



نهمین کنگره ملی مهندسی شیمی ایران

دانشگاه علم و صنعت ایران
۳-۵ آذر ماه ۱۳۸۳

تولید پکتین، الیاف خوراکی و مواد غذائی با ارزش از ضایعات مرکبات

محمد صادق حاتمی پور^{۱*}، سید مهدی مجیدی^۱، مهرزاد عبدی^۱

محمد علی فربودنیای^۲

۱. دانشگاه اصفهان، گروه مهندسی شیمی

۲. پژوهشکده علوم و فناوری استان فارس

hatami@eng.ui.ac.ir

چکیده

ایران با تولیدی بالغ بر ۳ میلیون تن انواع مرکبات به عنوان ششمین کشور تولید کننده مرکبات جهان شناخته می شود. حدود ۱۰۰ هزار تن از این مرکبات به صنایع تبدیلی مرکبات که محصول اصلی آن آب میوه و کنسانتره می باشد وارد می گردد. طبق دادهای تجربی حدود نیمی از این مرکبات به عنوان ضایعات از خط تولید خارج می گردد که این ضایعات شامل مقادیر زیادی پکتین، الیاف خوراکی، روغن هسته، اسانس، اسید سیتریک و ترکیبات داروئی متعددی می باشد.

در این تحقیق، با انجام آزمایشات لازم بر روی مرکبات مختلف، میزان تفاله حاوی پکتین و الیاف خوراکی اندازه گیری شد و نمونه های آزمایشی از هر یک از مواد فوق تهیه و شرایط آن بهینه گردید. سپس با طراحی اولیه خط تولید محصولات جانبی صنایع تبدیلی، برآورد اولیه اقتصادی بر مبنای میزان ضایعات یکی از کارخانجات تولید کنسانتره که ۷۵۰۰ تن در سال می باشد انجام شد. بر اساس محاسبات انجام شده نرخ بازگشت سرمایه ۳۰ درصد و نقطه سر به سر در ۲۵ درصدی تولید اسمی می باشد.

با گسترش دادن این مقدار ضایعات به کل ضایعات صنایع تبدیلی کشور می توان به ارزش بالای اقتصادی این صنایع پی برد که علاوه بر سوددهی بالای خود از آلودگی محیط زیست نیز جلوگیری می کنند.

کلمات کلیدی: محصولات جانبی، ضایعات مرکبات، پکتین، اسانس، الیاف خوراکی، روغن هسته مرکبات

مقدمه

حدود ۵۰ درصد وزن مرکبات تحویل داده شده به کارخانجات صنایع تبدیلی، بصورت تفاله و یا ضایعات خط تولید می باشد. از بین محصولات جانبی قابل تولید از تفاله خط تولید صنایع تبدیلی مرکبات، پکتین از جایگاه ویژه ای برخوردار است چراکه پکتین در صنایع غذایی، صنایع دارویی و مصارف پزشکی کشور به عنوان یکی از مواد اولیه ضروری مطرح می باشد. در سال ۱۸۲۵ برای اولین بار واژه پکتین توسط بارکونات که یک شیمی دان فرانسوی است بکار برده شد، این لغت از کلمه یونانی پنکستوز به معنی لخته اقباس شده است. آرسلن و توجگرا [۱] روی استخراج پکتین از پوست گریپ فروت توسط اسید رقیق به مقدار ۲۵ برابر وزن ماده خشک پوست گریپ فروت تحت شرایط ۸۵ درجه سانتیگراد، $\text{pH} = 2/5$ و زمان استخراج ۹۰ دقیقه تحقیق کردند و راندمان استخراج پکتین را ۲۱/۱ درصد ماده خشک بدست آوردند. آنها همچنین تاثیر دما و غلظت را بر روی ویسکوزیته محلول پکتین بررسی کردند.

از دیگر محصولات جانبی تفاله مرکبات الیاف خوراکی می باشد که از باقی مانده استخراج پکتین بدست می آید. الیاف خوراکی یک نوع ماده خوراکی با حجم زیاد و انرژی کم می باشد. این الیاف از سلولزها، شیبه سلولزها، پکتینها صمغها و بافت های گیاهی تشکیل شده اند. این الیاف اصولاً بدون تغییر از ناحیه معده گذشته و وارد روده می شود و معمولاً در روده تحت عمل هضم قرار می گیرند. این الیاف در منابع طبیعی مختلفی مانند غلات، حبوبات، میوه جات، چغندر قند و سبوسها یافت می شوند. این ماده با توجه به گسترش صنایع غذایی و دارویی کاربردهای وسیعی یافته است. از جمله کاربردهای آن افزایش حجم غذا بدون افزایش کالری آن، بالا بردن کیفیت محصولات غذایی از نظر طعم و مزه، نگهداری روغن و رطوبت، کنترل ویسکوزیته، پایداری حالت امولسیون محصولات تعلیق مایع درمایع، تهیه گوشت های همبرگر می باشد. همچنین از خواص دارویی آن می توان به موارد زیر اشاره کرد [۲، ۳، ۴]:

۱- تامین سلامتی بدن از طریق جذب اسید صفرا.

۲- جذب ترکیبات سمی روده.

۳- جذب آب که باعث افزایش سرعت انتقال از روده می شود.

۴- تنظیم کلسترول خون.

۵- تاخیر در جذب گلوکز.

۵- محافظت دستگاه گوارش در برابر بعضی از بیماریها مانند سرطان.

۶- جلوگیری از افزایش وزن به علت پایین بودن میزان کالری آن.

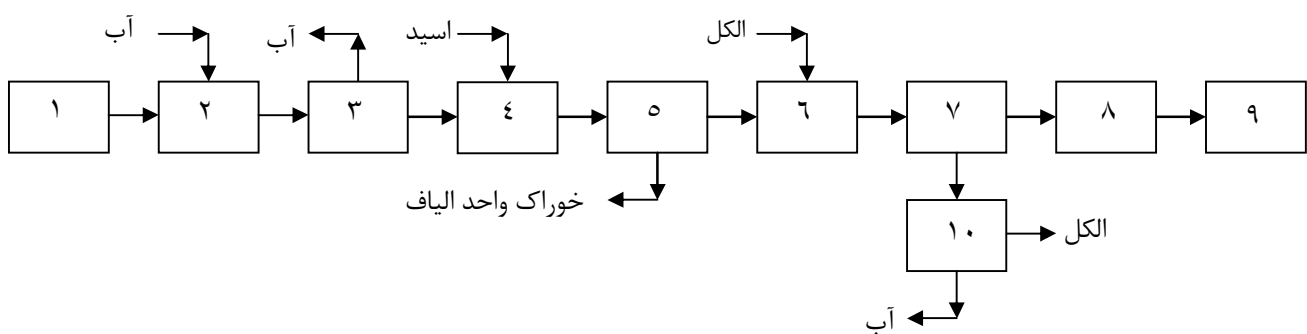
میگوئل و بلوسو [۴] استخراج الیاف خوراکی از تفاله پرتقال را بررسی کردند و خواص فیزیکی و شیمیایی الیاف خوراکی را تعیین کردند. آنها گزارش دادند که تفاله پرتقال حاوی $36/9 - 35/4$ درصد ماده خشک می باشد که این ماده خشک شامل $16/3 - 15/7$ درصد پکتین، $16/6 - 18/1$ درصد سلولز و همی سلولز و $2/2 - 3$ درصد لیگنین می باشد.

اسانس نیز یکی دیگر از محصولات جانبی صنایع تبدیلی می باشد. بنابر اطلاعات آزمایشگاهی حدود ۱۳ درصد وزنی میوه تازه پوست می باشد و در صورتی که قبل از آب گیری عمل پوست گیری انجام و پوست نازک وارد مرحله استخراج اسانس شود بازده و کیفیت آن بسیار بالا می باشد. اسانس موجود در پوست بوسیله تقطیر با بخار آب استخراج می شود. حدود ۱/۲۵ درصد این پوستهای مرطوب اسانس خالص قابل استخراج است.

از محصولات جانبی مرکبات به روغن هسته مرکبات نیز می توان اشاره کرد. هسته های پرتقال که ۱/۷ درصد وزنی پرتقال تازه را تشکیل می دهند بعد از مرحله آبگیری جداسازی شده و وارد مرحله روغن کشی می شوند. طبق داده های تجربی این هسته ها شامل ۴۰ درصد روغن می باشند و تفاله هسته ها به عنوان خوراک دام مصرف می شود و در صنایع آرایشی و بهداشتی کاربرد دارد

شرح آزمایشات

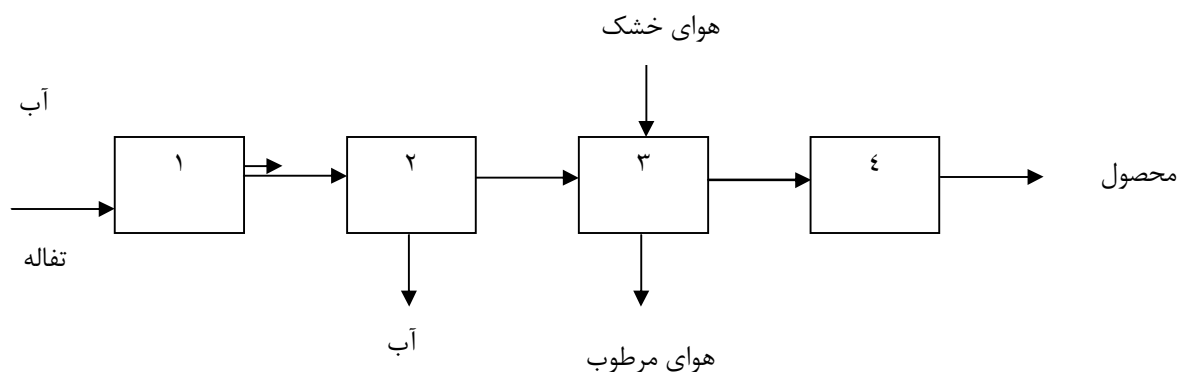
در این بخش با انجام آزمایشات لازم بر روی مرکبات مختلف، میزان تفاله حاوی پکتین و الیاف خوراکی اندازه گیری شد. سپس نمونه های آزمایشی از هر یک از مواد فوق تهیه و راندمان تولید بهینه گردید. لیمو شیرین، لیمو ترش و لیمو ترش خاکی از بازار اصفهان خریداری شد که پس از جدا کردن پوست نازک، خرد کردن میوه، آب گیری و خارج کردن قندهای محلول پکتین میوه ها استخراج گردید. لیمو ترش به علت داشتن پکتین بیشتر به عنوان ماده اولیه آزمایش انتخاب شد. همچنین از بین تفاله و پوست، تفاله به علت داشتن پکتین بیشتر به عنوان خوراک انتخاب گردید. مراحل تولید پکتین عبارتند از استخراج پکتین از تفاله بوسیله اسید رقیق، ترسیب پکتین محلول در اسید با الکل، جداسازی دو فاز الکی و اسیدی و خشک کردن پکتین تحت شرایط خلا. شکل ۱ نمودار شماتیک فرآیند استخراج پکتین را نشان می دهد.



شکل ۱- مراحل تولید پکتین

- | | | |
|-------------------------------|---------------------------------|----------------------|
| ۱-مرحله آنزیم بری | ۲-مرحله شستشوی قندهای محلول | ۳- عملیات فیلتراسیون |
| ۴-مرحله استخراج پکتین با اسید | ۵- عملیات فیلتراسیون سوسپانسیون | ۶-مرحله ترسیب پکتین |
| ۷-جداسازی فازها | ۸- عملیات فیلتراسیون | ۹-خشک کردن پکتین |
| (بازیابی الکل) | ۱۰-تبخیر | |

تفاله باقی مانده از تولید پکتین، به مرحله تولید الیاف خوراکی وارد می شود. در این مرحله تفاله ها شسته شده سپس عملیات خنثی سازی روی آنها صورت می گیرد و در انتها الیاف خشک میگردد. شکل ۲ نمودار شماتیک تولید الیاف را نشان می دهد.



شکل ۲- شرح فرایند تولید الیاف خوراکی

۱- مرحله شستشوی اسیدی (خنثی سازی) ۲- عملیات فیلتراسیون

۳- خشک کردن ۴- آسیاب

آزمایش های انجام شده جهت تعیین بهترین شرایط استخراج پکتین

پارامترهای مهم موثر بر راندمان استخراج پکتین عبارتند از زمان استخراج، دمای استخراج، غلظت اسید و نسبت الکل به فاز اسیدی حاوی پکتین و نسبت اسید به ماده مرطوب تفاله لیمو ترش. در هر آزمایش یکی از پارامترها متغیر و بقیه ثابت در نظر گرفته شده است.

نتایج بدست آمده در جدول ۱ آورده شده است که با توجه به آن شرایط بهینه عبارتند از نسبت اسید به تفاله ۱۰ برابر، غلظت اسید ۵ درصد وزنی، دما ۸۰ درجه سانتیگراد، زمان ماند ۳۰ دقیقه و نسبت ۱/۵ برابر الکل به فاز اسیدی.

جدول ۱- نتایج آزمایشات انجام شده جهت تعیین شرایط بهینه استخراج پکتین و تولید الیاف خوراکی

آزمایش	نسبت اسید تفاله	غلظت اسید (درصد وزنی)	دمای استخراج (C)	زمان استخراج (min)	نسبت الکل به فاز اسیدی	راندمان پکتین (درصد ماده خشک)	راندمان الیاف (درصد ماده خشک)
۱	۵	۵	۷۰	۳۰	۱	۷/۱۵	۲۱/۵۰
۲	۱۰	۵	۷۰	۳۰	۱	۱۰/۶۰	۱۸/۵۵
۳	۱۵	۵	۷۰	۳۰	۱	۵/۹۵	۲۰/۵۰
۴	۱۰	۳	۷۰	۳۰	۱	۸/۴۴	۲۱/۴۳
۵	۱۰	۵	۷۰	۳۰	۱	۱۰/۶۰	۱۸/۵۵
۶	۱۰	۷	۷۰	۳۰	۱	۴/۶۹	۱۹/۴۲
۷	۱۰	۵	۶۰	۳۰	۱	۶/۳۲	۳۴/۰۷
۸	۱۰	۵	۷۰	۳۰	۱	۱۰/۶۰	۱۸/۵۵
۹	۱۰	۵	۸۰	۳۰	۱	۱۸/۲۶	۱۸/۷۴
۱۰	۱۰	۵	۸۰	۳۰	۱	۱۸/۲۶	۱۸/۷۴
۱۱	۱۰	۵	۸۰	۵۰	۱	۱۲/۴۳	۱۵/۵۲
۱۲	۱۰	۵	۸۰	۷۰	۱	۱۲/۰۳	۱۵/۹۲
۱۳	۱۰	۵	۸۰	۳۰	۱	۱۸/۲۶	۱۸/۷۴
۱۴	۱۰	۵	۸۰	۳۰	۱/۵	۲۱/۰۳	۲۰/۹۲
۱۵	۱۰	۵	۸۰	۳۰	۲	۱۹/۸۳	۲۲/۱۹

طراحی و برآورد اقتصادی واحدهای تولید پکتین و الیاف خوراکی

تمام طراحی ها و برآورد های اقتصادی انجام گرفته در این تحقیق با توجه به خوراک ورودی یک کارخانه تولید کنستانتره مرکبات که خوراک آن ۱۵۰۰۰ تن مرکبات تازه در هر فصل کاری می باشد صورت گرفته است. حدود ۴۰ درصد وزنی میوه تازه را تفاله حاصل از آبیگری تشکیل می دهد و طی فرآیندهایی که در این واحد بر روی تفاله انجام می شود پکتین و الیاف خوراکی تولید می گردد. بر اساس اطلاعات آزمایشگاهی بدست آمده در مورد استخراج پکتین و الیاف خوراکی ظرفیت تولید با توجه به خوراک ورودی این کارخانه سالانه ۲۷۰ تن پکتین و ۱۴۱۵ تن الیاف خوراکی می باشد.

واحد تولید پکتین [۷، ۶، ۵]

در این قسمت یک طراحی اولیه و برآورد اقتصادی روی واحد تولید پکتین انجام شد. همانطور که در شکل ۱ نشان داده شد در فرایند تولید پکتین تجهیزات زیر مورد نیاز است.

- | | |
|--------------------|-----------------------------|
| ۱- مخزن آنزیم بری | ۲- مخزن شستشوی قندهای محلول |
| ۳- فیلتر سانتریفوژ | ۴- مخزن استخراج پکتین |
| ۵- فیلتر سانتریفوژ | ۶- مخزن ترسیب پکتین |
| ۷- دکانتور | ۸- فیلتر سانتریفوژ |
| ۹- خشک کن | ۱۰- تبخیر کننده |

برآورد اقتصادی فرآیند تولید پکتین

برای تخمین سرمایه‌گذاری ثابت از روش درصد قیمت تجهیزات تحویل‌شده استفاده می‌گردد. با این روش میزان سرمایه ثابت ۲۱،۶۷۶،۳۰۰،۰۰۰ ریال و قیمت تمام شده هر کیلوگرم پکتین ۹۶،۲۰۰ ریال بدست آمد.

واحد تولید الیاف خوراکی

طراحی اولیه واحد تولید الیاف خوراکی در شکل ۲ آمده است. همچنین یک برآورد اولیه اقتصادی به روش قیمت تجهیزات تحویل داده شده نیز روی این واحد صورت پذیرفته که در ادامه آورده شده است. با توجه به شکل ۲ تجهیزات مورد نیاز فرایند تولید پکتین به شرح زیر است.

- | | | |
|----------------------|---------------------|-----------------|
| ۱- مخزن شستشوی اسیدی | ۲- فیلتر سانتریفوژ | ۳- خشک کن چرخشی |
| ۴- آسیاب | ۵- دستگاه بسته بندی | |

برآورد اقتصادی فرآیند تولید الیاف [۹، ۸]

همانطور که ذکر شد برای تخمین سرمایه‌گذاری ثابت از روش درصد قیمت تجهیزات تحویل شده استفاده شده است. میزان سرمایه ثابت ۱۵،۰۶۳،۸۳۵،۵۷۰ ریال و قیمت تمام شده هر کیلوگرم محصول ۳،۰۰۰ ریال تعیین گردید.

تعیین نقطه سر به سر و نرخ بازگشت سرمایه

نقطه سر به سر و نرخ بازگشت سرمایه برای واحدهای تولید پکتین و الیاف بطور مجتمع محاسبه گردید. برای انجام محاسبات از روش درصد تجهیزات خریداری شده استفاده گردیده و سرمایه ثابت مورد نیاز محاسبه شده است. سرمایه در گردش ۲۰ درصد سرمایه ثابت فرض شده است. با توجه به این محاسبات انجام گرفته نرخ بازگشت سرمایه ۳۰ درصد تعیین گردید. برای محاسبه نقطه سر به سر سود حاصل از فروش الیاف خوراکی و

پکتین با هزینه ثابت و هزینه در گردش واحدهای تولید پکتین والیاف برابر قرار داده شد و نقطه سر به سر در ۲۵ درصدی تولید اسمی بدست آمد.

بحث و نتیجه گیری

- ۱- با توجه به نتایج این تحقیق که در فاز آزمایشگاهی انجام شد، تولید پکتین در فاز نیمه صنعتی توصیه می‌گردد، با انجام فاز نیمه صنعتی، و بدست آوردن دانش فنی، تولید پکتین در فاز صنعتی نیز قابل اجرا خواهد بود و نیاز بخشهای صنایع غذایی، دارویی و پزشکی کشور، به پکتین وارداتی مرتفع می‌شود.
- ۲- می‌توان از متانول به جای اتانول به منظور کاهش هزینه‌ها در طراحی صنعتی استفاده کرد.
- ۳- با توجه به اینکه پکتین و الیاف دو محصول جانبی کارخانجات تولید کنسانتره است بهترین مکان برای تولید آنها در کنار کارخانجات تولید کنسانتره و به عنوان یک واحد جانبی است.
- ۴- در صورت انجام این مجموعه هیچ جزئی از مرکبات دورریز نمی‌شود این امر علاوه بر اینکه به سلامت محیط زیست کمک می‌کند باعث ایجاد ارزش افزوده اقتصادی نیز می‌گردد.

منابع و مراجع

1. Arslan , N. and H. Togrul. 1996 .” Filtration of pectin extract from grape fruit peel and viscosity of pectin solution “ . J . Food Eng , 27 : 197-201
2. Larrauri, J.A., (1999), New approaches in the preparation of high dietary fiber powders from fruit by-products, *Food Science and Technology*, 10, 3-8
3. Setlur R.Ramaswamy . 1991 .” Fiber and method of making”. U.S Patent: 5023103.
4. Nuria Grigelmo . Miguel and Olga Mortin. Belloso . 1999 . “Characterization of dietary fiber from orange juice extraction “ . Food Sci and Tech . 757762 .
5. Max S. Peters , Klaus D.Timrhous,”Plant Design and Economics for Chemical Engineers”, 4th. Ed. , McGraw-Hill, New York, 1991.
6. Robert H. Perry (Late Editor), Don W.Green (Editor), “Perrys Chemical Engineers Handbook” 6th ed, Mc Graw-Hill, New York, 1984.
7. Donald Q.kern, “Process Heat Transfer”, Mc Graw-Hill, 1984, Singapore.
8. Warren L.Mccabe, Julin C.smith, “Unit operations of chemical engineering”, 3th ed, Mc Graw-Hill, 1980.
9. James M. Douglas, “Conceptual Design of chemical process”, Mc Graw-Hill, New York, 1988.