

بهینه‌سازی فرایند تولید مالتودکسترين با استفاده از آنزیم آلفا آمیلاز 2-x Termamyl

علیرضا صادقی^۱، فخری شهیدی^{۲*}، سید علی مرتضوی^۱، مهدی نصیری محلاتی^۲ و سید حامد رضا بهشتی^۳

(تاریخ دریافت: ۱۴/۰۸/۸۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۴/۰۸/۸۶)

چکیده

هدف اصلی از انجام این پژوهش، بررسی امکان استفاده از آنزیم آلفا آمیلاز 2-x Termamyl در تولید مالتودکسترين با استفاده از نشاسته ذرت و تسهیل فرایند صنعتی تولید مالتودکسترين بود. پس از بررسی‌های آزمایشگاهی، فرایند مذکور در مقیاس پایلوت پلنت انجام شد. مراحل فرایند شامل تهیه سوسپانسیون نشاسته، تنظیم pH، افزودن آنزیم، گرم کردن سوسپانسیون در طی همزدن آن، کنترل مداوم اکی والان دکستروز و مواد جامد محلول، غیرفعال‌سازی آنزیم پس از رسیدن به اکی والان دکستروز مورد نظر، جداسازی بخش‌های محلول با استفاده از سانتریفیوز و در نهایت خشک کردن محلول حاصل از سانتریفیوز به روش پاششی بود. در این پژوهش، مقدار اکی والان دکستروز بر حسب ماده‌ی خشک، تحت تاثیر سه غلاظت آنزیم ($0/۰۵$ ، $۰/۰۳$ و $۰/۰۰۵$ میلی لیتر به ازاء هر کیلوگرم نشاسته) و در سه دمای متفاوت (۶۰ ، ۶۵ و ۷۰ درجه سانتی‌گراد) در طول زمان هیدرولیز و pH ثابت ۶ مورد ارزیابی قرار گرفت. آنالیز آماری نتایج حاصل در قالب طرح کاملاً تصادفی، به روش فاکتوریل و در پنج تکرار صورت پذیرفت. جهت بررسی رابطه بین اکی والان دکستروز و عوامل مؤثر بر آن از رگرسیون چندمتغیره استفاده شد. در انتها نیز مدلی جهت تخمین مقدار اکی والان دکستروز در ماده خشک بر حسب مقدار آنزیم مصرفی، دما و زمان هیدرولیز در محدوده‌های مورد ارزیابی، ارایه گردید. نتایج حاصل نشان می‌دهند که مقادیر اکی والان دکستروز فراورده تولیدی تحت تأثیر غلاظت‌های مختلف آنزیم (در دما و زمان یکسان هیدرولیز) به طور معنی‌داری ($P \leq 0/۰۵$) با یکدیگر تفاوت دارند. ضمن این که جهت تولید مالتودکسترين با اکی والان دکستروز بالا، بهترین مقدار مصرف آنزیم و دمای بهینه فرایند هیدرولیز پس از ۳۰۰ دقیقه به ترتیب $۰/۰۵$ میلی لیتر به ازای هر کیلوگرم نشاسته و ۷۰°C بدست آمد. در این شرایط، کمترین میزان نشاسته هیدرولیز نشده و فعالیت باقی‌مانده آنزیم نیز مشاهده گردید.

واژه‌های کلیدی: مالتودکسترين، اکی والان دکستروز، هیدرولیز آنزیمی، آلفا آمیلاز، خشک کردن پاششی

مقدمه

نظر پلاسیدو و همکاران (۱۴) حاوی الیگومرهای دیلیمریزه شده هستند. گستره وسیعی از فراورده‌های حاصل از هیدرولیز نشاسته بر اساس اکی والان دکستروز (DE) (Dextrose Equivalent) آنها توصیف و نام‌گذاری می‌گردند، که بر

امروزه مشتقات اصلاح شده نشاسته، کاربردهای گسترهای در صنعت مواد غذایی یافته‌اند. انواع این فراورده‌ها از تیمارهای فیزیکی، شیمیایی و آنزیمی نشاسته به دست می‌آیند (۶) که به

۱. به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، دانشیار و استاد علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
 ۲. دانشیار زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
 ۳. سرپرست واحد تحقیق و توسعه شرکت صنایع غذایی گلشناد مشهد
- * مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: fshahidi@ferdowsi.um.ac.ir

شربت گلوكز به کار می‌رود. در فرایندهای پیوسته تولید فراورده‌های هیدرولیز شده نشاسته، روش‌های هیدرولیز آنزیمی یا استفاده از مخلوط اسید و آنزیم جایگزین هیدرولیز اسیدی شده‌اند (۶ و ۱۲). براوو (۵)، هاکی و راکشیت (۱۰) فرایند هیدرولیز آنزیمی نشاسته را در مقایسه با هیدرولیز اسیدی، بسیار مؤثرتر ارزیابی نمودند. فراورده تولیدی با این روش بر اساس نوع آنزیم مصرفی و عملکرد اختصاصی آن ویژگی‌های مطلوب‌تری داشته و در حین فرایند هیدرولیز نیز مواد نامطلوب کمتری تولید می‌شوند. هم‌چنین نیازی به مرحله حذف نمک‌های ناخواسته (حاصل از خشی سازی اسید به روش هیدرولیز اسیدی)، وجود ندارد. ضمن این‌که فرایند هیدرولیز آنزیمی در گستره وسیع‌تری از pH و در دماهای پایین‌تری نسبت به روش هیدرولیز اسیدی انجام می‌شود. به لحاظ اقتصادی نیز مقرنون به صرفه‌تر بوده و راندمان بالاتری دارد. هم‌چنین انرژی کمتری مصرف نموده و کترل آن نیز ساده‌تر است.

وندرمارل و همکاران، خصوصیات انواع آنزیم‌های آلفا آمیلاز هیدرولیز کننده نشاسته را بررسی نمودند (۱۶). بر این اساس عموماً برای هیدرولیز آنزیمی نشاسته از انواع آنزیم‌های آلفا آمیلاز (۴-۱۱ آلفا دی گلوکان، گلوکانو هیدرولاز) تولیدی توسط باسیلوس‌ها استفاده می‌شود. بنا بر مشاهدات وندرمارل و همکاران، آلفا آمیلاز در محدوده pH ۴/۵ تا ۶/۵ بیشترین فعالیت را دارد. البته این محدوده pH بر اساس منبع آنزیم نیز متفاوت است به‌طوری‌که برای آلفا آمیلاز گیاهی و میکروبی خیلی کمتر از آلفا آمیلاز حیوانی می‌باشد (۱۶). میتسوکی و همکاران از آنزیم پلولاناز نیز برای تولید مالتودکسترن تشکیل دهنده ژل استفاده کردند. بر اساس گزارش این محققین، فعالیت بهینه اکثر پلولانازها در pH بین ۵ تا ۷ و دامنه دمایی ۴۵°C تا ۵۰°C قرار دارد (۱۱). امروزه در صنعت جهت تولید مالتودکسترن دارای اکسی‌والان دکستروز پایین از آنزیم BAN 480-L که نوعی آلفا آمیلاز است استفاده می‌شود (۱۲).

اسلومیسکا و همکاران دو مرحله اصلی در تولید

اساس تعریف کرونایکس (۶)، اسلومیسکا و همکاران (۱۵) عبارت از قدرت احیا کنندگی مجموع قندهای محصول بر اساس میزان گلوكز موجود در ماده خشک آن می‌باشد. مالتودکسترن [C₆H₁₀O₅]n H₂O] پلیمری از ساکاریدهای فاقد طعم شیرین بوده که اکسی‌والان دکستروز آن کمتر از ۲۰ و شامل مخلوطی از ترکیبات با وزن مولکولی بین پلی‌ساکاریدها و الیکو‌ساکاریدهای به صورت پودرهای سفید رنگ یا شربت‌های غلیظ در دسترس می‌باشد (۶ و ۱۳). ماده خام اصلی که به صورت گستردگی در تولید مالتودکسترن مورد استفاده قرار می‌گیرد، نشاسته ذرت است (۶ و ۸).

کرونایکس (۶)، دوکیک و همکاران (۷) اظهار داشتند مالتودکسترن‌ها در مقایسه با نشاسته خام، حلالیت بیشتری در آب داشته، نسبت به اکثر هیدرولوئیدهای خوراکی، ارزان‌تر هستند و محلول آنها فاقد طعم و رنگ است. هم‌چنین به عنوان یک افزودنی غذایی به دلیل ایجاد ژل، قوام، بافت، افزایش ویسکوزیته، کاهش دمای تبدیل فاز (Transition temperature)، افزایش مقاومت به دمای بالا، افزایش میزان ماده خشک، ممانعت از کریستالیزاسیون و کترل دمای انجماد استفاده می‌شوند. به عنوان پوشش دهنده سالاد، پرکننده، عامل ضد کلوجه، ناقل اکسیژن، نگهدارنده آب و در موارد ویژه به عنوان جایگزین چربی نیز کاربرد دارند.

دوکیک و همکاران مشاهده کردند برخی از انواع مالتودکسترن‌ها قادرند ژل‌های قابل برگشت با حرارت تشکیل دهنند. در مالتودکسترن‌ها حلالیت و قدرت کاهش دمای انجماد با افزایش اکسی‌والان دکستروز، افزایش می‌باید در حالی که با کاهش اکسی‌والان دکستروز، ویسکوزیته و ممانعت از کریستالیزاسیون بیشتر می‌شود (۷). مالتودکسترن‌ها در کاهش واکنش میلارد نیز نقش دارند و در میکرو کپسولاسیون ترکیبات غذایی حساس، نسبت به سایر مواد متدائل از این نظر مفیدتر هستند (۱).

امروزه روش هیدرولیز اسیدی برای تولید مالتودکسترن کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرد و عموماً این روش در تولید

بدین طریق گامی در جهت کاهش واردات مالتودکسترن (که در حال حاضر در مقادیر زیاد و برای مصارف گوناگون به کشور وارد می‌گردد)، برداشته شود.

مواد و روش‌ها

برای انجام این پژوهش، نشاسته ذرت از شرکت مهشاد یزد تأمین شد. نشاسته مصرفی دارای حداقل ۷۰ ppm دی‌اکسید گوگرد، ۴٪ خاکستر، ۱۴٪ رطوبت، ۰٪ پروتئین و ۰٪ چربی بود. pH آن نیز در محدوده ۴/۵ تا ۵ قرار داشت. آنزیم آلفا آمیلاز 2-x Termamyl از شرکت نوزوژیم (Novozymes) دانمارک با فعالیت 240 KNU/g تهیه شد و از هیدروکسید سدیم ۱ نرمال، اسید کلریدریک ۵ نرمال، محلول‌های یدی و فهلينگ تولیدی شرکت مرک (Merck) آلمان استفاده گردید.

تعیین اکی والان دکستروز

جهت تعیین اکی والان دکستروز از روش اصلاح شده تیتراسیون لین-آنیون (E-26) (Corn Refiner Association Method) و تعیین مواد جامد محلول از روش رفراكتومتری (CHD) مدل 10557 در دمای محیط استفاده شد.

فرایند تولید

ابتدا جهت تعیین حداقل مقدار مورد نیاز آنزیم و نیز زمان هیدرولیز، با استفاده از آنزیم آلفا آمیلاز 2-x Termamyl مقیاس آزمایشگاهی شربت غلیظ مالتودکسترن (بریکس ۳۰ تا ۴۰) از نشاسته ذرت تولید گردید. سپس به کمک نتایج حاصل، تولید مالتودکسترن با استفاده از آنزیم مذکور در مقیاس نیمه صنعتی، صورت پذیرفت.

نظر به این که استفاده از مقادیر متعارف مصرف آنزیم آلفا آمیلاز L-120 Termamyl جهت تولید مالتودکسترن (۱۴) موجب گردید اکی والان دکستروز محصول تولیدی در مقیاس آزمایشگاهی نسبت به مقدار تعریف شده، افزایش چشم‌گیری نشان دهد (DE بالغ بر ۳۵) و از آنجا که محصول تولیدی تحت

فراورده‌های حاصل از هیدرولیز آنزیمی نشاسته بر شمرده‌اند که شامل "Liquefaction" و "Saccharification" می‌باشد. این محققین، فرایند "Liquefaction" نشاسته با استفاده از آنزیم آلفا آمیلاز مقاوم به دما را مورد مطالعه قرار دادند و بیان نمودند مالتودکسترن عموماً از هیدرولیز کنترل شده آنزیمی نشاسته ذرت که "Liquefaction" نامیده می‌شود، به دست می‌آید (۱۵). با تداوم فرایند هیدرولیز مالتودکسترن در طی "Saccharification" گستره وسیعی از فراورده‌های شیرین ایجاد می‌شوند که اکی والان دکستروز معادل ۴۵ تا ۷۵ دارند. پلاسیدو و همکاران، نشاسته‌های ذرت و کاساورا با استفاده از آنزیم آلفا آمیلاز L-120 به مالتودکسترن های تولیدی را با HPLC مقایسه نمودند (۱۶). هم‌چنین فریاز و همکاران، تولید مالتودکسترن دارای DE معادل ۱۲ را به وسیله خشک‌کن جابه‌جای، مدل‌سازی کردند (۸).

در تمامی موارد استفاده از آنزیم یکی از مشکلات اصلی، حصول اطمینان از غیر فعال شدن آنزیم مصرفی در انتهای فرایند است. ازبک و یوسیر (۱۳)، توانستند عوامل مؤثر در غیر فعال‌سازی آنزیم آلفا آمیلاز در حین هیدرولیز نشاسته ذرت و نشاسته برنج را نیز مدل‌سازی نمودند (۳ و ۴). در این مدل‌ها عوامل پیچیده مؤثر بر کیتیک آنزیم و شرایط فرایند به صورت جزء‌به‌جزء مورد بررسی قرار گرفته و درصد هیدرولیز نشاسته و میزان فعالیت آنزیم باقی‌مانده، تحت تأثیر دما، pH، سرعت همزن، زمان فرایند، مقدار آنزیم مصرفی، ویسکوزیته و مواد افروزنی خاص مورد بررسی قرار گرفته‌است. هدف اصلی از انجام این پژوهش، بررسی امکان استفاده از آنزیم آلفا آمیلاز 2-x Termamyl جهت تولید مالتودکسترن از نشاسته ذرت در مقیاس آزمایشگاهی و پایلوت پلت، هم‌چنین استفاده از نتایج مذکور جهت تولید صنعتی آن در کشور بود تا

صرف آنزیم آلفا آمیلاز-*x* Termamyl جهت تولید مالتودکسترين ارایه نشده است.

مراحل فرایند تولید مالتودکسترين، در شکل ۱ نشان داده شده است. در اين پژوهش مقدار اكى والان دكستروز بر حسب ماده خشك، تحت تاثير سه غلظت آنزیم ($0/25$ ، $0/2$ و $0/3$ میلی لیتر به ازاي هر کيلوگرم نشاسته ذرت)، در سه دمای متفاوت (65 ، 60 و 70 درجه سانتي گراد) در طول زمان هيدروليزي و pH ثابت 6 مورد ارزیابي قرار گرفت.

آتالیز آماری

نتایج حاصل در قالب طرح کاملاً تصادفي، به روش فاكتوري و در پنج تكرار مورد آتالیز آماری قرار گرفتند. جهت بررسی رابطه بين اكى والان دكستروز و عوامل مؤثر بر آن از رگرسیون چند متغیره و بهمنظور مقایسه میانگینها و بررسی اثرات تیمارها از آزمون دانکن استفاده شد. در انتها نیز مدلی جهت تخمین مقدار اكى والان دكستروز (در ماده خشك) بر حسب مقدار آنزیم امیلاز، دما و زمان هيدروليزي در محدوده های مورد ارزیابي، ارایه شد. نرم افزارهای آماری مورد استفاده نیز شامل Minitab ver 13.1، MstatC و Sigma stat بودند.

نتایج و بحث

مقادير اكى والان دكستروز فراورده توليدی تحت تاثير غلظت های مختلف آنزیم (در دما و زمان يکسان هيدروليزي) پس از سه ساعت هيدروليزي، به طور معنی داري ($p \leq 0/05$) با يكديگر تفاوت دارند. پس از طی زمان 300 دقيقه هيدروليزي، تحت تاثير دمای 60°C و غلظت های $0/2$ ، $0/25$ و $0/3$ میلی لیتر آنزیم به ازاء يك کيلوگرم نشاسته، مقادير اكى والان دكستروز به ترتيب معادل $8/82$ ، $8/87$ و $20/9$ ، تحت تاثير دمای 65°C معادل $10/86$ ، $10/15$ و $16/15$ و تحت تاثير دمای 70°C معادل $12/07$ ، $12/07$ و $18/27$ و $28/14$ به دست آمد (جدول ۱).

اسلومیسکا و همکاران (۱۵) مقدار اكى والان دكستروز

تأثیر غلظت $0/3$ آنزیم، پس از 300 دقيقه در هر سه دمای هيدروليزي مورد آزمایش، دارای اكى والان دكستروز بالاتر از 20 بود، لذا غلظت $0/3$ میلی لیتر به ازاي هر کيلوگرم نشاسته به عنوان غلظت بيشينه مصرف آنزیم انتخاب گردید.

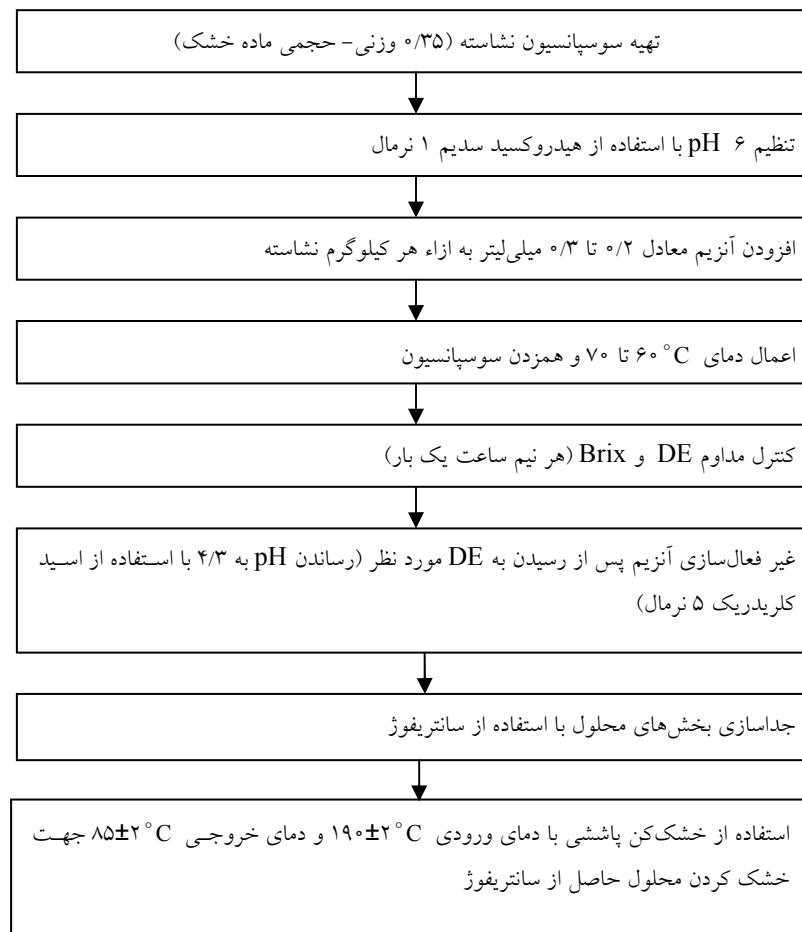
از آنجا که نشاسته خالص به ميزان بسيار کمي تحت تاثير آنزیم آلفا آمیلاز قرار مي گيرد (۱۵) به همين دليل سوسپانسيون حاوي 35 درصد ماده خشك برای شروع "Liquefaction" تهيه گردید.

pH بهينه فرایند هيدروليزي، با توجه به منشاء آنزیم *Bacillus licheniformis* و نوع نشاسته مصرفی، با توجه به مشاهدات براوو (۵)، پلاسيدو و همکاران (۱۴)، اسلومیسکا و همکاران (۱۵)، معادل 6 در نظر گرفته شد. از آنجا که pH سوسپانسيون توليدی (مخلوط نشاسته و آب مقطر) در حدود 5 بود با استفاده از هيدروكسيد سدیم 1 نرمال، pH 6 تا 6 افزایش داده شد.

به دليل کاهش ويسکوزите در مقایسه با هيدروليزي نشاسته توسط سایر آنزیمها و هيدروليزي اسیدی، نياز به همزن ويژه ای نبود. لذا يك همزن معمولی با قدرت 45 دور در دقيقه برای همزدن سوسپانسيون استفاده گردید. جهت غير فعال سازی آنزیم مصرفی پس از رسيدن به DE مورد نظر، با توجه به مشاهدات اپار و ازبک، pH محلول با استفاده از اسید كلريدريك 5 نرمال تا $4/3$ کاهش داده شد (۲ و ۳).

برای خالص سازی محلول حاوي مالتودکسترين از سانتريفوژ (Spectrafuge 16M) به روشن گريفين و برووكس (۹) (مدل 500g) كه نسبت به فيلتراسيون، راندمان بالاتری دارد (۱۴) استفاده گردید. سرانجام محلول حاصل از سانتريفوژ، توسط خشک کن نيمه صنعتي (مدل GEA) با دمای ورودی $190 \pm 2^{\circ}\text{C}$ و دمای خروجي $85 \pm 2^{\circ}\text{C}$ به روشن پاششي، بنا بر نظریه کروناتکس (۶) به دليل عدم بازسازی ساختار اولیه نشاسته به سرعت خشک شد (۶ و ۱۲).

پس از اين مرحله، بهمنظور تعیین ميزان نشاسته هيدروليزي نشده و فعالیت باقی مانده آنزیم از روش اپار و ازبک (۲) استفاده شد. شایان ذکر است که تا کنون هیچ گزارش علمی در خصوص



شکل ۱. نمودار فرایند هیدرولیز به کار گرفته شده جهت تولید مالتودکسترن با استفاده از آنزیم آلفا آمیلاز-2x Termamyl

افزایش یافتند. در مقایسه با فرایندهای مذکور، در این پژوهش از دماهای هیدرولیز پایین‌تر و مقادیر کمتر آنزیم استفاده شد. همچنین با تعیین غلظت بیشینه مصرف آنزیم صرفاً تولید مالتودکسترن (محصول دارای اکی والان دکستروز کمتر از ۲۰٪) مورد بررسی قرار گرفت. مصرف آنزیم آلفا آمیلاز-2x Termamyl جهت تولید مالتودکسترن در شرایط فرایند ذکر شده سبب تسهیل تولید صنعتی این فراورده و کاهش هزینه تولید خواهد شد. از مزایای آنزیم مذکور می‌توان به کاهش تولید فراورده‌های جانبی، افزایش مقدار ماده خشک، کاهش سریع ویسکوزیته در حین هیدرولیز، کاهش تولید رنگ (محدود شدن واکنش میلارد به دلیل pH فرایند هیدرولیز) و عدم نیاز به رنگبری، حداقل نیاز

حاصل از هیدرولیز نشاسته ذرت در دمای ۹۵°C تحت تاثیر ۰/۵ کیلوگرم از آنزیم آلفا آمیلاز مقاوم به دما به ازای یک تن نشاسته را در طول زمان هیدرولیز بررسی نمودند. بر این اساس، مقدار اکی والان دکستروز در طول ساعت اول هیدرولیز در محدوده ۸/۹ تا ۱۸/۲ در ساعت دوم ۲۳/۱ و در ساعت سوم ۲۵/۵ گزارش شد.

پلاسیدو و همکاران (۱۴) مقدار اکی والان دکستروز حاصل از هیدرولیز نشاسته ذرت را در دمای ۱۰۰°C تحت تاثیر ۰/۶ کیلوگرم از آنزیم آلفا آمیلاز-L 120-Termamyl در طول دو ساعت هیدرولیز از ۱۷/۷۴ تا ۵۰/۳۱ به دست آوردند. در این گزارش، مقادیر اکی والان دکستروز در شرایط هیدرولیز عنوان شده پس از ۳۰ دقیقه از ۲۰ بالاتر بودند و به صورت صعودی

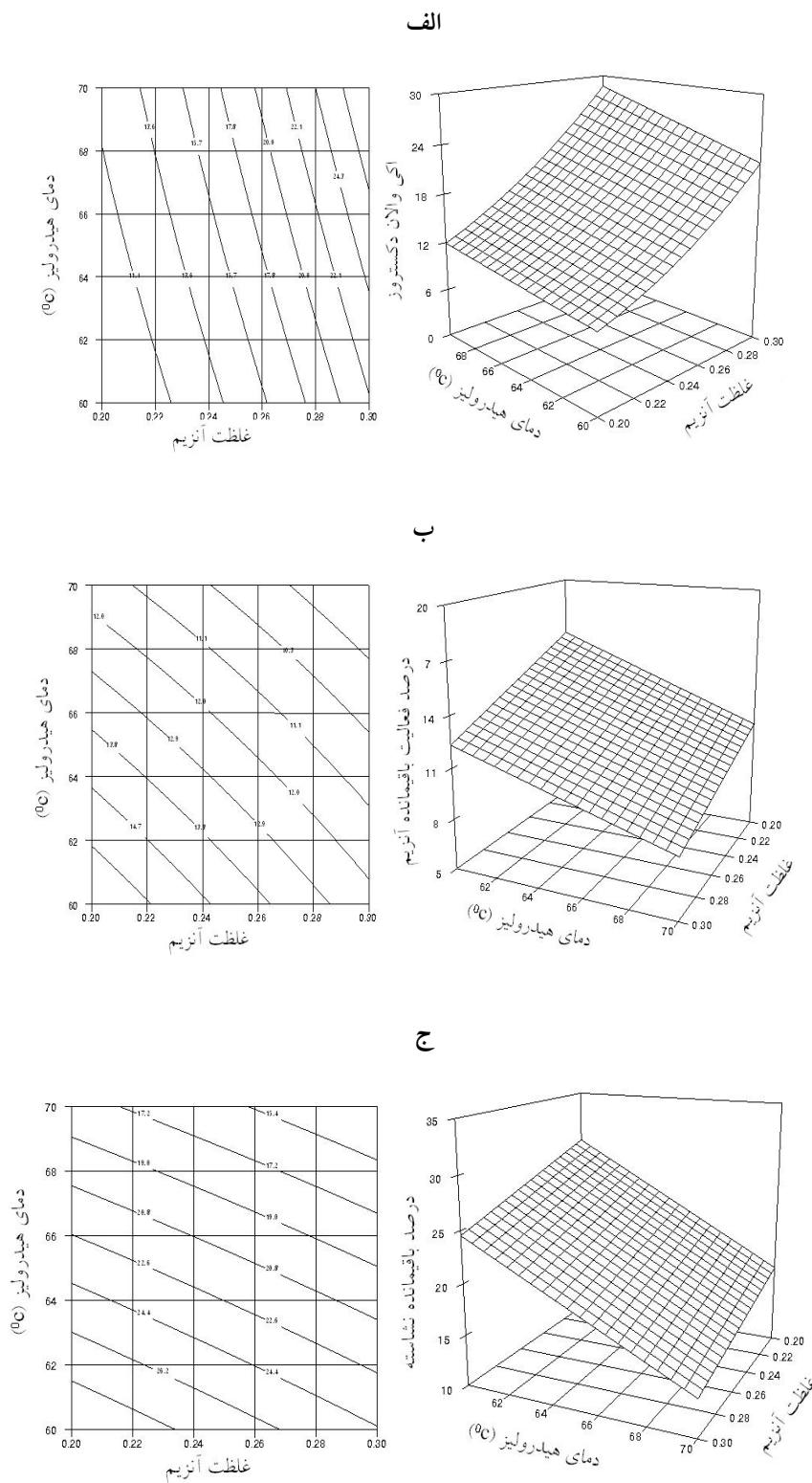
جدول ۱. مقایسه مقدادیر میانگین اکی والان دکستروز حاصل از هیدرولیز نشاسته ذرت، تحت تأثیر دما و غلظت‌های متفاوت از آنزیم آلفا آمیلاز-2x Termamyl در طول زمان هیدرولیز

زمان هیدرولیز (دقیقه)	دماهی هیدرولیز (°C)	غلظت آنزیم مصرفی (میلی لیتر به ازای کیلوگرم نشاسته)		
		۰/۲	۰/۲۵	۰/۳
		اکی والان دکستروز		
	۶۰	۱/۰۵±۰/۰۴ ^a	۱/۰۲±۰/۰۹ ^a	۱/۶۳±۰/۱۴ ^a
۶۰	۶۵	۱/۹۳±۰/۰۵ ^a	۲/۱۲±۰/۱۳ ^a	۲/۸۶±۰/۰۹ ^a
	۷۰	۲/۶۱±۰/۱۲ ^a	۳/۰۸±۰/۱۰ ^a	۳/۲۹±۰/۰۹ ^a
	۶۰	۲/۷۱±۰/۰۸ ^a	۴/۱۲±۰/۰۶ ^{ab}	۶/۱۹±۰/۱۷ ^b
۱۲۰	۶۵	۳/۱۱±۰/۰۴ ^a	۷/۲۳±۰/۰۳ ^b	۹/۷۱±۰/۱۱ ^b
	۷۰	۴/۰۷±۰/۱۲ ^a	۹/۴۳±۰/۰۸ ^b	۱۰/۳۱±۰/۱۲ ^b
	۶۰	۴/۱۶±۰/۰۴ ^a	۸/۹۱±۰/۰۸ ^b	۱۱/۵۷±۰/۲۲ ^c
۱۸۰	۶۵	۵/۳۷±۰/۰۴ ^a	۱۱/۷۶±۰/۰۷ ^b	۱۷/۴۰±۰/۲۱ ^c
	۷۰	۶/۴۳±۰/۰۴ ^a	۱۳/۶۲±۰/۰۴ ^b	۱۸/۶۷±۰/۱۱ ^c
	۶۰	۶/۰۹±۰/۰۴ ^a	۱۲/۰۸±۰/۱۱ ^b	۱۶/۷۰±۰/۱۵ ^c
۲۴۰	۶۵	۷/۸۵±۰/۰۵ ^a	۱۳/۸۵±۰/۱۷ ^b	۲۲/۸۸±۰/۰۴ ^c
	۷۰	۸/۶۲±۰/۰۴ ^a	۱۵/۸۶±۰/۱۹ ^b	۲۴/۱۷±۰/۱۸ ^c
	۶۰	۸/۸۲±۰/۰۸ ^a	۱۴/۸۷±۰/۱۶ ^b	۲۰/۹۰±۰/۱۲ ^c
۳۰۰	۶۵	۱۰/۸۶±۰/۰۶ ^a	۱۶/۱۵±۰/۲۱ ^b	۲۶/۷۳±۰/۱۴ ^c
	۷۰	۱۲/۰۷±۰/۰۱ ^a	۱۸/۲۷±۰/۱۹ ^b	۲۸/۱۴±۰/۱۸ ^c

*: میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ردیف، در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌داری ندارند.

آنزیم پس از ۳۰۰ دقیقه هیدرولیز، نشان داد فراورده تولیدی تحت تأثیر غلظت ۰/۲ آنزیم و دماهی هیدرولیز ۶۰°C بیشترین میزان نشاسته هیدرولیز نشده (۳۱٪) و فعالیت باقی‌مانده آنزیم (۱۷٪) را دارا بود. ضمن این‌که کمترین مقدادر مذکور (به ترتیب ۱۵٪ و ۹٪) تحت تأثیر غلظت ۰/۲۵ آنزیم و دماهی هیدرولیز ۷۰°C به دست آمد و روند کاهش میزان نشاسته هیدرولیز نشده در مقابل غلظت آنزیم و دماهی هیدرولیز به مرتب بیشتر از مقدار فعالیت باقی‌مانده آنزیم بود (شکل ۲).

به کاتالیزور و کاهش هزینه فیلتراسیون اشاره نمود (۱۲). دلیل افزایش زمان هیدرولیز (۳۰۰ دقیقه) در گستره دماهی ۷۰°C درجه سانتی‌گراد به محدود نمودن ژلاتینه شدن نشاسته، جلوگیری از افزایش ویسکوزیته و عدم نیاز به همزن ویژه، حصول اطمینان از فراهم آمدن فرصت کافی برای هیدرولیز نشاسته و صرف حداقل فعالیت آنزیم در حین فرایند هیدرولیز بود. لازم به توضیح است که در این گستره دماهی امکان استفاده از پلولاناز نیز فراهم می‌آید. برآورد میزان نشاسته هیدرولیز نشده و فعالیت باقی‌مانده



شکل ۲. روند تغییرات اکی والان دکستروز (الف)، فعالیت باقیمانده آنزیم (ب) و میزان نشاسته هیدرولیز نشده (ج) تحت تاثیر مقادیر 20°C تا 30°C میلی لیتر به ازای هر کیلوگرم نشاسته ذرت از آنزیم آلفا آمیلاز 2-x Termamyl در محدوده دمایی 60°C تا 70°C درجه سانتی گراد پس از زمان ۳۰۰ دقیقه هیدرولیز و pH ثابت ۶

آنزیم و دمای هیدرولیز 70°C درجه سانتی گراد و کمترین آن تحت تأثیر غلظت $0/2\%$ آنزیم و دمای هیدرولیز 60°C درجه سانتی گراد مشاهده شد.

بر اساس این نتایج، ایدآل ترین مقدار مصرف آنزیم و دمای بهینه فرایند هیدرولیز نشاسته جهت تولید مالتودکسترین (DE بین $19/18$) به ترتیب $0/25$ میلی لیتر به ازای هر کیلو گرم نشاسته و 70°C به مدت 300 دقیقه توصیه می گردد. این فراورده می تواند به عنوان یک ترکیب ضد کلوخه و پرکننده ایدآل در صنعت تولید پودرهای غذایی به روش خشک کردن پاششی مورد استفاده قرار گیرد.

سپاسگزاری

در انتها از مسئولین محترم شرکت صنایع غذایی گلشناد مشهد که در تأمین مواد خام، استفاده از تجهیزات آزمایشگاهی و امکانات خط پایلوت پلنت، با مجریان این طرح هم کاری نمودند، صمیمانه تشکر و قدردانی می گردند.

رابطه رگرسیونی بین اکی والان دکستروز و سایر متغیرهای مستقل پس از حذف Backward (جهت حذف متغیرهای اضافی از مدل رگرسیونی) نشان داد تمامی متغیرهای مورد بررسی در معادله باقی ماندند. معادله شماره (۱) نیز جهت تخمین مقدار اکی والان دکستروز (در ماده خشک) بر حسب مقدار آنزیم مصرفی، دما و زمان هیدرولیز به ترتیب در محدوده های $0/2$ تا $0/3$ میلی لیتر از آنزیم به ازای هر کیلو گرم نشاسته ذرت، دمای 60°C درجه سانتی گراد، در طول زمان 300 دقیقه هیدرولیز و در pH ثابت 6 به دست آمد $(R^2=0.875^{**})$.

$$\text{اکی والان دکستروز} = 0/635 + 0/0635 \times \text{زمان هیدرولیز} + 0/145 - 0/82/\theta \times \text{غلظت آنزیم} + 0/359 \times \text{دمای هیدرولیز} + []$$

بر اساس این روابط رگرسیونی، تأثیر غلظت آنزیم بر مقدار اکی والان دکستروز از سایر عوامل، بیشتر و دمای هیدرولیز از زمان هیدرولیز، مؤثرتر است. هم‌چنین بیشترین روند افزایش اکی والان دکستروز، تحت تأثیر فرایند هیدرولیز در غلظت $0/3$ میلی لیتر اتفاق می افتد.

منابع مورد استفاده

1. Akhtar, M. and E. Dickinson. 2007. Whey protein–maltodextrin conjugates as emulsifying agents: An alternative to gum Arabic. *Food Hydrocolloids* 21(4): 607-616.
2. Apar, D. K. and B. Ozbek. 2004. Alpha-amylase inactivation by temperature during starch hydrolysis. *Process Biochem.* 39: 1137-1144.
3. Apar, D. K. and B. Ozbek. 2004. Alpha-amylase inactivation during corn starch hydrolysis process. *Process Biochem.* 39: 1877-1892.
4. Apar, D. K. and B. Ozbek. 2005. Alpha-amylase inactivation during rice starch hydrolysis. *Process Biochem.* 40: 1367-1379.
5. Bravo Rodriguez, V. 2006. Modification of the activity of an Alpha-amylase from *Bacillus licheniformis* by several surfactants. *Electronic J. Biotechnol.* 9 (5): 1-6.
6. Chronakis, L. S. 1998. On the Molecular Characteristics, Compositional Properties, and Structural-Functional Mechanisms of Maltodextrins. *Critical Rev. in Food Sci.* 38(7): 599-637.
7. Dokic-Baucal, L., P. Dokic and J. Jakovljevic. 2004. Influence of different maltodextrins on properties of O/W emulsions. *Food Hydrocolloids* 18: 233-239.
8. Frias, J. M., J. C. Oliveira and K. Schittkowski. 2001. Modeling and parameter identification of a maltodextrin DE 12 drying process in a convection oven. *Appl. Math. Model.* 25: 449-462.
9. Griffin, V. K. and J. R. Brooks. 1989. Production and Size distribution of rice maltodextrin from milled rice flour using heat stable alpha amylase. *J. Food Sci.* 54:(1):190-193.
10. Haki, G.D. and S.K. Rakshit. 2003. Developments in industrially important thermostable enzymes: a review. *Bioresour. Technol.* 89: 17-34.
11. Mitsuiki, S., K. Mukae, M. Sakai, M. Goto, S. Hayashida and K. Furukawa. 2005. Comparative characterization of raw starch hydrolyzing Alpha-amylases from various *Bacillus* strains. *Enzyme and Microbial Technol.* 37: 410-416.

12. Novozymes; a biotech based world leader in enzymes. 2006. Enzymes at work pp: 28-32- and Efficient liquefaction of starch (Enzyme Application Sheet). www.novozymes.com
13. Ozbek, B. and S. Yu̇ceer. 2001. Alpha-Amylase inactivation during wheat starch hydrolysis process. *Process Biochem.* 37: 87–95.
14. Plácido, M., G. Rocha, L. Rodrigues and E. R. Amante. 2005. Cassava and corn starch in maltodextrin production. *Artigo Química Nova* 28(4): 596-600.
15. Slomiska, L., D. Wisniewska and A. Grzeskowiak. 2003. Liquefaction of starch by thermostable alpha amylase. *Technologia Alimentaria* 2(2): 17-26.
16. Van der Maarel, M., J.E.C. Bart van der Veen, J.C.M. Uitdehaag, H. Leemhuis and L. Dijkhuizen. 2002. Properties and applications of starch-converting enzymes of the Alpha-amylase family. *J. Biotechnol.* 94: 137–150.