

تأثیر آنزیم بری به همراه امواج فراصوت و آنزیم آسپارژیناز بر کاهش میزان آکریل آمید سیب زمینی سرخ شده

نادیا حسنی بایگی^{۱*}، پروین شرایعی^۲، حسین جلالی^۳

^۱ دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی شیمی - صنایع غذایی، واحد شاهرود، دانشگاه آزاد اسلامی، شاهرود، ایران.
^۲ استادیار بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران.
^۳ استادیار گروه مهندسی شیمی - صنایع غذایی، واحد شاهرود، دانشگاه آزاد اسلامی، شاهرود، ایران.

تاریخ دریافت: ۹۴/۵/۱۹ تاریخ پذیرش: ۹۴/۶/۲۵

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی تاثیر پیش فرآیندهای قبل از سرخ کردن (آنزیم بری به همراه فراصوت و استفاده از آنزیم آسپارژیناز) بر کاهش میزان آکریل آمید و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی (میزان دفع رطوبت، میزان جذب روغن، رنگ و سفتی) خلال سیب زمینی طی فرآیند سرخ کردن عمیق در دمای ۱۷۵ درجه سانتیگراد به مدت ۴ دقیقه انجام پذیرفت. بدین منظور ابتدا پیش فرآیند آنزیم بری در آب مقطر ۸۵ درجه سانتیگراد به مدت ۵ دقیقه و به همراه صوت دهی با امواج فراصوت (شدت ۳۰، ۶۰ و ۱۰۰ وات بر میلی متر مربع به مدت ۰/۵، ۱ و ۱/۵ دقیقه) انجام شد. سپس نمونه‌ها در محلول حاوی آنزیم آسپارژیناز با غلظت ۵ و ۱۰ واحد بر لیتر به مدت ۲۰ دقیقه غوطه‌ور گردیدند. نتایج نشان داد پیش فرآیندها بر کاهش میزان آکریل آمید و همچنین سایر خصوصیات کیفی تاثیر گذار بودند ($P < 0/05$). با افزایش زمان و شدت صوت دهی به ترتیب از ۰/۵ به ۱ دقیقه و از ۳۰ به ۶۰ وات بر میلی متر مربع میزان جذب روغن و میزان آکریل آمید به طور معنی داری کاهش یافت؛ در حالیکه افزایش زمان و شدت فراصوت دهی به ترتیب از ۱ به ۱/۵ دقیقه و از ۶۰ به ۱۰۰ وات بر میلی متر مربع، افزایش میزان جذب روغن و میزان آکریل آمید را به دنبال داشت. از طرفی صوت دهی در زمان‌ها و شدت‌های مختلف تاثیر معنی داری بر میزان سفتی، تغییرات کلی رنگ و خصوصیات حسی نداشت. هرچند، آنزیم آسپارژیناز باعث کاهش چشم گیری در میزان آکریل آمید نمونه‌ها شد؛ اما میزان جذب روغن را افزایش داد. هم چنین نتایج نشان داد غوطه وری در آنزیم آسپارژیناز با غلظت ۵ واحد بر لیتر بر کاهش میزان آکریل آمید موثرتر از غلظت ۱۰ واحد بر لیتر بود. با ملاحظه اثرات متقابل آنزیم آسپارژیناز و صوت دهی، استفاده از صوت دهی با شدت ۶۰ وات بر میلی متر مربع به مدت ۱ دقیقه و غوطه وری در محول آسپارژیناز با غلظت ۵ واحد بر لیتر، باعث کاهش بیشتر میزان آکریل آمید با حفظ سایر خصوصیات کیفی و حسی گردید.

واژه های کلیدی: آکریل آمید، آنزیم آسپارژیناز، سیب زمینی سرخ شده، فراصوت.

۱- مقدمه

سرخ کردن مواد غذایی به دلیل ایجاد خواص حسی منحصر به فرد امروزه به طور وسیعی در سطوح صنعتی و خانگی مورد استفاده قرار می‌گیرد. به کمک این روش آماده‌سازی، ماده غذایی با طعم دلپذیر، بافت ترد و ظاهر طلایی مطلوب تولید می‌شود. حین سرخ کردن عمیق، در حضور اکسیژن و رطوبت ناشی از ماده غذایی، واکنش‌های اکسایشی و هیدرولیزی زیادی در روغن صورت گرفته، مواد نامطلوبی ایجاد می‌گردند که ضمن بروز آثار منفی بر طعم و رنگ محصول، سلامت انسان را نیز احتمالاً به خطر می‌اندازند (۲۶). مشخص شده است طی فرآیند سرخ کردن به میزان زیادی آکریل‌آمید^۱ تشکیل می‌شود (۴۰).

آکریل‌آمید، ترکیب جامد بلوری، بی بو، بی رنگ با نقطه ذوب ۸۴/۵ درجه سانتیگراد است و در آب، استن و اتانول محلول می‌باشد. برای اولین بار اداره ملی غذای کشور سوئد در ۲۴ آوریل ۲۰۰۲ وجود مقادیر بالای آکریل‌آمید را در غذاهای حرارت دیده غنی از کربوهیدرات اعلام کرد (۲۰).

این یافته که غذا مهم‌ترین منبع دریافت آکریل‌آمید برای انسان است، نگرانی وسیعی را در سطح بین‌المللی به دنبال داشت (۴۰). زیرا این ترکیب در سال ۱۹۹۴ توسط آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان به عنوان ترکیب سرطان‌زای احتمالی برای انسان طبقه بندی شد و از سوی دیگر، ایجاد اختلالات عصبی توسط آن، نه تنها در حیوانات آزمایشگاهی بلکه در انسان هم به اثبات رسیده است (۲۲). در حقیقت بین میزان جذب آکریل‌آمید و سرعت رشد سرطان خصوصاً در ارگان‌های ریه، پوست، پستان و غده فوق کلیه رابطه مستقیمی وجود دارد. پس از این نتایج، بسیاری از محققین در خصوص منابع آکریل‌آمید در مواد غذایی و راه‌های کاهش آن تحقیق نمودند. مطالعات و بررسی‌های مستقل انجام شده نشان داد که مسیر اصلی تشکیل آکریل‌آمید در غذاهای حرارت دیده، واکنش قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی بین گروه آمین آزاد اسیدآمین آسپارژین^۲ و یک منبع کربونیلی مانند قند احیاءکننده است. این واکنش مسئول طعم و آروما در غذاهای حرارت دیده می‌باشد. هر عاملی که بر واکنش میلارد^۳ اثر بگذارد؛ مانند فرمولاسیون غذا، pH، فعالیت آبی (a_w)، دما و زمان حرارت‌دهی می‌تواند بر تشکیل آکریل‌آمید نیز موثر باشد.

همچنین، محیط حرارت‌دهی (نوع روغن) و مقدار پیش‌سازهای موجود در ماده اولیه، از عوامل مؤثر بر تشکیل آکریل‌آمید هستند (۱۷ و ۲۴). علاوه بر این آکریل‌آمید به واسطه‌ی آکرولئین نیز تشکیل می‌شود؛ آکرولئین‌دارای سه کربن آلدهید با ساختار بسیار شبیه آکریل‌آمید است. به طور کلی تشکیل آکریل‌آمید از آکرولئین به واسطه‌ی تغییر شکل مستقیم آکرولئین به وسیله واکنش با آمونیاک می‌باشد. عواملی مانند تفاوت در ترکیب غذا، تفاوت در پارامترهای فرآیند و شرایط پخت نهایی می‌تواند میزان آکریل‌آمید را در محصول نهایی تغییر دهد (۱۱).

از راه‌های اصلی برای کاهش آکریل‌آمید در صنعت کشاورزی می‌توان به انتخاب ماده خام با محتوای قند احیاء و آسپارژین کم و مداخلات تکنولوژیکی (پیش‌فرآیند^۴)، تغییر فرمولاسیون و تغییر فرآیند) اشاره کرد (۶). آنزیم‌بری به عنوان یک پیش‌فرآیند یکی از مراحل مهم در فرآیند صنعتی تولید فرنیج فرایز و چیپس سیب‌زمینی است. طی فرآیند آنزیم‌بری، نشاسته نیز ژلاتینه شده و جذب روغن را محدود می‌کند که با بهبود بافت و یکنواختی رنگ محصول همراه است (۴۱). همچنین در این مرحله انتظار می‌رود پیش‌ساز ماده آکریل‌آمید از دسترس خارج‌شده و در نتیجه مقدار آکریل‌آمید در محصول نهایی کاهش یابد.

نتایج حاصل از پژوهش محققین مختلف نشان داده است که امواج فراصوت با مکانیسم‌های مختلف ممکن است منجر به افزایش میزان خروج رطوبت از ماده غذایی طی فرآیند خشک کردن شوند و مواد غذایی با درصد رطوبت نهایی کمتری خشک شوند (۱۲). از جمله می‌توان به افزایش دما در لایه مرزی، تغییر فشار در اثر کاویتاسیون، توسعه میکروکانال‌ها در اثر ایجاد ترک ناشی از تنش برشی حاصل از کاویتاسیون، اغتشاش در لایه مرزی و ایجاد تغییرات ساختمانی در محیط اشاره کرد. در واقع پیش‌فرآیند فراصوت از طریق انقباض و انبساط‌های پی در پی باعث ایجاد کانال‌های میکروسکوپی در ماده غذایی شده و خروج آب از داخل محصول را تسهیل می‌کند. با این حال، تاکنون مطالعات بسیار محدودی در زمینه استفاده از پیش‌فرآیند فراصوت در فرآیند سرخ کردن صورت گرفته است ولی انتظار می‌رود به دلیل شباهت فرآیندهای خشک کردن و سرخ کردن، استفاده از فراصوت قبل از فرآیند سرخ کردن، باعث افزایش ضریب انتشار

^۱Acrylamide^۲Asparagine^۳Maillard reaction^۴Pre-treatment

-آنزیم بری به مدت ۵ دقیقه شامل: ۴،۴/۵ و ۳/۵ دقیقه در آب مقطر ۸۵ درجه سانتیگراد و ۰/۵، ۱ و ۱/۵ دقیقه فراصوت دهی با شدت ۳۰، ۶۰ و ۱۰۰ وات بر میلی متر مربع و سپس غوطه وری در محلول آسپارژیناز ۵ واحد بر لیتر به مدت ۲۰ دقیقه.

-آنزیم بری به مدت ۵ دقیقه شامل: ۴،۴/۵ و ۳/۵ دقیقه در آب مقطر ۸۵ درجه سانتیگراد و ۰/۵، ۱ و ۱/۵ دقیقه فراصوت دهی با شدت ۳۰، ۶۰ و ۱۰۰ وات بر میلی متر مربع و سپس غوطه وری در محلول آسپارژیناز ۱۰ واحد بر لیتر به مدت ۲۰ دقیقه.

لازم به توضیح است دما در فرآیند فراصوت دهی، ۸۵ درجه سانتیگراد ثابت نگهداشته شد. هر نمونه بعد از خارج شدن از محلولهای ذکر شده به منظور خشک شدن قبل از فرآیند سرخ شدن به مدت ۳ دقیقه در آن ۱۰۵ درجه سانتی گراد قرار گرفت. همچنین فرآیند فراصوت با استفاده از دستگاه اولتراسونیک ساخت شرکت هلشر آلمان مدل یویی ۴۰۰ اس با قدرت ۴۰۰ وات و پروب از نوع H7 از جنس تیتانیوم با قطر ۷ میلیمتر و طول ۱۰۰ میلیمتر صورت پذیرفت.

۳-۲- فرآیند سرخ کردن

خلال های سیب زمینی در سرخ کن خانگی مجهز به ترموستات (دمای 2 ± 175 درجه سانتیگراد) در مخلوط روغن کانولا، زیتون و پالم اولئین به نسبت ۱۰:۱۵:۷۵ سرخ شدند (۱۳). برای اطمینان از یکخواختی دمای روغن قبل از سرخ کردن، روغن مورد استفاده ۱ ساعت قبل از سرخ کردن در دمای مورد نظر (۱۷۵ درجه سانتیگراد) حرارت داده شد (۸ و ۲۵). نمونه ها به مدت ۴ دقیقه سرخ شدند و در انتهای فرآیند، بلافاصله از سرخ کن خارج و روغن اضافی سطح آنها با کاغذ جاذب گرفته شد و پس از خنک شدن برای آزمونهای لازم مورد استفاده قرار گرفت. تا زمان انجام آزمایش های دیگر در فریزر ۱۸- درجه سانتیگراد نگهداری شدند. عملیات سرخ کردن در دو تکرار صورت گرفت (۳۹).

۴-۲- آزمون ها

۱-۴-۲- رطوبت

ابتدا مقدار معینی از خلال های سیب زمینی سرخ شده توزین شده و به مدت ۲۴ ساعت در آن ۱۰۵ درجه سانتیگراد قرار داده شد. پس از گذشت این زمان و خنک شدن در دسیکاتور دوباره توزین شدند. این عمل تا رسیدن به وزن ثابت تکرار شد. رطوبت نمونه های سیب زمینی از رابطه ۱ محاسبه شد (۳۶).

مؤثر رطوبت، کاهش زمان فرآیند و در نتیجه بهبود خصوصیات کیفی ماده غذایی گردد (۱۵).

یکی از روش های بیوتکنولوژیکی کاهش آکریل آمید، استفاده از آنزیم آسپارژیناز است. آسپارژیناز آنزیمی است که آسپارژین را به اسید آسپارتیک و آمونیاک هیدرولیز می کند. بنابراین بتواند با حذف پیش ماده آسپارژین، تشکیل آکریل آمید را کاهش دهد (۱۱). بنابراین، انتظار می رود استفاده از آنزیم آسپارژیناز با غلظت مناسب می تواند میزان آکریل آمید را بدون تغییر در طعم و مزه محصول نهایی تا حدود زیادی کاهش دهد. با توجه به توسعه روزافزون صنایع تولید سیب زمینی سرخ کرده و مصرف بالای این محصول در کشور و احتمال سرطان زا بودن آکریل-آمید ضرورت بررسی راهکارهای کاهش این ترکیب در سیب زمینی سرخ شده احساس می شود. بنابراین، پژوهش حاضر با هدف کاهش غلظت پیش سازهای اولیه تولید آکریل آمید توسط آنزیم آسپارژیناز و آنزیم بری به همراه فرآیند صوت دهی و در نتیجه کاهش میزان تولید آکریل آمید انجام گرفت.

۲- مواد و روش

۲-۱- مواد اولیه

هگزان صنعتی و آنزیم آسپارژیناز از شرکت سیگما خریداری شد. سیب زمینی از مزارع مشهد تهیه گردید. روغن کانولای و پالم اولئین تصفیه شده بدون آنتی اکسیدان از کارخانه سه گل نیشابور و روغن زیتون از بازار تهیه شد. نمونه های روغن تا زمان مصرف در دمای ۴ درجه سانتیگراد نگه داری شدند.

۲-۲- پیش تیمارهای قبل از سرخ کردن

سیب زمینی ها پس از پوست گیری با استفاده از قالب دستی به خلالهای $0.2 \pm 1 \times 1 \times 6$ سانتیمتر برش زده شدند (یکخواختی نمونه ها با استفاده از کولیس کنترل شد). خلال هایی که در معرض هیچ گونه پیش فرآیندی قرار نگرفتند به عنوان نمونه شاهد در نظر گرفته شدند. خلال ها به صورت زیر پیش تیمار شدند:

-تیمار شاهد.

-آنزیم بری به مدت ۵ دقیقه شامل: ۴،۴/۵ و ۳/۵ دقیقه در آب مقطر ۸۵ درجه سانتیگراد و ۰/۵، ۱ و ۱/۵ دقیقه فراصوت دهی با شدت ۳۰، ۶۰ و ۱۰۰ وات بر میلی متر مربع.

مدل CNSFarnell, UK ساخت کشور انگلستان وبر اساس روش روندا وهمکاران انجام گرفت(۳۴). حداکثر نیروی مورد نیاز برای نفوذ یک پروب با انتهای تیغه‌ای (به ضخامت ۰/۷ میلی‌متر، به طول ۶/۵ سانتی‌متر و عرض ۴ سانتی‌متر) با سرعت ۶۰ میلی‌متر در دقیقه از مرکز خلال سیب زمینی، به عنوان شاخص سفتی محاسبه گردید.

۲-۵-۲- آکریل آمید

یک گرم از نمونه چربی زدایی شده را توسط مخلوط کنبا دور بالا با ۱۰ میلی لیتر آب مخلوط کرده، سپس مخلوط حاصل سانتریفوژ شد. محلول زلال بالایی با استفاده از کاغذ صافی با قطر ۰/۴۵ میکرون صاف شد. به ۳ میلی‌لیتر از آن ۳۰۰ میکرولیتر واکشنر برمه کننده (آب برم اشباع) اضافه شد. پس از یک ساعت به آن ۱ قطره سدیم تیوسولفات افزوده شد و با ۲ میلی‌لیتر اتیل استات استخراج انجام شد. ۲ میکرولیتر از لایه آلی (اتیل استات) به دستگاه کروماتوگرافی گازی-اسپکتروسکوپی جرمی (varian ion trap Saturn2200) با ستون DB5 Injector: 180 (30m*250µm*0.25 µm) و سایر مشخصات Ionization mode: Trap: 120 C, Xfer line: 180 C, CI تزریق شد و میزان آکریل آمید به دست آمد (۳۳).

۲-۶- تجزیه تحلیل آماری

کلیه آزمایشها در قالب آزمایش فاکتوریل با پایه طرح آزمایشی کاملاً تصادفی در ۳ تکرار انجام شدند. میانگینها با نرم-افزار Mstac و بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد (p<۰/۰۵) مقایسه شدند. نمودارها با نرم افزار MicrosoftExcel ترسیم گردیدند.

۳- نتایج و بحث

اثر مستقل مدت زمان صوت‌دهی (در فرآیند آنزیم بری به همراه فراصوت دهی) بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خلال سیب-زمینی سرخ شده در ۱۷۵ درجه‌سانتیگراد به مدت ۴ دقیقه در جدول ۱ نشان داده شده است. نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر مستقل زمان صوت‌دهی بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خلال سیب‌زمینی باستثنای میزان جذب روغن و میزان آکریل آمید معنی‌دار نبود. طبق نتایج جدول ۱ میزان جذب روغن در زمان ۰/۵ دقیقه صوت‌دهی ۱۹/۳۹ گرم بر گرم وزن مرطوب بود که با

$$\text{رابطه (۱)} \quad \times 100 = \frac{\text{وزن نمونه خشک} - \text{وزن نمونه مرطوب}}{\text{وزن نمونه مرطوب}} = \text{رطوبت}$$

۲-۴-۲- جذب روغن

اندازه‌گیری میزان روغن خلال‌های سیب‌زمینیا دستگاه سوکسله مداوم به مدت ۴ ساعت با حلال هگزان نرمال (با خلوص ۸۵ درصد) در دمای ۱±۸۰ صورت گرفت. بدین منظور، نمونه‌ها ابتدا آسیاب و سپس ۳ گرم از آنها در کارتوش قرار داده شدند. روغن حاوی حلال در آون ۱۰۵ درجه سانتیگراد قرار گرفت تا حلال تبخیر شود. میزان روغن نیز بر مبنای وزن مرطوب (رابطه ۲) محاسبه گردید (۳۶).

$$\text{رابطه (۲)} \quad \times 100 = \frac{\text{وزن روغن}}{\text{وزن نمونه}} = \text{جذب روغن}$$

۲-۴-۳- رنگ

ابتدا تصاویر نمونه های سیب زمینی توسط اسکنر (cano scan 9900f cannon, اسپس از نرم افزار Image J برای اندازه گیری فاکتورهای رنگ استفاده شد. بدین ترتیب که ابتدا عکس ها وارد محیط فتوشاپ شدند و قسمت های مورد نظر انتخاب شد و سپس عکس ها وارد محیط Image J 2009 شدند و پس از حذف نویز اطراف تصاویر شاخص های L (صفر تا صد مبین سیاهی تا سفیدی)، a- (سبزی) تا a+ (قرمزی) و b- (آبی) تا b+ (زردی) برای هر تصویر به دست آمد. تغییرات کلی رنگ ΔE با استفاده از رابطه زیر تعیین شد. رابطه (۳)

$$\Delta E = \sqrt{((a - a^*)^2 + (b - b^*)^2 + (L - L^*)^2)}$$

* مولفه‌های رنگ نمونه خلال‌های سیب‌زمینی خام (سرخ نشده) را نشان می‌دهد.

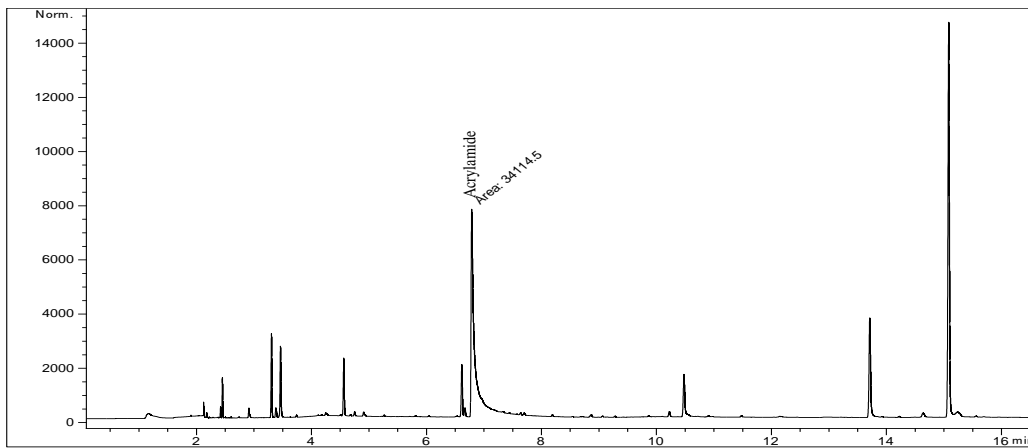
$$L^* = 90/82 \text{ و } b^* = 42/60, a^* = -6/65$$

برای رنگ سنجی سه قرائت از سه نقطه مختلف خلال‌های سرخ شده (نقطه وسط ودولبه انتهای هر خلال) دردمای محیط صورت گرفت و میانگین قرائت ها ثبت شد (۱۴).

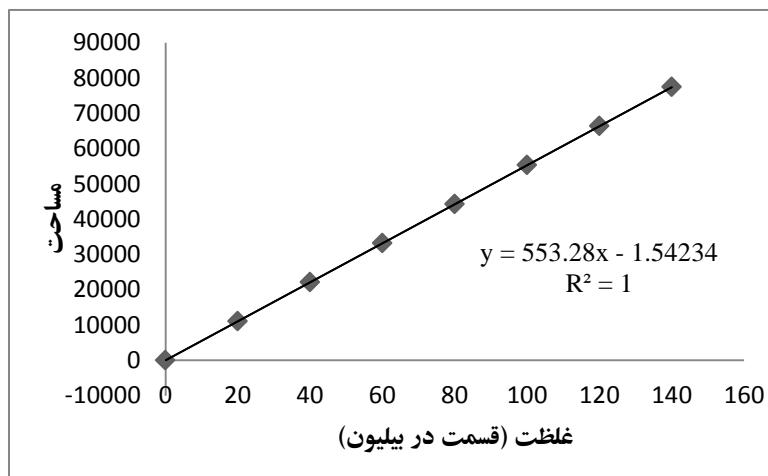
۲-۴-۴- ارزیابی بافت

ارزیابی بافت خلال سیب زمینی سرخ شده در فاصله زمانی دو ساعت پس از پخت با استفاده از دستگاه بافت سنج QTS

¹Total colour difference



شکل ۱- کروماتوگرام آکریل آمید حاصل از نمونه‌های سیب زمینی سرخ شده



شکل ۲- منحنی کالیبراسیون آکریل آمید

شده و باعث افزایش میزان دفع رطوبت و در نتیجه افزایش میزان جذب روغن می شود (۱).

روند مشابهی برای میزان آکریل آمید نیز مشاهده شد به طوریکه با افزایش زمان صوت دهی از ۰/۵ به ۱ دقیقه میزان آکریل آمید از ۱۷۱/۲۰ به ۹۵/۴۱ میکروگرم بر کیلوگرم کاهش یافت ($p < 0/05$)، در حالیکه با افزایش زمان از ۱ به ۱/۵ دقیقه مقدار آکریل آمید به ۱۰۳/۱۱ میکروگرم بر کیلوگرم افزایش داشت ($p < 0/05$). مناسبترین زمان صوت دهی از لحاظ کاهش میزان آکریل آمید، زمان ۱ دقیقه بود. کاهش میزان آکریل آمید را می توان علاوه بر تاثیری که آنزیم بری بر کاهش اسپارژین دارد؛ به زمان صوت دهی نیز نسبت داد.

هرچند مکانیسم عمل تاثیر زمان صوت دهی بر کاهش میزان آکریل آمید هنوز مشخص نیست، اما در مورد تاثیر زمان فرآیند آنزیم بری بر کاهش میزان آکریل آمید، نظراتی وجود دارد. طی فرآیند آنزیم بری تکه های سیب زمینی در آب گرم یا داغ قبل از

افزایش زمان به ۱ دقیقه فراصوت دهی میزان آن به ۱۸/۳۲ گرم بر گرم وزن مرطوب کاهش یافت ($p < 0/05$). کاهش محتوای روغن را می توان به اثر امواج فراصوت در ایجاد انقباض و انبساط های متوالی و تشکیل کانال های میکروسکوپی در بافت سیب زمینی نسبت داد که این پدیده هر چند خروج رطوبت از محصول را تسریع می کند؛ اما در اثر افزایش فشار بخار در داخل سیب زمینی، هنگام سرخ شدن، از ورود روغن به داخل سیب زمینی ممانعت به عمل آمده و در نتیجه باعث کاهش میزان روغن ساختاری می گردد. این یافته با نتایج فرناندز و همکاران، ؛ گامبل و همکاران، بوچان و همکاران، و پدرسچی و همکاران، مطابقت داشت (۱۵، ۱۶، ۹، ۲۹). با افزایش زمان صوت دهی به ۱/۵ دقیقه صوت دهی میزان جذب مجدداً به میزان ۱۹/۲۹ گرم بر گرم وزن مرطوب افزایش پیدا کرد ($p < 0/05$). علت این افزایش احتمالاً به دلیل طولانی بودن مدت زمان اعمال امواج فراصوت است. طولانی شدن زمان صوت دهی موجب تخریب بافت سیب زمینی

جدول ۱- اثر مستقل زمان فراصوت دهی بر خصوصیات فیزیکیوشیمیایی و میزان اکریل آمیدخلال سیب زمینی سرخ شده دردمای ۱۷۵ درجه سانتیگراد

زمان فراصوت دهی (دقیقه)	میزان رطوبت (گرم بر گرم وزن مرطوب)	جذب روغن (گرم بر گرم وزن مرطوب)	اکریل آمید (میکروگرم بر کیلوگرم)	سفتی (نیوتن)	مولفه رنگی (L)	مولفه رنگی (a)	مولفه رنگی (b)	تغییرات کلی رنگ (ΔE)
۰/۵	۴۲/۹۷ ^a	۱۹/۳۹ ^a	۱۷۱/۲۰ ^a	۴/۷۷ ^a	۷۲/۳۸ ^a	-۵/۲۴ ^a	۱۹/۵۹ ^a	۲۹/۴۷ ^a
۱	۴۷/۲۲ ^a	۱۸/۳۲ ^b	۹۵/۴۱ ^c	۴/۰۲ ^a	۷۴/۵۱ ^a	-۵/۶۲ ^a	۱۹/۷۴ ^a	۲۸/۱۱ ^a
۱/۵	۴۲/۴۸ ^a	۱۹/۲۹ ^a	۱۰۳/۱۱ ^b	۳/۸۵ ^a	۷۰/۲۹ ^a	-۵/۴۴ ^a	۲۰/۲۵ ^a	۳۰/۴۵ ^a

*میانگین های دارای حروف غیرمشترک براساس آزمون چنددامنه ای دانکن درسطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی داری دارند(آزمون دانکن، $P < 0.05$).

آمید خلال سیب زمینی سرخ شده در ۱۷۵ درجه سانتیگراد به مدت ۴ دقیقه در جدول ۲ نشان داده شده است. نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر مستقل شدت صوت دهی بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خلال سیب زمینی باستانای میزان جذب روغن و هم چنین میزان اکریل آمید، معنی دار نبود. میزان جذب روغن خلال سیب زمینی تهیه شده در شدت ۱۰۰ وات بر میلی متر مربع بیشترین مقدار بود ($P < 0.05$). میزان جذب روغن در شدت های ۳۰ و ۶۰ وات بر میلی متر مربع با هم اختلاف معنی داری نداشتند؛ هرچند در شدت ۶۰ وات بر میلی متر مربع، نمونه ها کمترین میزان جذب روغن را داشتند. معمولاً با افزایش شدت امواج فراصوت، تعداد بسیار زیادی حباب به صورت ابری متراکم در زیر پروب تشکیل می شوند. تراکم بیش از حد این حبابها باعث می شود که بخش اعظم امواج فراصوت توسط حبابهای سطحی به اطراف پراکنده شوند و انرژی اندکی به حبابهای واقع در بخشهای داخلی برسد. در این شرایط، این حبابها با یکدیگر امتزاج پیدا کرده و به حبابهای بزرگی تبدیل می شوند که در اثر نیروی

فرآیند سرخ کردن، میزان مواد قندی و آسپارژین تا حد زیادی کاهش می یابد (۲۷ و ۴۱). افزایش زمان آنزیم بری منجر به کاهش تشکیل اکریل آمید پس از سرخ شدن و محتوای کمتر گلوکز و آسپارژین در برش های سیب زمینی قبل از سرخ شدن می شود (۲۷). هم چنین، ویکلونند و همکاران گزارش کردند که آنزیم بری در ۷۰ درجه سانتیگراد به مدت ۱۰ تا ۱۵ دقیقه به ترتیب منجر به کاهش ۶۵ درصد و ۹۶ درصد میزان اکریل آمید فرنج فرایز و سیب زمینی سرخ شده گردید (۴۱). این محققین همچنین بیان کردند که با تغییر شرایط آنزیم بری (دما، زمان) می توان استخراج قند احیاء کننده را بهبود بخشید. آنزیم بری برش های سیب زمینی با آب داغ (۱ تا ۸ دقیقه در دمای ۹۵ درجه سانتیگراد) باعث کاهش لگاریتمی میزان قندهای احیاء کننده، قند کل و میزان گلوکز شد که این کاهش برای قندهای احیاء کننده ۵۲ تا ۶۲ درصد مقدار اولیه بود. اثر مستقل شدت فراصوت دهی (در فرآیند آنزیم بری به همراه فراصوت دهی) بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و میزان اکریل

جدول ۲- اثر مستقل شدت فراصوت دهی بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و میزان اکریل آمید خلال سیب زمینی سرخ شده در دمای ۱۷۵ درجه سانتیگراد

شدت فراصوت دهی (وات بر میلی متر مربع)	میزان رطوبت (گرم بر گرم وزن مرطوب)	جذب روغن (گرم بر گرم وزن مرطوب)	اکریل آمید (میکروگرم بر کیلوگرم)	سفتی (نیوتن)	مولفه رنگی (L)	مولفه رنگی (a)	مولفه رنگی (b)	تغییرات کلی رنگ (ΔE)
۳۰	۴۴/۶۴ ^a	۱۸/۰۵ ^b	۱۳۰/۹۱ ^b	۴/۴۹ ^a	۷۴/۲۰ ^a	-۵/۷۲ ^a	۱۹/۷۱ ^a	۲۸/۳۱ ^a
۶۰	۴۵/۸۵ ^a	۱۷/۱۶ ^b	۱۰۵/۴۳ ^c	۴/۰۴ ^a	۷۱/۸۵ ^a	-۵/۳۷ ^a	۱۹/۷۸ ^a	۲۹/۶۷ ^a
۱۰۰	۴۲/۱۸ ^a	۱۹/۸۰ ^a	۱۳۳/۳۸ ^a	۴/۰۹ ^a	۷۱/۰۷ ^a	-۵/۲۳ ^a	۲۰/۰۹ ^a	۳۰/۰۴ ^a

*میانگین های دارای حروف غیرمشترک براساس آزمون چنددامنه ای دانکن درسطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی داری دارند(آزمون دانکن، $P < 0.05$).

مدت ۴ دقیقه در جدول ۳ نشان داده شده است. نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر مستقل غلظت آنزیم آسپارژیناز بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و میزان آکریل آمید خلال سیب-زمینی معنی دار بود ($p < 0.05$) مطابق جدول ۳ غلظت آنزیم بر میزان رطوبت و جذب روغن خلال های سیب زمینی سرخ شده تاثیرگذار بود ($p < 0.05$). کمترین میزان رطوبت و بیشترین میزان جذب روغن مربوط به خلال سیب زمینی تیمار شده با آنزیم با غلظت ۱۰ واحد بر لیتر بود و تیمار فاقد آنزیم دارای بیشترین میزان درصد رطوبت و کمترین میزان جذب روغن بود. با توجه به نتایج میزان دفع رطوبت، ملاحظه می شود نمونه هایی که میزان رطوبت بیشتری را طی فرآیند سرخ کردن از دست داده اند (حاوی رطوبت نهایی کمتر) به میزان بیشتری روغن جذب نموده اند. این نتایج، رابطه میان میزان حذف رطوبت و جذب روغن را تایید می کند (۳۷).

رانشی به سطح مایع می آیند و از محیط خارج می شوند و یا اینکه در داخل توده باقیمانده، ولی به تدریج تحلیل شده و از بین می روند. در نتیجه از تعداد حبابهای فعال، شدت انفجار آنها و نیز سرعت واکنشهای فیزیکوشیمیایی کاسته می شود (۳۵ و ۲۳). همچنان که در جدول نیز مشاهده می شود با افزایش شدت از ۳۰ به ۶۰ وات بر میلی متر مربع میزان آکریل آمید از ۱۳۰/۹۱ به ۱۰۵/۴۳ میکروگرم بر کیلوگرم کاهش یافت ($p < 0.05$)؛ در حالیکه با افزایش شدت از ۶۰ به ۱۰۰ وات بر میلی متر مربع میزان آکریل آمید به ۱۳۳/۳۸ میکروگرم بر کیلوگرم افزایش نشان داد ($p < 0.05$). علت افزایش میزان آکریل آمید در شدت ۱۰۰ وات بر میلی متر مربع همان طور که قبلاً نیز اشاره شد می توان به کاهش تعداد حباب های فعال و کاهش شدت انفجار آنها نسبت داد (۳۵). اثر مستقل غلظت آنزیم آسپارژیناز بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خلال سیب زمینی سرخ شده در ۱۷۵ درجه سانتیگراد به

جدول ۳- اثر مستقل غلظت آنزیم آسپارژیناز بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و میزان آکریل آمید خلال سیب زمینی سرخ شده در دمای ۱۷۵ درجه سانتیگراد

تغییرات کلی رنگ (ΔE)	مولفه رنگی (b)	مولفه رنگی (a)	مولفه رنگی (L)	سفتی (نیوتن)	آکریل آمید		رطوبت (گرم بر گرم وزن مرطوب)	غلظت آنزیم (واحد بر لیتر)
					جذب روغن (گرم بر گرم وزن مرطوب)	آمید (میکروگرم بر کیلوگرم)		
۲۸/۶۰ ^a	۲۲/۳۹ ^a	-۳/۶۵ ^a	۷۰/۴۷ ^a	۸/۴۷ ^a	۲۰۵/۹۲ ^a	۱۵/۲۰ ^c	۵۱/۳۵ ^a	۰
۲۹/۵۲ ^a	۱۷/۹۳ ^b	-۶/۲۵ ^b	۷۴/۳۹ ^a	۱/۲ ^b	۷۰/۷۲ ^c	۱۸/۱۱ ^b	۴۷/۰۵ ^a	۵
۲۹/۹۰ ^a	۱۹/۲۶ ^b	-۶/۴۵ ^b	۷۲/۲۵ ^a	۲/۹۶ ^b	۹۳/۰۸ ^b	۲۳/۷۰ ^a	۳۴/۲۸ ^b	۱۰

* میانگین های دارای حروف غیرمشترک براساس آزمون چنددامنه ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی داری دارند (آزمون دانکن، $P < 0.05$).

رطوبت و جذب روغن را می توان به پیش فرآیند آنزیم بری و یا استفاده از آنزیم آسپارژیناز نسبت داد. در مورد مکانیسم عمل و تاثیر آنزیم بر میزان درصد رطوبت و جذب روغن اطلاعاتی در دسترس نبود؛ اما گزارشات متناقضی در خصوص تاثیر فرآیند آنزیم بری منتشر شده است. به گزارش بسیاری از محققین، عملیات آنزیم بری به دلیل افزایش رطوبت سطحی، میزان جذب روغن را افزایش می دهد (۳۰). اما برخی محققین گزارش کرده اند آنزیم بری باعث بهبود رنگ توماسولا و همکاران، و بافت

در واقع حجم کل روغن جذب شده تقریباً برابر مقدار آب جدا شده از ماده غذایی در حین سرخ کردن می باشد (۱۶). در تایید صحت این نتیجه می توان گفت طی فرآیند سرخ کردن عمیق، آب داخل ماده غذایی تبخیر می شود؛ به دلیل تبخیر آب، روزنه های بزرگ ایجاد شده و زبر شدن سطح اتفاق می افتد. با توجه به پایین بودن فشار بخار، روغن به ماده غذایی وارد می شود. در واقع این مکانیسم، ارتباط مستقیم بین کاهش آب و جذب روغن را طی فرآیند سرخ عمیق، بیان می کند (۳۱). تغییر در میزان دفع

(۱۱). آنها علت این پدیده را به مدت زمان نگهداری سیب زمینی قبل از فرآیند سرخ کردن نسبت دادند و گزارش کردند آنزیم آسپارژیناز تاثیر قابل ملاحظه ای بر کاهش میزان آکریل آمید در انواع سیب زمینی های تازه ذخیره شده دارد. نگهداری سیب زمینی قبل از استفاده در دمای زیر ۸ درجه سانتیگراد، محتوای مواد قندی به شدت افزایش می یابد که در نتیجه پتانسیل ایجاد آکریل آمید به طور قابل ملاحظه ای افزایش می یابد.

همان طور که جدول ۳ نیز نشان می دهد تغییر در غلظت آنزیم بر میزان سفتی خلال های سیب زمینی سرخ شده تاثیرگذار بود ($p < 0.05$). بین غلظت ۵ و ۱۰ واحد بر لیتر آنزیم اختلاف معنی داری در میزان سفتی خلال های سیب زمینی مشاهده نشد. بیشترین میزان سفتی مربوط به نمونه های سیب زمینی سرخ شده فاقد آنزیم بود. در مورد مکانیسم عمل و تاثیر آنزیم بر سفتی بافت خلال سیب زمینی اطلاعاتی در دسترس نبود؛ اما به طور کلی سفتی بافت در فرآورده های سیب زمینی ارتباط مستقیمی با ماده خشک دارد؛ بطوری که در خلال ها با بیش از ۲۵ درصد ماده خشک، بافت سفت است و اگر میزان ماده خشک کم باشد، بافت چرب و چسبناک می شود (۱۸، ۲۱ و ۳۲).

مطابق جدول ۳، اختلاف در غلظت آنزیم آسپارژیناز باعث تغییر در مولفه رنگی L (روشنایی) و ΔE (تغییرات کل رنگ) خلال های سیب زمینی سرخ شده نگردید؛ در حالی که بر مولفه های رنگی a و b تاثیر گذار بود ($p < 0.05$). تنها اختلاف معنی دار مولفه های رنگی a و b مربوط به تیمار فاقد آنزیم بود. همچنان که در جدول مشاهده می شود کمترین میزان قرمزی (مولفه رنگی a) و کمترین میزان زردی (مولفه رنگی b) و بیشترین میزان روشنایی (مولفه رنگی L) نیز مربوط به خلال سیب زمینی سرخ شده در غلظت ۵ واحد بر لیتر آنزیم آسپارژیناز بود. بیشترین میزان قرمزی (a) و زردی (b) و کمترین میزان روشنایی (L) مربوط به خلال سیب زمینی سرخ شده فاقد آنزیم بود. بهبود رنگ در تیمارهای دارای آنزیم آسپارژیناز را میتوان به فرآیند آنزیم بری و آنزیم آسپارژیناز نسبت داد. این پدیده احتمالا به دلیل کنترل واکنش های تشکیل پوسته و واکنش میلارد می باشد. گزارشات مؤید این مطلب است که آنزیم بری به عنوان یک پیش فرآیند قادر است رنگ و مزه چپس ها را بهبود بخشد (۱۰). کاهش مواد قندی و آسپارژین با آنزیم بری و همچنین هیدرولیز آسپارژین به اسید آسپارتیک و آمونیاک توسط آنزیم

اندرسون و همکاران، می شود و میزان جذب روغن را به دلیل ژلاتینه شدن نشاسته موجود در سطح ماده غذایی کاهش می دهد (۱۶ و ۱۹). هم چنین آلورز و همکاران دریافتند که آنزیم بری در دماهای بالا و مدت زمان کم (دمای ۹۷ درجه سانتیگراد و مدت زمان ۲ دقیقه)، قبل از سرخ کردن سیب زمینی، منجر به افزایش میزان جذب روغن در مقایسه با تکه های تازه می شود (۳). با این وجود بعضی محققان در گزارشات خود به این موضوع اشاره کرده اند که دمای پایین و مدت زمان بالای آنزیم بری (۵۵ تا ۷۰ درجه سانتیگراد و مدت زمان ۱۵ تا ۶۰ دقیقه) قبل از سرخ کردن، آنزیم های حساس را فعال نموده و واکنش های ایجاد شده تداخل ماده را کاهش داده، بنابراین میزان جذب روغن را کاهش می دهد (۷). با توجه به میزان جذب روغن در نمونه های مورد مطالعه در پژوهش حاضر، آنزیم بری در دما بالا و مدت زمان کم (۸۵ درجه سانتیگراد به مدت ۵ دقیقه) احتمالا باعث کاهش میزان رطوبت سطحی و در نتیجه افزایش میزان جذب روغن شده است. اثر مستقل آنزیم باعث ایجاد تغییر معنی دار در میزان آکریل آمید خلال های سیب زمینی سرخ شده است ($p < 0.05$). به طور کلی آنزیم آسپارژیناز باعث کاهش میزان آکریل آمید شد. اثر آنزیم آسپارژیناز در کاهش آکریل آمید، توسط بسیاری از محققین در غذاهای مختلف فرآوری شده مانند اسنک، چپس، غذاهای خمیری و غیره نشان داده شده است. سیساروا و همکاران نیز گزارش کردند استفاده از پودر خشک آسپارژیناز نوع L می تواند باعث کاهش قابل ملاحظه میزان آکریل آمید (به میزان ۹۰ تا ۹۷ درصد) در محصول نهایی شود (۱۱). هم چنین کاهش میزان آکریل آمید را به فرآیند آنزیم بری نیز می توان نسبت داد. آنزیم بری با تغییر ساختار مولکولی سیب زمینی، اجازه واکنش داخلی بین آسپارژین و محلول آنزیمی را مهیا می سازد؛ به طوریکه آنزیم بری باعث حرکت آسپارژین به سمت سطح خارجی ماده و به سمت محلول آنزیمی آسپارژیناز می شود (۲۸). همان طور که از جدول ۳ مشاهده می شود، با افزودن آنزیم آسپارژیناز به مقدار ۵ واحد بر لیتر میزان آکریل آمید از ۲۰۵/۹۲ به ۷۰/۷۲ میکروگرم بر کیلوگرم کاهش یافت. در حالیکه با افزایش غلظت آنزیم از ۵ به ۱۰ واحد بر لیتر مقدار آکریل آمید به ۹۳/۰۸ میکروگرم بر کیلوگرم افزایش پیدا کرد؛ هر چند انتظار می رفت. در غلظتهای بالاتر آنزیم، میزان کاهش آکریل آمید بیشتر باشد. سیساروا و همکاران به نتایجی مشابه دست یافتند

سیب زمینی در معرض امواج فراصوت در حضور فعالیت آنزیمی آسپارژیناز موثرتر از فعالیت آنزیمی به تنهایی است و میزان آکریل آمید را بیشتر کاهش می دهد اما در حال حاضر مکانیسم عمل آن مشخص نیست (۲).

مطابق جدول ۴ نتایج حاکی از آن است که غلظت آنزیم، زمان و شدت صوت دهی به طور متقابل بر سفتی خلالهای سیب زمینی سرخ شده تاثیرگذار بود ($p < 0/05$). بیشترین میزان سفتی مربوط به تیمار فاقد آنزیم و صوت دهی شده با مدت زمان ۰/۵ دقیقه و شدت ۳۰ وات بر میلی متر مربع بود. کمترین آن مربوط به غلظت ۵ واحد بر لیتر آنزیم و صوت دهی شده با زمان ۰/۵ دقیقه و شدت ۶۰ وات بر میلی متر مربع بود. تیمار با غلظت ۱۰ واحد بر لیتر و صوت دهی شده با مدت زمان ۱ دقیقه و شدت ۳۰ وات بر میلی متر مربع نزدیکترین نمونه به شاهد بود. مکانیسم عمل و تاثیر آنزیم بر سفتی بافت خلال سیب زمینی نیز هنوز مشخص نیست.

کمترین میزان زردی (b) مربوط به غلظت ۵ واحد بر لیتر آنزیم و صوت دهی شده با مدت زمان ۱ دقیقه و شدت ۳۰ وات بر میلی متر مربع بود. نزدیکترین میزان قرمزی به نمونه شاهد تیمار فاقد آنزیم و صوت دهی شده با مدت زمان ۱ دقیقه و شدت ۶۰ وات بر میلی متر مربع بود. همچنان که در جدول مشاهده می شود کمترین تغییرات کلی رنگ (ΔE) مربوط به غلظت ۵ واحد بر لیتر آنزیم و صوت دهی شده با زمان ۰/۵ دقیقه و شدت ۳۰ وات بر میلی متر مربع بود. نزدیکترین تغییرات کلی رنگ به تیمار شاهد غلظت ۱۰ واحد بر لیتر آنزیم و صوت دهی شده با مدت زمان ۱/۵ دقیقه و شدت ۶۰ وات بر میلی متر مربع بود. به دلیل همگن سازی بهتر نمونه های تیمار شده با امواج فراصوت و شکسته شدن ذرات سیب زمینی موجب شد که با کوچک تر شدن ذرات پراکنش نور افزایش می یابد و این تغییر منجر به افزایش مولفه رنگی (L) می گردد. در نتیجه مشابه این موضوع می توان به تحقیقات پورلیس و سالوادور، در بررسی رنگ نان با اعمال فراصوت اشاره کرد. آنها بیان نمودند که تغییرات سطح نان مسئول روشنایی آن است و سطوح منظم و صاف نسبت به سطوح چین دار توانایی بیشتری در انعکاس نور و افزایش میزان مولفه رنگی (L) دارند (۳۲).

آسپارژیناز سبب کاهش واکنش میلارد می شود (۴ و ۴۳). کنترل واکنش های میلارد تا حدود زیادی رنگ فرآورده های سیب زمینی را بهبود می بخشد (۳۸).

اثر متقابل آنزیم آسپارژیناز، زمان و شدت صوت دهی (در فرآیند آنزیم بری) بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و میزان آکریل آمید خلال سیب زمینی سرخ شده در ۱۷۵ درجه سانتیگراد به مدت ۴ دقیقه در جدول ۴ نشان داده شده است. نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر متقابل آنزیم آسپارژیناز، زمان و شدت صوت دهی بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خلال سیب زمینی معنی دار بود ($p < 0/05$).

نتایج نشان داد نمونه های آنزیم بری شده به کمک فرآیند صوت دهی با شدت ۶۰ وات بر میلی متر مربع و مدت زمان ۱/۵ دقیقه و غوطه ور شده در آنزیم آسپارژیناز با غلظت ۱۰ واحد بر لیتر کمترین میزان رطوبت و نمونه های آنزیم بری شده به کمک فرآیند صوت دهی با شدت های ۳۰ و ۶۰ وات بر میلی متر مربع و مدت زمان ۱ دقیقه و بدون غوطه وری در محلول آنزیمی، بیشترین میزان رطوبت را داشتند .

مطابق جدول ۴، اثر متقابل غلظت آنزیم، زمان و شدت صوت دهی بر میزان جذب روغن معنی دار بود ($p < 0/05$). نتایج نشان می دهد کمترین میزان جذب روغن مربوط به نمونه های آنزیم بری شده به کمک فراصوت با شدت ۶۰ وات بر میلی متر مربع و زمان ۰/۵ دقیقه و همچنین تیمار بدون غوطه وری در محلول آنزیمی و بیشترین آن مربوط به نمونه های آنزیم بری شده به کمک فراصوت با شدت ۶۰ وات بر میلی متر مربع و زمان ۱/۵ دقیقه بود .

مطابق جدول ۴ اثر متقابل غلظت آنزیم، زمان و شدت فراصوت بر میزان آکریل آمید تاثیر گذار بود ($p < 0/05$). کمترین مقدار آکریل آمید مربوط به غلظت ۵ واحد بر لیتر و صوت دهی شده با زمان ۰/۵ دقیقه و شدت ۶۰ وات بر میلی متر مربع و همچنین غلظت ۱۰ واحد بر لیتر آنزیم و صوت دهی شده با زمان ۱ دقیقه و شدت ۶۰ وات بر میلی متر مربع بود. بیشترین میزان آن مربوط به تیمار فاقد آنزیم، صوت دهی شده با زمان ۰/۵ دقیقه و شدت ۳۰ وات بر میلی متر مربع بود؛ که این تیمار را می توان نزدیکترین نمونه از لحاظ میزان آکریل آمید به تیمار شاهد در نظر گرفت. با توجه به یافته های ال طاهر و همکاران، قرار دادن تکه های خام

جدول ۴- اثر متقابل آنزیم اسپارژیناز، زمان و شدت فراصوت دهی بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خلال سیب زمینی سرخ شده در دمای ۱۷۵ درجه سانتیگراد

تغییرات کل رنگ (ΔE)	مونه رنگی (b)	مونه رنگی (a)	مونه رنگی (L)	شفتی (نیوتن)	آکریل آمید	جذب روشن (گرم بر گرم مرطوب)	میزان رطوبت (گرم بر گرم مرطوب)	شدت فراصوت دهی (وات)	بر میلیمتر مربع	زمان فراصوت دهی (دقیقه)	غلظت آنزیم (واحد بر لیتر)
ijk ۲۴/۳۱	ab ۲۳/۸۳	l -۵/۸۴	abcd ۷۵/۲۵	a ۱۳/۹	a ۳۶۸/۱۸	fgh ۲۰/۷۸	abcde ۴۴/۸۳	۳۰	۰/۵	۰	
jk ۲۳/۸۷	abcd ۲۲/۴۴	ijn -۴/۸۶	abcd ۷۳/۸۹	bc ۸/۸۵	b ۳۴۹/۲۴	m ۱۱/۵۸	ab ۵۳/۱۶	۶۰	۰/۵	۰	
jk ۲۴/۰۸	abcde ۲۱/۷۵	kl -۵/۳۵	hi ۶۴/۵۰	bc ۷/۱۰	c ۳۳۸/۷۰	hi ۱۹/۲۲	abcd ۵۱/۲۷	۱۰۰	۰/۵	۰	
defghij ۲۸/۰۴	a ۲۴/۱۰	fghij -۴/۲۳	abcd ۷۳/۶۵	b ۹/۵۷	f ۱۲۲/۲۰	m ۱۱/۲۲	a ۵۶/۵۲	۳۰	۱	۰	
cijk ۲۴/۲۷	cdefg ۲۰/۸۹	def -۳/۳۴	defgh ۶۹/۱۱	bcd ۶/۸۸	h ۱۱۰/۹۹	m ۱۱/۵۶	a ۵۶/۲۱	۶۰	۱	۰	
ghijk ۲۶/۱۴	abcde ۲۲/۳۵	defgh -۳/۷۸	defgh ۷۳/۳۷	bc ۸/۵۳	e ۱۳۴/۳۴	hi ۱۹/۹۷	abcd ۵۰/۸۷	۱۰۰	۱	۰	
abcde ۳۲/۷۳	abc ۲۳/۱۱	bc -۱/۷۶	defghi ۶۹/۰۵	cde ۶/۳۷	g ۱۱۵/۴۵	gh ۲۰/۲۲	abcdef ۴۴/۸۳	۳۰	۱/۵	۰	
abc ۳۴/۵۹	abcde ۲۱/۹۵	ab -۰/۰۴	efghi ۶۸/۶۶	bc ۷/۰۵	j ۹۸/۷۰	l ۱۳/۱۱	ab ۵۳/۱۶	۶۰	۱/۵	۰	
abcd ۳۳/۶۴	cdefg ۲۱/۰۹	hijk -۰/۰۹	abc ۶۶/۷۹	bc ۷/۹۷	d ۲۱۵/۴۵	hi ۱۹/۴۵	abcd ۵۱/۲۷	۱۰۰	۱/۵	۰	
k ۲۱/۸۵	kl ۱۵/۰۸	defg -۴/۶۹	bcd ۷۶/۱۶	hi ۰/۸۳	s ۵۴/۰۲	gh ۲۰/۱۱	abcde ۴۸/۲۶	۳۰	۰/۵	۵	
defghij ۲۸/۴۲	ghi ۱۸/۷۵	fghij -۳/۶۶	abcd ۷۲/۲۲	hi ۰/۶۷	t ۴۱/۹۱	gh ۲۰/۰۰	abcd ۵۰/۲۶	۶۰	۰/۵	۵	
hijk ۲۵/۰۰	ghi ۱۸/۷۳	defah -۴/۱۸	ab ۷۲/۷۳	fghi ۱/۹۱	p ۷۱/۲۸	b ۲۶/۴۵	gh ۳/۶۲	۱۰۰	۰/۵	۵	
ghik ۲۵/۹۷	l ۱۴/۷۴	de -۳/۸۵	cdefgh ۷۷/۸۳	hi ۰/۹۴	h ۱۱۰/۷۴	k ۱۵/۶۷	abc ۵۲/۱۳	۳۰	۱	۵	
ab ۳۵/۴۳	jkl ۱۵/۶۲	def -۳/۲۲	ab ۷۰/۶۴	hi ۰/۹۷	r ۶۱/۴۰	efg ۲۱/۴۵	abcdef ۴۴/۵۷	۶۰	۱	۵	
bcdefgh ۳۰/۵	abcd ۲۲/۵۹	de -۳/۵۲	bcdg ۷۷/۸۰	ghi ۱/۰۱	n ۷۶/۱۱	k ۱۶/۵۶	abc ۵۱/۷۲	۱۰۰	۱	۵	
hijk ۲۴/۹۸	hi ۱۸/۲۲	ghijk -۳/۲۳	ab ۷۱/۵۶	ghi ۱/۱۹	l ۸۴/۴۶	ij ۱۸/۲۲	abcd ۵۱/۴۲	۳۰	۱/۵	۵	
defghij ۲۸/۲	bij ۱۷/۸۰	defgh -۴/۴۸	abcdf ۷۷/۷۹	fghi ۲/۱۶	q ۶۳/۳۲	jk ۱۷/۰۰	abc ۵۱/۶۰	۶۰	۱/۵	۵	
fghijk ۲۶/۵۳	efgh ۱۹/۸۷	def -۳/۸۵	abcd ۷۲/۷۸	ghi ۱/۱۲	d ۷۳/۲۵	def ۲۱/۸۹	bcdef ۴۲/۹۰	۱۰۰	۱/۵	۵	
efghijk ۲۷/۳	ghi ۱۸/۶۶	defg -۳/۳۴	abc ۷۴/۵۳	fghi ۲/۹۱	e ۱۳۵/۰۹	d ۲۳/۱۱	efgh ۳۶/۳۹	۳۰	۰/۵	۱۰	
bcdefg ۳۱/۳	defgh ۲۰/۲۳	def -۳/۷۴	fghi ۷۵/۸۸	fghi ۲/۷۸	i ۱۰۱/۰۴	d ۲۳/۱۱	efgh ۳۷/۴۵	۶۰	۰/۵	۱۰	
cdefghij ۲۸/۹	ijkl ۱۶/۸۶	def -۳/۵۴	bcdef ۶۶/۲۷	efg ۳/۹۶	m ۸۱/۳۵	c ۲۴/۷۸	fgh ۳۴/۵۳	۱۰۰	۰/۵	۱۰	
cdefghij ۲۹/۱	ghi ۱۸/۶۴	hijk -۴/۶۵	abc ۷۲/۵۶	fghi ۱/۸۶	l ۸۵/۵۷	bc ۲۵/۷۸	fgh ۳۴/۴۳	۳۰	۱	۱۰	
bcdefg ۳۰/۸	bcdef ۲۱/۴۰	jk -۴/۸۷	a ۷۶/۱۲	fghi ۲/۷۰	t ۴۱/۰۲	de ۲۲/۵۶	cdefg ۳۹/۶۰	۶۰	۱	۱۰	
bcdefghi ۲۹/۹	ijk ۱۷/۳۳	ijk -۴/۷۷	abc ۷۹/۴۹	fgh ۳/۶۸	g ۱۱۶/۳۰	de ۲۲/۶۷	defg ۳۸/۹۵	۱۰۰	۱	۱۰	
fghijk ۲۶/۹۲	cdefg ۲۱/۰۴	efghi -۳/۹۵	abc ۷۷/۲۲	fghi ۲/۸۰	i ۱۰۲/۴۷	bc ۲۶/۱۱	fgh ۳۲/۹۸	۳۰	۱/۵	۱۰	
a ۳۷/۲۶	fghi ۱۸/۹۵	a -۱/۹۵	i ۶۲/۳۲	def ۴/۳۴	m ۸۱/۲۶	a ۳۰/۲۲	h ۲۶/۶۱	۶۰	۱/۵	۱۰	
abcdef ۳۲/۰۶	defgh ۲۰/۱۹	d -۲/۹۵	ghi ۶۵/۸۷	fghi ۱/۵۸	k ۹۳/۶۲	b ۲۶/۷۰	gh ۲۷/۵۳	۱۰۰	۱/۵	۱۰	
۳۸/۵۵	۲۰/۵۱	۱/۱۱	۵۹/۶۵	۱/۷	۴۱۸/۰۱	۱۳/۳۳	۵۶/۷۳			مقادیر شاهد	

*میانگین‌های دارای حروف غیرمشترک براساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری دارند (آزمون دانکن، P<۰/۰۵).

۴- نتیجه گیری

این پژوهش با هدف بررسی تاثیر پیش فرآیندهای قبل از سرخ کردن بر میزان کاهش آکریل آمید، میزان دفع رطوبت، میزان جذب روغن، سفتی، رنگ (مولفه های رنگی a, b, L و تغییرات کل رنگ ΔE) خلال های سیب زمینی طی فرآیند سرخ کردن عمیق در روغن (مخلوط روغنهای کانولا، پالم اولئین و زیتون بکر به نسبت ۷۵:۱۵:۱۰) در دمای ۱۷۵ درجه سانتیگراد به مدت ۴ دقیقه انجام پذیرفت. نتایج حاکی از آن بود که اثر غلظت های مختلف آنزیم آسپارژیناز، زمان و شدت فراصوت دهی، بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و میزان آکریل آمید خلال سیب زمینی سرخ شده معنی دار است ($p < 0/05$).

در خصوص پیش فرآیند فراصوت دهی، با افزایش زمان و شدت فراصوت دهی به ترتیب از ۰/۵ به ۱ دقیقه و از ۳۰ به ۶۰ وات بر میلی متر مربع میزان جذب روغن و میزان فراصوت دهی آکریل-آمید به طور معنی داری کاهش یافت؛ در حالی که افزایش زمان و شدت به ترتیب از ۱ به ۱/۵ دقیقه و از ۶۰ به ۱۰۰ وات بر میلی متر مربع، افزایش میزان جذب روغن و میزان آکریل آمید را به دنبال داشت.

استفاده از آنزیم آسپارژیناز هر چند باعث کاهش چشم گیری در میزان آکریل آمید نمونه ها شد، اما میزان جذب روغن را افزایش داد. به طور کلی با افزایش میزان دفع رطوبت، میزان جذب روغن در نمونه ها افزایش پیدا کرد. همچنین نتایج نشان داد مقدار آکریل آمید با افزایش غلظت آنزیم آسپارژیناز از ۵ به ۱۰ واحد بر لیتر افزایش می یابد. همچنین خصوصیات سفتی و تغییرات کلی رنگ مربوط به تیمارهای استفاده شده از آنزیم با غلظت ۵ و ۱۰ واحد بر لیتر نسبت به نمونه فاقد آنزیم از مطلوبیت بیشتری برخوردار بودند.

۵- منابع

۱- رزاق پور ا، دهقان نیا ج، قنبرزاده ب. ۱۳۹۲. تاثیر پیش تیمار با فراصوت و آنزیم بری روی جذب روغن سیب زمینی طی سرخ کردن عمیق. نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی جلد ۲۳: ۲۰۴-۲۳۸.

2- Al-Taher F, Jackson L, Cappozzo J. 2009. Use of Ultrasound to Reduce Acrylamid Formation in French Fries. Available form: <http://www.Ultrasound Technology Schools.org>.

- 3- MD Alvarez, Morillo MJ, Canet W. 2000. Characterization of the frying process of fresh and blanched potato strips using response surface methodology. *European Food Research and Technology*, 211:326-335.
- 4- Amerm T.M, Bachman S, Biederman M, Barbosa M.F, Keisee A, Realini P, Amado R. 2003. Potential of acrylamide formation, Sugers and free asparagine potatoes. A Comparison of cultures and forming systems. *J. Agr. Food. Chem*, 51: 5556-5560
- 5- Andersson A, Gekas V, Lind I, Oliveira F, Oste R. 1994. Effect of preheating on potato texture. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 34: 229-251.
- 6- Anece M, Suman M, Nikoli C. 2009. Technological Strategies to Reduce Acrylamide Levels in Heated Foods. *Journal of Engineering 1*: 169-179.
- 7- Aguilera JM, Gloria HJ. 1997. Determination of oil in fried potato products by differential scanning calorimetry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45:781-785.
- 8- Blumenthal, M.M. 1991. A new look at the chemistry and physics of deep -fat frying. *Food Technology*, 45: 65- 94.
- 9- Bouchon P, Aguilera J.M, Pyle D.L. 2003. Structure oil absorption relationships during depat frying. *Journal of Food Science*, 68: 2711- 2716.
- 10- Califano A.N, Calvelo A. 1987. Adjustment of surface concentration of reduction sugars befor frying of potato strips. *Journal of Food processing and Preservation 12*:1-9.
- 11- Ciesarova Z, Kiss E, Boegl P. 2006. Impact of L-asparaginase on acrylamide content in potato products. *Journal of Food and Nutrition Research*, 45: 141-146.
- 12- Dolatowski Z. J, Stadnik J, Stasiak D. 2007. Applications of ultrasound in food technology *ACTA Scientiarum Polonorum 6(3)*: 89-99.
- 13- Farhoosh R., Esmailzadeh Kenari R., Poorazarang H. 2009. Frying stability of canola oil blended with palm olein, olive, and corn oils. *Journal of American oil chemistry society*, 86: 71-76.
- 14- Fengxia S.D, Zhanming Z. 2001. Determination of oil color by image analysis. *Journal of American oil chemistry society*, 78:749-752.
- 15- Fernandes F. A. N, Gallao M. I, Rodrigues, S. 2009. Effect of osmosis and ultrasound on pineapple cell tissue structure during dehydration. *Journal of Food Engineering*, 90(2): 186-190.
- 16- Gamble M.H, Rice P, Selman J.D. 1987. Relationship between oil uptake and moisture loss during frying of potato slices from C.V Record

- 30- Pedreschi F, Moyano P. 2005. Oil uptake and texture development in fried potato slices. *Journal of Food Engineering*, 70:557-563.
- 31- Pinthus E.J, Weinberg P, Saguy I.S. 1993. Criterion for oil uptake during deep-fat frying *Journal of Food Science*, 58: 204-209.
- 32- Purlis E, Salvadori V. 2009. Modelling the browning of bread during baking. *Food Research International*, 42: 865-870.
- 33- Robarge T, Phillips E, Conoley M. 2003. Optimizing the analysis of acrylamide in food by quadrupole GC/MS. Application Note # 9195, Thermo Electron Corporation, Austin, TX; http://www.thermo.com/com/cda/products/product_application_details/1,1063,11640,00.htm.
- 34- Ronda F, Oliete B, Gomez M, Caballero P, Pando V. 2011. Rheological study of layer cake batters made with soybean protein isolate and different starch sources. *Journal of Food Engineering*, 112: 272-277.
- 35- Sivakumar M, Pandit A.B. 2001. Ultrasound enhanced degradation of Rhodamine B: optimization with power density. *Ultrasonics Sonochemistry*, 8: 233-240.
- 36- ran M, Dong cheng X, Southern C. 2006. Reducing oil content of fried potato crisps considerably using a sweet pre-treatment technique. *Journal of food engineering*, 80: 719-726.
- 37- Troncoso E, Pedreschi F. 2009. Modeling water loss and oil uptake during vacuum frying of pre-treated potato slices. *Lebensmittel – Wissenschaft und Technologie, Journal of Food Engineering*, 42: 1164-1173.
- 38- Tulburt WF, Ora-Smith MS. (1975). *Potato processing*. 3rd ed, Westport, Connecticut: AVI Publishing Company, *Journal of Food Engineering*; 80: 403-33.
- 39- yagi V.K, Vasishtha A.K. 1996. Changes in the characteristics and composition of oils during deep-fat frying. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 73: 499-506.
- 40- Vesper H, Perez H, Meyers T, Ospina M, Mayers G. 2005. L Pilot study on the impact of potato chips consumption on biomarkers of acrylamide exposure. *Journal of Food Engineering*, 5:89-97.
- 41- Viklund G. A. I, Olsson K. M, Sjöholm I. M, Skog K. I. 2010. Acrylamide in crisps: Effect of blanching studied on long-term stored potato clones. *Journal of Food Composition and Analysis*, 23: 194-198.
- 42- Wil V.L. 2005. Process innovation and quality aspects of French fries. PhD thesis Wageningen University, The Netherlands with summary in Dutch.
- U.K.tubers. *International Journal of Food Science and Technology*, 22: 233-241.
- 17- Granda C, Moreira R.G. 2005. Kinetics of acrylamide formation during traditional and vacuum frying of potato chips. *Journal of Food Process Engineering*, 28: 478-493.
- 18- Jafarian S. 2000. Effect of pre heating and use of some of hydrocolloids in reduction oil uptake and quality of potato French fries. Thesis Submitted to Msc degree of food science and technology, Isfahan University of technology, 120p.
- 19- Kadam S.S, Wankier B.N, Adsule R.N. 1991. Processing. In: *Potato: Production, Processing, and Products*. Salunkhe, D.K., Kadam, S.S., and Jadhav, S.J. CRC Press, Boca Raton, FL.
- 20- Keramat J, leballi A, prost C, jafari M. 2011. Acrylamid in baking product: A Review Article *journal of Food Bioprocess Technol* 4: 530-543.
- 21- Lisinska G, Leszczynski W. 1989. *Potato science and technology*, Elsevier science publishers, 166-227.
- 22- Lopachin R.M. 2004. The changing view of acrylamide neurotoxicity. *Neurotoxicol.; Journal of Agricultural and Food chemistry*, 25: 617-630.
- 23- Mohammadpour Karizaki V, Sahin S, Sumnu G, Hamed Mosavian, M.T, Luca A. 2013. Effect of Ultrasound-Assisted Osmotic Dehydration as a Pretreatment on Deep Fat Frying of Potatoes. *Food Bioprocess Technol* 6:3554-3563.
- 24- Mottram D.S, Wedzicha B.L, Dodson A.T. 2002. Acrylamide is formed in the Maillard reaction. *Nature Journal of food chemistry*, 419: 448-449.
- 25- Moyano, P., and Pedreschi, F. 2006. Kinetics of oil uptake during frying of potato slices: Effect of pre-treatments. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, 39: 285-291.
- 26- Orthoefer, F.T., Gurkin, S., and Liu, K. 1996. Dynamics of frying. In: *Deep Frying: Chemistry, Nutrition, and Practical Applications*. Perkins E.G., and Erickson, M.D. AOCS Press, Champaign Illinois, USA.
- 27- Pedreschi F, Kaack K, Grady K, Troncoso E. 2007. Acrylamide reduction under different pre-treatment in french fries. *Journal of Food Engineering*, 79:1287-1294.
- 28- Pedreschi F, Kaack K, Granby K. 2004. Reduction of acrylamide formation in potato slices during frying. *Journal of food science and technology*, 70: 679-685.
- 29- Pedreschi F, Travisany X, Reyes C, Troncoso E, Pedreschi R. 2009. Kinetics of extraction of reducing sugar during blanching of potato slices. *Journal of Food Engineering*, 91: 443-447.

43- Zyzak D, Sanders R.A, Stojanovic M, Tallmadge D.H, Ebehart I, Ewald D.K, Gruber D.c, Morsch T.R, Strothers M.A, Rizzi G.P, Villagran M.D. 2003. Acrylamide formation mechanism in heated foods. J. Agric. Food. Chem, 51: 4782-4787.