



معاونت پژوهش و فناوری



پژوهشکده توسعه صنایع شیمیایی ایران

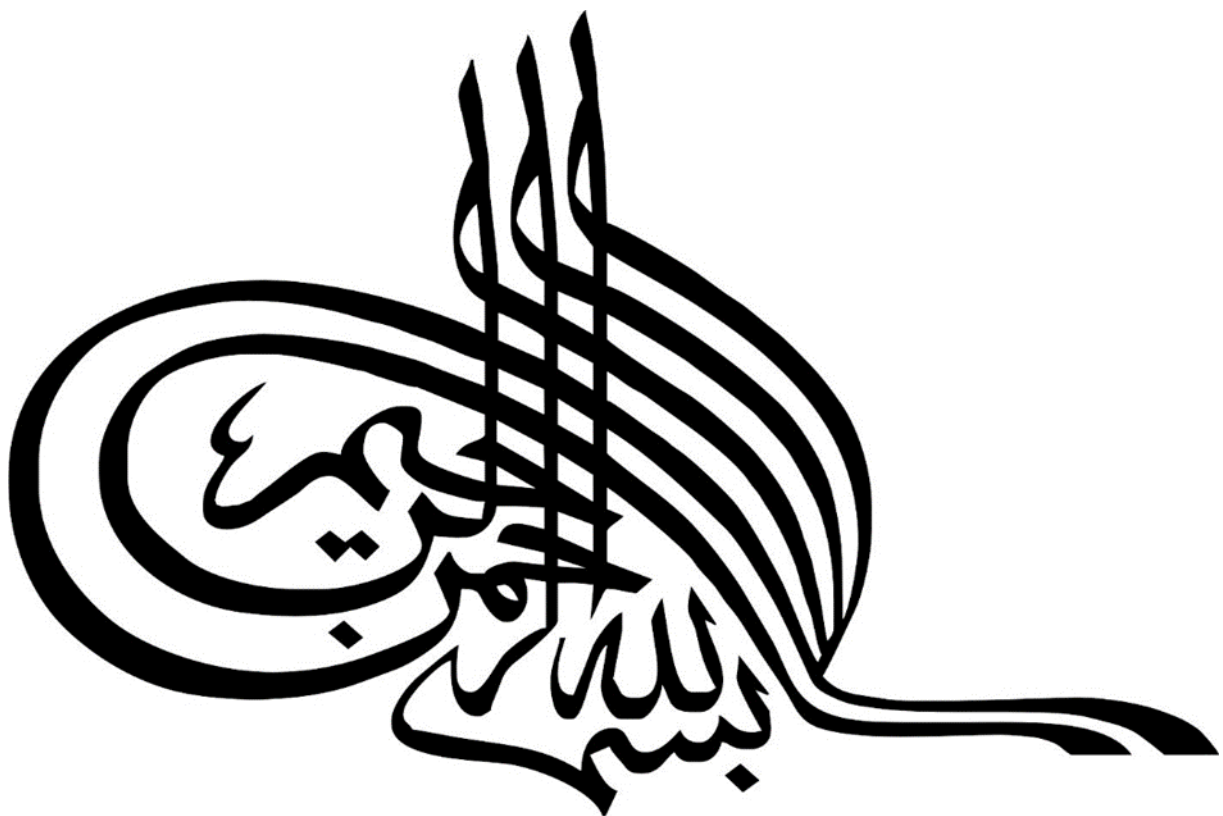
گزارش بخش آزمایشگاهی

طراحی و ساخت واحد تولید نشاسته حفاری با تحمل دمایی زیاد

پژوهشکده توسعه صنایع شیمیایی
گروه پژوهشی بیوتکنولوژی صنعتی

مجری طرح:

تهمینه کیانی دهکردی، عباس جعفری



چکیده

نشاسته دومین پلیمر طبیعی موجود در زمین است که به دلایلی چون فراوانی، دسترس پذیری آسان و زیست تخریب بودن، بسیار مورد توجه بوده است. صنعت حفاری یکی از صنایع مرتبط و نیازمند به این پلیمر طبیعی است. لیکن به دلیل شرایط کاری خاص نظیر دمای زیاد و تنش مکانیکی شدید، استفاده از این ماده طبیعی بصورت خام چندان مفید و موثر نبوده و نیازمند انجام اصلاحات و رفع برخی محدودیت های ساختاری در مولکول می باشد. اصلاحات ساختاری را به روش های مختلف می توان انجام داد. یکی از روش های رایج و کاربردی، اکستروژن نشاسته است. این روش در دستگاه اکسترودر و با استفاده از افزودنی های مختلف انجام می شود. انعطاف پذیری روش اکستروژن در اعمال شرایط عملیاتی مختلف و امکان تلفیق آن با سایر روش های اصلاحی، زمینه لازم برای تولید نشاسته با خواص و کاربری های مختلف را فراهم می کند. نشاسته حفاری از جمله محصولات است که با استفاده از اکستروژن می تواند تولید شود. در این گزارش، پس از بیان کلیات طرح تولید نشاسته حفاری، به بیان مراحل انجام بخش آزمایشی برای تعیین ایتیم های طراحی تجهیزات مورد نیاز جهت ساخت واحد تولید نمونه مورد نظر پرداخته شده است. در هرگام از بخش آزمایشی، برای اطمینان از صحت طی مسیر، نمونه تولیدی مورد آنالیز عملکردی قرار گرفت. برای تکمیل بررسی ها، نمونه خام، فراوری شده داخلی و فراوری شده خارجی مورد استفاده در صنعت نفت، آنالیز شده و مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد که ایتیم های مورد نظر برای طراحی دستگاه و فرایند، منتج به تولید نمونه مورد نظر میشود. با طی روند مذکور، ایتیم های طراحی و ساخت خط تولید نشاسته حفاری تعیین شد.

کلمات کلیدی: سیال حفاری، نشاسته حفاری، اکستروژن، اکسترودر نشاسته

فهرست عناوین

عنوان	شماره صفحه
فصل اول - کلیات	۱
۱-۱- مقدمه	۲
۱-۲- بیان مساله، اهمیت و ضرورت آن	۲
۱-۳- اهداف و کلیات طرح	۲
۱-۴- مقدمه ای بر سیال حفاری	۳
۱-۵- شناسته حفاری	۴
۱-۶- استاندارد ارزیابی خواص شناسته حفاری	۴
۱-۷- معرفی روش اکستروژن	۶
۱-۸- مزایا و معایب روش اکستروژن	۷
۱-۹- انواع اکسترودرها	۷
۱-۹-۱- اکسترودر تک مارپیچ	۷
۱-۹-۲- اکسترودر دو مارپیچ	۸
۱-۱۰- سیستم اکسترودر بکار رفته برای شناسته و اجزای آن	۸
۱-۱۱- تقسیم بندی اکسترودرها از نظر تغذیه	۱۰

۱۱

۱-۱۲- کاربرد اکستروژن برای نشاسته

۱۲

فصل دوم- بخش تجربی

۱۳

۲-۱- مقدمه

۱۳

۲-۲- طراحی آزمایش

۱۳

۲-۳- تست های آزمایشی

۱۷

۲-۴- تست های ساختاری

۲۲

منابع

فهرست نمودار، شکل، جدول

عنوان	شماره صفحه
جدول ۱-۱. پارامترهای ارزیابی خواص نشاسته مطابق استاندارد API 13A 18th Edition	۶
شکل ۱-۱. نمای شماتیک یک سیستم اکستروژن واکنشی که برای اصلاح نشاسته استفاده می‌شود: (۱) فیدر وزنی برای نشاسته. (۲) و (۳) پمپ اندازه‌گیری؛ (۴) پمپ خلا؛ (۵) اکسترودر دو مارپیچ؛ (۶) قیچی برای برش رشته مواد خروجی در حالت خشک	۹
شکل ۱-۲. انجام تست های آزمایشی اکستروژن نشاسته با اکسترودر محصولات غذایی روغنی	۱۴
شکل ۲-۲. انجام تستهای آزمایشی اکستروژن نشاسته با اکسترودر سویا/ خوراک آبزیان	۱۴
شکل ۲-۳. آنالیز نمونه تولیدی آزمایشی مطابق استاندارد API توسط آزمایشگاه مرجع	۱۵
شکل ۲-۴. انجام تستهای اکستروژن نشاسته با اکسترودر طراحی و ساخته شده توسط پژوهشکده توسعه صنایع شیمیایی	۱۶
شکل ۲-۵. آنالیز نمونه تولیدی با دستگاه طراحی و ساخته شده در پژوهشکده، مطابق استاندارد API توسط آزمایشگاه مرجع	۱۷
شکل ۲-۶. طیف FTIR برای سه نمونه نشاسته سیب زمینی خام (a)، نمونه فراوری شده خارجی مورد استفاده در صنعت نفت (b) و نمونه فراوری شده داخلی (c)	۱۸
شکل ۲-۷. الگوی پراش اشعه ایکس برای نمونه نشاسته خام سیب زمینی (a)، نمونه فراوری شده خارجی مورد استفاده در صنعت نفت (b) و نمونه فراوری شده داخلی (c)	۱۹
شکل ۲-۸. تصاویر SEM برای نمونه نشاسته خام سیب زمینی (a)، نمونه فراوری شده خارجی مورد استفاده در صنعت نفت (b) و نمونه فراوری شده داخلی (c)	۲۰

فصل اول

کلیات

فصل اول - کلیات

۱-۱- مقدمه

راه اندازی واحد صنعتی تولید نشاسته حفاری، یک طرح پژوهشی کاربردی است که بر مبنای نیازسنجی در بخشهای مختلف صنعت کشور ارائه و اجرا می شود. در این بخش با معرفی اجمالی از محصول نهایی و برخی ظرفیت های موجود، به بیان زیرساخت مورد نیاز برای تولید محصول مورد نظر، بطور مختصر پرداخته میشود.

۱-۲- بیان مساله، اهمیت و ضرورت آن

نظر به نیاز جدی بخش حفاری صنعت نفت برای تامین نشاسته حفاری از یکسو و لزوم تبدیل ضایعات و مازاد سیب زمینی تولید شده در کشور به ارزش افزوده از سوی دیگر، ایده تبدیل سیب زمینی تولیدی درجه ۲ و ۳ و مازاد بر نیاز کشور به نشاسته اصلاح شده مورد استفاده در صنعت حفاری تحت عنوان نشاسته حفاری شکل گرفت. استان اردبیل یکی از قطبهای کشاورزی کشور است که در زمینه تولید سیب زمینی ظرفیت قابل توجهی داشته، اما بدلیل ضعف در برخی زیرساختها نظیر انبارداری، بازاریابی و بازاریابی و ...، بخش عمده ای از محصول تولید شده به ضایعات و دورریز تبدیل میشود. لذا در اجرای ایده، نشاسته سیب زمینی بعنوان ماده اولیه برای تولید این محصول و استان اردبیل بعنوان تامین کننده ماده اولیه مورد نیاز آن منظور شد.

۱-۳- اهداف و کلیات طرح

هدف کلی از این طرح تولید نشاسته حفاری و تامین بخشی از نیاز کشور به این ماده صنعتی با تولید داخلی است. در همین راستا اهداف دیگری چون دستیابی به فناوری تولید نشاسته حفاری و بومی سازی آن، تبدیل سیب زمینی مازاد تولید شده در کشور (خصوصا اردبیل) به ارزش افزوده، ایجاد اشتغال با استقرار واحد تولیدی نهایی در استان اردبیل و ... نیز مدنظر بوده است.

کلیات طرح در سه بخش مطالعاتی، آزمایشگاهی و پایلوت برنامه ریزی شد. در فاز مطالعاتی، بررسی های اولیه مربوط به ایده و کلیه جوانب علمی و فنی انجام گرفت. بررسی ساختار نشاسته، ویژگی ها و محدودیت های ساختاری این ماده در مواجهه با شرایط عملیاتی مختلف، انواع روشهای اصلاح برای رفع عیوب ساختاری این ماده، نوع اصلاحات مورد نیاز برای تبدیل نشاسته خام به نشاسته اصلاح شده مورد نیاز در صنعت حفاری از جمله مواردی است که با مرور مطالعات انجام شده در زمینه نشاسته، در این بخش انجام شد. در بخش آزمایشگاهی، روش/ روشهای برگزیده برای اجرا در مقیاس آزمایشگاهی معرفی و انجام میشوند. با استفاده از نتایج بدست آمده در این بخش، برنامه ریزی برای بخش پایلوت صورت میگیرد. با توجه به اینکه اجرای بخش پایلوت، نیازمند زیرساخت لازم برای اجرای روش تولیدی انتخابی است، تامین زیرساخت لازم (خرید/ ساخت) برای اجرای روش تولیدی و حل مسائل مرتبط نظیر تامین مالی، تامین فضای فیزیکی و ... از جمله مواردی است که در این مرحله می بایست بررسی و حل گردد.

۱-۴- مقدمه ای بر سیال حفاری

حفاری فرایندی تعیین کننده برای بازیابی مواد مهم زیرزمینی مانند نفت، گاز، فلزات گرانبها، آب و دیگر منابع طبیعی می-باشد [۱]. توسعه مناسب این عملیات نقش مهمی در بهره وری چاه دارد. سنگ ریزه-های حاصل از حفاری، به طور پیوسته از درون چاه بیرون کشیده می-شود. در چاه-های با عمق کم (کمتر از چند صد متر)، خارج کردن سنگ ها با تزریق گاز تحت فشار از طریق یک میله حفاری توخالی انجام می-شود و سنگ ریزه-ها از راه فضای میان لوله حفاری و چاه خارج می-شود. در چاه-های عمیق از آب یا سیالات دیگر برای خارج کردن سنگ ریزه-ها استفاده می-شود. این سیالات را در اصطلاح سیالات حفاری و یا گل حفاری می-گویند [۲]. از لحاظ تاریخی هدف اول در استفاده از سیالات حفاری، بکارگیری آن به عنوان وسیله ای برای حمل و حذف قلوه سنگ-ها از جلو مته حفاری بود. اما در حال حاضر با توجه به وظایف سیالات حفاری در عملیات-های مختلف، کارایی-های متنوعی در ساخت آن دنبال می-شود که می-توان به تعلیق قلوه-سنگ-ها و جلوگیری از ته-نشینی آنها، خنک-کاری لوله-ها و مته حفاری، کاهش اصطکاک بین تشکیلات و تجهیزات حفاری، حفظ ثبات چاه و جلوگیری از فرو ریختن آن اشاره کرد [۳-۴].

سیالات حفاری مختلف مانند سیالات پایه آبی، پایه نفتی و هوا به طور معمول در شرایط مختلف حفاری مورد استفاده قرار می-گیرند. در میان این سیالات، متداول ترین آنها سیالات پایه آبی می-باشند که تقریباً در ۸۰ درصد چاه-ها استفاده می-شوند و نسبت به سیالات پایه نفتی مقرون به صرفه تر می-باشند [۵]. این نوع سیالات در عملیات حفاری در ایران و جهان دارای بیشترین کاربرد هستند. جهت تهیه آنها می-توان از آب شیرین، آب شور و یا آب همراه با افزودنی-های دیگر نظیر مواد رسی، نمک-های مختلف و انواع پلیمرها استفاده نمود.

۱-۵- نشاسته حفاری

نشاسته حفاری نوعی پلیمر آبخواه است که چندین نوع پلی ساکارید در ساختار خود داشته و دارای فرمول شیمیایی $(C_6H_{10}O_5.H_2O)_n$ می باشد [۶]. این پلیمر آبخواه، نوعی پودر بی بو است که با انجام اصلاحات فیزیکی و شیمیایی بر نشاسته خام بدست می آید. رنگ سفید مایل به کرم دارد و از حلالیت آن در آب pH خنثی حاصل می شود. بطور عمده در کلیه مایعات حفاری پایه آبی قابل پخش و حل شدن است. جرم مخصوص آن بین 250-350 kg/cm³ بوده و در حدود دمای ۱۰۷ درجه سانتیگراد تجزیه می شود. معمولاً در گل های سنگین و حداکثر تا دمای ۱۸۰-۲۰۰ درجه فارنهایت کارائی دارد و در دماهای بیشتر تخریب می شود. میزان مصرف آن متفاوت و معمولاً از ۱۰ تا ۱۴ پوند در بشکه است. در دسته بندی صنعتی این محصول را به دو دسته سبز و قرمز تقسیم می کنند. نشاسته سبز، از نشاسته خام سیب زمینی بدست می آید که به عنوان نشاسته کم قوام یا نشاسته با ویسکوزیته کم شناخته می شود. نشاسته قرمز از نشاسته خام گندم یا ذرت حاصل می شود. به نشاسته اصلاح شده گندم و ذرت، نشاسته با قوام متوسط یا نشاسته با ویسکوزیته متوسط اطلاق می شود [۶].

وظیفه ی اصلی نشاسته، کاهش افت صافاب سیال حفاری است. با این حال هنگام قرارگرفتن در آب توانایی جذب مولکول های آب و تورم را دارد، بنابراین ایجاد خاصیت گرانروی مناسب نیز یکی دیگر از پیامدهای افزودن آن به سیال حفاری است. برای تثبیت رئولوژی و کاهش عبوردهی کیک فیلتراسیون بکار می رود. برای خنک کاری، روانکاری خرده ها و مواد حاصل از حفاری که سر مته جمع می شود و جهت انتقال آن به نقاط دورتر استفاده می شود. نیز از طریق کنترل فیلتراسیون، موجب پایداری چاه حفاری شده می شود [۷].

برای تولید نشاسته حفاری منابع مختلف وجود دارد. از عمده ترین منابع تولید نشاسته می توان به ذرت، گندم، کاساوا (تاپیوکا) و سیب زمینی اشاره کرد. در کشور ما با توجه به تولید سیب زمینی به مقدار زیاد، این محصول کشاورزی می تواند بعنوان یکی از منابع مهم تولید نشاسته محسوب شود.

در مورد مقدار نیاز کشور به نشاسته حفاری آمار چندان دقیق وجود ندارد ولی مطابق آنچه که در بعضی گزارشهای ارائه شده از طرف وزارت نفت وجود دارد، میزان مصرف سالیانه این ماده در کشور حدود ۴۰۰۰ تن است که از این مقدار، درصد قابل توجهی از طریق واردات (بصورت رسمی و غیر رسمی) تامین میشود. نظر به واردات قابل توجه این ماده، نیز انجام حفاری های جدید در برخی نقاط کشور، افزایش سهم تولید داخل و کسب مزایایی چون کاهش خروج ارز از کشور، خودکفایی ... یک نیاز و ضرورت جدی برای کشور به نظر میرسد.

۱-۶- استاندارد ارزیابی خواص نشاسته حفاری

برای ارزیابی خواص و مشخصات محصول، استانداردهای مختلفی وجود دارد که در این پژوهش از استاندارد ۱۳ A 18th Edition API استفاده می‌شود. طبق استاندارد مذکور دو آزمون ویسکوزیته و هرزروی سیال برای نمونه انجام می‌شود.

نحوه انجام آزمون: برای انجام آزمونهای مذکور لازم است که ابتدا گل نشاسته تهیه شود. برای تهیه گل نشاسته از آب دریا (۴٪ نمک) استفاده می‌شود. برای تهیه گل نشاسته، ۱۴ گرم نشاسته به ۳۵۰ میلی لیتر آب نمک مذکور (۷۵ پوند بر فوت مکعب) افزوده شده و مخلوط حاصل به مدت ۲۰ دقیقه در دمای محیط و دور ۱۱۵۰۰ (rpm) همزده می‌شود.

پس از این مرحله لازم است که مخلوط وزن داشته باشد لذا با فرمولاسیون خاص به مخلوط فوق دو ماده وزن افزای سولفات باریم (BaSO_4) و اکسید آهن (Fe_2O_3) افزوده میشود بطوریکه دانسیته مخلوط از ۷۵ به ۱۵۰ پوند بر فوت مکعب برسد. این فرایند اختلاط نیز در یک همزن با دور ۱۱۵۰۰ (rpm) و به مدت ۱۰ دقیقه، در دمای محیط انجام میشود.

پس از تهیه گل، دو آزمون ویسکوزیته و هرزروی سیال برای مخلوط حاصل انجام میشود:

- آزمون ویسکوزیته (تست رئولوژی): برای انجام این آزمون، نمونه داخل لیوان مخصوص با حجم ۳۰۰ سی سی ریخته شده و در دستگاه ویسکومتر قرار میگیرد. این دستگاه دارای حدود انتخاب شده خاصی است که هر بار نمونه تحت شرایط اعمال شده در آن نقطه مشخص قرار گرفته و ویسکوزیته آن خوانده میشود.
 - آزمون صافاب: برای انجام این تست، نمونه داخل فنجان مخصوص (به کاپ معروف است) ریخته میشود. درب فنجان کاغذ صافی گذاشته شده و روی آن درب مشبک فنجان بسته میشود. فنجان دارای یک سوراخ در کف است که بصورت وارونه به ستون دستگاه بسته شده و نمونه روی صفحه مشبک قرار میگیرد. نمونه تحت فشار ۱۰۰ psi به مدت ۳۰ دقیقه قرار گرفته و مقدار سیال خروجی از صفحه مشبک اندازه‌گیری می‌شود.
- تست صافاب مهم‌ترین تست استاندارد نشاسته حفاری است و در صورتیکه نمونه این تست را طی نکند مردود اعلام می‌شود.

طبق استاندارد API 13A 18th Edition حدود و مقادیر مربوط به هر یک از آزمونها در جدول زیر آمده است [۸]:

جدول ۱-۱. پارامترهای ارزیابی خواص نشاسته مطابق استاندارد API 13A 18th Edition

ملزومات	استاندارد
خواص سوسپانسیون	
خواندن شاخص ویسکومتر در ۶۰۰rpm	
در آب نمک ۴۰g/lit	بیشینه ۱۸
در آب نمک اشباع	بیشینه ۲۰
حجم صافاب، میلی لیتر	
در آب نمک ۴۰g/lit، میلی لیتر	بیشینه ۱۰
در آب نمک اشباع، میلی لیتر	بیشینه ۱۰
ذرات باقیمانده بیشتر از ۲۰۰۰μm	بدون باقیمانده

برای ایجاد تغییر در خواص نشاسته، انجام اصلاحات ساختاری و رفع محدودیت‌های کاربردی این پلیمر، روش‌های مختلفی وجود دارد. یکی از روش‌های رایج که علاوه بر جنبه تحقیقاتی، در بسیاری از مقوله‌های صنعتی هم کاربرد یافته، اکستروژن است. این روش با دستگاہی به نام اکسترودر انجام می‌شود. اکستروژن یکی از روش‌های موثر برای اصلاح ساختار نشاسته است که به دلیل مزایای آن، جایگزین بسیاری از روش‌های عملیاتی دیگر شده است.

۱-۷- معرفی روش اکستروژن

اکسترودر به مجموعه مارپیچ حلزونی و قالب پرس، گفته می‌شود که توسط آن مخلوط مواد تحت فشار و عبور از مارپیچ حلزونی و قالب پرس با اشکال مورد نظر و اندازه‌های معین فراوری می‌شود. اکستروژن فعال بعنوان یک واکنش جریانی در فرایند اکستروژن پلیمرها در اکسترودر می‌باشد [۹]. اولین بار اکستروژن فعال در ۱۹۸۰ و برای اصلاح پلیمرهای سنتزی مورد استفاده قرار گرفت. پس از آن، با توسعه این تکنولوژی، موارد متنوعی از کاربرد آن از جمله در پلیمریزاسیون، شاخه‌دار کردن، کراسلینک کردن و تعریف شد. تاکید در کاربرد اکسترودر در دو دهه گذشته به حدی بوده که مطالعه برای تهیه و اصلاح پلیمرها برای صنایع پلاستیک و از طریق تولید رزین‌های جدید و غیرمعمولی، ترموپلاستیک و دیگر پلیمرهای سنتزی، با استفاده از اکستروژن، برای صنایع بصورت جدی انجام گرفته و تداوم دارد. با استفاده از اکستروژن فعال که خود شامل فرایندهایی نظیر شکست ویسکوزیته، شاخه دار کردن، کراسلینک کردن و کوپلیمر کردن است، بسیاری از فرایندهای پلیمریزاسیون و فرایندهای اصلاحی ترکیبی را می‌توان انجام داد [۱۱-۱۰].

کاربرد اکستروژن برای نشاسته، اولین بار در صنایع غذایی مورد مطالعه قرار گرفت. اکستروژن مواد غذایی با قدمت بیش از ۵۰ سال برای تهیه غذاهای آماده (انواع سرلاک و دسرهای آماده) ادامه داشته است [۱۲]. این کاربری ابتدا با اکسترودر تک ماردون آغاز شد و از دهه ۱۹۷۰ اکسترودر دوماردون وارد صنایع غذایی شد. این کاربرد در دهه ۱۹۸۰ توسعه یافت. در این بازه، اکسترودر دوماردن بطور وسیعی بعنوان راکتور برای اصلاح پلیمرهای دوگانه با اسید، قلیا و آنزیم‌ها مورد استفاده قرار گرفت. پس از آن مطالعات برای تهیه نشاسته اصلاح‌شده با استفاده از اکسترودر بعنوان یک راکتور پیوسته آغاز شد [۱۳].

۱-۸- مزایا و معایب روش اکستروژن

اکستروژن فعال، امکان استفاده از یک اکسترودر بعنوان راکتور شیمیایی، مدیریت و کنترل رفتار پلیمرهای ویسکوز در عدم حضور حلال را ایجاد می‌کند. همچنین انعطاف‌پذیری عملیاتی وسیع، منتج از دامنه وسیعی از شرایط فرایندی (۵۰۰-۷۰ بار و ۵۰۰-۷۰ درجه سانتیگراد)، امکان تزریق چندتایی برای مواد و افزودنی‌ها، کنترل زمان ماند (توزیع مواد اولیه و محصولات) و درجه اختلاط، از جمله مزایای این فرایند می‌باشد [۱۴]. پیچیدگی روش اکستروژن و فقدان دانش کافی نسبت به بسیاری از تغییراتی که ضمن این فرایند در ساختار ماده ایجاد می‌شود از موارد نقص این روش بوده و نیازمند مطالعات پایه‌ای بیشتر است [۱۳].

۱-۹- انواع اکسترودرها

اگرچه استفاده از اکسترودر با چند مارپیچ موازی گزارش شده است [۱۵] ولی رایج‌ترین اکسترودرهایی که تاکنون مورد استفاده قرار گرفته‌اند اکسترودرهای تک ماردون (تک مارپیچ) و دوماردون (دومارپیچ) هستند که بطور گسترده در دنیا مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۱۶].

۱-۹-۱- اکسترودر تک مارپیچ

این اکسترودرها با یا بدون برل‌های پنجه‌ای ساخته می‌شوند. همچنین با مارپیچ‌های تک قطعه یا قطعات لغزنده روی مارپیچ و سایر طراحی‌های دیگر ساخته می‌شوند. این نوع اکسترودرها عموماً دارای سه قسمت اساسی در ساختار خود هستند که شامل ناحیه خوراک اولیه، ناحیه مذاب و ناحیه پمپ می‌باشد. همچنان که مواد بوسیله چرخش مارپیچ به جلو رانده می‌شوند، نیروی دراگ موجب کاهش لغزش مواد در دیواره برل می‌شود. در مقابل در اثر فشار برعکس در دای، جایی که شکل‌گیری اتفاق می‌افتد، جریان فشاری ایجاد می‌شود. جریان‌های پرتی، بین چرخش‌های مارپیچ و دیواره برل ایجاد می‌شود، درحالی‌که جریان آرام درون کانال‌های مارپیچ اتفاق می‌افتد [۱۲].

۱-۹-۲-اکستردر دو مارپیچ

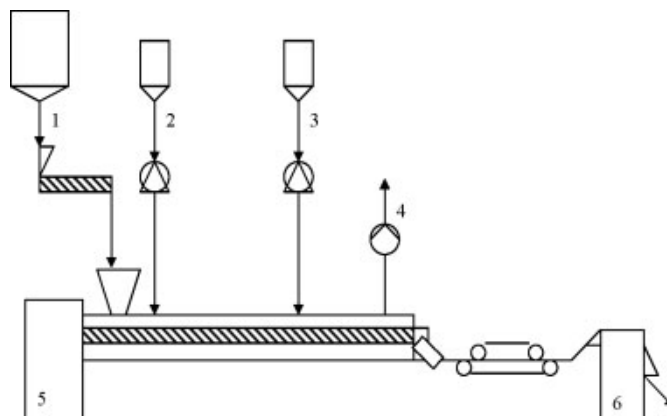
اکستردرهای دومارپیچ عموماً به دو دسته همسو و ناهمسو، با قابلیت درهم آمیختن و بدون آن تقسیم می‌شوند. مارپیچ‌های موازی دوتایی در یک اتاقک برل افقی مستقر شده و سایر قطعات روی آن مستقر می‌شوند. رایج‌ترین نوع اکستردر دوماردون، مدلی است که دارای مارپیچ همسو با قابلیت درهم‌آمیختن است. این نوع اکستردرها برای فرایندهای اکستروژن فعال بسیار مناسب اند چراکه کنترل وسیعتری بر توزیع زمان اقامت دستگاه وجود دارد، همچنین شدت اختلاط خوب، انتقال حرارت بیشتر و قابلیت خود پاک‌کردن از دیگر مزایای این نوع اکستردر می‌باشد. بطور کلی مخلوط‌کننده‌های بدون قابلیت درهم‌آمیختگی و با جریان ناهمسو، قابلیت ایجاد فشار و گشتاور ضعیفی دارند [۱۷-۱۸]. برخی از مزیت‌های مارپیچ‌های مذکور، عبارتند از [۲۰-۱۹]:

اجزای لغزنده مارپیچ برای انتقال، مخلوط کردن، ورز دادن مواد، محدودیت جریان و پمپ کردن طراحی می‌شوند. اجزای ورز دادن برای افزایش اختلاط، تنش و انتقال حرارت در مواد بکار می‌روند. اجزای مارپیچ با گام معکوس برای جریان مواد محدود و به منظور پرکردن فضاهای خالی داخل مارپیچ، افزایش زمان اقامت، بهبود اختلاط مواد و افزایش تنش در نقاط توافق یا ماند مواد است. مارپیچ با گام معکوس همچنین برای سرمایش و خوراک دهی بکار می‌رود. بیشتر اکستردرهای دو مارپیچ برای گرمایش، سرمایش و اندازه‌گیری دمای برل و مواد در نواحی کنترل‌شده منفک و جدا، نیز برای خوراک‌دهی جامد و مایع در نقاط بسیاری در طول برل طراحی می‌شوند. بازه سرعت مارپیچ تا ۷۰۰ دور بر دقیقه هم می‌تواند باشد. عموماً هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه، تعمیر و نگهداری برای اکستردرهای دومارپیچ نسبتاً زیاد است درحالی‌که قابلیت ایجاد فشار و گشتاور برای اکستردرهای تک مارپیچ بیشتر است. اختلاط، انتقال مواد، انتقال حرارت، یکنواختی نرخ تنش ایجاد و اعمال شده، توزیع زمان اقامت و انطباق‌پذیری اکستردرهای دومارپیچ بیشتر از تک مارپیچ است. مضاف بر اینکه اکستردر دو مارپیچ همسو با قابلیت درهم‌آمیختگی، شرایط بهتری را برای ایجاد فشار در طول‌های کم مارپیچ فراهم می‌کند [۲۰-۱۱].

۱-۱۰-سیستم اکستردر بکار رفته برای نشاسته و اجزای آن

یک سیستم اکستردر شامل دستگاه اکستردر و تجهیزات جانبی است. شکل ۱-۲-۱ نمایی از یک سیستم اکستردر فعال بکار رفته برای فرایند اصلاح نشاسته را نشان می‌دهد. برخی از این تجهیزات جزء ساختار اکستردر محسوب می‌شود. قسمت خوراک دهی جرمی نیازمند یک اکستردر دوگانه است که کار خودپاک کردن را انجام دهد. پمپ اول مواد شیمیایی را برای انجام اصلاحات تامین می‌کند و پمپ دوم مواد شیمیایی را برای خنثی‌سازی سیستم واکنشی تامین می‌کند. آب در برل‌های بسته، به بخار تبدیل شده و از طریق کانال‌های باز محوری در مارپیچ در جهت‌های بالا و پایین حرکت می‌کند بطوریکه بخشی از بخار از خروجی برل خارج شده و مواد به حد رطوبت

مورد نظر نهایی می‌رسند. از آنجایی که نشاسته و مشتقات نشاسته محلول درآبند، یک خشک‌کن و قیچی برای بریدن رشته مواد خروجی لازم است [۱۳].



شکل ۱-۱. نمای شماتیک یک سیستم اکستروژن واکنشی که برای اصلاح نشاسته استفاده می‌شود: (۱) فیدر وزنی برای نشاسته. (۲) و (۳) پمپ اندازه‌گیری؛ (۴) پمپ خلا؛ (۵) اکسترودر دو مارپیچ؛ (۶) قیچی برای برش رشته مواد خروجی در حالت خشک

همچنین برای دستگاه اکسترودر اجزای زیر لحاظ می‌شود [۲۱-۲۲]:

- کیف تغذیه: محلی است که آمیزه (مواد) وارد اکسترودر می‌شود. بسته به نوع تغذیه شکل کیف متفاوت است. اندازه کیف و خوراک‌دهی یکنواخت در این قسمت حائز اهمیت است.
- پوسته یا بدنه اکسترودر: یک استوانه فلزی است که مارپیچ را احاطه می‌کند. در داخل این استوانه حفره‌هایی تعبیه می‌شود تا با عبور آب سرد و گرم بتوان درجه حرارت اکسترودر را کنترل کرد. در صورت عدم کنترل دمای بدنه اکسترودر، مخلوط مواد داغ می‌شود. این پدیده باعث خروج مواد محصول به صورت برشته یا سوخته خواهد شد.
- مارپیچ: یک استوانه با شیارهای ایجاد شده بر بدنه آن است که بصورت چرخشی با زاویه دلخواه روی بدنه استوانه مذکور طراحی شده‌اند. مارپیچ داخل پوسته اکسترودر قرار می‌گیرد. این قطعه با چرخش حول محور اکسترودر، مواد را در راستای محور اکسترودر به جلو می‌راند. مارپیچ باید به مقدار کافی انرژی مکانیکی انتقال دهد تا هم مخلوط مواد نرم شده و هم با فشار عقب‌برنده دای مقابله نماید. در طراحی مارپیچ‌های بکار برده شده در اکسترودر، بررسی‌های خاص لازم است. برای آنکه خرد شدن به مقدار لازم صورت گیرد، لازم است ارتفاع پره مارپیچ کم و طول مارپیچ زیاد باشد.

مارپیچ یک اکسترودر ساده دارای سه قسمت تغذیه، قسمت انتقالی یا سنجش و قسمت فشرده شدن می باشد. هر قسمت مارپیچ نقش جداگانه ای دارد. قسمت تغذیه، مواد را از قیف تغذیه انتقال می دهد. قسمت انتقالی مواد را حرارت داده و مخلوط می کند. قسمت فشرده سازی یکنواخت کننده است و فشار لازم برای راندن مواد از درون دای در آن ایجاد می گردد. درون مارپیچ نیز کنترل درجه حرارت وجود دارد. داخل مارپیچ مجراهایی تعبیه شده که از داخل آن آب می تواند عبور کند تا کنترل درجه حرارت انجام شود. سرعت مارپیچ در دمای اکسترودر تأثیر زیادی دارد. در مقدار تغذیه ثابت، افزایش سرعت مارپیچ باعث افزایش دمای محصول خروجی از اکسترودر می شود. سرعت ایده آل در اکسترودرهای مارپیچی حد سرعتی است که بتواند خوراک را از قسمت تغذیه دریافت و از جمع شدن آن در قیف تغذیه جلوگیری کند.

- هد(کَلگی): هدف از بکارگیری هد، متعادل ساختن و یکنواخت نمودن فشار و انتقال مخلوط مواد به سمت قالب است. شکل هد باید طوری طراحی شود تا بتواند نیازمندی های زیر را تأمین کند:
تأمین حداکثر محصول خروجی بدون هیچ مشکل و بی نظمی
جبران تغییر شکل ناشی از خواص بازگشت الاستیکی مخلوط مواد
حذف نواحی ساکن و ایستا که احتمالاً در مسیر مخلوط مواد ایجاد می شود.
- قالب(دای): قالب جسمی است که بر روی کَلگی(هد) قرار می گیرد و باعث می شود مخلوط مواد هنگام خروج شکل مورد نظر را به خود بگیرد. به طور کلی طراحی دای نیازمند مهارت و تجربه فراوان است.

۱-۱- تقسیم بندی اکسترودر ها از نظر تغذیه

با توجه به دمای خوراک بکاررفته برای اکسترودر که از عوامل موثر بر فرایند است، این دستگاه ها به دو دسته تغذیه گرم و تغذیه سرد تقسیم می شوند. معمولاً خوراک مورد نیاز برای اکسترودرهای گرم که در صنعت لاستیک به کار گرفته شده اند قبلاً طی عملیاتی جداگانه پیش گرم می شوند. در روش های معمول اکستروژن گرم معمولاً از یک میل برای این کار استفاده می شود. اکسترودرهای سرد با استفاده از یک نوار لاستیکی یا لاستیک های دانه ای در دمای محیط کار می کنند. تفاوت عمده فیزیکی میان اکسترودرهای سرد و گرم در نسبت طول به قطر مارپیچشان می باشد. برای ماشین های گرم که قسمت قابل ملاحظه ای انرژی جهت گرم کردن و پلاستیکی کردن مخلوط لاستیک روی میل انجام می شود، عمل مارپیچ اکسترودر صرفاً انتقال و اعمال فشار می باشد. این مساله باعث می شود که ماشین مذکور کوچک بوده و طول مارپیچ بر حسب قطر آنها از D3 تا D5 باشد. در اکسترودرهای سرد لازم است علاوه بر عملیات اعمال و انتقال فشار بوسیله مارپیچ، مارپیچ بتواند عملیات مکانیکی لازم جهت بالا بردن دما و رسیدن به درجه حرارت مورد نظر را برای خوراک انجام داده و نرمی مواد هنگام خروج از دای را بوجود آورد. این امر باعث می شود که مارپیچ ها دارای طول هایی بیشتر در محدوده ۹ تا D15 باشند. در بعضی کاربردها

ممکن است از مارپیچ^۶های بزرگتر نیز استفاده شود. اکسترودرهای سرد بطور گسترده جایگزین انواع اکسترودر گرم در خطوط تولید شده^۶اند. این جایگزینی بیشتر در خطوطی صورت گرفته که کار دراز مدت و یا دقت در اندازه^۶گیری ابعادی صحیح مورد نظر بوده است [۲۱].

۱-۱۲- کاربرد اکستروژن برای نشاسته

از اکستروژن فعال برای ایجاد تغییرات مختلف در ساختار نشاسته و انجام انواع اصلاحات فیزیکی و شیمیایی می^۶توان استفاده کرد. از جمله این موارد می^۶توان به تولید کوپلیمرهای پیوندی نشاسته ، نشاسته کاتیونیک ، نشاسته اکسید شده ، گلیکوساید اشاره کرد. در طول دهه^۶های اخیر توسعه، اکستروژن فعال بصورت گسترده در اصلاح پلیمرهای سنتزی و تولید رزینها و ترموپلاستیک های جدید کاربرد یافته است. علاوه بر آن اکستروژن در صنایع حفاری نیز مورد استفاده قرار گرفته است. برای این کار اکسترودر تک یا دو مارپیچ بعنوان یک راکتور موثر برای تهیه انواع نشاسته اصلاح^۶ شده از جمله نشاسته کاتیونیک، نشاسته اکسید شده، نشاسته استری^۶ شده، نیز تبدیل نشاسته به گلیکوساید و کوپلیمرهای پیوندی نشاسته می^۶باشد. این روش^۶های موثر کاربردی نشان می^۶دهد که اکستروژن فعال یک راه امکانپذیر و پربازده برای اصلاح نشاسته و تولید محصولات با کاربری بهتر می^۶باشد. بازدهی زیاد و سرعت افزایشی برای هر واکنش اصلاحی که در اکسترودر انجام می^۶شود نسبت به حالت غیریپوسته آن قابل توجه است. هرچند تحقیقات برای اصلاحات نشاسته با استفاده از اکستروژن فعال همچنان ادامه دارد و هنوز بسیاری از جوانب مطلب از جمله درک مکانیسم^۶ها و کنترل فرایند نیازمند مطالعه است [۱۳].

فصل دوم

بخش تجربی

فصل دوم- بخش تجربی

۲-۱- مقدمه

در این بخش پس از انجام مطالعات مروری بر فرایند اکستروژن و نحوه عملکرد اکسترودر، طراحی آزمایش اولیه برای تعیین ایت‌م‌های طراحی دستگاه و سایر تجهیزات خط تولید انجام شد. برای پیاده سازی طراحی آزمایش مورد نظر، اقدام به تامین زیرساخت آزمایشی شد. پس از جستجوی گسترده، زیر ساخت آزمایشی بصورت موقت تامین شده و با استفاده از آن طراحی آزمایش پیاده شد.

۲-۲- طراحی آزمایش

طراحی آزمایش بر اساس فاکتورهای موثر در فرایند اکستروژن، بدست آمده از منابع مطالعاتی مختلف انجام شد. پارامترهای ترکیب درصد خوراک، پروفایل حرارتی در طول مارپیچ، دور چرخش مارپیچ، دور فیدر، نوع دای و نوع اکسترودر (تک/ دو مارپیچ بودن) از جمله مواردی بود که در طراحی آزمایش لحاظ شد. در این طراحی نوع، تعداد و ترتیب و توالی آزمایشات مورد نظر تعیین شد. در مرحله اجرا با توجه به زیرساخت موجود، طراحی آزمایش بصورت کامل یا گزیده و با هدف حصول بیشترین داده تجربی هدفمند از دستگاه/ زیرساخت مورد نظر انجام شد.

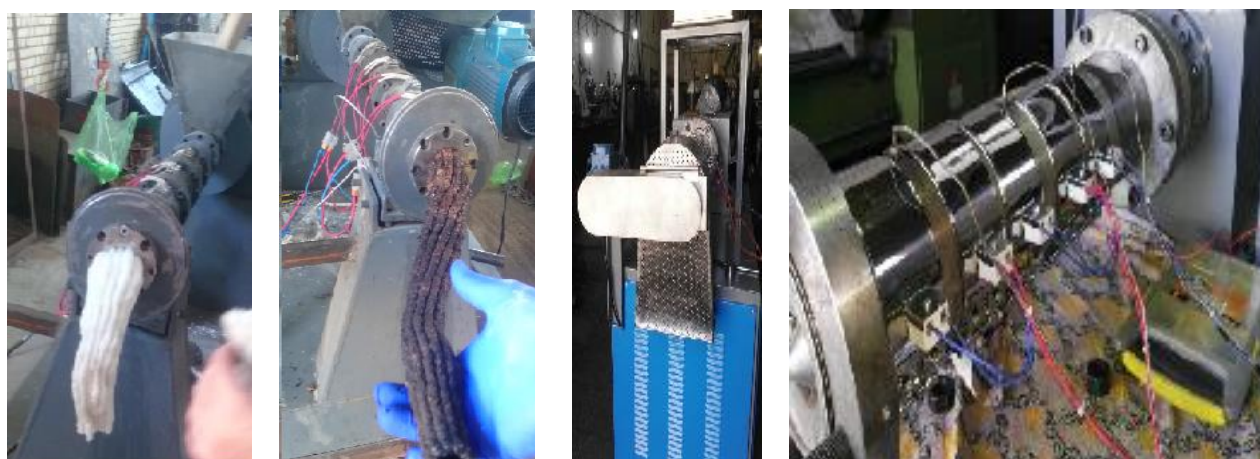
۲-۳- تست های آزمایشی

در مرحله اول، تستهای آزمایشی با استفاده از دستگاه اکسترودر دوماپیچ انجام شد. دستگاه مذکور ساخت کشور چین بوده و برای اسنک، پفک و ... مورد استفاده قرار میگرفت. تصاویری از انجام آزمایشات با دستگاه مذکور در ذیل آمده است.



شکل ۱-۲. انجام تست های آزمایشی اکستروژن نشاسته با اکسترودر محصولات غذایی روغنی

برای تکمیل انجام آزمایشات از یک دستگاه اکسترودر سویا و اکسترودر دیگری که برای تولید خوراک آبزیان ساخته شده بود استفاده شد. علیرغم اینکه هر کدام از دستگاههای مذکور برای خوراک مشخصی ساخته شده و برای اکستروژن نشاسته دارای محدودتهای خاصی بودند، با استفاده از تستهای انجام شده در این مرحله، اطلاعات مفیدی برای طراحی دستگاه و تجهیزات تکمیلی خط تولید نشاسته بدست آمد.



شکل ۲-۲. انجام تستهای آزمایشی اکستروژن نشاسته با اکسترودر سویا/ خوراک آبزیان

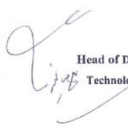
همچنین نمونه بدست آمده در این مرحله برای تست عملکردی به آزمایشگاه مرجع ارسال شد. نتایج انجام آنالیز در شکل زیر آمده است.

Faculty of Research & Development in Upstream Industry Petroleum Engineering Research Division Drilling & Well Completion Technologies & Research Group		
Client: Academic Center for Education Culture and Research	Sample Type: Starch DIB-05	
Order ID: 2322116	Date of order: 98/05/01	Date of Test: 98/05/223
Referring to: 98/20/1123	Date of ref: 98/4/31	Unit number: 4534

Starch Physical Requirements According to API-13A (2010)

Requirements	Standard index	Sample data
Suspension properties:		
Viscometer dial reading at 600 r/min		
- in 40 g/L salt water	maximum 18	14
- in saturated salt water	maximum 20	11
Filtrate volume		
- in 40 g/L salt water, milliliters	maximum 10	4.4
- in saturated salt water, milliliters	maximum 10	5.2
Residue greater than 2000 μ m	No residue	0

Note: Since, the sampling is not performed by RIPI; the results are limited to submitted samples.


 A.R. Nasiri
 Head of Drilling & Well Completion
 Technologies & Research Group



شکل ۲-۳. آنالیز نمونه تولیدی آزمایشی مطابق استاندارد API توسط آزمایشگاه مرجع

پس از تایید نمونه تولید و تعیین حدود مورد نیاز کارکرد دستگاه اکسترودر (دما، دور چرخش، ...)، شرایط آزمایشی تکرار شده و نمونه برای آنالیز به آزمایشگاه مرجع ارسال شد. نتایج نشان داد که تولید نمونه با شرایط فرایندی مورد نظر، تکرار پذیر می باشد. بر این اساس ایتام های طراحی دستگاه اکسترودر و تجهیزات تکمیلی با جزییات بیشتر مشخص شده و برای ساخت دستگاه اقدام شد.

پس از ساخت دستگاه نهایی و انجام مراحل مختلف نصب و راه اندازی، تولید نمونه با دستگاه ساخته شده انجام شد.



شکل ۲-۴. انجام تستهای اکستروژن نشاسته با اکسترودر طراحی و ساخته شده توسط پژوهشگاه توسعه صنایع شیمیایی

نمونه برای انجام تست عملکردی به آزمایشگاه مرجع ارسال شد. نتایج انجام آنالیز در ذیل آمده است.

Faculty of Research & Development in Upstream Industry Petroleum Engineering Research Division Drilling & Well Completion Technologies & Research Group		
Client: Iranian Institute of Research and Development in Chemical Industries	Sample Type: Starch- IRDCT-1	
Order ID: 2489858	Date of order: 1400.01.15	Date of Test: 1400.01.28
Referring to: 1400.20.2313	Date of ref: 1400.01.14	Unit number: 4815

Starch Physical Requirements According to API-13A (2010)

Requirements	Standard index	Sample data
Suspension properties:		
Viscometer dial reading at 600 r/min		
- in 40 g/L salt water	maximum 18	7
- in saturated salt water	maximum 20	11
Filtrate volume:		
- in 40 g/L salt water, milliliters	maximum 10	3.4
- in saturated salt water, milliliters	maximum 10	3.6
Residue greater than 2000 μ m	No residue	0

Note: Since, the sampling is not performed by RIFI, the results are limited to submitted samples.

A.R.Nasiri
Head of Drilling & Well Completion
Technologies & Research Group

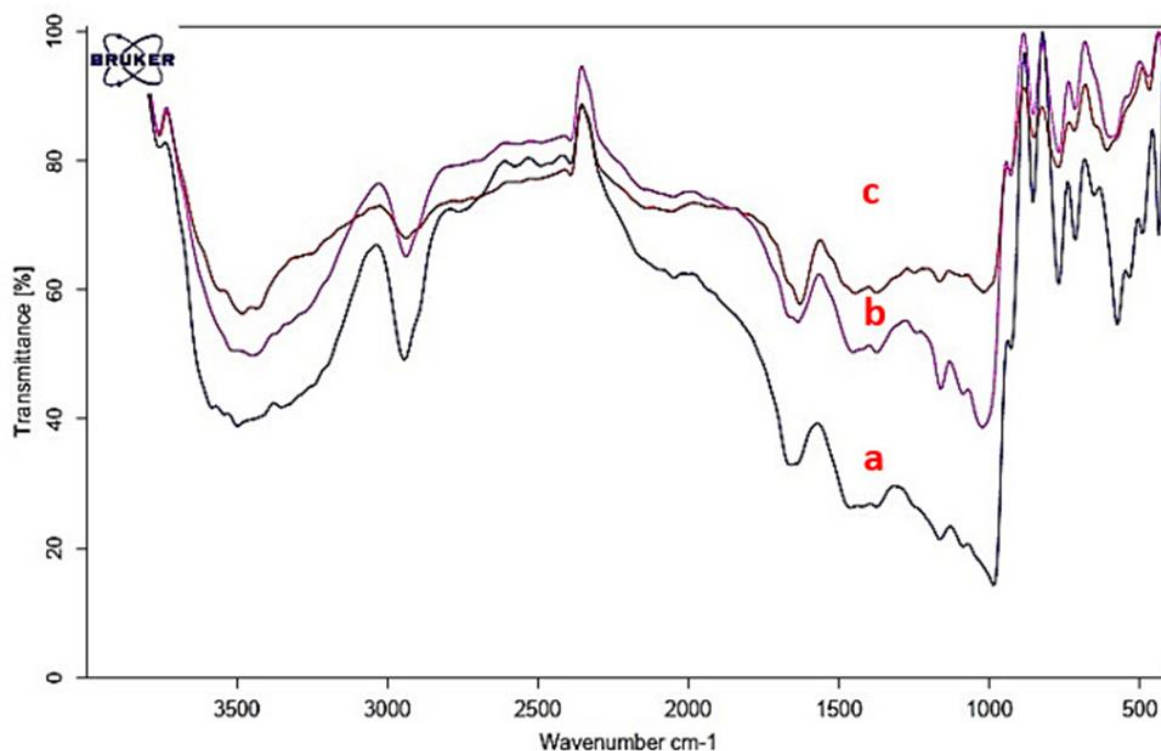
شکل ۲-۵. آنالیز نمونه تولیدی با دستگاه طراحی و ساخته شده در پژوهشگاه، مطابق استاندارد API توسط آزمایشگاه مرجع

نتایج بدست آمده از تست عملکردی محصول توسط آزمایشگاه مرجع نشان میدهد که در همه موارد، خواص نمونه تولیدی در چارچوب استاندارد می باشد.

۲-۴- تست های ساختاری

به موازات انجام تستهای عملکردی، تست ساختاری برای نمونه تولیدی انجام شد. برای این کار نمونه نشاسته خام سیب زمینی (a)، نمونه فراوری شده خارجی مورد استفاده در صنعت نفت (b) و نمونه فراوری شده داخلی (c) تحت آزمون FTIR قرار گرفت. نتایج در شکل ۲-۶ آمده است. همانطور که در تصویر قابل مشاهده است نوار کششی در حدود 3538 - 3420 cm^{-1} در نشاسته های خام و فراوری شده به گروه های هیدروکسیل های روی مولکول های نشاسته نسبت داده می شود. نوار مشاهده شده در 2933 - 2925 cm^{-1} در هر دو نشاسته های خام و فراوری شده به ارتعاشات کششی متقارن CH_2 نسبت داده می شود. در نشاسته خام، نوار 1660 cm^{-1} به ارتعاش قیچی مانند دو

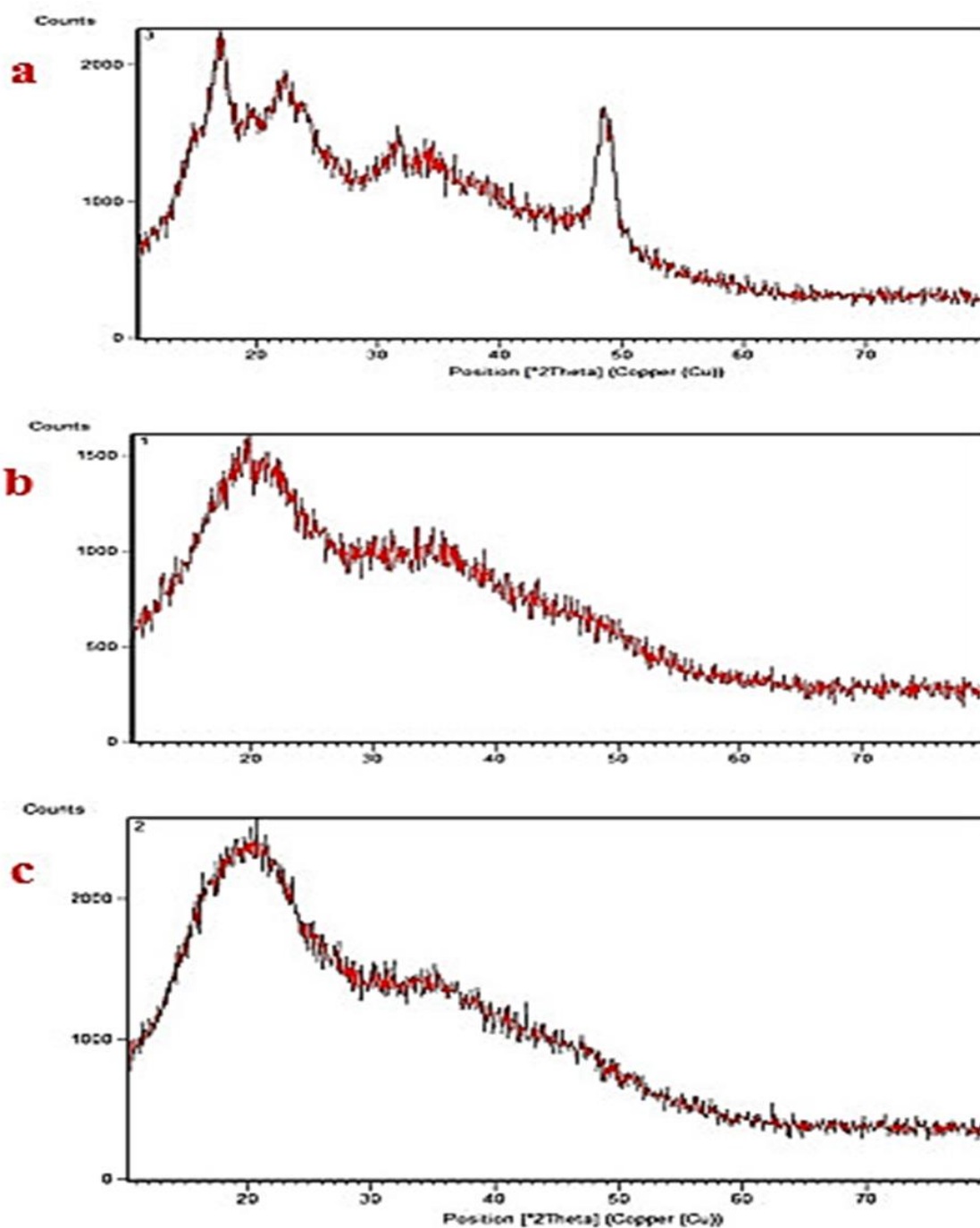
پیوند O-H اختصاص داده می‌شود. در حالی که در طیف های مربوط به نشاسته های فراوری شده، تغییرات کوچکی در فرکانس های ارتعاشی به سمت فرکانس پایین به دلیل تشکیل پیوند اتری مشاهده میشود.



شکل ۲-۶. طیف FTIR برای سه نمونه نشاسته سیب زمینی خام (a)، نمونه فراوری شده خارجی مورد استفاده در صنعت نفت (b) و نمونه فراوری شده داخلی (c)

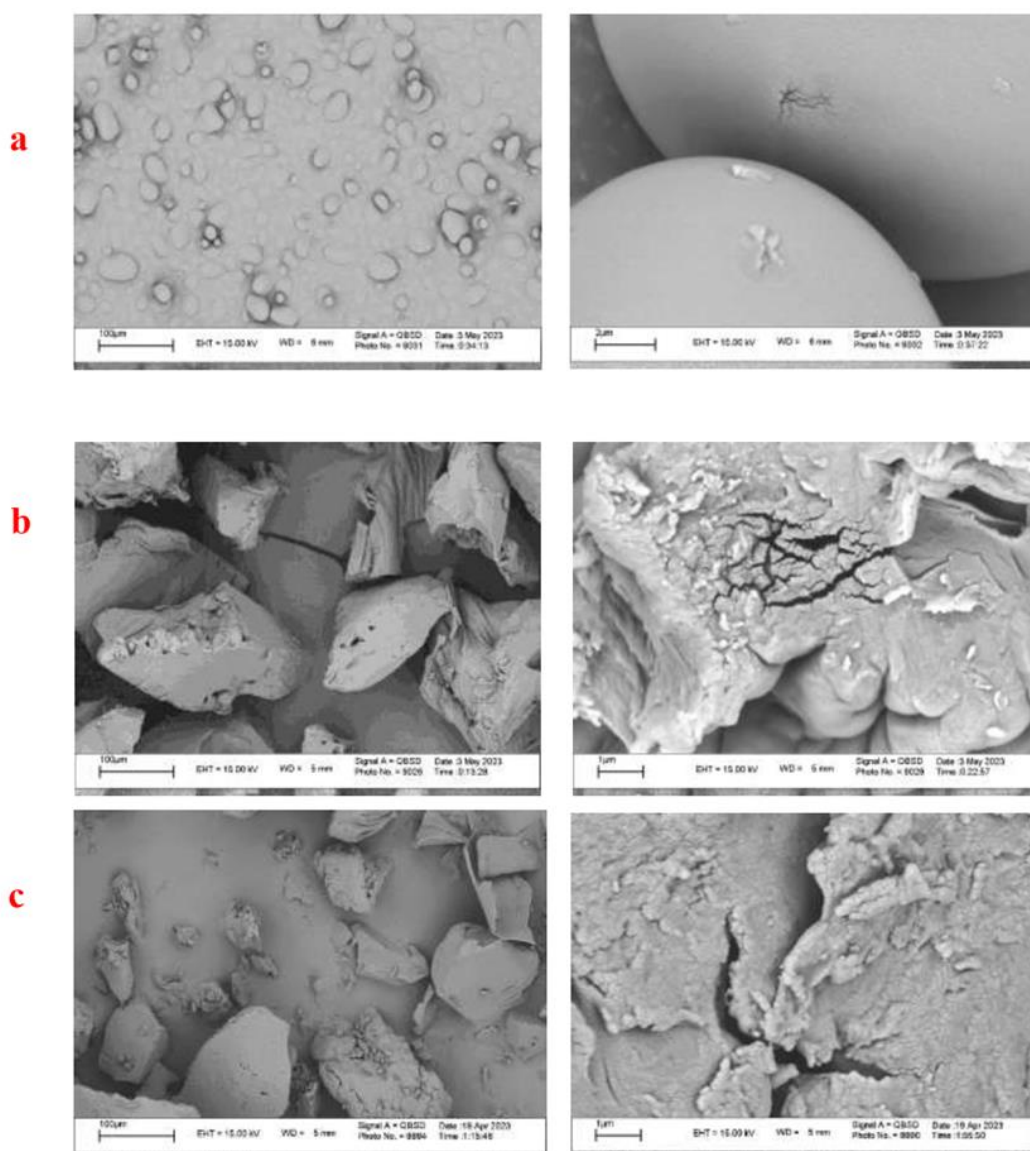
الگوی پراش اشعه ایکس برای نمونه نشاسته خام سیب زمینی (a)، نمونه فراوری شده خارجی مورد استفاده در صنعت نفت (b) و نمونه فراوری شده داخلی (c) در شکل ۲-۷ ارائه شده است. پراش اشعه ایکس نمونه ها در دامنه اسکن ۱۰-۸۰ درجه از مقادیر 2θ بدست آمد. هر یک از نمونه ها، پیک های مشخصه ای را در زوایای 2θ مختلف نشان دادند. همانطور که در شکل ۲-۷ (a) دیده می‌شود الگویی که به طور معمول برای نشاسته سیب زمینی مشاهده می شود را می‌توان برای نشاسته سیب زمینی بومی استان اردبیل مشاهده کرد. الگوی مشاهده شده به دلیل وجود ساختار نیمه کریستالی آمیلوپکتین در داخل گرانول نشاسته است. مطابق با تصویر ۲-۷ (b,c)، برای نمونه های فراوری شده داخلی و خارجی، الگوی اولیه نشاسته خام توسط فرآیند اکستروژن از بین رفته است و هیچ ساختار کریستالی شفاف را نمی‌توان مشاهده کرد که نشان دهنده کاهش وضعیت کریستالی نمونه های فراوری شده می باشد که متاثر از عملیات حرارتی در حین فرایند اکستروژن است. بنابراین، می‌توان پیشنهاد کرد که کاهش در

حالت کریستالی و از هم گسیختگی برهمکنش بین مولکولی، نمونه‌های فراوری شده را مستعد جذب رطوبت و قابل استفاده در چاه‌های حفاری می‌کند.



شکل ۲-۷. الگوی پراش اشعه ایکس برای نمونه نشاسته خام سیب زمینی (a)، نمونه فراوری شده خارجی مورد استفاده در صنعت نفت (b) و نمونه فراوری شده داخلی (c)

مورفولوژی نمونه نشاسته خام سیب زمینی (a)، نمونه فراوری شده خارجی مورد استفاده در صنعت نفت (b) و نمونه فراوری شده داخلی (c) با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) در شکل ۲-۸ نشان داده شده است. مقایسه میکروگراف های به دست آمده، نشان داد که اکستروژن کردن نشاسته، ساختار دانه ای (گرانولی) نشاسته خام را از بین می برد. همچنین برای نشاسته های فراوری شده ترکیب گرانول ها و ایجاد ساختار ورقه ای مشاهده می شود که نشان می دهد که تمام گرانول های نشاسته خام در طول فرایند اکستروژن ژلاتینه شده اند. همانطور که در تصاویر مشخص است تصاویر مربوط به نمونه های داخلی و خارجی بسیار شبیه هم می باشند.



شکل ۲-۸. تصاویر SEM برای نمونه نشاسته خام سیب زمینی (a)، نمونه فراوری شده خارجی مورد استفاده در صنعت نفت (b) و نمونه فراوری شده داخلی (c)

نتایج بدست آمده از تست ساختاری نشان می‌دهد که نمونه فراوری شده داخلی دارای شباهت بسیار زیاد به نمونه خارجی مورد استفاده در صنعت نفت می باشد. با توجه به اینکه عملکرد نمونه نیز در چندین مرحله با استاندارد مربوطه، مورد ارزیابی قرار گرفته و نتایج در چارچوب استاندارد بود لذا فرایند مورد نظر برای تولید نمونه مورد تایید و مبنا قرار میگیرد.

منابع

- [1] Sarkar, D., Landis, C. R., Collins, R. P., Nanoparticle Smart Tags in Subterranean Applications: Google Patents, 2011.
- [2] Tour, J. M., Schmidt, H. K., Lomeda, J. R., Kosynkin, D. V., Doyle, C. D., Graphene compositions and drilling fluids derived therefrom: United States Patent and Trademark Office, 2012.
- [3] Caenn, R., Darley, H. C., Gray, G. R., Composition and properties of drilling and completion fluids: Gulf professional publishing, 2011.
- [4] Li, M., Wu, Q., Song, K., Qing, Y., Wu, Y., Cellulose nanoparticles as modifiers for rheology and fluid loss in bentonite water-based fluids. ACS applied materials & interfaces, 7(2015)5006-5016.
- [5] Sadeghalvaad, M., Sabbaghi, S., The effect of the TiO₂/polyacrylamide nanocomposite on water-based drilling fluid properties. Powder Technology, 272(2015)113-119.
- [6] N.I.S.O.C standards for technical specification of consumable chemicals.
- [7] Thomas, D. C., Thermal stability of starch and carboxymethyl cellulose based polymers used in drilling fluids, Society of Petroleum Engineers Journal, 22(1982)171-180.
- [8] API Specification 13A 18th Edition, August 2010, Specification for Drilling Fluids – Specifications and Testing.
- [9] S. B. Brown, C. M. Orlando, H. F. Mark, N. M. Bikales, C.G. Overberger, G. Menges, J. I. Kroschwitz : Reactive extrusion, Encyclopedia of Polymer Science and Engineering, Vol. 14, Wiley, New York, 1988, 169–170.
- [10] K. Eise, Continuous reactive processing with twin-screw extruders. Plast. Compd. 1986, 9 (1), 44–52.
- [11] H. Hermann, K. Kapfer, F. Hensen, Compounding lines, Plastic Extrusion, Hanser, New York, 1997, 3–41.
- [12] J. Harper, C. Mercier, P. Linko, J. M. Harper, Food extruders and their applications, Extrusion Cooking, Am. Assoc. Cereal Chem., St. Paul, MN, 1989, 1–15.
- [13] F. Xie, L. Yu, H. Liu, L. Chen, Starch Modification Using Reactive Extrusion, Starch 58

(2006) 131–139.

[14] M. v. Duin, A. V. Machadoz, J. Covas: A look inside the extruder: Evolution of chemistry, morphology and rheology along the extruder axis during reactive processing and blending. *Macromol. Symp.* 2001, 170, 29–39.

[15] Four screw extruder offers greater L/D. *Plast, Add. Comp.* 2003, 5(4), 35.

[16] *Extrusion Communiqu* 1990, 3(4), pp. 7–18.

[17] K. Eise, S. Jakopin, H. Herrmann, U. Burkhardt Sr., H. Werner: Analysis of twin-screw extruder mechanisms. *Adv. Plastics Technol.* 1981, 1(2), 18–39.

[18] J. L. White, W. Szydlowski, K. Min, M. Kim: Twin screw extruders; development of technology and analysis of flow. *Adv. Polym. Technol.* 1987, 7, 295–332.

[19] R. Nichols: Mixing efficiency maximized by crni twin extruders. *Mod. Plast.* 1986, 63, 90–94.

[20] R. Nichols, F. Kheradi: Melting in crt twin-screw extruders. *Mod. Plast.* 1984, 61(2), 70–74.

[21] <http://irangoogle-extruder-machine.mihanblog.com>

[22] <https://bpsico.ir>