



دانشگاه آزاد اسلامی  
واحد تهران جنوب  
دانشکده تحصیلات تکمیلی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد "M.SC"  
مهندسی شیمی

عنوان:

بررسی تأثیر رسوب گذاری در اصلاح شبکه مبدل‌های حرارتی

استاد راهنما:

استاد مشاور:

نکارش:

## چکیده

بررسی عملکرد شبکه های پیش گرم کن نفت خام نشان می دهد که پدیده رسوب گرفتگی در این شبکه ها سبب ایجاد مشکلات عملیاتی می گردد و هزینه های عملیاتی به میزان قابل ملاحظه ای با گذشت زمان افزایش می یابد. آمارهای ارائه شده در این زمینه اهمیت توجه به این پدیده را نشان می دهد و بکارگیری روشهای مناسبی برای کاهش این پدیده را ضروری می سازد.

هدف از این پایان نامه بررسی تأثیر رسوب گذاری مبدلهای حرارتی بر عملکرد شبکه های پیش گرم کن و ارائه روشی مناسب برای کاهش آن در این شبکه ها می باشد. در این مطالعه ابتدا برای روشنتر شدن اهمیت رسوب در شبکه های پیش گرم کن به بررسی تأثیر این عامل بر سطح انتقال حرارت و نیز هزینه های سرمایه گذاری مورد نیاز به منظور اصلاح شبکه از طریق وارد نمودن ضرایب رسوب در محاسبات ، پرداخته شده است. در ادامه مدلهای حرارتی و هیدرولیکی رسوب برای بیان رفتار دینامیکی رسوب با زمان معرفی گردیدند. با استفاده از مدلهای حرارتی می توان میزان رسوب گذاری در یک مبدل را با توجه به سرعت سیال سمت لوله و دمای دیواره برآورد نمود. همچنین با استفاده از مدلهای افت فشار می توان اثرات هیدرولیکی رسوب را پیش بینی کرد. با استفاده از این مدلها اثرات رسوب بر عملکرد حرارتی و هیدرولیکی شبکه پیش گرم کن نفت خام به طور کامل مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته اند. در نهایت تغییرات و اصلاحات مناسب در شبکه به منظور کاهش رسوب پیشنهاد شده است. این اصلاحات به دو صورت انجام می گیرد. در حالت اول تغییرات مورد نیاز تنها در ساختار مبدل انجام می گیرد و ساختار شبکه تغییر نمی کند. اما در حالت دوم تغییرات در ساختار شبکه علاوه بر اصلاحات مورد نیاز مبدلها ، صورت می گیرد. هر دو حالت اصلاح سبب کاهش رسوب و افزایش بازیابی حرارتی شبکه می گردند اما حالت دوم عملکرد حرارتی و هیدرولیکی مناسب تری با زمان دارد و صرفه جویی بیشتری در هزینه انرژی نشان می دهد.

## فهرست مطالب

### مقدمه

۱	مقدمه
۱	اهمیت رسوب در شبکه های پیش گرم کن نفت خام
۳	مکانیزم های رسوب
۴	عوامل مؤثر بر رسوب
۵	راههای کاهش رسوب گرفتگی

### فصل اول: روشهای اصلاح شبکه مبدلهای حرارتی

۷	۱-۱- مقدمه
۸	۲-۱- هدفیابی در پروژه های اصلاحی
۱۲	۳-۱- اصلاح شبکه مبدلهای حرارتی بر اساس ضریب انتقال حرارت ثابت
۱۲	۱-۳-۱- هدفگذاری بر اساس ضریب انتقال حرارت ثابت
۱۷	۲-۳-۱- طراحی اصلاحی بر اساس ضریب انتقال حرارت ثابت
۲۱	۴-۱- اصلاح شبکه مبدلهای حرارتی براساس افت فشار ثابت
۲۲	۱-۴-۱- اهمیت بررسی افت فشار در شبکه مبدلهای حرارتی
۲۳	۱-۱-۴-۱- روابط افت فشار برای مبدلهای پوسته و لوله ای
۲۴	۲-۱-۴-۱- محاسبه حداقل سطح مورد نیاز شبکه بر مبنای افت فشارهای مجاز
۲۷	۲-۴-۱- هدفگذاری شبکه مبدلهای حرارتی بر اساس افت فشار ثابت
۲۸	۳-۴-۱- طراحی اصلاحی شبکه مبدلهای حرارتی براساس افت فشار ثابت
۲۸	۱-۳-۴-۱- تحلیل مسأله باقیمانده بر اساس افت فشار ثابت
۲۹	۲-۳-۴-۱- محاسبه افت فشار ایده آل هر مبدل

- ۳۱ ..... ۵-۱- اصلاح شبکه مبدل‌های حرارتی به منظور رفع گلوگاه‌های حاصل از افزایش ظرفیت
- ۳۲ ..... ۱-۵-۱- روش هدفگذاری برای رفع گلوگاه
- ۳۳ ..... ۲-۵-۱- محدودیت‌های افت فشار
- ۳۵ ..... ۳-۵-۱- محدودیت‌های بار کوره

### فصل دوم: بررسی تأثیر رسوب بر اصلاح شبکه مبدل‌های حرارتی

- ۳۹ ..... ۱-۲- معرفی شبکه پیش گرم کن پالایشگاه تهران
- ۴۴ ..... ۲-۲- تأثیر رسوب بر سطح حرارتی مورد نیاز شبکه
- ۴۶ ..... ۳-۲- تأثیر رسوب بر میزان سرمایه گذاری و هزینه انرژی

### فصل سوم: مدل‌های حرارتی و هیدرولیکی رسوب

- ۵۲ ..... ۱-۳- مدل‌های حرارتی رسوب
- ۵۴ ..... ۱-۱-۳- مدل‌های آستانه رسوب
- ۵۶ ..... ۲-۳- مدل‌های افت فشار
- ۶۰ ..... ۱-۲-۳- مدل A: اثر کاهش مجرای عبور جریان
- ۶۱ ..... ۲-۲-۳- مدل B: رسوب زبر
- ۶۳ ..... ۳-۲-۳- مدل C: گرفتگی لوله

### فصل چهارم: اصلاح شبکه مبدل‌های حرارتی پیش گرم کن نفت خام

- ۶۷ ..... ۱-۴- منحنی نیروی محرکه دمایی اصلاح شده
- ۷۰ ..... ۲-۴- اصلاح شبکه مبدل‌های حرارتی پیش گرم کن پالایشگاه تهران
- ۷۰ ..... ۱-۲-۴- اثرات حرارتی و هیدرولیکی رسوب بر شبکه پیش گرم کن
- ۷۵ ..... ۲-۲-۴- شناسایی مبدل‌های با نرخ رسوب گذاری بالا
- ۸۰ ..... ۳-۲-۴- اصلاح شبکه پیش گرم کن از طریق اصلاح مبدل

۴-۲-۴- اصلاح شبکه پیش گرم کن از طریق تغییر ساختار شبکه ..... ۸۲

۴-۲-۵- ارزیابی اقتصادی شبکه های اصلاح شده ..... ۸۵

### فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات

۵-۱- نتیجه گیری ..... ۸۹

۵-۲- پیشنهادات ..... ۹۰

منابع ..... ۹۲

## فهرست اشکال

- شکل ۱-۱ منحنی سطح حرارتی بر حسب انرژی ..... ۹
- شکل ۲-۱ مسیر عملی برای پروژه های اصلاح ..... ۱۰
- شکل ۳-۱ مسیرهای متعدد برای اصلاح شبکه و بهترین مسیر اصلاح ..... ۱۱
- شکل ۴-۱ منحنی ذخیره سازی بر حسب انرژی ..... ۱۲
- شکل ۵-۱ منحنی اصلاح برای مقادیر  $\Delta\alpha = 1$  و  $\Delta\alpha = \alpha_{existing}$  ..... ۱۴
- شکل ۶-۱ منحنی نیروی محرکه دمایی ..... ۲۰
- شکل ۷-۱ ارتباط میان توزیع سطح و سطح تماس در هر مبدل ..... ۲۶
- شکل ۸-۱ تعیین افت فشارهای ایده آل برای یک مبدل ..... ۳۰
- شکل ۹-۱ منحنی سطح - انرژی برای شبکه افزایش ظرفیت یافته ..... ۳۳
- شکل ۱-۲ دیاگرام شبکه مبدلهای حرارتی پیش گرم کن پالایشگاه نفت تهران ..... ۴۰
- شکل ۲-۲ دیاگرام پنجره ای شبکه پیش گرم کن پالایشگاه تهران ..... ۴۱
- شکل ۳-۲ منحنی مرکب گرم و سرد شبکه ..... ۴۴
- شکل ۴-۲ منحنی اصلاح شبکه در دو حالت  $R_f=0.0001 \text{ m}^2\text{K/W}$  و  $R_f=0 \text{ m}^2\text{K/W}$  ..... ۴۶
- شکل ۵-۲ چگونگی افزایش سطح با افزایش مقدار رسوب ..... ۴۶
- شکل ۶-۲ منحنی سرمایه گذاری-صرفه جویی سالانه برای شبکه پیش گرم کن در دو حالت  $R_f=0.0001 \text{ m}^2\text{K/W}$  و  $R_f=0 \text{ m}^2\text{K/W}$  ..... ۴۸
- شکل ۷-۲ چگونگی افزایش میزان سرمایه گذاری مورد نیاز با افزایش مقدار رسوب ..... ۵۰
- شکل ۱-۳ شماتیک ساده رسوب داخل لوله ..... ۵۸
- شکل ۲-۳ اثر کاهش مجرای عبور جریان بر عدد بدون بعد رسوب ..... ۶۱
- شکل ۳-۳ رفتار ترموهیدرولیکی پیش بینی شده توسط مدل های افت فشار A و B ..... ۶۲
- شکل ۴-۳ مقایسه روابط ترموهیدرولیکی ارائه شده برای یک حالت خاص ..... ۶۵
- شکل ۱-۴ منحنی نیروی محرکه دمایی اصلاح شده ..... ۶۸

- شکل ۴-۲-الف) عملکرد حرارتی و هیدرولیکی مبدل‌های شبکه پیش گرم کن بر اثر رسوب (E1-)  
 E5) ..... ۷۳
- شکل ۴-۲-ب) عملکرد حرارتی و هیدرولیکی مبدل‌های شبکه پیش گرم کن بر اثر رسوب (E6-)  
 E11) ..... ۷۳
- شکل ۴-۳ نتایج حاصل از شبیه سازی شبکه پیش گرم کن در دوره دو ساله ..... ۷۴
- شکل ۴-۴ بازبایی حرارتی شبکه پیش گرم کن در دوره عملیاتی دو ساله ..... ۷۵
- شکل ۴-۵ منحنی دمایی اصلاح شده برای مبدل E1 ..... ۷۶
- شکل ۴-۶ منحنی دمایی اصلاح شده برای مبدل E2 ..... ۷۷
- شکل ۴-۷ منحنی دمایی اصلاح شده برای مبدل E3 ..... ۷۷
- شکل ۴-۸ منحنی دمایی اصلاح شده برای مبدل E4 ..... ۷۷
- شکل ۴-۹ منحنی دمایی اصلاح شده برای مبدل E5 ..... ۷۸
- شکل ۴-۱۰ منحنی دمایی اصلاح شده برای مبدل E6 ..... ۷۸
- شکل ۴-۱۱ منحنی دمایی اصلاح شده برای مبدل E7 ..... ۷۸
- شکل ۴-۱۲ منحنی دمایی اصلاح شده برای مبدل E8 ..... ۷۹
- شکل ۴-۱۳ منحنی دمایی اصلاح شده برای مبدل E9 ..... ۷۹
- شکل ۴-۱۴ منحنی دمایی اصلاح شده برای مبدل E10 ..... ۷۹
- شکل ۴-۱۵ منحنی دمایی اصلاح شده برای مبدل E11 ..... ۸۰
- شکل ۴-۱۶ شبیه سازی عملکرد شبکه اصلاح شده از طریق اصلاح مبدل ..... ۸۲
- شکل ۴-۱۷ منحنی نیروی محرکه دمایی برای شبکه پیش گرم کن نفت خام ..... ۸۳
- شکل ۴-۱۸ عملکرد حرارتی و هیدرولیکی شبکه اصلاح شده با تغییر در ساختار ..... ۸۴

## فهرست جداول

- جدول ۱-۲ مشخصات جریانهای فرآیندی شبکه پیش گرم کن پالایشگاه تهران..... ۴۲
- جدول ۲-۲ مشخصات جریانهای سمت پوسته مبدل‌های حرارتی ..... ۴۳
- جدول ۳-۲ مشخصات جریانهای سمت لوله مبدل‌های حرارتی ..... ۴۳
- جدول ۴-۲ مقادیر سطح تبادل حرارت مورد نیاز برای اصلاح شبکه در  $\Delta T_{min}$  های مختلف ..... ۴۵
- جدول ۵-۲ مقادیر میزان سرمایه گذاری و صرفه جویی سالانه در هزینه انرژی در دو حالت  $m^2K/W$  و  $R_f=0$  ..... ۴۸
- جدول ۶-۲ مقادیر سطح تبادل حرارت و سرمایه گذاری مورد نیاز برای اصلاح شبکه به ازای افزایش درصدی ضرایب رسوب ..... ۴۹
- جدول ۱-۴ مشخصات مبدل‌های حرارتی شبکه پیش گرم کن پالایشگاه نفت تهران ..... ۷۱
- جدول ۲-۴ مقادیر سرعت آستانه برای مبدل‌های مختلف شبکه پیش گرم کن ..... ۷۶
- جدول ۳-۴ مشخصات مبدل‌های اصلاح شده در شبکه پیش گرم کن ..... ۸۱
- جدول ۴-۴ مشخصات مبدل‌های حرارتی در شبکه اصلاح شده از طریق تغییر ساختار ..... ۸۴
- جدول ۵-۴ مقایسه شبکه اصلاح شده در دو حالت با شبکه اولیه ..... ۸۶