دانشگاه سیستان و بلوچستان

تحصیلات تکمیلی

پایان نامه کارشناسی ارشد در مهندسی شیمی گرایش پدیده های انتقال

عنوان:

مطالعه آزمایشگاهی فرآیند گرانولاسیون برای درک مکانیسم های آن

(اساتید) راهنما:

دکتر عبد الرضا صمیمی

دکتر محمد خرم

استاد مشاور:

حمید مقدم دیمه

تحقیق و نگارش:

ارسلان رحمانی

(این پایان نامه از حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه سیستان و بلوچستان بهره مند شده است)

تیر ۱۳۸۹

بسمه تعالی

این پایان نامه با عنوان . مطالعه آزمایشگاهی فرآیند گرانولاسیون بـرای درک مکانیسـم‌هـای آن قسـمتی از برنامـه آموزشی دوره کارشناسی ارشد .مهندسی شیمی توسط ارسلان رحمانی تحت راهنمایی استاد پایان نامه دکتـر عبـد الرضا صمیمی تهیه شده است. استفاده از مطالب آن به منظور اهداف آموزشی با ذکر مرجع و اطلاع کتبی به حـوزه تحصیلات تکمیلی دانشگاه سیستان و بلوچستان مجاز می باشد.

(نام و امضاء دانشجو)

این پایان نامه ..... واحد درسی شناخته می شـود و در تـاریخ ..... توسـط هیئـت داوران بررسـی و درجـه ..... به آن تعلق گرفت.

	نام و نام خانوادگی	**امضاء**	**تاریخ**
استاد راهنما:	دکتر عبد الرضا صمیمی		
استاد راهنما:	دکتر محمد خرم		
استاد مشاور:	حمید مقدم دیمه		
داور ۱:			
داور ۲:			
نماینده تحصیلات تکمیلی:			

دانشگاه سیستان و بلوچستان

تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب ارسلان رحمانی **تأیید می کنم که مطالب مندرج در این پایان نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این نوشته از آن استفاده شده است مطابق مقررات ارجاع گردیده است. این پایان نامه پیش از این برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارائه نشده است.**

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشگاه سیستان و بلوچستان می باشد.

نام و نام خانوادگی دانشجو:

امضاء

تقدیم به:

روح پدرم

و مادر عزیزم

و برادران و خواهران مهربانم.

سپاسگزاری

در طی دوره تحصیل و تحقیق پیرامون این اثر همواره ار استادی آگاه یاری جسته ام که همـواره پشـتوانه فکـری و روحی اینجانب بوده اند لذا بر خود لازم می دانم که از زحمات جناب آقـای دکتـر عبـد الرضـا صـمیمی بـه خـاطر زحمات فراوانی که در هدایت اینجانب داشته اند تشکر کنم.

از جناب آقای حمید مقدم دیمه که مشاوره این تحقیق را بر عهده داشته اند ودر طی این دوره همواره حامی بنـده بوده اند تشکر وقدر دانی می کنم.

از زحمات اعضا خانواده ام که همواره از اینجانب حمایت کرده اند تشکر می کنم.

از دوستان عزیز و گرانقدرم :دکتر اکبر مرادی، علی مرادی محب، علـی صـفری، مسـلم دانـش، جمـال شـفیع زاده، کامران گودرزی، حسن ایزدی، علی رضا نودهی، مجید یوسف نژاد، مرتضی عطایی،سعید مرزبان، عادل تابعی ، احمد امینی، سید قادر حسینی، حمزه بهره ای ، ملک مسرت و خانم فاطمه زهرا هدایتی تشکر و قدر دانی می کنم.

چکیده:

گرانولاسیون یک فرآیند بزرگ کردن اندازه است که به طور گسترده‌ای در صنایع شیمیایی مورد استفاده قرار می‌گیرد به کمک این عملیات جریان پذیری، آزادسازی، دانسیته توده‌ای و ساختار پودر بهبود می یابد. در میان روش‌های مختلف گرانولاسیون مرطوب در گرانولاتور اختلاطی با تنش برشی بالا بدلیل زمان کوتاه فرآیند و تولید گرانول‌های متراکم مورد توجه است. سه مکانیسم ۱- تر شدن و هسته زایی ۲- تحکیم و رشد ۳- فرسایش و شکستن در گرانولاسیون مرطوب وجود دارد و عوامل زیادی بر این سه مکانیسم اثر گذارند که این عوامل به دو دسته فرمولاسیون خواص و شرایط عملیاتی تقسیم بندی شده‌اند. اثرات این عوامل در پاره‌ای اوقات با هم تداخل می‌کنند و باعث پیچیدگی پیش بینی خواص گرانول نهایی می‌شود. با وجود تحقیقات زیاد هنوز مدل جامعی در این زمینه ارائه نشده است. در این مطالعه به بررسی عواملی نظیر سرعت پروانه همزن، نسبت مایع به جامد، غلظت مایع پیوند دهنده ، اندازه پودر اولیه، زمان اختلاط فرآیند، در صد ترکیب مواد اولیه بر حواصی از قبیل توزیع اندازه گرانول، دانسیته ظاهری و توده‌ای، رطوبت محتوی و شکل گرانول پرداخته شده است. پاره‌ای از نتایج بدست آمده به شرح زیر می‌باشد:

- افزایش سرعت پروانه همزن، نسبت مایع به جامد و غلظت (گران روی) مایع پیوند دهنده و کاهش اندازه پودر اولیه باعث افزایش سهم گرانول‌های درشت می‌شود.
- افزایش سرعت پروانه همزن، گران روی مایع پیوند دهنده و مدت زمان اختلاط موجب صافتر شدن سطح گرانول ها و تا حدودی افزایش کرویت می‌شود.
- با افزایش مدت زمان اختلاط دانسیته توده‌ای افزایش می‌یابد
- اضافه کردن پودر خشک در موقعی که سیستم در حالت فوق اشباع است باعث بوجود آمدن یک توزیع اندازه گرانول باریک می‌شود.

کلما ت کلیدی: گرانولاتور اختلاطی با برش بالا، مکانیسم‌های گرانولاسیون ، گرانولاسیون مرطوب، خواص گرانول

فهرست مطالب

فصل اول ۱

مقدمه ۱

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۲- اهداف انجام پایان نامه ۳

۱-۳- مراحل انجام کار ۴

فصل دوم ۵

مکانیسم‌های گرانولاسیون ۵

۲-۱- گرانولاسیون درگرانولاتوراختلاطی با تنش برشی بالا ۶

۲-۲- مکانیسمهای گرانولاسیو ن مرطوب ۱۰

۲-۳- ترشدن و هسته زایی ۱۱

۲-۳-۱- ترمودینامیک هسته زایی ۱۱

۲-۳-۲- سینیتیک تشکیل هسته ۱۳

۲-۳-۳- پخش مایع پیوند دهنده ۱۴

۲-۳-۴- ریختن مایع پیوند دهنده ۱۵

۲-۳-۵- اختلاط پودر ۱۵

۲-۳-۶- رژیمهای هسته زایی ۱۶

۲-۴- رشد و تحکیم ۱۷

۲-۴-۱- خواص مکانیکی پیوند مایع گرانولها ۱۸

۲-۴-۲- استحکام استاتیک ۱۹

۲-۴-۳- استحکام دینامیکی ۲۰

۲-۵-تحکیم ۲۱
۲-۶-رشد گرانول ۲۲
۲-۶-۱- مدل کردن رشد گرانول ۲۲
۲-۶-۲- انعقاد گرانولهای غیرقابل تغییر شکل پذیر ۲۳
۲-۶-۳- انعقاد گرانولهای تغییر شکل پذیر ۲۴
۲-۶-۴- رژیمهای رشد گرانول ۲۵
۲-۷- فرسایش و شکستن ۲۸
۲-۷-۱- شکست در مقیاس فرآیند ۲۹
۲-۷-۲- شکست در مقیاس گرانول ۲۹
۲-۷-۳- نیروهای بهم نگهدارنده گرانولها ۳۰
۲-۷-۴- نیروهای خارجی وارده بر گرانول در گرانولاتور ۳۱
۲-۷-۵- تئوری Rump ۳۲
۲-۷-۶- تئوری Kendal ۳۲
۲-۷-۷- اندازه گیری استحکام گرانول ۳۳
۲-۷-۸- الگوهای شکستن ۳۵
۲-۷-۹- گستره شکست ۳۶
۲-۷-۱۰- مکانیسمهای شکست برای گرانولهای خشک ۳۶
۲-۷-۱۱- نتیجه گیری ۳۷
۲-۸- مروری برکارهای گذشته ۳۷
فصل سوم ۴۱
روش انجام آزمایش ۴۱
۳-۱- روش کار و اجزاء دستگاه ۴۲
۳-۱-۱- بدنه اصلی ۴۳

۳-۱-۲- محفظه اختلاط ۴۳
۳-۱-۳- موتور پروانه همزن :..... ۴۴
۳-۱-۴- موتور ساطور: ۴۴
۳-۱-۵-پروانه همزن..... ۴۴
۳-۱-۶- ساطور..... ۴۴
۳-۲- طراحی آزمایشات..... ۴۵
۳-۲-۱- آزمایشات سری الف..... ۴۵
۳-۲-۲- آزمایشات سری (ب)..... ۴۶
۳-۲-۳- آزمایشات سری(ج) ۴۸
۳-۳- مشخصه بندی گرانول ۵۰
۳-۳-۱-توزیع اندازه:..... ۵۰
۳-۳-۲- دانسیته ظاهری:..... ۵۰
۳-۳-۳- دانسیته تودهای ۵۰
۳-۳-۴- شکل گرانول:..... ۵۱
فصل چهارم ۵۲
نتایج و بحث ۵۲
۴-۱-سری(الف) ۵۳
۴-۱-۱- اثر تغییر غلظت (گرانروی)..... ۵۶
۴-۱-۲- اثرسرعت پروانه همزن..... ۵۷
۴-۱-۳- اثرنسبت مایع به جامد..... ۵۹
۴-۱-۴- اثر اندازه پودر اولیه ۶۱
۴-۱-۵- اثرسرعت پروانه همزن بر شکل گرانول..... ۶۳
۴-۲- سری(ب) ۶۶

۴-۲-۱- اثر غلظت (گرانروی) ۶۹
۴-۲-۲- اثرنسبت مایع به جامد ۷۰
۴-۲-۳- اثرسرعت پروانه همزن ۷۱
۴-۲-۴- اثر درصد ترکیب مواد ۷۳
۴-۲-۵- اثر تغییر غلظت (گرانروی) برشکل گرانول ۷۳
۴-۳- نتایج و بحث سری(ج) ۷۶
۴-۳-۱- اثرسرعت پروانه همزن ۷۸
۴-۳-۲- اثر مدت زمان اختلاط ۸۱
۴-۳-۳-اثر نسبت مایع به جامد ۸۲
۴-۳-۴- اثر مدت زمان اختلاط برشکل گرانول ۸۴
فصل پنجم ۸۵
نتایج و پیشنهادات ۸۵
۵-۱- نتایج ۸۶
۵-۱- ۱- اثرگرانروی ۸۶
۵-۱- ۲- اثرنسبت مایع به جامد ۸۶
۵-۱- ۳- اثراندازه پودر اولیه ۸۶
۵-۱- ۴- اثر درصد ترکیب مواد ۸۷
۵-۱- ۵- اثرمدت زمان اختلاط ۸۷
۵-۱-۶- اثرسرعت پروانه همزن ۸۷
۵-۱-۷- نمونهای ازگرانولهای تولیدی درسری (ج) ۸۷
۵-۲- پیشنهادات ۸۹
مراجع ۹۰

فهرست جدول‌ها

عنوان جدول صفحه

۳-۱. آزمایشات سری (الف)..... ۴۶

۳-۲. دانسیته مایع پیوند دهنده..... ۴۷

۳-۳. آزمایشات سری (ب) ۴۸

۳-۴. آزمایشات سری (ج) ۴۹

۴-۱. توزیع اندازه گرانول سری (الف) ۵۴

۴-۲. دانسیته ظاهری بر حسب اندازه گرانول سری (الف) ۵۵

۴-۳. دانسیته ظاهری بر حسب زمان سری (الف) ۵۵

۴-۴. توزیع اندازه گرانول سری (ب) ۶۷

۴-۵. درصد رطوبت آزمایشات سری (ب) ۶۸

۴-۶. توزیع اندازه گرانول سری (ج) ۷۶

۴-۷. درصد رطوبت آزمایشات سری (ج) ۷۷

۴-۸. دانسیته توده ای آزمایشات سری (ج) ۷۷

۴-۹. ادامه جدول ۴-۸ ..... ۷۸

فهرست شکل‌ها

عنوان شکل **صفحه**

شکل۲-۱.دسته بندی روش های متفاوت آگلومراسیون بر حسب پیوستگی فرایند ۷

شکل۲-۲. دسته بندی روش های متفاوت آگلومراسیون بر حسب اندازه آگلومره های تولید شده ۸

شکل۲-۳. تصاویر گرا نولاتور اختلاطی با تنش برشی بالا ۱۰

شکل ۲-۴. مکانیسم تشکیل هسته که به ا ندازه نسبی قطره به ا ندازه ذره اولیه بستگی دارد. a)مکانیسم توزیع b) مکانیسم انتشار ۱۴

شکل۲-۵. نقشه رژیم هسته زاییHapgoodو همکارانش در سال ۲۰۰۳ ۱۶

شکل۲-۶. حالت های مختلف پیوند مایع بین ذرات ۱۸

شکل ۲-۷. طرحواره‌ای از یک پل آونگی بین دو کره هم ا ندازه ۱۹

شکل ۲-۸. مدل‌های انعقاد، مدل۲(سمت راست)، مدل۱(سمت چپ) ۲۲

شکل۲-۹. طرحواره استفاده شده توسط Ennis و همکارانش ۲۳

شکل۲-۱۰. انعقاد گرا نول‌های تغییر شکل پذیر ۲۵

شکل۲-۱۱. رژیم رشد ثابت(سمت چپ)و رژیم رشدالقایی(سمت راست) سیستم هایی که خاصیت تغییر شکل پذیری دارند ۲۶

شکل۲-۱۲. نقشه رژیم رشدگرانول (تهیه شده به وسیله Iveson و همکارانش درسال ۱۹۹۸ ۲۸

شکل ۲-۱۳. طرح واره‌ای از دستگاه آزمایش خمیدگی ۳۴

شکل ۲-۱۴. طرح واره‌ای از دستگاه آزمایش ضربه ساخته شده به وسیله صمیمی و همکارانش در سال ۲۰۰۳ ۳۵

شکل ۲-۱۵. مکانیسم شکست گرانول‌های خشک، مکانیسم شکافتن(شکل بالایی) مکانیسم سائیدن (شکل پایینی) ۳۶

شکل۳-۱.گرانولاتور اختلاطی باتنش برشی بالا طراحی و ساخته شده در دانشگاه سیستان و بلوچستان ۴۲

شکل۴-۱. بررسی اثر غلظت (گران روی) بر توزیع اندازه گرانول سری (الف) ۵۶

شکل ۴-۲. بررسی اثرغلظت (گرانروی) بر دانسیته ظاهری سری (الف) ۵۷

شکل۴-۳. بررسی اثر سرعت پروانه همزن برتوریع اندازه گرانول سری (الف) ۵۸

شکل۴-۴. بررسی اثر تغییر سرعت پروانه همزن بر دانسیته ظاهری سری(الف) ۵۹

شکل۴-۵. بررسی اثر نسبت مایع به جامد بر تورزیع اندازه گرانول سری (الف) ۶۰

شکل ۴-۶. بررسی اثر نسبت مایع به جامد بر دانسیته ظاهری سری(الف) ۶۱

شکل ۴-۷. بررسی اثر انداره پودر اولیه بر توزیع اندازه گرانول سری (الف) ۶۲

شکل ۴-۸. بررسی اثر انداره پودر اولیه بر دانسیته ظاهری (الف) ۶۳

شکل ۴-۹. بررسی اثر سرعت پروانه همزن بر شکل گرانول : الف (۱۰۰ دور بر دقیقه) ، ب (۱۵۰ دور بر دقیقه) ، ج (۲۰۰ دور بر دقیقه) ، د (۲۵۰ دور بر دقیقه) – تصاویر میکروسکوپ الکترونی با بزرگ نمایی ۵۰ ، سری الف ۶۴

شکل ۴-۱۰. بررسی اثر سرعت پروانه همزن بر شکل گرانول : الف (۱۰۰ دور بر دقیقه) ، ب (۱۵۰ دور بر دقیقه) ، ج (۲۰۰ دور بر دقیقه) ، د (۲۵۰ دور بر دقیقه) – تصاویر میکروسکوپ الکترونی با بزرگ نمایی ۴۰۰، سری الف ۶۵

شکل ۴-۱۱. اثر تغییر گران روی بر توزیع اندازه گرانول سری (ب) ۶۹

شکل۴-۱۲. اثر تغییر گران روی بر درصد رطوبت گرانول سری (ب) ۷۰

شکل ۴-۱۳. اثر تغییر نسبت مایع به جامد بر توزیع اندازه گرانول سری (ب) ۷۱

شکل ۴-۱۴. اثر تغییر سرعت پروانه همزن بر توزیع اندازه گرانول سری (ب) ۷۲

شکل ۴-۱۵. اثر تغییر سرعت پروانه همزن بر درصد رطوبت گرانول سری (ب) ۷۲

شکل ۴-۱۶. اثر درصد ترکیب مواد بر توزیع اندازه گرانول سری (ب) ۷۳

شکل ۴-۱۷. بررسی اثر تغییر غلظت (گرانروی) بر شکل گرانول: الف (غلظت۳۰٪)، ب (غلظت ۶۰٪)، ج (غلظت ۹۰٪)تصاویر میکروسکوپ الکترونی با بزرگ نمایی ۵۰ ، سری(ب) ۷۴

شکل ۴-۱۸. بررسی اثر غلظت(گرانروی) بر شکل گرانول: الف (۱۰٪)، ب(۳۰٪)، ج (۶۰٪) د (۹۰٪)- تصاویر میکروسکوپ الکترونی با بزرگنمایی ۴۰۰، سری(ب) ۷۵

شکل ۴-۱۹. اثر سرعت پروانه همزن بر توزیع اندازه گرانول ، (سری ج) ۷۹

شکل ۴-۲۰. اثر سرعت پروانه همزن بر درصد رطوبت گرانول(سری ج) ۸۰

شکل ۴-۲۱. اثر سرعت پروانه همزن بر دانسیته توده ای گرانول(سری ج) ۸۰
شکل ۴-۲۲. اثر مدت زمان اختلاط بر توزیع اندازه گرانول ، (سری ج) ۸۱
شکل ۴-۲۳. بررسی اثر مدت زمان اختلاط بر دانسیته توده‌ای در سری آزمایشا ت (ج) ۸۲
شکل ۴-۲۴. اثر نسبت مایع به جامد بر توزیع اندازه گرانول ، (سری ج) ۸۳
شکل ۴-۲۵. اثر نسبت مایع به جامد بر دانسیته توده ای گرانول ، (سری ج) ۸۳
شکل ۴-۲۶. اثر مدت زمان اختلاط بر شکل گرانول: الف(۶دقیقه)، ب(۸دقیقه)، ج(۱۰دقیقه) – تصاویر میکروسکوپ الکترونی با بزرگ‌نمایی ۵۰، (سری ج) ۸۴
شکل ۴-۲۷. اثر مدت زمان اختلاط بر شکل گرانول: الف(۶دقیقه)، ب(۸دقیقه)، ج(۱۰دقیقه) – تصاویر میکروسکوپ الکترونی با بزرگ‌نمایی ۴۰۰، (سری ج) ۸۴
شکل ۵-۱. گرانول‌های تولید شده با قطر متوسط ۲ میلی‌متر در شرایط: سرعت همزن (۱۵۰دور بر دقیقه)،نسبت مایع به جامد ۲۷٪و زمان اختلاط۴(دقیقه) ۸۸
شکل ۵-۲. گرانول‌های تولید شده با قطر متوسط ۲ میلی‌متر در شرایط: سرعت همزن (۱۵۰دور بر دقیقه)،نسبت مایع به جامد ۲۷٪و زمان اختلاط۴(دقیقه) ، تصویر میکروسکوپ الکترونی با بزرگ نمایی ۵۰ ۸۸

فهرست علائم

نشانه	علامت
C	ثابت مواد برای کره ها
$d_p(m)$	قطر متوسط سطح
$d(m)$	قطر گرانول
$D(m)$	قطر ذره متشکله
$d_a(kg/m^3)$	دانسیته ظاهری
$D_d\,(m)$	قطر متوسط قطره
$F(N)$	نیروی متوسط برای جداسازی
e	ضریب ارتجاع
$h(m)$	فاصله شکاف بین کره ها
$h_a(m)$	ارتفاع مشخصه
$m_1(kg)$	جرم خالی ظرف
$m_2(kg)$	جرم خالی ظرف و جامد
$m_3(kg)$	مجموع جرم خالی ظرف، جامد و مایع
$Q(m^3/s)$	دبی مایع
$R_{pore}(m)$	شعاع حفره
$r(m)$	خمیدگی سطح پل مایع
$r_d(m)$	شعاع قطره
S_{max}	درصد بیشینه اشباع شدگی
ST_v	عدد استوکس
ST_d	عدد استوکس تغییر شکل پذیر
ST_v^*	عدد استوکس بحرانی
$t(s)$	زمان نفوذ قطره
$u(m/s)$	سرعت برخورد

$U_C(m/s)$	سرعت بر خورد
$V.(ml)$	حجم کل قطره
$V(m^3)$	حجم پیکنومتر
$W_{cs}(j)$	کار پیوستگی جامد
$W_{cl}(j)$	کار پیوستگی مایع
$W_A(j)$	کار چسپندگی
$W_S(m)$	عرض اسپری
$Y_d(kg/m.s^2)$	تنش تسلیم دینامیکی
$\gamma_{lv}(N/m)$	کشش سطحی مایع
$\gamma(j)$	انرژی آزاد سطح
$\lambda_{ls}(j)$	ضریب انتشار مایع بر جامد
$\lambda_{sl}(j)$	ضریب انتشار جامد بر مایع
ε	تخلخل سطح
$\vartheta_s(m/s)$	سرعت پودر
$\theta(rad)$	زاویه تماس بین مایع و جامد
ω	نسبت جرمی مایع به جامد
$\mu(kg/m.s)$	گران روی
$\rho, \rho_g(kg/m^3)$	دانسیته گرانول
$\rho_l(kg/m^3)$	دانسیته مایع
$\rho_s(kg/m^3)$	دانسیته ذرات جامد

`واژه نامه

Agglomeration	کلوخه شدن، انباشته شدن
Apparebt density	دانسیته ظاهری
Binder	مایعی که پودرها را به هم می چسپاند
Breakage	شکستن
Binder dispersion	پخش مایع پیوند دهنده
Binder delivery	ریختن مایع پیوند دهنده
Binder content	رطوبت محتوی
Bulk density	دانسیته توده ای
Bending test	آزمایش خمیدگی
brittle	شکننده
Chopper	ساطور، وسیله ای برای خرد کردن گرانول ها ی بزرگ
consolidation	محکم کردن، چلاندن، فشرده کردن
Contact angle	زاویه تماس
Conservative	به هم نگه دارنده
Capillary suction pressure	فشار مکش موئینگی
Coalescence	انعقاد ، به هم آمیختگی
Characterization	مشخصه بندی
Drop controlled	قطره کنترل شده
Dynamic strength	استحکام دینامیکی
deformation	تغییر شکل دادن
dissipative	پراکنده ساز
Ductile	شکل پذیر
Damage	آسیب دیدن
Debris	خرده

Densification	متراکم سازی
Disintegration	تفکیک
Elastic	کشسان
Growth	رشد
High shear mixer granulator	گرانولاتور اختلاطی با برش بالا
Flowability	جریان پذیری
Fracture	شکافتن
funicular	طنابی، بندی
Induction growth	رشد القایی (همراه با تأخیر)
impeller	همزن
Immersion	پخش
Layering	لایه گذاری
Liquid pore saturation	اشباع حفره مایع
Lubrication	روانسازی
Morphology	شکل شناسی
Mechanical dispersion	پخش مکانیکی
Liquid bridge	پل مایع
Nucleation	هسته زایی
Over- wet	فوق اشباع
Pendular	آونگی
Pseudo- droplet	شبه قطره ای
Plasticity	نرمینگی، حالت خمیری
Regime map	نقشه جریان
Size enlargement	بزرگ کردن اندازه
Steady growth	رشد پایا

Solid bridges	پل های جامد
Static strength	استحکام استاتیک
Shattering	خرد کردن
Spreading cofficient	ضریب انتشار
Wetting	خیس کردن
Wear	خاکه شدن
Yield stress	تنش تسلیم

فصل اول

مقدمه