تغییر ویژگی‌های کیفی و سینتیک افت قندهای احیاکننده در خلال سیب‌زمینی طی آنزیم‌بری

مریم اسدی، ناصر همدمی و سید امیرحسین گلی[1*]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۴/۱ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۳/۱۳)

چکیده

با توجه به مشکلات نگهداری، حمل و نقل و نوسان فصلی قیمت سیب‌زمینی تازه، تولید فرآورده‌های آماده مصرف نظیرخلال سیب‌زمینی نیمه سرخ شده از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. کیفیت خلال سیب‌زمینی نیمه سرخ شده عمدتاً به ظاهر، رنگ، طعم، بافت و میزان جذب روغن برمی‌گردد. یکی از مراحل‌مهم در فرآوری این محصول، مرحله آنزیم‌بری است. آنزیم‌بری سیب‌زمینی موجب بهبود رنگ محصول در اثر کاهش میزان قندهای احیاکنندهٔ سیب‌زمینی، کاهش جذب روغن به‌دلیل ژلاتینه شدن نشاسته سطحی و بهبود بافت محصول می‌شود. بنابراین با انتخاب روش و شرایط مناسب آنزیم‌بری، می‌توان کیفیت محصول را بهبود بخشید. به منظور بررسی اثر دمای آنزیم‌بری بر سینتیک افت قندهای احیاکننده و تغییرات رنگ و بافت خلال، خلال‌های سیب‌زمینی با ابعاد ۰/۸ × ۰/۸ × ۸ سانتی‌متر تهیه شده و در آب با دماهای۶۰، ۷۰، ۸۰ و۹۰ درجه سلسیوس و مدت زمان‌های مختلف تا ۱۲۰ دقیقه آنزیم‌بری شدند. از خلال‌های سیب‌زمینی طی آنزیم‌بری نمونه‌برداری شده و رنگ، بافت، میزان قندهای احیاکننده نمونه‌ها تعیین‌شد. نتایج نشان داد که میزان قندهای احیاکننده نمونه‌ها طی‌آنزیم‌بری کاهش یافته و میزان آن تابعی از دما و زمان آنزیم‌بری بوده است. هم‌چنین، کیفیت بافت و رنگ خلال سیب‌زمینی به‌وسیله دمای آنزیم‌بری تحت تأثیر قرار می‌گیرد و آنزیم‌بری در دمای پایین در بهبود خصوصیات کیفی خلال مؤثرتر می‌باشد. مطابق نتایج به‌دست آمده، تفاوت معنی‌داری در میزان قند احیاکننده خلال آنزیم‌بری شده در دمای۸۰ و۹۰ با دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد مشاهده نشد و بین مقادیر قند احیاکننده در زمان‌های ۱۰۰دقیقه و۵ دقیقه آنزیم‌بری در دمای۶۰ درجه سانتی‌گراد تفاوت معنی‌داری دیده نشد و کمترین آسیب بافتی با آنزیم‌بری در دمای۶۰ درجه سانتی‌گراد و زمان کوتاه حاصل شد. نتایج نشان داد که برای حفظ رنگ و بافت مطلوب خلال و کاهش مصرف انرژی می‌توان آنزیم‌بری را در دمای۶۰ درجه‌سانتی‌گراد و زمان۵ دقیقه به شرط غیرفعال‌شدن آنزیم‌ها انجام داد.

واژه‌های کلیدی: خلال سیب‌زمینی، آنزیم‌بری، قند احیاکننده، رنگ، بافت

۱. به‌ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد و استادیاران گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: amirgoli@cc.iut.ac.ir

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-12]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1393.4.13.21.9]

مقدمه

سیب‌زمینی گیاهی است تتراپلوئید از جنس *سولانوم* (*Solanum*) و از خانواده *سولاناسه* (*Solanacea*). *سولانوم توبرزوم* (*Solanum tuberosum*)، تنها گونه‌ای است که در سراسر جهان و در شرایط آب و هوایی مختلف قابل کشت است و پس از گندم، ذرت و برنج، از مهم‌ترین محصولات کشاورزی به‌شمار می‌رود. سیب‌زمینی یکی از مهم‌ترین منابع غذایی انسان است. مقدار پروتئین آن در حدود ۲% و با کیفیت مطلوب می‌باشد، به‌طوری‌که بیشتر شامل اسیدهای آمینه ضروری است و فقط از نظر متیونین و سیستئین محدودیت دارد. به‌دلیل قابلیت هضم آسان سیب‌زمینی و داشتن پروتئین با کیفیت مطلوب، پس از تخم‌مرغ، به‌عنوان دومین منبع غذایی ساده و پرمصرف جهان، شناخته می‌شود (۷ و ۱۵). نشاسته سیب‌زمینی خام غیرقابل هضم بوده و بنابراین فرآوری حرارتی برای افزایش قابلیت هضم آن ضروری است. سیب‌زمینی می‌تواند پخته شود و مستقیماً مصرف گردد یا به شکل یک محصول تجاری فرآوری شود. در حال حاضر، طیف وسیعی از فرآورده‌های سیب‌زمینی نظیر گرانول، آرد، نشاسته، محصولات کنسروی و فرآورده‌های سرخ شده تولید می‌شود. به‌طور عمده، فرآورده‌های سرخ شده شامل چیپس و خلال سیب‌زمینی نیمه سرخ شده (فرنچ فرایز) است (۵ و ۹). خلال سیب‌زمینی نیمه سرخ شده، یکی از مشهورترین محصولات سرخ شده سیب‌زمینی می‌باشد. به‌طور معمول خلال سیب‌زمینی نیمه سرخ شده به قطعاتی از سیب‌زمینی به طول تقریبی ۷-۶ سانتی‌متر و سطح مقطع ۱سانتی‌مترمربع اطلاق می‌گردد که در روغن داغ، نیمه سرخ می‌شوند (۶).

با توجه به مشکلات نگهداری، حمل و نقل و نوسان فصلی قیمت سیب‌زمینی تازه، تولید فرآورده‌های آماده مصرف مانند خلال سیب‌زمینی سرخ شده از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. تولید خلال سیب‌زمینی نیمه سرخ شده شامل واحدهای عملیاتی مختلفی همچون آنزیم‌بری، خشک کردن، نیمه سرخ کردن و انجماد می‌باشد (۹). هر واحد عملیاتی نقش تعیین‌کننده‌ای در کیفیت خلال سیب‌زمینی سرخ شده بازی می‌کند. برای مثال در طی آنزیم‌بری، ترکیبات محلول از بافت سیب‌زمینی خارج شده و باعث بهبود رنگ خلال سرخ شده می‌گردند. در این راستا بررسی عوامل مؤثر بر بهبود کیفیت محصول و یکنواختی آن در طی دوره تولید ضروری است به‌ویژه روش‌هایی که به واسطه آنها بتوان میزان مصرف روغن و آکریل‌آمید تولید شده در فرآیند را کاهش داد و رنگ و بافت محصول را بهبود بخشید (۱).

زمانی‌که سیب‌زمینی پوست‌گیری می‌شود و در معرض هوا قرار می‌گیرد، بافت آن قهوه‌ای رنگ می‌شود. علت تغییر رنگ، وجود آنزیم پلی فنل اکسیداز است که در حضور اکسیژن هوا، ترکیبات فنولیک موجود در سیب‌زمینی را به ترکیبات کینونی قهوه‌ای رنگ تبدیل می‌کند. بریدن سیب‌زمینی باعث آسیب به دیواره سلولی و آزاد شدن این آنزیم می‌شود. این واکنش اکسیداسیون را می‌توان با غیرفعال کردن آنزیم توسط حرارت به حداقل رساند (۵). آنزیم‌بری سیب‌زمینی موجب بهبود رنگ محصول در اثر کاهش میزان قندهای احیاءکنندهٔ سیب‌زمینی، کاهش جذب روغن به‌دلیل ژلاتینه شدن نشاسته سطحی و بهبود بافت محصول می‌شود. بنابراین با انتخاب روش و شرایط مناسب آنزیم‌بری (دما و زمان)، می‌توان کیفیت محصول را بهبود بخشید (۱۳). بهینه‌سازی فرآیند تولید فرآورده‌های غذایی از جمله زمینه‌های جذاب برای مطالعه در صنعت غذاست. از جمله اهداف تحقیقات توسعه‌ای اخیر در صنعت تولید خلال سیب‌زمینی سرخ شده، کاهش تولید آکریل‌آمید و نیز کاهش جذب روغن در فرآورده نهایی بوده است. آکریل‌آمید یکی از ترکیبات نامطلوبی می‌باشد که در فرآیند تولید خلال سیب‌زمینی سرخ شده از طریق واکنش میلارد تولید می‌شود. قندهای احیاءکننده یکی از مواد اولیه مورد نیاز برای تولید آکریل‌آمید می‌باشند، بنابراین مقدار قندهای احیاکننده سیب‌زمینی، یکی از عوامل تعیین‌کننده میزان آکریل‌آمید تولیدی طی فرآیند سرخ کردن است (۲). رنگ به‌عنوان یکی از فاکتورهای کیفی قابل اندازه‌گیری می‌تواند به‌عنوان شاخصی برای پیشرفت واکنش

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-12]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1393.4.13.21.9]

میلارد و تولید آکریل‌آمید استفاده شود. پدرسچی و همکاران یک رابطه خطی برای توصیف تغییرات غلظت آکریل‌آمید به‌عنوان تابعی از رنگ چیپس سیب‌زمینی پیشنهاد نمودند (۱۱). از دیگر کارهای انجام شده در ارتباط با آنزیم‌بری سیب‌زمینی می‌توان به تحقیق انجام شده توسط ژیکیانگ لیو و همکاران اشاره نمود. آنها اثر شرایط آنزیم‌بری را روی بافت قطعات سیب‌زمینی مورد مطالعه قرار داده و گزارش کردند که در دماهای پایین‌تر (کمتر از ۷۴درجه سانتی‌گراد)، زمان آنزیم‌بری اثر کمتری بر بافت محصول دارد، در حالی‌که در دماهای بالاتر (بیش از۷۴ درجه سانتی‌گراد)، با افزایش دما و زمان، بافت نرم‌تر می‌شود (۱۷). برخی از محققین آنزیم‌بری در شرایط دمای پایین و زمان طولانی (۶۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۵ دقیقه) را عامل بهبود رنگ دانسته‌اند (۲). در حالی‌که آنزیم‌بری در شرایط دمای بالا و زمان کوتاه را سبب بی‌رنگ شدن، افزایش درصد روغن باقیمانده و کاهش ویژگی‌های حسی محصول عنوان کرده‌اند (۴).

با توجه به موارد مذکور، آنزیم‌بری از جمله عملیات مؤثر بر میزان قندهای احیاکننده، رنگ و بافت سیب‌زمینی قبل از ورود به مرحله سرخ کردن و در نتیجه کاهش آکریل‌آمید تولید شده در محصول نهایی و بهبود کیفیت آن می‌باشد. در این پژوهش با هدف بهبود کیفیت خلال سیب‌زمینی سرخ شده، سینتیک خروج قندهای احیاکننده و تغییرات رنگ و بافت خلال سیب‌زمینی طی آنزیم‌بری به‌عنوان تابعی از دما و زمان فرآیند بررسی می‌شود.

مواد و روش‌ها

الف) تهیه و نگهداری سیب‌زمینی

در آبان‌ماه سال ۱۳۸۹ سیب‌زمینی با رقم پاییزه کوزیما از منطقه فریدن اصفهان به میزان ۱۰۰ کیلوگرم خریداری گردید. سیب‌زمینی در داخل گونی به سردخانه بالای صفر با دمای ۵-۴ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۹۰-۸۵ درصد منتقل شد.

ب) تهیه نمونه‌های خلال سیب‌زمینی

سیب‌زمینی‌ها قبل از استفاده به‌مدت دو هفته در دمای ۲۰-۱۸ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. برای تهیه خلال سیب‌زمینی، ابتدا مقداری از سیب‌زمینی‌های متوسط تا درشت انتخاب شده و پس از پوست‌گیری، به ابعاد ۰/۸ × ۰/۸ × ۸ سانتی‌متر خلال شدند. در مرحله بعد خلال‌های هم اندازه و سالم، درآب با دماهای ۶۰، ۷۰، ۸۰ و۹۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۱۲۰ دقیقه آنزیم‌بری شدند. نمونه‌برداری از خلال‌ها در زمان‌های ۰، ۵، ۱۰، ۲۰، ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ دقیقه به منظور اندازه‌گیری رنگ و بافت خلال و در زمان‌های ۰، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ دقیقه برای تعیین میزان قندهای احیاکننده (گلوکز و فروکتوز) خلال به‌وسیله دستگاه کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا، انجام گرفت.

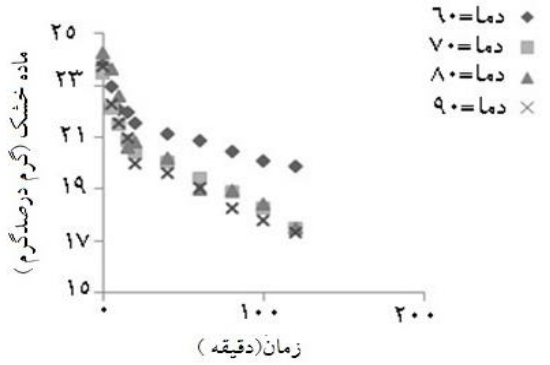
ج) اندازه‌گیری رنگ و بافت

برای اندازه‌گیری شاخص‌های رنگ (L^*, a^*, b^*)، از نمونه‌ها در یک محفظه مخصوص با مقطع ذوزنقه‌ای و مجهز به دو لامپ D65 عکس‌برداری شد. عکس‌برداری نمونه‌ها با دوربین ۸/۱ مگا پیکسل(Samsung L830, South Korea) و تجزیه و تحلیل عکس نمونه در نرم‌افزار Adobe Photoshop CS version 8.0 انجام شد. فاکتور *L شدت روشنایی (عدم تیرگی) یا ارزش رنگ خلال‌ها بوده، *a تمایل به قرمزی یا سبزی و *b تمایل به زردی یا آبی را نشان می‌دهد. دامنه نوسان این دو متغیر بین ۱۰۰ و ۱۰۰- است و هر چه اعداد به ۱۰۰ نزدیک‌تر شوند تمایل به قرمزی و زردی به‌ترتیب بیشتر می‌شود. فاکتور *L از صفر تا ۱۰۰ نوسان کرده و به‌ترتیب تیرگی تا روشنی را در نمونه‌ها نشان می‌دهد (۱۴).

تست نفوذسنجی برای اندازه‌گیری ویژگی‌های مکانیکی خلال به‌وسیله دستگاه آزمون جامع کشش- فشار مدل ۱۱۴۰ ساخت شرکت اینسترون انگلستان انجام شد. قطر پروب۲ میلی‌متر، سرعت نفوذ پروب۵۰ میلی‌متر در دقیقه و سلول حساس به نیرو(Load cell) ۵۰۰ گرم تا ۵ کیلوگرم مورد استفاده قرار گرفت. برای هر خلال سیب‌زمینی، ۳ مرتبه در دمای اتاق تست نفوذسنجی انجام شد (دو تست نفوذسنجی در

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-12]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1393.4.13.21.9]



شکل ۱. سینتیک تغییرات ماده خشک طی آنزیم بری در دماهای مختلف

دو انتها و سومی در وسط خلال). حداکثر نیروی لازم برای نفوذ پروب به داخل بافت خلال سیب‌زمینی به‌عنوان شاخص کیفیت بافت تعیین شد (۹).

د) اندازه‌گیری میزان قند احیاکننده در خلال‌های سیب‌زمینی

اندازه‌گیری میزان قندهای احیاکننده با استفاده از کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا به شیوه زیر انجام شد:

پس ازخرد کردن و همگن ساختن نمونه سیب‌زمینی،۱۰ گرم از نمونه داخل بشر توزین شد و با ۱۵ میلی‌لیتر اتانول ۷۰% مرک مخلوط شد و پس از کمی حرارت با کاغذ صافی عصاره‌گیری شد. عصاره استخراج شده با آب دوبار تقطیر به حجم۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. بخشی از این محلول به‌مدت۳۰ دقیقه در سانتریفوژ۳۰۰۰ دور در دقیقه قرار داده شد. پس از تکمیل عمل سانتریفوژ، محلول شفاف حاصل با صافی۰/۴۵میکرون صاف و به ظرف مخصوص منتقل شد و تا هنگام تزریق به دستگاه در فریزر نگهداری شد. فاز متحرک در این تحقیق آب دوبار تقطیر شده بود. عمل هواگیری با پمپ خلاء به‌مدت ۲۰ دقیقه انجام و سپس از یک صافی با اندازه منافذ ۰/۴۵ میکرون استفاده شد.

ه) طرح آماری مورد استفاده

برای بررسی اثر دما و زمان بر سینتیک خروج قندهای احیاکننده و تغییرات کیفی خلال طی آنزیم‌بری، آزمایش‌های به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام گرفت. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS و رسم نمودارها با نرم‌افزار Excel صورت گرفت. آزمون میانگین داده‌ها به روش حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح اطمینان ۹۹% انجام گرفت.

نتایج و بحث

الف) تأثیر دمای آنزیم‌بری روی سینتیک تغییرات بافت

همان‌طور که در شکل ۱ ملاحظه می‌شود با پیشرفت زمان آنزیم‌بری در دماهای مورد آزمایش میزان ماده خشک خلال‌ها کاهش می‌یابد و این کاهش در دماهای بالاتر شدیدتر می‌باشد. هم‌چنین نتایج نشان داد که با کاهش ماده خشک خلال طی آنزیم‌بری، بافت نرم‌تر می‌شود و سفتی آن کاهش می‌یابد و در دماهای بالاتر کاهش سفتی شدیدتر بوده است. بنابراین سفتی تابعی از دما و ماده خشک می‌باشد.

هم‌چنین نتایج جدول۱ نشان می‌دهد که اثر دما و زمان آنزیم‌بری بر فاکتورهای حداکثر نیرو و درصد ماده خشک در سطح ۱ درصد معنی‌دار است. همان‌طور که در این جدول ملاحظه می‌شود با افزایش زمان آنزیم‌بری، مقدار خروج مواد محلول افزایش یافته، به عبارتی ماده خشک کاهش یافته و منجر به کاهش سفتی بافت می‌شود. هم‌چنین افزایش دمای آنزیم‌بری باعث کاهش سفتی بافت شده است. بنابراین بیشترین میزان سفتی با آنزیم‌بری در دمای ۶۰ درجه سلسیوس حاصل می‌شود.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-12]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1393.4.13.21.9]

جدول۱. مقایسه میانگین داده‌های مربوط به ماده خشک و سفتی بافت طی آنزیم بری

زمان (دقیقه)	ماده خشک (%)	حداکثر نیرو (نیوتن)
۰	۲۳/۸۰۰۰ a	۱۳/۹۰۸۷ a
۵	۲۲/۷۶۲۵ b	۱۰/۶۱۶۷ b
۱۰	۲۱/۹۳۷۵ c	۸/۶۲۶۰ c
۲۰	۲۰/۶۸۷۵ d	۶/۴۶۲۷ d
۴۰	۲۰/۲۵۰۰ e	۵/۶۹۹۹ e
۸۰	۱۹/۱۳۷۵ f	۵/۲۶۸۳ ef
۱۲۰	۱۸/۰۵۰۰ g	۴/۷۸۰۵ f
دما (سانتی‌گراد)	ماده خشک (%)	حداکثر نیرو (نیوتن)
۶۰	۲۱/۷۰۰۰ a	۱۲/۴۱۱۳ a
۷۰	۲۰/۶۱۴۳ c	۹/۱۱۵۹ b
۸۰	۲۱/۰۷۱۴ b	۵/۶۰۷۸ c
۹۰	۲۰/۴۰۰۰ c	۴/۵۰۰۸ d

حروف غیرمشترک در هر ستون بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ است.

نرم شدن بافت در دمای بالا به‌طور عمده به‌دلیل سهولت تخریب و جدا شدن سلول‌ها در دمای بالاست که با افزایش حلالیت پلی ساکاریدهای پکتیک همراه است. بر خلاف آنزیم‌بری در دمای بالا، دمای پایین آنزیم‌بری منجر به افزایش سفتی بافت می‌شود. چنین تیماری می‌تواند آنزیم پکتین متیل استراز را فعال کرده، گروه‌های کربوکسیل آزاد بر روی شاخه پکتین ایجاد کند که می‌تواند با یون‌های دو ظرفیتی واکنش داده و ساختارهای محکم‌تری ایجاد کند و سفتی را افزایش دهد (۲).

جدول ۲ اثر متقابل دما و زمان بر سفتی خلال را نشان می‌دهد همان‌طور که ملاحظه می‌شود بیشترین میزان سفتی بافت مربوط به دمای ٦٠ و زمان‌های ۵ و ۱۰ دقیقه آنزیم‌بری می‌باشد. به‌عبارتی، کمترین آسیب بافتی با آنزیم‌بری در دمای ٦٠ درجه و زمان کوتاه حاصل می‌شود.

در نتایج مشابه، پدرسچی و همکاران عنوان کرده‌اند که آنزیم‌بری در دمای پایین نسبت به دمای بالا باعث بهبود بافت شده و آسیب‌های فیزیکی و پوسته پوسته شدن طی فرآیندهای بعدی را کاهش می‌دهد (۱۲). هوانگ و بورن نیز اظهار داشته است که خلال‌های حرارت دیده در دامنه ۶۷-۶۴ درجه سانتی‌گراد، بافت سفت‌تری نسبت به آنهایی که در دمای بالای ۹۰ درجه سانتی‌گراد آنزیم‌بری شده‌اند، دارند (۸). بارتلمی و هوف با مطالعه فعالیت آنزیم پکتین متیل استراز، عنوان کرده است که فعالیت این آنزیم، در محدوده ۷۰ -۵۰ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد ولی از دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به بعد، تضعیف می‌شود (۳). هم‌چنین در دمای بین ۷۵-۶۰ درجه سانتی‌گراد، به‌ویژه در ۷۰ درجه سانتی‌گراد، تعداد بیشتری از گرانول‌های نشاسته، ژلاتینه می‌شوند که در نتیجه، کلسیم بیشتری آزاد شده و به هم پیوستگی درون سلولی افزایش می‌یابد. این امر می‌تواند تحت تأثیر تشکیل پل‌های کلسیم-پکتین که مانع از حلالیت پکتین می‌شوند، باشد (۱۶).

ب) تأثیر دمای آنزیم‌بری روی سینتیک تغییرات رنگ

نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد که مقادیر اندیس‌های رنگ سنجی در شرایط آنزیم‌بری در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد تفاوت معنی‌داری با دماهای ۷۰، ۸۰ و ۹۰ درجه سانتی‌گراد داشته است

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-12]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1393.4.13.21.9]

جدول ۲. اثرمتقابل دما و زمان بر داده‌های مربوط به سفتی بافت طی آنزیم بری

زمان(دقیقه) / دما(°C)	۶۰	۷۰	۸۰	۹۰
۰	۱۳/۹۰۸۷ a	۱۳/۹۰۸۷ a	۱۳/۹۰۸۷ a	۱۳/۹۰۸۷ a
۵	۱۳/۰۴۹۴ ab	۱۰/۶۲۲۶ f	۱۰/۸۹۵۷ ef	۷/۸۹۸۹ g
۱۰	۱۲/۹۸۰۹ abc	۱۱/۰۱۲۸ def	۶/۳۷۱۱ h	۴/۱۳۹۱ ij
۲۰	۱۱/۰۵۳۴ def	۸/۶۱۵۴ g	۳/۷۵۹۹ j	۲/۴۲۲۲ k
۴۰	۱۱/۹۰۳۹ bcde	۷/۸۷۸۸ g	۱/۹۳۸۲ kl	۱/۰۷۸۶ l
۸۰	۱۲/۰۹۵۹ bcd	۶/۷۲۳۹ h	۱/۱۶۹۸ l	۱/۰۸۳۶ l
۱۲۰	۱۱/۸۸۶۸ cde	۵/۰۴۹۲ i	۱/۲۱۱۶ l	۰/۹۷۴۵ l

حروف غیرمشترک بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ می‌باشد.

جدول ۳. مقایسه میانگین داده‌های حاصل از اندازه‌گیری رنگ در طی آنزیم بری

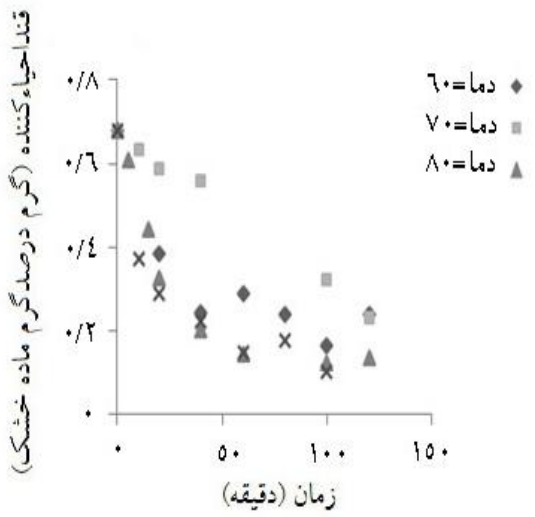
زمان (دقیقه)	L*	a *	b *
۰	۶۳/۶۱۸۳ a	-۱۵/۱۱۲۹ a	۵۸/۶۹۰۰ a
۵	۶۱/۵۷۳۳ de	-۱۵/۵۷۰۱ abc	۵۷/۳۱۰۷ a
۱۰	۶۲/۲۹۳۸ dc	-۱۶/۰۲۲۴ c	۵۸/۷۶۸۸ a
۲۰	۶۱/۴۳۶۰ e	-۱۵/۹۶۴۷ c	۵۷/۸۵۴۵ a
۴۰	۶۱/۷۷۹۱ de	-۱۵/۲۸۶۱ ab	۵۲/۹۵۲۴ b
۸۰	۶۲/۶۹۱۹ bc	-۱۵/۴۷۸۶ ab	۵۱/۶۵۹۹ b
۱۲۰	۶۳/۲۴۰۹ ab	-۱۵/۶۶۶۳ bc	۴۹/۶۲۶۵ c
دما (درجه سانتی‌گراد)	L*	a *	b *
۶۰	۶۳/۴۹۵۷ a	-۱۵/۲۰۵۰ a	۴۸/۵۴۷۹ c
۷۰	۶۲/۱۹۷۸ b	-۱۵/۶۰۶۵ b	۵۷/۴۲۹۰ ab
۸۰	۶۲/۱۵۴۶ b	-۱۵/۷۴۶۸ b	۵۸/۴۵۱۳ a
۹۰	۶۱/۶۵۶۶ b	-۱۵/۷۸۵۳ b	۵۶/۶۳۶۳ b

حروف غیرمشترک در هر ستون بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ است.

. به عبارتی خلال‌های آنزیم‌بری شده در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد اندیس *L و * a بالاتر و اندیس * b پایین‌تری نسبت به خلال‌های آنزیم‌بری شده در سه دمای دیگر داشته‌اند. نتایج نشان می‌دهد که میزان اندیس *L که شدت روشنی خلال را نشان می‌دهد در دمای پایین بیشتر بوده و تفاوت معنی‌داری با میزان این اندیس در دماهای بالا دارد. روشن‌تر شدن رنگ خلال(افزایش اندیس*L) طی آنزیم‌بری به‌دلیل خروج ترکیبات رنگی از جمله کاروتنوئیدها به داخل آب در طی آنزیم‌بری می‌باشد که در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد از آن‌جایی‌که نشاسته سطحی هنوز در این دما ژلاتینه نشده، خروج ترکیبات راحت‌تر صورت می‌گیرد و رنگ خلال روشن‌تر از ۶۰ درجه سانتی‌گراد منجر به تغییر در ریز ساختار سیب‌زمینی

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-12]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1393.4.13.21.9]



شکل۲. سینتیک خروج قندهای احیاکننده طی آنزیم بری در دماهای مختلف

می‌شود که این رویداد انتشار قندهای احیاکننده را دچار مشکل می‌کند و میزان تغییر در اندیس‌های رنگ را کاهش می‌دهد. هم‌چنین ژلاتینه شدن نشاسته در سطح خلال باعث تیره‌تر شدن آن می‌شود. پدرسچی و همکاران نیز دمای پایین آنزیم‌بری را عامل رنگ روشن‌تر سیب‌زمینی دانسته‌اند (۱۲). هم‌چنین جدول۳ نشان می‌دهد که اثر دمای آنزیم‌بری بر فاکتورهای رنگ‌سنجی بیشتر از زمان آنزیم بری بوده است. به عبارتی اثر متقابل دما و زمان بر فاکتورهای *L و *b، در سطح ۰/۰۰۱ و بر فاکتور*a در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار بوده است.

داده‌ها نشان داد که در حین آنزیم‌بری با افزایش رطوبت، کاهش ماده خشک و کاهش قندهای احیاکننده، اندیس*L افزایش یافته و اندیس‌های*a و *b کاهش می‌یابند. رنگ خلال بعد از آنزیم‌بری بیشتر تحت تأثیر میزان ماده خشک و نشاسته ژلاتینه شده می‌باشد تا غلظت قندهای احیاکننده، اما رنگ خلال سرخ شده تابع غلظت قندهاست که در نتیجه فرآیند حرارتی، غلظت سطحی آنها کاهش یافته و محصول با رنگ روشن‌تر و یکنواخت‌تر تولید می‌شود. به عبارتی، میزان انتشار مواد محلول (آمینواسیدها و قندهای احیاکننده) از بافت سیب‌زمینی در آب آنزیم‌بری، مقدار واکنش میلارد در فرآیند سرخ‌کردن را تعیین می‌کند (۱).

ج) تأثیر دمای آنزیم‌بری روی سینتیک خروج قندهای احیاکننده

همان‌طور که در شکل ۲ دیده می‌شود خروج قندهای احیاکننده از سیب‌زمینی در هر ۴ دما روند مشابهی را دنبال کرده است، به عبارتی میزان قندهای احیاءکننده باقی‌مانده در سیب‌زمینی با افزایش زمان آنزیم‌بری کاهش می‌یابد.

جدول ۴ مقایسه میانگین داده‌های مربوط به خروج قندهای احیاکننده را طی آنزیم‌بری نشان می‌دهد. اثر دما و زمان آنزیم‌بری بر کاهش قندهای احیاکننده در سطح۰/۰۰۱ معنی‌دار است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود آنزیم‌بری در دمای۶۰، ۸۰ و ۹۰ درجه سانتی‌گراد اثر معنی‌داری بر میزان قندهای احیاءکننده باقی‌مانده در خلال نداشته است. سرعت بالای استخراج قندها در دمای۶۰ درجه سانتی‌گراد را می‌توان این‌گونه توجیه کرد که در این دما نشاسته هنوز ژلاتینه نشده و سرعت خروج قندها بالاست اما در دمای۷۰ درجه سانتی‌گراد که نزدیک به دمای ژلاتینه شدن نشاسته است، نشاسته سطحی سریعاً ژلاتینه شده و خروج قندها را تحت تأثیر قرار داده است (۱۲). دماهای بالاتر(۸۰ و ۹۰ درجه سانتی‌گراد) ممکن است با افزایش ضریب انتشار گلوکز و فروکتوز، سرعت خروج قندهای احیاکننده را افزایش داده باشد. هم‌چنین اثر زمان بر میزان قندهای احیاکننده موجود در خلال در این جدول نشان

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-12]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1393.4.13.21.9]

جدول۴. مقایسه میانگین سینتیک خروج قندهای احیاءکننده طی آنزیم بری

زمان (دقیقه)	میزان قند احیاءکننده (گرم درصدگرم ماده خشک)
۰	۰/۶۷۹۱۴ a
۵	۰/۴۰۲۹۳ b
۱۰	۰/۴۳۶۳۶ b
۱۵	۰/۴۵۱۳۳ b
۲۰	۰/۴۳۲۸۲ b
۴۰	۰/۳۲۷۴۷ c
۶۰	۰/۲۲۶۰۶ c
۸۰	۰/۲۸۶۸۹ c
۱۰۰	۰/۱۷۵۷۸ d
۱۲۰	۰/۱۷۳۱۷ d
دما (سانتی‌گراد)	**میزان قند احیاکننده (گرم درصدگرم ماده خشک)**
۶۰	۰/۳۱۳۸۰ b
۷۰	۰/۴۶۴۳۷ a
۸۰	۰/۳۴۵۳۴ b
۹۰	۰/۳۱۳۲۷ b

حروف غیرمشترک در هر ستون بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ می‌باشد.

می‌دهد خروج قندها در دقایق اولیه با سرعت زیادی انجام می‌شود و تفاوت معنی‌داری بین میزان قند احیاکننده در زمان صفر و ۵ دقیقه آنزیم‌بری دیده می‌شود در حالی‌که بین میزان قند احیاکننده در زمان ۵ و ۲۰ دقیقه تفاوت معنی‌داری وجود ندارد. در دقایق ۶۰،۴۰ و ۸۰ دقیقه نیز تفاوت‌ها معنی‌دار نیست.

در ادامه برای مشخص کردن بهترین زمان آنزیم‌بری در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد از لحاظ کاهش قندهای احیاکننده، می‌توان به جدول ۵ مراجعه کرد که اثر متقابل دما و زمان را بر میزان قند احیاکننده موجود در خلال نشان می‌دهد. همان‌گونه که در ستون مربوط به دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد (بهترین دمای آنزیم‌بری) مشاهده می‌شود کمترین میزان قند احیاءکننده مربوط به زمان ۱۰۰ دقیقه آنزیم‌بری می‌باشد که هیچ تفاوت معنی‌داری بین این میزان در زمان ۵ دقیقه دیده نمی‌شود.

مستاک و همکاران در تحقیقی که به‌منظور بهینه‌سازی فرآیند آنزیم‌بری برای کاهش تولید آکریل‌آمید در سیب‌زمینی سرخ شده انجام داده‌اند دمای آنزیم‌بری را فاکتور اصلی برای استخراج قندها و آنزیم‌بری در دماهای بالا را در مقایسه با دمای پایین مؤثرتر دانسته‌اند. تحت شرایط آنزیم‌بری در زمان طولانی، مقدار خروج مواد محلول افزایش می‌یابد در حالی که در دمای بالا سرعت انتشار افزایش می‌یابد. آنها عنوان کرده‌اند که آنزیم‌بری در دمای بالاتر، با افزایش ضریب انتشار گلوکز و فروکتوز، سرعت استخراج قندهای احیاکننده را افزایش داده و بسیاری از قندها در دقایق اولیه آنزیم‌بری خارج می‌شوند. آنها آنزیم‌بری در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۱۰دقیقه را پیشنهاد کرده‌اند و عنوان کرده‌اند که آنزیم‌بری در دمای پایین و زمان طولانی نسبت به دمای بالا و زمان کوتاه استخراج قندها را کاهش می‌دهد (۱۰).

پدرسچی و همکاران نیز عنوان کرده‌اند که ضریب نفوذ مؤثر

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-12]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1393.4.13.21.9]

جدول۵. اثر متقابل دما و زمان بر سینتیک خروج قندهای احیاکننده طی آنزیم بری

دما(°c) / زمان(دقیقه)	۶۰	۷۰	۸۰	۹۰
۰	۰/۶۷۹۱۴ a	۰/۶۷۹۱۴ a	۰/۶۷۹۱۴ a	۰/۶۷۹۱۴ a
۵	۰/۲۴۹۵۷ klmno	۰/۳۱۵۲۴ ijkl	۰/۶۰۹۲۸ abc	۰/۴۳۷۶۲ efg
۱۰	۰/۳۰۸۲۷ ijkl	۰/۶۳۳۵۰ ab	۰/۴۳۴۴۸ efgh	۰/۳۶۹۲۱ fghij
۱۵	۰/۲۶۴۱۴ jklmn	۰/۴۸۰۴۱ def	۰/۴۴۲۲۹ efg	۰/۶۱۸۴۷ abc
۲۰	۰/۳۸۴۱۹ fghi	۰/۵۸۶۷۳ abcd	۰/۴۷۱۱۷ def	۰/۲۸۹۲۰ ijklm
۴۰	۰/۳۲۷۸۴ ghijk	۰/۵۵۹۶۴ bcd	۰/۲۰۰۱۷ lmnopqr	۰/۲۲۲۲۲ klmnopq
۶۰	۰/۲۸۸۰۹ ijklm	۰/۳۲۶۹۳ ghijk	۰/۱۴۱۹۲ opqr	۰/۱۴۷۲۹ nopqr
۸۰	۰/۲۳۵۸۹ klmnopq	۰/۵۱۱۵۰ cde	۰/۲۲۳۶۳ klmnopq	۰/۱۷۶۵۵ mnopqr
۱۰۰	۰/۱۶۳۸۵ nopqr	۰/۳۱۹۴۹ hijk	۰/۱۱۹۴۰ qr	۰/۱۰۰۳۸ r
۱۲۰	۰/۲۳۶۹۸ klmnop	۰/۲۳۱۰۹ klmnopq	۰/۱۳۱۹۸ pqr	۰/۰۹۲۶۴ r

حروف غیرمشترک بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ است.

قندهای احیاکننده در دمای ۷۵ و ۹۰ درجه سانتی‌گراد به‌طور مشابه عمل کرده درحالی‌که در برش‌های آنزیم‌بری شده در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد این ضریب در ثانیه‌های اول بیشتر بوده است. این مشاهدات به ژلاتینه شدن نشاسته در دماهای بالای ۶۰ درجه سانتی‌گراد که منجر به تغییر در ریز ساختار سیب‌زمینی می‌گردد نسبت داده می‌شود. آنها آنزیم‌بری در دمای پایین را در تولید چیپس سیب‌زمینی روشن‌تر مؤثر دانسته‌اند (۱۲). در تضاد با نتایج به‌دست آمده در این تحقیق، برخی از محققین عنوان کرده‌اند که برای به حداقل رساندن تشکیل آکریل آمید در خلال سرخ شده، آنزیم‌بری در دمای بالا (حدود۸۰-۷۰ درجه سانتی‌گراد) به‌مدت کوتاه (حدود۱۰ دقیقه) موثرتر می‌باشد (۱۰). آنزیم‌بری در فراوری سیب‌زمینی از قدیم در۱۰۰- ۸۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت کوتاه (۲۰ ثانیه تا ۱۵ دقیقه) انجام می‌شد. چنین دمایی می‌تواند منجر به آسیب ساختار و تقلیل سفتی در بافت سیب‌زمینی شود. محققین عنوان کرده‌اند آنزیم‌بری در محدوده ۷۵-۵۵ درجه سانتی‌گراد باعث بهبود سفتی و استحکام سبزیجات پخته می‌شود و آسیب‌های فیزیکی در طی فرآیند را کاهش می‌دهد و یک تیمارآنزیم‌بری شامل دمای پایین و زمان نسبتاً طولانی به دنبال دمای بالا و زمان کوتاه در به حداقل رساندن آسیب‌های بافتی سبزیجات و غیرفعال کردن آنزیم‌های نامطلوب مؤثرتر نشان داده است (۱۲).

براساس مطالعات انجام شده در زمینه فرآوری خلال سیب‌زمینی، آنزیم‌بری در شرایط دمای بالا و زمان کوتاه سبب کاهش سفتی، بی‌رنگ شدن، افزایش درصد روغن باقی‌مانده و کاهش ویژگی‌های حسی محصول می‌شود. با توجه به نتایج به‌دست آمده در این تحقیق می‌توان گفت که کیفیت بافت و رنگ خلال سیب‌زمینی به‌طور عمده به‌وسیله دمای آنزیم‌بری تحت تأثیر قرار می‌گیرد و آنزیم‌بری در دمای پایین در بهبود خصوصیات کیفی خلال مؤثرتر می‌باشد. هم‌چنین از آنجایی‌که هیچ تفاوت معنی‌داری در میزان قند احیاءکننده خلال آنزیم‌بری شده در دمای ۸۰ و۹۰ با دمای ٦٠ درجه سانتی‌گراد مشاهده نشد و نیز بین مقادیر قند احیاکننده در زمان ۱۰۰دقیقه آنزیم‌بری در دمای ٦٠ درجه سانتی‌گراد با زمان ۵ دقیقه تفاوت معنی‌داری دیده نشد، می‌توان برای حفظ رنگ و بافت مطلوب خلال و جلوگیری از اثرات نامطلوب دما بر بافت، رنگ و ارزش تغذیه‌ای خلال و کاهش مصرف انرژی، آنزیم بری را در دمای ٦٠ درجه سانتی‌گراد و زمان ۵ دقیقه به شرط غیرفعال شدن آنزیم‌ها انجام داد.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-12]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1393.4.13.21.9]

منابع مورد استفاده

1. Agblor, A. and M. Scanlon. 2000. Processing conditions influencing the physical properties of french fried potatoes. *American. Journal of Potato Research* 43: 163-178.
2. Aguilera, A. 1999. Improvement of color and limpness of fried potatoes by in situ pectinesterase activation. *European Food Research Technology* 210: 49- 52.
3. Bartolome, L. G. and G. E. Hoff. 1972. Firming of potatoes: biochemical effects of preheating. *Journal of Agricaltural and Food Chemistery* 20: 266- 270.
4. Dolores Alvarez, M. and J. M. Morillo. 2000. Characterization of the frying process of fresh and blanched potato strips using response surface methodology. *European Food Research Technology* 211: 326- 335.
5. Falahi, M. 1996. Potato Science and Technology. Barsava Pub., Mashhad.
6. Gordon, R. B. 1990. Snack Food. Van Nostrand Reinhold, New York.
7. Hadad Khodaparast, M. H. 1993. Edible Oils Technology. Ferdowsi Mashhad Univ., Mashhad, Iran.
8. Huang, Y. T. and M. C. Bourne. 1983. Kinetics of thermal softening of vegetables. *Journal of Texture Studies* 14: 1- 4.
9. Jafarian, S. 2000. Effect of pre heating and use of some of hydrocolloids in reduction oil uptake and quality of potato french fries. MSc. Thesis, Isf. Univ. Technol., Isfahan, Iran.
10. Mestdagh, F., T. Dewilde, S. Fraselle, Y. Govaert, W. Ooghe, J. Degroodt and B. Meulenaer. 2008. Optimization of the blanching process to reduce acrylamide in fried potatoes. *Food Science and Technology* 41: 1648- 1654.
11. Pedreschi, F., P. Hernández and C. Figueroa. 2005. Modelling water loss during frying of potato slices. *Journal of Food Properties* 8: 289- 299.
12. Pedreschi, F., P. Moyano, R. Pedreschi, E. Troncoso and C. Reyes. 2007. Kinetics of extraction of reducing sugar during blanching of potato slices. *Journal of Food Engineering* 91: 443-447.
13. Talburt, W. F. and M. S. Dra-Smith. 1975. Potato Processing. 3rd ed., AVI Pub. Co., Westport.
14. Yam, K. A. and S. E. Papadakis. 2004. A simple digital imaging method for measuring and analyzing color of food surfaces. *Journal of Food Engineering* 61: 137–142.
15. Zehlender, G. W., M. L. Powerlson, R. K. Jonsson and K. V. Roman. 1994. Advanced in Potato Pest Biology and Management. American Phytopathological Society Press, Minnestoa.
16. Zhang, Q., R. P. Cavalieri and J. N. Peterson. 1992. Vegetable blanching process modeling and control. ASAE paper No. 926545, American Society of Agriculture Eng. Michigan.
17. Zhiqiang Liu, E. and M. Scanlon. 2007. Modeling the effect of blanching conditions on the texture of potato strips. *Journal of Food Engineering* 81: 292- 297.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-12]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1393.4.13.21.9]