بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه اراک

دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی شیمی

مطالعه سیستم کنترلی واحد هیدروکراکر پالایشگاه امام خمینی (ره) شازند طبق اصول کنترل جامع فرآیند

دانشجو:

محسن ماهروئی

استاد راهنما:

دکتر علیرضا فضلعلی

استاد مشاور:

دکتر مصطفی کشاورز مروجی

تابستان ۹۱

بسم الله الرحمن الرحیم

مطالعه سیستم کنترلی واحد هیدروکراکر پالایشگاه امام خمینی (ره) شازند طبق اصول کنترل جامع فرآیند

توسط:

محسن ماهروئی

پایان نامه

ارائه شده به مدیریت تحصیلات تکمیلی به عنوان بخشی از فعالیت های تحصیلی

لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی شیمی

از

دانشگاه اراک

اراک-ایران

ارزیابی و تصویب شده توسط کمیته پایان نامه با درجه: ..... عالی .....

دکتر علیرضا فضلعلی (استاد راهنما و رئیس کمیته)..... دانشیار

دکتر مصطفی کشاورز مروجی (استاد مدعو داخلی)..... دانشیار

دکتر عبدالرضا مقدسی (استاد مدعو خارجی)..... دانشیار

تابستان ۱۳۹۱

تشکر و قدردانی

بر خود لازم می دانم تا از زحمات فراوان دکتر علیرضا فضلعلی که اینجانب را در این پژوهش راهنمائی نموده اند تشکر نمایم. همچنین از مهندس امید فدوی به پاس زحمات بی دریغ و دلسوزانه و انتقال تجربیات گرانسنگشان کمال تشکر را دارم.

چکیده

مطالعه سیستم کنترلی واحد هیدروکراکر پالایشگاه امام خمینی (ره) شازند طبق اصول کنترل جامع فرآیند

توسط:

محسن ماهروئی

هدف اصلی کنترل جامع فرآیند[1] طراحی یک سیستم شامل حلقه های کنترلی است که بتواند یک فرآیند پیچیده با تجهیزات زیاد و به هم پیوسته را به ایمن ترین، به صرفه ترین و سریعترین طریق کنترل نماید. تاکنون تلاش های زیادی درجهت کنترل یک تجهیز منحصر به فرد (مانند رآکتور، برج های تقطیر و...) صورت پذیرفته اما هدف این پژوهش بررسی روشی است که بتواند علاوه برکنترل یک تجهیز، اثرات متقابل تجهیزات و به فراخور آن ، حلقه های کنترلی را مورد مطالعه قرار دهد. یکی از مهمترین مباحث نظریه کنترل جامع فرآیند، بررسی اثرات ناشی از جریان برگشتی[2] بر روی کنترل فرآیند است. بررسی تأثیرات ناشی از به هم پیوستگی تجهیزات تنها با مطالعه دینامیکی فرآیند ممکن خواهد بود. در این پژوهش ابتدا مراحل و ملزومات نظریه کنترل جامع فرآیند بیان شده سپس این مراحل بر روی مدل دینامیکی واحد هیدروکراکر پالایشگاه امام خمینی(ره) شازند پیاده سازی شده است. مدل دینامیکی توسط نرم افزار قدرتمند Aspen Hysys ساخته شده است. نتایج حاصل از اجرای مدل دینامیکی نشان می دهد که سیستم کنترلی واحد هیدروکراکر، به جز یک تجهیز، با اصول کنترل جامع فرآیند مطابقت دارد. در واقع سطح ظرف تبخیر ناگهانی با سیستم کنترلی موجود قابل کنترل نبوده و دچار نوسان می باشد. به همین منظور پیشنهاد پژوهشی جهت رفع این مشکل در این تحقیق ارائه شده است.

---

[1] Plantwide Process Control
[2] Recycle Stream

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول : مقدمه

۱-۱ مقدمه..... ۱

فصل دوم : کنترل جامع فرآیند- مبانی و مراحل طراحی

۲-۱- مقدمه.....۸

۲-۲- ویژگی های فرآیندهای پیچیده و اثر گلوله برفی غلتان.....۹

۲-۳- مفاهیم پایه ای کنترل جامع فرآیند.....۱۳

۲-۳-۱- اصول Buckely ۱۳

۲-۳-۲- آموزه های Douglas ۱۴

۲-۳-۳- آموزه های Downs ۱۴

۲-۳-۴- قانون Richadson ۱۵

۲-۳-۵- قانون های Luyben ۱۵

۲-۴- طراحی سیستم های کنترلی به روش کنترل جامع فرآیند.....۱۷

۲-۴-۱-گام ۱ : تعیین اهداف سیستم کنترلی.....۱۷

۲-۴-۲- گام ۲ : یافتن درجه های آزادی کنترل.....۱۷

۲-۴-۳- گام ۳ : ایجاد سیستم مدیریت انرژی.....۱۸

۲-۴-۴- گام ۴: یافتن نرخ تولید.....۱۹

۲-۴-۵- گام ۵ :کنترل کیفیت محصولات باتوجه به محدودیت های ایمنی ، عملیاتی و زیست محیطی.....۲۰

۲-۴-۶- گام ۶ : ثابت کردن جریان در حلقه جریان برگشتی و کنترل متغیرهای درون این حلقه..... ۲۰
۲-۴-۷- گام ۷: بررسی موازنه ترکیبات..... ۲۱
۲-۴-۸- گام ۸: کنترل مجزای یک تجهیز..... ۲۲
۲-۴-۹- گام ۹: بهینه سازی اقتصادی یا بهبود بخشیدن کنترل دینامیکی..... ۲۲
۲-۵- توجیه مراحل..... ۲۳

فصل سوم : شرح فرآیند هیدروکراکینگ و معرفی واحد هیدروکراکر پالایشگاه امام خمینی(ره) شازند

۳-۱- مقدمه..... ۲۶
۳-۲- هیدروکراکینگ گردشی یک مرحله ای..... ۲۸
۳-۳- طراحی و عملیات راکتورهای هیدروکراکینگ..... ۳۰
۳-۴- شیمی هیدروکراکینگ..... ۳۳
۳-۴-۱- شیمی تصفیه هیدروژنی..... ۳۳
۳-۴-۱-۱- حذف سولفور..... ۳۴
۳-۴-۱-۲- حذف نیتروژن ۳۴
۳-۴-۱-۳- حذف اکسیژن..... ۳۴
۳-۴-۱-۴- اشباع اولفین ها..... ۳۵
۳-۴-۲- حذف فلزات..... ۳۵
۳-۴-۳- حذف هالیدها..... ۳۶
۳-۵- کاتالیست هیدروکراکینگ..... ۳۶

۳-۵-۱- فعالیت کاتالیست هیدروکراکینگ..... ۳۷

۳-۶- شرح فرایند هیدروکراکینگ پالایشگاه امام خمینی(ره) شازند..... ۳۹

۳-۶-۱- جریان خوراک تازه و مایع گردشی..... ۴۰

۳-۶-۲- جریان گاز گردشی ۴۳

فصل چهارم : شبیه سازی دینامیکی واحد هیدروکراکر

۴-۱- مقدمه..... ۴۶

۴-۲- مقدمات شبیه سازی..... ۴۷

۴-۲-۱- ساخت برش های نفتی..... ۴۷

۴-۲-۲- شبیه سازی واکنش..... ۵۰

۴-۳- اضافه کردن جریان ها، شیرها و تجهیزات..... ۵۵

۴-۳-۱- جریان ها و تجهیزات قبل از راکتور..... ۵۵

۴-۳-۲- راکتور و مبدل های بعد از آن..... ۵۶

۴-۳-۴- هیدروژن جبرانی، جداکننده فشار بالا و گاز گردشی..... ۵۸

۴-۳-۴- فشار شکنی و جدا کننده فشار پایین..... ۵۸

۴-۳-۵- بخش جداسازی و جریان خوراک برگشتی..... ۵۸

۴-۴- سایزینگ..... ۶۱

۴-۴-۱- سایزینگ ظروف..... ۶۱

۴-۴-۲- سایزینگ مبدل ها..... ۶۱

۴-۴-۳- سایزینگ شیرها..... ۶۲

۴-۵- انتقال به حالت دینامیکی..... ۶۴

۴-۶- نتیجه گیری..... ۶۵

فصل پنجم: اجرای نظریه کنترل جامع فرآیند روی مدل دینامیکی واحد هیدروکراکر و نتایج حاصل از آن

۵-۱- مقدمه..... ۶۸

۵-۲- گام ۱: تعیین اهداف سیستم کنترلی..... ۶۸

۵-۳- گام ۲ : یافتن درجه های آزادی کنترل ۷۱

۵-۴- گام ۳: ایجاد سیستم مدیریت انرژی ۷۱

۵-۵- گام ۴ و ۵ : تنظیم نرخ و کیفیت محصولات..... ۷۲

۵-۶- گام۶ : ثابت کردن جریان در حلقه جریان برگشتی..... ۷۳

۵-۷- گام های ۷، ۸ و ۹ ..... ۷۳

۵-۸- انتخاب کنترلر برای متغیرهای باقیمانده با توجه به تحلیل دینامیکی..... ۷۴

۵-۸-۱- دبی جریان ورودی به بخش جداسازی (کوره H-633)..... ۷۴

۵-۸-۲- سطح مایع ظرف نوسان گیر V-658..... ۷۹

۵-۹- بررسی سیستم کنترلی پیشنهادی..... ۸۳

۵-۹-۱- دمای راکتور و محصولات خروجی از آن..... ۸۳

۵-۹-۲- ظرف V-658 و جریانهای خوراک تازه و برگشتی..... ۸۶

۵-۹-۳- جداکننده های فشار بالا و فشارپایین..... ۸۸

۵-۹-۴- ظرف V-637 و جریان ورودی به بخش جداسازی..... ۸۸

۵-۱۰- کنترلر پیشنهادی برای حل مشکل ظرف V-637..... ۸۹

۵-۱۱- نتیجه گیری..... ۹۱

فصل ششم نتیجه گیری و پیشنهادات

۶-۱- نتیجه گیری.....۹۳

۶-۲- پیشنهادات.....۹۵

فصل هفتم منابع و مراجع

۷-۱- منابع و مراجع ۹۹

فهرست جدول ها

عنوان **صفحه**

جدول ۳-۱- شرایط عملیاتی فرآیند هیدروکراکینگ..... ۲۷

جدول ۳-۲- محصولات مایع هیدروکراکینگ از بخش جداسازی..... ۲۹

جدول ۳-۳- گرمای واکنش های تصفیه هیدروژنی..... ۳۶

جدول ۴-۱- مشخصات محصولات واحد..... ۴۹

جدول ۴-۲- مشخصات خوراک تازه و خوراک برگشتی ۴۹

جدول ۴-۳- وزن ملکولی برش ها..... ۵۰

جدول ۴-۴- محاسبه دبی مولی خوراک و محصولات..... ۵۱

جدول ۴-۵- درصد و دبی مولی گازهای واحد هیدروکراکر..... ۵۲

جدول ۴-۶- تغییرات درصد تبدیل با شرایط عملیاتی..... ۵۴

جدول ۴-۷- دما و فشار جریان های ورودی..... ۵۵

جدول ۴-۸- سایزینگ ظروف واحد هیدروکراکر..... ۶۱

جدول ۴-۹- مشخصات مبدلهای پوسته لوله..... ۶۲

جدول ۴-۱۰- مشخصات کوره ها..... ۶۲

جدول ۴-۱۱- ضرایب شیرهای شبیه سازی شده..... ۶۳

جدول ۵-۱- لیست کنترلرهای دما، فشار و سطح مایع..... ۷۰

فهرست شکل ها

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱- ساختار کنترلی بر مبنای ماندگی ثابت درون راکتور..... ۱۱

شکل ۲-۲- ساختار کنترلی بر مبنای ماندگی متغیر در راکتور..... ۱۲

شکل ۲-۳- ساختار کنترلی راکتور با دو سیستم خنک کننده..... ۲۳

شکل ۳-۱- نمودار ساده ی فرایند هیدروکراکینگ یک مرحله ای با یک کاتالیست بدون جریان برگشتی..... ۲۸

شکل۳-۲- نمایی از راکتور هیدروکراکینگ..... ۳۰

شکل ۳-۳- شکل کاتالیست های تجاری هیدروکراکینگ..... ۳۷

شکل ۳-۴- نمایی از قسمت واکنشی واحد هیدروکراکر پالایشگاه اراک..... ۴۴

شکل ۴-۱- جریان ها و تجهیزات قبل از راکتور..... ۵۶

شکل ۴-۲- راکتور و مبدل های بعد از آن..... ۵۷

شکل ۴-۳- نمودار فرآیند هیدروکراکر پس از شبیه سازی با نرم افزار Aspen Hysys..... ۶۰

شکل ۴-۴- تایید رفتار دینامیکی مدل واحد هیدروکراکر..... ۶۵

شکل ۵-۱- اضافه کردن خطوط کنار گذر با توجه به اصول گام سوم..... ۷۲

شکل ۵-۲- کنترل کننده سطح LC برای V-637..... ۷۵

شکل ۵-۳- کنترل آبشاری برای ظرف V-637..... ۷۷

شکل ۵-۴-کنترل کننده جریان FC برای جریان ورودی به کوره H-633..... ۷۸

شکل ۵-۵-عدم کنترل روی سطح مایع ظرف V-637..... ۷۹

شکل ۵-۶- کنترل کننده جریان FC برای جریان خوراک تازه..... ۸۱

شکل ۵-۷- کنترل کننده جریان FC برای جریان خروجی از V-658..... ۸۲

شکل ۵-۸- کنترل سطح ظرف V-658 به شکل آبشاری.....۸۳

شکل ۵-۹- دمای ورودی و خروجی راکتور.....۸۵

شکل ۵-۱۰- دبی حجمی محصولات خروجی از راکتور.....۸۵

شکل ۵-۱۱- سطح مایع تعدادی از ظرف های فرآیند.....۸۷

شکل ۵-۱۲- دبی تعدادی از جریان های فرآیند.....۸۷

شکل ۵-۱۳- کنترلر و مسیر پیشنهادی دیزل جهت کنترل سطح ظرف V-637.....۹۱

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه

هیدروکراکینگ[1] یکی از فرآیندهای مهم در ارتقای کیفیت برش های نفتی به شمار می رود. هدف اصلی در این فرآیند به دست آوردن فرآورده های میان تقطیر با کیفیت مطلوب می باشد. محدودیت های منابع نفت خام، وجود درصد قابل توجهی از برش های سنگین در نفت خام، محدودیت ها و الزامات مربوط به محیط زیست و نیاز روز افزون به سوخت باعث شده است که فرآیند هیدروکراکینگ به عنوان یک فرآیند توجیه پذیر در دهه های اخیر مورد توجه قرار گیرد. در سال ۱۹۲۷ شرکت فاربن[2] برای تبدیل لینیت به بنزین از این فرآیند استفاده کرد. در سال ۱۹۳۰، شرکت اسو[3] این روش را برای بهبود کیفیت خوراک های نفتی به کار برد. هیدروکراکینگ برای خوراک‌هایی مورد استفاده واقع می‌شود که فرایندهای کراکینگ کاتالیستی یا تبدیل کاتالیستی در مورد آن‌ها به سختی انجام می‌گیرد مانند نفت خامی که غنی از آروماتیک‌های پلی‌سیکلیک بوده یا حاوی غلظت‌های بالای ترکیبات گوگرد و نیتروژن که مسموم‌کننده کاتالیست‌ها هستند، می باشد.

ویژگی اصلی فرآیند هیدروکراکینگ کارکرد در فشار بالای هیدروژن است. هیدروژن در فرآیند هیدروکراکینگ موجب می شود که کاتالیست کک کمتری بگیرد. در نتیجه فعالیت کاتالیست بالاتر رفته و در دمای پایین تر با انتخاب پذیری بیشتری کار خواهد کرد. هم چنین هیدروژن با سیر کردن هیدروکربن های شاخه دار باعث افزایش پایداری و بهبود کیفیت سوخت می شود.

خوراک هایی که در فرایند هیدروکراکینگ استفاده می شوند حاوی سولفور و نیتروژن و در مورد خوراک های باقیمانده حاوی فلزاتی مانند نیکل و وانادیوم می باشند. از آنجاکه این ترکیبات اثرات زیان باری بر کاتالیست هیدروکراکینگ دارند، لازم است که خوراک قبل از

[1] Hydrocracking
[2] Farben
[3] Esso

تماس با کاتالیست هیدروکراکینگ تصفیه هیدروژنی شود، بـه همـین دلیـل اغلـب فراینـدهای هیدروکراکینگ شامل هر دو مرحله ی هیدروکراکینگ و هیدروتریتینگ[1] می باشند.

شـرکت هـای مختلفـی کـه دارای لیسـانس فرآینـد هیـدروکراکینگ مـی باشـند، بـرای فرآیندهایشان اسامی تجاری انتخاب کرده اند، مانند فرآیندهای یونیکراکینگ شرکت یـو ا پـی[2] یا فرآیندهای ایزوکراکینگ شرکت شورون[3][۱]. اغلب پالایشگاه هـای نفـت ایـران دارای واحـد هیدروکراکر بوده که با نام تجاری ایزوماکس[4] شناخته می شوند.

واحد هیدروکراکر پالایشگاه امام خمینی (ره) شازند توسط شرکت UOP طراحـی و توسـط شرکت JGC سـاخته شـده اسـت. فرآینـد هیـدروکراکر بـرای عملیـات رویBPSD ۲۴۵۰۰ از محصول تقطیر مومی شکل حاصل از واحد تقطیر در خلاء ، طراحی شده است. این فرآیند برای شکستن برش سنگین به اجزای سبک تر طی عملیات هیدروکراکینگ کاتالیستی بکـار مـی رود و محصولاتی با ارزش افزوده بالا بدست می آید. خـوراک اولیـه واحـی هیـدروکراکر از محصـول تقطیر مومی شکل واحد تقطیر در خلأ می باشد. محصولات واحد شامل گاز مایع، نفتای سـبک، نفتای سنگین، سوخت جت و گازوئیل می باشند.

سیستم کنترلی واحد هیدروکراکر به علت وجود راکتورهای گرمازا، جریان های سرد و گرم و کنار گذر، تجهیزات زیاد و متنوع (پمپ ها، کمپرسورها، ظرف های نوسان گیر، جداکننده ها و برج تقطیر) و گستره وسیع از شرایط عملیاتی، بسیار پیچیده می باشد. عـلاوه بـر پیچیـدگی، حلقه های کنترلی این سیستم به یکدیگر وابسته بوده و از هم تاثیر می گیرند.

تاکنون تلاش های زیادی جهت طراحی سیستم های کنترلی فرآینـدهای پیچیـده صـورت پذیرفته است و دانشمندان بسیاری در این زمینه به نگارش کتب و مقالات پرداخته اند. لـویبن[5]

---

[1] Hydrotreating
[2] UOP
[3] Chevron
[4] Isomax
[5] William L Luyben

و همکارانش در سال ۱۹۹۷ با جمع آوری نظریه های دانشمندان در زمینه کنترل فرآیندهای پیچیده، و ارائه طرح های خود، نظریه ای را با نام " کنترل جامع فرآیند[1] " مطرح کرده اند[۲]. در این نظریه سعی شده که تمامی جنبه های یک فرآیند پیچیده مورد تحلیل و بررسی قرار بگیرید و بهترین راه جهت کنترل فرآیند پیشنهاد داده شود. نظریه کنترل جامع فرآیند برای اولین بار بر روی فرآیند هیدروآلکلاسیون تولوئن[2] اجرا و نتایج رضایت بخش آن سبب گردید که از این نظریه برای طراحی سیستم کنترلی بسیاری از فرآیندها استفاده شود.

فرآیندی که سیستم کنترلی آن مطابق با این نظریه طراحی می شود، فرآیندی پیچیده همراه با تجهیزات زیاد و جریان برگشتی می باشد که به سادگی و با اصول عادی کنترل فرآیند نتوان در مورد حلقه های کنترلی آن اظهار نظر کرد. معمولا طراحی سیستم کنترلی فرآیندهایی که دارای قسمت واکنش و جداسازی باشند و این دو قسمت توسط جریان برگشتی به هم مرتبط شوند، کار دشواری بوده و کنترل آنها معمولا با نوسانات زیادی همراه است.

نظریه کنترل جامع فرآیند شامل ۹ گام بوده که در طی آن متغیرهای اساسی فرآیند شناسایی شده و جهت کنترل آنها کنترلر مناسب پیشنهاد داده می شود. جهت مشخص شدن بهترین کنترلر برای یک متغیر، نیاز است که عملکرد هر یک از کنترلرها روی فرآیند بررسی شده و در نهایت دقیق ترین آنها انتخاب شود. به همین منظور باید از فرآیند مورد نظر یک شبیه سازی دینامیکی تهیه شده و نتایج ۹ گام بر روی آن پیاده سازی شود.

هدف از انجام این پروژه این است که با شبیه سازی دقیق دینامیکی واحد هیدروکراکر پالایشگاه امام خمینی شازند (ره)، یک سیستم کنترلی مبتنی بر نظریه کنترل جامع فرآیند برای این واحد پیشنهاد داده شود که بتواند با کمترین نوسان ممکن، یک کنترل ایمن و اقتصادی برای این واحد فراهم آورد.

---

[1] Plantwide Process Control
[2] Hydrodealkylation of Toluene (HAD) Process

سیستم کنترلی پیشنهادی قطعا با سیستم کنترلی موجود مشترکات زیادی دارد چون تنها یک راه برای کنترل بسیاری از متغیرها در فرآیند وجود دارد. اما به دلیل اینکه فرآیند هیدروکراکر یک فرآیند پیچیده بوده و حلقه های کنترلی روی هم تاثیر می گذارند، می توان کنترلرهای جدیدی برای تعدادی از متغیرها پیشنهاد داد.

فصل های این پایان نامه عبارتند از :

فصل اول مقدمه

فصل دوم شامل مبانی و مراحل اجرای نظریه کنترل جامع فرآیند می شود. در این فصل به بیان نظریه های دانشمندانی که در زمینه کنترل فرآیندهای پیچیده تلاش کرده اند، پرداخته شده و با ذکر مثالهایی، اثرات حلقه های کنترلی روی یکدیگر بیان می شود. سپس ۹ گام نظریه کنترل جامع فرآیند شرح داده می شود.

فصل سوم به شرح فرآیند هیدروکراکینگ و معرفی واحد هیدروکراکر پالایشگاه امام خمینی(ره) شازند می پردازد. شرکتهای صاحب دانش فنی فرآیند هیدروکراکینگ در ابتدای این فصل معرفی شده و سپس به بیان واکنشهای هیدروکراکینگ پرداخته و شرایط راکتور و کاتالیست شرح داده می شود.

فصل چهارم شامل شبیه سازی دینامیکی واحد هیدروکراکر می باشد. در این فصل با استفاده از داده های صنعتی پردازش شده واحد هیدروکراکر و با استفاده از نرم افزار Aspen Hysys V7.2 مدل دینامیکی تهیه شده است. مهمترین بخش در تهیه مدل دینامیکی، بخش واکنش شمیایی هیدروکراکر می باشد. شبیه سازی واکنش با استفاده از نتایج خوراک و محصولات واحد که از آزمایشگاه گرفته شده، و با توجه به دستورالعمل بهره برداری واحد، انجام شده است. تطابق مدل دینامیکی با شرایط واحد جهت پیاده سازی اصول کنترل جامع فرایند مهم و ضروری است.

فصل پنجم مهمترین فصل بوده و به اجرای نظریه کنترل جامع فرآیند روی مدل دینامیکی واحد هیدروکراکر خواهد پرداخت. در این فصل ۹ گام طراحی سیستم های کنترلی به روش کنترل جامع فرآیند روی مدل دینامیکی پیاده سازی شده و با توجه به نتایج این مدل کنترلرهای مناسب هر متغیر انتخاب می شود.

فصل ششم به نتایج و پیشنهادات اختصاص داده شده است.

در فصل هفتم نیز منابع ومراجع مورد استفاده در پایان نامه آمده است.

امید است که نتایج موجود در این پروژه بتواند جهت بهره برداری هر چه بهتر از واحد هیدروکراکر و واحدهای مشابه آن، به کار رفته و بستر مناسبی جهت طراحی سیستم های کنترلی فراهم آورد.

فصل دوم

کنترل جامع فرآیند- مبانی و مراحل طراحی