

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

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

(تاریخ دریافت: ۸۶/۱/۲۷؛ تاریخ پذیرش: ۸۶/۸/۱۴)

چکیده

هدف اصلی از انجام این پژوهش، بررسی امکان استفاده از آنزیم آلفا آمیلاز Termamyl 2-x در تولید مالتودکسترین با استفاده از نشاسته ذرت و تسهیل فرایند صنعتی تولید مالتودکسترین 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 اکسی‌والان دکستروز و مواد جامد محلول، غیر فعال‌سازی آنزیم پس از رسیدن به اکسی‌والان دکستروز مورد نظر، جداسازی بخش‌های محلول با استفاده از سانتریفوژ و در نهایت خشک کردن محلول حاصل از سانتریفوژ به روش پاششی بود. در این پژوهش، مقدار اکسی‌والان دکستروز بر حسب ماده‌ی خشک، تحت تاثیر سه غلظت آنزیم (۰/۲، ۰/۲۵ و ۰/۳ میلی‌لیتر 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 اکسی‌والان دکستروز و عوامل مؤثر بر آن از رگرسیون چندمتغیره استفاده شد. در انتها نیز مدلی جهت تخمین مقدار اکسی‌والان دکستروز در ماده خشک بر حسب مقدار آنزیم مصرفی، دما و زمان هیدرولیز در محدوده‌های مورد ارزیابی، ارائه گردید. نتایج حاصل نشان می‌دهند که مقادیر اکسی‌والان دکستروز فرآورده تولیدی تحت تأثیر غلظت‌های مختلف آنزیم (در دما و زمان یکسان هیدرولیز) به‌طور معنی‌داری ($P \leq 0/05$) با یکدیگر تفاوت دارند. ضمن این‌که جهت تولید مالتودکسترین با اکسی‌والان دکستروز بالا، بهترین مقدار مصرف آنزیم و دمای بهینه فرایند هیدرولیز پس از ۳۰۰ دقیقه به ترتیب ۰/۲۵ میلی‌لیتر به ازای هر کیلوگرم نشاسته و 70°C به‌دست آمد. در این شرایط، کمترین میزان نشاسته هیدرولیز نشده و فعالیت باقی‌مانده آنزیم نیز مشاهده گردید.

واژه‌های کلیدی: مالتودکسترین، اکسی‌والان دکستروز، هیدرولیز آنزیمی، آلفا آمیلاز، خشک کردن پاششی

مقدمه

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

امروزه مشتقات اصلاح شده نشاسته، کاربردهای گسترده‌ای در صنعت مواد غذایی یافته‌اند. انواع این فرآورده‌ها از تیمارهای فیزیکی، شیمیایی و آنزیمی نشاسته به‌دست 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 گلشاد مشهد

*. مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: fshahidi@ferdowsi.um.ac.ir

اساس تعریف کروناکس (۶)، اسلومیسکا و همکاران (۱۵) عبارت از قدرت احیا کنندگی مجموع قندهای محصول بر اساس میزان گلوکز موجود در ماده خشک آن می باشد.

مالتودکسترین $[C_6H_{10}O_5)_n H_2O]$ پلیمری از ساکاریدهای فاقد طعم شیرین بوده که اکسی والان دکستروز آن کمتر از ۲۰ و شامل مخلوطی از ترکیبات با وزن مولکولی بین پلی ساکاریدها و الیگوساکاریدهاست که به صورت پودرهای سفید رنگ یا شربت های غلیظ در دسترس می باشد (۶ و ۱۳). ماده خام اصلی که به صورت گسترده ای در تولید مالتودکسترین مورد استفاده قرار می گیرد، نشاسته ذرت است (۶ و ۸).

کروناکس (۶)، دوکیک و همکاران (۷) اظهار داشتند مالتودکسترین ها در مقایسه با نشاسته خام، حلالیت بیشتری در آب داشته، نسبت به اکثر هیدروکلوئیدهای خوراکی، ارزان تر 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 کنترل دمای انجماد استفاده می شوند. به عنوان پوشش دهنده سالاد، پرکننده، عامل ضد کلوخه، ناقل اکسیژن، نگه دارنده آب و در موارد ویژه به عنوان جایگزین چربی نیز کاربرد دارند.

دوکیک و همکاران مشاهده کردند برخی از انواع مالتودکسترین ها قادرند ژل های قابل برگشت با حرارت تشکیل دهند. در مالتودکسترین ها حلالیت و قدرت کاهش دمای انجماد با افزایش اکسی والان دکستروز، افزایش می یابد در حالی که با کاهش اکسی والان دکستروز، ویسکوزیته و ممانعت از کریستالیزاسیون بیشتر می شود (۷). مالتودکسترین ها در کاهش واکنش میلارد نیز نقش دارند و در میکرو کپسولاسیون ترکیبات غذایی حساس، نسبت به سایر مواد متداول از این نظر مفیدتر هستند (۱).

امروزه روش هیدرولیز اسیدی برای تولید مالتودکسترین کمتر مورد استفاده قرار می گیرد و عموماً این روش در تولید

شربت گلوکز به کار می رود. در فرایندهای پیوسته تولید فراورده های هیدرولیز شده نشاسته، روش های هیدرولیز آنزیمی یا استفاده از مخلوط اسید و آنزیم جایگزین هیدرولیز اسیدی شده اند (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 ویژگی های مطلوب تری داشته و در حین فرایند هیدرولیز نیز مواد نامطلوب کمتری تولید می شوند. همچنین نیازی به مرحله حذف نمک های ناخواسته (حاصل از خنثی سازی اسید به روش هیدرولیز اسیدی)، وجود ندارد. ضمن این که فرایند هیدرولیز آنزیمی در گستره وسیع تری از pH و در دماهای پایین تری نسبت به روش هیدرولیز اسیدی انجام می شود. به لحاظ اقتصادی نیز مقرون به صرفه تر بوده و راندمان بالاتری دارد. همچنین انرژی کمتری مصرف نموده و کنترل آن نیز ساده تر است.

وندرمارل و همکاران، خصوصیات انواع آنزیم های آلفا آمیلاز هیدرولیز کننده نشاسته را بررسی نمودند (۱۶). بر این اساس عموماً برای هیدرولیز آنزیمی نشاسته از انواع آنزیم های آلفا آمیلاز (۱-۴ آلفا دی گلوکان، گلوکانو هیدرولاز) تولیدی توسط باسیلوس ها استفاده می شود. بنا بر مشاهدات وندرمارل و همکاران، آلفا آمیلاز در محدوده pH ۸/۴ تا ۶/۵ بیشترین فعالیت را دارد. البته این محدوده pH بر اساس منبع آنزیم نیز متفاوت است به طوری که برای آلفا آمیلاز گیاهی و میکروبی خیلی کمتر از آلفا آمیلاز حیوانی می باشد (۱۶). میتسوکی و همکاران از آنزیم پلواناز نیز برای تولید مالتودکسترین تشکیل دهنده ژل استفاده کردند. بر اساس گزارش این محققین، فعالیت بهینه اکثر پلوانازها در pH بین ۵ تا ۷ و دماهی $45^{\circ}C$ تا $50^{\circ}C$ قرار دارد (۱۱). امروزه در صنعت جهت تولید مالتودکسترین دارای اکسی والان دکستروز پایین از آنزیم BAN 480-L که نوعی آلفا آمیلاز است استفاده می شود (۱۲). اسلومیسکا و همکاران دو مرحله اصلی در تولید

بدین طریق گامی در جهت کاهش واردات مالتودکسترین (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 حداکثر ۷۰ ppm دی‌اکسید گوگرد، ۰/۴٪ خاکستر، ۱۴٪ رطوبت، ۳۵٪ پروتئین و ۲٪ چربی بود. pH آن نیز در محدوده ۴/۵ تا ۵ قرار داشت. آنزیم آلفا آمیلاز Termamyl 2-x از شرکت نووزیم (Novozymes) دانمارک با فعالیت ۲۴۰ KNU/g، تهیه شد و از هیدروکسید سدیم ۱ نرمال، اسید کلریدریک ۵ نرمال، محلول‌های یدی و فلهینگ تولیدی شرکت مرک (Merck) آلمان استفاده گردید.

تعیین اکی‌والان دکستروز

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

فرایند تولید

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

نظر به این‌که استفاده از مقادیر متعارف مصرف آنزیم آلفا آمیلاز Termamyl 120-L جهت تولید مالتودکسترین (۱۴)، موجب گردید اکی‌والان 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 مالتودکسترین عموماً از هیدرولیز کنترل شده آنزیمی نشاسته ذرت که "Liquefaction" نامیده می‌شود، به‌دست می‌آید (۱۵). با تداوم فرایند هیدرولیز مالتودکسترین در طی "Saccharification" گستره وسیعی از فراورده‌های شیرین ایجاد می‌شوند که اکی‌والان دکستروز معادل ۴۵ تا ۷۵ دارند. پلاسیدو و همکاران، نشاسته‌های ذرت و کاساوا را با استفاده از آنزیم آلفا آمیلاز Termamyl 120-L به مالتودکسترین هیدرولیز نموده و خصوصیات مالتودکسترین‌های تولیدی را با HPLC مقایسه نمودند (۱۴). هم‌چنین فریاز و همکاران، تولید مالتودکسترین دارای DE معادل ۱۲ را به وسیله خشک‌کن جابه‌جایی، 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 گندم را مدل‌سازی نمایند. اپار و ازبک (۲)، تاثیر حرارت در غیر فعال‌سازی آنزیم آلفا آمیلاز را بررسی کردند. هم‌چنین محققین مذکور، عوامل مؤثر در غیرفعال‌سازی 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 کینتیک آنزیم و شرایط فرایند به‌صورت 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 افزودنی خاص مورد بررسی قرار گرفته‌است. هدف اصلی از انجام این پژوهش، بررسی امکان استفاده از آنزیم آلفا آمیلاز Termamyl 2-x جهت تولید مالتودکسترین از نشاسته ذرت در مقیاس آزمایشگاهی و پایلوت پلنت، هم‌چنین استفاده از نتایج مذکور جهت تولید صنعتی آن در کشور بود تا

مصرف آنزیم آلفا آمیلاز Termamyl 2-x جهت تولید مالتودکسترین ارایه نشده است.

مراحل فرایند تولید مالتودکسترین، در شکل ۱ نشان داده شده است. در این پژوهش مقدار اکسی والان دکستروز بر حسب ماده خشک، تحت تاثیر سه غلظت آنزیم (۰/۲، ۰/۲۵ و ۰/۳ میلی لیتر به ازای هر کیلوگرم نشاسته ذرت)، در سه دمای متفاوت (۶۰، ۶۵ و ۷۰ درجه سانتی گراد) 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 مورد آنالیز آماری قرار گرفتند. جهت بررسی رابطه بین اکسی والان دکستروز و عوامل مؤثر بر آن از رگرسیون چند متغیره و به منظور مقایسه میانگین‌ها و بررسی اثرات تیمارها از آزمون دانکن استفاده شد. در انتها نیز مدلی جهت تخمین مقدار اکسی والان دکستروز (در ماده خشک) بر حسب مقدار آنزیم مصرفی، دما و زمان هیدرولیز در محدوده‌های مورد ارزیابی، ارایه شد. نرم‌افزارهای آماری مورد استفاده نیز شامل Minitab ver 13.1، MstatC و Sigma stat بودند.

نتایج و بحث

مقادیر اکسی والان دکستروز فراورده تولیدی تحت تأثیر غلظت‌های مختلف آنزیم (در دما و زمان یکسان هیدرولیز) پس از سه ساعت هیدرولیز، به‌طور معنی‌داری ($p \leq 0.05$) با یکدیگر تفاوت دارند. پس از طی زمان ۳۰۰ دقیقه هیدرولیز، تحت تأثیر دمای 60°C و غلظت‌های ۰/۲، ۰/۲۵ و ۰/۳ میلی لیتر آنزیم به ازاء یک کیلوگرم نشاسته، مقادیر اکسی والان دکستروز به ترتیب معادل ۸/۸۲، ۸/۸۷ و ۲۰/۹، تحت تاثیر دمای 65°C معادل ۱۰/۸۶، ۱۶/۱۵ و ۲۶/۷۳ و تحت تاثیر دمای 70°C معادل ۱۲/۰۷، ۱۸/۲۷ و ۲۸/۱۴ به‌دست آمد (جدول ۱).

اسلومیسکا و همکاران (۱۵) مقدار اکسی والان دکستروز

تأثیر غلظت ۰/۳ آنزیم، پس از ۳۰۰ دقیقه در هر سه دمای هیدرولیز مورد آزمایش، دارای اکسی والان دکستروز بالاتر از ۲۰ بود، لذا غلظت ۰/۳ میلی لیتر به ازای هر کیلوگرم نشاسته به‌عنوان غلظت بیشینه مصرف آنزیم انتخاب گردید.

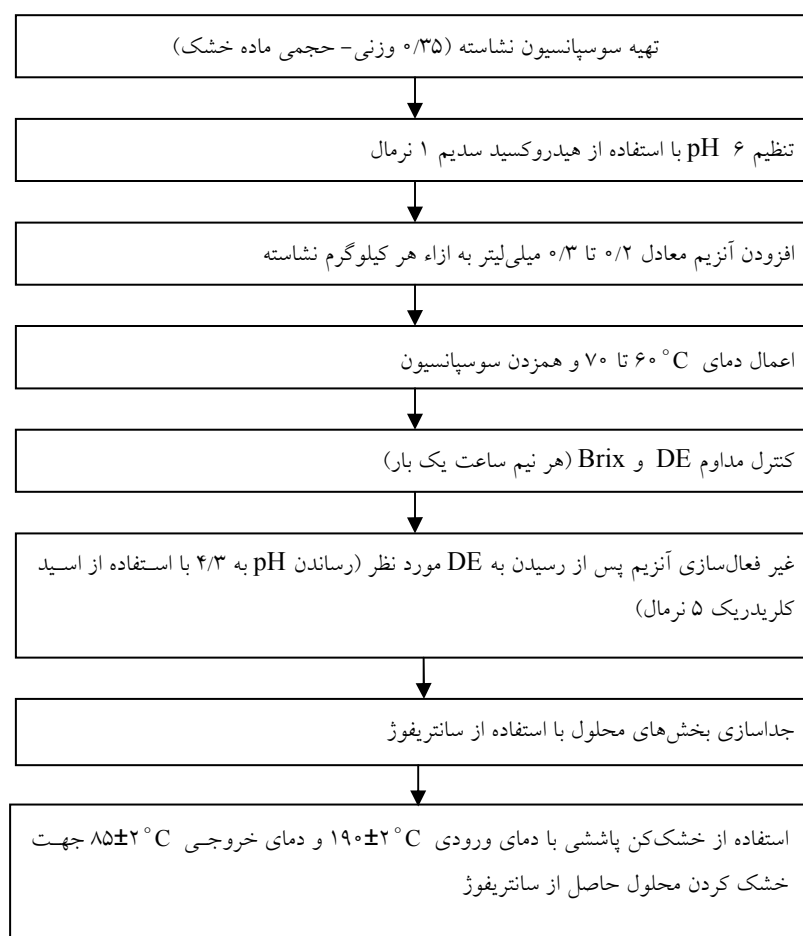
از آنجا که نشاسته خالص به‌میزان بسیار کمی تحت تأثیر آنزیم آلفا آمیلاز قرار می‌گیرد (۱۵) به همین دلیل سوسپانسیون حاوی ۳۵ درصد ماده‌ی خشک برای شروع "Liquefaction" تهیه گردید.

pH بهینه فرایند هیدرولیز، با توجه به منشاء آنزیم *Bacillus licheniformis* و نوع نشاسته مصرفی، با توجه به مشاهدات براوو (۵)، پلاسیدو و همکاران (۱۴)، اسلومیسکا و همکاران (۱۵)، معادل ۶ در نظر گرفته شد. از آنجا که pH سوسپانسیون تولیدی (مخلوط نشاسته و آب مقطر) در حدود ۵ بود با استفاده از هیدروکسید سدیم ۱ نرمال، pH آن تا ۶ افزایش داده شد.

به‌دلیل کاهش ویسکوزیته در مقایسه با هیدرولیز نشاسته توسط سایر آنزیم‌ها و هیدرولیز اسیدی، نیاز به همزن ویژه‌ای نبود. لذا یک همزن معمولی با قدرت ۴۵ دور در دقیقه برای همزدن سوسپانسیون استفاده گردید. جهت غیر فعال‌سازی آنزیم مصرفی پس از رسیدن به DE مورد نظر، با توجه به مشاهدات اپار و ازبیک، pH محلول با استفاده از اسید کلریدریک ۵ نرمال تا ۴/۳ کاهش داده شد (۳ و ۲).

برای خالص‌سازی محلول حاوی مالتودکسترین از سانتریفوژ 500g (مدل Spectrafuge 16M) به روش گریفین و بروکس (۹) که نسبت به فیلتراسیون، راندمان بالاتری دارد (۱۴) استفاده گردید. سرانجام محلول حاصل از سانتریفوژ، توسط خشک‌کن نیمه‌صنعتی (مدل GEA) با دمای ورودی $190 \pm 2^{\circ}\text{C}$ و دمای خروجی $85 \pm 2^{\circ}\text{C}$ به روش پاششی، بنا بر نظریه کروناکیس (۶) به دلیل عدم بازسازی ساختار اولیه نشاسته به سرعت خشک شد (۶ و ۱۲).

پس از این مرحله، به‌منظور تعیین میزان نشاسته هیدرولیز نشده و فعالیت باقی‌مانده آنزیم از روش اپار و ازبیک (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 مالتودکسترین با استفاده از آنزیم آلفا آمیلاز Termamyl 2-x

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 مالتودکسترین (محصول دارای اکی‌والان دکستروز کمتر از ۲۰) مورد بررسی قرار گرفت. مصرف آنزیم آلفا آمیلاز Termamyl 2-x جهت تولید مالتودکسترین 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 اکی‌والان دکستروز در طول ساعت اول هیدرولیز در محدوده‌ای ۸/۹ تا ۱۸/۲، در ساعت دوم ۲۳/۱ و در ساعت سوم ۲۵/۵ گزارش شد.

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

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

زمان هیدرولیز (دقیقه)	دمای هیدرولیز (°C)	غلظت آنزیم مصرفی (میلی‌لیتر به ازای کیلوگرم نشاسته)		
		۰/۲	۰/۲۵	۰/۳
		اکسی‌والان دکستروز		
۶۰	۶۰	۱/۰۵±۰/۰۲ ^a	۱/۵۲±۰/۰۹ ^a	۱/۶۳±۰/۱۴ ^a
	۶۵	۱/۹۳±۰/۰۵ ^a	۲/۱۲±۰/۱۳ ^a	۲/۸۶±۰/۰۹ ^a
	۷۰	۲/۶۱±۰/۱۴ ^a	۳/۰۸±۰/۱۰ ^a	۳/۲۹±۰/۰۹ ^a
۱۲۰	۶۰	۲/۷۱±۰/۰۸ ^a	۴/۱۲±۰/۰۶ ^{ab}	۶/۱۹±۰/۱۷ ^b
	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±۰/۱۳ ^b
۱۸۰	۶۰	۴/۱۶±۰/۰۲ ^a	۸/۹۱±۰/۰۸ ^b	۱۱/۵۷±۰/۲۳ ^c
	۶۵	۵/۳۷±۰/۰۹ ^a	۱۱/۷۶±۰/۰۷ ^b	۱۷/۴۰±۰/۲۱ ^c
	۷۰	۶/۴۳±۰/۰۳ ^a	۱۳/۶۲±۰/۰۴ ^b	۱۸/۶۷±۰/۱۱ ^c
۲۴۰	۶۰	۶/۰۹±۰/۰۲ ^a	۱۲/۰۸±۰/۱۱ ^b	۱۶/۷۰±۰/۱۵ ^c
	۶۵	۷/۸۵±۰/۰۵ ^a	۱۳/۸۵±۰/۱۷ ^b	۲۲/۸۸±۰/۰۴ ^c
	۷۰	۸/۶۲±۰/۰۲ ^a	۱۵/۸۶±۰/۱۹ ^b	۲۴/۱۷±۰/۱۸ ^c
۳۰۰	۶۰	۸/۸۲±۰/۰۸ ^a	۱۴/۸۷±۰/۱۶ ^b	۲۰/۹۰±۰/۱۲ ^c
	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.

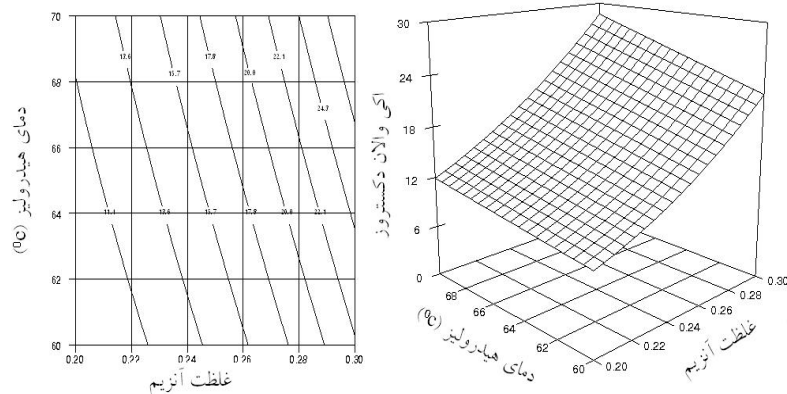
به کاتالیزور و کاهش هزینه فیلتراسیون اشاره نمود (۱۲).

دلیل افزایش زمان هیدرولیز (۳۰۰ دقیقه) در گستره دمایی ۶۰ تا ۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌منظور 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 حداکثر فعالیت آنزیم در حین فرایند هیدرولیز بود. لازم به توضیح است که در این گستره دمایی امکان استفاده از پلواناز نیز فراهم می‌آید.

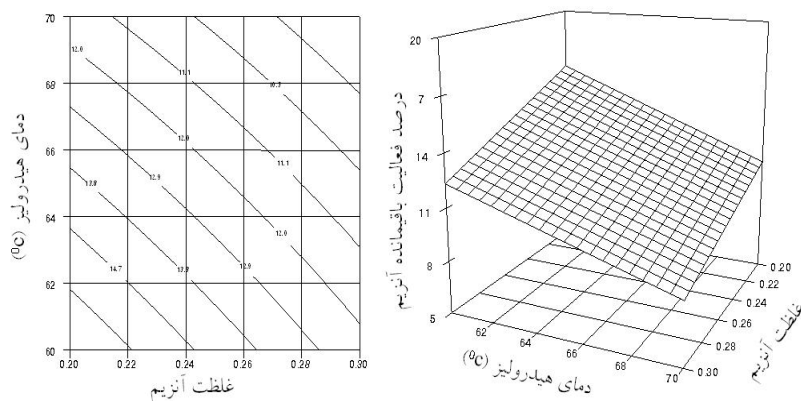
برآورد میزان نشاسته هیدرولیز نشده و فعالیت باقی‌مانده

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

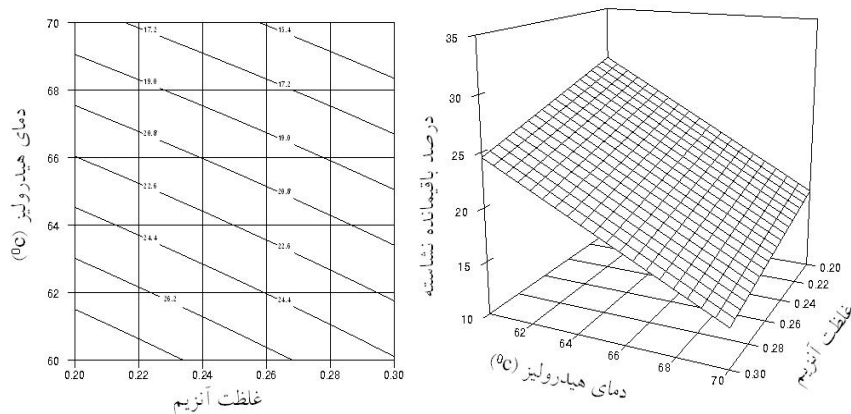
الف



ب



ج



شکل ۲. روند تغییرات اکسی‌والان دکستروز (الف)، فعالیت باقی‌مانده آنزیم (ب) و میزان نشاسته هیدرولیز نشده (ج) تحت تاثیر مقادیر ۰/۲ تا ۰/۳ میلی‌لیتر به ازای هر کیلوگرم نشاسته ذرت از آنزیم آلفا آمیلاز Termamyl 2-x، در محدوده دمایی ۶۰ تا ۷۰ درجه سانتی‌گراد پس از زمان ۳۰۰ دقیقه هیدرولیز و pH ثابت ۶

آنزیم و دمای هیدرولیز ۷۰ درجه سانتی گراد و کمترین آن تحت تأثیر غلظت ۰/۲ آنزیم و دمای هیدرولیز ۶۰ 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 ۱۸ تا ۱۹) به ترتیب ۰/۲۵ میلی لیتر به ازای هر کیلوگرم نشاسته و ۷۰ °C به مدت ۳۰۰ 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 گلشاد 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 گردد.

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 ۰/۲ تا ۰/۳ میلی لیتر از آنزیم به ازای هر کیلوگرم نشاسته ذرت، دمای ۶۰ تا ۷۰ درجه سانتی گراد، در طول زمان ۳۰۰ دقیقه هیدرولیز و در pH ثابت ۶ به دست آمد (** $R^2=0.875$).

$$[1] \quad \begin{aligned} & \text{اکی والان دکستروز} = (0.635 \times \text{زمان هیدرولیز}) + \\ & 45.1 - (82.6 \times \text{غلظت آنزیم}) + (359 \times \text{دمای هیدرولیز}) \end{aligned}$$

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 ۰/۳

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. Yu'ceer. 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 Quimica 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.