

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

عبد القادر  
بن محمد  
المرغيني



دانشگاه آزاد اسلامی

واحد شاهرود

دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی شیمی

پایاننامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد <<M.SC.>>

گرایش: طراحی فرآیند

عنوان:

بهینه سازی برج تقطیر به روش تحلیل اکسرژی (واحد ۶۰۰ بخش جداسازی C7/C8 پتروشیمی بو  
علی سینا)

استاد راهنما:

دکتر اسلام کاشی

استاد مشاور:

دکتر سید علی اشرفی زاده

نگارش:

حمید رضا کامروا

پاییز ۱۳۹۱



**ISLAMIC AZAD UNIVERSITY**

**Shahroud Branch**

**Faculty Engineering Department Chemical engineering**

**“M.Sc”thesis**

**On : Process Design**

**Title :**

Optimization of Distillation Column ,Using Exergy Analysis

**Supervisor :**

Dr.Eslam Kashi

**Advisor:**

Dr.Seyed ali Ashrafizadeh

**Writing:**

Hamidreza Kamrava

**Autumn 2012**

## تقدیم:

اشک بیش از آب چهره ی مادران ما را شست و خون بیش از شربت و شراب به کام پدران ما ریخت. این مجموعه را تقدیم می کنم به پدر و مادرم که عمر خود را صرف رشد و ترقی فرزندان خویش کردند و عزیز سفر کرده ای که فقدان او را در نگارش این تحقیق به تلخی احساس کردم.

---

فصل اول - مقدمه.....	۲
۱-۱- کلیات .....	۳
۲-۱- مروری بر کارهای قبلی .....	۶
۳-۱- هدف گذاری و روش کار و کاربرد.....	۹
فصل دوم : مروری بر مفاهیم اصلی ترمودینامیک.....	۱۲
۱-۲- انرژی.....	۱۳
۲-۲- قانون صفرم ترمودینامیک.....	۱۳
۳-۲- قانون اول ترمودینامیک .....	۱۳
۴-۲- قانون دوم ترمودینامیک و کاربردهای آن.....	۱۴
۵-۲- برگشت پذیری و برگشت ناپذیری.....	۱۶
۶-۲- کاربرد قانون دوم ترمودینامیک.....	۱۷
۷-۲- ارتباط قانون دوم و مصرف بهینه انرژی.....	۱۷
۸-۲- حالت مرگ.....	۱۹
۹-۲- مفهوم آنتروپی و محاسبات مربوط به آن.....	۱۹
۱-۹-۲- نابرابری کلازیوس.....	۱۹
۲-۹-۲- اصل افزایش آنتروپی.....	۲۰

- ۲-۹-۳- تولید آنروپی..... ۲۳
- ۲-۹-۴- موازنه آنروپی..... ۲۵
- ۲-۹-۵- تغییر آنروپی سیستم..... ۲۵
- ۲-۹-۶- مکانیزمهای انتقال آنروپی..... ۲۶
- ۲-۹-۷- محاسبه تولیدات آنروپی..... ۲۷
- ۲-۱۰-۱- تحلیل فرایندها با استفاده از مفاهیم قانون دوم..... ۲۸
- ۲-۱۰-۱- معیار ارزیابی عملکرد در آنالیز فرایندها با قانون دوم..... ۲۹
- ۲-۱۱-۱- اکسرژی..... ۳۱
- ۲-۱۱-۱- مفهوم اکسرژی..... ۳۱
- ۲-۱۱-۲- پیشینه تاریخی اکسرژی..... ۳۲
- ۲-۱۱-۳- تفاوت اکسرژی با انرژی..... ۳۲
- ۲-۱۱-۴- آنالیز اکسرژی..... ۳۴
- ۲-۱۲- علت جایگزینی اکسرژی بجای آنروپی در تحلیل برخی فرایندها..... ۳۵
- ۲-۱۳- ارتباط تولید آنروپی و اتلافات اکسرژی در تحلیل فرایندها..... ۳۶
- ۲-۱۴- محاسبات و تحلیل‌های اکسرژتیک..... ۳۷
- ۲-۱۴-۱- اکسرژی انرژی جنبشی..... ۳۷
- ۲-۱۴-۲- اکسرژی انرژی پتانسیل..... ۳۷
- ۲-۱۴-۳- اکسرژی انرژی داخلی..... ۳۸
- ۲-۱۴-۴- اکسرژی برای کار جریان..... ۳۸

- ۳۹-۲-۱۴-۵- اکسرژی برای آنتالپی.....
- ۴۰-۲-۱۴-۶- تغییر اکسرژی سیستم.....
- ۴۱-۲-۱۴-۷- تغییر اکسرژی جریان سیال.....
- ۴۱-۲-۱۴-۸- اکسرژی فیزیکی.....
- ۴۲-۲-۱۴-۹- محیط مینا.....
- ۴۲-۲-۱۴-۱۰- اکسرژی شیمیایی.....
- ۴۴-۲-۱۴-۱۱- اکسرژی شیمیایی سوخت های صنعتی.....
- ۴۵-۲-۱۴-۱۲- اکسرژی حرارت.....
- ۴۶-۲-۱۴-۱۳- تغییرات اکسرژی جریانهای فرآیند در فشار ثابت.....
- ۴۷-۲-۱۴-۱۴- تغییرات اکسرژی جریانهای فرآیند در فشار متغیر.....
- ۴۸-۲-۱۴-۱۵- تغییرات اکسرژی در عمل اختلاط و جداسازی.....
- ۴۸-۲-۱۴-۱۶- تغییرات اکسرژی در واکنشهای شیمیائی.....
- ۵۰-۲-۱۵- اصل کاهش اکسرژی و اتلاف اکسرژی.....
- ۵۱-۲-۱۶- موازنه اکسرژی.....
- ۵۱-۲-۱۶-۱- موازنه اکسرژی سیستم های بسته.....
- ۵۳-۲-۱۶-۲- موازنه اکسرژی حجمهای کنترل.....
- ۵۳-۲-۱۶-۳- موازنه اکسرژی برای سیستم های با جریان پایدار.....
- ۵۴-۲-۱۷- نیروهای محرکه و ارتباط آن با مبحث تولید آنتروپی و اتلافات اکسرژی.....
- ۵۵-۲-۱۸- روشهای محاسبه اتلاف اکسرژی.....

۱۹-۲	- بازده قانون دوم.....	۵۶
۵۸	<b>فصل سوم: برج های تقطیر.....</b>	
۱-۳	- مقدمه.....	۵۹
۲-۳	- برج های تقطیر.....	۶۲
۳-۳	- عوامل ایجاد اتلاف اکسرژی در برج تقطیر.....	۶۴
۱-۳-۳	- اتلاف اکسرژی در اثر انتقال جرم.....	۶۵
۲-۳-۳	- اتلاف اکسرژی کندانسور.....	۶۵
۳-۳-۳	- اتلاف اکسرژی ریویلر.....	۶۶
۴-۳-۳	- اتلاف اکسرژی در اثر انتقال حرارت ایجاد شده بوسیله جریان.....	۶۶
۵-۳-۳	- اتلاف اکسرژی به علت اتلاف حرارتی.....	۶۸
۷۱	<b>فصل چهارم: بهینه سازی برج تقطیر به روش تحلیل اکسرژی.....</b>	
۱-۴	- شرح فرآیند.....	۷۲
۱-۱-۴	- محصولات اصلی مجتمع.....	۷۲
۲-۱-۴	- محصولات فرعی مجتمع.....	۷۲
۲-۴	- آروماتیک ها.....	۷۲
۱-۲-۴	- بنزن.....	۷۳
۲-۲-۴	- تولوئن.....	۷۳
۳-۲-۴	- زایلین ها.....	۷۴
۴-۲-۴	- مخلوط زایلین ها.....	۷۵



- ۷۵-۴-۲-۵- پارازایلین.....
- ۷۶-۴-۲-۶- ارتوزایلین.....
- ۷۷-۴-۲-۷- متازایلین.....
- ۷۸-۴-۳- تولید آروماتیک ها.....
- ۷۹-۴-۴- واحد مورد مطالعه.....
- ۸۱-۴-۵- شبیه سازی.....
- ۸۲-۴-۷- محاسبه اتلاف اکسرژی در برج.....
- ۸۹-۴-۸- روند تغییرات اتلاف اکسرژی با تغییر در پارامترهای موردنظر.....
- ۸۹-۴-۸-۱- تأثیر افزایش دمای خوراک بر اتلاف اکسرژی.....
- ۹۳-۴-۸-۲- استفاده از یک جریان برگشتی ثانویه.....
- ۹۵-۴-۸-۳- تأثیر افزایش غلظت خوراک ورودی بر اتلافات اکسرژی.....
- ۹۷-۴-۸-۴- استفاده از ترکیب روش ها.....
- ۱۰۱- نتیجه گیری و پیشنهادات.....
- ۱۰۴- پیوست.....

## فهرست جدول ها

صفحه	عنوان
۳۳	جدول ( ۲-۱ ) : مقایسه انرژی و اکسرژی
۷۳	جدول ( ۴-۱ ) : خواص بنزن
۷۴	جدول ( ۴-۲ ) : خواص تولوئن
۷۵	جدول ( ۴-۳ ) : خواص پارا زایلین
۷۶	جدول ( ۴-۴ ) : خواص ارتوزایلین
	جدول ( ۴-۵ ) : خواص
۷۷	متزایلین
۸۰	جدول ( ۴-۶ ) : مشخصات خوراک برج
۸۳	جدول ( ۴-۷ ) : بار حرارتی ریویلر و کندانسور در حالت پایه
۸۳	جدول ( ۴-۸ ) : میزان دبی مولی و آنتالپی جریان ها در حالت پایه
۸۴	جدول ( ۴-۹ ) : درصد غلظت مولی جریان ها در حالت پایه
۸۵	جدول ( ۴-۱۰ ) : دبی مولی اجزا جریان ها در حالت پایه
۸۷	جدول ( ۴-۱۱ ) : سهم اتلافات اکسرژی در نواحی مختلف برج در حالت پایه
۸۹	جدول ( ۴-۱۲ ) : کاهش بار حرارتی ریویلر
۹۰	جدول ( ۴-۱۳ ) : مشخصات فرآیندی جریان ها در حالت پیش گرمایش خوراک

جدول ( ۱۴-۴ ): سهم اتلافات اکسرژی در نواحی مختلف برج پس از پیش گرمایش..... ۹۰

جدول ( ۱۵-۴ ): میزان اتلافات اکسرژی در نواحی مختلف با استفاده از جریان برگشتی

ثانویه..... ۹۳

جدول ( ۱۶-۴ ): درصد مولی خوراک در دو حالت اولیه و افزایش غلظت خوراک..... ۹۵

جدول ( ۱۷-۴ ): اتلافات اکسرژی در نواحی مختلف برج در حالت افزایش غلظت خوراک..... ۹۶

جدول ( ۱۸-۴ ): انتالپی جریان ها در حالت افزایش غلظت خوراک..... ۹۷

جدول ( ۱۹-۴ ): کاهش بار حرارتی ریپویلر در حالت پایه و پیش گرمایش به همراه افزایش غلظت

خوراک..... ۹۸

جدول ( ۲۰-۴ ): سهم اتلافات اکسرژی در حالت پیش گرمایش به همراه افزایش غلظت

خوراک..... ۹۸

جدول ( ۲۱-۴ ): انتالپی جریان ها در حالت پیش گرمایش به همراه افزایش غلظت

خوراک..... ۹۹

## فهرست شکل ها

عنوان	صفحه
شکل ( ۱ - ۱ ): اثر برگشت ناپذیری های ذاتی و غیر ذاتی روی اکسرژی کل سیستم.....	۹
شکل ( ۱ - ۲ ) : مسیرهای برگشت پذیر و برگشت ناپذیر ترمودینامیکی .....	۲۱
شکل ( ۲ - ۲ ) : نمودار دما- آنترופی برای یک توربین بخار.....	۳۰
شکل ( ۲ - ۳ ) : فاکتورهای انتقال اکسرژی برای یک سیستم کل.....	۵۲
شکل ( ۱ - ۳ ) : محاسبه تغییراتی آنالپی در اثر تغییرات دما و فشار.....	۶۱
شکل ( ۲ - ۳ ) : شباهت برج تقطیر و مائشین گرمایی.....	۶۳
شکل ( ۳ - ۳ ) : سیستم برج تقطیر.....	۶۴
شکل ( ۴ - ۳ ) : مدل محاسبه اتلاف اکسرژی در اثر انتقال حرارت .....	۶۷
شکل ( ۵ - ۳ ) : اتلاف حرارتی از برج.....	۶۸
شکل ( ۱ - ۴ ) : مراحل تولید آروماتیک ها .....	۷۸
شکل ( ۲ - ۴ ) : شماتیک واحد ۶۰۰.....	۷۹
شکل ( ۳ - ۴ ) : سهم اتلافات اکسرژی در نواحی مختلف برج در حالت پایه.....	۸۷
شکل ( ۴ - ۴ ) : شماتیک شبیه سازی شده واحد مورد مطالعه.....	۸۸

- شکل ( ۴-۵ ) : سهم اتلافات اکسرژی در نواحی مختلف برج پس از پیش گرمایش ..... ۹۱
- شکل ( ۴-۶ ) : شماتیک شبیه سازی شده واحد پس از پیش گرمایش خوراک ..... ۹۲
- شکل ( ۴-۷ ) : شماتیک شبیه سازی شده واحد با استفاده از جریان برگشتی ثانویه ..... ۹۴
- شکل ( ۴-۸ ) : اتلافات اکسرژی در نواحی مختلف برج در حالت افزایش غلظت خوراک ..... ۹۶
- شکل ( ۴-۹ ) : سهم اتلافات اکسرژی در حالت پیش گرمایش به همراه افزایش غلظت خوراک ..... ۹۹
- شکل ( ۴-۱۰ ) : شماتیک شبیه سازی دو روش پیش گرمایش به همراه جریان برگشتی ثانویه و پیش گرمایش به همراه افزایش غلظت خوراک ..... ۱۰۰

## چکیده

صرفه جویی انرژی در صنایع نفت، گاز، پتروشیمی از مهم ترین مسائل صنعت به شمار می روند. فرایندهای جداسازی بزرگترین مصرف کننده های انرژی در کارخانه های صنعتی هستند لذا صرفه جویی انرژی در این فرایندها سبب هزینه کمتر و مشکلات زیست محیطی کمتر شده است. در بین تجهیزات فرایندهای جداسازی در صنایع نفت، گاز، پتروشیمی برج های تقطیر عمده ترین مصرف کننده انرژی به شمار می روند. در این تحقیق سعی شده است ارتباط تولیدات آنتروپی و اتلافات اکسرژی با نیروهای محرکه در سیستم های حرارتی و جرمی مورد بررسی قرار گیرد. هدف اصلی از این تحقیق نشان دادن اینست که انجام آنالیز اکسرژی با محوریت و تمرکز روی نیروهای محرکه می تواند مزایای بیشتری نسبت به سایر روش های آنالیز اکسرژی داشته باشد. ضمن اینکه قانون دوم ترمودینامیک با کاربرد مفهوم نیروهای محرکه میتواند به آسانی وارد مرحله طراحی گردد. ابتدا سیستم هایی که در حال انتقال حرارت به تنهایی هستند، مورد رسیدگی قرار گرفته اند. در مرحله بعد، فرایندهای همزمان انتقال حرارت و جرم مورد توجه قرار گرفته اند. نشان داده شده است که انجام آنالیز اکسرژی بر مبنای نیروهای محرکه، می تواند ضمن جلوگیری از برخورد با پیچیدگی های ناشی از اثرات متقابل هر دو پدیده انتقال حرارت و جرم، دیدگاه های مفیدی در طراحی و بهینه سازی در اختیار قرار دهد. این روش در یک مورد مطالعاتی برج تنظیم واحد بازیافت  $C_7/C_8$  یکی از مجتمع های آروماتیکی کشور مورد تحلیل اکسرژی قرار گرفت. با توجه به روابطی که در ادامه نشان خواهیم داد اتلاف اکسرژی در برج محاسبه گردیده و مشخص گردید بیشترین سهم اتلافات اکسرژی مربوط به انتقال حرارت در طول برج است. اتلاف اکسرژی در ریویولر و کندانسور پس از انتقال حرارت در طول برج دارای بیشترین سهم از اتلافات اکسرژی هستند برای کم کردن این اتلافات سه روش پیشنهاد شده است که عبارتند از :

۱- پیش گرمایش خوراک

۲- استفاده از جریان برگشتی دوم از محصول بالای برج به خوراک

۳- بالا بردن غلظت خوراک

در روش پیش گرمایش اتلافات اکسرژی ۱۰ درصد نسبت به حالت پایه کاهش یافت. در روش جریان برگشتی ثانویه اتلافات اکسرژی کلی کاهش بسیار ناچیزی دارد. در روش بالا بردن غلظت خوراک به طور پیش فرض اهمیت غلظت خوراک در اتلافات اکسرژی نشان داده ایم.

## فصل اول:

### مقدمه

## ۱-۱- کلیات

محدودیت منابع انرژی و روند رو به کاهش آنها و مهم‌تر از آن آلودگی محیط زیست، بشر را به فکر استفاده هر چه بهتر از منابع انرژی وا داشته است. فرایندها را به لحاظ انرژی از دو دیدگاه می‌توان بررسی کرد: ۱- دیدگاه کمی و ۲- دیدگاه کیفی ابزار بررسی در دیدگاه اول قانون اول ترمودینامیک است که بطور سنتی در طراحی فرایندها مورد استفاده قرار می‌گیرد اما ابزار دیدگاه دوم، قانون دوم ترمودینامیک است. تحلیل قانون دوم ترمودینامیک ابزار مفید و موثری در بررسی کیفی انرژی است. این ابزار امروزه بخش عظیمی از کار محققان را به خود اختصاص داده است. قانون دوم ترمودینامیک با کمک پارامترهای آنتروپی و اکسرژی به صورت کمی و قابل ارزیابی در می‌آید. آنالیز اکسرژی این مزیت مهم را دارد که همزمان مباحث کمی و کیفی در زمینه انرژی را مد نظر قرار می‌دهد [۱].

از عوامل اثرگذار روی کیفیت فرایندها، نیروهای محرکه می‌باشند. هر چه این نیروها بزرگتر باشند، فرایندها از حالت برگشت‌پذیر فاصله بیشتری می‌گیرند و در نتیجه تولید آنتروپی و اتلاف اکسرژی بیشتر می‌شود. از طرفی کاهش این نیروها باعث کاهش سرعت فرایندها می‌شود. به عبارت دیگر کاهش نیروهای محرکه می‌تواند هزینه‌های جاری راکاهش داده و به کاهش سرعت مصرف منابع انرژی منجر شود در حالی که منجر به افزایش هزینه‌های ثابت و افزایش ابعاد دستگاه‌ها و یا کاهش تولید می‌شود. لذا این نیروها می‌توانند به عنوان معیاری در تعیین نقاط بهینه طراحی و فرایندی مورد استفاده قرار گیرند. بدین لحاظ شناخت روابط بین این نیروها و کمیت‌های قانون دوم (تولید آنتروپی و اتلافات اکسرژی) می‌تواند حائز اهمیت باشد.

بخش عظیمی از اتلافات انرژی در سیستم‌های حرارتی به وقوع می‌پیوندد. صنایع شیمیایی که دارای زیر سیستم‌های حرارتی متعدد هستند از مصرف کنندگان عمده حامل‌های انرژی به شمار می‌روند. ابعاد سیستم‌های حرارتی می‌تواند بسیار متنوع باشد. یک المان همچون مبدل حرارتی، کوره صنعتی، خشک کن و ... تا ترکیبات پیچیده‌ای از اینگونه المان‌ها می‌توانند جزء سیستم‌های حرارتی در نظر گرفته شوند.

آنالیز اکسرژی بر مبنای قوانین ترمودینامیکی استوار است و علت امتزاج آن نیز با ترمودینامیک، تحلیل قانون دوم و مفاهیم مربوط به برگشت‌ناپذیری‌هاست. اما باید دانست که برگشت‌ناپذیری‌ها چه ارتباطی با اکسرژی دارند. در این رابطه باید گفت، هر اتفاقی که در طبیعت رخ می‌دهد قاعدتاً می‌بایست دارای یک نیروی محرکه باشد و چنانچه نیروی محرکه وجود نداشته باشد، سکون محض حاکم شده و فرایندی نیز به



وقوع نمی‌پیوندد. این نیروهای پیشران، پتانسیلی برای حرکت ایجاد می‌کند و حرکت منجر به از بین رفتن نیروهای پیشران می‌شود(در ازاء انجام فرآیند، نیروهای محرکه به تدریج کوچک می‌شوند تا به صفر برسند) و ضمناً هر چه نیروهای محرکه بیشتر و بزرگتر باشند سرعت انجام فرآیند هم بیشتر خواهد بود.

نیروهای محرکه در واقع پتانسیل انجام فرآیند هستند و برای ایجاد و حفظ این پتانسیل می‌بایست انرژی مصرف شود تا فرآیند همچنان به قوت خود باقی بماند و به اصطلاح حالت پایداری سیستم حفظ شود. اکنون تحلیل قانون دوم این آگاهی را می‌دهد که انرژی بکار رفته برای حفظ پتانسیل انجام فرآیند تا چه حد از حالت ایده آل فاصله دارد. این حالت ایده‌آل از طریق کم کردن اثر برگشت ناپذیری از مقدار کل انرژی قابل محاسبه است. هر فرآیند از تعداد زیادی اتفاقات تشکیل شده که بطور خود بخود پیش می‌روند البته به شرط اینکه طراح در برخی نقاط کلیدی ایجاد نیروهای محرکه نماید و با از بین این نیروهای محرکه فرآیندها انجام شوند. حال هر چه فرآیند برگشت پذیرتر باشد، انرژی کمتری برای حفظ نیروی محرکه مورد نیاز است. پس با فدا شدن نیروی محرکه، کیفیت انرژی اندکی تنزل می‌کند و برای جبران آن هم انرژی کمتری نیاز است. لذا اتفاقاتی که در فرآیند رخ می‌دهد اگر درصد برگشت ناپذیری کمتری داشته باشد تنزل انرژی کمتری خواهند داشت. اما برای کمی کردن این موارد می‌بایست از مفهوم آنتروپی که تفسیر کمی قانون دوم ترمودینامیک است استفاده نمود. به دلایل نامبرده ذیل مهندسی از مفهوم جدیدی به نام اکسرژی استفاده می‌نمایند:

۱- عدم وجود جدول های آنتروپی برای همه موارد(فقط مواد خاصی دارای جداول ترمودینامیکی شامل آنتروپی هستند).

۲- آنتروپی مستقیماً نشان دهنده پتانسیل نیست(به عنوان مثال در برخی موارد آنتروپی بخار آب در دما و فشار بالا با پتانسیل بخار آب در شرایط استاندارد دما و فشار برابر است) و لذا نمی‌توان با استفاده به ارقام آنتروپی در مورد کیفیت انرژی صحبت کرد.

۳- فقط در صورت محاسبه تغییرات آنتروپی کل در فرآیند(تغییر آنتروپی محیط به اضافه سیستم) و تشخیص علامت آن، می‌توان یک پیام دریافت کرد و مقدار عددی آن برای درک موضوع و انجام برخی تحلیل‌ها کاربرد چندانی ندارد.(مطابق قانون دوم ترمودینامیک فرآیندی قابل وقوع است که تغییرات آنتروپی کل آن مثبت باشد).

از آنجائیکه هدف از این تحلیل‌ها انجام طراحی نیست و اکثراً کاربرد مفهومی دارند، لذا صرفنظر کردن از برخی عوامل تاثیر گذار، که خطای زیادی ایجاد نمی‌کنند، در این تحلیل‌ها رواج دارد.

از فرایندهای رایج و پرکاربرد در اغلب صنایع شیمیایی فرایندها یا پدیده‌های انتقال هستند که عبارتند از انتقال ممتنم، حرارت و جرم. سرعت و کیفیت انجام این فرایندها تاثیرات فراوان و غیرقابل انکاری روی میزان مصرف حامل‌های انرژی در سیستم‌های حرارتی و جرمی دارند. نکته قابل ذکر اینکه برای انجام هر سه پدیده فوق‌الذکر نیاز به وجود نیروهای محرکه است و برای هر سه می‌توان رابطه سرعت انتقال را به صورت زیر در آورد:

$\Delta$

(۱-۱)

$$\text{Rate} = k \times$$

Rate: سرعت انجام فرایند

K: ثابت رابطه (ضرایب انتقال)

$\Delta$ : نیروهای محرکه

نیروهای محرکه در پدیده‌های انتقال ممتنم، حرارت و جرم به ترتیب عبارتند از اختلاف فشار، دما و پتانسیل شیمیایی (در برخی موارد می‌توان بجای اختلاف پتانسیل از اختلاف غلظت شیمیایی استفاده کرد). آنالیز قانون دوم از نظر تاریخی در ابتدا به تولید توان از گرما خلاصه می‌شد ولی بعدها این تحلیل به انجام اغلب فرایندها از جمله فرایندهای شامل پدیده‌های انتقال نیز مرتبط شد.

همان‌گونه که گفته شد در بیشتر فرایندها سه پدیده اصلی انتقال به طور منفک یا همزمان (و گاهی دو تا از آنها) بوقوع می‌پیوندد و انجام هر سه پدیده فوق‌الذکر مستلزم تبدیل انرژی و طبعا تحلیل این تبدیل که در قالب قانون دوم ترمودینامیک انجام می‌شود به همراه تولید آنتروپی و اتلاف اکسرژی خواهد بود.

بدیهی است در هنگام وقوع همزمان، این پدیده‌ها اثرات متقابل انکارناپذیری روی یکدیگر خواهند داشت که در بررسی از نظر انرژی فرایندها باید این اثرات را مد نظر قرار داد. فرایندهایی همچون خشک کردن، تقطیر، انتقال حرارت در مبدل‌های حرارتی، فرایند انتقال حرارت جابجایی در سیستم‌های مختلف،

سیستم های تبرید جذبی، راکتورهای شیمیایی و... مثال های بارزی از این دسته‌اند. هدف این پروژه شناخت این ارتباطات و بکارگیری آنها جهت بهبود کمی و کیفی فرایندهاست که به تبع آن کاهش مصرف منابع انرژی، فواید اقتصادی، دستیابی به حالات پایدارتر و در نهایت کاهش آلودگی محیط زیست قابل دستیابی خواهند بود.

## ۱-۲- مروری بر کارهای قبلی

قوانین اول و دوم ترمودینامیک هر دو در قرن نوزدهم کشف شدند ولی جالب است که قانون دوم قبل از قانون اول کشف گردیده است. در سال ۱۸۲۴ کارنو آثاری را منتشر کرد که محدودیت تبدیل گرما به کار را در موتورها ارائه کرد در حالیکه در ۱۸۴۰ ژول آزمایش‌هایی را انجام داد که کار و گرما را به هم مرتبط می‌کرد. آزمایشات ژول منجر به قانون بقای انرژی شد [۲۳]. قوانین اول و دوم ترمودینامیک مفهوم انرژی را تغییر نداد ولی دیدگاه مهندسين و دانشمندان را تغییر داد. استفاده از قوانین اول و دوم برای تجزیه و تحلیل فرایندها به سرعت توسعه پیدا کرد. این توسعه شامل معرفی توابع جدید و مهم ترمودینامیکی شد. از آن جمله می‌توان به انرژی داخلی، آنتالپی، انرژی آزاد گیبس و انرژی آزاد هلمهولتز اشاره کرد. معرفی این توابع توانایی بشر را در محاسبات و تحلیل‌ها بالا برد. گوی و استدولا هر دو به طور مستقل و جداگانه قانون مربوط به ماکزیمم کار اتلافی را کشف کردند. کار قابل دستیابی همواره کوچکتر از ماکزیمم کار است چرا که در فرایندهای ترمودینامیکی برگشت ناپذیری وجود دارد. طبق روابط ارائه شده توسط این دو دانشمند، کار تلف شده برابر است با حاصلضرب مجموع افزایش آنتروپی سیستم در دمای محیط (که گاهی اوقات با پایین‌ترین دمای فرایند نیز جابجا می‌شود). مفهوم "ماکزیمم کار" بعد از محاسبات ریاضی و فرمول‌هایی که نتیجه کارهای کلازیوس، تامسون، ماکسول و از همه مهمتر گیبس (۱۹۶۱) بود، معرفی گردید.

بیش از یک قرن مهندسين با مفهوم آنتالپی انرژی را بصورت کمی مورد بررسی قرار دادند ولی برای تجزیه و تحلیل کیفی مطابق با قانون دوم ترمودینامیک ابزار آنتروپی دارای نقاط ضعفی بود که قبلا به آنها اشاره شد. لذا به مفهوم جدیدی نیاز بود که بتوان کیفیت انرژی را در محاسبات وارد کرد و به موازات آن فاقد نقاط ضعف آنتروپی نیز باشد. کلمه اکسرژی اولین بار توسط رانت (۱۹۵۶) معرفی گردید. سایر عباراتی که معادل اکسرژی هستند و در متون علمی بکار می‌روند، عبارتند از: انرژی قابل دستیابی و قابل دسترسی.

آنالیز اکسرژی در فرایندها اطلاعات بسیار مفیدی را بدست می دهد. در اکثر موارد با آنالیز انرژی به تنهایی نتیجه‌ای حاصل نمی‌شود چرا که مجموع آنتالپی‌های ورودی و خروجی برابرند ولی افت کیفیت انرژی وجود دارد. تنها راه بررسی این افت کیفیت، آنالیز اکسرژی است.

بعد از معرفی اکسرژی و شناخت مزایای استفاده از آن، دانشمندان و محققان فراوانی به کمک این ابزار مفید، فرایندها را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند و موفقیت‌های زیادی در بهبود کمی و کیفی آنها بدست آوردند که بدنبال آن مقالات و کتاب‌های فراوانی در این زمینه ارائه گردیده است. عمده‌ترین کتاب‌هایی که می‌توان به آنها اشاره کرد از نویسندگانی همچون گوران (۱۹۷۷)، زارگوت و همکاران (۱۹۸۸)، کوتاس (۱۹۹۵)، ساتو (۲۰۰۴) و دینسر و روسن (۲۰۰۷) بوده‌اند که به تفصیل مفهوم اکسرژی را بیان کردند و برخی کاربردهای مهم آن را در زمینه‌های گوناگون عرضه داشته‌اند. بیجان (۱۹۸۲، ۱۹۹۵، ۲۰۰۵) اصولی را پایه‌ریزی کرد که بتوان مفاهیم قانون دوم را در فرایندهای انتقال مورد استفاده قرار داد. دانشمندان و محققین فراوانی کاربرد قانون دوم ترمودینامیک در قالب آنالیز اکسرژی را در فرایندهای خاص بررسی کرده‌اند که در فصول آینده به فراخور موضوع، به آنها اشاره خواهد شد. چیزی که این تحقیق روی آن تمرکز دارد اینست که چگونه از ابزار نیروهای محرکه برای این آنالیز استفاده شود. در این بین برخی محققین بطور غیرمستقیم آثاری را در آنالیز اکسرژی دخیل کرده‌اند که به نوعی مربوط به نیروهای محرکه هستند و آخرین آنها مربوط به کار لیور و همکاران (۲۰۰۶) می‌باشد.

این کار مروری است بر روش آنالیز اکسرژی بصورت وابسته به زمان و مکان و دامنه برگشت ناپذیری در فرایند و به بررسی حل معادلات سه پدیده انتقال بصورت عددی در سه زمینه فرایند خشک کردن، احتراق مواد نفتی و احتراق ذغال پرداخته است. سعی شده است حد بهینه نیروهای محرکه و سرعت جریان برای راندمان قانون دوم ترمودینامیک در سه پدیده انتقال حرارت، جرم و منتهم بدست آید.

نکته ضعف این کار اکتفا کردن به حل عددی معادلات است و معادلاتی که نشان دهنده ارتباطات مفیدی بین اتلاف اکسرژی و سایر عوامل اثر گذار ترمودینامیک و عملیاتی باشند ارایه نشده است.

وانگ و همکاران (۲۰۰۵) معادلاتی در ارتباط با انتقال اکسرژی ارائه کرده‌اند. در این کار مفهوم جدیدی تحت عنوان انتقال اکسرژی مطرح گردیده و فلسفه وجودی این عنوان بیشتر برای تبدیل و ذخیره سازی انرژی مورد نظر بوده است. آنها سعی کرده‌اند معادلات حالت ناپایدار در آنالیز قانون دوم ترمودینامیک