استخراج نشاسته سیب زمینی و کاربرد آن در گل‌های حفاری پایه آبی

مسعود نصیری، نظام‌الدین اشرفی‌زاده*

تهران، دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده مهندسی شیمی، آزمایشگاه تحقیقاتی فرایندهای پیشرفته جداسازی

پیام‌نگار: **ashrafi@iust.ac.ir**

چکیده

نشاسته سیب زمینی (به صورت پیش ژلاتین شده) یک ماده مناسب در فرمولاسیون گل‌های حفاری پایه آبی بشمار می‌رود که برای کنترل هدر رفت آب و بهبود خواص رئولوژیکی گل حفاری، پایداری سنگ‌های رسی[1]، ازدیاد برداشت نفت و کاهش نیروی پسا[2] مورد استفاده قرار می‌گیرد. از نظر عملیاتی می‌توان نشاسته را از گیاهان مختلف استخراج نمود؛ ولی آنچه که اهمیت دارد نوع فرایند و محصولات جانبی آن می‌باشد تا از نظر اقتصادی فرایند را توجیه‌پذیر سازد. جداسازی پروتئین از سیب زمینی یکی از مواردی است که پتانسیل اقتصادی چشمگیری را نشان می‌دهد.

در این مطالعه، ضمن مرور واحد فرآوری نشاسته از سیب زمینی، دستگاه‌های مدرن جداسازی که در جدا کردن پروتئین‌ها موثرند بررسی شده است. ماشین‌آلات مزبور می‌توانند بازدهی کل واحد را از ۹۵ به ۹۷ الی ۹۸ درصد ارتقاء دهند. همچنین با استفاده از جداکننده‌های نازلی سه فازی می‌توان ۹۸ درصد فیبر همراه نشاسته را در سه مرحله جدا نمود و نهایتاً نشاسته خالص‌تری را تهیه کرد. مطالب ارائه شده در این مقاله، در خصوص آشنایی با مشخصات پلیمر طبیعی نشاسته و مشتقات پیش ژلاتین شده آن که به طور خاص در صنعت حفاری چاه‌های نفت و گاز کشور مورد استفاده گسترده قرار می‌گیرد مفید فایده می‌باشد.

کلمات کلیدی: نشاسته پیش ژلاتین شده، گل حفاری، سیب زمینی، پروتئین

۱ـ مقدمه

تولید نشاسته سیب‌زمینی به صورت پیش ژلاتین شده[3] که از آن در گل حفاری استفاده می‌شود، جزء صنایع تبدیلی محسوب می‌گردد. صنایع تبدیلی، صنایعی است که در آن از موادی که مصرف چندانی ندارند، به عنوان ماده اولیه استفاده کرده و محصولات مفید و قابل استفاده تولید می‌کنند. مشکل جذب مازاد سیب‌زمینی تولیدی توسط کشاورزان از یک طرف و نیاز به حفاری‌های گسترده چاه‌های نفت و گاز از طرف دیگر، لزوم تولید نشاسته پیش ژلاتین شده و صرفه‌جویی در خروج سالیانه میلیون‌ها دلار ارز از کشور را به خوبی توجیه می‌کند. ضمناً به علت قیمت پایین نشاسته‌های پیش ژلاتین شده، کاربرد آنها در مقایسه با سایر مشتقات نشاسته بیشتر است و این محصول نه تنها در گل حفاری بلکه در صنایع متعدد دیگر نیز کاربرد دارد. در حال حاضر، تنها کارخانه تولیدکننده نشاسته پیش ژلاتین شده جهت

1. Shale
2. Drag Force
3. Pregelatinized

استفاده در گل حفاری، کارخانه صنایع تبدیلی سیب‌زمینی الوند واقع در منطقه بهار همدان می‌باشد که با ظرفیت تولید ۲۱۰۰۰ تن در سال نشاسته پیش ژلاتین شده احداث گردیده و در سال ۱۳۸۰ مورد بهره برداری قرار گرفته است.

برای به دست آوردن نشاسته پیش ژلاتین شده، نشاسته معمولی را در محیط‌های اسیدی و قلیایی مورد فراوری قرار می‌دهند. در فرایند مزبور به کارگیری دمای بالا برای شکستن پیوندهای هیدروژنی بین گرانول‌های نشاسته ضروری است [۱] و این دما بستگی به منبع نشاسته دارد.

جدول (۱) حلالیت انواع نشاسته‌های معمولی و دمای ژلاتینه شدن را نشان می‌دهد.

جدول ۱ـ حلالیت‌انواع نشاسته‌های‌معمولی و دمای ژلاتینه شده[۱]

نوع نشاسته	دمای ژلاتینه شدن (°C)	درصد حلالیت در آب
ذرت[1]	۶۲-۷۲	۲۵
ذرت سورگوم[2]	۶۸/۵-۷۵	۲۲
گندم[3]	۵۲-۶۳	۴۱
ذرت[4]	۶۳-۷۲	۲۳
سیب زمینی شیرین[5]	۵۸/۵-۷۰	۴۸
سیب زمینی[6]	۵۶-۶۶	۸۲

در ابتدای شروع صنعت حفاری گمان می‌رفت که گل حفاری فقط یک نوع وسیله برای انتقال برش‌ها[7] (خرده‌های حفاری شده) از ته چاه به سطح زمین می‌باشد. ولی امروزه با روشن شدن سایر خواص مفید گل حفاری ثابت شده است که سرعت، دقت و کاهش هزینه حفاری یک چاه به مرغوبیت و نوع گل حفاری مورد استفاده بستگی دارد. به طور کلی گل‌های حفاری را به دو دسته بزرگ، گل‌های حفاری پایه آبی[8] و

1. Corn
2. Sorghum
3. Wheat
4. Waxy Maize
5. Tapioca
6. Potato
7. Cutting
8. Water Based Drilling Muds (WBMs)

گل‌های حفاری پایه غیر آبی[1] تقسیم‌بندی نموده‌اند [۲].

معمولاً گل‌های حفاری پایه آبی از سه بخش مجزا تشکیل می‌شوند:

۱- فاز مایع (آب)

۲- جامدات فعال مانند بنتونیت، و ذرات کلوئیدی مانند نشاسته، صمغ و ترکیبات سلولزی

۳- جامدات بی اثر مانند باریت و ذرات شن

همچنین وظایف گل‌های حفاری را می‌توان به‌صورت زیر خلاصه نمود:

۱. تمیز نگه داشتن چاه از برش‌ها
۲. جلوگیری از فوران چاه
۳. جلوگیری از ریزش دیواره چاه
۴. خنک نگه داشتن مته و جلوگیری از سایش لوله توسط دیواره چاه
۵. کسب اطلاعات از طبقات مختلف زمین در دست حفاری[۳]

قطعاً ساخت یک گل حفاری که بتواند همه وظایف بالا را در حد ایده آل برآورده نماید امری بعید به نظر می‌رسد؛ ولی می‌توان گل حفاری دلخواه را مطابق با ویژگی‌های طبقات مختلف زمین طراحی و فرموله نمود. یکی از وظایف گل حفاری جلوگیری از ریزش دیواره چاه و ایجاد یک لایه صافی نازک روی دیواره چاه می‌باشد. وظیفه این فیلتر کیک بسیار مهم است. در حقیقت، این لایه صافی به عنوان یک غشاء بین گل حفاری و سازند عمل می‌کند. مقدار آب عبوری از غشاء و ورودی به سازند باید به مقدار ناچیز و کمتر از ۱۰ سانتیمتر مکعب باشد [۴-۳]. در غیر این صورت، هنگام حفاری در لایه‌های رسی با مشکل چسبندگی لوله حفاری مواجه خواهیم شد. امروزه برای کاهش میزان عبور آب از غشاء (لایه صافی) از مواد افزودنی متفاوتی استفاده می‌نمایند. نشاسته اولین ماده‌ای بود که در این خصوص وارد صنعت گل حفاری گردید و به عنوان یک پلیمر طبیعی برای طراحی فرمول گل حفاری با خواص مناسب کاربرد فراوانی یافت. البته، علاوه بر نشاسته، از مشتقات آن نیز مانند نشاسته‌های اتری شده[2]، و نشاسته‌های پیوندی[3] [۱] در صنعت نفت استفاده می‌کنند. پلیمرها در گل حفاری زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرند که خاک‌های کلوئیدی نمی‌توانند خواص مطلوب را در گل حفاری ایجاد کنند. برای نمونه،

1. Non Aqueous Based Fluids (NABFs)
2. Etherified Starch
3. Grafted Starch

نمونه، نشاسته به عنوان اولین کلوئید استفاده شده در گل حفاری، برای کنترل هدر رفت سیال[1] در آب شور استفاده گردید. لازم به ذکر است که نشاسته در آب شور قابل پخش می‌باشد در صورتی که خاکی مانند بنتونیت خاصیت پخش و ایجاد ویسکوزیته را ندارد. پلیمر (نشاسته) در دهه ۱۹۳۰ به صنعت حفاری معرفی گردید. در سال ۱۹۳۹ نشاسته ذرت[2] برای اولین بار جهت کنترل هدر رفت سیال (آب) در گل‌های حفاری پایه آبی (آب شور) در تگزاس غربی[3] استفاده گردید. از آن به بعد، کاربرد نشاسته در گل حفاری برای کنترل هدر رفت سیال در تمام نقاطی که با این مشکل مواجه بودند به سرعت گسترش یافت [۴]. بعدها کاربرد پلیمرهای ویژه (پلیمرهای طبیعی اصلاح شده و سنتزی) نیز در این صنعت رواج پیدا کرد. برای مثال، می‌توان به پلیمر طبیعی اصلاح شده کربوکسی متیل سلولز[4] اشاره نمود.

امروزه پلیمرها بخش لاینفک گل‌های پایه آبی می‌باشند به طوری که می‌توان گل‌های حفاری پایه آبی را پایه پلیمری نامید. در حال حاضر، پلیمرهای بسیار زیادی شامل پلیمرهای طبیعی، طبیعی اصلاح شده و سنتزی در خدمت صنعت حفاری می‌باشند و از نشاسته می‌توان به عنوان یک پلیمری که منشاء طبیعی دارد نام برد. پلیمرهای طبیعی اصلاح شده، همان پلیمرهای طبیعی می‌باشند که برای ایجاد خواص ویژه (مثلاً پایداری حرارتی) اصلاح می‌گردند. تعداد دیگری از پلیمرها نیز از روش‌های سنتزی به دست می‌آیند. پلیمرها می‌توانند تمام خواص گل‌های حفاری را تحت تأثیر قرار دهند. در تکنولوژی پلیمر می‌توان پلیمری با مولکول‌های تعریف شده برای یک هدف خاص طراحی نمود، طوری که تعداد شاخه‌های پلیمر و محل قرار گرفتن شاخه و نوع گروه مشخص باشد. به همین دلیل، به کارگیری پلیمرها در فرمولاسیون گل‌های حفاری آینده‌ای روشن و امید بخش نشان می‌دهد [۴].

۲- کاربرد نشاسته در گل حفاری

پلیمرهای طبیعی موادی هستند که به طور طبیعی و بدون دخالت انسان تولید می‌شوند. این مواد از منابع طبیعی مانند گیاهان به دست می‌آیند و نسبت به پلیمرهای سنتزی دارای ساختمان مولکولی پیچیده‌تری بوده و لذا وزن مولکولی بالاتری دارند. پلیمرهای طبیعی پایداری حرارتی کمتری نسبت به پلیمرهای سنتزی داشته و از مقاومت کمتری نیز در برابر تخریب باکتریایی برخوردارند. کاربرد پلیمرهای طبیعی اصلاح شده در فرمولاسیون گل حفاری امری عادی محسوب می‌شود. سلولز[5] و نشاسته دو پلیمر طبیعی هستند که در تولید پلیمرهای اصلاح شده کاربرد دارند. خواص پلیمرهای اصلاح شده می‌تواند کاملاً متفاوت از خواص پلیمرهای اولیه باشد. برای توسعه کاربری در گل‌های حفاری، پلیمرهای طبیعی غیریونی از قبیل نشاسته و سلولز می‌توانند به پلی الکترولیت‌ها تبدیل گردند. نظر به اینکه بسیاری از پلیمرها در آب غیر محلولند کاربرد آنها در گل‌های حفاری پایه آبی بجز مواردی که مولکول آنها اصلاح گردد مقدور نمی‌باشد. برای انحلال پلیمرها در آب گاهی اوقات آنها را به صورت پلی الکترولیت در می‌آورند [۳]. یک پلی الکترولیت توانایی انحلال در آب را داشته و شامل پلی یون‌هایی با بارهای مخالف می‌باشد. بارهای یک پلی یون در طول زنجیره تکرار می‌گردد. در پلیمرهای کاتیونی، بارها مثبت و در پلیمرهای آنیونی، بارها منفی می‌باشد. در گل‌های حفاری پلیمرهای آنیونی بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرند در حالی که تعداد پلیمرهای کاتیونی مورد استفاده در این سیالات محدود می‌باشد.

نشاسته در شکل خام آن در آب محلول نبوده و به صورت ذرات نشاسته روی آب شناور می‌گردد [۵]. این امر به دلیل وجود آمیلوپکتین می‌باشد. برای ساختن نشاسته مؤثر و مفید در گل حفاری بایستی این مولکول‌ها به آمیلوز شکسته شوند. لذا باید گرانول‌های نشاسته تا مرحله تخریب این مولکول‌ها حرارت داده شوند (توسط حرارت یا بخار). به این عمل که باعث پخش آمیلوز خواهد شد فرایند پیش ژلاتین‌سازی[6] می‌گویند. نشاسته حاصل از این فرایند ماده‌ای غیر یونی بوده و در آب شیرین و آب نمک اشباع محلول است. نشاسته به دست آمده از ذرت به طور متوسط دارای ۲۵ درصد آمیلوز و ۷۵ درصد آمیلوپکتین می‌باشد. وزن مولکولی نشاسته سیب زمینی اندکی بیشتر از وزن مولکولی نشاسته ذرت بوده و غلظت آمیلوز بیشتری نسبت به آمیلوپکتین دارد. به همین دلیل، وظایف این دو نشاسته با یکدیگر متفاوت بوده و می‌توان ادعا کرد که تحمل سختی آب و

1. Fluid Loss Control
2. Corn Starch
3. West Texas
4. Carboxy Methyl Cellulose (CMC)
5. Cellulose
6. Pregelatination

پایداری دما در نشاسته سیب زمینی بیشتر از نشاسته ذرت می‌باشد. همچنین با توجه به پخش بهتر در آب، این نشاسته می‌تواند ویسکوزیته بالاتری را نیز تولید کند. بزرگترین نقیصه نشاسته در گل حفاری تمایل آن به تخمیر باکتریایی می‌باشد. برای جلوگیری از تخریب زیستی آن در ترکیب گل حفاری از آفت‌کش‌ها[1] (مانند پارا فرمآلدئید) استفاده می‌کنند. پارا فرمآلدئید یا سایر آفت‌کش‌ها ممکن است طی فرایند فرآوری نشاسته به آن اضافه گردد و یا اینکه هنگام استفاده در گل حفاری در غلظت ۰/۲ تا ۰/۵ پوند بر بشکه برای جلوگیری از تخمیر به آن اضافه گردد [۴]. نقص دیگر نشاسته پایداری حرارتی پایین آن است. حداکثر دمای تحمل نشاسته ۱۲۱ درجه سلسیوس می‌باشد. عموماً شرایط دمای بالا، pH خنثی و آب شیرین تخریب ساختمان نشاسته را تسریع می‌کند. اگرچه می‌توان این روند تخریب را با افزایش نمک و بالا بردن pH تا ۱۱/۵ کاهش داد ولی بالاخره وقوع این امر اجتناب‌ناپذیر به نظر می‌رسد [۳].

همان گونه که در بالا ذکر شد نشاسته به خودی خود دارای خواص مناسب برای استفاده در گل حفاری می‌باشد؛ ولی نشاسته اصلاح شده می‌تواند خواص مختلف دیگری نیز داشته باشد. برای مثال، می‌توان با اصلاح نشاسته و به دست آوردن ترکیبات جدید، پایداری حرارتی آن را افزایش و تخریب باکتریایی آن را کاهش داد. از کربوکسی متیل نشاسته[2] [۷-۶] و هیدروکسی پروپیل نشاسته[3] [۸] به عنوان نشاسته اصلاح شده در گل حفاری استفاده می‌گردد. همان‌طور که قبلاً گفته شد، نشاسته در گل‌های حفاری برای کاهش هدر رفت سیال (آب) و اصلاح رئولوژی (توسعه گرانروی[4]) مورد استفاده قرار می‌گیرد. نشاسته در آب منبسط شده و به صورت اسفنج در حفره‌های فیلتر کیک قرار می‌گیرد و باعث کاهش هدر رفت سیال می‌گردد. این ماده همچنین توسط میکروارگانیسم‌هایی مانند باکتری‌ها و قارچ‌ها در معرض تخمیر قرار می‌گیرد مگر آنکه آب از نمک اشباع شده و یا pH گل حفاری بالای ۱۱/۵ باشد. اگر بخواهیم گل حفاری را برای مدت چند روز استفاده کنیم باید از یک آفت‌کش در ترکیب گل حفاری استفاده نماییم. همچنین دمای محیط نیز در تخریب میکروبی ساختمان نشاسته تأثیر دارد و چنانچه سرد و یا خیلی گرم باشد (دمای بالای ۷۰ درجه سلسیوس) سرعت تخریب میکروبی نشاسته آهسته خواهد بود. از طرفی، یکی از عوامل شکستن و تخریب مولکول نشاسته دمای بالا می‌باشد. در هنگام حفاری و گردش گل حفاری در صورتی که دما از ۱۲۱ درجه سلسیوس تجاوز کند مولکول نشاسته تخریب شده و متعاقب آن سرعت هدر رفت سیال به سازند و همچنین ضخامت فیلتر کیک افزایش خواهد یافت. نشاسته معمولاً در غلظت‌های ۲ تا ۱۰ پوند برگالن در فرمول گل حفاری مورد استفاده قرار می‌گیرد [۳-۲].

۳- منابع استخراج نشاسته و شیمی آن

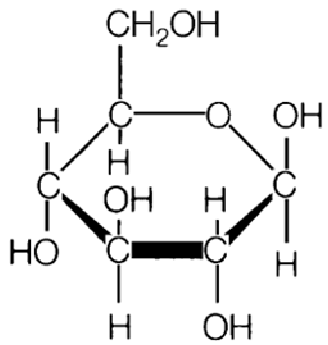
نشاسته اساساً در غلات و حبوبات از جمله ذرت، گندم، برنج و غده‌ها[5] مانند سیب زمینی و کاساوا وجود دارد. گرانول نشاسته ترکیبی از کربوهیدرات‌ها است که با فرمول شیمیایی بسته $(C_6H_{10}O_5H_2O)_n$ نشان داده می‌شود و از هیدرولیز آن گلوکز به دست می‌آید. نشاسته از طریق حرارت دادن و یا واکنش با اسید کلریدریک ژلاتینه گردیده، سپس خشک و آسیاب می‌گردد. در حالت کلی، همه گیاهان که در قسمت‌های مختلف ساختمان خود نیاز به کربوهیدرات دارند می‌توانند منابع خوبی برای تولید نشاسته باشند ولی نشاسته تنها از برخی گیاهان استحصال می‌شود. بنابراین صرفاً آن دسته از گیاهان برای تولید نشاسته مناسب هستند که توده نشاسته آنها به صورت گرانول‌های نامحلول و به صورت یک ذخیره کربوهیدرات باشد. منابع اصلی نشاسته عبارتند از ذرت[6]، گندم[7]، سیب زمینی، برنج و کاساوا[8]. سایر منابع تولید نشاسته که در اولویت بعدی قرار دارند عبارتند از: سورگوم[9]، سیب زمینی شیرین، جو[10]، جو صحرایی[11]، چاودار[12]، نخود فرنگی، لوبیا[13]، و عدس[14] [۹].

قندها منبع انرژی سلول می‌باشند و ساده‌ترین قند از نظر ساختاری گلوکز می‌باشد (شکل ۱). گلوکز اصلی‌ترین منبع غذایی و یکی از قندهای مونوساکارید است که به نام D-گلوکز نیز معروف بوده و دارای فرمول عمومی $C_6H_{12}O_6$ است و با داشتن عامل OH به راحتی در آب

1. Biocide
2. Carboxymethyl Starch (CS)
3. Hydroxypropyl Starch (HP Starch)
4. Viscosity Development

5. Tubers
6. Maize
7. Wheat
8. Cassava
9. Sorghum
10. Barley
11. Oat
12. Rye
13. Bean
14. Lentil

محلول است. قندهای بزرگ هم پیش از آنکه به مصرف برسند باید هضم شوند و به صورت گلوکز درآیند. گلوکز در اثر اکسایش تبدیل به دی اکسید کربن، آب و انرژی می‌گردد. مولکول‌های قند بزرگتر، برای ذخیره انرژی در سلول به کار می‌روند. این مولکول‌های بزرگ پلی ساکارید نامیده می‌شوند و از قرار گرفتن تعداد زیادی گلوکز در کنار هم ساخته می‌شوند. سلول‌های گیاهی انرژی خود را در مولکول‌های نشاسته ذخیره می‌کنند. نشاسته یک ترکیب کمپلکس از کربوهیدرات‌ها می‌باشد.



شکل ۱ـ ساختار فضایی مولکول گلوکز

از نظر ساختاری نشاسته از دو نوع پلیمر کربوهیدرات به نام آمیلاز[1] و آمیلوپکتین[2] (پلی ساکاریدها) تشکیل شده است. منومرهای این پلی‌ساکاریدها واحدهای D-گلوکز می‌باشد. از لحاظ ساختاری نشاسته یک ترکیب خوشه‌ای از پلیمرهای خطی است که در آن پیوندهای زنجیری آلفا ۱و۴ ستونی از واحدهای گلوکز و شاخه‌های فرعی با پیوند آلفا ۱و ۶ را تشکیل داده‌اند [۱۰]. در گیاهان، نشاسته در اندام سلولی ویژه به نام آمیلوپلاست ذخیره می‌گردد. آمیلوز به صورت یک مولکول خطی با وزن مولکولی متوسط ۱×۱۰^{۵} تا ۱×۱۰^{۶} گرم بر مول می‌باشد. برعکس آمیلوز، آمیلوپکتین یک مولکول شاخه دار با وزن مولکولی متوسط ۱×۱۰^{۷} تا ۱×۱۰^{۸} گرم بر مول می‌باشد.

نشاسته مرکب از گرانول‌های کوچک می‌باشد که‌اندازه این گرانول‌ها بستگی به منشاء نشاسته دارد. برای مثال، گرانول نشاسته به دست آمده از برنج و آمارانس[3] دارای متوسط ابعاد ۱ الی ۲ میکرومتر می‌باشد. در صورتی که‌اندازه گرانول نشاسته به دست آمده از سیب‌زمینی ۱۰۰ میکرومتر می‌باشد. نشاسته‌های معمولی[4] در آب سرد نامحلول می‌باشند؛ اما با حرارت دادن تا یک دمای معین (دمای تشکیل ژل) به صورت برگشت‌ناپذیر در آب حل می‌گردد. پلیمرهای طبیعی استفاده شده در گل‌های حفاری شامل مولکول‌های گلوکز مجتمع شده بوده و متعلق به گروه پلی ساکاریدها[5] می‌باشند. منومرها همان واحدهای گلوکز می‌باشند که شامل کربن: هیدروژن: اکسیژن به نسبت ۶:۱۲:۶ هستند [۱۱].

پلیمریزاسیون واحدهای گلوکز زمانی اتفاق می‌افتد که یک مولکول آب از واحدهای گلوکز همسایه جدا گردد. در نتیجه، این تراکم واحدهای گلوکز توسط اتم‌های اکسیژن به همدیگر متصل می‌شوند و پلیمر پلی‌ساکارید را تشکیل می‌دهند. نسبت اتم‌های C:H:O برابر ۶:۱۰:۵ یا $C_6H_{10}O_5$ می‌باشد. پیوستگی منومرها در پلیمرهای طبیعی خیلی پیچیده‌تر از پیوستگی آنها در پلیمرهای سنتزی می‌باشند. در این پلیمرها منومر شامل ساختمان حلقوی کربوهیدرات و اتم‌های اکسیژن واسط می‌باشد. پلیمرهای سنتزی ارتباط کربن- کربن خیلی ساده‌تری دارند. آمیلوز، دارای یک زنجیر متشکل از حلقه‌های کربوهیدرات با یک آرایش مستقیم مطابق شکل (۲) می‌باشد. در حالی که آمیلوپکتین دارای شاخه‌های زیاد نسبت به آمیلوز مطابق شکل (۳) می‌باشد. نسبت آمیلوز و آمیلوپکتین خواص نشاسته را تعیین می‌کند.

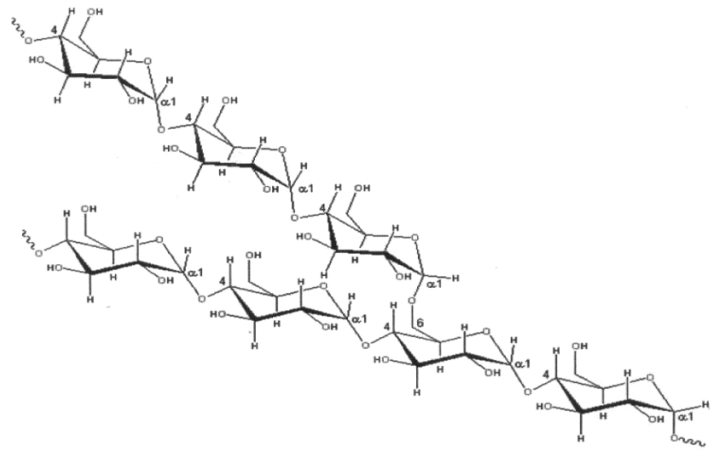
۴- مشخصات عمومی گیاه سیب زمینی

گیاه سیب‌زمینی از تیره سولاناسیا[6] با نام علمی سالونیوم تیوبراوزیم[7] می‌باشند. این گیاه تا حدود ۵۰ سانتیمتر رشد کرده و دارای برگ‌های تک شانه‌ای و گل‌های معمولاً سفید رنگ می‌باشد. آنچه از این گیاه مصرف دارد غده‌هایی می‌باشد که از متورم شدن بخش‌هایی از ساقه زیر زمینی گیاه پدید می‌آید. حدود ۲۰۰۰ نوع سیب زمینی در دنیا وجود دارد؛ ولی فقط ۸ نوع آن برای استفاده کشت می‌شود. از نظر بیشترین تنوع می‌توان گیاه سیب‌زمینی را به دو زیر گروه اس. آنادیجنا[8] و اس. تیوبراوزیم[9] تقسیم‌بندی نمود که تنوع اس. تیوبراوزیم

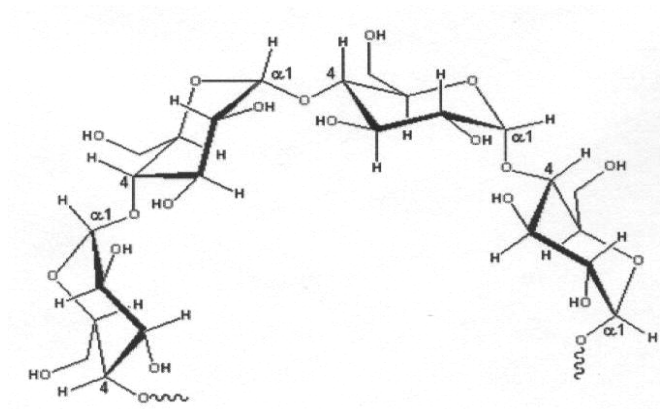
1. Amylose
2. Amylopectin
3. Amaranth

4. Native Starch
5. Polysaccharides
6. Solanaceae
7. Solonum Tuberosum
8. S. Andigena
9. S. Tuberosum

بیشتر از نوع دیگر می‌باشد. نوع اس. آنادیجنا در امریکای مرکزی و شمالی رشد می‌کند در صورتی که نوع اس. تیوبراوزیم در سراسر دنیا توزیع شده است. این گیاه دارای گل و میوه، ساقه، غده، ریشه و برگ می‌باشد. میوه گیاه به شکل گرد تا تخم مرغی به قطر ۱ تا ۳ سانتیمتر در رنگ‌های مختلف می‌باشد. میوه‌های دو خانه‌ای شامل بیش از ۲۰۰ تا ۳۰۰ بذر هستند شکل‌های (۴ و ۵) [۱۳].

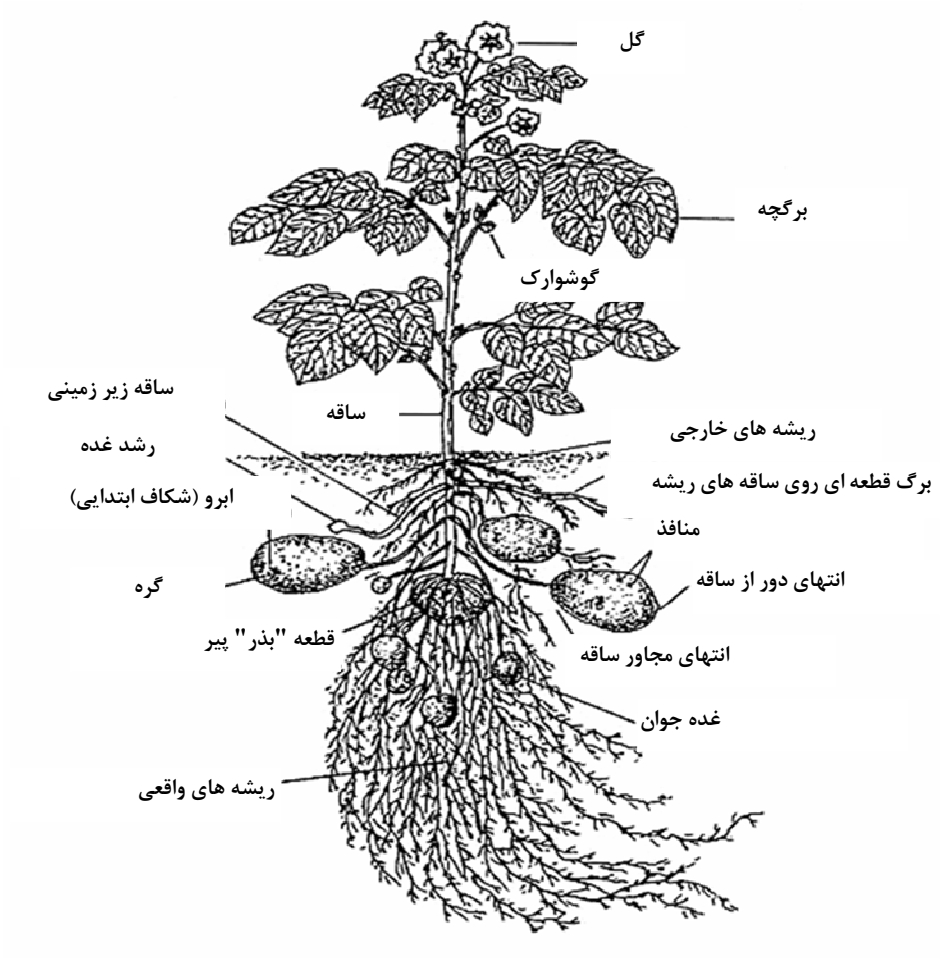


شکل ۲ـ ساختار فضایی مولکول آمیلوز [۱۲]



شکل ۳ـ ساختار فضایی مولکول آمیلوپکتین [۱۲]

شکل ۴ـ غده و گیاه سیب زمینی [۱۳]



شکل ۵ـ بخش های مختلف گیاه سیب زمینی [۱۳]

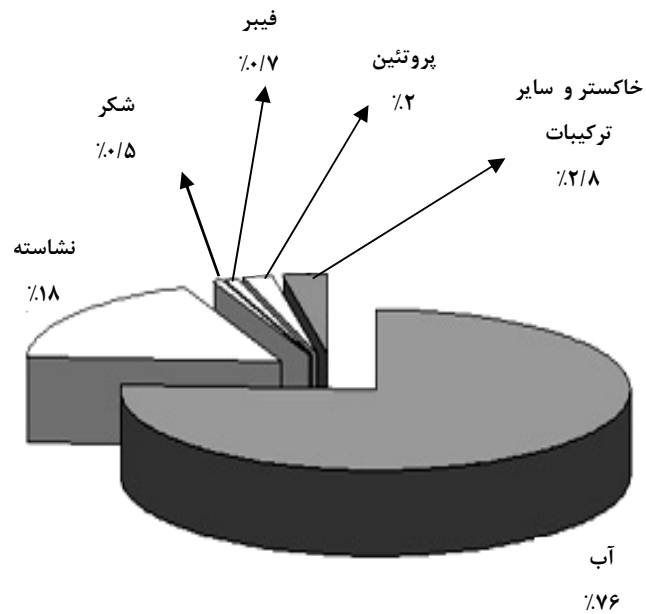
سرجان ملکم سفیر دولت بریتانیا در ایران بین سال‌های ۱۸۰۰ تا ۱۸۱۰ میلادی، در زمان فتحعلی شاه قاجار، مقداری بذر سیب زمینی به دربار شاه ایران هدیه کرد. این سیب زمینی‌ها ابتدا در روستای پشند در اطراف تهران و سپس در فریدن اصفهان و بعد به تدریج در سایر نقاط کشور کاشته شد. در حال حاضر، سه ناحیه عمده تولید سیب زمینی در کشور عبارتند از:

۱. منطقه البرز از آذربایجان شرقی در شمال غربی تا خراسان در شمال شرقی: از اردبیل، زنجان و گرگان می‌توان به عنوان مراکز عمده تولید سیب زمینی در این منطقه نام برد.
۲. منطقه زاگرس: از همدان، اراک و فریدن اصفهان می‌توان به عنوان تولیدکنندگان عمده سیب زمینی در این منطقه اسم برد.
۳. نواحی خشک و کم ارتفاع: فارس، هرمزگان، خوزستان و بخشی از سیستان و بلوچستان [۱۳]

مدت زمان رشد کامل سیب زمینی، یعنی از دوره بین بذر و محصول کامل از ۶۰ تا ۲۰۰ روز متفاوت است. پوست سیب زمینی می‌تواند زرد روشن، زرد، قرمز، ارغوانی و یا مخلوطی از اینها باشد. گوشت سیب‌زمینی می‌تواند به رنگ سفید، کرم و یا زرد باشد. در سال ۱۹۹۸ سیب زمینی صنعتی برای تولید نشاسته در ۷۰۰۰ هکتار کشت شده که به طور متوسط مقدار برداشت آن در هر هکتار ۳۵ تن بود. جدول (۲) سیب زمینی‌هایی را که دارای بیشترین کاربرد در صنعت نشاسته می‌باشند نشان می‌دهد. غده سیب زمینی به طور تقریبی شامل ۱۸ الی ۲۰ درصد نشاسته و ۷۵ درصد آب می‌باشد (شکل ۶).

جدول ۲ـ انواع سیب زمینی های مورد استفاده برای تولید نشاسته [۶]

تنوع	گونه[1] (نسل)	سر رسید (بلوغ)	اندازه غده	رنگ (پوست/مغز)
آمادو[2]	یوروپلنت[3]	دیر	متوسط	زرد/سفید
کالا[4]	یوروپلنت	تقریبا زود[5]	متوسط	زرد/کرم
سیرز[6]	یوروپلنت	تقریبا زود	متوسط	زرد/سفید
هرمیز[7]	نوس[8]	تقریبا زود	متوسط	زرد/زرد
کامت[9]	نوس	تقریبا زود	متوسط	زرد/کرم
کیوراس[10]	آگریکو[10]	خیلی دیر	متوسط	زرد/سفید
مرکیور[12]	نوس	دیر	متوسط	زرد/کرم
پلوتو[13]	نوس	تقریبا زود	بزرگ	زرد/روشن
پانتیو[14]	یوروپلنت	تقریبا زود	متوسط	زرد/روشن
تومنسا[15]	یوروپلنت	تقریبا زود	متوسط	زرد/روشن
زنیت[16]	نوس	تقریبا زود	بزرگ	زرد/روشن



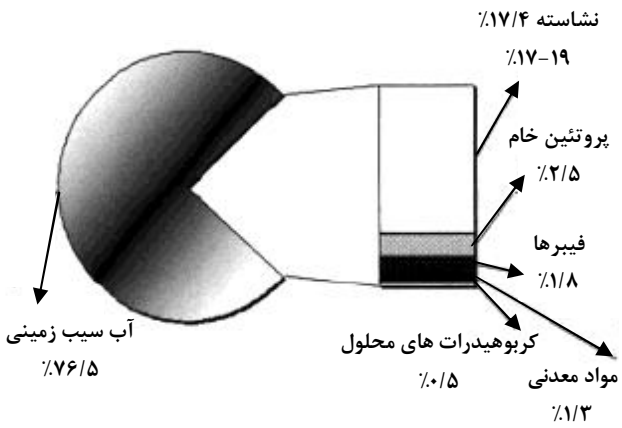
شکل ۶ـ ترکیب سیب زمینی [۱۴]

1. Breeder
2. Amado
3. Europlant (D)
4. Calla
5. Middle-early
6. Ceres
7. Hermes
8. NOS (A)
9. Komet
10. Kuras
11. Agrico (NL)
12. Merkur
13. Pluto
14. Ponto
15. Tomensa
16. Zenith

در حالت کلی، ترکیب سیب زمینی‌ها متفاوت بوده و بیشتر تابع شرایط خارجی مانند آب و هوا، خاک، نوع کود شیمیایی مورد استفاده، دما، رطوبت خاک، نور، فصل رشد، باد، رطوبت هوا و سایر عوامل می‌باشد. ضمناً در زمان انبار کردن، ترکیب غده سیب زمینی‌های رسیده[1] عموماً تغییر می‌کند. معمولاً نشاسته حدود ۷۵ درصد به صورت ماده خشک در سیب زمینی وجود دارد. در طی تشکیل غده‌ها، گرانول نشاسته در سلول‌های غده شکل می‌گیرد. اندازه گرانول‌های نشاسته بین ۱۰ تا ۱۰۰ میکرومتر می‌باشد. گرانول‌های نشاسته برای ذخیره‌سازی کربوهیدرات‌ها و تأمین منبع انرژی در مراحل اولیه توسعه بذر اهمیت حیاتی دارد. در کنار نشاسته، سایر پلی ساکاریدها شبیه سلولز، همی سلولز[2]، پنتوسنز[3] و پکتین[4] در غده موجود می‌باشند. علاوه بر این، سیب زمینی شامل موادی همچون شکر، شبیه گلوکز، فرکتوز[5] و ساکاروز[6] و ویتامین‌های C، B1، B2، نیاسین[7] و بایوتین[8] و سایر مواد مغذی معدنی مانند پتاسیم و فسفات‌ها می‌باشد [۱۳].

۵ـ فرآوری نشاسته از سیب زمینی

فرایند نشاسته سیب زمینی یک فرایند کاملاً تر است و شامل تفکیک غده به خمیر و جداسازی آن به نشاسته، فیبر و آب میوه[9] می‌باشد (شکل ۷). فرایند استخراج نشاسته سیب زمینی در شکل‌های (۸) و (۹) آمده است. به منظور دستیابی به نشاسته، با توجه به ساختمان و بافت متراکم سیب زمینی، نشاسته محتوی به وسیله نیروهای مکانیکی مانند برش‌زنی[10] جدا می‌شود. سلول‌های نشاسته به طور کلی به صورت متراکم با گرانول‌های نشاسته پر شده است. برای دستیابی به راندمان اقتصادی مناسب لازم است که بافت سیب زمینی کاملاً از هم گسیخته شده و تمام سلول‌ها برای رسیدن به محصول ماکزیمم باز شوند. در هر حال، در این بخش، مشکلاتی از جمله زیاد بودن مقدار آب (۸۰-۷۵ درصد)، تمایل پروتئین‌های سیب زمینی به کف کردن در دوغاب، و حضور آنها به عنوان یک منبع آلی در تجزیه میکروبی قابل ذکر است.



شکل ۷ـ ترکیب نشاسته سیب‌زمینی [۱۴]

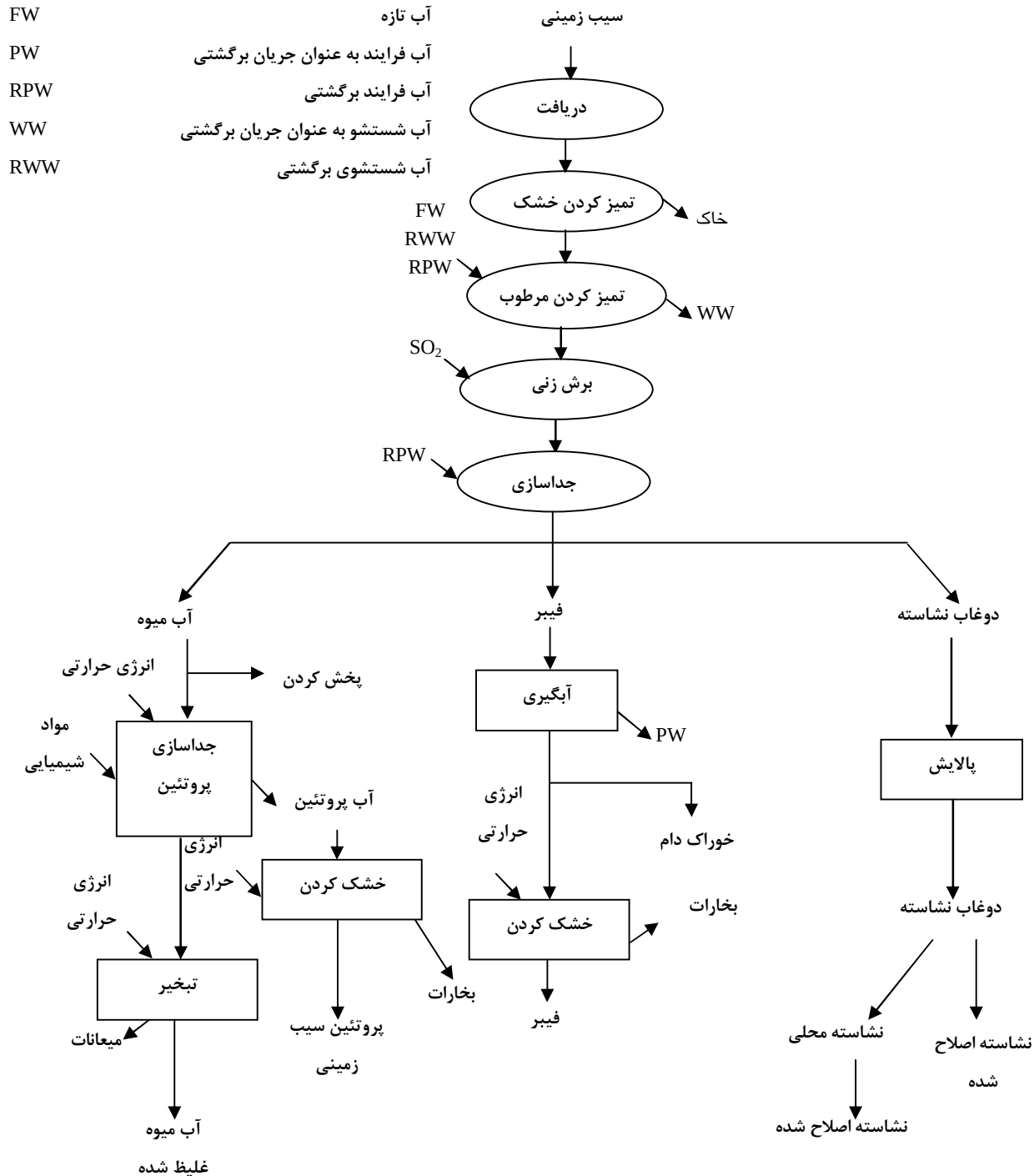
سیب‌زمینی‌ها، بعد از آن که مواد خارجی از آنها گرفته شده و با فشار آب شسته شدند، برش‌زنی می‌شوند. بسته به تکنولوژی به کار گرفته شده آبمیوه جدا شده و تغلیظ می‌شود (که بیش از ۷۰٪ پروتئین را همراه دارد) تا در مراحل بعدی، پروتئین آن گرفته شود. در مرحله بعد نشاسته در نازل‌های استخراج‌کننده[11] که در انواع مختلفی هستند، شسته می‌شود. در این قسمت، غربال‌های صفحه‌ای روی راندمان تأثیر دارند. بعد از گرفتن ماسه‌ها، شیر نشاسته خام[12] به وسیله شستشوی نا همسو با آب بدون املاح معدنی شسته شده و سپس آبگیری[13] و خشک می‌شود [۱۴]. در خط تولید نشاسته بخش‌های مختلفی به شرح زیر وجود دارد.

۵-۱- تحویل[14] و نمونه‌گیری[15]

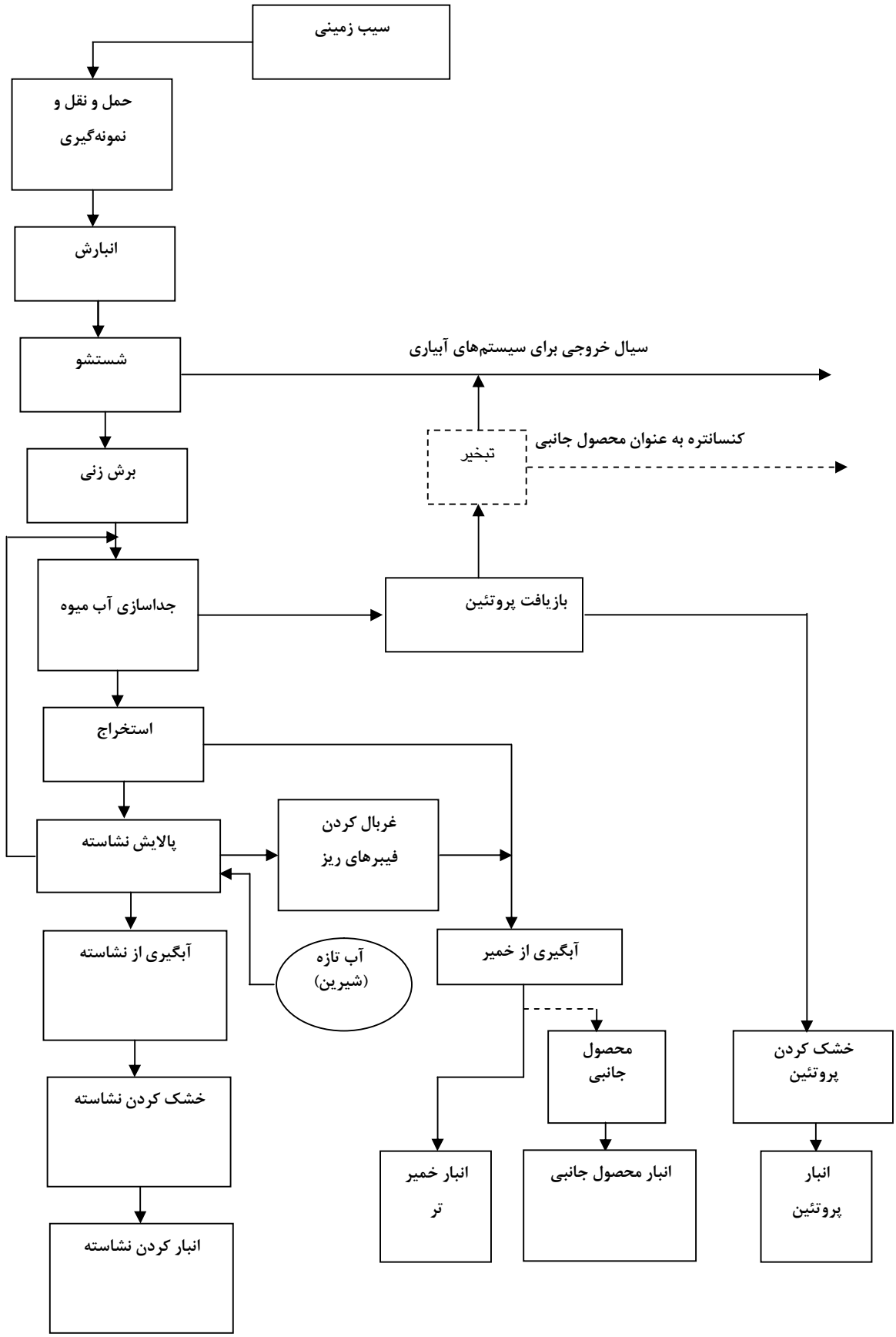
صدمه دیدن سیب‌زمینی‌ها در طول نقل و انتقال باعث پایین آمدن کیفیت نشاسته می‌شود. هر قسمت از سیب‌زمینی‌ها که صدمه می‌بیند باعث از دست رفتن نشاسته می‌گردد. در طول خالی شدن بار در کارخانه، آسیب دیدن سیب‌زمینی‌ها به وسیله حمل با کارتون لاستیکی، کاهش می‌یابد. هنگامی که سیب‌زمینی‌ها وارد کارخانه

1. Mature Tubers
2. Hemicellulose
3. Pentosane
4. Pectin
5. Fructose
6. Sucrose
7. Niacin
8. Biotin
9. Fruit Juice
10. Rasping
11. Extractor Jet
12. Crude Starch Milk
13. De-Watering
14. Delivery
15. Sampling

می‌شوند، ابتدا وزن شده و سپس بـه وسـیله سیـستم‌هـای اتوماتیـک، اندازه نمونه آنها اندازه‌گیری می‌شود، تـا کیفیـت آنهـا ارزیـابی گـردد. ارزیابی کیفیت با مشخص کـردن محتویـات نـشاسته بـه وسـیله وزن کـردن زیـر آب، تخمینـی از کثیفـی‌هـای بـار و مـشخص کـردن ناخالصی‌های دیگر مثل سنگ، خشت، ذغال، تکـه‌هـای چـوب و غیـره می‌باشد. برای تعیین کیفیت غده سیب زمینی مـی‌تـوان از روش‌هـای اسپکتروسکوپی نیز استفاده نمود [۱۵]. برای تعیـین کیفیـت داخلـی معمـولاً مقـدار خرابـی، توخـالی بـودن و سـبز بـودن سـیب زمینـی اندازه‌گیری می‌شود. کارخانه‌های نشاسته معمولاً سیب‌زمینـی‌هـا را از کشاورزانی که ذخیـره خـارج از انبـار کمـی دارنـد، و بنـابراین تلفـات کمتری از سیب‌زمینی قبل از فرایند دارند، خریداری می‌کنند.



شکل ۸ـ نمایی از فرایند جداسازی نشاسته از سیب زمینی [۵]



شکل ۹ـ نمایی از فرایند جداسازی نشاسته از سیب زمینی [۱۴]

۵-۲- تخلیه[1]، انتقال[2] و شستن[3]

بعد از تعیین کیفیت، سیب‌زمینی‌ها تخلیه و به انبار تحویل می‌گردند. انبار سیب زمینی باید سرد، خنک و تاریک باشد. در انبار کردن سیب‌زمینی‌ها، ایده‌آل‌ترین حالت وقتی است که قسمت زیرین آنها هر روز صبح برداشته شود؛ زیرا در طول ذخیره شدن طولانی و بدون وجود تهویه خراب می‌شوند. ظرفیت‌های ذخیره شده به طور معمول طی دو تا سه روز به محصولات تبدیل می‌شوند. سیب‌زمینی‌ها به طرق مختلفی از جمله به وسیله حرکت در مجرای آب[4] و یا توسط نوارنقاله حمل می‌شوند. روش اخیر، باعث می‌شود سنگ‌ها از طریق تله‌های دو مرحله‌ای گرفته شده و ناخالصی‌های شناور از قبیل کک، ضایعات، سیب‌زمینی‌های توخالی، کاه و غیره نیز هر کدام به وسیله یک دستگاه مخصوص گرفته شوند [۵]. در سیستم‌های انتقال یک شستشوی اولیه انجام می‌شود و از جریان فاضلاب که دارای مقدار زیادی اشغال می‌باشد مجدداً استفاده می‌شود. البته فاضلاب مزبور برای استفاده در مرحله بعد رسوبگیری و تصفیه می‌شود. هر کارخانه برای شستشوی سیب‌زمینی‌ها با توجه به نیازهای محلی که بستگی به کیفیت خاک منطقه محصول دارد، واحدهای شستشوی متفاوتی را نصب می‌کند. هنگامی که خاک منطقه شنی باشد، فرایند شستشو عملیات کمتری احتیاج دارد. خاک‌هایی که آمیخته با خاک رس، شن و مواد گیاهی هستند، به سیستم شستشوی پیچیده‌تری نظیر استفاده از شستشودهنده‌های استوانه‌ای دوار[5] با قسمت‌های جداکننده نیاز دارند. آب شستشو به طور ناهمسو به سمت جریان سیب‌زمینی نیرو وارد می‌کند. این روش در شستن سیب‌زمینی‌ها باعث کاهش جریان آب تلف شده و استفاده بهینه از آب می‌شود. با افزایش فشار، مقدار آب لازم برای شستشو به $0/3-0/5\ m^3/t$ کاهش می‌یابد. البته برای سیستم‌های شستشوی قدیمی این حجم تا مقدار $2-3\ m^3/t$ گزارش شده است. جریان‌های تلف شده آب که شامل خاک، پوست‌های کنده‌شده، تکه‌های سیب‌زمینی و جوانه‌ها می‌باشد، با جریان‌های آب مجراها ترکیب شده و به وسیله ته‌نشینی آن را تمیز می‌کنند. این جریان آب یا به سیستم شستشو می‌رود و یا بعد از خالص‌سازی به سیستم‌های فاضلاب فرستاده می‌شود [۱۴, ۱۶].

۵-۳- برش‌زنی[6]

در شروع استخراج نشاسته سیب‌زمینی، بافت سیب‌زمینی با دقت کنار گذاشته می‌شود تا به ماکزیمم بافت سلولی آن رسیده، دسترسی به نشاسته را امکان‌پذیر کند. کارآمدترین روش استفاده از دستگاه برش‌زن[7] است. در برش‌زن سیب‌زمینی‌ها کاملاً برش زده شده و دوغابی[8] تشکیل می‌شود که شامل مخلوطی از فیبر[9]، آبمیوه و نشاسته می‌باشد. در صورت استفاده از برش‌زن‌های مدرن با سرعت بالا، فقط استفاده از یک مرحله برش‌زنی کافی می‌باشد. کارآمدترین روش استفاده از یک برش‌زن با دندانه اره‌ای است که به تیغه اره‌ای وصل شده و در پیرامون یک سیلندر چرخان استیلی نصب شده است. برش‌زنی سیب‌زمینی در پیرامون بین تیغه‌های برش و قاب برش انجام می‌گیرد. باید از برش‌زنی زیاد از حد اجتناب شود؛ زیرا در غیر این صورت، مواد دیواره‌های سلول تخریب و باعث بروز مشکلاتی در فرایندهای متوالی غربال خواهند شد. قسمت آبمیوه دوغاب، غنی از شکر و پروتئین است. هنگامی که سلول را باز می‌کنیم، آبمیوه فوراً با هوا برخورد کرده و با اکسیژن واکنش نشان داده و رنگ آن تغییر می‌کند. برای جلوگیری از اکسایش و تغییر رنگ سیب‌زمینی‌های برش‌زده شده، در طول عملیات برش‌زنی، دی اکسید سولفور و یا سدیم هیدروژن سولفیت اضافه می‌شود (چگالی: $1/35\ g/cm^3$، مقدار استفاده: ۶۰۰-۵۰۰ گرم به ازاء یک تن سیب‌زمینی که معادل ۱۲۰ تا ۱۴۴ گرم دی اکسید سولفور است) [۵, ۱۴].

سیستم‌های برش‌زن مدرن شبیه سیستم نیووبوا آلترا[10] و یا هووکس آلترا[11]، با قابلیت جایگزینی سریع برای تیغه‌ها و برش‌زنی مؤثر، از ظرفیت بسیار بالایی برخوردار هستند. این سیستم باعث محدود کردن مقدار نشاسته چسبیده به شبکه آهنی تا ۳۰-۲۵ درصد می‌شود، و مقدار محصول معمولاً در گستره $20-30\ t/h$ قرار دارد. برای حصول اطمینان، سطحی که با محصول در ارتباط است، باید از جنس فولاد زنگ‌نزن[12] باشد. مزیت‌های دیگر یک سیستم مدرن، شامل اکسید نشدن شبکه آهنی (برای بازیافت پروتئین با کیفیت بالا)، استفاده نکردن از دی‌اکسید سولفور، ظرفیت بالاتر و تولید صدای کمتر می‌باشد.

1. Unloading
2. Conveying
3. Washing
4. Flume
5. Rotary Drum

6. Rasping (Grating)
7. Rasper
8. Slurry
9. Fiber
10. NIVOBA B.V, Veendam, Holland
11. HOVEX Engineering B.V., Veendam, Holland
12. Stainless Steel

۵-۴- جداسازی آب میوه[1]

جداسازی سریع آبمیوه سیب‌زمینی شرط لازم برای کیفیت بالای محصولات نشاسته می‌باشد. برای این کار از جداکننده‌های دوفازی[2] که به صورت سانتریفیوژهای افقی می‌باشند و باعث صاف شدن پیوسته مایعاتی که همراه با مقدار زیادی جامد وارد می‌شوند، استفاده می‌شود. مقدار آبمیوه جدا شده و مقدار ماده خشک آن، برای کاهش مصرف آب تازه در تصفیه نشاسته و برای جبران کردن فرایند رژیم آب، بسیار مهم می‌باشد. غلظت پروتئین در جریان آبمیوه که برای بازیافت پروتئین استفاده می‌شود، بسیار مهم می‌باشد. با استفاده از سیستم جداسازی یک مرحله‌ای، مقدار جداسازی آبمیوه غلیظ تقریباً ۶۵٪ است. اگر در جداسازی، از آب بازگشت داده شده از فرایند تصفیه نشاسته که در مرحله بعد می‌باشد، برای رقیق کردن سیب‌زمینی برش‌زده شده استفاده شود تا جداسازی آبمیوه انجام گیرد، مقدار جداسازی می‌تواند به ۹۵٪ افزایش یابد. با توجه به مقدار جداسازی بالا، عمدتاً این روش ترجیح داده می‌شود. در حقیقت مقدار آبمیوه جدا شده، به مقدار آب فرایند و تعادل آب کلی بستگی دارد.

روش دیگر برای جداسازی آبمیوه، سیستم جداسازی دو مرحله‌ای است. محصول غلیظ به دست آمده از اولین جداکننده، قبل از ورود به مرحله دوم با آب رقیق می‌شود. فاز رقیق و سبک به دست آمده از جداکننده دوم برای رقیق کردن ماده برش‌زده شده سیب‌زمینی، استفاده می‌شود. با به کار بردن این روش و همچنین بر اساس مقدار آب فرایند، می‌توان به جداسازی ۹۲٪ رسید. تگ[3] بازیافت پروتئینی برابر با ۹۰-۸۵٪ برای فرایند دومرحله‌ای ذکر می‌کند. هر چند این روش احتیاج به سرمایه ثابت و هزینه‌های نگهداری بالاتری دارد؛ ولی جداسازی سریع آبمیوه باعث می‌شود تا آب تازه لازم برای استخراج بعدی و تصفیه تا ۰/۴-۰/۵ m^3/t کاهش یابد.

۵-۵- استخراج فیبر[4]

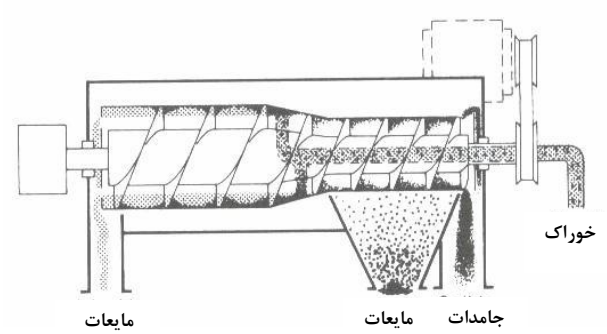
به دنبال جداسازی آبمیوه و اضافه کردن جریان جانبی از جریان آب فرایندی به طور ناهمسو، نشاسته موجود در فیبرها توسط سانتریفیوژهای غربالی[5]، نازل‌های جداکننده[6] و یا الک‌های متقارن[7] استخراج می‌شود و مواد جامد جدا شده از انتهای جداکننده خارج می‌شوند (شکل ۱۰). یک انتقال‌دهنده مارپیچی در داخل قسمت غربالی، امتداد پیدا کرده است و جامدهایی که از کناره غربال بالا می‌آیند را انتقال می‌دهد. زمان باقی ماندن جامدها بر روی غربال می‌تواند از ده ثانیه تجاوز نماید [۱۷]. سانتریفیوژهای غربالی شامل یک سطح استوانه‌ای سوراخ‌دار می‌باشند. این سیستم‌ها به صورت واحدهای بسته چهار تا پنج مرحله‌ای الک با قطر سوراخ ۸۵۰mm می‌باشند. صفحه‌های غربالی چرخان، یا به وسیله لیزر[8] به صورت صفحه‌های سوراخ‌دار، با ضخامت صفحه ۰/۱mm تولید می‌شود و یا به طور مکانیکی روزنه‌های کوچکی در صفحه‌های توری شکل ایجاد می‌کنند. ضخامت صفحات ۰/۳۵mm می‌باشد. انواع مختلف غربال‌ها، مطابق با تعداد روزنه‌های سطح استاندارد، سطح ویژه‌ای را خواهند داشت. غربال‌هایی که به صورت لیزری تولید شده‌اند، کارایی بالاتری دارند. برای استخراج نشاسته، غربال‌هایی با قطر روزنه ۱۲۵ µm استفاده می‌شود و برای جدا کردن ذرات فیبر، غربال‌هایی با قطر روزنه ۶۰-۸۰µm لازم است. زمان استفاده از این صفحه‌های استوانه‌ای غربالی به جنس آنها بستگی دارد. با استفاده از یک سیکلون[9] برای گرفتن ماسه، قبل از استخراج نشاسته، می‌توان این زمان را افزایش داد. به طورکلی، در دستگاه‌های مدرن نشاسته سیب‌زمینی، به طور مینیمم ۹۵٪ نشاسته استخراج می‌شود [۱۷]. اما استفاده از یک مهندسی بهینه، مقدار بازیافت نشاسته‌ای در حدود ۹۸-۹۷٪ را موجب می‌شود. ظرفیت واحد سانتریفیوژ غربالی چهارمرحله‌ای، با قطر روزنه ۸۵۰mm، ۳۰t/h می‌باشد. با استفاده از صفحه‌های موازی در هر مرحله، می‌توان ظرفیت را افزایش داد، که این خود باعث مصرف کمتر انرژی و انعطاف‌پذیری بیشتر می‌شود.

۵-۶- ماسه‌گیری[10] و تصفیه[11]

معمولاً جریان‌های دوغاب نشاسته دارای ناخالصی‌های غیرآلی، مثل شن و ماسه هستند که از روی سطح سیب‌زمینی‌ها شسته شده‌اند. برای اجتناب از تأثیر ساییدگی این مواد بیگانه، در سرعت بالای

1. Fruit Juice Separation
2. Decantor
3. Tegge
4. Fiber Extraction
5. Screen Centrifuge
6. Jet Exactors
7. Centrisieves
8. Laser
9. Cyclone
10. De-Sanding
11. Refining

ماشین‌ها در تصفیه نشاسته، دوغاب نشاسته قبل از مرحله تصفیه از هیدروسیکلون‌هایی[1] برای گرفتن شن و ماسه عبور می‌کند. جریان‌های دوغاب نشاسته‌ای که شن و ماسه آنها گرفته شده، هنوز شامل ناخالصی‌های محلول (پروتئین و مواد یونی) و نامحلول (ذرات ریز فیبر) هستند که می‌بایست به وسیله چندین مرحله شستشو گرفته شده تا به درصد مورد نیاز برای پروتئین، مواد معدنی، دی‌اکسیدسولفور و دیگر موارد ذکر شده در جدول (۳) برای رسیدن به کیفیت مطلوب برسند [۱۶].



شکل ۱۰ـ سانتریفیوژ غربالی [۱۷]

جدول ۳ـ معیارهای کیفیت برای نشاسته سیب‌زمینی [۱۴]

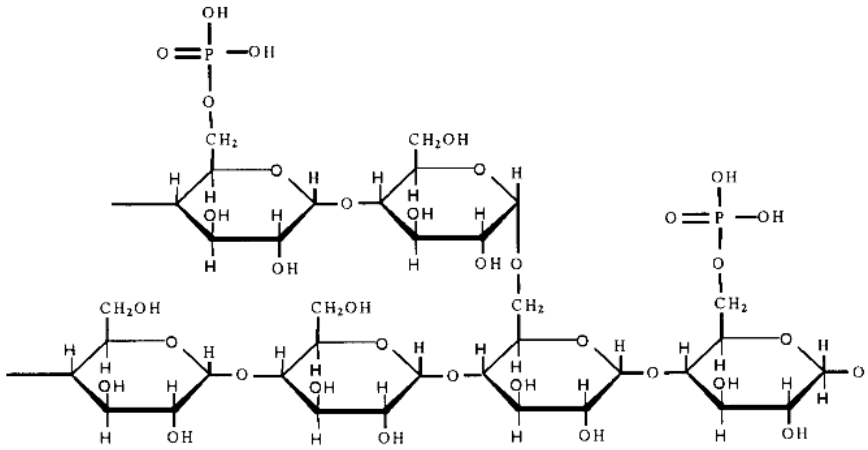
مشخصه	ملاک
رنگ	سفید
بو	خنثی
مزه	خنثی
درصد رطوبت	حداکثر ۲۱٪
درصد پروتئین خام	حداکثر ۰/۱٪ (۰/۱۳٪ d.b.)
درصد چربی	ناچیز
درصد مواد معدنی	حداکثر ۰/۵٪ (۰/۶۳٪ d.b.)
درصد دی اکسید گوگرد	حداکثر ۵۰ میلی گرم در کیلوگرم

1. Hydrocyclone

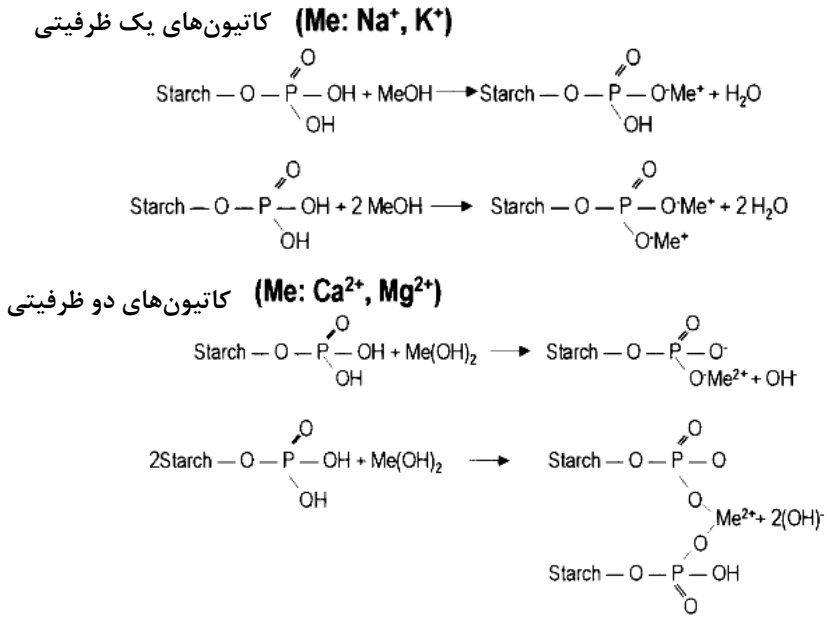
ویژگی‌های نشاسته سیب‌زمینی به مبادله یونی بین گروه‌های فسفات‌استر[2] قسمت آمیلوپکتین (شکل ۱۱) با کاتیون‌های دو ظرفیتی[3] (Mg^{2+} و Ca^{2+}) و کاتیون‌های یک ظرفیتی[4] (غالباً K^+) بستگی دارد، و کاتیون‌های دو ظرفیتی نباید جایگزین کاتیون‌های یک ظرفیتی در این مولکول‌ها شوند (شکل ۱۲). به طور متوسط، نشاسته سیب‌زمینی شامل ۰/۷۹ گرم فسفر[5] به ازای هر گیلوگرم نشاسته (از ۰/۴۳ تا ۱/۱۷ گرم برکیلوگرم متغیر است) در گروه‌های استرفسفات می‌باشد. برای جلوگیری از تأثیرات منفی کاتیون‌های دو ظرفیتی بر روی خواص نشاسته، یک جریان ناهمسوی آب تازه (غیر معدنی[6] و سبک[7]) در تصفیه استفاده می‌شود. تصفیه‌های مدرن با سانتریفیوژهای نازلی[8] (شکل ۱۳) و یا واحدهای هیدروسیکلون در چندین مرحله انجام می‌شود. استفاده از سانتریفیوژهای نازلی، مکانیک پیچیده دریچه تخلیه و قسمت انحنادار سانتریفیوژ برای تخلیه مواد جامد را می‌تواند با تخلیه جامدهای ته‌نشین شده به طور پیوسته از میان دریچه‌های نازل در محیط بیرونی پوسته انحنادار تقلیل دهد [۱۸،۱۴]. حل این قسمت با توجه به غلظت نشاسته بین ۴ الی ۱۱ مرحله متغیر می‌باشد. این واحدها با یک مرحله پیش تغلیظ آغاز می‌شوند. ناخالصی‌ها در جریان سرریز با غلظت مواد خشک ۲-۱ °Be´ سیستم را ترک کرده در حالی که نشاسته تصفیه شده با ماکزیمم غلظت ۱۹-۱۸ °Be´ خارج می‌شود. جریان سرریز بعد از این که ذرات فیبر آن به وسیله الک کردن برای تولید خمیر[9] جدا شد، به مراحل قبلی برگشت داده می‌شود. یک ایده جدید در تصفیه دوغاب نشاسته (شیر نشاسته خام) که جایگزین واحدهای هیدروسیکلون و یا نازل‌های جداکننده دوفازی (که برای جدا کردن پروتئین، مواد معدنی، فیبرها و نشاسته به طور موفقیت‌آمیزی استفاده می‌شد) شده است، استفاده از جداکننده نازلی سه فازی[10] می‌باشد (شکل ۱۴). نازل‌های جداکننده سه فازی با واحد تهیه آب شستشو تجهیز می‌شوند، به طوری که آب مستقیماً به منطقه تغلیظ در جلوی ورودی نازل وارد می‌شود. آب تازه

2. Ester Phosphate
3. Divalent Cations
4. Monovalent Cations
5. Phosphorus
6. Demineralised
7. Softened
8. Nozzle Centrifuge
9.Pulp
10. Three-Phase Nozzle Separator

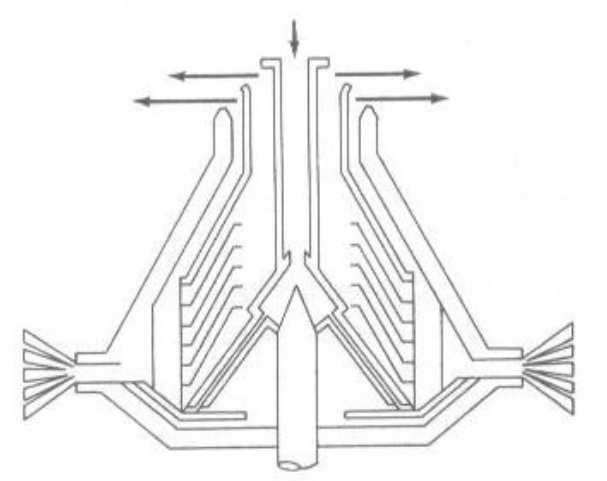
با کیفیت بالا و یا آب فرایندی به عنوان آب شستشو اضـافه مـی‌شـود. جداسازی سه فازی که با یک واحد شستشوی جانشینی ترکیب شـده است، به ما اجازه می‌دهد یک طراحی فرایند بهینه با کاهش در مراحل فرایند، انرژی و آب تازه داشته باشیم.



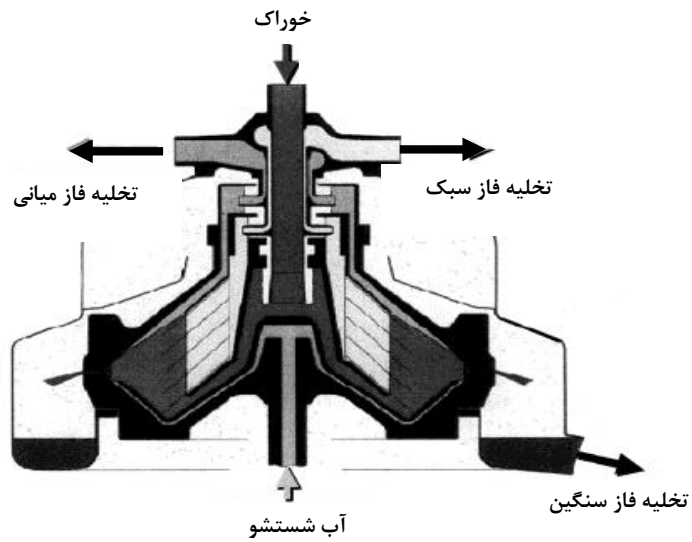
شکل ۱۱ـ گروه‌های استر فسفات در آمیلوپکتین [۱۴]



شکل ۱۲ـ واکنش بین گروه‌های استرفسفات آمیلوپکتین با کاتیون‌های یک و دو ظرفیتی [۱۴]



شکل ۱۳ـ سانتریفیوژ نازل [۱۷]



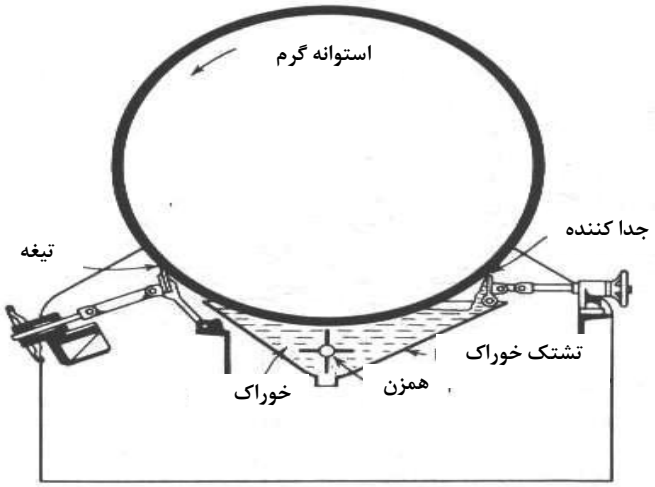
شکل ۱۴ـ جداکننده سه فازی جهت بهبود سیستم تصفیه نشاسته [۱۴]

مزیت اصلی جداکننده‌های سه فازی، جداسازی پیوسته و ناهمسو ذرات فیبر و گرانول‌های ریز نشاسته از طریق فاز میانی جداکننده‌های متوالی است. ذرات فیبر و گرانول‌های کوچک پی‌درپی به الک‌های جداسازی می‌روند. در واحدهای با ظرفیت زیاد، این فاز در یک جداکننده بازیافتی سه فازی وارد می‌شود. نازل محصولی را که بیشتر آن شامل گرانول‌های کوچک نشاسته بازیافت شده در غلظت ۲۱°Be´ است تغلیظ می‌کند و به قسمت شستشوی نشاسته برمی‌گرداند. فاز میانی جداکننده بازیافتی به یک الک دو مرحله‌ای برای جداسازی ذرات فیبر راهنمایی می‌شود. تا زمانی که محتویات فیبر نشاسته نهایی به وسیله الک‌ها تحت تأثیر قرار می‌گیرد، فاز میانی در الک‌های سانتریفیوژی با مش ۸۰-۶۵ میکرومتر برای بردن تمام ذرات فیبر الک می‌شود. سوسپانسیون نشاسته الک نشده به قسمت شستشوی نشاسته برمی‌گردد. فاز سبک جداکننده بازیافتی به عنوان آب فرایندی استفاده می‌شود. در خط شستشوی نشاسته، شیر نشاسته خالص شده به

غلظت ´Be°۲۲-۲۱ می‌رسد. در اولین مرحله از پیش تغلیظ و خالص‌سازی به وسیله جداسازی سه فازی، می‌توان ۹۰٪ از ذرات فیبر را جدا کرد. مراحل به مقدار زیادی به تهیه آب تازه و شستشوی مطلوب بستگی دارند. به طور کلی اگر فرایند شامل پیش تغلیظ برای شستشوی اولیه باشد m^3 ۰/۴ آب تازه تهیه شده به ازاء هر تن سیب‌زمینی در چهار مرحله مناسب می‌باشد. در مرحله اول شیر نشاسته خالص‌سازی شده دارای غلظت ´Be°۲۳-۲۲ است و ذرات فیبر گرفته شده بیش از ۹۸٪ می‌باشند. فاز سبک از جداکننده‌های سه فازی متوالی، به عنوان خوراک آب شستشو برای جداکننده بعدی و انتقال ناخالصی به جداکننده مرحله اول می‌باشد. فاز سبک مرحله اول، به عنوان آب فرایندی برای قسمت قبلی فرایند، برای مثال، برای جداسازی آبمیوه و یا استخراج استفاده می‌شود [۱۴, ۱۶].

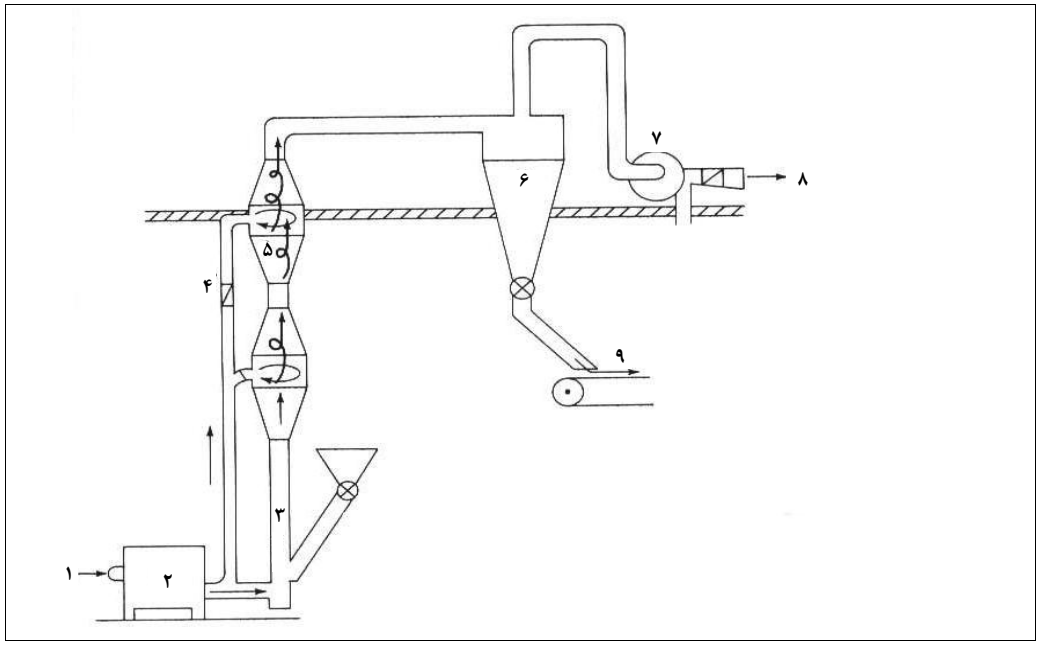
۵-۷- آبگیری[1] از نشاسته و خشک کردن[2]

برای آبگیری نشاسته از خشک‌کن‌های استوانه‌ای[3] (شکل ۱۵) استفاده می‌شود. در خشک‌کن‌های استوانه‌ای، یک استوانه گردان که از داخل آن بخار هوای داغ عبور می‌کند، به طور پیوسته در فضایی که شیر نشاسته در آن قرار دارد، فرو رفته و یک فیلم نازک از ماده بر روی سطح آن باقی می‌ماند. فیلم تشکیل شده به وسیله یک تیغه بزرگ (همانطور که در شکل نشان داده شده است) گرفته می‌شود. در حالی که استوانه حرکت می‌کند، رطوبت به وسیله گرمایی که از داخل استوانه دوار به سطح آن انتقال پیدا می‌کند، در هوای اطراف تبخیر می‌شود. در خشک‌کن‌های استوانه‌ای، انتقال حرارت هدایتی کنترل‌کننده می‌باشد. ابتدا محلول تا نقطه جوشش گرم می‌شود و سپس با جوشیدن در دمای ثابت، رطوبت آن بیرون کشیده می‌شود [۱۴,۱۸]. نشاسته سیب‌زمینی آبگیری شده در خشک‌کن‌های هوایی خشک می‌شود. در خشک‌کن‌های هوایی[4] (شکل ۱۶)، سرعت گاز در یک بستر سیال تا سرعت نهایی ذرات جامد افزایش پیدا می‌کند. ذرات جامد از بستر بالا رفته و به وسیله جریان گاز حمل می‌شوند. برای این کار ذرات ریز جامد، در یک جریان گاز داغ که سرعت آن ۲۵ m/s است، در زمانی در حد ثانیه پخش[5] می‌شود. این زمان کوتاه خشک کردن باعث می‌شود که فقط رطوبت سطح گرفته شود و این برای زمانی است که رطوبت داخلی در جامد مهم نباشد. در نهایت، نشاسته به رطوبت ۲۰٪ می‌رسد. بر اساس استانداردهای بین‌المللی، ماکزیمم مقدار رطوبت نشاسته سیب‌زمینی تجاری می‌تواند ۲۱٪ باشد. تشکیل قسمت‌های تجمع یافته در سیستم‌های خشک‌کن هوایی کم می‌باشد. این قسمت‌ها به وسیله الک کردن جدا شده و به قسمت بعد از برش‌زنی بازگردانده می‌شود.



شکل ۱۵ـ خشک کن استوانه‌ای [۱۸]

1. Dewatering
2. Drying
3. Drum Dryer
4. Flash Dryer
5. Disperse



شکل ۱۶ـ خشک‌کن هوایی (۱) ورودی هوای تازه (۲) گرم‌کننده هوا (۳) جریان اصلی هوای خشک (۴) هوای خشک معین (۵) خشک‌کن (۶) جداکننده (۷) فن اصلی (۸) دریچه تخلیه هوا (۹) انتقال محصول [۱۷]

۵-۸- آبگیری از خمیر

برای آبگیری از خمیر به دست آمده از قسمت تصفیه نشاسته، می‌توان از جداکننده‌هایی که می‌تواند ماده خشک را از ۵ تا ۱۸-۱۷ درصد افزایش دهد، استفاده کرد. در مقابل، الک‌های سانتریفیوژی، رطوبتی در حد ۱۵-۱۴ درصد و مقدار ماده خشک در حد ۸۶-۸۵ درصد تولید می‌کنند. همچنین فیلترهای پارچه‌ای فشاری نیز استفاده می‌شوند.

۵-۹- بازیافت پروتئین

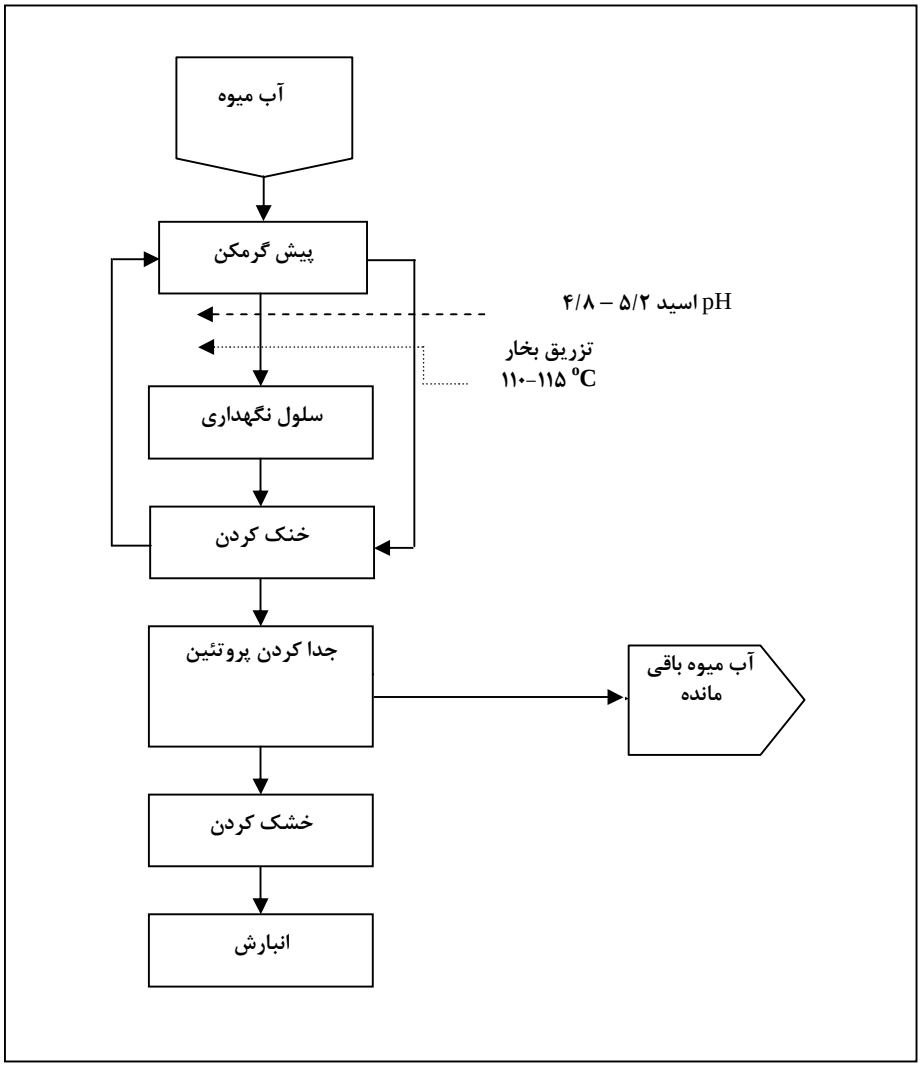
سیب‌زمینی‌های تازه دارای تقریباً ۲٪ پروتئین خام می‌باشند. این پروتئین‌ها به صورت محلول و از اجزای آبمیوه سیب‌زمینی هستند. تقریباً ۵۰٪ پروتئین که جزء مولکولی بالایی دارد می‌تواند به وسیله ته‌نشینی ایزوالکتریک و انعقاد گرمایی جدا شود. مقدار زیادی از فازهای مایع (آبمیوه سیب‌زمینی و آب فرایند) که در فرایند نشاسته سیب‌زمینی تولید می‌شوند، برای بازیافت پروتئین نیاز به محلول‌های ویژه‌ای دارند.

بر اساس مطالعات انجام شده و روش‌های عملیاتی، یک فرایند توسط صنعت جداسازی وست فالیا[1] ارائه شده است (شکل ۱۷). در این فرایند با استفاده از آبمیوه سیب‌زمینی رقیق نشده با غلظت ماده خشک ۵/۲-۴/۵٪ و یا آبمیوه رقیق شده با غلظت ماده خشک ۴٪، مقدار ته‌نشینی کمتر از ۰/۵٪ حجمی می‌باشد و یک بازیافت پروتئین ۸۵-۸۳٪ داریم. در مقابل آبمیوه‌ای که از استخراج ناهمسو نشاسته از دوغاب با مقدار ۹۰٪ در سیستم لارسون بازیافت می‌شود فقط دارای ۷۰٪ پروتئین است. این درصد پایین به دلیل وجود گرانول‌های کوچک نشاسته و ذرات فیبر به عنوان ناخالصی می‌باشد. اگر این ناخالصی‌ها بیشتر از ۱۰٪ حجمی باشند، می‌بایست آبمیوه را صاف نمود. با اضافه کردن پیوسته اسید (سولفورو[2]، سولفوریک[3] و یا هیدروکلرید[4]) مقدار pH محلول برای ته‌نشینی ایزوالکتریک[5] درمحدوده ۴/۸ تنظیم می‌شود. در حالی که در pH=۵/۲ بازیافت پروتئین بیشتر است. انعقاد گرمایی با تزریق بخار آغاز می‌شود و شامل یک شوک گرمایی در دمای ۱۲۰-۱۱۰°C می‌باشد. جداسازی و آبگیری از پروتئین به دست آمده به وسیله نازل‌های جداکننده انجام می‌شود که می‌توان به مقدار ماده خشک ۴۳-۳۸ درصد رسید. برای

1. Westfalia Separator Industry GmbH

2. Sulphurous
3. Sulphuric
4. Hydrochloric
5. Isoelectric

تولید پروتئین سیب‌زمینی خشک به وسیله خشک‌کن‌های هوایی باید از خشک‌کننده‌های حلقه‌ای[1] استفاده شود. پروتئین به دست آمده به طور کلی به غلظت ۹۰٪ می‌رسد. خشک‌کن حلقه‌ای یک نوع پیشرفته از خشک‌کن‌های هوایی می‌باشد. تفاوت اساسی بین خشک‌کن‌های فلش و خشک‌کن‌های حلقه‌ای، استفاده از چند طبقه سانتریفیوژ چند شاخه‌ای است. چند شاخه‌ای بودن سانتریفیوژ باعث طبقه‌بندی محصولاتی که خشک‌کن را ترک می‌کنند می‌شود. لوله چندشاخه‌ای از تأثیر نیروی گریز از مرکز یک جریان هوا که از کنار لوله عبور می‌کند، برای جمع کردن محصول در لایه در حال حرکت استفاده می‌کند به طوری که ماده غلیظ شده از پایین و ماده سبک از بالا خارج می‌شود. استفاده از لوله‌های چند شاخه‌ای، تیغه‌های جداکننده قابل تنظیم را قادر می‌سازد تا مواد مرطوب‌تر و سنگین‌تر را جدا کرده و برای چرخش بیشتر و خشک شدن باز گرداند. همچنین مواد خشک می‌توانند خشک‌کن را با جریان هوا ترک کرده و به سیستم جمع‌آوری محصولات بروند [۱۴,۱۹]. در رابطه با کاربردهای بعدی، ذکر وجود آلکالوئیدهای سیب‌زمینی در پروتئین جدا شده ضروری است. گلیکوآلکالوئیدهای[2] شناخته شده مثل سولانین‌ها[3] و کاکونین‌ها[4] در طول بازیافت پروتئین ته‌نشین می‌شوند.



شکل ۱۷ـ نمای بازیافت پروتئین از آب میوه سیب زمینی [۲۱]

1. Ring Dryer

2. Glycoalkaloids
3. Solanines
4. Chaconines

اگر چه فرایند وست فالیا برای بازیافت پروتئین، یک کاهش مؤثر در ماده آلی موجود در فاضلاب را نتیجه می‌دهد؛ ولی مقدار قابل توجهی ترکیبات مولکولی به خصوص ترکیبات نیتروژن‌دار مثل آمینواسیدها، اسیدهای آلی و شکرها و همچنین مواد معدنی در آن باقی می‌ماند. با توجه به آئین‌نامه قانونی که آبیاری زمین‌های قابل زراعت به وسیله آبمیوه سیب‌زمینی فاقد پروتئین را محدود کرده است، این جریان‌ها غالباً توسط فرایند تبخیر تغلیظ شده و به یک کود قابل قبول که منبع نیتروژن، فسفر و پتاسیم می‌باشد، تبدیل می‌شود. با توجه به گزارشات اخیر در تست فیلتراسیون غشایی برای تغلیظ جریان‌های پروتئین، استفاده از آلترا فیلتراسیون تکنیک مناسبی به نظر می‌رسد. اما به دلیل تمایل فرایند به کف کردن و در نتیجه ایجاد کیک، این فرایند با استقبال مواجه نگردید. از طرفی استفاده از اسمز معکوس[1] یک روش مطمئن و کارا گزارش شده است [۲۰]. این روش به انرژی پایینی در تولید پروتئین نیاز دارد، بازیافت پروتئینی آن بیشتر بوده و مقدار آبمیوه‌ای که برای آبیاری باقی می‌ماند را کاهش می‌دهد. فرایند وست فالیا یک سیستم پیچیده جهت استفاده از تلفات مایع محصول نشاسته سیب‌زمینی می‌باشد. در این سیستم از تجهیزات اسمز معکوس همراه با لوله‌هایی از نوع استات سلولز (سطح کل غشاء m^2 ۴۵۶) استفاده شده است. استفاده از روش اسمز معکوس برای آبمیوه سیب‌زمینی، غلظت پروتئین را تا ۹/۵ درصد کاهش می‌دهد. پروتئین سیب‌زمینی بعد از ته‌نشینی ایزوالکتریکی و دادن گرما جدا شده و آبمیوه باقی مانده پس از ترکیب با آبمیوه سیب‌زمینی رقیق فرآوری شده، توسط فرایند تبخیر تغلیظ می‌شود.

۶ـ آزمایش‌های لازم بر روی نشاسته مورد استفاده در گل حفاری

بعد از تولید نشاسته سیب‌زمینی، جهت کنترل کیفیت آن و همچنین حصول اطمینان از ویژگی‌های مطلوب نشاسته تولیدی برای استفاده در گل حفاری، آزمایش‌هایی انجام می‌گیرد. این آزمایش‌ها شامل اندازه‌گیری pH و رطوبت نشاسته، به وسیله دستگاه pH متر و رطوبت سنج و همچنین آزمایش گل حفاری می‌باشد. در آزمایش گل حفاری، ابتدا با استفاده از نشاسته تولید شده مقداری گل حفاری درست کرده و سپس شرایط چاه‌های نفت را برای آن به وجود می‌آورند. آنگاه خواص رئولوژیکی گل را اندازه گرفته و بررسی می‌کنند که آیا نشاسته تولید شده خواص خود را در آن شرایط حفظ خواهد کرد یا خیر؟ این آزمایش طبق استاندارد جهانی ای.پی.آی[2] صورت می‌پذیرد [۲۱].

۷ـ نتیجه‌گیری

با توجه به قیمت مناسب، نبود مشکلات محیط زیستی و در دسترس بودن، کاربرد نشاسته و مشتقات آن در صنعت نفت روز به روز در حال گسترش است. کاربردهای مخصوص نشاسته و مشتقات آن بستگی به حلالیت، وزن مولکولی، نوع و تعداد گروه‌های موجود در زنجیر اصلی نشاسته دارد. همچنین شرایط مخزن نفتی شامل دما، میزان نمک، سختی و pH آب مخزن در کارایی نشاسته و تخریب مولکول آن تأثیر دارد.

استفاده از تجهیزات جداسازی مدرن در جداسازی پروتئین و فیبرها می‌تواند از هر دو منظر اقتصادی و کیفیت نشاسته مؤثر باشد. همچنین دستگاه‌های جداسازی مزبور می‌توانند میزان آب مورد نیاز فرایند را کاهش دهند. البته ناگفته نماند که بزرگترین هدف از جداسازی پروتئین، مرتفع نمودن مسائل زیست محیطی می‌باشد. با توجه به موارد متعدد کاربرد نشاسته و محصولات جانبی آن در صنایع کشور و بخصوص صنایع نفت و گاز، بومی کردن صنعت تولید نشاسته از محصولات کشاورزی یکی از اقدامات ستودنی در راستای گسترش صنایع فرایندی کشور محسوب می‌شود.

1. Reverse Osmosis

2. API

مراجع

[1] Zhang, Li-Ming, "A Review of Starches and Their Derivatives for Oilfield Applications in China", Starch/Starke 53, p. 401-407, (2001).

[2] Gelfgat, Ya. A., M. Y. Gelfgat and Y. S. Lopatin, "Advanced Drilling Solutions", Lessons from the FSU, Volume I, Tulsa, Oklahoma, (2003).

[3] Darley, H.C.H. and G. R. Gray, "Composition and Properties of Drilling and Completion Fluids", 5th Edition, Gulf Publishing Company, Houston, (1988).

[4] ASME Shale Shaker Committee, "Drilling Fluids Processing Handbook", Elsevier, (2004).

[5] European Commission, "Integrated Pollution Prevention and Control: Draft Reference Document on Best Available Techniques in the Food, Drink and Milk Industry" Directorate-General JRC Joint Research Centre, Institute for Prospective Technological Studies (Seville), Draft May (2003).

[6] Stojanovic, Z., K. Jeremic and S. Jovanovic, “Synthesis of Carboxymethyl Starch”, Volume 52, Issue 11, Pages: 413-419, November (2000).
[7] Volkert, B., F. Loth, W. Lazik and J. Z. Yang, “Highly Substituted Carboxymethyl Starch”, Volume 56, Issue 7, p. 307-314, July (2004).
[8] Lammers, G., E. J. Stamhuis and A. A. C. M. Beenackers, “Continuous Production of Hydroxypropyl Starch in a Static Mixer Reactor”, Volume 45, Issue 7, p. 227-232, (1993).
[9] Whistler, R. L. and E. F. Paschall, “Starch, Chemistry and Technology”, Volume 2, (1967).
[۱۰] بهارک پورمنشی، مریم احمدی پایدار، "طراحی و ساخت هیدروسیکلون برای جداسازی نشاسته از آب"، پایان‌نامه مقطع کارشناسی، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه علم و صنعت ایران، بهمن (۱۳۷۸).
[۱۱] رقیه دل پیشه، "بازیابی نشاسته از پساب به وسیله غشاء"، پایان‌نامه مقطع کارشناسی، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه امیر کبیر، (۱۳۸۰).
[12] www.lsbu.ac, Martin Chaplin, Starch, (2006).
[۱۳] طاهر رشیدی، "بررسی اثر تراکم های کاشت مختلف گیاهچه‌های حاصل از کشت بافت بر آنالیزهای رشد و تولید مینی غده در دو رقم سیب زمینی"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، شهریور (۱۳۸۳).
[14] Bergthaller, W., W. Witt and H. P. Goldau, “Potato Starch Technology”, Volume 51, Issue 7, Pages: 235-242, July (1999).
[15] Haase, N. U., “Rapid Estimation of Potato Tuber Quality by Near-Infrared Spectroscopy”, Volume 58, Issue 6, Pages: 268-273, June (2006).
[16] Sriroth, K., K. Piyachornkwan, S. Wanlapatit and C. G. Oates, “Cassava Starch Technology: The Thai Experience”, Volume 52, Issue 12, Pages: 439-449, December (2000).
[17] Schweitzer, P. A., “Handbook of Separation Techniques for Chemical Engineering”, McGraw-Hill, New York, USA, (1988).
[18] Treybal, R. E., “Mass Transfer Operation”, McGraw-Hill, New York, USA, 1980.
[19] Perry, R. H. and D. W.Green, “Perry’s Chemical Engineers Handbook”, Vol. 1, McGraw-Hill, New York, USA, (1997).
[20] Rausch, K. D., “Front End to Backpipe: Membrane Technology in the Starch Processing Industry”, Volume 54, Issue 7, Pages: 273-284, July (2002).
[۲۱] فاطمه امیدمهر، "استخراج نشاسته از سیب زمینی"، پایان‌نامه مقطع کارشناسی، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تابستان (۱۳۸۴).