

کاربردهای نوین غذایی و غیر غذایی سیبزمینی

چکیده :

سیبزمینی (*Solanum tuberosum*) در بیش از صد کشور جهان قابل رشد بوده و در سبد غذایی مردم جایگاه ویژه‌ای دارد. همچنین سیبزمینی یک ماده خام مهم در صنایع مختلف می‌باشد. شرایط رشد، ژنتیک و نحوه نگهداری در کیفیت سیبزمینی تأثیر می‌گذارد. سیبزمینی یکی از منابع مهم تامین انرژی محسوب شده و نیز شامل مواد معدنی و ویتامین‌ها می‌باشد. نشاسته ترکیب اصلی و مهم سیبزمینی می‌باشد که به طور تقریبی ۱۵ الی ۲۰ درصد از وزن تازه سیبزمینی را تشکیل می‌دهد. نشاسته به عنوان یک فاکتور مهم عملگر در کاربردهای غذایی و غیر غذایی مطرح می‌باشد. نشاسته اصلاح شده سیبزمینی یک بیوپلیمر امید بخش برای استفاده در بسته بندی‌های زیست تخریب پذیر می‌باشد. از ضایعات فرعی صنایع سیبزمینی پوست سیبزمینی است که منبع خوبی از ویتامین C، ویتامین B₆، مس، پتاسیم، منیزیم و فیبرهای رژیمی است و نیز شامل تنوعی از فیتونوترینت‌ها می‌باشد که یک منبع طبیعی از آنتی اکسیدان‌ها می‌باشند که از زوال سلول‌های بدن جلوگیری می‌کنند. فیتونوترینت‌ها در پوست و مغز سیبزمینی یافت می‌شوند که شامل پلی فنل‌ها، کارتنوئیدها، فلاونوئیدها و اسید کافئیک می‌باشد. ضایعات پوست سیبزمینی شامل مقادیر کافی از نشاسته، همی سلولز، لیگنین و قندهای قابل تخمیر می‌باشد که این موارد استفاده از آن را به عنوان سوبسترای مناسب تولید اتانول و اسید لاکتیک و سایر فرآورده‌های تخمیری تضمین می‌کند. این ضایعات همچنین می‌توانند در جهت تولید پروتئین تکمیل یافته مورد استفاده قرار گیرند. تخمیر ضایعات

سیبزمینی به عنوان یک منبع نیتروژن بسیار عالی برای حیوانات نشخوارکننده می باشد.

واژه های کلیدی: سیبزمینی، نشاسته، زیست تخریبپذیر، آنتی اکسیدان، اتانول

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول: مقدمه و کلیات	
۱-۱- مقدمه	۲
۱-۲- گونه های سیبزمینی	۴
۱-۳- ترکیب شیمیایی غده سیبزمینی	۶
۱-۳-۱- نشاسته	۹
۱-۳-۲- قندها	۹
۱-۳-۳- فیبرهای خام	۱۱
۱-۳-۴- ترکیبات ازت دار	۱۱
۱-۳-۴-۱- پروتئین	۱۱
۱-۳-۴-۲- اسیدهای آمینه آزاد	۱۲
۱-۳-۴-۳- آمیدها	۱۳
۱-۳-۴-۴- گلیکوالکالوئیدها	۱۳
۱-۳-۴-۵- سایر ترکیبات ازته آلی	۱۵

- ۱-۴- ازت غیر آلی در غده سیبزمینی..... ۱۵
- ۱-۵- لیپیدها..... ۱۵
- ۱-۶- اسیدهای آلی..... ۱۶
- ۱-۷- ترکیبات فنلی..... ۱۶
- ۱-۸- ترکیبات فرار..... ۱۷
- ۱-۹- ویتامین‌ها و فیتوهورمون‌ها..... ۱۸
- ۱-۱۰- مواد معدنی..... ۱۸
- ۱-۱۱- اهمیت و ارزش تغذیه‌ای سیبزمینی در مقایسه با سایر مواد غذایی..... ۱۹

فصل دوم: ساختار و تکنولوژی تولید نشاسته سیبزمینی

- ۲-۱- مقدمه..... ۲۴
- ۲-۲- ساختار نشاسته سیبزمینی..... ۲۵
- ۲-۳- خواص شیمیایی نشاسته سیبزمینی..... ۳۱
- ۲-۴- قابلیت نشاسته سیبزمینی..... ۳۵
- ۲-۵- تکنولوژی فراوری نشاسته سیبزمینی..... ۳۹
 - ۲-۵-۱- کیفیت ماده خام..... ۳۹
 - ۲-۵-۲- تخلیه و شستشوی ماده خام..... ۴۰
 - ۲-۵-۳- خردکردن سیبزمینی..... ۴۱
 - ۲-۵-۴- جدانمودن شیر خام نشاسته و استخراج نشاسته..... ۴۲
 - ۲-۵-۵- تفکیک آمیوه از نشاسته..... ۴۳
 - ۲-۵-۶- تصفیه..... ۴۴
 - ۲-۵-۷- آبگیری و خشککردن..... ۴۴

فصل سوم: بیوپلیمرهای زیست تخریبپذیر و خوراکی

۴۸.....	۳-۱- مقدمه
۵۳.....	۳-۲- روش‌های تولید بسته‌بندی‌های زیستی
۵۳.....	۳-۲-۱- روش خشک
۵۴.....	۳-۲-۲- روش مرطوب (یا روش حلال)
۵۴.....	۳-۳- بسته‌بندی‌های زیست تخریب‌پذیر نیمه سخت
۵۵.....	۳-۴- پوشش‌ها، فیلم‌ها و ورقه‌های خوراکی
۵۷.....	۳-۵- خوراکی بودن و زیست تخریب‌پذیری فیلم‌ها و پوشش‌ها...
۵۸.....	۳-۶- کاربردهای فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی
۵۹.....	۳-۷- کاربرد نشاسته در تولید زیست پلاستیک‌ها
۶۱.....	۳-۸- تولید فیلم نشاسته
۶۶.....	۳-۹- خواص کاربردی فیلم نشاسته‌ی سیبزمینی

فصل چهارم: کاربردهای تخمیری

۸۰.....	۴-۱- تولید بیواتانول
۸۰.....	۴-۱-۱- مقدمه
۸۲.....	۴-۱-۲- تولید بیواتانول از ضایعات پوست سیبزمینی
۸۴.....	۴-۱-۳- هیدرولیز اسیدی
۸۶.....	۴-۱-۴- هیدرولیز آنزیمی
۹۴.....	۴-۲- تولید اسید لاکتیک
۹۵.....	۴-۳- سایر محصولات حاصل از تخمیر پالپ سیبزمینی

فصل پنجم: سایر کاربردها

۹۸.....	۵-۱- اسنک‌ها
۹۸.....	۵-۱-۱- مقدمه

۹۹.....	۵-۱-۲- انواع اسنکها
۱۰۰.....	۵-۱-۲-۱- اسنکهای سبزیجات خام برش خورده
۱۰۱.....	۵-۱-۲-۲- محصولات خمیری شکل گرفته- سیبزمینی
۱۰۲.....	۵-۱-۲-۲-۱- فرآیند تولید
۱۰۲.....	۵-۱-۲-۲-۱-۱- مخلوط سازی ترکیبات خشک
۱۰۲.....	۵-۱-۲-۲-۱-۲- مخلوط کردن آب با ترکیبات خشک تا مرحله تشکیل خمیر
۱۰۳.....	۵-۱-۲-۲-۱-۳- تبدیل خمیر به قطعات کوچک توسط اکستروژن
۱۰۴.....	یا عمل ورقه کردن و برش دادن
۱۰۴.....	۵-۱-۲-۲-۱-۴- سرخ کردن سریع محصول به منظور خروج آب از آن
۱۰۵.....	۵-۱-۲-۲-۱-۵- در مواردی خشک کردن بیشتر محصول و پوشش دهی آنها با مواد عطر و طعمزا توسط گردپاشی یا اسپری کردن این مواد بر سطح محصولات
۱۰۷.....	۵-۱-۳- تنوع در محصولات تهیه شده از خمیرهای سیبزمینی شکل گرفته
۱۰۹.....	۵-۲- بیوسورفاکتانتها
۱۱۱.....	۵-۳- پروتئین تک یاخته
۱۰۳.....	۵-۴- غذاهای فراسودمند
۱۰۳.....	۵-۴-۱- کاربرد پوست سیبزمینی به عنوان منبع آنتی اکسیدان
۱۰۶.....	۵-۴- سیب زمینی به عنوان خوراک دام
۱۰۷.....	۵-۵-۱- ترکیب شیمیایی و ارزش تغذیه ای سیبزمینی خشک شده
۱۰۸.....	۵-۵-۲- روش تولید سیلاژ از سیبزمینی
۱۲۰.....	۵-۶- کاربردهای صنعتی
	فهرست منابع

فهرست اشکال

عنوان
صفحه

شکل ۱-۱: نمودار توزیع سطح سیبزمینی استان‌ها نسبت به کل کشور در سال زراعی ۸۹-۱۳۸۸.....	۸
شکل ۲-۱: نمودار توزیع میزان تولید سیبزمینی استان‌ها نسبت به کل کشور در سال زراعی ۸۹-۱۳۸۸.....	۸
شکل ۱-۲: ساختار ماکرومولکول‌های آمیلوز و آمیلوپکتین...۲۷	
شکل ۲-۲: ساختار گرانول نشاسته سیبزمینی در زیر میکروسکوپ.....	۲۸
شکل ۳-۲: (۱) ساختار خطی آمیلوز و (۲) ساختار انشعابی آمیلوپکتین.....	۳۰
شکل ۴-۲: طرح شماتیک ساختار گرانول نشاسته.....	۳۶
شکل ۵-۲: سیبزمینی خام.....	۳۹
شکل ۶-۲: نقشه جریان تولید نشاسته سیبزمینی.....	۴۶

- شکل ۳-۱: تغییرات قوام دیسپرسیون نشاسته‌های مختلف در طی حرارت دادن و سرد کردن ۶۲
- شکل ۳-۲: فرایند ژلاتینه شدن نشاسته ۶۵
- شکل ۳-۳: تأثیر میزان نرم کننده بر روی نفوذپذیری فیلم نشاسته نسبت به ترکیبات آروما: کاروون (الف) و دی استیل (ب) ۷۱
- شکل ۳-۴: تأثیر میزان رطوبت نسبی بر روی نفوذپذیری فیلم نشاسته نسبت به ترکیبات آروما: کاروون (الف) و دی استیل (ب) ۷۱
- شکل ۳-۵: تأثیر میزان حالت کریستالی بر روی نفوذپذیری فیلم نشاسته نسبت به ترکیبات آروما: کاروون (الف) و دی استیل (ب) ۷۲
- شکل ۳-۶: منحنی تنش به کرنش فیلم‌های نشاسته حاوی سورفاکتانت‌های مختلف ۷۵
- شکل ۳-۱۰: نوعی بسته بندی برپایه نانوکامپوزیت‌های خاک رس- نشاسته که قادر است به مدت ۳ هفته بدون نشستی آب را نگه دارد ۷۷
- شکل ۴-۱: نمودار فرایند تولید سیبزمینی برشته ۸۳
- شکل ۴-۲: نمودار تولید اتانول برحسب گرم بر لیتر از قندهای قابل تخمیر حاصل از هیدرولیز اسیدی پوست سیبزمینی ۸۷
- شکل ۴-۳: نمونه بیواتانول حاصل از سیبزمینی ۹۳
- شکل ۴-۴: نمونه واحد تولید اتانول ۹۳
- شکل ۵-۱: اکستروژن ۱۰۵
- شکل ۵-۲: دیاگرام یک قطعه خمیر لوله‌ای شکل در حال سرخ شدن تا تشکیل یک لوله حجیم شده که نشان دهنده‌ی تبخیر آب در روغن داغ می‌باشد ۱۰۶
- شکل ۵-۳: اسنک سیبزمینی ۱۰۸
- شکل ۵-۳: پیلوت تولید SCP ۱۱۲

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۱-۱: سطح، تولید و عملکرد در هکتار سیبزمینی به تفکیک استان در سال زراعی ۱۳۸۸-۸۹ ... ۸	
جدول ۲-۱: ترکیبات شیمیایی غده سیبزمینی بر اساس وزن مرطوب..... ۱۰	
جدول ۳-۱: مقایسه ارزش انرژی زایی سیبزمینی با سایر مواد غذایی..... ۲۰	
جدول ۴-۱: مقایسه ماده خشک، انرژی و پروتئین سیبزمینی با سایر محصولات زراعی..... ۲۱	
جدول ۱-۲: شکل، اندازه، ترکیب شیمیایی و برخی از خصوصیات نشاسته در منابع گیاهی..... ۳۷	
جدول ۱-۳: نفوذ پذیری نسبت به اکسیژن (OP) و بخار آب (WVP) فیلم های نشاسته طبیعی و اصلاح شده..... ۶۹	
جدول ۲-۳: تأثیر میزان گلیسرول و سورفاکتانت بر روی استحکام کششی و افزایش طول تا نقطه شکست فیلم نشاسته... ۷۴	

جدول ۴-۱: ترکیبات شیمیایی ضایعات پوست سیبزمینی خشک شده
۸۵.....

جدول ۴-۲: قندهای احیاء قابل تخمیر آزاد شده بعد از
هیدرولیز آنزیمی پوست سیبزمینی تحت ترکیب آنزیمی مختلف،
قند احیاء بر حسب گرم بر لیتر بعد از فرایند تخمیر و قند
مصرفی در طول تخمیر.....۹۱

جدول ۴-۳: تولید اتانول بر حسب گرم بر لیتر، بازده و
حداکثر بازده نظری در طول تخمیر پوست سیبزمینی.....۹۲

جدول ۵-۱: درصد ترکیبات فلیک و خلال سیبزمینی.....۱۱۸

فصل اول

مقدمه و کلیات

۱-۱- مقدمه

خاستگاه اصلی سیبزمینی نواحی غربی آمریکای جنوبی یعنی کشورهای پرو، شیلی، بولیوی و اکوادور است، که در آن جا از دیر باز به عنوان یک محصول مهم غذایی مطرح بوده است. پیشینه کاشت سیبزمینی در این کشورها به چند هزار سال پیش می‌رسد. این محصول در اواسط قرن شانزدهم، توسط اسپانیایی‌ها از آمریکای جنوبی به اروپا منتقل گردید. انتقال سیبزمینی از آمریکای جنوبی به اروپا توسط فردی بنام درک^۱ صورت گرفت (فلاحی، ۱۳۷۶). در قرن شانزدهم (قبل از ۱۵۷۳) اسپانیایی‌ها سیبزمینی را در کشورشان ترویج دادند، که بعدها در انگلستان، ایتالیا، هلند، آلمان، سوئیس و فرانسه نیز مورد استفاده قرار گرفت. استفاده از آن در انگلستان برای اولین بار در سال ۱۵۹۶ میلادی و در اروپای شمالی نیز در همان سال گزارش شده است. در قرن هجدهم و نوزدهم میلادی در کشورهای اروپایی سیب زمینی به طور گسترده برای تولید پوره مورد استفاده قرار می‌گرفت (مبلی و همکاران، ۱۳۸۸). در قرن نوزدهم کاشت سیبزمینی به عنوان ماده خام برای مصرف در کارخانه های الکلسازی و نشاسته به کار می‌رفت (فلاحی، ۱۳۷۶). در خلال قرن نوزدهم سیبزمینی اغلب توسط استعمارگران از اروپا به چند کشور گرمسیری و نیمه گرمسیری وارد شد. در سالهای اخیر سیبزمینی به کشورهای زیادی که دارای اقلیم گرم‌تر و خشک‌تر هستند وارد شد و در مناطقی چون آفریقای شمالی، هندوستان، بنگلادش، پاکستان، آمریکای جنوبی، چین، آرژانتین، اروگوئه و دشتهای ساحلی پرو گسترش یافته است (مبلی و همکاران، ۱۳۸۸).

در جهان و در کشور ما سیبزمینی یکی از محصولات زراعی اساسی به شمار می‌رود و هم اکنون یکی از مهم‌ترین مواد غذایی مردم کشور ایران است و بعد از غلات نیاز کشور به این محصول اساسی در درجه دوم اهمیت قرار دارد. با این حال، تولید داخلی سیبزمینی با توجه به افزایش مصرف آن

¹ -Drake

در سال‌های اخیر پاسخگوی نیازهای فعلی کشور نیست و در بعضی سال‌ها با کمبود آن مواجه می‌شویم. نیاز روز افزون کشور به این ماده غذایی در سال‌های گذشته موجب افزایش قیمت آن در بازار شده و دولت را در برخی موارد به سهمیه بندی آن مجبور کرده است. در دنیای کنونی سیبزمینی یکی از با ارزش‌ترین مواد غذایی است. از نظر اهمیت غذایی سیبزمینی نسبت به غلات، انرژی بیشتری در واحد سطح تولید می‌کند، زیرا عملکرد متوسط گندم چهار تن در هکتار و سیبزمینی ۲۵ تن در هکتار است و با توجه به این که حدود ۷۵ درصد وزن سیبزمینی را آب و فقط ۲۵ درصد آن را ماده خشک تشکیل می‌دهد، باز هم ۶/۲۵ تن مواد غذایی خشک در هکتار تولید می‌کند که حدود ۵۰ درصد بیشتر از عملکرد گندم است. با توجه به این که ۲/۲ درصد ترکیبات غده‌ی سیبزمینی را پروتئین و نزدیک به ۲۰ درصد آن را ماده‌ی قندی تشکیل می‌دهد، بنابراین از یک هکتار با تولید حداقل ۲۵ تن سیبزمینی، ۵۵۰ کیلوگرم پروتئین و بالغ بر ۸۰۰۰۰ مگاژول انرژی تولید می‌شود که این مقدار در مقایسه با گندم و برنج خیلی بیشتر است. در آمریکای شمالی، ضرایب تولید ماده خشک سیبزمینی در واحد سطح نسبت به ماده خشک حاصل از گندم، جو و ذرت، به ترتیب ۳/۰۴، ۲/۶۸، ۱/۱۲ بیشتر است و بازده پروتئین در واحد سطح سیبزمینی در مقایسه با پروتئین حاصل از گندم، برنج و ذرت با ضرایب ۲/۰۲، ۱/۳۳ و ۱/۲۰ نیز بیشتر است. در ایران نیز استعداد بالقوه‌ای در زمینه‌ی رشد این محصول وجود دارد که جانشین خوبی برای گندم است. در صورت مقایسه‌ی انرژی مواد پروتئینی و انرژی حاصل از سیبزمینی و گندم مشاهده می‌شود که توسعه کشت این محصول در ارتباط با کاهش واردات گندم اهمیت خاصی دارد. سیبزمینی در ۱۳۰ کشور جهان جایی که سه چهارم جمعیت جهان زندگی می‌کنند در وسعتی حدود ۲۰ میلیون هکتار کشت می‌شود. تولید سالانه‌ی آن ۲۸۰ میلیون تن است که بعد از گندم، برنج و ذرت چهارمین محصول مهم جهان است و افزون بر مصرف غذایی برای تهیه بیش از ۵۰ نوع فراورده شامل آرد، نان، الکل، وسایل آرایشی، شیرینی، کنسرو، چیپس، گلوکز و ... استفاده می‌شود. سیبزمینی در بیشتر

کشورهای صنعتی، توسعه یافته و در حال توسعه دارای جایگاه مهمی در بین محصولات کشاورزی است. بزرگترین تولیدکنندگان سیبزمینی در جهان، کشورهای چین، روسیه و هند می‌باشند. بر طبق آمار سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد، ایران سیزدهمین تولیدکننده سیبزمینی در جهان است (مبلی و همکاران، ۱۳۸۸).

در ایران نیز توجه خاصی به کمیت و کیفیت تولید این محصول شده است. بر مبنای آمار بانک اطلاعات جهاد کشاورزی سطح برداشت سیبزمینی کشور در سال زراعی ۸۹-۱۳۸۸ حدود ۱۴۶ هزار هکتار برآورد شده که ۹۸/۸ درصد آن آبی و بقیه به صورت دیم بوده است. استان همدان با ۱۶/۲ درصد اراضی سیبزمینی کشور در مقام نخست قرار دارد. استان‌های اردبیل، اصفهان، زنجان، آذربایجان شرقی و کردستان به ترتیب با ۱۰/۷، ۱۰، ۷/۲، ۶/۶ و ۶/۶ درصد مقام‌های دوم تا ششم را به خود اختصاص داده‌اند. شش استان مزبور جمعاً ۵۳/۳ درصد اراضی سیبزمینی کل کشور را دارا هستند و ۴۲/۷ درصد بقیه در سایر استان‌ها برداشت شده است. میزان تولید سیبزمینی در کشور حدود ۴/۳ میلیون تن برآورد شده که ۹۹/۶ درصد آن از اراضی آبی حاصل شده است. استان همدان با ۲۳/۵ درصد از تولید سیبزمینی کشور، مقام اول در تولید این محصول را به خود اختصاص داده است و استان‌های اردبیل، اصفهان، آذربایجان شرقی، کردستان و زنجان به ترتیب با ۹/۴، ۸/۲، ۷/۵، ۷/۵ و ۶/۳ درصد سهم در تولید سیبزمینی رتبه‌های دوم تا ششم را کسب کرده‌اند. شش استان مزبور جمعاً ۶۲/۴ درصد تولید سیبزمینی کشور را به خود اختصاص داده‌اند. عملکرد سیبزمینی آبی در کشور ۲۹۴۴۵/۵ کیلوگرم و سیبزمینی دیم ۹۵۱۱/۳ کیلوگرم در هکتار بوده است. بیشترین و کمترین راندمان تولید سیبزمینی آبی در استان‌های همدان و قم به ترتیب با ۴۲۲۶۲/۱ کیلوگرم و ۶۶۰۸/۱ کیلوگرم در هکتار می‌باشد. بیشترین و کمترین عملکرد سیبزمینی دیم متعلق به استان‌های گیلان و مازندران به ترتیب با ۲۱۲۵۴/۳ کیلوگرم و ۸۲۰۵/۷ کیلوگرم در هکتار است. جدول ۱-۱ و شکل ۱-۱ و ۲-۱ آمار سطح، تولید و عملکرد در هکتار سیبزمینی به تفکیک استان در سال زراعی ۸۹-۱۳۸۸ را نشان می‌دهد (آمارنامه کشاورزی، ۱۳۸۹).

۱-۲- گونه های سیبزمینی

سیبزمینی از جنس سولانوم^۱ و از خانواده سولاناسه است که شامل ۲۰۰۰ گونه است و ۸ گونه آن کشت می شود.

گونه های سیبزمینی شامل:

(۱) سولانوم استنوتوموم^۲: اولین گونه از نظر شکل ظاهری است. در نواحی مرتفع کوهستانی قسمت جنوبی پرو و مرکزی کشور بولیوی به عمل می آید.

(۲) سولانوم فورچا^۳: بیشتر در مناطق با آب و هوایی گرم و بدون خطر یخزدن کشت می شود و این محصول در دامنه ی کوه های آندو در کشور اکوادور به دست می آید.

(۳) سولانوم آجان هیری^۴: در برابر یخ زدن مقاوم است و در نواحی شمالی بولیوی پرورش می یابد.

(۴) سولانوم گونیوکالیکس^۵: در کشور پرو کشت می شود و گوشت آن زرد رنگ است.

(۵) سولانوم چاچا^۶: در قسمت مرکزی بولیوی و پرو کشت می شود.

(۶) سولانوم جوزپزوکی^۶: به یخزدگی مقاوم است. در قسمت های مرکزی پرو و جنوب بولیوی کاشته می شود. دارای گل بنفش رنگ است.

^۱- Solanum

^۲- S.stenotomum

^۳- S.phureja

^۴- S.ajanhiri

^۵- S.goniocalyx

^۶- S.chaucha

۷) سولانوم کورتیلوبوم^۱: در مناطق مرتفع مرکزی پرو و بولیوی رشد و نمو کرده و گل‌های بنفش دارد.

۸) سولانوم توبرسوم^۲: که در سراسر جهان کاشته و برداشت می‌شود. این گونه خود دارای دو زیر گونه است:

الف) سولانوم آندی‌جنا^۳: که در آمریکای مرکزی و جنوبی رشد می‌کند.

ب) سولانوم توبرسوم^۴: که در سراسر جهان قابل کشت است.

از بین این گونه‌ها، گونه توبروسوم در تمامی مناطق جهان به ویژه در نواحی با آب و هوای معتدل رشد و نمو می‌کند (فلاحی، ۱۳۷۶).

۳-۱- ترکیب شیمیایی غده سیبزمینی

ترکیب شیمیایی غده‌های سیبزمینی متفاوت است که به طور عمده به ژنتیک آن مربوط می‌شود. به هر حال، ترکیب شیمیایی تحت تأثیر سن و رسیدگی غده سیبزمینی و شرایط آب و هوایی محیط قرار می‌گیرد. عواملی از قبیل کوددهی، آفتکش‌ها و آفات نیز بر آن تأثیر دارند. در طی ذخیره‌سازی ترکیب شیمیایی سیبزمینی تغییر می‌کند. در حدود ۲۰ درصد از سیبزمینی ماده خشک و ۸۰ درصد آن را آب تشکیل می‌دهد (جدول ۱-۲). هر غده سیبزمینی یک موجود زنده است و آب برای تمام فرآیندهای حیاتی آن چه آنابولیک یا کاتابولیک ضروری است. آب مواد موجود داخل غده را جابه‌جا می‌کند و از حرارت بیش از اندازه به وسیله تعرق جلوگیری

^۱- S. jospeuki

^۲- S. curtilobum

^۳- S. tuberosum

^۴- S. andigena

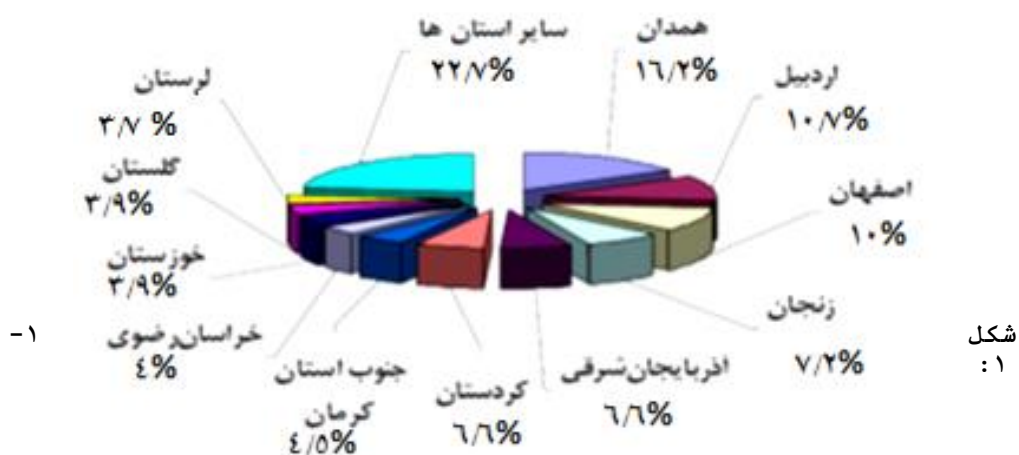
^۵- S. tuberosum

می‌کند. حدود ۲۰ درصد آب موجود در غده سیبزمینی به صورت اتصالی است که ممکن است از نوع کریستالی یا کلوئیدی باشد. بقیه آب آن به صورت آزاد است که موجب حل کردن اجسام هیدروفیلی با مولکول کوچکتر می‌شود که در غده سیبزمینی است. (سینگ و کور، ۲۰۰۹).

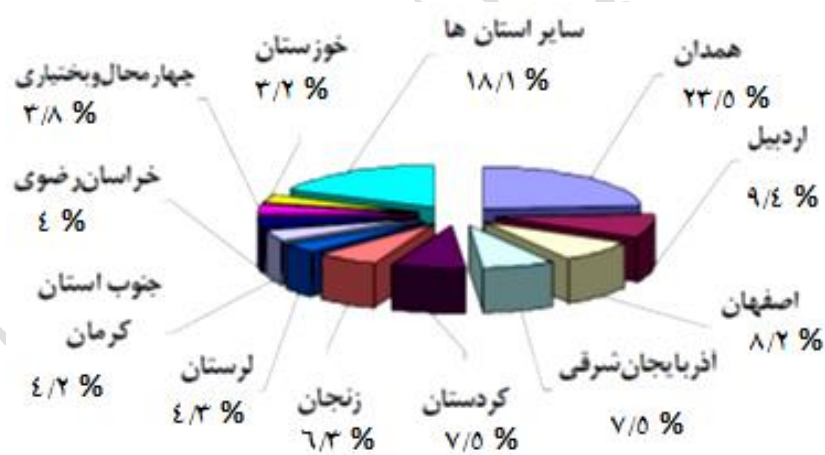
میزان ماده خشک سیبزمینی از طریق وزن مخصوص آن که از ۱/۰۴۸۵ تا ۱/۱۵۱ گرم بر سانتی متر مکعب است، معین می‌شود. وزن مخصوص یک فاکتور کیفی برای سیبزمینی می‌باشد.

جدول ۱-۱: سطح، تولید و عملکرد در هکتار سیبزمینی به تفکیک استان در سال زراعی ۱۳۸۸-۸۹
(واحد- هکتار- تن - کیلوگرم)

نام استان	سطح		تولید		عملکرد	
	ایبی	جمع	ایبی	جمع	ایبی	دیم
آذربایجان شرقی	۹۶۸۴	۰	۲۲۰۱۳۷	۰	۳۳۰۶۵,۱	۰
آذربایجان غربی	۱۴۶۸	۰	۳۰۳۰۰	۰	۳۰۶۴۰,۳	۰
اردبیل	۱۵۶۹۶	۰	۴۰۳۴۰۶	۰	۲۵۷۰۱,۲	۰
اصفهان	۱۴۵۹۱	۰	۳۴۹۹۲۹	۰	۲۳۹۸۲,۵	۰
بوشهر	۱۰۳	۰	۹۵۶	۰	۹۳۸۵,۱	۰
تهران	۳۵۱۱	۰	۷۳۵۷۶	۰	۳۹۳۰۱,۵	۰
چهارمحال و بختیاری	۵۲۱۲	۰	۱۶۱۴۷۲	۰	۳۰۹۸۰,۹	۰
خراسان جنوبی	۱۱۰	۰	۱۵۱۰	۰	۱۳۷۲۸,۷	۰
خراسان رضوی	۵۸۱۶	۰	۱۷۰۵۹۵	۰	۲۹۳۳۲	۰
خراسان شمالی	۱۶۵۱	۰	۲۹۵۶۸	۰	۱۷۹۰۹,۲	۰
خوزستان	۵۷۵۳	۰	۱۳۷۸۴۱	۰	۲۳۹۵۹,۸	۰
زنجان	۱۰۵۲۱	۰	۲۷۱۱۵۳	۰	۲۵۷۷۲,۶	۰
سمنان	۴۵۰۱	۰	۸۸۴۰۴	۰	۱۹۶۴۱	۰
سیستان و بلوچستان	۳۵۷	۰	۱۰۷۳۹	۰	۳۰۰۷۹,۹	۰
فارس	۵۳۱۶	۰	۱۳۵۹۳۶	۰	۲۵۵۷۱,۱	۰
قزوین	۴۷۶	۰	۸۵۴۹	۰	۱۷۹۵۹,۷	۰
قم	۲۳	۰	۱۵۲	۰	۶۶۰۸,۱	۰
کردستان	۹۶۰۰	۰	۳۱۹۲۸۹	۰	۳۳۳۶۹,۷	۰
کرمان	۴۱۹۴	۰	۱۱۳۲۲۳	۰	۲۷۰۰۹,۳	۰
کرمانشاه	۴۱۵	۰	۴۶۹۴	۰	۱۱۳۰۶,۳	۰
گلستان	۵۷۲۷	۰	۱۳۷۵۲۴	۰	۲۴۰۱۳,۳	۰
گیلان	۵۹	۱۶۸	۱۱۹۳	۳۵۷۱	۲۰۲۱۸,۱	۲۱۲۵۴,۳
لرستان	۵۳۸۳	۰	۱۸۴۳۱۷	۰	۳۴۳۴۰,۶	۰
مازندران	۶۳۹	۱۵۱۱	۸۷۹۴	۱۳۳۹۹	۱۳۶۸۰,۴	۸۲۰۵,۷
مرکزی	۳۸۸۱	۰	۹۷۱۱۲	۰	۲۵۰۲۳,۳	۰
هرمزگان	۵۲۰	۰	۱۴۹۶۸	۰	۲۸۷۸۴,۴	۰
همدان	۲۳۷۴۶	۰	۱۰۰۳۵۵	۰	۴۲۳۶۳,۱	۰
یزد	۳۵	۰	۷۱۸	۰	۳۰۵۰۹,۶	۰
جنوب استان کرمان	۶۶۵۰	۰	۱۷۸۸۱۲	۰	۳۶۸۸۹	۰
کل کشور	۱۴۴۶۲۴	۱۶۷۹	۴۳۵۸۵۲۰	۱۵۹۷۰	۳۹۴۴۵۰۵	۹۵۱۱,۳



توزیع سطح سیبزمینی استان‌ها نسبت به کل کشور در سال زراعی ۸۹-۱۳۸۸



شکل ۱-۲: توزیع میزان تولید سیبزمینی استان‌ها نسبت به کل کشور در سال زراعی ۸۹-۱۳۸۸

۱-۳-۱- نشاسته

نشاسته ترکیب عمده و اصلی غده سیبزمینی است که در طی فصل رشد و نمو، در سلول‌های غده به شکل دانه (گرانول)^۱ جمع می‌شود. در ابتدا نشاسته در سلول‌های سیبزمینی به شکل دانه‌های ریز تشکیل می‌شود، سپس غده‌ها از نظر اندازه رشد می‌کنند. این فرضیه حدود ۱۰۰ سال قبل مطرح شد و هنوز هم به قوت خود باقی است. در طی رشد سیبزمینی، میزان نشاسته غده‌های سیبزمینی افزایش می‌یابد. میزان افزایش نشاسته در سیبزمینی در طول فصل داشت تفاوت می‌کند و به واریته سیبزمینی بستگی دارد. نشاسته نقش مهمی در تهیه فرآورده‌های غذایی به عهده دارد و یک ماده خام صنعتی شمرده می‌شود. نشاسته در صنعت الکل‌سازی به عنوان ماده اولیه به مصرف می‌رسد. نشاسته، ترکیب مهم و پرانرژی فرآورده‌های غذایی است. بین کیفیت پخت و میزان نشاسته رابطه مستقیم وجود دارد. این عامل یکی از مهمترین فاکتورهای مقبولیت سیبزمینی محسوب می‌شود.

اگر میزان نشاسته کم باشد بافت آن پس از پخت به شکل خمیری در می‌آید و اگر میزان آن خیلی زیاد باشد در حین پخت سلول‌های آن شکسته می‌شود. مقدار نشاسته با سختی غده سیبزمینی رابطه مستقیم اما با چسبندگی داخل سلولی غده‌های سیبزمینی پخته رابطه عکس دارد. در مورد ساختار و تکنولوژی تولید نشاسته سیبزمینی در فصل دوم به طور کامل توضیحاتی ارائه شده است.

۱-۳-۲- قندها

مقدار قند در سیبزمینی متغیر است و به نوع سیبزمینی، رسیدگی و حالت فیزیولوژیکی آن بستگی دارد. قندهای ذیل در سیب زمینی به حالت آزاد یافت می‌شوند- مونوساکاریدها،

¹ - Granule

شامل D-فروکتوز و D-گلوکز که قندهای احیاء کننده هستند و از دی‌ساکاریدها، ساکاروز که غیر احیاء کننده است. تحت شرایط ویژه این قندها به حالت تعادل دینامیک با نشاسته باقی می‌مانند. این نسبت ممکن است در شرایط محیط نگهداری سیبزمینی تغییر کند. بر اثر تنفس سیبزمینی نشاسته و قند ساده به یکدیگر تبدیل می‌شوند. جدا از مواد قندی، غده‌های سیبزمینی حاوی استرهای فسفری هستند. مقدار قندهای ویژه در سیبزمینی به اندازه غده بستگی دارد. غده‌های بزرگ میزان قندهای احیاء کننده کمتری دارند. این موضوع به ماده خشک آنها بستگی دارد. در غده‌های کوچک وزن ویژه آنها کم است، در هر حال بین وزن ویژه غده و تراکم قند احیاء کننده در طی فصل رابطه معکوس وجود دارد (فلاحی، ۱۳۷۶).

جدول ۱-۲- ترکیبات شیمیایی غده سیبزمینی بر اساس وزن مرطوب

نام ترکیب	مقدار	نام ترکیب	مقدار
-----------	-------	-----------	-------

ماده خشک	۲۸-	تیامین	mg / ۱۰۰g
نشاسته	۱۶٪	ریبوفلاوین	g ۰/۰۲- / ۲
گلوکز	۱۸- / ۲	ویتامین B _۶	- / ۰۷ mg / ۱۰۰
فروکتوز	۱۶٪ / ۶	ویتامین C	g ۰ / ۰۱
ساکارز	۰- / ۶	ویتامین E	۰- / ۴۴ mg / ۱۰۰
فیبرخام	۰٪ / ۰۱	اسید فولیک	g ۰ / ۱۳
لیپید	۰- / ۶	نیتروژن (کل)	۵۴- mg / ۱۰۰
پروتئین	۰٪ / ۰۱	پتاسیم	g ۸
آسپاراژین (آزاد)	۰- / ۶۸	فسفر	۰ / ۱ mg / ۱۰۰
گلوتامین (آزاد)	۰٪ / ۱۳	کلسیم	g ~
پرولین (آزاد)	۲- ۱٪	منیزیم	- / ۰۳ mg / ۱۰۰
سایر اسیدهای آمینه	۰- / ۲	آهن	- ۰ / ۴ ۰ / ۰۱
پلی فنلها	۰٪ / ۰۷۵	روی	٪ ۰ / ۲
کارتنوئیدها	۲- / ۱	گلیکوالکالوئیدها	mg / ۱۰۰g
توکوفرولها	۰٪ / ۶		g ۵۶۴- ۲۸۰
	mg / ۱۰۰g		۶۰- mg / ۱۰۰
	۵۲۹- ۱۱۰		g ۳۰
	mg / ۱۰۰g		۱۸- ۵ mg / ۱۰۰
	۴۰۹- ۲۳		mg / ۱۰۰g
	mg / ۱۰۰g		g ۱۸- ۱۴
	۲۰۹- ۲		۰- / ۶ mg / ۱۰۰
	/ ۱۰۰g		g ۰ / ۴
	۱۱۷- mg		mg / ۱۰۰
	g ۰ / ۲		g ~ ۰ / ۳
	/ ۱۰۰		mg / ۱۰۰
	۴۴۱- mg		< ۲۰ mg / ۱۰۰
	۱۲۳		
	mg / ۱۰۰g		
	۰ / ۲- ۰۵		
	mg / ۱۰۰g		
	۰ / ۳		

۱-۳-۳- فیبرهای خام

فیبرهای خام در دیواره‌ی سلول و اجسام داخل سلول غده را تشکیل می‌دهند. این ترکیبات شامل سلولز، همی‌سلولز، پنتوزان و اجسام پکتیکی هستند که در مجموع ۱-۲ درصد از وزن غده را تشکیل می‌دهند.

۴-۳-۱- ترکیبات ازت دار

ترکیبات ازت دار پس از کربوهیدرات‌ها از ترکیبات عمده تشکیل دهنده سیبزمینی به شمار می‌روند. مقدار آنها هنگام تبدیل به پروتئین کل ($N \times 6/25$) بین ۲/۷۷ تا ۱۴/۶ درصد وزن خشک فرق می‌کند. میزان ازت کل غده‌های سیبزمینی هنگام بالغ شدن غده‌ها افزایش می‌یابد. واریته‌های زودرس مقدار بیشتری ازت را در غده‌های خود در مقایسه با واریته‌های دیررس متراکم می‌کنند.

غده‌های سیبزمینی دارای اجزاء ازت‌دار زیر می‌باشند:
ازت پروتئینی، ازت اسیدآمینه، ازت آمیدی، ازت سایر ترکیبات آلی، ازت غیر آلی و ازت آکالوئیدی.

۴-۳-۱-۱- پروتئین

پروتئین سیبزمینی دارای بالاترین ارزش تغذیه‌ای می‌باشد به دلیل این که میزان بالایی از اسیدهای آمینه ضروری از جمله لایزین، متیونین، تریونین و تریپتوفان را دارا می‌باشند.

میزان ازت پروتئینی به کل ازت از ۲۷/۳ تا ۷۳/۴ درصد متفاوت می‌باشد. به طور کلی پروتئین‌ها نیمی از ترکیبات ازته را در غده‌های سیبزمینی تشکیل می‌دهند و همچنین به عنوان اجزاء اصلی غشاء سلولی به شمار می‌روند. آنزیم‌های موجود در سیبزمینی نیز از پروتئین تشکیل می‌شوند.

پروتئین‌های اصلی موجود در سیبزمینی را پروتئین‌های ساده تشکیل می‌دهند که بر اساس حلالیت به آلبومین (بخش محلول در آب)، گلوبولین (محلول در آب نمک)، پرولامین (محلول در الکل) و گلوتلین (محلول در اسیدهای رقیق و

مواد قلیایی) تقسیم می‌شوند. بخش دیگر پروتئین سیبزمینی از پروتئید-گلیکوپروتئید (پاتاتین و لکتین)، متالوپروتئید و فسفوپروتئید تشکیل می‌شوند. پروتئین اصلی سیبزمینی (حدود ۷۰ درصد) به نام توبرین موسوم است ولی در حقیقت به دو بخش آلبومین و گلوبولین تقسیم می‌شود. بازدارنده‌های آنزیم‌های پروتئولیتیکی بخش مهم پروتئین‌های محلول (حدود ۱۵٪) غده سیبزمینی را تشکیل می‌دهند. این بازدارنده‌ها سیبزمینی را در مقابل فرایندهای پروتئولیتیک و در مقابل عفونت‌های بیماری‌زا محافظت می‌کنند. با اصلاح ژنتیکی توسط برخی محققین، افزایش میزان و کیفیت پروتئین غده‌های سیبزمینی گزارش شده است (سینگ و کور، ۲۰۰۹؛ فلاحی، ۱۳۷۶).

۲-۴-۳-۱- اسیدهای آمینه آزاد

اسیدآسپارتیک، اسید گلوتامیک و والین بیش از ۵۰ درصد کل اسیدهای آمینه را تشکیل می‌دهند. اسیدهای آمینه موجود در غده سیبزمینی از نظر مقدار متفاوت هستند و به واریته و عوامل محیطی بستگی دارند. تیروزین یکی از اسیدهای آمینه موجود در سیبزمینی است که توسط پژوهشگران مورد بررسی قرار گرفته است. تیروزین به وسیله آنزیم فنل اکسیداز تغییر رنگ داده و سیاه می‌شود. بین سیاه شدن غده‌های سیبزمینی خام و تیروزین آن، رابطه مستقیم وجود دارد.

۱-۳-۴-۳- آمیدها

حدود ۰/۱ تا ۰/۷۵ درصد ماده خشک غده‌های سیبزمینی را آمیدها تشکیل می‌دهند. میزان آمیدها (آسپاراژین و گلوتامین) به شرایط رشد و نمو سیبزمینی بستگی دارد، اما میزان آسپاراژین از گلوتامین بیشتر است. میزان این دو آمید به میزان کود شیمیایی بستگی دارد. در فرآوری

سیبزمینی اگر میزان آمید زیاد باشد، تشکیل کف در حین تولید پوره برای الکلسازی اشکال ایجاد می‌کند.

۱-۳-۴-۴ - گلیکوآلکالوئیدها

غده‌های سیبزمینی سولانوم توبرسوم حاوی دو گلیکوآلکالوئید، سولانین و شاکونین می‌باشد که معمولاً مقدار شاکونین سه برابر سولانین است. مخلوطی از مولکول‌های آلفا، بتا و گاما سولانین و شاکونین نیز در غده‌های سیبزمینی یافت می‌شود. به طور عمومی میزان گلیکوآلکالوئید را با TGA^۱ نشان می‌دهند.

بیشترین میزان TGA (۱۲۰ میلی‌گرم به ازاء ۱۰۰ گرم ماده سیبزمینی) در غده‌های یک گونه متعلق به جنس سولانوم یافت می‌شود. میزان آلکالوئید گونه‌های سولانوم توبرسوم کم است. میزان گلیکوآلکالوئید غده‌ها از یک کشور به کشور دیگر و از یک واریته به واریته دیگر تفاوت دارد. به طوری که میزان آن از ۱/۶ تا ۲۰ میلی‌گرم در هر ۱۰۰ گرم ماده تازه متغیر است. میزان TGA در واریته‌های زود رس زیادتر است (سینگ و کور، ۲۰۰۹).

میزان گلیکوآلکالوئید به تدریج که سیبزمینی رشد می‌کند کاهش پیدا می‌کند. یک غده ۱۰۰ گرمی نارس، ۲/۸-۳/۸ میلی‌گرم سولانین و ۶/۶-۸/۴ میلی‌گرم شاکونین دارد، در غده رسیده مقدار سولانین از ۰/۱ تا ۰/۴ میلی‌گرم و شاکونین از ۱/۱ تا ۳ میلی‌گرم به ازاء هر ۱۰۰ گرم وزن آن کاهش پیدا می‌کند. تراکم گلیکوآلکالوئیدها در بخش‌های مختلف سیبزمینی یکنواخت نیست. در لایه خارجی سیبزمینی بیشترین مقدار آلکالوئید یافت می‌شود. پوست سیبزمینی ۲-۳ درصد وزن غده را تشکیل می‌دهد در حالی که ۳۰-۶۰ میلی‌گرم TGA

^۱ -Total glycoalkoloid

در پوست سیبزمینی یافت می‌شود ولی ۵-۲/۱ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم آلکالوئید در گوشت سیبزمینی وجود دارد.

غده‌های سیبزمینی اگر در معرض نور قرار گیرند سبز می‌شود. رنگ سبز مربوط به کلروفیل لایه خارجی است. تشکیل کلروفیل با تراکم گلیکوآلکالوئید همراه است. وقتی غده‌های سیبزمینی نارس در معرض نور آفتاب قرار می‌گیرند، میزان گلیکوآلکالوئید بیشتری تشکیل می‌شود. تأثیر نور با افزایش دما بیشتر می‌شود. با نگهداری سیبزمینی در تاریکی می‌توان از افزایش گلیکوآلکالوئیدها جلوگیری کرد. اگر سیبزمینی صدمه مکانیکی ببیند، گلیکوآلکالوئید بیشتری تشکیل خواهد شد.

گلیکوآلکالوئیدها مواد سمی هستند؛ بنابراین باید میزان آنها در سیبزمینی کنترل گردد. میزان کشندگی گلیکوآلکالوئید در انسان و حیوان اندازه‌گیری شده است. میزان خطرناک TGA برای انسان از ۳ تا ۵ میلی‌گرم به ازاء هر کیلوگرم وزن بدن فرق می‌کند. حداکثر سطح TGA برابر ۲۰ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم غده سیبزمینی است و از این سطح نباید فراتر برود. میزان طبیعی گلیکوآلکالوئید در اکثر واریته‌های سیبزمینی از ۳ تا ۵ میلی‌گرم در هر ۱۰۰ گرم غده یافت می‌شود. سمیت آلکالوئیدها موجب می‌شود که سیبزمینی در مقابل امراض و آفات مقاوم‌تر شود. مشخص شده است که گلیکوآلکالوئیدها از رشد انواع قارچ‌های بیماری‌زای گوناگون و آفات سیبزمینی جلوگیری می‌کند.

گلیکوآلکالوئیدها بر طعم سیبزمینی پس از پخت نیز تاثیر دارند به طوری که طعم ترش و حتی تلخ سیبزمینی مربوط به گلیکوآلکالوئیدها می‌باشد (سینگ و کور، ۲۰۰۹).

۱-۳-۴-۵- سایر ترکیبات ازته آلی

جدا از اسیدهای آمینه و آمیدها، ازت غیر پروتئینی شامل پپتیدها، آمین‌ها، بازهای ازته و سایر ترکیبات است.

۱-۴- ازت غیر آلی در غده سیبزمینی

ازت غیر آلی در غده سیبزمینی به طور عمده به ترکیبات آمونیاکی و نیترات و نیتريت مربوط می‌شود. در سال‌های اخیر توجه خاصی به نیترات موجود در غده‌های سیبزمینی شده است. نیترات پس از تبدیل به نیتريت در ارگانیزم زنده سرطان ایجاد می‌کند.

۱-۵- لیپیدها

مقدار آنها بین ۰/۰۷۵ تا ۰/۲ درصد است. لیپیدها به طور عمده از اسیدهای چرب، چربی‌ها و فسفولیپیدها تشکیل می‌شوند. غده سیبزمینی حاوی تعداد زیادی اسیدهای چرب است. اسید لینولئیک ۴۰ تا ۵۰ درصد تمامی اسیدهای چرب را تشکیل می‌دهد. اسید لینولنیک ۲۰-۳۰ درصد، اسید اولئیک ۵-۱ درصد، اسید پالمیتیک ۲۰ درصد و اسید استئاریک ۵ درصد، به طوری که سه چهارم از اسیدهای چرب سیبزمینی غیر اشباع هستند (فلاحی، ۱۳۷۶).

۱-۶- اسیدهای آلی

اسیدهای آلی شامل ۱-۴/۰ درصد غده تازه را تشکیل می‌دهند. بیشترین مقدار اسید آلی موجود در سیبزمینی اسید سیتریک می‌باشد (۶۰۸-۲۷۰ میلی‌گرم به ازاء هر ۱۰۰ گرم). سایر اسیدهای آلی از جمله اسید مالیک (۱۵۰-۴۰ میلی‌گرم)، پیرولیدون کربوکسیلیک اسید (۱۲۷-۱۴ میلی‌گرم)، اسید اگزالیک (۳۰-۸ میلی‌گرم)، فوماریک و سوکسینیک (۴-۱/۴ میلی‌گرم) نیز در غده سیبزمینی یافت می‌شوند (فلاحی، ۱۳۷۶).

۱-۱۱- ترکیبات فنلی

غده های سیبزمینی حاوی تعداد زیادی ترکیبات فنلی است، اما درصد آنها نسبتاً پایین است. برخی به شکل آزاد و برخی به شکل اتصالی هستند.

آنها اساساً مشتقات جایگزین هیدروکسی سینامیک اسید^۱ (در شکل آزاد) و هیدروکسی بنزوئیک اسید^۲ (در شکل بانده شده) می باشند. مشتقات متداول هیدروکسی سینامیک اسید در پوست سیبزمینی عبارتند از:

اسید کلروژنیک (CGA)^۳، کافئیک اسید (CFA)^۴، فرولیک اسید (FRA)^۵

و مشتقات هیدروکسی بنزوئیک اسید شامل:

گالیک اسید^۶ (GAC)، پروتوکاتشونیک اسید^۷ (PCA)،
وانیلیک اسید^۸ (VNA) و p- هیدروکسیل بنزوئیک اسید^۹ می باشند.

GAC و CGA ترکیبات فنولیک عمده در پوست سیبزمینی می باشند. اکثر ترکیبات پلی فنلی سوپسترا برای آنزیم پلی فنل اکسیداز است. تیروزین، اسید کلروژنیک، اسید کافئیک و سایر فنلها در حضور اکسیژن اکسیده می شوند، سپس

1 - hydroxycinnamic acid

2- hydroxybenzoic acid

3-Chlorogenic acid

4- Caffeic acid

5- Ferulic acid

1-Gallic acid

7 Protocatechuic acid

8 Vanillic acid

9 Phydroxyl benzoic acid

از طریق واکنش‌های قهوه‌ای آنزیمی مواد رنگی قهوه‌ای تا سیاه تولید می‌کنند که وزن مولکولی زیادی دارند و به ملانین موسوم‌اند. فنل‌ها موجب قهوه‌ای شدن پس از پخت^۱ نیز می‌شوند. پلی‌فنل‌ها با آهن دو ظرفیتی واکنش داده و ترکیب رنگی را تشکیل می‌دهند. اکسیداسیون این آهن به آهن سه ظرفیتی برای توسعه رنگ سیاه ضروری است (سینگ و سالدانا، ۲۰۱۱).

۸-۱- ترکیبات فرار

غده سیبزمینی حاوی ترکیبات فرار آلدئیدها، الکل‌ها، استرها و سایر ترکیبات فرار از جمله استالدئید، پروپیونوآلدئید، بوتیرآلدئید، متانول، اتانول، ۱-پروپانول، ۲-پروپانول، پنتانول، اکتانول، استون، بوتانول، هپتانول و نونانول نیز می‌باشند.

۹-۱- ویتامین‌ها و فیتوهورمون‌ها

به طور کلی ویتامین‌ها به دو دسته کلی محلول در آب و محلول در چربی تقسیم می‌شوند. بیشترین ویتامین در قسمت آوندی سیبزمینی یافت می‌شود و همچنین بیشترین مقدار ویتامین موجود در سیبزمینی ویتامین C است (جدول ۱-۲). از ترکیب اسید آسکوربیک با آهن دو ظرفیتی کمپلکس ارغوانی رنگ که مشابه اسیدکلروژنیک است تشکیل می‌شود ولی استحکام کمتری دارد.

فیتوهورمون‌ها در غده سیبزمینی به مقدار خیلی کمتری ظاهر می‌شوند ولی تأثیر شدیدی بر فرآیندهای حیاتی آن دارند. از جمله این ترکیبات اکسین، هترواکسین، جیبرلین، سیتوکینین‌ها و اسید آبسیسیک را می‌توان نام برد.

^۱ - After cooking discoloration

۱-۱۰- مواد معدنی

مواد معدنی که خاکستر نامیده می‌شوند حدود ۱/۱ درصد غده سیبزمینی را تشکیل می‌دهند. حدود سه چهارم آن شامل ترکیبات محلول در آب هستند.

پتاسیم کاتیون اصلی غده سیبزمینی را تشکیل می‌دهد. نسبت آن در کل خاکستر بین ۴۴ تا ۷۷ درصد است و در هر ۱۰۰ گرم مقدار آن به ۲۸۰ تا ۵۶۴ میلی‌گرم می‌رسد. بیشترین مقدار آن در پوست سیبزمینی وجود دارد. پتاسیم در تنظیم فرایند تراکم هگوز در تشکیل ساکاروز و نشاسته شرکت دارد. این فعالیت به فسفوریلاسیون مربوط است. یون پتاسیم انتقال دهنده الکترون در واکنش‌های آنزیمی می‌باشد. همچنین در سنتز آمید، پروتئین و اسید آمینه نیز شرکت دارد.

فسفر عنصر معدنی عمده سیبزمینی است. لایه خارجی آن حاوی فسفر کمتری از لایه داخلی است. در هر ۱۰۰ گرم مقدار آن به ۳۰-۶۰ میلی‌گرم می‌رسد (جدول ۱-۲).

گوگرد در غده سیبزمینی در اسیدهای آمینه حاوی گوگرد وجود دارد و نقش مهمی در فرآیندهای اکسیداسیون احیاء دارد. طعم سیبزمینی پخته تا حدودی تحت تاثیر گوگرد قرار می‌گیرد.

کلسیم در پوست و سیستم آوندی سیبزمینی وجود دارد. قسمت خارجی غده سیبزمینی مساوی دو سوم تا دو چهارم میزان کلسیم را تشکیل می‌دهد. بیش از ۹۰ درصد کلسیم به شکل کلراید، نیترات و نمکهای آلی محلول در آب یا متصل به پکتین و پروتئین می‌باشد.

سدیم نیز مانند کلسیم و پتاسیم مسئول کنترل خاصه‌های ساختمانی و الکتریکی سیتوپلاسم و غشاء سلولی می‌باشد.

منیزیم در فرآیندهای گلیکولیتیک شرکت دارد. منگنز نقش مهمی در دکربوکسیلاسیون دی و تری کربوکسیلیک اسید دارد. منگنز، مس، آهن و کوبالت اجزاء تشکیل دهنده آنزیم‌های غده سیبزمینی هستند.

فلزات سنگین از قبیل روی، نیکل، کادمیوم و سرب در غده سیبزمینی به مقدار جزئی وجود دارد (سینگ و کور، ۲۰۰۹).

۱۱-۱- اهمیت و ارزش تغذیه‌ای سیبزمینی در مقایسه با سایر مواد غذایی

کمتر از نیمی از کل سیبزمینی تولید شده برای مصارف انسانی مورد استفاده قرار می‌گیرد. استفاده از سیبزمینی برای تولید نشاسته در هلند، اروپای شرقی و ژاپن رواج دارد، ولی استفاده از این محصول برای تولید الکل ناچیز است. مقادیر زیادی از سیبزمینی به صورت خوراک دام استفاده می‌شود که این موضوع با توجه به اختلاف زیاد در تولید سیبزمینی و مصرف سرانه‌ی آن در اروپای شرقی مشهود است. تولید سرانه هنوز در کشورهای در حال توسعه، به ویژه در آفریقا و خاور دور اندک است. در نتیجه مصرف سرانه نیز در این کشورها کم بوده ولی در اغلب کشورهای در حال توسعه رو به افزایش است. در اروپای غربی و آمریکای شمالی مصرف سرانه کاهش یافته ولی در دهه گذشته به نسبت ثابت باقی مانده است. از نظر ارزش غذایی و ارزش کالریکی سیبزمینی با سایر مواد غذایی رقابت می‌کند (جدول ۱-۳) و (جدول ۱-۴).

جدول ۱-۳- مقایسه ارزش انرژی‌زایی سیبزمینی با سایر مواد غذایی

ماده غذایی	میزان انرژی بر حسب کیلوکالری به ازاء هر ۱۰۰ گرم	ماده غذایی	میزان انرژی بر حسب کیلوکالری به ازاء هر ۱۰۰ گرم

۳۸۸	کورن	۷۷۷	کره
	فلیکس		
۳۴۴		۶۳۱	بادام
	ران خوک		
۲۷۸		۵۳۰	سویس
	نان گندم		
۲۲۰		۵۱۳	چیپس سیبزمینی
	خلال		
۶۹	سیبزمینی	۴۴۱	ینی
۴۸	سیبزمینی	۴۱۵	بیسکویت
	پخته		
	سیب		پنیر

در شمار زیادی از کشورها سیبزمینی به عنوان منبع اصلی تأمین کننده انرژی برای انسان طی سالیان دراز مورد استفاده قرار گرفته است و به احتمال زیاد شاید یک علت اساسی آن به عنوان یک محصول غذایی پرکالری همین بوده است. شاید علت این تفکر به خاطر این باشد که سیبزمینی کربوهیدرات زیادی ذخیره می‌کند و تقریباً سه چهارم ماده خشک آن از نشاسته تشکیل می‌شود، از این نقطه نظر سیبزمینی به انسان انرژی می‌رساند که به نوبه خود به چربی تبدیل می‌شود. به این دلیل است که در تعدادی از کشورها مصرف آن کاهش نشان می‌دهد.

جدول ۱-۴: مقایسه ماده خشک، انرژی و پروتئین سیبزمینی با سایر محصولات زراعی

رتبه	ماده خشک (تن در هکتار)	انرژی (مگاژول در هکتار)	پروتئین (کیلوگرم در هکتار)
۱	کاساوا	۳	سیبزمینی
۲		۲۱۶	کلم‌ها

۲	سیبزمینی هندی	۲/۴	سیبزمینی هندی	۱۸۲	باقلا خشک	۱/۶
۳	سیبزمینی	۲/۲	هویچ	۱۶۲	سیبزمینی	۱/۴
۴	سیبزمینی شیرین	۲/۱	ذرت	۱۵۹	نخود فرنگی	۱/۴
۵	برنج	۱/۹	کلم ها	۱۵۶	بادنجان	۱/۴
۶	هویچ	۱/۷	سیبزمینی شیرین	۱۵۲	گندم	۱/۳
۷	کلم ها	۱/۶	برنج	۱۵۱	عدس	۱/۳
۸	آناناس	۱/۵	گندم	۱۳۵	گوجه فرنگی	۱/۲
۹	گندم	۱/۳	کاساوا	۱۲۱	نخود معمولی	۱
۱۰	ذرت	۱/۳	بادنجان	۱۲۰	هویچ	۱

۱۵۰۰-۳۰۰ گرم سیبزمینی در روز معادل ۷-۴/۷ درصد کالری مورد احتیاج روزانه انسان را تأمین می‌کند. نشاسته ترکیب اصلی ماده خشک سیبزمینی قبل از مصرف باید ژلاتینه شود. مصرف نشاسته سیبزمینی ژلاتینه نشده قابلیت هضم را کاهش و باعث مسمومیت می‌شود (مبلی و همکاران، ۱۳۸۸).

فصل دوم

ساختار و تکنولوژی تولید نشاسته سیبزمینی

۱-۲- مقدمه

همان طور که گفته شد سیبزمینی بعد از غلات منبع اصلی کربوهیدرات را تشکیل می‌دهد و از این نظر یکی از مهمترین محصولات در جهان امروز می‌باشد. مصرف ثانویه سیبزمینی

تولید نشاسته و دکستروز و استفاده در صنایع تولید الکل (از طریق تخمیر) می‌باشد. آمار نشان می‌دهد که کمتر از نیمی از کل سیبزمینی تولید شده برای مصارف انسانی مورد استفاده قرار می‌گیرد و مابقی جهت سایر مصارف و صنایع تبدیلی (تولید نشاسته و سایر محصولات) به کار می‌رود. نشاسته ترکیب اصلی و مهم سیبزمینی می‌باشد که حدود ۱۷ تا ۲۱ درصد از وزن تازه سیبزمینی و حدود ۸۰ درصد ماده خشک آن را تشکیل می‌دهد. نشاسته به عنوان اندوخته غذایی بسیاری از گیاهان محسوب می‌شود. در گیاهان، نشاسته در اندام سلولی ویژه به نام آمیلوپلاست ذخیره می‌شود. در طی فصل رویش، برگ‌های سبز گیاه سیبزمینی انرژی خورشید را جذب کرده و بصورت قندهای محلول در آورده که به سمت غده‌ها رفته و در آنجا توسط آنزیمهای مربوطه به نشاسته تبدیل گشته و به شکل گرانول‌های کوچکی در می‌آید که بیشتر قسمتهای سلول را تصرف می‌کند. گرانول‌های نشاسته در اصل بسته‌های فشرده‌ای از پلیمرهای گلوکز محسوب می‌شوند. نشاسته تجاری به طور عمده از ذرت تهیه می‌شود ولی سیبزمینی و گندم نیز از منابع تهیه نشاسته می‌باشد. تولید نشاسته از سیبزمینی برای اولین بار در قرن ۱۸ انجام شد. در دانمارک از سال ۱۹۰۰ تولید نشاسته به صورت صنعتی آغاز گردید به طوریکه ۷۵ درصد تولید سیبزمینی این کشور برای تولید نشاسته مصرف می‌شود. در ایالات متحده نیز نشاسته به طور عمده از ذرت و سیبزمینی بدست می‌آید.

در ایران تنها ذرت و گندم جهت تهیه نشاسته استفاده می‌شود. با توجه به این که این دو محصول مصارف مهم‌تری در مقایسه با استخراج نشاسته دارد، لذا می‌توان انتظار داشت که منبع مناسبی برای تولید نشاسته نباشد و سیبزمینی به دلیل ذیل می‌تواند به عنوان جایگزینی برای آنها مطرح شود:

(۱) امکان افزایش تولید با استفاده از بذور سالم و کشت مکانیزه.

(۲) وجود امکانات و شرایط اقلیمی و جغرافیایی کشور برای افزایش سطح و تولید در تمام ایام سال.

۳) مزیت نسبی از نظر میزان استحصال نشاسته از واحد سطح- با توجه به وجود حدود ۷۰ درصد نشاسته در گندم و متوسط عملکرد ۴ تن در هکتار، میزان نشاسته تولیدی از هر هکتار گندم ۲۸۰۰ کیلوگرم می‌باشد. در مورد سیبزمینی که بطور متوسط ۱۸ درصد نشاسته و ۲۵ تن در هکتار عملکرد دارد، ۴۵۰۰ کیلوگرم نشاسته از هر هکتار استحصال می‌شود که نسبت به نشاسته حاصل از گندم نزدیک به ۲ برابر می‌باشد. البته از آنجا که برای تولید هر کیلوگرم نشاسته ۱/۴ کیلوگرم گندم و یا ۵/۵ کیلوگرم سیب زمینی نیاز است، لذا در صورتی که قیمت سیبزمینی حدود ۲۵ درصد قیمت گندم باشد، قیمت ماده اولیه برای تولید یک کیلوگرم نشاسته یکسان خواهد بود. بنابراین قیمت سیبزمینی یکی از فاکتورهای مهم و اصلی در تعیین توجیه اقتصادی این فرآوری است.

۲-۲- ساختار نشاسته سیبزمینی

نشاسته در بافت‌های گیاهی به صورت دانه‌های جدا از هم یا گرانول وجود دارد که قطر آنها از ۲ تا ۱۰۰ میکرون متغیر می‌باشد. خصوصیات این گرانول‌ها در گیاهان مختلف بسیار متفاوت است. این گرانول‌ها از لحاظ شکل ممکن است به صورت‌های کروی، بیضوی، عدسی‌وار و یا چند وجهی باشند. نشاسته سیبزمینی در مقایسه گندم و ذرت، پراکندگی وسیعی در اندازه گرانول و بزرگترین سایز گرانول را دارد (μm ۱۱۰ <) و پس از آن گندم (μm ۳۰ <)، ذرت (μm ۲۵ <) و برنج (μm ۲۰ <) قرار دارند. جدول ۵-۱ شکل، اندازه، ترکیب شیمیایی و برخی از خصوصیات نشاسته را در منابع گیاهی مختلف نشان می‌دهد.

نشاسته پلیمری متشکل از مولکول‌های گلوکز است و از دو نوع مولکول پلیمری تشکیل شده است، پلیمر خطی و فاقد انشعاب مرسوم به آمیلوز و پلیمر دارای انشعاب مرسوم به آمیلوکتین. معمولاً حدود ۷۵-۸۰ درصد نشاسته را آمیلوکتین و بقیه آن را آمیلوز تشکیل می‌دهد. به عنوان

مثال نشاسته واریته‌های معمولی سیبزمینی ۳۱-۲۳ در صد آمیلوز دارد (البته واریته‌های واکسی فاقد آمیلوز نیز وجود دارد) و نشاسته گندم دارای ۳۰-۱۸ درصد آمیلوز می‌باشد اما در انواعی از نشاسته ممکن است نسبت‌های کاملاً متفاوتی از این دو نوع مولکول مشاهده شود (جدول ۲-۱). در نشاسته‌های مومی مقادیر آمیلوز ناچیز است و تقریباً تمامی نشاسته از آمیلوپکتین تشکیل شده است. در برخی از نشاسته‌ها نیز مقادیر آمیلوز بسیار بالاست. به طور کلی نسبت وجود دو آنزیم که سازنده اتصال‌های $\alpha(1 \rightarrow 4)$ و $\alpha(1 \rightarrow 6)$ در گیاه هستند تعیین‌کننده‌ی نسبت یا میزان آمیلوز به آمیلوپکتین در نشاسته‌ی آن گیاه می‌باشد.

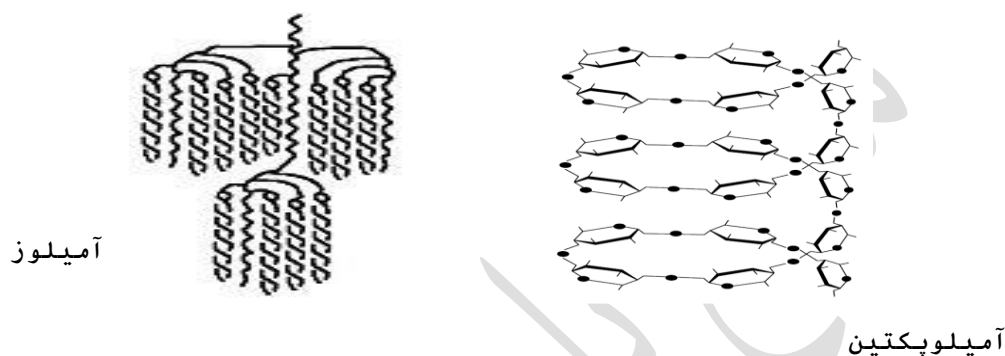
آمیلوز، مولکولی خطی است که در آن واحدهای گلوکز با پیوند $\alpha(1 \rightarrow 4)$ به یکدیگر متصل شده‌اند. وزن مولکولی آمیلوز بین ۱۰۵ تا ۱۰۶ g/mol متغیر است (روگر و همکاران، ۱۹۹۶). مولکول‌های آمیلوز، در حلال‌های آبی به صورت متفاوت مارپیچ، مارپیچ‌های منقطع و فنر موجود است. طول زنجیره‌های آمیلوز نشاسته سیبزمینی زیاد است و ممکن است از چندین هزار بنیان تشکیل شود. درجه پلیمریزاسیون (DP) مولکول آمیلوز بین ۵۰۰۰-۲۰۰۰ متغیر می‌باشد (سینگ و کور، ۲۰۰۹).

در مولکول آمیلوپکتین معمولاً بعد از هر ۸-۷ واحد گلوکز یک شاخه‌ی انشعابی وجود دارد که از ۳۰-۲۰ واحد گلوکز تشکیل شده است. در زنجیر اصلی اتصال واحدهای گلوکز به صورت $\alpha(1 \rightarrow 4)$ بوده و در محل انشعاب به صورت $\alpha(1 \rightarrow 6)$ می‌باشد. وزن مولکولی آمیلوپکتین $10^6-10^8 g/mol$ است (تامپسون، ۲۰۰۰).

زنجیره‌ی مولکولی آمیلوز حالت مارپیچ و هلیکس دارد که هر دور آن از شش مولکول گلوکز تشکیل شده است. در آمیلوپکتین که حالت انشعابی دارد در هر کدام از شاخه‌ها یا انشعابات نیز حالت مارپیچ می‌تواند ایجاد شود. شکل ۲-۲

^۱ -Degree of polymerization

۳ ساختمان ماکرومولکول‌های آمیلوز و آمیلوپکتین را نشان می‌دهد (سینگ و کور، ۲۰۰۹).

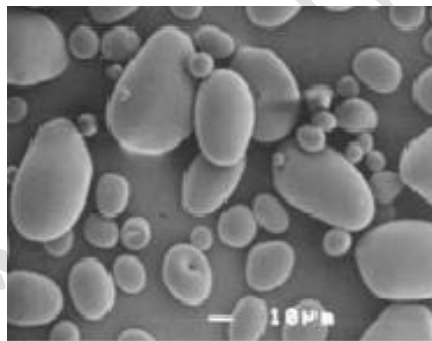


شکل ۱-۲: ساختار ماکرومولکول‌های آمیلوز و آمیلوپکتین

به طور کلی مولکول آمیلوپکتین ۱۵-۱۰ نانومتر قطر و بین ۴۰ تا ۱۲۰ نانومتر طول دارند. آمیلوپکتین حاوی عوامل فسفات استری است که به طور متوسط تعداد آن به ازاء هر ۳۱۷ بنیان گلوکز ۱ عدد است. وجود اسیدفسفریک در مولکول آمیلوپکتین موجب می‌شود که آمیلوپکتین خاصیت اسیدی ضعیف داشته باشد و به نام اسید آمیلوفسفوریک نامیده می‌شود. ظرفیت‌های آزاد عامل فسفات، کاتیون‌ها بویژه یون‌های کلسیم، پتاسیم، منیزیم و سدیم را پیوند می‌دهد (فلاحی، ۱۳۷۶).

نشاسته جزء اصلی ماده خشک سیبزمینی است. اندازه دانه‌های نشاسته موجود در سلول‌های غده سیبزمینی بین ۱۰ تا ۱۰۰ میکرومتر متغیر است. گزارش شده است که خواص فیزیکوشیمیایی نشاسته سیبزمینی از قبیل شفافیت، قدرت تورم و ظرفیت جذب آب ارتباط زیادی با میانگین سایز گرانول آن دارد. ساختار متراکم گرانول‌های طبیعی نشاسته سیبزمینی، آن را

در مقابل واکنش‌های آنزیمی نظیر آنزیم‌های هیدرولیتیک مانند آمیلوگلوکوزیداز و α -آمیلاز بسیار مقاوم کرده است (سینگ و کور، ۲۰۰۹). زارینگر و کانینگام (۱۹۸۵) در مطالعه‌ای بر روی ارقام متفاوت سیبزمینی و نشاسته حاصل از آنها گزارش کردند که گرانول‌های نشاسته شامل ۲۱-۱۲ درصد آب، ۰/۰۵-۰/۰۸ درصد پروتئین خام، حداکثر ۰/۰۲ درصد چربی و ۰/۲-۰/۳۷ در صد خاکستر می‌باشد و اظهار داشتند که از دست رفتن نشاسته در استخراج، تا حدی زیادی به ترکیبات غیرنشاسته‌ای و غیرمحلول موجود در غده سیبزمینی بستگی دارد. میزان آب در گرانول‌های نشاسته سیبزمینی برحسب رطوبت نسبی تغییر می‌کند و ممکن است به ۲۱ درصد برسد



گرانول نشاسته
میکروسکوپ

شکل ۲-۲: ساختار
سیبزمینی در زیر

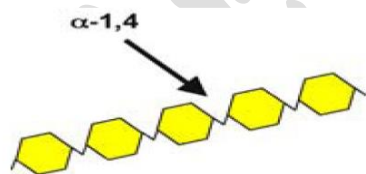
گرانول‌های نشاسته دانه‌هایی نیمه کریستالی می‌باشند. بسته به منبع نشاسته ممکن است ۱۵ تا ۴۵ درصد ساختار گرانول نشاسته به صورت کریستالی باشد. زنجیرهای جانبی آمیلوپکتین با درجه پلیمریزاسیون بین ۱۵ و ۱۸ با یکدیگر تشکیل پیوند داده و ایجاد حالت مارپیچ دوگانه می‌کنند و این ساختار است که مسئول ایجاد حالت کریستالی در گرانول نشاسته می‌باشد. مولکول‌های آمیلوز نیز در ترکیب با همدیگر و یا در اتصال با مولکول‌های اسیدهای چرب می‌توانند به صورت کریستالی در آیند و در افزایش حالت

کریستالی نشاسته نقش داشته باشند. به طور کلی در یک گرانول نشاسته دو ناحیه‌ی مجزا قابل تشخیص است. قسمت آمورف و قسمت نیمه‌کریستالی که در خود قسمت نیمه‌کریستالی، ایجاد پیوند بین زنجیرهای جانبی آمیلوپکتین و همچنین حضور مولکول‌های آمیلوز مسئول ایجاد حالت کریستالی، و زنجیرهای اصلی و بدون انشعاب آمیلوپکتین و همچنین زنجیرهای جانبی کوتاه‌تر آمیلوپکتین مسئول ایجاد حالت آمورف می‌باشند.

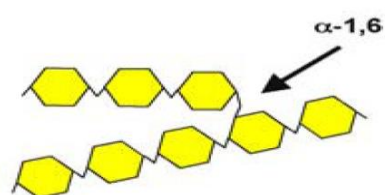
جدول ۱-۲: شکل، اندازه، ترکیب شیمیایی و برخی از خصوصیات نشاسته در منابع گیاهی

آمیلوز		آمیلوپکتین			
شکل	قطر (µm)	میزا ن (%)	درجه پلیمریز	ثابت اتصال	درجه پلیمریز
			اسیون	یدی	سیون بخش انشعابی

۲۰-۱۹	/۹۰۵	۲۱۰۰	۳۱-	۳۸-۲	گندم
۲۶-۲۵	۰	۹۴۰	۲۸ ۲۶	۲۵-۵	ذرت چندوجهی
					ذرت چندوجهی
۲۲-۲۰			۱-۰		مومی چندوجهی
				۵-۲	جو عدسی وار
۲۶		۱۸۵۰	۲۹-۲۲	۸-۳	برنج چندوجهی
			۳۲-		سورگوم کروی
			۱۴	۴-۲۴	سیبزمید وار
	۰/۵۹۱		۳۴-۲۱	۱۰۰-۱۵	نی بیضوی
			۲۳		
۲۴	۰/۵۸				
		۳۲۰۰			



(۱)



(۲)

شکل ۳-۲: (۱) ساختار خطی آمیلوز و (۲) ساختار انشعابی آمیلوپکتین

کریستال‌های نشاسته بر اساس نحوه آرایش زنجیرها و میزان فشردگی بین آن‌ها، به ۴ نوع مختلف طبقه‌بندی می‌شوند:

کریستال نوع A که بیشتر در نشاسته غلات (نظیر گندم و ذرت) یافت می‌شود.

کریستال نوع B که بیشتر در نشاسته‌ی گیاهان غده‌ای (به ویژه سیب‌زمینی) یافت می‌شود.

کریستال نوع C که ترکیبی از کریستال‌های نوع A و B بوده و در همه‌ی انواع نشاسته‌ها در مقادیر کم یافت می‌شوند.

کریستال نوع V حاصل تشکیل کمپلکس بین ترکیبات لیپیدی و زنجیرهای آمیلوز می‌باشد. این نوع کریستال، در نشاسته‌های طبیعی به ندرت مشاهده می‌شود و تنها در نشاسته‌های برخی از غلات که دارای اسیدچرب یا مونوگلیسرید هستند یافت می‌شود.

شایان ذکر است که همه‌ی انواع کریستال‌ها قابلیت تبدیل به یکدیگر را دارند و در شرایط مختلف ممکن است انواع خاصی از آن‌ها تشکیل شود. به عنوان مثال، در طی فرایند رتروگراداسیون یا برگشت، صرفنظر از نوع منبع نشاسته، قسمت اعظم کریستال‌های تشکیل‌شده، از نوع B خواهد بود. نوع کریستال نشاسته در هر گیاه، به طول زنجیرهای آمیلوز و درجه هیدراسیون بستگی دارد. زنجیرهای آمیلوز با درجه پلیمریزاسیون کمتر از ۱۰، قادر به تشکیل کریستال نیستند درحالی‌که اگر زنجیرهای آمیلوز دارای درجه‌ی پلیمریزاسیون بین ۱۰ تا ۱۲ باشند، کریستال نوع A و اگر دارای درجه‌ی پلیمریزاسیون بیشتر از ۱۲ باشند، کریستال نوع B تشکیل خواهد شد.

عامل دوم یعنی درجه‌ی هیدراسیون نیز از اهمیت زیادی در نوع کریستال تشکیل شده برخوردار است. در شرایط

آزمایشگاهی، تشکیل کریستال نوع B، در آب خالص و در دمای پایین امکان پذیر است. اما برای تشکیل کریستال نوع A، شرایط دهیدراسیون نظیر استفاده از الکل، نمک و یا افزایش دما مورد نیاز است. به همین دلیل است که در گیاهان مختلف، نوع کریستالها متفاوت می باشد. در گیاهان غده ای که در شرایط آب و هوایی خنک و مرطوب رشد می کنند، کریستال نوع B تشکیل می شود اما در غلات که در شرایط محیطی گرم و خشک رشد می کنند و درجه ی دهیدراسیون نشاسته در آنها پایین است، شرایط برای تشکیل کریستال نوع A مساعدتر است.

فشردگی زنجیرها در کریستال نوع A بیشتر از نوع B می باشد. در نوع B، فضاهای آزاد بین زنجیرها زیاد بوده و مولکولهای آب زیادی می توانند در فضای بین زنجیرها قرار گیرند. اما این فضاهای خالی در کریستال نوع A وجود ندارد (جنکینز و دونالد، ۱۹۹۵).

۳-۲- خواص شیمیایی نشاسته سیبزمینی

رفتار خمیر نشاسته در محیطهای آبی بستگی به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نشاسته از قبیل متوسط سایز گرانول، توزیع سایز گرانول، نسبت آمیلوز به آمیلو پکتین و میزان مواد معدنی دارد. نشاسته سیبزمینی خواص تعویض یونی دارد و این خاصیت به پیوندهای استری اسید فسفریک مربوط می شود. نشاسته سیبزمینی از این نظر نسبت به سایر نشاسته ها اهمیت دارد که میزان بالایی فسفر داشته و به همین دلیل ژل های حاصل از آن ویسکوزیته بالایی دارند.

میزان فسفر نشاسته ارقام مختلف متفاوت می باشد به طوری که کمترین آن مربوط به رقم ریباکا و بیشترین آن مربوط رقم مافونا می باشد (پشین، ۲۰۰۱). محققین متعددی نیز گزارش کرده اند که نشاسته سیبزمینی، فسفر قابل توجهی نسبت به سایر منابع گیاهی دارد. فسفر در نشاسته سیبزمینی بصورت

منواسترهای فسفات وجود دارد (موریسون و همکاران، ۲۰۰۰). در حالی که در غلاتی مانند گندم و برنج بصورت فسفولپید وجود دارد. شکل فسفولپیدی باعث تیرگی خمیر نشاسته می‌شود و ویسکوزیته را کاهش می‌دهد. در حالی که منواسترهای فسفات با پیوندهای کووالانت به آمیلوپکتین متصل و باعث افزایش شفافیت و ویسکوزیته خمیر نشاسته می‌شوند. به همین دلیل خمیر نشاسته سیبزمینی از شفافیت و ویسکوزیته بالاتری نسبت به سایر نشاسته ها برخوردار است.

ویسکوزیته خمیر نشاسته سیبزمینی بسیار بیشتر از ویسکوزیته خمیر نشاسته گندم می‌باشد. پشین (۲۰۰۱) بیان داشت که ویسکوزیته بالای نشاسته سیبزمینی و نیز قدرت بالای ژل حاصل از آن به دلیل اتصالات جانبی فسفات می‌باشد که به سختی شکسته می‌شوند.

وقتی نشاسته با محلول نمک یا هر نوع کاتیون (یا اسید رقیق) شستشو شود، کاتیون نمک با سایر کاتیون‌های موجود در نشاسته قابل تعویض خواهد بود و در نتیجه ظرفیت‌های خالی اسید فسفوریک را اشباع می‌کند. با اجرای روش فوق نشاسته‌های کلسیم، پتاسیم، آمونیوم، آهن یا هیدروژن تولید می‌شود. خواص این نشاسته‌ها با خواص نشاسته‌های اشباع نشده با کاتیون فرق دارد (موریسون و همکاران، ۲۰۰۰).

نشاسته با توجه به این که یک پلی‌الکل است، می‌تواند با اسیدهای آلی مانند اسید استیک، اسید فرمیک، تری‌کلرواستیک اسید و اسیدهای چرب استریفیه شود. استرها را از اسیدهای غیرآلی مانند اسید فسفوریک، اسید سولفوریک و سایر اسیدها می‌توان تشکیل داد (فلاحی، ۱۳۷۶).

نشاسته یک محصول اکسید شونده است. اسید نیتریک و هیپوکلریت سدیم عامل هیدروکسیل (در کربن شماره ۶) را به عامل کربوکسیل و اسید گلوکونیک تبدیل می‌کند و در همان حین هیدرولیز اتصالات گلیکوزیدی در زنجیره‌ی نشاسته اتفاق می‌افتد.

نشاسته سیبزمینی بطور ذاتی چندین خصوصیت مطلوب دارد که به منظور بهبود و افزایش پایداری و سفتی ژل‌ها در بعضی مواد غذایی، به عنوان یک جزء مهم و اساسی بر نشاسته ذرت، گندم و سایر نشاسته‌ها ترجیح داده می‌شود. علاوه بر این در مقایسه با سایر نشاسته‌ها قدرت تورم و قدرت باندا شدن بالایی از خود نشان می‌دهد در حالی که دمای ژلاتینه شدن پایینی دارد.

دانه‌های نشاسته اگر در آب گرم شوند ابتدا متورم شده و حجم آنها به مقدار زیاد افزایش می‌یابد. دمای زیاد آب سبب تجزیه محدود ماکرومولکول‌های نشاسته می‌شود. فرآیندی که موجب تغییرات ساختمان دانه‌های نشاسته در آب می‌شود ژله‌ای شدن نام دارد. در آغاز روند ژله‌ای شدن دانه‌های نشاسته سیبزمینی به سرعت باد می‌کنند و حجم آنها تا ۱۰۰۰ برابر افزایش می‌یابد. نشاسته سیبزمینی از سایر نشاسته‌ها به وسیله قدرت متورم شدن آن مشخص می‌گردد، نشاسته سیبزمینی به میزان ۱۰ تا ۱۰۰ برابر بیش از سایر نشاسته‌ها متورم می‌گردد. حلالیت نشاسته سیبزمینی در آب با دمای 90°C چند برابر بیش از سایر نشاسته‌ها است. دانه‌های نشاسته سیبزمینی مقدار آب بیشتری (۱۲۰ گرم آب به ازاء هر یک گرم نشاسته) از دانه‌های نشاسته‌ی دیگر جذب می‌کنند (فلاحی، ۱۳۷۶).

اگر پالپ سیبزمینی با آبی که کلسیم زیاد داشته باشد نشاسته‌گیری شود، در دمای بالا نشاسته‌ی آن ژله‌ای می‌شود و خمیری تولید می‌کند که در مقایسه با پالپ سیبزمینی که با آب مقطر نشاسته‌گیری شده، چسبندگی کمتری خواهد داشت. تغییر چسبندگی ناشی از یونهای کلسیم به خاطر ایجاد پل توسط کلسیم بین مولکول‌های مجاور و نشاسته و سایر یون‌های دو ظرفیتی است. یون‌های یک ظرفیتی مانند سدیم یا پتاسیم و به ویژه آمونیوم موجود، چسبندگی خمیر نشاسته را افزایش می‌دهد. کاتیون‌ها و آنیون‌های موجود در آب نظیر (لیتیوم، منیزیوم، فلئور، سولفات، فسفات) که برای تولید خمیر نشاسته مورد استفاده قرار می‌گیرند باعث افزایش روند ژله‌ای شدن می‌شوند و یون‌های سدیم، باریوم، ید، برم، نیترات باعث کاهش دمای ژله‌ای شدن هستند. اگر

اشباع شدن نشاسته با یون‌های آهن انجام شود دمای ژله‌ای شدن افزایش یافته و خمیر تولید شده ویسکوزیته کمتری از نشاسته اشباع نشده خواهد داشت.

شمار زیادی از اجسام آلی بر فرآیند ژله‌ای شدن تأثیر دارند برای مثال اگر الکل و قند در آب وجود داشته باشد باعث افزایش دمای ژله‌ای شدن در مقایسه با آب خالص خواهد شد. این تغییر به خاطر خواص آبیگری این اجسام است. در نتیجه مقدار کافی آب برای نشاسته در دسترس نخواهد بود. افزودن مواد ازته (پروتئین‌ها، اسیدهای آمینه) ویسکوزیته خمیر را کاهش می‌دهد ولی همزمان با این تغییر قدرت ژل افزایش می‌یابد.

نشاسته خشک تحت تأثیر دماهای زیاد (100°C - 200°C) قرار گرفته و تجزیه می‌شود. این فرآیند را دکسترینه شدن می‌گویند که پیوندهای گلیکوزیدی عمدتاً $\alpha(1 \rightarrow 4)$ در داخل مولکول‌های نشاسته شکسته می‌شوند.

اگر مقدار کمی اسید اضافه شود عمل دکسترینه شدن در دمای پائین‌تری صورت خواهد گرفت. خواص دکسترینه‌ای تولید شده به میزان دما و زمان گرمایش بستگی دارد. دکسترینه‌ها کاربردهای صنعتی دارند که بر حسب خواص آنها فرق می‌کنند. آلفا آمیلاز به آنزیم دکسترینه کننده موسوم است. خمیر نشاسته‌ای که با آلفا آمیلاز فرآوری شود شفاف و هیدرولیز آن طولانی‌تر می‌شود. بتا آمیلاز آنزیم ساکاریفیک کننده نام دارد که بر قسمت انتهایی غیر احیاء کننده زنجیره نشاسته اثر می‌کند. فعالیت توأم این دو آنزیم موجب تولید مالتودکسترین می‌شود. مخلوط آلفا و بتا آمیلاز دیاستاز نام دارد، برای مثال از این آنزیم‌ها سالها است که در صنایع الکلکشی استفاده می‌شود. در صنایع نشاسته سازی آلفا آمیلاز را از منابع میکروبی به دست می‌آورند. که باعث عمل روان‌سازی^۱ در دکسترنیزاسیون نشاسته می‌شود (فلاحی، ۱۳۷۶).

^۱ -Liquefaction

۴-۲- قابلیت نشاسته سیبزمینی

اگر چه هزینه تولید نشاسته از سیبزمینی بالاتر از سایر منابع می‌باشد لیکن خواص عملکردی^۱ آن ممکن است مصرف آن را در محصولات خاصی توجیه سازد. به عنوان مثال افزودن نشاسته سیبزمینی به ماکارونی باعث بهبود قوام و احساس دهانی آنها می‌شود. همچنین در عملیات استخراج نفت از نشاسته سیبزمینی بدلیل بزرگتر بودن اندازه گرانول، بعنوان گل حفاری استفاده می‌شود. امروزه با توجه به کاربردهای گسترده نشاسته، تولید آن در هلند، اروپای شرقی، ژاپن و آمریکا گسترش زیادی پیدا کرده است. تجارب بازار در آسیا نشان می‌دهد که محصولات غده‌ای و ریشه‌ای می‌تواند در مصارف صنعتی با غلات رقابت نماید. نتایج یک بررسی در چین نشان داد چنانچه واریته‌های جدید سیبزمینی شیرین با میزان بالاتر نشاسته توسعه یابد، این محصول پتانسیل قابل توجهی به عنوان منبع نشاسته دارد. در جنوب شرق آسیا نیز کاساوا به عنوان منبع مهمی از نشاسته برای صنعت مطرح می‌باشد. در هر صورت قابلیت استفاده از این محصول به عنوان منبع نشاسته در شرق آسیا تنها در صورتی امکانپذیر خواهد بود که هزینه‌های تولید و قیمت تمام شده آن بطور قابل توجهی پایین آورده شود. در میان منابع نشاسته هنگامی که صرفاً به عنوان منبعی از انرژی یا گلوکز استفاده می‌شود، فاکتور کلیدی قیمت می‌باشد. در بسیاری از نقاط جهان، ذرت ارزانترین منبع نشاسته بوده بطوری که ۷۷ درصد از نشاسته مورد نیاز جهان را فراهم می‌کند. اما هنگامی که خصوصیات عملکردی نشاسته مد نظر باشد، سایر منابع نشاسته نظیر سیبزمینی و کاساوا ممکن است مورد استفاده قرار بگیرند. اگر چه این امکان وجود دارد که همان منابع ارزان نشاسته را بطور شیمیایی یا فیزیکی اصلاح^۲ نمود لیکن این

^۱ -Functionality

^۲ - Modify

اقدام نیاز به هزینه‌های اضافی دارد و از طرف دیگر مصرف کنندگان در برخی کشورها ممکن است محصولاتی را ترجیح دهند که در ساخت آنها نشاسته اصلاح شده بکار نرفته باشد. بنابراین نشاسته‌های اصلاح نشده‌ای که خواص عملکردی ویژه‌ای دارند، ممکن است با قیمت بیشتری در بازار به فروش برسند (یقبانی و محمدزاده، ۱۳۸۷).

لامرز و بیناکرز (۱۹۸۰) نشان دادند درجه حرارت ژلاتینه شدن، ویسکوزیته، میزان آمیلوز و آمیلوپکتین نیز از ویژگی‌های هر واریته می‌باشد و ویسکوزیته خمیر نشاسته به مقدار فسفر نشاسته و نوع کاتیون‌های تجمع یافته در آن بستگی دارد. مالچر و مدال (۱۹۸۹) جهت استخراج گلوکز از نشاسته سیبزمینی از طریق آنزیمی تحقیقاتی انجام دادند. آنها با بکارگیری آسپرژیلوس نیگر، مولد آنزیم آمیلوگلوکوزیداز توانستند تولید شربت گلوکز نمایند و از نشاسته خام سیبزمینی در نانوائی و صنایع قنادی و از نشاسته‌های اصلاح شده آن جهت تغلیظ و ژل‌کنندگی، تهیه سس‌ها و دسرهای استفاده کردند که نتایج رضایت بخشی در مقایسه با نشاسته ذرت و گندم بدست آوردند.

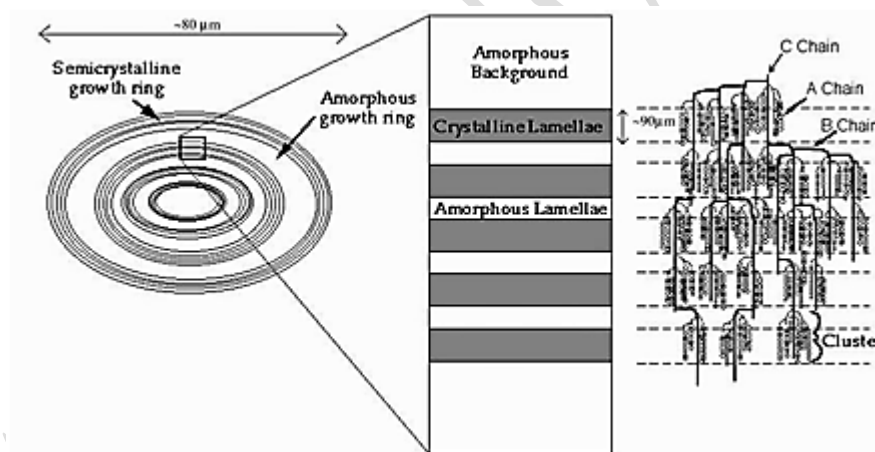
تاکاهيرو و همکاران (۲۰۰۴) در مطالعه تأثیر زمان برداشت بر خصوصیات نشاسته چندین واریته سیبزمینی بیان داشتند که برداشت دیر هنگام سبب افزایش میانگین اندازه گرانول، میزان فسفر و ویسکوزیته می‌شود اما آمیلوز کاهش اندکی از خود نشان می‌دهد. غده‌های سیبزمینی اندازه و شکل‌های مختلفی دارند که به نوع واریته آنها بستگی دارد. صدها نوع واریته سیبزمینی وجود دارند که برای شرایط مختلف آب و هوایی و انواع خاک‌های متفاوت مناسب می‌باشند. این واریته‌ها براساس زمان رسیدگی در گروه‌های زودرس، متوسط‌رس و دیر رس طبقه‌بندی می‌شوند. در ایران این محصول از جایگاه ویژه‌ای برخوردار بوده و کشت این محصول در استان‌های مختلف بصورت کشت پائیزه و بهاره متداول می‌باشد. با توجه به عدم وجود صنایع تبدیلی و حتی انبارهای مناسب در منطقه، همه ساله کشاورزان ضرر و زیان سنگینی متحمل می‌شوند. در حالی که با استخراج نشاسته می‌توان ضمن تبدیل سیبزمینی به یک محصول با ارزش افزوده، از ضایعات آن نیز جلوگیری نمود. لازم

به ذکر است که اولین کارخانه تهیه نشاسته از سیبزمینی، درهمدان احداث گشته و به بهره برداری رسیده است. ارقام دراگا، مارفونا، سانتا، کنکورد، آگريا و ريبارکا از جمله ارقام سيبزميني کشت شده در اکثر استان های کشور می باشند که طی بررسی انجام شده بر روی آنها مشخص شده است که بیشترین درصد ماده خشک مربوط به رقم کنکورد و کمترین آن مربوط به رقم دراگا می باشد.

(ب)

(ج)

(الف)



شکل ۲-۴: طرح شماتیک ساختار گرانول نشاسته، نمایش قسمت های آمورف و نیمه کریستالی در گرانول (الف)، ساختار داخلی قسمت نیمه کریستالی (ب) و تطابق آن با قسمت های خطی و انشعابی آمیلوپکتین (ج).

میزان ماده خشک سیبزمینی شاخص مهمی از کیفیت می باشد بطوری که در صنایع تبدیلی و تولید فرآورده های مختلف در تعیین مناسب بودن آن مورد توجه قرار می گیرد. با توجه به این که ۸۰-۶۰ درصد

ماده خشک از نشاسته تشکیل شده است، همبستگی بالایی بین درصد نشاسته و ماده خشک غده وجود دارد. گزارش شده است که ماده خشک غده های بزرگ معمولاً کمتر از غده های کوچک است چراکه آب نسبتاً بیشتری دارند اما رابطه بین اندازه غده و درصد ماده خشک، یک رابطه خطی نیست. میزان قند کاهنده نمونه های سیبزمینی نیز بین ۰/۱۹ - ۰/۱۸ درصد (بر حسب وزن تازه) می باشد. لازم به ذکر است که میزان قند کاهنده در ارقام مختلف سیبزمینی در طی انبارداری تغییر می نماید و به نظر می رسد که از بین عوامل تعیین کننده در میزان قند کاهنده طی انبارداری، واریته مهمترین عامل است (یقبانی و محمدزاده، ۲۰۰۵).

از آنجا که جزء خطی نشاسته یا همان آمیلوز خصوصیات ویژه ای را به نشاسته می دهد، لذا عامل مهمی در تعیین کیفیت نشاسته محسوب می شود. میزان آمیلوز به عنوان یکی از عوامل مؤثر بر تغییر ساختمانی نشاسته در موقع بیاتی می باشد و نشاسته سیبزمینی در مقایسه با نشاسته گندم تمایل کمتری برای تغییر ساختمانی از خود نشان می دهد (نارپیندر و همکاران، ۲۰۰۳).

به طور کلی می توان گفت تفاوت در خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نشاسته ها به میزان آمیلوز و حضور مشتقات فسفر نسبت داده می شود. البته تفاوت در ساختار شیمیایی این نشاسته ها نظیر اندازه ملکولی آمیلوز و طول زنجیره شاخه های آمیلوپکتین نیز تأثیرگذار است. این که چگونه این تفاوت های ساختاری، ویژگی های خمیر حاصل از یک نشاسته را تحت تأثیر قرار می دهد، دقیقاً مشخص نیست. محققان بدنبال آن هستند که با بررسی های بیشتر در زمینه ارتباط بین این ساختار شیمیایی و خواص عملکردی، راه حلی از طریق مهندسی ژنتیک و مکانیسم های بیوسنتز نشاسته ارائه کنند تا بتوانند نشاسته هایی با خصوصیات مورد نظرشان تولید کنند. به لحاظ این که نشاسته های دارای خواص عملکردی خاص، مانند نشاسته سیبزمینی متقاضی زیادی در صنایع مختلف بخصوص در صنایع غذایی دارد، لذا این قبیل نشاسته ها می توانند جایگزین نشاسته های اصلاح شده به روش شیمیایی شوند که در حال حاضر در برخی محصولات بکار می روند. از آنجا که میزان نشاسته ارقام مختلف سیبزمینی با یکدیگر متفاوت می باشد لذا انتخاب ارقامی که بیشترین ماده خشک و درصد نشاسته را دارند،

بهترین گزینه برای استفاده در این فرآوری می‌باشند (یقبانی و محمدزاده، ۱۳۸۷).

۵-۲- تکنولوژی فرآوری نشاسته سیبزمینی

اصلاح خواص فیزیکوشیمیایی نشاسته باعث می‌شود که با فرآوری آن انواع فرآورده‌ها تولید شود که هر یک از این فرآورده‌ها به عنوان ماده خام برای فرآوری‌های بعدی مورد استفاده قرار می‌گیرد. بنابراین تقاضا برای خرید نشاسته در بازار رو به افزایش است.

۱-۵-۲- کیفیت ماده خام

ناخالصی‌های سیبزمینی اعم از خاک، سنگ، شن و کاه قبل از ورود به کارخانه باید جدا گردد. غده‌های سیبزمینی نباید حاوی مواد قندی زیادی باشد، زیرا در طی عملیات شستشو همراه با آب از سیبزمینی خارج می‌شوند و تلفات آن افزایش می‌یابد. غده‌ها نباید به صورت یخ‌زده باشند، زیرا پس از انتقال به کارخانه در اثر حمل و نقل در معرض صدمات مکانیکی قرار می‌گیرند. سیبزمینی که برای تولید نشاسته مورد استفاده قرار می‌گیرد باید حاوی نشاسته زیادی باشد. سیبزمینی که میزان نشاسته آن از ۱۵ درصد کمتر باشد نباید در تولید فرآوری نشاسته مورد استفاده قرار گیرد.

نشاسته‌ای که از سیبزمینی تولید می‌شود از لحاظ خواص دانه‌ای، ویسکوزیته خمیر و سفیدی رنگ اهمیت زیادی دارد. دانه‌ای بودن نشاسته عامل کیفی مهمی برای فرآورده‌های صنعتی در کارخانه‌های نشاسته سازی می‌باشد.

وجود چشم در سیبزمینی اهمیت زیادی دارد. اگر چشم‌ها عمیق باشند ضایعات سیبزمینی زیاد می‌شود زیرا تمیز کردن قسمت‌های فرو رفته کاری مشکل خواهد بود. در نتیجه به دلیل عدم پاک شدن سیبزمینی در محصول نهایی به صورت ذرات و خال‌های تیره ظاهر می‌شود.

تا جایی که امکان داشته باشد مواد نامحلول و فیبری (سلولز، همی‌سلولز و سایر مواد) باید از سیبزمینی جدا شوند. این مواد نامحلول در آب مقدار قابل توجهی از پالپ را تشکیل می‌دهند که این مقدار حدود ۲۰-۴۰ درصد نشاسته است. در کارخانه‌های نشاسته‌سازی، این قسمت نشاسته در قسمت ضایعات محصول قرار می‌گیرد. تلفات نشاسته به میزان مواد نامحلول و فیبری آن بستگی دارد.

سیبزمینی بدون پوست با اکسیژن محیط به سرعت تغییر رنگ پیدا می‌کند که به تیروزین، اسیدکلروژنیک و سایر فنل‌ها و همچنین پلی فنل اکسیداز در غده‌های سیبزمینی مربوط است. لذا برخی اوقات نشاسته تولید شده به جای این که رنگ آن سفید باشد تیره و خاکستری می‌شود. با اضافه کردن دی اکسید گوگرد از فعالیت این آنزیم جلوگیری می‌شود. در هر حال سیبزمینی که برای این منظور استفاده می‌شود باید در مقابل تیره شدن آنزیمی حساسیت کمتری داشته باشد.

در حین فرآوری صنعتی، مایع باقی مانده (آب میوه)^۱ کف پایداری را تشکیل می‌دهد که این کف مربوط به سولانین، ترکیبات ازته محلول و سایر اجزاء موجود در آب میوه که کشش سطحی را کاهش می‌دهند مربوط است. کف زیاد در فرآیندهای صنعتی اختلال ایجاد می‌کند (فلاحی، ۱۳۷۶).

۲-۵-۲- تخلیه و شستشوی ماده خام

اولین مرحله فرآوری سیبزمینی تخلیه ماده خام است. برای تخلیه سیبزمینی در کارخانه‌های تولید نشاسته به یکی از دو روش خشک و مرطوب می‌توان عمل نمود. قبل از تخلیه،

^۱ -Fruit Water

وقتی سیبزمینی هنوز در کامیون است نمونه برداری می شود تا میزان نشاسته و ناخالصی آن تعیین شود. تخلیه مرطوب با دستگاه ویژه صورت می گیرد. سیبزمینی از کامیون به وسیله جت آب (با فشار ۲ اتمسفر) خارج می شود. در تخلیه به روش خشک از طریق واگون، غده های سیبزمینی تخلیه و بر روی یک نقاله حمل می شوند. سپس سیبزمینی ها داخل یک مخزن که نیمی از آن در زمین است تخلیه می شوند. برخی از کارخانه های نشاسته سازی به مخازن بزرگ که ظرفیت زیادی دارد مجهز هستند در نتیجه تا آخر فصل کارخانه ها می توانند سیبزمینی کافی داشته باشند. در حین نگهداری هوا به داخل مخازن از طریق دستگاه تهویه دمیده می شود. این گونه سرمایه گذاری برای کارخانه های کوچک مقرون به صرفه نیست. کف محفظه های مخزنی شیبی حدود ۱۵ درصد دارد. در قسمت مرکز یک کانال وجود دارد که شیب آن حدود ۱ درصد است و با این شیب سرعت آب به $1/5 - 1$ متربرثانیه می رسد. سیبزمینی ها از طریق کانال به قسمت پمپ منتقل می شوند. پس از شستشو سیبزمینی توسط یک بالابر به قسمت ترازوهای پیوسته یا ناپیوسته هدایت و از آنجا به وسیله نقاله به داخل مخزن هایی که بالای دستگاه رنده قرار دارد برده می شود.

۳-۵-۲- خردکردن سیبزمینی

دانه های نشاسته به صورت غیریکنواخت داخل سلول های غده های سیبزمینی پراکنده هستند. برای استخراج آنها سلول ها شکسته می شوند. این عمل در خلال خرد کردن سیبزمینی صورت می گیرد. البته شکستن تمامی سلول های غده سیبزمینی میسر نیست. خردکردن بیش از اندازه منجر به صدمه مکانیکی دانه های نشاسته می شود.

در کارخانه های نشاسته سازی برای خردکردن سیبزمینی از دستگاه خردکننده ای که به شکل استوانه است و در پیرامون آن تیغه های ارّه ای شکل وجود دارد استفاده می شود. مقدار خردکردن سیبزمینی توسط دستگاه بسته به سرعت دور روتور

که تا ۹۶۰ تا ۳۰۰۰ دور در هر دقیقه می رسد دارد. ظرفیت روزانه به نوع دستگاه بستگی دارد.

در حین خرد کردن پالپ سیبزمینی حاوی هوای زیادی می شود. بر اثر این پدیده واکنش آنزیمی باعث سیاه کردن عصاره می شوند که حتی با افزودن SO_2 از آن نمی توان جلوگیری به عمل آورد. بر اثر این فعل و انفعال کیفیت رنگ سیبزمینی کاهش پیدا می کند. برای جلوگیری از این تغییر نامطلوب باید در اطراف دستگاه پالپر فشاری کمتر از فشار جو (خلاء) فراهم کرد.

در یک روش دیگر به جای پالپ کردن از هموژنایزر که فشار ۱۵۰ اتمسفر معادل ۱۵ مگاپاسکال دارد می توان استفاده کرد. سیبزمینی آسیاب شده به داخل هموژنایزر رانده می شود. با این دستگاه می توان میزان هوادهی تا ۵۰ درصد کاهش می یابد و در این روش میزان نشاسته موجود در پالپ ۲۰ تا ۳۰ درصد کاهش می یابد (فلاجی، ۱۳۷۶).

۲-۵-۴- جدا نمودن شیره خام نشاسته و استخراج نشاسته

سیبزمینی خرد شده موجود در مخزن پائین دستگاه خرد کننده با دی اکسید گوگرد که با آب مخلوط شده، همزده می شود. مقدار اسید سولفورو آنقدر اضافه می شود تا PH آن به ۵/۸-۵/۶ برسد. سیبزمینی خرد شده با مقداری آب (حدود ۱۰ درصد) به داخل روتور دوار از طریق یک محور توخالی در قسمت انتهای مخروط وارد می گردد. نیروی سانتریفوژی که در اثر دوران زیاد روتور ($3000-4000 \text{ rpm}$) حاصل می شود سبب جدا شدن پالپ از شیره نشاسته می گردد.

نشاسته ممکن است به وسیله اکستراکتورهای یک مرحله ای یا دو مرحله ای استخراج شود. یک استخراج کننده یک مرحله ای مشابه یک الک مخروطی است که با ۵۰۰ دور در دقیقه دوران می کند. داخل الک یک اسپری کننده دورانی است که به نازل هایی که جهت آنها به سمت بالای مخروط است مجهز شده است. اسپری کننده و الک در یک جهت دوران می کند اما سرعت های آنها متفاوت است. الک دوران کننده با نایلون پوشیده می شود. پالپ رقیق شده به داخل الک وارد شده و

تحت نیروی گریز از مرکز قرار می‌گیرد. آب پس از خروج از نازل‌ها در مسیر مارپیچ می‌افتد و به سیبزمینی خرد شده با نیرویی معادل ۲ اتمسفر (۰/۲ مگاپاسکال) برخورد می‌کند. نشاسته سیبزمینی بر اثر نیروی گریز از مرکز به سمت قاعده پهن‌تر مخروط حرکت می‌کند. آب با جهت زاویه دار حرکت پالپ را کند می‌کند. دانه‌های نشاسته از داخل پارچه نایلونی الک عبور می‌کند و به شکل شیره نشاسته به داخل مخزن منتقل می‌گردد. اجسام فیبری از داخل پارچه نایلونی جدا شده و وارد مخزن دیگر می‌شوند. این اکستراکتورها در دو مرحله ولی در یک دستگاه عمل می‌کنند (فلاحی، ۱۳۷۶).

ساختمان هر دو اکستراکتور همانند یکدیگر است اما اکستراکتور دو مرحله ای دارای دو الک دوار مخروطی است (یکی در داخل دیگری قرار دارد). الک خارجی سیبزمینی خرد شده را دریافت و الک داخلی پس از مرحله اول پالپ را عبور می‌دهد. الک‌ها در یک جهت دوران می‌کنند اما سرعت آنها کمی تفاوت دارد. میزان دوران آنها در هر دقیقه ممکن است بین ۷۰۰-۵۸۰ دور در دقیقه تفاوت کند. پالپ به الک داخل همراه با اسپری آب ۰/۳-۰/۲۵ مگاپاسکال (معادل ۵-۳/۲ اتمسفر) وارد می‌شود. آب از الک داخل همراه با نشاسته آزاد خارج می‌شود. شیره نشاسته که از هر دو الک خارج می‌شود به داخل مخزن هدایت می‌شود. پالپ سیبزمینی از الک خارجی (مرحله ۱) به مرحله دوم استخراج انتقال یافته و سپس به مخزن پالپ سیبزمینی ریخته می‌شود. پالپ‌های باقی مانده تخلیه می‌شوند و یا پرس می‌شوند و پالپ‌های حاصله یا به طور مستقیم و بدون خشک کردن برای تغذیه حیوانات مصرف می‌شود و یا توسط خشک‌کن‌های تشعشعی (تابشی) خشک می‌شوند. این پالپ‌ها در غذاهای حیوانی فرموله شده (پودرهای غذای حیوانی) مورد استفاده قرار می‌گیرند، چون که هم حاوی مقداری از پروتئین و هم نشاسته استخراج نشده از سیبزمینی می‌باشد.

تمامی فرآیند استخراج در حدود یک دقیقه انجام می‌شود. در این استخراج کننده‌ها، جریان قوی آب عامل اصلی تفکیک نشاسته است و نیروی گریز از مرکز الک عامل اصلی استخراج آن است.

۵-۵-۲- تفکیک آب میوه از نشاسته

نشاسته حاصل از اکستراکتور به مخزن حاوی شیر نشاسته ریخته می‌شود. در این قسمت نشاسته با آب حاوی الیاف ریز و اجسام محلول مربوط به سیبزمینی خرد شده در طی استخراج نشاسته مخلوط می‌شود. شیر نشاسته تنها سانتریفوژ می‌شود تا نشاسته از آب میوه جدا شده و غلظت نشاسته افزایش یابد. تفکیک نشاسته از آب میوه براساس انواع گوناگون سانتریفوژ طراحی می‌شود.

۵-۵-۲- تصفیه

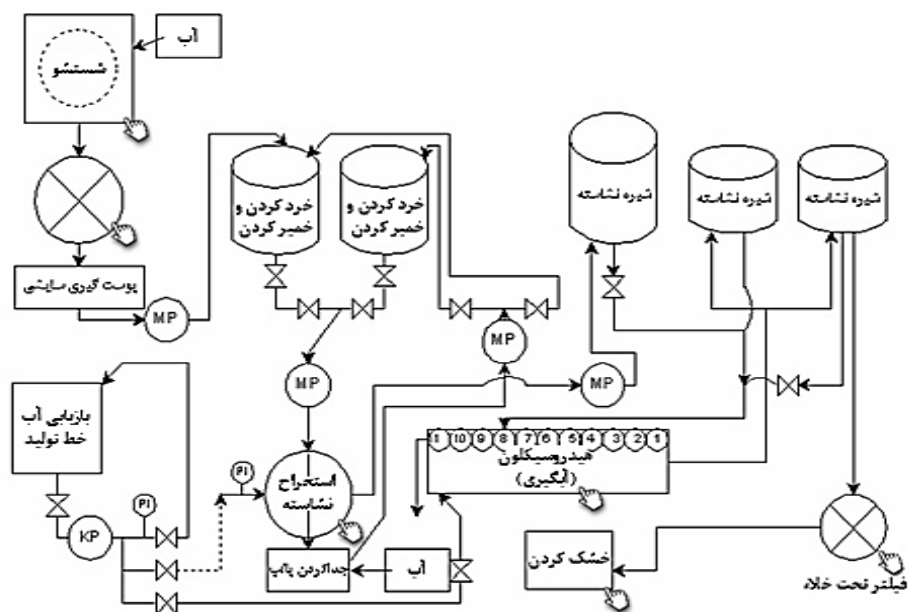
نشاسته جدا شده از آب میوه به اجسام فیبری، ترکیبات معدنی، قند و ترکیبات ازته آلوده است. بیشترین علت کاهش کیفیت نشاسته ناشی از وجود مواد ازته است. حتی مقدار جزئی ترکیبات ازته موجب کاهش ویسکوزیته خمیر نشاسته می‌شود. به این دلیل، کلیه ناخالصی‌ها باید جدا شوند. برای انجام این کار نشاسته را چندین بار با آب شستشو می‌دهند که نتیجه این عمل رقیق شدن شیر نشاسته است. دستگاه‌های تصفیه که در صنعت نشاسته سازی مورد استفاده قرار می‌گیرند، شامل سانتریفوژ، الک‌های دوار تصفیه کننده، هیدروسیکلون‌ها و الک‌های زانویی هستند. متداولترین دستگاهی که برای تصفیه نشاسته استفاده می‌شود موسوم به هیدروسیکلون است. سانتریفوژها به طور سری قرار دارند و موجب جداسازی مواد آلاینده می‌شوند. اجسام فیبری از شیر نشاسته به وسیله زانویی‌های الکی تصفیه‌کننده جدا می‌شوند. شیر خام نشاسته تصفیه شده تقریباً دارای ۳۵-۴۰ درصد ترکیبات خشک می‌باشد (فلاحی، ۱۳۷۶).

۵-۵-۲- آبگیری و خشک‌کردن

پس از تصفیه نشاسته نیز حاوی مقادیر جزئی قند و پروتئین است که موجب رشد میکروب‌ها می‌شوند. حتی اگر تخمیر خیلی جزئی صورت گیرد، pH تغییر کرده و سایر خواص

نشاسته همراه با آن تغییر می‌کنند. برای جلوگیری از این تغییرات رطوبت نشاسته باید تا زیر ۱۵ درصد تقلیل یابد. در رطوبت نسبی ۷۰ درصد میزان رطوبت نشاسته پس از خشک‌کردن حتی در دمای انبار تغییر نمی‌کند. خشک‌سازی نشاسته تا رطوبت ۱۵ درصد امکان‌پذیر است به شرط این که از قبل آبگیری مکانیکی شده باشد. شیره نشاسته غلیظ شده در مرحله آخر تصفیه در هیدروسیکلون‌ها یا سانتریفوژها به بخش آبگیری منتقل می‌شود تا آب از آن جدا شود. بیشتر اوقات با فیلترهای تحت خلاء دوار آب نشاسته را جدا می‌کنند که موجب می‌شود میزان آب نشاسته به ۳۸-۳۶ درصد برسد.

بعد از آبگیری، نشاسته به بخش خشک‌سازی منتقل می‌شود تا باقی‌مانده رطوبت از نشاسته تبخیر گردد. پس از آبگیری رطوبت نشاسته در خشک‌کن به حدود ۱۵ درصد می‌رسد. خشک‌کردن محصول توسط خشک‌کن‌های پاششی انجام می‌گیرد. به دلیل گرمای زیاد، آب از نشاسته تبخیر می‌شود. فرآیند خشک شدن نشاسته از ابتدا تا انتها بیش از ۵-۲ ثانیه به طول نمی‌انجامد. سیکلون در انتهای خشک‌کن قرار دارد و نشاسته در این قسمت از هوای مرطوب جدا می‌شود. اصول کار سیکلون همانند هیدروسیکلون است اما در اینجا هوا حامل نشاسته است. هوا از طریق کانال سیکلون و به وسیله یک فیلتر و دودکش گرفته می‌شود. پس از خشک شدن، نشاسته مخلوط می‌شود تا رطوبت یکنواختی پیدا کند. نشاسته با رطوبت یکنواخت پس از سرد شدن الک می‌شود تا قسمت‌هایی که در حین خشک شدن کلوخه شده است جدا گردند. غربال کردن نهایی بر روی غربال‌های متفاوت صورت می‌گیرد. پس از غربال کردن، نشاسته به سیلو منتقل می‌گردد و در آنجا نگهداری می‌شود. پس از سیلوسازی به ترازوی اتوماتیک منتقل و پس از توزین بسته بندی می‌شود. بسته ها یا نگهداری می‌شوند و یا برای فروش به بازار عرضه می‌شوند (فلاحی، ۱۳۷۶).



موتور پمپ: MP

شکل ۶-۲: نقشه جریان مواد تولید نشاسته سیبزمینی

فصل سوم

بیوپلیمرهای زیست تخریب پذیر و خوراکی

۳-۱- مقدمه

استفاده از بیوپلیمرهای زیست تخریب پذیر^۱ (زیست فروپاشنده) برای بسته بندی یا پوشش دادن مواد غذایی سالیان طولانی است که مورد توجه محققین بوده است. تولید و کاربرد این بیوپلیمرها در صنایع بسته بندی می تواند مزایای زیر را داشته باشد:

۱) چون بخش عمده ای از بیوپلیمرها منشأ کشاورزی دارند و به طور معمول از محصولات گیاهی و حیوانی به دست می آیند، می توان با تولید و استخراج آنها ارزش افزوده محصولات کشاورزی را بالا برد.

^۱ -Biodegradable biopolymer

۲) این بیوپلیمرها از منابع تجدیدپذیر^۱ به دست می‌آیند (برخلاف پلیمرهای سنتزی که بیشتر منشا نفتی دارند) بنابراین تولید آنها می‌تواند موجب حفظ منابع تجدیدناپذیر برای نسل‌های آینده گردد.

۳) بیوپلیمرهای حاصل از فراورده‌های کشاورزی قابلیت برگشت به طبیعت را دارند و توسط میکروارگانیسم‌ها در طی فرایند کمپوست^۲ به محصولات طبیعی مانند دی‌اکسیدکربن، آب، متان و توده زیستی (بیومس)^۳ تبدیل می‌شوند. بنابراین این بیوپلیمرها زیست‌فروپاشنده هستند و موجب آلودگی محیط زیست نمی‌گردند.

بررسی‌ها نشان داده است که بیش از نیمی از زباله‌های شهروندان در کشورهای صنعتی را مواد بسته‌بندی تشکیل می‌دهند. برای مثال در کشور ایالات متحده آمریکا سالانه تقریباً ۵۰ میلیون تن ضایعات حاصل از بسته‌بندی تولید می‌شود که بخش عمده‌ای از آن را مواد پلاستیکی حاصل از مشتقات نفتی تشکیل می‌دهد (گیلبرت، ۱۹۸۶).

در حال حاضر از روش‌های مختلفی برای حل مشکل ضایعات بسته‌بندی استفاده می‌شود. در زیر به چند روش رایج و معایب آنها اشاره شده است:

۱) روش دفن زباله‌ها: در این روش زمین زیادی مورد نیاز است و موجب آلودگی آب‌های زیرزمینی می‌شود.

۲) روش سوزاندن زباله‌ها: این روش موجب افزایش آلودگی هوا و ایجاد باران‌های اسیدی می‌شود. همچنین شناسایی محل‌های مناسب برای سوزاندن مشکل است.

^۱ -Renewable source

^۲ -Compost

^۳ -Biomass

^۴ -Land fill

^۵ -Incineration

(۳) روش بازیافت زباله‌ها: مواد حاصل از بازیافت را نمی‌توان برای مواد غذایی و پزشکی مورد استفاده قرار داد. همچنین هزینه جمع‌آوری و حمل و نقل آن بالاست و نیز به علت اینکه معمولاً بسته‌بندی‌های مواد غذایی از چند لایه متفاوت تشکیل می‌شود بازیافت آنها مشکل است.

با توجه به مسائل ذکر شده، توسعه دانش مربوط به بیوپلیمر و بهبود خواص آنها جهت کسب استانداردهای مواد بسته‌بندی سنتزی، ضروری به نظر می‌رسد. مهمترین این خواص شامل خواص مکانیکی و نفوذپذیری نسبت به گازها (اکسیژن، دی‌اکسید کربن) و بخار آب می‌باشد (گیلبرت، ۱۹۸۶).

بیوپلیمرهای مورد استفاده در بسته‌بندی را می‌توان بر اساس ساختار شیمیایی به چهار دسته پروتئین‌ها، پلی‌ساکاریدها، لیپیدها و پلی‌استرها تقسیم کرد:

(۱) پروتئین: مانند زئین ذرت، گلوتن و گلیادین گندم، پروتئین‌های سویا، ژلاتین، کلاژن، میوفیبریل گوشت، کازئین شیر، پروتئین‌های آب پنیر شیر، پروتئین‌های تخم مرغ.

(۲) کربوهیدرات‌ها: مانند سلولز و مشتقات سلولز (متیل سلولز، کربوکسی‌متیل سلولز، هیدروکسی‌پروپیل سلولز)، نشاسته و مشتقات آن، ترکیبات پکتینی، کیتین و کیتوزان، صمغ‌هایی مانند آلژینات، کاراگینان، پولولان و لوان، گزانتان، خرنوب و گوار.

(۳) لیپیدها: مانند چربی‌ها و روغن‌های گیاهی و حیوانی، موم‌ها (مانند موم زنبور عسل)، مشتقات گلیسیریدی مانند گلیسرول و مونواستئارات و سورفاکتانت‌ها (امولیسفایرها). چون مواد لیپیدی به صورت پلیمر نیستند فیلم‌های پیوسته و مستقلى تولید نمی‌کنند. لیپیدها بخاطر بازدارندگی در مقابل نفوذ رطوبت در ساختار فیلم مرکب استفاده می‌شوند. فیلم‌های مرکب به دو صورت هستند-

^۱ -Recycline

الف) لایه لیپیدی به عنوان لایه ای فرعی روی لایه پروتئینی یا پلی ساکاریدی قرار می گیرد.

ب) مواد لیپیدی در ماتریکس پروتئین یا پلی ساکارید پخش می شوند (فیلم امولسیون).

۴) پلی استرها: مانند پلی هیدروکسی بوتیرات (PHB)^۱، پلی هیدروکسی والرات (PHV)^۲، پلی لاکتیک اسید (PLA)^۳، پلی گلیکولیک اسید. این دسته بیشتر حالت زیست تخریب پذیری غیر خوراکی دارد (کستر و فنیما، ۱۹۸۶).

بیوپلیمرها به دو صورت زیر در تولید بسته بندی زیستی بکار می روند:

الف) آلیاژ کردن بیوپلیمرها با پلیمر سنتزی

ب) استفاده مستقیم از بیوپلیمرها برای بسته بندی های زیستی

الف) آلیاژ کردن بیوپلیمرها با پلیمر سنتزی: وقتی بیوپلیمرها با پلیمرهای سنتزی برای تولید مواد بسته بندی آلیاژ می شوند در برابر تهاجم میکروارگانیسم ها مساعدتر می شوند و زیست تخریب پذیری آنها نیز افزایش می یابد.

در حال حاضر اکثر محصولات تجاری که با این روش ساخته می شوند از اختلاط بیوپلیمر نشاسته و یک پلیمر سنتزی ساخته می شوند. استفاده از بیوپلیمرهای دیگر مانند سلولز، پروتئین ها و لیپیدها در این روش هنوز رایج نشده است.

^۱ -Poly hydroxy butyrate

^۲ -[poly hydroxy valerate](#)

^۳ -[poly lactic acid](#)

بیوپلیمرها به شکل مواد پرکننده و همچنین بصورت مواد ترکیبی در ساختار پلیمرهای سنتزی بکار می‌روند:

(۱) استفاده از بیوپلیمرها به عنوان پرکننده:

نخستین پلاستیک‌های زیست تخریب‌پذیر با استفاده از اکستروودکردن گرنولهای نشاسته (به میزان ۵ تا ۲۰ درصد) با پلیمرهای سنتزی به همراه افزودنی‌های پرواکسیداتیو و اتواکسیداتیو به دست آمد. در این روش، در اثر اکستروودکردن، گرانول‌های نشاسته بدون هیچ برهمکنشی در ماتریکس پلیمر سنتزی (معمولاً پلی‌اتیلن) پراکنده می‌شوند (گیلبرت، ۱۹۸۶).

به علت زیست فروپاشی نشاسته با آنزیم‌ها، سطح بین پلیمر سنتزی و اتمسفر اطراف (اکسیژن، آب و غیره) بیشتر می‌شود و قابلیت تجزیه و تخریب‌پذیری آن افزایش می‌یابد. به تخریب‌شدن این مواد در محیط، زیست‌شکنندگی^۱ می‌گویند. معمولاً ۳ تا ۵ سال طول می‌کشد تا این مواد کاملاً تجزیه گردد.

تاکنون فرآورده‌های گوناگونی تحت نام‌های تجاری مختلف با استفاده از این روش تولید شده‌اند. برای مثال در کانادا با نام تجاری Ecoster، در آمریکا با نام‌های Polychim و Polyclean و در فرانسه تحت عنوان Ecopolym به بازار معرفی شده‌اند. اگرچه این فرآورده‌ها زیست تخریب‌پذیری نسبتاً بالایی در مقایسه با پلیمرهای سنتزی خالص دارند ولی به علت سازگاری ضعیف نشاسته و پلی‌اتیلن، خواص مکانیکی آنها ضعیف خواهد بود. بنابراین درصد نشاسته‌ای که در این محصولات بکار می‌رود محدود می‌باشد.

(۲) استفاده از بیوپلیمرها به عنوان مواد

ترکیبی: در این روش نشاسته به حالت ژلاتینه شده (نه به شکل گرانولی) با پلیمرهای سنتزی آبگریز مانند پلی‌اتیلن و یک ماده سازگار کننده مانند کوپلیمرهای اتیلن با اسید

^۱ -Biofragmentation

آکریلیک، وینیل الکل، پلی وینیل الکل و استات وینیل آلیاژ می‌شود. در این روش برخلاف روش قبل بین نشاسته و پلیمرهای سنتزی نوعی برهمکنش ایجاد می‌شود و نشاسته به فاز پراکنده محدود نمی‌شود. برای ایجاد برهمکنش بین بیوپلیمر نشاسته و پلیمر سنتزی از سازگار کننده‌های مناسب استفاده می‌شود (گیلبرت، ۱۹۸۶).

تخریب کامل نشاسته ۴۰ روز طول می‌کشد و تخریب کامل فیلم ترکیبی حداقل به دو تا سه سال زمان نیاز دارد در حالیکه حداقل ۲۰۰ سال طول می‌کشد که پلیمر سنتزی پلی اتیلن در محیط طبیعی تجزیه گردد. محصولات تولید شده تحت این روش، تحت نام‌های تجاری مختلف ارائه می‌شوند. برای مثال در آمریکا تحت عنوان Polygrade II و در ایتالیا تحت نام Mater-B عرضه می‌شوند.

(ب) استفاده مستقیم از بیوپلیمرها در بسته‌بندی‌های زیستی: می‌توان بیوپلیمرها را بدون ترکیب با پلیمرهای سنتزی برای تولید مواد بسته‌بندی مورد استفاده قرار داد. بسته‌بندی‌های زیستی حاصل از بیوپلیمرهای خالص دارای سرعت زیست تخریبپذیری بالایی نسبت به فیلم‌های آلیاژ شده می‌باشند. ولی کیفیت مکانیکی و نفوذپذیری آنها به نسبت، پایین‌تر است (گیلبرت، ۱۹۸۶ و ویبر، ۲۰۰۰).

بسته بندی‌های زیستی را بر اساس هضم‌پذیری می‌توان به دو دسته خوراکی و غیرخوراکی تقسیم کرد. فیلم‌ها و پوشش‌ها معمولاً جزو بسته‌بندی‌های خوراکی طبقه‌بندی می‌شوند به شرطی که در ساخت آنها از افزودنی‌های مضر استفاده نشود. بسته‌بندی‌های زیستی سخت و نیمه سخت مانند سینی‌ها، بطری‌ها و پاچ‌ها جزو دسته غیرخوراکی طبقه‌بندی می‌شوند.

اگر خواص بیوپلیمرها با آن چیزی که مورد نیاز است مطابقت نداشته باشد یا اگر بیوپلیمرها، ماهیت

ترموپلاستیک نداشته باشند باید اصلاحات معینی روی آنها صورت گیرد. معمولاً یک بیوپلیمر بعد از اصلاح نیز نمی‌تواند به تنهایی خواص بسیار ویژه مورد نیاز مانند نفوذپذیری بسیار پایین نسبت به گازها و مقاومت بالا نسبت به آب را برآورده کند. بنابراین برای تولید مواد بسته‌بندی مناسب، مجبور به استفاده از چندین نوع پلیمر در ترکیب، لامینه کردن با لایه‌های مختلف و اکستروودکردن مواد مختلف می‌باشیم.

۲-۳- روش‌های تولید بسته‌بندی‌های زیستی

برای تولید بسته‌بندی‌های زیستی معمولاً از دو روش کلی خشک و مرطوب استفاده می‌شود (قنبرزاده و همکاران، ۱۳۸۸).

۲-۳-۱- روش خشک

روش خشک بیشتر برای تولید بسته‌بندی‌های نیمه سخت مانند سینی‌ها، فنجان‌ها و غیره استفاده می‌شود. ولی گاهی برای تولید برخی از انواع فیلم‌ها مانند فیلم‌های ژئینی نیز به کار می‌رود. روش خشک به روش ترموپلاستیک مشهور است و در آن از حرارت‌دهی و قالب‌گیری و یا اکستروژن برای تولید مواد بسته‌بندی استفاده می‌شود.

۲-۳-۲- روش مرطوب (یا روش حلال)

بیشتر برای تولید پوشش‌ها، فیلم‌ها و ورقه‌ها که می‌توانند خوراکی باشند مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش بیوپلیمر را در حلال مناسبی پخش و محلول می‌کنند سپس حلال را از آن جدا می‌کنند. جداسازی حلال توسط روش‌هایی مانند تبخیر حلال، رسوب دادن فاز جامد توسط تغییر pH، تغییر قطبیت حلال یا افزودن الکترولیت‌ها صورت می‌گیرد.

۳-۳- بسته‌بندی‌های زیست تخریب‌پذیر نیمه سخت

برای تولید این دسته از مواد بسته‌بندی معمولاً از بیوپلیمرهای ترموپلاستیک^۱ (پلیمرهایی که در اثر حرارت شکل می‌پذیرند) استفاده می‌شود. رایج‌ترین بیوپلیمرهای ترموپلاستیک مورد استفاده در این روش، نشاسته و برخی از پروتئین‌ها مانند زئین می‌باشند. نشاسته ترموپلاستیک به وسیله ژلاتینه کردن نشاسته تحت ۶-۱۰ درصد رطوبت و حرارت و فشار (همراه یک پلاستی‌سایزر) که به محصول خصوصیات عالی می‌دهد، تولید می‌شوند (گئورگ و همکاران، ۱۹۹۴). قبل از فرآیند حرارتی، به ماده خام (بیوپلیمر) پودری شکل، نرم‌کننده (پلاستی‌سایزر) افزوده می‌شود. پلاستی‌سایزرهای متداول برای تهیه نشاسته ترموپلاستیک عبارتند از- گلیسرول و دیگر ترکیبات پلی‌هیدروکسی با وزن مولکولی کم، پلی‌اترها، اوره و آب که جهت کاهش باندهای هیدروژنی داخل مولکولی و بهبود پایداری خصوصیات محصول اضافه می‌شوند (سورنتینو و همکاران، ۲۰۰۷) ولی نشاسته ترموپلاستیک هنوز نیاز به مخلوط کردن با دیگر پلی‌مرها مانند پلی (اتیلن-کو-ونیل الکل) دارند که علت آن مقاومت کشش کم و مقاومت آب کم در محصول نهایی می‌باشد. همچنین برای بهبود خصوصیات نشاسته‌های ترموپلاستیک در کاربردهای مختلف افزودن خاک رس به عنوان یک ماده پرکننده گزارش شده بود. نشاسته ترموپلاستیک در پلاستیک‌های زیستی که معمولاً از ذرت و سیب‌زمینی منشاء می‌گیرند، استفاده می‌شود (سورنتینو و همکاران، ۲۰۰۷).

^۱ -Thermoplastic

^۲ -Plasticizer

۳-۴- پوشش‌ها^۱، فیلم‌ها^۲ و ورقه‌های خوراکی^۳

سالیان طولانی است که از پوشش‌های خوراکی برای نگهداری بهتر محصولات غذایی و افزایش جذابیت ظاهری آنها استفاده می‌شود. برای مثال از دوران باستان چینی‌ها پرتقال و لیموهای تازه را با لایه نازکی از موم می‌پوشاندند تا خشک شدن آنها به تعویق بیافتد. این کار هم اکنون نیز انجام می‌شود. پوشش دادن علاوه بر اینکه از خشک شدن جلوگیری می‌نماید باعث ایجاد ظاهری جذاب، کاهش تبادل گازهای تنفسی (کاهش فعالیت‌های بیولوژیکی) و عدم رشد کپک‌ها و حشرات بر روی میوه‌ها و سبزی‌ها می‌گردد.

استفاده از فیلم‌های خوراکی در بسته‌بندی مواد غذایی اولین بار در سال ۱۸۹۵ توسط Maris و Parker انجام گرفت. آنها از فیلم‌های ژلاتینی برای نگهداری گوشت استفاده کردند. از سال ۱۹۳۰ استفاده از موم‌های پارافینه مذاب برای پوشش دادن مرکبات تجاری شد. در اواخر دهه ۱۹۵۰ امولسیون‌های روغن در آب موم کارنوبا جهت پوشش دادن میوه‌ها و سبزی‌ها بکار رفت. ایده اولیه استفاده از پوشش‌های خوراکی از پوشش‌های طبیعی که روی سطح میوه‌ها و سبزی‌ها قرار دارد گرفته شده است. در حال حاضر تحقیقات گسترده‌ای برای استفاده از فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی در صنایع غذایی و دارویی در حال انجام است که موجب بهبود کیفیت و افزایش کاربردهای آنها می‌شود. فیلم‌های خوراکی از نظر نحوه تولید، متفاوت از پوشش‌های خوراکی هستند. فیلم‌ها و ورقه‌های خوراکی قبل از کاربرد در بسته‌بندی ماده غذایی بصورت لایه‌ای نازک تولید می‌شوند و بعد همانند پلیمرهای سنتزی برای بسته‌بندی بکار می‌روند. تفاوت فیلم و ورقه در ضخامت آنهاست. معمولاً به ضخامت‌های بالاتر از $250\mu\text{m}$ ورقه و کمتر از آن فیلم می‌گویند. فیلم‌ها می‌توانند به شکل لفاف، کیسه، پاچ و

^۱ - Edible coating

^۲ - Edible film

^۳ - Sheet

کیسه تولید شوند که این محصولات با ضخامت زیاد قالبگیری می‌شوند.

پوشش‌های خوراکی بر خلاف فیلم‌ها و ورقه‌ها بر روی ماده غذایی تشکیل می‌شوند. بنابراین پوشش بعنوان بخشی از محصول بوده و موقع استفاده روی محصول باقی می‌ماند. اینکار توسط روش‌هایی نظیر واکسزدن، اسپری کردن و غوطه ورکردن صورت می‌گیرد.

برای تولید فیلم‌های خوراکی معمولاً بیوپلیمر را در یک حلال با یک ماده‌ی نرم‌کننده (پلاستی‌سایزر) مخلوط می‌کنند. نرم‌کننده‌ها معمولاً ترکیبات آلی با وزن مولکولی پایین و غیر فرّار هستند. البته آب نیز به عنوان نرم‌کننده عمل می‌کند. این مواد باعث کاهش برهم‌کنش‌های زنجیر به زنجیر و جدا شدن نسبی زنجیرها از همدیگر و کاهش اصطکاک بین آنها و تسریع حرکت مولکولی زنجیرهای پلیمر می‌شوند و در حقیقت به عنوان یک لیزکننده داخلی^۱ عمل می‌کنند. نرم‌کننده‌ها با تغییر شبکه سه بعدی باعث افزایش انعطاف‌پذیری و کشش‌پذیری و کاهش پیوستگی الاستیسیته و مقاومت مکانیکی می‌گردد.

نرم‌کننده‌ها شامل دسته وسیعی از مواد هستند و شامل آب، اسیدهای چرب، الکل‌های گلیسرول، گلیکول‌ها (مانند پروپیلن گلیکول، استیل گلیکول)، استون‌ها، فنول‌ها، اترها، هیدروکسی اسیدها (مانند اسید لاکتیک)، قندهای الکلی (مانند سوربیتول، مانیتول) و غیره می‌باشند. در تولید فیلم‌های خوراکی باید به این نکته توجه شود که نرم‌کننده‌ها علاوه بر کارایی بالا باید غیره سمی بوده و خوراکی باشند.

برای بهبود خواص فیلم‌های خوراکی علاوه بر نرم‌کننده‌ها، گاهی از اتصال‌دهنده‌های عرضی^۲ نیز استفاده می‌شود. این

^۱ -Internal lubricant

^۲ -Cross linking agent

مواد با افزایش پیوندهای عرضی بین زنجیرهای ماکرومولکولها باعث افزایش مقاومت مکانیکی، کاهش نفوذپذیری نسبت به گازها و بخارات میشوند. از ترکیبات مختلفی بسته به نوع بیوپلیمر برای این منظور استفاده میشود. برای مثال برای بهبود خواص فیلمهای کازئینی از کلسیم استفاده میشود. از ترکیبات دیگر میتوان از فرمالدئید، گلوکارآلدئید، اپی کلروهیدرین، اسید استیک، اسید تانیک و اسید لاکتیک نام برد. برخی از این اتصالدهندهها مانند فرمالدئید سمی هستند. بنابراین در کاربرد آنها برای تولید فیلمهای خوراکی باید این موضوع مورد توجه قرار گیرد (گیلبرت، ۱۹۸۶).

۵-۳- خوراکی بودن و زیست تخریبپذیری فیلمها و پوششها

فیلمها و پوششهای بیوپلیمری ممکن است خوراکی بوده و یا تنها زیست تخریبپذیر باشند که این به فرمولاسیون، روش تولید و تیمارهای اصلاحکننده بستگی دارد. اگر بیوپلیمر از نوع خوراکی باشد و افزودنیهای خوراکی (نرمکننده، اسید، نمکها، آنزیمها و مواد ضد میکروبی) در ساختار فیلم و پوشش استفاده شود و تغییرات اعمال شده روی بیوپلیمر از طریق حرارت دادن، تغییر pH، افزودن نمک، اصلاح آنزیمی و حذف آب باشد، فیلم یا پوشش حاصله خوراکی خواهد بود.

فیلمها و پوششهای خوراکی، زیست تخریبپذیر نیز هستند. هنگامیکه بیوپلیمر با سایر مواد شیمیایی قبل یا در طول تشکیل فیلم و پوشش وارد واکنش شود (ایجاد اتصالات عرضی) یا ترکیبات غیرخوراکی به فیلم یا پوشش اضافه شود قابلیت خوراکی بودن را از دست میدهد.

۳-۶- کاربردهای فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی

فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی عمدتاً برای حذف بسته‌بندی غیرخوراکی استفاده نمی‌شوند بلکه به همراه بسته‌بندی‌های مرسوم به بهبود کیفیت و ماندگاری کمک می‌کنند و تعداد لایه‌های بسته‌بندی را کاهش می‌دهند و بعد از اینکه بسته باز شد حفاظت از غذا را ادامه می‌دهند. فیلم‌های خوراکی همچنین ممکن است به عنوان لایه‌ای از بسته‌بندی‌های چند لایه مورد استفاده قرار گیرد. برخلاف فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی استفاده از فیلم‌ها و پوشش‌های زیست‌تخریب‌پذیر با هدف جایگزینی کامل با مواد بسته‌بندی سنتزی صورت می‌گیرد.

در زیر کاربردهای مختلف فیلم‌های خوراکی بطور خلاصه ارائه شده‌اند:

(۱) به تاخیر انداختن تبادل رطوبت بین ماده غذایی و محیط و همچنین بین اجزاء تشکیل دهنده ماده غذایی هتروژن. این عمل می‌تواند منافع زیر را در بر داشته باشد:

(الف) جلوگیری از کاهش کیفیت بافتی

(ب) جلوگیری از فساد مواد غذایی

(ج) حفظ ارزش اقتصادی فرآورده

(۲) کاهش تبادل گازهای تنفسی (اکسیژن و دی‌اکسیدکربن) بین محیط و ماده غذایی

(۳) به تاخیر انداختن جذب و مهاجرت چربی‌ها

(۴) عمل‌کردن به عنوان حامل برای آنتی‌اکسیدان‌ها، مواد ضد میکروبی، و مواد بهبود دهنده خواص ارگانولپتیکی (مواد طعم‌زا)، مواد رنگی و بهبوددهنده‌های بافتی

(۵) جلوگیری از مهاجرت آروما، مواد طعمی و رنگی ماده غذایی به محیط و بین اجزاء مواد غذایی هتروژن

- (۶) جلوگیری از نفوذ میکروارگانیسم‌ها به مواد غذایی
- (۷) افزایش ارزش غذایی محصول
- (۸) حفاظت محصول در برابر صدمات مکانیکی
- (۹) کاهش مقدار ماده بسته بندی و پیچیدگی بسته بندی
- (۱۰) پدهای جاذب بر پایه نشاسته سیبزمینی می‌توانند جایگزین مناسب پدهای مرسوم برای جذب ترشحات گوشت باشند (کستر و فنیما، ۱۹۸۶).

۷-۳- کاربرد نشاسته در تولید زیست پلاستیک‌ها

نشاسته در سه شکل زیر برای تولید زیست پلاستیک‌ها مورد استفاده قرار گرفته است:

(۱) **به عنوان ماده پرکننده:** در این حالت، گرانول‌های سالم و ژلاتینه نشده نشاسته (حدود ۵-۲۰ درصد) با پلیمرهای سنتزی (مانند پلی اتیلن یا پروپیلن) مخلوط می‌شود ولی بر هم کنش‌های قوی بین آنها صورت نمی‌گیرد. مصرف نشاسته توسط میکروارگانیسم‌ها باعث افزایش تخلخل، تشکیل حفرات و در نتیجه کاهش یکپارچگی ماتریکس پلیمر می‌شود. این نوع پلاستیک، اولین نوع پلاستیک‌های نشاسته‌ای مورد استفاده در صنایع بسته بندی بوده است و محصولات حاصل کاملاً زیست تخریب پذیر نیستند. برای افزایش سرعت تجزیه‌ی این نوع مواد بسته بندی از موادی نظیر پرواکسیدان‌ها که فرآیند اکسیداسیون نوری و حرارتی را کاتالیز می‌کنند استفاده می‌شود.

(۲) **به عنوان یک پلیمر ترکیب شونده:** در این شکل، نشاسته نرم شده و ژلاتینه شده با یک پلیمر سنتزی و معمولاً آبدوست مانند پلی استرها مخلوط یا اکستروود می‌شود. پلی استرهای آلیفاتیک مانند پلی کاپرولاکتون، پلی لاکتیک اسید، پلی ونیل الکل، پلی هیدروکسی بوتیرات و استات سلولز می‌توانند با

نشاسته ترموپلاستیک به خوبی ترکیب شوند. کامپوزیت پلیمری حاصل معمولاً خواص مکانیکی و بازدارندگی در برابر بخار آب بهتری نسبت به پلیمر نشاسته‌ای عاری از پلی‌استر خواهد داشت.

(۳) به عنوان یک پلیمر منفرد: که محصول حاصل معمولاً خواص مکانیکی ضعیفتر و بازدارندگی کمتری در برابر بخار آب خواهد داشت. نشاسته خشک ترموپلاستیک نیست و بنابراین در خطوط تولید پلیمرهای سنتزی قابل فرایند نمی‌باشد. ترموپلاستیک کردن نشاسته، با تخریب گرانول‌ها، افزودن نرم‌کننده و فرایند برش همراه با حرارت طی فرایند اکستروژن انجام می‌شود. اعمال تیمار حرارتی ۱۲۰ تا ۲۲۰ درجه سانتی‌گراد و نیروی برش مکانیکی موجب تغییرات زیر در ساختار نشاسته می‌شود:

- پاره شدن گرانول‌ها
- شکستن پیوندهای هیدروژنی
- دپلیمریزاسیون نسبی در اثر شکستن پیوندهای کوالانسی بین واحدهای گلوکز

تغییرات فوق موجب کاهش خصوصیات کریستالی و تشکیل نشاسته‌ای ترموپلاستیک (TPS) می‌شود (قنبرزاده و همکاران، ۱۳۸۸).

نشاسته می‌تواند برای تولید محصولات پلاستیکی نظیر فوم‌ها، محصولات حاصل از اکستروژن دمشی نظیر کیسه‌های زباله، محصولاتی مانند سینی، لیوان و گلدان و محصولات حاصل از قالبگیری تزریقی مانند قاشق، چنگال و قوطی‌ها مورد استفاده قرار گیرد.

برای اینکه نشاسته با پلیمرهای سنتزی موجود قابل رقابت باشد باید همانند آنها با خطوط تولید رایج قابل فرایند باشد و همچنین خواص مکانیکی و بازدارندگی محصول

^۱-Foam

نهایی شبیه محصولات شاخه شده از پلیمرهای نفتی موجود باشد. ولی به سه دلیل زیر نشاسته نمی‌تواند چنین خواصی را از خود نشان دهد:

(۱) آن بسیار آبدوست است.

(۲) بخش عمده نشاسته از آمیلوپکتین تشکیل شده است که پلیمری انشعابی است و این موجب کاهش قابلیت کشش‌پذیری و تضعیف خواص مکانیکی می‌شود.

(۳) مولکول آمیلوپکتین و آمیلوز تمایل به کریستالیزاسیون مجدد (رتروگراداسیون) دارند که در اثر تشکیل پیوندهای هیدروژنی زیاد بین زنجیرهای پلیمر رخ می‌دهد. رتروگراداسیون باعث تضعیف شدید خواص مکانیکی می‌شود.

تغییر پیکربندی ساختار پلیمر، افزایش نسبت بخش خطی پلیمر به بخش انشعابی و افزایش طول زنجیرهای پلیمر که موجب گیرافتادن بیشتر زنجیرها می‌شود، می‌تواند خواص مکانیکی پلیمر نشاسته را بهبود دهد. اگرچه استفاده از نشاسته‌های با آمیلوز بالا، می‌تواند تا حدی مشکل اول را حل نماید ولی رتروگراداسیون سریع آمیلوز همچنان به عنوان یک مشکل باقی خواهد ماند. اصلاحات شیمیایی بر روی نشاسته که بتواند موجب تغییرات مطلوب در ساختار نشاسته گردد، می‌تواند موجب بهبود هرچه بیشتر خواص پلیمری نشاسته گردد. استریفیکاسیون نشاسته با اسیدهای کربوکسیلیک (مانند اسید مالیک، سوکسینیک و تارتاریک) می‌تواند موجب بهبود آبگریزی و خواص ترموپلاستیک و کاهش سرعت رتروگراداسیون شود. همچنین افزودن انواع لیپیدها و موم‌ها می‌تواند خواص آبگریزی نشاسته را بهبود دهد.

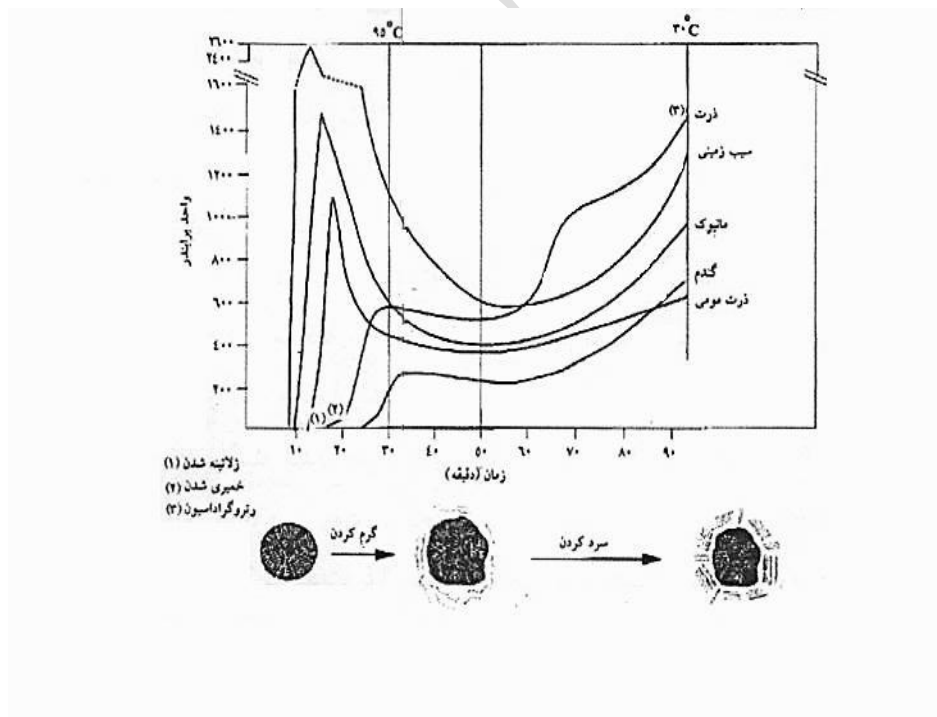
۸-۳- تولید فیلم نشاسته

فیلم نشاسته توسط دو روش زیر قابل تولید است:

- روش کاستینگ
- روش ترموپلاستیک (اکستروژن دمشی یا غلطکی)

(الف) روش کاستینگ (روش حلال): همانطور که گفته شد، نشاسته در حالت طبیعی داخل گرانول‌هایی مجزا از هم می‌باشد. بنابراین برای اینکه بیوپلیمرهای آمیلوز و آمیلوپکتین قابلیت پلیمریزاسیون و تشکیل فیلم پیدا کنند، لازم است که این ماکرومولکول‌ها از داخل گرانول‌ها آزاد گردد. برای این منظور، بایستی نشاسته ژلاتینه شود. در واقع، در فرآیند ژلاتینه‌شدن، گرانول‌های نشاسته در حضور آب متلاشی شده و زنجیرهای آمیلوز و آمیلوپکتین از داخل آنها آزاد می‌گردد. گرانول‌های نیمه کریستالی نشاسته در دمای اتاق نسبت به انحلال در آب از خود مقاومت نشان می‌دهند. هنگامی که دیسپرسیون نشاسته در آب حرارت داده می‌شود و سپس سرد می‌شود، بسته به دما و زمان حرارت دهی چهار مرحله زیر تشخیص داده می‌شود:

ژلاتینه‌شدن، خمیری‌شدن، ترکیدن گرانول‌ها و رتروگراداسیون، که در شکل ۳-۱ نشان داده شده است.



شکل ۳-۱: تغییرات قوام دیسپرسیون نشاسته‌های مختلف در طی حرارت دادن و سرد کردن

(۱) **ژلاتینه شدن:** گرانول‌های نشاسته در آب سرد نامحلول می‌باشند و آب کمی جذب می‌کنند. حرارت دادن مخلوط گرانول‌ها و آب، موجب شکسته شدن پیوندهای هیدروژنی نشاسته - نشاسته و ایجاد پیوندهای نشاسته - آب در دمای ژلاتینیزاسیون می‌شود و در نتیجه آبگیری تسریع می‌یابد و آب به داخل گرانول‌ها نفوذ می‌کند و موجب تورم برگشت‌پذیر گرانول‌ها می‌شود (قابلیت برگشت با سرد کردن و خشک کردن). در مرحله ژلاتینه شدن افزایش ویسکوزیته محلول ناچیز است ولی افزایش آبگیری نشاسته را می‌توان از روی کاهش شکست دوگانه‌ی نور زیر میکروسکوپ نوری پلاریزه تشخیص داد. کریستالی بودن ساختار میسل‌های نشاسته موجب شکست دوگانه نور^۱ می‌شود. جذب آب موجب تبدیل شکل کریستالی به آمورف و کاهش شکست دوگانه نور می‌شود.

(۲) **خمیری شدن:** گذشت زمان و افزایش دمای سوسپانسیون نشاسته موجب افزایش آبگیری و تورم برگشت‌ناپذیر گرانول‌ها در دمای خمیری‌شدن و افزایش یکباره‌ی ویسکوزیته می‌گردد. در مرحله‌ی خمیری‌شدن، بخشی از مولکول‌های نشاسته (به ویژه آمیلوز) از داخل گرانول‌ها به فضای بین گرانول‌ها وارد می‌شود و ماتریکس بین گرانولی تشکیل می‌دهد که این ماتریکس باعث افزایش شدید ویسکوزیته می‌شود. (گفتنی است که دو مرحله‌ی ژلاتینیزاسیون و خمیری شدن در برخی کتاب‌ها به عنوان مراحل ابتدایی و انتهایی ژلاتینیزاسیون معرفی می‌شوند). هر چقدر اندازه‌ی گرانول‌ها بزرگتر باشد زمان و دمای ژلاتینه شدن و خمیری‌شدن پایین‌تر خواهد بود. گرانول‌های بزرگتر، پیک ویسکوزیته‌ی بالاتری را ایجاد می‌کنند. برای مثال سیبزمینی دارای دمای ژلاتینه‌شدن و خمیری‌شدن کمتر و ویسکوزیته‌ی بالاتری نسبت به نشاسته‌ی غلات

^۱ -Maltesecross

^۲ -Pasting

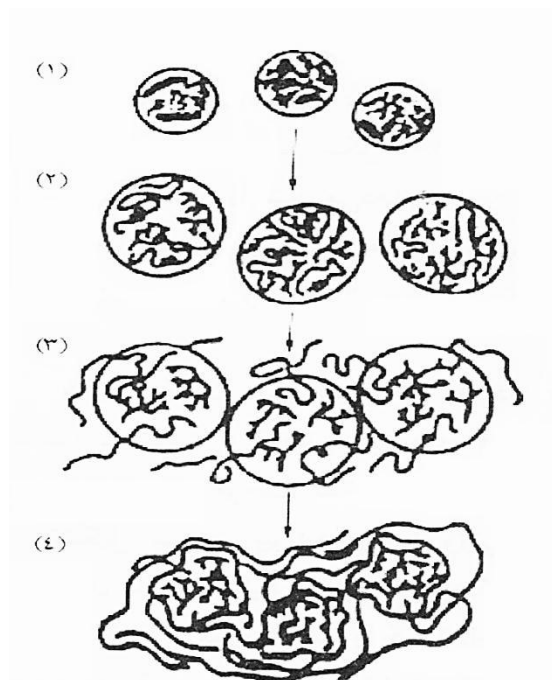
می‌باشد. همچنین، هر چقدر نسبت آمیلوز کمتر باشد دمای ژلاتینه و خمیری شدن کمتر خواهد بود. شکل ۳-۲ تغییرات گرانول‌های نشاسته را در طول ژلاتینه‌شدن (وخمیری شدن) را نشان می‌دهد (قنبرزاده و همکاران، ۱۳۸۸).

۳) ترکیدن گرانول‌ها: ادامه حرارت دهی و آبیگری موجب ترکیدن گرانول‌ها و کاهش ویسکوزیته می‌شود. به هم زدن دیسپرسیون (اعمال برش) و پایین بودن pH موجب ترکیدن سریعتر می‌گردد.

۴) رتروگراداسیون نشاسته: سرد کردن دیسپرسیون نشاسته در آب موجب پیوندهای هیدروژنی نشاسته- نشاسته و کاهش پیوندهای هیدروژنی آب- نشاسته می‌گردد. خطی بودن زنجیرهای آمیلوز موجب ممانعت فضایی کمتر، تحرک و نزدیک‌شدن بیشتر زنجیرها و تشکیل سریعتر پیوندهای هیدروژنی نسبت به زنجیرهای آمیلوپکتین می‌شود. اگر محلول نشاسته، غلیظ و سرعت سرد کردن بالا باشد پیوندهای هیدروژنی در نقاط محدود تشکیل می‌شوند و آب را گیر انداخته و شبکه ژلی تشکیل می‌دهند (رتروگراده نمی‌شوند). رقیق بودن محلول نشاسته و یا سرد کردن آرام محلول غلیظ نشاسته، موجب تشکیل پیوندهای هیدروژنی در نقاط زیاد و در نتیجه تبدیل شکل آمورف به شکل کریستالی می‌شود (رتروگراداسیون). نسبت آمیلوز به آمیلوپکتین بالاتر موجب رتروگراداسیون سریعتر می‌شود. برای مثال نشاسته سیب‌زمینی دیرتر از نشاسته گندم رتروگراده می‌گردد.

با توجه به توضیحات فوق، حرارت دادن، مرحله اساسی در تولید فیلم نشاسته محسوب می‌شود. در روش کاستینگ پس از تهیه محلول تشکیل دهنده فیلم (۵-۱ درصد W/W نشاسته در آب)، آن را تا بالای دمای ژلاتینه‌شدن حرارت می‌دهند (معمولاً ۹۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه). سپس آن را خنک می‌کنند و بر روی سطح نجسب تفلونی پخش می‌کنند. با خشک کردن در دمای حدود ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت فیلمی یکنواخت تولید می‌شود که می‌توان به راحتی آن را از سطح جدا کرد (مایلارینن و همکاران، ۲۰۰۲).

نشاسته در عدم حضور نرم کننده فیلمی بسیار سخت و شکننده تولید می‌کند. بنابراین استفاده از نرم کننده در تولید فیلم نشاسته امری ضروری است. رایج ترین نرم کننده مورد استفاده در تولید فیلم های نشاسته ای گلیسرول است. با افزودن گلیسرول خواص مکانیکی فیلم نشاسته تا حدود زیادی اصلاح می‌شود. اما خواص بازدارندگی فیلم نشاسته با افزودن نرم کننده دچار تغییر شده و تا حدود زیادی تضعیف می‌شود.



شکل ۳-۲: فرایند ژلاتینه شدن نشاسته (۱) گرانول‌های طبیعی نشاسته متشکل از آمیلوز (خطی) و آمیلوپکتین (انشعابی)، (۲) کاهش حالت کریستالی، گسستن هلیکس‌ها و تورم برگشت‌پذیر گرانول‌ها در اثر افزودن آب، (۳) تورم برگشت ناپذیر و خروج آمیلوز گرانول‌ها در اثر افزایش میزان آب و حرارت دادن، (۴) تخریب کامل گرانول‌ها و محصور شدن رشته‌های آمیلوپکتین در بین زنجیرهای آمیلوز در اثر افزایش بیشتر دما.

ب) روش ترموپلاستیک: در این روش، نشاسته در عدم حضور آب (یا مقادیر پایین آب) و در حضور نرم‌کننده‌های غیر فرّار (عمدتاً گلیسرول)، در داخل اکسترودر و تحت فرآیندهای مکانیکی و حرارتی به نشاسته‌ی ترموپلاستیک تبدیل می‌شود که قابلیت شکل‌پذیری توسط حرارت را دارد و می‌توان از آن در تولید انواع مواد بسته بندی از جمله فیلم‌ها استفاده

کرد. در واقع در این روش برای ژلاتینه شدن نشاسته از حرارت و تنش‌های مکانیکی استفاده می‌شود. فیلم‌های حاصل از روش ترموپلاستیک خواص مکانیکی بهتری از فیلم‌های حاصل از روش کاستینگ خواهد داشت. وقتی در روش کاستینگ، از آب به عنوان نرم کننده فیلم نشاسته‌ای استفاده می‌شود، پس از تبخیر آب امکان تشکیل پیوندهای هیدروژنی بیشتری بین زنجیرهای نشاسته ایجاد شده و در نتیجه فیلم حاصل بسیار سخت و شکننده و فاقد ویژگی برگشت‌پذیری حرارتی خواهد بود. اما وقتی از نرم کننده‌های غیر فزّار نظیر گلیسرول استفاده شود تداخل مولکول‌های نرم‌کننده در بین زنجیرهای پلیمر باعث کاهش تعداد و شدت برهمکنش‌ها بین زنجیرهای نشاسته می‌شود و ماده‌ای که حاصل می‌گردد دارای ویژگی برگشت پذیری حرارتی خواهد بود و به همین دلیل به آن نشاسته ترموپلاستیک اطلاق می‌شود.

نکته مهمی که در تولید فیلم نشاسته بایستی مورد توجه قرار گیرد این است که قابلیت فیلم‌سازی نشاسته به ترکیب شیمیایی آن بستگی دارد و مهمترین عامل، نسبت آمیلوز به آمیلوپکتین است. بالا بودن آمیلوز در نشاسته به تولید فیلمی مقاوم‌تر می‌انجامد. اما نشاسته‌ای که آمیلوپکتین زیادی داشته باشد فیلمی با خواص کاربردی ضعیف تولید می‌کند (قنبرزاده و همکاران، ۱۳۸۸).

۹-۳- خواص کاربردی فیلم نشاسته‌ی سیبزمینی

بازدارندگی ضعیف نسبت به بخار آب از عیب‌های اساسی فیلم‌های نشاسته‌ای به حساب می‌آید. به علت ماهیت آبدوست نشاسته، فیلم‌های حاصل از آن نفوذپذیری بالایی نسبت به بخار آب دارند (برتوزی و همکاران، ۲۰۰۷). این حساسیت نسبت به رطوبت باعث ایجاد تغییر در خواص کاربردی فیلم نشاسته در شرایط محیطی مختلف شده و در نتیجه کاربرد فیلم‌های نشاسته‌ای در شرایط مختلف (به ویژه در رطوبت‌های نسبی بالاتر) را محدود می‌سازد.

ترکیب شیمیایی نشاسته، فرمولاسیون (به ویژه میزان نرم‌کننده)، شرایط تولید فیلم و شرایط محیطی (به ویژه رطوبت نسبی) از جمله عواملی هستند که WVP^۱ فیلم نشاسته را تحت تأثیر قرار می‌دهند. نوع نشاسته مورد استفاده در تهیه فیلم تأثیر به سزایی بر روی WVP فیلم نهایی دارد.

بهترین روش برای بهبود خواص بازدارندگی فیلم نشاسته، ایجاد تغییر در نشاسته و یا اصلاح آن است. تولید فیلم از نشاسته اصلاح شده باعث کاهش نفوذپذیری آن نسبت به بخار آب و اکسیژن می‌شود. به عنوان مثال جانهد و همکاران (۲۰۰۷) خواص بازدارندگی فیلم‌های حاصل از نشاسته طبیعی سیبزمینی و نشاسته اصلاح‌شده به دو روش مختلف را مورد مقایسه قرار دادند.

برای این کار از دو نوع نشاسته‌ی اصلاح‌شده استفاده شد: نشاسته آگریز (با استفاده از آنهیدرید سوکسینیک) و هیدروکسی پروپیل نشاسته. همانطور که در جدول ۳-۱ مشاهده می‌شود با اصلاح نشاسته نفوذپذیری نسبت به اکسیژن و بخار آب کاهش می‌یابد. کمترین WVP مربوط به فیلم حاصل از نشاسته آگریز است.

از دیگر روش‌های افزایش بازدارندگی فیلم می‌توان به روش‌های زیر اشاره نمود:

- افزایش قسمت‌های آمیلوز نسبت به آمیلو پکتین
- اختلاط با سایر بیوپلیمرها لیپیدها و پروتئین‌ها تا حدودی دارای خاصیت آگریزی هستند و قادرند WVP فیلم نشاسته را کاهش دهند.
- افزایش پیوندهای دی‌سولفیدی مثلاً با افزودن کازئین

نفوذپذیری نسبت به گاز و ترکیبات فرار آروما در فیلم‌های پلی‌ساکاریدی تحت تأثیر عوامل مختلفی قرار دارد: نسبت نواحی کریستالی به نواحی آمورف، میزان تحرک

^۱ -Water vapor permeability

زنجیرهای پلیمری و میزان بر همکنش‌ها بین گروه‌های عملگرای پلیمر و مولکول‌های گاز و ترکیبات فرار در نواحی آمورف.

فیلم‌های نشاسته‌ای به دلیل وجود تراکم و فشردگی بالا بین زنجیرها، وجود مقدار زیاد پیوندهای هیدروژنی، وجود حالت نیمه کریستالی، بازدارندگی عالی در مقابل اکسیژن دارند و همین امر استفاده از آنها را در بسته بندی میوه‌ها و سبزی‌ها جهت کاهش سرعت تنفس و افزایش ماندگاری میسر می‌سازد. نفوذپذیری نسبت به دی‌اکسیدکربن در فیلم‌های نشاسته‌ای بیشتر از اکسیژن می‌باشد که نشان دهنده بازدارندگی انتخابی فیلم نشاسته می‌باشد. این پدیده را می‌توان به حلالیت بالای دی‌اکسیدکربن در فیلم‌های نشاسته‌ای نسبت داد.

عوامل مختلفی وجود دارد که OP¹ فیلم‌های نشاسته‌ای را تحت تأثیر قرار می‌دهد. یکی از مهم‌ترین این عوامل نوع و میزان نرم‌کننده مورد استفاده است. در تعیین میزان OP فیلم‌های حاوی نرم‌کننده، عواملی نظیر حالت فیزیکی و وزن مولکولی نرم‌کننده، ایجاد تغییر در ساختار سطحی فیلم، واکنش شیمیایی بین نرم‌کننده و اکسیژن و توانایی مولکول‌های کوچک نرم‌کننده در پرکردن حفرات ماتریکس پلیمر تأثیر گذار می‌باشند (قنبرزاده و همکاران، ۱۳۸۸).

¹- Oxygen permeability

جدول ۳-۱- نفوذ پذیری نسبت به اکسیژن (OP) و بخار آب (WVP) فیلم‌های نشاسته طبیعی و اصلاح شده

نوع فیلد م	میزان گلیسرو ل	OP m ² .d.bar).	cm ³ .cm/(^{۲-۱۰}	WVP → Δ ^۰ %RH g/(pas.m). Δ ^{-۱۰}
NS	۰ ۱۵ ۰ ۱۵ ۳۰ ۰ ۱۵ ۳۰	۵/۰±۶/۲ ۷/۲ ± ۰/۰ ۳/۰±۴/۳ ۵/۰±۴/۲ ۷/۱±۲/۹ ۴/۰±۵/۱ ۷/۱ ± ۰/۵	۶/۰±۶/۵ ۳/۰±۸/۵	۷/۰±۱/۵ ۹/۰±۸/۱ ۱۱/۰±۸/۵ ۴/۰±۱/۱ ۴/۰±۵/۱ ۵/۰±۹/۱ ۲/۰±۴/۱ ۳/۰±۸/۳ ۴/۱ ± ۰/۷
HPM S				
HMS				

NS- Native starch

HPMS- Hydroxypropylated modified starch

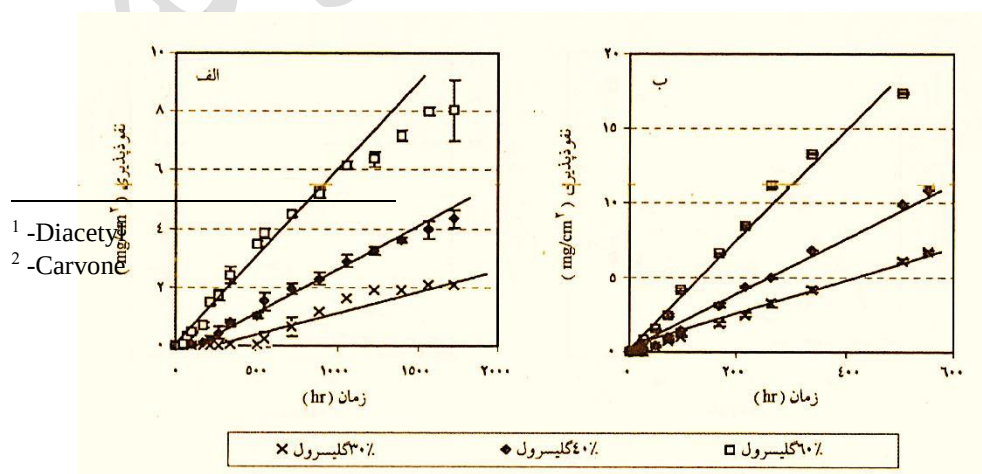
HMS-Hydrophobically modified starch

نشاسته از جمله موادی هستند که به وفور در انکپسوله کردن و رهاسازی کنترل شده ترکیبات فرّار مورد استفاده قرار می گیرد. لذا می توان گفت که بازدارندگی نسبت به ترکیبات آروما از دیگر مزایای فیلم های نشاسته ای است که می تواند به حفظ کیفیت مواد غذایی کمک کند. خواص فیزیکی فیلم های نشاسته ای نظیر وزن مولکولی نشاسته و نرم کننده، میزان نرم کننده و سایر اجزاء موجود در فرمولاسیون از جمله عواملی هستند که نفوذپذیری فیلم نسبت به آروما را تحت تأثیر قرار می دهند. به عنوان مثال با افزایش وزن مولکولی نشاسته نفوذپذیری ترکیبات فرّار کاهش می یابد. همچنین با کاهش میزان نرم کننده نیز نفوذپذیری کاهش می یابد. از طرف دیگر نفوذپذیری ترکیبات فرّار به حضور ترکیبات غیرفرّار نظیر روغن ها و چربی ها در ماتریکس

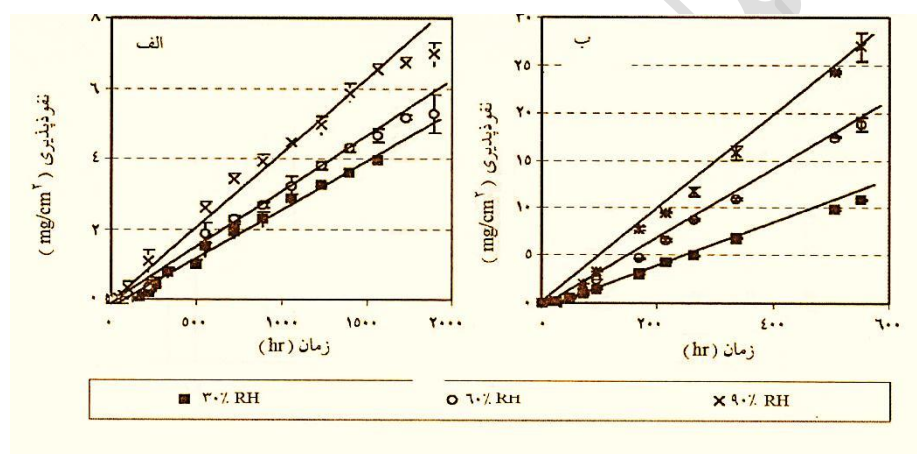
فیلم نیز بستگی دارد و حضور چنین ترکیباتی باعث کاهش سرعت انتقال ترکیبات فرار می‌شود.

یلماز و همکاران (۲۰۰۲) تأثیر عوامل مختلف بر روی نفوذپذیری فیلم نشاسته‌ی سیبزمینی نسبت به دو ترکیب آرومای فرار دی‌استیل^۱ و کاروون^۲ را مورد مطالعه قرار دادند. شکل ۳-۳ و ۳-۴ به ترتیب تأثیر میزان گلیسرول و رطوبت نسبی محیط بر روی نفوذپذیری فیلم‌ها را نشان می‌دهند. با افزایش هر دوی این پارامترها میزان نفوذ ترکیبات آروما افزایش می‌یابد.

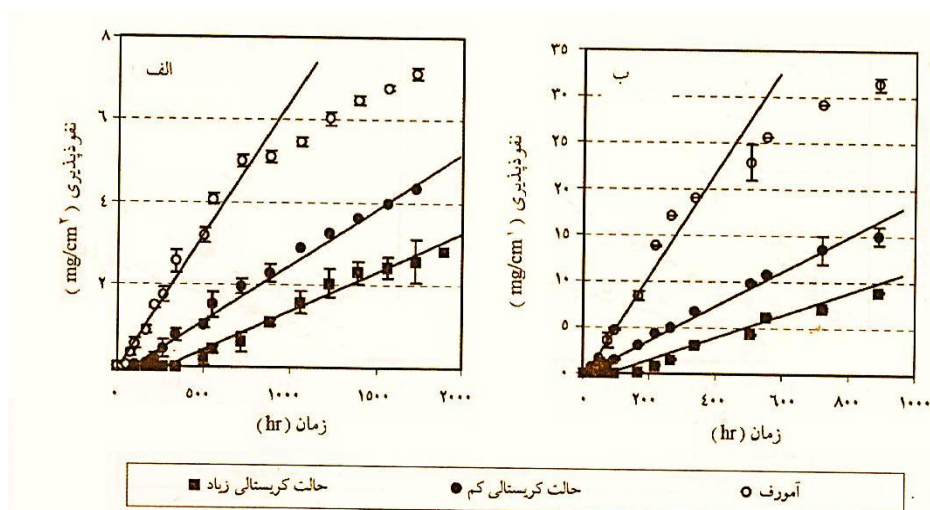
این محققین همچنین اظهار داشتند که با کاهش دمای خشک‌کردن و در نتیجه افزایش رطوبت فیلم نهایی می‌توان میزان حالت کریستالی در فیلم را افزایش داد. بر این اساس سه نوع فیلم با درصد رطوبت‌های مختلف تولید شد و تأثیر میزان حالت کریستالی بر روی نفوذپذیری نسبت به ترکیبات فرار مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به شکل ۳-۵ با افزایش حالت کریستالی، نفوذپذیری نسبت به دو ترکیب دی‌استیل و کاروون کاهش می‌یابد. در قسمت‌های کریستالی تراکم بالای زنجیرهای پلیمر مانع نفوذ ترکیبات فرار می‌شود.



شکل ۳-۳: تأثیر میزان نرم کننده بر روی نفوذپذیری فیلم نشاسته نسبت به ترکیبات آروما- کاروون (الف) و دی استیل (ب)



شکل ۳-۴: تأثیر میزان رطوبت نسبی بر روی نفوذپذیری فیلم نشاسته نسبت به ترکیبات آروما- کاروون (الف) و دی استیل (ب)



شکل ۳-۵: تأثیر میزان حالت کریستالی بر روی نفوذپذیری فیلم نشاسته نسبت به ترکیبات آروما- کاروون (الف) و دی استیل (ب)

نشاسته در بین بیوپلیمرها مقاومترین فیلم را تولید می‌کند و خواص مکانیکی آن در مقایسه با سایر فیلم‌های پلی‌ساکاریدی و همچنین فیلم‌های پروتئینی نسبتاً بهتر می‌باشد. خواص مکانیکی فیلم‌های نشاسته‌ای تحت تأثیر عوامل مختلفی قرار دارد. یکی از مهمترین عوامل موثر در خواص مکانیکی فیلم‌های نشاسته‌ای سایر ترکیباتی است که در فرمولاسیون محلول تشکیل دهنده فیلم مورد استفاده قرار می‌گیرند و مهمترین عامل از این نظر میزان نرم‌کننده می‌باشد. همان‌طور که قبلاً اشاره شد جهت تعدیل و اصلاح خواص مکانیکی فیلم‌های نشاسته‌ای استفاده از نرم‌کننده امری ضروری است اما استفاده بیش از حد از آن می‌تواند باعث تضعیف بیشتر خواص مکانیکی فیلم شده و کاربردهای فیلم نهایی را محدود سازد. از دیگر ترکیباتی که ممکن است در فرمولاسیون فیلم نشاسته مورد استفاده قرار گیرد سورفاکتانت‌ها می‌باشند که در تولید فیلم‌های مرکب نشاسته

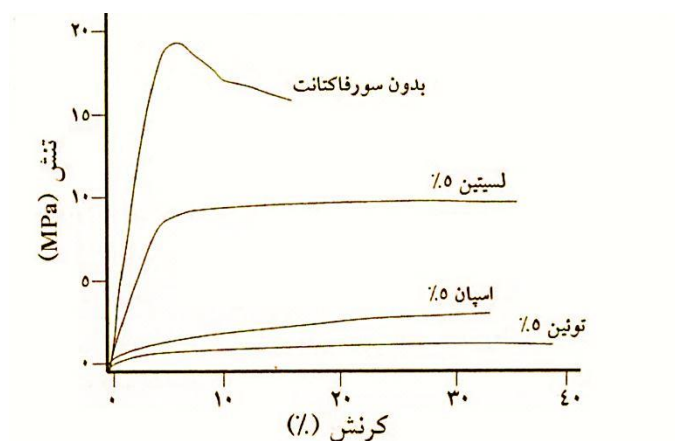
– لیپید جهت کاهش کشش سطحی و افزایش یکنواختی فیلم مورد استفاده قرار می‌گیرند. مطالعات نشان داده است که سورفاکتانت‌ها نیز می‌توانند اثر نرم‌کنندگی داشته باشند و با قرار گرفتن در بین زنجیرهای بیوپلیمر باعث افزایش انعطاف‌پذیری و کاهش استحکام مکانیکی فیلم شوند.

رودریگوز و همکاران (۲۰۰۶) تاثیر توأم میزان نرم کننده و سورفاکتانت بر روی تنش و کرنش تا نقطه شکست فیلم نشاسته سیبزمینی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل در جدول ۲-۳ نشان داده شده است. هنگامی که از گلیسرول و سورفاکتانت استفاده نمی‌شود فیلم حاصل شکنندگی بالایی خواهد داشت (استحکام کششی بالا و افزایش طول تا نقطه شکست پایین). اما وقتی از ۲۰ درصد گلیسرول در ترکیب با نشاسته استفاده می‌شود خواص مکانیکی فیلم متعادل‌تر شده و انعطاف‌پذیری آن افزایش می‌یابد. هنگامی که از گلیسرول استفاده نمی‌شود با افزودن سورفاکتانت تنش و کرنش تا نقطه شکست فیلم نشاسته کاهش می‌یابد که نشان از تضعیف خواص مکانیکی فیلم دارد. زمانی که از گلیسرول و سورفاکتانت به صورت توأم استفاده می‌شود کاهش در استحکام کششی شدیدتر خواهد بود. اما وقتی میزان سورفاکتانت افزایش یابد تأثیر آنها متفاوت خواهد بود و توئین بیشترین تأثیر را بر روی خواص مکانیکی فیلم خواهد گذاشت.

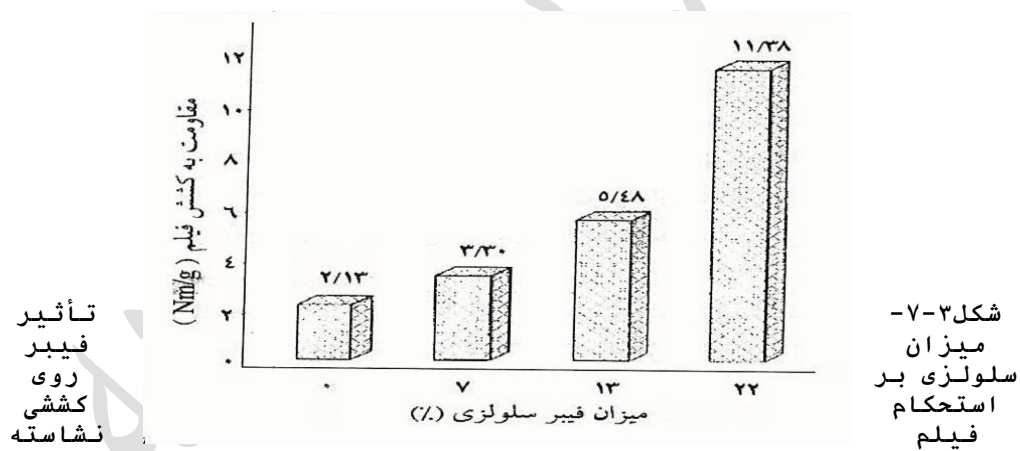
شکل ۳-۶ تأثیر نوع سورفاکتانت بر روی منحنی تنش و کرنش فیلم نشاسته را نشان می‌دهد. توئین سورفاکتانتی است که بیشترین تأثیر را در کاهش استحکام کششی و افزایش انعطاف‌پذیری فیلم دارد. این پدیده به ماهیت شیمیایی سورفاکتانت برمی‌گردد. سورفاکتانتی نظیر توئین که قسمت آبدوست بزرگتری دارد می‌تواند پیوندهای بیشتری با آب و مولکول‌های گلیسرول برقرار کند و در نتیجه تداخل آن در بین زنجیرها بیشتر شود و نهایتاً نقش آن در افزایش انعطاف‌پذیری فیلم بیشتر خواهد بود (قنبرزاده و همکاران، ۱۳۸۸).

جدول ۲-۳: تأثیر میزان گلیسرول و سورفاکتانت بر روی استحکام کششی و افزایش طول تا نقطه شکست فیلم نشاسته

گلیسرول (%)	سورفاکتانت (%)	استحکام کششی (Mpa)	افزایش طول تا نقطه شکست (%)
۰	۰	۴۴/۲±۱/۷	۵/۱±۹/۱
۰/۵ توئین	۰	۴۲/۴±۱/۴	۵/۱±۴/۰
۰/۵ اسپان	۰	۴۰/۵±۶/۴	۴/۰±۲/۸
۰/۵ لسیتین	۰	۳۷/۳±۲/۹	۳/۰±۷/۴
۲۰	۰	۲۰/۴±۳/۹	۱۲/۶±۱/۸
۰/۵ توئین	۰	۲۳/۳±۴/۷	۵/۱±۲/۰
۰/۵ اسپان	۰	۱۴/۳±۲/۳	۷/۱±۹/۱
۰/۵ لسیتین	۰	۱۶/۴±۱/۴	۸/۲±۰/۷
۰/۵ توئین	۰	۲/۰±۴/۳	۳۱/۵±۵/۷
۰/۵ اسپان	۰	۳/۰±۲/۵	۲۷/۵±۶/۵
۰/۵ لسیتین	۰	۷/۳±۱/۶	۲۱/۱±۹/۵



شکل ۳-۶- منحنی تنش به کرنش فیلم‌های نشاسته حاوی سورفاکتانت‌های مختلف



تأثیر
فیبر
روی
کششی
نشاسته

شکل ۳-۷-
میزان
سلولزی بر
استحکام
فیلم

یکی از مهمترین پیشرفت‌ها که در طی سالهای اخیر در این زمینه حاصل شده است ورود فناوری نانو در این عرصه

می‌باشد. فناوری نانو علمی است که با شناسایی، تولید و دستکاری ساختارهای بیولوژیکی و غیربیولوژیکی با ابعاد کوچکتر از 100nm سروکار دارد. فناوری نانو به دلیل تعامل نزدیکی که با سایر رشته‌های علوم دارد به سرعت در حال گسترش است و در این میان علم پلیمر را نیز از مزایای خود بی‌بهره نگذاشته است. استفاده از فناوری نانو در زمینه علم پلیمر به تولید پلیمرهای نانوکامپوزیت منجر شده است. نانوکامپوزیت‌ها پلیمرهایی هستند که در آنها از ترکیبات آلی یا غیر آلی مختلفی که دارای اشکال مختلف صفحه‌ای، کروی و یا به صورت ذرات ریز بوده و اندازه‌ای در حد ابعاد نانو دارند، بعنوان فیلر یا پرکننده استفاده می‌شود.

ایده‌ی اولیه‌ی تولید پلیمرهای نانوکامپوزیت به سال ۱۹۸۶ برمی‌گردد. در این سال واحد تحقیقات شرکت ماشین سازی تویوتا دریافتند که با افزودن ۵ درصد نانورس به پلیمر نایلون ۶ می‌توان پلیمری مستحکم، مقاوم در برابر آتش و در عین حال سبک تولید کرد (سینگ و کور، ۲۰۰۹).

این فناوری روز به روز گسترش پیدا کرد و در مورد سایر پلیمرها نیز مورد استفاده قرار گرفت تا اینکه طی سالهای اخیر استفاده از این نانو مواد در مورد فیلم‌های زیست‌تخریب‌پذیر نیز مورد توجه قرار گرفته است. فیلم‌های حاصل از ترکیب نانو مواد و بیوپلیمرها و یا به اصطلاح نانوکامپوزیت‌های بیوپلیمری خواص کاربردی مطلوبتری از خود نشان می‌دهند که مهمترین آنها افزایش مقاومت مکانیکی و کاهش نفوذپذیری نسبت به بخار آب می‌باشد. افزایش بازدارندگی در برابر نفوذ گازها، افزایش کارایی فیلم در استفاده به عنوان بسته‌بندی فعال، افزایش مقاومت حرارتی ماده‌ی بسته‌بندی و ایجاد شفافیت و بهبود خواص ظاهری فیلم از دیگر مزایای نانوکامپوزیت‌های بیوپلیمری می‌باشد.

پلیمرها بر پایه نانوکامپوزیت‌های خاک رس (PCN)^۱ یک طبقه از مواد مطمئن و آسوده خاطر می‌باشند که با مواد پلیمر آلی و پرکننده‌های خاک رس ارگانوفیلیک ترکیب شده‌اند که از سال ۱۹۸۰ توسط محققین تویوتا مرسوم شده‌اند. آنها یک افزایش جزئی در خصوصیات حرارتی و مکانیکی نایلون با اضافه کردن مقدار کمی نانو ذرات خاک رس گزارش کردند. این پلیمرها در بخش‌های غذایی و غیر غذایی، از جمله ساختمان سازی، صنعت اتومبیل، هوافضا، نظامی، الکترونیک و به عنوان پوشش و بسته‌بندی مواد غذایی کاربرد پیدا کرده‌اند. چون که این مواد مقاومت مکانیکی، مقاومت به حرارت بالایی دارند و خصوصیات محافظتی را بهبود می‌دهند. خصوصیات و ساختار نهایی PCN به وسیله کنترل واکنش‌های بین پلیمر و خاک رس در طول فرایندهای صنعتی آنها قابل کنترل می‌باشد (سینگ و کور، ۲۰۰۹).



^۱ -Polymer-clay nano composites

شکل ۳-۱۰: نوعی بسته بندی برپایه نانوکامپوزیت‌های خاک رس- نشاسته که قادر است به مدت ۳ هفته بدون نشی آب را نگه دارد.

پلاستیک‌های زیست‌تخریب‌پذیر بر پایه نشاسته در آینده صنعت بسته‌بندی جهان مهم هستند ولی در مطالعات صورت گرفته به دوام و تجزیه پذیری این پلاستیک‌ها توجه کافی نشده است. تجزیه‌پذیری یک فرایندی است که در نتیجه فاکتورهایی مانند نور، حرارت و ... خصوصیات پلیمرها تحت تاثیر قرار گرفته و یا از بین می‌رود و در نتیجه مدت ماندگاری ماده کاهش پیدا می‌کند. از این رو مطالعات پایداری و تجزیه این پلیمرها باید به درستی بررسی شود تا مدت ماندگاری بیشتری برای محصول تأمین کند.

فصل چهارم

کاربردهای تخمیری

۱-۴- تولید بیواتانول

۱-۱-۴- مقدمه

در دنیای امروز مسئله آلودگی محیط زیست و مصرف انرژی از اساسی‌ترین مشکلات بشر به شمار آمده و بی‌توجهی به آن می‌تواند خطرات بزرگی را بدنبال داشته باشد. به همین دلیل بسیاری از کشورهای صنعتی تحقیقات گسترده‌ای را در زمینه روشهای مختلف کاهش آلودگی محیط زیست به انجام رسانیده‌اند. روند روبه رشد صنعت خودروسازی و به دنبال آن افزایش مصرف انرژی و آلودگی محیط زیست لزوم بهره‌گیری از تکنولوژی‌های نو را در جهت کاهش مصرف انرژی و آلودگی محیط زیست، آشکار می‌سازد. سوخت زیستی در حال حاضر به عنوان یکی از مهمترین منابع سوختی مطرح شده است که می‌تواند به گونه‌ای که آسیبی به طبیعت وارد نکند نیاز سوختی جوامع را تأمین نماید. سوخت‌های گیاهی عمده‌ترین منابع جای‌گزین سوخت‌های فسیلی می‌باشند. این سوخت‌ها نسبت به سوخت‌های فسیلی آلودگی کمتری داشته و می‌توان آن‌ها را از بقایای مواد کشاورزی و پسماند مواد غذایی برای استفاده در موتورهای احتراق داخلی به دست آورد. بیواتانول مهمترین نوع سوخت زیستی به حساب می‌آید که از تخمیر قندهای حاصل از محصولات کشاورزی تهیه می‌شود. بیواتانول یکی از انواع الکل‌ها با فرمول C_2H_5OH است که بطور کامل در آب و حلال‌های آلی حل می‌شود. اتانول یا به طور کلی بیواتانول از جمله ترکیباتی می‌باشد که از پتانسیل بالایی برای جایگزینی بنزین مصرفی در سوخت خودروها برخوردار است. بیواتانول دارای عدد اکتان بالایی است و به همین دلیل از آن به عنوان یک افزاینده‌ی عدد اکتان در موتورهای اشتعال جرقه‌ای استفاده می‌شود (آراپوگلو و همکاران، ۲۰۱۰).

در بسیاری از کشورهای اروپایی استفاده از بیواتانول به عنوان یک مکمل سوخت در مقدار حدود ۱۵ درصد پیشنهاد شده است. تولید سوخت اتانول به طور قابل ملاحظه‌ای در نتیجه تقاضای جهانی برای کاهش واردات نفت به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته است. تولید اتیل‌الکل در جهان تقریباً در حدود ۵۱۰۰۰ میلیون لیتر می‌باشد که آمریکا و برزیل بزرگترین تولیدکنندگان آن می‌باشند. به طور

میانگین ۷۳ درصد الکل تولیدی در جهان به عنوان سوخت، ۱۷ درصد آن به عنوان مشروبات الکلی و ۱۰ درصد به صورت الکل صنعتی مصرف می‌شود. طبق دستور (۲۰۰۳/۳۰/EC) اتحادیه اروپا بیواتانول به عنوان سوخت قابل تجدید مورد استفاده قرار گرفت.

از جمله منابع گیاهی برای تولید بیواتانول در بسیاری از کشورهای گرمسیری مانند برزیل و هند، نیشکر می‌باشد. در آمریکای شمالی و اروپا، سوخت اتانول از منابع نشاسته مخصوصاً ذرت حاصل می‌شود. کشورها می‌توانند با بهره‌گیری از دانش فنی و دید اقتصادی مناسب به تکنولوژی تولید اتانول زیستی از طریق تخمیر دست پیدا کنند. برآورد شده است که ۵۵-۲۰ درصد هزینه‌های تولید بیواتانول از طریق تخمیر مربوط به ماده اولیه می‌باشد (لین و تاناکا، ۲۰۰۶).

زائدات صنایع فراوری سیبزمینی (به‌خصوص پوست سیبزمینی) دارای مقادیر قابل ملاحظه‌ای قندهای قابل تخمیر و نشاسته می‌باشند که خوراک مناسبی برای تولید بیواتانول به‌شمار می‌روند. اتانول و بیودیزل‌ها به دلیل اینکه دارای پایه گیاهی می‌باشند یک سوخت تجدیدپذیر محسوب می‌شوند و از نظر شیمیایی یک اکسیژن اضافی در ساختار مولکولی خود دارند. پس برای احتراق نیاز به اکسیژن کمتری نسبت به سوخت دیزل و بنزین دارند.

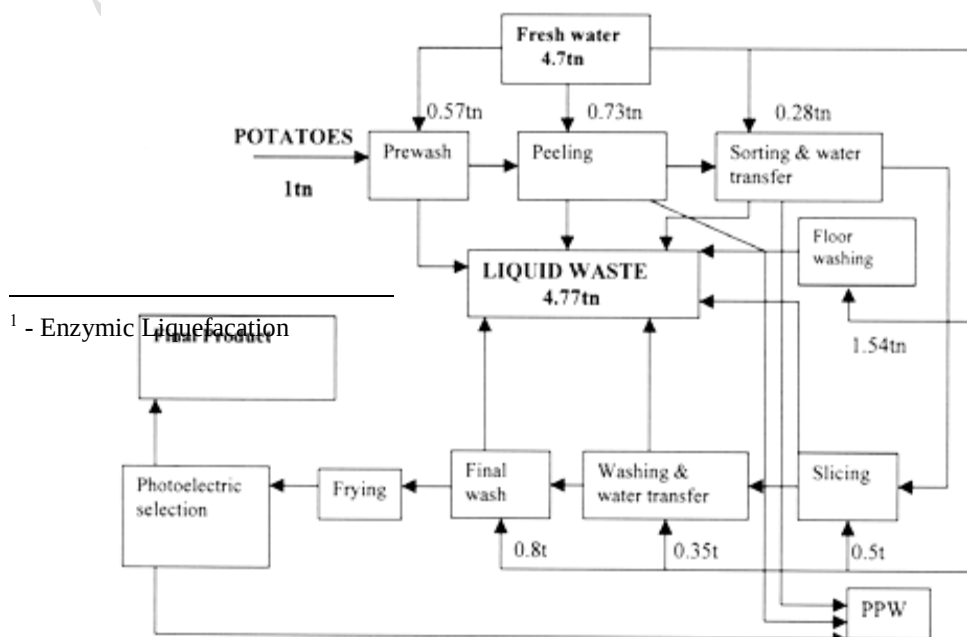
۲-۱-۴- تولید بیواتانول از ضایعات پوست سیبزمینی

مشکل مدیریت ضایعات پوست سیبزمینی^۱ سبب توجه خاص و نگرانی نسبت به ضایعات صنایع سیبزمینی در اروپا شده است که لازم است یک چاره و راه‌حل در مورد این ضایعات در نظر گرفته شود تا مشکلات محیط زیست و آلودگی مربوط به ضایعات سیبزمینی نیز حل گردد.

پوست سیبزمینی از جمله ضایعات بی‌ارزش کارخانه‌جات فرآوری سیبزمینی است. اگر چه مصرف سیبزمینی به طور

^۱ -Potato peel waste

میانگین کاهش پیدا کرده است اما محصولات فرآوری شده آن از جمله فرینچ‌فرایز، چیپس و پوره به طور فزاینده‌ای افزایش پیدا کرده است. ضایعات ایجاد شده تحت پوستگیری سیبزمینی، یعنی پوستگیری با بخار، روش سایشی یا پوستگیری با قلیا در حدود ۴۰-۱۵ درصد متفاوت است که بستگی به روش پوستگیری دارد (سیر و همکاران، ۲۰۰۱). فرآورده‌های پایین دستی در صنعت سیبزمینی برشته در شکل ۴-۱ آورده شده است. ضایعات پوست سیبزمینی شامل مقادیر کافی از نشاسته، همی‌سلولز، لیگنین و قندهای قابل تخمیر می‌باشد که این موارد استفاده از آن را به عنوان خوراک تولید اتانول تضمین می‌کند. اگرچه نشاسته یک خوراک پر بازده برای تولید بیواتانول است اما هیدرولیز آن لازمه تولید بیواتانول توسط تخمیر می‌باشد. نشاسته به طور سنتی توسط اسید هیدرولیز می‌شود اما به دلیل انتخابی بودن و شرایط ملایم واکنش و همچنین عدم حضور واکنش‌های ثانویه منجر به استفاده از آمیلاز به عنوان کاتالیست در هیدرولیز ضایعات پوست سیبزمینی شده است. فرآوری نشاسته یک تکنولوژی است که از ساکاریفیکاسیون و روان‌سازی آنزیمی^۱ استفاده می‌کنند که یک جریان نسبتاً تمیز از گلوکز ایجاد می‌شود که به وسیله مخمر ساکارومایسس به اتانول تخمیر می‌شود.



شکل ۴-۱: نمودار فرایند تولید سیبزمینی برشته

آنزیم‌ها در مقایسه با هیدرولیز اسیدی مزیت‌های بسیاری دارند زیرا آنها تحت شرایط ملایم کار می‌کنند، زیست تخریب‌پذیر هستند، باعث افزایش بازده شده و انرژی و مصرف آب را کاهش می‌دهند. استراتژی استفاده از آنزیم برای تولید بیواتانول از نشاسته شامل ۲ مرحله است-

(۱) روان سازی

(۲) ساکاریفیکاسیون

در روان سازی، آلفا آمیلاز که از باکتری‌های مقاوم به حرارتی مثل باسیلوس لیشینیفورمیس، یا از سویه‌های مهندسی‌شده اشرشیا کولی یا باسیلوس سوبتلیس بدست آمده است، برای کاهش ویسکوزیته در مخلوط آبی^۱ یا تولید دکستترین استفاده می‌شوند. در ساکاریفیکاسیون، آنزیم‌ها دکستترین‌ها را برای تولید گلوکز استفاده می‌کنند. ترکیبات ضایعات پوست‌سیبزمینی خشک شده در جدول ۴-۱ آمده است. قند محلول، قند احیاء و نشاسته، کل کربوهیدرات‌ها را در این بخش سیبزمینی تشکیل می‌دهد (لیگنین ارزیابی نشده است).

همانطور که مشاهده می‌شود ضایعات پوست سیبزمینی میزان بالایی نشاسته دارد (۵۲ درصد وزن خشک) اما قندهای احیاء قابل تخمیر خیلی کم می‌باشند (۰/۶ درصد وزن خشک). به خاطر این دلیل، تخمیر مواد خام اولیه مفید و سودمند

^۱-Slurry

نمی‌باشند و یک هیدرولیز اولیه (آنزیمی یا اسیدی) کربوهیدرات‌ها لازم و ضروری است.

۳-۱-۴- هیدرولیز اسیدی

جهت هیدرولیز، ۴۰ گرم پوست سیبزمینی (حاوی ۸۵ درصد رطوبت، ۶ گرم ماده خشک (۱۵٪)، ۵۲/۰۹٪ نشاسته بر حسب وزن خشک) در یک ارلن‌مایر (۲۵۰ ml) تحت تله تخمیر^۱ همراه با ۰/۵ درصد NH_4NO_3 ، ۰/۱ درصد پپتون و ۱۲۰ میلی‌لیتر HCL ۰/۵ مولار ابتدا مخلوط و سپس تحت دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۵ دقیقه استریل شده بود. بعلت هیدرولیز اسیدی در طول استریلیزاسیون، قندهای پوست سیبزمینی تبدیل به قندهای قابل تخمیر شده بود. بعد از هیدرولیز PH توسط NaOH یک مولار به ۴/۱۵ رسانده شده بود.

جدول ۴-۱: ترکیبات شیمیایی ضایعات پوست سیبزمینی خشک شده

پارامترها	وزن خشک (%)
-----------	-------------

^۱ -Fermentation Trap

۸۵/۰۶	رطوبت %
۶۸/۷	کربو هیدرات کل
۱	قندهای محلول کل
۰/۶۱	قند احیاء
۵۲/۱۴	نشاسته
۱/۳	نیترژن
۸	پروتئین (N×۶/۲۵)
۲/۶	چربی
۶/۳۴	خاکستر

بعد از هیدرولیز اسیدی مقدار کل قندها $\frac{g}{l}$ ۱۹/۳۷ بود در صورتیکه قندهای قابل تخمیر $\frac{g}{l}$ ۱۸/۱۵ می‌باشد. (بر اساس $\frac{g}{l}$ ۰/۳۶ قندهای آزاد شده در هر گرم ppw خشک شده خام). نشاسته هیدرولیز شده پوست سیبزمینی چه حاصل از هیدرولیز آنزیمی و چه هیدرولیز اسیدی به مدت ۴۸ ساعت با ساکارومایسس سروزیه واریه بایانوس تحت شرایط استاندارد (۱۰۰rpm، ۳۲°C و ۵PH) در ارلن مایر ۲۵۰ میلی‌لیتری با تله تخمیر قرار می‌گیرد. مایع تلقیح ۶٪ (V/V) و به مدت ۲ روز تخمیر ادامه داشت. در پایان تخمیر قند کل $\frac{g}{l}$ ۴/۳۴ و قند کاهنده قابل تخمیر $\frac{g}{l}$ ۴/۰۶ بود. بنابراین مقدار قند کاهنده قابل مصرف $\frac{g}{l}$ ۱۴/۰۸ و PH نهایی در آخر تخمیر ۳/۸۹ بود.

شکل ۴-۲ نمودار تولید اتانول برحسب گرم بر لیتر، از قندهای قابل تخمیر حاصل از هیدرولیز اسیدی ضایعات پوست

سیبزمینی را نشان می‌دهد. بیشترین میزان تولید اتانول $\frac{6}{97} \frac{g}{l}$ بعد از ۴۸ ساعت تخمیر بوده است و تا ۶۰ ساعت یک میزان ثابت در تولید مشاهده شده است و پس از آن میزان تولید کاهش می‌یابد. بازده تولید (گرم محصول تولیدی به گرم قند مصرفی) $0/463$ درصد بوده است. این نتایج با $92/6$ درصد بازده نظری بدست آمده مطابقت داشت (وقتی سوبسترا گلوکز خالص بوده است) (براین، ۱۹۹۰).

۴-۱-۴- هیدرولیز آنزیمی

درجه هیدرولیز نشاسته طبیعی ضایعات پوست سیبزمینی به فاکتورهایی مانند غلظت سوبسترا، نوع و غلظت آنزیم استفاده شده و شرایط فرایند مانند pH و دما و ... وابسته می‌باشد.

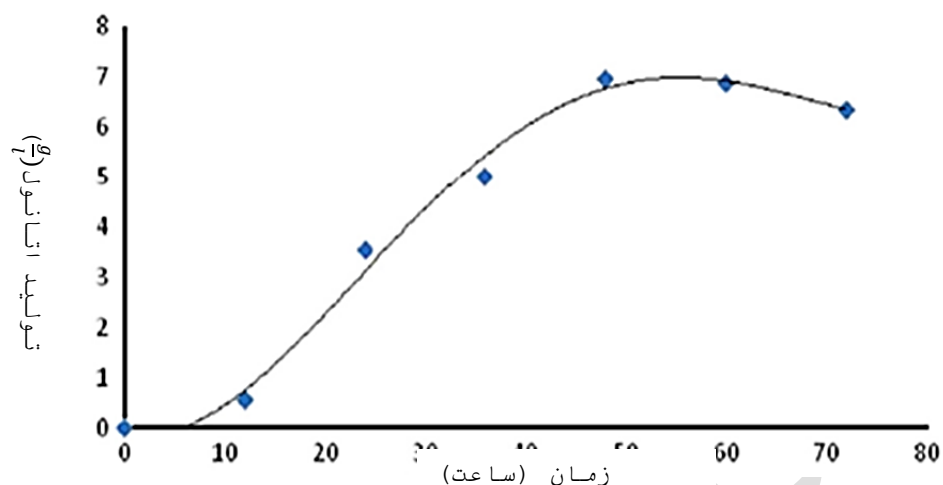
در وحله اول توانایی هر آنزیم برای تجزیه کربوهیدراتهای ضایعات پوست سیبزمینی (قندهای احیاء قابل تخمیر) امتحان شده بود.

استفاده از $4/65 \frac{g}{l}$ Ternamyl، $4/03 \frac{g}{l}$ Liquozyme و فقط $0/7 \frac{g}{l}$ Viscozyme قندهای قابل احیاء آزاد کرده بود.

Ternamyl و Liquozyme آنزیم‌هایی برای روان سازی آنزیمی نشاسته و Viscozyme آنزیمی برای ساکاریفیکاسیون می‌باشد.

Viscozyme L یک آنزیم کمپلکس از *Aspergillus aculeatus* می‌باشد. فعالیت این آنزیم 120^1 FBGU/ml می‌باشد. یک FBG مقدار آنزیم لازم تحت شرایط استاندارد ($30^{\circ}C$ ، PH برابر ۵ و به مدت ۳۰ دقیقه) برای تجزیه α -گلوکان جو به قندهای احیاء با یک قدرت احیاء‌کنندگی برابر با ۱ میکرومول گلوکز در دقیقه می‌باشد.

¹ -Fungal Beta-Glucanase Units



شکل ۴-۲: نمودار سوبید، رسوب بر حسب گرم بر لیتر از قندهای قابل تخمیر حاصل از هیدرولیز اسیدی پوست سیبزمینی

Ternamyl 120L یک آمیلاز مقاوم به حرارت حاصل از *B.licheniformis* می‌باشد. فعالیت آنزیمی آن 120KNU/g بود. مقدار آنزیم لازم برای شکستن ۵/۲۶ گرم نشاسته در ساعت مطابق با روش Novozyme برای تعیین α آمیلاز می‌باشد.

Liquzyme supra نیز یک α آمیلاز مقاوم به حرارت حاصل از *B.licheniformis* می‌باشد. فعالیت آنزیمی آن ۲۰۰ KNU/g می‌باشد.

Celluclast 1/5L یک مایع سلولاز تهیه شده با فعالیت آنزیمی ۱۵۰۰ NCU/g می‌باشد. یک NCU^۲ مقدار آنزیمی است که تحت شرایط استاندارد کربوکسی‌متیل سلولز را به قندهای احیاء با یک قدرت احیاء‌کنندگی برابر با یک میکرومول گلوکز در

^۱ -Kilo novo unit of α -amylase

^۲ -Novo cellulase unite

هر دقیقه تبدیل می‌کند. Celluclast توسط تخمیر یک گونه *Trichoderma reesi* حاصل می‌شود.

برای هیدرولیز آنزیمی ۲ گرم پوست سیبزمینی با آب ۱۰۰ میلی‌لیتر اب مقطر مخلوط شده بود. مخلوط حاصل در ۲ یا ۳ مرحله تحت آنزیم قرار گرفته بود.

مرحله‌ی اول روان‌سازی آنزیمی می‌باشد که یا تحت Ternamyl ۱۲۰L تحت دمای ۸۵ درجه سانتی‌گراد و pH برابر ۶ به مدت ۱ ساعت و یا Liquozyme supra تحت دمای ۵۵ درجه و pH برابر ۵/۵ و زمان واکنش ۲۰ ساعت قرار گرفته بود.

مرحله‌ی دوم ساکاریفیکاسیون می‌باشد که Viscozyme تحت دمای ۴۴ درجه سانتی‌گراد و pH برابر ۴/۶ به مدت ۲/۵ ساعت اعمال شده بود و یک مرحله‌ی اضافی با Celluclast تحت دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد و pH برابر ۵ به مدت ۲ ساعت جهت تجزیه سلولز اعمال شده بود. در پایان هر مرحله آنزیم‌ها در حمام بخار تحت دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد و pH برابر ۴/۶ و به مدت ۱۰ دقیقه غیر فعال می‌شدند.

نتایج نشان داد که مرحله ساکاریفیکاسیون به تنهایی ناکافی است و یک مرحله ابتدایی روان‌سازی آنزیمی لازم بوده است. بر اساس این نتایج استفاده از ترکیب آنزیم‌ها برای هیدرولیز موثر لازم و ضروری است.

جدول ۴-۲ قندهای احیاء آزاد شده بعد از هیدرولیز آنزیمی، بقیه قندهای احیاء بعد از تخمیر توسط ساکارومایسس سروزیه واریه بایانوس بعلاوه قندهای مصرف‌شده در تخمیر را نشان می‌دهد.

به دلیل آزاد سازی کمتر قندهای احیاء و زمان واکنش بیشتر (۲۰ ساعت) استفاده از liquozyme به جهت روان‌سازی آنزیمی نشاسته پذیرفته نشده بود و از طرف دیگر Ternamyl به جهت هیدرولیز بالا قندهای احیاء و زمان واکنش کمتر انتخاب شده بود (۱ ساعت). نتایج نشان داد که غلظت زیاد

آنزیم منجر به میزان بالای قندهای قابل احیاء می‌شود. بدیهی است که تبدیل‌های مشابه را با غلظت کمتر آنزیم می‌توان بدست آورد، اگرچه نیاز به زمان طولانی دارد. قرار گرفتن در معرض طولانی آنزیم با دمای بالا (۸۵ درجه سانتی‌گراد برای Ternamyl) برای ژلاتینه شدن گرانول‌های نشاسته لازم و ضروری است، که نایل شدن به طرز عمل و کارکرد خوب آنزیمی، ممکن است منجر به غیر فعال شدن مقدار ناچیز آنزیم گردد (موجوویک و همکاران، ۲۰۰۶). از طرف دیگر، تیمار ضایعات پوست سیب‌زمینی با Celluclast به طور قابل توجهی آزاد سازی قندهای احیاء را افزایش می‌دهد ($p < 0.05$) که علت آن تجزیه سلولز اضافی می‌باشد. افزایش غلظت Celluclast از ۱ درصد به ۲ درصد، افزایش قابل ملاحظه‌ای در میزان قندهای احیاء مشاهده نمی‌شود.

با استفاده از این ترکیب در انتهای فعالیت تخمیر مقدار قند کاهش یافته برابر $\frac{1}{93}g$ بدست می‌آید. بنابراین مقدار قند مصرف شده $\frac{1}{16}g$ است (جدول ۴-۲). در تمام مشاهدات مقدار قند غیر قابل تخمیر بسیار ناچیز بوده و مقدار قند مصرفی در طول تخمیر بسیار زیاد و نزدیک به ۸۹ درصد بوده است. با توجه به توانایی ساکارومایسس سروزیه واریته بایانوس در تبدیل زیستی قند کاهنده.

جدول ۴-۳ تولید اتانول $\frac{g}{l}$ ، بازده تولید (Y) و درصد بازده نظری تولید را با استفاده از ترکیب مختلف آنزیمی را نشان می‌دهد. در همه تیمارهای آنزیمی، بیشترین میزان اتانول ($\frac{6}{7-0/6}g$) تولید می‌شود، به جزء ترکیب (b) که میزان تولید اتانول کم بوده است ($\frac{4}{2}g$). بازده تولید در همه موارد ۰/۴۶ بوده است و این میزان در همه موارد با بازده نظری ۹۱ درصد مطابقت داشت. نتایج نشان داد که پارامترهای مهم و حساس تولید اتانول از زائدات پوست سیب‌زمینی، ترکیب آنزیمی، میزان (دوز) و مدت زمان هیدرولیز می‌باشد. بعد از روان‌سازی آنزیمی و

ساکاریفیکاسیون، تخمیر توسط ساکارومایسس سروزیه قندها را به اتانول (بالاترین میزان تولید) تبدیل می‌کند.

معلوم است که هیدرولیز آنزیمی ضایعات پوست سیبزمینی، قندهای قابل تخمیر زیادی در مقایسه با هیدرولیز توسط اسید هیدروکلریک آزاد می‌کند. خصوصیت یا ویژگی ترکیب آنزیمی که بالاترین آزادسازی قندهای احیاء را داشت شامل ترکیب آنزیمی زیر می‌باشد:

Ternamyl0/24 KNU+ Viscozyme 12 FBGU+ Celluclast 1%

با این ترکیب آنزیمی، در پایان فرایند تخمیر قندهای احیاء $\frac{1}{1}$ ۱/۹۳ بود. از این رو قندهای مصرفی $\frac{9}{1}$ ۱۶/۵۵ بود. تولید اتانول $\frac{9}{1}$ ۷/۵۸ و با ماکزیم بازده نظری ۹۱/۶ درصد مطابق بود.

نتایج ثابت کرد که ضایعات پوست سیبزمینی یک محصول فرعی حاصل از صنایع سیبزمینی می‌تواند برای تولید اتانول به طور موثری مورد استفاده قرار بگیرد. این تکنیک می‌تواند در مقیاس وسیعتر در جهت تولید اقتصادی مورد استفاده قرار بگیرد و تحقیقات و بررسی‌ها در این جهت انجام بگیرد (آراپوگلو و همکاران، ۲۰۱۰).

جدول ۴-۲: قندهای احیاء قابل تخمیر آزاد شده بعد از هیدرولیز آنزیمی پوست سیبزمینی تحت ترکیب آنزیمی مختلف، قند احیاء $\frac{g}{l}$ بعد از فرایند تخمیر و قند مصرفی در طول تخمیر

قند مصرفی	قندهای احیاء بعد از فرایند تخمیر	قندهای احیاء هیدرولیز شده	ترکیب آنزیمی
12/60 ± 0/33	1/46 ± 0/12	14/0 ± 0/67	L-1% and V-6U
9/18 ± 0/17	1/09 ± 0/22	10/2 ± 0/98	T-0/24U and V-6U
15/00 ± 1/14	1/82 ± 0/19	16/8 ± 1/01	T-0/48U and V-12U
13/07 ± 0/99	1/61 ± 0/31	14/6 ± 1/02	T-2/4U and V-12U
14/96 ± 1/25	2/03 ± 0/53	16/9 ± 1/17	T-0/24U and V-6U and C-0/5%
16/21 ± 1/54	2/11 ± 0/28	18/3 ± 1/23	T-0/24U and V-12U and C-1%
16/55 ± 0/85	1/93 ± 0/31	18/4 ± 0/65	T-0/24U and V-24U and C-2%

L- Liquozyme

T- Ternamyl

V-Viscozyme

C- Celluclast

جدول ۴-۳: تولید اتانول بر حسب $\frac{g}{l}$ ، بازده و حداکثر بازده نظری در طول تخمیر پوست سیبزمینی

	ترکیب آنزیمی	اتانول	بازده (Y)	حداکثر بازده نظری
a	L-1% and V-6U	$\pm \frac{0.15}{0.86}$	$\frac{0.462}{0.459}$	92/40
b	T-0/24U and V-6U	$\pm \frac{0.10}{0.19}$	$\frac{0.459}{0.467}$	91/80
c	T-0/48U and V-12U	$\pm \frac{0.06}{0.007}$	$\frac{0.467}{0.460}$	93/38
d	T-2/4U and V-12U	$\frac{6}{0.05} \pm \frac{0}{0.23}$	$\frac{0.460}{0.456}$	92/10
e	T-0/24U and V-6U and C-0/5%	$\pm \frac{0.47}{0.89}$	$\frac{0.456}{0.463}$	91/24
f	T-0/24U and V-12U and C-1%	$\frac{0}{0.24} \pm \frac{0}{0.58}$	$\frac{0.463}{0.458}$	92/54
g	T-0/24U and V-24U and C-2%	$\frac{0}{0.28} \pm \frac{0}{0.50}$		91/64

L- Liquozyme

T- Ternamyl

V-Viscozyme

C- Celluclast



شکل ۴-۳- نمونه بیواتانول حاصل از سیبزمینی

- به طور کلی می‌توان کاربردهای بیواتانول را به صورت زیر خلاصه نمود-
- به صورت گسترده به عنوان حلال برای نقاشی، لاک، الکل و داروها
 - به عنوان سوخت (به صورت خالص یا مخلوط با بنزین و گازوئیل)
 - به صورت سیال در ترمومترها
 - در نگه داشتن نمونه‌های بیولوژیکی



واحد تولید

اتانول

شکل ۴-۴- نمونه

۲-۴- تولید اسید لاکتیک

میزان تولید اسید لاکتیک و لاکتات (پلیمر خارج سلولی) در بازار جهانی در حدود ۱۰۰۰۰۰ تن در هر سال می‌باشد و سالانه ۱۵ درصد افزایش در میزان تولید آنها دیده می‌شود. در حال حاضر بخش زیادی از هزینه‌های تحقیق مربوط به اسید لاکتیک می‌باشد چون که مهمترین اسید آلی است که پتانسیل تبدیل به حجم بزرگی از تولیدات حد واسط شیمیایی را دارد. این اسید از جنس کربوهیدرات‌های تجزیه‌پذیر بوده که می‌تواند به عنوان یک منبع برای تجزیه زیستی پلیمرها، اکسیداسیون شیمیایی، تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهان، حلال‌های سبز سازگار با محیط زیست و واسط‌های شیمیایی ویژه استفاده شوند. یکی از مهمترین کاربردهایش استفاده در پلیمرهای PLA زیست‌تخریب‌پذیر و سازگار زیستی می‌باشد که سبب جایگزینی برای مشتقات پلاستیکی غیر قابل‌تجزیه حاصل از مواد پتروشیمی می‌باشد (سینگ و کور، ۲۰۰۹).

جین و همکاران (۲۰۰۳) یک گونه جدید از *Rhizopus arrhizus* DAR36017 به منظور انجام همزمان قندسازی و تخمیر ضایعات نشاسته برای تولید اسید لاکتیک گزارش کردند. آنها به این نتیجه رسیدند که وقتی ضایعات نشاسته سیب‌زمینی و ذرت به عنوان یک محصول واسط مورد استفاده قرار می‌گیرد، دیگر به مکمل منابع نیتروژنی نیاز نخواهد بود. انجام همزمان قندسازی و تخمیر با استفاده از جریان ضایعات نشاسته، ذرت، گندم و آناناس به عنوان محصولات واسط از گزارشات مشابه جین و همکارانش بود. همچنین تولید اسید لاکتیک توسط تخمیر مستقیم ضایعات نشاسته با کنترل pH، دما و سوبسترا توسط هوانگ و همکارانش در سال ۲۰۰۵ گزارش شد. عملکرد تخمیر مستقیم توسط هیدرولیز نشاسته از تجمع قندهای احیاء، تولید اسید لاکتیک و توده زیستی قارچی مشخص می‌شود (سینگ و کور، ۲۰۰۹).

یک تکنیک سودمند و مفید برای تخمیر پالپ سیب‌زمینی توسط اودا و همکارانش در سال ۲۰۰۲ توسعه پیدا کرد. آنها ۳۸ گونه از قارچ‌های *Rhizopus oryzae* را جداسازی کردند. هر

کدام از گونه‌ها یا اسید لاکتیک یا اسید فرمیک یا اتانول تشکیل داده بودند. سیتو و همکاران (۲۰۰۳) اثر آنزیم‌های پکتولیتیک را بر روی تخمیر پالپ سیبزمینی توسط گونه‌های مختلف *Rhizopus oryzae* NRRL395 و NBRC4707 مطالعه کردند. هنگامی که پکتیناز تجاری آماده شد به پالپ سیبزمینی تلقیح شده با اسپورهای قارچی اضافه می‌شود و برای ۷ روز انکوباسیون می‌گردد. هر دو سویه به طور موثری مقدار قابل ملاحظه‌ای اسید لاکتیک و اتانول تولید می‌کنند. این اطلاعات نشان می‌دهد که تخمیر پالپ سیبزمینی به تجزیه ماده پکتیکی توسط NRRL 395 و NBRC4707 وابسته می‌باشد. سیتو و همکاران در سال ۲۰۰۶ بررسی کردند که درجه استخراج به میزان پالپ سیبزمینی بدست آمده در فصل‌های مختلف و محتوای پکتیکی وابسته است. برای تولید سلولاز و همی‌سلولاز توسط *Trichoderma reesei* Rut C39 در یک بیوراکتور مداوم، از پالپ سیبزمینی و پسماندهای پالپ سیبزمینی (بعد از تیمار اسیدی) و محلول نمکی مغذی و مایع پروتئینی سیبزمینی استفاده می‌شود (سینگ و کور، ۲۰۰۹).

۳-۴- سایر محصولات حاصل از تخمیر پالپ سیبزمینی

تراجانوسکی و همکاران (۱۹۹۵) از پالپ سیبزمینی و مایع سیبزمینی برای تولید laccase به وسیله *basidiomycetes* گزارش کردند. شوکلا و کار (۲۰۰۶) پوست سیبزمینی را به عنوان یک سوبسترای جامد برای تولید آلفا آمیلاز مقاوم به حرارت توسط باسیلوس ترموفیلوس مطالعه کردند. تحت شرایط مناسب و مطلوب، باسیلوس لیشینی فورمیس $270 \frac{\text{unit}}{\text{ml}}$ و $175 \frac{\text{unit}}{\text{ml}}$ آلفا آمیلاز به ترتیب بر روی پوست سیبزمینی و سبوس گندم تولید می‌کند، در حالی که مقادیر متناظر برای باسیلوس سوبتیلوس $600 \frac{\text{unit}}{\text{ml}}$ و $265 \frac{\text{unit}}{\text{ml}}$ می‌باشد.

مبروک و الاوانی (۲۰۰۸) تولید B- ماناناز به وسیله باسیلوس آمیلولیکوئی فاسیس A₁₀ که بر روی پوست

سیبزمینی کشت داده شده بود، مطالعه کردند. آن‌ها گزارش کردند که پوست سیبزمینی $\frac{9}{1}$ به عنوان یک منبع کربن و آمونیوم نیترات به عنوان منبع نیتروژن، ماکزیمم فعالیت آنزیمی ($\frac{U}{mg \text{ protein}}$) ۶۱/۵ ایجاد می‌کند. دمای مناسب انکوباسیون 37°C و $\text{PH}=7$ برای تولید آنزیم لحاظ شد (سینگ و کور، ۲۰۰۹).

فصل پنجم

سایر کاربردها

۵-۱- اسنکها^۱

۵-۱-۱- مقدمه

اسنکها محدوده وسیعی از محصولات غذایی را شامل میشوند. این غذاها به عنوان غذاهای سبک با جایگزینی بخشی از یک غذای معمول استفاده میشوند. گاهی هنگام مسافرت یا تماشای برنامه‌های ورزشی یا سایر سرگرمی‌ها مصرف میشوند. محدوده‌ی کلی اسنکها محصولاتی از قبیل آجیل، بیسکوئیت‌ها،

^۱-Snacks

شیرینی‌جات تا محصولات گوشتی را در بر می‌گیرد. اگرچه بخش اصلی که به وضوح غذاهای اسنکی را در بر می‌گیرد شامل اسنک‌های اصلی مانند پاپ کورن، چیپس سیبزمینی و کریسپها^۱ یا اسنک‌های پخته شده در فر^۲ یا سرخ شده و اسنک‌های بر پایه نشاسته است. فرآیندهای مبتکرانه متعددی جهت تهیه این اسنک‌ها در صنعت وجود دارد که برای افزایش تعداد این غذاها به کار می‌روند و تعدادی از انواع مهم این فرآورده‌ها از اکستروژن به عنوان بخشی از خط تولید استفاده می‌کنند. بیش از ۶۰ سال است که صنعت تولید اسنک ارتباط تنگاتنگی با پیشرفت و استفاده از دستگاه‌های پخت با اکستروژن دارد. اگرچه محصولات اسنکی از تاریخ ابداع اکستروژن قدیمی‌تر هستند و مبدأ آنها به محصولات سنتی ساخته شده توسط دست در قرون گذشته برمی‌گردد. مثال‌هایی از انواع قدیمی اسنک تورتیلا مربوط به آمریکای جنوبی است. برای تهیه کراکرهای میگو در منزل می‌توان از یک ژل نشاسته‌ای ۵۰٪ تهیه شده از آرد گندم و یک مایع بر پایه ماهی استفاده کرد تا یک کیک جامد تشکیل شود. این کیک به قطعات باریکی برش داده می‌شود و در آفتاب خشک می‌شود تا اولین نوع محصول نیمه آماده^۳ تولید شود. این محصولات حد واسط پایداری، قابلیت نگهداری تا زمان مصرف را دارند که در آن هنگام توسط سرخ شدن در روغن یا حرارت دادن در نمک یا حتی سنگریزه به یک اسنک حجیم شده ترد تبدیل می‌شوند.

دومین تکنولوژی سنتی در آمریکا جایی که ذرت یا ذرت وحشی به عنوان یک محصول زراعی اصلی وجود داشت بوجود آمد. دانه‌های ذرت در آب پخته می‌شدند تا زمانی که نرم شوند و بتوانند از پوسته خود جدا شوند و سپس تا شکل‌گیری خمیر، نرم می‌شدند. خمیر حاصل به شکل لایه‌های نازکی در می‌آمد و به قطعات مختلفی برش داده و سپس در فر پخته می‌شد و یا سرخ می‌شد تا به شکل چیپس تورتیلا درآید.

^۱ -Crisps

^۲ -Baked Snacks

^۳ -Half-product

این محصولات سنتی خشک و ترد و مطلوب برای خوردن بودند و همراه با سایر محصولات مانند دانه‌های پف کرده یا آجیل، پایه‌های ساخت اولین اسنک را تشکیل دادند. دستگاه‌های پخت کواکستروژن این امکان را فراهم نمودند تا تولید این محصولات از کلبه‌های روستایی به تولید انبوه صنعتی به میزان چندین تن در ساعت برسد و به اشکال و فرمولاسیون‌های متنوعی تولید شوند. در ابتدا تعداد و تنوع اسنک‌ها ممکن است مقایسه و درک مراحل اصلی تولید آنها را در ذهن محققین علم و صنعت غذا قدری گیج کننده نشان دهد. به همین دلیل ما تلاش می‌کنیم تا اسنک‌ها را بر اساس تغییرات اساسی که در طی تبدیل مواد خام به محصولات نهایی اتفاق می‌افتد طبقه‌بندی کنیم. در صنعت پیشرفته غذا چندین شکل از محصولات اسنکی وجود دارد.

۵-۱-۲- انواع اسنک‌ها

- ۵-۱-۲-۱- اسنک‌های سبزیجات خام برش خورده
 - ۵-۱-۲-۲- محصولات خمیری شکل گرفته از مشتقات سیبزمینی
 - ۵-۱-۲-۳- محصولات خمیری شکل گرفته از مشتقات ذرت
 - ۵-۱-۲-۴- محصولات نیمه آماده یا اسنک‌های پلت
 - ۵-۱-۲-۵- اسنک‌های اکستروود شده مستقیماً حجیم شده
 - ۵-۱-۲-۶- پاپ کورن و گندم پف کرده
 - ۵-۱-۲-۷- فرآورده‌های مربوط به تولید بیسکوئیت‌های اسنک و نانهای میله‌ای^۱
- در این فصل در مورد دو گروه اول اسنک‌های مربوط به سیبزمینی توضیحاتی ارائه می‌دهیم:

^۱ -Bread Sticks

۱-۲-۵- اسنک‌های سبزیجات خام برش خورده

برش سیبزمینی سرخ شده به پرفروش‌ترین محصولات اسنک در دنیا تبدیل شده است. اساس آن سیبزمینی تازه است که پیش از سرخ شدن به نازکی برش خورده و شسته می‌شود. سرخ کردن باعث خشک شدن می‌شود و انبساط کمی را در ساختار سیبزمینی ایجاد و محصولی ترد با رنگی طلایی تولید می‌کند. سایر سبزیجات و میوه‌هایی مانند هویج و سیب نیز برای افزایش تنوع در اسنک‌های سرخ شده با موفقیت نه چندان زیاد به کار رفته‌اند.

۲-۲-۵- محصولات خمیری شکل گرفته- سیبزمینی

ساده‌ترین محصولات اسنک از خمیرهایی تهیه می‌شوند که از مشتقات خشک‌شده سیبزمینی و آب تهیه می‌شوند. این خمیرها تا رسیدن به قوامی بالا مخلوط می‌شوند و توسط اکستروژن شکل می‌گیرند و یا ورقه‌ورقه می‌شوند و به اجزاء کوچک به شکل لوله‌ای یا ورقه‌ای برش داده می‌شوند. قطعات خمیر مرطوب به محفظه سرخ‌کن منتقل می‌شوند تا در آنجا پف کرده و خشک شوند و به محصولاتی با بافت ترد تبدیل شوند.

این گروه از محصولات با اکستروژن کردن خمیر در دمای پائین بدست می‌آیند تا اشکال پایه‌ای را از طریق شکل‌دهی یا ورقه شدن و برش خوردن ایجاد کند. هر یک از قطعات خمیر توسط سرخ شدن در روغن داغ حرارت می‌بینند و خشک و تا حدی منبسط می‌شوند تا بافتی ترد ایجاد شود. موفق‌ترین محصولات از این نوع دارای اشکال ساده‌ای به شکل محصولات سه بعدی مانند میله‌ای، لوله‌ای، حلقه‌ای یا به شکل صفحه‌های صاف هستند. پیشرفته‌ترین نوع محصولات از نظر تکنیک به کار رفته در تولید آنها، به شکل خاصی از صفحات درآمده‌اند که

به عنوان چیپس‌های استاکینگ^۱ شناخته می‌شوند. معمولاً این محصولات کاملاً از مشتقات سیبزمینی ساخته شده‌اند، اما موارد دیگری هم در انواع خاصی از آنها بکار رفته است. محصولات ساده سرخ شده به شکل ماکارونی که در مخلوط‌های اسنک هندی استفاده می‌شوند، نیز در این دسته جای می‌گیرند.

۱-۲-۲-۵- فرآیند تولید

فرآیندهای اولیه تولید برای همه این محصولات به طور پایه‌ای یکسان است اما با ایجاد تغییرات ضعیف و دقیق در انتخاب ترکیبات و تغییرات اندک در فرآیندها امکان ایجاد تفاوت‌های مهمی در کیفیت‌های محصول فراهم می‌گردد. فرآیندهای مذکور شامل مراحل پایه‌ای زیر می‌باشد:

۱-۲-۲-۵-۱- مخلوط سازی ترکیبات خشک

۱-۲-۲-۵-۲- مخلوط کردن آب با ترکیبات خشک تا مرحله تشکیل خمیر

ایجاد خمیری با خواص رئولوژیکی مناسب جهت ورقه کردن یا اکستروژن و سرخ کردن عامل کلیدی در این فرآیند است. این امر نیاز به انتخاب صحیح ترکیبات و رسیدن به قوامی مناسب در خمیر توسط تنظیم سطح آب و نیروی برشی وارد شده به خمیر دارد که متناسب با مواد خام موجود در مخلوط به کار رفته می‌باشد.

^۱-Stacking Chips

مهمترین ترکیبات خمیر سیبزمینی شامل مشتقات از پیش پخته شده سیبزمینی می‌باشد. این پودرها با آب مخلوط می‌شوند تا توده‌ای چسبناک و خمیری شکل از سیبزمینی له شده با رطوبت ۳۵ تا ۴۰٪ ایجاد شود. سه نوع از مواد قابل استفاده در تهیه خمیرهای سیبزمینی شامل- گرانول‌های سیبزمینی، پرک‌های سیبزمینی خشک شده توسط غلطک و انواع نشاسته‌های سیبزمینی می‌باشد. گرانول‌های سیبزمینی برای حفظ ساختار سلولی در فرآیندی که در آن بخشی از محصول خشک شده نهایی با مواد اولیه‌ای که وارد خشک کن می‌شود (فرآیندی معروف به افزودن به عقب) مخلوط می‌شود، خشک می‌گردند. گرانول‌های خشک شده به مخلوط مرطوب تازه پخته شده اضافه می‌شوند تا تعادل ملایمی بوجود آید تا مقدار رطوبت را پایین‌تر آورد و تا حدی تمامیت ساختار سلولی گیاه سیبزمینی حفظ گردد.

گرانول‌های خشک شده فوراً در یک اکسترودر آب جذب می‌کنند و در رطوبت‌های پائین (کمتر از ۲۰٪ وزنی- وزنی) برهم کنش‌های مکانیکی بیشتر اتفاق می‌افتد. گرانول‌های خشک شده برای استفاده در فرمولاسیون‌های با رطوبت بالا قابل استفاده هستند و از خمیری با رطوبت ۳۵-۴۰٪ اسنک‌های حلقه‌ای و لوله‌ای تولید می‌شود. در این خمیرها ساختار سلولی گیاهی باقی مانده از گرانول‌های سیبزمینی به ایجاد بافتی کرانچی‌تر در محصول نهایی کمک می‌کند. برخی مونوگلیسریدها به عنوان کمک فرآیند ممکن است در ساخت گرانول‌های خشک استفاده شوند و لذا در محصولات نهایی وجود خواهند داشت. پرک‌های سیبزمینی با افزودن مخلوط‌هایی از سیبزمینی با ۳۰٪ مواد جامد به غلطک‌های خشکن غلطکی، جایی که به منظور ژلاتینه شدن نشاسته و خروج آب حرارت می‌بینند، منتقل می‌شود. این فرایند می‌تواند باعث تخریب سلول‌ها و گرانول‌ها شود تا هنگامی که مواد خشک مجدداً مرطوب می‌شوند، محصولی چسبناک‌تر از گرانول‌های سیبزمینی ایجاد شود. مونوگلیسریدها که به منظور کمک به قابلیت

¹- Add back

حرکت روی غلطک‌های خشک کن اضافه می‌شوند نیز در محصول نهایی وجود دارند (مجدوبی و فرحناکی، ۱۳۸۹).

همانطور که گفته شد نشاسته سیبزمینی به آسانی از سیبزمینی خام جدا می‌گردد و این کار با برش دادن و شستن سلولها انجام می‌شود و نشاسته حاصله ممکن است به روش‌های شیمیایی توسط جایگزینی یا ایجاد اتصالات عرضی توسط تعداد محدودی مواد واکنش کننده به نشاسته اصلاح شده تبدیل گردد. همچنین برای تولید نشاسته فوری، از خشک کن غلطکی استفاده می‌شود. در یک فرمولاسیون استاندارد، مواد خام ممکن است شامل گرانول‌های سیبزمینی با ۲۰-۳۰٪ پرک و تا ۵٪ نشاسته باشد. مواد با ۳۰ تا ۳۵٪ وزنی- وزنی آب در یک مخلوط کن مخلوط می‌شوند و خمیر را تشکیل می‌دهند. خواص رئولوژیکی این خمیر می‌تواند از یک ساختار مرطوب چسبناک تا یک سیال متراکم با ایجاد تغییرات جزئی در رطوبت و نیروی برشی وارد شده برای یک فرمولاسیون خاص قابل تغییر باشد (مجدوبی و فرحناکی، ۱۳۸۹).

۳-۱-۲-۲-۵- تبدیل خمیر به قطعات کوچک توسط اکستروژن یا عمل ورقه کردن و برش دادن (شکلدهی به خمیر)

خمیر حاصل به کمک یکی از دو روش زیر به اشکال مختلفی تبدیل می‌شود:

استفاده از اکستروژن یکی از روشهای متداول برای شکلدهی خمیر است و می‌تواند برای شکلدهی مداوم اشکال لوله‌ای یا مربعی به کار رود که می‌توانند به طول‌های کوتاه در قالب برش خورده و قطعات محصول را بوجود آورد. محصولات معروفی به شکل لوله‌ای، میله‌ای و حلقه‌های سیبزمینی سالهاست که با موفقیت تولید و به فروش می‌رسند. در برخی محصولات، سایر غلات مانند ذرت به سیبزمینی اضافه شده‌اند. خصوصیات اکستروژن برای خمیر مرطوب در صورتی که رئولوژی آن طوری تنظیم شده باشد که چسبندگی و خصوصیات

جریان پذیری مناسبی داشته باشد، نسبتاً مشخص است. اگرچه امکان تغییرات در فرآیند فرمولاسیون‌های پایه‌ای نسبتاً محدود است، اما گاهی می‌توان از نشاسته‌های خاص در فرمولاسیون جهت تامین شرایط و کیفیت مطلوب و مورد نظر بهره گرفت. برخی برگشت به عقب‌های الاستیک در خمیر اتفاق می‌افتد که دلیل آن بالا بودن مدول الاستیک نشاسته از پیش ژلاتینه شده می‌باشد. مهمترین جنبه اکستروژن در شکل‌دهی، ضخامت خمیر است که بایستی برای خمیر مرطوب بین ۰/۵ تا یک میلی‌متر باشد تا بافت خوبی در حین سرخ کردن ایجاد شود. شکل ۵-۱ یک نمونه اکستروژن را نشان می‌دهد.

در روش دیگر به جای استفاده از شکل‌دهی خمیر توسط اکستروژن، از عملیات ورقه‌کردن و برش دادن استفاده می‌شود که این کار به یک خمیر با پیوستگی خوب نیاز دارد و ممکن است عمل برگشت به عقب الاستیک پس از ورقه‌کردن خمیر باعث تغییر در ضخامت ورقه شود.

۴-۱-۲-۲-۱-۵- سرخ کردن سریع محصول به منظور خروج آب از آن

قطعات خمیر بایستی در دمای بالا بین ۱۸۵ تا ۱۹۰°C در روغن گیاهی سرخ شود (شکل ۵-۲). در این دما آنها از یک خمیر با دانسیته بالا به یک اسفنج پر از هوا در زمانی کوتاه حدود ۱۲ تا ۱۵ ثانیه تبدیل می‌گردد و به رنگ زرد و سپس در اثر خشک شدن به رنگ قهوه‌ای در می‌آیند. عامل مهم در سرخ‌کردن، ضخامت خمیر است، زیرا اگر ضخامت آن کمتر از ۰/۵ میلی‌متر باشد، خمیر ممکن است بدون اسفنجی و هوادار شدن خشک شود و اگر ضخامت زیاد باشد قطعات بعد از ۱۵ تا ۲۰ ثانیه در لبه‌ها هوادار و در مرکز مرطوب باقی می‌مانند. ادامه پخت قطعات ضخیم جهت خروج رطوبت از قسمتهای مرکزی تنها باعث افزایش قهوه‌ای شدن سطح محصول می‌شود.

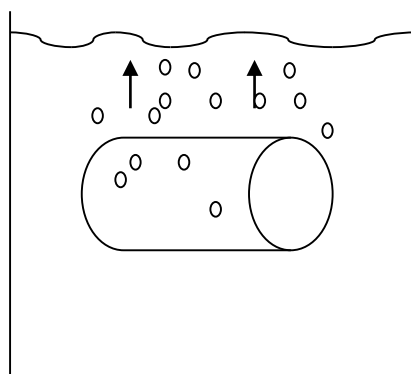


اکستروژن

شکل ۵-۱:

خشک کردن قطعات مرطوب خمیر پیش از سرخ کردن می تواند انبساط قطعات خمیر را افزایش دهد. اگرچه انبساط حاصله هنوز هم نسبتاً کم است و محصولات سخت تر و متراکم تر از اسنک های تولید شده از پلت های نیمه آماده خواهند بود و شبیه به چیپس های سیب زمینی می باشند.

بخار



روغن در دمای 190°C

شکل ۵-۲: دیاگرام یک قطعه خمیر لوله‌ای شکل در حال سرخ شدن تا تشکیل یک لوله حجیم شده که نشان دهنده تبخیر آب در روغن داغ می‌باشد.

۵-۱-۲-۲-۱-۵- در مواردی خشک کردن بیشتر محصول و پوشش دهی آنها با مواد عطر و طعم‌زا توسط گردپاشی یا اسپری کردن این مواد بر سطح محصولات.

۵-۱-۳- تنوع در محصولات تهیه شده از خمیرهای سیبزمینی شکل گرفته

دو نوع محصول عمده از خمیر شکل گرفته سیبزمینی تولید می‌شود، اولین نوع شامل محصولات دو بعدی برش خورده از ورقه‌های خمیر با اشکال حیوانات یا صفحات ساده است. دومین نوع این محصولات شامل محصولات سه بعدی اکستروود شده مانند اشکال لوله‌ای، حلقه‌ای و میله‌ای است. این محصولات موفقیت خوبی داشته‌اند و جای خود را به عنوان اشکال استاندارد در محصولات اسنکی باز کرده‌اند.

در سالهای اخیر تلاش برای ساخت رقیبی برای چیپس‌های برش خورده سیبزمینی (کریسپ) منجر به ساخت موفق محصولی به نام چیپس‌های استاینگ شده است. این نوع چیپس از خمیر سیبزمینی توسط ورقه کردن و برش دادن خمیر به اشکال تقریباً بیضوی بدست می‌آید. اما در حین سرخ کردن، این

¹-Dusting

قطعات خمیر ظاهر و بافتی متفاوت از چیپس‌های برش خورده از سیبزمینی خام داشتند. اگرچه چیپس‌های معمولی تهیه شده از سیبزمینی دارای جذابیت و کیفیت مطلوبی در حین خوردن بودند، اما به راحتی به قطعات کوچکتر می‌شکستند و از نظر ظاهری غیر قابل طبقه‌بندی بودند. لذا ایده تولید چیپس‌های استاینگ تولید محصولاتی با شکلی جذاب و سه بعدی و مشابه هم بود که می‌توانست پس از تولید روی هم جمع آوری شود. لذا هر دو مشکل مربوط به چیپس‌های برش خورده سیبزمینی (اشکال نامنظم و شکنندگی در حین جمع‌آوری) را در یک مرحله فرآیند حل می‌نمود. در این حالت قطعات خمیر ورقه می‌شوند و به اشکال بیضوی برش می‌خورند که این کار در قالب‌های S- شکل ساخته شده از فلز سوراخدار انجام می‌گیرد. این قالب‌ها از میان ظرفی حاوی روغن داغ عبور می‌کنند تا خمیر خشک شود و ساختاری سفت و ترد با حداقل انبساط را ایجاد کند. پس از خروج از قالب، محصول در ظروف بسته‌بندی به اشکال استوانه‌های کارتنی به روی هم جمع می‌شوند که این بسته‌بندی آنها را از شکستن قبل از مصرف حفاظت می‌کند (مجدوبی و فرحناکی، ۱۳۸۹).

امروزه اسنک سیبزمینی با استفاده از برترین تکنولوژی روز دنیا تولید می‌گردد. بدلیل استفاده از پودر سیبزمینی محصول حاصله هیچ گونه سوختگی و یا سیاهی درون آن دیده نمی‌شود. به طور کلی این مواد پس از تولید وارد سرخ کن اتوماتیک شده و در مدت کمتر از ۱۰ ثانیه سرخ می‌شود. در این مرحله بدلیل زمان قرار گرفتن در روغن و خشک بودن مواد در زمان سرخ کردن دارای حداقل میزان جذب روغن بوده و این امر یکی از مزیت‌های این محصول نسبت به چیپس می‌باشد. پس از سرخ شدن روغن‌های اضافه موجود در سطح پلتها توسط ویبره روغن‌گیر قوی گرفته شده و داخل قسمت طعم زنی می‌شوند. پس از افزودن ادویه به محصول توسط دستگاه بسته‌بندی به همراه گاز ازت (جهت ماندگاری بهتر) درون بسته‌های سلفون با پوشش متالایز بسته‌بندی می‌شود. این مراحل از ابتدا تا قرار گرفتن بسته‌ها در کارتن بصورت کاملاً اتوماتیک انجام می‌شود.



شکل ۵-۳: اسنک سیبزمینی

۵-۲- بیوسورفاکتانها

بیوسورفاکتانها (عوامل فعال سطحی زیستی)^۱ ترکیبات آمفیپاتیک میکروبی هستند که باعث کاهش کشش سطحی و کشش بین دو سطح می‌شوند. غالباً بیوسورفاکتانها ترکیبات لیپیدی هستند و ویژگی‌های آنها به بنیان‌های قطبی و غیرقطبی موجود در یک مولکول بستگی دارد. بیوسورفاکتانها می‌توانند به وسیله میکروارگانیسم‌های تجزیه کننده هیدروکربن‌ها به صورت خودبه خود و پیوسته تولید شوند و در محیط رها گردند و عملکرد آنها نیز غالباً تابعی از نوع هیدروکربن جذب شده می‌باشد. بیوسورفاکتانها از نظر نوع و ویژگی کاربردی، گستردگی بیشتری را نسبت به انواع سنتزی دارند. همچنین از طریق بیولوژیک قابل تجزیه می‌باشند و بدین صورت با استفاده از آنها دیگر مشکل دیرپا بودن بیوسورفاکتانهای سنتزی و آلودگی‌های محیطی را نخواهیم داشت. از طرفی می‌توان با استفاده از منابع ارزان قیمت این ترکیبات را تولید و یا با تغییر در مواد اولیه، کارایی و ساختمان بیوسورفاکتانهای حاصله را تغییر داد. علاوه بر این بیوسورفاکتانها بر اثر رشد

^۱- Biosurfactant

میکروارگانیزم‌ها در محلول‌های دیگری مانند گلوکز، ساکاروز، گلیسرول و یا اتانول تولید می‌شوند. بیشترین و ارزشمندترین جنبه کاربردی بیوسورفاکتانت‌ها مربوط به صنعت نفت می‌باشد که جهت بهبود کیفیت، تسهیل در استخراج، تقلیل گرانیروی، مهار نشت نفت و پاکسازی لجن نفتی در تانکرها از آنها استفاده می‌شود. از میکروارگانیزم‌های مولد بیوسورفاکتانت می‌توان جهت زیست-درمانی^۱ و یا اصلاح زیستی^۲ استفاده نمود. پاکسازی نشت نفت در محیط‌های آبی و خاکی با افزودن ارگانیزم‌های تولیدکننده بیوسورفاکتانت سرعت بیشتری پیدا می‌نمایند. یکی از جنبه‌های بسیار جدید و کاربردی بیوسورفاکتانت‌ها مسأله افزایش بازیافت میکروبی نفت^۳ است. در اثر استخراج مکرر نفت به علت کاهش نیروهای موئینگی و اتصال محکم نفت به صخره‌ها، حرکت نفت از عمق به سطح کند می‌شود. در این موارد می‌توان این میکروارگانیزم‌ها را به چاه‌های نفت افزود که بدین وسیله اتصال محکم نفت به صخره‌ها به دلیل کاهش کشش سطحی سست و باعث افزایش سرعت استخراج نفت می‌گردد. عوامل فعال سطحی زیستی معمولاً به طور معمول در بازارهای ویژه مانند غذا و نساجی استفاده می‌شوند (سینگ و کور، ۲۰۰۹). اقتصاد تولید سورفاکتانت‌های بیوزیستی می‌تواند به میزان قابل توجهی از طریق استفاده از رسانه‌ها بهینه‌سازی و استفاده از سوبستراهای کربنی ارزان قیمت از قبیل باقیمانده‌های فرآیندهای کشاورزی تحت تأثیر قرار بگیرد. استفاده از ضایعات و باقیمانده‌های کشاورزی به منظور تولید سورفاکتانت‌های بیوزیستی می‌تواند به عنوان یک مزیت اقتصادی برای تولید و کاربردهای تکنولوژیکی سورفاکتانت‌ها مطرح باشد که باعث تبدیل ضایعات کشاورزی به مقدار قابل توجهی به محصول با ارزش می‌گردد. بال و همکاران (۲۰۰۲) تولید سورفاکتانت را حاصل از میکروارگانیزم‌ها در قندهای ساده، نشاسته خالص شیمیایی، ضایعات جامد فرآیند سیبزمینی، نشاسته سیبزمینی تهیه شده در نمک‌های معدنی و زباله‌های حاصل از فرآیند سیبزمینی را

^۱ - Bioremediation

^۲ -Biorestation

^۳ -Microbial Enhanced oil Recovery (MEOR)

مطرح کردند. تومپسون و همکاران (۲۰۰۱) اثر پیش تیمارهایی مانند حرارت، حذف ذرات نشاسته و هیدرولیز اسیدی را بر روی تولید سورفاکتانت حاصل از زباله‌های فرایند سیبزمینی به وسیله باسیلوس سوبتیلوس را مطالعه کردند. همچنین در سال ۲۰۰۰ بر روی ضایعات فرآیندهای سیبزمینی با مواد جامد کم و زیاد را به عنوان سوبسترا برای تولید سورفاکتانت آزمایش کردند. آنها نتیجه گرفتند که ضایعات فرایند سیبزمینی با مواد جامد کم بدون استریلیزاسیون به طور بالقوه برای تولید سورفاکتانت برای کاربردهای کم ارزش مانند حذف آلاینده‌های محیطی و همچنین بازیافت نفت می‌تواند استفاده شود. در ادامه این پژوهش‌ها، نوآن و همکاران در سال ۲۰۰۳ تولید مداوم سورفاکتانت حاصل از ضایعات فرایند سیبزمینی با مواد جامد کم به وسیله باسیلوس سوبتیلوس را در یک راکتور تحت شرایط هوازی بررسی کردند (سینگ و کور، ۲۰۰۹).

امروزه دامنه گسترده‌ای از ارگانیزم‌های مولد بیوسورفاکتانت شناسایی شده‌اند و لیست این ارگانیزم‌ها روز به روز در حال افزایش است. با جداسازی سویه‌های مناسب و بررسی ویژگی‌های فیزیولوژیکی و متابولیسمی آنها و بهره‌وری از سوبستراهای خام ارزان قیمت به کمک دانش بیوتکنولوژی می‌توان به تولید صنعتی بیوسورفاکتانت‌ها در آینده امیدوار بود.

۳-۵- پروتئین تک یاخته^۱

اصطلاح پروتئین تک سلولی یا SCP به سلول‌های خشک شده میکروارگانیزم‌ها چون باکتری، مخمر، کپک، جلبک و قارچ‌های عالی‌تری اطلاق می‌شود که در مقیاس وسیع کشت شده‌اند و به عنوان منبع پروتئین، مورد مصرف حیوان و انسان قرار می‌گیرند. از سال ۱۹۷۴ روند افزایش قیمت نفت سال به سال شدیدتر شد، به طوری که در سال ۱۹۸۱ قیمت نفت به ۳۵ دلار به ازای هر بشکه رسید. طبق بررسی‌های انجام شده تحولات تولید SCP با تحولات قیمت نفت همزمانی داشته و این نشان دهنده تأثیرات افزایش قیمت نفت در

^۱ -Single cell protein

رکاوود صنعت تولید SCP بوده است و این امر از آنجا ناشی می‌شود که ۶۰ الی ۸۰ درصد هزینه‌های مربوط به یک واحد تولید SCP به هزینه‌های ماده اولیه مربوط می‌شود. کارخانه‌هایی که تا سال ۱۹۹۰ بصورت صنعتی SCP تولید می‌کردند، بطور عمده از ۲ منبع سوبسرایي هیدروکربنی و یا قندی استفاده می‌نمودند. منابع سوبسترای قندی عمدتاً شامل ملاس، ضایعات کشاورزی، فاضلاب‌های کارخانجات صنایع غذایی و صنایع چوب و کاغذ بودند. شرایط تولید این پروتئین بسیار متنوع می‌باشد و آنرا می‌توان از پسماندهای صنایع فراوری، کیک نیمه جامد زائدات روی فیلترها در کارخانجات فرآوری سیبزمینی و همچنین لجن بجامانده از تصفیه بیولوژیکی پساب صنایع فراوری سیبزمینی نیز تولید نمود. در حالی که سوبستراهای هیدروکربنی عمدتاً شامل مشتقات نفتی، اتانول و متانول بود. پارامتر دیگری که در میزان علاقه‌مندی به گسترش واحدهای تولید SCP نقش آفرینی می‌کند، وضعیت کشاورزی کشورها و میزان دسترسی به منابع پروتئین گیاهی و جانوری ارزان قیمت می‌باشد. این مسأله زمانی اهمیت خود را نشان می‌دهد که هزینه‌های حمل و نقل و کاهش کیفیت منابع پروتئین گیاهی و جانوری وارداتی در حجم و مسافت زیاد از هزینه‌های تولید بیولوژیکی تجاوز کند. سومین پارامتر در مورد تولید SCP نوع میکروارگانیسم می‌باشد. در باکتریها میزان اسید نوکلئیک بالاتر از حد مجاز برای مصرف انسان است؛ این موضوع باعث رسوب اسید اوریک در خون شده و ایجاد بیماری نقرس می‌نماید. بنابراین باکتریها که دارای مقادیر زیادی اسید نوکلئیک می‌باشند برای طیور و ماهی‌های پرورشی مورد استفاده قرار می‌گیرند که مشکل چرخه اوره ندارند. برای مصارف انسانی با استفاده از روشهای شیمیایی میزان اسید نوکلئیک را کاهش می‌دهند و این امر موجب افزایش قیمت محصول می‌گردد. لذا جهت دستیابی به میکروارگانیسم‌های مناسب یک عامل کلیدی جهت رقابت با سایر منابع پروتئینی می‌باشد. پروتئین تک یاخته گروه‌های مختلفی از میکروارگانیسم هستند که به صورت جداگانه یا مخلوط در محیط‌های کشت مخصوص رشد داده شده و پس از تخلیظ و شستشو، در دمای مناسب خشک و بسته‌بندی می‌گردند و به‌عنوان جزئی از خوراک دام و طیور به‌کار می‌روند (شهیدی و همکاران، ۱۳۸۹).

بر اساس اطلاعات بدست آمده در مورد روند تحولات SCP در دنیا، وجود سه پارامتر عمده ماده اولیه قابل اطمینان، رقابت با منابع پروتئین متداول، وجود تکنولوژی بالا (چه در زمینه فرآیند و چه در زمینه فراهم نمودن میکروارگانیسم های مناسب) عوامل اصلی و عمده در سیر تحولات SCP بوده اند. اصولاً کشورهای دارای منابع کشاورزی غنی معمولاً با تقویت و سرمایه گذاری در بخش کشاورزی سعی در برطرف نمودن نیازهای پروتئینی خود دارند در حالی که کشورهای که از منابع سوبسترای ارزان قیمت برخوردار بوده و از شرایط مناسبی برای رشد کشاورزی برخوردار نیستند پتانسیل بالایی برای استفاده از شیوه های صنعتی و بیوتکنولوژی جهت تأمین پروتئین مورد نیاز خود و دامهای خود برخوردارند.



شکل ۵-۳: پایلوت تولید SCP

۵-۴- غذاهای فراسودمند

۵-۴-۱- کاربرد پوست سیبزمینی به عنوان منبع آنتی اکسیدان

اکسیداسیون چربی ها از مهمترین دلایل فساد مواد غذایی به حساب می آید که بر روی رنگ، طعم، بافت و ارزش تغذیه ای تأثیر می گذارد. در غذاها این واکنش ها می تواند منجر به فساد و از

دست رفتن ارزش تغذیه ای (از طریق نابودی ویتامینهای A، D و E و اسیدهای چرب ضروری) و ایجاد ترکیبات سمی و محصولات رنگی گردد. واکنشهای اکسیداسیون نیازمند مولکولهای واکنش دهنده قوی هستند که رادیکال آزاد نامیده می شود. رادیکالهای آزاد اجزایی هستند که به دلیل وضعیت خاص الکترونی در مدار خارجی خود آمادگی زیادی برای جدا کردن یک الکترون از ترکیبات دیگر همراه با ناپایداری کردن آنها دارند. این وضع دلیل اصلی اکسیداسیون و فساد روغن ها می باشد. در بدن ما نیز چنین حالتی ممکن است یک دلیل ابتدایی برای ایجاد سرطان باشد. از اینرو با توجه به اهمیت چربی ها در سیستم های زیستی و تغذیه ای و همچنین واکنش های نامطلوب اکسیداسیون که خواه ناخواه رخ خواهند داد، افزودن برخی آنتی اکسیدان های مناسب در روغن ها و چربی ها، فرآیند اکسیداسیون را کند کرده و آن را به تعویق می اندازد. آنتی اکسیدان ها ممکن است به صورت یک عامل درونی در داخل غذا وجود داشته باشند و یا آنکه برای جلوگیری از افت کیفیت ترکیبات لیپیدی غذاها به آنها اضافه شوند. افزودن آنتی اکسیدان های سنتزی مانند بوتیلات هیدروکسی آنیزول (BHA)^۱، بوتیلات هیدروکسی تولوئن (BHT)^۲ و ترشیربوتیل هیدروکینون (TBHQ)^۳ می تواند اکسیداسیون چربی را در مواد غذایی کنترل کند. اما استفاده از این آنتی اکسیدان های سنتزی اثرات سمی و سرطان زایی دارند (سینگ و کور، ۲۰۰۹).

ترکیبات فنولیک که به طور معمول در منابع خوراکی و غیرخوراکی یافت می شوند، دارای اثرات بیولوژیکی چندگانه ای مانند فعالیت آنتی اکسیدانی هستند. عصاره های میوه ها، علف ها، سبزیجات و غلات و سایر مواد گیاهی که غنی از ترکیبات فنولیک هستند، در صنعت مواد غذایی بسیار قابل توجه شده اند. به این دلیل که قادرند تغییرات اکسیداتیو چربی ها را آهسته کرده و بنابراین کیفیت و ارزش تغذیه ای مواد غذایی را بهبود می بخشند. بنابراین اهمیت جایگزین کردن مواد طبیعی بدست

^۱ -Butylated hydroxyanisole

^۲ -Butylated hydroxytoluene

^۳ -Tertiary Butyl Hydroquinone

آمده از دانه های روغنی، ادویه جات و سایر مواد گیاهی به جای آنتی اکسیدان های سنتزی بسیار افزایش یافته است. تحقیقات و مطالعه های انجام شده نشان می دهند عصاره های بدست آمده از منابع طبیعی دارای فعالیت آنتی اکسیدانی قوی می باشند.

پوست سیبزمینی که یکی از ضایعات صنعت سیبزمینی می باشد، می تواند به عنوان یک منبع طبیعی از آنتی اکسیدان ها طبیعی مورد توجه و بررسی قرار گیرد. در سال های اخیر فعالیت آنتی اکسیدانی ترکیبات آنتی اکسیدان استخراج شده از پوست سیبزمینی در محصولات غذایی مورد توجه قرار گرفته است. همانطور که در فصل ۲ گفته شد پوست سیبزمینی حاوی اسیدهای فنولیک می باشد که بیشترین بخش شامل اسیدکلروژنیک است (CGA). سایر فنولیک ها نیز شامل گالیگ اسید (GAC) و کافئیک اسید (CFA) و پروتوکاتکونیک اسید (PCA) در سیبزمینی در مقادیر کمتری وجود دارند. شناسایی و تعیین میزان اسیدکلروژنیک و سایر اسیدهای فنولیک در بیشتر گونه های سیبزمینی با HPLC گزارش شده است. به همین دلیل امکان استفاده از پوست سیبزمینی به عنوان منبعی مفید در صنعت غذا وجود دارد.

سینگ و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند که ترکیبات آنتی اکسیدان استخراج شده از پوست سیبزمینی پتانسیل جلوگیری از صدمات کبدی در شرایط حاد در موش های آزمایشگاهی را دارند.

ضیا رحمان و همکاران (۲۰۰۴) پوست سیبزمینی را در روغن سویای تصفیه شده تحت دمای ۲۵ و ۴۰ درجه سانتیگراد به مدت ۶۰ روز به عنوان آنتی اکسیدان طبیعی بررسی کردند. اسیدهای چرب آزاد، اندیس یدی و پراکسید به عنوان ملاک و معیار ارزیابی فعالیت آنتی اکسیدانی استفاده می شوند. آن ها نتیجه گرفتند که پوست سیبزمینی استخراج شده فعالیت آنتی اکسیدانی برابر با BHA و BHT دارد و به عدم وجود رابطه خطی میان غلظت و فعالیت آنتی اکسیدانی عصاره پوست سیبزمینی پی بردند.

بنابراین پوست سیبزمینی استخراج شده می‌تواند در چربی‌ها، روغن‌ها و سایر محصولات غذایی به عنوان یک آنتی اکسیدان طبیعی از اکسیداسیون مواد غذایی جلوگیری کند.

بنابراین با توجه به لزوم استفاده از آنتی اکسیدان‌ها در سامانه‌های غذایی و بیولوژیکی و اثرات مضرآنتی اکسیدان‌های سنتزی، ضرورت استفاده از یک ماده گیاهی اقتصادی با کشت فراوان در تمام فصول و نقاط مانند پوست سیبزمینی که در واقع جزء ضایعات کارخانجات چیپس‌سازی و سیبزمینی محسوب می‌شود، به عنوان منبع طبیعی آنتی اکسیدانی قابل توجه می‌باشد (سینگ و کور، ۲۰۰۹).

۲-۴-۵- فیبرهای غذایی

فیبرهای غذایی که در بخش‌های مختلف گیاهان وجود دارند توسط آنزیم‌های روده‌ای قابل هضم نیستند. گیاهان مختلف انواع و مقدار متفاوتی از فیبرها را شامل می‌شوند که عبارتند از- پکتین، صمغ‌ها، موسیلاژ، سلولز، همی سلولز و لیگنین.

رژیم غذایی حاوی فیبر مزایای بالقوه‌ای از جمله جلوگیری از یبوست، همچنین افزایش دفع کلسترول و به عنوان کاهش بعضی سرطان‌ها به ویژه سرطان روده بزرگ شناخته شده‌اند. همچنین رژیم غذایی حاوی فیبر باعث کاهش وزن نیز می‌گردد.

کاک و همکاران (۲۰۰۶) ویژگی‌های کاربردی ۵ نوع فیبر را به وسیله جایگزینی در آرد گندم که شامل پالپ سیبزمینی خشک شده، فیبر تجاری سیبزمینی، دو فیبر تهیه شده توسط آنزیم‌های هیدرولیز کننده و یک فیبر حل شده در تهیه نان را باهم مقایسه کردند. آن‌ها اثر ترکیبات شیمیایی فیبر را بر روی بافت، رنگ، وزن مخصوص و حجم نان گندم مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها نتیجه گرفتند که فیبرهای محلول تهیه شده به روش آنزیمی با میزان زیاد فیبر و میزان کم

سلولز و لیگنین می‌تواند حداقل ۱۲ درصد آرد گندم در پخت نان استفاده شود تا نان حاصل بافت و رنگ مطلوب داشته باشد (سینگ و کور، ۲۰۰۹).

۴-۵- سیب زمینی به عنوان خوراک دام

در اروپای مرکزی حدود ۵۰٪ تولید سیب‌زمینی به مصرف خوراک دام می‌رسد. این موجب می‌گردد که حجم زیادی از تولید سیب‌زمینی در زمستان و بهار ذخیره شود. حتی در بهترین شرایط نگهداری و انبارداری حدود ۱۵-۱۰٪ تولید سالیانه سیب‌زمینی از بین می‌رود. بنابراین، ذخیره سیب‌زمینی به طریقه صحیح برای مصرف در خوراک دام اهمیت زیادی داشته و برای نیل به اهداف ذخیره سازی صحیح و حفظ ارزش تغذیه‌ای سیب‌زمینی تکنولوژیست‌ها باید کوشش نمایند که در انبار به بافت سیب‌زمینی حداقل صدمه وارد شود. یکی از ساده ترین روش‌ها برای حفاظت سیب‌زمینی سیلوسازی آن است. با سیلاژسازی از ضایعات سیب‌زمینی جلوگیری شده و هزینه‌های مرتبط با عملیات ذخیره سازی را کاهش می‌دهد. همچنین با این روش می‌توان از غده‌های سیب‌زمینی یخ‌زده، کمی پوسیده و صدمه دیده استفاده نمود.

علیرغم مزایای سیلاژسازی در مقایسه با انبارسازی سیب‌زمینی، تلفات این روش نگهداری قابل توجه است. اقتصادی‌ترین روش نگهداری سیب‌زمینی برای خوراک دام خشک‌سازی است. با این شیوه ضایعات سیب‌زمینی به ۷-۳ درصد تقلیل می‌یابد. سیب‌زمینی خشک یک فرآورده متراکم شده است که حمل و نقل و ذخیره سازی آن راحت‌تر صورت گرفته و حتی با نگهداری طولانی مدت از کیفیت محصول کاسته نمی‌شود.

سیب زمینی خشک شده برای مصرف دام به دو طریق تولید می‌شود:

در روش اول برای تولید فلیک پس از شستشوی سیب‌زمینی آن را با بخار می‌پزند و پس از پوره کردن، با آبگیری غلطکی

خشک می‌شود. پس از سرد شدن، محصول را از الک عبور داده و بسته‌بندی می‌کنند. با این روش فلیک (پرک) مرغوبی تولید می‌شود. در روش دوم خلال سیبزمینی خشک شده از سیبزمینی خام تولید می‌شود.

۱-۵-۵- ترکیب شیمیایی و ارزش تغذیه‌ای سیبزمینی خشک‌شده

میزان پروتئین سیبزمینی خشک شده قابل توجه نیست، علیرغم اینکه ترکیب اسیدهای آمینه آن مطلوب است. ترکیب شیمیایی سیب زمینی خشک شده مشابه سیبزمینی تازه است، زیرا فقط آب آن تبخیر شده است. جدول ۱-۵ میزان ترکیبات گوناگون را در فلیک و خلال سیب زمینی نشان می‌دهد.

درجه ژلاتینیزاسیون نشاسته معرف کیفیت محصول سیبزمینی خشک شده است و به این دلیل فلیک سیبزمینی برای خوراک دام بهتر از خلال آن است. فلیک از سیب زمینی پخته بدست می‌آید و در نتیجه بهترین نتیجه را از نظر ژلاتینیزاسیون نشان می‌دهد. در هر حال با بخار دادن سیبزمینی میزان سولانین در محصول نهایی و اسید بویتریک در سیبزمینی‌های پوسیده کاهش می‌یابد.

ارزش بیولوژیکی پروتئین فلیک سیبزمینی کمتر از سیبزمینی تازه‌ای که با بخار حرارت داده شده باشد نیست. فلیک سیبزمینی را می‌توان جایگزین ۱۰-۲۵ درصد بلغور درشت در مخلوط کنسانتره برای مصرف طیور، گاو و اسب نمود.

عیب اصلی فلیک نسبت به خلال هزینه تولید زیاد آن است که باعث محدودیت تولید این محصول می‌شود ولی از نظر کیفیت مزیت قابل توجهی بر نوع خلال دارد.

جدول ۱-۵: درصد ترکیبات فلیک و خلال سیبزمینی

خشک	خاکستر	پروتئین	چربی	ماده
-----	--------	---------	------	------

فیبرخام				
۸۷/۱	۰/۷	۰/۲	فلیک سیبزمینی ۷/۳	۳/۸
۸۹/۸	۲	۰/۲	خلال سیبزمینی ۶/۸	۶/۳

خلال سیبزمینی خشک شده از نظر ترکیب شیمیایی و قابلیت هضم مواد مغذی فرق دارد. تفاوت فرآورده های خشک شده سیبزمینی به وسعت دامنه دماهای خشک سازی بستگی دارد. این تغییرات دما بر روی رنگ محصول نهایی تأثیر دارد. اگر دمای وارد شده بر سیب زمینی از 100°C فراتر رود رنگ سیبزمینی به رنگ قهوه ای در می آید.

۲-۵-۵- روش تولید سیلاژ از سیبزمینی

برای تولید سیلاژ، سیبزمینی ها را روی یک الک می ریزند تا ناخالصی های آن پاک شود و پس از شستشو توسط یک نقاله مارپیچی به دستگاه بخار دهنده منتقل می شوند (۳۰ تا ۴۰ دقیقه). پس از بخاردهی سیبزمینی ها به له کن منتقل و از آنجا توسط یک کانال به سیلو انتقال داده می شوند. ارتفاع هر لایه سیبزمینی را به ۲۰-۳۰ سانتی متر رسانده و آن را می کوبند تا متراکم شود. پس از اینکه دمای لایه اول به 40°C رسید لایه دوم را روی لایه اول می ریزند. پس از پر شدن سیلو، ارتفاع پالپ ۵۰ سانتی متر بالاتر از لبه مخزن آورده می شود. پس از چند ساعت که از سرد شدن پالپ گذشت و آب لایه سطحی تبخیر شد، سیلاژ را با لایه ای به ارتفاع ۲۰-۱۰ سانتی متر از کاه می پوشانند و بالای این لایه را یک

پلاستیک می‌پوشانند. لایه فوقانی را با خاک که ۲۰ سانتی‌متر ارتفاع آن است مسدود می‌کنند.

به دلیل حرارت دادن سیبزمینی با بخار باکتری‌های لاکتیکی سیبزمینی از بین می‌روند. بنابراین باید مقداری باکتری به آن اضافه کرد تا فرایند سیلاژسازی بیولوژیکی پالپ سیبزمینی تحریک گردد. در عملیات صنعتی پس از مرحله بخار دادن و سردکردن پالپ، مقدار ۵/۰-۲۵/۰ محیط کشت باکتری لاکتیکی اضافه می‌شود. بهترین نوع محیط کشت مخلوطی از باکتری‌های مزوفیلیک و ترموفیلیک یعنی لاکتوباسیلوس پلانتروم و لاکتوباسیلوس دلبروکی است.

سیبزمینی یخ‌زده را می‌توان به صورت سیلاژ تهیه کرد. سیبزمینی یخ زده آسانتر قابل سیلاژسازی است. نشاسته سیبزمینی در اثر سرما مقداری از آن به ماده قندی تبدیل می‌شود و این پدیده برای تخمیر مطلوب است. بهتر است سیبزمینی یخ‌زده با آب گرم تماس یابد تا خاک و گل چسبیده به آن شسته شود، پس از این مرحله آن را با بخار حرارت می‌دهند و سپس سیلاژسازی می‌کنند (فلاحی، ۱۳۷۶).

اوکاین و همکاران (۲۰۰۵) اثر تلقیح دو باکتری *Rhizopus oryzae* و *Lactobacillus rhamnosus* به سیلاژ سیبزمینی انبار شده را به منظور بررسی کیفیت تخمیر، تغییر در ترکیبات مغذی و ارزش غذایی مطالعه کردند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که خمیر سیبزمینی را می‌توان به خوبی با استفاده یا بدون استفاده از تلقیح باکتری انبار یا سیلو نمود (سینگ و کور، ۲۰۰۹).

۵-۶- کاربردهای صنعتی

تنها بخش کوچکی از پالپ سیبزمینی برای کاربردهای فنی مانند تولید چسب استفاده می‌شود. مایار و هیلیبرانت (۱۹۹۷) خصوصیات میکروبیولوژیکی، اصلاح فیزیکی و کاربرد پالپ سیبزمینی را گزارش کردند. آنها فلور میکروبی (باکتریایی، قارچی)^۱ تعیین کردند و با این نگرش که میکروارگانیسم‌ها پتانسیل تجزیه مواد را دارند، راه‌های نگهداری و حفاظت از پالپ را برای کاربردهای تکنیکی و فنی از قبیل خوراک دام و تولید چسب بررسی کردند (سینگ و کور، ۲۰۰۹).

نشاسته اصلاح شده و طبیعی در صنعت نساجی پس از مرحله بیرنگ کردن، در رنگ‌نقاشی به کار می‌رود. در صنایع کاغذ سازی به عنوان عامل پیوند دهنده، عامل بهبود دهنده جذب رنگ و ضد آب و تقویت بافت کاربرد زیادی دارد. در معادن به عنوان گل حفاری، همچنین بخشی از مواد پلاستیک را تشکیل می‌دهد، در انواع جوهر و فرآورده‌های متعدد دیگر نیز بکار می‌رود در صنایع لاستیک‌سازی جهت روکش لاستیک، تولید نخ مصنوعی لاستیک و در صنایع چاپ و نقاشی به منظور تهیه خمیرهای آبرنگ، پوشه‌ها، کاغذهای مخصوص نقاشی، آهارزنی و رنگرزی کاربرد دارد. در سایر صنایع نظیر سرامیک‌سازی، نخ‌ریسی، تولید چوب‌پنبه و محصولات آن، کارخانجات تولید پشم شیشه، در کارخانجات چرم‌سازی به عنوان واکس و اعضاء تشکیل دهنده آن، نساجی، چسب‌سازی، تولید لوازم بهداشتی، دارویی، مواد شیمیایی، مواد منفجره و غیره کاربرد دارد (فلاحی، ۱۳۷۶).

^۱ -Autochthonic

فهرست منابع

- آمارنامه کشاورزی. ۱۳۸۹. تهران. وزارت جهاد کشاورزی، معاونت برنامه ریزی و اقتصادی، دفتر آمار و فناوری اطلاعات. فلاحی، م. ۱۳۷۶. در ترجمه دانش و تکنولوژی سیبزمینی. لیزینسکا، جی. لیسچینسکی، دبلیو. (مولفین). چاپ اول، انتشارات بارثاوا. ۲۴۸ ص.
- قنبرزاده، ب.، الماسی، ه.، زاهدی، ی. ۱۳۸۸. بیوپلیمرهای زیستتخریبپذیر و خوراکی در بسته‌بندی مواد غذایی و دارویی. انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر (پلی‌تکنیک تهران)، صفحات ۲۶۹-۳۰۱.
- شهیدی، ف. طباطبایی یزدی، ف. صادقی، ع. غلامحسین‌پور، ع. ۱۳۸۹. در ترجمه زیست فناوری کاربردی در صنایع غذایی. چاپ اول، انتشارات دانشکده فردوسی مشهد. صفحات ۱۸۲ تا ۱۸۵.
- کارگر، م. کفیل زاده، ف. گودرزیان، ن. نوحی، ا. ۱۳۸۵. شناسایی باکتری‌های مولد بیوسورفاکتانت و کاربرد آنها در حذف آلاینده‌های نفتی. علوم و تکنولوژی محیط زیست. ۲۹. ص ۱۰۹ تا ۱۱۸.
- مبلی، ح. موسی زاده، ح. جوان بخت، س. ۱۳۸۸. فناوری تولید سیبزمینی. چاپ اول، انتشارات دانشگاه تهران. صفحات ۱ تا ۱۱.
- مجدوبی، م. فرحناکی، ع. ۱۳۸۹. در ترجمه تکنولوژی اکستروژن در صنایع غذایی. گای، رابین. گای. (مولف). چاپ اول، نشر علم کشاورزی ایران. صفحات ۲۰۵ تا ۲۳۶.
- یقبانی، م.، محمدزاده، ج. ۱۳۸۷. مروری بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و پتانسیل کاربرد نشاسته‌ی برخی از ارقام سیبزمینی استان گلستان. مجله الکترونیک کشاورزی و منابع طبیعی گلستان. ۱: ۶۹-۷۸.
- Alexander, M., & Dubois, P. 2000. Polymer-layered silicate nano composites preparation, properties and uses of a new class of materials. *Journal Materials and Engineering*, 28: 1-11.

- Arapoglou, D., Israilides, C., Varzakas, Th., Vlyssides, A., 2010. Ethanol production from potato peel waste (PPW). *Waste management*, 30: 1898-1902.
- Bertuzzi, M.A. Castro Vidaurre, E.F. Armada, M. & Gottifredi, J.C. 2007. Water vapor permeability of edible starch based films. *Journal of Food Engineering*, 80: 972-978.
- Bryan, W., 1990. Solid-state fermentation of sugars in sweet sorghum. *Enzyme Microbial Technology*, 12: 437-442.
- Cole, M. F., & Bergeson, L. 2006. Regulatory resport FDA, Regulation of Food Packaging Produced Using Nano technology. Food Safety Magazine.
- Cuq, B, Gontrad, N & Guilbert, S. 1998. Proteins as agricultural polymers for packaging production. *Journal of Cereal Chemistry*, 75(1): 1-9.
- George, E. R., Sullivan, T. M., & Park, E. H. 1994. Thermoplastic starch blends with a poly(ethylene-co-vinyl alcohol): Processability and physical properties. *Polymer Engineering and Science*, 34: 17-23.
- Guilbert, S. 1986. Technology and application of edible protective films. In Food Packaging and Preservation (pp 371-394), Mathlouthi, M., Ed., Elsevier Applied Science: London, UK.
- Jenkins PJ & Donald AM, 1995. The influence of amylase on starch granule structure. *International Journal of Biological Macromolecules*, 17: 315-321.
- Kester, J. J. & Fennema, o. 1986. Edible Films and Coatings: A Review. *Journal of Food Technology*, 40: 47-59.
- Lammers, G., and Beenackers, A. 1980. Viscosity of concentrated potato starch pastes. *Carbohydrate Polymers*, 24: 55-59.
- Lin, Y., Tanaka, S., 2006. Ethanol fermentation from biomass resources: current state and prospects. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 69: 627-642.
- Lui, Q., Weber, E., Currie, V., and Yada, R. 2003. Physicochemical properties of potato starch during growth. *Carbohydrate Polymers*, 51:213-221.
- Malcher, J., and Medal, K. 1989. The importance of foam destruction in potato starch extraction. *Starch/Stärke*, 29: 346-349.

- Malia, S. Victoria E. M. Maria A. Miriam N. & Noemin E. 2005. Mechanical and thermal properties of yam starch films. *Food Hydrocolloids*, 19: 157-164.
- Mangiaccapra, p., Gorrasi, G., Sorrentino, A., & Vittoria, V. 2005. Biodegradable nanocomposites obtained by ball milling of pectin and montmorillonites. *Carbohydrate Polymers*, 64(4): 516-523.
- Morrison, I.M., Cochrane, M.P., Copper, A.M., and Dale, M.F.B. 2000. Potato starches: Variation in composition and properties between three genotype grown at two sites and in two different years. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81:19-328.
- Myllarinen, P., Partanen, R., Seppala, J., & Forssell, P. 2002. Effect of glycerol on behavior of amylase and amylopectin films. *Carbohydrate Polymer*, 50(4): 355-361.
- Nabar, Y., Narayan, R., & Schindler, M. 2006. Twin-screw extrusion production and characterization of starch foam products for use in cushioning and insulation applications. *Polymer Engineering and Science*, 46: 438–451.
- Narpinder, S., Jaspreet, S., Lovedeep, K., Navedeep, S.S., and Balmeet, S.G. 2003. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. *Food Chemistry*, 81:219-231.
- Peshin, A. 2001. Characterization of starch isolated from potato tubers (*Solanum tuberosum* L.). *Journal of Food Science and Technology*, 38: 447-449.
- Roger, P.E, Tran, V., Lesec, J and Colonna, P. 1996. Isolation and characterization of single chain amylase. *Journal of Cereal Science*, 24: 247-262.
- Scieber, A., Stintzing, F.C., Carle, A., 2001. By-products of plant food processing as a source of functional compounds – recent developments. *Trends in Food Science and Technology*, 1: 401–413.
- Singh, J., and Kour, L. 2009. *Advances In Potato Chemistry and Technology*. Academic Press. USA, 528p.
- Singh, P. P., and Saldana, D. A. 2011 . Subcritical water extraction of phenolic compounds from potato peel. *Food Research International*, 44: 2452-2458.
- Shamekh, S., Myllarinen, P., Poutanen, K. & Forssell, P. 2002. Film Formation Properties of Potato Starch Hydrolysates. *Starch/Stärke*, 54: 20-24.

- Smith, J. P., Hoshino, J., & Abe, Y. 1995. Interactive packaging involving sachet technology. In: M. L. Rooney (Ed.), *Active food packaging* (pp. 143–173). Blackie Academic and Professional, Glasgow.
- Sorrentino, A., Gorrasia, G., & Vittoria, V. 2007. Potential perspectives of bi-nanocomposites for food packaging applications. *Trends in Food Science and Technology*, 18: 84–95.
- Szymanowski, H., Kaczmarek, M., Gazicki-Lipman, M., Klimek, L., & Woźniak, B. 2005. New biodegradable material based on RF plasma modified starch. *Surface and Coatings Technology*, 200: 539–543.
- Takahiro, N., Shogo, T., Motoyuki, M., Shigenobu, T., Chie, M.E., Katsuichi, S., Arachichige, W.H., Akihiro, H., Yasuyuki, S., and Hiroaki, Y. 2004. The effect of harvest dates on the starch properties of various potato cultivars. *Food Chemistry*, 86: 119–125.
- Trojanowski, J., Mayer, F., & Hutterman, A. 1995. Utilization of potato pulp and potato liquor for the production of laccase by selected basidiomycetes. *Starch/Stärke*, 47: 116–118.
- Van Soest, J. J. G., & Vliegenthart, J. F. G. 1997. Crystallinity in starch. Plastics: consequences for material properties. *Trends in Biotechnology*, 15(6): 208–213.
- Weber, J.C. 2000. Biobased packaging materials for the food industry: Status and perspective.
- Yaghbani, M., and Mohammadzadeh, J. 2005. Study of two extraction methods and physio-chemical properties of starch from some potato varieties in Golestan province. Final report of technical and engineering organization pp: 29.
- Yu, L., Dean, K., & Li, L. 2006. Polymer blends and composites from renewable sources. *Progress in Polymer Science*, 31: 576–602.
- Zaehring, M.V., and Cunningham, H.H. 1985. Potato extractives: effect on firmness of pectin jellies and viscosity of potato starch pastes. *Journal of Food Science*, 35: 491–494.
- Zobel, H. F. 1998. Starch crystal transformation and their industrial importances. *Starch/Stärke*, 40: 44–50.

Abstract

The potato (*Solanum tuberosum*) which is grown in over 100 countries throughout the world is one of the staples of the human diet. Potato is an important raw material for the industry as well. Growing conditions, genetic origin and aging during post-harvest storage can affect potato quality. Potatoes are among the most efficient sources of energy and other nutrients including vitamins and minerals. Starch is the major component of potato tubers amounting approximately to 15–20% of its weight. As an effect, starch is considered to be a major factor for the functionality of the potato in food and non-food applications. Potato starch is a promising biopolymer for various food applications. Potato peels are waste by-products of the potato processing industry. They are a good source of vitamin C, vitamin B₆, copper, potassium, manganese, and dietary fiber. They also contain a variety of phytonutrients which are a natural source of antioxidants that help to prevent cellular deterioration of the body. The phytonutrients found in potato skins as well as the flesh include polyphenols, carotenoids, flavonoids, and caffeic acid. The potato peel waste contains sufficient quantities of starch, cellulose, hemicellulose, lignin and fermentable sugars to warrant use as an ethanol, lactic acid and other fermentation product feedstock. The waste uses for the single cell protein production too. Fermented potato waste is an excellent nitrogen source for ruminant animals.

Key words: potato, Starch, Biodegradable, Antioxidant, ethanol.