استخراج پروتئین از پساب کارخانه‌های تولید نشاسته از سیب‌زمینی

سعید ملک[1]*، محسن حیدری سلطان آبادی[2] و لاله مشرف[3]

[1] مربی پژوهش بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران

[2 و 3] استادیار پژوهش بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران

چکیده

پسماند مایع حاصل از کارخانجات نشاسته‌گیری از سیب‌زمینی، با نیاز بیولوژیکی به اکسیژن بسیار بالا (حدود ۱۱۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) و نیاز شیمیایی به اکسیژن برابر با حدود ۱۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر، یکی از مخاطرات زیست‌محیطی محسوب می‌شود. این پسماند حاوی پروتئین قابل بازیافت است. کاربردهای این پروتئین در پوشش‌دهی چیپس برای کاهش جذب چربی و یا به عنوان یک ماده فراسودمند، امولسیفایر، پایدارکننده کف و ظرفیت نگهداری آب و روغن در فرآوری مواد غذایی است. از طرف دیگر، این پروتئین با ارزش بیولوژیک بالا برابر با ۹۹ تا ۱۰۰، حاوی بسیاری ازاسیدهای آمینه ضروری برای بدن انسان است. با افزودن کلریدریک‌اسید مرک با خلوص ۳۷ درصد (ساخت آلمان)، پی‌اچ آب سیب‌زمینی نشاسته‌گیری‌شده به ۲/۵ می‌رسد. سپس برای بازیابی پروتئین، کربوکسی‌متیل‌سلولز به میزان ۳/۵۰۱ گرم و سدیم‌کلراید به میزان ۸/۳ گرم در هر لیتر آب سیب‌زمینی حاصل از نشاسته‌گیری، اضافه می‌شود. پودر پروتئین بازیابی شده حدود ۷/۵ درصد پروتئین دارد. با توجه به موارد ذکر شده و اهمیت کاهش ضایعات صنایع تبدیلی، در این مقاله به معرفی روش بازیابی پروتئین پساب سیب‌زمینی پرداخته شده است.

واژگان کلیدی: استخراج، پروتئین، پساب، سیب‌زمینی، کربوکسی‌متیل‌سلولز، نشاسته

* نگارندهٔ مسئول: saidmalek@gmail.com

بیان مسئله

مقدار تولید سیب‌زمینی در کشور در حدود ۳۹۰۰ هزار تن گزارش شده است (احمدی و همکاران، ۱٤۰۰). سیب‌زمینی علاوه بر تازه‌خوری، برای تولید نشاسته نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. پسماند مایع حاصل از کارخانه‌های نشاسته‌گیری از سیب‌زمینی در حدود ۸-۷ متر مکعب به ازاء یک تن سیب‌زمینی برآورد می‌شود. این پسماند دارای ۲ تا ۵ درصد ماده خشک است. پروتئین، ۳۵ درصد از این ماده خشک را تشکیل می‌دهد. بخش عمده این پروتئین از نوع پاتاتین است. رها کردن این ماده با نیاز بیولوژیکی به اکسیژن[1] بسیار بالا (حدود ۱۳۲۰۰-۹٤۰۰ میلی‌گرم اکسیژن در لیتر) و نیاز شیمیایی به اکسیژن[2] بسیار بالا (۲۲۸۰۰- ۱٦۸۷۰ میلی‌گرم اکسیژن در لیتر) در محیط زیست، علاوه بر افزایش ضایعات فرآوری سیب‌زمینی، آسیب شدیدی به منابع آبی زیرزمینی وارد می‌کند (بلونیزی[3] و همکاران، ۲۰۲۰). پروتئین موجود در پساب کارخانه‌های تولید نشاسته از سیب‌زمینی به عنوان یک محصول تجاری قابل بازیافت است. بازیابی این پروتئین، سبب کاهش مواد آلی موجود در فاضلاب می‌شود. همچنین، با ایجاد ارزش افزوده در پروتئین استخراجی، موجب کاهش ضایعات تولید و افزایش درآمد تولیدکنندگان و بهره‌برداران بخش کشاورزی و صنایع تبدیلی می‌شود. ارزش غذایی پروتئین سیب‌زمینی تقریباً برابر با پروتئین تخم‌مرغ گزارش شده است. این نوع پروتئین به عنوان یک فرآورده جانبی قابل عرضه به بازار است.

ماده خشک سیب‌زمینی به‌طور میانگین حدود ۲۲ درصد است. این ماده خشک حاوی نشاسته، پروتئین و املاح است. حدود ٤ درصد از ماده خشک سیب‌زمینی را پروتئین تشکیل می‌دهد (رالت و گوگون[4]، ۱۹۹۹). در فرآیند تولید نشاسته از سیب‌زمینی، پروتئین محلول، وارد آب سیب‌زمینی حاصل از نشاسته‌گیری می‌شود. بازیابی بهینه پروتئین سیب‌زمینی را می‌توان با استفاده از ۳/۵ گرم کربوکسی‌متیل‌سلولز و مقدار ۸/۳ گرم سدیم‌کلرید در لیترآب سیب‌زمینی به‌دست آورد (ملک، ۱۳۹۰ ؛ ویکلودا و کیئوسگلو[5]، ۲۰۰٤). هر لیتر از آب سیب‌زمینی نشاسته‌گیری‌شده، حدود ۳۳ گرم پروتئین دارد (لوری[6] و همکاران، ۱۹۵۱) که با روش بیان شده در این مقاله، ۵۵ درصد (۱۸ گرم) از آن را می‌توان بازیابی کرد. بنابراین، از آب استحصالی در هر تن سیب‌زمینی می‌توان ۱٤/٤ کیلوگرم پودر پروتئین به‌دست آورد (ملک، ۱۳۹۰). قیمت هر کیلوگرم از این پودر پروتئین، در حدود ۳۰ یورو است که با توجه به این محاسبات، از هر تن آب سیب‌زمینی نشاسته‌گیری‌شده درآمدی در حدود ٤۳۲ یورو کسب خواهد شد. این در حالی است کارخانه‌های نشاسته‌گیری، آب سیب‌زمینی نشاسته‌گیری‌شده را به‌صورت پساب دور می‌ریزند. عملیات بازیابی پروتئین از آب سیب‌زمینی علاوه بر بهره اقتصادی، در حفظ محیط زیست از طریق حذف پروتئین از پساب نقش مهمی ایفاء می‌کند.

[1] Biological Oxygen Demand (BOD)
[2] Chemical Oxygen Demand (COD)
[3] Bolognesi
[4] Ralet and Gueguen
[5] Vikelouda and Kiosseoglou
[6] Lowry

معرفی دستورالعمل

دستورالعمل حاضر، برای تولیدکنندگان و صاحبان صنایع تولید نشاسته از سیب‌زمینی قابل استفاده است. در صورت به‌کارگیری این دستورالعمل، می‌توان محصولی با پروتئین حدود ۷/۵ درصد تولید کرد. مراحل استخراج پروتئین از آب سیب‌زمینی به شرح زیر است:

آماده‌سازی سیب‌زمینی برای نشاسته‌گیری

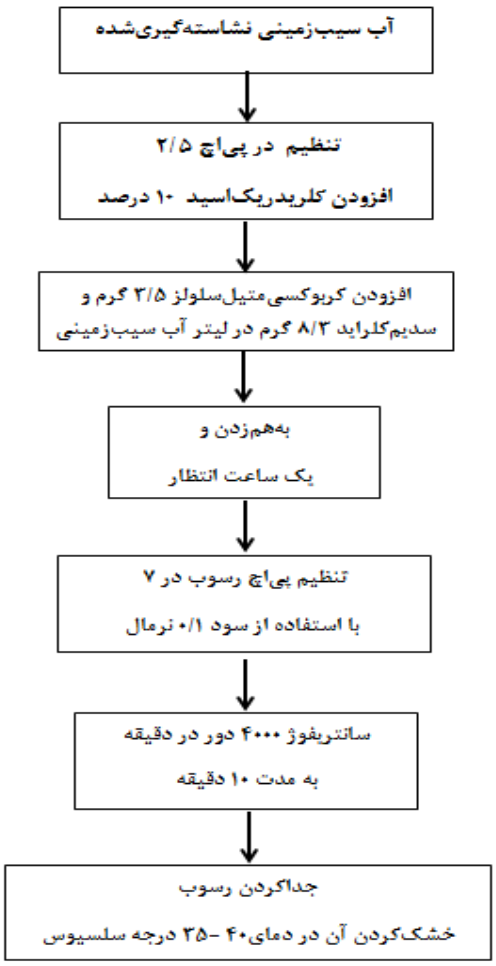
برای نشاسته‌گیری، بهتر است از ارقام سیب‌زمینی با ماده خشک بالا (ساوالان، آنوشا، آتوسا، جلی، رونا، فونتین، الس، کوراس) استفاده شود. در ابتدا، سیب‌زمینی تمیز و خرد، شده و پس از چرخ‌شدن، آب آن جدا می‌شود. آب سیب‌زمینی حاصل در سینی پلاستیکی ریخته می‌شود تا طی ٤ تا ٥ ساعت، نشاسته آن ته‌نشین شود (شکل یک). این روش مشابه روش نشاسته‌گیری در کارخانه‌های نشاسته‌گیری است.

شکل ۱- مراحل صنعتی تولید نشاسته از سیب‌زمینی

ترسیب پروتئین آب سیب‌زمینی

مراحل استخراج پروتئین از آب سیب‌زمینی نشاسته‌گیری‌شده در شکل ۲ نشان داده شده است. آب سیب‌زمینی نشاسته‌گیری‌شده، در یک مخزن دارای هم‌زن و سنسور پی‌اچ ریخته می‌شود. با افزودن کلریدریک‌اسید ده درصد، پی‌اچ آن در ۲/۵ تنظیم می‌شود. برای بازیابی پروتئین باید به ازاء هر لیتر آب سیب‌زمینی حاصل از نشاسته‌گیری، مقدار ۳/۵ گرم

کربوکسی‌متیل‌سلولز و ۸/۳ گرم سدیم‌کلرید، اضافه شود. افزودن این دو ماده در مقادیر مذکور، بیشترین مقدار پروتئین بازیابی‌شده را حاصل می‌کند. مخلوط حاصله را باید به‌هم زد تا پس از حدود یک ساعت، پروتئین آن رسوب کند. سپس با استفاده از محلول سود ۲ مولار، پی‌اچ رسوب در مقدار ۷ تنظیم می‌شود. محلول حاوی رسوب به دستگاه سانتریفوژ انتقال می‌یابد تا کمپلکس پروتئینی جدا شود. رسوب حاصله (پروتئین)، در دستگاه خشک‌کن کابینتی در دمای ۳۵ تا ٤٠ درجه سلسیوس خشک شده و رطوبت آن به ۵ درصد می‌رسد (ملک، ۱۳۹۰). این پودر پروتئینی، جاذب رطوبت است (شکل ۳) و باید در بسته‌های غیر قابل نفوذ به رطوبت و دارای سیلیکاژل بسته‌بندی شده و در جای خنک نگهداری شود. فرآیند استخراج پروتئین از آب سیب‌زمینی نشاسته‌گیری‌شده به راحتی در پروسه‌های صنعتی قابل اجرا است و از پیچیدگی خاصی برخوردار نیست. در حال حاضر، پروتئین از آب سیب‌زمینی نشاسته‌گیری‌شده در کارخانه‌های کشور بازیابی نمی‌شود. سرمایه‌گذاری و خرید تجهیزات برای بازیابی پروتئین از آب سیب‌زمینی نشاسته‌گیری‌شده در کنار صنعت نشاسته‌گیری از سیب‌زمینی می‌تواند توجیه‌پذیر و اقتصادی باشد.



شکل ۲- مراحل استخراج پروتئین از آب سیب‌زمینی نشاسته‌گیری‌شده

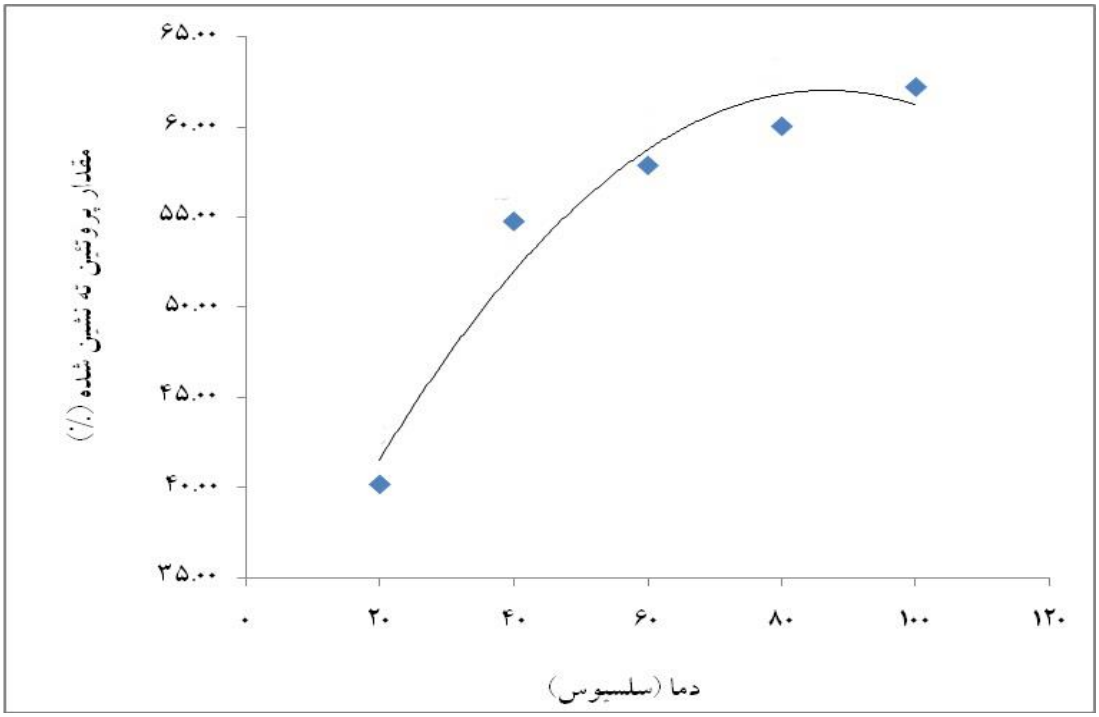
شکل ۳- پودر پروتئین حاصل از آب سیب‌زمینی نشاسته‌گیری‌شده

ترکیب شیمیایی پودر پروتئین بازیابی‌شده در جدول ۱ آورده شده است. پایداری (مقاومت به رسوب) پروتئین استخراجی، ویژگی مهمی است که برای استفاده از آن در صنایع غذایی باید مورد توجه قرار گیرد. پروتئین استخراجی از آب سیب‌زمینی نسبت به حرارت حساس است. این پروتئین در دماهای بیش از ۲۰ درجه سلسیوس ناپایدار بوده و از حلالیت آن کاسته می‌شود (شکل ٤). در دمای ٤٠ درجه سلسیوس حدود ٥٠ درصد از این پروتئین در محیط‌های آبی رسوب می‌کند (شکل ٤). شدت کاهش حلالیت پروتئین سیب‌زمینی در دمای ٤٠ درجه سلسیوس نسبت به دمای ۲۰ درجه سلسیوس حدود ٣٦ درصد است. این نشان‌دهنده تأثیر افزایش دما بر کاهش حلالیت پروتئین بازیابی‌شده است. پایداری پروتئین بازیابی شده از آب سیب‌زمینی در دمای ٦٠ تا ٨٠ درجه سلسیوس نسبت به دمای ۲۰ درجه سلسیوس به شدت کاهش یافته و تا ٤٩/٢ درصد از پایداری آن کم می‌شود (شکل ٥). به هر حال، پروتئین استخراجی در فرآوری‌های غذایی با دماهای بالا انحلال‌پذیری کمی داشته و رسوب می‌کند. همچنین این پروتئین در محیط‌های با مقدار نمک زیاد، تغییر ماهیت داده و ویژگی‌های عملکردی آن کاهش می‌یابد (ملک، ۱۳۹۰؛ بارتوا و بارتا[7]، ۲۰۰۸).

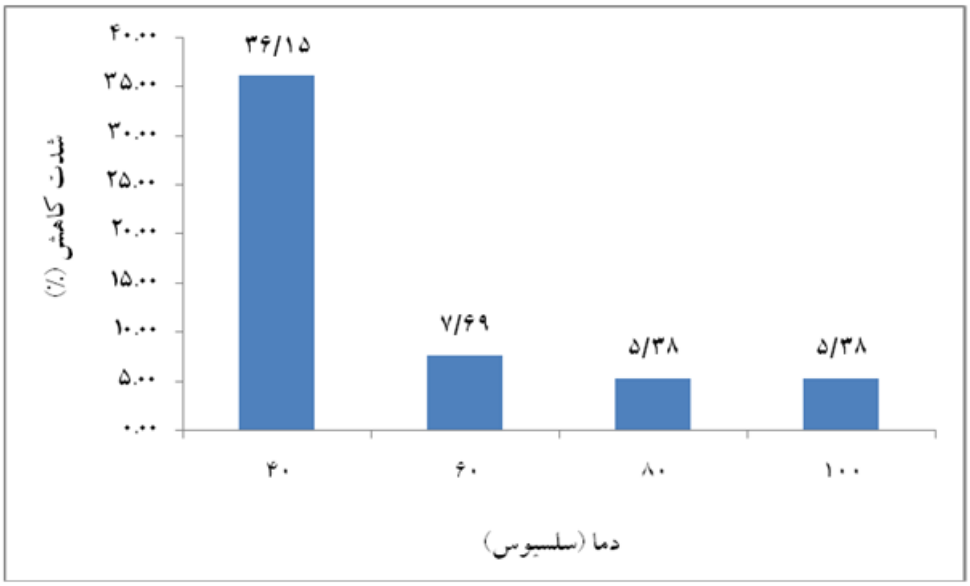
[7] Bartova and Barta

جدول ۱- ترکیب شیمیایی پودر پروتئین بازیابی‌شده از آب سیب‌زمینی نشاسته‌گیری‌شده

رطوبت (درصد)	۵
پروتئین (درصد)	۷/۵
چربی (درصد)	۰
خاکستر (درصد)	۱/۷۳
کربوهیدرات (درصد)	۸۵/۷۸



شکل ٤- پایداری حرارتی پروتئین آب سیب‌زمینی نشاسته‌گیری‌شده در دماهای مختلف



شکل ۵- شدت کاهش پایداری پروتئین آب سیب‌زمینی نشاسته‌گیری‌شده در دماهای مختلف

توصیه ترویجی (جمع‌بندی)

بازیابی پروتئین از آب سیب‌زمینی نشاسته‌گیری‌شده، گام مهمی در جهت افزایش بهره‌وری، حفظ محیط زیست و افزایش درآمد تولیدکنندگان و صاحبان صنعت سیب‌زمینی است. موارد زیر می‌تواند راهنمای مفیدی برای کاربران باشد:

۱- آب سیب‌زمینی نشاسته‌گیری‌شده در مخزن دارای هم‌زن و با قابلیت سردشدن، ذخیره شده تا از تخمیر آن جلوگیری شود.

۲- پس از تحویل آب سیب‌زمینی نشاسته‌گیری‌شده، پروتئین هر چه زودتر استخراج شود تا از فرآیند تخمیر جلوگیری شود.

۳- برای بازیابی بهینه پروتئین، مقدار ۳/۵ گرم کربوکسی‌متیل‌سلولز و مقدار ۸/۳ گرم سدیم‌کلرید در هر لیتر آب سیب‌زمینی استفاده شود.

٤- این پروتئین بهتر است در محیط‌های مایع در دمای پایین استفاده شود تا ویژگی‌های عملکردی آن تغییر کمتری داشته باشد. در محیط‌های آبی در دمای ٤۰ درجه سلسیوس حدود ۵۰ درصد از این پروتئین ته‌نشین می‌شود.

فهرست منابع

۱- احمدی، کریم، حمیدرضا عبادزاده، فرشاد حاتمی، شهریار محمدنیا افروزی، الهام اسفندیاری‌پور و رضا عباس طاقانی. ۱٤۰۰. *آمارنامهٔ کشاورزی سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸*. جلد اول: محصولات زراعی، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات.

۲- ملک، سعید. ۱۳۹۰. *بررسی بازیابی پروتئین آب سیب‌زمینی و پایداری آن*. کرج: مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، گزارش نهایی، شماره ثبت ۹۰/۸۳.

3. Bartova,V. and J. Barta. 2008. Effect of heat treatment on re-solubility of potato proteins isolated from industrial potato fruit juice. *Research in Agricultural Engineering*, 54 (4): 170-175.

4. Bolognesi, S., D. Cecconet and A.G. Capodaglio. 2020. Agro-industrial wastewater treatment in microbial fuel cells. In Abbasi, R., A.K. Yadav, F. Khan and V. Garaniya (Eds.), *Integrated microbial fuel cells for wastewater treatment* (pp. 93-133). India: Matthev Deans.

5. Lowry, O.H., N.J. Rosebrough, A.L. Farr and R.J. Randall. 1951. Protein measurement with the Folin phenol reagent. *Journal of Biological Chemistry*,193: 265-275.

6. Ralet, M.C. and J. Gueguen. 1999. Potato proteins: Composition, recovery and functional properties. *Sciences des Aliments*, 19: 147-165.

7. Vikelouda, M. and V. Kiosseoglou. 2004. The use of carboxymethyl cellulose to recover potato proteins and control their functional properties. *Food Hydrocolloids*, 18: 21-27.