مهندسی بیوسیستم ایران، دوره ۴۵، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۳ (ص ۷۹-۷۳)

بررسی تغییرات ویژگی‌های کیفی خلال سیب‌زمینی طی خشک‌کردن مقدماتی و پایان سرخ‌کردن

مریم اسدی [*۱]، ناصر همدمی [۲] ، سید امیرحسین گلی [۲]

۱. کارشناس ارشد گروه علوم و صنایع غذایی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان

۲. استادیار گروه علوم و صنایع غذایی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۱/۱۶- تاریخ تصویب: ۱۳۹۲/۱۱/۲۹)

چکیده

با توجه به مشکلات نگهداری، حمل‌ونقل، و نوسان فصلی قیمت سیب‌زمینی تازه، تولید فراورده‌های آماده مصرف چون خلال سیب‌زمینی نیمه‌سرخ‌شده اهمیت ویژه‌ای دارد. کیفیت خلال سیب‌زمینی نیمه‌سرخ‌شده، اغلب برحسب ظاهر، رنگ، طعم، بافت، و میزان جذب روغن سنجیده می‌شود. از مراحل مهم در پیش‌فراوری این محصول، مرحله خشک‌کردن مقدماتی است. این مرحله به‌دلیل آنکه جذب روغن را کاهش می‌دهد و خواص ارگانولپتیک محصول را با افزایش تردی آن بهبود می‌بخشد، شایان توجه است. برای انجام آزمایش‌ها، خلال‌های سیب‌زمینی با ابعاد ۸×۰/۸×۰/۸ سانتی‌متر تهیه‌شدند و پس از آنزیم‌بری در آب ۷۵ درجه سلسیوس به‌مدت ۱۰ دقیقه، با خشک‌کن جریان هوای گرم در دماهای ۵۰، ۶۰، ۷۰، و ۸۰ درجه سلسیوس تا رطوبت ۷۰ درصد براساس وزن مرطوب خشک گردیدند. درپایان، در روغن با دمای ۱۸۰ درجه سلسیوس به‌مدت ۴ دقیقه سرخ شدند. خصوصیات کیفی بررسی‌شده در طول دوره خشک‌کردن، رنگ و بافت، و در پایان سرخ‌کردن، رنگ، بافت، و میزان روغن باقیمانده بود. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که برخلاف رنگ و میزان روغن باقیمانده درخلال، کیفیت بافت آن تحت تأثیر دمای خشک‌کردن است و با خشک‌کردن در دمای ۷۰ درجه سلسیوس تا رسیدن به رطوبت ۷۵ درصد براساس وزن مرطوب، بهترین کیفیت حاصل می‌شود.

کلید واژگان: بافت، جذب روغن، رنگ، سیب‌زمینی.

مقدمه

سیب‌زمینی گیاهی تتراپلوئید از جنس سولانوم (Solanum) و از خانواده سولاناسه (Solanacea) است و ۲۰۰۰ گونه دارد که فقط ۸ گونه آن کشت می‌شود. سولانوم توبرزوم (Solanum tuberosum) ، تنها گونه قابل‌کشت در سراسر جهان و در شرایط آب‌وهوایی گوناگون است و پس از گندم، ذرت، و برنج، از مهم‌ترین محصولات کشاورزی به شمار می‌رود (Jafarian, 2000). سیب‌زمینی از مهم‌ترین منابع غذایی انسان است. مقدار پروتئین آن در حدود ۲ درصد و با کیفیت مطلوب است، به‌طوری که شامل بیشتر اسیدهای آمینه ضروری است و فقط از نظر متیونین و سیستئین محدودیت دارد. سیب‌زمینی به‌دلیل هضم آسان و داشتن پروتئین با کیفیت مطلوب، پس از تخم‌مرغ، دومین منبع غذایی ساده و پرمصرف جهان، شناخته می شود (Hadad Khodaparast, 1993; Zehlender *et al.*, 1994). نشاسته سیب‌زمینی خام هضم‌نشدنی است، بنابراین فراوری حرارتی برای افزایش قابلیت هضم آن ضروریست. سیب‌زمینی می‌تواند پخته شود و مستقیماً مصرف شود یا به شکل محصول تجاری فراوری شود. در زمان حاضر، طیف وسیعی از فراورده‌های سیب‌زمینی چون گرانول، آرد، نشاسته، محصولات کنسروی، و فراورده‌های سرخ‌شده تولید می‌شود. عموماً، فراورده‌های سرخ‌شده از چیپس و خلال سیب‌زمینی نیمه‌سرخ‌شده (فرنچ‌فرایز) تشکیل می‌شود (Falahi, 1996; Jafarian, 2000). خلال سیب‌زمینی نیمه‌سرخ‌شده، از محبوب‌ترین محصولات سرخ‌شده سیب‌زمینی است. خلال سیب‌زمینی نیمه‌سرخ‌شده به قطعاتی از سیب‌زمینی به طول تقریبی۷-۶ سانتی‌متر و سطح مقطع ۱ سانتی‌متر مربع اطلاق می‌گردد که در روغن داغ، نیمه‌سرخ می‌شوند (Gordon, 1990).

تولید خلال سیب‌زمینی نیمه‌سرخ‌شده از واحدهای عملیاتی آنزیم‌بری، خشک‌کردن، نیمه‌سرخ‌کردن، و انجماد تشکیل می‌شود (Jafarian, 2000). هر واحد عملیاتی نقش تعیین‌کننده‌ای در کیفیت خلال سیب‌زمینی سرخ‌شده ایفا می‌کند. برای مثال در طول دوره آنزیم‌بری، ترکیبات محلول از بافت سیب‌زمینی خارج می‌شوند و باعث بهبود رنگ خلال سرخ‌شده می‌گردند (Kaymak & Kincal, 1994). با توجه به مشکلات نگهداری، حمل‌ونقل، و نوسان فصلی قیمت

* نویسنده مسئول: asadi.maryam88@yahoo.com

سیب‌زمینی تازه، تولید فراورده‌های آماده مصرف مانند خلال سیب‌زمینی نیمه‌سرخ‌شده اهمیت ویژه‌ای دارد. از زمینه‌های جذاب برای مطالعه بهینه‌سازی فرایند تولید فراورده‌های غذایی در صنعت غذا است. کیفیت خلال سیب‌زمینی نیمه‌سرخ‌شده عموماً به ظاهر، رنگ، طعم، بافت، و میزان جذب روغن بستگی دارد. رنگ و بافت در پذیرش محصول از طریق مصرف‌کننده اهمیت زیادی دارد که به‌طور عمده تحت تأثیر میزان قند احیاءکننده و نشاسته سیب‌زمینی است (Gupta *et al*., 2000). از اهداف تحقیقات توسعه‌ای اخیر در صنعت تولید خلال سیب‌زمینی سرخ‌شده، کاهش تولید آکریل آمید، و نیز کاهش جذب روغن در فراورده نهایی بوده است. برای این کار بررسی عوامل مؤثر بر بهبود کیفیت محصول و یکنواختی آن در طول دوره تولید ضروری است، به‌ویژه روش‌هایی که با آن‌ها بتوان میزان مصرف روغن در فرایند را کاهش داد. فاکتورهای مؤثر بر جذب روغن مشتمل بر: دما و زمان سرخ‌کردن، نسبت سطح به حجم، کیفیت روغن، میزان تخلخل و رطوبت محصول، و نوع پیش تیمارها (آنزیم‌بری و پیش‌خشک‌کردن) هستند (Lulai & Orr, 1979; Jafarian, 2000). ماده خشک سیب‌زمینی در تولید خلال نباید از ۲۰-۲۲ درصد کمتر و نشاسته آن باید ۱۴-۱۶ درصد باشد (Considin, 1982). میزان ماده جامد اولیه در محصول، مؤلفه مؤثری در جذب روغن در طول دوره سرخ‌کردن است. درواقع برای محصول سرخ‌شده نهایی که میزان رطوبت متوسطی دارد (مانند خلال سیب‌زمینی نیمه‌سرخ‌شده)، میزان بیشتر رطوبت اولیه، جذب روغن نهایی را افزایش می‌دهد (Krokida *et al*., 2001). مرحله خشک‌کردن مقدماتی قبل از سرخ‌کردن، لایه‌ای سفت و خشک را در سطح محصول ایجاد می‌کند. این تکنیک میزان رطوبت کل محصول را کاهش می‌دهد و جذب روغن را محدود می‌کند. همچنین چروکیدگی که در طول دوره خشک‌کردن رخ می‌دهد، باعث کاهش سطح می‌شود و درنتیجه انتقال جرم کاهش می‌یابد. به‌طورکلی این پیش‌فراوری به‌دلیل کاهش جذب روغن و بهبود خواص ارگانولپتیک محصول با افزایش تردی آن، شایان توجه است (Moreno & Bouchon, 2008).

در این پژوهش با هدف بهبود کیفیت خلال سیب‌زمینی نیمه‌سرخ‌شده، ضمن بررسی تغییرات کیفی خلال درطول دوره خشک‌کردن مقدماتی، اثر فرایند خشک‌کردن مقدماتی سیب‌زمینی بر شاخص‌های کیفی نظیر بافت، رنگ، و میزان روغن جذب‌شده در محصول بررسی گردید.

مواد و روش‌ها

تهیه و نگهداری سیب‌زمینی

در آبان 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 ۴-۵ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۸۵-۹۰ درصد منتقل شد.

تهیه نمونه‌های خلال سیب‌زمینی

سیب‌زمینی‌ها قبل از استفاده به‌مدت دو هفته در دمای ۱۸-۲۰ درجه سلسیوس نگهداری شدند. برای تهیه خلال سیب‌زمینی، ابتدا مقداری از سیب‌زمینی‌های متوسط تا درشت انتخاب شد و پس از پوست‌گیری، به ابعاد ۰/۸×۰/۸×۸ سانتی‌متر خلال شدند. در مرحله بعد خلال‌های هم‌اندازه و سالم، در آب ۷۵ درجه سلسیوس به‌مدت ۱۰دقیقه آنزیم‌بری شدند (Tajner *et al*., 2008). برای خشک‌کردن مقدماتی، خلال‌های آنزیم‌بری‌شده وارد خشک‌کن با جریان هوای گرم شدند و در دماهای ۵۰، ۶۰، ۷۰، و ۸۰ درجه سلسیوس به‌ترتیب به‌مدت ۴۵، ۵۵، ۶۵، و ۸۵ دقیقه تا رسیدن به رطوبت ۷۰ درصد براساس وزن مرطوب خشک شدند. در طول دوره خشک‌کردن، نمونه‌برداری در رطوبت‌های ۷۰، ۷۲، ۷۴، ۷۶، ۷۸، و ۸۰ درصد براساس وزن مرطوب، به‌منظور تعیین تغییرات کیفی خلال انجام گرفت. درپایان، خلال‌های سیب‌زمینی در روغن در دمای۱۸۰ درجه سلسیوس به‌مدت ۴ دقیقه به‌طور عمقی سرخ شدند.

اندازه‌گیری رنگ، بافت، و میزان روغن باقیمانده

برای اندازه‌گیری شاخص‌های رنگ (L*, a*, b*) ، از نمونه‌ها در محفظه‌ای مخصوص عکسبرداری شد. این محفظه که در بخش صنایع غذایی دانشگاه صنعتی اصفهان ساخته شده است، دارای مقطع ذوزنقه‌ای و مجهز به دو لامپ D65 است. عکسبرداری نمونه‌ها با دوربین ۸/۱ مگاپیکسل (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 است، 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 هرچه اعداد به سمت ۱۰۰ پیش روند تمایل به قرمزی و زردی به‌ترتیب بیشتر است. فاکتور L* از صفر تا ۱۰۰ نوسان می‌کند و به ترتیب تیرگی تا روشنی را در نمونه‌ها نشان می‌دهد. برای مقایسه رنگ نمونه‌ها از شاخص تغییر رنگ (ΔE) و اندیس

قهوه‌ای‌شدن (BI) در روابط استفاده گردید (Yam & Papadakis, 2004):

$$\Delta E = \sqrt{(L-L_0)^2+(a-a_0)^2+(b-b_0)^2}$$

$$BI = \frac{100(x-0.31)}{0.17}$$

$$x = \frac{a+1.75\times L}{5.645\times L+a-3.012\times b}$$

L_0، a_0، و b_0 مربوط به نمونه شاهد است.

تست نفوذسنجی برای اندازه‌گیری ویژگی‌های مکانیکی خلال به‌وسیله دستگاه آزمون جامع کشش-فشار مدل ۱۱۴۰ ساخت شرکت اینسترن انگلستان انجام شد. قطر پروب ۲ میلی‌متر، سرعت نفوذ پروب ۵۰ میلی‌متر در دقیقه، و سلول حساس به نیرو (Load cell) ۵۰۰ گرم تا ۵ کیلوگرم استفاده شد. برای هر خلال سیب‌زمینی ۳ مرتبه در دمای اتاق تست نفوذسنجی انجام شد (دو تست نفوذسنجی در دو انتها و سومی در وسط آن). حداکثر نیروی لازم برای نفوذ پروب به داخل بافت خلال سیب‌زمینی به‌عنوان شاخص کیفیت بافت تعیین شد (Jafarian,2000). درصد روغن جذب‌شده خلال‌ها پس از سرخ‌کردن با روش سوکسله تعیین گردید. حلال مصرفی، پترولیوم اتر و زمان استخراج ۸ ساعت بود.

طرح آماری استفاده‌شده

به‌منظور بررسی اثر دما و زمان خشک‌کردن بر خصوصیات کیفی خلال‌ها در طول دوره خشک‌کردن و در پایان سرخ‌کردن، آزمایش‌ها به‌صورت فاکتوریل درقالب طرح کاملاً تصادفی انجام گرفت. تجزیه و تحلیل داده‌ها با نرم‌افزار SAS و رسم نمودارها با نرم‌افزار Excel صورت گرفت. مقایسه میانگین داده‌ها به روش حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح اطمینان ۹۹ درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

اثر دمای خشک‌کردن بر تغییرات بافت در طول دوره خشک‌کردن

جدول ۱ شاخص سفتی بافت نمونه‌های خشک‌شده در دماهای متفاوت را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود با کاهش رطوبت و افزایش ماده خشک در حین خشک‌کردن سفتی خلال‌ها افزایش یافته است و در رطوبت‌های متفاوت تفاوت معنی‌دار است. در رطوبت ۷۰ درصد، بیشترین سفتی بافت (۱۴/۰۴) مشاهده شد. درواقع اثر دما و زمان خشک‌کردن بر میزان سفتی در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار بوده است. محققان در تحقیقی مشابه که روی رقم ساتینا انجام داده‌اند، مطرح کردند که خشک‌کردن به افزایش میزان نیروی لازم برای برش قطعات می‌انجامد به‌طوری که بیشترین میزان نیروی برشی را نمونه‌هایی دارند که به مدت ۳۰ دقیقه خشک شده‌اند و با افزایش زمان خشک‌کردن مقدماتی، نیروی لازم برای برش خلال‌های سیب‌زمینی افزایش می‌یابد و بافت محصول نهایی سفت‌تر می‌شود (Daraei Garmekhani *et al*., 1998).

جدول ۱. مقایسه میانگین‌های شاخص سفتی بافت نمونه‌ها به‌عنوان تابعی از رطوبت نمونه‌ها و دمای خشک‌کردن

مرحله	ماده خشک (درصد)	حداکثر نیرو (نیوتن)
۱. (رطوبت ۸۰ درصد)	۲۵/۷۰۰۰ F	۸/۵۰۳۲ E
۲. (رطوبت ۷۸ درصد)	۲۱/۸۵۰۰ E	۹/۳۹۲۷ D
۳. (رطوبت ۷۶ درصد)	۲۳/۵۲۹۲ D	۱۰/۲۰۳۹ CD
۴. (رطوبت ۷۴ درصد)	۲۵/۴۱۲۵ C	۱۰/۹۲۴۶ C
۵. (رطوبت ۷۲ درصد)	۲۷/۲۵۴۲ B	۱۲/۱۱۵۵ B
۶. (رطوبت ۷۰ درصد)	۳۰/۰۶۲۵ A	۱۴/۰۴۷۶ A
دما(سانتیگراد)	ماده خشک (درصد)	حداکثر نیرو (نیوتن)
۵۰	۲۵/۲۸۶۱ A	۱۰/۱۱۶۷ C
۶۰	۲۵/۱۴۱۷ A	۱۰/۷۹۶۹ BC
۷۰	۲۴/۱۶۱۱ C	۱۱/۵۶۹۰ A
۸۰	۲۴/۶۱۶۷ B	۱۰/۹۷۵۷ AB

حروف غیر مشترک در هر ستون بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ درصد است.

همچنین نتایج این جدول نشان می‌دهدکه سفتی بافت خلال‌های خشک‌شده در دمای ۷۰ درجه سلسیوس بیش از سفتی خلال‌های خشک‌شده در دماهای ۵۰، ۶۰، و ۸۰ درجه بوده است. می‌توان گفت با افزایش دما از ۵۰ به ۷۰ درجه سلسیوس، حداکثر نیرو برای نفوذ پروب به داخل بافت افزایش یافته، در حالی‌که در دمای ۸۰ درجه سلسیوس این میزان کاهش یافته است. محققان در نتیجه‌ای مشابه، کاهش حداکثر نیرو برای خلال‌های خشک‌شده در دمای ۸۰ درجه سلسیوس را به‌دلیل فشار زیاد ناشی از ازدیاد حجم نشاسته در طول دوره خشک‌کردن در دمای بالا، توضیح می‌دهند (Agblor & Sconlon., 2000). به بیانی دیگر، فشار ناشی از ازدیاد حجم نشاسته ممکن است باعث تضعیف ساختار سلولی و در نتیجه جداسازی سلول‌ها شود و تأثیرات آن در شرایط دمای بالای خشک‌کردن بیشتر است. کاهش در سفتی خلال‌های خشک‌شده در دمای پایین (۵۰ درجه سلسیوس) در مقایسه با خلال‌های خشک‌شده در دمای بالا می‌تواند ناشی از پایین‌بودن سرعت خشک‌کردن باشد. به نظر می‌رسد که میزان دهیدراته‌شدن بافت سطح در این خلال‌ها کمتر بوده است. همچنین توزیع مجدد رطوبت در این خلال‌ها که رطوبت بالاتری دارند می‌تواند به نرم‌شدن پوسته بیانجامد (Agblor & Sconlon., 2000).

جدول ۲ اثرمتقابل دما و زمان را بر شاخص سفتی بافت نمونه‌ها در طول دوره خشک‌کردن نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود اثر زمان خشک‌کردن بیشتر از دماست. به‌عنوان مثال در زمان رطوبت ۷۰ درصد تفاوت معنی‌داری بین مقادیر سفتی در دماهای متفاوت دیده نمی‌شود. به طورکلی مقادیر سفتی در دمای ۷۰ درجه سلسیوس در مقایسه با سایر دماها بیشتر بوده و در این دما مقادیر سفتی در زمان رطوبت ۷۰ درصد بیشتر از زمان‌های دیگر است اما تفاوت معنی‌داری با مقادیر سفتی در زمان‌های رطوبت ۷۲ درصد و۷۴ درصد ندارد.

جدول ۲. اثرمتقابل دما و زمان بر شاخص سفتی بافت نمونه‌ها در طول دوره خشک‌کردن

مرحله / دما(°c)	۵۰	۶۰	۷۰	۸۰
(رطوبت۸۰درصد)	۷/۶۱۸۴ K	۸/۹۹۳۵ IJK	۸/۲۹۹۰ K	۹/۱۰۱۷ IJK
(رطوبت۷۸درصد)	۷/۸۱۹۴ K	۸/۸۹۷۹ JK	۱۰/۸۶۷۷ FGH	۹/۹۸۵۹ HIJ
(رطوبت۷۶درصد)	۸/۱۲۸۴ K	۱۰/۶۲۷۳ FGHI	۱۱/۷۱۱۹ DEFG	۱۰/۳۴۷۹ GHIJ
(رطوبت۷۴درصد)	۹/۱۶۶۵ IJK	۱۱/۱۳۲۹ FGH	۱۲/۱۳۰۳ CDEF	۱۱/۲۶۸۶ FGH
(رطوبت۷۲درصد)	۱۳/۲۸۵۷ ABCD	۱۰/۸۸۰۱ FGH	۱۲/۹۵۵۹ BCDE	۱۱/۳۴۰۴ EFGH
(رطوبت۷۰درصد)	۱۴/۶۸۱۶ A	۱۴/۲۴۹۸ AB	۱۳/۴۴۹۴ ABC	۱۳/۸۰۹۶ AB

حروف غیر مشترک بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ درصد است.

اثر دمای خشک‌کردن بر تغییرات رنگ خلال در طول دوره خشک‌کردن

جدول ۳ تغییرات رنگ نمونه‌ها در طول دوره خشک‌کردن در دماهای متفاوت را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با افزایش زمان خشک‌کردن و کاهش رطوبت خلال‌ها، شاخص BI افزایش و اندیس *L کاهش یافته است. افزایش شاخص قهوه‌ای‌شدن و کاهش روشنایی با افزایش زمان خشک‌کردن، می‌تواند ناشی از تشدید واکنش‌های قهوه‌ای‌شدن (میلارد) و یا ژلاتینه‌شدن نشاسته در اثر افزایش زمان خشک‌کردن مقدماتی باشد(Jafarian, 2000; Akdeniz, 2004).

همچنین نتایج رنگ‌سنجی نشان می‌دهد که تغییر چندانی در سایر شاخص‌های رنگ نمونه‌ها در طول دوره خشک‌کردن ایجاد نشده است. نتایج تحقیقی مشابه نشان می‌دهد که شاخص *L، *a، و *b با افزایش زمان خشک‌کردن به میزان ناچیزی افزایش یافته است، اما تفاوت این شاخص‌ها در زمان‌های متفاوت خشک‌کردن معنی‌دار نبوده است (Daraei Garmekhani *et al*., 1998).

نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد که اندیس‌های *L، *a، *b، و BI با افزایش دمای خشک‌کردن به میزان ناچیزی تغییر یافته‌اند، که سرانجام منجر به تغییر معنی‌داری در رنگ خلال‌های خشک‌شده (ΔE) در دمای ۸۰ درجه سانتیگراد نسبت به رنگ اولیه گردیده است. همان‌گونه که نتایج تحقیق حاضر نشان می‌دهد، زمان خشک‌کردن در مقایسه با دمای آن تأثیر بیشتری بر رنگ خلال دارد (Agblor *et al*., 2000).

اثر دمای خشک‌کردن بر بافت خلال سیب‌زمینی نیمه‌سرخ‌شده

جدول ۴ اثر دماهای متفاوت خشک‌کردن مقدماتی را بر بافت خلال سیب‌زمینی سرخ‌شده نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود اثر دمای خشک‌کردن بر میزان سفتی خلال سرخ‌شده، در سطح ۰/۰۱ درصد معنی‌دار است. خشک‌کردن در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد موجب افزایش سفتی بافت در مقایسه با دماهای بالاتر یا پایین‌تر از آن (۵۰، ۷۰، و ۸۰ درجه سلسیوس) شده است. کاهش حداکثر نیرو برای خلال‌هایی که در دمای ۵۰ درجه سلسیوس خشک شده‌اند می‌تواند ناشی از کاهش دما و توزیع یکنواخت‌تر رطوبت در پوسته و مغز در مقایسه با دماهای بالاتر باشد. در حالی‌که کاهش در حداکثر نیرو برای خلال‌های خشک‌شده در دمای ۷۰ و ۸۰ درجه سلسیوس در مقایسه با دمای ۶۰ درجه سلسیوس می‌تواند به ازدیاد فشار ناشی از افزایش حجم نشاسته در طول دوره خشک‌کردن مرتبط باشد (Agblor *et al*., 2000). زمانی که بافت سیب‌زمینی در معرض حرارت قرار می‌گیرد سه پدیده می‌تواند رخ دهد: ژلاتیناسیون نشاسته؛ تضعیف دیواره‌های سلولی با افزایش نفوذپذیری؛ و کاهش چسبندگی بین سلولی در سلول‌های مجاور به‌دلیل نرم‌شدن بافت. تضعیف دیواره سلولی و افزایش نفوذپذیری درنتیجه دپلیمریزه شدن (Depolymerisation) پروتوپکتین (Protopectin) به پکتین (Pectin) محلول است. پکتین محلول در دیواره سلولی هیدراته‌شده حل می‌شود و غلظت پروتوپکتین کاهش می‌یابد. نشاسته ژلاتینه‌شده در میان دیواره‌های سلولی ضعیف به ۴ درصد انبساط سلولی و درنتیجه افزایش فشار درونی می‌انجامد (Binner *et al*., 2000). افزایش فشار درونی می‌تواند موجب تضعیف ساختار سلولی و جداشدن سلول‌ها شود که شدت آن در دماهای بالای خشک‌کردن بیشتر خواهد بود (Agblor *et al*., 2000).

جدول ۳. تغییرات رنگ نمونه‌ها در طول دوره خشک‌کردن

مرحله	L *	a *	b *	ΔE	BI
۱. (رطوبت ۸۰درصد)	۶۱/۴۶۳۵ A	-۱۵/۶۲۷۸ B	۵۹/۳۸۳۵ B	۳/۰۸۴۱ A	۲۱۲/۰۶۰۵ E
۲. (رطوبت۷۸درصد)	۶۰/۲۵۵۷ BC	-۱۵/۲۷۱۷ B	۵۹/۶۷۵۱ B	۲/۵۹۹۲ B	۲۲۱/۸۶۹۶ D
۳. (رطوبت۷۶درصد)	۶۰/۸۱۸۴ AB	-۱۵/۴۶۹۰ B	۶۱/۰۳۰۷ A	۳/۱۲۳۵ A	۲۲۷/۴۸۲۴ C
۴. (رطوبت۷۴درصد)	۶۰/۲۶۲۵ BC	-۱۵/۲۷۱۷ B	۶۱/۰۹۳۷ A	۳/۰۵۰۹ A	۲۳۱/۸۹۴۵ B
۵. (رطوبت۷۲درصد)	۶۰/۵۱۶۴ BC	-۱۵/۲۸۱۳ B	۶۱/۴۷۲۰ A	۳/۱۲۹۲ A	۲۳۲/۷۱۷۳ B
۶. (رطوبت۷۰درصد)	۵۹/۸۹۲۰ C	-۱۴/۷۶۶۴ A	۶۱/۴۳۲۶ A	۳/۳۸۰۷ A	۲۳۷/۷۸۱۸ A
دما (سانتیگراد)	L *	a *	b *	ΔE	BI
۵۰	۶۱/۵۰۶۹ A	-۱۵/۰۲۶۳ A	۶۱/۵۷۹۷ A	۲/۲۹۳۴ A	۲۲۵/۸۶۷۸ AB
۶۰	۶۰/۴۰۴۴ B	-۱۵/۳۲۴۶ AB	۶۰/۸۹۶۷ B	۲/۹۹۷۵ A	۲۲۹/۴۵۱۶ A
۷۰	۵۹/۷۲۷۳ C	-۱۵/۲۰۲۷ A	۶۰/۲۰۸۴ C	۲/۵۵۱۹ A	۲۲۹/۴۶۱۸ A
۸۰	۶۰/۵۰۰۴ B	-۱۵/۵۷۱۷ B	۶۰/۰۴۰۳ C	۴/۴۰۲۲ B	۲۲۲/۹۶۶۷ B

حروف غیر مشترک در هر ستون بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ درصد است.

جدول ۴. شاخص سفتی بافت در خلال سیب‌زمینی سرخ‌شده

دما(سانتیگراد)	ماده خشک(درصد)	حداکثر نیرو(نیوتن)
۵۰	۴۰/۹۷۵۰ B	۷/۴۱۳۶ C
۶۰	۴۲/۱۲۵۰ AB	۱۰/۵۲۸۰ A
۷۰	۴۰/۲۲۵۰ B	۸/۲۳۱۵ BC
۸۰	۴۳/۴۲۵۰ A	۹/۱۹۱۳ AB

حروف غیر مشترک در هر ستون بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ درصد است.

اثر دمای خشک‌کردن بر فاکتورهای رنگ خلال سیب‌زمینی نیمه‌سرخ‌شده

جدول ۵ اثر دماهای متفاوت خشک‌کردن مقدماتی را بر فاکتورهای رنگ خلال سیب‌زمینی سرخ‌شده نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود تفاوت معنی‌داری بین اندیس‌های رنگ‌سنجی در دماهای متفاوت خشک‌کردن دیده نمی‌شود. بنابراین می‌توان گفت دمای خشک‌کردن اثری روی کیفیت رنگ

خلال سیب‌زمینی نیمه‌سرخ‌شده ندارد. محققان بیان کرده‌اند که رنگ خلال بیشتر تحت تأثیر میزان قندهای احیاءکننده موجود در سیب‌زمینی است. درواقع، میزان دیفوزیون مواد محلول (آمینواسیدها و قندهای احیاءکننده) از بافت سیب‌زمینی در آب آنزیم‌بری، میزان واکنش میلارد در فرایند سرخ‌کردن را تعیین می‌کند (Kaymak & Kincal, 1994). پژوهشگران تأثیر اندازه خلال و روش خشک‌کردن را بر رنگ خلال بیشتر از دمای آن دانسته‌اند (Tajner *et al*., 2008).

جدول ۵. تغییرات رنگ در خلال سیب‌زمینی سرخ‌شده

دما (سانتیگراد)	L*	a *	b *
۵۰	۶۰/۹۶۲۵ ^{A}	-۱۳/۳۳۵۵ ^{A}	۶۰/۵۲۳۷ ^{A}
۶۰	۵۸/۸۳۵۱ ^{B}	-۱۳/۷۵۵۸ ^{A}	۵۷/۵۲۳۵ ^{C}
۷۰	۵۹/۱۵۰۸ ^{B}	-۱۴/۶۹۹۰ ^{B}	۵۹/۰۲۱۰ ^{B}
۸۰	۶۰/۲۷۶۳ ^{A}	-۱۴/۴۰۰۶ ^{B}	۵۸/۲۴۸۶ ^{BC}

حروف غیر مشترک در هر ستون بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ درصد است.

اثر دمای خشک‌کردن بر میزان روغن جذب‌شده در خلال سیب‌زمینی سرخ‌شده

جدول ۶ اثر دمای خشک‌کردن مقدماتی را بر میزان جذب روغن در خلال سیب‌زمینی سرخ‌شده نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌کنید تفاوت معنی‌داری در میزان روغن باقیمانده در دماهای متفاوت خشک‌کردن دیده نمی‌شود. به‌طورکلی، از آنجاکه روغن در فرایند سرخ‌کردن جایگزین آب در بافت سیب‌زمینی می‌شود، افزایش میزان ماده خشک سیب‌زمینی قبل از سرخ‌کردن از طریق خشک‌کردن، جذب روغن محصول سرخ‌شده را کاهش می‌دهد. می‌توان گفت، میزان روغن جذب‌شده در خلال سیب زمینی سرخ‌شده، به درصد رطوبت نمونه بیشتر از دمای خشک‌کردن ارتباط دارد.

محققان خشک‌کردن مقدماتی در هوای داغ قبل از سرخ‌کردن را عامل بهبود بافت و کاهش جذب روغن دانسته‌اند. با حذف آب سطحی در آغاز خشک‌کردن پوسته تشکیل می‌شود. کاهش جذب روغن را می‌توان چنین توجیه کرد که در طول دوره خشک‌کردن به‌دلیل چروکیدگی، خلل‌وفرج کم می‌شود و همچنین ازدست‌رفتن رطوبت در حین خشک‌کردن، زمان لازم برای سرخ‌شدن را کوتاه می‌کند. میزان ماده جامد اولیه در محصول، مؤلفه مؤثری در جذب روغن در طول دوره سرخ‌کردن است (Moyano *et al*.,2007).

جدول ۶. اثر دمای خشک‌کردن بر میزان جذب روغن در خلال سیب‌زمینی سرخ‌شده

دما (سانتیگراد)	روغن باقیمانده (درصد)
۵۰	۱۳/۰۰۰۰ ^{A}
۶۰	۱۳/۰۰۰۰ ^{A}
۷۰	۱۲/۵۵۰۰ ^{A}
۸۰	۱۲/۴۵۰۰ ^{A}

نتیجه‌گیری کلی

در ارزیابی کلی در زمینه تأثیر فرایند خشک‌کردن مقدماتی بر شاخص‌های کیفی خلال سیب‌زمینی سرخ‌شده و بر طبق نتایج به‌دست‌آمده، مشاهده می‌شود که خصوصیات کیفی خلال‌های سیب‌زمینی شامل رنگ، بافت، و درصد جذب روغن با خشک‌کردن در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد تا رطوبت ۷۴ درصد براساس وزن مرطوب بهبود می‌یابد. بنابراین می‌توان برای کاهش مصرف انرژی و جلوگیری از تأثیرات نامطلوب دما بر رنگ و ظاهر و بافت خلال، خشک‌کردن را در این دما و زمان انجام داد.

سپاسگزاری

از کارشناسان و همکاران آزمایشگاه‌های گروه صنایع غذایی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان به‌خصوص جناب آقای مهندس بهمن بهرامی که در انجام آزمایش‌ها نقش بسزایی داشتند، سپاسگزاریم.

REFERENCES

Agblor, A. and Scanlon, M. (2000). Processing conditions influencing the physical properties of french fried potatoes. American Journal of Potato Research, 43, 163-178.

Akdeniz, N. (2004). Effects of different batter formulations on quality of deep-fat fried carrot slices. A Msc thesis Submitted to the Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University. 104p.

Binner, S., Jardine, W. G., Renard, C. M. and Jarvis, M. C. (2000). Cell wall modifications during cooking of potatoes and sweet potatoes. Journal of Food Science & Agricalture, 80, 216-218.

Considin, D. M. and Considin, P. E. (1982). Encyclopedia of food and food production, New York: UNR.

Daraei Garmekhani, A., Mirzaei, H., Maghsoudloo, Y. and Kashani nejad, M. (2008). Evaluation of effect of pre-drying on oil uptake and quality of potato French fries. Journal of.Agricalture Sciences and Natural Resources, 14(3). (In Farsi)

Falahi, M. (1996). Potato Science and Technology. Mashhad: Barsava. (In Farsi)

Gordon, R. B. (1990). Snack Food. New York: Van Nostrand Reinhold.

Gupta, P., Shivhare, U. and Bawa, A. (2000). Studies on kinetics and quality of French fries. *Drying Technology*, 18, 311-321.

Hadad Khodaparast, M. H. (1993). Edible oils technology. Mashhad: Ferdosi Mashhad University. (In Farsi).

Jafarian, S. (2000). Effect of pre heating and use of some of hydrocolloids in reduction oil uptake and quality of potato French fries. A thesis Submitted to Msc degree of food science and technology, Isfahan University of technology. (In Farsi)

Kaymak, F. and Kincal, N. S. (1994). Apparent diffusivities of reducing sugars in potato strips blanched in water. International Journal of Food Science & Technology, 29, 63-70.

Krokida, M. K., Oreopoulou, V., Maroulis, Z. B. and Marinos-Kouris, D. (2001). Effect of pre-drying on quality of French fries. *Journal of Food Engineering*, 49, 347- 354.

Lulai, E. C. and Orr, P. H. (1979). Influence of potato specific gravity on yield and oil content of chips. *American Potato Journal,* 56, 379-390.

Tajner, A., Figiel, A. and Carbonell, A. (2008). Effect of potato strip size and pre-drying method on French fries quality. *European Food Research Technology,* 227, 757-766.

Moreno, M. C. and Bouchon, P. (2008). A Different perspective to study the effect of freeze, air, and osmotic drying on oil absorption during potato frying. *Journal of Food Science,* 73(3), 122-128.

Moyano, P. C., Troncoso, E. and Pedreschi, F. (2007). Modeling texture kinetics during thermal processing of potato products. *Food Science & Technology*, 72(2), 102-107.

Yam, K. A. and Papadakis, S. E. (2004). A simple digital imaging method for measuring and analyzing color of food surfaces. *Journal of Food Engineering*, 61, 137–142.

Zehlender, G. W., Powerlson, M. L., Jonsson, R. K. and Roman, K. V. (1994). Advanced in potato pest biology and management. *Minnestoa :APS Press*.