخار LP معادل 4.36 MMm^3 در سال در ازای کاهش تولید 6800kg/h بخار LP توسط آنها رخ خواهدداد. همچنین محاسبات نشان می‌دهند این مقدار کاهش مصرف گاز طبیعی با فرض قیمت جهانی ۲۲ سنت به ازای هر مترمکعب گاز طبیعی، حدود یک میلیون دلار در سال صرفه‌جویی انرژی برای پالایشگاه در پی خواهدداشت. لازم بذکر است این مقدار صرفه‌جویی با احتساب قیمت گاز طبیعی در داخل کشور (۶۵۰۰ ریال بازای هر مترمکعب)، معادل صد هزار دلار برآورد می‌شود که باز هم رقم قابل‌ملاحظه‌ای خواهدبود.

۱-۵-۲-۲ بررسی اقتصادی نصب اجکتور

جهت بررسی اقتصادی‌بودن راهکار پیشنهادی فوق، از چند شرکت سازنده دستگاه‌های اجکتور در سطح کشور من‌جمله شرکت کارا صنعت تدبیرپایا استعلام قیمت انجام گرفت. بدین‌ترتیب فرضیات ذیل جهت محاسبات اقتصادی طرح، مورد استفاده قرار گرفته‌است:

- عمر مفید طرح ۲۰ سال
- هزینه سرمایه‌گذاری اجکتور ۲۲۰ میلیون تومان معادل ۸/۷۵ هزار دلار
- هزینه سرمایه‌گذاری درام جداکننده حدود ۳۸ هزار دلار
- هزینه نصب و راه اندازی ۲۰ درصد
- هزینه تعمیرات و نگه‌داری سیستم در سال ۲/۵ درصد از قیمت کل سرمایه‌گذاری
- هزینه کلیه لوازم جانبی ۴۰ درصد
- میزان بهره بانکی ۲۰ درصد

جدول ۱-۱۱. برآورد هزینه‌های سرمایه‌گذاری و عملیاتی راهکار بازیابی بخار فلش توسط نصب اجکتور

Items	***Unit***	***Ejector***
Main equipment cost		
Ejector package	USD	8,750
Drum V-100		38,000
Piping, Instruments, Controls and Electrical		19,704
Commissioning, Installation Cost		9,852
Total Direct Cost		78,815
Total Indirect Cost		3,941
Fixed Capital investment	USD	82,256
Annual Cost	USD/y	2,059
Annual benefit		101,210
Discount Rate	%	20
IRR	%	120
NPV	USD	400,000
Payback time	year	0.83

همانطور که نتایج مجاسبات اقتصادی در جدول ۱-۱۱ نشان می‌دهند، میزان بازگشت سرمایه اجرای طرح فوق کمتر از یک سال بوده و نرخ IRR آن نیز حدود ۱۲۰ درصد می‌باشد که حاکی از جذابیت و اقتصادی‌بودن بسیار بالای اجرای راهکار بازیابی بخار فلش توسط نصب اجکتور می‌باشد.

در ادامه با توجه به محاسبات ارائه‌شده، خلاصه‌ای از میزان صرفه‌جویی و کل هزینه‌های سرمایه‌گذاری مورد نیاز نصب و راه‌اندازی دستگاه اجکتور در جدول ۱-۱۲ خلاصه شده‌است.

جدول ۱-۱۲. خلاصه‌ای از راهکار بازیابی و فشارافزایی بخار فلش با استفاده از نصب اجکتور

مورد مطالعه	کندانس برگشتی بخار کم‌فشار (LP)
عنوان طرح	فشارافزایی و بازیابی بخار فلش تولیدی کم‌فشار با استفاده از نصب اجکتور
خلاصه طرح	در این طرح پیشنهاد می‌شود که بخار MP با دمای $217\ ^oC$ و فشار 20.5 barg قبل از ورود به شیر فشارشکن PCV-6380 موجود در فرآیند، ابتدا بعنوان بخار Motive وارد یک دستگاه اجکتور شود. از سوی دیگر بخار فلش بازیابی‌شده از جریان کندانس برگشتی LP نیز به‌منظور فشارافزایی و در نهایت ارسال به هدر اصلی بخار LP وارد اجکتور می‌گردد.
وضعیت بهبود یافته	بازیافت بخار کم‌فشار، افزایش راندمان انرژی، کاهش مصرف آب
کاهش مصرف بخار	6800 kg/h
کاهش مصرف گاز طبیعی	$551\ m^3/h$
میزان صرفه‌جویی سالیانه	101,000 $
سرمایه‌گذاری	مطابق استعلام‌های صورت‌گرفته، کل هزینه سرمایه‌گذاری مورد نیاز طرح: ۸۲،۲۵۶ دلار

۱-۵-۳ برآورد انتشار گازهای گلخانه‌ای

تقاضای روزافزون انرژی در جهان و تأمین بخش عمده آن از طریق سوخت‌های فسیلی، بخش انرژی را به اصلی‌ترین منبع انتشار گازهای گلخانه‌ای تبدیل ساخته‌است. مصرف زیاد سوخت‌های فسیلی و تولید بی‌رویه گازهای گلخانه‌ای که پیامد بارز آن تغییرات اقلیمی و آلودگی‌های زیست‌محیطی می‌باشد، به شدت بر زندگی در این کره خاکی اثرگذار بوده و حتی می‌تواند تهدیدی برای حیات مطرح گردد.

در این بخش منابع اصلی انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلاینده‌ها و روش محاسبه میزان آن در صنعت نفت، گاز و پتروشیمی معرفی می‌شوند. انتشارات گازهای گلخانه‌ای در صنایع از منابع انتشار مستقیم شامل منابع احتراقی، تخلیه‌ای، فرار و منابع غیر مستقیم صورت می‌گیرد که در ادامه هر یک از این منابع بررسی می‌شوند. به طور کلی منابع عمده انتشارات احتراقی شامل توربین‌های گازی، کوره‌های فرآیندی، بویلرها، مشعل‌ها و زباله‌سوزها می‌باشند.

انتشار گازهای دی‌اکسیدکربن، اکسید نیتروس و متان به اتمسفر، معمولاً بیشترین انتشارات گلخانه‌ای در صنایع می‌باشند. انتشارات گازهای گلخانه‌ای از صنعت گاز به سه دسته احتراقی، تخلیه‌ای و فرار تقسیم‌بندی می‌شود. انتشارات فرار از اجزای خطوط لوله و نشتی تجهیزات در سطوح آب‌بندی‌شده اتفاق می‌افتد. در صورتیکه جریان دارای نشتی، حاوی متان و CO_2 یا هر گاز گلخانه‌ای دیگری باشد، در دسته انتشارات فرار خواهند بود. معمولاً انتشارات فرار در مقایسه با انتشارات احتراقی و فرآیندی بسیار ناچیز می‌باشند. فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات دوره‌ای ممکن است باعث تخلیه گازهای فرآیندی به اتمسفر شوند که به آنها انتشار تخلیه‌ای نیز گفته می‌شود.

منابع احتراقی شامل انتشارات حاصل از احتراق سوخت‌ها در کوره‌ها، بویلرها، موتورها، توربین‌ها و احتراق مواد زاید در زباله‌سوزها و فلرها می‌شود که بطور گسترده‌ای در صنایع موجود می‌باشند. احتراق در این تجهیزات، به تشکیل دی‌اکسید کربن در اثر اکسیداسیون کربن منجر می‌شود. مقادیر بسیار کمی N_2O نیز ممکن است در طول احتراق و در اثر واکنش اکسیژن و نیتروژن تشکیل شود. متان نیز می‌تواند در اثر احتراق ناقص سوخت، در گازهای احتراق حضور داشته باشد.

۱-۵-۳-۱ مطالعات انجام شده در زمینه انتشار گازهای گلخانه‌ای

در دهه‌های اخیر مطالعات جامع و کاملی در برآورد گازهای گلخانه‌ای، خصوصاً در آمریکا و کانادا انجام شده است که گزارشات آنها، به صورت منابع کامل و جامعی برای استفاده محققان فراهم شده در این قسمت ضمن اشاره‌ای به این تحقیقات، گزارش‌های آنها نیز معرفی می‌گردد.

پژوهشگاه صنعت گاز آمریکا[۷۲] و سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا[۷۳]، در سال ۱۹۹۱ برای برآورد میزان نشر متان از صنعت گاز طبیعی آمریکا، تحقیقات کامل و فراگیری را شروع نمودند. در این مطالعه تمامی انواع نشر بررسی شد، ولی ارزیابی‌های کمی فقط برای متان بوده و دی‌اکسیدکربن را شامل نمی‌شود. پژوهشگاه گاز کانادا[۷۴] برای مشخص نمودن میزان نشر متان، در سال ۱۹۹۸ با انجام یک پروژه در کشور کانادا، منابع و میزان نشر گاز متان را برآورد و اندازه‌گیری نموده‌است. در این پژوهش تخلیه و نشر متان مطالعه گردیده ولی دی‌اکسیدکربن بررسی نشده‌است. بعد از اتمام این پژوهش، کتاب راهنمایی جهت تخمین نشر متان از سیستم گاز طبیعی کانادا منتشر شده که متخصصان از آن بهره‌مند گردند.

پژوهشگاه گاز کانادا در ادامه پروژه قبلی، در سال ۱۹۹۹ پروژه‌ای را انجام داد که در آن منابع نشر احتراقی که منجر به انتشار گاز دی‌اکسیدکربن نیز می‌شوند شناسایی و میزان نشر از آنها برآورد شده‌است. در این تحقیق انتشار گازهای گلخانه‌ای از انتقال و توزیع محاسبه شده و علاوه بر آن، مونوکسید کربن، اکسیدهای نیتروژن، دی‌اکسید سولفور، ترکیبات آلی فرار، کل ترکیبات آلی و ذرات خاص نیز مورد مطالعه قرار گرفته‌است.

در این مطالعه ارزیابی نشرهای احتراقی در سه مرحله انجام شده‌است:

- تهیه فهرست منابع احتراق
- تعیین نوع، کیفیت و مقدار سوخت مصرفی در هر منبع
- ارزیابی کمی مقدار نشرحاصل از منابع احتراق

مؤسسه نفت آمریکا[۷۵]، مطالعه جامع و گسترده‌ای را بر روی روش‌های مختلف تخمین و ارزیابی میزان نشر گازهای گلخانه‌ای انجام داده‌است که اولین گزارش آن در سال ۲۰۰۱ منتشر شد و نسخه به روز شده آن در سال ۲۰۰۹ در دسترس می‌باشد. هدف کلی این سند ترویج استفاده از روش‌های یکنواخت و استاندارد برای تخمین میزان انتشارات گلخانه‌ای از عملیات صنعت نفت و گاز است. در نتیجه در این سند تکنیک‌های محاسباتی و ضرایب انتشار لازم برای تخمین این انتشارات ارائه می‌شود. تمامی منابع نشر، تجهیزات و پارامترهای موثر بر میزان نشر در کل صنایع، مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته و ضرایب نشر و در نهایت نرخ نشر گازهای گلخانه‌ای سه‌گانه، بدست آمده‌اند و این مطالعه یکی از جامع‌ترین و مفصل‌ترین پژوهش‌های تجربی در زمینه برآورد نشر آلاینده‌های گلخانه‌ای محسوب می‌شود. نحوه استفاده از روشهای تخمین انتشارات برای CO_2، CH_4، N_2O، HFCs، PFCs و SF_6 برای همه منابع انتشار مربوطه شامل منابع احتراقی، تخلیه‌ای و فرار در این سند آورده شده‌است.

---

[72] Gas Research Institute
[73] Environmental Protection Agency
[74] Gas Research Institute
[75] American Petroleum Institute (API)

راهنمای[۷۶] خلاصه API که خلاصه‌ای مفید از API می‌باشد (در این منبع از سایر منابع مفید نیز استفاده شده‌است)، روش تخمین زدن مقادیر گازهای گلخانه‌ای را در حالت‌های فرار، احتراقی و تخلیه نشان می‌دهد. سازمان ملل در سال ۲۰۰۶ در زمینه گازهای گلخانه‌ای، راهنمایی جامعی را تهیه و ارائه نموده که در آن یکی از بزرگترین و جامع‌ترین فهرست‌های منابع انتشار گازهای گلخانه‌ای تهیه شده‌است. این سند با عنوان راهنمای فهرست گازهای گلخانه‌ای توسط پنل بین‌المللی در مورد تغییرات آب و هوا[۷۷] (IPCC) که روش‌های تخمین موجودی انتشارات و جذب گازهای گلخانه‌ای در سطح ملی را ارائه می‌کند. در پاسخ به درخواست کشورهای عضو کنوانسیون تغییرات آب و هوایی[۷۸] (UNFCCC) تهیه شده‌است که به این کشورها در عمل به تعهدات مربوط به گزارش‌دهی موجودی انتشارات و جذب گازهای گلخانه‌ای کمک می‌کند.

راهنمای API Compendium روش‌های تخمین انتشارات گازهای گلخانه‌ای در صنعت نفت و گاز را بررسی می‌کند، در حالی که این راهنما چگونگی کمی‌سازی و گزارش‌دهی این انتشارات گازهای گلخانه‌ای را نشان می‌دهد.

۱-۵-۳-۲ بررسی انواع نشر

منابع گازهای گلخانه‌ای در صنعت نفت را می‌توان به دو دسته منابع انتشار مستقیم و منابع انتشار غیر مستقیم طبقه‌بندی نمود.

منابع انتشار مستقیم

انتشار گازهای گلخانه‌ای از منابع انتشاری که تحت مالکیت یا کنترل سازمان قرار دارد. انتشار دی‌اکسیدکربن از دودکش بویلر داخل یک پالایشگاه نفت نمونه‌ای از انتشار مستقیم گاز گلخانه‌ای آن پالایشگاه است. مهمترین منابع انتشار مستقیم گاز گلخانه‌ای در صنعت به شرح ذیل تقسیم‌بندی می‌شوند:

نشر احتراقی[۷۹]

گازهای گلخانه‌ای منتشرشده از تجهیزات احتراقی صنایع شیمیایی شامل دی‌اکسید کربن، مونواکسیدکربن، منواکسید و دی‌اکسید نیتروژن، دی‌اکسید گوگرد و متان می‌باشند که نشر احتراقی متان ناشی از انتشار گاز در اثر احتراق ناقص گاز، در موتورها (توربین‌ها)، فلرها، برنرها و ... می‌باشد.

منابع احتراقی شامل انتشارات حاصل از احتراق سوخت‌ها در بویلرها، کوره‌ها، موتورها، توربین‌ها و احتراق مواد زائد در زباله‌سوزها و فلرها می‌شود که بطور گسترده‌ای در صنایع نفت و گاز و پتروشیمی موجود می‌باشند. احتراق سوخت‌های حاوی کربن در این تجهیزات، به تشکیل دی‌اکسیدکربن در اثر اکسیداسیون کربن منجر می‌شود. مقادیر بسیار کمی N_2O نیز ممکن است در طول احتراق و در اثر واکنش اکسیژن و نیتروژن تشکیل شود. متان نیز می‌تواند در اثر احتراق ناقص سوخت، در گازهای احتراق حضور داشته باشد.

---

[76] Compendium of Greenhouse Gas emissions Methodologies for the Oil and Gas Industry
[77] Intergovernmental Panel on Climate Change
[78] United Nations Framework Convention on Climate Change
[79] Combustion

کوره‌های فرآیندی

کوره‌ها تجهیزاتی هستند که برای افزایش دمای سیال‌های فرآیندی در واحدهای مختلف بکار می‌روند. در کوره‌ها معمولا گرمای ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی، به سیال گرم‌شونده منتقل می‌شود به طوری که از گرمای آزاد شده حداکثر بهره‌برداری صورت پذیرد. به بیان ساده کوره از محفظه‌ای عایق تشکیل شده که عمل احتراق سوخت، درون آن صورت گرفته و گرمای احتراق توسط لوله‌هایی که در دیواره و سقف کوره قرار دارند به سیال گرم‌شونده منتقل می‌گردد. در کوره‌های فرآیندی، ضمن احتراق سوخت و آزاد شدن انرژی، گازهای گلخانه‌ای تولید می‌شود. در این تجهیزات گرمای حاصل از احتراق سوخت درون یک محفظه عایق، به سیال فرآیند که در لوله‌ها قرار دارد انتقال می‌یابد. این لوله‌ها معمولا در امتداد دیواره‌ها و سقف محفظه احتراق قرار دارند. انتقال حرارت عمدتاً ابتدا به صورت تابشی (نزدیک به شعله برنر) و سپس جابجایی منتقل می‌شود. کوره‌ها در فرآیندها از مهمترین مصرف‌کننده‌های سوخت می‌باشند و کاربرد مهم آنها در گرم‌کردن سیال فرآیند است. در این تجهیزات مایعات یا گازها از درون یک سری لوله که در داخل کوره قرار گرفته و با شعله مستقیم مشعل‌ها گرم می‌شوند، عبور می‌کنند. این مشعل‌ها ممکن است از سوخت‌های استانداردی مانند نفت کوره سبک و سنگین و گاز طبیعی و یا سوخت‌هایی که به عنوان محصول جانبی در یک واحد تولید می‌شوند استفاده نمایند. هدف از گرمایش سیال در کوره‌های فرآیندی بالا بردن دمای آن به‌منظور فرآورش بیشتر در پایین‌دست جریان یا پیش‌برد واکنش‌های شیمیایی در داخل لوله‌ها می‌باشد.

بویلرها

بویلرها معمولاً برای گرم‌کردن و یا جوشاندن آب مورد استفاده قرار می‌گیرند. اگر بویلر برای گرم‌کردن آب مورد استفاده قرار گیرد به آن بویلر آبگرم (دیگ آبگرم) گفته می‌شود و اگر برای جوشاندن آب و تولید بخار باشد به آن بویلر بخار (دیگ بخار) می‌گویند. طبقه‌بندی بویلرها معمولاً بر اساس طراحی و جهت سطوح انتقال حرارت، وضعیت قرار گرفتن مشعل‌ها و اندازه آنها صورت می‌گیرد. اصولاً بویلرها را بر اساس نوع کارکرد به دو دسته واترتیوپ[80] (آب در لوله) و فایرتیوپ[81] (آتش در لوله) تقسیم‌بندی می‌کنند. در هر دو تقسیم‌بندی حرارت از احتراق سوخت (معمولا توسط مشعل) توسط سه روش تابش، جابجایی و هدایت حرارت به سیال داده شده و سیال را گرم می‌کند.

نشر تخلیه[82]

آزادسازی تعمدی گاز به علت راه‌اندازی، خاموشی اضطراری، تحریک ابزارآلات کنترل نیوماتیکی، شرایط عملیاتی غیر مطلوب (مانند آسیب‌دیدگی خطوط لوله)، تخلیه گاز از PSVها، تزریق گاز و غیره نشر تخلیه نامیده می‌شود.

نشر فرار[83]

این نوع نشر، اتلاف غیرتعمدی گاز از شیرها، پمپ‌ها، فلنج‌ها، اتصالات و دیگر سطوح نشت‌بندی شده می‌باشد که نشت نیز نامیده می‌شود. این نشر معمولا پیوسته بوده و در حین عملیات نرمال قابل‌توجه است. در صورتیکه جریان‌هایی با غلظت بالای CO_2 یا CH_4 در بخش‌های مختلف یک واحد صنعتی وجود داشته‌باشد، این گازهای

[80] Watertube
[81] Firetube
[82] Vent
[83] Fugitive

گلخانه‌ای نیز جزو انتشارات فرار آن واحد صنعتی خواهند بود. معمولاً انتشارات فرار در مقایسه با انتشارات احتراقی و فرآیندی ناچیز می‌باشند.

منابع انتشار غیرمستقیم

انتشارات غیرمستقیم به انتشاراتی گفته می‌شود که پیامد مصرف انرژی یک واحد صنعتی (حجم کنترل جهت محاسبه انتشارات آن) هستند ولی از منابعی که متعلق به یک بخش یا واحد صنعتی دیگر است، منتشر می‌شوند. این دسته از انتشارات شامل انتشار حاصل از مصرف سوخت برای تولید برق، بخار، گرمایش و سرمایش وارداتی یا خریداری‌شده از یک مجموعه دیگر می‌شود که انتشار حاصل از تولید آن، در بخش دیگری اتفاق افتاده ولی انرژی تولیدی (مانند برق شبکه) در حجم کنترل مورد نظر مصرف می‌گردد. به عنوان مثال میتوان به انتشار صورت گرفته در یک نیروگاه برق اشاره کرد که سازمان تمام یا بخشی از برق خود را از آن نیروگاه تامین میکند. در این حالت هیچ انتشار مستقیم گاز گلخانه‌ای به واسطه تأمین برق در داخل آن سازمان صورت نگرفته ولی برای تأمین برق مورد نیاز وی، در نیروگاه مورد نظر گاز گلخانه‌ای منتشر شده که از نوع انتشار غیر مستقیم می‌باشد.

برآورد موجودی انتشار یک فرایند وابسته به زمان بوده و منعکس‌کننده شرایط در زمان برآورد موجودی می‌باشد. هنگامی‌که فرآیند یا عملیات دچار تغییر می‌گردد، مقدار انتشار ممکن است متفاوت شوند. لازم است بیان شود که یک ضریب نشر، نشان‌دهنده میانگین میزان نشر یک منبع مشخص می‌باشد و عموماً به صورت جرم یا حجم انتشار بر نوع منبع یا فعالیت آن می‌باشد.

۱-۵-۳-۳ محاسبه انتشارات از منابع نشر احتراقی

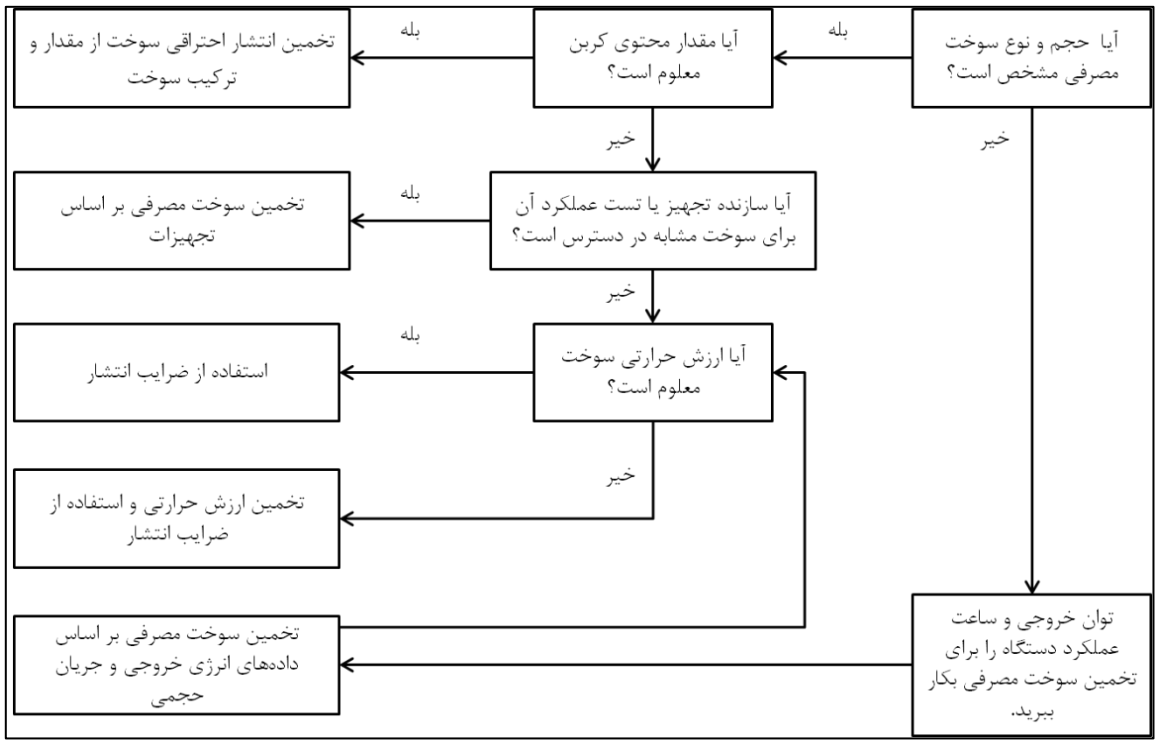
محاسبه ضرایب انتشار گازهای گلخانه ای ناشی از احتراق

در این قسمت منابع انتشار احتراقی شامل منابع ثابت، فلرها و سایر منابع معرفی و روشهای برآورد انتشارات گلخانه‌ای ناشی از احتراق سوخت در آنها تشریح می‌گردد. روش ارائه‌شده قابل استفاده برای تمامی منابع احتراقی بر پایه سوخت فسیلی می‌باشد. گازهای گلخانه‌ای دی‌اکسیدکربن، متان و N_2O به عنوان محصول احتراقی تولید و منتشر می‌شوند. احتراق هیدروکربن‌ها به طور عمومی و با فرض احتراق کامل به صورت رابطه زیر می‌باشد:

$$C_x H_y O_z + \left(x + \frac{y}{4} - \frac{z}{2} \right) O_2 \rightarrow (x) CO_2 + (\frac{y}{2}) H_2 O$$

که x، y و z به ترتیب ضرایب استوکیومتری کربن، هیدروژن و اکسیژن می‌باشند. دی‌اکسیدکربن از اکسیداسیون هیدروکربن‌ها در طی فرآیند احتراق تولید می‌شود. تقریباً تمامی هیدروکربن‌ها بدون وابستگی به نوع سوخت و چیدمان مشعل به دی‌اکسیدکربن تبدیل می‌شوند و بعضی ترکیبات از جمله متان حاصل از کامل نبودن احتراق، به صورت متان نسوخته منتشر می‌شود. احتراق ناقص منجر به تولید مواد دیگری نظیر CO و ترکیبات فرار (VOCs) نیز می‌شود. گاز اکسید نیتروس نیز طی یک سری واکنش پیچیده در طی فرایند احتراق تولید و منتشر می‌شود. بر خلاف دی‌اکسیدکربن، انتشار متان و اکسید نیتروس تابع نوع سوخت و شکل احتراق است. به طور کلی انتشار متان و اکسید نیتروس (بر مبنای معادل دی‌اکسیدکربن) در منابع احتراقی به مقدار قابل توجهی کمتر از انتشار دی‌اکسیدکربن است.

در صنایع پتروشیمی طی واکنش‌های پیچیده‌ای در خلال فرآیند احتراق، گاز N_2O نیز حاصل می‌شود. نظر به اینکه تولید N_2O وابسته به شرایط مختلفی می‌باشد، تولید آن از واحدی به واحد دیگر و حتی با تغییر شرایط عملیاتی، دستخوش تغییر می‌گردد. به طور عمومی، شرایط مناسب برای تولید N_2O، جهت نشر متان نیز مناسب است و این نشر متان، تابع نوع سوخت و چیدمان احتراق می‌باشد. به طور کلی منابع انتشار CH_4 و N_2O بسیار کمتر از CO_2 می‌باشد. از آنجایی که منابع احتراق، بخش اعظمی از موجودی انتشار را دارند، دقت داده‌های استفاده‌شده در محاسبات ضروری است. شکل ۱-۷۲ درخت تصمیم‌گیری برای انتخاب روش محاسبه احتراق ثابت، جهت محاسبه انتشار CO_2 برای تمامی منابع احتراقی به غیر از فلرها را ارائه می‌دهد.



شکل۱-۷۲. درخت تصمیم‌گیری برای انتخاب روش محاسبه احتراق ثابت جهت محاسبه انتشار CO_2 برای تمامی منابع احتراقی به غیر از فلرها.

اولین روش در مورد انتشار CO_2، بر پایه برنامه اندازه‌گیری شدت جریان جرمی یا حجمی مصرف سوخت و ترکیب یا محتوای کربن آن می‌باشد. اگر چنین اقداماتی مقدور نبود، داده‌های سازنده، تست تجهیز یا ضریب انتشار ارائه‌شده به عنوان روش تخمینی مورد استفاده قرار می‌گیرد. ضرایب انتشار CO_2 به صورت تن بر مقدار سوخت مصرفی یا تن بر میزان انرژی مصرفی یک سوخت مشخص می‌باشند و برای تخمین انتشار CO_2 مناسب است زیرا از تکنولوژی احتراق مستقل است.

بطورکلی انتشار متان با استفاده از ضرایب انتشار موجود برآورد می‌شود که ترکیبی از یک سوخت پیش‌فرض و بازده تقریبی متان بر پایه نوع تجهیز است. ضرایب انتشار موجود برای تخمین N_2O از منابع احتراقی نیز موجود می‌باشند. در صورت وجود، ضرایب انتشار متوسط N_2O بر پایه گزارش تست عملکرد منابع احتراقی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در صورتی‌که ضرایب انتشار سازنده برای N_2O موجود باشد، برای تخمین مناسب است.

روش برآورد انتشار از منابع احتراقی سوخت (با استفاده از مقدار و ترکیب سوخت)

در این بخش میزان انتشار CO_2 به واسطه احتراق سوخت برآورد می‌شود. روش موازنه جرم بر پایه داده‌های سوخت مصرفی و آنالیز سوخت هیدروکربنی قابل اطمینان‌ترین روش تخمین انتشارات از منابع احتراقی ثابت می‌باشد. محتوای کربن مخلوط سوخت، میانگین وزنی محتوای کربن هر جزء است. این مقدار ابتدا به محاسبه درصد وزنی کربن هر جزء سوخت می‌پردازد و در ادامه با ضرب وزن مولکولی کربن در تعداد مول‌های کربن و تقسیم بر وزن مولکولی ترکیب مطابق رابطه (۱) تکمیل می‌شود.

$$Wt\%C_{c_j} = \frac{\frac{12\ lbC}{lb\ mole\ C} \times \frac{X\ lb\ mole\ C}{lb\ mole\ C_j}}{MW_{C_j}\left(\frac{lb}{lb\ mole}\right)} \times 100\% \qquad (۱)$$

که $Wt\%Cc_j$، j، 12، X و $MWCc_j$ به ترتیب محتوای کربن جزء هیدروکربنی بر پایه درصد جرمی، هیدروکربن، ضریب استوکیومتری کربن و وزن مولکولی هیدروکربن می‌باشد. محتوای کربن مخلوط سوخت با رابطه (۲) محاسبه می‌شود:

$$Wt\%C_{mixture} = \frac{1}{100} \sum_{i=1}^{\#components} (Wt\%_i \times Wt\%C_i) \qquad (۲)$$

که $Wt\%C_{mixture}$، $Wt\%_i$ و $Wt\%C_i$ به ترتیب محتوای کربن مخلوط بر پایه جرمی، ضریب وزنی درصد جزء i و محتوای کربن جزء i محاسبه شده از رابطه (۱) می‌باشد. در API Compendium فرض می‌شود که احتراق به‌صورت کامل انجام شده‌است و تمامی کربن‌ها به صورت دی‌اکسیدکربن منتشر شده‌اند. این فرض برای اکثر منابع احتراقی به غیر از فلرها به‌کار می‌رود.

علاوه بر تخمین انتشارات CO_2 بر اساس اکسیداسیون ۱۰۰٪ کربن، API Compendium انتشار CH_4 از منبع احتراقی را بر اساس ضرایب انتشار تخمین می‌زند. این روش برای پتانسیل انتشار متان به‌کار می‌آید که ممکن است قبل از اکسیداسیون کامل به CO_2 در اتمسفر، موجود باشد. انتشارات CO_2 به روش موازنه جرم محاسبه می‌گردد. برای احتراق سوخت‌های گازی در اکسیداسیون ۱۰۰٪ رابطه (۳) استفاده می‌شود:

$$E_{CO_2} = FC \times \frac{1}{molar\ volume\ conversion} \times MW_{mixture} \times Wt\%C_{mixture} \times \frac{44}{12} \qquad (۳)$$

در خصوص سوخت مایع رابطه (۴) استفاده می‌شود.

$$E_{CO_2} = FC \times D \times Wt\%C_{mixture} \times \frac{44}{12} \qquad (۴)$$

و برای سوخت جامد رابطه (۵) ارائه شده‌است.

$$E_{CO_2} = FC \times Wt\%C_{mixture} \times \frac{44}{12} \qquad (۵)$$

برای برآورد کاهش انتشار آلاینده‌های حاصل از اجرای این پروژه، از ضرایب انتشار جهانی مرجع AP-42 مطابق جدول ۱-۱۳ استفاده می‌گردد.

جدول ۱-۱۳. ضرایب انتشار آلاینده‌ها در فرآیند احتراق با سوخت گاز طبیعی

VOCs	PM	CO	NOx	
83.24	115.03	1271.35	4238.54	کیلوگرم در میلیون نرمال متر مکعب سوخت گازی

روش‌های تخمین انتشارات غیرمستقیم

انتشارات غیرمستقیم به انتشاراتی اطلاق می‌شود که از منابع خارج از واحد صنعتی یا مجتمع باشد ولی از انرژی آن در داخل مجتمع استفاده شده باشد. دی‌اکسید کربن، CH_4 و N_2O منتشر شده جهت تولید الکتریسیته یا حرارت، بخار و آب خنک‌کننده، از این دسته می‌باشند. انتشار فرار و تخلیه‌ی گازهای گلخانه‌ای: برای محاسبه انتشارات فرار و تخلیه‌ای حاصل از نشتی تجهیزات می‌توان از ضرایب انتشار، محاسبات مهندسی، پایش و ارائه ضرایب انتشار برای محاسبه مقادیر نشر، بسته به شرایط استفاده نمود که با توجه به ماهیت این‌گونه انتشارات در صنایع شیمیایی بسیار ناچیز است.

نحوه محاسبه ارزش حرارتی خالص سوخت‌های گازی از ترکیب گاز

ارزش حرارتی خالص (بر مبنای حجمی) سوخت‌های گازی با رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$LHV_i = \frac{\sum_{k=1}^{n}(x_k \times LHV_k)}{23.685} \qquad (۶)$$

در این رابطه LHV_i ارزش حرارتی خالص سوخت گازی i، X_k کسر مولی (حجمی) ترکیب (k در سوخت)، LHV_k ارزش حرارتی خالص ترکیب k و 23.685 حجم مولی در شرایط استاندارد می‌باشد.

۱-۵-۳-٤ برآورد میزان انتشار

گازهای گلخانه‌ای سبب باقی‌ماندن کسری از انرژی خورشیدی رسیده به زمین در داخل جو می‌شوند. قدرت جذب امواج مادون قرمز توسط هر یک از گازهای گلخانه‌ای با هم متفاوت است. در نتیجه میزان تأثیر آنها در پدیده گلخانه‌ای نیز متفاوت خواهدبود. قدرت جذب امواج مادون قرمز را با پارامتری به نام پتانسیل گرمایش جهانی (Global Warming Potential-GWP) نشان می‌دهند. مقدار این پارامتر برای دی‌اکسیدکربن برابر واحد و جهت سایر گازها نسبت به دی‌اکسیدکربن سنجیده می‌شود. به عنوان مثال، با توجه به اینکه GWP متان برابر ۲۸ می‌باشد، یک تن متان اثری معادل ۲۸ تن CO_2 در پدیده گرمایش زمین خواهدداشت که این ضریب برای اکسید نیتروس (N_2O) عدد ۲۹۸ می‌باشد. بنابراین جهت سادگی، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای با توجه به GWP آنها به معادل CO_2 تبدیل شده و گزارش می‌گردد. در این قسمت برای محاسبه میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای شامل CH_4 و N_2O، از نتایج محاسبات و شبیه‌سازهای انجام‌شده در بخش‌های قبلی که جدول ۱-۱۴ خلاصه شده، استفاده می‌شود.

جدول ۱-۱۴. مقادیر ΔH تولیدی و مصرفی در بویلر LP قبل و بعد از بازیافت بخار فلش

Base Case (LP Steam Boiler)		
	Boiler Feed Water (110.6ºC, 0.45barg)	**LP Steam (147.5ºC, 3.44barg)**
ΔH (kj/kg)	463.9	2742.98
Total ΔH released (kj/kg)	2279	
Natural Gas LHV (kj/m^3)	3.75E+04	
After LP Flash Steam Recovery (LP Steam Boiler)		
	LP Steam (147.5ºC, 3.44barg)	
Proposed approach	**Flash Drum**	**Ejector**
Natural Gas Saving (kg/h)	7538	6800
Total ΔH Saving (kj/h)	2.29E+07	2.07E+07
Total Natural Gas Saving (m^3/y)	4.84E+06	4.36E+06

همانگونه که ملاحظه می‌شود مطابق جدول فوق در حالت Base Case، مقدار آنتالپی کندانس آب برگشتی به بویلر در شرایط 110.6ºC و 0.45barg، برابر 463.9 kj/kg می‌باشد. با توجه به میزان آنتالپی بخار LP تولیدی از بویلرهای LP پالایشگاه نیز که معادل 2742.98 kj/kg است، مقدار کل گرمای تولیدی در بویلر مربوطه برابر 2279 kj/kg خواهدبود. بطوریکه با انجام محاسبات و شبیه‌سازی صورت‌گرفته در بخشهای ۲-۱ و ۲-۲ مشخص گردید، مجموع دبی جرمی صرفه‌جویی‌شده در گاز طبیعی با بکارگیری هریک از راهکارهای Flash Drum **و** Ejector، به‌ترتیب چیزی حدود ۷۵۳۸ و ۶۸۰۰ کیلوگرم در ساعت برآورد گردید. در ادامه با توجه به این میزان کاهش دبی مصرفی و همچنین ارزش حرارتی گاز طبیعی، مقدار دبی حرارتی کاسته‌شده از کل حرارت مورد نیاز بویلرهای LP در هریک از راهکارهای Flash Drum **و** Ejector، به‌ترتیب معادل 2.29E+07 kj/h و 2.07E+07 kj/h برآورد شده‌است.

بدین‌ترتیب با توجه به مقادیر مربوط به ارزش حرارتی گاز طبیعی و میزان کاهش‌یافته دبی حرارتی مورد نیاز بویلرهای LP در حالت بازیابی بخار فلش جریان‌های کندانس برگشتی توسط راهکارهای Flash Drum **و** Ejector، براحتی می‌توان مقدار دبی حجمی سوخت صرفه‌جویی‌شده را نیز بدست آورد که بترتیب معادل 4.84E+06 Sm^3 و 4.36E+06 Sm^3 گاز طبیعی در سال می‌باشد. لازم بذکر است در تمام محاسبات انجام‌شده، تعداد روزهای کاری و عملیاتی پالایشگاه گاز ایلام ۳۳۰ روز منظور شده‌است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که پس از بازیابی بخار فلش موجود در جریانهای کندانس برگشتی به بویلرهای LP با استفاده از هریک از روش‌های Flash Drum **و** Ejector، میزان مصرف گاز طبیعی مورد نیاز بویلرهای پالایشگاه تا حدود قابل‌ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد.

بطورکلی آلاینده‌های هوا شامل گازهای گلخانه‌ای و همچنین شامل ناکس‌ها (NOX)، مونوکسید کربن، ذرات معلق و VOCها می‌باشند که با مشخص شدن میزان کاهش سوخت گازی، روابط احتراق و ضرایب انتشار جهانی مربوطه، مقادیر انتشار گازهای گلخانه‌ای و نیز میزان انتشار آلاینده‌های دیگر بر مبنای حجم گاز مصرفی قابل محاسبه می‌باشند که در جدول ۱-۱۵ ارایه شده‌اند.

جدول ۱-۱۵. میزان کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و سایر آلاینده‌ها با اجرای راهکارهای پیشنهادی

Proposed Approach	CO_2	CH_4		N_2O		Total
	ton CO_2	ton CH_4	ton CO_2e	ton N_2O	ton CO_2e	ton CO_2e
Flash Drum	151892.88	2.25	62.98	0.22	67.03	**152,023**
Ejector	137021.96	2.03	56.81	0.20	60.47	**137,139**
Other emission pollution						
	NOx (kg)	**CO (kg)**	**PM (kg)**	**VOCs (kg)**		Total (ton)
Flash Drum	20501	6150	556	403		**28**
Ejector	18494	5548	502	363		**25**

بنابراین، نتایج محاسبات نشان می‌دهند که با بازیافت بخار فلش از کندانس‌های برگشتی به بویلرهای LP با بکارگیری هریک از راهکارهای Flash Drum و Ejector، به‌ترتیب حدود ۱۵۲ و ۱۳۷ هزار تن معادل دی‌اکسیدکربن انتشار گازهای گلخانه‌ای در سال کاهش می‌یابد. همچنین با توجه به اینکه ضرایب ارائه‌شده در راهنمای AP-42 جهت محاسبه سایر آلاینده‌ها، بر اساس واحد حجم سوخت مصرفی می‌باشد، هرچه میزان حجم گاز صرفه‌جویی‌شده در فرآیند نیز افزایش یابد، در نتیجه میزان انتشار آلاینده‌های دیگر نسبت به حالت مبنا هم اندکی بیشتر خواهدبود. بنابراین مطابق جدول ۱-۱۵ بدلیل بیشتربودن حجم گاز صرفه‌جویی شده در حالت بکارگیری راهکار Flash Drum، میزان کاهش انتشار سایر آلاینده‌ها در این‌حالت بیش از حالت بکارگیری Ejector خواهد بود.

۱-۶ نتیجه‌گیری

تکنولوژی فشارافزایی بخار با استفاده از دو راهکار مکانیکی (MVR) و حرارتی (TVR)، با هدف افزایش بهره‌وری انرژی جهت بازیافت بخار فشار پایین در مجتمع‌های تولیدی نفت، گاز و پتروشیمی بکارگرفته‌می‌شود. از آنجا که بخار آب مهم‌ترین عامل انتقال انرژی در سیستم‌های بخار بوده که در سطوح مختلف دما و فشار مورد استفاده قرار می‌گیرد، بنابراین بازیافت و جلوگیری از اتلاف بخار بویژه بخار فلش تولیدی در خطوط کندانس برگشتی، می‌تواند بعنوان راهکاری اقتصادی و جذاب محسوب گردد.

در پالایشگاه گاز ایلام کندانس برگشتی LP با دبی معادل ۹۶۰۰۰ کیلوگرم بخار بر ساعت و فشار ۰/۴۵ بار به هدر کندانس LP بازمی‌گردد. در نتیجه افت‌فشار رخ‌داده، حدود ۶۸۰۰ کیلوگرم بر ساعت بخار فلش تولید می‌شود که جهت بازیابی آن ابتدا جریان کندانس برگشتی وارد یک فلش‌درام شده تا ضمن انجام عملیات فلش، مقادیر بخار فلش تولیدی نیز توسط آن جداسازی گردد. در ادامه به‌منظور فشارافزایی و ارسال به هدر بخار LP، هر دو راهکار فشارافزایی کمپرسور بخار و اجکتور بکارگرفته‌شد.

در جدول ۱-۱۶ نتایج حاصل از بکارگیری هر دو راهکار فوق به‌منظور مقایسه با یکدیگر ارائه شده‌است. همانطور که ملاحظه می‌شود مقادیر IRR و Payback مربوط به هر دو راهکار، حاکی از اقتصادی بودن و سود بالای هریک از آنها دارد. اما تکینیک MVR بدلیل دارابودن حجم بیشتری از بخار فلش بازیابی‌شده، از سود سالانه بیشتری نیز حاصل از صرفه‌جویی مصرف سوخت برخوردار خواهدبود. همچنین این مهم بر روی میزان کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و

سایر آلاینده‌های ناشی از بکارگیری تکنولوژی MVR نیز تأثیر دارد، بطوریکه از حجم بیشتری از انتشارات کاسته می‌گردد. اما نکته حائز اهمیت در محاسبات مربوط به میزان صرفه‌جویی انرژی، مبنای قیمتی منظور شده جهت گاز طبیعی می‌باشد. مبنای قیمت گاز طبیعی در محاسبات مربوط به MVR، قیمت جهانی آن بوده و بر مبنای قیمتهای داخل کشور این راهکار صرفه اقتصادی ندارد. بنابراین به‌نظر می‌رسد بکارگیری تکنولوژی TVR یا همان اجکتور، می‌تواند بعنوان بهترین پیشنهاد و راهکاری مطلوب که دارای زمان بازگشت سرمایه‌ای کمتر از یکسال بوده و از IRR بالایی هم برخوردار است، مطرح گردد.

جدول ۱-۱۶. مقایسه دو راهکار پیشنهادی بکارگیری MVR و TVR جهت فشارافزایی و بازیابی بخار فلش

Items	***Fixed Capital Investment ($)***	***Total Saving (kg/h)***	***Annual Incoming ($)***	***IRR (%)***	***Payback (Year)***	***GHG Reduction (Ton CO2e)***	***Emision Pollution Reduction (Ton)***
Flash Drum & Compressor (MVR)	1,992,580	7,538	1,064,000	38	2.63	152,023	28
Ejector (TVR)	82,256	6,800	101,021	120	0.83	137,139	25

فصل ۲ بررسی طرح‌های قابل استفاده به منظور بهره‌برداری از liquid waste مازاد پتروشیمی اروند و ارائه طرح توجیهی (فنی-اقتصادی) جهت انتخاب روش بهینه

۲-۱ مقدمه

مونومر وینیل کلراید (VCM) یکی از پرکاربردترین مواد شیمیایی در جهان است. اولین تلاش برای تولید کلرید وینیل، واکنش استیلن و کلرید هیدروژن در حضور کاتالیست کلرید جیوه انجام شد (Conte et al., 2007). در حال حاضر، تولید تجاری کلرید وینیل شامل تجزیه پیرولیتیک اتیلن دی کلراید (EDC، همچنین به عنوان ۱،۲-دی کلرواتان شناخته می شود) است. EDC را می‌توان با روش اکسی کلریناسیون کاتالیستی اتیلن در حضور کلرید هیدروژن و اکسیژن یا با کلرزنی مستقیم اتیلن تولید کرد. پیرولیز EDC می‌تواند علاوه بر وینیل کلرید (VC)، مقدار مشابهی کلرید هیدروژن تولید کند، که یکی از واکنش‌دهنده‌های اکسی کلریناسیون کاتالیستی اتیلن می‌باشد (Al-Hajri & Chadwick, 2010). بنابراین، کلرید هیدروژن (که در راکتور پیرولیتیک تولید شده است)، در راکتور اکسی کلریناسیون بازیافت می‌شود. فرآیند تولید متوازن VCM با استفاده از اتیلن و کلر، می‌تواند بدون مصرف کلر خالص و یا تولید کلرید هیدروژن، با ترکیب فرآیندهای کلرزنی مستقیم، پیرولیز EDC و اکسی کلریناسیون ایجاد می‌شود (Al-Hajri & Chadwick, 2010).

واحدهای تولید معمولی VCM شامل شش مرحله است:

۱) کلرزنی مستقیم اتیلن؛ ۲) اکسی کلریناسیون؛ ۳) تصفیه EDC؛ ۴) کراکینگ حرارتی[84] EDC؛ ۵) تصفیه VCM؛ ۶) سوزاندن پسماندهای ارگانوکلر[85] (OCW) (Lakshmanan et al., 1999). علاوه بر محصولات اصلی، محصولات جانبی مختلف مراحل تولید EDC/VC را همراهی می‌کنند. مهمترین محصولات جانبی در راکتور اکسی کلریناسیون عبارتند از ۱،۱،۲-تری کلرواتان، کلرال (تری کلرواستالدئید)، سیس و ترانس-۱،۲-دی کلرواتیلن، مونو، دی، تری، تتراکلرومتان و اکسیدهای کربن. در روش کلرزنی مستقیم، ۱،۱،۲-تری کلرواتان نیز تولید می‌شود. استیلن، اتیلن، بوتادین، متیل کلراید، کلروپرن، وینیلیدن کلراید، بنزن، تری کلرواتیلن، تری و تتراکلرومتان و سایر محصولات مختلف کلردار در راکتور پیرولیز تولید می‌شوند (Lakshmanan et al., 1999). بسیاری از این محصولات جانبی خطرناک و سمی هستند (Ding et al., 2013). علاوه بر این، فرآورش و دفع این محصولات گران تمام می‌شود. همچنین، مقدار محصولات جانبی باید به منظور بهبود تبدیل مواد اولیه به محصولات مورد نظر، کاهش هزینه مواد اولیه، ساده‌سازی تصفیه EDC، جلوگیری از تشکیل کک و رسوب راکتور پیرولیز و کاهش هزینه‌های تصفیه و فراوری پسماندها به حداقل برسد. خوراک راکتور پیرولیز باید خوراکی با مشخصات حداقل ۹۹/۵۵٪ EDC خشک خالص باشد. علاوه بر این، EDC، بازیابی شده از راکتور پیرولیز، حاوی مقدار قابل توجهی ناخالصی است. برخی از این ناخالصی‌ها، به عنوان مثال کلروپرن، می‌تواند به یک ماده لاستیکی پلیمریزاسیون می-شود، که می‌تواند بخش تصفیه EDC را به طور جدی تخریب کند (McPherson et al., 1979). به طور مشابه، تری کلرواتیلن می‌تواند با EDC یک آزئوتروپ ایجاد نماید. اگر این محصول جانبی در حین بازیافت EDC از مرحله پیرولیز حذف نشود، منجر به کاهش نرخ کراکینگ حرارتی و افزایش رسوب در راکتور می‌شود (McPherson et al., 1979). بنابراین، نیاز به بهبود عملکرد این راکتورها وجود دارد.

موضوع حذف OCW از روش سوزاندن بسیار مورد مطالعه قرار گرفته است. عملیات حرارتی OCW مقادیر زیادی اسید کلریدریک تولید می‌کند (Ding et al., 2013; Thornton, 2002). با این حال، سطح گازهای خروجی نباید از سطوح معینی از اسید کلریدریک، کلر و دیوکسین تجاوز کند. بر اساس توافق سازمان ملل متحد، سطح معادل دیوکسین باید کمتر از ۰/۱ نانوگرم در متر مکعب باشد (برنامه محیط زیست سازمان ملل متحد حاکمیت بین المللی

[84] Thermal cracking
[85] organochlorine waste

محیط زیست: موافقت نامه‌های چند جانبه زیست محیطی، ۲۰۰۱). فرآیند تجزیه باید کامل انجام شده و اجزا کلردار شده باید به اسید کلریدریک، دی اکسید کربن و آب تبدیل شوند که نیاز به درجه حرارت بسیار بالا یا کاتالیست‌های گران قیمت دارد. بنابراین، تصفیه گازهای خروجی با توجه به این شرایط، مراحل جدیدی را شامل می‌شود که هزینه‌بر خواهد بود (Papp, 1996).

در یک مطالعه توسط کورتا و همکاران، روشی پیشنهاد شده است که، با روش‌های تولید فعلی VC تنظیم شده و نیازی به تغییرات گران قیمت فرآیند ندارد (Kurta et al. 2013). تولید سالانه VC در "Carpathian-Petrochemical Ltd."، بخشی از "گروه لوک اویل" در Kalush، اوکراین، ۳۵۰،۰۰۰ تن در سال است (Kurta et al. 2012). تولید جهانی حدود ۳۲ میلیون تن در سال است (Thornton, 2002). در حال حاضر تمام پسماندهای تولیدی سوزانده می‌شوند و اسید کلریدریک (HCl) حاوی OCW تولید می‌باشد (Kurta, 2011; Borruso, 2006). طبق مطالعات این روش حذف OCW منجر به زیان ۱/۵ میلیون دلاری در سال در این واحد تولیدی می‌شود. ترکیب شیمیایی تقریبی پسماند ارگانوکلری حاصل از تولید EDC و VC، که توسط کروماتوگرافی تعیین شده، در جدول ۱ نشان داده شده است. OCW همچنین حاوی مقدار کمی از کلرید هیدروژن محلول و کلر است. مقدار آب در OCW از ۲۰-۲۰۰ ppm تجاوز نمی‌کند.

این واکنش‌ها فرآیندهای سوزاندن پرکلورین‌اتیلن (تتراکلرواتیلن) را توصیف می‌کند، که منجر به تولید OCW در طول تولید VC و EDC می‌شود:

$$CCl_2 = CCl_2 + 2O_2 \rightarrow 2CO_2 + 2Cl_2 \quad (۱)$$

$$CCl_2 = CCl_2 + 3O_2 + CH_4 \rightarrow 3CO_2 + 4HCl \quad (۲)$$

$$CCl_2 = CCl_2 + O_2 + 2H_2O \rightarrow 2CO_2 + 4HCl \quad (۳)$$

$$2Cl_2 + 2H_2O \rightarrow 4HCl + O_2 \quad (۴)$$

جدول ۲-۱. ترکیب شیمیایی OCW برای تولید EDC و VC

OCW components	Component content, wt.%	Hazard class	Maximum allowable concentration in air, mg/m^3
Vinyl chloride monomer	0.0003	1	1
Allyl chloride (1- chloropropylene)	0.0039	1	0.3
Trans 1,2 DCE	0.0009	–	–
Carbon tetrachloride (tetrachloromethane)	0.0215	2	20
Benzene	0.01	2	15
Chloroform (trichloromethane)	0.0134	2	20
1,1,2-trichloroethylene	0.019	2	10
1,2-dichloroethane (EDC)	16.4 – 35	2	10
Tetrachlorethylen	0.418 – 0.9	2	10
1,2,3-trichloroethane	36.61 – 40	2	20
1,1,2,2-tetrachloroethane	2.034 – 4	2	5
Ethylene chlorohydrin	0.444 – 0.5	1	0.5
1,1-dichloroethane	0.16 – 1	2	10
Unidentified OCW	43.865 – 19	1–2	–
Total	100	2	10

واکنش ۴ واکنش شدید کلر و آب را نشان می‌دهد. برای تکمیل واکنش نیاز به دمای بیش از ۱۰۰۰ºC و ΔH برابر ۵۷/۵ kJ/mol است (Hazel, 1989). در حین سوزاندن OCW، به عنوان مثال EDC، چندین واکنش رخ می‌دهد

که کلر آزاد، فسژن (Papp, 1996) و دی بنزو-دی دیوکسین‌های پلی کلرید (Hung and Pfefferle, 1989) تولید می‌کند. واکنش‌های احتراق کامل ۱،۲-دی کلرواتان در این قسمت آورده شده است:

$$CH_2Cl - CH_2Cl + CH_4 + 2O_2 \xrightarrow{920\,^\circ C} 3CO_2 + 2HCl + H_2O \quad (۵)$$

$$2CH_2Cl - CH_2Cl + 5O_2 \xrightarrow{750\,^\circ C} COCl_2 + 3CO_2 + 2HCl + 3H_2O \quad (۶)$$

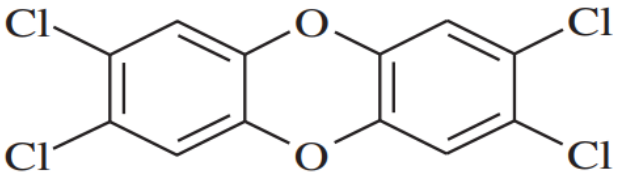
$$CH_2Cl - CH_2Cl + 3O_2 \xrightarrow{850\,^\circ C} Cl_2 + 2CO_2 + 2H_2O \quad (۷)$$

$$CH_2Cl - CH_2Cl \xrightarrow{500\,^\circ C} CH_2 = CHCl + HCl \quad (۸)$$

$$CH_2 = CHCl \xrightarrow{500\,^\circ C} CH \equiv CH + HCl \quad (۹)$$

$$3CH \equiv CH \xrightarrow{600\,^\circ C} C_6H_6 \quad (۱۰)$$

$$C_6H_6 + 6Cl_2 \longrightarrow C_6Cl_6 + 6HCl \quad (۱۱)$$

$$2\,C_6Cl_6 + O_2 + 4\,H_2 \longrightarrow$$  (۱۲)

۲-۱-۱ پسماندهای ارگانوکلر

ترکیب شیمیایی OCW موجود در "Carpathian-Petrochemical Ltd." از طریق کروماتوگرافی در جدول ۲-۱ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، مقادیر ناچیزی (ppm) کلر محلول، اسید کلریدریک و بیش از ۲۰۰-۲۰ ppm آب در نمونه موجود است. فرآیند سوزاندن OCW مقرون به صرفه نیست، زیرا کلر موجود در محصولات سنتز، از جمله EDC-۱،۲ و ۱،۲،۳-تری کلرواتان، که ۵۰-۷۰٪ از کل OCW را تشکیل می‌دهد، از بین می‌رود (Borruso, 2006). از طرفی، عملیات حرارتی چنین پسماندهایی مقدار زیادی اسید کلریدریک تولید می‌کند. بدست آوردن اسید کلریدریک خالص و غلیظ به دلیل آلودگی OCW توسط سایر محصولات جانبی ممکن نیست (Papp, 1996). سوزاندن OCW منجر به از بین رفتن کامل کلر موجود می‌شود، هنگامی که اسید توسط قلیایی خنثی می‌شود. سوزاندن OCW منجر به تولید فسژن و کلر گازی شده، در حالی که حتی سوزاندن ناقص دیوکسین‌ها نیز به نوبه خود منجر به آلودگی محیط زیست می‌شود (برنامه محیط زیست سازمان ملل متحد. بین المللی محیط زیست: موافقت نامه‌های زیست محیطی چند جانبه، ۲۰۰۱). مقدار انرژی صرف شده در سنتز و دفع OCW بسیار زیاد است. برای نمونه، در این واحد صنعتی، هنگام سوزاندن ۷۰۰۰ تن OCW، شامل ۲۰۰۰ تن اتیلن و ۳۰۰۰ تن کلر، مقدار ۱.۷۴۶.۰۰۰ متر مکعب گاز طبیعی مصرف می‌شود و ۳۰۰.۰۰۰ متر مکعب هیدروژن به همراه برق، بخار، منابع و مواد دیگر هدر می‌رود (Kurta, 2012). در نتیجه، ۴۲۰۰ تن اسید کلریدریک تشکیل می‌شود که برای خنثی کردن آن به ۴۶۰۰ تن محلول قلیایی نیاز است. بر اساس مطالعه‌ای دیگر، ممکن است با کاهش دمای اکسیداسیون کاتالیستی OCW بتوان تلفات را به حداقل رسانید (Manning, 1984).

۲-۱-۲ ترکیبات قلیایی‌های حاوی سولفید

ترکیبات قلیایی حاوی سولفید پسماند حاصله از تولید الفین‌ها هستند. آن‌ها از تولید اتیلن-پروپیلن در طی شستشو قلیایی محصولات پیرولیز از گازهای اسید H_2S و CO_2 تشکیل می‌شوند. محلول‌های سولفید قلیایی حاوی ۱۲-۲۰ درصد وزنی سولفید سدیم و ۴-۶ درصد وزنی سدیم هیدروکسید است. در حال حاضر هیچ روش موثری برای بازیافت ترکیبات قلیایی حاوی سولفید وجود ندارد. کارخانه مذکور با ظرفیت تولید ۲۵۰،۰۰۰ تن در سال اتیلن و پروپیلن نزدیک به ۷۰۰۰ تن در سال پسماند قلیایی حاوی سولفید را تشکیل می‌دهد (Kurta, 2012). به دلیل نبود واحد الفین در پتروشیمی اروند این ترکیبات با توجه به آنالیز انجام شده در پسماند پتروشیمی یافت نشد.

۲-۱-۳ بخش مونومری C_5-C_9

بخش مونومری C9-C5 یک مایع شفاف فرار با بوی چرب ضعیف، نامحلول در آب است. این بخش به عنوان یک محصول جانبی از پیرولیز سوخت دیزل تشکیل شده است (Manning, 1984). خواص فیزیکی اصلی این بخش در جدول ذکر شده است. این بخش از ترکیبات C9-C5 یک محصول کلاس ۲ قابل اشتعال و سمی است. سرطان‌زا بوده، باعث التهاب حاد و اگزمای مزمن پوستی می‌شود و دارای اثر مخدر قوی است (Papp, 1996). به دلیل نبود واحد الفین در پتروشیمی اروند این ترکیبات با توجه به آنالیز انجام شده در پسماند پتروشیمی یافت نشد.

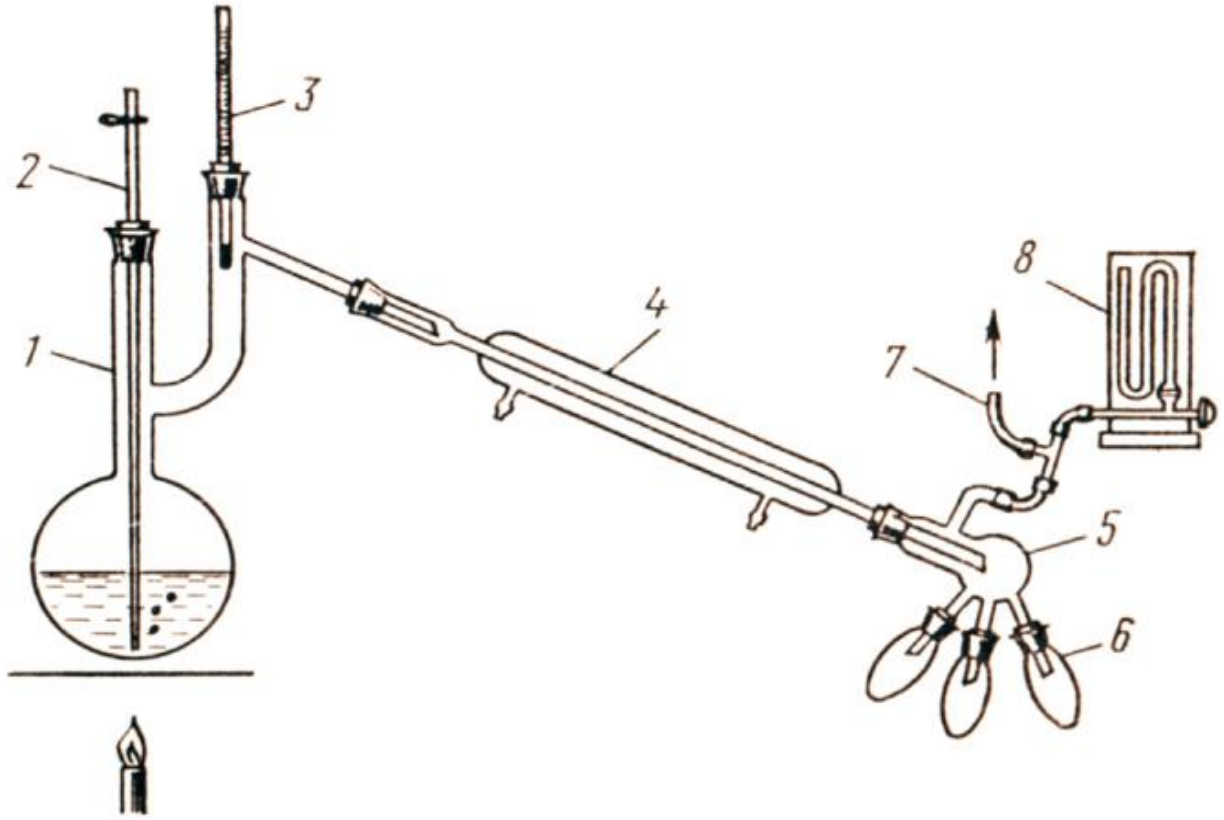
جدول ۲-۲. خواص فیزیکی کسر C_5-C_9

Indicator name	Value
Fractional composition:	>30 °C
Boiling temperature at the beginning	<200 °C
Temperature at the end of the boil	
Mass concentration of the fact. resins	<500/100 mg/cm^3
Chlorine mass fraction	<0.002%
Sulfur mass fraction	<0.1%
Density	617–730 kg/m^3
Bromine number	100–180 Br_2/100 g resin
Flash point combustion	40 °C
Interval, spontaneous combustion of vapor in air	1.48–8vol.%
Maximum permissible concentration in air	100 mg/m^3

۲-۱-۴ روش‌های تعیین مشخصات

شرح تجهیزات آزمایشگاهی برای دهیدروکلریناسیون قلیایی OCW در شکل ارائه شده است. دهیدروکلریداسیون قلیایی آزمایش OCW در شرایط محیطی آزمایشگاه انجام می‌شود. به یک ظرف واکنش ۱ لیتری (فلاسک کلایزن)، که قبلا با نیتروژن پاکسازی شده و مجهز به میکسر، دماسنج و کندانسور است، ۳۵۰ گرم محلول آبی NaOH ۳۰ درصد وزنی و ۳۰ گرم دوغاب آهک (محلول کلسیم ۳۰ درصد وزنی) کلرید در آب) اضافه می‌شود. نسبت نهایی

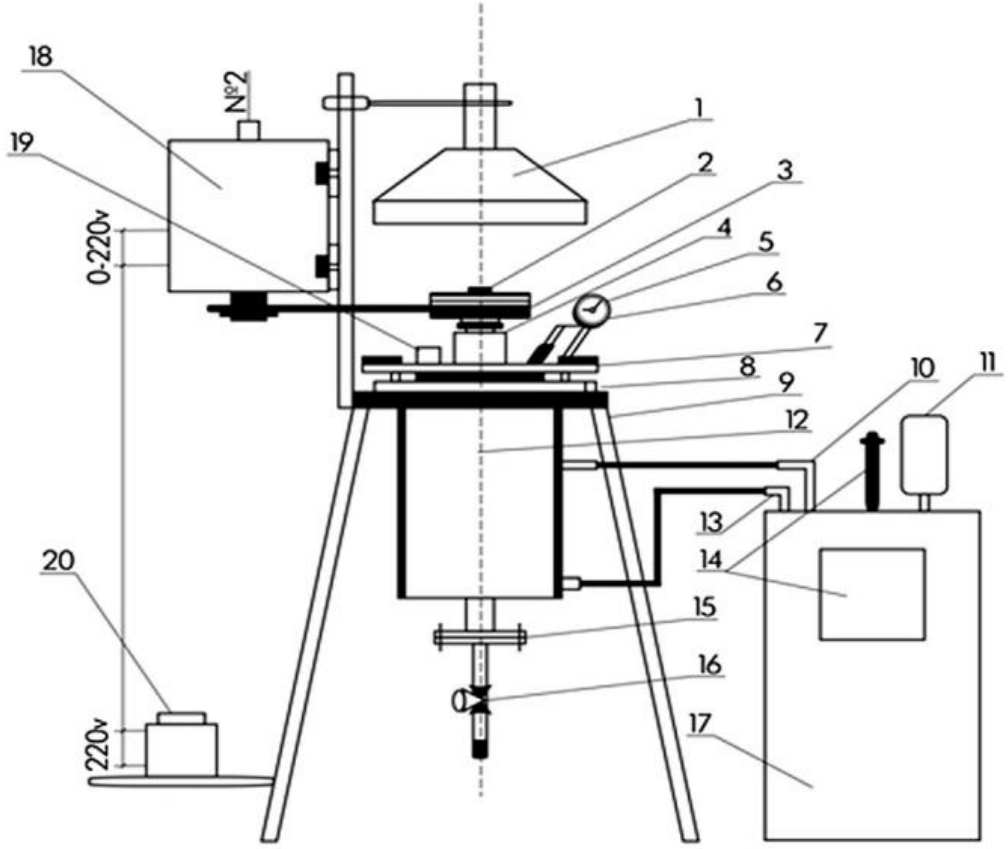
NaOH و $Ca(OH)_2$ (1.5-2) :1 می‌باشد. مخلوط واکنش (OCW و قلیایی) در دمای ºC ۵۰-۷۵۰ به مدت ۱ تا ۲ ساعت (۱۵۰-۳۰۰ دور در دقیقه) هم‌زده می‌شود. نرخ تبدیل هر دو دی کلرواتان و تری کلرواتان ۹۵-۹۶ می‌باشد. کلرید وینیل با ۹۵ درصد عملکرد از دی کلرواتان به دست آمده، در حالی که وینیلیدن کلرید با همان عملکرد از تری کلرواتان به دست می‌آید. پلیمریزاسیون OCW و پلیمریزاسیون همزمان ترکیبات C5 -C9 و تراکم OCW با قلیاهای حاوی سولفید در اتوکلاو راکتور آزمایشگاهی ساخته می‌شود. این راکتور از فولاد ضد زنگ با حجم ۱ لیتر ساخته شده است (شکل). سپس محصولات دهیدروکلریداسیون قلیایی OCW (کلرید وینیل و وینیلیدن) به راکتور مجهز به میکسر، دماسنج و گرمایش اضافه می‌شود. ژاکت، و پس از آن اجزا C5-C9 با $AlCl_3$ اضافه می‌شود. مخلوط واکنش به مدت ۴ ساعت در دمای ºC ۹۰۰ هم زده شده و با کروماتوگرافی گاز مایع کنترل می‌شود (Kurta et al., 2013).



شکل ۲-۱. راه اندازی تجهیزات آزمایشی برای دهیدروکلرید قلیایی OCW و جداسازی آنها: ۱- فلاسک کلسین در ترموستات قرار می گیرد. ۲- میکسر ؛ ۳- دماسنج ؛ ۴- کندانسور مستقیم ؛ ۵- Allonge؛ ۶- گیرنده های VC و VDC ؛ ۷-خلاء ؛ ۸ مانومتر ؛ ۹- ترموستات.

OCW توسط کروماتوگرافی گاز مایع تجزیه و تحلیل شده است. تجزیه و تحلیل با استفاده از کروماتوگراف Carlo Erba GC 8000 با آشکارساز یونیزاسیون شعله انجام شده و شرایط زیر برای تجزیه و تحلیل استفاده شده است: طول ستون ۳ متر با قطر ۳ میلی متر. جاذب ۱۲٪ پلی اتیلن گلیکول-۱۵۰۰ روی کرومیم اوکسید با ژل سیلیس؛ ۱۰۰C-ºC ۱۵۰ دمای کار ستون؛ دمای اواپراتور ºC ۱۹۰ ؛ ۵۰ دقیقه زمان تجزیه و تحلیل؛ و از هلیوم به عنوان گاز حامل استفاده شده است. برای محاسبات کروماتوگرام، از روش ارزیابی داخلی استفاده شده است (Kurta et al., 2013).

هنگام مطالعه کلرزنی OCW غیر اشباع، محاسبه مقدار کلر مورد نیاز به صورت استوکیومتری، بر اساس محتوای کلروپرن در OCW کم جوش پس از تراکم انجام می‌شود. تراشه‌های آهن به عنوان کاتالیزور برای تشدید کلر زنی کلروپرن، در مقدار ۱ تا ۱۰ درصد وزنی OCW کم جوش استفاده شده است. شرایط آزمایش کلر زنی به شرح زیر است: ۱) حجم ۱۰۰ میلی لیتر OCW مایع. ۲) دمای ^{o}C ۲۵ مخلوط اولیه؛ ۳) ۸/۷ درصد وزنی درصد کلروپرن در مخلوط اولیه OCW؛ ۴) ۵-۶۰ دقیقه زمان خوراک کلر؛ ۵) میزان جریان کلر ۵۲-۶۲۵ میلی لیتر در دقیقه؛ ۶) دمای مخلوط واکنش در طول کلرینگ حدود ^{o}C ۵۰ از دمای اولیه افزایش یافته است (Kurta et al., 2013).



شکل ۲-۲. طرح‌های مونتاژ اتوکلاو راکتور برای کوپلی‌مری‌زاسی‌ون محصولات دهی‌دروکلری‌داسی‌ون OCW قلی‌ای‌ی با کسر C9-C5
۱- هود. ۲- راکتور قرقره ؛ کمربند ۳ ولت ؛ ۴ مهر و موم ؛ ۵-مانومتر ؛ ۶ دماسنج ؛ پوشش بالای ۷ راکتور ؛ ۸- لوله نی‌پل ؛ ۹-پشتی‌بانی ؛ ۱۰- خروجی حامل گرما ؛ موتور ۱۱ ترموستات ؛ اتوکلاو ۱۲ راکتور با کاپشن حرارتی ؛ ورودی حامل ۱۳ گرما ؛ کنترل از راه دور ۱۴ ترموستات ؛ ۱۵- خروجی فلنج ؛ شی‌ر آب ۱۶؛ ترموستات ۱۷ ؛ موتور ۱۸ مخلوط کن محفظه ؛ ۱۹- اتصال مواد واکنش دهنده ؛ تنظی‌م کننده سرعت ۲۰ موتور

بر اساس داده‌های کروماتوگرافی، محصولات با دمای جوش بالاتر از ۱،۲-دی کلرواتان در طول کلر به دست آمده است. ترکیب و واکنش‌های کلر زنی آن‌ها در قسمت‌های بعدی توضیح داده می‌شود.

۲-۲ مطالعه تکنولوژی‌های جدید استفاده از Liquid Waste

روش‌هایی که برای فرآورش پسماندهای ارگانوکلر استفاده می‌شود شامل بازسازی[۸۶]، اکسیداسیون، احتراق[۸۷]، بازیافت مواد شیمیایی از طریق پلاسما[۸۸]، تجزیه الکتریکی[۸۹]، هیدروژناسیون و دفن پسماند است (Vasiychuk et al., 2020).

روش بازسازی اجزای ارزشمند موجود در پسماندهای ارگانوکلر بسیار امیدوارکننده و اکولوژیک است. با این حال، این فرآیند را فقط می‌توان برای استخراج حلال‌های ارگانوکلری با جوش آسان (تری کلرواتیلن، تتراکلرواتیلن و غیره) از مخلوط‌های تصفیه شده استفاده کرد. این روش برای استفاده از پسماند ارگانوکلری از دی کلرواتان (DCE) و VC به دلیل محتوای کم ترکیبات فوق الذکر استفاده نمی‌شود.

روش دفع آلودگی پسماندهای OCW با استفاده از اکسیداسیون با استفاده از کاتالیست‌هایی انجام می‌شود که دمای فرآیند را کاهش می‌دهند. ترکیبات حاوی کروم ۳ و ۶ ظرفیتی و همچنین HZSM-5 /xO2 (Cr ،Ce) (با نسبت-های مختلف جرم xO2 (Cr ،Ce) به زئولیت HZSM-5) به عنوان کاتالیزور استفاده می‌شوند. علاوه بر این، این فرآیند را می‌توان در یک لایه شبه جوش[۹۰] کاتالیست با استفاده از هوا یا اکسیژن به عنوان اکسیدکننده انجام داد.

محصولات نهایی اکسیداسیون OCW عبارتند از کلرید هیدروژن، دی اکسید کربن، تری کلرواتیلن، پرکلرو اتیلن و اتان پلی کلرید، که محتوای آن در گاز تا ۶۰٪ است. با این حال، اکسیداسیون کاتالیزوری OCW فقط می‌تواند برای پسماندهای گازی یا پسماندهای فرار استفاده شود که برای جلوگیری از آلودگی حرارتی کاتالیست‌ها با هوا رقیق شده‌اند. علاوه بر این، در فرآیند اکسیداسیون پسماند ارگانوکلر، مخلوطی از کلر و کلرید هیدروژن ایجاد می‌شود که غلظت یا خنثی سازی آن‌ها مقرون به صرفه نیست.

فرایند استفاده از پسماندهای ارگانوکلر با هیدروژناسیون بستگی به شرایطی دارد که در آن انجام می‌شود مانند ترکیب OCW و ماهیت کاتالیست. مزیت اصلی این روش حفظ هیدروکربن پسماند است که با ارزش‌ترین جز آن می‌باشد. با این حال، این روش برای فرآورش ترکیبات ارگانوکلری که در مرحله پیرولیز DCE در شرایط فشار کاهش یافته، و در غیاب مشتقات هیدروکربن‌های آروماتیک کلردار در پسماند توصیه می‌شود. به طور کلی، OCW عملا همیشه دارای آروماتیک کلردار است.

روش غیراکسیژنی حذف پسماندهای ارگانوکلر بر اساس بازیابی آن توسط گاز آمونیاک در دمای ۵۰۰C-۶۰۰º است. مزایای این روش شامل امکان فرآورش طیف وسیعی از ترکیبات ارگانوکلری (مواد شیمیایی سمی) و هزینه‌های - سرمایه‌گذاری و عملیاتی کمتر نسبت به استفاده از روش هیدروژناسیون است. معایب این روش خنثی سازی شبیه هیدروژناسیون است.

روش شیمیایی پلاسما عمدتا برای حذف ترکیبات ارگانوکلری با ترکیب شیمیایی ثابت استفاده می‌شود زیرا تغییرات در ترکیب پسماندها بر کار راکتور شیمیایی پلاسما و کیفیت محصولات تشکیل شده تأثیر منفی می‌گذارد. معایب این روش شامل کار با مشعل‌های پلاسما و راکتورهای شیمیایی پلاسما، چند مرحله‌ای بودن فرآیند، پیچیدگی فرآیند پیرولیز و نیاز به ترکیب پسماند ثابت است.

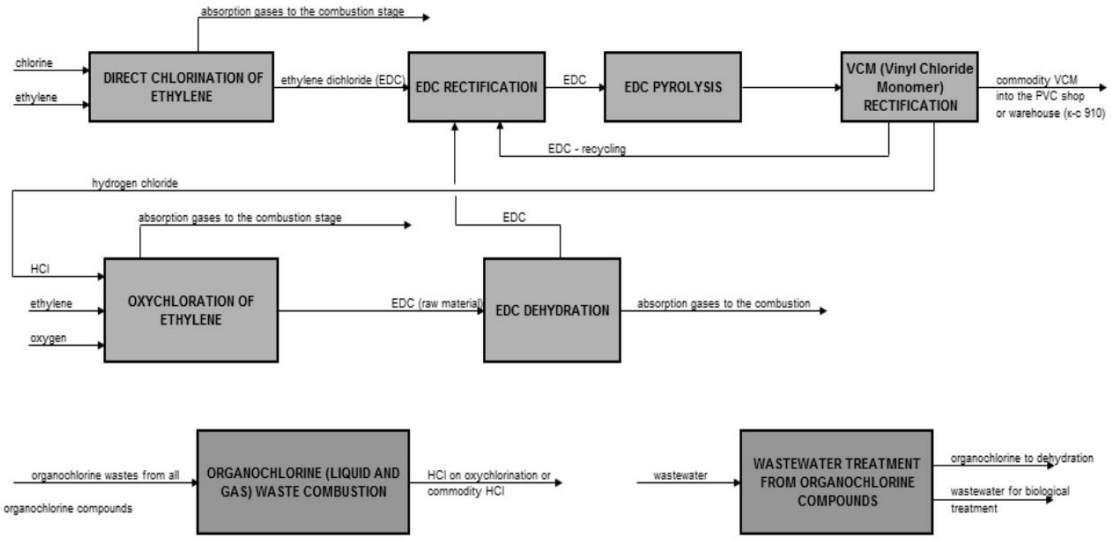
یکی دیگر از روش‌های حذف پسماندهای ارگانوکلر، خنثی‌سازی و استفاده از آن با تخریب بیولوژیکی است. روش پیشنهادی تجزیه بیولوژیک ترکیبات پلی‌کلر آروماتیک در خاک را توسط قالب لجن سلولی فراهم می‌کند، که از آن-

[86] Regeneration
[87] Thermal decontamination (combustion)
[88] Plasma chemical recycling
[89] Electro-cracking
[90] pseudo-boiling layer

ها باکتری‌هایی در محیط خوراک به دست می‌آیند. پیشنهاد می‌شود هوای تهویه را با کمک میکروارگانیسم‌های ته نشین شده از فیلترهای زیستی تمیز شود که قادر به تبدیل مواد مضر (شامل کلر، از جمله هیدروکربن های آروماتیک) به دی اکسید کربن، آب و نمک هستند.محققان دریافتند که میزان تخریب مواد مضر در چنین فیلترهایی می‌تواند به ۳۰-۴۰ گرم در متر در سال برسد و تجزیه می‌تواند از ۹۰ درصد تجاوز کند. علاوه بر این، استفاده از نانومواد، به ویژه آهن و پالادیوم که برای ترمیم خاک و از بین بردن سمیت آن‌ها توسط میکروارگانیسم‌های خاک استفاده می‌شود در منابع اشاره شده است. این روش امکان ادغام با سایر فناوری‌های بازیابی، از جمله پالایش زیستی را دارا می‌باشد. روش‌های بیولوژیکی می‌توانند هوا، فاضلاب و خاک را از آلودگی OCW در مقادیر کم پاک کنند، اما نمی‌توانند مشکل استفاده از ده‌ها هزار تن پسماند غلیظ ارگانوکلر و از همه مهمتر اجزای با ارزش OCW را بازیافت کنند و در نتیجه این اجزا از دست می‌روند.

از آنجا که امروزه مقدار پسماند سنتز ارگانوکلر در حال افزایش است و تجهیزات مورد استفاده برای آن گران است، پسماندهای ارگانوکلر گاهی اوقات در محل دفن زباله دفن می‌شوند. در مورد جامد نامحلول در آب، این امر در محفظه‌های معمولی اتفاق می‌افتد. با این حال، دفن پسماندهای مایع باید در اتاق‌های مخصوص و مجهز با نظارت مستمر بر وضعیت آن‌ها انجام شود. ایجاد چنین محل‌های دفن پسماند از نظر فنی کاری دشوار است و هزینه‌ای بسیار بیشتر از حذف احتراقی دارد.

استفاده از پسماند ارگانوکلر در اثر احتراق در واحد تولید وینیل کلراید در "Karpatnaftokhim" Ltd استفاده می-شود. OCW جامد و مایع در مراحل تولید ۱.۲-دی کلرواتان و کلرید وینیل به دلیل ناقص بودن فرآیندهای اصلی و ثانویه و ناخالصی‌ها در مواد اولیه بقایای جامد OCW، که در طول تمیز کردن دوره‌ای فیلتر، ستون‌های اصلاح کننده، مبدل‌های حرارتی، کوره‌های پیرولیز، مخازن و پس از سانتریفیوژ در مرحله تصفیه فاضلاب ایجاد می‌شوند، به محل دفن پسماند منتقل شده و دفن می‌شوند. OCW مایع در مراحل کلر زنی مستقیم و اکسیداتیو اتیلن و پیرولیز ۱.۲-دی کلرواتان، در مراحل تصحیح، آبگیری و تمیز کردن تشکیل می‌شود و حدود ۸۵٪ از کل پسماندهای صنعتی را تشکیل می‌دهد.



شکل ۲-۳. نمودار جریان بلوک برای تولید مونومر وینیل کلراید (VCM) و تشکیل پسماندهای مایع ارگانوکلری (OCW)

پسماند ارگانوکلر یک ترکیب پیچیده و چند جزء از ترکیبات کلر است که به دلیل تشکیل آزئوتروپ نمی‌تواند در مرحله اصلاح به طور موثر جدا شود. پسماند به مرحله احتراق ارسال می‌شود که در دمای C º ۸۰۰-۱۲۵۰ با جذب بیشتر هیدروژن کلرید با آب سوزانده می‌شود که به شکل اسید کلریدریک خنثی می‌شود یا وارد مرحله اکسی کلریداسیون می‌شود. حجم کل OCW با حداکثر ظرفیت تولید ۳۷۰ هزار تن VC در سال می‌تواند به ۹۱۰۰ تن OCWبرسد. مقدار پسماند ثابت نیست و بستگی مستقیم به بار تجهیزات، ریتم عملکرد واحدهای جداگانه، کیفیت جریان مواد اولیه و وضعیت اصلی فناوری دارد.

طبق فرآیند موجود، گازهای دودکش حاصل از احتراق پسماندهای ارگانوکلر پس از عبور از سیستم تبادل حرارت (مولد بخار) به داخل کوئنچ[۹۱] فرستاده می‌شوند. با توجه به ترکیب شیمیایی متفاوت پسماندها (باقی‌مانده‌های مراحل تصحیح دی کلرواتان)، می‌توان تغییرات عملکرد سیستم‌های تبادل حرارتی را به دلیل رشد بیش از حد سطوح داخلی لوله‌های مولد بخار با ترکیبات نامحلول مشاهده کرد. رسوب بر روی دیوارها شرایط انتقال حرارت را سخت می‌کند، که منجر به مصرف بیش از حد آب بویلر می‌شود. ماهیت ترکیبات نامحلول که بر دیواره لوله‌های مولد بخار رسوب کرده‌اند متفاوت است. برخی به باقی‌مانده ستون‌های تصحیح همراه با مواد اولیه می‌رسند. باقی در فرآیند تولید محصولات نیمه تمام و نهایی شکل می‌گیرند. به دلیل رشد بیش از حد لوله‌های مولد بخار (کاهش قطر داخلی به سبب رسوبات)، توقف‌های مکرر واحد احتراق رخ می‌دهد، که منجر به زیان واحد و مصرف بیش از حد منابع انرژی می‌شود. اگر تعداد دفعات توقف به میزان قابل توجهی افزایش یابد، مطالعه محتوای ترکیبات نامحلول در بقایای به شما این امکان را می‌دهد تا ماهیت تشکیل آن‌ها را ارزیابی کرده و کاهش روند تشکیل آن‌ها به عنوان یک اولویت از نظر فنی، زیست محیطی و اقتصادی تبدیل می‌شود.

در این بخش روش‌هایی که برای فرآورش پسماندهای ارگانوکلر استفاده می‌شود شامل بازسازی، اکسیداسیون، احتراق، بازیافت مواد شیمیایی از طریق پلاسما، تجزیه الکتریکی، هیدروژناسیون و دفن پسماند به طور مختصر بیان شد. همچنین فرآیند معمول سوزاندن که در اکثر واحدهای موجود در دنیا مورد استفاده قرار می‌گیرد شرح داده شد. متاسفانه اکثر روش‌های حذف (جایگزین سوزاندن) پسماندهای ارگانوکلری در مراحل پایین فناوری قرار دارند و جوابگوی حجم عظیم این پسماندها نمی‌باشند لذا در بخش بعدی به بازیافت و تولید محصولات با ارزش افزوده از این پسماندها پرداخته می‌شود.

۳-۲ مطالعه روش‌های مرسوم استفاده از Liquid Waste

نتایج نشان می‌دهد که، میزان تولید OCW در صنعت را می‌توان کاهش داد، اما نمی‌توان به طور کامل از آن اجتناب کرد. علاوه بر این، با توجه به مقیاس تولید صنعتی، حتی درصورت تولید ۳ درصد از محصولات جانبی مقدار زیادی پسماند تولید می‌شود. به عنوان مثال، مقدار کل پسماند شیمیایی، تولید شده در فرایندهای مختلف و در سنتز EDC/VCM، بین ۳ تا ۱۰ درصد از عملکرد VCM برآورد می‌شود که ۰/۵۷ تا ۱/۹ میلیون تن از محصولات جانبی را در هر سال رقم می‌زند (Thornton, 2002). افزایش تولید مونومرها و پلیمرهای حاوی کلر با تولید مقادیر بیشتری از OCW صنعتی همراه است (Allen and Clark 1971). مهمترین میزان پسماند کلر در مراحل تولید EDC، VC-monomer و سایر ترکیبات آلی کلر تولید می‌شود (Naworski and Evil, 1983). با توجه به افزایش قیمت هیدروکربن‌ها (گاز طبیعی و نفت) و تخریب محیط زیست، بررسی روش‌های جایگزین مقرون به صرفه

[91] Quench

و سازگار با محیط زیست برای تولید مواد اولیه (Lamberti et al., 2001) یعنی بازیافت و بکارگیری OCW، به جای سوزاندن ساده آن‌ها (Kurta, 2011) دارای اهمیت است. بنابراین، در بخش روش‌های تکنولوژیکی فرآورش و دفع EDC و VC با فرآوری پیچیده OCW در محصولات تجاری مفیدتر مانند مونومرهای VC، کلرید وینیلیدن (VDC)، محصولات الیگومری و پلیمری مورد بررسی قرار گرفته است. این روش‌ها قادرند هیدروکربن‌ها و کلر را حفظ کرده، و همچنین سطح بالاتری از ایمنی محیط زیست و مزایای اقتصادی را تضمین کنند (Kurta et al., 2006; 2013).

VC و EDC با کلرزنی مستقیم کاتالیستی اتیلن تولید می‌شوند (Cowfer and Magistro, 1983). EDC-۱،۲ توسط کلر مستقیم اتیلن تولید می‌شود:

$$C_2H_4 + Cl_2 \rightarrow C_2H_4Cl_2 \qquad (۱۳)$$

اکسی کلرید کاتالیستی اتیلن واکنش را دنبال می‌کند:

$$C_2H_4 + 2HCl + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow C_2H_4Cl_2 + H_2O \qquad (۱۴)$$

کلرید وینیل با پیرولیز EDC در دمای ۵۲۰ ^{o}C تولید می‌شود:

$$C_2H_4Cl_2 \overset{520\ ^{\circ}C}{\rightarrow} C_2H_3Cl + HCl \qquad (۱۵)$$

علاوه بر محصولات اصلی، محصولات جانبی دیگری از جمله اتیل کلرید (واکنش ۱۶)، بوتادین کلرید (واکنش ۱۷)، ۱،۱،۲-تری کلروتان (واکنش ۱۸)، تری کلرواتیلن و تتراکلرواتیلن (واکنش ۱۹) وجود دارد:

$$CH_2 = CHCl + HCl \rightarrow CH_3 - CHCl_2 \qquad (۱۶)$$

$$2CH_2 = CHCl \rightarrow CH_2 = CCl - CH = CH_2 + HCl \qquad (۱۷)$$

$$CH_2 = CHCl + Cl_2 \rightarrow CH_2Cl - CHCl_2 \qquad (۱۸)$$

$$2C_2H_4Cl_2 + 5Cl_2 \rightarrow CHCl = CCl_2 + CCl_2 = CCl_2 + 7HCl \qquad (۱۹)$$

سایر اجزای OCW در جدول ۱ ارائه شده است. در حال حاضر تمام این اجزا OCW مایع و گازی در حال سوزاندن است، در حالی که پسماندهای جامد تولید شده قبل از استفاده به تصفیه گران‌تری نیاز دارند (McPherson et al., 1979).

۲-۳-۱ بازیافت OCW اولیه

در مرحله اول این مطالعه، بازیافت OCW اولیه از تولید وینیل کلرید با فرآیند کلرزنی انجام می‌شود، که ممکن است میزان دیوکسین‌ها را در OCW کاهش دهد (Kurta, 2012). وجود هیدروکربن‌های اشباع نشده در OCW مانع از استفاده این هیدروکربن‌ها به عنوان مواد اولیه هیدروکربن برای تولید محصولات مبتنی بر کلرید می‌شود (Mitoma et al., 2001). همچنین به دلیل وجود تراکم و پلیمریزاسیون در برج‌های خالص‌سازی، فرایند تولید EDC و VC پیچیده می‌باشد. کلرزنی به عنوان یکی از راه‌های تبدیل ترکیبات غیر اشباع به اشباع، شناخته می‌شود (Zakarzhevsky and Kurta, 2006). بنابراین، می‌توان بازده EDC و VC بالاتری را به همراه آلودگی کمتر ستون‌های تقطیر به دست آورد (Kurta, 2012).

واکنش کلرزنی هیدروکربن‌های اشباع نشده موجود در OCW در زیر شرح داده شده است:

$$2CH_2 = CH - CCl = CH_2 + 2Cl_2 \rightarrow CH_2Cl - CH = CCl - CH_2Cl + CH_2Cl - CHCl - CCl = CH_2 \quad (۲۰)$$

کلروپرن با واکنش افزایشی ۱،۴ تشکیل ۱،۲،۴-تری کلر-۲-بوتن و ۲،۳،۴-تری کلر-۱-بوتن (۲۰) و ۱،۱،۲-تری کلروتان از کلر شدن VC تجربه می‌کند:

$$CH_2 = CHCl + Cl_2 \rightarrow CH_2Cl - CHCl_2 \quad (۲۱)$$

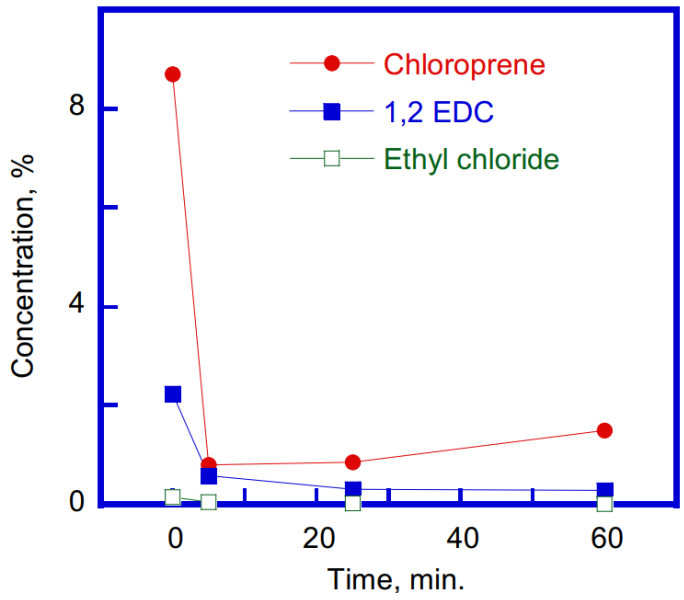
EDC با کلر واکنش می‌دهد و ۱،۱،۲-تری کلروتان تشکیل می‌شود:

$$CH_2Cl - CH_2Cl + Cl_2 \rightarrow CH_2Cl - CHCl_2 + HCl \quad (۲۲)$$

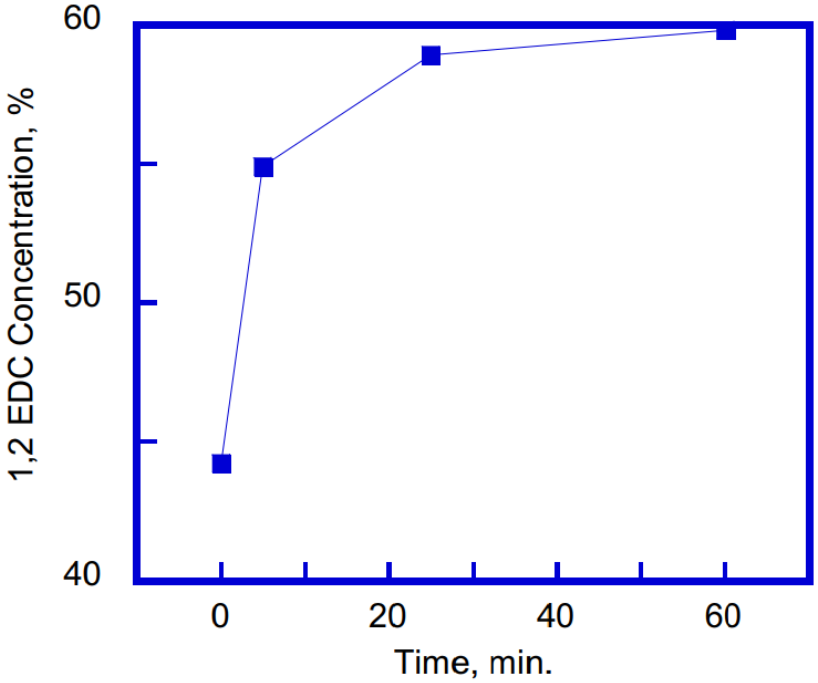
واکنش جایگزینی بین بنزن و کلر منجر به تشکیل کلروبنزن و هگزاکلروبنزن می‌شود:

$$C_6H_6 + Cl_2 \rightarrow C_6H_5Cl + HCl \quad (۲۳)$$

$$C_6H_6 + 3Cl_2 \rightarrow C_6Cl_6 + 6HCl \quad (۲۴)$$



شکل ۲-۴. تغییر غلظت ترکیبات غیر اشباع OCW در داخل ستون اصلاح پس از کلر در دمای ۶۰ ºC، نسبت مولی ۱:۱۰ OCW به Cl_2 و کاتالیزور Fe، فشار ۱/۵ اتمسفر



ش‌کل ۲-۵. تغییر غلظت EDC در OCW در داخل ستون اصلاح پس از کلر در دمای ^{o}C ۶۰، نسبت مولکولی ۱:۱۰ OCW به Cl_2 و Fe -catalyst

غلظت OCW اشباع شده (کلروپرن، ۱،۱-DCE، اتیل کلرید) در طول کلرزنی تقریبا به حداقل می‌رسد (شکل). بر اساس این نتایج، می‌توان از OCW غیر اشباع قبل از مرحله اصلاح برای به دست آوردن ۱۵٪ EDC اضافی استفاده کرد (شکل را ببینید). در همان زمان، میزان ترکیبات غیر اشباع از ۱۲٪ به ۱٪ کاهش می‌یابد (شکل). کلر تأثیر قابل توجهی بر ترکیب OCW اشباع ندارد، اما فرآورش مشترک با مخلوط OCW غیر اشباع نیز توصیه می‌شود (Kurta et al., 2013). بر اساس این مطالعه، ترکیبات low boil برج های خالص سازی EDC و VC پیشنهاد می‌شود. ۱،۲-EDC و ۱،۱،۲-تری کلروتان را وان به فرایند تولید بازگردانده و مقدار OCW غیراشباع را کاهش داد. کلرزنی اشباع نشده OCW محتوای ۱،۲-دی کلرواتان را ۹-۱۵٪ افزایش می‌دهد، و هنگام سوزاندن تلفات ۱،۲-دی کلرواتان را کاهش می‌دهد (Kurta et al., 2013).

۲-۳-۲ فرآورش EDC به VC

بخش دوم این کار فرآورش EDC را به VC و پردازش تری کلرواتان را به کلرید وینیلدن در نظر می‌گیرد. بر این اساس EDC و ۱،۱،۲-تری کلرواتان، واکنش‌های زیر در طول دهیدروکلرید قلیایی OCW رخ می‌دهد.

$$2CH_2Cl - CH_2Cl + Ca(OH)_2 \rightarrow 2CH_2 = CHCl + CaCl_2 + 2H_2O \quad (۲۵)$$

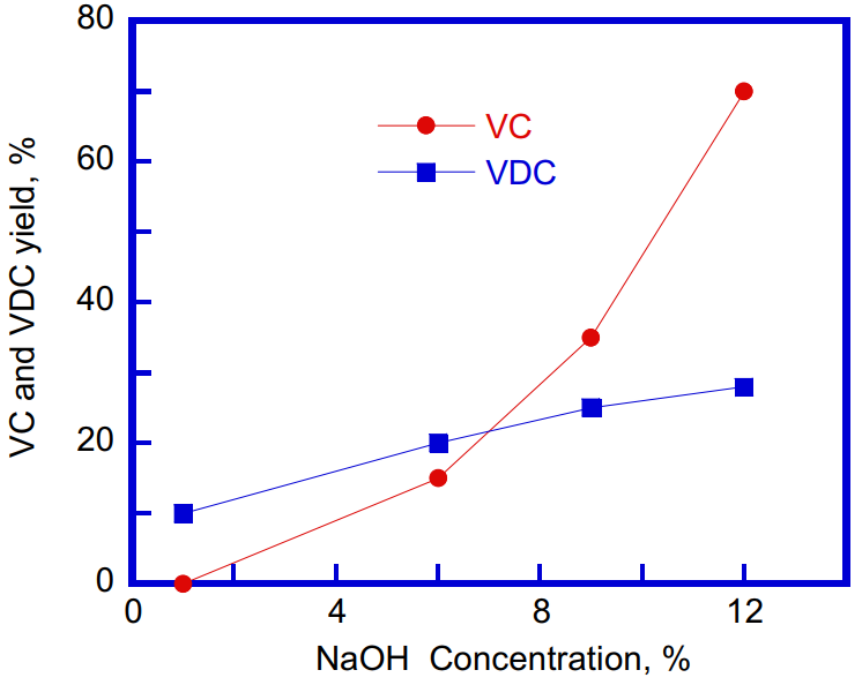
$$2CH_2Cl - CHCl_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow 2CH_2 = CCl_2 + CaCl_2 + 2H_2O \quad (۲۶)$$

$$CH_2Cl - CHCl_2 + NaOH \rightarrow CH_2 = CCl_2 + NaCl + H_2O \quad (۲۷)$$

$$CH_2Cl - CH_2Cl + NaOH \rightarrow CH_2 = CHCl + NaCl + H_2O \quad (۲۸)$$

$$CH_2 = CHCl + NaOH \rightarrow CH \equiv CH + NaCl + H_2O \quad (۲۹)$$

شکل ۲-۶ وابستگی عملکرد VDC و VC را به غلظت NaOH در مخلوط OCW دهیدروکلرید نشان می‌دهد (Kurta et al., 2007). بر اساس شکل ۶، روش دهیدروکلرید قلیایی OCW همچنین می‌تواند برای حذف و دفع OCW، یعنی تبدیل EDC-۱،۲ به VC و ۱،۱،۲-تری کلروتان به VDC توصیه شود. سوسپانسیون $Ca(OH)_2$ تازه تهیه شده در NaOH امکان فرآورش ۱،۲-دی کلرواتان و ۱،۱،۲-تری کلرواتان را به وینیلیدن کلراید با حداکثر ۷۰ درصد عملکرد، و کلرید وینیل با حداکثر ۲۸ درصد عملکرد و کاهش ۲-۵ برابری مقدار پسماندهای ارگانوکلری سوزانده شده همراه شود (شکل ۲-۶). نتیجه اقتصادی ناشی از "Carpathian-Petrochemical Ltd" حدود ۲.۶ میلیون دلار آمریکا در سال خواهد بود.



شکل ۲-۶. وابستگی عملکرد VC و VDC به غلظت NaOH در مخلوط OCW دهیدروکلرید شده. (۲C، ۷۵º، ۳۰۰ دور در دقیقه، $NaOH: Ca(OH)_2 = 1: 2$)

۲-۳-۳ پلیمریزاسیون VC، VDCو سایر ترکیبات غیر اشباع

در مرحله سوم این کار، پلیمریزاسیون VC، VDC و سایر ترکیبات غیر اشباع OCW بلافاصله پس از دهیدروکلرید قلیایی، بدون جداسازی و نگهداری طولانی مدت انجام شده، که هزینه نصب را کاهش می‌دهد و کل ایمنی فرایند تولید را بهبود می‌بخشد (Kurta et al., 2007). کوپلیمریزاسیون VC و VDC با اجزا غیراشباع C9-C5 در داخل OCWپیشنهاد می‌شود. این بخش از پیرولیز سوخت دیزل به عنوان محصول جانبی تأسیسات تولید الفین در Kalush، اوکراین تشکیل می‌شود. اجزا C9-C5 حاوی مقدار قابل توجهی از مونومرهای با ارزش است: ۲۰-۲۵٪ ایزوپرن، ۲۰-۲۵٪ سیکلوپنتادین و ۱۰-۱۴٪ سایر پنتادین‌ها. در این تحقیق از AlCl3 به عنوان کاتالیست استفاده شده است. پلیمریزاسیون در محدوده دمای ۱۵-۷۰ درجه سانتی‌گراد با تغییر دما و نسبت حجم OCW، C9-C5 و حلال انجام شده است. برهم کنش شیمیایی کوپلیمرهای VC و VDC با AlCl3 منجر به تشکیل میکرو یون‌ها می‌شود. باجزا C9-C5 بیشتر شامل الفین‌ها و دیین‌ها است و میکرو یون‌ها می‌توانند باعث پلیمریزاسیون آن‌ها شوند. علاوه بر پلیمریزاسیون و هم پلیمریزاسیون اولفین‌ها، پیوند یونی ایزوپرن، پنتادین و n-pentane کوپلیمرهای

VC و VDC ممکن است رخ دهد. پلیمرهای پیوندی در محیط حلال بی‌اثر آلی به دست آمد (زایلن ، تولوئن یا OCW در اینجا استفاده شد). کوپلیمرهای VC و VDC می‌توانند به روش زیر تشکیل شوند:

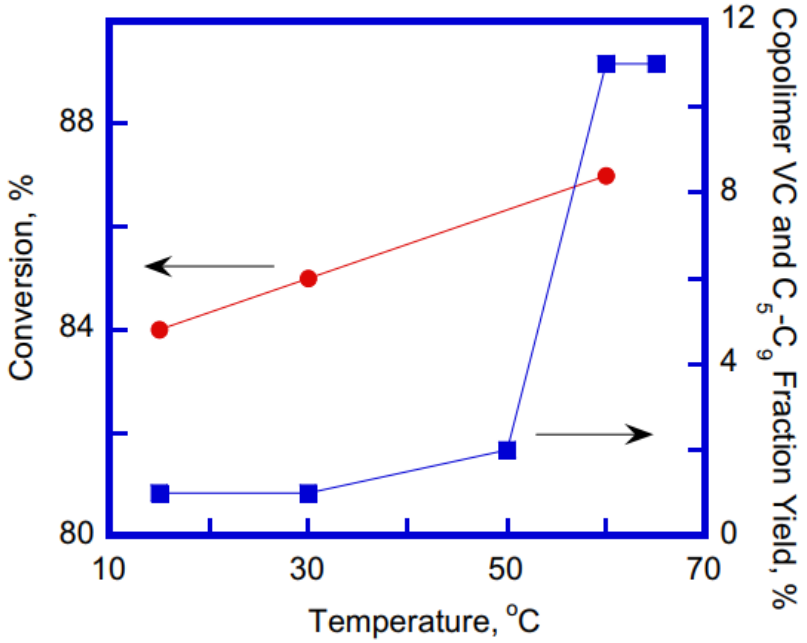
$$nCH_2 = CH - Cl + mCH_2 = CCl_2 \rightarrow -\left[-(CH_2 - CHCl)_n - (CH_2 - CCl_2)_m - \right]- \quad (۳۰)$$

پیوند ایزوپرن می‌تواند به روش زیر اتفاق بیفتد:

$$-(CH_2 - CHCl)_n - (CH_2 - CCl_2)_m - + AlCl_3 \rightarrow [AlCl_4]^-(CH_2 - CHCl)_n - (CH_2 - CCl_2)_{m-1} - CH_2 - C^+Cl \quad (۳۱)$$

$$[AlCl_4]^-(CH_2 - CHCl)_n - (CH_2 - CCl_2)_{m-1} - CH_2 - C^+Cl + xCH_2 = C(CH_3)CH = CH_2 \rightarrow \rightarrow [AlCl_4]^-(CH_2 - CHCl)_n - (CH_2 - CCl)_{m-1} - CH_2 - C^+Cl \quad (۳۲)$$

اثرات دما و کاتالیزور AlCl3 بر تبدیل و عملکرد VC، VDC و کسر C9-C5 در کوپلیمریزاسیون در شکل نشان داده شده است. افزایش دما از ۲۵ درجه سانتی‌گراد به ۶۵ درجه سانتی‌گراد کمی سرعت واکنش کوپلیمریزاسیون را بهبود می‌بخشد. در این محدوده دمایی، تبدیل محصولات از ۸۴٪ به ۸۷٪ به دلیل ویژگی یونی OCW و واکنش کوپلیمریزاسیون کسر C9-C5 افزایش می‌یابد. کاتالیزور AlCl3 تأثیر مثبتی بر عملکرد کوپلیمر دارد، همانطور که در شکل ۷ نشان داده شده است. بنابراین، کاتالیزور AlCl3 می‌تواند برای بازیافت OCW توصیه شود (Kurta et al., 2007). این روش امکان تولید محصولات پلیمری ارزان و غیرسمی از ضایعات را فراهم می‌آورد و میزان سوختن OCW را تا ۱۵ درصد کاهش می‌دهد. چنین محصولات پلیمری را می‌توان به عنوان اجزای پوشش‌های ضدآب ضدخوردگی استفاده کرد (Ramachandran et al., 2002).



شکل ۲-۷. نرخ تبدیل OCW، کوپلیمر OCW نامحلول و کسری C9-C5 وابستگی به دما (۶٪ $AlCl_3$، ۴ ساعت)

۲-۳-۴ تراکم چندگانه[۹۲] OCW با محلول سدیم تتراسولفید

در مرحله چهارم، روش جدیدی از بازیافت OCW معرفی شده است. این روش بر اساس تراکم چندگانه OCW با محلول سدیم تتراسولفید (Na2S2، Na2S4)، در حضور کاتالیست‌های انتقال فاز است (Kurta et al., 2007). برای تهیه محلول‌های تتراسولفیدها، به جای آب، از سولفید حاوی قلیاهای حاصل از پسماند تولید الفین استفاده می‌شود. این ضایعات در تولید اتیلن-پروپیلن در حین شستشو قلیایی پیروگاز از گازهای اسید H_2S و CO_2 تشکیل شده است. قلیاهای حاوی سولفید شامل ۱۲-۲۰٪ سولفید سدیم و ۴-۶٪ هیدروکسید سدیم است. هیچ روش بازیافت موثری برای قلیاهای حاوی سولفید وجود ندارد. هفت هزار تن در سال از این قلیاها در طول تولید ۲۵۰،۰۰۰ تن در سال اتیلن پروپیلن در کالوش اوکراین تشکیل می‌شود (Ramachandran et al., 2002). در حین بازیافت (چند تراکم) OCW، با استفاده از EDC-۱،۲ و سولفید سدیم به عنوان مثال، واکنش‌های زیر رشد زنجیره پلیمر را تضمین می‌کند.

$$Cl-CH_2-CH_2-Cl+NaS_4Na \xrightarrow{80-90^\circ C} Cl-CH_2-CH_2-S_4-Na + NaCl \quad (۳۳)$$

$$ClCH_2-CH_2-S_4Na+Cl-CH_2-CH_2-Cl \rightarrow ClCH_2-CH_2-S_4 -CH_2-CH_2-Cl+NaCl \quad (۳۴)$$

$$nCl-CH_2-CH_2-Cl+nNaS_4Na \xrightarrow{t,cat.} -(-CH_2-CH_2-S_4-)-_n +2nNaCl \quad (۳۵)$$

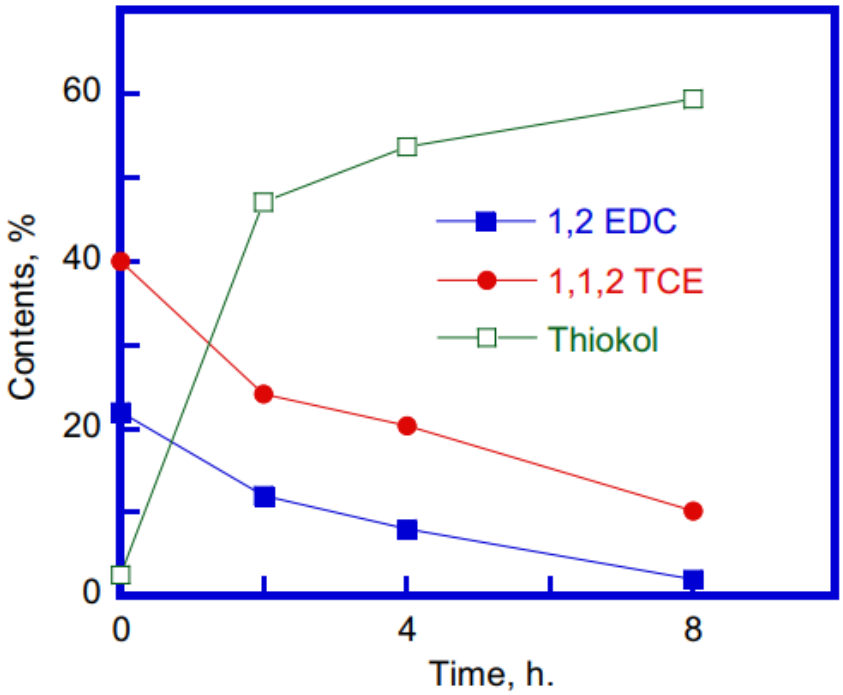
OCW، سولفیدهای سدیم و پتاسیم با تراکم SN2 نوکلئوفیلیک کلر در ترکیبات ارگانوکلری توسط یون‌های پلی-سولفید و سولفید بوجود می‌آید. جایگزینی هسته دوستی اتم‌های کلر در مشتقات آلکان بصورت بدون عوارض در دماهای پایین و فشار اتمسفر اتفاق می‌افتد (Araneo et al., 1996). در عین حال، ترکیبات آروماتیک جایگزین کلر و اتیلن، موجود در OCW، در واکنش جایگزینی نوکلئوفیلیک کمتر فعال هستند. بنابراین، برای خنثی‌سازی کامل OCW در شرایط ملایم، استفاده از کاتالیست انتقال ضروری است. مشتقات نمک‌های آمونیوم چهارم در این مورد به طور گسترده به عنوان کاتالیست استفاده می‌شود (Kurta et al., 2007). واکنش غیرتعادلی در مرزهای فاز رخ می‌دهد. این فرایند فقط در طی اختلاط فشرده با CaO و $Ca(OH)_2$ پراکنده کننده در ۳۰۰-۴۵۰ دور در دقیقه، یا در حضور سیلیس بسیار پراکنده (SiO_2) ، که اجازه می‌دهد سطح تماس افزایش یابد، یا در حضور کاتالیست‌های انتقال فاز مانند ایمیدوستات O (هکسادتسیل-متیلن-آمینو دیتانول کلرید آمونیوم[۹۳]) اجرا می‌شود (Kurta, 2007).

در نتیجه واکنش ۱-۴ ساعته، محصولات تراکم نامحلول در آب به شکل گوگرد جامد یا چسبناک حاوی الیگومرها و سوسپانسیون پلیمرها تشکیل می‌شوند (Kurta et al., 2009). بر اساس نتایج تجربی در شکل ۲-۸، مقدار اجزای

[92] Polycondensation
[93] heksadetsyl-methylene-amino dyetanol ammonium chloride

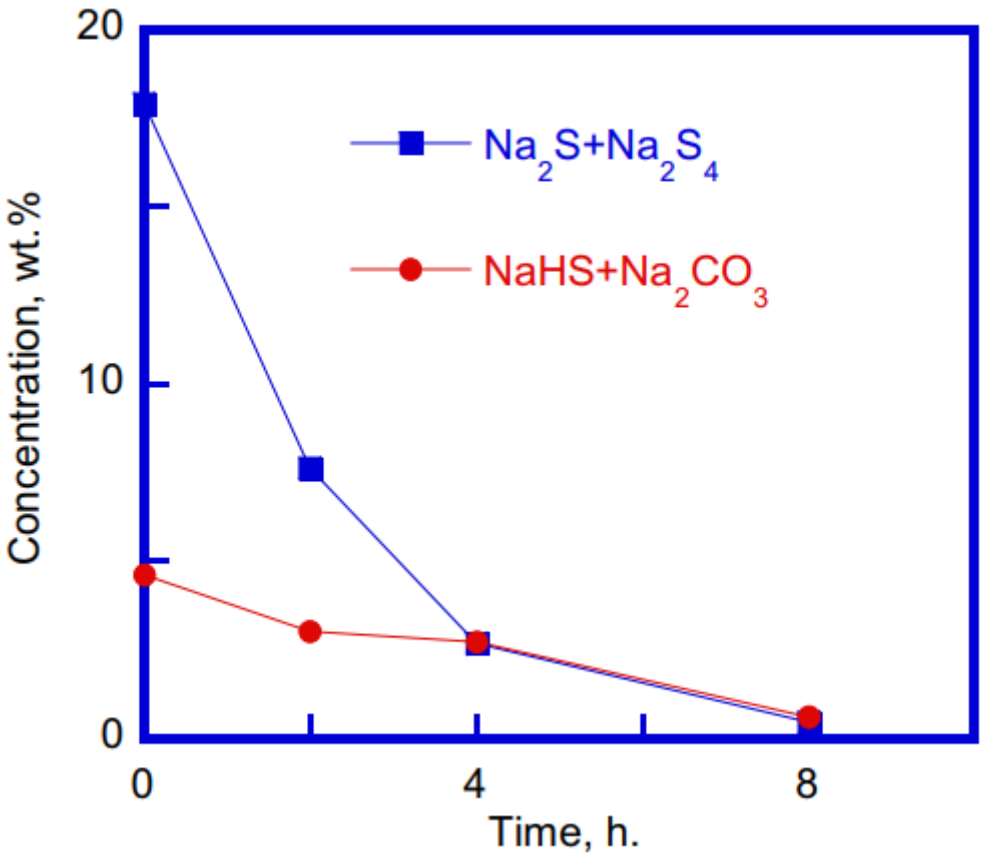
OCW (2-EDC،1 و2-TCE،1،1) کاهش یافت و همزمان مقدار و عملکرد پلیمرهای تیوکول در مخلوط واکنش ۶۰ درصد افزایش یافت. به همچنین می‌توان دریافت که کل تبدیل OCW در این آزمایش به ۵۵-۹۸ رسید. این را می‌توان با نسبت بهینه همه اجزای واکنش توضیح داد. خروجی ترکیبات ماکرومولکولی تیوکول به ۶۰ درصد رسید (Kurta et al., 2009). در عین حال، سولفید سدیم در سولفید قلیایی تقریباً مصرف می‌شود و در شکل ۲-۹ از ۲۰٪ به ۱٪ در ۸ ساعت کاهش می‌یابد. این روش بهینه شده مثال خوبی از تولید بدون پسماند است.

این تبدیل OCW امکان به دست آوردن محصولات پلیمری حاوی گوگرد تا ۵۰ درصد عملکرد را فراهم می‌کند. از این محصولات می‌توان به عنوان اصلاح کننده برای ترکیبات آسفالت و قیر استفاده کرد و مقاومت در برابر سرما را افزایش داد (Ramachandran et al., 2002). تأثیر اقتصادی استفاده از این روش در "Carpathian-Petrochemical Ltd." 14.5 میلیون دلار صرفه جویی در سال برآورد شده است.



شکل ۲-۸. غلظت اجزای OCW (1.2-EDC و 2-TCE،1،1) و پلیمرهای تیوکول در حین تراکم با سولفیدها (۸۳-۹۰ سانتی‌گرادNa_2S_4 :OCW: قلیایی حاوی سولفید = ۱: ۲: ۱ ؛ 5-CaO٪ ؛ کاتالیست-۰/۵ درصد وزنی٪ H۱-ایمیدازولیوم).

کاربرد یکپارچه از چهار روش توصیف شده برای پردازش جامع OCW به واحد تولیدی امکان می‌دهد میزان سوزاندن محصولات جانبی را کاهش داده و آن‌ها را ۸۰ تا ۹۰ درصد بازیافت کنید. برآورد کل اثر اقتصادی استفاده از تمام روش‌های توصیف شده در این تحقیق فقط توسط "Carpathian-Petrochemical Ltd." می‌تواند به ۲۱/۶ میلیون دلار آمریکا در سال برسد (Kurta et al., 2013).



شکل ۲-۹. تغییر غلظت قلیایی حاوی سولفید در طول تعامل با OCW (OCW: Na2S4 ۸۳-۹۰ºC؛ قلیایی حاوی سولفید = ۱: ۲: ۱ ؛ CaO-5٪ ؛ کاتالیست-۰/۵ درصد وزنی٪ ایمیدوستات، فشار ۱ اتمسفر).

۲-۳-۵ تبدیل اتیلن دی کلراید به محصولات با ارزش بالا نظیر تتراکلرو اتیلن و تری کلرو اتیلن

فرایند اکسی کلریناسیون به عنوان یکی از راهکارهای تولید ترکیبات با کلر بالا از هیدروکربن‌ها و ترکیبات هیدروکربنی کلرینه شناخته می‌شود (Berkowitz & Meadow, 1970). در یک فرآیند معمول هیدروکربن‌ها با کلر و یا HCl و اکسیژن در دماهای بالا و حضور کاتالیست واکنش می‌دهد که در نتیجه آن یون کلر از HCl جدا شده و وارد واکنش می‌گردد. دو واکنش کلراسیون هیدروکربن‌ها و تولید یون کلر از HCl بصورت همزمان انجام می‌شود. همچنین HCl که به عنوان محصول جانبی واکنش کلریناسیون هیدروکربن‌ها درون راکتور تولید می‌گردد، پیوسته به یون کلر تبدیل شده و باعث پیشرفت واکنش می‌شود. برای واکنش‌های اکسی کلریناسیون برای متان بدین شرح است:

$$CH_4 + 4Cl_2 \rightarrow CCl_4 + 4HCl \qquad (۳۵)$$

$$4HCl + O_2 \rightarrow 2Cl_2 + 2H_2O \qquad (۳۶)$$

واکنش ۲ که در آن HCl که در آن یون کلر در حضور اکسیین تولید می‌شود، واکنش دیکون۹۴ نامیده می‌شود. در این فرایندها کلر مورد نیاز را می‌توان بصورت گاز کلر، HCl و یا ترکیبی از هر دو تامین کرد. به عنوان نمونه‌ای دیگر واکنش کلریناسیون اتان به همراه HCl در ادامه آورده شده است:

$$C_2H_6 + 4HCl + 2O_2 \rightarrow C_2H_2Cl_4 + 4H_2O \qquad (۳۷)$$

اگر نیاز به تولید هیدروکربن‌های غیراشباع با کلر باشد، واکنش دهیدروکلریناسیون نیز می‌تواند صورت گیرد که نتیجه آن تولید HCl از هیدروکربن‌های کلرینه اشباع است. این روند برای پنتاکلرواتان به پرکلرواتیلن بهصورت زیر است:

$$C_2HCl_5 \rightarrow C_2Cl_4 + HCl \qquad (۳۸)$$

واکنش دهیدروکلریناسیون نیز به همین صورت به همراه واکنش کلریناسیون و تولید کلر از HCl در حضور کاتالیست صورت می‌گیرد. در واکنش دهیدروکلریناسیون، HCl تولید شده که در حضور کاتالیست می‌تواند یون کلر را آزاد کند.

کاتالیست مورد استفاده در فرایند اکسی کلراسیون باید دارای ویژگی‌های مشخصی باشد. اول انکه باید توانایی پیشرفت تمام واکنش‌های مدنظر را داشته باشد. این موضوع نه تنها از نظر بهره‌دهی واکنش بلکه از لحاظ ایمنی نیاز بسیار با اهمیت است. اگر کاتالیست در این زمینه ضعیف باشد، نیاز به حضور اکسیژن بالا در واکنش می‌باشد که خود خطر آتش‌سوزی و انفجار را افزایش می‌دهد. همچنین کاتالیست باید فعالیت خود را در مدت طولانی حفظ کند و در دماهای بالا پایدار باشد و بصورت چسبناک تبدیل نگردد. این بحث بخصوص هنگامی‌که از راکتورهای بستر سیال بهره گرفته می‌شود اهمیت دارد. انتخاب‌پذیری ویژگی دیگری است که اهیمت به سزایی دارد. کاتالیست باید سبب پیشرفت واکنش‌های مطلوب و کاهش پیشروی واکنش‌های جانبی از جمله اکسیداسیون هیدروکربن‌ها و تولید محصولات نامطلوبی از جمله CO، CO_2 و ... گردد (Berkowitz & Meadow, 1970).

برخی کاتالیست‌های اولیه دارای پایه کلرید مس با فلزات کمیاب توانستند تا اندازه‌ای ویژگی‌های یاد شده را تامین کنند؛ اما بسیاری از آن‌ها همچنان در بحث انتخاب‌پذیری بخصوص جلوگیری از فرایند اکسیداسیون هیدروکربن‌ها موفق نبودند (Berkowitz & Meadow, 1970).

۶-۳-۲ جمع‌بندی

با توجه به موارد بالا نتایج زیر را می‌توان بیان کرد:

۱- ضرر اقتصادی و خطرات زیست محیطی روش سوزاندن OCW، که در حال حاضر در تولید صنعتی محصولات ارگانوکلری استفاده می‌شود، شرح داده شد. دفع OCW با سوزاندن می‌تواند منجر به زیان سالانه ۱/۵ میلیون دلار آمریکا برای تنها یک واحد تولیدی گردد.

۲- کلر زنی OCW غیراشباع محتوای ۱،۲-دی کلرواتان را ۹-۱۵ درصد افزایش داده و هنگام سوزاندن تلفات ۱،۲-دی کلرواتان را کاهش می‌دهد.

۳- شرایط فرآیند بهینه دهیدروکلریناسیون قلیایی با استفاده از سوسپانسیون Ca (OH) 2 تازه تهیه شده در NaOH ارائه شد. این فرآیند می‌تواند شرایط لازم برای تبدیل ۱،۲-دی کلرواتان و ۱،۱،۲-تری کلرواتان به

---

[۹۴] Deacon reaction

کلرید وینیل و کلرید وینیلیدن فراهم کند (با عملکرد به ترتیب ۲۸٪ و ۷۰٪)، همچنین میزان زباله‌های کلری سوزانده شده را ۲ تا ۵ برابر کاهش می‌دهد. اثر اقتصادی برآورد شده از استفاده از این روش تنها در یک واحد تولیدی حدود ۲/۶ میلیون دلار آمریکا در سال است.

٤- روش جدیدی برای فرآورش OCW با پلیمریزاسیون و کوپلیمریزاسیون با کسر مونومرهای C9-C5 اشباع نشده پیشنهاد شده است. این امر سبب می‌شود، محصولات پلیمری ارزان و غیرسمی را از پسماند به دست آورید. همچنین محصولات پلیمری می‌تواند به عنوان اجزای پوشش ضد خوردگی و ضد آب مورد استفاده قرار گیرد و میزان OCW سوزانده شده را تا ۱۵ درصد کاهش دهد.

٥- درصورت وجود ترکیبات قلیایی حاوی سولفید امکان فرآورش مشترک با مایعات غلیظ OCW فراهم می‌گردد. قابلیت تبدیل ۵۵-۹۸ درصد پسماند OCW در این روش در راستای به دست آوردن محصولات پلیمری حاوی گوگرد با عملکرد ۲۶-۵۰٪ امکان پذیر است. از این محصولات می‌توان به عنوان اصلاح کننده برای ترکیبات آسفالت و قیر استفاده کرد و مقاومت در برابر سرما را افزایش داد. اثر اقتصادی استفاده از این روش پیشنهادی تنها در یک واحد تولیدی ۱۴/۵میلیون دلار صرفه جویی در سال برآورد شده است.

٦- استفاده یکپارچه از چهار روش پیشنهادی به شما امکان می دهد تعداد محصولات ارزشمند جانبی قابل دستیابی که سوزانده می‌شوند را کاهش داده و آن‌ها را ۸۰ تا ۹۰ درصد بازیافت کنید. مجموع اثر اقتصادی برآورد شده با استفاده از تمام روش‌های توصیف شده در این بخش تنها در یک مرکز تولیدی می‌تواند به ۲۱/۶ میلیون دلار آمریکا در سال برسد.

٤-۲ بررسی امکان بکارگیری روش‌ها و تکنولوژی‌های مطالعه شده برای استفاده از Liquid Waste در مجتمع

در واحدهای تولیدکننده پلی وینیل کلراید و در بخش خالص سازی اتیلن دی کلراید، ضایعات سبک و سنگینی تولید می‌شود که در حال حاضر استفاده مناسبی از آن نشده و تنها با صرف هزینه و سوزاندن آن در زباله‌سوزهای با راندمان پایین، بخار و اسید کلریدریک تولید می‌شود. از آنجا که این پسماندهای مایع مشکلات عملیاتی فراوانی را در واحدهای تولیدکننده اتیلن دی کلراید ایجاد کرده‌اند مدیریت پسماندهای مایع به مسأله‌ای حائز اهمیتی تبدیل شده است. بنابراین بازیافت و مصرف بهینه پسماندهای مایع در واحدهای صنعتی تأثیر چشمگیری بر هزینه‌های تولید و سرمایه‌گذاری دارد.

در جدول ۲-۳ جدول ترکیبات شیمیایی یک نمونه سبک و دو نمونه سنگین پسماند حاصل از واحد EDC/VCM (آنالیز شده توسط کروماتوگرافی گازی) نشان داده شده است. ترکیبات حاوی مقادیر ناچیز (ppm) کلر محلول، اسید کلریدریک و بیش از ۲۰-۲۰۰ ppm آب نیست. در فرآیند سوزاندن این پسماندها در زباله‌سوز ترکیبات با ارزشی نظیری، 1,2-Dichloroethane و Trichloromethane ، که ۵۰-۷۰٪ از کل پسماند را تشکیل می دهد، از بین می‌رود و بنابراین، عملیات حرارتی چنین پسماندهایی مقدار زیادی اسید کلریدریک تولید می کند. بجز دو ترکیب فوق، مقدار 1,1,2-Trichloro ethane نیز در نرکیبات سنگین چشمگیر می‌باشد.

جدول ۲-۳. ترکیبات شیمیایی کمی اندازه گیری شده دو نمونه سبک و سنگین پسماند حاصل از واحد EDC/VCM

شماره	نوع ترکیب	روش تست	واحد	نتایج		
				نمونه ۱ (سبک)	نمونه ۱ (سنگین)	نمونه ۲ (سنگین)
۱	1,2-Dichloroethane	GC-MS	درصد وزنی٪	۴۳.۲۱	۳۵.۳۵	۳۰.۴۸
۲	Benzene			۰.۰۴	۰.۰۱≤	۰.۰۱≤
۳	Carbon tetrachloride			۵.۷۵	۰.۱≤	۰.۱≤
۴	Trichloromethane			۲۸.۳۹	۰.۰۱≤	۰.۰۱≤
۵	Dichloromethane			۰.۹۸	۰.۰۱≤	۰.۰۱≤
۶	Residual Compounds			۲۱.۳۶	۶۴.۶۵	۶۹.۵۲

راهکارهای ممکن جهت مدیریت liquid waste واحد EDC پتروشیمی اروند شامل امحاء این پسماندها توسط زباله سوزهای با سیستم پیشرفته و استفاده از حرات تولیدی آنها جهت تأمین بخشی از بخار مصرفی واحدهای مجتمع و همچنین تولید اسید کلریدریک، بازیافت اجزاء با ارزش آنها توسط روش تقطیر، تولید نانوکربن، تبدیل EDC بازیافتی به ترکیب TCE و همچنین تکنولوژیهای پیشرفته نظیر هیدروژناسیون، پلاسما، تجزیه الکتریکی در گزارش فاز اول پروژه مطالعه شدند. متاسفانه اکثر روش‌های حذف (جایگزین سوزاندن) پسماندهای ارگانوکلری در مراحل پایین فناوری قرار دارند و جوابگوی حجم عظیم این پسماندها نمی‌باشند. لذا پس از بررسی این راهکارها در جلسات و مذاکرات صورت گرفته، امحاء این پسماندها توسط زباله سوزهای با سیستم پیشرفته و استفاده از حرات تولیدی جهت تأمین بخار مصرفی واحدهای مجتمع، بازیافت اجزاء با ارزش توسط روش تقطیر، تولید نانوکربن، بعنوان گزینه های مورد بررسی جهت فاز بعدی پروژه انتخاب شدند. در این گزارش جزئیات فنی بیشتری از هر یک از راهکارهای مورد نظر بهمراه نتایج بررسی و آنالیز اقتصادی هر یک از راهکارهای پیشنهادی ارائه خواهد شد. در ادامه گزارش محاسبات مربوط به انتشار گازهای گلخانه‌ای و سایر آلاینده‌های هوا ارائه می‌شود. در بخش نتیجه‌گیری گزارش نیز با توجه با اطلاعات اقتصادی و نتایج انتشارات، هر یک از راهکارهای بررسی شده، بررسی و اولویت بندی خواهند شد.

۲-٤-۱ روش کنونی بکار گرفته شده در مجتمع پتروشیمی اروند

پسماند ارگانوکلر یک ترکیب پیچیده و چند جزء از ترکیبات کلر است که به دلیل تشکیل آزئوتروپ نمی تواند در مرحله اصلاح به طور موثر جدا شود. پسماند به مرحله احتراق ارسال می شود که در دمای ۸۰۰C º -۱۲۵۰ با جذب بیشتر هیدروژن کلرید با آب سوزانده می شود که به شکل اسید کلریدریک خنثی می شود یا وارد مرحله اکسی کلریداسیون می شود. مقدار پسماند ثابت نیست و بستگی مستقیم به بار تجهیزات، ریتم عملکرد واحدهای جداگانه، کیفیت جریان مواد اولیه و وضعیت اصلی فناوری دارد. طبق فرآیند موجود، گازهای دودکش حاصل از احتراق پسماندهای ارگانوکلر پس از عبور از سیستم تبادل حرارت (مولد بخار) به داخل کوئنچ فرستاده می‌شوند. رسوب بر روی دیوارها شرایط انتقال حرارت را سخت می کند، که منجر به مصرف بیش از حد آب بویلر و منابع انرژی می‌شود. به طور متوسط مقدار پسماند تولیدی در حدود ۱۱۰۰ کیلوگرم در ساعت می‌باشد اما در حال حاضر

حدود ۶۵ درصد این پسماند مازاد بوده و جهت امحاء به شرکت ثالث ارسال می‌گردد. هزینه این امحاء ۸۰.۰۰۰ ریال به ازاء هر کیلوگرم پسماند می‌باشد.

امحاء به این روش نه تنها هزینه‌های قابل ملاحظه‌ای رو بلحاظ اقتصادی به شرکت تحمیل می‌کند بلکه با توجه به سمی بودن این پسماند، بسته بندی، بارگیری و حمل و نقل به شرکت امحاء کننده دارای خطرات فراوانی می‌باشد. همچنانکه شرکت ثالث اعلام کرده است که در این رابطه هیچگونه مسئولیتی را نمی‌پذیرد. لذا بنظر می‌رسد که شرکت اروند بایستی راه حل دیگری را جایگزین امحاء توسط شرکت ثالث نماید که در ادامه گزارش جنبه‌های فنی، اقتصادی و زیست محیطی هر یک از راه حلهای جایگزین تشریح می‌گردد.

۲-٤-۲ سیستم زباله‌سوز پیشرفته بدون آلایندگی

سیستم‌های زباله سوز یکی از روشهای سازگار با محیط زیست در مدیریت و دفع پسماندها می‌باشد. کوره زباله سوز یک روش دفع نهایی است که برای پسماندهای خاص که نمی توان آنها را مورد بازیافت یا استفاده مجدد قرار داد یا در لندفیل دفن نمود، به کار می رود. این روش یک فرآیند اکسیداسیون حرارتی بوده که در آن پسماند ها در حضور اکسیژن تبدیل به گازها و مواد جامد باقیمانده غیر قابل احتراق می‌شوند. گازهای حاصله وارد اتمسفر شده و مواد باقیمانده جامد دفن می‌شوند. به طور معمول کوره های زباله سوز در حال حاضر طبق استراتژی طرح جامع مدیریت پسماندهای کشور به عنوان یک الزام جهت امحای پسماندهای ویژه مورد استفاده واقع می‌شوند.

در این تکنولوژی ابتدا پسماندها توسط loader به کوره منتقل شده که دما در محفظه اولیه حدود ۸۵۰ºC می‌باشد. سپس گازهای تولیده شده در محفظه اولیه به محفظه ثانویه انتقال می‌یابند که دما در این محفظ ۱۰۰۰-۱۲۰۰ºC می‌باشد. زمان ماند گازها در محفظه ثانویه بیش از ۲ ثانیه بر طبق استاندارد اروپا می‌باشد. که در اینصورت تمام ترکیبات سمی از جمله ترکیبات دیوکسین و فوران و دیگر گازهای سمی تا حد ۹۹.۹۹٪ در این محفظه تخریب شده و از بین می‌روند. در ادامه برای جلوگیری از تشکیل دیوکسین و فوران لازم است دما سریعاً تا حد زیادی کاهش یابد، لذا گازهای خروجی از محفظه ثانویه وارد سیستم خنک کننده شده و دما در مدت زمان حداقل ۱ ثانیه تا ۲۰۰ºC کاهش یافته و ازتولید مجدد ترکیبات دیوکسین و فوران جلوگیری می‌شود. به منظور از بین بردن گازهای اسیدی تولید شده در محفظه اولیه و ثانویه گازها وارد یک محفظه شده و با ماده Sorbacal ترکیب شده و خنثی می‌گردد.

در مرحله بعد برای جذب ترکیبات آلی احتمالی و همچنین جذب فلزات سنگین از ماده Minsorb استفاده می‌شود که گاز عبوری برای ته نشست و از بین بردن ذرات معلق از فیلترهای سرامیکی با خاصیت نانو عبور می‌کند. نهایتا گازهای تصفیه شده از یک دودکش که در انتهای دستگاه تعبیه شده است، خارج می‌شوند. این دودکش مجهز به سیستم پایش لحظه‌ای گازهای خروجی می‌باشد، که قابلیت ارسال اطلاعات به سازمان حفاظت محیط زیست را نیز دارا می‌باشد. خاکستر حاصل از امحاء پسماندها به صورت اتوماتیک تخلیه شده و در قالب بلوکهای نسوز و در زیر سازی جاده ها و بتون ریزی قابل استفاده می‌باشد. کوره های پسماند سوز پیشرفته در محدوده وسیعی از ظرفیت های مختلف فعالیت می‌کند و بسته به نوع میزان پسماند میزان گاز مصرفی در کوره‌ها متفاوت می‌باشد و از گرمای ایجاد شده برای تولید انرژی الکتریسیته استفاده می‌شود. این کوره‌ها تحت لیسانس اتحادیه اروپا بوده و استاندارد EC/2000/76 را نیز اخذ نموده است. از مزایای کلی این کوره‌ها می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود:

الف) مزایای زیست محیطی

- بیشترین میزان کاهش در آلاینده های شیمیایی و بیولوژیکی پسماند
- عدم ایجاد آلودگی ثانویه
- تولید ناچیز و پایدار منوکسید کربن (CO) و اکسیدهای نیتروژن (NOx)
- مقدار NOx در محدوده استاندارد اروپا می باشد.
- میزان دیوکسین و فوران در حدود ۰.۱ng TEQ/NM3 مطابق با استاندارد اروپا می‌باشد
- استاندارد گازهای خروجی آلاینده ها از زباله سوزهای طراحی شده توسط این شرکت مطابق استاندارد اروپا Directive 2000/76/EC و حتی برخی از پارامترها کمتر از استاندارد اروپا می‌باشند.

ب) مزایای عملکردی و اقتصادی

- به دلیل عدم نیاز به جداسازی پسماندها قبل از تزریق به کوره و همچنین عدم نیاز به تزریق سوخت در طول فرایند به سبب تکنولوژی مورد استفاده در زباله سوز، هزینه های عملیاتی این کوره ها بسیار پایین می‌باشد.
- سهولت در کنترل و اداره کردن سیستم و طول عمر مفید بالای دستگاه و کیفیت بالای متناسب با محیط زیست دستگاه، هزینه های تعمیر و نگهداری سیستم را تا حد قابل توجهی کاهش می‌دهد.
- کاهش حداکثر حجم پسماند که منجر به کاهش نیاز به ساخت لندفیل و صرفه جویی در منابع زمین می‌شود.
- طراحی ویژه برای پسماندهایی با میزان رطوبت بالا و ارزش حرارتی کم
- عدم هدر رفتن انرژی گرمایی
- طول عمر بلند مدت و از کار افتادگی ناچیز
- از آنجائیکه استاندارد گاز خروجی زباله سوزهای ما بیشتر از استاندارد اروپا می‌باشد لذا می توان دستگاه را بدون بروز مشکل آلودگی هوا نصب کرد
- دستیابی به منبع جدید تولید و تامین انرژی برق و بخار

با به دام نداختن گرمای تولید شده ناشی از فرایند سوزاندن پسماند توسط سیستمهای پیشرفته موجود در زباله سوز، انرژی حرارتی پسماند بازیابی و به شکل بخار و یا در صورت وجود ژنراتورهای توربین بخار به انرژی الکتریسیته تبدیل می‌شود.

- این سیستم قابلیت امحاء ۱۰۰۰ kg/hr زباله را دارا می‌باشد.

در این ایده پیشنهاد شده است که liquid waste تولیدی بجای سوزانده شدن در سیستم زباله سوز موجود در مجتمع که مشکلات زیادی را ایجاد کرده است، از سیستم جدید توصیف شده استفاده گردد. با جایگزینی زباله سوز جدید به جای زباله سوز قبلی، هزینه های بارگیری و امحاء آن توسط شرکت ثالث جبران خواهد شد.

با استعلام از شرکت ره پویان صالح اصفهان میزان هزینه های امحاء ضایعات کلره ۸۰.۰۰۰ ریال به ازاء هر کیلوگرم توسط این شرکت می‌باشد که البته این هزینه بجز هزینه های بسته بندی، بارگیری و انتقال به آن شرکت است.

۲-٤-۲-۱ ملاحظات اقتصادی

زمانی یک ایده می‌تواند به مرحله طراحی و عملیاتی برسد که مقرون به صرفه باشد. در این قسمت با توجه به اطلاعات اولیه موجود از سیستم زباله سوز پیشرفته، امحاء این پسماند با استفاده از این سیستم پیشنهاد می‌گردد. در این ارزیابی ابتدا هزینه‌های ثابت سرمایه‌گذاری تعیین می‌شود که شامل سرمایه‌گذاری اولیه درخصوص خرید و نصب زباله سوز، خرید تجهیزات جانبی آنها، لوله‌کشی، فعالیت‌های عمرانی و سایر هزینه‌های انجام شده می‌باشد. پس از

آن هزینه‌های سالانه راهبری طرح که معمولا مربوط به تعمیر و نگهداری و نیروی انسانی می‌باشد، بررسی و در ادامه کار نیز درآمد سالانه حاصل از اجرای پروژه محاسبه می‌شود که بصورت ذیل منظور می‌گردد:
درآمد ایده بر اساس هزینه امحاء پسماند مایع اضافی (۶۵٪ کل پسماند) در نظر گرفته می‌شود.
در این بخش دو سناریو در نظر گرفته شد:

۱- جایگزینی دو زباله سوز راندمان بالا با ظرفیت هر کدام kg/hr ۱۰۰۰،

۲- حفظ زباله سوز موجود در مجتمع و ارسال مازاد پسماند به یک زباله سوز با ظرفیت kg/hr ۱۰۰۰

بعد از بررسی ایده مطرح شده، ارزیابی اقتصادی با استفاده از شاخص‌های نرخ بازگشت سرمایه (IRR) و NPV انجام می‌پذیرد، بدین صورت که ابتدا نرخ بازگشت سرمایه اولیه با توجه به اختلاف درآمدهای حاصل با هزینه‌های راهبری سالانه طرح محاسبه شده و تفسیر می‌شود که در اینجا هدف نشان دادن واقعیت وضعیت اقتصادی پروژه می‌باشد.

۲-٤-۲-۲ هزینه‌ها

به طور کلی سرمایه‌گذاری ثابت را می‌توان به دو دسته هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم طبقه‌بندی نمود که هزینه‌های مستقیم مربوط به خرید و نصب تجهیزات، ابزار دقیق و کنترل، سیستم‌های الکتریکی و لوله‌کشی و ساختن ساختمان‌ها و امکانات خدماتی می‌باشد. هزینه‌های غیرمستقیم نیز هزینه مهندسی، نظارت، موارد قانونی، حقوق پیمانکاران و پیش‌بینی نشده را شامل می‌شود که با توجه به مراجع علمی و معتبر، حقوق و دستمزد در ایران، هزینه‌های غیرمستقیم حدود ۸ درصد هزینه‌های مستقیم برآورد می‌شود.

در ایده امحاء پسماند با استفاده از زباله سوز پیشرفته، بیشترین بخش سرمایه‌گذاری کل، هزینه مربوط به خریداری سیستم زباله سوز می‌باشد. با توجه به استعلام‌های صورت گرفته از شرکت‌های سازنده خوشبختانه حدود قیمت برای تجهیزات موردنیاز جمع‌آوری شده است و با تقریب نسبتا خوبی می‌توان هزینه‌ها و درآمد هر یک از ایده‌ها را محاسبه نمود.

معمولا هزینه‌های مربوط به نصب، لوله‌کشی، ابزار دقیق، ابزارهای کنترلی و الکتریکی درصدی از هزینه تجهیز اصلی در نظر گرفته می‌شود، هزینه‌های عملیاتی یا راهبری طرح شامل هزینه‌هایی می‌باشد که بواسطه اجرای طرح هر سال به شرکت تحمیل می‌شود که شامل موارد هزینه تعمیر و نگهداری، حقوق و دستمزد، هزینه برق مصرفی و سایر هزینه‌های پیش‌بینی نشده می‌باشد.

۲-٤-۲-۳ درآمد ایده

با توجه به اینکه تولید بخار و تولید اسید کلریدریک بعنوان ماده با ارزش افزوده بالا در این زباله سوز مطرح می‌باشد، اما چون در شرایط حال حاضر پلنت، این دو ماده تولید می‌شوند، لذا سود حاصل از تولید این دو ماده در زباله سوز جدید بعنوان درآمد راهکار جدید لحاظ نگردید. بنابراین درآمد راهکار بر اساس هزینه امحاء پسماند مایع اضافی (در حدود ۶۰۰۰ تن در سال) در نظر گرفته می‌شود.

همچنین اجرای راهکار مطرح شده، ضمن آنکه موجب انتشار کمتر گازهای گلخانه‌ای می‌شود، انتشار سایر آلاینده‌های هوا را نیز کاهش می‌دهد و با توجه به اینکه انتشار این گازهای آلاینده نظیر CO_2، PM، CO و NOx در اتمسفر بر محیط زیست، سلامتی انسان و سایر موجودات نیز اثرات نامطلوبی دارد و جامعه را متحمل هزینه می‌نماید، کاهش هزینه به خاطر کاهش انتشار این گازها را می‌توان درآمد غیرمستقیم محسوب نمود. اگر چه واقعا به

جامعه هزینه‌های زیادی به علت آلودگی هوا تحمیل می‌شود و در تحلیل اقتصادی پروژه، هزینه‌های آسیب وارده به محیط زیست (در صورت عدم اجرای پروژه و اجرای پروژه) بعنوان درآمد پروژه مورد استفاده، لحاظ می‌گردد.

۲-٤-۲-٤ تحلیل اقتصادی راهکار

برای تحلیل و ارزیابی پروژه معمولا متغیرهای نرخ بازگشت سرمایه و NPV ارایه می‌گردد. به منظور تحلیل اقتصادی این طرح نیز از شاخص‌های نرخ بازگشت سرمایه (IRR) و ارزش خالص فعلی سرمایه با نرخ تنزیل ۲۰٪ (هر چند ۲۰ درصد مقدار بالایی است ولی جهت نشان دادن واقعیت اقتصاد پروژه، بهره بانکی حال حاضر در کشور ایران مبنی قرار گرفته است) استفاده می‌شود. در جدول ۲-۴ شاخص‌های IRR، NPV و زمان بازگشت سرمایه حساب شده‌اند. نتایج NPV و IRR نسبتا مناسب بدست آمده است. حتی درآمد پروژه بر اساس خرید دو زباله سوز راندمان بالا، محاسبه شده که IRR نسبتا خوبی حدود ۲۰ درصد را نشان می‌دهد هر چند در صورتی که مجتمع این گزینه را انتخاب کند می‌تواند درآمدی نیز بابت فروش یا اسقاط زباله سوز قدیمی خود کسب کند که البته این درآمد در این سناریو دیده نشده است. در صورت حفظ زباله سوز موجود و خرید یک دستگاه زباله سوز راندمان بالا میزان IRR، ۴۳.۲ درصد خواهد بود و با توجه به نرخ تنزیل ۲۰ درصد NPV مثبت است. بدین ترتیب از لحاظ اقتصادی گزینه جایگزینی زباله سوز فعلی با زباله سوز جدید و همچنین استفاده از زباله سوز جدید برای امحاء مازاد، می‌تواند ایده مناسب و اقتصادی برای مدیریت پسماند مایع در مجتمع پتروشیمی اروند باشد.

جدول ۲-۴. شاخص‌های اقتصادی اکسیداسیون احتراقی با استفاده از زباله سوز با راندمان بالا

Items	Unit	Based on 2 HP incinerator	Based on 1 HP incinerator
New Incinerator Package	**1000*USD**	4,972.000	2,486.000
Piping, Instruments, Controls and Electrical		1988.800	994.400
Commissioning, Installation Cost		994.400	497.200
Total Direct Cost		7,955.200	3,977.600
Total Indirect Cost		397.76	198.88
Fixed Capital investment	**1000*USD**	8,352.960	4,176.480
Annual Cost (Operating & Maintenance)	**1000*USD/y**	246.105	141.693
Annual Incoming		1,946.29	1,943.53
Annual Net Benefit		1,700.190	1,820.482
Discount Rate	**%**	20	20
IRR	**%**	**19.8**	**43.2**
NPV	**1000*USD**	**-73.75**	**4,613.43**
Payback time	**year**	**4.91**	**2.31**

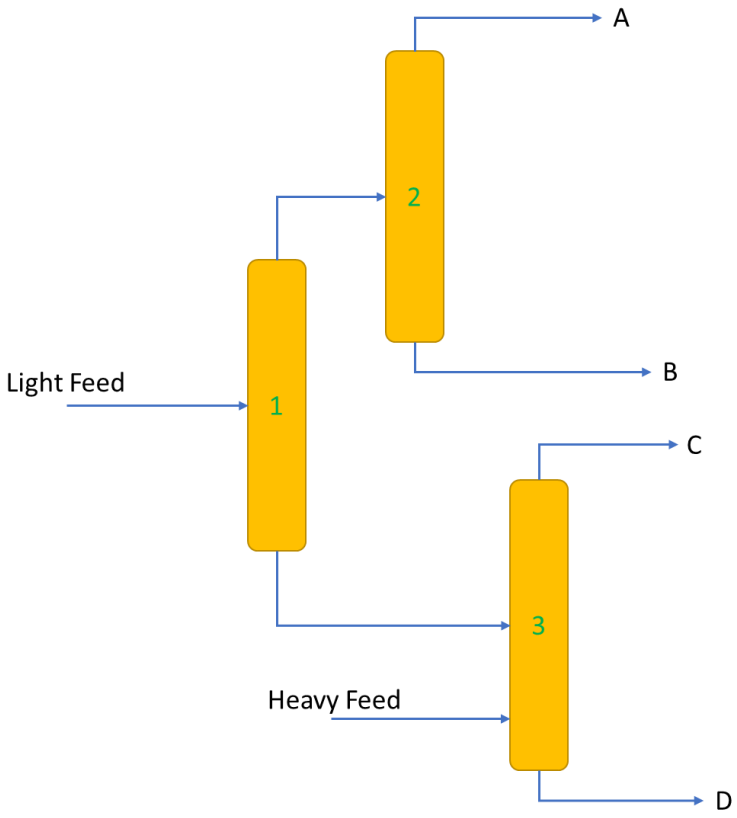
همچنین در جدول ۲-۵ جزئیات بیشتری از آیتم‌های هزینه و درآمد نشان داده شده است.

جدول ۲-۵. جزئیات بیشتری از آیتم‌های هزینه و درآمد در سناریو استفاده از زباله سوز با راندمان بالا

	Based on 2 HP incinerator	Based on 1 HP incinerator
Items	**(1000*USD/y)**	
Operating Cost		
Steam (600 kg/h, $77*10^4$Rial/ton)	00.00	00.00
C.W. ($24.73m^3$/h, $37*10^4$Rial/m^3)	00.00	00.00
Electricity	6.45	3.22
Fuel Gas ($7.5*10^3$ kW, $12.3*10^3$Rial/Nm^3)	00.00	00.00
Minsorb	18.38571	9.2
Sorbacal	12.45	6.22
Maintenance Cost (2.5% of Capital Cost)	208.82	104.41
Incoming		
Steam ($3.367*10^3$ kg/h, $77*10^4$Rial/ton)	**48.29**	**48.29**
HCL (6345kg/h, Rial/h)		**---**
Carbon Credit (0.4$/ton. y)	**4.28**	**1.52**
Exported for Incineration	**1,893.73**	**1,893.73**
Annual Net Benefit		
Net Benefit	**1,700.190**	**1,820.482**

۲-٤-۳ تقطیر جزء به جزء جهت جداسازی اجزاء با ارزش پسماند

تقطیر متداول‌ترین روش جداسازی ترکیبات در فرآیندهای شیمیایی محسوب می‌گردد. با توجه به گزارشات حاصله در مورد ترکیبات موجود در پسماند سبک و سنگین می‌توان با استفاده از سیستم‌چیدمان برج‌های تقطیر اجزای با ارزش موجود در این پسماندها را جدا نمود. بدین منظور سیستم متشکل از سه برج تقطیر پیشنهاد می-گردد که در بصورت شماتیک در شکل ۲-۱۰ نشان داده شده‌اند. سناریو زیر در نظر گرفته شده است:



شکل ۲-۱۰. چیدمان برج‌های تقطیر در نظر گرفته شده A: گازهای سبک باقیمانده، B: کلرفرم، C: EDC و D: باقیمانده پسماند سنگین

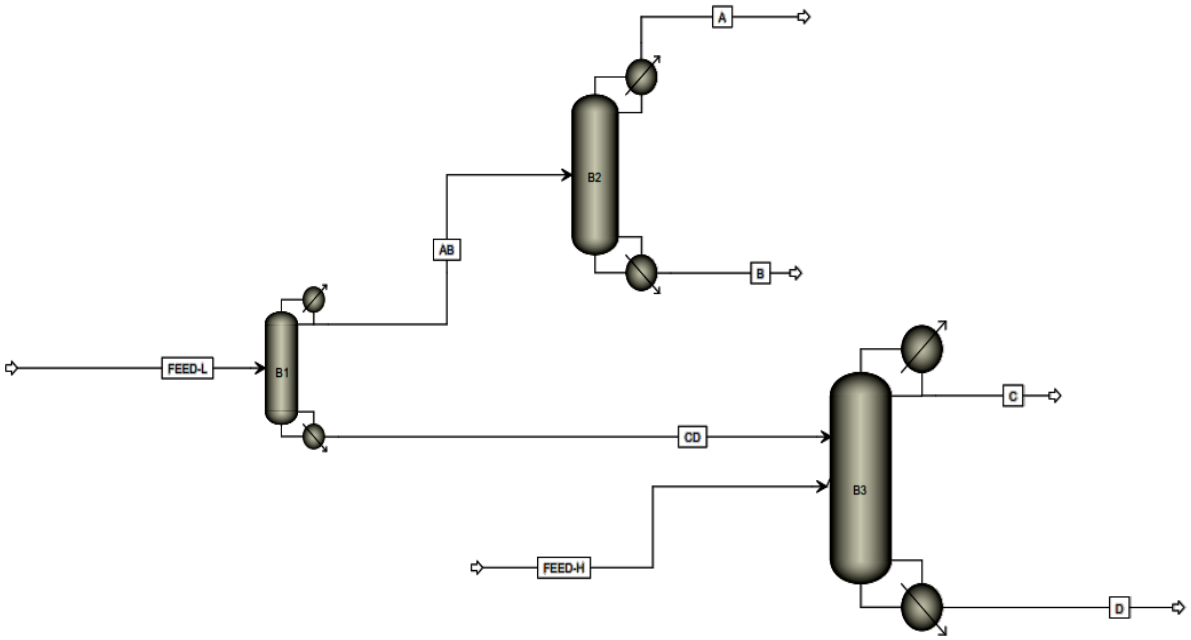
در این چیدمان هدف تولید کلروفرم، EDC و ساختارهای کربنی است. ابتدا کلروفرم به همراه سایر ترکیبات سبک موجود در خوراک سبک در برج اول جداسازی شده و سپس با دبی ۶۰ کیلوگرم بر ساعت و غلظت ۹۷٪ از پایین برج دوم بازیابی می‌گردد. به منظور خالص‌سازی EDC، با اضافه شدن پسماند سنگین به عنوان خوراک دوم، EDC نیز به میزان ۴۲۵ کیلوگرم بر ساعت و غلظت ۹۴٪ در برج سوم جداسازی می‌شود. باقیمانده پسماند خروجی از پایین برج سوم که دارای دبی ۶۰۰ کیلوگرم بر ساعت است، به منظور تهیه ساختارهای کربنی در بخش مربوطه به کار گرفته می‌شود. بطور خلاصه محصولات موجود در این سناریو در جدول ۲-۵ ارائه شده است. همچنین آنالیز شیمیایی محصولات جدا شده از برج (کلروفرم و EDC) نیز در جدول ۲-۶ ارائه شده است.

جدول ۲-۶. مشخصات محصولات تولیدی

	کلروفرم (۹۷٪)	EDC (۹۴٪)	ترکیبات جدا شده جهت تولید ساختارهای کربنی	پسماند سبک باقیمانده	پسماند سنگین باقیمانده
میزان جریان (kg/h)	۶۰	۴۲۵	۶۰۰	۱۵	۰

جدول ۲-۷. آنالیز شیمیایی ترکیبات کلرفرم و EDC جدا شده از برج

EDC	کلرفرم	Aspen Name	Component	
۰/۲۱	۱.۹	1:1-D-02	1,1-Dichloroethene	۱
۰/۲	-	TRANS-01	1,2-Dichloroethene (Z)	۲
۰/۲۱	-	1:1-D-01	1,1-Dichloroethane	۳
۰/۲	۰/۲۴	CHLOR-02	2-Chloro-1,3 Butadiene	۴
۰/۲۱	۰/۳۱	CIS-1-01	1,2-Dichloroethene (E)	۵
۰/۳۳	۹۷/۰۰	CHLOR-01	Trichloromethane	۶
۳/۱۲	۰/۴۲	CARBO-01	Carbon tetrachloride	۷
۰/۴	-	BENZE-01	Benzene	۸
۹۴/۰۰	۰/۱۳	1:2-D-01	1,2-Dichloroethane	۹
۰/۹۱	-	1:1:2-01	1,1,2-Trichloroethane	۱۰



شکل ۲-۱۱. شماتیک شبیه‌سازی انجام شده در نرم‌افزار Aspen Plus.

درصورتیکه سناریوی تولید ساختارهای کربنی امکان‌پذیر نباشد، این چیدمان به منظور تامین کلروفرم، EDC و سوزاندن باقیمانده پسماندها در زباله‌سوز می‌تواند بکار گرفته شود. در این سناریو نیز کلرفرم همانند سناریو قبل تولید می‌شود. تنها تفاوت آن است که به منظور تامین نسبت ۱:۴ (سنگین:سبک) برای سوزاندن پسماندها تنها بخشی از محصول EDC جهت تامین ارزش حرارتی لازم به زباله‌سوز ارسال می‌شود. بدین جهت در این سناریو تنها

۲۹۰ کیلوگرم بر ساعت از EDC با غلظت ۹۴٪ قابل بازیابی است. و باقیمانده ترکیبات موجود در پسماند سبک و خروجی پایین برج سوم به سمت زباله‌سوز ارسال می‌شود.

فرآیندهای پیشنهادی در نرم‌افزار Aspen Plus شبیه‌سازی و محاسبات اقتصادی بر اساس خروجی‌های بدست آمده انجام شده است. شماتیک شبیه‌سازی‌های انجام شده در شکل ۲-۱۱ و نتایج آن در جدول ۲-۸ آورده شده است.

جدول ۲-۸. مشخصات برج‌های موجود

ردیف	تعداد سینی	قطر (m)	سطح ریبویلر (m^2)	سطح کندانسور (m^2)
برج ۱	۲۲	۰/۴۵	۶/۳۲۴	۲/۶۲۵
برج ۲	۳۹	۰/۴۵	۰/۹۱۸	۰/۸۵۳
برج ۳	۶۰	۱	۸/۸۴۵	۰/۷۹۳

۲-۴-۳-۱ کوره تولید نانوساختارهای کربنی

تولید نانوساختارهای کربنی با استفاده از فرآیند پیرولیز در محدوده دمایی ۸۰۰-۸۵۰C º در یک راکتور لوله‌ای با لاینینگ مقاوم به اسید بمدت ۲ ساعت انجام می‌گیرد. نرخ گرمایش کوره ۱۰ درجه سانتیگراد در دقیقه می‌باشد. این فرآیند تحت گاز بی اثر نیتروژن انجام می‌پذیرد. در جدول ۲-۹ آنالیز سطح نمونه سنتز شده آورده شده است.

جدول ۲-۹. آنالیز جذب نیتروژن ساختار کربنی تولید شده

سطح ویژه (m^2/gr)	قطر حفرات (nm)	حجم حفرات (cm^3/gr)
۱۰۰۵	۲-۳	۰.۹۵

Yield کربن تولید شده در حدود ۱۰٪ وزنی می‌باشد. مفهوم Yield کربن درصد وزنی ساختار کربنی تولید شده به ازاء مقدار پسماند مایع ورودی به کوره پیرولیز می‌باشد. همچنین در جدول ۲-۸ نتایج آنالیز سطح نمونه سنتز شده ارائه شده است. نتایج نشان از تولید کربن مزوساختار با سطح ویژه بالا دارد.

۲-۴-۳-۲ ملاحظات اقتصادی

در این قسمت با توجه به اطلاعات اولیه موجود تجهیزات مورد نیاز جهت انجام تقطیر جزء به جزء شامل برج، ریبویلر، کندانسور، پمپ و هزینه کوره پیرولیز جهت تولید ساختارهای کربنی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در این

ارزیابی ابتدا هزینه‌های ثابت سرمایه‌گذاری تعیین می‌شود که شامل سرمایه‌گذاری اولیه درخصوص ساخت و نصب تجهیزات ذکر شده و فعالیت‌های عمرانی و سایر هزینه‌های انجام شده می‌باشد. پس از آن هزینه‌های سالانه راهبری طرح که معمولا مربوط به تعمیر و نگهداری و نیروی انسانی می‌باشد، بررسی و در ادامه کار درآمد سالانه حاصل از طرح در دو مرحله محاسبه می‌شود:

- درآمد سناریوها بر اساس قیمت یوتیلیتی‌های مجتمع (برق، بخار، ازت و آب دیونیزه) ارایه شده از طرف مجتمع در نظر گرفته می‌شود.

بعد از بررسی سناریوهای مطرح شده در دو حالت بدون در نظر گرفتن کوره پیرولیز (سناریوی ۱) و در نظر گرفتن کوره پیرولیز جهت تولید ساختارهای کربنی (سناریوی ۲) ارزیابی اقتصادی با استفاده از شاخص‌های نرخ بازگشت سرمایه (IRR) و NPV انجام می‌پذیرد.

۲-٤-۳-۳ هزینه‌ها

به طور کلی سرمایه‌گذاری ثابت را می‌توان به دو دسته هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم طبقه‌بندی نمود که هزینه‌های مستقیم مربوط به خرید و نصب تجهیزات، ابزار دقیق و کنترل، سیستم‌های الکتریکی و لوله‌کشی و ساختن ساختمان‌ها و امکانات خدماتی می‌باشد. هزینه‌های غیرمستقیم نیز هزینه مهندسی، نظارت، موارد قانونی، حقوق پیمانکاران و پیش‌بینی نشده را شامل می‌شود که با توجه به مراجع علمی و معتبر، حقوق و دستمزد در ایران، هزینه‌های غیرمستقیم حدود ۸ درصد هزینه‌های مستقیم برآورد می‌شود.

در سناریو تولید کلروفرم، EDC و ساختارهای کربنی با استفاده از برج‌های تقطیر و کوره پیرولیز، بیشترین بخش سرمایه‌گذاری کل، هزینه مربوط به خریداری تجهیزات می‌باشد.

در جدول ۲-۱۰ هزینه تجهیزات مربوط به بخش تقطیر به تفکیک اجزاء آورده شده است.

جدول ۲-۱۰. هزینه تجهیزات به تفکیک اجزا

ردیف	هزینه برج ($)	هزینه ریبویلر ($)	هزینه کندانسور ($)	مخزن کندانسور ($)	پمپ جریان برگشتی ($)	هزینه سرمایه- گذاری کل ($)
برج ۱	۱۰۳۸۰۰	۱۳۰۰۰	۹۱۰۰	۱۳۴۰۰	۴۸۰۰	۱۴۴۱۰۰
برج ۲	۳۸۷۵۰۰	۱۳۱۰۰	۸۹۰۰	۱۳۴۰۰	۴۸۰۰	۴۲۷۷۰۰
برج ۳	۴۸۹۶۰۰	۱۴۰۰۰	۸۹۰۰	۱۳۴۰۰	۴۸۰۰	۵۳۰۷۰۰

همچنین با توجه به استعلام‌های صورت گرفته قیمت کوره پیرولیز جهت تولید ساختارهای کربنی ۵۰.۰۰۰.۰۰۰.۰۰۰ ریال می‌باشد. همچنین در جدول ۲-۱۱ میزان مصرف یوتیلیتی‌ها به تفکیک آورده شده است.

جدول ۲-۱۱. میزان مصرف یوتیلیتی در سناریوهای اول و دوم تقطیر جزء به جزء

یوتیلیتی	واحد اندازه گیری	سناریو اول	سناریو دوم
برق	kW	۵۳/۹۹۸	۵۳/۹۹۸
آب کولینگ	MMGal/h	۰/۰۰۶۵۳۵	۰/۰۰۶۵۳۵
بخار در ۱۰۰ psi	Klb/h	۱/۳۲۱۰۸	۱/۳۲۱۰۸
نیتروژن ۱۵۰ barg	Lit/h	-	۳
گاز سوخت	Nm^3/h	-	۱۸۴.۵

معمولا هزینه‌های مربوط به نصب، لوله‌کشی، ابزار دقیق، ابزارهای کنترلی و الکتریکی درصدی از هزینه تجهیز اصلی در نظر گرفته می‌شود، هزینه‌های عملیاتی یا راهبری طرح شامل هزینه‌هایی می‌باشد که بواسطه اجرای طرح هر سال به شرکت تحمیل می‌شود که شامل موارد هزینه تعمیر و نگهداری، حقوق و دستمزد، هزینه برق مصرفی و سایر هزینه‌های پیش‌بینی نشده می‌باشد.

۲-٤-۳-٤ درآمد سناریو

درآمد این سناریو مربوط به فروش کلروفرم (در سناریو اول) و فروش کلروفرم و ساختارهای کربنی (در سناریوی دوم) می‌باشد. با توجه به قیمت‌های فروش در نظر گرفته شده برای هر لیتر کلروفرم تجاری و هر کیلوگرم نانوساختار کربنی (با در نظر گرفتن حداقل قیمت برای تولید کربن اکتیو) می‌توان درآمد پروژه محاسبه نمود.

همچنین اجرای ایده مطرح شده، موجب انتشار کمتر گازهای گلخانه‌ای و همچنین کاهش انتشار سایر آلاینده-های هوا نیز می‌شود و با توجه به اینکه انتشار گازهای CO_2، PM، CO و NOx در اتمسفر بر محیط زیست، سلامتی انسان و سایر موجودات اثرات نامطلوبی دارد و جامعه را متحمل هزینه می‌نماید، کاهش هزینه به خاطر کاهش انتشار این گازها را می‌توان درآمد غیرمستقیم محسوب نمود. اگر چه واقعا به جامعه هزینه‌های زیادی به علت آلودگی هوا تحمیل می‌شود و در تحلیل اقتصادی پروژه، هزینه‌های آسیب وارده به محیط زیست (در صورت عدم اجرای پروژه و اجرای پروژه) بعنوان درآمد پروژه مورد استفاده لحاظ گردید.

۲-٤-۳-۵ تحلیل اقتصادی راهکار

برای تحلیل و ارزیابی پروژه معمولا متغیرهای نرخ بازگشت سرمایه و NPV ارایه می‌گردد. به منظور تحلیل اقتصادی این طرح نیز از شاخص‌های نرخ بازگشت سرمایه (IRR) و ارزش خالص فعلی سرمایه با نرخ تنزیل ۲۰٪ (هر چند ۲۰ درصد مقدار بالایی است ولی جهت نشان دادن واقعیت اقتصاد پروژه، بهره بانکی حال حاضر در کشور ایران مبنی قرار گرفته است) استفاده می‌شود.

در ادامه جهت تحلیل اقتصادی این بخش، دو سناریو با در نظر گرفتن تولید کلروفرم و ارسال باقیمانده پسماند به زباله‌سوز (بعنوان سناریو ۱) و تولید کلروفرم و تولید کربن (بعنوان سناریو ۲) با استفاده از باقیمانده پسماند، بررسی می‌شود (جدول ۲-۱۲).

جدول ۲-۱۲. شاخص‌های اقتصادی ایده‌های مربوط به تقطیر جزء به جزء

Items	Unit	Chloroform production	Chloroform +carbon production
Chloroform (+Nano C) Production Package	1000*USD	1100	1278.57
Piping, Instruments, Controls and Electrical		440	511.43
Commissioning, Installation Cost		220	255.71
Total Direct Cost		1760	2045.71
Total Indirect Cost		88	102.28
Fixed Capital investment	1000*USD	1848	2148
Annual Cost (Operating & Maintenance)	1000*USD/ y	346.59	418.28
Annual Incoming		1924.25	3622.97
Annual Net Benefit		1577.66	3204.68
Discount Rate	%	**20**	**20**
IRR	%	**85.4**	**149**
NPV	1000*USD	**5834.53**	**13445.79**
Payback time	year	**1.17**	**0.67**

همچنین در جدول ۲-۱۳ جزئیات بیشتری از آیتم‌های هزینه و درآمد نشان داده شده است.

جدول ۲-۱۳. جزئیات بیشتری از آیتم‌های هزینه و درآمد در سناریوهای تقطیر جزء به جزء

	Chloroform production	Chloroform +carbon production
Items	**(1000*USD/y)**	
Operating Cost		

Steam (600 kg/h, $77*10^4$Rial/ton)	13.12	13.12
C.W. (24.73m^3/h, $37*10^4$Rial/m^3)	261.62	261.62
Electricity (54kWh, 0.06$/kWh)	25.66	25.66
Fuel Gas ($7.5*10^3$ kW, $12.3*10^3$Rial/Nm^3)	----	64.19
Maintenance Cost (2.5% of Capital Cost)	46.2	53.70
Incoming		
Chloroform (60 kg/h, $17*10^2$Rial/h)	1923.43	1923.43
Nano Carbon (600kg/h, 10^5Rial/h)	---	1697.14
Carbon Credit (0.4$/ton. y)	0.8249	2.39
Annual Net Benefit		
Net Benefit	**1577.66**	**3204.68**

در جدول ۲-۱۲ شاخص‌های IRR، NPV و زمان بازگشت سرمایه حساب شده‌اند. نتایج NPV و IRR بسیار مناسبی بدست آمده است. درآمد پروژه بر اساس تولید کلروفورم، محاسبه شده که IRR حدود ۸۵ درصد برای سناریوی ۱ و ۱۴۹ درصد برای سناریوی ۲ (بر اساس تولید کلروفورم و ساختارهای کربنی) دارد و با توجه به نرخ تنزیل ۲۰ درصد NPV مثبت است. بزرگ بودن این پارامترها بدلیل با ارزش بودن و وارداتی بودن کلروفرم و همچنین با ارزش بودن کربن تولیدی است. البته در رابطه با ساختارهای کربنی این توضیح لازم است که حداقل قیمت (در صورت تولید کربن اکتیو) در نظر گرفته شده است. در صورتیکه میتوان با تغییر نوع کاتالیست و شرایط فرآیندی به ساختارهای بسیار با ارزش‌تری نظیر نانولوله های کربنی، گرافن و ... دست یافت.

۲-۵ بررسی میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلاینده‌های هوا در صورت تبدیل Liquid Waste به محصولات با ارزش افزوده و انرژی

مصرف زیاد سوخت‌های فسیلی و تولید بی‌رویه گازهای گلخانه‌ای که پیامد بارز آن تغییرات اقلیمی و آلودگی-های زیست محیطی می‌باشد، به شدت بر زندگی در این کره خاکی اثرگذار بوده و حتی می‌تواند تهدیدی برای حیات مطرح گردد.

در این بخش منابع اصلی انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلاینده‌ها و روش محاسبه میزان آن در صنعت نفت، گاز و پتروشیمی معرفی می‌شوند. انتشارات گازهای گلخانه‌ای در صنایع از منابع احتراقی، تخلیه‌ای، فرار و روش‌های غیر

مستقیم صورت می‌گیرد که در ادامه هر یک از این منابع بررسی می‌شوند (API, 2009). به طور کلی منابع عمده انتشارات احتراقی شامل توربین‌های گازی، کوره‌های فرآیندی، بویلرها، مشعل‌ها و زباله‌سوزها می‌باشند.

انتشار گازهای دی‌اکسیدکربن، اکسید نیتروس و متان به اتمسفر، معمولا بیشترین انتشارات گلخانه‌ای در صنایع می‌باشند. انتشارات گازهای گلخانه‌ای از صنعت گاز به سه دسته احتراقی، تخلیه‌ای و فرار تقسیم‌بندی می‌شود. انتشارات فرار از اجزای خطوط لوله و نشتی تجهیزات در سطوح آب‌بندی‌شده اتفاق می‌افتد. در صورتیکه جریان دارای نشتی، حاوی متان و CO_2 یا هر گاز گلخانه‌ای دیگری باشد، مقادیر نشت آن از انتشارات فرار خواهند بود. معمولاً انتشارات فرار در مقایسه با انتشارات احتراقی و فرآیندی بسیار ناچیز می‌باشند (API, 2009). فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات دوره‌ای ممکن است باعث تخلیه گازهای فرآیندی به اتمسفر شوند که به نوع انتشار تخلیه‌ای نیز گفته می‌شود.

منابع احتراقی شامل انتشارات حاصل از احتراق سوخت‌ها در کوره‌ها، بویلرها، موتورها، توربین‌ها و احتراق مواد زاید در زباله‌سوزها و فلرها می‌شود که بطور گسترده‌ای در صنایع موجود می‌باشند. احتراق در این تجهیزات، به تشکیل دی‌اکسید کربن در اثر اکسیداسیون کربن منجر می‌شود. مقادیر بسیار کمی N_2O نیز ممکن است در طول احتراق و در اثر واکنش اکسیژن و نیتروژن تشکیل شود. متان نیز می‌تواند در اثر احتراق ناقص سوخت، در گازهای احتراق حضور داشته باشد (API, 2009).

۲-۵-۱ مطالعات انجام شده در زمینه انتشار گازهای گلخانه‌ای

در دهه‌های اخیر مطالعات جامع و کاملی در برآورد گازهای گلخانه‌ای، خصوصا در آمریکا و کانادا انجام شده است که گزارشات آن‌ها، به صورت منابع کامل و جامعی برای استفاده محققان فراهم شده در این قسمت ضمن اشاره‌ای به این تحقیقات، گزارش‌های آن‌ها نیز معرفی می‌گردد.

پژوهشگاه صنعت گاز آمریکا[۹۵] و سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا[۹۶]، در سال ۱۹۹۱ برای برآورد میزان نشر متان از صنعت گاز طبیعی آمریکا، تحقیقات کامل و فراگیری را شروع نمودند (EPA EIIP 199، GRI/EPA 1996). در این مطالعه تمامی انواع نشر بررسی شد، ولی ارزیابی‌های کمی فقط برای متان بوده و دی‌اکسید کربن را شامل نمی‌شود. پژوهشگاه گاز کانادا[۹۷] برای مشخص نمودن میزان نشر متان، در سال ۱۹۹۸ با انجام یک پروژه در کشور کانادا، منابع و میزان نشر گاز متان را برآورد و اندازه‌گیری نموده است (GRI 2001). در این پژوهش تخلیه و نشر متان مطالعه گردیده ولی دی‌اکسید کربن بررسی نشده است. بعد از اتمام این پژوهش، کتاب راهنمایی جهت تخمین نشر متان از سیستم گاز طبیعی کانادا منتشر شده که متخصصان از آن بهره‌مند گردند.

در ادامه پروژه قبلی، در سال ۱۹۹۹ پژوهشگاه گاز کانادا پروژه‌ای را انجام داد که در آن منابع نشر احتراقی که منجر به انتشار گاز دی‌اکسیدکربن نیز می‌شوند شناسایی و میزان نشر از آن‌ها برآورد شد (GRI 2001). در این

95 Gas Research Institute
96 Environmental Protection Agency
97 Gas Research Institute

تحقیق انتشار گازهای گلخانه‌ای از انتقال و توزیع محاسبه شده و علاوه بر آن، مونوکسید کربن، اکسیدهای نیتروژن، دی‌اکسید سولفور، ترکیبات آلی فرار، کل ترکیبات آلی و ذرات خاص نیز مورد مطالعه قرار گرفته است.

در این مطالعه ارزیابی نشرهای احتراقی در سه مرحله انجام شده است:

- ✓ تهیه فهرست منابع احتراق
- ✓ تعیین نوع، کیفیت و مقدار سوخت مصرفی در هر منبع
- ✓ ارزیابی کمی مقدار نشر، هدف از این منبع احتراق

موسسه نفت آمریکا[98] مطالعه جامع و گسترده‌ای را بر روی روش‌های مختلف تخمین و ارزیابی میزان نشر گازهای گلخانه‌ای انجام داده است که اولین گزارش آن در سال ۲۰۰۱ منتشر شد و نسخه به روز شده آن در سال ۲۰۰۹ در دسترس می‌باشد (API, 2009). هدف کلی این سند ترویج استفاده از روش‌های یکنواخت و استاندارد برای تخمین میزان انتشارات گلخانه‌ای از عملیات صنعت نفت و گاز است. در نتیجه در این سند تکنیک‌های محاسباتی و ضرایب انتشار لازم برای تخمین این انتشارات ارائه می‌شود. تمامی منابع نشر، تجهیزات و پارامترهای موثر بر میزان نشر در کل صنایع، مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته و ضرایب نشر و در نهایت نرخ نشر گازهای گلخانه‌ای سه‌گانه، بدست آمده‌اند و این مطالعه یکی از جامع‌ترین و مفصل‌ترین پژوهش‌های تجربی در زمینه برآورد نشر آلاینده‌های گلخانه‌ای محسوب می‌شود. نحوه استفاده از روش‌های تخمین انتشارات برای CO_2، CH_4، N_2O، HFCs، PFCs و SF_6 برای همه منابع انتشار مربوطه شامل منابع احتراقی، تخلیه‌ای و فرار در این سند آورده شده است.

راهنمای[99] API خلاصه‌ای مفید از API می‌باشد (در این منبع از سایر منابع مفید نیز استفاده شده است)، روش تخمین زدن مقادیر گازهای گلخانه‌ای را در حالت‌های فرار، احتراقی و تخلیه نشان می‌دهد (API, 2009). سازمان ملل در سال ۲۰۰۶ در زمینه گازهای گلخانه‌ای، راهنمایی جامعی را تهیه و ارایه نموده که در آن یکی از بزرگترین و جامع‌ترین فهرست‌های منابع انتشار گازهای گلخانه‌ای تهیه شده است. این سند با عنوان راهنمای فهرست گازهای گلخانه‌ای توسط پنل بین‌المللی در مورد تغییرات آب و هوا[100] (IPCC) که روش‌های تخمین موجودی انتشارات و جذب گازهای گلخانه‌ای در سطح ملی را ارائه می‌کند در پاسخ به درخواست کشورهای عضو کنوانسیون تغییرات آب و هوایی[101] تهیه شد (UNFCCC) است که به این کشورها در عمل به تعهدات مربوط به گزارش‌دهی موجودی انتشارات و جذب گازهای گلخانه‌ای کمک می‌کند (IPCC, 2006).

راهنمای API Compendium روش‌های تخمین انتشارات گازهای گلخانه‌ای در صنعت نفت و گاز را بررسی می‌کند، در حالی که این راهنما چگونگی کمی‌سازی و گزارش‌دهی این انتشارات گازهای گلخانه‌ای را نشان می‌دهد (IPIECA, 2011).

۲-۵-۲ بررسی انواع نشر

نشر متان از صنایع را می‌توان به سه نوع تقسیم‌بندی کرد:

98 American Petroleum Institute (API)
99 Compendium of Greenhouse Gas emissions Methodologies for the Oil and Gas Industry
100 Intergovermental Panel on Climate Change
101 United Nations Framework Convention on Climate Change

نشر احتراقی[۱۰۲] :گازهای گلخانه‌ای منتشر شده از تجهیزات احتراقی صنایع شیمیایی شامل دی‌اکسید کربن، مونواکسید کربن، منواکسید و دی‌اکسید نیتروژن، دی‌اکسید گوگرد و متان می‌باشند که نشر احتراقی متان ناشی از انتشار گاز در اثر احتراق ناقص گاز، در موتورها (توربین‌ها)، فلرها، برنرها و غیره می‌باشد.

منابع احتراقی شامل انتشارات حاصل از احتراق سوخت‌ها در بویلرها، کوره‌ها، موتورها، توربین‌ها و احتراق مواد زائد در زباله‌سوزها و فلرها می‌شود که بطور گسترده‌ای در صنایع نفت و گاز و پتروشیمی موجود می‌باشند. احتراق سوخت‌های حاوی کربن در این تجهیزات، به تشکیل دی‌اکسید کربن در اثر اکسیداسیون کربن منجر می‌شود. مقادیر بسیار کمی N_2O نیز ممکن است در طول احتراق و در اثر واکنش اکسیژن و نیتروژن تشکیل شود. متان نیز می‌تواند در اثر احتراق ناقص سوخت، در گازهای احتراق حضور داشته باشد (API, 2009).

کوره‌های فرآیندی: کوره‌ها تجهیزاتی هستند که برای افزایش دمای سیال‌های فرآیندی در واحدهای مختلف بکار می‌روند. در کوره‌ها معمولا گرمای ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی، به سیال گرم‌شونده منتقل می‌شود به طوری که از گرمای آزاد شده حداکثر بهره‌برداری صورت پذیرد. به بیان ساده کوره از محفظه‌ای عایق تشکیل شده که عمل احتراق سوخت، درون آن صورت گرفته و گرمای احتراق توسط لوله‌هایی که در دیواره و سقف کوره قرار دارند به سیال گرم شونده منتقل می‌گردد. در کوره‌های فرآیندی، ضمن احتراق سوخت و آزاد شدن انرژی، گازهای گلخانه‌ای تولید می‌گردد. در این تجهیزات گرمای حاصل از احتراق سوخت درون یک محفظه عایق، به سیال فرآیند که در لوله‌ها قرار دارد انتقال می‌یابد. این لوله‌ها معمولا در امتداد دیواره‌ها و سقف محفظه احتراق قرار دارند. انتقال حرارت عمدتا ابتدا به صورت تابشی (نزدیک به شعله برنر) و سپس جابجایی منتقل می‌شود.

کوره‌ها در فرآیندها از مهمترین مصرف‌کننده‌های سوخت می‌باشند و کاربرد مهم آن‌ها در گرم کردن سیال فرآیند است. در این تجهیزات مایعات یا گازها از درون یک سری لوله که در داخل کوره قرار گرفته و با شعله مستقیم مشعل‌ها گرم می‌شوند عبور می‌کنند. این مشعل‌ها ممکن است از سوخت‌های استانداردی مانند نفت کوره سبک و سنگین و گاز طبیعی و یا سوخت‌هایی که به عنوان محصول جانبی در یک واحد تولید می‌شوند استفاده نمایند. هدف از گرمایش سیال در کوره‌های فرآیندی بالا بردن دمای آن بمنظور فرآورش بیشتر در پایین‌دست جریان یا پیشبرد واکنش‌های شیمیایی در داخل لوله‌ها می‌باشد (API, 2009).

بویلر: بویلرها معمولا برای گرم کردن و یا جوشاندن آب مورد استفاده قرار می‌گیرند. اگر بویلر برای گرم کردن آب مورد استفاده قرار گیرد به آن بویلر آبگرم (دیگ آبگرم) گفته می‌شود و اگر برای جوشاندن آب و تولید بخار باشد به آن بویلر بخار (دیگ بخار) می‌گویند. طبقه‌بندی بویلرها معمولاً بر اساس طراحی و جهت سطوح انتقال حرارت، وضعیت قرار گرفتن مشعل‌ها و اندازه آن‌ها صورت می‌گیرد. اصولا بویلرها را بر اساس نوع کارکرد به دو دسته واترتیوپ[۱۰۳] (آب در لوله) و فایرتیوپ[۱۰۴] (آتش در لوله) تقسیم‌بندی می‌کنند. در هر دو تقسیم‌بندی حرارت از احتراق سوخت (معمولا توسط مشعل) توسط سه روش تابش، جابجایی و هدایت حرارت به سیال داده شده و سیال را گرم می‌کند.

102 Combustion
103 Watertube
104 Firetube

نشر تخلیه[۱۰۵]: آزادسازی تعمدی گاز به علت راه‌اندازی، خاموشی اضطراری، تحریک ابزارآلات کنترل نیوماتیکی، شرایط عملیاتی غیر مطلوب (مانند آسیب‌دیدگی خطوط لوله)، تخلیه گاز از PSVها، تزریق گاز و غیره نشر تخلیه نامیده می‌شود.

نشر فرار[۱۰۶]: این نوع نشر، اتلاف غیرتعمدی گاز از شیرها، پمپ‌ها، فلنج‌ها، اتصالات و دیگر سطوح نشت‌بندی-شده می‌باشد که نشت نیز نامیده می‌شود. این نشر معمولا پیوسته بوده و در حین عملیات نرمال قابل توجه است. در صورتیکه جریان‌هایی با غلظت بالای CO_2 یا CH_4 در بخش‌های مختلف یک واحد صنعتی وجود داشته باشد، این گازهای گلخانه‌ای نیز جزو انتشارات فرار آن واحد صنعتی خواهند بود. معمولاً انتشارات فرار در مقایسه با انتشارات احتراقی و فرآیندی ناچیز می‌باشند.

منابع غیر مستقیم: انتشارات غیرمستقیم به انتشاراتی گفته می‌شود که پیامد مصرف انرژی یک واحد صنعتی (حجم کنترل جهت محاسبه انتشارات آن) هستند ولی از منابعی که متعلق به یک بخش یا واحد صنعتی دیگر است منتشر می‌یابند. این دسته از انتشارات شامل انتشارات حاصل از مصرف سوخت برای تولید برق، بخار، گرمایش و سرمایش وارداتی یا خریداری‌شده از یک مجموعه دیگر می‌شود که انتشار حاصل از تولید آن، در بخش دیگری اتفاق افتاده ولی انرژی تولیدی (مانند برق شبکه) در حجم کنترل مورد نظر مصرف می‌گردد (API, 2009).

برآورد موجودی انتشار یک فرایند وابسته به زمان بوده و منعکس‌کننده شرایط در زمان برآورد موجودی می‌باشد. هنگامی‌که فرایند یا عملیات دچار تغییر می‌گردد، ضرایب انتشار ممکن است متفاوت شوند. یک جز ممکن است ضرایب انتشار یک تجهیز را تغییر دهد و منجر به تغییر مکانیسم‌های کنترل یا حذف انتشارات پیشین از طریق فعالیت‌های کاهش نشر گردد. البته مراجعی مانند AP-42 ضرایب انتشار را براساس داده‌های جدید اصلاح کرده‌اند. در صورت به روزرسانی موجودی انتشار، روش‌های تخمین ضریب انتشار و منابع آن‌ها باید با توجه به تغییرات بازبینی گردند تا از دقت کار اطمینان حاصل آید.

لازم است بیان شود که یک ضریب نشر، نشان‌دهنده میانگین میزان نشر یک منبع مشخص می‌باشد و عموماً به صورت جرم یا حجم انتشار بر نوع منبع یا فعالیت آن می‌باشد، به عنوان مثال: جهت تایید یا به روز رسانی ضرایب انتشار، مراجع تبدیل واحدهای مورد نیاز برای آن‌ها را ارائه می‌دهند. در راهنمای API Compendium ضرایب انتشار به صورت تن انتشارات در صورت کسر می‌باشد و مخرج کسر نیز به هر دو واحد SI و آمریکایی بیان می‌شود.

۲-۵-۳ روش‌های کاهش انتشار

جهت کاهش انتشار تجهیزات، روش‌های کاهش فلرینگ، افزایش راندمان انرژی، جذب CO_2 از گازهای خروجی از دودکش، بهینه‌سازی فرآیندها و ارتقاع تکنولوژی مورد توجه قرار می‌گیرند. لازم به توضیح است که این روش‌ها کلی می‌باشد و فقط از دید کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای مطرح شده است.

105 Vent
106 Fugitive

بهبود راندمان انرژی: تقاضای روز افزون انرژی در جهان و تامین بخش عمده آن از طریق سوخت‌های فسیلی، بخش انرژی را به اصلی‌ترین منبع انتشار گازهای گلخانه‌ای تبدیل ساخته است. بدیهی است کلیه اقداماتی که برآیند نهایی آنها کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی باشد، می‌تواند به عنوان روشی برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در بخش انرژی مطرح شوند. این اقدامات را می‌توان به دو دسته استفاده از انرژی‌های کم کربن (مانند انرژی‌های تجدیدپذیر یا سوزاندن سوخت‌های پاک مثل هیدروژن) و بهبود راندمان انرژی تقسیم کرد. اساساً عملیات‌های صورت گرفته در هر یک از زیربخش‌های انرژی (تبدیل، انتقال و مصرف انرژی) به صورت غیرایده‌آل بوده و با تلفات انرژی همراه است. بنابراین بحث بهبود راندمان انرژی در هر یک از این سه بخش مطرح است.

- ✓ الف) تبدیل انرژی: تبدیل انرژی توسط تجهیزات برقی، بخاری، مکانیکی و حرارتی صورت می‌گیرد. تجهیزات تبدیل انرژی معمولاً شامل توربین گاز، بویلر و کوره می‌شوند.
- ✓ ب) انتقال انرژی: کاهش تلفات انتقال برق و بخار اقداماتی هستند که می‌توانند برای بهبود راندمان در زمینه انتقال انرژی انجام شوند.
- ✓ ج) مصرف انرژی: بهبود راندمان در بخش مصرف انرژی به معنی کاهش مصرف برق یا بخار در تجهیزات مصرف‌کننده است. این کاهش مصرف می‌تواند از طریق روش‌های زیر حاصل شود:

کاهش مصرف انرژی از طریق بهبود و یا تغییرات عملیاتی و فرآیندی جایگزینی سیستم‌ها و تجهیزات مصرف کننده انرژی با سیستم‌ها و تجهیزات کم مصرف‌تر بدلیل سهم عمده بخش انرژی در انتشار دی‌اکسید کربن و همچنین به علت تنوع و تعدد سیستم‌های تبدیل، انتقال و مصرف انرژی در بخش‌های مختلف، بهبود راندمان انرژی یکی از زمینه‌های مورد علاقه در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای بوده و تا کنون پروژه‌های زیادی در این زمینه به مرحله اجرا رسیده است.

ارتقای تکنولوژی و تعویض تجهیزات: تعریف هر پروژه‌ای که همراه با بهسازی و نوسازی واحدها و ارتقای تکنولوژی تجهیزات و سیستم‌ها باشد و در نتیجه آن افزایش راندمان و یا کاهش مصرف سوخت و انرژی را در پی داشته باشد، در این دسته‌بندی قرار می‌گیرد. در این حالت تکنولوژی‌های با راندمان بالاتر و یا انتشار کمتر، سبب کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود.

استفاده از سیستم‌های کنترل الکترونیکی: امروزه در کوره‌ها، راندمان اهمیت زیادی دارد که این موضوع، در بویلرهای صنعتی از اهمیت بالاتری برخوردار است، همچنین علاوه بر توجه به افزایش راندمان، موارد بسیاری وجود دارد که طی چند سال گذشته استفاده‌کنندگان از سیستم‌های مکانیکی کنترل احتراق را مجبور به تغییر این سیستم با سیستم‌های کنترل الکترونیکی نموده است. چنین سیستم‌هایی امکان تنظیم دقیق نسبت هوا و سوخت با استفاده منحنی‌های الکترونیکی و امکان ایجاد روش‌های عملیاتی برای افزایش راندمان احتراق را که با استفاده از راهکارهای مکانیکی غیرممکن بود فراهم می‌سازد.

۲-۵-٤ محاسبه انتشارات احتراقی

۲-۵-٤-۱ روش‌های محاسبه ضرایب انتشار احتراقی

در این قسمت منابع انتشار احتراقی شامل منابع ثابت، فلرها و سایر منابع معرفی می‌گردند. روش ارائه شده قابل استفاده برای تمامی منابع احتراقی بر پایه سوخت فسیلی می‌باشد. دی‌اکسید کربن، متان و N_2O به عنوان محصول

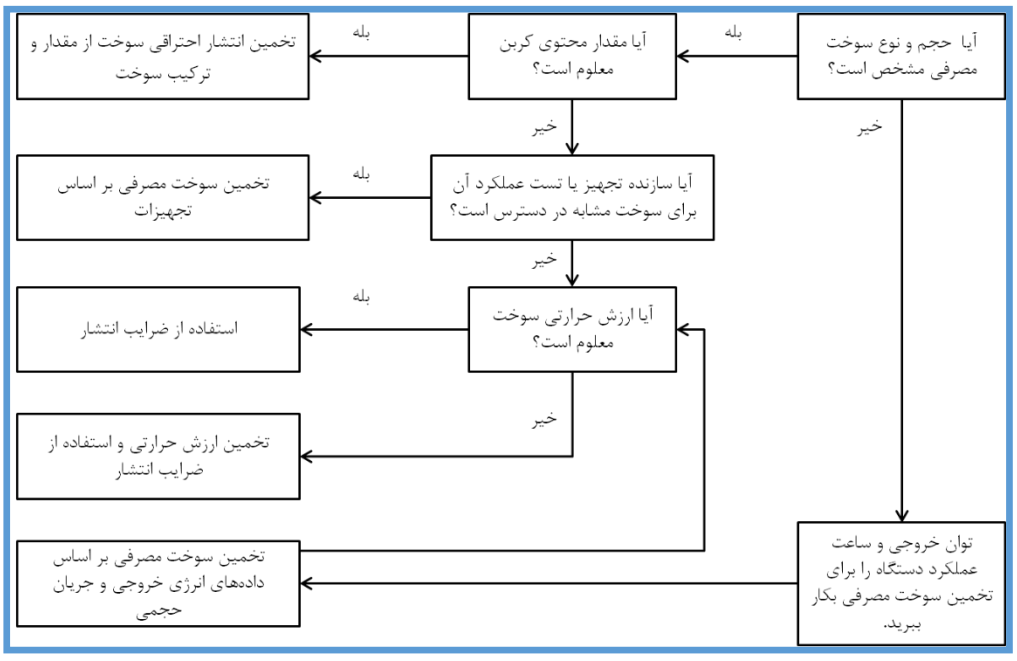
احتراقی تولید و منتشر می‌شوند. احتراق هیدروکربن‌ها به طور عمومی و با فرض احتراق کامل به صورت رابطه ۳۹ می‌باشد:

$$C_x H_y O_z + \left(x + \frac{y}{4} - \frac{z}{2}\right) O_2 \rightarrow (x) CO_2 + (\frac{y}{2}) H_2O \qquad (۳۹)$$

که x، y و z به ترتیب ضرایب استوکیومتری کربن، هیدروژن و اکسیژن می‌باشند. دی‌اکسید کربن از اکسیداسیون هیدروکربن‌ها در طی فرایند احتراق تولید می‌شود. تقریباً تمامی هیدروکربن‌ها بدون وابستگی به نوع سوخت و چیدمان مشعل به دی‌اکسید کربن تبدیل می‌شوند. متان حاصل از کامل نبودن احتراق است که به صورت متان نسوخته منتشر می‌شود. احتراق ناقص منجر به تولید مواد دیگری نظیر CO و ترکیبات فرار (VOCs) نیز می‌شود.

در صنایع پتروشیمی طی واکنش‌های پیچیده‌ای در خلال فرایند احتراق، گاز N_2O نیز حاصل می‌شود. نظر به اینکه تولید N_2O وابسته به شرایط مختلفی می‌باشد، تولید آن از واحدی به واحد دیگر و حتی با تغییر شرایط عملیاتی، دستخوش تغییر می‌گردد. به طور عمومی، شرایط مناسب برای تولید N_2O، جهت نشر متان نیز مناسب است و این نشر متان، تابع نوع سوخت و چیدمان احتراق می‌باشد. به طور کلی منابع انتشار CH_4 و N_2O بسیار کمتر از CO_2 می‌باشد.

از آنجاییکه منابع احتراق، بخش اعظمی از موجودی انتشار را دارند، دقت داده‌های استفاده شده در محاسبات ضروری است. شکل ۲-۱۲ درخت تصمیم‌گیری برای انتخاب روش محاسبه احتراق ثابت، جهت محاسبه انتشار CO_2 برای تمامی منابع احتراقی به غیر از فلرها را ارایه می‌دهد.



شکل ۲-۱۲. درخت تصمیم‌گیری برای انتخاب روش محاسبه احتراق ثابت جهت محاسبه انتشار CO_2 برای تمامی منابع احتراقی به غیر از فلرها

اولین روش در مورد انتشار CO_2، بر پایه برنامه اندازه‌گیری شدت جریان جرمی یا حجمی مصرف سوخت و ترکیب یا محتوای کربن آن می‌باشد. اگر چنین اقداماتی مقدور نبود، داده‌های سازنده، تست تجهیز یا ضریب انتشار ارایه شده به عنوان روش تخمینی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

ضرایب انتشار CO_2 به صورت تن بر مقدار سوخت مصرفی یا تن بر میزان انرژی مصرفی یک سوخت مشخص می‌باشند و برای تخمین انتشار CO_2 مناسب است زیرا از تکنولوژی احتراق مستقل است.

انتشار متان با استفاده از ضرایب انتشار موجود (API, 2009) تخمین زده می‌شود که ترکیبی از یک سوخت پیش فرض و بازده تقریبی متان بر پایه نوع تجهیز است.

ضرایب انتشار موجود برای تخمین N_2O از منابع احتراقی نیز موجود می‌باشند. در صورت وجود، ضرایب انتشار متوسط N_2O بر پایه گزارش تست عملکرد منابع احتراقی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در صورتی که ضرایب انتشار سازنده برای N_2O موجود باشد، برای تخمین مناسب است.

۲-۵-٤-۲ تخمین انتشار احتراقی سوخت از مقدار و ترکیب سوخت

در این بخش انتشار CO_2 به واسطه احتراق سوخت تخمین زده می‌شود. روش موازنه جرم بر پایه داده‌های سوخت مصرفی و آنالیز سوخت هیدروکربنی قابل اطمینان‌ترین روش تخمین انتشارات از منابع احتراقی ثابت می‌باشد. محتوای کربن مخلوط سوخت، میانگین وزنی محتوای کربن هر جز است. این مقدار ابتدا به محاسبه درصد وزنی کربن هر جز سوخت می‌پردازد و در ادامه با ضرب وزن مولکولی کربن در تعداد مول‌های کربن و تقسیم بر وزن مولکولی ترکیب مطابق رابطه ۴۰ تکمیل می‌شود.

$$\mathrm{Wt\%C_{c_j}} = \frac{\frac{12\ \mathrm{lbC}}{\mathrm{lb\ mole\ C}} \times \frac{\mathrm{lb\ mole\ C}}{\mathrm{lb\ mole\ C_j}}}{\mathrm{MW_{C_j}}\left(\frac{\mathrm{lb}}{\mathrm{lb\ mole}}\right)} \times 100\% \qquad (۴۰)$$

که Wt%Ccj، j، 12، X و MWCxY به ترتیب محتوای کربن جز هیدروکربنی بر پایه درصد جرمی، هیدروکربن، ضریب استوکیومتری کربن و وزن مولکولی هیدروکربن می‌باشد.

محتوای کربن مخلوط سوخت با رابطه ۴۱ محاسبه می‌شود:

$$Wt\%C_{mixture} = \frac{1}{100} \sum_{i=1}^{\#components} (Wt\%_i \times Wt\%C_i) \qquad (۴۱)$$

که Wt%Cmixture، Wt%i و Wt%Ci به ترتیب محتوای کربن مخلوط بر پایه جرمی، ضریب وزنی درصد جز i و محتوای کربن جز i محاسبه شده از رابطه ۴۰ می‌باشد. در API Compendium فرض می‌گردد که احتراق به صورت کامل انجام شده است و تمامی کربن‌ها به صورت دی‌اکسید کربن منتشر شده‌اند. این فرض برای اکثر منابع احتراقی به غیر از فلرها به کار می‌رود.

علاوه بر تخمین انتشارات CO_2 بر اساس اکسیداسیون ۱۰۰٪ کربن، API Compendium انتشار CH4 از منبع احتراقی را بر اساس ضرایب انتشار تخمین می‌زند. این روش برای پتانسیل انتشار متان به کار می‌آید که ممکن است قبل از اکسیداسیون کامل به CO_2 در اتمسفر، موجود باشد. انتشارات CO_2 به روش موازنه جرم محاسبه می‌گردد. برای احتراق سوخت‌های گازی در اکسیداسیون ۱۰۰٪ رابطه ۴۲ استفاده می‌شود:

$$E_{CO_2} = FC \times \frac{1}{molar\ volume\ conversion} \times MW_{mixture} \times Wt\%C_{mixture} \times \frac{44}{12} \qquad (۴۲)$$

در خصوص سوخت مایع رابطه ۴۳ استفاده می‌شود.

$$E_{CO_2} = FC \times D \times Wt\%C_{mixture} \times \frac{44}{12} \quad (۴۳)$$

و برای سوخت جامد رابطه ۴۴ ارایه شده است.

$$E_{CO_2} = FC \times Wt\%C_{mixture} \times \frac{44}{12} \quad (۴۴)$$

روش‌های تخمین انتشارات غیر مستقیم: انتشارات غیرمستقیم به انتشاراتی اطلاق می‌شود که از منابع خارج از واحد صنعتی یا مجتمع باشد ولی از انرژی آن در داخل مجتمع استفاده شده باشد. دی‌اکسید کربن، CH_4 و N_2O منتشر شده جهت تولید الکتریسیته یا حرارت، بخار و آب خنک‌کننده، از این دسته می‌باشند. برای برآورد کاهش انتشار آلاینده‌های حاصل از اجرای این پروژه، از ضرایب انتشار جهانی مرجع AP-42 استفاده می‌گردد (AP-42, 2009)

جدول ۲-۱۴ ضرایب انتشار آلاینده‌ها در فرآیند احتراق با سوخت گاز طبیعی

VOCs	PM	CO	NO_x	
83.24	115.03	1271.35	4237.84	**کیلوگرم در میلیون نرمال متر مکعب سوخت گازی**

انتشار فرار و تخلیه‌ای گازهای گلخانه‌ای: برای محاسبه انتشارات فرار و تخلیه‌ای حاصل از نشتی تجهیزات می‌توان از ضرایب انتشار، محاسبات مهندسی، پایش و ارایه ضرایب انتشار برای محاسبه مقادیر نشر، بسته به شرایط استفاده نمود که با توجه به ماهیت این گونه انتشارات در صنایع شیمیایی بسیار ناچیز است.

۲-۵-٤-۳ برآورد میزان کاهش انتشار

گازهای گلخانه‌ای باعث باقی ماندن کسری از انرژی خورشیدی رسیده به زمین در داخل جو می‌شوند (GRI, 2001). گازهایی که اثر گلخانه‌ای دارند و با اجرای ایده‌های مطرح شده می‌توانند کاهش یابند، دی‌اکسیدکربن، اکسید نیتروس و متان می‌باشند. قدرت جذب امواج فروسرخ توسط هر یک از گازهای گلخانه‌ای با هم متفاوت است. در نتیجه میزان تاثیر آنها در پدیده گلخانه‌ای متفاوت خواهد بود. این قدرت جذب امواج فروسرخ را با پارامتری به نام پتانسیل گرمایش جهانی (Global Warming Potential-GWP) نشان می‌دهند. مقدار این پارامتر برای دی‌اکسیدکربن برابر واحد قرار داده شده و GWP سایر گازها نسبت به دی‌اکسیدکربن سنجیده می‌شود. به عنوان مثال، با توجه به اینکه GWP متان برابر ۲۵ می‌باشد، یک تن متان اثری معادل ۲۵ تن CO_2 در پدیده گرمایش زمین خواهد داشت که این ضریب برای اکسید نیتروس (N_2O) عدد ۲۹۸ می‌باشد. برای سادگی، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای با توجه به GWP آنها به معادل CO_2 تبدیل شده و گزارش می‌گردد همچنین آلاینده‌های هوا نیز شامل ناکس‌ها (NOx)، مونوکسید کربن، ذرات معلق و VOCها می‌باشند.

ایده‌های قابل اجرای پیشنهادی برای مدیریت پسماند مایع موجود در پتروشیمی اروند شامل موارد ذیل می‌باشد.

- ✓ امحاء پسماند در زباله سوزهای پیشرفته به جای زباله سوز موجود در مجتمع
- ✓ امحاء مازاد پسماند در زباله سوز پیشرفته و حفظ زباله سوز موجود
- ✓ تقطیر جزء به جزء پسماند و جداسازی اجزاء قابل فروش و ارسال باقیمانده پسماند به زباله سوز

- ✓ تقطیر جزء به جزء پسماند و جداسازی اجزاء قابل فروش و ارسال باقیمانده پسماند به کوره پیرولیز جهت تولید نانوساختارهای کربنی

- در جدول ۲-۱۵ نیز میزان انتشار الاینده های زباله سوز جدید ارائه شده که همانطور که مشاهده می‌گردد میزان انتشار کلیه آلاینده ها بسیار ناچیز می‌باشد و حتی بسیار ناچیزتر از استاندارد اروپایی -2000/76/EC 4/12/2000 ادعا شده است.

جدول ۲-۱۵ میزان انتشار آلاینده های زباله سوز جدید (ارائه شده توسط شرکت سازنده)

European standard Directive 2000/76/EC-4/12/2000	**ATI ENVIRONNEMENT H.P**	**نوع آلاینده**
10 mg/Nm^3	<1.0 mg / Nm^3	Dust particles
10 mg/Nm^3	<1.136 mg / Nm^3	HCl
50 mg/Nm^3	3.2 mg / Nm^3	CO
0.1 ngTEQ / Nm^3	0.014 ngTEQ / Nm^3	Dioxine & Furane
50 mg / Nm^3	<1.798 mg / Nm^3	SO_2
400 mg / Nm^3 (< 3 t/hr)	207.5 mg / Nm^3 (< 3 t / hr)	NO_x

در هرکدام از سناریوهای مطرح شده میزان انتشارات گلخانه‌ای و آلاینده‌ها محاسبه گردید. برآورد دقیق ضرایب استوکیومتری از طریق آنالیز واکنشهای احتراقی هر یک از اجزاء موجود در پسماند مایع انجام شد که با استفاده از این ضرایب مقادیر انتشار آلاینده‌های و گازهای گلخانه‌ای محاسبه شده است که نتایج آن درجدول جدول ۲-۱۶ ارایه شده است.

جدول ۲-۱۶. میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلاینده‌ها

میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در سال						
	CO_2	**CH_4**		**N_2O**		**مجموع**
	ton CO_2	ton CH_4	ton CO_2e	ton N_2O	ton CO_2e	ton CO_2e
Existing condition	10677.1222	0.3947	11.0526	0.0395	11.7631	10699.9380
Chloroform Production	8622.1192	0.2699	7.5578	0.0270	8.0437	8637.7207

Chloroform + C Production	5962.8125	0.2206	6.1767	0.0221	6.5738	5975.5629
Incineration based on 2 HP	0	0	0	0	0	0
Incineration based on 1 HP	3736.9928	0.2566	7.1842	0.0257	7.6460	3751.8230

میزان انتشارات سایر آلاینده‌ها در سال

	NOx (kg)	**CO (kg)**	**PM (kg)**	**VOCs (kg)**	**(ton)**
Existing condition	30.9081	9.2724	0.8390	0.6071	0.0416
Chloroform Production	312.3979	93.7192	8.4796	6.1361	0.4207
Chloroform + C Production	638.2488	191.4743	17.3243	12.5365	0.8596
Incineration based on 2 HP	0	0	0	0	0
Incineration based on 1 HP	15.4541	4.6362	0.4195	0.3035	0.0208

با توجه به اینکه در سناریوهای مربوط به تقطیر جزء به جزء بخشی از کربن تبدیل شده است، بتبع میزان انتشار گازهای گلخانه ای بترتیب در حالت موجود بیشترین و سپس حالت تولید کلروفرم به تنهایی و کمترین میزان انتشار مربوط به تولید همزمان کربن و کلروفورم می‌باشد.

از آنجائیکه میزان انتشار سایر آلاینده ها غیر از گازهای گلخانه ای عبارت است از حجم گاز مصرفی در ضرائب انتشار آلاینده ها، مطابق با جدول ملاحظه می‌شود مقادیر انتشارات سایر آلاینده ها مربوط به راهکار تولید کلروفرم بیشتر از شرایط موجود می‌باشد. زیرا پس از جداسازی کلروفرم شرایط پسماند به گونه‌ای تغییر می کند که دانسیته آن سبکتر و در نتیجه حجم واحد جرم آن افزایش یافته است. و در حالت تولید کربن و کلروفروم بدلیل مصرف گاز سوخت باز هم میزان نشر آلاینده ها افزایش بیشتری یافته است.

۲-۵-٤-٤ مفهوم تجارت انتشار

الزام به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای از یک طرف و تفاوت در هزینه‌های این کاهش از طرف دیگر باعث به‌وجودآمدن بازاری تحت عنوان تجارت انتشار شده است. این تکلیف یا تعهد می‌تواند در سطح ملی یا بین‌المللی برقرار شود که در این صورت برای انتشار گازهای گلخانه‌ای سقفی معین شده و کارخانجات و مؤسسات تولیدی ملزم به کنترل میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در آن سقف و عدم تجاوز از آن می‌شوند. رعایت این تعهد مستلزم نصب تجهیزات جدید، تغییر در سوخت مصرفی، استفاده از فناوری‌های پیشرفته و سایر تغییرات فنی است که خود باعث

افزایش هزینه‌های تولید می‌شود. از طرف دیگر زمانی که هزینه‌های انجام کاری بین اشخاص، شرکت‌ها و یا مناطق مختلف متفاوت باشد، تجارت دارای صرفه‌ی اقتصادی بوده و منجر به کاهش هزینه‌ها خواهد شد.

با توجه به اینکه گازهای گلخانه‌ای برای دهه‌ها و سده‌ها در جو باقی خواهد ماند و اثر گرمایش جهانی خواهد داشت، کنترل میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در هر نقطه از جهان می‌تواند سبب کاهش اثرات زیانبار آن شود[۱۰۷]. بنابراین در بازار تجارت انتشار، به جای اینکه یک شرکت، کارخانه یا کشور خود راساً اقدام به کاهش انتشار در مرز خود بکند که هزینه بیشتری به او تحمیل می‌شود، میتواند با خرید اعتبار حاصل از کاهش انتشار سایر شرکت‌ها یا کشورها که دارای مزیت نسبی در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای هستند، به تعهدات خود عمل کرده باشد. مثلاً زمانی که برای شرکت "الف" کاهش انتشار دارای هزینه نهایی بالایی نسبت به شرکت "ب" است، در این صورت صرفه اقتصادی با آن است که شرکت "الف" هزینه کاهش انتشار شرکت "ب" را بپردازد تا آن شرکت هم به تعهدات خود عمل کند و هم بار کاهش انتشار شرکت "الف" را به دوش بکشد. مبلغِ صرفه‌جویی‌شده (مثلاً در اثر کاهش مصرف حامل‌های انرژی) نیز می‌تواند بین طرفین توزیع گردد تا هر دو از آن منتفع گردند. بنابراین تجارت انتشار به فرآیندی گفته می‌شود که بر اساس آن اعتبار حاصله از کاهش انتشار مازاد بر تعهدات می‌تواند در بازار فروخته شود. قیمت این اعتبار -که به آن قیمت کربن نیز گفته می‌شود- بر مبنای عرضه و تقاضای بازار تعیین می‌شود و به میزان هزینه‌بر بودن کاهش انتشار در دو طرف بازار بستگی دارد.

در سطح بین‌المللی تجارت انتشار نخستین بار در پروتکل کیوتو و بعد از آن در توافق پاریس مطرح شد. بطور کلی هزینه‌های کاهش انتشار برای کشورهای پیشرفته بیشتر از کشورهای درحال توسعه است. دلیل آن این است که کم هزینه‌ترین اقدامات برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای راهکارهای بهره‌وری انرژی هستند که دارای منافع جانبی کاهش هزینه‌ها، صیانت از منابع و کاهش آلودگی هوا نیز هستند و کشورهای پیشرفته دارای بهره‌وری انرژی بالا و شدت انرژی پایین هستند. ژاپن در سند مشارکت ملی (NDC) خود به صراحت اعلام کرده که از آنجاییکه این کشور بیشترین بهره‌وری انرژی را در صنایع آهن و فولاد و سیمان در تمام دنیا داراست، تمایل زیادی برای ایجاد بازارهای تجارت انتشار و پیوستن به بازارهای تجارت انتشار بین‌المللی دارد.

- **مزایای سیستم تجارت انتشار**

۱- اثربخشی در حفاظت از محیط زیست: شواهد به دست آمده از سیستم های موجود نشان می دهد که سیاست ETS باعث کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای شده است، حتی در صورت درنظرگرفتن عوامل خارجی. تخمین‌ها نشان می‌دهد که در فاز اول اجرای سیستم ETS اروپا، ۳ درصد از کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای وابسته به این سیستم بوده است. در آغاز فاز دوم (۲۰۰۸-۲۰۱۰) که این سیاست در بیشترین میزان نفوذ خود بود، شرکت‌های تحت پوشش در آلمان انتشار را ۲۵ تا ۲۸ درصد بیشتر از شرکت‌های غیرتحت‌پوشش مشابه کاهش دادند. برای ایالات تحت پوشش RGGI در آمریکا، نتایج مدل‌سازی نشان می‌دهد که در غیاب سیستم ETS انتشارات ۲۴ درصد بیشتر می‌بود. بخش زیادی از کاهش انتشار ۲۶ درصدی تحت ETS توکیو به عملیاتی شدن این سیستم وابسته است. کشورها و مناطق اجراکننده ETS با هدف اتخاذ محدودیت‌های فزاینده و معتبر مطابق با اهداف ملی تغییر اقلیم، مسیر کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای را در میان‌مدت تا بلندمدت تسهیل می‌کنند.

[۱۰۷] از این نظر گازهای گلخانه‌ای تفاوت اساسی با گازهای آلاینده هوا دارند که بصورت نقطه‌ای و کوتاه‌مدت بر کیفیت هوا اثر می‌گذارند.

۲- صرفه اقتصادی: ETS مقرون‌به‌صرفه‌ترین کاهش انتشار را به ارمغان می آورد. در کشورهای OECD، مطالعات ETS را به عنوان یک گزینه کاهش بسیار مقرون‌به‌صرفه تعیین کرده‌اند. مطالعات OECD نشان می‌دهد که در مقایسه با سایر ابزارها، ETS (و مالیات بر کربن) کمترین هزینه را به ازای هر تن کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای ایجاد می‌کند. ETS به شرکت‌ها این امکان را می‌دهد که مکان و زمان کاهش انتشار را انتخاب کنند که از این منظر رویکردی منعطف است. طبعاً در ابتدا ارزان‌ترین گزینه‌های کاهش انتشار برای اقدام انتخاب می‌شوند. علاوه بر این، شرکت‌های تحت‌پوشش می‌توانند انتشار گازهای گلخانه‌ای را در زمانی که مقرون‌به‌صرفه‌تر باشد کاهش دهند. علاوه بر این، سیگنالِ قیمتِ ایجادشده از طریق یک ETS به طور خودکار با شرایط متغیر اقتصادی تطبیق می‌یابد. هزینه کاهش انتشار در زمان رکود اقتصادی ارزان‌تر و در دوره‌های رشد گران‌تر می‌شود.

۳- اقتصاد کم‌کربن: ETS توسعه‌ی کم‌کربن را تشویق می‌کند و انتشار گازهای گلخانه‌ای را از رشد اقتصادی جدا می کند. به عنوان مثال، شدت انتشار کربن اقتصاد کالیفرنیا از زمان اوج خود در سال ۲۰۰۱، ۳۳ درصد کاهش یافته است در حالی که در طول مدت مشابه اقتصاد این ایالت ۳۷ درصد رشد کرده‌است. از سال ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۵، انتشار گازهای گلخانه‌ای در این ایالت به طور پیوسته کاهش یافته در حالی که تولید ناخالص داخلی، جمعیت و اشتغال افزایش یافته است.

۴- افزایش اختراعات و نوآوری سبز: تعیین قیمت کربن در ETS شرایط بازار را به نفع فرآیندها، محصولات و فناوری‌های تولید کم‌کربن تغییر می‌دهد و انگیزه‌ای برای نوآوری ایجاد می‌کند. شواهد نشان می‌دهد که ETS به استقرار فناوری کم‌کربن آماده بازار و همچنین نوآوری‌های تکنولوژیکی نزدیک به بازار کمک می‌کند. برای مثال، تحقیقات نشان می‌دهد که از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۷، ETS اتحادیه اروپا محرک اصلی برای سرمایه‌گذاری‌های در مقیاس کوچک با زمان‌های استهلاک کوتاه در شرکت‌های تحت پوشش در آلمان بوده است. بر اساس تحقیقات، ETS اتحادیه اروپا اختراعات کم‌کربن شرکت‌های تحت‌پوشش این سیستم را در مقایسه با شرکت‌های مشابه دیگر، ۱۰ درصد افزایش داده است.

۵- ایجاد درآمد برای دولت‌ها: ETS از طریق کمک‌هزینه‌های مزایده می‌تواند یک منبع اضافی درآمد دولتی ایجاد کند، که بعدا میتواند برای سرمایه‌گذاری در اقدامات اقلیمی بیشتر، کاهش سایر مالیات‌ها، یا جبران خسارت خانوارهای کم‌درآمد یا گروه‌های تحت‌تأثیر نامطلوب استفاده شود. تا پایان سال ۲۰۱۷، کشورها و مناطق تحت پوشش ETS های مختلف نزدیک به ۳۵ میلیارد دلار جمع آوری کرده‌اند. این رقم با افزایش پوشش ETS و کاهش سقف انتشار افزایش می‌یابد. همچنین سیستم ثبت مجوزها در بازار این امکان را می‌دهد که صنایع دارای پتانسیل کاهش انتشار شناسایی شده و هدفگذاری‌ها بصورت مؤثرتری دنبال شود. بعنوان مثال در پروژه‌های مکانیزم توسعه پاک به ازای هر یک تن کاهش انتشار معادل دی‌اکسید کربن، یک گواهی کاهش انتشار یا CER برای صاحبان پروژه صادر می‌شود. فروش این گواهی‌های کاهش انتشار درآمد پروژه و در نتیجه نرخ برگشت سرمایه را افزایش می‌دهد. قیمت فروش گواهی کاهش انتشار در حال حاضر ۰/۴۵ دلار می‌باشد[۱۰۸و۱۰۹].

[108] https://www.quandl.com/collections/futures/ice-cer-emissions-futures
[109] http://www.barchart.com/quotes/futures/cqz15

با این رویکرد در حال حاضر هر گواهی کربن مستقل از هزینه‌های جاری مربوط به پروژه مکانیزم توسعه پاک حدود ۰/۴۵ دلار (قیمت خالص که هزینه‌های جاری از آن کسر شده است) ارزش مالی دارد که هر ساله جهت پایش و صحه‌گذاری سالانه باید حداقل حدود ۳۰۰۰ دلار هزینه شود و هزینه ثابت هر پروژه نیز حدود ۴۵۰۰۰ دلار به همراه هزینه ثبت پروژه در دبیرخانه کنوانسیون برآورد می‌باشد.

هزینه‌های محیط زیستی: واضح است که آلاینده‌ها اثرات فراوانی بر سلامتی انسان و محیط زیست دارند که هزینه‌های زیادی را بر زندگی تحمیل می‌نماید.

جدول ۲-۱۷. هزینه‌های آسیب آلاینده‌های مختلف در ایران (ShafiePour, 2009).

	Item	Unit	High	Medium	Low
1	NO_x	USD/ton	1200	600	300
2	CO		376	188	94
3	PM		8600	4300	2150
4	CO_2		80	10	3

در مطالعه‌ای که توسط بانک جهانی و سازمان محیط زیست ایران انجام گرفته از ارقام مربوط به هزینه‌های آسیب در سایر کشورها به عنوان مبنایی برای محاسبه این هزینه‌ها در ایران استفاده شده است. در این مطالعه با لحاظ کردن شرایط کشور ایران (مانند تولید ناخالص داخلی، ارزش زندگی و غیره) و کالیبره کردن هزینه‌های آسیب بدست آمده در سایر کشورها، هزینه‌های آسیب برای آلاینده‌های NOx، CO، CO_2 و PM در ایران بدست آمده است. جدول ۲-۱۶ مقادیر هزینه‌های آسیب آلاینده‌ها را در سه سطح نشان می‌دهد (ShafiePour, 2009).

۲-۶ اولویت بندی و انتخاب بهینه ترین روش

با توجه به نتایج اقتصادی و میزان آلایندگی هر یک از راه حل‌های پیشنهادی در فصل‌های گذشته جدول ۲-۱۸ تنظیم شده است.

جدول ۲-۱۸. نتایج اقتصادی و میزان آلایندگی سناریوهای پیشنهادی

Items	Fixed Capital Investment ($)	Annual Benefit ($)	IRR (%)	Payback (Year)	GHG Production (Ton CO2e)	Emission Pollution Production (Ton)
Chloroform Production	1848000	1577660	85.4	1.17	8637.72	0.421
Chloroform + C Production	2148000	3204677	149.2	0.67	5975.56	0.859

Existing Condition	---	---	---	---	10699.94	0.0416
Incineration based on 2 HP	8352960	1700190	19.8	4.91	0	0
Incineration based on 1 HP	4176480	1820482	43.6	2.29	3751.823	0.0208

با توجه به نتایج بدست آمده بنظر می‌رسد که سناریوی استفاده از زباله سوز با راندمان بالا با حفظ زباله سوز موجود اولویت اول باشد زیرا بجز منافع زیست محیطی، دارای منافع اقتصادی مناسبی است. همچنین نمایندگی واردات این محصول در کشور وجود دارد و نکته مهم بعدی این است که مجتمع کمترین نیاز به تغییر در عملیات را دارد. البته سناریوهای مربوط به تقطیر جزء به جزء نیز بلحاظ اقتصادی بسیار جذاب می‌باشند و تولید محصولات با ارزش افزوده را برای مجتمع بدنبال دارد اما نیازمند ایجاد واحدهای عملیاتی جدید می باشد.

مراجع

Al-Hajri, R., Chadwick, D., 2010. Single-stage oxychlorination of ethanol to ethylene dichloride using a dual-catalyst bed. Appl. Catal. A: Gen. 388, 96-101.

Allen, J.A., Clark, A.J., 1971. Review of Pure and Applied Chemistry. Royal Australian Chemical Institute.

AP-42, U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Compilation of Air Pollutant Emission Factors, Volume I: Stationary Point and Area Sources, AP-42, US EPA Office of Air Quality Planning and Standard, 2009.

API, Compendium of Greenhouse Gas Emissions Methodologies for the Oil and Natural Gas Industry, American petroleum institute, August 2009. http://www.api.org/ environment-health-and-safety/climate-change/whats-new/compendium-ghg-methodologies-oil-and-gas-industry

Araneo, S., Arrigoni, R., Bjøsyik, H.-R., Fontana, F., Liguori, L., Minisci, F., Recupero, F., 1996. New free-radical chain processes involving substitution of vinyl and aryl chlorides by alkanes, alkenes, esters and ethers. Tretrahedron Lett. 37, 6897-6900.

Bae, J.W., Lee, J.S., Lee, K.H., Lee, B., Yang, D.J., 2001. A novel method of CCl4 disposal by disproportionation with CH4 over Pt on various supports. Chem Lett 3, 264-265.

Beesley, T.E., Buglio, B., Scott, R.P.W., 2001. Quantitative Chromatographic Analysis. Marcel Dekker INC, New York, Basel.

Berkowitz S., Meadow M., 1970. Oxychlorination process for preparing trichloroethylene and tetrachloroethylene. US3527819A.

Borruso, A.V., 2006. CEH Product Review. In: Vinyl Chloride Monomer (VCM), Chemical Economics Handbook. SRI Consulting, Zürich.

Conte, M., Carley, A.F., Heirene, C., Willock, D.J., Johnston, P., Herzing, A.A., Kiely, C.J., Hutchings, G.J., 2007. Hydrochlorination of acetylene using a supported gold catalyst: a study of the reaction mechanism. J. Catal. 250, 231-239.

Cowfer, J.A., Magistro, A.J., 1983. Vinyl chloride and poly(vinyl chloride). Kirk Othmer Encycl 23, 865.

Ding, J., Hua, W., Zhang, H., Lou, Y., 2013. The development and application of two chlorine recycling technologies in polyurethane industry. J. Cleaner Prod. 41, 97-104.

EPA EIIP 1999 - EIIP, Guidance for Emissions Inventory Development, Volume II: Estimating Greenhouse Gas Emissions, EIIP Greenhouse Gas Committee, October 1999.

GRI 2001 - Gas Research Institute (GRI) “GRI GHGCalc Version 1.0 Emission Factor Documentation”, July 2001 and GRI-GHGCalc 1.21 Greenhouse Emissions Calculation Software.

GRI/EPA 1996 - GRI/EPA Reports, “Methane Emissions from the Natural Gas Industry”, June 1996.

Hazel, R.H., 1989. Solving hazardous waste problems in Missouri using the EPA mobile incinerator. Chemosphere 19, 557-560.

Hung, S.L., Pfefferle, L.D., 1989. Methyl chloride and methylene chloride incineration in a catalytically stabilized thermal combustor. Environ. Sci. Technol. 23, 1085-1091.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Greenhouse Gas Inventory Reference Manual: 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, United Nations, http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/

Kurta, S.A., Volinsky A.A., Kurta M.S., 2013. Environmentally-friendly organochlorine waste processing and recycling. J. Clean. Prod. 54, 150-156.

Kurta, S.A., 2011. Investigating active centers of industrial catalysts for the oxidative chlorination of ethylene on a g_Al2O3 surface. Catal. Ind. 3, 136e143. (Russia).

Kurta, S.A., Mykytyn, I.M., Pronik, A.D., Ukraine Patent No. 24,933. Ukrainian Institute of Industrial Property, Kyiv, 2006, (Ukraine).

Kurta, S.A., Zakarzhevsky, A., Kurta, M., 2007. Utilization of the chlororganic waste by method of their catalytic copolymerization. Polimery (Poland) 1, 51-55 (in English).

Kurta, S.A., Zakarzhevsky, A., Kurta, O., Voronych, O., Ivanyshak, N., 2009. Polycondensation of sulfid containing and chlororganic waste at the surface interface. Phys. Chem. Solids 3, 696-701. (Ukraine).

Kurta, M.S., 2012. Environmental and Energy Saving Technologies of Vinyl Chloride Production (M.S. thesis). University of South Florida, Tampa.

Lakshmanan, A., Rooney, W.C., Biegler, L.T., 1999. A case study for reactor network synthesis: the vinyl chloride process. Comput. Chem. Eng. 23, 479-495.

Lamberti, C., Prestipino, C., Capello, L., Bordiga, S., Zecchina, A., Spoto, G., Diaz Moreno, S., Marsella, A., Cremaschi, B., Garilli, M., Vidotto, S., Leofanti, G., 2001. The CuCl2/Al2O3 catalyst investigated in interaction with reagents. Int. J. Mol. Sci. 2, 230-245.

Manning, M.P., 1984. Fluid bed catalytic oxidation: an underdeveloped hazardous waste disposal technology. J. Hazard. Waste 1, 41-65.

McPherson, R.W., Starks, C.M., Fryar, G.J., 1979. Vinyl chloride monomer. what you should know. Hydrocarb. Process. 75, 75-85.

Mitoma, Y., Nagashima, S., Simion, S., Simion, A.M., Yamada, Y., Mimura, K., Ishimoto, K., Tashiro, M., 2001. Dehalogenation of aromatic halides using metallic calcium in ethanol. Environ. Sci. Technol. 35, 4145-4148.

Naworski, J.S., Evil, E.S., 1983. Applied Industrial Catalysis. Academic Press, New York.

Papp, R., 1996. Organochlorine waste management. Pure Appl. Chem. 68, 1801-1808.

Ramachandran, V.S., Paroli, R.M., Beaudoin, J.J., Delgado A.H., 2002, 13 Introduction to Organic Construction Materials, Handbook of Thermal Analysis of Construction Materials. Institute for Research in Construction National Research Council of Canada Ottawa, Ontario, Canada, pp. 531-577.

ShafiePour, M., Ardestani, M., Sarraf, M., Fuels Price Structuring; A Tool for Integration of Environmental Concerns into Energy Sector, Int. J. Environ. Res., 1(4): 358-367, 2007.

The United Nations Environment Programme, 2001. International Environmental Governance: Multilateral Environmental Agreements. <www.gdrc.org/uem/ mea/un-mea-full.pdf> (accessed 02.10.13.).

Thornton, J., 2002. Environmental Impacts of Polyvinyl Chloride Building Materials. Healthy Building Network, Washington, D.C.

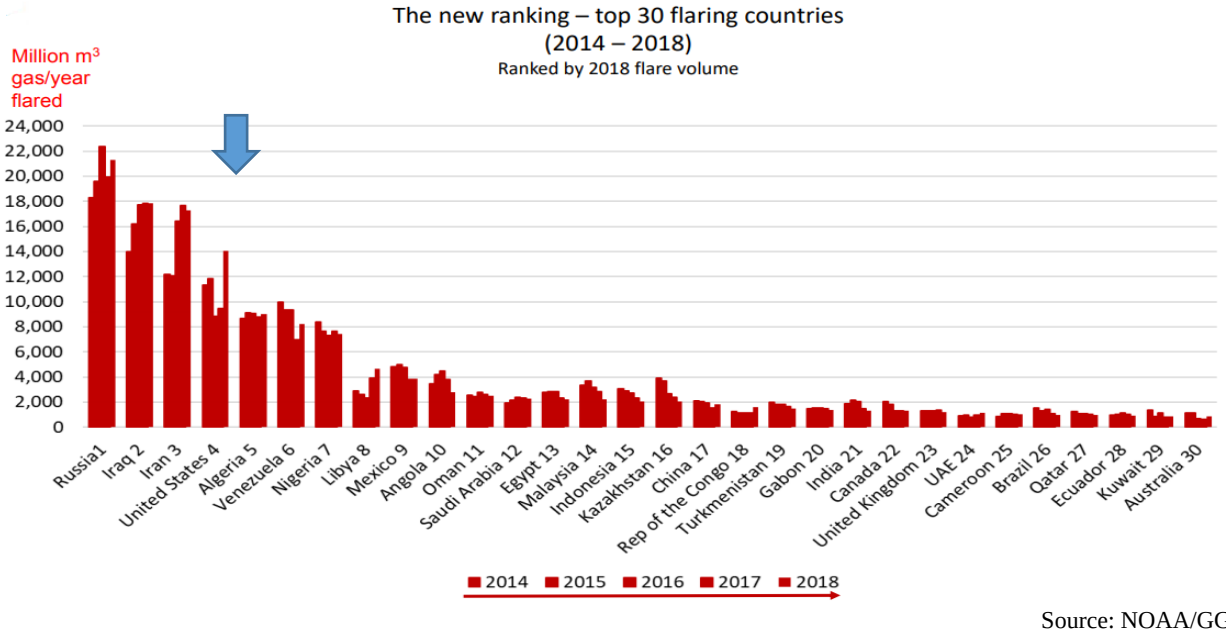
Vasiychuk V., Kuchera Y., Matskiv O. Nahurskyy O., Kachan S. 2020. Problem of disposal of organochlorine waste of vinyl chloride production. Environmental Problems. 5(2), 69-75.

Zakarzhevsky, A., Kurta, S.A., 2006. Research on the rectification process of chlororganic waste 1,2-dihloretana and vinyl chloride. East. Eur. J. Adv. Technol. 6, 41-45. (Ukraine).

فصل ۳ بازیابی و بکارگیری گازهای فلر در صنعت پتروشیمی

۳-۱ مقدمه

جمع‌آوری و سوزاندن گازهای اضافی در فلر به عنوان یکی از ابزارهای ایمنی و کنترل فشار در فرآیندهای نفت، گاز و پتروشیمی شناخته می‌شود. در اغلب فرآیندهای شیمیایی، یکی از ابزارهای ایمنی وکنترل فشار، شبکه رهاسازی گازهاست که در آخرین قسمت این شبکه، برج فلر قرار دارد. دراین شبکه گازهای اضافی پس ازجمع آوری از واحدهای مختلف به سمت برج فلر فرستاده می‌شود تا سوخته شوند. حجم زیادی از این گازها از ارزش سوختی بالایی برخوردار بوده و همچنین در برخی موارد می‌توان از آن‌ها به عنوان خوراک واحدهای مختلف نیز استفاده کرد. سوزاندن این گازها درفلر علاوه برایجاد مشکلات زیست محیطی مثل انتشار گازهای گلخانه‌ای، انتشار آلاینده‌های هوا و بوی نامطبوع و آلودگی صوتی، به نوعی هدردادن منابع اقتصادی نیز به حساب می‌آید. با توجه به گزارش بانک جهانی در سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۸، ایران پس از روسیه و عراق، سومین کشور جهان و دومین کشور در منطقه از نظر انتشار گازهای آلاینده ناشی از سوزاندن گاز فلر در تاسیسات بهره‌برداری صنایع نفت و گاز و همچنین صنایع پالایشگاهی و پتروشیمی است[۱۱۰] (شکل ۳–).



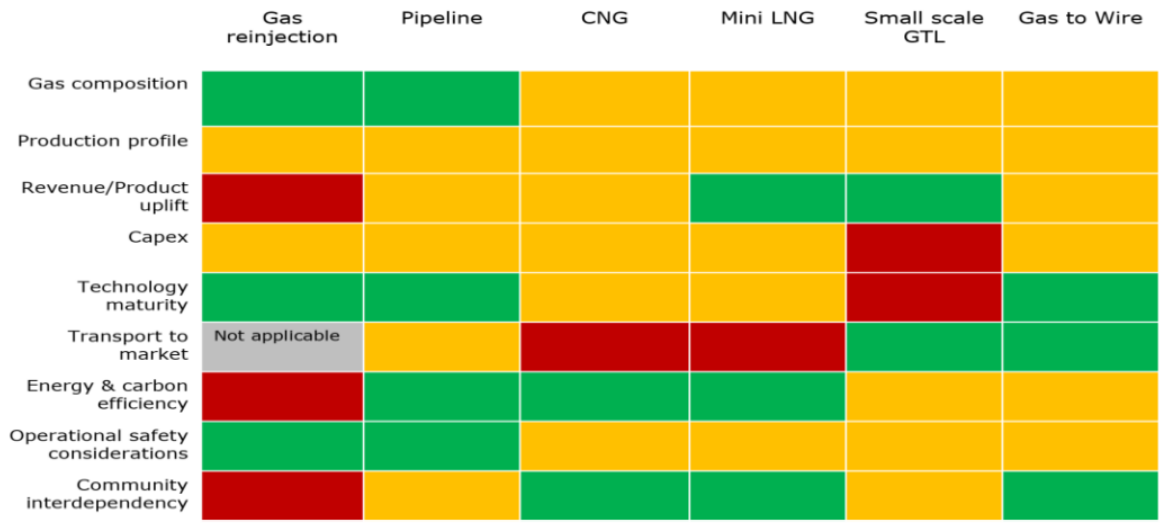
Source: NOAA/GGFR

شکل ۳–۱. رتبه بندی ۳۰ کشور اول از نظر حجم انتشار گازهای فلر

به منظور استفاده از گازهای همراه نفت و فلر که دارای ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی متغیری هستند در ابتدا این گازها باید بازیافت گردند. لذا، یکی از مهم‌ترین اقداماتی که درطرح جامع توسعه پایدار باید مورد توجه قرار گیرد، اهتمام در جمع‌آوری و بازیافت این گازها می‌باشد. مطالعات اولیه در خصوص ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و میزان این گازها، آگاهی از بازار هدف و آشنایی با زیرساخت‌های انتقال اشکال مختلف انرژی در منطقه می‌تواند یاری‌گر انتخاب نحوه بازیابی و بکارگیری گازهای فلر باشد.

[110] http://worldbank.org/en/programs/gasflaringreduction#7

روش‌های مختلفی برای بکارگیری گاز فلر موجود است مانند: بازیابی گاز، افزایش فشار و تزریق، ایجاد واحدهای NGL، تولید LNG و CNG، فرآیند GTL و تولید سوخت‌های مایع و تولید انرژی الکتریکی. در بین این روش‌ها، استفاده از گاز فلر برای شبکه گاز سوخت مجتمع و همچنین تولید انرژی الکتریکی با توجه به امکان اجرا در واحدهای پتروشیمی، دسترسی به دانش فنی و نیاز به هزینه سرمایه‌گذاری کمتر از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.
شکل ۳۳– مقایسه روش‌های بازیابی گازهای فلر را نشان می‌دهد:



شکل ۳۳–۲. مقایسه روش‌های بازیابی گازهای فلر

مهمترین نکته در طراحی سیستم بازیابی گازهای ارسالی به مشعل این است که حضور سیستم بازیابی گازهای ارسالی به مشعل در کنار سیستم فلرینگ موجود، خدشه ای در عملکرد اضطراری سیستم فلرینگ ایجاد ننماید. عموما سیستم‌های موجود در مجتمع‌ها دارای تجهیزاتی مانند جداکننده دو فازی، کمپرسور و مخزن نگهداری مایعات می‌باشند. بهترین مکان سیستم بازیابی گاز مشعل، مابین جداکننده و مخزن ذخیره مایع می‌باشد (Ojijiagwo, 2016a). همچنین درپالایشگاه‌های گاز می‌توان گاز بازیافت شده را به چرخه‌ی پالایش گاز در پالایشگاه بازگرداند ولی در پالایشگاه‌های نفت و مجتمع‌های پتروشیمی به عنوان گاز سوخت در شبکه سوخت پالایشگاه (مانند تجهیزات تولید بخار و کوره ها) به مصرف رساند . در ایران، این روش در پالایشگاه گاز ایلام، پالایشگاه نفت تبریز و پتروشیمی تبریز اجرایی شده است. علاوه بر این، پالایشگاه‌های نفت اصفهان و بندرعباس و پتروشیمی مروارید قصد دارند از این روش برای بازیافت گازهای مشعل خود استفاده کنند (خلیلی گرکانی و همکاران، ۱۳۹۸).

در میان دو روش ذکر شده، استفاده از گاز بازیافت شده برای شبکه سوخت روشی کم هزینه‌تر بوده اما برای گاز مورد استفاده در شبکه سوخت به لحاظ ترکیب درصد محدودیت وجود دارد. یکی از مهم‌ترین محدودیت‌های موجود، میزان هیدروژن موجود در ترکیب گاز بوده که در ترکیب گاز فلر بسیاری از مجتمع‌های پتروشیمی مصداق پیدا می‌کند.
خواص هیدروژن و متان (متان به عنوان نماینده گاز طبیعی) متفاوت بوده و به آسانی این دو گاز قابل جایگزینی هم نیستند. یکی از مهم‌ترین تفاوت‌ها، سرعت اشتعال‌پذیری هیدروژن نسبت به گاز طبیعی می‌باشد که باعث ریسک-

پذیری تجهیز می‌گردد. میزان هیدروژنی بالا در گاز سوخت منجر به برگشت شعله و بروز ضربات در محفظه احتراق تجهیزات می شود (EPA EIIP, 1999).

شرکت Foster Wheeler به‌عنوان یکی از مهمترین سازنده‌های کوره و بویلر در دنیا، افزودن هیدروژن به جریان گاز سوخت را بررسی نموده است. این شرکت بیان می‌کند که افزودن هیدروژن تا ۳ درصد به گاز سوخت مشکل ایمنی ندارد و تمهیداتی هم برای مشعل و یا زنجیره سوخت رسانی نیاز نیست. اما تا ۱۲ درصد تمهیدات جزیی برای مشعل‌ها لازم است و زنجیره سوخت‌رسانی باید با دقت بررسی شود و تغییرات لازم در آن انجام شود. افزودن هیدروژن به گاز سوخت تا ۲۵ درصد نیازمند تغییرات اساسی در مشعل‌ها و زنجیره سوخت‌رسانی می‌باشد (GRI, 2001).

لازم به ذکر است که شرکت Chevron Energy Technology افزودن هیدروژن تا ۹۵ درصد به سوخت گازی را آزمایش و عملکرد محفظه احتراق، کارایی مشعل‌ها و تغییرات لازم در سیستم سوخت‌رسانی را مطالعه نموده است. نتایج این مطالعه نشان داد که با افزودن هیدروژن، میزان تشعشع در محفظه احتراق افزایش و میزان گرمایی جابجایی در بخش کانوکشن کاهش می‌یابد. همچنین با تغییر سوخت گازی به سوخت ترکیبی هیدروژن، راندمان محفظه احتراقی کمی افزایش یافته و NOx تولیدی کمتر می‌شود.

بنابرین با توجه به روش های عنوان شده، تزریق به شبکه گاز سوخت برای ترکیبات با هیدروژن پایین و تولید برق برای ترکیبات با هیدروژن بالاتر در نظر گرفته شده است. تجهیزات تولید برق با میزان هیدروژن بالای گاز مشکلی نداشته و در حال حاضر موتورهای احتراقی تولید برق برای این ترکیبات موجود می‌باشند.

لازم به ذکر است هر دو این روش‌ها ابتدا به سیستم بازیابی گازهای فلر و فشار افزایی آن نیازمند می‌باشند. موتورهای احتراقی تولید برق قابلیت کارکرد با گاز با حداقل فشار 6 bar را دارا می باشند، همچنین کوره های فشار متوسط نیز به فشار حدود 10 bar فشار نیاز دارند. بنابرین برای بازیابی گازهای فلر برای استفاده از هر دو این روش-ها، میزان فشار برابر 10 bar در نظر گرفته شده است.

با توجه به اینکه ترکیب درصد گاز فلر متغییر بوده و نمی‌توان ترکیب ثابتی برای آن در نظر گرفت، به منظور مطالعه روش‌های بازیابی گاز فلر از ترکیب درصد میانگین فلرهای هر مجتمع در آخرین سال موجود استفاده شده است. ذکر این نکته لازم است با توجه به ادغام گاز بازیابی شده در شبکه گاز سوخت، محاسبه ترکیب درصد نهایی گاز سوخت و انتخاب روش مناسب و تغییرات لازم در تجهیزات موجود مجتمع می‌بایست بصورت دقیق و در مرحله مهندسی پایه و تفضیلی مورد مطالعه قرار گیرد. برای مطالعه موجود، ترکیباتی که میزان هیدروژن آن‌ها پایین تر از ۱۰ درصد می‌باشد به منظور تزریق در شبکه گاز سوخت مجتمع و ترکیباتی که حاوی بیش از ۱۰ درصد هیدروژن باشند به منظور تولید برق در نظر گرفته شده اند. جدول ۳– ترکیب درصد نهایی فلر مجتمع‌های پتروشیمی را نشان می دهد.

جدول ۳–۱. ترکیب درصد نهایی فلر مجتمع‌های پتروشیمی (بر اساس درصد وزنی)

component	ابادان	آریاساسول	امیرکبیر	ایلام	بوعلی سینا	بیستون	پارس	جم	پردیس	پلی نار	پلیمر کرمانشاه	تخت جمشید ماهشهر
Hydrogen	6.1	42.0	1.5	21.8	85.4	96.2	-	58.2	93.1	4.8	49.2	0.9
Nitrogen	26.8	-	6.5	2.0	0.3	2.0	4.4	-	1.9	-	1.8	0.3
Water	-	-	1.1	0.1		-	-	-	-	-	-	-
Oxygen	2.0	-	-	-		0.0	-	-	-	-	-	-
Ammonia	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-
CarbonMonoxide	0.4	-	-	0.1		-	-	0.0	0.0	0.1	-	-
CarbonDioxide	0.6	-	1.8	-		0.1	0.7	-	3.1	0.1	-	-
HydrogenSulfide	-	-	-	0.0		0.3	-	-	-	-	-	-
Methane	23.6	1.3	12.2	21.4	3.8	0.8	94.4	38.6	1.7	93.6	0.1	26.8
Ethane	10.3	54.1	21.9	12.7	4.6	0.3	0.4	0.9	-	1.0	21.6	1.8
Propane	6.4	-	2.6	8.0	3.1	0.2	0.0	0.5	-	0.3	-	0.6
Iso-Butane	1.9	-	2.3	0.1	0.9	0.0	0.0	0.0	-	-	0.0	0.2
n-Butane	2.8	-	7.1	2.0	0.5	0.0	0.0	0.1	-	-	0.0	0.0
Iso-Pentane	-	-	4.5	0.0	0.2	0.0	-	-	-	-	0.0	0.0
n-Pentane	7.7	-	5.1	0.2	0.1	0.0	-	-	-	-	-	0.0
n-Hexane	-	-	1.8	0.0	0.7	-	-	-	-	-	2.0	-
n-Heptane	-	-	0.8	-		0.0	-	-	-	-	-	-
n-Octane	-	-	0.4	-		-	-	0.0	-	-	-	-
n-Nonane	-	-	0.1	-		-	-	-	-	-	-	-
n-Decane	-	-	0.0	-		-	-	-	-	-	-	-
Neopentane	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-
Cyclopentane	-	-	0.2	-		-	-	-	-	-	-	-
Cyclohexane	-	-	0.3	-		-	-	-	-	-	-	-
Benzene	-	-	0.3	0.1		-	-	-	-	-	-	-
Methanol	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-
Ethyne(acetylene)	-	-	-	0.5		-	-	0.0	-	-	-	-
Ethene(ethylene)	2.3	2.5	18.1	30.9		-	-	0.5	-	-	25.3	-
Propene(propylene)	9.1	-	3.0	-		-	-	0.1	-	-	-	0.1
1-Butene	-	-	-	-		-	-	0.1	-	-	-	-
Isobutene	-	-	-	-		-	-	0.1	-	-	-	-
1,2-Butadiene	-	-	-	-		-	-	0.0	-	-	-	-
1,3-Butadiene	-	-	-	-		-	-	0.7	-	-	-	69.2
Butanes,avg	-	-	2.7	-	0.0	-	-	-	-	-	-	-
Pentanes,avg	-	-	4.0	-	0.4	-	-	-	-	-	-	-
Hexanes,avg	-	-	1.6	-		-	-	-	-	-	-	-
Argon	-	-	-	-		-	-	-	0.2	-	-	-

جدول ۳–۱. ادامه

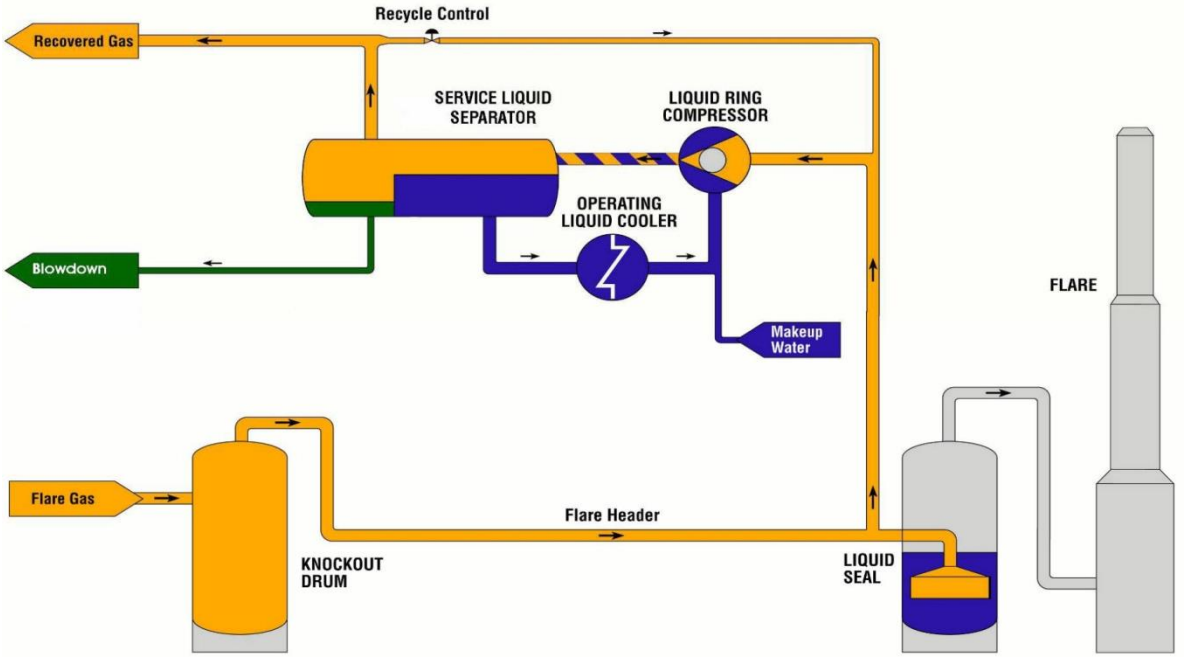
component	تندگویان	تبریز	رازی	زاگرس	شازند اراک	شیراز	فرساشیمی	فن آوران	کارون	کاویان	لرستان	مروارید
Hydrogen	0.0	28.3	90.3	56.6	-	61.3	-	83.5	94.7	43.6	22.7	77.9
Nitrogen	1.2	40.0	2.7	7.6	-	29.7	65.9	3.0	0.0	0.0	0.1	-
Water		-	0.2	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-
Oxygen		3.4	-	-	-	-	6.4	-	-	-	-	-
Ammonia	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CarbonMonoxide		0.1	5.5	5.0	-	-	-	5.3	5.1	-	-	-
CarbonDioxide	10.5	4.0	0.8	18.5	-	8.3	21.3	1.5	0.0	0.5	0.2	0.1
HydrogenSulfide		-	0.1	-	-	-	-	-	-	1.6	0.0	-
Methane	88.1	7.2	0.4	11.2	28.0	0.1	1.0	6.7	0.2	6.5	2.7	20.9
Ethane		1.0	0.0	0.0	-	-	1.1	0.0	0.0	9.8	5.0	0.2
Propane	0.0	0.1	0.0	0.0	-	-	-	0.0	0.0	10.8	13.4	-
Iso-Butane	0.0	4.3	-	0.0	5.2	-	-	-	-	27.2	0.0	-
n-Butane		-	-	0.0	-	-	-	0.0	-	-	0.0	-
Iso-Pentane	0.0	-	-	0.0	-	-	-	-	-	-	-	-
n-Pentane		-	-	0.0	-	-	-	0.0	-	-	-	-
n-Hexane		-	0.0	0.0	-	-	-	-	-	-	0.0	-
n-Heptane		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
n-Octane		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
n-Nonane		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
n-Decane		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Neopentane		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cyclopentane		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cyclohexane		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Benzene		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Methanol		-	-	1.1	-	-	-	-	-	-	-	-
Ethyne(acetylene)		2.9	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0	-
Ethene(ethylene)		6.7	-	-	41.8	-	4.3	-	-	-	53.9	0.9
Propene(propylene)		2.0	-	0.0	18.1	-	-	-	-	-	-	-
1-Butene		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Isobutene		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,2-Butadiene		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,3-Butadiene		-	-	-	6.9	-	-	-	-	-	-	-
Butanes,avg		-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.0	-
Pentanes,avg		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hexanes,avg		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Argon		-	0.1	-	-	0.6	-	-	-	-	-	-

جدول ۳–۱. ادامه

Component	نوری	شیمی بافت	بندرامام	مارون	اصفهان	پروپیلن جم	خارک	شیمی تکس آریا	مهاباد	مهر	نوید زرشیمی	کردستان
Hydrogen	98.7	-	90.7	48.5	20.0	46.1			46.3	2.8		
Nitrogen	-	-	-	-					-	67.7		
Water	-	-	-	1.1					-	-		
Oxygen	-	-	-	-					1.0	-		
Ammonia	-	-	-	-					-	-		
CarbonMonoxide	-	-	-	0.0					0.0	-		
CarbonDioxide	-	-	-	16.6					1.0	-		0.0
HydrogenSulfide	-	-	-	0.0					-	-		
Methane	0.4	10.0	-	19.8	79.5				0.1	2.2		0.0
Ethane	0.2	-	-	4.9	0.4				1.4	10.5		0.1
Propane	0.1	-	-	1.3		3.7	93.8		28.6	-		0.0
Iso-Butane	0.1	-	-	0.0	0.0		6.3		-	-		0.1
n-Butane	-	10.0	0.1	0.0	0.0			100.0	0.6	-		0.0
Iso-Pentane	0.1	-	-	-	0.0				-	-		
n-Pentane	-	80.0	5.5	-	0.0				-	-		
n-Hexane	0.1	-	-	-	0.1				0.0	1.5		
n-Heptane	-	-	-	-					-	-		
n-Octane	0.0	-	-	-					-	-		
n-Nonane	-	-	-	-					-	-		
n-Decane	-	-	-	-					-	-		
Neopentane	0.2	-	-	-					-	-		
Cyclopentane	-	-	-	-					-	-		
Cyclohexane	-	-	-	-					-	-		
Benzene	0.1	-	-	-					-	-		
Methanol	-	-	-	-					-	-		
Ethyne(acetylene)	-	-	-	-					9.5	-		0.0
Ethene(ethylene)	-	-	2.0	4.0	0.0	3.3			2.1	14.6		99.7
Propene(propylene)	-	-	1.5	0.7		46.9			-	-	100.0	0.0
1-Butene	-	-	-	-					9.5	0.7		0.0
Isobutene	-	-	-	-					-	-		
1,2-Butadiene	-	-	-	-					-	-		
1,3-Butadiene	-	-	-	-					-	-		
Butanes,avg	-	-	0.1	2.2					-	-		
Pentanes,avg	-	-	-	0.7					-	-		
Hexanes,avg	-	-	-	0.1					-	-		
Argon	-	-	-	-					-	-		

۲-۳ سامانه بازیافت گاز فلر

در این قسمت به توضیح مختصری در خصوص سامانه بازیافت گاز فلر[۱۱۱] پرداخته می‌شود و در آن به نحوه انتخاب کمپرسور واحد و هم‌چنین تجهیزات فرعی آن نیز اشاره می‌گردد. این سامانه به طور کلی از سه فرآیند جذب، تراکم و جداسازی تشکیل شده که در شکل ۳۳–۱ نمایی از آن برای کمپرسور رینگ مایع نشان داده شده است.



شکل ۳۳–۱. فرآیند کلی سیستم بازیافت گاز فلر با کمپرسور رینگ مایع

اجزای سامانه بازیافت گاز فلر شامل موارد زیر می‌باشد (Smith et al., 2012).

۱. کمپرسور که به منظور افزایش فشار جریان گاز مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۲. جداکننده دوفازی یا سه فازی که به منظور جداسازی میعانات گازی که بر اثر فشرده‌سازی گازها تولید شده اند، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۳. مبدل حرارتی سردکننده آب برگشتی به کمپرسور رینگ مایع.

٤. آب‌بند مایع که به منظور حفظ فشار مثبت در شبکه فلر و جلوگیری از ورود هوا به هدر اصلی شبکه فلر مورد استفاده قرار می‌گیرد که در شکل ۳۳– نیز نشان داده شده است. به عبارت دیگر آب‌بند به منظور هدایت گاز فلر از مشعل به سامانه بازیافت گاز فلر استفاده می‌شود و سبب ایزوله شدن سیستم فلر از هدر فلر می‌گردد. زمانی که شدت جریان گاز فلر از ظرفیت سیستم بازیافت تجاوز نماید، آب‌بند شکسته می‌شود و جریان به سمت فلر باز می‌گردد. باید توجه داشت که طراحی آب‌بند سیستم بازیافت گاز فلر مطابق با استاندارد API 521 نمی‌باشد. در این استاندارد عمق آب‌بند حدود ۶ اینچ می‌باشد، در حالی‌که در سامانه بازیافت گاز فلر عمق آب‌بند حدود ۲۴ تا ۱۰۰ اینچ و حتی بیشتر مورد نیاز است. آب‌بند مایع دارای مزایای دیگری نیز می‌باشد، از جمله مستعد ساختن هدر فلر برای عملیات در فشار برگشتی که سبب افزایش راندمان کمپرسورهای سامانه بازیابی گاز فلر می‌شود. علاوه بر آن،

[111] Flare Gas Recovery Unit

از مکش هوا از طریق دهانه فلر به سیستم بازیابی، هنگامی که کمپرسور در ظرفیت کم کار می‌کند، جلوگیری می‌نماید.



شکل ۳۳–۴. نمایی از آب‌بند (Blackwell et al., 2015)

۵. کولرهایی که برای خنک‌سازی گازهای فلر بین مراحل فشرده‌سازی و انتهای فرایند فشرده‌سازی گاز فلر مورد استفاده قرار می‌گیرند. بسته به شرایط محیطی و در اختیار بودن آب خنک‌کننده از کولر هوایی یا مبدل‌های پوسته لوله استفاده می‌شود که در شکل ۳۳– نمایی از آن ارایه شده است.



شکل ۳۳–۵. نمایی از کولر هوایی مورد استفاده در سیستم بازیابی گاز فلر (Blackwell et al., 2015)

عملکرد این سیستم‌ها بدین صورت است که گاز ورودی به فلر را ابتدا وارد این پکیج کرده و در یک جدا کننده، قطرات مایع آنرا جدا می‌کنند. سپس گاز خشک را به داخل یک کمپرسور می‌فرستند تا فشار آن را بالا ببرند. بعد از آن گاز با فشار بالا را دوباره به خوراک ورودی واحد پالایشگاهی یا پتروشیمی تزریق می‌کنند و یا به عنوان سوخت واحدهایی که نیاز به گرم شدن دارند مانند کوره ها، ریبویلرها و... مورد استفاده قرار می‌دهند. در این سیستم‌ها قرار دادن جداکننده قطرات مایع الزامی است، زیرا ورود قطرات مایع به داخل کمپرسور باعث ضررهای جدی برای کمپرسور می‌شود. بنابراین خوراک ورودی به کمپرسور باید گاز خشک (بدون مایع) باشد. این سیستم‌ها بگونه‌ای طراحی شده‌اند که قابلیت ایزوله شدن از واحد اصلی را نیز دارا می‌باشند.

۳-۲-۱ عوامل موثر در انتخاب و طراحی سیستم بازیابی فلر

در یک نگاه کلی، عوامل موثر در انتخاب و طراحی سیستم بازیابی فلر عبارتند از (ONGC, 2012):

- دبی گازهای ارسالی به فلر در حالت پیوسته

دبی گازهای ارسالی به فلر مهمترین عامل در تعیین مقیاس و اندازه تجهیزات سیستم بازیافت گاز فلر می‌باشد. مبنای طراحی و سایزینگ سیستم بازیابی گاز فلر معمولا فلر نرمال بوده و به حجم فلرینگ غیرمترقبه بستگی ندارد.

- حداکثر فشار مجاز در جداکننده K.O.DRUM

برای تعیین حداکثر فشار مجاز باید تمامی جریان‌های منتهی شده به فلر در حالی که فلر بسته است، مورد بازرسی قرار گیرند. به منظور کاهش مصرف انرژی در فرایند بازیابی گازهای فلر، فشار لازم جهت باز شدن شیر باید در بیشترین مقدار باشد.

- ترکیب گاز یا جرم مولکولی گاز

ترکیب گاز در انتخاب تجهیزات بازیافت اهمیت دارد. ترکیب گاز همچنین مبین ارزش حرارتی و اقتصادی گاز می باشد. به عنوان نمونه گازهای حاوی دی‌اکسید کربن و سولفید هیدروژن یا ترکیبات ناخواسته دیگر در نوع تجهیزات بازیافت و همچنین ارزش اقتصادی گاز بازیافت شده تاثیر دارد.

- دمای گاز

دمای گاز نیز در انتخاب تجهیزات بازیافت موثر است. اگر دمای گاز بالا باشد جهت فشرده‌سازی گاز به مبدل حرارتی از نوع سرمایشی نیاز می‌باشد.

- فشار خروجی واحد بازیافت

فشار خروجی واحد بازیافت از آن جهت حائز اهمیت است که تصمیم‌گیری برای استفاده از تجهیزاتی نظیر کمپرسور، دمنده، اجکتور و ... را تسهیل می‌نماید.

- دمای گاز خروجی از سیستم بازیافت

دانستن دمای گاز خروجی کمک خواهد نمود تا بتوان تجهیزات گرمایشی یا سرمایشی لازم را برای دستیابی به گازی با شرایط دلخواه تعبیه نمود. به عنوان مثال اگر دمای گاز خروجی بالا باشد از یک مبدل حرارتی سرمایشی جهت کاهش دمای آن استفاده می‌شود.

- قطر و جنس لوله انتقال گازهای فلر

به منظور تخمین هزینه تجهیزات و شیرهای دستی احتیاج به دانستن قطر و جنس لوله انتقال گاز فلر می‌باشد.

- ارزش گاز فلر

ارزش گازهای فلر، درآمد حاصل از فروش گازهای بازیابی‌شده را تعیین می‌کند که در بررسی اقتصادی کل طرح اهمیت دارد. این گازها می‌تواند به عنوان سوخت ارزش‌گذاری‌شده و یا به عنوان خوراک یک واحد فرایندی و یا حتی گاز تزریقی جهت افزایش برداشت از مخازن نفتی مورد توجه قرار گیرد.

۲-۲-۳ کمپرسور سامانه بازیافت گاز فلر

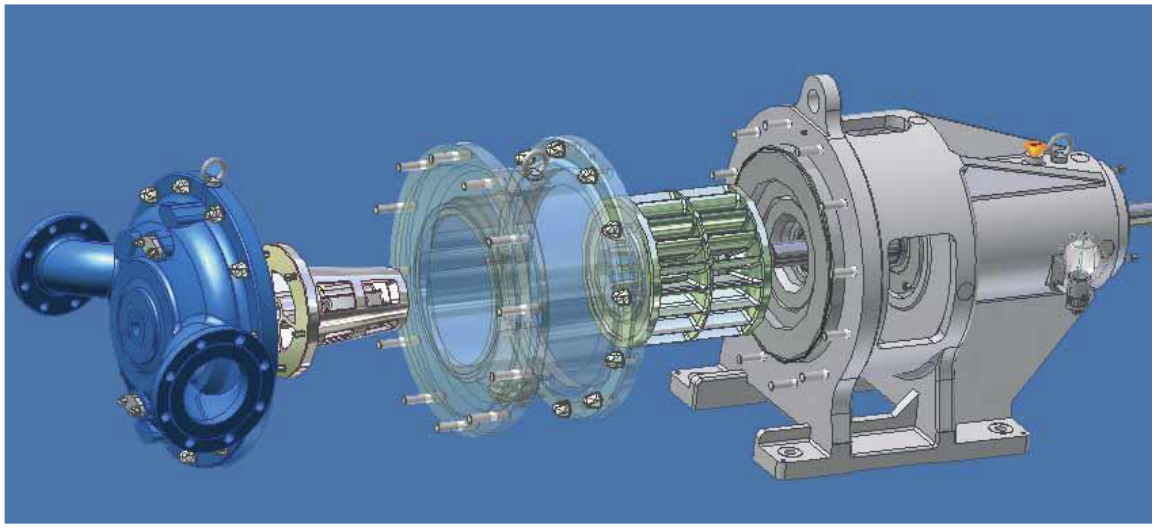
با توجه به مطالب ارایه شده در بخش قبلی، در این قسمت مروری بر کمپرسور بازیافت گاز فلر ارائه می‌گردد. کمپرسور مهم‌ترین قسمت سامانه و در واقع قلب سامانه بازیافت گاز فلر می‌باشد و باید در مقابل شک‌های فرآیندی آسیب‌پذیر نباشد که در ادامه به آنها اشاره می‌شود.

- تغییر ناگهانی فشار و مقدار جریان گاز ارسالی به شبکه فلر.
- تغییر ناگهانی دمای گاز.
- تغییر ناگهانی ترکیب درصد جریان گاز.
- جریان ناپایدار و منقطع گاز ورودی به کمپرسور.

کمپرسورهای مرسوم در سیستم بازیابی گاز فلر، کمپرسورهای رینگ مایع، مارپیچی خشک، مارپیچی روغن‌کاری شونده و رفت و برگشتی می‌باشند (Lyons & Gary Plisga, 1996).

کمپرسورهای رینگ مایع: این کمپرسور متداول‌ترین نوع کمپرسور برای کاربرد در سیستم بازیابی گاز فلر می‌باشند (Smith et al., 2015). طی فرایند فشرده‌سازی در واقع، کمپرسور رینگ مایع یک کمپرسور دورانی جا به جایی مثبت است که مشابه کمپرسورهای تیغه‌ای، یک روتور خارج از مرکز درون استاتور آن قرار دارد. بخشی از استاتور با مایعی مانند آب پر می‌شود که با چرخش روتور، نیروی گریز از مرکز، مایع را در یک مسیر حلقه‌ای شکل به اطراف محفظه استاتور کمپرسور منتقل کرده و به چرخش در می‌آورد. به دلیل خارج از مرکز بودن تیغه‌ها، حلقه مایع

به صورت بیضی، اطراف روتور قرار می‌گیرد. مرکز حلقه ارتباط بین نازل ورودی و نازل خروجی را برقرار کرده و یک محفظه گاز تشکیل می‌دهد. با چرخش روتور گاز از نازل ورودی، محفظه گاز را پر کرده و به سمت نازل خروجی هدایت می‌شود. حلقه مایع باعث آب‌بندی فضای بین تیغه‌ها و محاصره شدن گاز درون محفظه شده و با حرکت تیغه ها و کاهش فضای خالی، گاز محاصره شده، متراکم می‌گردد و به نازل خروجی منتقل می‌شود[۱۱۲]. در شکل ۳۳–۲ اجزای داخلی این نوع کمپرسور نشان داده شده است.



شکل ۳۳–۲. نمایی از اجزای کمپرسور رینگ مایع شرکت ایتالیایی Garo

مزایای این کمپرسور موارد زیر می‌باشد.

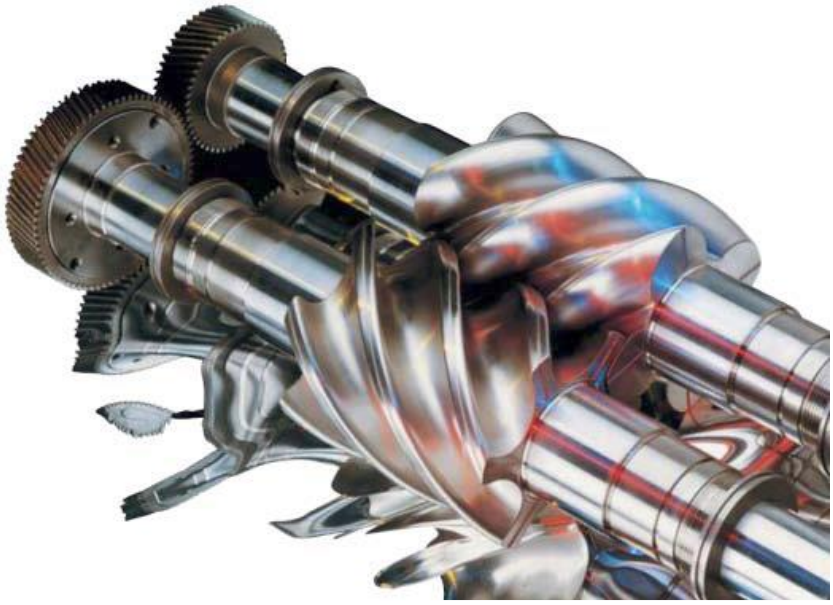
- کارایی برای گازهای آلوده چاه‌ها.
- قابل کارایی در دامنه وسیعی از دماها و ترکیبات.
- عملیات با سرعت کم (۹۰۰ تا ۱۸۰۰ دور در دقیقه) و تولید صدا و لرزش کمتر.
- تکنولوژی اثبات شده در کاربردهای بازیافت گاز فلر.
- تعمیر و نگهداری آسان- API 681
- تولید حرارت فشرده‌سازی کم (مایع در سرویس بیشتر حرارت تولیدی را دفع می‌کند).

و از معایب این کمپرسور می‌توان به موارد زیر اشاره نمود.

- معمولاً فشار خروجی از ۱۵۰ psig بیشتر نمی‌شود.
- کمپرسورها معمولا در سرعت ثابت کار می‌کنند، لذا کاهش بار با فشرده‌سازی مرحله‌ای و یا استفاده از جریان برگشتی امکان‌پذیر می‌باشد.
- برای عملیات به آب نیاز می‌باشد.

[112] Project design document, "Flare Gas Recovery and Utilization of Recoverd Flare Gas for thermal requirements in IOCL", Guwahati Refinery, 2010.

کمپرسور مارپیچی خشک: در این کمپرسور یک جفت روتور هماهنگ در محفظه کمپرسور قرار دارند. موتور کمپرسور یکی از روتورها و دنده تایمینگ روتور دیگری را می‌چرخانند که در شکل ۳۳–۳ نمایی از آن نشان داده شده است.



شکل ۳۳–۳. کمپرسور مارپیچی خشک.

- مزایا این نوع کمپرسور شامل موارد زیر می‌باشد.
- عدم نیاز به آب
- فشار بالای تخلیه
- امکان استفاده از چند مرحله برای تامین فشار بالا.
- امکان فشرده‌سازی گاز فلر همراه ذرات مایع.
- امکان کارایی در ۷۰ تا ۷۵ درصد ظرفیت طراحی با استفاده از درایورهای فرکانس متغیر جهت صرفه‌جویی در انرژی.
- امکان استفاده از جریان برگشتی جهت کار کردن در ظرفیت‌های پایین‌تر.
- معایب این نوع کمپرسور نیز شامل موارد زیر می‌باشد.
- عملیات در سرعت بالا (۷۰۰۰ تا ۹۰۰۰ دور بر دقیقه)، که منجر به تولید صدا و لرزش بیشتر نسبت به کمپرسور رینگ مایع می‌گردد.
- تولید حرارت زیاد و در نتیجه نیاز به فشرده‌سازی چند مرحله‌ای به همراه کولر بین مرحله‌ای جهت تامین فشارهای بالا
- هزینه زیاد

کمپرسور مارپیچی روغن‌کاری شونده: این کمپرسورها مشابه کمپرسور مارپیچی خشک هستند با این تفاوت که دنده تایمینگ برای چرخش دو مارپیچ وجود ندارد و برای انتقال قدرت چرخش بین روتورها با

کمترین صدمه از روغن استفاده می‌شود، نمایی از سیستم انتقال قدرت این نوع کمپرسورها در شکل ۳۳–۴ دیده می‌شود.



شکل ۳۳–۴. کمپرسور مارپیچی روغن‌کاری شونده.

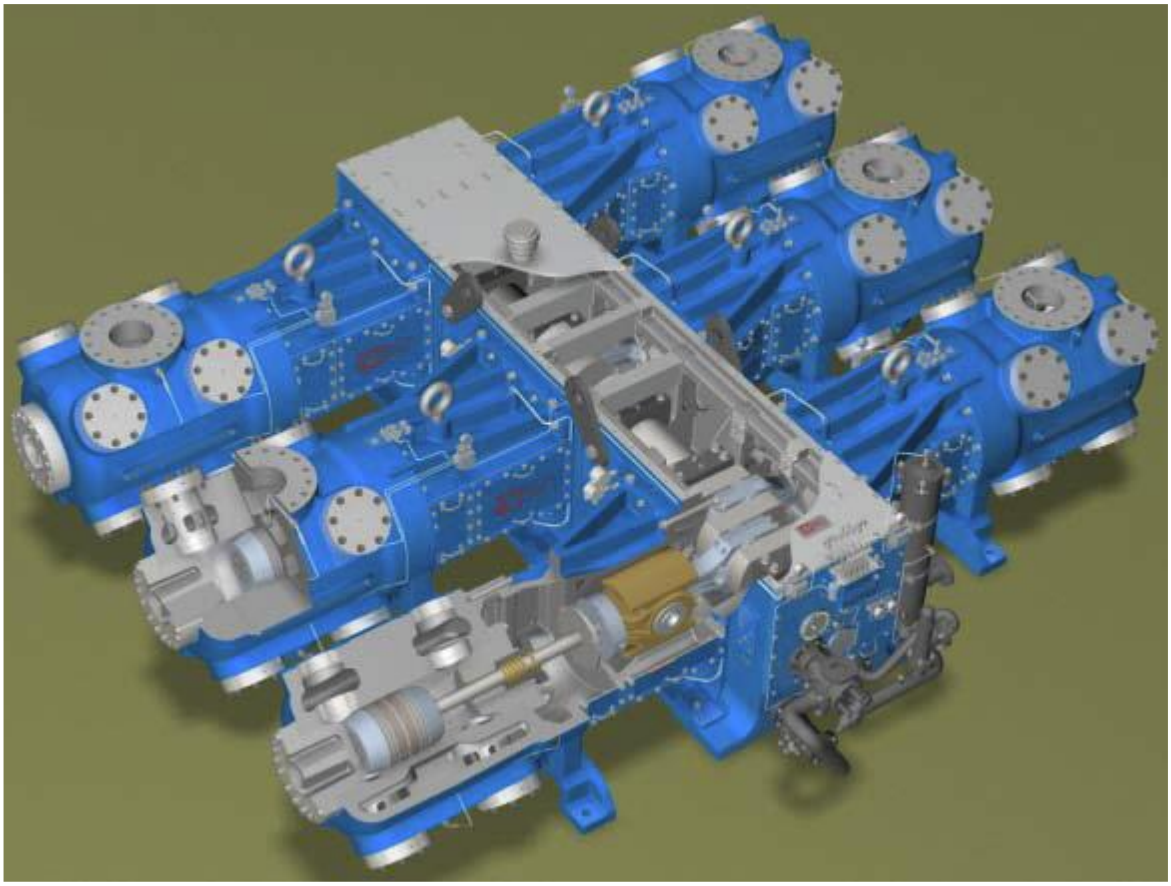
مزایا این نوع کمپرسور شامل موارد زیر می‌باشد.

- عدم نیاز به آب.
- فشار بالای تخلیه.
- امکان کارایی تا ۲۰ درصد ظرفیت طراحی با استفاده از شیر داخلی.

معایب اصلی این کمپرسور در ادامه ارایه شده است.

- آلودگی روغن مورد استفاده برای روغن‌کاری به گاز فلر
- عملیات در سرعت متوسط (۳۰۰۰ تا ۵۰۰۰ دور بر دقیقه) که منجر به تولید صدا و لرزش بیشتر نسبت به کمپرسور رینگ مایع می‌گردد.
- هزینه زیاد تعویض روغن.
- آب موجود در گاز فلر و میعانات سبب صدمه به روتور و یاتاقان‌ها می‌شود.

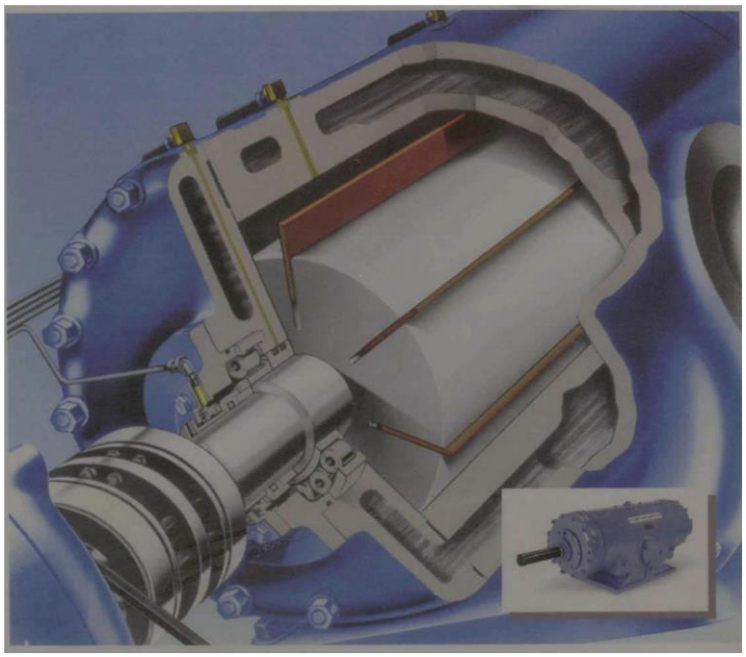
کمپرسورهای رفت و برگشتی: این نوع کمپرسورها قابل استفاده در سیستم بازیابی گاز فلر هستند و از پیستون‌های چند میل‌لنگی برای فشرده‌سازی گاز فلر بهره می‌گیرند که نمایی از آن در شکل ۳۳–۵ دیده می‌شود.



شکل ۳۳–۵. کمپرسور رفت و برگشتی.

- مزایای این کمپرسور موارد زیر می‌باشد.
- فشار خروجی بالا
- شدت حجمی بالا
- همچنین از معایب این نوع کمپرسور نیز می‌توان به موارد زیر اشاره نمود.
- اندازه، صدا و لرزش زیاد.
- تعمیرات مکرر.
- نیاز به تجهیزات جانبی شامل KO drumها بین مرحله‌ای و تخلیه، کولرهای بین مرحله‌ای، کولر خروجی و ژاکت آب خنک‌کننده.
- تولید حرارت بالا

کمپرسورهای تیغه لغزشی: از یک محور چرخان به همراه پره یا فین جهت فشارافزایی گاز استفاده می‌کند که در شکل ۳۳– دیده می‌شود. سرعت چرخش این نوع کمپرسور در حدود ۴۰۰ تا ۱۶۰۰ دور در دقیقه می‌باشد.



شکل ۳۳–۱۰. کمپرسور تیغه لغزشی.

مزایای این کمپرسور شامل موارد زیر است.

- نیاز به فضای کم
- هزینه کم
- کاهش ظرفیت سیستم با استفاده از VFD

از معایب این کمپرسور می‌توان موارد زیر را نام برد.

- کم بودن فشار خروجی در حدود ۱۵۰ psig
- مواد ساخت این کمپرسور چدن می‌باشد که برای استفاده در شرایط با ریسک آتش مناسب نمی‌باشد.
- استفاده دایمی از مقدار کمی روغن.
- عدم توانایی جهت قابل قبول بودن مواد و مشخصات خریدار.

۳-۲-۲-۱ انتخاب کمپرسور مناسب برای سیستم بازیابی گاز فلر

برای انتخاب کمپرسور پارامترهایی از جمله بازده زیاد، نیاز فرایندی، هزینه‌های عملیاتی، قیمت اولیه پایین، تعمیرات و نگهداری پایین در نظر گرفته می‌شود. از میان کمپرسورهای موجود که در صنعت مورد استفاده قرار می‌گیرند، کمپرسور خاص رینگ مایع به عنوان مناسب‌ترین کمپرسور برای عملکرد مناسب سامانه FGR برای فشارافزایی پایین انتخاب می‌شود. مزایای سامانه FGR توسط شرکت‌های سازنده کمپرسور رینگ مایع عبارت اند از:

- امکان انتقال سیال دوفازی شامل گاز و مایع.
- امکان انتقال سیال گازی همراه با ذرات ناخالصی.
- امکان انتقال گازهای خورنده، آتش‌گیر و سمی.
- عملکرد بدون نیاز به روغن و ایجاد شرایط دما ثابت.

بررسی‌ها نشان می‌دهد که از میان انواع کمپرسورها، مناسب‌ترین نوع برای بازیابی گازهای فلر، نوع رینگ مایع است. زیرا ترکیبات گازهای فلر نسبت به حرارت حساس بوده و امکان انفجار از گرمای اصطکاک وجود دارد. کمپرسورهای رینگ مایع با شرایط کارکرد دما ثابت ایمن‌ترین تجهیزات جهت فشرده‌سازی گازها می‌باشد. هزینه تعمیر و نگهداری پایین و عدم ایجاد مشکلات بهره‌برداری از جمله عواملی است که این نوع کمپرسور را نسبت به انواع دیگر آن ارجحیت بخشیده است، سپس از جداکننده نیز جهت جداسازی هیدروکربورهای متراکم‌شده از گاز فلر و تخلیه آنها به سامانه سوخت‌رسانی یا خوراک استفاده می شود.

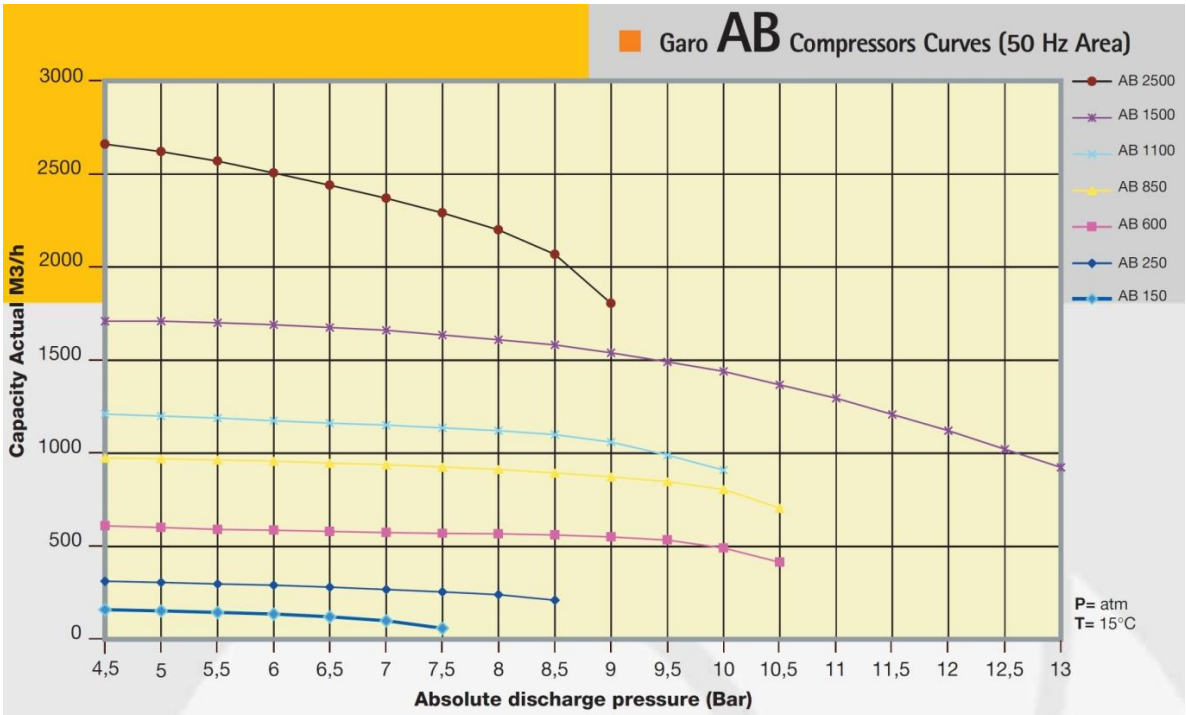
۳-۲-۳ پارامترهای طراحی سیستم FGRU

فاکتورهای متعددی در طراحی سیستم بازیابی گازهای فلر موثر می‌باشند و طراحی نامناسب می‌تواند منجر به صدمات جبران‌ناپذیری گردد، زیرا که این سیستم رابطه تنگاتنگی با سیستم فلر دارد. در ادامه برخی از این پارامترها شرح داده می‌شود:

- ظرفیت سیستم طراحی با ظرفیت کم منجر به تخلیه گاز به سیستم فلر می‌گردد و طراحی بیش از ظرفیت منجر به سیستمی با راندمان و بهره کم می‌شود.
- فشار مکش و تخلیه سیستم طراحی تجهیزات آب‌بند و لوله‌کشی بین آب‌بند مایع و کمپرسور، فشار مکش را تامین می‌کند. محل دریافت گاز بازیابی شده نیز فشار تخلیه را معین می‌نماید.
- ترکیبات فلر موثر در انتخاب نوع کمپرسور و همچنین کارایی و جنس آن می‌باشد.
- دمای گاز موثر در انتخاب کمپرسور و طراحی و انتخاب کمپرسور مارپیچی روغن‌کاری شونده، توقف سیستم و مبدل‌های حرارتی می‌باشد.
- محل سیستم موثر در انتخاب، طراحی و جانمایی تجهیزات می‌باشد.
- در دسترس بودن برق با ولتاژ کم یا متوسط مهم می‌باشد (دسترسی به یوتیلیتی).

- تعداد کانکشن‌های فلر به سیستم FGRU: اتصال چند سیستم فلر به یک سیستم FGRU متداول است اما طراحی، چیدمان، عملیات و کنترل فرایند آنها بسیار پیچیده می‌باشد.
- بازگشت سرمایه: در این رابطه باید پارامترهایی زیر ارزیابی گردند:
  - دبی جریان مورد انتظار بازیافت
  - ارزش مالی گاز بازیابی شده
  - هزینه سرمایه‌گذاری سیستم FGRU
  - هزینه نصب FGRU
  - هزینه بهره‌برداری FGRU
- نیاز به عملیات در ظرفیت کمتر: این پارامتر در طراحی و انتخاب کمپرسور مهم می‌باشد.
- طول عمر و تناوب توقف‌ها در انتخاب کمپرسور و جنس آن موثر می‌باشد.
- دسترسی به تجهیزات جهت تعمیرات، طراحی و چیدمان موثر است.
- مشخصات مشتری و فروشنده مصوب لیست مستقیما بر هزینه، مواد و برنامه تحویل تاثیر می‌گذارد.

نمونه‌ای از منحنی کمپرسورهای رینگ مایع دو مرحله‌ای شرکت Garo در شکل شکل ۳۳–۶ نشان داده شده است.



شکل ۳۳–۶. نمونه‌ای از منحنی کمپرسورهای رینگ مایع دو مرحله‌ای شرکت Garo[۱۱۳]

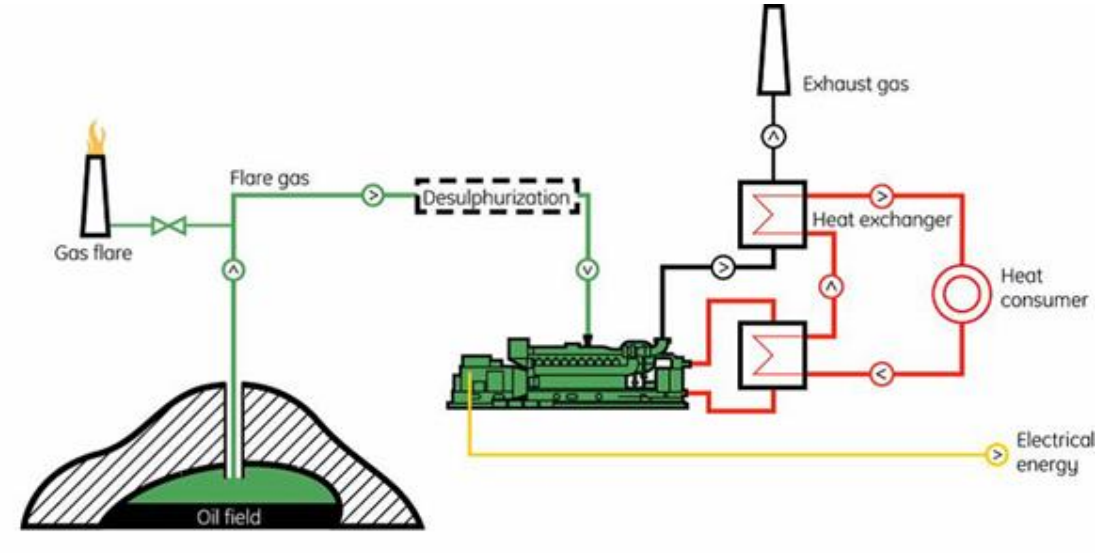
۳-۳ تولید انرژی الکتریکی

به کمک تکنولوژی مولدهای مقیاس کوچک و سیستم بازیابی گازهای ارسالی به فلر در پالایشگاه‌های نفت و گاز، صنایع پتروشیمی و همچنین گازهای همراه، در میادین نفتی می‌توان انرژی الکتریکی تولید نمود. پیرو این فرآیند آلودگی ناشی از سوختن گازها نیز بطور بسیار محسوسی کاهش خواهد یافت. سیستم تولید انرژی الکتریکی از گازهای فلر علاوه بر این مزایای دیگری نیز دارد که از آن جمله می‌توان به کاهش هزینه سوخت مصرفی، کاهش شعله آشکار، کاهش مصرف و هزینه تأسیسات مرتبط با سیستم فلر و ... اشاره نمود. براساس گزارش بانک جهانی (Ojijiagwo et al., 2016b) هزینه سوخت به منظور تولید برق از گاز همراه میادین نفتی حدود ۲۵ درصد هزینه برای توان مشابه حاصل از مصرف گاز طبیعی در نیروگاه‌هاست.

محاسبات نشان می‌دهد که با استفاده از هر متر مکعب گاز فلر معمولا می‌توان ۳/۶ کیلووات ساعت برق تولید کرد[۱۱۴]. در حجم‌های پایین گازهای همراه نفت و فلر، تولید برق (و یا گرما و آب شیرین) برای استفاده محلی از توجیه‌پذیری و جذابیت اقتصادی قابل قبولی برخوردار است. استفاده از میکروتوربین‌ها، از آنجا که دارای وزن کم و قابل حمل هستند، برای استفاده در مناطق حفاری و سکوها بسیار مناسب هستند. همچنین میکروتوربین‌ها توانایی کارکرد با سوخت‌های مختلف، از جمله گاز ترش را دارند. تولید برق برای فروش به شبکه سراسری و ساخت نیروگاه‌های سیکل ترکیبی نیز تنها برای استفاده از گازهای فلر با حجم بالا توجیه‌پذیر است. شمای کلی فرآیند تولید انرژی الکتریکی و حرارت از گاز فلر در شکل ۳۳–۷ نشان داده شده است.

[113] Specific Data Sheet of Garo Liquid Ring Compressors, Garo Dott. Ing. Roberto Gabbioneta S.p.A.

[۱۱۴] موسسه مطالعات بین‌المللی انرژی، ترازنامه هیدروکربوری کشور سال ۱۳۹۵، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت بر منابع هیدروکربوری.



شکل ۳۳–۷. شمای کلی فرآیند تولید انرژی الکتریکی و حرارت از گاز فلر

طراحی و بررسی سیستم تولید انرژی الکتریکی شامل آنالیز گازهای فلر، فشرده سازی و آماده‌سازی گاز فلر، انتقال گاز بازیافتی به واحدهای تولید برق و طراحی وانتخاب واحد تولید برق است. ازآنجا که مشخصات جریان گاز خط لوله اصلی سیستم فلر ازجمله شدت جریان، دما، فشار و ترکیب درصد و ... بشدت متغیر می‌باشد لذا نیاز به یک الگوی خاص جریان و خواص آن مورد نیاز خواهد بود تا مقدار حداقل مشخصات گاز مورد نیاز برای سیستم تولید برق مشخص گردد (Nezhadfard & Khalili-Garakani, 2020). براساس مطالعات انجام گرفته بر روی پالایشگاه-های گاز همچون فراشبند و پارس جنوبی (خلیلی گرکانی و همکاران، ۱۳۹۸)، و همچنین یک مجموعه شامل ۴ نمونه گاز همراه (کوپال، چشمه خوش، آزادگان و یادآوران)، دو پالایشگاه گاز (پارسیان و خانگیران) و دو پالایشگاه نفت (تهران و بندرعباس) (Nezhadfard & Khalili-Garakani, 2020) تولید انرژی الکتریکی به عنوان گزینه برتر هم از لحاظ هزینه سرمایه‌گذاری و هم به دلیل سودآوری و دوران بازگشت سرمایه شناخته می‌شود.

۳-۳-۱ روش‌های تولید انرژی الکتریکی

یک نیروگاه تولید برق متداول انرژی سوخت را دریافت کرده و کار تولید می‌کند و گرما را در دمای پایین‌تر به یک سینک حرارتی باز می‌گرداند. اساس نیروگاه توربین گازی سیکل بسته فشار ثابت ژول- برایتون[۱۱۵] (JB) است که در آن جریان پایداری از هوا یا گاز در کمپرسور، هیتر، توربین و کولر در گردش است. در سیکل ژول- برایتون، کمپرسور کار لازم را از توربین می‌گیرد و کار باقیمانده برای تولید برق وارد ژنراتور می‌شود. حرارت در فشار ثابت وارد چرخه شده و از آن خارج می‌شود. در سیکل توربین گازی برق خالص تولیدی برابر با برق تولیدی در توربین گازی منهای برق مصرفی در کمپرسورهای گاز و هوا است.

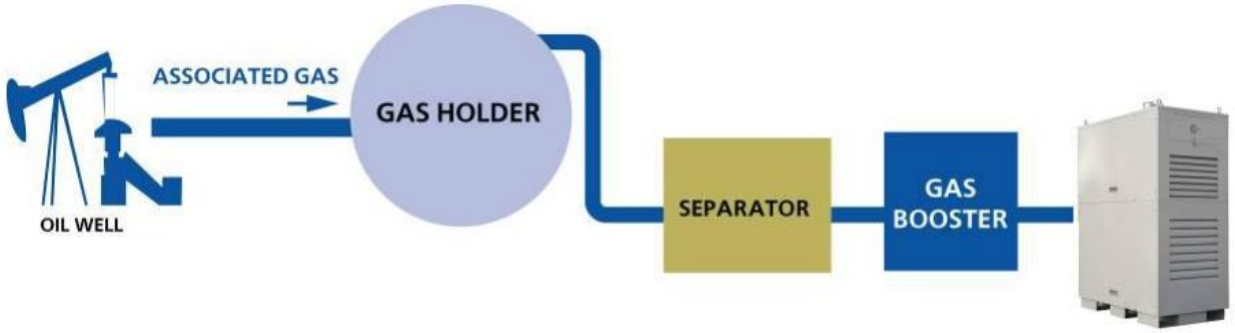
تفاوت اصلی بین فرآیندهای تولید برق از گاز طبیعی و گاز فلر این است که در تولید برق مبتنی بر گاز طبیعی، هدف تولید مقدار معین برق، البته با حداقل مقدار مصرف گاز است؛ و فناوری مورد استفاده در تولید برق با در نظر

[115] Joule-Brayton Cycle

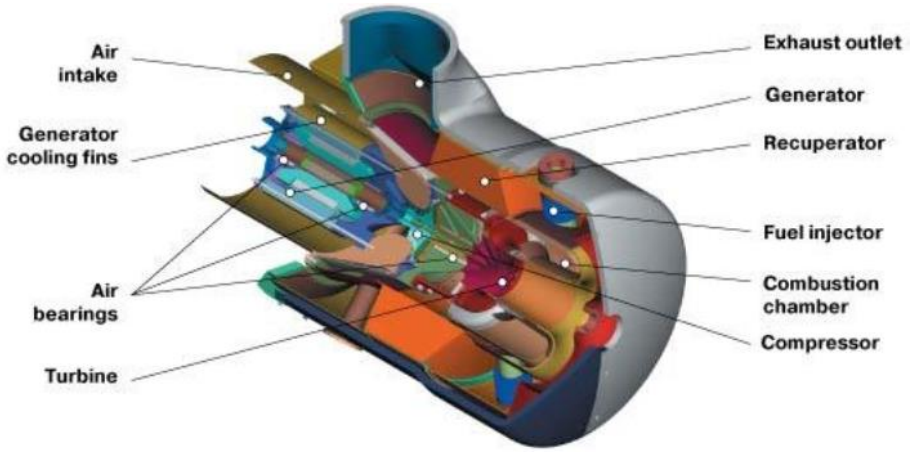
گرفتن توجیه‌پذیری اقتصادی باید در برابر هزینه سوخت ارزیابی شود (Nezhadfard & Khalili-Garakani, 2020)؛ ولی در فرآیند تولید برق از گاز فلر مقدار معینی از خوراک با شرایط مشخص (ترکیب، دما، فشار و دبی) موجود است و هدف تولید حداکثر برق ممکن با صرف کمترین هزینه ثابت و عملیاتی با استفاده از خوراک موجود است.
روش‌های متفاوتی به منظور تولید انرژی الکتریکی از گاز فلر وجود دارد (با توجه به مشخصات گاز، میزان جریان، درصد ترکیبات گوگردی و ... تغییر می‌کند)، در این بخش به توضیح آن‌ها پرداخته می‌شود.

۳-۳-۱-۱ میکروتوربین

در واحدهایی که میزان گاز فلر کم است می‌توان از این فناوری بهره گرفت (شکل ۳۳–۸). این سیستم در واقع توربین‌های کوچکی هستند که بصورت شماتیک در شکل ۳۳–۹ قابل مشاهده می‌باشند. اطمینان‌پذیری بالا، عملکرد مستقل از شبکه، قابلیت حمل و نقل، هزینه عملیاتی پایین، دوره‌های تعمیر و نگهداری آسان، بهره‌وری بالا و قابلیت عملکرد بالا در شرایط سخت گاز همراه (ترکیبات سنگین و حضور ترکیبات گوگردی) از مزایای این سیستم‌ها است.



شکل ۳۳–۸. شمای کلی فرآیند تولید برق از گاز همراه با استفاده از فناوری میکروتوربین



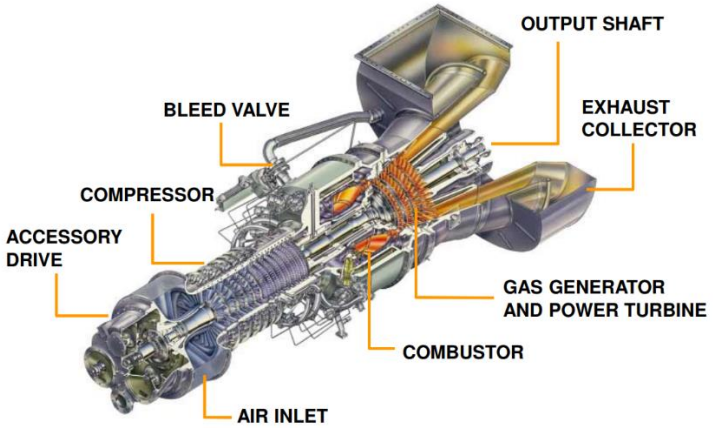
شکل ۳۳–۹. شمای کلی یک میکروتوربین به همراه اجزای آن

هم اکنون در ایران دو نمونه ساخت شرکت‌های کپستون و توربینا در دسترس می‌باشد. محصولات شرکت کپستون دارای خروجی ۱۵-۱۰۰۰ کیلووات و محصولات شرکت توربینا دارای توان ۱۰۰-۲۰۰ کیلولات است.
این فناوری معمولا نیاز به سیسم آماده‌سازی سوخت نداشته و در محدوده وسیعی از انواع سوخت می‌تواند عمل کند. تجهیزات ساخته شده توسط این دو شرکت راندمان مناسبی تا غلظت‌های بالای ترکیبات گوگردی (۷۰۰۰۰ppm) را دارا می‌باشند. مشخصات سیستم‌های ساخت شرکت کپستون بصورت زیر است:

- میزان جریان ۲۵-۴۷۰۰ مترمکعب در ساعت
- فشار خروجی: ۰/۴۵-۲۴ مگاپاسکال
- دما از ۶۰- تا بالای ۵۰ درجه سانتیگراد
- ارزش حرارتی گاز ۲۵۰۰-۲۴۰۰۰ کیلوکالری به ازای هرمترمکعب

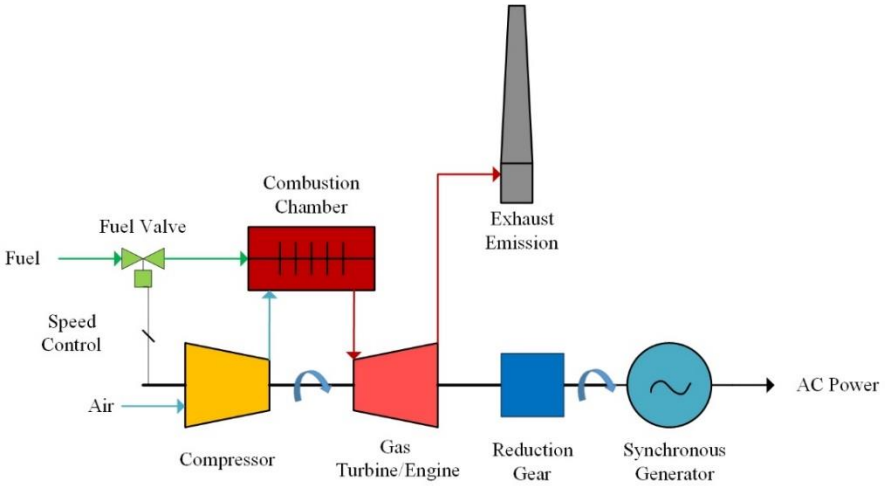
۳-۳-۱-۲ توربین گازی

با افزایش میزان گاز همراه و فلر می‌توان از توربین‌های گازی به منظور تولید برق بهره گرفت. شمای کلی یک توربین گازی در شکل ۳۳–۱۰ نشان داده شده است. همچنین شکل ۳۳–۱۱فرآیند کلی تولید برق با استفاده از توربین گازی را نشان می‌دهد.

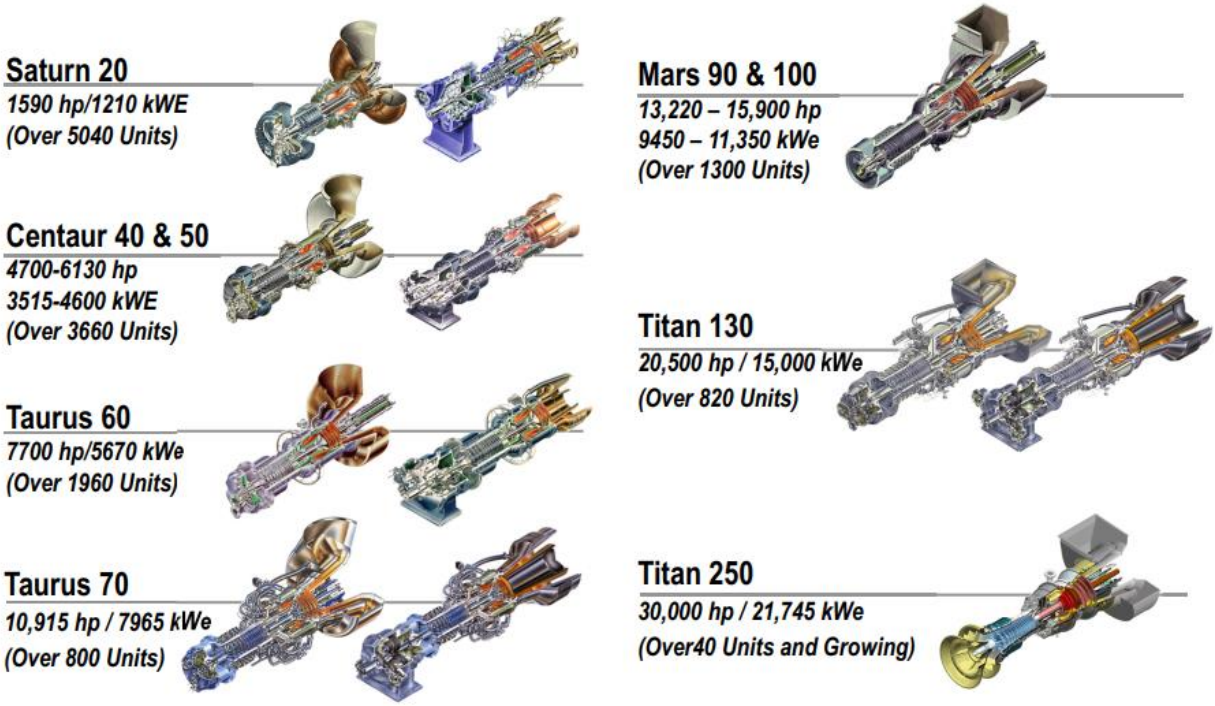


شکل ۳۳–۱۰. شمای کلی یک توربین گازی به همراه اجزای آن

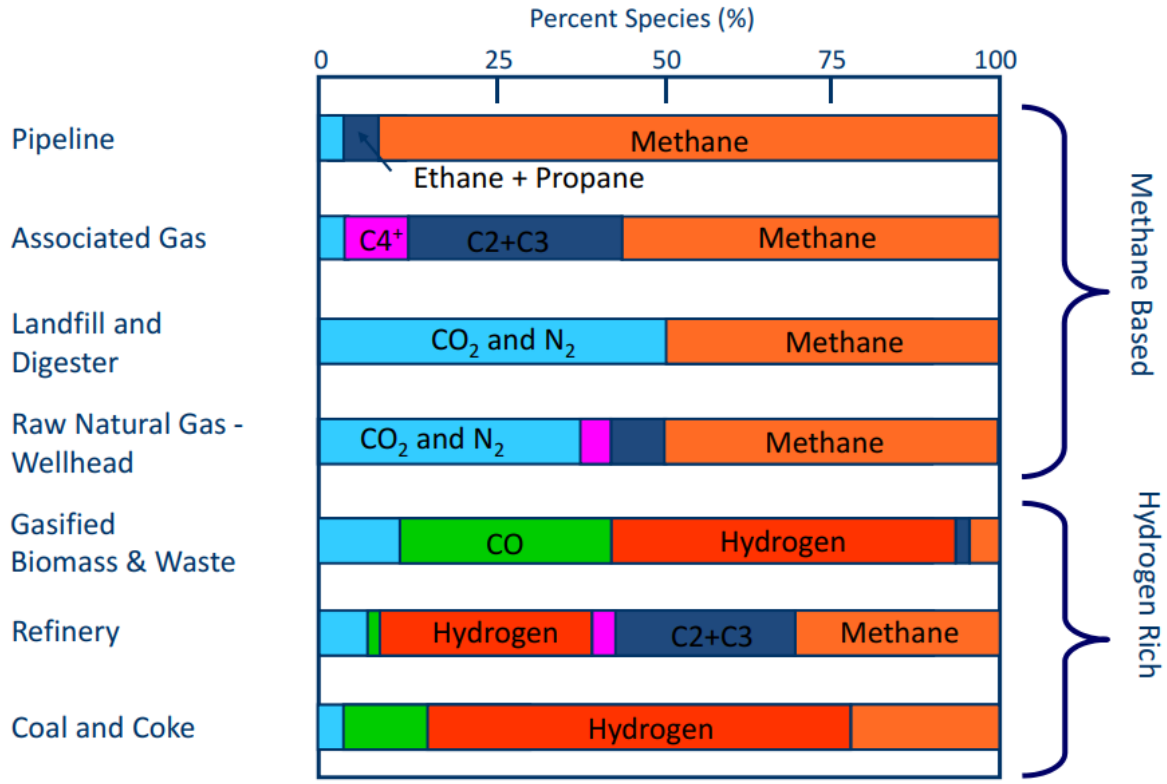
توربین‌های سولار از زیر مجموعه شرکت کاترپیلار آمریکا یکی از نمونه‌های مطرح در این زمینه است. این توربین‌ها عملکرد قابل قبولی تا ۳۰۰۰۰ppm ترکیبات گوگردی را دارا می‌باشند. نمونه‌های این شرکت به همراه توان تولید در شکل ۳۳–۱۲ آورده شده است. همچنین محدوده عملکردی سوخت‌های قابل استفاده به منظور تولید برق که توسط سازنده اعلام شده، در شکل ۳۳–۱۳ آورده شده است.



شکل ۳۳–۱۱. شمای کلی فرآیند تولید برق با سیکل توربین گازی [۵].



شکل ۳۳–۱۲. خانواده توربین‌های شرکت سولار با توجه به توان تولیدی



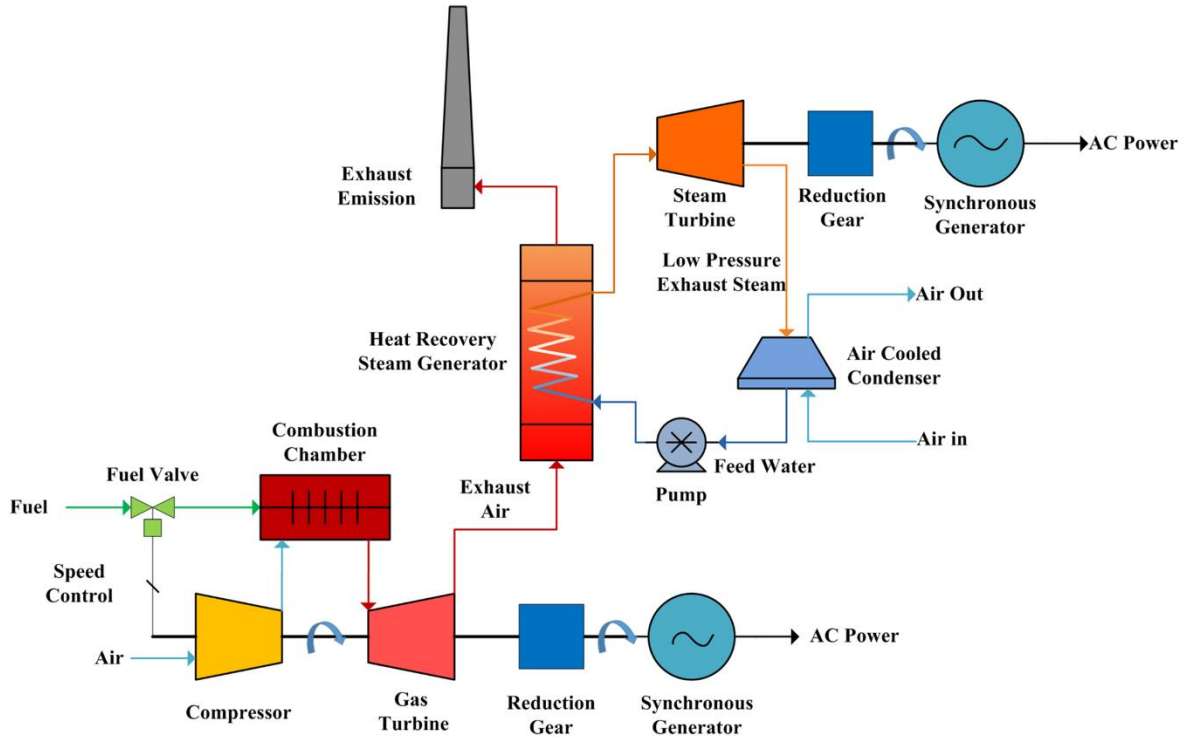
شکل ۳۳–۱۳. سوخت‌های قابل استفاده در سیستم‌های توربین شرکت سولار [۱۷].

۳-۳-۱-۳ چرخه ترکیبی

با افزایش مقدار گاز می‌توان از چرخه ترکیبی به منظور تولید برق بهره گرفت. چرخه ترکیبی دارای دو چرخه بالایی و پایینی می‌باشد. در این نوع سیستم‌ها توربین گازی چرخه بالایی را تشکیل می‌دهد، که از آن برای تولید توان استفاده می‌شود. بخشی از حرارت خروجی از این چرخه به منظور تولید توان در چرخه پایینی مورد استفاده قرار می‌گیرد. سیکل پایینی معمولا یک چرخه بخار است، که اساس کار آن سیکل رانکین[۱۱۶] می‌باشد (Nezhadfard & Khalili-Garakani, 2020). نمای کلی چرخه ترکیبی توربین گازی در شکل ۳۳–۱۴ نشان داده شده است.

البته فناوری چرخه ترکیبی معمولا تنها در واحدهای بالای ۵۰ مگاوات توجیه اقتصادی دارد و حتی می‌توان بخشی از بخار کم فشار تولید شده را برای واحد شیرین‌سازی آب و آب آشامیدنی مورد استفاده قرار داد. یک نمونه از این سیستم‌ها، نیروگاه آفام در نیجریه است که از ۳ توربین گازی ۱۵۰ مگاواتی و یک توربین بخار ۲۰۰ مگاواتی تشکیل شده است و خوراک آن شامل ۲۴۰ میلیون فوت مکعب در روز از ترکیب گاز همراه و گاز طبیعی تامین می‌شود.

[116] Rankine Cycle

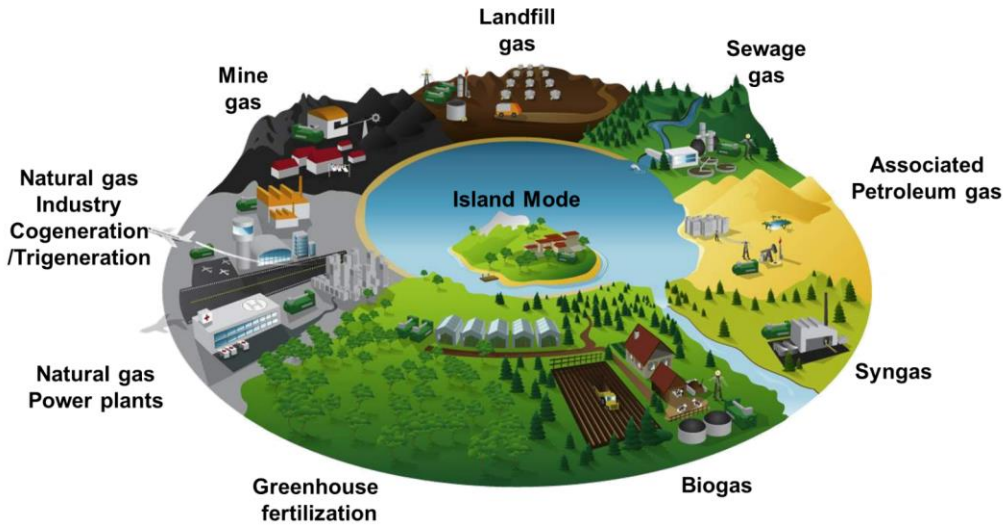


شکل ۳۳–۱۴. شمای کلی فرآیند تولید برق با سیکل توربین گازی (Nezhadfard & Khalili-Garakani, 2020)

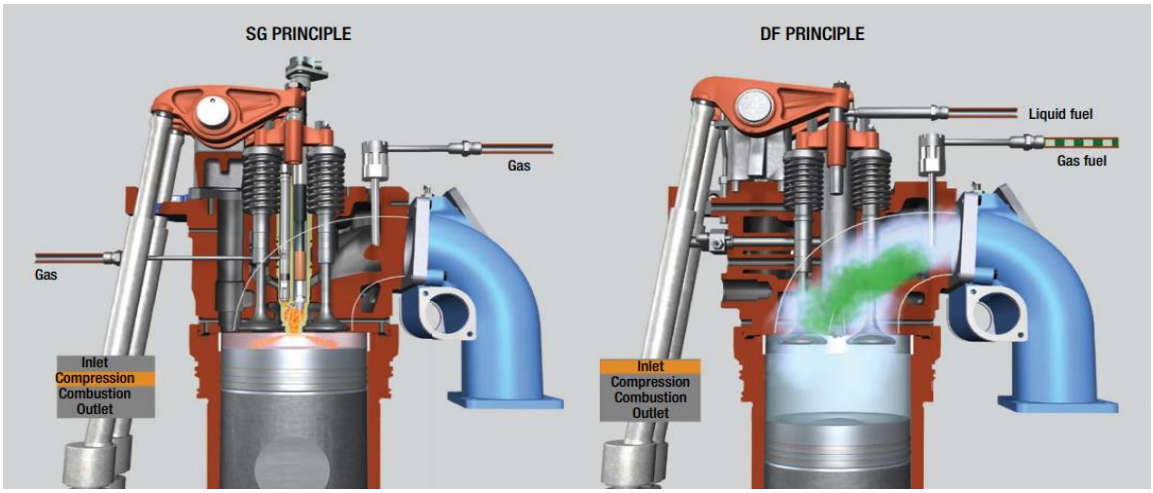
۳-۳-۱-٤ ماشین گازی

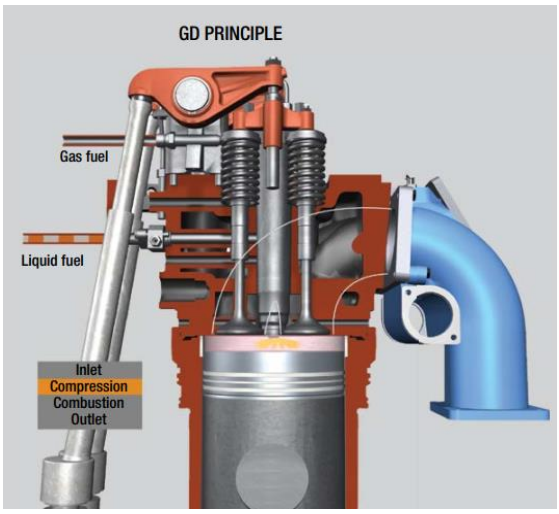
روش معمول به منظور تولید برق در مناطق دور افتاده (همانند میادین نفت و گاز)، استفاده از موتورهای دیزل برای تولید برق است، اما این روش به دلیل تغییرات قیمت محصولات نفتی، حمل و نقل و افزایش هزینه ذخیره دیزل روز به روز غیراقتصادی‌تر می‌شود. ماشین‌های گازی یکی از گزینه‌هایی است که در این زمینه مطرح شده است. مشخصات گاز همراه برای تولید برق از طریق ماشین‌های گازی بسیار مناسب است. بدین منظور ضروری است تا رطوبت و ترکیبات میعان شونده از گاز همراه حذف گردد. اگر میزان ترکیبات گوگردی زیاد باشد در برخی موارد به واحدهای گوگردزدایی نیز نیاز است. این سیستم‌ها معمولا به صورت یک مجموعه ماژولار نصب می‌شوند که تمام تجهیزات پشتیبانی (تهویه، کاهنده صدا، تاسیسات سرمایش و اتاق کنترل) را در خود جای می‌دهد. در شرایط خاص، حرارت خروجی موتور نیز می‌تواند در یک سیستم تولید همزمان مورد استفاده قرار گیرد. شکل ۳۳–۱۵ تنوع سوخت‌های قابل استفاده در تولید توان با استفاده از ماشین‌های گازی را نشان می‌دهد. مزایای این سیستم‌ها عبارتند از:

- استفاده از گاز همراه به جای دیزل و پرهیز از هزینه حمل و نقل دیزلی از راه دور
- عملکرد قابل اطمینان در دماهای محیطی تا ۵۰- درجه سانتی گراد
- راندمان تولید برق تا ۴۴٪
- عملکرد پایدار با وجود نوسانات در ترکیب و ناخالصی‌های موجود در گاز همراه
- استقلال از شبکه
- نیاز به فضای کم برای تجهیزات
- وجود تجهیزات بصورت کانتینر، به منظور نصب و بهره برداری سریع



شکل ۳۳–۱۵. تنوع سوخت قابل استفاده در ماشین‌های گازی





شکل ۳۳–۱۶. نحوه سوخت‌رسانی در سه نوع ماشین گازی شرکت واتسیلا

در مقایسه با توربین‌های گازی، که راندمان الکتریکی کمتر (۳۰-۳۷٪) و توانایی کمتری در سازگاری با گازهای فلر را دارند، ماشین‌های گازی نه تنها از راندمان بالاتر و توانایی سازگاری بالاتری برخوردار هستند، بلکه دارای عمر بالاتر، انتشار کمتر و هزینه تعمیر و نگهداری کمتری نیز می‌باشند.

یکی از معتبرترین شرکت‌های فعال در زمینه ماشین‌های گازی در زمینه تولید برق از گاز فلر شرکت واتسیلا می‌باشد. این شرکت دارای سه نوع ماشین‌گازی یگانه سوز (SG)، دوگانه‌سوز (DF) و نمونه گاز-دیزل (GD) است که نمونه آخر برای کاربردهای گاز همراه و فلر توصیه می‌شود. نحوه سوخت‌رسانی و تفاوت این سه نوع در شکل ۳۳–۱۶ نشان داده شده است. بر اساس ادعای این شرکت انواع GD با قابلیت عملکرد تا ۱۰۰۰۰ ppm ترکیبات گوگردی در دسترس است.

همچنین جدول ۳۳–۱ مشخصات انواع نمونه‌های محصولات دوگانه‌سوز و گاز دیزل این شرکت را نشان می‌دهد.

جدول ۳۳–۱. مشخصات ماشین‌های گازی دوگانه‌سوز و گاز-دیزل شرکت واتسیلا

Wärtsilä 50DF	18V50DF
Power, electrical (50 Hz/500 rpm) kW	16640
Power, electrical (60 Hz/514 rpm) kW	17080
Genset dry weight (tonne) ±5%	369
Reduced transport weight (tonne) ±5%	297

Wärtsilä 34DF	9L34DF	16V34DF	20V34DF
Power, electrical (50 Hz/750 rpm) kW	4340	7740	9730
Power, electrical (60 Hz/720 rpm) kW	4170	7430	9340
Genset dry weight (tonne) ±5%	79	120	134

Wärtsilä 46GD	12V46GD	18V46GD
Power, electrical (50 Hz/750 rpm) kW	11380	17080
Power, electrical (60 Hz/514 rpm) kW	11380	17080
Genset dry weight (tonne) ±5%	272	370
Reduced transport weight (tonne) ±5%	209	298

Wärtsilä 32GD	6L32GD	9L32GD	12V32GD	16V32GD	20V32GD
Power, electrical (50 Hz/750 rpm) kW	2640	3970	5300	7120	8920
Power, electrical (60 Hz/720 rpm) kW	2580	3890	5180	6970	8730
Genset dry weight (tonne) ±5%	58	79	93	120	131



شکل ۳۳–۱۷. تصویر نیروگاه ماشین گازی پتروآمازوناس

شاید بهترین نمونه از این نوع تولید برق از گاز فلر، نیروگاه پتروآمازوناس در میدان Eden-Yuturi در اکوادور باشد (شکل ۳۳–۱۷) که شامل ۴ ماشین گازی 18V32GD شرکت واتسیلا است، که خوراک آن از گاز همراه تامین می‌شود. این نیروگاه در مجموع دارای ۱۳ ماشین گازی با توان تولیدی ۸۵ مگاوات برق به شرح زیر است:

- 4 × Wärtsilä 18V32GD
- 3 × Wärtsilä 18V34SG
- 6 × Wärtsilä 18V32

۳-۳-۲ تولید برق از فلر پتروشیمی

بطور معمول به منظور تولید برق در صنایع پتروشیمی از موتورهای گازسوز استفاده می‌شود چون هم راندمان بالاتری نسبت به توربین‌های گازی دارند و هم قابلیت کارکرد با گاز فلر را دارا می‌باشند. همچنین به دلیل وجود هیدروژن در ترکیبات گاز فلر، موتورهای گازسوز قابلیت کارکردن با این نوع ترکیبات را نیز دارا می‌باشند (خلیلی گرکانی و همکاران، ۱۳۹۸). بنابراین ابتدا ظرفیت مناسب موتور را با توجه به میزان گاز بازیافتی از فلر محاسبه نموده و مناسب‌ترین موتور را با در نظر گرفتن همه موارد از جمله مولفه‌های گاز و شرایط سایت انتخاب می‌شود.
میزان فلو و ارزش حرارتی هرکدام از فلرها براساس میانگین ۵ ساله اطلاعات دریافتی فلرینگ محاسبه شده و براساس آن میزان برق تولیدی بدست می‌آید. برای انجام محاسبات از شبه نرم‌افزار توسعه داده شده در پژوهشگاه نیرو بهره گرفته شده است (خلیلی گرکانی و همکاران، ۱۳۹۸). میزان جریان گاز فلر، ارزش حرارتی و میزان توان الکتریکی قابل تولید از فلر پتروشیمی‌های کشور (برای پتروشیمی هایی که گزینه تولید برق از گازهای فلر در نظر گرفته شده است) را نشان می‌دهد:

جدول ۳–۲. میزان جریان گاز فلر، ارزش حرارتی و میزان توان الکتریکی قابل تولید از فلر پتروشیمی‌های کشور

ردیف	مجتمع	Flow rate(Sm^3/y)	LHV (kJ/Sm^3)	Capacity (MW)
۱.	آریاساسول	11,684,124	48,656	7.62
۲.	اصفهان	1,243,276	29,437	0.49
۳.	ایلام	22,813,819	19,586	5.99
۴.	بوعلی سینا	54,504,528	18,227	13.31
۵.	بیستون	37,405,773	10,893	5.46
۶.	جم	166,662,428	23,813	53.18
۷.	پردیس	450,154,038	9,540	57.54
۸.	پروپیلن جم	381,754	72,279	0.37
۹.	پلیمر کرمانشاه	6,004,542	34,424	2.77
۱۰.	تبریز	6,352,264	19,441	1.65
۱۱.	رازی	152,097,872	8,376	17.07
۱۲.	زاگرس	356,488,812	11,561	55.22
۱۳.	شیراز	21,102,184	7,332	2.07
۱۴.	فن آوران	241,698,352	12,872	41.69
۱۵.	کارون	28,473,819	10,744	4.10
۱۶.	کاویان	60,942,368	47,175	38.52
۱۷.	لرستان	4,480,516	45,159	2.71
۱۸.	مروارید	37,765,719	25,396	12.85
۱۹.	مهاباد	5,592,775	53,807	4.03
۲۰.	نوری	465,682,358	14,251	88.93
۲۱.	بندرامام	71,797,037	30,139	28.99
۲۲.	مارون	88,832,851	27,353	32.56

همانطور که مشاهده می‌شود، ظرفیت قابل توجهی برای تولید برق از این گازها وجود دارد. البته این نکته حائز اهمیت است که نوسانات در صنایع پتروشیمی بالاست و باید برای تصمیم‌گیری نهایی اطلاعات آن در اختیار طراحان قرار گیرد تا نسبت به تعیین ظرفیت تولید بهینه اقدام گردد.

۳-۴ سرمایه‌گذاری مورد نیاز ایده‌های بازیابی گاز فلرها

چنانچه پیشتر ذکر گردید اجزای اصلی سامانه بازیافت گاز فلر عبارت اند از:

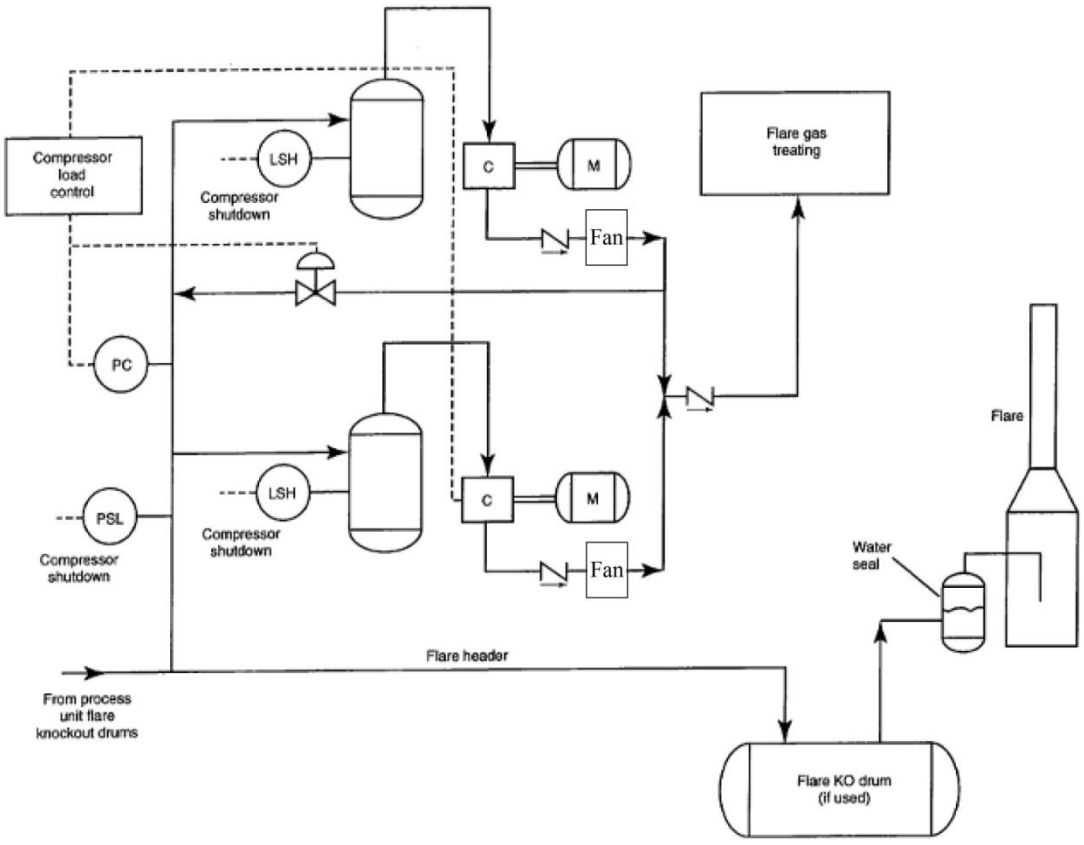
۱. کمپرسور

۲. جداکننده دوفازی یا سه فازی

۳. مبدل حرارتی سردکننده آب برگشتی به کمپرسور رینگ مایع یا کولر هوایی

٤. آب بند مایع

در شکل ۳۳–۱۸ یک واحد عمومی بازیافت گاز فلر نشان داده شده است. در این شکل مشاهده می‌شود که تجهیزات بازیافت گاز فلر باید به صورت موازی قرار گیرند یا به بیان دیگر، هر واحد بازیافت فلر باید شامل دو ردیف باشد که یکی از ردیف‌ها همیشه در حالت سرویس و دیگری در حالت آماده به کار به سر برد.



شکل ۳۳–۱۸. سیستم بازیابی گاز فلر

برای تخمین هزینه های مربوط به پروژه FGR از بررسی اقتصادی یکی از پروژه های انجام شده در پژوهشگاه صنعت نفت در خصوص بازیابی گازها فلر پالایشگاه گاز پارسیان استفاده شده است. بر این اساس، هزینه های ثابت مورد نیاز برای بازیابی 2031 m3/h گاز فلر HP به فشار ۱۰ بار توسط ۲ مرحله کمپرسور به شرح جدول ۳۳–۳ می‌باشد. به منظور بر آورد هزینه واحد FGR با استفاده از هزینه‌های بدست آمده برای پالایشگاه گاز پارسیان، از روش Exponential power ratio مورد اشاره در مرجع (Peters et al., 2003) با نسبت 0.6 استفاده شده است.

همچنین با توجه به اینکه پروژه مذکور در سال ۲۰۱۴ انجام شده، به دلیل تغییرات قابل ملاحظه‌ای که با گذشت زمان به واسطه تغییر شرایط اقتصادی در قیمت‌ها به وجود می‌آید، برای استفاده از اطلاعات آن از شاخص هزینه استفاده شده است. شاخص هزینه ضریبی است برای یک زمان معین که نشان‌دهنده نسبت قیمت یک کالا در آن زمان به قیمت همان کالا در زمان مبنا است. اگر قیمت در یک زمان مشخص در گذشته معین باشد، قیمت معادل در زمان حال حاضر با ضرب کردن قیمت در زمان مبنا در نسبت شاخص هزینه در زمان حال به شاخص هزینه در زمان مبنا با رابطه (۱) حساب می‌شود (Peters et al., 2003).

$$C_n = C_k \left(\frac{I_n}{I_k}\right) \quad (۱)$$

که در این رابطه Cn، Ck، In و Ik به ترتیب قیمت در سال n، قیمت در سال K، شاخص قیمت در سال n و k می‌باشد. اگر تفاوت زمانی کمتر از ده سال باشد، شاخص‌های معمول، برآورد نسبتا دقیقی به دست می‌دهند.

برای انجام محاسبات این بخش، از شاخص‌های هزینه ارائه شده استفاده شده است.

جدول ۳۳–۳. هزینه ثابت ایده‌های بازیابی گاز فلرهای پارسیان جهت استفاده به عنوان گاز سوخت[۱۱۷]

Scenario	Item	Price (USD) HP
	Compressor package	2054002
	Other	1780820
	Contingency	287612
	Total	4122433
Source	Compressor package price estimated from Budgetary offer from GARO	
Other: Freight, Insurance, Education, Piping cost, Civil Foundation cost, Electrical cost, Start-up Expense. Other price from “Guidelines for Formulation of Capital Investment Proposals”, IOCL Guidelines Contingency price from Punj Lloyd Offer letter		

در مورد پالایشگاه هایی که سناریو تزریق به گاز سوخت برای آن ها در نظر گرفته شده، هزینه ثابت کل شامل هزینه تجهیزات بازیابی گاز فلر و فشار افزایی آن به 10 bar می شود. در خصوص پالایشگاه‌هایی که سناریو تولید برق برای آن‌ها در نظر گرفته شده، علاوه بر تجهیزات بازیابی گازهای فلر، هزینه موتورهای احتراقی گازسوز نیز اضافه می گردد. برای محاسبه هزینه موتورهای احتراقی از اطلاعات (Khalili-Garakani et al., 2022) استفاده شده است. همچنین برای برخی مجتمع‌ها که ترکیب گاز فلر با ارزش حرارتی پایینی دارند (عمدتا شامل نیتروژن)، پروژه بازیابی گاز فلر در نظر گرفته نشده است. بر اساس توضیحات ارائه شده، هزینه سرمایه گذاری لازم برای استفاده از گاز فلر مجتمع‌های پتروشیمی محاسبه شده و در جدول ۳۳–۴ ارائه شده است.

[117] https://www.chemengonline.com/Assets/File/CEPCI_2002.pdf

جدول ۳۳–۴. هزینه سرمایه‌گذاری لازم برای استفاده از گاز فلر مجتمع های پتروشیمی

مجتمع	میانگین مقدار فلرینگ (میلیون متر مکعب در سال)	روش استفاده از گاز فلر	هزینه سرمایه گذاری بازگردانی گاز فلر (میلیون دلار)	هزینه سرمایه گذاری تولید برق (میلیون دلار)	هزینه سرمایه گذاری کل (میلیون دلار)
ابادان	30.19	A *	12.26		12.26
آریاساسول	11.68	B **	6.94	10.59	17.53
اصفهان	1.24	B	1.81	0.68	2.49
امیرکبیر	6.38	A	4.83		4.83
ایلام	22.81	B	10.36	8.33	18.69
بوعلی سینا	54.50	B	17.47	18.51	35.99
بیستون	37.41	B	13.94	7.59	21.53
پارس	2.61	A	2.82		2.82
جم	166.66	B	34.17	73.96	108.12
پردیس	450.15	B	62.02	80.03	142.05
پروپیلن جم	0.39	B	0.90	0.52	1.42
پلی نار	2.30	A	2.62		2.62
پلیمر کرمانشاه	6.00	B	4.65	3.85	8.50
تخت جمشید ماهشهر	0.03	A	0.21		0.21
تندگویان	2.28	A	2.60		2.60
خارک	1.78	A	2.24		2.24
تبریز	6.35	B	4.81	2.30	7.11
رازی	152.10	B	32.34	23.74	56.08
زاگرس	356.49	B	53.92	76.80	130.72
شازند اراک	49.65	A	16.52		16.52
شیراز	21.10	B	9.89	2.88	12.77
شیمی تکس آریا	0.12	A	0.45		0.45
فرساشیمی	4.23	C***			
فن آوران	241.70	B	42.70	57.98	100.68
کارون	28.47	B	11.83	5.70	17.54
کاویان	60.94	B	18.68	53.58	72.26
لرستان	4.48	B	3.90	3.77	7.67
مروارید	37.77	B	14.02	17.87	31.89
مهاباد	5.52	B	4.42	5.54	9.96
مهر	9.19	C***			
نوری	465.68	B	63.29	123.67	186.96
نویدزرشیمی	0.37	A	0.87		0.87
شیمی بافت	1.25	A	1.81		1.81
بندرامام	71.80	B	20.61	40.33	60.94
مارون	88.83	B	23.42	45.28	68.70
کردستان	5.55	A	4.44		4.44

* بازگردانی گاز فلر و تزریق به شبکه گاز سوخت
** بازگردانی گاز فلر و تولید برق
*** ارزش حرارتی پایین گاز فلر (بدون پروژه بازیابی گاز فلر)

مراجع

خلیلی گرکانی، امیرحسین، ایروانی‌نیا، مونا، نژادفرد، محیا، بررسی فرآیندهای بازیافت گاز همراه میادین نفت و فلر به منظور تولید برق در ایران، پژوهشگاه نیرو، اردیبهشت ۱۳۹۸.

Blackwell B., Leagas T., Seefeldt G., "practical flare gas recovery", Zeeco Inc. 2015.12.06.

EPA EIIP 1999 - EIIP, Guidance for Emissions Inventory Development, Volume II: Estimating Greenhouse Gas Emissions, EIIP Greenhouse Gas Committee, October 1999.

GRI 2001 - Gas Research Institute (GRI), GRI GHGCalc Version 1.0 Emission Factor Documentation, July 2001 and GRI-GHGCalc 1.21 Greenhouse Emissions Calculation Software.

Khalili-Garakani A., Nezhadfard M., Iravaninia M. Enviro-economic investigation of various flare gas recovery and utilization technologies in upstream and downstream of oil and gas industries. Journal of Cleaner Production (2022): 131218.

Lyons W.C., Gary Plisga J., Standard Handbook of Petroleum and Natural Gas Engineering, Second Edition, Huston, Texas, USA, 1996.

Nezhadfard M., Khalili-Garakani A., 2020, Power generation as a useful option for flare gas recovery: Enviroeconomic evaluation of different scenarios, 204, 117940.

ONGC (Oil and Natural Gas Corporation) Limited, Project design document, "Flare gas recovery project at Hazira Gas Processing Complex (HGPC) ", Hazira plant, May 17, 2012.

Ojijiagwo E., Oduoza C.F., Emekwurua N., Economics of gas to wire technology applied in gas flare management, Engineering Science and Technology, an International Journal, 2016a, vol 19, pp. 2109–2118.

Ojijiagwo E., Oduoza C.F., Emekwurua N., 2016b, Economics of gas to wire technology applied in gas flare management. Engineering Science and Technology, an International Journal, 19, 2109–2118.

Peters M.S., Timmerhaus K.D., West R.E. Plant design and economics for chemical engineers. Vol. 4. New York: McGraw-Hill, 2003.

Smith S., Palfreeman N., Mashour M., Seefeldt G., Practical Flare Gas Recovery Hydrocarbon Engineering, Jan 2015.

Smith S., Palfreeman N., Mashour M., Seefeldt G., "High Pressure Air Assist System and Flare Gas Recovery Technology for Continuous Flare Management", Flare Management and Reduction Summit 2012.

فصل ۴ مکانیسم‌ها و مشوق‌های بین المللی زیست محیطی شامل NAMAs، GCF، JCM و CDM

۱-٤ مقدمه

آمارهای منتشر شده نشان می دهند که سال ۲۰۱۳ یکی از گرمترین سالها در طول تاریخ بوده است. IPCC تایید کرده است که با ادامه روند کنونی انتشار گازهای گلخانه ای، افزایش متوسط دمای جهانی بیش از ۲ درجه سانتیگراد خواهد بود که تا پایان قرن به بیش از میزان بحرانی (۴ درجه سانتیگراد) خواهد رسید. لذا در تمامی اجلاسهای اخیر عالی رتبه سران کشورها موضوع تغییر آب و هوا و لزوم توجه به آن در برنامه های توسعه کشورها یکی از دستور کارهای این اجلاس یوده است. بنابراین توجه و اقدامات لازم جهت جلوگیری از وقوع بحرانهای اقلیمی لازم و ضروری است. جامعه بین الملل تا کنون چهارچوب های حقوقی و مکانیزم های متفاوتی را برای حل این مشکل ایجاد کرده است که مزایا و معایبی را به دنبال داشته اند. با وجود مشکلات فراوان در زمینه مذاکرات تغییر اقلیم، توجه به سیاست های کاهش انتشار رو به افزایش است که در سالهای اخیر منجر به راه اندازی تجارت و بنگاه های اقتصادی مرتبط با حوزه کربن را به دنبال داشته اند. راه اندازی سیستم های تجارت کربن ملی و منطقه¬ای و ایجاد مالیات کربن در سطح دنیا یکی از این اقدامات می‌باشد. ایجاد ساختار های تجاری در کنار سیاست ها و الزامات کاهش انتشار، ایجاد انگیزه و مشارکت بخش های مختلف بخصوص بخش خصوصی را در سالهای اخیر به دنبال داشته است. به طور کلی در این گزارش چهار مکانیسم NAMAs، GCF، JCM و CDM به تفصیل بررسی و مطالعه می‌شود.

۱-۱-۴ مفهوم و هدف کلی مکانیسم اقدامات کاهش انتشار مناسب ملی (NAMA)

در دهه ۱۹۷۰ نظر برخی از دانشمندان به تغییرات آب و هوایی و روند گرمایش جهانی معطوف گردید. با اثبات اینکه در صورت افزایش دی‌اکسید کربن در جو تغییرات وسیعی در اقلیم جهان پدیدار خواهد شد، اولین کنفرانس جهانی اقلیم در سال ۱۹۷۹ با تاکید بر گرمایش جهانی برگزار شد. در سال ۱۹۸۸ اولین کنفرانس دولتی با مشارکت UNEPدر ایالت تورنتو برگذار شد. دومین کنفرانس جهانی اقلیم با تاکید بر لزوم ایجاد یک چارچوب حقوقی برای پدیده تغییر آب وهوا در سال ۱۹۹۰ تشکیل شد. در سال ۱۹۹۲ کنوانسیون تغییرات آب و هوا در ریودوژانیرو توسط ۱۵۴ کشور امضا شد که بزرگترین گردهمایی سران کشورها در زمینه حفظ محیط زیست بشمار می‌آید. کنوانسیون تغییرات آب و هوای سازمان ملل (UNFCCC)، با هدف کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای شکل گرفت و در سال ۱۹۹۴ اجرایی شد. اهداف اصلی این کنوانسون بطور خلاصه شامل موارد ذیل می باشند:

- تثبیت غلظت گازهای گلخانه‌ای در جو در سطحی که از اثرات خطرناک فعالیت‌های بشر بر سیستم اقلیم جلوگیری نماید.
- ارائه گزارش دوره‌ای وضعیت ملی تغییر آب و هوا به کنوانسیون.
- تهیه میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و جذب توسط چاهک‌ها در کشور بصورت دوره‌ای.
- تنظیم و اجرای برنامه‌های کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای.
- همکاری و توسعه روش‌های انتقال تکنولوژی برای کاهش انتشار در بخش‌های مختلف انرژی، حمل و نقل، جنگل و پسماندها.
- همکاری منطقه‌ای و بین‌المللی در تهیه روش‌های تطبیق با پدیده تغییر آب و هوا.
- لحاظ نمودن موضوع تغییر آب و هوا در سیاست‌ها و برنامه‌های توسعه.

در سومین کنفرانس سران کشورهای عضو در کیوتوی ژاپن، پروتکلی با عنوان پروتکل کیوتو با هدف تقویت مکانیزم‌های اجرایی، به کنوانسیون اضافه شد. جامعه جهانی در یازدهم دسامبر ۱۹۹۷ در کیوتو ژاپن پروتکلی را

امضا نمودند که بر طبق مفاد آن اعضا تلاشی فراگیر برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای صورت خواهند داد. این پیمان از ۱۶ فوریه سال ۲۰۰۵ اجرایی شد. ایران در تاریخ ۲۲ آگوست ۲۰۰۵ مصادف با ۳۱ مردادماه ۱۳۸۴ این پروتکل را به صورت رسمی پذیرفت.

در اجرای این تعهدات، از آنجا که بیشتر کشورهای مزبور از گروه ممالک توسعه‌یافته و فاقد منابع انرژی می‌باشند، عملا با مشکلاتی مواجه هستند. این گروه تاکنون از فنآوری‌های پیشرفته و مبتنی بر صرفه‌جویی در مصرف انرژی استفاده نموده‌اند و هر تلاشی برای کاهش انتشار با هزینه‌های بالایی روبرو خواهد بود. از سوی دیگر انتشار گازهای گلخانه‌ای پدیده‌ای جهانی است و هر کجا که از انتشار آنها ممانعت شود به حل معضل بوجود آمده کمک می‌کند. با این منطق تصمیم گرفته شد به منظور کاهش انتشار در کشورهای در حال توسعه از طریق مکانیزم‌های بازار محور، انتقال منابع مالی و نیز فنآوری روز امکانپذیر شود. کاهش انتشار حاصل از یک تعامل دو سویه به نام کشور سرمایه-گذار ثبت و از تعهدات آن کاسته می‌شود.

روح حاکم بر این راهکار انعطاف‌پذیر به منظور فراهم نمودن شرایط اجرایی کاهش انتشار و ایجاد انگیزه در هر یک از دو سوی شمال و جنوب می‌باشد. ثروت و دانش کشورهای توسعه‌یافته به کمک کشورهای در حال توسعه آمده، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای را هدف قرار می دهد. بطور خلاصه در این شیوه، یک کشور توسعه یافته با سرمایه‌گذاری در یک کشور در حال توسعه، به روشهای گوناگونی باعث کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و از سوی دیگر توسعه پایدار در آن کشورها می‌شوند و با مدارک آن، به پاره‌ای از تعهداتش در قبال پروتکل کیوتو و کاهش انتشار، جامه عمل می‌پوشاند.

دامنه گسترده‌ای از فعالیت‌ها می‌توانند تحت NAMAs انجام شوند. مشارکت کشورهای در حال توسعه در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای با اجرای اقدامات ملی شامل قوانین، مقررات، استانداردها و طرح‌های برچسب گذاری، برنامه انتقال و انطباق فناوری، تمهیدات مالی از جمله مالیات‌ها مشوق‌ها و سیستم‌های تجارت کربن (cap & trade)، اقدامات بهره‌وری انرژی، تحقیق و توسعه، استراتژی‌های توسعه کم کربن، برنامه‌های توسعه پایدار، ظرفیت‌سازی و فعالیت‌های جمع‌اوری اطلاعات و ... می‌باشد.

مطالعه مکانیسم NAMAs نشان می‌دهد که سطح جزئیات موجود در تعهد هر کشور متفاوت است، در حالی که هیچ‌گونه قاعده و قانونی برای تعریف یک طرح NAMA وجود ندارد، سنگ بنای کلیدی برای اجرای یک طرح NAMA می‌تواند در موارد شرح داده شده زیر خلاصه گردد.

- حوزه فعالیت- حوزه‌های متفاوت بخشی اقدامات کاهش انتشار (به عنوان مثال حوزه‌های برق، سیمان، ساختمان و انرژی)
- مرز جغرافیایی- ملی، منطقه‌ای، شهری و غیره می‌تواند باشد.
- اقداماتی که باید انجام پذیرد- تعریف اهداف کاهش انتشار (به عنوان مثال کاهش تولید گازهای گلخانه ای) و یا اقدامات (اقدامات که منجر به کاهش مستقیم و یا غیر مستقیم می‌شوند).
- تعریف حمایت مورد نیاز برای این اقدامات- ممکن است در فرم‌های مالی، تکنولوژی و یا ظرفیت‌سازی باشد. (امور مالی می‌تواند شامل اعتباری باشد)
- بازه زمانی- برای طراحی، پیاده‌سازی و دستیابی به اقدامات
- چارچوب MRV- اندازه‌گیری، گزارش‌دهی و صحه‌گذاری انجام می‌شود؛ دستاورد می‌تواند در قالب گازهای گلخانه‌ای بیان شود، اما ممکن است اینطور نباشد (برای جزئیات بیشتر به بحث MRV توجه شود).
- موسسات- سازمان‌های کلیدی درگیر در طراحی و اجرای یک طرح NAMA، شامل نهادهای دولتی و احتمالا شرکای بخش خصوصی، می‌تواند هر دو داخلی و یا بین المللی باشند.

۲-۱-۴ مفهوم و هدف کلی صندوق اقلیم سبز (GCF)

کنوانسیون تغییر اقلیم در اجلاس COP16، صندوق اقلیم سبز (GCF) را به منظور انجام مشارکت جدی در اقدامات جهانی اقلیمی تاسیس کرد. این کار توسط ۱۹۴ کشوری که عضو کنوانسیون چارچوب سازمان ملل متحد در مورد تغییر اقلیم (UNFCCC) در سال ۲۰۱۰ هستند، به عنوان بخشی از مکانیسم مالی کنوانسیون تنظیم شده و هدف آن تخصیص مقدار بودجه مساوی به کاهش و سازگاری بوده است.

این صندوق از تغییر الگوی کشورها به سوی انتشار کم و ارتقاء انعطاف‌پذیری نسبت به اقلیم، با ارائه کمک مالی به کشورهای در حال توسعه در دو محدوده ذیل حمایت می کند:

- محدود کردن یا کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای
- سازگاری با اثرات تغییر اقلیم

در حال حاضر صندوق متعد به ۵/۶ میلیارد دلار و همچنین اجرای ۱۲۹ پروژه مصوب می‌باشد که از این تعداد، ۵۴ عدد پروژه مربوط به کشورهای آسیا-پاسیفیک، ۵۱ عدد کشورهای آفریقایی، ۲۸ عدد کشورهای حوزه آسیا-پاسیفیک و ۶۹ تای آن متعلق به کشورهای اروپای شرقی است. تاکنون ۴۸٪ این تعهدات در غالب گرنت مالی، ۳۸٪ وام، ۸٪ equity، ۴٪ results-based payment و ۲٪ گارانتی بوده است.

پروژه‌های صندوق GCF به چهار دسته میکرو، کوچک، متوسط و بزرگ تقسیم‌بندی می‌شود. تاکنون پروژه‌های اجرا شده در زمینه انرژی، در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر و بخش‌های بهینه‌سازی انرژی بوده است. همچنین معیارهای سرمایه-گذاری صندوق برای سرمایه‌گذاری پروژه‌ها شامل موارد زیر می‌باشد:

- پتانسیل پروژه / برنامه برای کمک به اهداف صندوق
- پتانسیل تغییر الگو یعنی چگونگی تغییر ظرفیت و تکرارپذیری آن و همچنین تحول برانگیز بودن و نوآورانه بودن پروژه / برنامه
- پتانسیل توسعه پایدار یعنی توسعه پایدار همراه با کاهش انتشار و سازگاری با تغییر اقلیم
- پاسخگویی به نیازهای دریافت‌کنندگان یعنی نیازهای آسیب‌پذیری و تامین مالی کشور ذینفع. تا چه حد پروژه گروه‌های آسیب‌پذیر، موانع تامین مالی و سطح قرار گرفتن در معرض خطرات آب و هوا در داخل کشور را در نظر گرفته؟
- ارتقاء دارایی‌های کشوری یعنی متناسب بودن پروژه با برنامه‌های زیست محیطی کشور
- کارایی و اثر بخشی یعنی برای پروژه‌های کاهش انتشار خاص تا چه حد مقرون به صرفه است و می‌تواند برای تامین مالی پروژه همکاری کند.

مراحل عملیاتی ثبت پروژه‌های صندوق GCF از تهیه یک concept note اولیه آغاز می‌شود. یک Concept note سندی است که اطلاعات اولیه در مورد یک پروژه یا یک برنامه را ارائه می‌دهد. این امر به AE این فرصت را می‌دهد تا از دبیرخانه GCF در مورد اینکه آیا پیشنهاد آنها با اهداف و دستورالعمل صندوق مطابقت دارد، بازخورد بگیرند. AE باید به NDA درباره ارسال یک Concept note به GCF اطلاع‌رسانی کند. پس از تائید Concept note، باید فرم‌های اصلی پیشنهاد پروژه پر و به دبیرخانه GCF ارسال گردد.

با توجه به ماهیت دینامیک صندوق GCF و دارا بودن ساختار باز تولیدی آن، این مکانیسم قابلیت اجرای بالایی در پروژه‌های feasible و bankable دارد. مهمترین معیارهای انتخاب این صندوق جهت حمایت عبارتند از: ۱- نوآورانه بودن پروژه، ۲- تکرارپذیری پروژه، ۳- ایجاد دانش فنی، ۴- بهبود شاخصهای زیست محیطی (از نقطه نظر مصرف

آب، انرژی و کاهش تولید آلاینده‌ها و گازهای گلخانه‌ای) در مقایسه با روش‌های رایج، ۵- هایلایت بودن منافع عمومی و ۶- استفاده از نیروهای غیر تخصصی بومی.

۴-۱-۳ مفهوم و هدف کلی مکانیسم اعتبار مشترک (JCM)

مکانیسم اعتبار مشترک (JCM[118]) از سال ۲۰۱۱ به منظور انتشار فن‌آوری‌های پیشرو کم کربن، محصولات، سیستم‌ها، خدمات و زیرساخت‌ها و همچنین تسهیل اجرای اقدامات کاهش‌دهنده و توسعه پایدار کشورهای در حال توسعه در کشور ژاپن شروع به کار نمود. این مکانیسم با استفاده از روش‌های اندازه‌گیری، گزارش‌گیری و تأیید صحت (MRV[119])، کمک‌های مربوط به کاهش و یا حذف انتشار GHG را از کشور ژاپن، بصورت کمی ارزیابی نموده و از آنها برای دستیابی به اهداف کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای کشور ژاپن استفاده می‌کند.

بدین ترتیب JCM با تسهیل اقدامات جهانی برای کاهش یا حذف انتشار GHG و تکمیل مکانیسم توسعه پاک (CDM[120]) به هدف نهایی UNFCCC مبنی بر جلوگیری از گرمایش کره زمین کمک می‌کند.

برنامه هدف در مکانیسم JCM، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای کشور ژاپن از فوریه سال ۲۰۱۳ بعنوان سال مبنا تا فوریه سال ۲۰۳۰ بعنوان سال هدف می‌باشد. برآوردها حاکی از آنست که در این مدت کاهش یا حذف انتشار گازهای گلخانه‌ای به میزان ۲۶٪ در کشور ژاپن بدون استفاده از اعتبارات بین‌المللی قابل دستیابی خواهد بود. بنابراین در سال ۲۰۳۰، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای از طریق برنامه‌های دولتی JCM که در بودجه سالانه دولت پیش‌بینی شده‌است، حدود ۵۰ تا ۱۰۰ میلیون تن دی‌اکسیدکربن پیش‌بینی می‌شود. اما آنچه حائز اهمیت است تلاش دولت در جهت اجرای پروژه‌های JCM از طریق مشارکت بیشتر بخش خصوصی می‌باشد.

لازم بذکر است که میزان اعتبارات بدست آمده توسط کشور ژاپن تحت مکانیسم JCM، به عنوان کاهش انتشارات متعهدانه این کشور مطابق با توافقنامه پاریس (PA[121]) بشمار می‌آید.

۴-۱-۴ مفهوم و هدف کلی مکانیسم توسعه پاک (CDM)

مکانیسم توسعه پاک (CDM) یک مکانیسم همکاری بین المللی است که تحت پیمان کیوتو بنا نهاده شده است و منابع بسیار مهمی را برای دستیابی به توسعه پایدار از طریق ترویج سرمایه گذاری در پروژه‌های سازگار با محیط زیست در اختیار کشورهای در حال توسعه قرار میدهد. بر اساس آمار منتشر شده توسط کنواسیون تغییرات آب و هوای سازمان ملل ایران علیرغم برخورداری از پتانسیلهای لازم با ثبت چهار پروژه در سازمان توسعه پاک بین الملل تا کنون سهم بسیار ناچیزی از این بازار بین المللی برده است ،این درحالی است که کشورهای چین، هند و برزیل به ترتیب با 683 ،1447و 193پروژه ثبت شده بیشترین جذب سرمایه را به خود اختصاص داده‌اند.

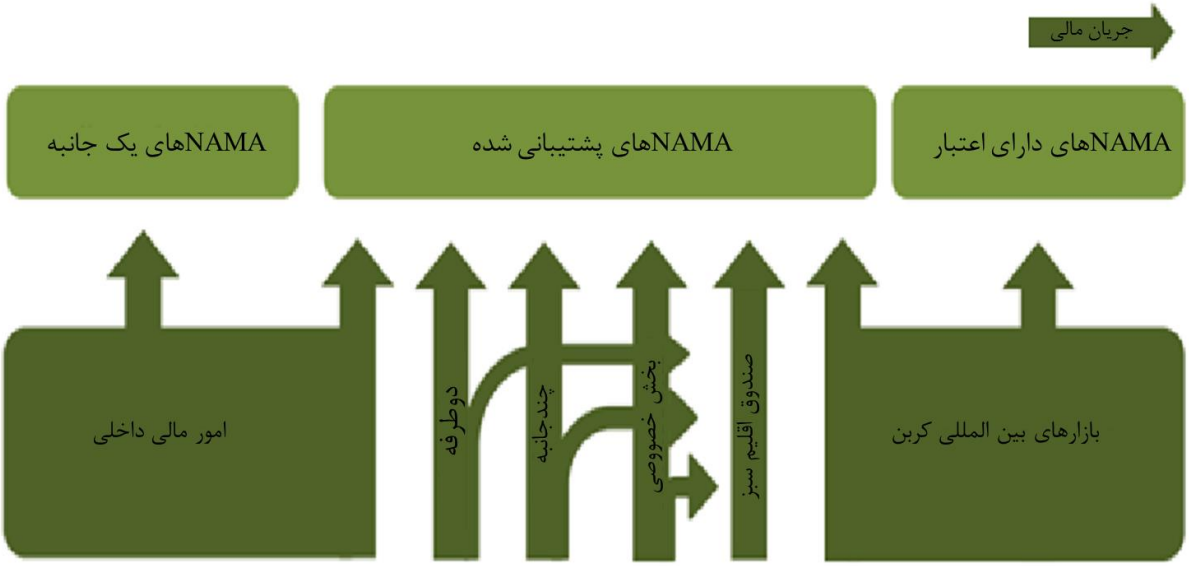
۴-۲ اقدامات کاهش انتشار مناسب ملی (NAMA[122])

[118] Joint Crediting Mechanism
[119] Measurement, Reporting and Verification
[120] Clean Development Mechanism
[121] Paris Agreement
[122] Nationally Appropriate Mitigation Actions

تغییر در اقلیم که به طور مستقیم یا غیر مستقیم به فعالیت انسانی نسبت داده می‌شود که ترکیب شرایط جوی جهانی را علاوه بر تغییر طبیعی اقلیم طی دوره‌های زمانی قابل مقایسه تغییر می‌دهد که از جمله می‌توان به گرمایش جهان به علت افزایش تولید گازهای گلخانه‌ای اشاره نمود. گازهایی که در جو زمین تشعشعات مادون قرمز را جذب و بازتابش می‌کنند، گازهای گلخانه‌ای نامیده می‌شوند. این گازها از طریق دو فرایند، طبیعی و عامل انسانی ایجاد می‌شوند که شامل گازهای دی اکسید کربن، اکسید نیتروژن، متان، ازن، کلروفلوئوروکربن‌ها می‌باشند. مکانیزم‌های مختلفی در جهان وجود دارند که از پروژه‌های کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به شیوه‌های مختلف حمایت می‌نمایند، یکی از این مکانیزم‌ها NAMA می‌باشد. هدف از این بخش معرفی مکانیسم اقدامات کاهش انتشار مناسب ملی (NAMA) در کشور می‌باشد. پروژه‌های NAMAs به فعالیت‌های داوطلبانه کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای در کشورهای در حال توسعه گفته می‌شود که جز تعهدات کاهش انتشار آن‌ها نیستند؛ و می‌تواند (نه الزاما) با حمایت کشورهای صنعتی از طریق تامین منابع مالی، انتقال تکنولوژی یا ظرفیت‌سازی صورت پذیرند.

٤-٢-١-١ مفهوم NAMA (برنامه اقدام مناسب کاهش انتشار در سطح ملی)

این مفهوم برای اولین بار در سیزدهمین کنفرانس اعضاء (COP13) که در سال ۲۰۰۷ در بالی اندونزی برگزار شد، معرفی گردید. طرح اقدام بالی (Bali Action Plan) مشتمل بر موضوعاتی نظیر "اقدامات مناسب کاهش انتشار در سطح ملی"، تدوین استراتژی‌ها و رویکردهای همکاری‌های بلند مدت برای کاهش تغییر اقلیم تدوین شده است که در قالب توسعه پایدار، تأمین و پشتیبانی فناوری، تأمین منابع مالی و ظرفیت سازی (Capacity Building) قابل حصول خواهد بود. تمامی این اقدامات باید قابلیت اندازه‌گیری، گزارش‌دهی و صحه‌گذاری (MRV) را داشته باشند.
این پروژه‌ها در واقع ابزاری برای دستیابی به اهداف ملی اقلیمی کشور یا استراتژی‌های توسعه کم کربن می‌باشد. در واقع استراتژی‌های ملی اقلیمی یک نمای کلی را ایجاد می‌کند، در صورتیکه پروژه‌های NAMA وسیله‌ای برای اجرای این نمای کلی در کشور است. در موافقتنامه "Cancun"، دو شیوه مختلف برای پروژه‌های NAMAs در نظر گرفته شده است. این موارد عبارتند از:
۱- NAMAs یکطرفه یا داوطلبانه: طرح‌هایی که با استفاده از منابع مالی و سایر منابع داخلی توسط کشورهای در حال توسعه و بصورت مستقل اجرا می‌گردند که از آن بعنوان "NAMAs یک طرفه" یاد می‌شود.
۲- NAMAs حمایتی: طرح‌هایی که با حمایت‌های بین‌المللی اجرا می‌شود را به عنوان "NAMAs حمایتی" تعریف می‌کند.
به طور کلی حمایت می‌تواند از طریق روش‌های سنتی از قبیل کمک‌های مالی، کمک‌های فنی، وام‌ها و برنامه‌های ظرفیت‌سازی صورت پذیرد، اما مکانیسم‌های مبتنی بر بازار و فروش گواهی‌های حاصل از پروژه‌های NAMAs در بازار کربن می‌تواند یکی از مکانیسم‌های حمایتی پویا مد نظر قرار گیرند. یک طرح NAMA که با ایجاد و فروش اعتبار کربن به کشورهای صنعتی حمایت می‌شود به طور کلی به عنوان "NAMA اعتباری" نامیده می‌شود. با این حال، مفهوم NAMA اعتباری بحث برانگیزتر از این مباحث بوده است و چگونگی تحقق یک چارچوب برای ایجاد اعتبار از NAMAs می‌تواند جای سوال اساسی باشد؛ به هر حال همه کشورهای در حال توسعه به راحتی با مفهوم NAMAs اعتباری کنار نمی‌آیند.
به علت ماهیت انعطاف‌پذیری که NAMA دارد، این مکانیسم می‌تواند اشکال مختلفی را در برگیرد این اشکال شامل: طرح‌های بخشی، سیاست‌ها یا برنامه‌های خاص و یا پروژه‌های انفرادی می‌باشد. در شکل ۴-۱ دیاگرام انواع NAMAها نمایش داده شده است.



شکل ۴-۱. انواع NAMAها

از اینرو در این راستا لازم است، آموزش بدنه NAMA با استفاده از دو روش زیر انجام پذیرد:

- چارچوبی مفهومی برای اجرا و توسعه شرایط آب و هوایی انعطاف‌پذیر و کم کربن که حاصل آن در اولویت قرار دادن NAMAها باشد.
- روش گام به گام برای غربالگری فرصت‌های NAMA، چه در داخل و چه در خارج از یک فرآیند برنامه‌ریزی‌شده توسعه‌ای کاهنده کربن همراه با یک طراحی ضمنی ویژه برای توسعه مفاهیم NAMA و یک طرح اصلی برای توسعه پیشنهادهای مربوط به NAMA.

۲-۱-۲-۴ ویژگی‌های اصلی طرح‌های NAMAs

بررسی پروژه‌های NAMAs نشان می‌دهد که سطح جزئیات موجود در تعهد هر کشور متفاوت است، در حالی که هیچ گونه قاعده و قانونی برای تعریف یک طرح NAMA وجود ندارد، سنگ بنای کلیدی برای درک صحیح مفهوم یک طرح NAMA می‌تواند در موارد شرح داده شده زیر قابل دسترسی باشد؛

- حوزه فعالیت- حوزه‌های متفاوت بخشی اقدامات کاهش انتشار (به عنوان مثال حوزه‌های برق، سیمان، ساختمان)
- مرز جغرافیایی- ملی، منطقه‌ای، شهری و غیره می‌تواند باشد.
- اقداماتی که بایستی انجام پذیرد- تعریف اهداف کاهش انتشار (به عنوان مثال کاهش تولید گازهای گلخانه ای) و یا اقدامات (اقدامات که منجر به کاهش مستقیم و یا غیر مستقیم می‌شوند)
- تعریف حمایت مورد نیاز برای این اقدامات- ممکن است در فرم های مالی، تکنولوژی و یا ظرفیت‌سازی باشد. (امور مالی می‌تواند شامل اعتباری باشد)
- بازه زمانی- برای طراحی، پیاده‌سازی و دستیابی به اقدامات
- چارچوب MRV – فرآیندی که در آن اندازه‌گیری، گزارش‌دهی و صحه‌گذاری انجام می‌شود؛ دستاورد می‌تواند در قالب گازهای گلخانه‌ای بیان شود، اما ممکن است اینطور نباشد.

- موسسات- سازمان‌های کلیدی درگیر در طراحی و اجرای یک طرح NAMA، شامل نهادهای دولتی و احتمالا شرکای بخش خصوصی، می‌تواند هر دو داخلی و یا بین‌المللی باشند.

۴-۲-۲ روش‌های عملی برای شناسایی و توسعه مفاهیم NAMA

دو روش عمده وجود دارد که می‌تواند برای شناسایی و توسعه یک NAMA استفاده شود:

بالا به پایین- بر اساس تعهدات، استراتژی‌ها و سیاست‌های ملی

پایین به بالا- بر اساس تجربه موجود در پروژه های CDM[۱۲۳]، و یا به طور خاص پروژه‌های برنامه اقدامات[۱۲۴]؛ ترکیبی از دو روش نیز قابل تصور است.

۴-۲-۲-۱ بالا به پایین (تبدیل سیاست‌ها به NAMAs)

در این رویکرد از سیاست‌های موجود، راهبردها، برنامه‌ها یا مقررات در محل عمل به عنوان یک نقطه شروع برای بررسی، انتخاب و طراحی فرصت‌های بالقوه NAMA بهره گرفته می‌شود؛ فرض بر این است که رویکرد بالا به پایین توسط دولت‌های داخلی که در حال حاضر به ایجاد اراده سیاسی برای انجام اقدامات کاهش می‌پردازند صورت پذیرفته است. این رویه شامل مراحل زیر می‌باشد.

گام اول: دولت به مرور چارچوب سیاست‌های موجود خود برای شناسایی بهتر فرصت‌های تازه برای کاهش انتشار بیش‌تر در بخشی که قبلا به عنوان توسعه کم کربن در آن کشور شناخته می‌شده است، می‌پردازد.

گام دوم: سپس دولت به ارزیابی این پتانسیل‌های تازه کاهش انتشار پرداخته و به دنبال ایجاد سود مشترک می‌گردد.

گام سوم: گام بعدی این است که شناسایی احتیاجات لازم برای طرح NAMAs، تامین گردند. این احتیاجات می‌تواند شامل منابع مالی و ظرفیت‌های فنی مورد نیاز باشد. در واقع نوع پشتیبانی که می‌تواند مناسب تأمین منابع مالی، ظرفیت‌سازی و یا انتقال فن‌آوری صورت پذیرد. همچنین شناسایی نیازهای MRV برای هر اقدامی انجام می‌شود.

گام چهارم: دولت پس از شناسایی بهترین گزینه بر اساس معیارهای انتخاب، لیست کوتاهی را ایجاد کرده و مجموعه‌ای از اقدامات را برای توسعه بیشتر انتخاب می‌کند.

گام پنجم: در این گام مشخصه‌سازی سنگ بنای طرح بحث شده در قبل (حوزه، MRV، نوع پشتیبانی و غیره) بعد از یافتن موردی برای بهترین گزینه NAMA، می‌باشد.

گام ششم: پس از تدوین و پذیرفته‌شدن به عنوان طرح NAMA، دولت باید به تعامل با سازمان‌های کمک‌کننده بین‌المللی و ظرفیت‌سازی برای اجرای آن بپردازد.

۴-۲-۲-۲ پایین به بالا (تبدیل برنامه اقدامات CDM به NAMAs)

[123] Clean Development Mechanism
[124] Programme of Activities

در این رویکرد، دولت می‌تواند تجربه موجود در برنامه اقدامات CDM را به عنوان پایه و سنگ بنای NAMA در نظر بگیرد. برنامه اقدامات CDM مناسب تبدیل شدن به NAMAs از طرح‌های سنتی CDM هستند؛ زیرا آنها برای پیاده‌سازی از حمایت سیاست‌ها و رویکرد بخش گسترده‌تری برخوردارند. این رویه شامل مراحل زیر می‌باشد.
گام اول، شناسایی برنامه اقدامات در کشور و بررسی حوزه، ساختار مدیریت، ترتیبات اجرا، تناسب با سیاست‌ها و مقررات موجود و منبع کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای است.
گام دوم، تجزیه و تحلیل عناصر طراحی عملیاتی با توجه به انطباق آن‌ها برای طراحی NAMAs که شامل جواب‌های زیر می‌باشد.

- آیا معیارهای واجد شرایط بودن برنامه اقدامات، کمکی به تعریف حوزه NAMAs می‌کند؟
- آیا روش پایه برای کمک به تعریف NAMAs اتخاذ شده است؟
- آیا رویه برنامه اقدامات MRV می‌تواند (به منظور توسعه یک چارچوب MRV برای NAMAs) مورد استفاده قرار گیرد؟
- آیا ساختار مدیریت برنامه اقدامات موجود نقش مهمی در اجرای NAMAs ایفا می‌کند؟

برخی از عناصر برنامه اقدامات ممکن است مناسب نبوده و نیازمند شروع از ابتدا باشند.

۳-۲-۴ چالش MRV

تمامی اقدامات کاهش انتشار باید قابلیت اندازه‌گیری، گزارش‌دهی و صحه‌گذاری را دارا باشند، لذا چارچوب MRV یکی از مهمترین موارد در پروژه‌های NAMAs می‌باشد. توسعه چارچوب MRV برای NAMAs، یک مسئله بسیار بحث برانگیز در مذاکرات UNFCCC بوده است. به طور کلی، کشورهای در حال توسعه طرح داوطلبانه و داخلی MRV را ترجیح می‌دهند، در حالی که کشورهای توسعه‌یافته بر MRV توسط کارشناسان بین‌المللی اصرار دارند. توسعه چارچوب MRV را می‌توان هم به عنوان یک چالش و هم به عنوان یک فرصت برای ظرفیت‌سازی و شناسایی فرصت‌ها در نظر گرفت.
موافقتنامه Cancun ارائه چارچوب نهادی پایه برای MRV را هم برای عمل کاهش و هم پشتیبانی چنین اقداماتی ارائه کرده است. با این حال، کار را برای توسعه بیشتر و اجرای چارچوب MRV در حال انجام است. در حال حاضر برنامه کار دبیرخانه UNFCCC شامل توسعه روش‌ها و دستورالعمل‌ها برای موارد زیر می‌باشد:

- تسهیل پشتیبانی اقدامات مناسب کاهش انتشار در سطح ملی از طریق ثبت
- MRV اقدامات حمایتی و پشتیبانی مربوطه
- گزارش دوسالانه به عنوان بخشی از ارتباطات ملی از عضو غیرضمیمه[125] I
- صحه‌گذاری داخلی از اقدامات مربوط به تعدیل با استفاده از منابع داخلی
- مشاوره و تجزیه و تحلیل بین المللی

از آنجا که طیف وسیعی از فعالیت‌های وجود دارد که می‌تواند به عنوان یک NAMA مطرح گردد، MRV مرتبط هر کدام نیز به طور گسترده‌ای متفاوت است. در واقع نمی‌توان ساز و کار یکسانی برای تمامی طرح‌ها در نظر گرفت. در مطالب مطرح شده این گزارش سعی بر توضیح اجمالی مهمترین و اساسی‌ترین مباحث مطرح در پروژه‌های NAMAs شده است؛ بی شک با توجه به نوپا بودن این مبحث در آینده نزدیک تغییرات و تکامل بیشتری در این

[125] Non-Annex I

مباحث حاصل گشته و نواقص آن نیز برطرف خواهد شد؛ ولی بی‌شک یکی از مهمترین رویکردها به اقدامات کاهش انتشار در کشورهای در حال توسعه پروژه‌های NAMAs خواهد بود که همین امر لازمه توجه به این مباحث را در کشورمان دو چندان خواهد کرد.

۴-۲-۴ تفهیم NAMAها برای اجرا و توسعه شرایط آب و هوایی انعطاف پذیر و کم کربن

چهارچوب‌های توسعه شرایط آب و هوایی انعطاف‌پذیر و کم‌کربن (LCCRD) به دولت‌های ملی کمک می‌کند تا اولویت‌های توسعه را با هدف کاهش میزان کربن و توانایی انطباق شناسایی کنند. NAMAها یکی از عناصر اصلی فرآیند LCCRD هستند که نیاز به یک ارزیابی متمرکز برای شناسایی اولویت‌های توسعه دارند که در واقعیت‌های محلی و اولویت‌های کشور محور، برای تأمین بودجه قابل اجرا هستند. در عمل، NAMAها چه در کاهش میزان GHG متمرکز باشد یا نه، باید یک عنصر مجزا از استراتژی کلی باشند.

یک چارچوب LCCRD با این درک آغاز می‌شود که توسعه اولویت است و تلاش‌ها در جهت کاهش و انطباق باید مکمل اقدامات توسعه باشد. این رویکرد در ابتدا به درک اولویت‌های حاکمیتی و سپس به انجام تجزیه و تحلیل دقیق هر بخش با استفاده از ابزارهای اقتصادی، انرژی و انتشار یکپارچه برای ارائه توصیه‌ها می‌پردازد که می‌تواند بصورت محلی انجام شود و برای تأمین مالی آب و هوا گسترش داده شود. شکل ۴-۲ یک مرور کلی از رویکرد عملیاتی کردن NAMAها ارائه می‌دهد.

عناصر اصلی رویکرد کلی عبارتند از:

- درک دولت برای توسعه یافتن در بخش کم کربن.
- پیش‌بینی چشم‌انداز توسعه برای جبران اهداف کاهش و انطباق.
- برنامه‌ریزی برای انتقال به توسعه آب و هوای انعطاف‌پذیر کم کربن.



شکل ۴-۲. روش عملیاتی کردن NAMAها

۴-۲-۵ شناسایی و اولویت‌بندی فرصت‌های NAMA

در این بخش دو روش را برای کمک به کشورها در شناسایی، اولویت‌بندی و توسعه فرصت‌های NAMA را بررسی می‌کنیم. این دو روش مشابه هستند اما در جزئیات تحلیلی اعمال شده تفاوت دارند. طرح ضمنی (روش اول) NAMAبرای تکمیل یک ارزیابی سریع طراحی شده است که لیستی از فرصت‌های NAMA را مشخص می‌کند تا تجزیه و تحلیل و گفتگو بیشتری بر روی آن انجام شود و از خروجی‌های آن می‌توان برای توسعه مفاهیم NAMA و ارسال به فهرست UNFCCC استفاده کرد.

طرح کلی NAMA (روش دوم) یک تلاش تحلیلی مفصل‌تر برای امکان‌سنجی و نتایج احتمالی NAMAهای ممکن است. از خروجی‌های آن می‌توان برای تهیه مفاهیم NAMA یا پیشنهادهایی برای ارسال به UNFCCC برای ثبت اشاره کرد.

به طور خاص می‌توان اینگونه بیان کرد که:

- طرح ضمنی NAMA شامل یک ارزیابی کیفی برای شناسایی لیستی از پروژه‌های کم کربن است، همچنین می‌تواند مصالح دیگر را نیز به عنوان مواردی که ممکن است برای برنامه‌ریزی توسعه ملی مورد استفاده قرار گیرد، اتخاذ کند. این لیست برای سیاست‌گذاران مفید است زیرا:
  - ✓ برای شروع گفتگو با سرمایه‌داران بالقوه، برگه‌های حقوقی را در NAMAهای دارای اولویت قرار می‌دهد.

- ✓ بخش‌ها و فناوری‌هایی را که نیاز به تحقیق و اطلاعات بیشتر دارند، شناسایی می‌کند.
- ✓ شکاف اطلاعات و داده‌ها را برای گزارش در مورد انتشار گازهای گلخانه‌ای (GHG) و اقدامات تغییر آب و هوا شناسایی می‌کند.
- ✓ مفاهیم رسمی NAMA را تولید می‌کند که می‌توانند برای یافتن بودجه برای تجزیه و تحلیل بیشتر به دفتر ثبت سازمان ملل متحد (UNFCCC) ارائه شوند.
- ✓ آگاهی از فرصت‌های NAMA با شرکای توسعه را افزایش می‌دهد.

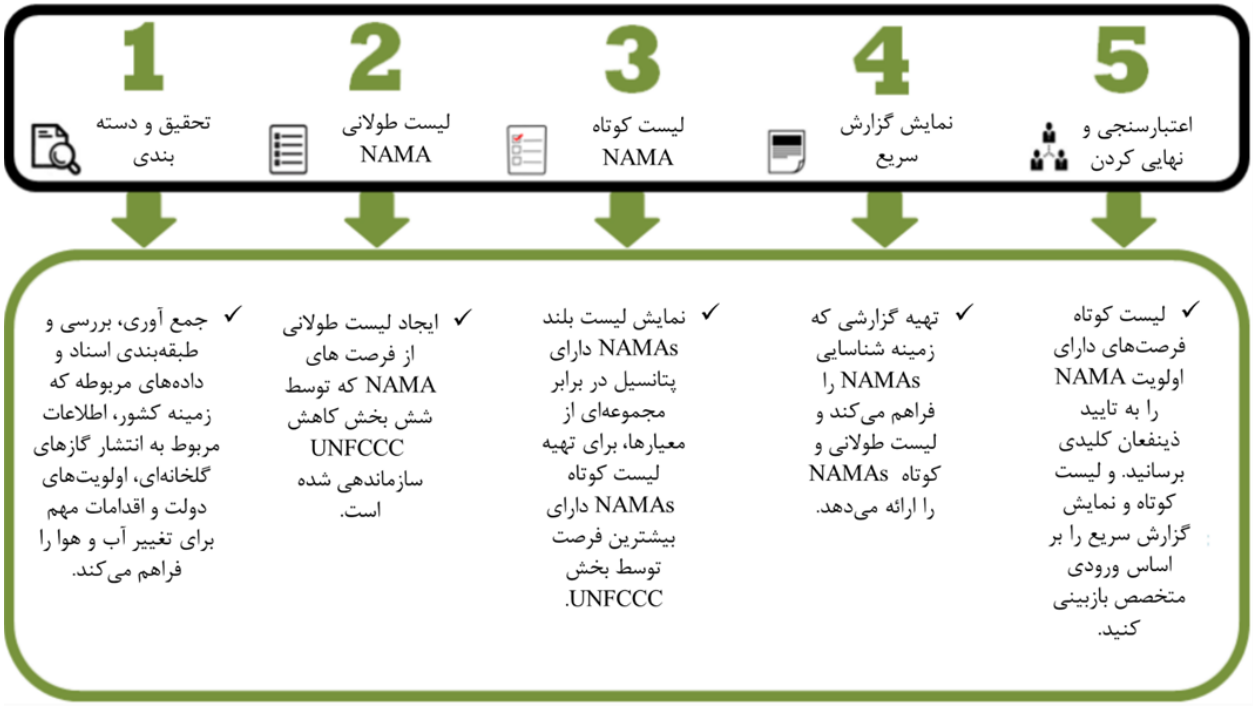
- طرح کلی NAMA در مورد فرصت‌های مناسب NAMA، ارزیابی کمی از پتانسیل کاهش و میزان کاهش هزینه‌ها، شناسایی کیفی توسعه پایدار و اثرات موثر بر آب و هوا را شناسایی و توضیح می‌دهد. طرح کلی بنا به دلایل زیر برای سیاست‌گذاران بسیار مفید است:

- ✓ به روزرسانی موجودی GHG را مانیتور می‌نماید و اطلاعاتی را برای گزارش به UNFCCC، از جمله گزارش دوسالانه به UNFCCC را ارائه می‌دهد.
- ✓ پایه شواهد را برای شناسایی اولویت‌های NAMA و نیاز به پشتیبانی بین‌المللی فراهم می‌کند (از جمله تأمین اعتبار، انتقال فناوری و ایجاد ظرفیت) که به ویژه برای سرمایه‌گذاران دو طرفه و چند جانبه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.
- ✓ پیشنهادهای NAMA را تولید می‌کند که می‌تواند به منظور یافتن بودجه برای اجرا و پیاده‌سازی به دفتر ثبت UNFCCCارسال شود.
- ✓ آگاهی از فرصت‌های NAMA را بالا می‌برد و می‌تواند تجزیه و تحلیل دقیق از فرصت‌های NAMA را به ذینفعان ارائه دهد.

در زیر مروری بر انواع رویکردها و خروجی‌هایی که می‌توان در شناسایی و اولویت‌بندی فرصت‌های NAMA به کار برد، آورده شده است.

۴-۲-۵-۱ توسعه مفاهیم NAMA: روش طرح ضمنی

شکل ۴-۳ پنج مرحله متدولوژی طرح ضمنی را خلاصه می‌کند و تحلیلگر را در تمام طول فرآیند از تحقیقات میدانی تا اعتبار محلی همراهی می‌کند. این مراحل در زیر به تفصیل مورد بحث قرار گرفته است.



شکل ۴-۳. پنج مرحله توسعه متدولوژی طرح ضمنی

این فرآیند لیست طولانی از فرصت‌های NAMA را ارائه می‌دهد که می‌تواند در لیست کوتاه‌تری از مفاهیم NAMA توسعه یابد. اطلاعات در مورد NAMA در جستجوی پشتیبانی برای تهیه یک پروژه NAMA جهت ارائه اطلاعاتی، مستقیماً اماده شده است. مفهوم لیست بلند NAMA تهیه لیست طولانی از NAMAهای احتمالی برای یک کشور است. خروجی مرحله طرح ضمنی، یک لیست طولانی جامع از NAMAهای بالقوه برای یک کشور معین است. در جدول ۴-۱ لیست طولانی مفاهیم NAMA تهیه شده برای ترینیداد و توباگو ارائه شده است.

جدول ۴-۱. لیست طولانی از صفحه نمایش سریع نماها برای ترینیداد و توباگو

منبع	بخش UNFCCC	فرصت NAMA
بانک جهانی: وب سایت صندوق بیوکربن؛ آژانس حفاظت محیط زیست ایالات متحده(۲۰۱۰)	کشاورزی	جنگلداری
دولت ترینیداد و توباگو (۲۰۱۰)	کشاورزی	کشاورزی حفاظت
دولت ترینیداد و توباگو (۲۰۱۰)	کشاورزی	مدیریت یکپارچه مواد مغذی
دولت ترینیداد و توباگو (۲۰۱۰)	کشاورزی	مدیریت دام
دولت ترینیداد و توباگو (۲۰۱۰)	انرژی	آبگرمکن خورشیدی- تجدید پذیر
آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده (۲۰۱۰)	انرژی	همبستگی
دولت ترینیداد و توباگو (۲۰۱۱)	انرژی	موج -تجدید پذیر
دولت ترینیداد و توباگو (۲۰۱۱)	انرژی	تجدید پذیر - خورشیدی -

		شبکه (چراغ خیابان خورشیدی)
دولت ترینیداد و توباگو (۲۰۱۱)	انرژی	اتمام لامپ های رشته ای
دولت ترینیداد و توباگو (۲۰۱۰)	انرژی	سیاست قیمت‌گذاری گاز
دولت ترینیداد و توباگو (۲۰۱۱)	انرژی	تجدیدپذیر - باد
دولت ترینیداد و توباگو (۲۰۱۱)	انرژی	تجدید پذیر - خورشیدی - شبکه
آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده (۲۰۱۰)	انرژی	برنامه های تشخیص و تعمیر نشت
آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده (۲۰۱۰)	انرژی	بازیابی گاز مشعل
کمیسیون اقتصادی آمریکای لاتین و کارائیب (۲۰۱۰)	انرژی	ضبط و ذخیره‌سازی کربن
دولت ترینیداد و توباگو (۲۰۱۱)	انرژی	ترویج لوازم خانگی با انرژی کارامد
دولت ترینیداد و توباگو (۲۰۱۱)؛ مجله سیاست انرژی (۲۰۱۱)	انرژی	افزایش بهره وری از گاز طبیعی نسل گیاهان
دولت ترینیداد و توباگو (۲۰۱۰)؛ آژانس حفاظت محیط زیست ایالات متحده (۲۰۱۰)	جنگل ها	جنگل زدایی (درون زمینی)
آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده (۲۰۱۰)	جنگل ها	جنگل زدایی ساحلی
آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده (۲۰۱۰)	صنعت	بازیابی حرارت زباله
مجله سیاست انرژی (۲۰۱۱)	صنعت	افزایش راندمان فرایند تولید
دولت ترینیداد و توباگو (۲۰۱۱)	صنعت	حسابرسی کارآیی انرژی و آلودگی
دولت ترینیداد و توباگو (۲۰۱۱) ؛ دولت ترینیداد و توباگو (۲۰۱۱)	حمل و نقل	مسیریابی مسیر اتوبوس اولویت دار
دولت ترینیداد و توباگو (۲۰۱۱)	حمل و نقل	ترویج واردات خودروهایی که با انرژی جایگزین کار می کنند
دولت ترینیداد و توباگو (۲۰۱۱)	حمل و نقل	گاز طبیعی برای حمل و نقل خصوصی و عمومی
دولت ترینیداد و توباگو (۲۰۱۱)	هدررفت	فناوری های زباله به انرژی
دولت ترینیداد و توباگو (۲۰۱۰) ؛ دولت ترینیداد و توباگو (۲۰۱۱)	هدررفت	برنامه زباله جامد

۲-۵-۲-۴ پیشنهادات در حال توسعه NAMA: متدولوژی طرح کلی

فرآیند NAMA دارای هفت مرحله است. این مراحل در شکل ۴-۴ خلاصه شده است و در ادامه بیشتر توضیح داده شده است.



شکل ۴-۴. هفت مرحله از روش طرح کلی

طرح کلی NAMA منجر به تجزیه و تحلیل دقیق فرصت‌های NAMA در طرح ضمنی یا از لیستی که قبلاً توسط کشور اولویت‌بندی شده است، می‌گردد. طرح کلی پیشنهاد شده برای هر NAMA انتخاب شده و از دیدگاه‌های ذیل تجزیه و تحلیل می‌گردد:

- ✓ میزان انتشار پایه
- ✓ پتانسیل کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای
- ✓ هزینه‌های کاهش
- ✓ مزایای مشترک استفاده از توسعه پایدار و آب و هوایی

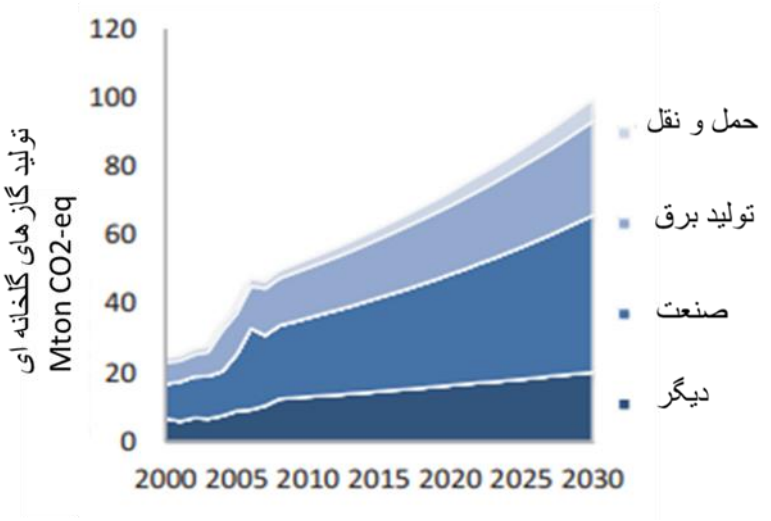
گزارش نهایی طرح کلی، اطلاعات لازم را برای ارسال به دفتر NAMA UNFCC تهیه می‌نماید تا پشتیبانی برای اجرای NAMA (یک پیشنهاد NAMA) گردد.

مفاهیم NAMA: لیست طولانی از گزینه‌های کاهش احتمالی بر اساس بررسی اسناد امنیتی و سایر گزارش‌های کلیدی بخش مشخص می‌شود. این روش غربالگری مشخص می‌کند کدام یک از لیست‌های طولانی دارای بیشترین پتانسیل است و یا یک لیست کوتاه برای اعتبارسنجی محلی تهیه شده است. فرصت‌های کاهش برای امکان‌سنجی در شرایط کنونی، پتانسیل کاهش، همسویی با اهداف دولت و سودهای مشترک شناسایی می‌شوند. در شکل ۴-۵ جزییات بیشتری از مفاهیم NAMA شناسایی شده ارائه شده است.



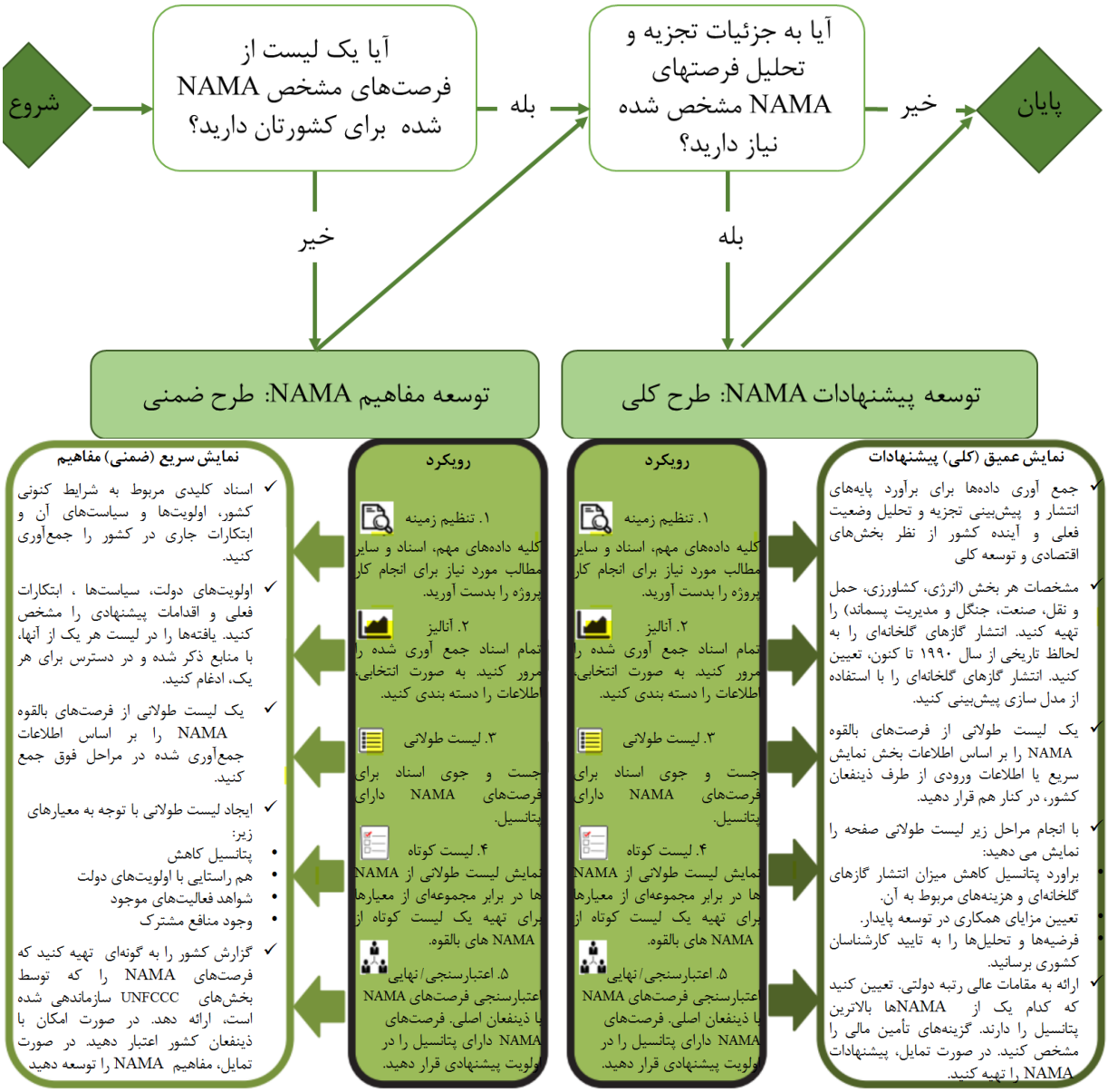
شکل ۴-۵. جزییات بیشتری از مفاهیم NAMA شناسایی شده

پیشنهادات NAMA: بر اساس اعتبار محلی، می‌توان لیست کوتاهی از پیشنهادات را تهیه کرد و توسعه داد. روند زیر در ارتباط با پیشنهادات NAMA است. در شکل ۴-۶ جزییات بیشتری از پیشنهادات NAMA توسعه یافته مشاهده می‌شود.



شکل ۴-۶. جزییات بیشتری از پیشنهادات NAMA توسعه یافته

- مرجع معمول (BAU) برای پیش‌بینی GHG. از دو رویکرد می‌توان از میزان انتشارات گذشته به عنوان یک مبنای کالیبره شده انتشار برای پیش‌بینی میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای برای سال‌های آینده مانند سال ۲۰۳۰ استفاده کرد. برای یک ارزیابی موجودی GHG می‌توان از پروتکل‌های IPCC و ابزارهای اقتصادی و مدل‌های انتشار استفاده نمود. سپس نتایج این رویکردها برای اعتبارسنجی و ارزیابی محلی ارائه می‌شود تا از پیش‌بینی واقع‌بینانه اطمینان حاصل شود.
- **پیشنهادات تفصیلی حاصل از تجزیه و تحلیل**. برای گزینه‌های معتبر محلی NAMA، ارزیابی‌های فنی مفصلی برای تخمین کاهش انتشار، هزینه‌ها و سودهای مشترک پتانسیل‌های کاهش انتشار انجام می‌شود. اطلاعات NAMA می‌توانند در نمودارهای گوه شکل جمع شوند که نشان‌دهنده کاهش هزینه‌ها نسبت به انتشار پیش‌بینی شده بر اساس BAU می‌باشد. ارزیابی‌های فنی و محاسبات دقیق از جمله هزینه‌ها، مزایا را برجسته می‌کند.
- **واحد کم کربن، راه‌های توسعه و انعطاف‌پذیر، فرصت‌های مقرون به صرفه NAMA**. با کار فنی کامل و محلی معتبر، سناریوهای کم کربن توسعه می‌یابند. مجموعه‌ای از داده‌های کاهش انتشار و اطلاعات هزینه به تناسب پیاده‌سازی گزینه‌ها برای تهیه پیشنهاد NAMA یا عناصر اصلی یک مسیر توسعه کم‌کربن استفاده می‌شود.



شکل ۴-۷. چارت تصمیم گیری برای روش‌های توسعه NAMA

- **اجرای NAMA و LCCRD.** مرحله آخر تهیه یک پیشنهاد مالی بر اساس نقشه راه قابل اجرا است. نقشه راه، ریسک‌های اجرا، هم‌افزایی و موانع انجام اقدامات کاهش انتشار هر اولویت را مشخص می‌کند. کانال‌های تأمین مالی مانند کمک‌های مالی برای توسعه مهارت‌ها و وام‌های کم‌بهره، برای استقرار فناوری شناسایی می‌شوند. چارت تصمیم‌گیری برای روش‌های توسعه NAMA در شکل ۴-۷ قابل مشاهده است.

۴-۲-۶ روند فرآیند

لیست ابتکارات فعلی و اقدامات پیشنهادی تهیه شده در مرحله قبل برای اقداماتی انجام می‌شود که می‌توانند NAMA باشند یعنی مواردی که این احتمال را دارند که منجر به کاهش انتشار یا حذف کربن از جو شوند. این اقدامات می‌تواند سیاست، برنامه یا پروژه باشد. نمونه‌هایی از اقدامات احتمالی در ادامه ذکر شده است:

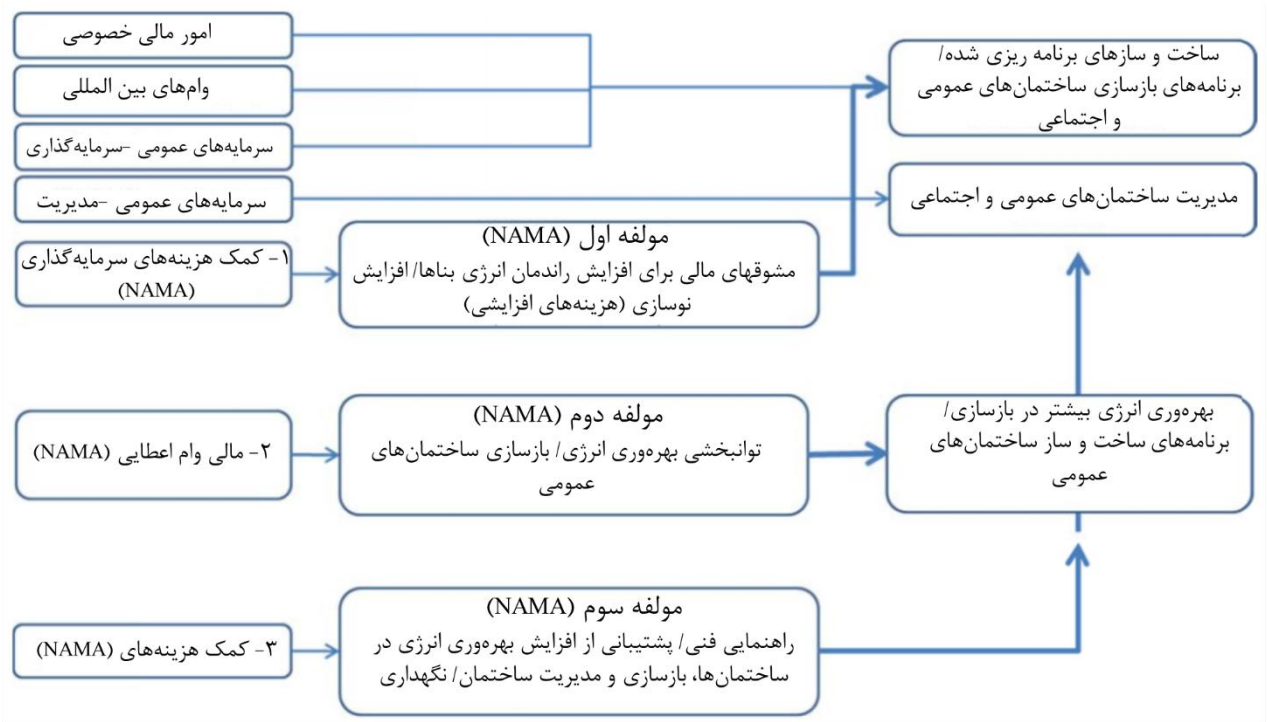
- **منبع انرژی**: انرژی تجدیدپذیر (هیدرو، خورشیدی، باد، زمین گرمایی)، زغال سنگ تمیز، سوخت‌های زیستی، تولید برق از گاز دفن زباله.
- **تقاضای انرژی**: آشپزخانه‌های پیشرفته، لامپ‌های تجدیدپذیر جایگزین نفت سفید، لوازم خانگی کم مصرف انرژی، نورپردازی کم‌مصرف، گرمایش خورشیدی آب، بهسازی ساختمان‌ها، بهبود بازده انرژی در صنعت، تولید همزمان در کشاورزی.
- **حمل و نقل**: ترانزیت سریع اتوبوس، حمل و نقل ریلی سبک، بهبود بهره‌وری وسیله نقلیه، بهبود بهره‌وری وسایل نقلیه سنگین، سوخت زیستی، جابجایی بار به راه آهن، بهبود حمل و نقل غیر موتوری.
- **صنعت**: بهینه‌سازی در صنایع سیمان، تولید زغال چوب بهبودیافته
- **زباله**: جلوگیری از انتشار متان ناشی از دفع زباله.
- **کشاورزی**: حفاظت از خاک، زراعت، مدیریت دام، کاهش شدت چرا و مزارع زراعی.
- **جنگلداری**: کاهش جنگل‌زدایی و تخریب جنگل‌ها، کاشت درختان، احیای جنگل‌های تخریب شده.

لیست کوتاه NAMAها: جهت فیلتر کردن لیست بلند، باید لیست کوتاه NAMAهایی که به طور بالقوه در کشور قابل اجرا هستند، تهیه شود. برای اعتبارسنجی انتخاب NAMAهای دارای اولویت بالقوه، باید فرضیات تجزیه و تحلیل گردد و با متخصصان تبادل نظر شود.

NAMA بر پایه نقاط شروع و فرضیات زیر طراحی می‌شود:

- NAMA برای پشتیبانی بین‌المللی پیش‌بینی شده است.
- اقدامات کاهشی ویژه لازم است شامل توضیح دقیق اهداف باشد. NAMA باید کلیه موانع مربوط به مراحل مختلف (سیاست، مقررات و موانع بازار) را پوشش بدهد.
- NAMA بخش‌ها و زیر بخش‌ها، تکنولوژی‌های ویژه و منابع انتشار گازهای گلخانه‌ای در محدوده ملی را در نظر می‌گیرد.
- تاثیرات مستقیم و غیرمستقیم NAMA باید در راستای انتشار گازهای گلخانه‌ای در محدوده هشدارهای جدی و دارای اثرات طولانی مدت باشد.
- برنامه‌های فنی کمکی قبلی در راستای ارتقاء بهره‌وری انرژی در ساختمان‌ها، کار اساسی در زمین و شرایط پایه‌ای مانند تهیه مقررات، افزایش آگاهی‌های اولیه و ارائه شواهد پتانسیلی و امکان‌سنجی راندمان انرژی تهیه گردد.

برنامه NAMA موانع اصلی را معرفی می‌کند و از سیاست‌ها و استراتژی‌ها، چارچوب‌های نظارتی مانند اجرا، ظرفیت و آگاهی و همچنین موانع مالی پشتیبانی می‌کند. در شکل ۴-۸ ویژگی‌های NAMA و پشتیبانی‌های مالی انجام گرفته نمایش داده شده است.



شکل ۴-۸. ویژگی‌های NAMA و پشتیبانی‌های مالی

زمینه انجام این پروژه‌ها با تهیه عناصر اساسی و به روزرسانی مقررات ملی در بخش ساخت و ساز فراهم می‌شود. توسعه پیشنهاد NAMA توسط UNDP پشتیبانی می‌شود که متعهد به حمایت از اجرای NAMA برای مؤلفه مساعدت فنی است.

۴-۲-۷ چارچوب سازمانی/ نهادی NAMA

در این بخش پیشنهادها برای سازمان تنظیم و مدیریت NAMA در دو سطح (نظارت و اجرایی) ارائه می‌گردد.

- نظارت: این سطح مسئول استراتژی NAMA، نظارت، ارزیابی آن و به اشتراک‌گذاری اطلاعات آن با مردم می‌باشد.
- اجرایی: این سطح مسئولیت مدیریت عملیاتی ارائه کمک‌های فنی و تهیه گزارش‌های MRV را بر عهده دارد.

پیشنهاد می‌شود که در توسعه و اجرای پروژه NAMA همکاری نزدیک با سازمان حفاظت محیط زیست و مرکز اطلاعات تغییرات آب و هوا وجود داشته باشد.

مرکز اطلاع‌رسانی تغییرات آب و هوا دارای تجربه گسترده‌ای در مدیریت برنامه‌های تغییر آب و هوا و بهره‌وری انرژی، مشابه فعالیت‌های NAMAs پیشنهادی است. شکل ۴-۹ چرخه عمر NAMA را به صورت ساده‌سازی شده نمایش می‌دهد.

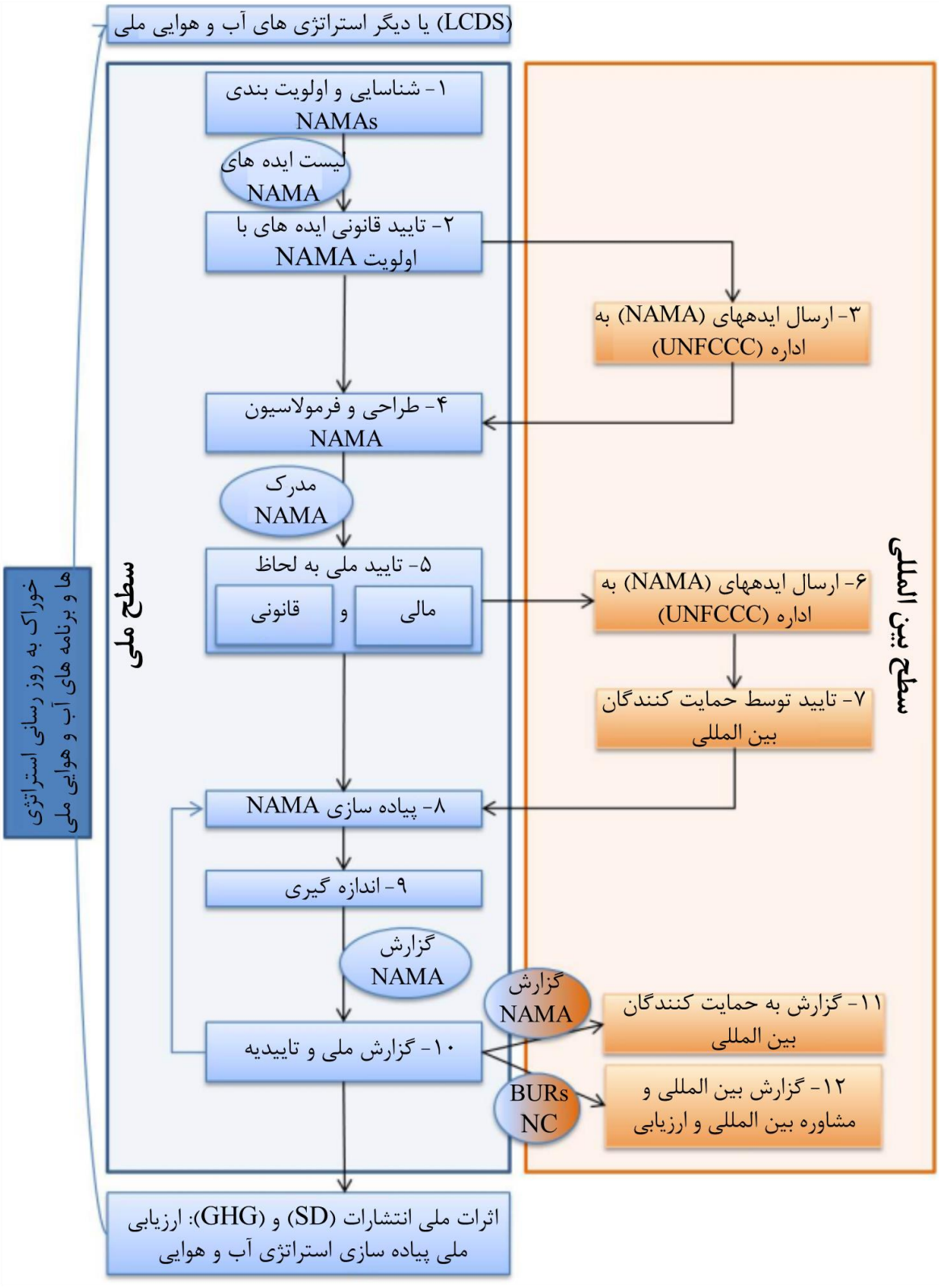


شکل ۴-۹. چرخه توسعه NAMA

یک چرخه NAMA به عنوان مجموعه‌ای از رویدادها یا اقداماتی که بارها و بارها به صورت منظم اتفاق می‌افتد، با این هدف که انتشار گازهای گلخانه‌ای ملی از طریق استراتژی به عنوان یک فرایند مداوم، شناخته شود. چرخه NAMAبا شناسایی ایده‌های NAMA بر اساس استراتژی ملی آب و هوا آغاز می‌شود و با انجام یک ارزیابی از اجرای استراتژی مورد نظر خاتمه می‌یابد.

توافق‌نامه‌های تشویقی شامل (کشورهای در حال توسعه برای توسعه استراتژی‌ها یا برنامه‌های کم‌کربن و یا برنامه-هایی در زمینه توسعه پایدار) توسط NAMAs در چارچوب تعیین‌شده برای توسعه استراتژی‌های کم‌کربن (LCDS) یا هر استراتژی آب و هوایی ملی دیگر، شناسایی و پیاده‌سازی می‌شوند.

چرخه NAMA دارای فرایندهای بیشماری است که در نقاط مختلف با کارشناسان بین‌المللی تعامل دارد. شکل ۴-۱۰ یک چرخه کلی NAMA را نشان می‌دهد که مراحل ایجاد چرخه NAMA، گزارش‌های کلیدی تولید شده در طول چرخه و تعامل با کارشناسان بین‌المللی را نشان می‌دهد.

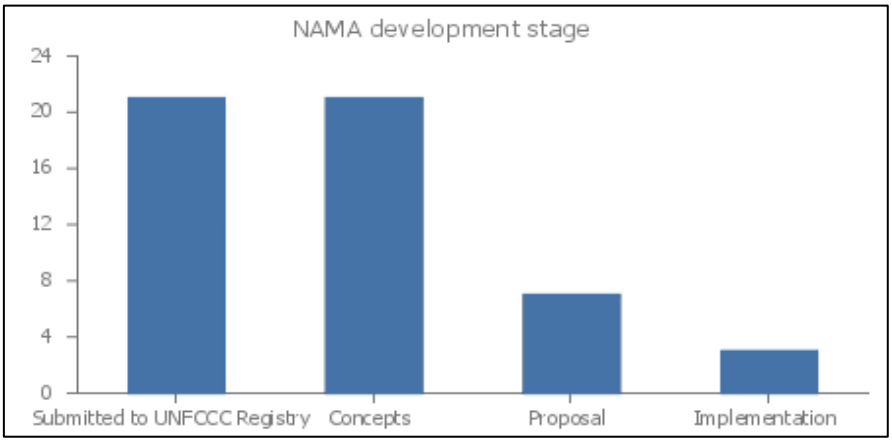


شکل ۴-۱۰. سیکل عمومی NAMA

۴-۲-۸ وضعیت ناماها

NAMAهای موجود در چه مرحله‌ای هستند؟

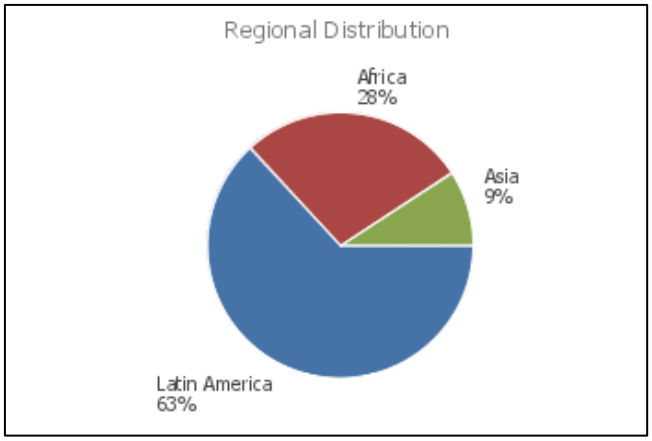
شکل ۴-۱۱ نشان می‌دهد که NAMAهای شناسایی شده در چه مرحله‌ای قرار دارند. در حال حاضر ۲۱ برنامه کاهش انتشار در قالب NAMA به رجیستری UNFCCC ارسال شده است و تعداد NAMAهایی که در حد ایده هستند برابر ۲۱ است. تعداد NAMAهایی که پروپوزال آنها تهیه شده نیز به ۷ عدد رسیده است. همچنین ۳ برنامه NAMA نیز در حال اجرا هستند.



شکل ۴-۱۱. تعداد NAMAها در مراحل مختلف

کدام مناطق دنیا بیشترین NAMAها را داشته‌اند؟

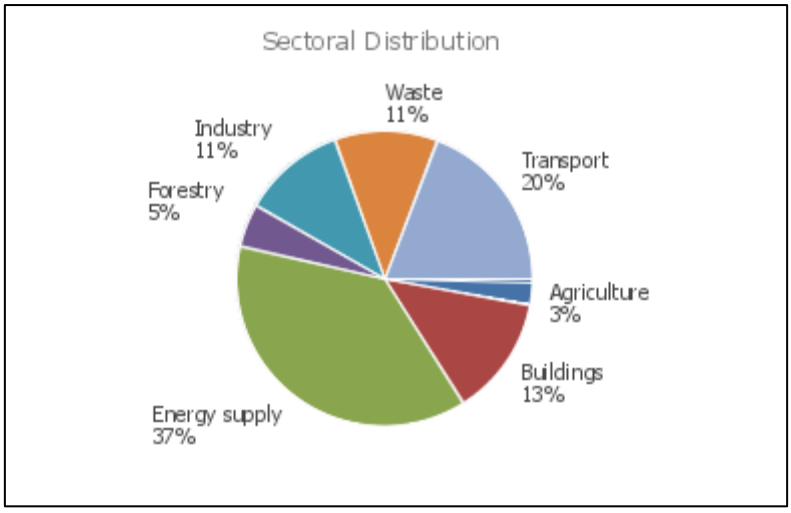
شکل ۴-۱۲ نشان می‌دهد که منطقه آمریکای لاتین بیشترین فعالیت را در این زمینه داشته است. نکته جالب در این زمینه، فعالیت کم کشورهای آسیایی است در حالیکه این کشورها عمده پروژه‌های CDM را بخود اختصاص داده‌اند.



شکل ۴-۱۲. توزیع منطقه‌ای NAMAها

NAMAها بیشتر در چه بخش‌هایی تعریف شده‌اند؟

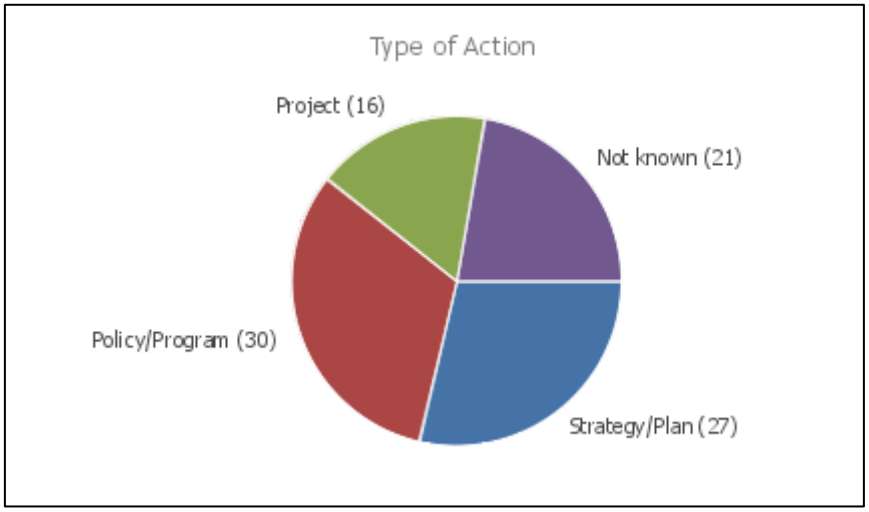
شکل ۴-۱۳ نشان می‌دهد که بخش عرضه انرژی و حمل و نقل بیشترین سهم را در NAMAهای تعریف‌شده دارند. بخش‌های ساختمان، صنعت و پسماند با سهمی تقریباً برابر در رتبه‌های بعدی بوده و بخش‌های جنگل و کشاورزی در انتهای لیست قرار گرفته‌اند.



شکل ۴-۱۳. توزیع بخشی NAMAها

بیشتر چه اقداماتی در NAMAها صورت می‌گیرد؟

توزیع NAMAها از نظر نوع اقدامات در نظر گرفته شده در آنها در شکل ۴-۱۴ آورده شده است. طبق این شکل NAMAهایی که از نوع سیاستی/برنامه‌ای هستند بیش از سایر NAMAها بوده است. لازم به توضیح است که اقدامات تعریف شده در برخی از NAMAها بیش از یک نوع است. برای مثال برخی NAMAها هم سیاستی و هم پروژه‌ای هستند.



شکل ۴-۱۴. نوع اقدامات در NAMAها

٤-۲-۹ هزینه‌ها، تأمین اعتبار و سایر نیازهای پشتیبانی

بودجه‌های اجرای NAMAها در حال حاضر در سطح جهان تهیه می‌شود و سهم درخواست شده از حمایت بین-المللی، دامنه بسیار گسترده‌ای را نشان می‌دهد. بودجه به طراحی، دامنه، هدف و چارچوب زمانی پروژه NAMA بستگی دارد. سطح مشارکت محلی در مقابل پشتیبانی بین‌المللی درخواست شده نیز به شدت متفاوت است.

موانع کلی برای اجرای NAMA، چالش‌ها و شکاف‌ها ممکن است شامل موارد زیر باشد:

- تنظیم مقدمات و اهداف
- ارزیابی پتانسیل‌ها و فرصت‌های انتشار GHG در راستای سیاست‌های بخش مسکن.
- ایجاد سیستم MRV.
- کمبود بودجه عمومی و خصوصی برای سرمایه‌گذاری‌های مسکن.
- کمبود ظرفیت برای جذب منابع مالی کربن.
- پیاده‌سازی و اجرای سیاست‌های بهره‌وری انرژی از جمله مقرراتی که در بخش مسکن هنوز در مرحله اولیه است.
- آگاهی کم درباره NAMA در بین مؤسسات مهم مالی فعال در کشور و در مورد راه‌های تحقق فرصت‌های موجود در فرآیندهای UNFCCC.

منابع احتمالی تأمین مالی NAMA شامل بودجه‌های عمومی دولتی و محلی، سهم بخش خصوصی و پشتیبانی عمومی بین‌المللی از NAMA (کمک هزینه، تسهیلات) است. NAMAهای نوآورانه از قبل توسط مؤسسات مالی بین‌المللی و بانک‌های توسعه چندجانبه و همچنین اتحادیه اروپا پشتیبانی می‌شوند.

تاییدکننده پروژه‌های NAMA **(** NAMA Approver-NA**)**: مرجعی که مسئولیت تایید و معرفی پروژه‌های تایید شده NAMA به سازمان ملل جهت ثبت پروژه‌های NAMA در کشور را به عهده دارد و به صورت رسمی از طرف وزارت امور خارجه به دبیرخانه سازمان ملل معرفی شده است.

ذینفعان (Stakeholders) عبارت است از تمامی نهادها و اشخاص اثرپذیر و اثرگذار در برنامه‌ها و پروژه‌های NAMA.

ماده ۴- قوانین و مقررات مربوطه

جمهوری اسلامی ایران در سال ۱۳۸۶ بنا به تصویب نامه ۱۶۴۰۸۲/ت۳۷۳ه مورخ ۱۳۸۶/۱۰/۱۰ به عضویت کنوانسیون تغییر آب و هوا درآمد و مسئول اجرای کنوانسیون در کشور می‌باشد. در سال ۱۳۸۸ موضوع تصویب نامه شماره ۱۰۴۵۴۸/ت ۳۹۲۱۳ ک مورخ ۱۳۸۸/۵/۲۵ آئین‌نامه اجرایی کنوانسیون تغییر آب و هوا و پروتکل کیوتو را به تصویب هیأت وزیران رساند. بر اساس ماده ۱- بند -و- این آئین‌نامه سازمان محیط زیست، دستگاه مسئول در سطح ملی به عنوان مرجع رسمی هماهنگی می‌باشد.

ماده ۵- مسئولیت ارزشیابی

مسئولیت ارزشیابی نهایی این پروژه‌ها پس از تایید کمیته ملی مکانیسم‌های مالی تغییر اقلیم، به عهده تأییدکننده پروژه‌های NAMA می‌باشد که قبلاً به دبیرخانه کنوانسیون تغییر اقلیم به صورت رسمی معرفی شده است و به عهده معاون محیط انسانی سازمان حفاظت محیط زیست است. این معاونت با تشکیل کمیته ملی مکانیسم‌های مالی تغییر اقلیم تصمیم نهایی را در خصوص پروژه‌های مذکور طی نامه‌ای رسمی اعلام خواهد نمود.

ماده ۶- کمیته ملی مکانیسم های مالی تغییر اقلیم

بند ۱- رئیس کمیته: معاون محیط زیست انسانی به عنوان مرجع صلاحیت‌دار ملی و تاییدکننده پروژه‌های NAMA و مسئولیت صدور نامه تاییدیه پروژه نیز بر عهده معاون محیط زیست انسانی به عنوان تاییدکننده پروژه‌های NAMA در ایران (NAMA Approver- NA) می‌باشد.

تبصره ۱: وظایف کمیته مکانیسم‌های مالی تغییر اقلیم جهت ثبت پروژه‌ها به شرح ذیل می‌باشد:

- ایجاد ورودی‌های پروژه‌های NAMA و ثبت آن‌ها در سیستم ثبت
- بازنگری NAMAهای ثبت شده توسط توسعه‌دهندگان پروژه‌های NAMA
- تشخیص صلاحیت NAMAهای ارائه شده توسط توسعه‌دهندگان پروژه، جهت دریافت حمایت مالی
- ویرایش NAMAهایی که در سیستم ثبت منتشر شده‌اند.
- تصمیم‌گیری در خصوص مجوز ثبت یا عدم ثبت پروژه‌ها در سیستم ثبت
- ثبت NAMAهایی که حمایت مالی شده‌اند.
- برگزاری جلسات کمیته ملی مکانیسم‌های مالی تغییر اقلیم



شکل ۴-۱۵. نمودار مراحل ثبت پروژه‌های NAMA

۳-٤ معرفی JCM

سرآغاز مباحث جدی در مورد مسایل محیط زیستی در مجامع رسمی و بین‌المللی را باید از اوایل دهه ۷۰ دانست. در این دوره به علت بروز برخی بحرانهای زیست محیطی همچون بارش باران های اسیدی، خطر قطع عرضه منابع سوخت فسیلی، یک سلسله گردهمایی‌ها جهت هم‌اندیشی در این خصوص تشکیل می‌شد. در سطح سران دولتها نیز اولین کنفرانس سازمان ملل متحد درباره محیط زیست در سال ۱۹۷۲ و در شهر استکهلم سوئد برگزار شد. بعد از این کنفرانس تا سال ۱۹۹۰ کنفرانسهای رسمی و غیر رسمی دیگری نیز شکل گرفت. مجمع عمومی سازمان ملل کمیته‌ای برای تنظیم پیش نویس یک معاهده برای تصویب توسط سران زمین در ریودوژانیرو در ژوئن ۱۹۹۲ تشکیل داد. این کنفرانس که به عنوان کنفرانس زمین شناخته می‌شود، بزرگترین گردهمایی تا زمان خود در ارتباط با مسایل محیط زیست و توسعه بود که نمایندگانی از ایران نیز در آن شرکت نمودند. این معاهده که هم‌اکنون به عنوان چهارچوب اجلاس جهانی اقلیم تحت کنوانسیون چارچوب سازمان ملل متحد در مورد تغییرات آب و هوا (UNFCCC[126]) یا معاهده اقلیم مطرح می‌باشد، بعدها بوسیله‌ی ۱۵۴ کشور که در کنفرانس توسعه و محیط زیست سازمان ملل شرکت داشتند، مورد قبول و به امضا رسید.

موضوع تصویب شده در این معاهده تثبیت انباشت گازهای گلخانه‌ای (GHG[127]) در سطحی بود که از آسیب‌های زیست محیطی جلوگیری به عمل آورد. اما سطح انتشار گازهای گلخانه‌ای و سهمیه هر یک از کشورها در قبال کاهش انتشار این گازها در معاهده مزبور تعیین نشد، حال آنکه در همایشی که در سال ۱۹۹۵ توسط UNFCCC برگزار گردید، ایجاد توافقنامه قانونی و غیرداوطلبانه، ضروری دانسته شد. مذاکرات با امضای پروتوکلی در مورد ایجاد محدودیت‌های قانونی یا کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای آغاز و در این دوره از مذاکرات تصمیم گرفته شد که محدودیت‌هایی جهت کاهش انتشار این گازها ایجاد شود.

بنابراین چالش انتشار گازهای گلخانه‌ای و تغییرات اقلیم نیاز به اقدام جمعی از همه کشورها داشت. از طرفی تأمین مالی پروژه‌های تغییرات اقلیم نیز یکی از موضوعات اصلی و مورد توجه UNFCCC در سال‌های اخیر بوده است. در این میان مکانیسم اعتبار مشترک (JCM[128]) از سال ۲۰۱۱ به منظور انتشار فن‌آوری‌های پیشرو کم کربن، محصولات، سیستم‌ها، خدمات و زیرساخت‌ها و همچنین تسهیل اجرای اقدامات کاهش‌دهنده و توسعه پایدار کشورهای در حال توسعه در کشور ژاپن شروع به کار نمود. این مکانیسم با استفاده از روشهای اندازه‌گیری، گزارش‌گیری و تأیید صحت (MRV[129])، کمکهای مربوط به کاهش و یا حذف انتشار GHG را از کشور ژاپن، بصورت کمی ارزیابی نموده و از آنها برای دستیابی به اهداف کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای کشور ژاپن استفاده می‌کند.

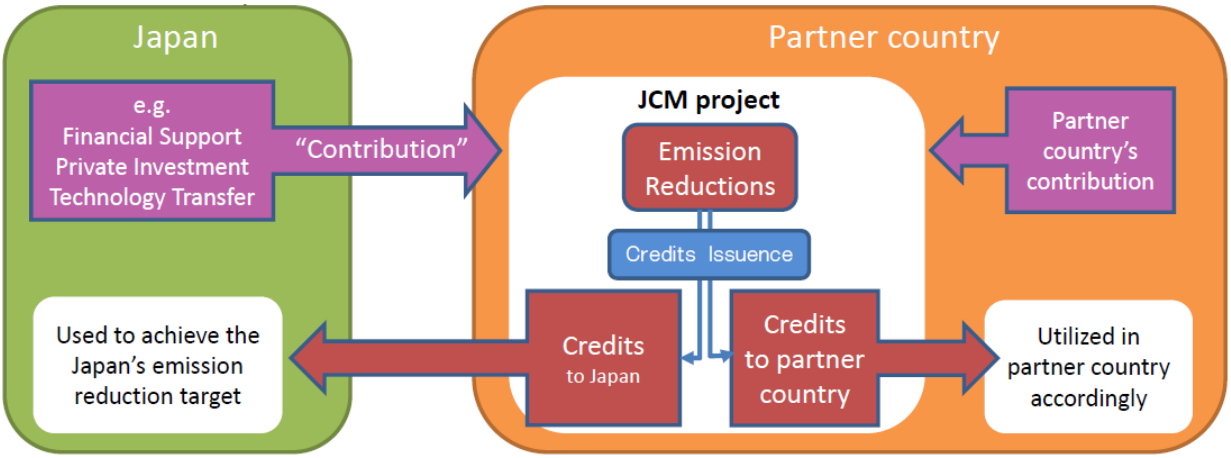
بدین ترتیب JCM با تسهیل اقدامات جهانی برای کاهش یا حذف انتشار GHG و تکمیل مکانیسم توسعه پاک (CDM[130]) به هدف نهایی UNFCCC مبنی بر جلوگیری از گرمایش کره زمین کمک می‌کند.

۱-۳-۴ مفاهیم و اهداف مکانیسم اعتبار مشترک (JCM)

بطورکلی مفاهیم اصلی و اهداف مورد نظر در مکانیسم JCM را می‌توان به‌شرح ذیل بیان نمود، (شکل ۴-۱۶):

[126] United Nations Framework Convention on Climate Change
[127] Green House Gas
[128] Joint Crediting Mechanism
[129] Measurement, Reporting and Verification
[130] Clean Development Mechanism

- ✓ ترویج و انتقال تکنولوژی‌های کم‌کربن، محصولات، سیستم‌ها، خدمات و زیرساخت‌های پیشرفته در کشورهای در حال توسعه بعنوان کشور میزبان
- ✓ تسهیل اجرای اقدامات کاهش‌دهنده و کمک به توسعه پایدار کشورهای در حال توسعه
- ✓ مشارکت در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای یا حذف آنها
- ✓ استفاده از روش‌های اندازه‌گیری، گزارش‌دهی و تأیید صحت (MRV)
- ✓ ارزیابی کمی سهم مربوط به کاهش انتشار یا حذف گازهای گلخانه‌ای از کشور ژاپن برای رسیدن به اهداف کاهش انتشار این کشور
- ✓ کمک به اهداف نهایی UNFCCC با تسهیل اقدامات جهانی برای کاهش انتشار یا حذف گازهای گلخانه‌ای و تکمیل فعالیت‌های CDM



شکل ۴- ۱۶. مکانیسم JCM بین ژاپن و کشور میزبان

برنامه هدف در مکانیسم JCM، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای کشور ژاپن از فوریه سال ۲۰۱۳ بعنوان سال مبنا تا فوریه سال ۲۰۳۰ بعنوان سال هدف می‌باشد. برآوردها حاکی از آنست که در این مدت کاهش یا حذف انتشار گازهای گلخانه‌ای به میزان ۲۶٪ در کشور ژاپن بدون استفاده از اعتبارات بین‌المللی قابل دستیابی خواهد بود. بنابراین در سال ۲۰۳۰، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای از طریق برنامه‌های دولتی JCM که در بودجه سالانه دولت پیش‌بینی شده‌است، حدود ۵۰ تا ۱۰۰ میلیون تن دی‌اکسیدکربن پیش‌بینی می‌شود. اما آنچه حائز اهمیت است تلاش دولت در جهت اجرای پروژه‌های JCM از طریق مشارکت بیشتر بخش خصوصی می‌باشد.

لازم بذکر است که میزان اعتبارات بدست آمده توسط کشور ژاپن تحت مکانیسم JCM، به عنوان کاهش انتشارات متعهدانه این کشور مطابق با توافقنامه پاریس (PA[131]) بشمار می‌آید.

۴-۳-۲ رویکرد JCM

JCM با در نظر گرفتن موارد زیر طراحی و اجرا می شود:

[131] Paris Agreement

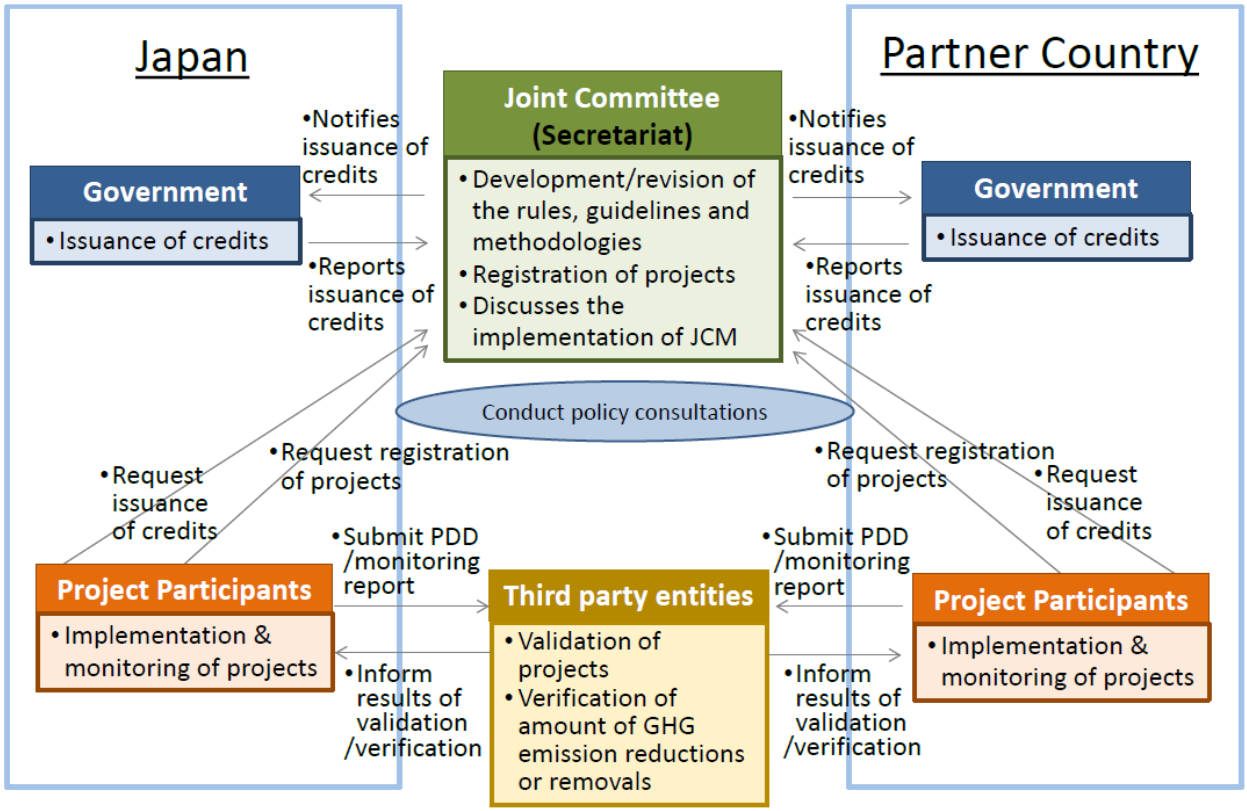
- ✓ تضمین یکپارچگی و شفافیت در کلیه اطلاعات محیط زیستی
- ✓ حفظ سادگی و عملی بودن مکانیسم بر اساس قوانین و دستورالعمل‌ها
- ✓ پیشبرد اقدامات مشخص جهت کاهش یا حذف انتشار جهانی گازهای گلخانه‌ای
- ✓ پیشگیری از استفاده مجدد یک پروژه کاهش تحت حمایت JCM، از هرگونه مکانیسم بین‌المللی کاهش دیگر بمنظور جلوگیری از شمارش مضاعف در کاهش یا حذف انتشار گازهای گلخانه‌ای
- ✓ مشارکت منسجم جهت ایجاد یکپارچگی و انطباق فعالیت‌های سایر کشورهای در حال توسعه با هدف کاهش یا حذف انتشار جهانی گازهای گلخانه‌ای
- ✓ JCM به عنوان محرک اجرایی NAMA[132] ها با بهره‌گیری از فنآوری، منابع مالی و ظرفیت سازی

٤-٣-٣ کمیته مشترک (دبیرخانه)

بطورکلی وظیفه‌ی کمیته مشترک از هریک از دولت‌ها، توسعه و تجدید نظر در قوانین، دستورالعمل‌ها و روش‌ها و همچنین ثبت پروژه‌ها در برنامه اجرایی JCM می‌باشد.

کمیته مشترک (JC[133]) شامل نمایندگان هر دو دولت است که قوانین و دستورالعمل‌های لازم برای اجرای JCM را توسعه می‌دهد. JC تصمیم می‌گیرد تا روش‌های پیشنهادی را تصویب یا رد کند، و همچنین روش‌های JCM را توسعه دهد. JC نهادهای شخص ثالث (TPE[134] ها) را نیز تعیین می‌کند. کمیته مشترک تصمیم می‌گیرد که آیا ثبت نام پروژه‌های JCM که توسط TPE تایید شده، توسط دولت‌ها ثبت و ایجاد شود یا خیر. پس از آنست که بر اساس اطلاعیه صدور اعتبار توسط JC، هر دولت مبالغ اعلام شده اعتبارات را به رجیستری خود صادر می‌کند، (شکل ۴-۱۷).

[132] Nationally Appropriate Mitigation Actions
[133] Joint Committee
[134] Third Party Entities



شکل ۴-۱۷. نحوه انجام فرآیند JCM بین ژاپن و کشور میزبان

٤-٣-٤ ویژگی‌های مکانیسم JCM

- ✓ JCM عملیات خود را به عنوان یک مکانیسم اعتباری غیر معاملاتی آغاز می‌کند.
- ✓ دولتهای طرفین در راستای اجرایی نمودن پروژه و بمنظور انتقال JCM به یک مکانیزم اعتباری قابل معامله، مذاکره و همفکری نموده تا در اولین فرصت ممکن نتیجه‌گیری‌های لازم حاصل شود.
- ✓ JCM پس از آنکه به یک مکانیسم اعتباری قابل معامله تبدیل شد، تلاش خود را بمنظور ایجاد مشارکتی بنیادی جهت انطباق فعالیت‌های کشورهای در حال توسعه همچنان ادامه می‌دهد.
- ✓ JCM این دوره حمایتی را تا زمانی که یک چارچوب جدید بین‌المللی تحت UNFCCC ایجاد شود، پوشش می‌دهد.

٤-٣-٥ محدوده پروژه‌های ثبت شده

❖ **بخش‌ها و صنایع مختلف**

✓ صنایع انرژی شامل:

- Fuel Combustion (Energy industries, Manufacturing industries and Construction, Transport, Commercial/Institutional, Residential, Agriculture/Forestry/Fishing, and Other)
- Fugitive emissions from fuels
- CO_2 transport and storage

✓ مدیریت پسماند و بازیافت

حمل و نقل

✓ صنایع فرآیندی و تولیدی

✓ کشاورزی

❖ **انواع گازهای آلاینده**

- CO_2, CH_4, N_2O, HFCs, PFCs, SF_6 and NF_3

٤-٣-٦ مهمترین اهداف JCM

✓ کمک به توسعه پایدار: ارتقاء توسعه پایدار در اسناد مربوط به JCM مانند "اسناد دو جانبه بین ژاپن و کشورهای شریک" و " قانون اجرای JCM " بیان شده است.

✓ تضمین یکپارچگی محیط زیست: انتقال و استفاده از ITMOs[135] نباید سبب افزایش انتشار جهانی شود. به منظور دستیابی به این هدف، روش JCM نیاز به تعیین یک میزان انتشار مرجع دارد که توسط انتشار گازهای معمولی (BaU[136]) محاسبه خواهد شد. این رویکرد تضمین می کند که تجارت اعتبارات/ واحدهای کاهش، می تواند یک کاهش واقعی در انتشارات جهانی را تحقق بخشد.

✓ شفاف‌سازی: پروژه‌ها و صدور اعتبار آنها در وب سایت عمومی JCM برای بررسی عموم منتشر می‌شود. مشاوره مشارکت‌کنندگان محلی و مستندسازی‌های موجود در سند طراحی پروژه نیز در وب سایت JCM جهت ملاحظه عمومی انتشار خواهد یافت.

✓ اجتناب از شمارش دوگانه: JCM قوانین و رویه های خاصی را بمنظور جلوگیری از ثبت نام دوگانه پروژه ها، صدور دوباره و استفاده دوگانه از اعتبارات صادر شده یا مجوزها توسعه داده است. نکته حائز اهمیت آنکه، لازم است قوانین حسابداری قوی جهت جلوگیری از ادعای دوگانه کشورها جهت استفاده از اعتبارات تعیین شده تحت توافقنامه پاریس، تنظیم شود.

٤-٣-٧ وزارت محیط زیست ژاپن (MOE[۱۳۷]) بعنوان تأمین کننده منابع مالی JCM

❖ **اجرای پروژه های مدل JCM توسط MOE**

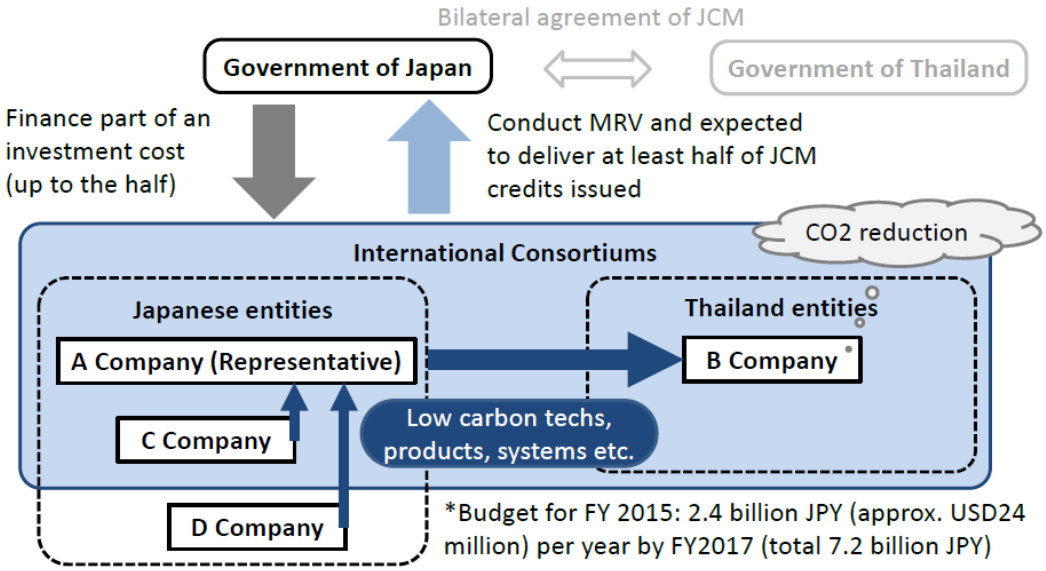
---

[135] Internationally transferred mitigation outcomes

[136] below business-as-usual

[۱۳۷] Ministry of the Environment

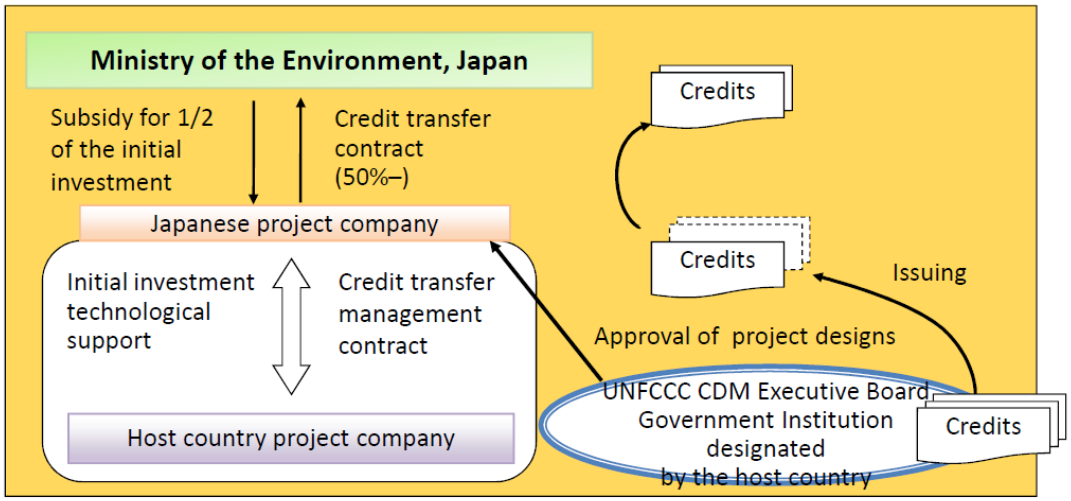
- ✓ دامنه تامین اعتبار: امکانات، تجهیزات، وسایل نقلیه و غیره که باعث کاهش CO_2 از احتراق سوخت فسیل و همچنین هزینه ساخت و ساز برای نصب این امکانات و غیره
- ✓ پروژه‌های واجد شرایط: شروع نصب پس از تصویب منابع مالی و اتمام نصب در عرض سه سال
- ✓ دامنه همکاری: شامل همکاری با پروژه‌های پشتیبانی شده توسط JICA و دیگر موسسات مالی وابسته به دولت، (شکل ۴-۱۸)



شکل ۴-۱۸. نحوه اجرای یک نمونه از پروژه‌های JCM توسط MOE

❖ **برنامه تأمین مالی پروژه‌های مدل JCM توسط MOEJ[138]**

✓ پس از انجام MRV بخشی از هزینه سرمایه‌گذاری که حداقل نیمی از اعتبارات JCM صادر شده می‌باشد، توسط وزارت محیط زیست ژاپن تأمین می‌شود، (شکل ۴-۱۹).



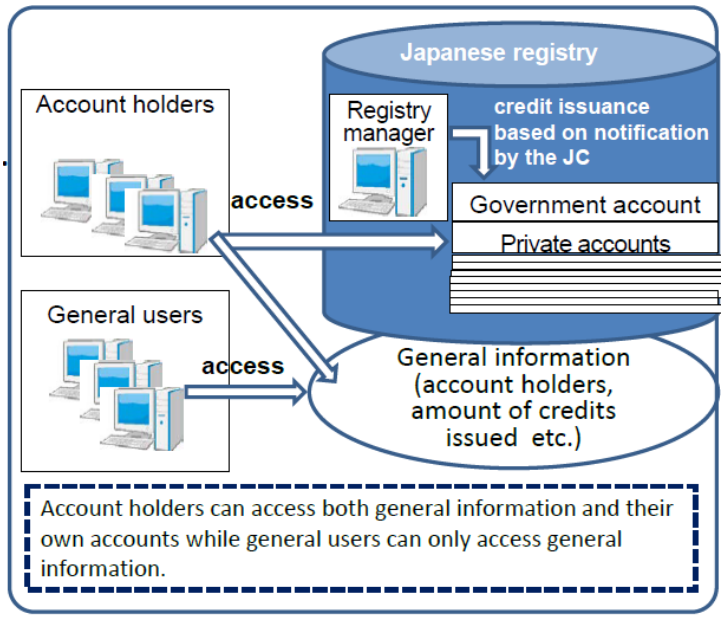
شکل ۴-۱۹. نحوه تأمین مالی پروژه های JCM

❖ **ثبت JCM**

✓ ایجاد یک رجیستری بعنوان پیش‌نویس توسط هر یک از طرفین، (البته کشور ژاپن رجیستر شده و عملیات خود را در ماه نوامبر ۲۰۱۵ آغاز کرده است)

✓ ثبت نام و درج مشخصات مشترک

✓ ایجاد رجیستری هر یک از کشورهای شریک، (شکل ۴-۲۰)

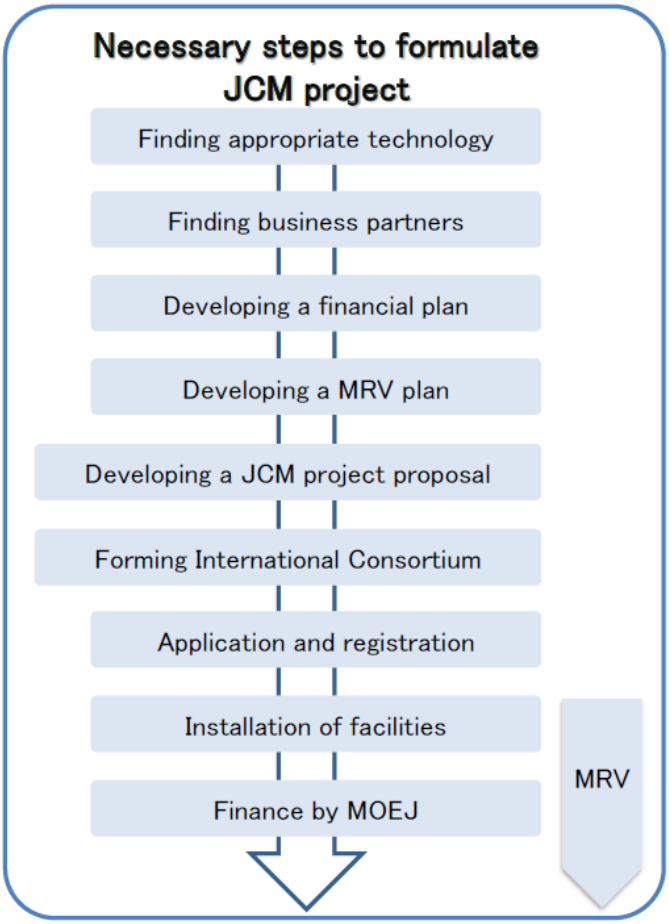


[138] Ministry of the Environment, Japan

شکل ۴-۲۰. مراحل ثبت پروژه های JCM

❖ **مراحل تحقق پروژه های JCM و استفاده از برنامه پشتیبانی**

- ✓ پیدا کردن فن‌آوری مناسب
- ✓ یافتن شرکای تجاری
- ✓ تدوین یک برنامه مالی
- ✓ تهیه یک برنامه MRV
- ✓ تهیه یک پیشنهاد پروژه JCM
- ✓ تشکیل کنسرسیوم بین المللی
- ✓ ارائه درخواست و ثبت پروژه
- ✓ بکارگیری و راه اندازی امکانات
- ✓ تأمین مالی توسط MOEJ



شکل ۴-۲۱. مراحل تحقق پروژه‌های JCM

٤-۳-۸ کشورهای شریک JCM

ژاپن از سال ۲۰۱۱ برنامه مشاوره‌ای خود را جهت معرفی و استفاده از مکانیسم JCM با کشورهای در حال توسعه آغاز نموده است. اولین پروژه JCM در اکتبر سال ۲۰۱۱ توسط کمیته مشترک بین اندونزی و ژاپن با استفاده از این برنامه‌های پشتیبانی ثبت شد. طی سال‌های گذشته تا کنون سند دو جانبه همکاری برای JCM را با مغولستان، بنگلادش، اتیوپی، کنیا، مالدیو، ویتنام، لائوس، اندونزی، کاستاریکا، پالائو، کامبوج و مکزیک، عربستان سعودی، شیلی، میانمار و تایلند امضا کرده است. ژاپن هچنین جلسات کمیته مشترک با مغولستان، بنگلادش، اتیوپی، کنیا، مالدیو، ویتنام، لائوس، اندونزی، پالوو و فیلیپین برگزار کرده است.

- ✓ ۲۰۱۱ : اندونزی
- ✓ ۲۰۱۳ : بنگلادش، ویتنام، مغولستان، اتیوپیا، مالدیو، کنیا، کاستاریکا
- ✓ ۲۰۱۴ : پائولو، کامبوج، مکزیک
- ✓ ۲۰۱۵ : شیلی، تایلند، میانمار، عربستان سعودی
- ✓ ۲۰۱۷ : فیلیپین

❖ پروژه‌های نمونه ثبت شده در برخی کشورها

- ✓ صرفه جویی در مصرف انرژی برای تهویه مطبوع و خنک کردن فرایندها با معرفی چیلر سانتریفیوژ با کارایی بالا
- ✓ هضم بی هوازی از مواد زائد آلی برای مصرف بیوگاز در بازار و رانندگی با محیط زیست با استفاده از سیستم Tachograph دیجیتال در ویتنام
- ✓ تولید انرژی توسط احیا گرمادهی زباله در صنعت سیمان و پروژه تولید انرژی زیست توده پالم در اندونزی
- ✓ نصب و راه‌اندازی سیستم ترکیبی هیبریدی خورشیدی به ایستگاه‌های فرستنده پایه موجود در منطقه خارج از شبکه در اندونزی
- ✓ صرفه‌جویی در انرژی از طریق معرفی احتراق به کوره آلومینیومی تولیدکننده قطعات خودرو در اندونزی
- ✓ صرفه‌جویی در انرژی در تجهیزات کارخانه نساجی با استفاده از چیلر گریز از مرکز با کارآیی بالا در اندونزی
- ✓ پروژه معرفی یخچال و فریزر با راندمان بالا در ذخیره‌سازی سرد صنایع غذایی در اندونزی
- ✓ پروژه معرفی یخچال با راندمان بالا در کارخانه فرآوری مواد غذایی منجمد در اندونزی
- ✓ نیروگاه‌های خورشیدی مقیاس کوچک برای تأسیسات تجاری در ایالت‌های جزیره
- ✓ نصب دیگ‌های بخار تنها با راندمان بالا در مدرسه ۱۱۸ پروژه شهر اولانباتار
- ✓ متمرکز ساختن سیستم تأمین حرارت با نصب دیگ‌های بخار با راندمان بالا در پروژه سورم برنور،
- ✓ ارتقاء بیمارستان‌های سبز با بهبود کارآیی/ محیط در بیمارستان‌های ملی ویتنام

-

❖ متدولوژی‌های تصویب شده

کشورهایی که تا کنون موفق به ثبت متدولوژی بر اساس مکانیسم JCM شده‌اند، عبارتند از مغولستان، مالدیو، ویتنام، اندونزی و پالائو

❖ **پیاده سازی مکانیسم JCM در آسیا**

فعالیت‌های مربوط به JCM در آسیا توسط مرکز همکاری‌های زیست محیطی خارج از کشور ژاپن OECC[139] در راستای اهداف ذیل تعریف شده‌است:

- ✓ حمایت از توسعه پروژه در آسیا
- ✓ تدوین برنامه دبیرخانه اطلاعات

❖ **تعداد پروژه‌های ثبت شده و پروژه‌های خط لوله (اول تعداد پروژه‌های ثبت شده و دوم پروژه های خط لوله)**

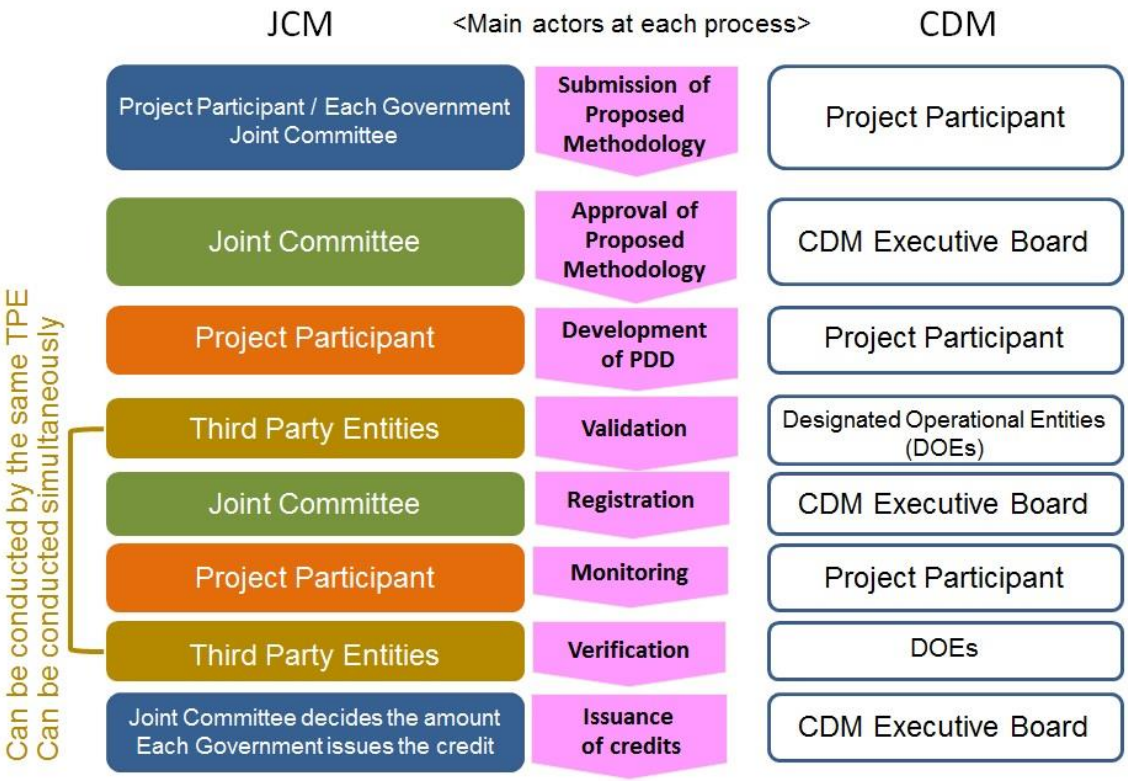
- ✓ ۲۰۱۳ : صفر – حدود ۸ پروژه
- ✓ ۲۰۱۴ : حدود ۴ پروژه – ۲۰ پروژه
- ✓ ۲۰۱۵ : حدود ۱۰ پروژه – ۵۴ پروژه
- ✓ ۲۰۱۶ : ۱۷ پروژه – حدود ۸۸ پروژه
- ✓ ۲۰۱۷ : حدود ۲۷ پروژه – ۱۱۰ پروژه
- ✓ ۲۰۱۸ : ۴۰ پروژه – حدود ۱۳۰ پروژه

۹-۳-۴ چرخه پروژه‌های JCM و CDM

شکل ۴-۲۲ شباهت میان عملکرد دو مکانیسم JCM و CDM را نمایش می‌دهد. همانگونه که ملاحظه می شود مکانیسم JCM از سه بازیگر مهم شرکای پروژه، کمیته مشترک و نهادهای شخص ثالث (TPE) و بطور مشابهی مکانیسم CDM نیز شامل شرکای پروژه، شورای اجرایی CDM و اعضای عملیاتی تعیین شده DOEs[140] می‌باشند.

[139] Overseas Environmental Cooperation Center, Japan

[140] Department of Energy



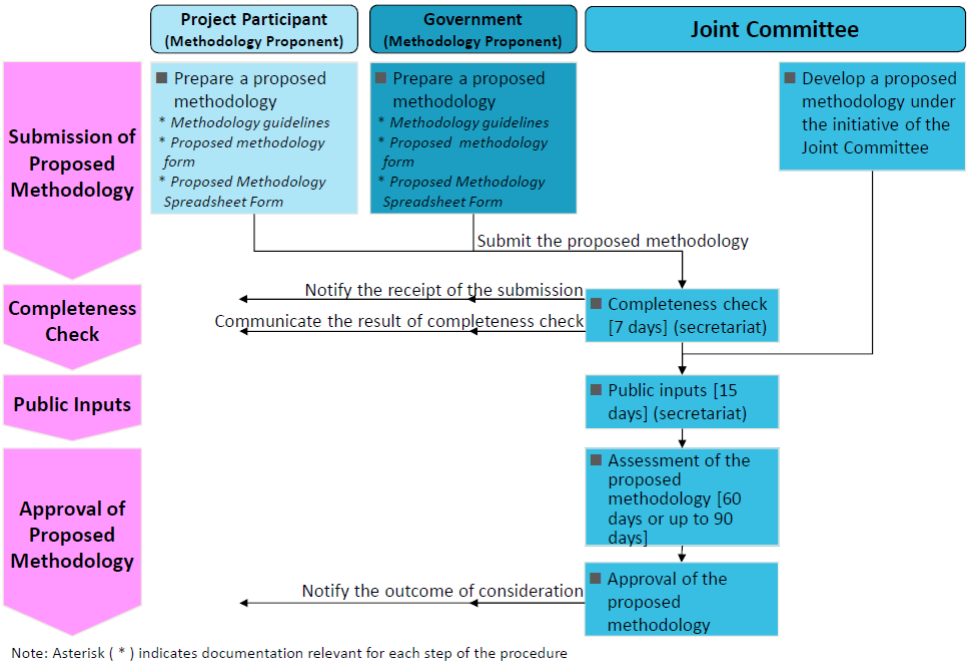
شکل ۴-۲۲. چرخه فرآیندهای JCM و CDM

۴-۳-۹-۱ مستندات مورد نیاز JCM

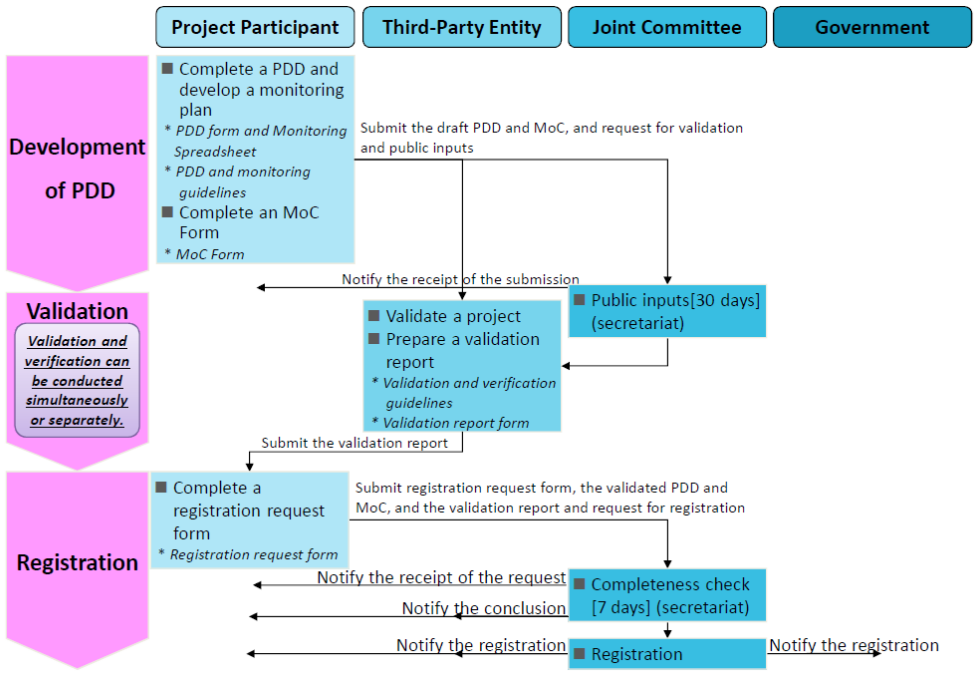
		Rules and Guidelines
Overall		✓ Rules of Implementation ✓ Project Cycle Procedure ✓ Glossary of Terms ✓ Guidelines for Designation as a Third-Party Entity (TPE guidelines)
Joint Committee		✓ Rules of Procedures for the Joint Committee (JC rules)
Methodology		✓ Guidelines for Developing Proposed Methodology (methodology guidelines)
Project Procedures	**Developing a PDD**	✓ Guidelines for Developing Project Design Document and Monitoring Report (PDD and monitoring guidelines)
	Monitoring	
	Validation	✓ Guidelines for Validation and Verification (VV guidelines)
	Verification	

شکل ۴-۲۳. مستندات مورد نیاز JCM

در ادامه نمودارهای توسعه و تدوین Methodology در مکانیسم JCM، رجیستری و صدور اعتبارات JCM و نمونه هایی از پروژه های ثبت شده JCM ارایه شده است.



شکل ۴-۲۴. نحوه توسعه و تدوین Methodology در مکانیسم JCM



شکل ۴-۲۵. نحوه رجیستری و صدور اعتبارات JCM



شکل ۴-۲۶. نمونه هایی از پروژه های ثبت شده JCM ارایه شده

۴-۴ معرفی GCF

امروزه تاثیرات تغییر اقلیم ناشی از فعالیت‌های انسان در سیاره زمین بی سابقه بوده است. امروزه تغییرات طولانی مدت در سیستم آب و هوایی زمین قابل توجه است و با سرعت بیشتری نسبت به گذشته رخ می‌دهد. لذا پیش بینی می‌شود انتشار مداوم به جو زمین باعث گرم شدن بیشتر کره زمین شده و احتمال بروز اثرات شدید، فراگیر و

برگشت ناپذیر در هر قاره را افزایش دهد. علاوه بر این، تغییر اقلیم تأثیرات نامتناسب و قوی بر زندگی و معیشت جوامعی دارد که برای نیازهای روزمره خود به محیط طبیعی وابسته هستند. گزارشات هیئت بین دولتی تغییر اقلیم (IPCC[141]) انکار ناپذیراست. انتشار گازهای گلخانه‌ای (GHG[142]) همچنان در حال افزایش است و این باعث می‌شود که دستیابی به هدف توافق جهانی برای حفظ درجه حرارت جوی در زیر 2^oC دشوارتر باشد. طبق مطالعات IPCC، روند فعلی انتشار گازهای گلخانه‌ای باعث می‌شود که متوسط دمای جهانی تا پایان این قرن، 4^oC افزایش یابد.

٤-٤-١ دلایل ایجاد صندوق اقلیم سبز(GCF[143])

چالش انتشار گازهای گلخانه ای و تغییرات اقلیم نیاز به اقدام جمعی از همه کشورها -توسط بازیگران در هر دو بخش عمومی و خصوصی را دارد. تأمین مالی پروژه‌های تغییرات اقلیم یکی از موضوعات اصلی اجلاس جهانی اقلیم تحت کنوانسیون چارچوب سازمان ملل متحد در مورد تغییرات آب و هوا (UNFCCC[144]) در سالهای اخیر بوده است. به عنوان نقطه عطف مذاکرات آب و هوا، اجلاس سران کپنهاگ در سال ۲۰۰۹ پیشنهاد ایجاد صندوق اقلیم سبز (GCF) را داده است. کشورهای توسعه یافته موافقت کرده‌اند تا سال ۲۰۲۰ مبلغ ۱۰۰ میلیارد دلار در سال برای به کشورهای در حال توسعه برای پاسخگویی به تغییرات آب و هوایی کمک کنند. این بودجه از منابع مختلف دولتی و خصوصی، دو جانبه و چند جانبه و جایگزین تأمین خواهد شد. با این حال، GCF همواره پیشرفت نکرده است و در مورد چگونگی دستیابی به هدف ۲۰۲۰ ناشناخته است و عوامل مؤثر بر نوسانات در حمایت از کشورهای کمک‌کننده هنوز مشخص نشده است. برآوردهای تأمین مالی اقلیم ۲۰۱۳-۲۰۱۴ که توسط سازمان همکاری اقتصادی و توسعه (OECD[145]) منتشر شده استدلال می‌کند که تأمین مالی آب و هوا در سال ۲۰۱۴ به ۶۲ میلیارد دلار و در سال ۲۰۱۳ به ۵۲ میلیارد دلار رسیده است. البته صرف نظر از این موارد، این نتایج توسط برخی از گروه-های توسعه-یافته به شدت به چالش کشیده شده است. به عنوان مثال، دولت هند، روش و صحت گزارش OECD را با دقت مورد بررسی قرار می‌دهد و مشکلات جدی را در همه موارد شناسایی می‌کند. آنها گزارش کرده‌اند که تأمین مالی تأیید شده تغییرات اقلیم در جهان در حال توسعه تنها ۴٪ از کل می‌باشد. البته GCF با مشکل تأمین مالی کافی روبرو است و در حال حاضر کشورهای توسعه یافته فاقد قوانین مشخص و یا مسیرهای مشخص برای افزایش کمک‌های مالی خود در زمینه تغییرات آب و هوایی هستند. ایجاد روش روشنی برای تخصیص مسئولیت‌های مالی در بین کشورهای توسعه‌یافته می‌تواند به ثبات کمک‌های مالی کمک کند و روش‌های نهایی چنین روش تخصیصی منوط به مذاکرات سیاسی بین آنها خواهد بود.

٤-٤-٢ معرفی صندوق GCF

کنوانسیون تغییر اقلیم در اجلاس COP16، صندوق سبز اقلیم (GCF) را به منظور انجام مشارکت جدی در اقدامات جهانی اقلیمی تاسیس کرد. این کار توسط ۱۹۴ کشوری که عضو کنوانسیون چارچوب سازمان ملل متحد در مورد

[141] Intergovernmental Panel on Climate Change
[142] Green House Gas
[143] Green Climate Fund
[144] United Nations Framework Convention on Climate Change
[145] Organization for Economic Co-operation and Development

تغییر اقلیم (UNFCCC) در سال ۲۰۱۰ هستند، به عنوان بخشی از مکانیسم مالی کنوانسیون تنظیم شده است و هدف آن تخصیص مقدار بودجه مساوی به کاهش و سازگاری بوده است.

این صندوق از تغییر الگوی کشورها به سوی انتشار کم و ارتقاء انعطاف‌پذیری نسبت به اقلیم، با ارائه کمک مالی به کشورهای در حال توسعه در دو محدوده ذیل حمایت می کند:

- محدود کردن یا کاهش انتشارگازهای گلخانه ای
- سازگاری با اثرات تغییر اقلیم

۴-۴-۲-۱ اداره کنندگان صندوق

- یک موسسه مستقل به میزبانی کره جنوبی، که دبیرخانه مستقل خود را دارد.
- بانک جهانی به عنوان صندوق امانی موقت آن ذیل کنفرانس اعضاء کنوانسیون تغییر اقلیم فعالیت کرده و پاسخگو می باشند.
- هیأت مدیره صندوق ۲۴ نفر هستند که به صورت مساوی از کشورهای در حال توسعه و توسعه یافته هستند.

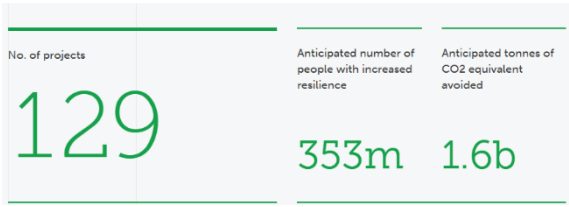
در حال حاضر ۱۴۸ کشور در این صندوق عضو شده اند.

۴-۴-۲-۲ وضعیت مالی صندوق

در حال حاضر وضعیت مالی صندوق بشرح زیر می‌باشد:



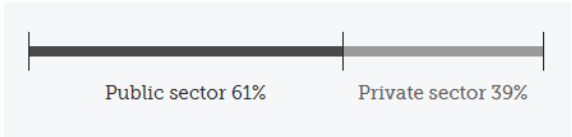
توزیع حمایت های مالی



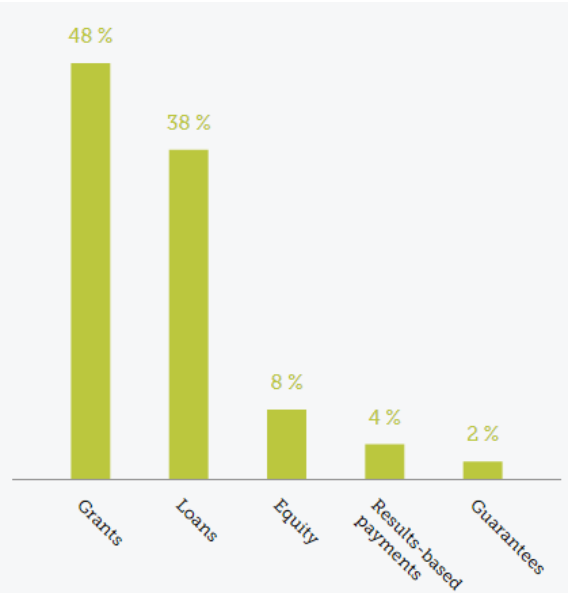
وضعیت مالی صندوق



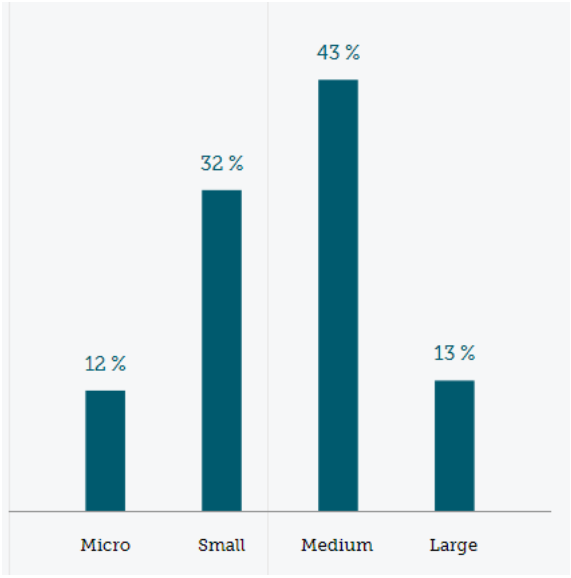
وضعیت پروژه‌های ثبت شده



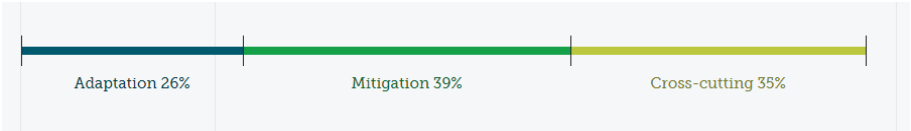
تقسیم بندی پروژه های ثبت شده بر اساس درصد مشارکت بخش خصوصی و دولتی



تقسیم بندی پروژ های ثبت شده بر اساس نوع حمایت های مالی انجام شده



تقسیم بندی پروژ های ثبت شده بر اساس بزرگی پروژه



تقسیم بندی موضوعی پروژه ها

٤-٤-٢-٣ عملیاتی شدن صندوق

تلاشهای اولیه که برای جذب منابع که در ژوئن ۲۰۱۴ آغاز شد، منشاء ۱۰/۲ میلیارد دلاری داشته که ۵/۸ میلیارد دلار آن از منابع مالی قول داده شده به صندوق پرداخت گردید. این تعهد مالی توسط ۳۷ کشور داده شده که ۸ کشور در حال توسعه مثل کره جنوبی و مکزیک هم در بین آنها می باشند. آلمان و فرانسه هرکدام با واریز ۱ میلیارد دلار سهم به سزایی در عملیاتی شدن صندوق داشته اند. کمک مالی به بخش دولتی می تواند بدون بازپرداخت باشد. وام های اعطایی به بخش عمومی با مدت زمان بازپرداخت طولانی و اندک است. تصمیم گیری در مورد پرداخت کمک مالی به همراه بازپرداخت بر عهده هیئت صندوق است.

٤-٤-٢-٤ مراحل دریافت تخصیص‌های صندوق

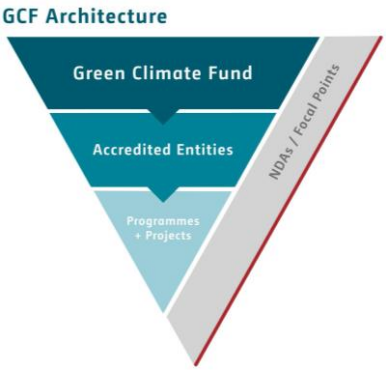
۱. معرفی و آماده سازی دبیرخانه مرجع صلاحیت دار ملی

۲. در نظر گرفتن نهاد مالی معتبر GCF که یا بین المللی و منطقه ای هستند یا می توان نهادهای داخلی کشورها را اعتبار بخشی نمود.

۳. پیشنهاد پروژه‌ها و برنامه های مد نظر کشورها در خصوص محدود کردن یا کاهش انتشار گازهای گلخانه ای یا سازگاری با اثرات تغییر اقلیم

برنامه ها / پروژه های بخش دولتی و خصوصی که با استفاده از منابع GCF انجام خواهد شد با شش معیار سرمایه گذاری GCF ارزیابی می شوند. دسترسی به منابع GCF برای انجام برنامه ها / پروژه های تغییر اقلیم، از طریق نهادهای معتبر ملی، منطقه ای و بین المللی می باشد. نهادها ممکن است پیشنهادهای تامین مالی خود را طریق نهادهای معتبر به GCF ارسال کنند یا خودشان خواستار اعتبار بخشی توسط GCF شوند.

۴-۴-۲-۵ انواع اعتبارات صندوق

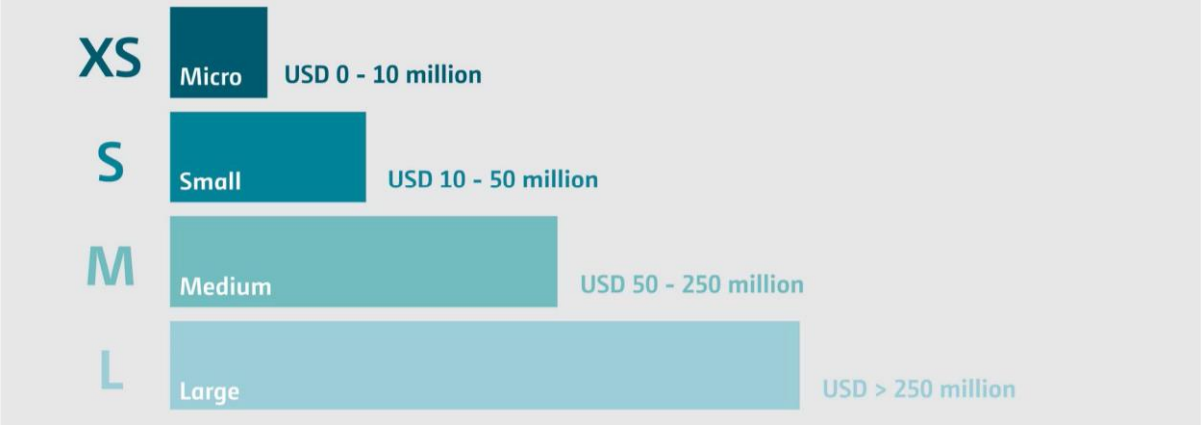


1. **Grant**
   - با بازپرداخت
   - بدون بازپرداخت
2. **Equity**
3. **Loan**
   - با بهره بیشتر و بازپرداخت ۴۰ ساله
   - با بهره کمتر و بازپرداخت ۲۰ ساله
4. **Guarantee**

*تصمیم گیرنده برای نوع تخصیص به پروژه ها، هیئت مدیره GCF است.

٦-٤-٢-٦ انواع پروژه‌ها به تفکیک تخصیص منابع

پروژه‌های صندوق GCF به چهار دسته XS، S، M و L تقسیم بندی می‌شود:



٧-٤-٢-٤ حوزه های استراتژیک تخصیص پروژه‌های GCF

کاهش انتشار	سازگاری

برق و انرژی کم انتشار روش های کم انتشار حمل و نقل شدت انرژی ساختمان ها، شهرها، صنایع و وسایل کاربری زمین و جنگل ها	معیشت مردم، جوامع و مناطق سلامت و رفاه مردم، امنیت غذا و آب زیرساختها و محیط زیست ساخته شده اکوسیستم و خدمات مرتبط

٤-٤-٢-٨ معیارهای سرمایه گذاری صندوق برای پروژه ها

- پتانسیل پروژه / برنامه برای کمک به اهداف صندوق
- پتانسیل تغییر الگو یعنی چگونگی تغییر ظرفیت و تکرارپذیری آن و همچنین تحول برانگیز بودن و نوآورانه بودن پروژه / برنامه
- پتانسیل توسعه پایدار یعنی توسعه پایدار همراه با کاهش انتشار و سازگاری با تغییر اقلیم
- پاسخگویی به نیازهای دریافت‌کنندگان یعنی نیازهای آسیب پذیری و تامین مالی کشور ذینفع. تا چه حد پروژه گروه‌های آسیب‌پذیر، موانع تامین مالی و سطح قرار گرفتن در معرض خطرات آب و هوا در داخل کشور را در نظر گرفته؟
- ارتقاء دارایی های کشوری یعنی متناسب بودن پروژه با برنامه های زیست محیطی کشور
- کارایی و اثر بخشی یعنی برای پروژه های کاهش انتشار خاص تا چه حد مقرون به صرفه است و می تواند برای تامین مالی پروژه همکاری کند.

٤-٤-٢-٩ حوزه های استراتژیک تخصیص پروژه های GCF

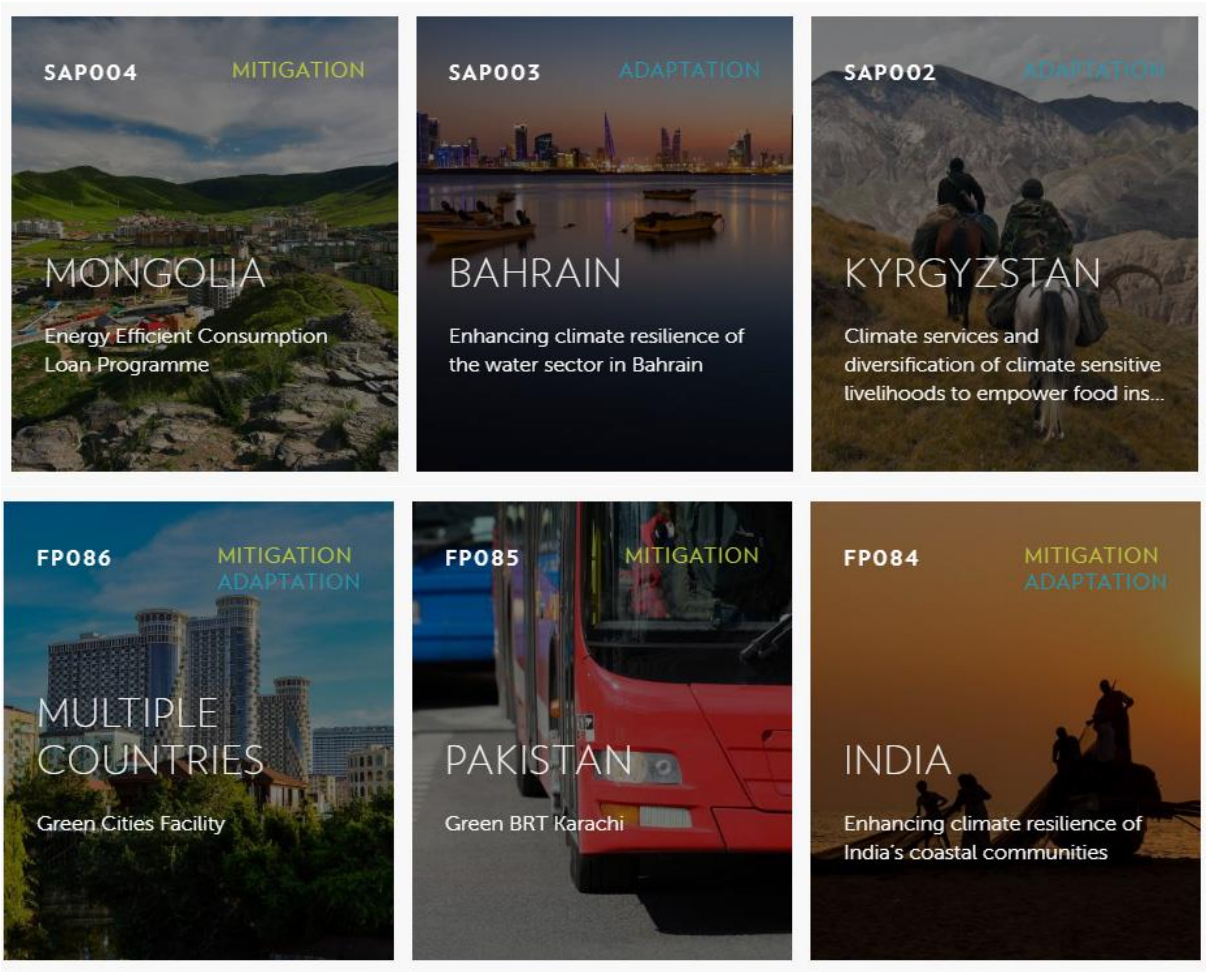
کاهش انتشار	سازگاری
برق و انرژی کم انتشار روش های کم انتشار حمل و نقل شدت انرژی ساختمان ها، شهرها، صنایع و وسایل کاربری زمین و جنگل ها	معیشت مردم، جوامع و مناطق سلامت و رفاه مردم، امنیت غذا و آب زیرساختها و محیط زیست ساخته شده اکوسیستم و خدمات مرتبط

٤-٤-٢-١٠معیارهای سرمایه گذاری صندوق برای پروژه ها

- پتانسیل پروژه / برنامه برای کمک به اهداف صندوق

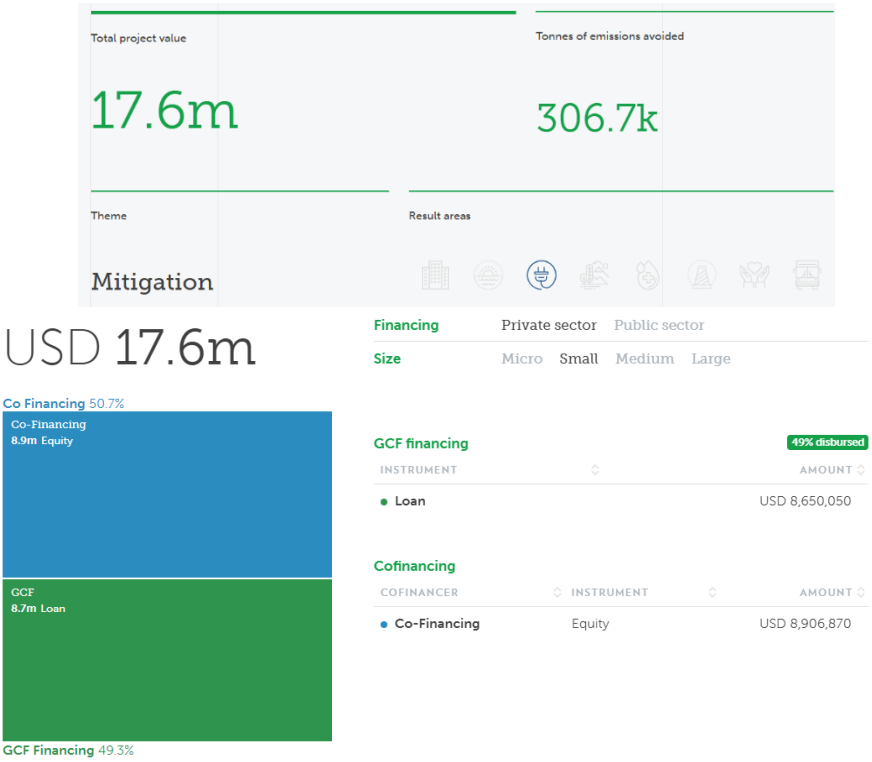
- پتانسیل تغییر الگو یعنی چگونگی تغییر ظرفیت و تکرارپذیری آن و همچنین تحول برانگیز بودن و نوآورانه بودن پروژه / برنامه
- پتانسیل توسعه پایدار یعنی توسعه پایدار همراه با کاهش انتشار و سازگاری با تغییر اقلیم
- پاسخگویی به نیازهای دریافت‌کنندگان یعنی نیازهای آسیب پذیری و تامین مالی کشور ذینفع. تا چه حد پروژه گروه‌های آسیب‌پذیر، موانع تامین مالی و سطح قرار گرفتن در معرض خطرات آب و هوا در داخل کشور را در نظر گرفته؟
- ارتقاء دارایی های کشوری یعنی متناسب بودن پروژه با برنامه های زیست محیطی کشور
- کارایی و اثر بخشی یعنی برای پروژه های کاهش انتشار خاص تا چه حد مقرون به صرفه است و می تواند برای تامین مالی پروژه همکاری کند.

٤-٤-٣ نمونه هایی از پروژه های ثبت شده

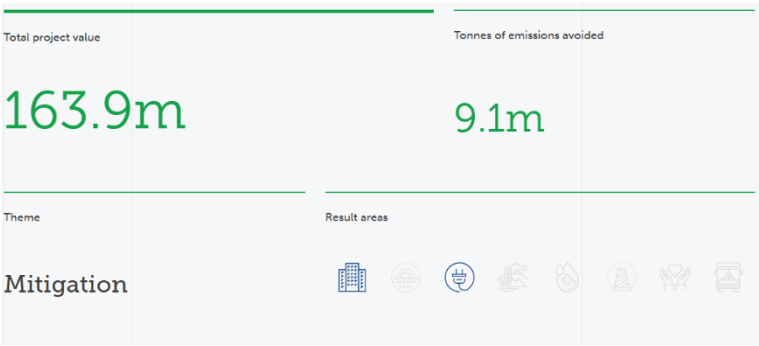


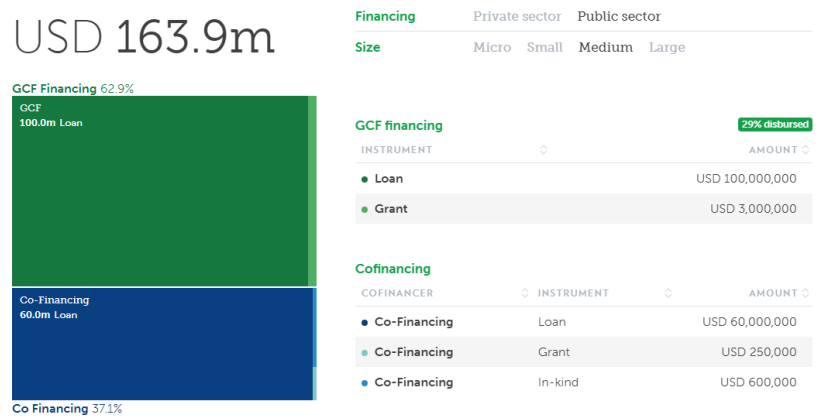


۱-۳-۴-۴ نمونه هایی از پروژه های ثبت شده در زمینه انرژی

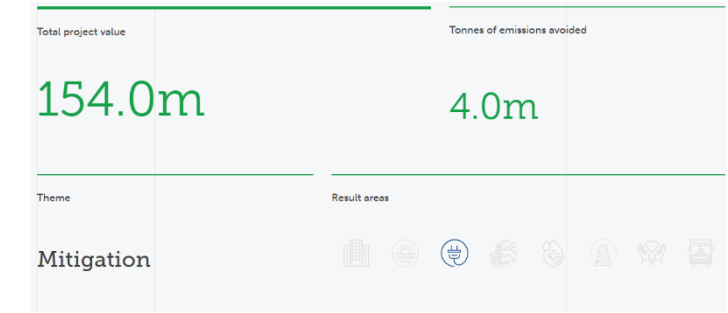


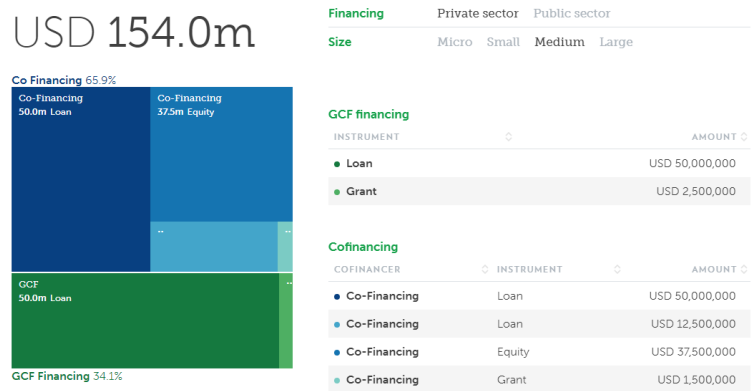
تأمین مالی نیروگاه خورشیدی ۱۰ مگاواتی خورشیدی (PV) برای حمایت از توسعه انرژیهای تجدید پذیر در کشور مغولستان.





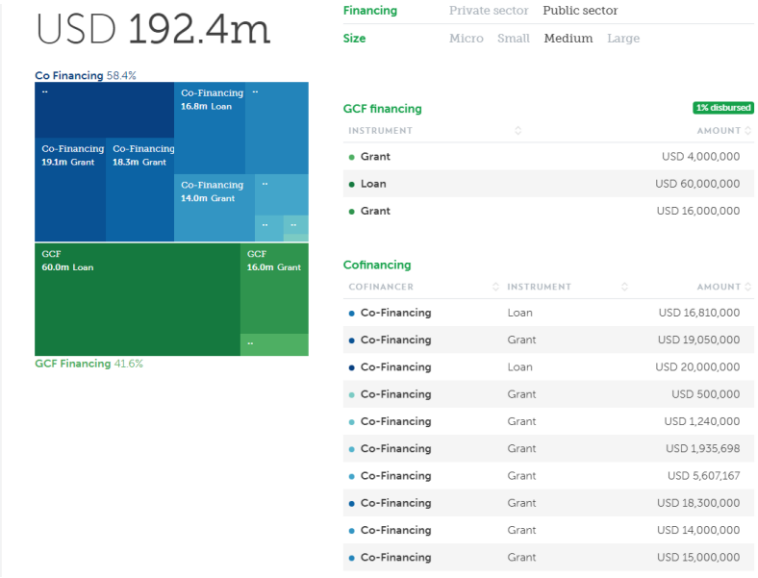
افزایش مقیاس سرمایه گذاری توسط شرکت های کوچک و متوسط آرژانتین در زمینه انرژی‌های تجدید-پذیر و بهره‌وری انرژی



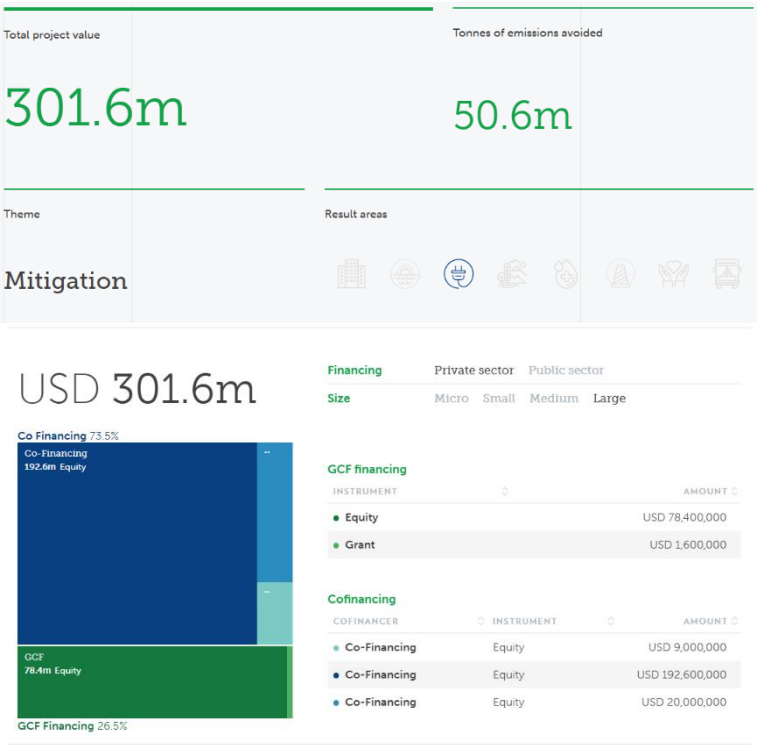


حمایت از دولت زامبیا جهت سرمایه گذاری خصوصی در بخش انرژیهای تجدیدپذیر بمنظور تنوع بخشی در سبد انرژی

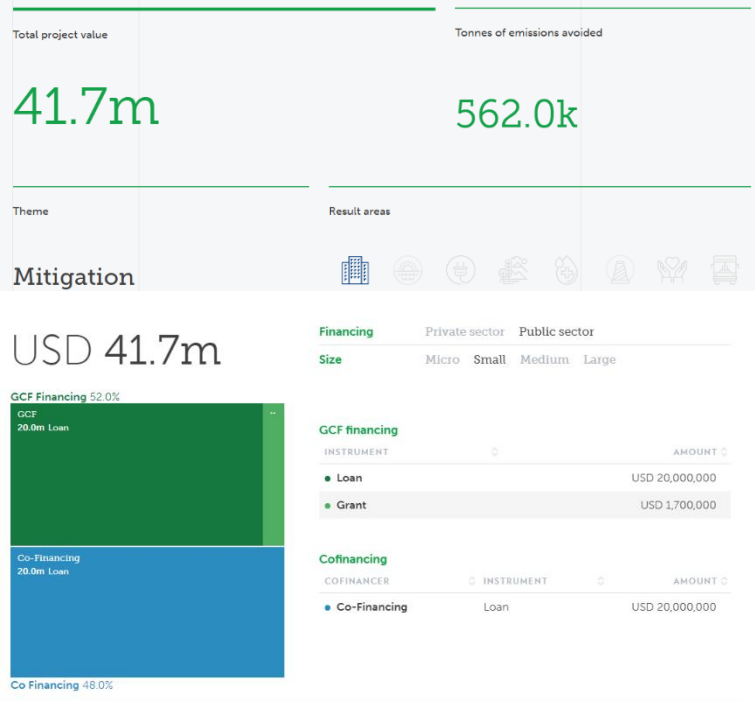




تأمین مالی پروژه های تجاری زمین گرمایی و در ضمن تقویت چارچوب های قانونی و نظارتی برای حمایت از توسعه انرژی زمین گرمایی در منطقه کارائیب شرقی



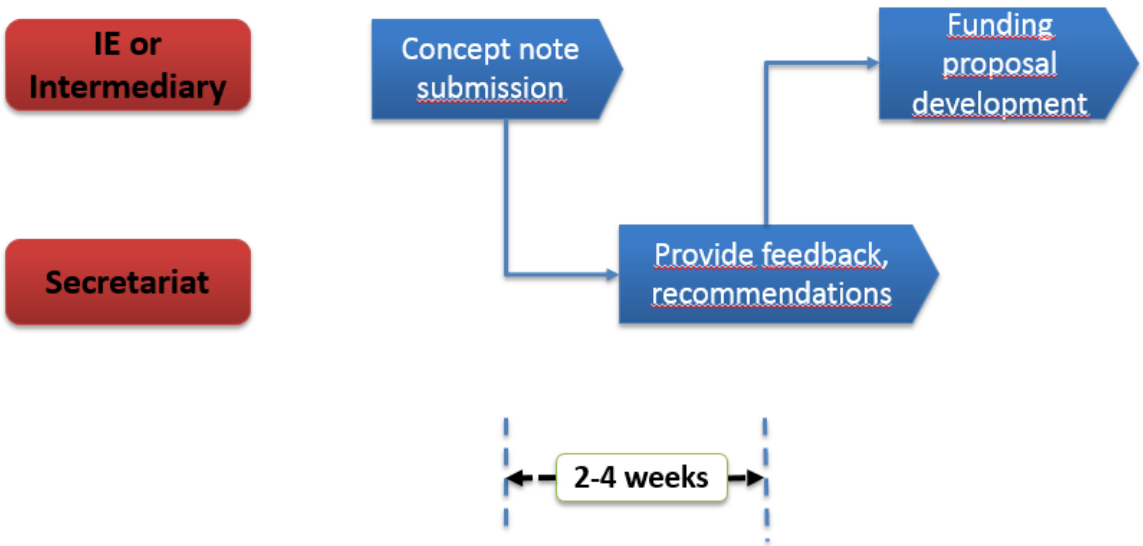
حمایت از افزایش مقیاس سرمایه گذاری در انرژی های تجدید پذیر کشورهای جنوب صحرای آفریقا



بیمه بهره وری انرژی (ESI) برای سرمایه گذاری‌های شرکت های کوچک و متوسط (SME) در بخش بهره وری انرژی در کشورهای آمریکای لاتین و کارائیب

٤-٤-٤ مراحل عملیاتی ثبت پروژه GCF

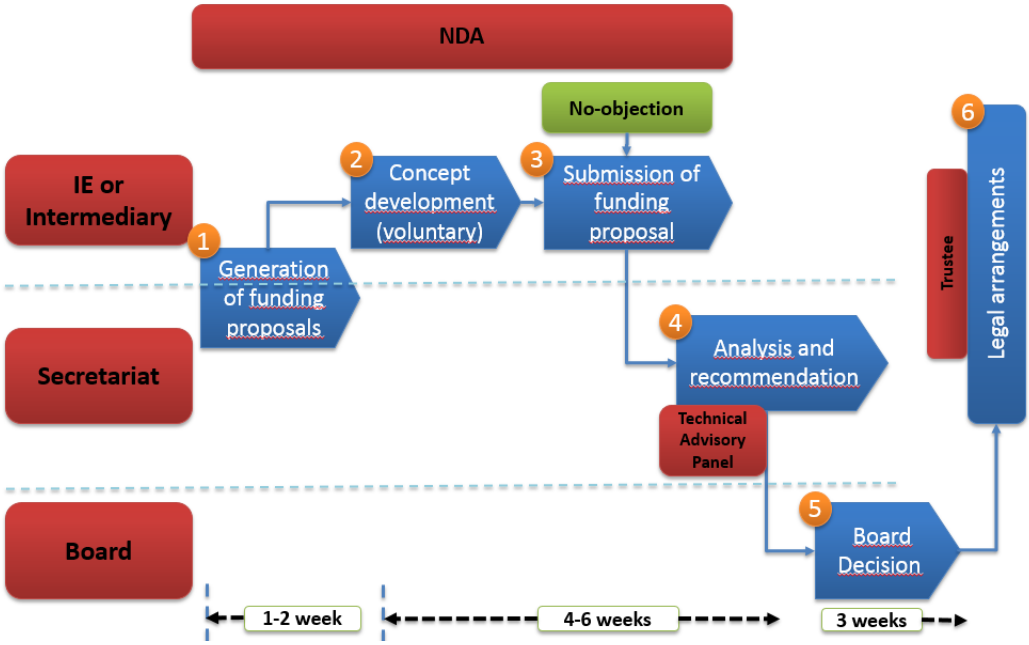
٤-٤-٤-١ فرآیند تهیه پیشنهاد اولیه Concept note



شکل ۴-۲۷. چرخه ارائه پیشنهاد اولیه در مکانیزم GCF

در مرحله اول تهیه Concept note انجام می شود. یک Concept note سندی است که اطلاعات اولیه در مورد یک پروژه یا یک برنامه را ارائه می دهد. این امر به AE این فرصت را می دهد تا از دبیرخانه GCF در مورد اینکه آیا پیشنهاد آنها با اهداف و دستورالعمل صندوق مطابقت دارد، بازخورد بگیرند. AE باید به NDA درباره ارسال یک Concept note به GCF اطلاع رسانی کند.

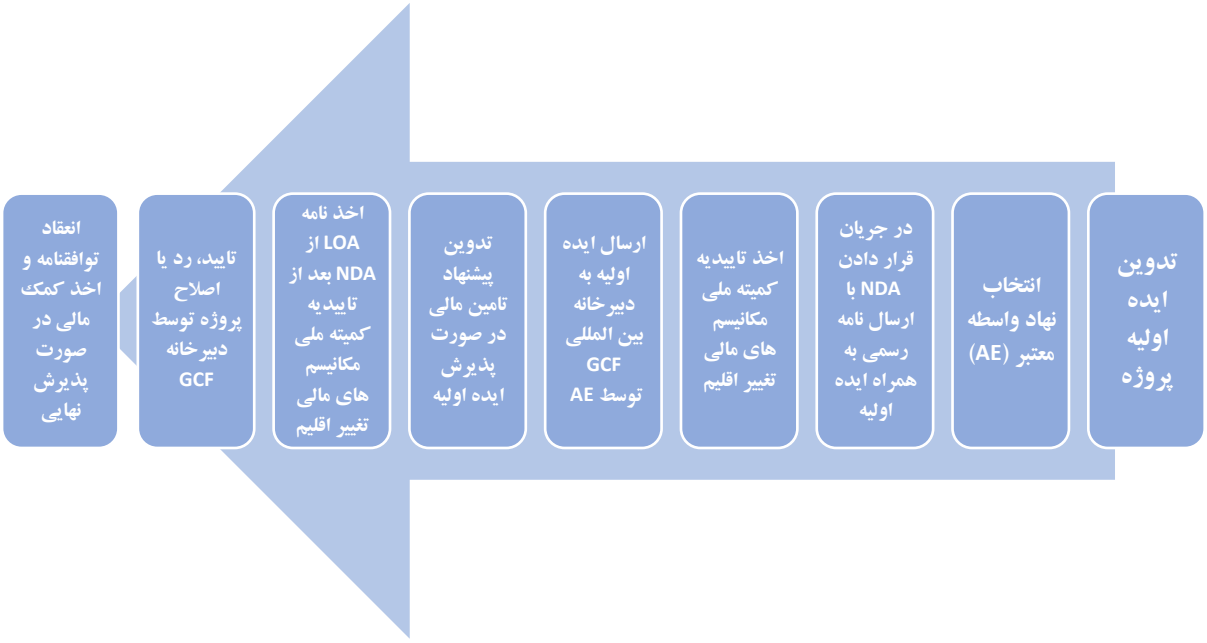
۴-۴-۲ فرآیند تهیه پیشنهاد پروژه



شکل ۴-۲۸. چرخه تهیه پیشنهاد پروژه در مکانیزم GCF

پس از تائید Concept note، بایستی فرمهای اصلی پیشنهاد پروژه پر و به دبیرخانه GCF ارسال می‌گردد. این فرمها شامل موارد زیر می باشد:

- ✓ فرم پیشنهاد مالی پروژه
- ✓ پیوست ۱- no- objection letter
- ✓ پیوست ۲- برنامه تفصیلی بودجه پروژه
- ✓ پیوست ۳- جدول زمانی انجام پروژه
- ✓ پیوست ۴- ESS disclosure report
- ✓ پیوست ۵- ارزیابی جنسیتی و برنامه عملیاتی
- ✓ پیوست ۶- Procurement plan
- ✓ پیوست ۷- برنامه نظارت و ارزیابی
- ✓ پیوست ۸- فرم درخواست بودجه AE
- ✓ پیوست ۹- تعهدنامه co-financing
- ✓ پیوست ۱۰- مدارک تائیدیه داخلی
- ✓ پیوست ۱۱- اطلاعات مربوط به پروژه های چندکشوری



شکل ۴-۲۹. نمودار ثبت پروژه GCF در کشور

۴-۵ معرفی CDM

در دنیای امروز و عصر تکنولوژی با توجه به روند رو به رشد جمعیت جهان و افزایش سطح رفاه جوامع که با ایجاد مصارف جدید انرژی توام بوده است، دغدغه تامین انرژی و تداوم استفاده از آن در مسیر توسعه پایدار را، به بحران و چالش‌های پیش روی بشر افزوده است .بر طبق مطالعات صورت گرفته ،نیاز انرژی جهان با حفظ روند فعلی تا سال 2100 میلادی تا دو برابر افزایش خواهد یافت. این در حالی است که دمای متوسط کره زمین که در طول 140سال گذشته حدود c۱ °افزایش یافته است ،با ادامه این روند تا پایان سال 2100 به میزان 5/8 °C افزایش خواهد یافت. این میزان افزایش موجب تغییرات آب و هوایی برگشتناپذیر و خطرناکی میگردد و در این صورت حیات موجودات بر روی کره زمین با مخاطره روبرو خواهد شد. بدیهی است اجتناب از این پدیده ناگوار جز با اقدامات اساسی در جهت بهینه سازی مصرف انرژی و افزایش سهم انرژیهای تجدید ناپذیر در تامین انرژی جهان، جلوگیری از تخریب جنگلها، تغییر کاربری زمین و کاهش انتشار آلایندههای زیست محیطی امکان پذیر نمیباشد.بر این اساس اکثر نهادها و موسسات بین المللی،معیار کاهش آلایندگیهای زیست محیطی را ملاک ارزیابی برنامههای خود در توسعه پایدار قرار دادهاند. در این راستا، مجمع عمومی سازمان ملل آغاز مذاکرات مربوط به ایجاد یک چهارچوب حقوقی در زمینه تغییر اب و هوا را در دسامبر سال 1990میلادی اعلام کرد و کمیته مذاکرات بین الدول کنوانسیون تغییر آب و هوا (INC / FCC) [۱۴۶] را بمنظور تدوین این کنوانسیون ،نهادینه نمود.کنوانسیون تغییر آب و هوا در سال 1992 میلادی در اجلاس ریو با هدف تثبیت غلظت گازهای گلخانهای ناشی از فعالیتهای صنعتی در سطحی که از آسیبهای ناشی از تغییرات اقلیمی بر زندگی انسان و حیات روی زمین بکاهد، تدوین شد و از سال 1994 میلادی اجرایی گردید. اهم اهداف کنوانسیون و فعالیتهای مرتبط با آن به قرار زیر است:

[146] Intergovernmental Negotiating Committee/Framework Convention on Climate Change

۱. تثبیت غلظت گازهای گلخانهای در جو در سطحی که از اثرات خطرناک فعالیتهای بشر بر سیستم اقلیم جلوگیری نماید.
۲. ارائه گزارش دورهای وضعیت ملی تغییر آب و هوا به کنوانسیون، توسط کلیه کشورهای عضو
۳. تهیه میزان انتشار گازهای گلخانهای و جذب توسط چاهکهای جوی بصورت . دورهای
۴. تنظیم و اجرای برنامههای کاهش انتشار گازهای . گلخانهای
۵. همکاری و توسعه روشهای انتقال تکنولوژی برای کاهش انتشار در بخشهای مختلف انرژی، حمل و نقل، صنعت، کشاورزی، جنگل و زایدات جامد و مایع.
۶. همکاری منطقهای و بین المللی درتهیه روشهای تطبیق با پدیده تغییر آب و هوا.
۷. در نظر گرفتن موضوع تغییر آب و هوا در سیاستها و برنامه ریزیهای توسعه

پیمان کیوتو در سومین اجلاس اعضاء متعهدین، مورخ 11دسامبر 1997 میلادی در کیوتو ژاپن تصویب و به مدت یکسال جهت امضای کشورها و اعضای کنوانسیون باز گذاشته شد. از اهداف اساسی پروتکل، ایجاد ساختار اجرایی مناسب برای حصول به اهداف کنوانسیون و نیز تقویت تعهدات کشورهای پیوست I کنوانسیون در کاهش انتشارگازهای گلخانهای و انتقال کمک های فنی و مالی به کشورهای در حال توسعه و کشورهایی که بشدت متاثر از آثار تغییر اقلیم هستند (ماده ۴/۸ تا ۴/۱۰) کنوانسیون میباشد.
هر یک از اعضاء پیوست *I*پروتکل بطور مستقل یا مشترک توسط پیمان کیوتو متعهد شدهاند که انتشار گازهای گلخانهای را حذف و یا کاهش دهند؛ بطوریکه میزان انتشار شش گاز گلخانهای کشورهای توسعه یافته در محدوده سالهای ۲۰۰۸-۲۰۱۲ میلادی به 5%زیر سطح انتشار سال 1990میلادی کاهش یابد. تعهدات هر یک از کشورهای توسعهیافته در ضمیمه *B*پیمان آورده شده است که محدوده این تعهدات از 8%کاهش (کشورهای اتحادیه اروپا) تا 10%افزایش (جزایر کوچک) نسبت به سطح انتشار سال 1990میلادی میباشد. پروتکل کیوتو با الحاق روسیه به پیمان کیوتو در اواسط ماه نوامبر سال، 2004 در تاریخ 16فوریه 2005اجرایی شد. جمهوری اسلامی ایران در سال 1375، با تصویب مجلس شورای اسلامی و تائید شورای نگهبان به عضویت کنوانسیون تغییرات آب و هوا درآمد. قانون الحاق ایران به پیمان کیوتو نیز در سال 1384به تائید شورای نگهبان رسید. کشور ما بدلیل قرار گرفتن در بین کشورهای در حال توسعه، در دوره اول تعهد (۲۰۰۸-۲۰۱۲) اجباری برای کاهش انتشارات خود ندارد. پروتکل کیوتو جهت کاهش انتشار و تسهیل انجام تعهدات کشورهای توسعه یافته، مکانیسم های انعطاف پذیری تحت عنوان مکانیسمهای مبتنی بر بازار در ماده 12و سایر مواد تنظیم نموده است. بر اساس پیمان کیوتو، اعضای متعهد میتوانند با اجرای پروژهها در سایر کشورها، سیاستهای کاهش انتشار را از لحاظ اقتصادی توجیهپذیر نمایند. بدین منظور پیمان کیوتو جهت ایجاد ساختار مبتنی بر بازار سه مکانیسم زیر را تعبیه نموده است. این مکانیسمها عبارتند از:

- ✓ مکانیسم توسعه پاک (CDM)[۱۴۷]
- ✓ اجرای مشترک (JI)[۱۴۸]
- ✓ تجارت انتشار (ET)[۱۴۹]

[147] Clean Development Mechanism
[148] Joint Implementation
[149] Emission Trading

۱. مکانیسم توسعه پاک: پروژههایی که کشورهای توسعه یافته جهت تحقق تعهدات خود در کاهش انتشار و همچنین کمک به توسعه پایدار در کشورهای در حال توسعه اجرا مینمایند و به ازای کاهش انتشارگازهای گلخانه ای ، گواهی کاهش انتشار (CER) دریافت می‌نمایند.
۲. اجرای مشترک: پروژههایی هستند که با توجه به تجارب تکنولوژیکی کشورها، به منظور اجرای تعهد یا اخذ گواهی، توسط برخی از کشورهای صنعتی در سایر کشورهای توسعه یافته بخصوص کشورهای با اقتصاد در حال گذر (اروپای شرقی) اجرا میگردند.
۳. تجارت انتشار: همانگونه که اشاره شد کشورهای صنعتی تحت پیمان کیوتو متعهد به کاهش انتشار گازهای گلخانهای هستند (هر کشور تعهد مستقلی دارد)؛ در راستای این تعهدات اگر کشوری نتواند سهم تعهدات خود را در کاهش انتشار برآورده نماید، میتواند از کشورهای صنعتی دیگر که بیش از سهم تعهد خود کاهش انتشار داشته است مجوز انتشار را خریداری نماید. که این موضوع را تجارت انتشار می‌گویند.

همانطور که قبلاً اشاره شد پیمان کیوتو برای کاهش هزینههای عمل به تعهدات، سه مکانیسم انعطاف پذیر تعریف کرده است که در بین آنها مکانیسم توسعه پاک تنها مکانیسمی است که کشورهای در حال توسعه میتوانند در آن مشارکت داشته باشند. ماده ۱۲ پیمان کیوتو به تعریف مکانیسم توسعه پاک اختصاص دارد. طبق این ماده، هدف از مکانیسم توسعه پاک کمک به کشورهای در حال توسعه (غیر ضمیمهI) جهت دستیابی به توسعه پایدار، کمک به هدف نهایی کنوانسیون و مساعدت اقتصادهای در حال گذار و کشورهای توسعه یافته (اعضای پیوستI) در جهت عمل به تعهدات کاهش انتشار پیمان میباشد.

طبق این مکانیسم کشورهای در حال توسعه از فعالیتهای پروژهای که منجر به صدور گواهی کاهش انتشار (CERs) میشوند نفع میبرند. برای کاهش هر یک تن معادل ،CO2یک CER اختصاص مییابد. کشورهای عضو پیوست I (کشورهای توسعه یافته) میتوانند از گواهی کاهش انتشار حاصل از این پروژهها برای عمل به تعهدات خود در قبال پیمان کیوتو استفاده کنند. بعبارت دیگر، مکانیسم توسعه پاک به کشورهای توسعه یافته اجازه میدهد که اعتبارات کاهش انتشار حاصل از اجرای پروژه در کشورهای در حال توسعه را خریداری کنند. در عوض، کشورهای در حال توسعه به منابع و تکنولوژیهای لازم برای کمک به توسعه پایدار اقتصاد خود دسترسی خواهند داشت.

قوانین حاکم بر پروژههای مکانیسم توسعه پاک در سال ۲۰۰۳میلادی نهایی شده است و شامل »الگوها و رویههای مکانیسم توسعه پاک« حاصل از توافق مراکش، تصمیمات هیئت اجرائی CDMو تصمیمات بعدی اعضا ءکنفرانس میباشد. پانزده زمینه زیر ازسوی هیئت اجرایی برای فعالیتهای پروژهای در قالب مکانیسم توسعه پاک تعریف شده است که عبارتند از : صنایع انرژی (منابع تجدید پذیر و تجدید ناپذیر) توزیع انرژی ,مصرف انرژی, صنایع تولیدی ,صنایع شیمیایی، صنعت ساختمان ,حمل و نقل، تولیدات معدنی، تولید فلزات، انتشارات فرار از سوختها)جامد, نفت و گاز(،انتشارات فرار در تولید و مصرف هالوکربنها و هگزا سولفورفلوراید، مصرف حلالها، انتقال و دفع پسماندها ،جنگلکاری و احیای جنگل ،کشاورزی. ایران با مصرف ۲/۲درصد از نفت خام دنیا و ۵/۴درصد از گاز دنیا یکی از بزرگ ترین کشورهای مصرف کننده انرژی فسیلی و در نتیجه تولید کننده گازهای گلخانهای است و در بین ۲۰۷کشور جهان از نظر انتشار گازهای گلخانهای رتبه سیزدهم را داردآمارها نشان میدهد در سال ۱۳۸۷در ایران ۴۵۳میلیون تن گاز دی اکسید کربن تولید شده است و با این روند مصرف انرژی در جهان تا سال ۲۰۳۰میلادی میزان تولید این گاز در جهان به ۴۱گیگاتن خواهد رسید . ( )۶در نتیجه ایران دارای پتانسیل بسیار بالایی برای تعریف پروژههای مکانیسم توسعه پاک است و با اجرایی نمودن این پروژهها علاوه بر کاهش دمای زمین از سود مالی

فراوانی میتواند برخوردار باشد . بدین جهت پرداختن به این موضوع در قالب یک مسئله ملی امری ضروری و مهم میباشد.

٤-٥-١ شرح مکانیسم توسعه پاک

٤-٥-١-١ مراحل پروژه‌های مکانیسم توسعه پاک

هر پروژه CDM قبل از اجرا تا صدور گواهی کاهش انتشار باید مراحلی را پشت سر بگذارد. این مراحل عبارتند از:

١. تنظیم سند طراحی پروژه[١٥٠]
٢. تائید پروژه
٣. ثبت پروژه
٤. پایش
٥. بازبینی، صحه گذاری و گواهی نمودن کاهش انتشار
٦. صدور گواهی کاهش انتشار

سه مرحله اول، قبل از اجرای پروژه (مرحله طراحی) و سه مرحله بعدی بعد از اجرای پروژه (مرحله اجرا) انجام میگیرند.

٤-٥-١-٢ گازهای گلخانهای مورد نظر پیمان کیوتو

به مجموعه‌ای از گازهای حاصل از سوختن موادآلی و انرژی‌های فسیلی صنایع مختلف تولید شده و باتشکیل لایه‌ای در بالای زمین باعث می‌شوندکه مقداری از انرژی خورشیدی تابیده شده به سطح کره زمین در جو باقی بمانند و باعث بالا رفتن دمای زمین شوند، اطلاق می‌شود. دی اکسیدنیتروژن (NO_2)، دی اکسیدکربن (CO_2) و متان (CH4) گازهای گلخانه‌ای اصلی هستند. در پیمان کیوتو شش گاز گلخانهای مدنظر است .

در جدول زیر گازهای گلخانه‌ای که شامل استفاده از مزایای پیمان کیوتو هستند و ضریب تبدیل آن‌ها به CO_2 ارایه شده است.

جدول ۴-۲. گازهای گلخانه ای پیمان کیوتو و ضرایب تبدیل آنها به گاز دی اکسید کربن

نام گاز گلخانه ای	مقدار ارزش به نسبت هر واحد دی اکسید کربن
دی اکسیدکربن (CO_2)	١

[150] Project Design Documents

متان (CH4)	۲۱
دی اکسیدنیتروژن (NO_2)	۳۱۰
هیدرو فلورکربن‌ها (HFCs)	۱۱۳۰۰
پرفلورکربن‌ها (PFCs)	۶۵۰۰
هگزافلوراید (SF_6)	۲۳۹۰۰

*معیار سنجش گازهای گلخانه ای CO_2 بوده و برای هرتن کاهش این گاز یک CER صادر می شود.

٤-٥-١-٣ کشورهای توسعه یافته و پیمان کیوتو

این پیمان کشورهای صنعتی)استرالیا ، اتریش ، بلژیک ، بلغارستان ، کانادا، کراوسی ، جمهوری چک ،دانمارک ، استونی ، فنلاند، فرانسه ، آلمان ، یونان ، مجارستان ، ایسلند ، ایرلند ، ایتالیا ، ژاپن، لاتویا ، لیخشتنیتایتن ، لیتوانی ، لوگزامبورگ ، موناکو ، نیوزلند ، نروژ، لهستان ، پرتغال ، رومانی ، فدراتیو روسیه، اسلووانی ,اسلوواکی، اسپانیا ، سوئیس ، سوئد، ترکیه اوکراین و امریکا (، را متعهد کرد تا میران انتشار گازهای گلخانهای خود را ۵/۲درصد بین سالهای - ۲۰۰۸ ۲۰۱۲نسبت به سال۱۹۹۰کاهش دهند. در غیر اینصورت ملزم به پرداخت جریمه میباشند . همچنین این کنوانسیون کشورهای توسعه یافته صنعتی را ملزم به انتقال تکنولوژی به کشورهای درحال توسعه کرد. دراین معاهده ذکر شده که رشد اقتصادی وامحاء فقر حق کشورهای در حال توسعه میباشد که هر دو موجب افزایش انتشار گازهای گلخانهای است.

٤-٥-١-٤ کشورهای غیر صنعتی و امتیازات به آنها در پیمان کیوتو

پیمان کیوتو از طریق مکانیسمهای تشویقی مانند CDM کشورهای غیر صنعتی را برای کاهش میزان انتشار گازهای گلخانه ای ترغیب مینماید تا این کشورها بتوانند از مزایای فراوان مالی ناشی از اجرای طرحها و پروژههای کاهش میزان انتشار گازهای گلخانهای بهرهمند شوند.در کشورهای غیر صنعتی، مانند ایران، چنانچه شرکتهای خصوصی و یا دولتی موفق به اجرای طرح و یا طرحهایی در جهت کاهش گازهای گلخانهای شوند،پس از طی شرایطی معین، امکان مستندسازی پروژه کاهش، تائید آن توسط نهادهای بین المللی و ثبت آن در هیئت اجرائی بخش فرآیند توسعه پاک سازمان ملل (UNFCCC)[151] وجود دارد.بعد از ثبت پروژه در هیت اجرائی، پروژه جهت کنترل مقدار کاهش توسط نهادهای بین المللی پایش میشود و در آخر هر سال (به مدت ۱۰سال) مقدار کاهش توسط این نهادها کنترل و پیمان میگردد.در مرحله بعدی هیت اجرائی پیمان کاهش سالانه را رسما تائید و برای مقدار کاهش سالانه یک سند بین المللی CER صادر میکند. با تائید هیات اجرائی این سند به یک اوراق بهادار بین المللی تبدیل میگردد که در بورسهای بازار کربن بین المللی قابل خرید و فروش میباشد و به یک درآمد قابل توجه ارزی و تضمینی برای شرکتهای سرمایه گزار به مدت ۱۰سال تبدیل می گردد. کارخانههای کشورهای صنعتی که

[151] United Nations Framework Convention on Climate Change

نتوانستهاند به تعهدات کاهش خود عمل کنند، با خرید این اسناد از پرداخت جرایم سنگین زیست محیطی کشور خود معاف میشوند و کشورهای غیر صنعتی هم با فروش امتیازات کاهش خود میتوانند منبع درآمد ارزی قابل توجهی را برای خود جلب کنند که میتواند اعتبار ۱۰ساله داشته باشد.

٤-٥-٢ وضعیت کنونی پروژههای مکانیسم توسعه پاک

تعداد پروژههای CDMثبت شده در دبیرخانه کنوانسیون حاکی از کارآمدی مکانیسمهای انعطاف پذیر پیمان کیوتو میباشد بطوریکه در حال حاضر بیش از ۳۰۰۰پروژه در دبیرخانه ثبت شده است. جداول ۴-۳ و ۴-۴ اطلاعات پروژههای ثبت شده و در حال ثبت و CERحاصل از آنها را بترتیب در ماه سپتامبر و آگوست ۲۰۱۰و ۲۰۰۸میلادی را نشان . میدهد با مقایسه دادههای این دو جدول بخوبی مشخص میشود که تعداد پروژههای ثبت شده با سرعت بسیار زیادی در حال افزایش میباشد. به گونهای که تعداد این پروژهها در طی ۲۰ماه از ۱۱۶۲میلادی پروژه ثبت شده به ۲۳۰۸میلادی پروژه افزایش یافته که نشان از نرخ ثبت ۵۷پروژه در ماه است. میزان CERحاصل از این ۲۳۰۸میلادی پروژه ثبت شده بیش از ۳۷۵میلیون گواهی در سال میباشد و انتظار میرود تا پایان سال ۲۰۱۲بیش از ۱/ ۸۱میلیارد گواهی از این پروژههای ثبت شده حاصل شود.

بررسی روند رشد گواهیهای صادر شده از پروژههای ثبت شده حاکی از آن است که تعداد این گواهیها از ۲۲۲میلیون گواهی در سپتامبر ۲۰۰۸میلادی به ۳۷۵میلیون گواهی در آگوست ۲۰۱۰میلادی رسیده است که نشان از صدور ۸میلیون گواهی در ماه است.

جدول ۴-۳. اطلاعات پروژههای ثبت شده و در حال ثبت و CERحاصل از آنها در ماه سپتامبر ۲۰۰۸میلادی

	Annual Average CERs	Expected CERs until end of 2012
CDM project pipeline: > 4200 of which:	N/A	> 2،700،000،000
1162 are registered	222،803،546	> 1،310،000،000
60 are requesting registration	14،436،618	> 60،000،000

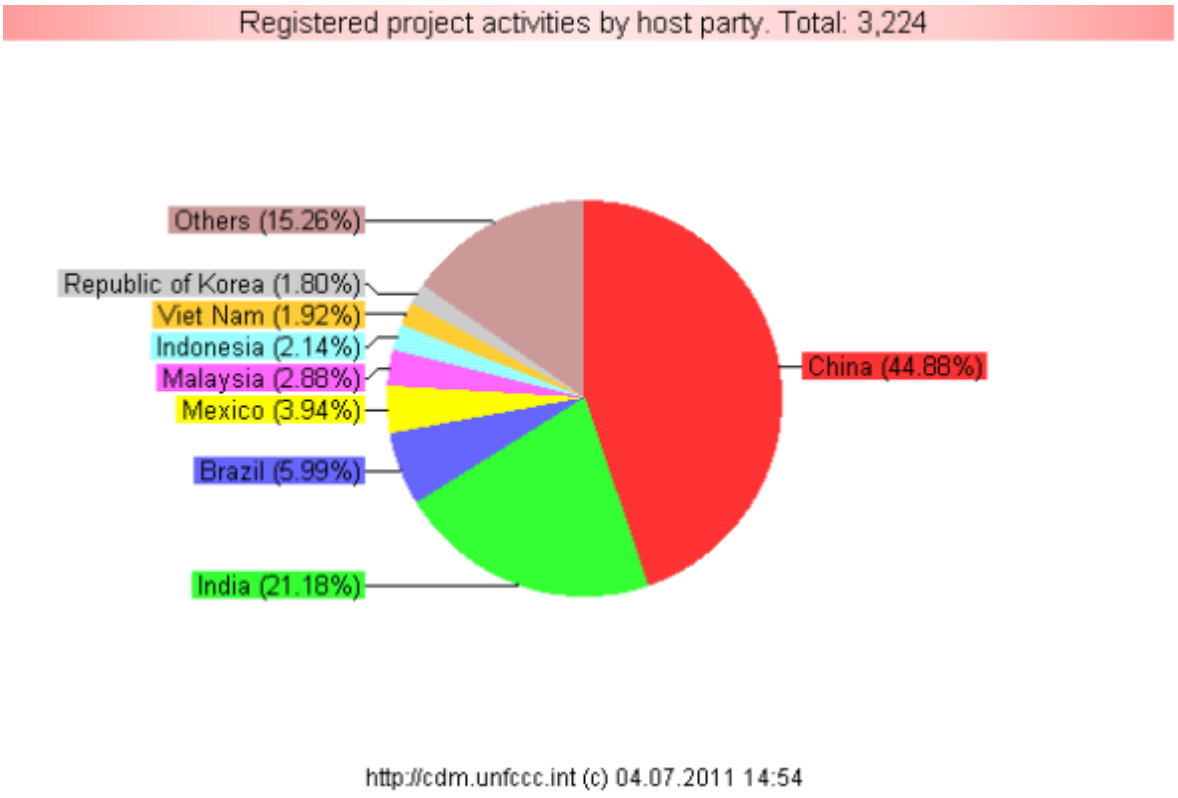
جدول۴-۴. اطلاعات پروژههای ثبت شده و در حال ثبت و CERحاصل از آنها در ماه آگوست ۲۰۱۰میلادی

	Annual Average CERs	Expected CERs until end of 2012
CDM project pipeline: > 4200 of which:	N/A	> 2،900،000،000
2308 are registered	375،126،217	> 1،810،000،000
43 are requesting registration	5،095،899	> 10،000،000

با مقایسه دادههای این دو جدول بخوبی مشخص میشود که تعداد پروژههای ثبت شده با سرعت بسیار زیادی در حال افزایش میباشد. به گونهای که تعداد این پروژهها در طی ۲۰ماه از ۱۱۶۲ میلادی پروژه ثبت شده به ۲۳۰۸ میلادی پروژه افزایش یافته که نشان از نرخ ثبت ۵۷پروژه در ماه است. میزان CERحاصل از این ۲۳۰۸میلادی پروژه ثبت شده بیش از ۳۷۵ میلیون گواهی در سال میباشد و انتظار میرود تا پایان سال ۲۰۱۲بیش از ۱/۸۱ میلیارد گواهی از این پروژههای ثبت شده حاصل شود. بررسی روند رشد گواهیهای صادر شده از پروژههای ثبت شده حاکی از آن است که تعداد این گواهیها از ۲۲۲ میلیون گواهی در سپتامبر ۲۰۰۸میلادی به ۳۷۵میلیون گواهی در آگوست ۲۰۱۰میلادی رسیده است که نشان از صدور ۸ میلیون گواهی در ماه است.

٤-٥-٢-١ آمار پروژههای ثبت شده توسط کشورهای در حال توسعه

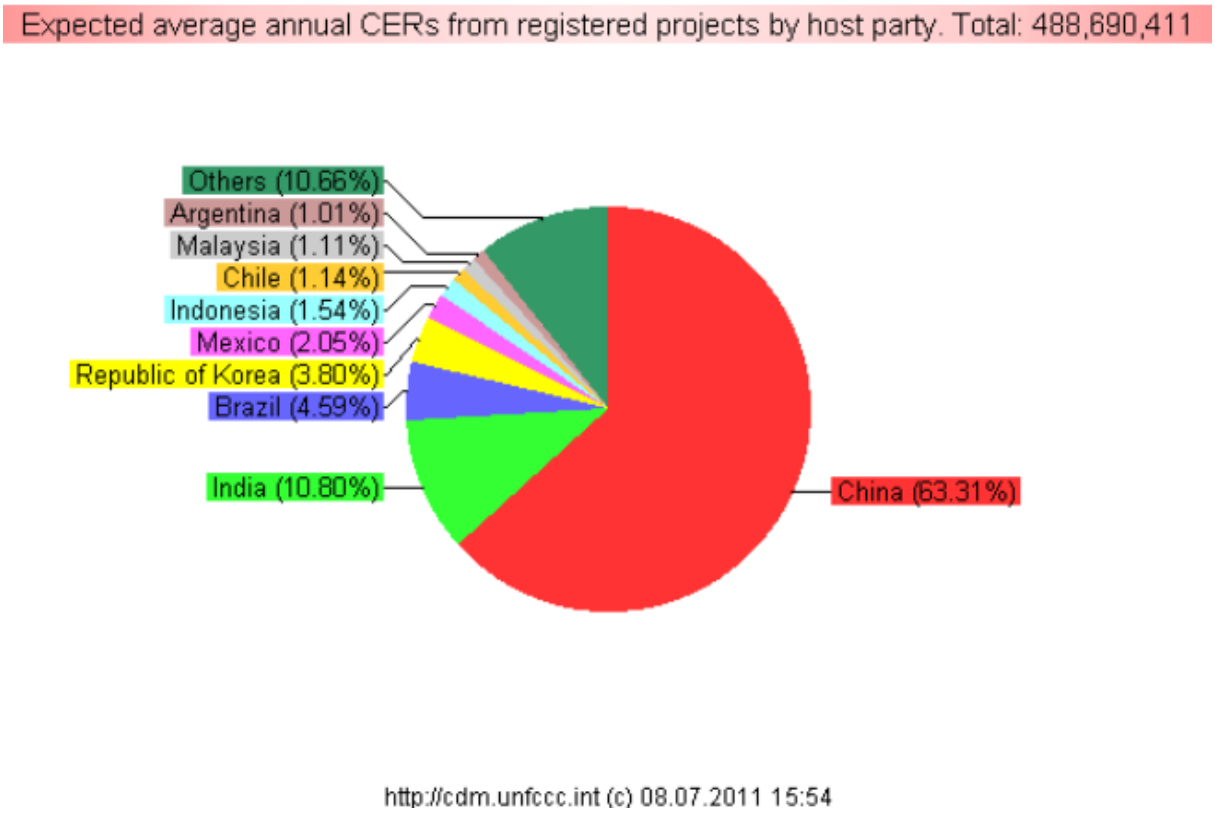
نگاهی به پروژههای CDMثبت شده نشان میدهد که تا (۱۳۹۰/۰۴/۱۳) ۷۱ کشور از کشورهای در حال توسعه اقدام به تعریف و ثبت ۳۲۲۴پروژه CDMنمودهاند. شکل ۴-۳۰ سهم کشورهای مختلف در ثبت پروژههای ثبت شده را نشان میدهد. در حال حاضر کشورهای چین، هند و برزیل به ترتیب با ۱۴۴۷، ۶۸۳و ۱۹۳پروژه ثبت شده در صدر این کشورها قرار گرفتهاند. کشورهای مکزیک ،۱۲۷مالزی ،۹۳اندونزی ، ۶۹ویتنام با ۶۲پروژه ،کره جنوبی با ،۵۸تایلند با ۵۳پروژه ، فیلیپین با ۵۴و شیلی با ۴۹پروژه نیز در رتبههای بعدی و کشور ما ایران با ۴پروژه در رتبه چهل و پنجم قرار دارد.



شکل ۴-۳۰. سهم کشورهای مختلف در حال توسعه از تعداد پروژههای ثبت شده مکانیسم توسعه پاک

٤-٥-٢-٢ آمار گواهیهای کاهش انتشار صادر شده برای کشورهای در حال توسعه

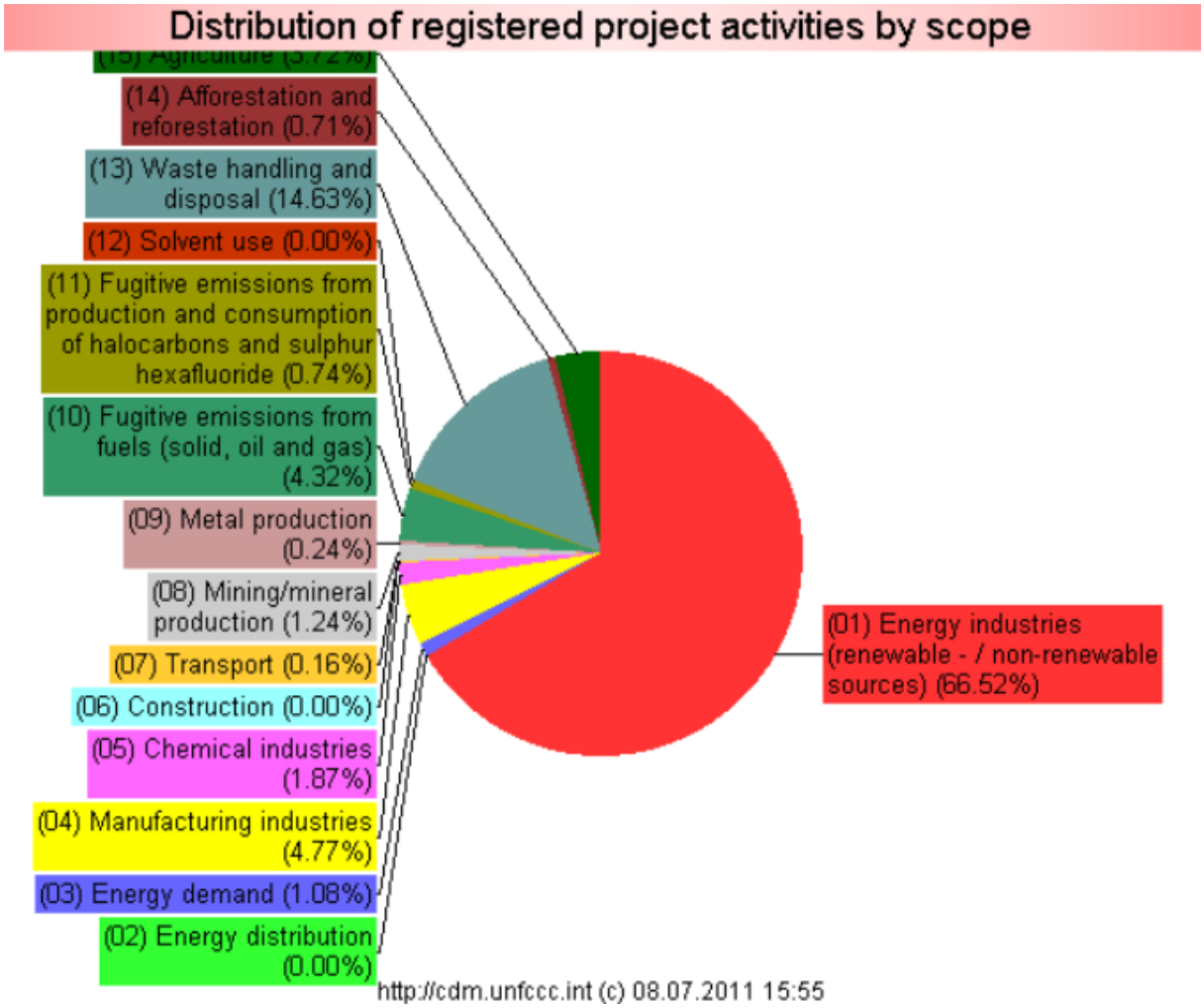
یکی دیگر از معیارهای نشان دهنده سهم کشورهای مختلف در پروژههای مکانیسم توسعه پاک، میزان CERسالیانه حاصل از پروژههای ثبت شده هر کشور میباشد. با این نوع تقسیم بندی، کشور چین با ۶۰/۲۷درصد از کل گواهیهای سالیانه حاصل از پروژههای ثبت شده در صدر قرار گرفته است)حدود ۲۲۰میلیون CERدر سال.(دلیل سهم بالای چین در گواهیهای کاهش انتشار حاصل از پروژههای ثبت شده،تمرکز این کشور بر ثبت پروژههای بزرگ مقیاس میباشد. کشور هند با ٪۱۱/۶۸از گواهیهای سالیانه حاصل از پروژههای ثبت شده رتبه دوم را به خود اختصاص داده است. در این رتبهبندی، کشورهای برزیل، کره جنوبی، مکزیک، مالزی و.... در مکانهای بعدی قرار دارند.



شکل ۴-۳۱. سهم کشورهای در حال توسعه از گواهی کاهش انتشار سالیانه حاصل از پروژههای ثبت شده

۴-۵-۲-۳ سهم صنایع مختلف از میزان استفاده از امتیازات پیمان کیوتو

همانطور که قبلا" اشاره شد پانزده زمینه برای فعالیتهای پروژهای در قالب مکانیسم توسعه پاک تعریف شده است . در شکل ۴-۳۲ مشاهده مینمایید که صنعت انرژیهای تجدید پذیر و ناپذیر با ۶۲/۳۷درصد بیشترین سهم را از میزان استفاده از امتیازات پیمان کیوتو را به خود اختصاص داده است و صنعت دفع پسماند و صنایع تولیدی در رتبههای بعدی قرار گرفتهاند.



شکل ۴-۳۲. نمودارسهم صنایع گوناگون از میزان استفاده از امتیازات پیمان کیوتو

با توجه به نمودارهای فوق متوجه خواهیم شد با وجود اینکه صنعت انرژی)تجدیدپذیر و تجدید ناپذیر (و دفع پسماند که از مهمترین پتانسیلهای ایران نیز به شمار میآیند , بیشترین نقش را در پروژههای مکانیسم توسعه پاک را دلرند، اما با این وجود ایران فقط با ثبت ۴پروژه از بین ۷۱کشور در حال توسعه مقام ۴۵را کسب نموده است و این بدین معنی است که که ما نتوانستیم علیرغم برخورداری از پتانسیلهای مناسب جایگاه شایستهای را در راستای جذب سرمایه از این بازار بین المللی در جهان داشته باشیم.

٤-٥-٣ ایران و پروژههای مکانیسم توسعه پاک

همانطور که فبلا" اشاره شد کشور ما ایران جزو نخستین کشورهای امضا کننده این پیمان و دارای پتانسیل بسیار بالایی

برای استفاده از این طرح میباشد اما تا کنون فقط موفق به ثبت چهار پروژه با عناوین :

۱- جمعآوری گازهای همراه نفت در میادین نفتی نوروز و سروش

۲- جایگزینی گاز طبیعی به جای مازوت در کشت و صنعت امام خمینی

۳- جایگزینی گاز طبیعی به جای مازوت در کشت و صنعت سلمان فارسی

٤- جایگزینی گاز طبیعی به جای مازوت در کشت و صنعت دعبل خزایی در استان خوزستان،

شده و استفاده شایانی از این پیمان نکرده است. در اینجا به برخی از فرصتهای از دست رفته در دو وزارتخانه مهم نفت و نیروکه میتوانستند از مزایای مکانیسم توسعه پاک استفاده نمایدو برای کشورمان سرمایه هنگفتی را به ارمغان بیاورند،اشاره میشود.

٤-٥-٣-١ فرصتهای از دست رفته در وزارت نیرو

علیرغم اینکه در این وزارت خانه پروژههای زیادی انجام شده و یا در دست اجرا میباشد که پتانسیل استفاده از مزایای مکانیسم توسعه پاک را داشتند، ولی به دلیل موارد متعددی که در ادامه بیان خواهد شد تا کنون حتی یک پروژه از طرف این وزارت خانه در سازمان توسعه پاک بین الملل ثبت نشده است این پروژهها را می توان در دوبخش کلی سیکلهای ترکیبی و انرژیهای تجدید پذیر عنوان کرد.

۱- تعدادی از فرصتهای از دست رفته در بخش سیکل ترکیبی

در یک نیروگاه سیکل ترکیبی تولید برق توسط توربین ژنراتورهای گازی و بخاری حاصل میشود. تولید بخار جهت به گردش درآوردن پرههای توربینهای بخاری توسط بویلرهای بازیاب حرارتی ،که دمای مورد نیاز خود را (جهت گرم شدن) از هدایت گرمای خروجی اگزوز توربین گازی تأمین نموده انجام میگیرد. در این نیروگاهها عموماً از سیستم خنک کننده خشک و یا تر جهت خنک کردن آب حاصل از چگالش بخار خروجی از توربین بخار استفاده میشود .در زیر به تعدادی از طرحهای سیکل ترکیبی در وزارت نیرو که شرایط استفاده از مزایای پیمان کیوتو را داشته و دارند آورده میشود.

- ✓ طرح نیروگاه سیکل ترکیبی نکا به ظرفیت ۱۶۰مگاوات،
- ✓ طرح نیروگاه سیکل ترکیبی یزد به ظرفیت ۱۶۰مگاوات
- ✓ طرح نیروگاه سیکل ترکیبی کازرون در ۳واحد ۱۶۰مگاواتی
- ✓ طرح نیروگاه سیکل ترکیبی کرمان در ۴واحد
- ✓ طرح نیروگاه سیکل ترکیبی دماوند در ۶واحد
- ✓ طرح نیروگاه سیکل ترکیبی آبادان در دو واحد ۱۶۰مگاواتی
- ✓ طرح نیروگاه سیکل ترکیبی سنندج در ۲واحد

- ✓ طرح نیروگاه سیکل ترکیبی ارومیه در ۳واحد ۱۶۰مگاواتی
- ✓ طرح نیروگاههای سیکل ترکیبی شیروان با دو واحد
- ✓ طرح نیروگاههای سیکل ترکیبی جهرم با ۳واحد
- ✓ طرح نیروگاههای سیکل ترکیبی سبلان در اردبیل
- ✓ طرح استحصال گاز دی اکسید کربن در نیروگاه بعثت

۲- تعدادی از فرصتهای از دست رفته دربخش انرژیهای تجدید پذیر

به منابع انرژی مانند باد ,خورشید ,زیست توده ,زمین گرمایی ,آبی ,اقیانوسی که قابل تجدید و پاک میباشند انرژیهای تجدیدپذیر گویند. از آنجایی که با جایگزینی این منابع بجای انرژیهای تجدید ناپذیر مانند نفت ,گاز ,ذغال سنگ و هستهای که ایجاد آلودگی زیست محیطی و گازهای گلخانهای میکنند میتوان انتشار گازهای گلخانهای را کاهش داد و از مزایای مکانیسم توسعه پاک برخوردار شد ،در ادامه به برخی از این طرحها اشاره میشود.

- ✓ ۲۵ طرح برق آبی اجراشده و یا در دست اجرا که پتانسیل جلوگیری از انتشار ۲۳میلیون تن گاز دی اکسید کربن را دارند . مانند سد کارون ۴
- ✓ نیروگاههای خورشیدی اجراشده و یا در دست اجرا مانند نیروگاه خورشیدی یزد دو واحد گازی هر کدام به ظرفیت ۱۵۹ مگاوات، یک واحد بخاری به ظرفیت۱۳۲مگاوات و یک واحد خورشیدی به ظرفیت ۱۷مگاوات و نیروگاه خورشیدی مشهد
- ✓ نیروگاههای زیست توده اجراشده و یا در دست اجرا مانند نیروگاه زیست توده شیراز و مشهد
- ✓ نیروگاههای بادی اجراشده و یا در دست اجرا مانند نیروگاههای منجیل و شاهرود
- ✓ نیروگاههای زمین گرمایی اجراشده و یا در دست اجرا مانند نیروگاه سبلان و مشکین شهر
- ✓ نیروگاههای هیبریدی انجام شده و یا در دست اجر