



شرکت ملی صنایع پتروشیمی  
شرکت سهامی پتروشیمی تبریز

مطالعه امکان‌سنجی سیستم بازیابی گازهای ارسالی به فلر پتروشیمی تبریز و کاهش عملیات فلرینگ

### تحت مکانیزم CDM

سیاوش درفشی، میرمحمد چاوش‌باشی<sup>(\*)</sup> و سعید رادمان

فوق‌لیسانس مهندسی صنایع، فوق‌لیسانس مهندسی شیمی<sup>(\*)</sup> و لیسانس مهندسی شیمی

شرکت پتروشیمی تبریز، کیلومتر ۵ جاده آذرشهر، مجاور پالایشگاه تبریز، کدپستی ۳۴۵ - ۵۱۷۴۵، تبریز-ایران،

شماره تماس: تلفن: ۰۹۸۴۱۱۴۲۸۲۱۵۰، فکس: ۰۹۸۴۱۱۴۲۸۲۱۱۳.

(\*) E-mail: mm.chavoshbashi@gmail.com

چکیده:

در پتروشیمی تبریز روزانه مقادیر قابل توجهی از گازهای گلخانه‌ای (به‌طور عمده دی‌اکسید کربن) از طریق سوختن ترکیبات آلی موجود در گازهای ارسالی به فلر در محیط منتشر می‌شود. بخش قابل توجه گازهای ارسالی به فلر، ترکیباتی مانند اتیلن، پروپیلن، برشهای چهار کربنه و هیدروژن بوده که از لحاظ اقتصادی بسیار با ارزش می‌باشند. این فرآیند موجب آلودگیهای زیست محیطی شامل انتشار انواع گازهای حاصل از احتراق مانند NOx ها، COx ها و SOx ها و ایجاد عوامل زیان آور محیطی مانند نور، صوت و بو گردیده و همچنین سبب اتلاف منابع شامل خود گازهای ارسالی به فلر، بخار و سوخت گازی می‌شود. در این پروژه با بهره‌گیری از سیستم کمپرسور و تکنولوژی ممبران، امکان جداسازی و بازیابی ترکیبات با ارزش از گاز فلر در داخل واحد الفین مهیا می‌گردد. با انجام این پروژه تحت متدولوژی شماره ۰۰۳۷ مکانیسم توسعه پاک (CDM) و امکان صدور گواهی کاهش انتشار (CER)، ضمن سودآوری اقتصادی، از سوختن گاز فلر و در نتیجه انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلودگی محیط زیست و دیگر عوامل زیان آور و همچنین اتلاف منابع جلوگیری بعمل می‌آید.

کلمات کلیدی: احتراق، زیست‌محیطی، بازیابی گازهای فلر (FGR)، مشعل و ممبران

فلر دودکش یا لوله عمود امتداد یافته‌ای است که بعنوان یکی از قسمتهای ضروری در چاههای نفت، پالایشگاهها، پتروشیمی ها، کارخانه‌های مواد شیمیایی، landfill ها جهت سوختن گازها و مایعات زائد، قابل اشتعال و سمی، تخلیه شده بکار می‌رود و می‌تواند از بروز خطرات آتش سوزیها، انفجار و صدمه دیدن کارکنان جلوگیری نماید. در واقع فلر مواد قابل اشتعال، سمی و بخارات خورنده را به ترکیبات کم ضررتر تبدیل می‌نماید. فلرها همواره حین فعالیت گرما و صدا تولید می‌کنند میزان و نوع گازهای انتشار یافته از فلر به محیط زیست تابع راندمان احتراق و نوع گازهای ارسالی به فلر است. [2]

پرداختن به موضوع فلر از دو جهت کلی دارای اهمیت می‌باشد اول آنکه گازهای ارسالی به فلر دارای ارزش اقتصادی قابل توجهی است و نکته دوم تاثیرات مخرب زیست محیطی ناشی از احتراق گازهای مذکور است از این رو مدیریت گازهای فلر بستر مناسبی برای انجام فعالیتهای علمی، تحقیقاتی و کاربردی نه تنها در سطح کشور بلکه در کل دنیا می‌باشد. [4]

بر اساس اطلاعات بانک جهانی در سال ۲۰۰۵، کل گازهای گلخانه‌ای تولید شده توسط فلرها در دنیا ۲۱۳ میلیون تن بوده و ایران با تولید ۲۸/۱ میلیون تن و سهم ۱۳/۲ درصدی در رتبه ی دوم دنیا بعد از نیجریه قرار دارد که این مقدار معادل چهارده بیلیون مترمکعب گاز طبیعی به ارزش ده میلیارد دلار میباشد. [7] در حالیکه این مقدار گاز می‌تواند برای اهداف دیگری از جمله تولید انرژی مورد استفاده قرار گیرند. تاکنون در ایران طرحی برای بازیابی گازهای ارسالی به مشعل واحد های پتروشیمی و پالایشگاهی اجرا نشده است .

پتروشیمی تبریز نیز با داشتن سه فلر (HP-LP-COLD) مقادیری از گازهای با ارزش را در آنها به گازهای مخرب برای محیط زیست تبدیل می‌نماید که در این رابطه اقدامات گسترده ای با هدف کاهش تلفات این سرمایه ملی و جلوگیری از تخریب محیط زیست انجام گردیده است.

انواع فلر : ۱- طبقه بندی فلرها بر اساس ارتفاع ( الف ) فلر مرتفع ( ب ) فلر زمینی یا محفظه ای

۲- طبقه بندی فلرها بر اساس عامل اختلاط ( الف ) فلر با عامل اختلاط کننده بخار ( ب ) فلر با

عامل اختلاط کننده هوا ( ج ) فلر با عامل اختلاط کننده فشار ( د ) فلر بدون عامل اختلاط

فرآیند فلر شامل سه قسمت اصلی می باشد: الف- فرآیند ( Process ) به عنوان منشاء تولید کننده گازهای فلر

ب- شبکه جمع آوری به عنوان واسط انتقال گازها به فلر ( ج- سیستم فلر به عنوان مصرف کننده نهایی گازها

اجزای سیستم فلر : ۱- سیستم جمع آوری و انتقال گازهای آزاد شده ۲- ظرف جمع آوری جهت میعان و خارج سازی

مایعات همراه گاز ۳- آب بند مایع ۴- دودکش و سیستم ساپورت ۵- آب بند گازی ۶- نوک آتشیخان ۷- پایلوت آتشیخان

۸- سیستم گاز رسانی به مشعل و سیستم جرقه زنی ۹- سیستم تزریق بخار یا هوا و سیستم گاز تخلیه ۱۰- تجهیزات کنترل

و نظارتی

سیستم فلر بطور کلی در سه حالت مختلف از شرایط عملیاتی کارخانه ، گازهای دریافتی را می سوزاند :

۱- شرایط عادی کارخانه ( شرایط عملکرد نرمال واحد ها) : در این حالت گازهای آزاد شده از برخی فرآیندها به همراه

گازهای پرچ در فلر سوزانده می شود.

۲- شرایط آشفستگی واحد : این شرایط در هنگام راه اندازی (Start Up) و توقف کامل (Shut Down) واحد بوجود آمده و

حجم گازهای ارسالی به فلر بیش از شرایط عادی می باشد.

۳- شرایط اضطراری واحد : در مواقعی که حوادثی نظیر نقص فنی دستگاه ، اشتباهات انسانی ، تغییر در خوراک ورودی و

یا قطع جریان برق اتفاق می افتد مقداری از گازها بصورت ناخواسته به فلر ارسال می شود.

ابزارهای مهم جهت مدیریت عملیات فلرینگ : ۱- استفاده از تجهیزات اندازه گیری کمی و کیفی گازهای ارسالی به فلر

۲- مونیتورینگ سیستم فلر ۳- سیستم های کاهش و بازیابی گازهای ارسالی به فلر

**NO- FLARING**: اگرچه هر فرایند شیمیایی نظیر فرایندهای پالایشگاهی و پتروشیمیایی بدلائیل مختلف جهت رعایت ایمنی

شاغلین و تجهیزات ملزم به استفاده از سیستم فلر می باشند اما می توان راهکارهایی را ارائه نمود تا میزان جریان ارسالی به فلر

به حداقل برسد هم اکنون در سطح دنیا مبحث جدیدی تحت عنوان NO-FLARING مطرح گردیده و دنبال می شود.[3]

راهکارهای دستیابی به **NO- FLARING** در هر یک از سه قسمت اصلی سیستم فلر بصورت زیر قابل ارائه و اجرا می باشد:

الف) بخش فرآیند: کاهش تولید گازهای فلر از طریق بهبود شرایط فرآیندی و جلوگیری از نشتی تجهیزات و اتصالات

ب) شبکه جمع آوری: بازیابی و استفاده مجدد از گازهای فلر تولیدی بر اساس مشخصات آن

ج) سیستم فلر: اصلاح سیستم فلر شامل تجهیزات، عملکرد آنها و سیستمهای کنترلی و نظارتی

سیستم بازیابی گازهای ارسالی به فلر: مطابق شکل ۱ در این سیستم ها بسته به ارزش ترکیبات گاز بازیافت شده امکان

دارد این گاز به پروسس برگشت داده شده یا به عنوان سوخت گازی مصرف شود. مزیت‌های اساسی ایجاد این سیستمها

عبارتند از: کاهش تولید گازهای آلاینده محیط زیست (شامل گازهای گلخانه‌ای) حاصل از احتراق در فلرها مانند CO،

SO<sub>2</sub>، NO<sub>x</sub>، CO<sub>2</sub> - کاهش مصرف Fuel Gas - کاهش نور، صوت، بوی حاصل از عملیات فلرینگ - کاهش مصرف

بخار - کاهش مصرف گاز پرچ - افزایش طول عمر نوک آتشیخان فلر - عدم تغییر در سیستم فلرینگ موجود (طبق API RP

521) بمنظور حفظ نقش ایمنی آن در فرایند - حفظ و احیاء منابع عظیم انرژی و سرمایه و همچنین امکان کسب درآمد

### روشهای مختلف بازیابی گازهای فلر:

فیزیکی: در این روش گازهای فلر به وسیله تجهیزات خاصی خالص سازی و در صورت نیاز متراکم شده تا به عنوان سوخت

یا خوراک واحدهای فرآیندی قابل استفاده قرار گیرد.

شیمیایی: عبارتست از انجام واکنش در محیط کاتالیست به منظور تبدیل گازهای فلر به مواد صنعتی قابل استعمال

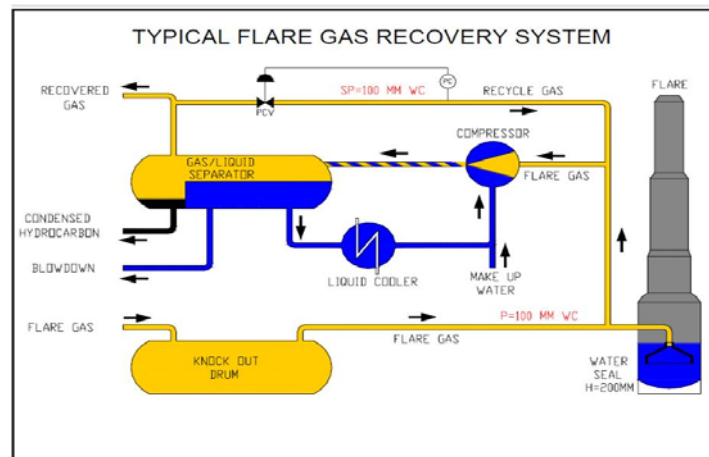
بیولوژیکی : جزو جدیدترین روش های بازیابی می باشد و طی آن با استفاده از باکتری و انجام واکنش های تجزیه ای در برج ها ، گاز را به عوامل تشکیل دهنده آن تجزیه می کنند.

محدوده طراحی تجهیزات FGR عبارتند از :

واحد مترکم کننده گاز - جداکننده گاز/مایع - مبدل حرارتی (سرد کننده های گاز و مایع) - ممبران جهت جداسازی

هیدروکربن ها- سیستم منطق کنترل (برای عملیات خودکار کاملاً اتوماتیک شده)- دستگاه سنجش جریان برای اندازه گیری

جریان گاز - ظرف جدا کننده (Knock-out drum)، لوله اصلی فلر، آب بند مایع و دیگر قسمت های مورد نیاز



شکل ۱. نمای کلی از سیستم بازیابی گازهای فلر

هدف از نصب واحد FGR در پتروشیمی تبریز، بازیابی ترکیبات با ارزش موجود در گاز فلر می باشد که بدین منظور ابتدا فشار

گاز فلر که پایین می باشد بایستی به فشار مورد نظر افزایش یافته و سپس بخش مایع کنده شده از آن جدا گردد و در

مرحله بعدی با استفاده از تکنولوژی ممبران ترکیب ازت از این گاز جدا شده و گاز حاصله جهت جداسازی ترکیبات با ارزش

به واحد الفین ارسال گردد. در این فرآیند تمامی هیدروکربن های گاز و مایع باقیمانده غیر ارسالی به واحد الفین به عنوان

سوخت قابل استفاده خواهند بود.

با عنایت به این که فلرها خود یکی از منابع مهم تولید گازهای گلخانه ای خصوصاً ترکیب  $CO_2$  می باشند بنابر این طرح

NO-FLARING ، جهت جلوگیری از تولید این گازها ، پتانسیل تعریف بعنوان یک پروژه CDM را دارا می باشد. از همینرو

در پتروشیمی تبریز نیز پروژه فوق در قالب پروژه های مکانیسم توسعه پاک یا Clean Development Mechanism

(CDM) تعریف و PIN آن تهیه شده و به مرجع صلاحیتدار ملی (DNA) ارسال گردید. لذا انجام پروژه توسط DNA

(سازمان حفاظت محیط زیست کشور) تایید و مجوزهای لازم اخذ شده است.

فلر پر فشار پتروشیمی تبریز: فلر پر فشار، فلر اصلی پتروشیمی تبریز بوده که تقریباً تمامی گازهای خروجی از واحدهای

عملیاتی به فلر فوق فرستاده می شود. بنابراین پروژه FGR برای این فلر تعریف شده است. سایز هدر اصلی این فلر ۵۲ اینچ

بوده و فشار گاز جاری در آن بطور متوسط 0.03 bar و دمای آن تقریباً دمای محیط می باشد. بر اساس داده های استخراجی از

واحدهای فرآیندی پتروشیمی تبریز و محاسبات انجام شده، دبی جریان گاز فلر به طور تخمینی ۸۵۰ kg/hr می باشد.

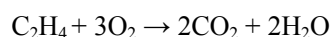
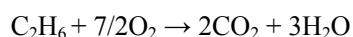
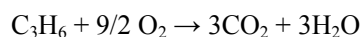
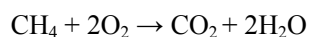
جدول ۱ مشخصات ترکیب گاز ارسالی به فلر پس از انجام چندین نوبت تست را بطور متوسط نشان می دهد. [6]

جدول ۱. نتایج متوسط آنالیز گاز فلر

ترکیب گاز فلر	%mole fractions	ترکیب گاز فلر	%mole fractions
Methane	3.62	i-Butene	0.308
Ethane	1.185	Trans 2-butene	0.077
Ethylene	16.96	1,3 Butadiene	2.83
Acetylene	0.075	1,2 Butadiene	0.002
Propane	0.12	Vinyl acetylene	0.004
Propylene	1.91	Ethyl acetylene	0.001
Propadiene	0.035	n-pentane	0.345
Methyl acetylene	1.134	i-pentane	0.55
n-Butane	0.61	Hydrogen	30.3
i-butane	0.165	Nitrogen	39.034
1-butene	0.735	Others	Balance

با توجه به دمای احتراق حدود  $1390^{\circ}\text{C}$  در نوک فلر و وجود اکسیژن کافی و اضافی جهت احتراق کامل گاز ارسالی به فلر

تمامی واکنشها با درصد تبدیل ۱۰۰٪ برای احتراق فرض می گردد. نمونه ای از واکنشها عبارتند از: [5],[1]



با توجه به نوع واکنشهای فوق و موازنه جرمی آنها و با در نظر گرفتن دبی و ترکیب جریان گاز فلر مقدار کل دی اکسید کربن

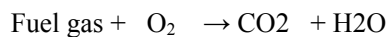
تولیدی برابر  $755 \text{ kg/hr (CO}_2\text{-eq)}$  محاسبه شده است.

به منظور اتمایز نمودن گاز فلر به هنگام احتراق و سوختن بدون دود بمیزان 1300 kg/hr بخار MPS در فلر پرفشار پتروشیمی تبریز بمصرف می‌رسد. این میزان بر اساس مسیرهای موجود قابل دسترسی می‌باشد. در صورت اجرای این پروژه، این میزان بخار مصرفی قابل صرفه‌جویی می‌باشد. با صرفه‌جویی این میزان بخار ارسالی از واحد نیروگاه طبیعتاً میزان بخار تولیدی آن واحد به همین مقدار قابل کاهش بوده و به عبارت دیگر میزان سوخت گاز مصرفی برای تولید بخار کاهش خواهد یافت. با کاهش مصرف سوخت گازی در نیروگاه میزان CO<sub>2</sub>-eq منتشره از احتراق نیز کاهش خواهد یافت که این مقدار به صورت زیر قابل محاسبه است :

Consumed gas combustion rate per each generated steam = 70 kg fuel gas/ ton of steam : در واحد نیروگاه

$(1300)(\text{kg/hr}) / (70 * 1000) (\text{kg fuel gas/ ton of steam}) = 90 \text{ kg/hr}$  : میزان سوخت صرفه‌جویی شده با انجام پروژه

با وجود فرض اکسیژن کافی و احتراق کامل سوخت گازی واکنش زیر با درصد تبدیل ۱۰۰٪ برای این احتراق فرض می‌شود:



با توجه به این واکنش و موازنه جرمی و همچنین با در نظر گرفتن دبی جریان و ترکیب سوخت گاز، مقدار کل دی اکسید کربن تولیدی برابر (CO<sub>2</sub>-eq) ۲۵۰ kg/hr محاسبه شده است .

در نتیجه با توجه به سوختن گاز در فلر پرفشار پتروشیمی تبریز میزان CO<sub>2</sub>-eq منتشره به اتمسفر برابر ۱۰۰۵ kg/hr

(۲۵۰+ ۷۵۵) می‌باشد که معادل سالانه آن به میزان ۸۰۴۰ ton/yr  $(۱۰۰۵ \text{ kg/hr} * ۸۰۰۰ \text{ hr})$  می‌باشد و در صورت اجرای

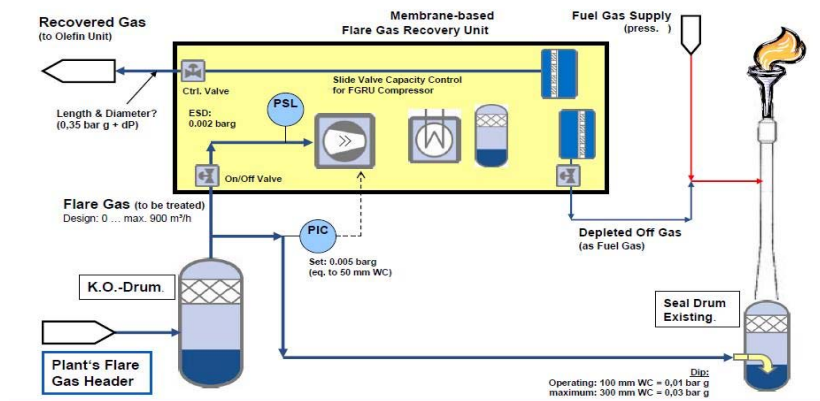
پروژه این میزان CO<sub>2</sub>-eq منتشره می‌تواند حذف گردد.

سیستم بازیابی گاز فلر در پتروشیمی تبریز : در طی انجام پروژه پیشنهادات فنی از شرکتهای PetroTechna- Borsig -

Huachgfeng Equipment Inc. (HAF) در خصوص خرید دانش فنی و تجهیزات سیستم بازیابی اخذ گردید و بر اساس

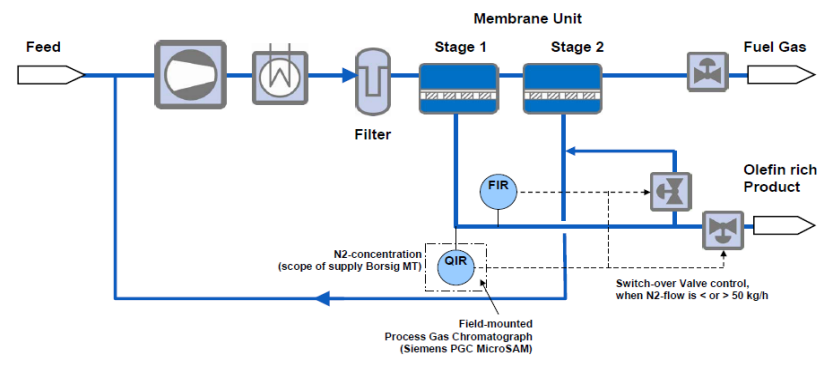
بررسی داده‌های فنی آنها آخرین مشخصات سیستم پیشنهادی در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده‌اند.

**Tabriz Petrochemical – Flare Gas Recovery Unit – Tie-in Sketch Rev.02**



شکل ۲. نمای کلی از سیستم بازیابی گازهای فلر پتروشیمی تبریز

**Tabriz Petrochemical – Flare Gas Recovery Unit – Process Control**



شکل ۳. نمای کلی از فرآیند کنترل واحد بازیابی گازهای فلر پتروشیمی تبریز

همانطوریکه از شکلها مشخص است، گاز ارسالی به فلر، در ابتدا متراکم شده و بعد از تفکیک نیتروژن توسط ممبران دو

مرحله‌ای، بخش جدا شده رقیق از نیتروژن به واحد الفین پتروشیمی تبریز منتقل خواهد شد. جدول ۲ عملکرد و میزان بازیابی

گاز ارسالی به سیستم مذکور را نشان می‌دهد.

جدول ۲. عملکرد و میزان بازیابی گازهای ارسالی به سیستم بازیابی گازهای مشعل پتروشیمی تبریز

composition	%mass fractions	Flow Kg/hr	% membrane unit recovery	Gas flow composition to Olefin unit Kg/hr
Methane	2.658	22.6	70	15.82
Ethane	1.63	13.85	88	12.188
Ethylene	21.77	185.04	80	148.03
Propylene	3.68	31.28	90	28.15
C4,s	11.97	101.74	100	101.74
Hydrogen	2.8	23.8	22	5.23
Nitrogen	50.06	425.51	3	12.76
Others	Balance	balance	-	balance
TOTAL	100	850	-	365.5

۱. ارزش اقتصادی میزان گاز بازیافتی، که شامل Ethylene ، Propylene و C4 ها می‌باشد، بر اساس قیمت تمام شده

این ترکیبات در پتروشیمی تبریز محاسبه می‌شود نتایج در جدول ۳ نشان داده شده است.[6]

جدول ۳. میزان ارزش اقتصادی گاز بازیافتی

composition	Annual amount ton/yr	Prime cost by the weight value \$ / ton	Annual total value M\$ / yr
Ethylene	1184.24	998	1.18
Propylene	225.2	893	0.2
C4,s	813.92	302	0.246

با فرض ۸۰۰۰ ساعت تولید برای عملیات واحد، کل سود سالانه محصولات 1.62 میلیون دلار خواهد بود

۲. جنبه مهم دیگر، از لحاظ اقتصادی، ارزش بدست آمده است به خاطر کاهش گازهای گلخانه‌ای می‌باشد. از آنجایی

که پروژه در قالب مکانیزم CDM ( که منجر به صدور CER ها می‌گردد) انجام خواهد پذیرفت میزان محاسبه شده

بر اساس 10 USD / CER به صورت زیر خواهد بود :

$$\$ 562800 = (\text{CO}_2 \text{ eq.} : 8040 \text{ ton/yr}) * (\text{crediting period proposed: } 7 \text{ year}) * (10 \text{ USD/CER})$$

بنابراین ارزش اقتصادی حاصل از صدور CER به ازاء ۸۰۴۰ ton/yr انتشار CO2-eq برای فلر پر فشار پتروشیمی

تبریز در یک دوره اعتباری ۷ ساله ۵۶۲۸۰۰ دلار خواهد بود .

۳. با توجه به پیشنهادات شرکتهای صاحب دانش فنی در خصوص موضوع پروژه ، میزان تقریبی سرمایه گذاری برای

پروژه حدود ۴ میلیون دلار برآورد گردیده است.

۴. با توجه به محاسبات انجام شده ، مجموع کل درآمد های حاصله و میزان سرمایه گذاری پروژه بیانگر آن است که

نرخ بازگشت سرمایه در کمتر از دو سال میسر خواهد بود.

نتیجه گیری :

با اجرای پروژه، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و برخی از گازهای سمی در سطح منطقه و ملی کاهش یافته و در ایجاد هوای پاک موثر خواهد بود. که از منظر اجتماعی نیز موجب یک دورنمای مثبت از پتروشیمی تبریز در اذهان عمومی خواهد شد. همچنین، با بازیابی ترکیبات با ارزش موجود در گازهای ارسالی به فلر و فروش CER های حاصله، سود مناسبی نصیب پتروشیمی تبریز خواهد شد و عملاً شرکت وارد بازار کربن می شود که این می تواند بعنوان نقطه عطفی برای سایر صنایع نیز باشد.

از نظر اقتصادی انجام این پروژه در پتروشیمی تبریز مستلزم هزینه سرمایه‌گذاری خواهد بود. مسلماً درآمدهای قابل حصول از انجام پروژه و فروش CER های صادره بیانگر این است که نرخ بازگشت سرمایه و سود پروژه برای پتروشیمی کاملاً توجیه اقتصادی خواهد داشت. همچنین، انجام این پروژه موجب آشنایی و دسترسی به تکنولوژیهای روز و همکاری با شرکتهای معتبر بین‌المللی خواهد بود.

مراجع :

1. J.A. Barnard, J.F. Griffiths., "Flame and Combustion, 3rd Edition", December 30, 1995
2. "Clean Combustion Technologies: Proceedings of the Second International Conference, Part A", Maria Graca Carvalho, Christos Papadopoulos, Woodrow Fiveland, F. Lockwood., May 11, 1999
3. "Combustion Technologies for a Clean Environment", Carvalhoc., June 15, 1995
4. Charles Baukal, Jr., "Industrial Combustion Pollution and Control", October 15, 2003
5. Charles Baukal, Jr., "The John Zink Combustion Handbook", March 27, 2001
6. documents and technical notes related to flare within TPC
7. Marland, G., T.A. Boden, and R.J. Andres. 2006. Global, Regional, and National Annual CO2 Emissions from Fossil-Fuel Burning, Cement Manufacture, and Gas Flaring: 1751-2003.