



دانشگاه آزاد اسلامی  
واحد تهران جنوب  
دانشکده تحصیلات تکمیلی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد “M.Sc”  
مهندسی شیمی - مهندسی فرآیند

عنوان :

ساخت مدل آزمایشگاهی و مدل سازی دینامیک سیالات محاسباتی اختلاط در  
ظروف بهم زن چند پروانه ای

استاد راهنما :

استاد مشاور :

نگارش:

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	چکیده
۲	مقدمه
۳	فصل اول : مروری بر توسعه ی دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) در مدل سازی اختلاط
۴	(۱-۱) مقدمه
۵	(۲-۱) مطالعات تجربی صورت گرفته در زمینه اختلاط توسعه پروانه
۶	(۳-۱) مطالعات صورت گرفته با استفاده از CFD در زمینه اختلاط توسط پروانه
۱۸	(۴-۱) مروری بر معیارهای مورد استفاده جهت تحلیل نتایج به دست آمده از CFD و توصیف جریان
۱۸	• توان و عدد توان
۱۹	• عدد جریان پره
۲۰	• زمان و شدت جریان چرخش
۲۱	• عدد جریان محوری و زمان چرخش میانگین محوری
۲۲	• سرعت میانگین حجمی و اندیس اختلاط
۲۳	• اندیس جداسازی
۲۴	• سرعت و توان مکش به سمت پایین
۲۴	• میدان های سرعت و خطوط جریان
۲۴	• ردیابی ذرات
۲۴	فصل دوم : تشریح واحد تولید اسید سیتریک
۲۷	(۲-۱) شرکت صنایع کیمیای غرب گستر
۲۸	(۲-۲) واحدهای عملیاتی
۲۸	(۲-۲-۱) واحد انحلال شکر (گروه ۰۱)
۲۹	(۲-۲-۲) واحد تبخیر (گروه ۰۲)
۳۰	(۲-۲-۳) واحد جداسازی (گروه ۰۳)

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۳۰	• فیلتراسیون اولیه
۳۱	• Percipitation و فیلتراسیون
۳۱	• Decomposition و فیلتراسیون
۳۲	(۲-۲-۴) واحد خالص سازی
۳۵	فصل سوم : ساخت مدل آزمایشگاهی و انجام آزمایشات
۳۶	(۱-۳) مشخصات مخزن واقعی
۳۸	(۲-۳) ساخت مدل آزمایشگاهی
۳۸	(۱-۲-۳) ساخت مخزن
۳۹	(۲-۲-۳) ساخت بافل ها
۴۰	(۳-۲-۳) ساخت پروانه ها
۴۰	• ساخت پروانه های دریایی
۴۱	• ساخت پروانه ی راشتن
۴۳	(۴-۲-۳) پمپ انتقال واکنشگر دوم
۴۳	(۵-۲-۳) ذرات ریز پلیمری
۴۴	(۶-۲-۳) سایر تجهیزات مورد استفاده در آزمایشات
۴۹	(۳-۳) نحوه ی انجام آزمایشات
۵۰	(۴-۳) نتایج آزمایشگاهی اختلاط توسط دو سیستم اختلاط
۵۴	فصل چهارم : ساخت هندسه ی دو سیستم اختلاط در پیش پردازنده GAMBIT
۵۵	(۱-۴) مراحل ساخت هندسه ی سیستم
۵۶	(۲-۴) تولید شکل هندسی
۵۷	(۱-۲-۴) ساخت پروانه ها
۵۷	• ساخت پروانه های دریایی

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۵۹	• ساخت پروانه ی راشتن
۶۱	۲-۲-۴) ساخت مخزن و انتقال همزن به محل مناسب
۶۱	۳-۲-۴) ساخت بافل ها
۶۱	۴-۲-۴) ساخت لوله تزریق
۶۲	۳-۴) مش بندی
۶۴	۴-۴) شرایط مرزی
۶۵	فصل پنجم: انجام محاسبات توسط روش دینامیک سیالات محاسباتی
۶۶	۱-۵) مقدمه
۶۶	۲-۵) انتخاب معادلات اساسی جهت حل مسئله
۶۶	۳-۵) انتخاب شیوه محاسباتی و فرمول بندی حل
۶۶	۱-۳-۵) خلاصه ای از روش های عددی
۶۷	• روش حل کننده تفکیکی
۶۹	• روش حل پیوسته
۷۰	۲-۳-۵) خطی سازی: روش ضمنی در برابر روش صریح
۷۲	۳-۳-۵) مجزاسازی
۷۴	• روش آپ ویند مرتبه ۱
۷۵	• روش قاعده توانی
۷۶	• روش آپ ویند مرتبه ۲
۷۷	• روش مرتبه ۳ (Quick)
۷۸	• فرم خطی شده معادله مجزا
۷۹	• زیر تخفیف
۷۹	۴-۳-۵) حل کننده تفکیکی
۸۰	• روش میان یابی فشار

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۸۱	• مجزاسازی معادله پیوستگی
۸۳	• وابستگی سرعت- فشار
۸۳	• الگوریتم سیمپل
۸۴	• الگوریتم سیمپل سی
۸۵	• الگوریتم پی زو
۸۵	• اصلاح Neighbor
۸۵	• اصلاح Skewness
۸۶	• (۵-۳-۵) حل کننده پیوسته
۸۶	• معادلات حاکم به شکل برداری
۸۷	• (۶-۳-۵) انتخاب روش مجزاسازی
۸۷	• مرتبه ۱ در برابر مرتبه ۲
۸۸	• قانون توان و روش های مرتبه ۳
۸۸	• انتخاب روش میان یابی فشار
۸۹	• (۷-۳-۵) انتخاب روش ارتباط فشار- سرعت
۸۹	• مقایسه سیمپل و سیمپل سی
۹۰	• پی زو
۹۰	• (۴-۵) تعیین خواص
۹۱	• (۵-۵) تعیین شرایط مرزی
۹۲	• (۶-۵) اجرای برنامه ، بررسی و تحلیل نتایج
۹۳	• (۱-۶-۵) همگرایی در حل
۹۳	• (۲-۶-۵) تعریف مانده ها در حل کننده تفکیکی
۹۵	• (۷-۵) حل حالت پایا در مخازن

## فهرست مطالب

صفحه

عنوان

۹۶	۵-۷-۱) حل کننده
۹۶	۵-۷-۲) معادله آشفستگی
۹۷	۵-۸) حل حالت ناپایا در مخازن
۹۹	۵-۸-۱) حل کننده
۹۹	۵-۸-۲) معادله آشفستگی
۹۹	۵-۸-۳) مقداردهی اولیه
۱۰۰	فصل ششم : نتایج و پیشنهادات
۱۰۱	۶-۱) مقدمه
۱۰۱	۶-۲) بررسی مشخصات جریان در مخازن (حالت پایدار)
۱۰۱	۶-۲-۱) مخزن اختلاط مجهز به سه پروانه ی دریایی
۱۰۷	۶-۲-۲) مخزن اختلاط مجهز به سه پروانه ی دریایی و پروانه ی راشتن
۱۱۴	۶-۲-۳) مقایسه ی مشخصات جریان در دو مخزن اختلاط
۱۱۹	۶-۳) بررسی انجام واکنش مجازی در مخازن (حالت ناپایدار)
۱۲۱	۶-۳-۱) بررسی انجام واکنش مجازی در مخزن اختلاط مجهز به سه پروانه ی دریایی
۱۲۲	۶-۳-۲) بررسی انجام واکنش مجازی در مخزن اختلاط مجهز به سه پروانه ی دریایی و پروانه ی راشتن
۱۲۴	۶-۳-۳) مقایسه انجام واکنش مجازی در دو مخزن اختلاط
۱۲۷	۶-۴) پیشنهادات
۱۲۸	منابع
۱۳۲	چکیده انگلیسی

## فهرست جداول

صفحه

عنوان

۶۳

۴-۱) نوع ، اجزاء و اندازه مش های مربوط به قسمت های مختلف مخازن

## فهرست اشکال

صفحه

عنوان

۲۷	۱-۲) نمایی از شرکت کیمیای غرب گستر
۳۶	۱-۳) نمای از مخزن واقعی
۳۷	۲-۳) پروانه های دریایی مخزن واقعی
۳۹	۳-۳) نمایی از مخزن اختلاط ساخته شده
۴۰	۴-۳) نمایی از بافل های ساخته شده
۴۱	۵-۳) نمایی از پروانه های دریایی ساخته شده
۴۲	۶-۳) نمایی از پروانه ی راشتن ساخته شده
۴۲	۷-۳) نمایی از پروانه ی راشتن نصب شده روی شفت هم زن
۴۳	۸-۳) نمایی از پمپ استفاده شده به همراه مخزن آن
۴۲	۹-۳) نمایی از ذرات ریز پلیمری
۴۵	۱۰-۳) نمایی از دورسنج
۴۵	۱۱-۳) صفحه با شیارهای سیاه و سفید
۴۶	۱۲-۳) دو نمونه سنسور مورد استفاده در ساخت دورسنج
۴۶	۱۳-۳) سنسور استفاده شده در ساخت دورسنج
۴۷	۱۴-۳) مدار مورد استفاده در سنسور
۴۸	۱۵-۳) مدار تقویت کننده
۵۱	۱۶-۳) تصویر کف مخزن اختلاط مجهز به سه پروانه ی دریایی
۵۱	۱۷-۳) تصویر کف مخزن اختلاط مجهز به سه پروانه ی دریایی و پروانه ی راشتن
۵۲	۱۸-۳) تصویر بالای مخزن اختلاط مجهز به سه پروانه ی دریایی
۵۲	۱۹-۳) تصویر بالای مخزن اختلاط مجهز به سه پروانه ی دریایی و پروانه ی راشتن
۵۳	۲۰-۳) تصویر کف مخزن اختلاط مجهز به سه پروانه ی دریایی بعد از تخلیه
۵۳	۲۱-۳) تصویر کف مخزن اختلاط مجهز به سه پروانه ی دریایی و یک پروانه ی راشتن بعد از تخلیه
۵۸	۱-۴) مکان هندسی نقاط مورد نظر جهت ساخت یکی از پره ها



## فهرست اشکال

صفحه

عنوان

۵۹	۲-۴) نمای نهایی همزن مجهز به سه پروانه ی دریایی
۶۰	۳-۴) نمایی از پروانه ی راشتن مدل شده
۶۰	۴-۴) نمایی نهایی هم زن مجهز به سه پروانه ی دریایی و پروانه ی راشتن
۶۲	۵-۴) نمایی از مخزن اختلاط مجهز به سه روانه ی دریایی
۶۲	۶-۴) نمایی از مخزن اختلاط مجهز به سه پروانه ی دریایی و پروانه ی راشتن
۶۸	۱-۵) نگاهی به روش حل تفکیکی
۶۹	۲-۵) نگاهی به روش حل پیوسته
۷۴	۳-۵) حجم کنترلی که برای مجزاسازی معادله انتقال استفاده می شود
۷۶	۴-۵) تغییرات متغیر $\phi$ بین $x = 0$ تا $x = 0$
۷۷	۵-۵) حجم کنترل یک بعدی
۱۰۲	۱-۶) نمایش کانتوری مقادیر سرعت در یک برش عمودی
۱۰۳	۲-۶) نمایش کانتوری مقادیر سرعت در یک برش افقی با مرکزیت پروانه ی دریایی بالایی
۱۰۳	۳-۶) نمایش کانتوری سرعت در یک برش افقی با مرکزیت پروانه ی دریایی دوم
۱۰۲	۴-۶) نمایش کانتورهای سرعت در یک برش افقی با مرکزیت پروانه ی دریایی انتهایی
۱۰۵	۵-۶) بردارهای سرعت ایجاد شده در یک برش عمودی
۱۰۶	۶-۶) بردارهای سرعت ایجاد شده در یک برش افقی با مرکزیت پروانه ی دریایی بالایی
۱۰۶	۷-۶) بردارهای سرعت ایجاد شده در یک برش افقی با مرکزیت پروانه ی دریایی دوم
۱۰۷	۸-۶) بردارهای سرعت ایجاد شده در یک برش افقی با مرکزیت پروانه ی دریایی انتهایی
۱۰۸	۹-۶) نمایش کانتوری مقادیر سرعت در یک برش عمودی
۱۰۹	۱۰-۶) نمایش کانتور مقادیر سرعت در یک برش افقی با مرکزیت پروانه ی دریایی بالایی
۱۰۹	۱۱-۶) نمایش کانتور مقادیر سرعت در یک برش افقی با مرکزیت پروانه ی دریایی دوم
۱۱۰	۱۲-۶) نمایش کانتور مقادیر سرعت در یک برش افقی با مرکزیت پروانه ی راشتن
۱۱۰	۱۳-۶) نمایش کانتور مقادیر سرعت در یک برش افقی با مرکزیت پروانه ی دریایی انتهایی

## فهرست اشکال

صفحه

عنوان

- |     |   |
|-----|---|
| ۱۱۱ | ۱۴-۶) برداری های سرعت ایجاد شده توسط سه پروانه ی دریایی و یک پروانه ی راشتن در یک برش عمودی |
| ۱۱۲ | ۱۵-۶) بردارهای سرعت ایجاد شده در یک برش افقی با مرکزیت پروانه ی دریایی بالایی               |
| ۱۱۲ | ۱۶-۶) بردارهای سرعت ایجاد شده در یک برش افقی با مرکزیت پروانه ی دریایی دوم                  |
| ۱۱۳ | ۱۷-۶) بردارهای سرعت ایجاد شده در یک برش افقی با مرکزیت پروانه ی راشتن                       |
| ۱۱۳ | ۱۸-۶) بردارهای سرعت ایجاد شده در یک برش افقی با مرکزیت پروانه ی دریایی انتهایی              |
| ۱۱۵ | ۱۹-۶) مقایسه نمایش کانتوری مقادیر سرعت در یک برش عمودی                                      |
| ۱۱۶ | ۲۰-۶) مقایسه بردارهای سرعت ایجاد شده در یک برش عمودی  |
| ۱۱۷ | ۲۱-۶) مقایسه بردارهای سرعت ایجاد شده در یک برش افقی با مرکزیت پروانه ی دریایی بالایی        |
| ۱۱۸ | ۲۲-۶) مقایسه بردارهای سرعت ایجاد شده در یک برش افقی با مرکزیت پروانه ی دریایی دوم           |
| ۱۱۹ | ۲۳-۶) مقایسه بردارهای سرعت ایجاد شده در یک برش افقی با مرکزیت پروانه ی دریایی سوم           |
| ۱۲۲ | ۲۴-۶) نمایش کانتوری تولید تترا در مخزن اختلاط مجهز به سه پروانه ی دریایی                    |
| ۱۲۳ | ۲۵-۶) نمایش کانتوری تولید تترا در مخزن اختلاط مجهز به سه پروانه ی دریایی و پروانه ی راشتن   |
| ۱۲۵ | ۲۶-۶) مقایسه تولید تترا در دو مخزن اختلاط   |

## چکیده

در این تحقیق اختلاط در یک راکتور صنعتی چند پروانه ای مجهز به سه پروانه ی دریایی با استفاده از تکنیک مدل سازی دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) بررسی شده است .

هدف اصلی شناسایی علت عدم اختلاط مناسب با توجه به وجود فضاهاى مرده در ظرف اختلاط مورد نظر می باشد و سپس با توجه به اهمیت موضوع اختلاط در این راکتور ، با پیشنهاد نصب یک پروانه راشتن (علاوه بر سه پروانه ی دریایی) سعی در بهینه کردن عملیات اختلاط شده است .

در این تحقیق نمونه آزمایشگاهی ظرف اختلاط مجهز به سه پروانه ی دریایی ساخته شده و سعی شده است که تست هایی شبیه به فرآیند واقعی بر روی آن انجام شود .

بعد از انجام آزمایشات بر روی ظرف اختلاط مجهز به سه پروانه ی دریایی ، نمونه آزمایشگاهی پروانه ی راشتن نیز ساخته شده و با نصب این پروانه بر روی شفت همزن (دقیقاً وسط دو پروانه ی دریایی انتهایی شفت) و مجهز کردن همزن به این پروانه آزمایشات مرحله ی قبل با همان شرایط بر روی این مدل نیز انجام شده نتایج حاصل از این آزمایشات به صورت مقایسه ای در فصل سوم (به صورت تصویری) ارائه شده است .

برای شناسایی علت عدم اختلاط مناسب در مخزن اختلاط مجهز به سه پروانه ی دریایی ، و هم چنین بررسی نحوه اختلاط در تانک مجهز به سه پروانه ی دریایی و یک پروانه ی راشتن ، نیاز به بررسی الگوی جریان ایجاد شده توسط پروانه های این دو سیستم اختلاط می باشد که این کار با استفاده از مدل سازی CFD و بررسی نحوه حرکت سیال در ظروف مورد نظر انجام گرفته است . با استفاده از نتایج CFD به خوبی نحوه اختلاط در دو راکتور مورد تحلیل قرار گرفته و در نهایت مقایسه ای بین این دو سیستم صورت گرفته است .

لازم به ذکر است که برای نشان دادن ته نشینی مواد (خصوصاً سیترات کلسیم) در اطراف دیواره و بافل های مخزن از یک واکنش مجازی بهره گرفته شده است و در قسمت حل ناپایدار تمرکز بر روی غلظت های محصول این واکنش است .