

بهینه‌یابی فرایند برشته کردن مادون قرمز رقم‌های مهم تجاری مغز پسته با روش سطح پاسخ

افسانه مرشدی^۱، سید محمد علی رضوی^{۲*} مهدی کاشانی نژاد^۳، احمد شاکر اردکانی^۴، علی مصطفوی^۵

۱. دانشجوی دکتری علوم و صنایع غذایی، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۲. استاد، مهندسی و فیزیک مواد غذایی، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۳. استاد، مهندسی مواد و طراحی صنایع غذایی، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۴. استادیار، پژوهشکده پسته، موسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رفسنجان
۵. استاد، شیمی محض، گروه شیمی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید باهنر کرمان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۳/۲۹، تاریخ آخرین بازنگری: ۱۳۹۶/۵/۲، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۵/۱۵)

چکیده

در این پژوهش، از پرتوهای مادون قرمز برای برشته کردن مغز پسته چهار رقم مهم تجاری ایران، فندق، کله قوچی، اکبری و احمد آقایی استفاده شد. و بهینه‌یابی فرایند با استفاده از طرح مرکب مرکزی برای هر رقم انجام گرفت. متغیرهای مستقل شامل ولتاژ لامپ مادون قرمز در دامنه ۶۶-۹۴ V و فاصله نمونه تا منبع مولد مادون قرمز در دامنه ۰/۴-۰/۱۱ m و متغیرهای وابسته یعنی پاسخ، شامل نیروی شکست اول، نیروی شکست دوم، شاخص قهوه‌ای شدن، زمان فرایند و طعم برشته‌گی بودند. به‌طور کلی، نیروی شکست اول نمونه‌ها در محدوده ۵-۵۴ N؛ نیروی شکست دوم نمونه‌ها در محدوده ۱۵-۶۵ N؛ شاخص قهوه‌ای شدن نمونه‌ها در محدوده ۳۸-۴۱، زمان فرایند برشته کردن در محدوده ۱۰۸۰-۲۵۲ s؛ و امتیاز طعم برشته‌گی در محدوده ۴-۱۴ به‌دست آمد. با توجه به روش آزمون و خطا، از یک مدل چهارجمله‌ای برای تجزیه و تحلیل پاسخ‌ها استفاده شد. شرایط بهینه برشته کردن از نظر ولتاژ مادون قرمز و فاصله نمونه تا منبع مولد مادون قرمز برای رقم فندق ۰/۱ m - ۷۰ V، رقم احمد آقایی ۰/۱ m - ۹۰ V، رقم کله قوچی ۰/۰۵ m - ۹۰ V و رقم اکبری ۰/۱ m - ۹۰ V به‌دست آمد. نتایج این تحقیق نشان داد فرایند برشته کردن با مادون قرمز می‌تواند فرایندی کارآمد و مناسب برای مغز پسته باشد که علاوه بر یکنواختی بیش‌تر فرآورده نهایی، باعث کاهش زمان فرایند برشته کردن به میزان حداقل ۵۰٪ روش متداول خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: برشته کردن، بهینه‌یابی، روش سطح پاسخ، مادون قرمز، مغز پسته.

* نویسنده مسئول: s.razavi@um.ac.ir

۱. مقدمه

از فناوری‌های نوین، امری ضروری به نظر می‌رسد. برشته کردن آرام و تدریجی دانه‌های آجیلی به شیوه سنتی با استفاده از سطوح داغ و در دمای پایین منجر به نفوذ تدریجی گرما در مغز، بدون ایجاد طعم سوختگی می‌شود، علاوه بر این، باعث کاهش رطوبت و افزایش تردی مغز نیز می‌شود. طعم و بافت از جمله ویژگی‌هایی هستند که به‌طور معمول در صنعت به‌صورت تجربی کنترل می‌شوند؛ در حالی که از دیدگاه مصرف‌کننده شاخص‌های بسیار مهمی هستند. لذا اثر برشته کردن بر این پارامترها باید مورد بررسی قرار گیرد [۱۸].

پرتوهای مادون قرمز در حقیقت نوعی از امواج الکترومغناطیس هستند که نسبت به مکانیسم هدایت و همرفت، دارای سرعت انتقال حرارت بالاتری هستند [۱۹]. این پرتوها می‌توانند به‌عنوان یک روش نوین جهت برشته کردن مغزها به‌کار برده شوند. امواج مادون قرمز در سیستم‌های حرارتی، نتایج چشمگیری را نسبت به مکانیسم همرفت نشان داده‌اند. از جمله آن‌ها می‌توان به کاهش زمان فرایند، حرارت دهی یکنواخت، کاهش افت کیفیت، پیشگیری از جابه‌جایی ترکیبات محلول به سطح ماده غذایی، سهولت کاربرد، تجهیزات مورد استفاده کم‌تر و درنهایت صرفه جویی در مصرف انرژی اشاره کرد. از امواج مادون قرمز در فراوری بسیاری از مواد غذایی استفاده شده است [۲۰]. برای مثال استفاده از امواج مادون قرمز جهت برشته کردن مغز بادام، علاوه بر کاهش زمان فرایند، باعث بهبود کیفیت محصول نهایی می‌شود. مغزهای بادام برشته شده با این روش دارای ویژگی‌های حسی، بافتی و ویژگی‌های شیمیایی بهتری نسبت به محصولات برشته شده به روش همرفت بودند [۲۱]. شایان ذکر است استفاده از امواج مادون قرمز علاوه بر ویژگی‌های ساختاری مواد به ابعاد و اندازه آن‌ها نیز وابسته است و بر این اساس عمق نفوذ پرتو و تغییرات حاصل از آن متفاوت خواهد بود [۱۵، ۱۶].

برخی از محققان اثر برشته کردن را بر ویژگی‌های مختلف مغزهای خوراکی مورد بررسی قرار داده‌اند. نیک زاده و صداقت [۲۲] اثر دمای برشته کردن با جریان هوا را بر بافت و ویژگی‌های پسته واریته اوحدی بررسی کردند. با افزایش دمای برشته کردن، میزان سختی و نیروی شکست دانه‌ها به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. شاکر اردکانی و همکاران [۲۳] اثر دما و زمان فرایند برشته کردن با جریان هوا را بر سختی پسته کامل و پودر شده با روش

پسته از جمله محبوب‌ترین مغزهای خوراکی در دنیا محسوب می‌شود که دارای ترکیبات شیمیایی و آنتی‌اکسیدانی ارزشمند فراوان است [۱]. مغز پسته علاوه بر دارا بودن طعمی مطلوب، به دلیل اثرات قابل توجهی که بر سلامتی به‌ویژه سیستم قلبی و عروقی انسان دارد، مورد استقبال مصرف‌کنندگان قرار گرفته است [۲، ۳]. مغز پسته در صنایع آجیل و تنقلات، قنادی، دسرها و بستنی‌سازی کاربرد فراوان دارد [۴].

واژه پیستاچیو از "پسته" (یک کلمه فارسی) مشتق شده است. پسته از حدود سه تا چهار هزار سال قبل در ایران کشت می‌شده و پس از آن به سایر کشورها گسترش یافته است [۱]. در ایران حدود ۶۰ رقم پسته کشت می‌شود و ایران از نظر تنوع رقم و کیفیت پسته تولیدی، مقام اول دنیا را دارد [۵]. پسته دارای ارزش اقتصادی قابل توجهی است و از آن به‌عنوان طلای سبز یاد می‌شود [۶]. این محصول علاوه بر ایران در کشورهای ایالت متحده آمریکا، ترکیه، سوریه، ایتالیا و یونان تولید می‌شود و در حال حاضر ایران پس از ایالت متحده آمریکا، مقام دوم را در صادرات پسته دارد [۷].

برشته کردن یکی از روش‌های معمول فراوری و مهم‌ترین مرحله ایجاد طعم در پسته و سایر مغزهای خوراکی محسوب می‌شود و درصد قابل توجهی از پسته به صورت برشته مصرف می‌شود [۸، ۱۰]. حین فرایند برشته کردن، طعم، رنگ، و بافت محصول تغییر پیدا می‌کند. هدف از انجام این فرایند، بهبود کیفیت حسی فرآورده و افزایش پذیرش کلی در آن است [۶، ۱۱، ۱۳]. استفاده از ترکیب دما-زمان نامناسب در فرایند برشته کردن، باعث کاهش کیفیت فرآورده، ماندگاری و از دست رفتن عطر و طعم خواهد شد [۱۴، ۱۵]. فرایند رایج برشته کردن مغزها استفاده از هوای داغ است که در مقایسه با فناوری‌های نوین، استفاده از امواج مایکروویو و مادون قرمز، زمان به‌نسبت زیادی را می‌طلبد و به تبع آن هزینه زیادی را نیز به همراه خواهد داشت؛ هم‌چنین این فرایند باعث مهاجرت ترکیبات محلول از سطوح داخلی به لایه‌های خارجی، از دست رفتن رنگدانه‌ها و مواد مغذی می‌گردد [۱۶، ۱۷]. در فرایند برشته کردن رایج به‌دلیل معایب استفاده از دماهای بالا و زمان کوتاه، بهینه کردن فرایند و استفاده

قرمز و فاصله مناسب نمونه از لامپ بر ویژگی‌های مغزهای برشته صورت نگرفته است. بنابراین هدف از این تحقیق بهینه‌یابی فرایند برشته کردن مغز چهار رقم مهم پسته ایرانی فندق، کله قوچی، اکبری و احمد آقایی با استفاده از امواج مادون قرمز و بررسی زمان برشته شدن، طعم برشته‌گی، ویژگی شاخص قهوه‌ای شدن و ویژگی‌های بافتی، نیروی شکست اول و دوم، به‌عنوان تابعی از ولتاژ منبع مولد مادون قرمز در دامنه ۶۶-۹۴ V و فاصله نمونه تا منبع مولد مادون قرمز در دامنه ۰/۴-۰/۱۱ m می‌باشد.

۲. مواد و روش‌ها

۲.۱. تهیه و آماده‌سازی مواد اولیه

مواد اولیه شامل چهار رقم پسته خشک فندق، احمد آقایی، اکبری و کله قوچی خریداری شده از یک فروشگاه محلی در کرمان و نمک طعام خوراکی با درجه خلوص ۹۹٪ بودند. میانگین رطوبت مغزهای پسته در این تحقیق ۴-۳٪ بر اساس وزن تر بود. ابتدا ناخالصی‌های موجود در پسته‌ها شامل دانه‌های شکسته، پوک، نارس، پوست و پوست چوبی پسته به روش دستی حذف شدند و مغز چهار رقم مورد نظر به‌دست آمد. نمونه‌ها تا زمان انجام فرایند در بسته‌های پلی‌اتیلنی درب بسته و در یخچال در دمای $1^{\circ}\text{C} \pm 4$ نگه‌داری شدند. قبل از انجام فرایند نمونه‌ها از یخچال خارج و دمای آن‌ها به دمای محیط رسانیده و جهت برشته کردن نمونه‌ها ابتدا محلول ۱۰٪ وزنی / حجمی نمک طعام تهیه شد [۲۷]. سپس هر کیلوگرم مغز پسته به مدت ۲۰ min در ۵ L محلول آب نمک قرار گرفت [۲۴، ۲۲]. در طی این مدت نمونه‌ها به آرامی و با سرعت یکنواخت هم زده شدند. در مرحله بعد نمونه‌ها آب کشی شدند تا آب نمک اضافه آن‌ها خارج شود. سپس رطوبت سطحی پسته‌ها با یک فیلتر پارچه‌ای طی مدت ۱۰ min حذف شد [۲۴، ۲۲].

۲.۲. فرایند برشته کردن با مادون قرمز

فرایند برشته کردن توسط یک دستگاه خشک کن/ برشته کن ترکیبی مادون قرمز/ هوای داغ انجام گرفت [۲۹]. دستگاه مجهز به یک لامپ مادون قرمز با توان متغیر تا ۱۵۰۰ W و امکان تغییر فاصله نمونه تا لامپ بود. به منظور برشته کردن نمونه‌ها، آزمایش‌های ابتدایی انجام شد. ابتدا نمونه‌ها به صورت تک لایه روی سطح یک ترازو که به یک کامپیوتر متصل بود و تغییرات

سطح پاسخ مورد بررسی قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد با افزایش دما و زمان برشته کردن مقدار سختی کاهش پیدا می‌کند. نتایج حاکی از آن بود که سختی می‌تواند جهت کنترل فرایند برشته کردن مورد استفاده قرار گیرد. محمدی مقدم و همکاران [۲۵] اثر دما، زمان و سرعت جریان هوای برشته کردن را، بر ویژگی‌های بافتی و رفتار رهایی از تنش مغز پسته وارسته اوحدی مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیق نشان داد که افزایش دمای برشته کردن باعث کاهش نقطه شکست، سختی و انرژی فشاری مغز پسته می‌شود؛ در حالی که افزایش زمان و سرعت جریان هوا اثر معنی‌داری بر این ویژگی‌ها نداشت. هم‌چنین، اثر متقابل این سه فاکتور بر نقطه شکست، معنی‌دار بود. کامارن و همکاران [۲۶]، موس و همکاران [۱۹] تغییرات رنگ را به‌عنوان یکی از شاخص‌های مهم کیفی برشته کردن بادام زمینی بیان کردند و علت آن را تولید و گسترش رنگدانه‌های قهوه‌ای حاصل از واکنش‌های قهوه‌ای شدن و کاراملیزاسیون گزارش نمودند. تحقیقات اندکی درباره کاربرد روش مادون قرمز در برشته کردن مغزهای خوراکی وجود دارد. برای مثال کومار و همکاران [۱۵] گزارش کردند که بادام زمینی برشته شده با پرتوهای مادون قرمز، کیفیت بهتری در مقایسه با محصولات مشابه برشته شده با هوا و یا سطح داغ دارد. علاوه بر این، استفاده از پرتوهای مادون قرمز باعث کاهش زمان برشته کردن به میزان ۳۳ و ۶۰٪ نسبت به روش‌های متداول یعنی استفاده از هوای داغ و سطح داغ می‌شود. یانگ و همکاران [۲۷، ۲۸] برشته کردن و پاستوریزاسیون مغز بادام با استفاده از امواج مادون قرمز را مورد مطالعه قرار دادند و ویژگی‌های محصول برشته شده با این روش را با روش‌های معمولی شامل هوای داغ و برشته کردن سنتی یعنی استفاده از سطح داغ، مقایسه کردند. نتایج این تحقیق نشان داد برشته کردن با امواج مادون قرمز باعث کاهش زمان برشته کردن و بار میکروبی محصول می‌شود، در حالی که طعم محصول نهایی تفاوت معنی‌داری با فرآورده‌های حاصل از روش معمول برشته کردن با هوای داغ نداشت. مطالعات مربوط به ماندگاری بادام برشته شده با مادون قرمز در مقایسه با هوای داغ، تفاوت معنی‌داری را نشان نداد.

تاکنون تحقیقی مبنی بر برشته کردن ارقام مختلف پسته با استفاده از پرتوهای مادون قرمز منتشر نشده است. هم‌چنین هیچ‌گونه تحقیقی در ارتباط با اثر ولتاژ لامپ مولد امواج مادون

در سرعت‌ها و تغییر شکل‌های مختلف ترسیم شد. سرعت و میزان تغییر شکلی که در آن نیرو به صورت خطی و مستقل از میزان تغییر شکل و سرعت بود به‌عنوان سرعت و تغییر شکل بهینه انتخاب شد [۲۳].

با توجه به دو لپه‌ای بودن پسته، جهت افزایش دقت آزمایش، مغزهای پسته با اسپاتول از وسط به دو نیم شده و از سطح صاف روی سطح دستگاه قرار گرفتند. ویژگی‌های مختلفی از این آزمون قابل استخراج می‌باشند، اما تنها ویژگی‌های نیروی شکست اول و نیروی شکست دوم (N) که از منحنی نیرو-تغییر شکل استخراج شدند (شکل ۱) و به‌عنوان ویژگی‌های بافتی مکانیکی برای بهینه‌یابی فرایند برشته کردن مغز پسته مورد استفاده قرار گرفتند [۱۰، ۲۳].

۴.۲. اندازه‌گیری زمان برشته کردن

زمان فرایند برشته کردن از لحظه شروع فرایند تا زمانی که رطوبت نمونه به ۲٪ برسد، محاسبه گردید [۲۱، ۲۳]. برای این منظور نمونه‌ها در حین برشته شدن روی یک کفه ترازو قرار داشتند و تغییرات وزن نمونه طی زمان و به‌طور مداوم توسط کامپیوتر شخصی ثبت و کنترل می‌شد.

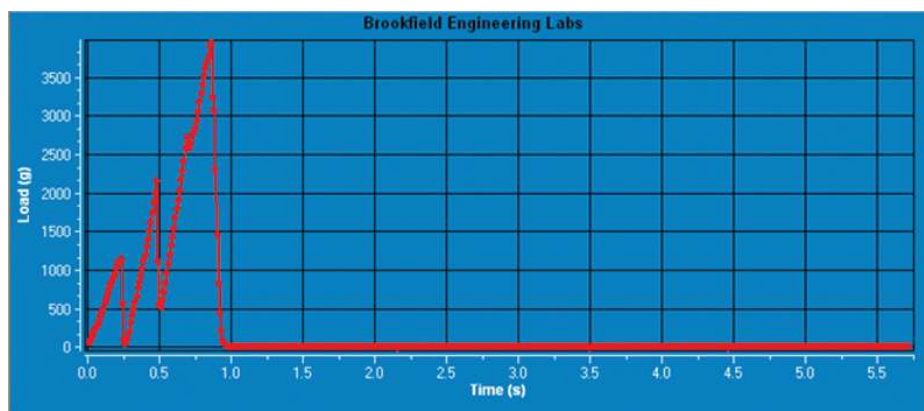
۵.۲. اندازه‌گیری شاخص قهوه‌ای شدن

به منظور ارزیابی شاخص قهوه‌ای شدن، از نمونه‌های مغز پسته قبل و بعد از برشته کردن توسط یک اسکنر HP Scan Jet ساخت کشور چین، عکس تهیه شد. به منظور تهیه عکس، مغز هر یک

وزن را در طول زمان ثبت می‌کرد، قرار گرفتند. این فرایند تا زمان رسیدن رطوبت نمونه‌ها به ۲٪ ادامه یافت [۳۰]. لازم به توضیح است رطوبت اولیه مغز تمام ارقام محاسبه شد. نمونه‌ها قبل از خیساندن و پس از خیساندن در آب نمک و خشک کردن با دستمال، وزن شده و درون دستگاه برشته کن روی ترازو قرار گرفتند. ترازو به یک کامپیوتر متصل بود که تغییرات وزن را در طول زمان برشته کردن نشان داده و ثبت می‌کرد و با توجه به وزن اولیه نمونه‌ها، پس از رسیدن رطوبت نمونه به ۲٪ فرایند برشته کردن متوقف شد. شایان ذکر است که طبق استاندارد ملی ایران حداکثر رطوبت پسته برشته باید ۲٪ باشد. طی این فرایند، زمان برشته شدن هم محاسبه شد. برای برشته کردن نمونه‌های اصلی، در اواسط زمان لازم، نمونه‌ها به صورت دستی پشت و رو (هم زده) شدند تا برشته شدن به صورت همگن و یکنواخت انجام شود.

۳.۲. آزمون‌های بافتی

جهت انجام آزمون‌های بافتی فشاری از یک دستگاه بافت سنج Texture Analyzer, Brookfield مدل C T V 1.5 استفاده شد. آزمون فشاری بافت سنجی با استفاده از یک پروب استوانه‌ای با قطر ۲۵/۴ mm و با سرعت کرنش ۲ mm/s در بافت نمونه انجام شد. جهت تعیین سرعت و میزان تغییر شکل مورد نیاز جهت انجام آزمایش، آزمون‌های ابتدایی انجام شد. به این منظور ابتدا سرعت‌ها به میزان ۱-۱۰ mm/s و تغییر شکل‌های مختلف به اندازه ۵-۱ mm استفاده گردید. سپس منحنی نیرو-تغییر شکل



شکل (۱) نمودار تغییرات نیرو-زمان در آزمون فشاری مغز پسته؛ پیک ابتدایی منحنی بیانگر نیروی شکست اول و پیک دوم آن بیانگر نیروی شکست دوم می‌باشد

Fig. 1. Compression test Force-time graph: the first peak shows the first fracture force and the second peak shows the second fracture force

نمونه‌های مغز پسته به صورت تک لایه در معرض تابش با ولتاژهای متفاوت لامپ، ۵۰-۲۵۰V و فاصله‌های مختلف، ۰/۲-۰/۲۰m قرار گرفتند، آزمایش مقدماتی با تاکید بر ارزیابی‌های حسی نشان داد که برشته کردن پسته در محدوده ولتاژ ۷۰-۹۰ V و فاصله ۰/۱۰-۰/۰۵m امکان پذیر و مناسب است.

بهینه‌یابی با استفاده از روش سطح پاسخ و به کمک نرم افزار Design Expert نسخه ۱۰ انجام شد. متغیرهای مستقل عبارت بودند از (X₁) ولتاژ لامپ مادون قرمز (با حداکثر ۹۴ V و حداقل ۶۶ V)، و (X₂) فاصله نمونه تا لامپ مولد مادون قرمز، با حداکثر ۰/۱۱ m و حداقل ۰/۰۴ m پاسخ‌های مورد بررسی یعنی متغیرهای وابسته شامل خصوصیات بافتی مکانیکی، نیروهای شکست اول و دوم؛ طعم برشته‌گی؛ شاخص قهوه‌ای شدن و زمان فرایند برشته شدن بودند. براساس معادله (۳)، ۱۳ تیمار جهت بهینه‌یابی برشته کردن هر رقم مشخص شد [۳۱]

$$\begin{aligned} \text{تعداد} &= 2K + 2K + r \\ \text{تیمار} &= K \end{aligned} \quad (3)$$

در رابطه فوق، K برابر با تعداد متغیرهای مستقل در نظر گرفته می‌شود. تیمارهای پیشنهادی توسط نرم افزار، سطوح متغیرها، کدهای مربوطه و ماتریس طراحی شده در جدول (۱) آورده شده است. کلیه آزمایش‌ها به صورت تصادفی انجام شد تا اثر فاکتورهای بیرونی بر تغییرات غیر قابل توضیح به کم‌ترین مقدار خود برسد.

هر یک از ارقام پسته طبق تیمارهای ۱۳ گانه برشته شدند. سپس نمونه‌ها پس از رسیدن به دمای محیط در بسته‌های پلی اتیلنی با درب بسته در دمای یخچال (۴ ± ۱ °C) تا زمان انجام آزمون‌ها نگاه‌داری شد.

برای هر پاسخ، ضرایب موجود در مدل‌های مختلف به روش آنالیز واریانس بررسی و یافت شدند. معنی‌داری پارامترهای معادله از طریق اندیس p بررسی شد. به منظور برازش مناسب ترین مدل از شاخص‌های ضریب تبیین (R²) و عدم برازش استفاده شد و مدلی مناسب تشخیص داده شد که R² بزرگ‌تر و عدم برازش کم‌تری داشت. هدف از تعیین نقاط بهینه فرایند برشته کردن هر رقم پسته دسترسی به نمونه‌ای بود که در آن

از ارقام پسته مورد مطالعه روی سطح دستگاه اسکندر قرار گرفت و به جای قرار گرفتن درب دستگاه به شکل معمول، یک جعبه مقوایی به رنگ مشکی که دقیقاً به اندازه درب دستگاه ساخته شده بود روی نمونه‌ها قرار گرفت و نمونه‌ها اسکن شدند. سپس شاخص‌های رنگی شامل L، a و b با کمک نرم افزار پردازش تصویر محاسبه و استخراج شدند [۲۳، ۳۱]. در نهایت با استفاده از معادله‌های (۱) و (۲) مقدار شاخص قهوه‌ای شدن (BI) برای هریک از نمونه‌ها محاسبه شد [۲۳].

$$x = \frac{(a+1.75L)}{(5.645L+a-3.012b)} \quad (1)$$

$$BI = \frac{[100(x-0.31)]}{0.17} \quad (2)$$

۶.۲. ارزیابی طعم برشته‌گی

جهت انجام آزمون حسی، با انجام یک سری آزمون‌های اولیه ۹ داور شامل ۳ مرد و ۶ زن در دامنه سنی ۲۵ تا ۴۵ سال، انتخاب شدند. برای این منظور از روش مثلثی جهت شناسایی تفاوت بین نمونه‌ها استفاده شد. به این ترتیب که سه نمونه به ارزیاب‌ها داده شد، به طوری که دو نمونه از آن‌ها مشابه بودند. ارزیاب‌هایی که نزدیک‌ترین امتیاز را به نمونه‌های مشابه داده بودند؛ به‌عنوان داور خواص حسی انتخاب شدند [۲۳، ۳۲]. به منظور تشخیص ویژگی‌های حسی این ارزیابان به مدت یک ماه، ۳ بار در هفته، آموزش دیدند. ارزیابی در دمای محیط، ۱ ± ۲۲ °C و در معرض نور سفید فلوروسنت انجام شد. به منظور ارزیابی ۱۵ نقطه مشخص شد (صفر به مفهوم کم‌ترین امتیاز و ۱۵ به مفهوم بیش‌ترین امتیاز در نظر گرفته شد) و آزمون به طریق توصیفی انجام شد. در هر جلسه برگزاری آزمون حسی، داورها دو نمونه مغز پسته را با فاصله زمانی ۱۵ min ارزیابی کردند و در فاصله انجام آزمون چشایی آب معدنی با دمای محیط نوشیدند. در این تحقیق ویژگی‌های حسی مختلفی مورد ارزیابی قرار گرفت، اما تنها طعم برشته‌گی به‌عنوان شاخص برای بهینه‌یابی فرایند برشته کردن مغز پسته با مادون قرمز انتخاب شد.

۷.۲. بهینه‌یابی با روش سطح پاسخ

به منظور بهینه‌سازی فرایند برشته کردن چهار رقم پسته تجاری ابتدا آزمایش مقدماتی صورت گرفت. برای این منظور،

جدول (۱) ضرایب و تیمارهای طراحی شده در طرح مرکب مرکزی توسط نرم افزار دیزاین اکسپرت (نسخه ۱۰).

Table 1 The coefficients and treatments of central composite design developed by Design Expert software (Ver.10).

سطح Level		کد Code		تیمار Treatment
فاصله (m) Distance (cm)	ولتاژ (V) Voltage (V)	فاصله (x ₂) Distance (X ₂)	ولتاژ (x ₁) Voltage (X ₁)	
0.075	66	0	-1	1
0.050	70	-1	-1	2
0.100	70	+1	-1	3
0.034	80	-1	0	4
0.075	80	0	0	5
0.075	80	0	0	6
0.075	80	0	0	7
0.075	80	0	0	8
0.075	80	0	0	9
0.110	80	+1	0	10
0.050	90	-1	+1	11
0.100	90	+1	+1	12
0.075	94	0	+1	13

آماري عبارت‌ها آنالیز رگرسیون و تحلیل واریانس مورد استفاده قرار گرفت. ضرایب تخمینی رگرسیون مدل چند جمله‌ای درجه دوم برای متغیرهای پاسخ در چهار رقم مختلف پسته در جدول (۲) آورده شده است. در جدول (۳) مقادیر ضرایب مختلف پاسخ‌ها را در ارقام متفاوت پسته نشان می‌دهد.

۲.۳. نیروی شکست اول

نتایج بررسی‌ها نشان داد مدل برازش شده در مورد نیروی شکست اول با توجه به ضرایب (جدول ۳) و آنالیز واریانس در مغز تمامی ارقام پسته است: (جدول ۲) $(p \leq 0.05)$. طی فرایند برشته کردن مغز پسته شکننده‌تر می‌شود و این تغییر بافتی یکی از ویژگی‌های فرآورده‌های برشته شده است [۲۴]. در مغز تمامی رقم‌های مورد مطالعه، ولتاژ لامپ مادون قرمز و فاصله بین نمونه و منبع تابش با نیروی شکست اول علاوه بر رابطه خطی دارای رابطه غیر خطی نیز می‌باشند. در مورد رقم‌های فندق و اکبری ولتاژ لامپ مادون قرمز و فاصله نمونه تا منبع پرتو با نیروی شکست اول مغز خطی است؛ به این معنی که با افزایش ولتاژ لامپ مادون قرمز، نیروی شکست اول مغز این ارقام کاهش پیدا می‌کند (رابطه معکوس) ولی با افزایش فاصله نمونه از منبع تابش نیروی شکست اول مغز این ارقام نیز افزایش می‌یابد (رابطه مستقیم). در مورد رقم کله قوچی و احمد آقایی رابطه ولتاژ لامپ مادون قرمز و فاصله نمونه تا منبع تابش با نیروی شکست اول مغز غیر خطی است. بیشترین و کمترین

نیروی شکست اول و دوم حداقل و طعم برشته‌گی در آن شرایط بیشترین مقدار را داشته باشد. رنگ قهوه‌ای در نمونه کمترین مقدار باشد و فرایند در کوتاه‌ترین زمان ممکن انجام شود.

۳. نتایج و بحث

۱.۳. برازش مدل

توابع پاسخ اندازه گیری شده در این تحقیق نیروی شکست اول، نیروی شکست دوم، زمان برشته کردن، شاخص قهوه‌ای شدن، و طعم برشته‌گی بودند. جهت برازش هر پاسخ به‌عنوان تابعی از متغیرهای مستقل (x) از یک معادله چند جمله‌ای به شرح ذیل استفاده شد (رابطه ۴).

$$Y = a_0 + a_1 \cdot X_1 + a_2 \cdot X_2 + a_3 \cdot (X_1^2) + a_4 \cdot (X_2^2) + a_5 \cdot (X_1 \cdot X_2) \quad (4)$$

که در این رابطه Y پاسخ تخمین زده شده، a_0, a_1, a_2, a_3, a_4 ضرایب ثابت مدل هستند، به این صورت که a_0 ضریب ثابت، a_1 ضریب عبارات خطی، a_3 و a_4 ضرایب عبارات‌های درجه دوم و a_{12} ضریب اثرات متقابل هستند. X_1 و X_2 مقادیر کد گذاری شده برای متغیرهای مستقل ولتاژ لامپ مادون قرمز و فاصله نمونه از لامپ هستند. واریانس‌های هر پاسخ به عبارت‌های خطی، درجه دوم و اثر متقابل تجزیه شدند. جهت برآورد اهمیت متغیرها و مناسب بودن تابع چند جمله‌ای از اجزاء خطی و عدم برازش استفاده گردید. برای برازش مدل و بررسی کیفیت‌های

نیروی شکست اول در میان مغز رقم‌های مورد مطالعه به ترتیب مربوط به رقم فندق و احمدآقایی می‌باشد (جدول ۳).
 آورده شده است. همان‌طور که در شکل (۲) مشاهده می‌شود، تغییرات نیروی شکست اول مغز هر یک از رقم‌های پسته مورد مطالعه متفاوت است.
 رابطه میان نیروی شکست اول با متغیرهای مستقل (ولتاژ لامپ مادون قرمز و فاصله بین منبع تابش و نمونه) در شکل (۲)

جدول (۲) نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر ولتاژ لامپ مادون قرمز و فاصله بین منبع تابش و نمونه بر ویژگی‌های مورد مطالعه (پاسخ‌ها) در مغز پسته چهار رقم تجاری ایران.

Table 2 Effects of infra-red lamp voltage and distance between the sample and the lamp on the studied properties (responses) of four Iranian commercial pistachio kernels varieties.

رقم cultivar	منابع تغییر Source of Variables	درجه آزادی Freedom degree	نیروی شکست اول First fracture force (N)	نیروی شکست دوم Second fracture force (N)	زمان Roasting time (s)	شاخص قهوه‌ای شدن Browning Index	طعم برشته‌گی Roasting taste
فندقی Fandoghi	تکرار Repetition	2	11.2 ns	22.1 ns	0.12 ns	6.68 ns	10.3 ns
	ولتاژ (A) Voltage	2	175 **	176 *	165 **	10.7 ns	16.7 **
	فاصله (B) Distance	1	13.7 ns	1.57 ns	618 **	4.76 ns	3.52 **
	A×B	2	686 **	94.2 **	3.94 ns	4.16 ns	7.49 **
	خطا Error	10	5.50	10.8	1.97	12.2	0.256
احمدآقایی Ahmad – Aghaei	تکرار Repetition	2	1.78 ns	0.42 ns	0.29 ns	7.66 ns	0.219 ns
	ولتاژ (A) Voltage	2	601 **	630 **	66.4 **	0.001 ns	2.05 **
	فاصله (B) Distance	1	464 **	50.2 ns	224 **	0.039 ns	21.9 **
	A×B	2	20.2 **	13.90 **	12.8 **	0.078 ns	5.13 **
	خطا Error	10	2.96	16.1	1.05	3.98	0.100
کله قوچی Kalle- Ghouchi	تکرار Repetition	2	3.09 ns	4.89 ns	0.946 ns	4.62 ns	0.78 ns
	ولتاژ (A) Voltage	2	258 **	551 **	38.5 **	7.01 ns	4.45 **
	فاصله (B) Distance	1	41.1 *	10.8 ns	100 **	0.452 ns	6.12 **
	A×B	2	511 **	672 **	9.75 **	1.12 ns	1.56 **
	خطا Error	10	4.80	3.86	1.03	5.55	0.112
اکبری Akbari	تکرار Repetition	2	5.36 ns	12.9 ns	0.08 ns	13.69 ns	0.054 ns
	ولتاژ (A) Voltage	2	120 **	176 **	50.08 **	5.80 ns	1.32 **
	فاصله (B) Distance	1	0.19 ns	376 **	113 **	5.35 ns	17.3 **
	A×B	2	767 **	80.7 **	12.56 **	7.73 ns	0.072 ns
	خطا Error	10	5.20	7.81	1.59	14.20	0.137

* و **: به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد. ns: عدم معنی‌داری.

* , **: Significant in 5% and 1 % respectively ; ns: not significant

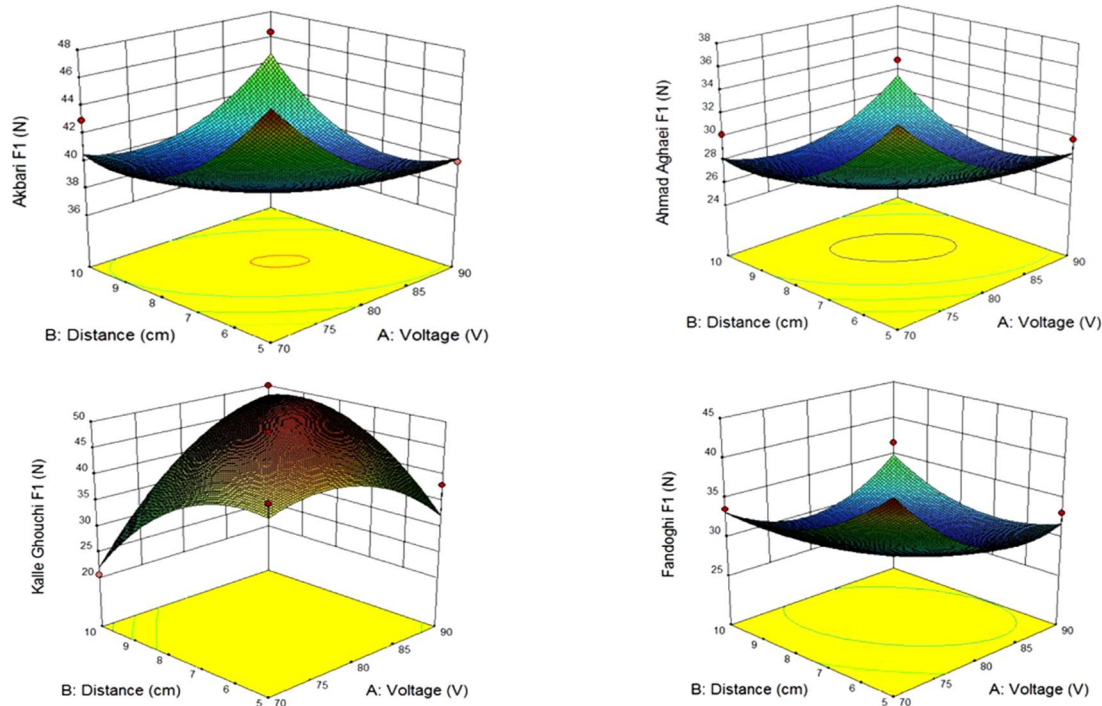
جدول (۳) ضرایب معادله رگرسیونی برازش شده برای صفات مورد مطالعه (پاسخ‌ها) در مغز پسته چهار رقم تجاری ایران.

Table 3 The coefficients of regression equations fitted for the responses of four Iranian commercial pistachio kernels.

ارقام Cultivars	صفات Responses	a ₀	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	a ₅
فندق Fandoghi	نیروی شکست اول (N) First fracture force	37.63	-1.69	-0.629	0.347	0.794	9.01
	نیروی شکست دوم (N) Second fracture force	72.01	-1.85	0.691	-14.29	-4.89	-1.48
	زمان برشته شدن (s) Roasting time	12.75	-3.85	5.70	0.537	0.305	0.679
	شاخص قهوه‌ای شدن Browning index	41.83	-0.333	0.393	0.152	-1.17	0.741
	طعم برشته‌گی Roasting taste	5.76	-0.493	-0.161	0.121	-0.421	1.08
احمدآقایی Ahmad-Aghaei	نیروی شکست اول (N) First fracture force	40.76	-0.505	5.67	-8.26	-5.43	0.579
	نیروی شکست دوم (N) Second fracture force	57.15	-0.573	2.20	7.14	-4.79	13.77
	زمان برشته شدن (s) Roasting time	14.54	-2.37	3.50	-1.82	0.748	1.05
	شاخص قهوه‌ای شدن Browning index	39.13	0.046	-0.047	-0.084	-0.076	-0.096
	طعم برشته‌گی Roasting taste	5.26	-0.627	-0.898	0.434	0.845	0.853
کله قوچی Kalle-Ghouchi	نیروی شکست اول (N) First fracture force	47.96	4.14	-0.978	-5.56	-6.38	8.89
	نیروی شکست دوم (N) Second fracture force	50.92	7.75	-0.575	5.29	0.972	-8.19
	زمان برشته شدن (s) Roasting time	13.99	-1.36	2.55	-2.71	-1.46	-0.160
	شاخص قهوه‌ای شدن Browning index	41.83	0.038	-0.186	-0.192	-0.698	-0.088
	طعم برشته‌گی Roasting taste	4.59	0.146	-0.526	-0.101	-0.455	-1.59
اکبری Akbari	نیروی شکست اول (N) First fracture force	36.26	-1.18	-1.19	0.573	1.34	10.23
	نیروی شکست دوم (N) Second fracture force	65.43	-5.73	3.86	-11.41	-4.07	3.65
	زمان برشته شدن (s) Roasting time	10.75	-2.44	2.50	0.389	-1.04	-1.40
	شاخص قهوه‌ای شدن Browning index	39.10	0.404	0.397	-0.352	-0.258	-0.983
	طعم برشته‌گی Roasting taste	4.21	0.014	-0.826	0.542	0.211	-0.061

(N) برای ارقام فندق، احمد آقایی، کله قوچی و اکبری به ترتیب معادل ۲۵، ۲۱، ۳۶ و ۴۰ به دست آمد. به طور کلی نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد در رقم‌های فندق و احمد آقایی در شرایط بهینه برشته کردن، نیروی شکست اول از رقم‌های کله

بیشترین میزان نیروی شکست اول در رقم‌های فندق، احمد آقایی، کله قوچی و اکبری به ترتیب در فاصله (m) و ولتاژ (V): $0.1\text{ m} - 0.7\text{ V}$ ، $0.1\text{ m} - 0.75\text{ V}$ ، $0.1\text{ m} - 0.5\text{ V}$ و $0.1\text{ m} - 0.9\text{ V}$ مشاهده شد. مقدار بهینه نیروی شکست اول



شکل (۲) اثر ولتاژ لامپ مادون قرمز و فاصله بین منبع تابش و نمونه بر نیروی شکست اول مغز پسته چهار رقم مهم تجاری برشته شده با روش مادون قرمز
Fig. 2. The effect of IR-lamp voltage and the distance between the lamp and the sample on first fracture force of four Iranian commercial pistachio kernel roasted by infra-red process

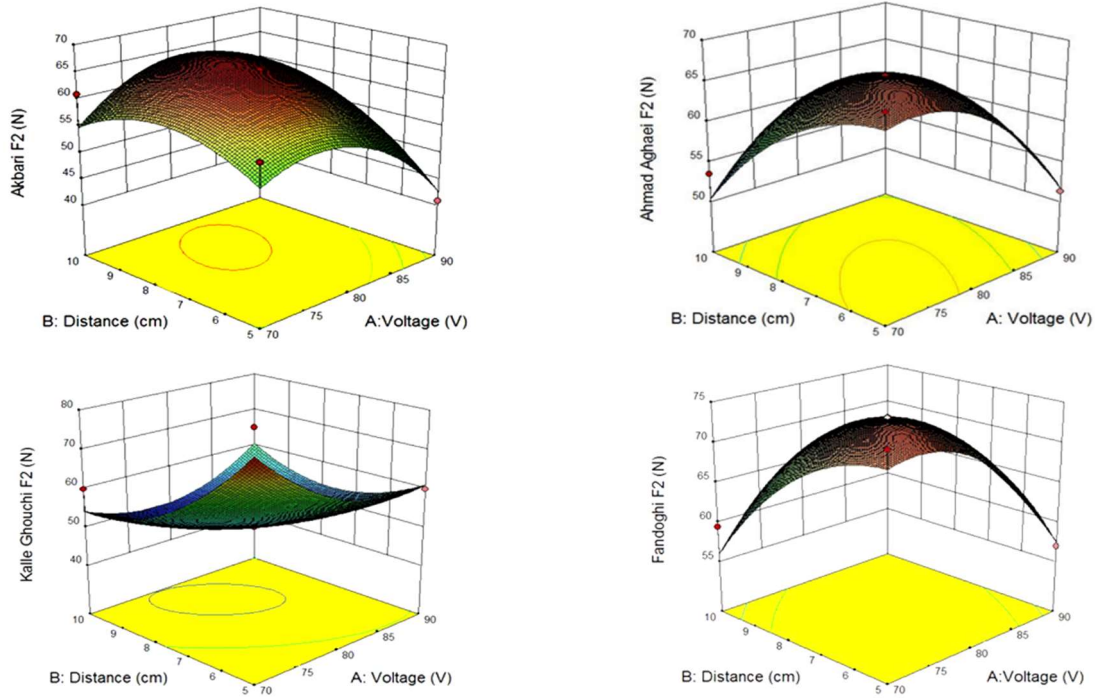
پسته‌های فندق، احمدآقایی و اکبری مثبت و با مغز پسته کله قوچی منفی می‌باشد. با توجه به مدل برازش شده رابطه غیرخطی میان ولتاژ لامپ مادون قرمز و نیروی شکست دوم مغز پسته ارقام کله قوچی و احمد آقایی مثبت بوده و با نیروی شکست دوم مغز پسته ارقام اکبری و فندق منفی می‌باشد. رابطه غیرخطی فاصله با نیروی شکست دوم ارقام اکبری، فندق و احمد آقایی منفی و با مغز رقم کله قوچی مثبت می‌باشد.

همان‌طور که در شکل (۳) مشاهده می‌شود، نیروی شکست دوم مغز هریک از رقم‌های پسته در شرایط بهینه متفاوت است. کم‌ترین نیروی شکست دوم نمونه‌های پسته به ترتیب در شرایط فاصله (m) و ولتاژ (V) : $0.05 \text{ m} - 94 \text{ V}$; $0.04 \text{ m} - 75 \text{ V}$ ؛ $0.08 \text{ m} - 94 \text{ V}$ ؛ $0.08 \text{ m} - 81 \text{ V}$ ؛ احمدآقایی، کله قوچی و اکبری مشاهده شد. همان‌گونه که شکل (۳) نشان می‌دهد، مقدار بهینه نیروی شکست دوم (N) برای رقم‌های فندق، احمد آقایی، اکبری و کله قوچی به ترتیب معادل $39/5$ ؛ 55 ؛ 55 و 37 می‌باشد. مقایسه نیروی شکست دوم رقم‌های مختلف پسته نشان داد در شرایط بهینه برشته کردن، نیروی

قوچی و اکبری کم‌تر می‌باشند. لی و همکاران در مطالعه برشته کردن بادام زمینی بیان کردند فرایند برشته کردن باعث تغییر در ساختارهای داخلی نمونه‌ها و کاهش نیروی شکست می‌شود. نتایج این تحقیق نشان داد در شرایط بهینه برشته کردن، مقدار نیروی لازم برای شکست اول مغز رقم‌های مختلف پسته در دامنه $20-60 \text{ N}$ قرار دارد که با نتایج به دست آمده توسط محمدی مقدم مشابهت دارد. تاکنون تحقیقی در مورد تغییرات ولتاژ لامپ مادون قرمز و فاصله بین نمونه و منبع تابش و تاثیر آن بر نیروی شکست اول مغز پسته صورت نگرفته است.

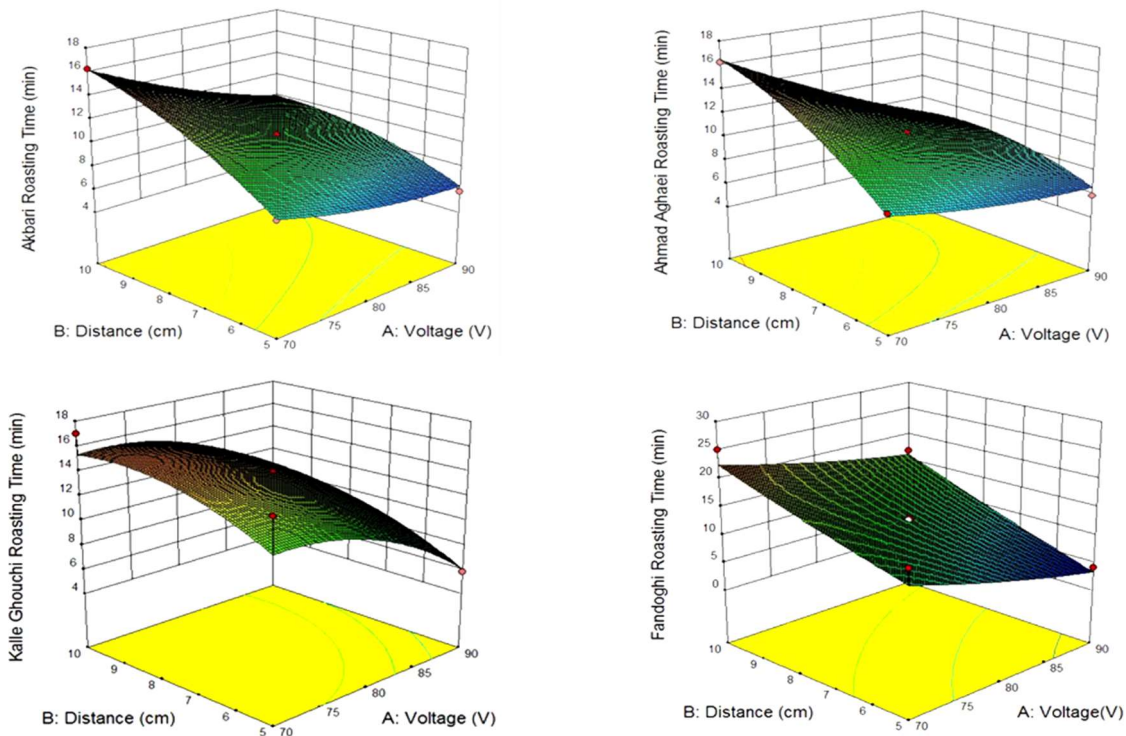
۳.۳. نیروی شکست دوم

آنالیز واریانس نیروی شکست دوم و مقادیر ضرایب برای هر چهار رقم پسته معنی‌دار بود ($p \leq 0.05$). به عبارتی ولتاژ لامپ مادون قرمز و فاصله نمونه تا منبع تابش با نیروی شکست مغز تمام رقم‌های پسته مورد مطالعه هم دارای رابطه خطی و هم غیرخطی می‌باشد. رابطه خطی بین ولتاژ لامپ مادون قرمز و فاصله بین منبع تابش و نمونه با نیروی شکست دوم مغز



شکل (۳) اثر ولتاژ لامپ مادون قرمز و فاصله بین منبع تابش و نمونه بر نیروی شکست دوم مغز پسته چهار رقم مهم تجاری برشته شده با روش مادون قرمز

Fig. 3 The effect of IR-lamp voltage and the distance between the lamp and the sample on second fracture force of four Iranian commercial pistachio kernel roasted by infra-red process



شکل (۴) اثر ولتاژ لامپ مادون قرمز و فاصله بین منبع تابش و نمونه بر زمان برشته شدن مغز پسته چهار رقم مهم تجاری برشته شده با روش مادون قرمز

Fig. 4 The effect of IR-lamp voltage and the distance between the lamp and the sample on roasting time of four Iranian commercial pistachio kernel roasted by infra-red process

و به دو صورت خطی و غیرخطی است. رابطه خطی بین ولتاژ لامپ مادون قرمز و شاخص قهوه‌ای شدن مغز پسته تمامی ارقام مورد مطالعه به جز فندق مستقیم است، یعنی با افزایش ولتاژ لامپ مادون قرمز در تمامی ارقام به استثنای رقم فندق قهوه‌ای شدن کاهش می‌یابد. رابطه خطی بین فاصله نمونه تا منبع تابش و شاخص قهوه‌ای شدن در مورد مغز تمام ارقام پسته مستقیم می‌باشد و با افزایش فاصله نمونه تا منبع تابش قهوه‌ای شدن مغز تمام ارقام نیز افزایش می‌یابد. رابطه بین سطح پاسخ شاخص قهوه‌ای شدن و ولتاژ لامپ مادون قرمز در حالت غیرخطی در تمام ارقام مستقیم است. رابطه غیر خطی بین فاصله منبع تابش و نمونه با شاخص قهوه‌ای شدن در تمام ارقام به جز رقم فندق معکوس می‌باشد (جدول ۳). چگونگی روابط در شکل (۵) نشان داده شده است.

موس و همکاران، اوزدمیر و دورس، دمیر و همکاران، کایوگلو و کایا تغییرات رنگ فندق را در فرایند برشته کردن بررسی کرده‌اند. نتایج آن‌ها حاکی از آن است که پایش رنگ قهوه‌ای می‌تواند نشانه خوبی برای مقدار برشتگی فندق باشد [۸، ۱۱، ۱۲، ۱۴، ۲۶ و ۴۱]. نتایج حاصل از این مطالعه بیانگر آن است که اگرچه میزان قهوه‌ای شدن مغز ارقام مختلف پسته متفاوت است، ولی در هر رقم به ولتاژ مورد استفاده لامپ و فاصله نمونه تا منبع مادون قرمز وابسته است. در نقاط بهینه فرایند، بیش‌ترین مقدار قهوه‌ای شدن در رقم کله قوچی و کم‌ترین مقدار در رقم اکبری مشاهده شد. مقدار آن تمامی ارقام در محدوده ۴۲-۳۵ بود. در میان ارقام مورد مطالعه، بیش‌ترین مقدار کربوهیدرات در رقم کله قوچی مشاهده شد، بنابراین احتمال دارد که افزایش قهوه‌ای شدن در این رقم به دلیل بالا بودن مقدار کربوهیدرات نسبت به سایر ارقام و در نتیجه انجام واکنش‌های کاراملیزاسیون بیش‌تر باشد (جدول ۴). سورینی و همکاران بیان کردند که فرایند قهوه‌ای شدن در برشته کردن تحت تاثیر فاکتورهای متفاوتی صورت می‌گیرد، از جمله تولید ملانوئیدها در واکنش مایلارد، اکسایش ویتامین C و کاراملیزه شدن فندها [۴۲]. نیک زاده، حجتی و همکاران و محمدی مقدم گزارش کردند که شاخص قهوه‌ای شدن پسته رقم اوحدی در فرایند برشته کردن با هوای داغ در محدوده ۵۰/۵۷ - ۲۰/۰۷ می‌باشد که با نتایج این پژوهش هم‌خوانی دارد [۲۴، ۲۲ و ۴۲].

شکست دوم برای رقم اکبری کم‌تر از سایر رقم‌ها است و نیروی شکست دوم مغز رقم‌های مختلف پسته در شرایط بهینه، در دامنه ۳۷-۵۵ N است. ارتباط ولتاژ لامپ مادون قرمز و فاصله بین نمونه و منبع تابش با نیروی شکست دوم در هیچ‌کدام از مغزها بررسی نشده است.

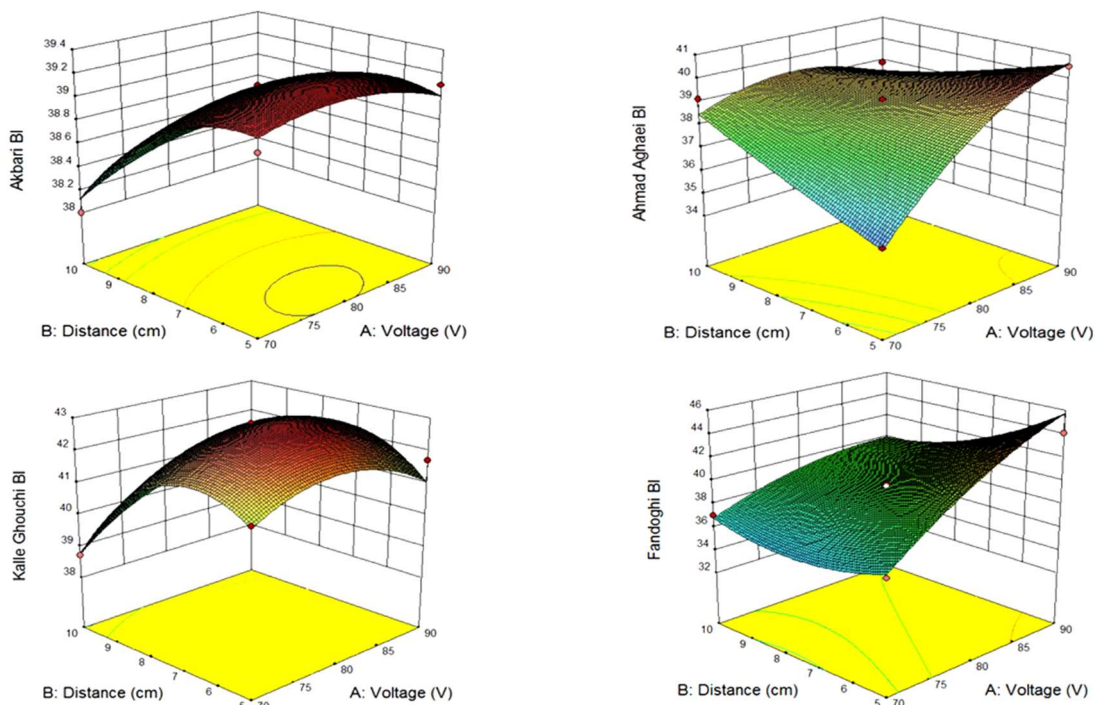
۴.۳. زمان برشته کردن

مدل برازش شده در رابطه با زمان، جدول (۳)، حاکی از آن است که تمامی ضرایب مدل معنی‌دار هستند ($p \leq 0/05$). تاثیر متغیر ولتاژ لامپ مادون قرمز و فاصله بر زمان برشته کردن خطی و غیر خطی است، شکل (۴)، درحالی‌که اثر متقابل متغیرهای مستقل معنی‌دار نبود ($p \leq 0/05$). رابطه خطی بین ولتاژ لامپ مادون قرمز با زمان برشته کردن مغز پسته تمام ارقام منفی بود به این معنی که با افزایش ولتاژ لامپ مادون قرمز، زمان فرایند برشته کردن کوتاه می‌شود. رابطه خطی فاصله منبع تابش تا نمونه و زمان برشته کردن مغز تمام رقم‌های مورد مطالعه مثبت می‌باشد به این معنی است که با افزایش فاصله نمونه تا منبع تابش، زمان فرایند برشته کردن افزایش پیدا می‌کند.

در این تحقیق برشته کردن مغز پسته چهار رقم مختلف در دامنه ۱۸۰-۱۲۰۰ s متفاوت بود. بیش‌ترین زمان برشته کردن مربوط به رقم احمد آقایی و کم‌ترین زمان برشته کردن متعلق به رقم فندق است. محمدی مقدم [۲۴] و نیک زاده [۲۲] زمان مورد استفاده جهت برشته کردن دانه پسته اوحدی را ۳۰۰۰-۱۲۰۰ s گزارش دادند. البته با توجه به این که این محققان برشته شدن پسته همراه با پوسته چوبی را مورد بررسی قرار داده‌اند؛ شاید بتوان گفت وجود یا عدم وجود پوسته چوبی می‌تواند بر زمان مناسب جهت برشته شدن تاثیرگذار باشد. تاکنون تحقیقی در زمینه برشته کردن مغز پسته ارقام مختلف با مادون قرمز، در ولتاژهای مختلف و فاصله‌های متفاوت بین نمونه و منبع تابش انجام نشده است، لیکن تغییر در ولتاژ لامپ مادون قرمز و فاصله نمونه تا منبع مولد مادون قرمز باعث ایجاد دماهای مختلف و در نتیجه زمان‌های متفاوت برشته شدن گردید.

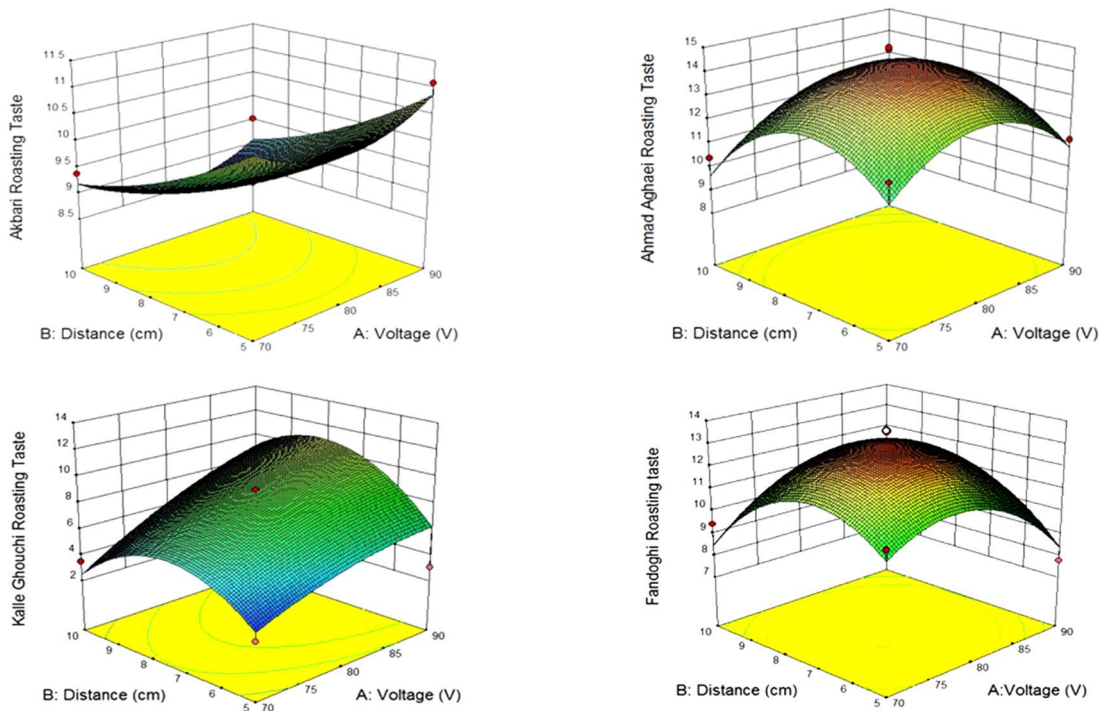
۵.۳. شاخص قهوه‌ای شدن

با توجه به جدول (۳) و مقادیر به‌دست آمده برای تمام ضرایب می‌توان نتیجه‌گیری کرد که تاثیر متغیرهای مستقل بر شاخص قهوه‌ای شدن مغز ارقام مختلف پسته معنی‌دار بوده ($p \leq 0/05$)



شکل (۵) اثر ولتاژ لامپ مادون قرمز و فاصله بین منبع تابش و نمونه بر شاخص قهوه‌ای شدن مغز پسته چهار رقم مهم تجاری برشته شده با روش مادون قرمز

Fig. 5 The effect of IR-lamp voltage and the distance between the lamp and the sample on browning index of four Iranian commercial pistachio kernel roasted by infra-red process



شکل (۶) اثر ولتاژ لامپ مادون قرمز و فاصله بین منبع تابش و نمونه بر طعم برشته‌گی مغز پسته چهار رقم مهم تجاری برشته شده با روش مادون قرمز

Fig. 6 The effect of IR-lamp voltage and the distance between the lamp and the sample on roasting taste of four Iranian commercial pistachio kernel roasted by infra-red process

۶.۳. طعم برشته‌گی

کیفی محصولات برشته شده، میزان قهوه‌ای شدن بافت محصول است که به صورت شاخص قهوه‌ای شدن در بهینه‌یابی منظور شد [۱۰، ۱۱]. در نهایت طعم برشته‌گی به‌عنوان یک معیار حسی حائز اهمیت از دیدگاه مصرف‌کنندگان، در آزمون حسی مورد توجه قرار گرفت [۳۳]. حدود مطلوب محصولات بهینه به این صورت تعریف شد که زمان فرایند و شاخص قهوه‌ای شدن، نیروی لازم برای شکست بافت مغز پسته در حداقل مقدار خود باشد و بافت مغز پسته سبزی خود را حفظ کند، محصول نهایی از تردی و شکنندگی مطلوبی برخوردار و در نهایت طعم برشته‌گی محصول تولید شده مورد قبول ارزیاب‌های حسی و در بیش‌ترین مقدار خود باشد. بر اساس این معیارها بهینه‌یابی انجام و برای مغز هر رقم پسته یک نقطه بهینه مشخص شد. سپس در شرایط بهینه، برشته کردن صورت گرفت و نتایج مربوط به پاسخ‌ها (متغیرهای وابسته) با نسخه پیشنهادی مدل، مورد آزمون قرار گرفت. در تمامی ارقام مورد مطالعه ($p \leq 0/05$) بود که نشانه برازش مناسب مدل و صحت بهینه‌یابی می‌باشد (جدول ۵).

۴. نتیجه‌گیری

در این پژوهش بهینه‌یابی فرایند برشته کردن مغز چهار رقم از انواع تجاری پسته ایران با مادون قرمز مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور، از روش سطح پاسخ استفاده و متغیرهای مستقل بهینه‌یابی ولتاژ لامپ مادون قرمز و فاصله نمونه تا منبع تابش در نظر گرفته شد. پاسخ‌ها، متغیرهای وابسته، با توجه به ویژگی‌های کیفی محصول نهایی انتخاب شدند (زمان فرایند، ویژگی‌های بافتی، شاخص قهوه‌ای شدن و طعم برشته‌گی). بررسی نشان داد که بهینه شرایط برشته کردن مغز این چهار رقم پسته با یکدیگر متفاوت است و برای هر یک از ارقام یک نقطه بهینه مشخص شد. به منظور ارزیابی مدل برازش شده با توجه به شرایط بهینه هر رقم، برشته کردن انجام و پاسخ‌های به‌دست آمده در شرایط تجربی با شرایط پیش‌بینی شده در مدل با یکدیگر مقایسه آماری شدند. مقایسه بین پاسخ‌ها نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین داده‌ها موجود نیست و مدل به خوبی برازش شده است ($p \leq 0/05$). در مطالعه انجام شده بین تمامی پاسخ‌ها و ضخامت مغز ارقام مورد مطالعه رابطه رگرسیونی یافت شد (جدول ۶). در مجموع می‌توان نتیجه گرفت که روش برشته کردن با مادون قرمز علاوه بر این که انتظارات کلی فرایند را به

مدل به‌کار رفته برای طعم برشته‌گی نشان از معنی‌دار بودن اثر ولتاژ لامپ مادون قرمز و فاصله نمونه تا منبع تابش بر طعم برشته‌گی دارد (جدول ۳). تمام ضرایب رگرسیونی معنی‌دار و در مورد تمامی ارقام رابطه خطی میان فاصله نمونه تا لامپ مادون قرمز و طعم برشته‌گی معکوس است؛ به عبارتی با کاهش فاصله نمونه تا لامپ مادون قرمز طعم برشته‌گی مغز تمامی رقم‌های مورد مطالعه افزایش می‌یابد. رابطه غیرخطی فاصله نمونه تا منبع تابش با طعم برشته‌گی تنها در رقم کله قوچی معکوس است. رابطه خطی میان ولتاژ لامپ مادون قرمز و طعم برشته‌گی در مورد ارقام فندق و احمد آقایی معکوس، با افزایش ولتاژ لامپ مادون قرمز، طعم برشته‌گی در مغز این دو رقم کاهش می‌یابد و در ارقام کله قوچی و اکبری مستقیم است، با افزایش ولتاژ لامپ مادون قرمز، طعم برشته‌گی در مغز این ارقام افزایش می‌یابد. رابطه غیر خطی بین ولتاژ لامپ مادون قرمز و طعم برشته‌گی در تمام ارقام به جز کله قوچی مستقیم است. رابطه بین پاسخ طعم برشته‌گی و متغیرهای مستقل در شکل (۶) نشان داده شده است.

در این تحقیق، مغز پسته چهار رقم مهم تجاری ایران در فرایند برشته کردن با مادون قرمز مورد مقایسه قرار گرفت. در شرایط بهینه، بیش‌ترین امتیاز طعم برشته‌گی به ترتیب متعلق به رقم احمد آقایی، اکبری، کله قوچی و فندق بود (جدول ۳). در این زمینه تاکنون تحقیقی انجام نشده است و طعم ارقام مختلف ایرانی با یکدیگر مقایسه نشده است.

۷.۳. بهینه‌یابی

بهینه‌یابی شرایط برشته کردن مغز پسته چهار رقم تجاری ایران با استفاده از روش سطح پاسخ انجام شد. به این منظور مهم‌ترین جنبه‌های کیفی پسته برشته مورد بررسی قرار گرفت. در تمامی فرایندهای برشته کردن به روش مادون قرمز کاهش زمان فرایند جنبه مهم فراوری می‌باشد [۱۵، ۱۶، ۲۱]. بنابراین در بهینه‌یابی زمان فرایند مورد توجه قرار گرفت. تغییرات بافتی یکی از ویژگی‌های محصولات برشته است. با توجه به این که در حین فرایند برشته کردن نیروی لازم برای شکست و سختی بافت کاهش می‌یابد؛ ویژگی‌های بافت محصول در بهینه‌یابی فرایند برشته کردن با مادون قرمز به منظور حفظ کیفیت بافتی محصول نهایی در نظر گرفته شد [۲۲، ۲۴، ۴۱]. از دیگر پارامترهای مهم

لحاظ کیفی و حسی برآورده می‌کند؛ چون زمان فرایند را به جایگزین روش‌های متداول برشته کردن مغز انواع پسته پیشنهاد میزان چشمگیری کوتاه می‌کند، می‌تواند به‌عنوان یک روش گردد.

جدول (۴) ترکیبات شیمیایی (بر اساس وزن مرطوب) و ضخامت مغز چهار رقم تجاری پسته ایران.

Table 4 The chemical compositions (wet basis, %) and the thickness of four Iranian commercial pistachio kernels .

رقم Cultivars	پروتئین Protein%	چربی Oil%	کربوهیدرات Carbohydrate%	خاکستر Ash%	رطوبت Moisture%	ضخامت Thickness (m)
فندق Fandoghi	15.08	53.74	25.72	2.84	2.62	99×10^{-4}
احمدآقایی Ahmad- Aghaei	11.41	55.58	20.01	3	3	98×10^{-4}
کله قوچی Kalle- Ghouchi	11.31	52.02	26.77	3.4	2.5	154×10^{-4}
اکبری Akbari	17.1	51.05	25.91	2.62	2.32	121×10^{-4}

جدول (۵) میزان بهینه تیمارها به همراه سطح پاسخ‌های شبیه سازی شده توسط مدل و پاسخ‌های تجربی در مغز پسته چهاررقم تجاری برشته شده با روش مادون قرمز

Table 5 Infra-Red roasting process of four Iranian commercial pistachio cultivars optimum points, model responses and experimental responses

رقم اکبری Akbari	رقم کله قوچی Kalle-Ghouchi	رقم احمد آقایی Ahmad-Aghaei	رقم فندق Fandoghi	متغیرهای مستقل (تیمارها) Independent Variables (Treatments)
90	90	90	70	ولتاژ (V) Voltage (V)
0.10	0.05	0.10	0.10	فاصله (m) Distance (m)
متغیرهای وابسته (سطوح پاسخ) Dependent Variables (Responses)				
پاسخ مدل در نقاط بهینه Model responses in optimum points				
44.70	33.00	30.96	33.38	نیروی شکست اول (N) First fracture force
57.77	60.67	59.69	57.99	نیروی شکست دوم (N) Second fracture force
10.01	6.21	7.82	21.75	زمان برشته شدن (S) Roasting time
38.43	41.15	38.44	34.77	شاخص قهوه‌ای شدن Browning index
9.09	6.49	10	9.1	طعم برشته‌گی Roasting taste
نتایج تجربی در نقاط بهینه Experimental responses in optimum points				
46.38	38.11	32.9	33.62	نیروی شکست اول (N) First fracture force
57.64	58.19	60.3	66.45	نیروی شکست دوم (N) Second fracture force
9.63	7.82	7.63	8.53	زمان برشته شدن (S) Roasting time
38.5	40.75	38.89	34.5	شاخص قهوه‌ای شدن Browning index
8.9	14	9.9	10.18	طعم برشته‌گی Roasting taste
0.95	0.83	0.89	0.88	مطلوبیت (Desirability)

جدول (۶) توابع رگرسیونی بین ضخامت مغز رقم‌های پسته و پاسخ‌های مورد مطالعه.

Table 6 Regression equations developed between pistachio kernels thickness and the responses.

ضریب تبیین R ²	تابع Equation	پاسخ Response
0.95	$Y = -73.94X_2 + 217.21 X - 112.25$	نیروی شکست اول (N) First fracture force
0.96	$Y = -83.85 X_2 + 231.67 X - 105.94$	نیروی شکست دوم (N) Second fracture force
0.99	$Y = 19.41 X_2 - 36.57 X + 25.73$	زمان فرایند (S) Process time
0.98	$Y = 13.44 X_2 - 35.55 X + 32.87$	شاخص قهوه‌ای شدن Browning index
0.92	$Y = 23.69 X_2 - 63.06 X + 80.27$	طعم برشته‌گی Roasting taste

منابع

- [12] Kahyaoglu, T., Kaya, S. (2006). Modeling of moisture, color and texture changes in sesame seeds during the conventional roasting. *J. Food Eng.*, 75(2), 167-177.
- [13] Durmaz, G., and Gokmen, V. (2011). Changes in oxidative stability, antioxidant capacity, and phytochemical composition of pistachia terebinthus oil with roasting. *J. Food Chem.*, 128, 410-414.
- [14] Ozdemir, M. (2001). Mathematical analysis of color changes and chemical parameters of roasted hazelnuts, PhD Thesis in Food Science, Istanbul University of Technology, Turkey.
- [15] Kumar, S., Debnath, S., Hebbar, U., H. (2009). Pulsed infrared roasting of groundnuts and its quality. *Int. J. Food Eng.*, 4(5), 812-820.
- [16] Afzal, T.M., Abe, T. (1999). Some fundamental attributes of far infrared radiation drying of potato. *Drying Technology*, 17(1&2), 137-155.
- [17] Anon, (2007b), Guidelines for validation of dry roasting process, Almond Board of California, Available from: <<http://www.almondboard.com/Handlers/Documents/Dry-Roast-Validation-Guidelines.pdf>>.
- [18] Saklar, S., Katnas, S., Urgan, S. (1999). Instrumental crispiness and crunchiness of roasted hazelnuts and correlation with sensory assessment. *J. Food Sci.*, 64(6), 1015-1019.
- [19] Hebbar, H. U., Vishwanathan, K., H., Ramesh, M., N. (2004). Development of combined infrared and hot air dryer for vegetables. *J. Food Eng.*, 65, 557-563.
- [20] Krishnamurthy, K., Khorana, H., K., Jun, S., Irudayaraj, J., and Demirci, A. (2008) Infrared heating in food processing: an overview, *Comprehensive Reviews in Food Sci. Food Safety*, 7, 2-13.
- [21] Yang, J., Bingol, G., Pan, Zh. Brandl, M. T., McHugh, T. H., Wang, H. (2010). Infrared heating for
- [1] www.ars.usda.gov/services/docs.htm?docid//15866.
- [2] Tomaino, A., Martorana, M., Arcoraic, T., Monteleone, D., Giovinazzo, C., Saija, A. (2010). Antioxidant activity and phenolic profile of pistachio (*Pistachia Vera L.*, variety Bronte) seeds and skins, *Biochimie*, 92, 1115-1122.
- [3] Vujasinovic, V., Djilas, S., Dimic, E., Basic, Z., Radocaj, O. (2012). Roasting effect on the chemical composition and oxidative stability of pumpkin oil, *Eur. J. Lipid Sci. Tech.*, 114 (5), 568-574.
- [4] Kashaninejad, M., Mortazavi, A., Safekordi, A., Tabil, L. G. (2006). Some physical properties of pistachio (*Pistachia Vera L.*) nut and its kernel, *J. Food Eng.*, 72: 30-38
- [5] Berthold, L. (1919). "Sino-Iranika; Chinese contributions to the history of civilization in Ancient Iran, with special reference to the history of cultivated plants and products", Curator of Anthropology, The black Stone Expedition, *Chicago*, pp 181-211.
- [6] <http://www.ipi.ir>.
- [7] Pangan <http://pangan.12.blogfa.com/post-558>.
- [8] Ozdemir, M., Devres, O. Y. (2000 b). Kinetics of color changes of hazelnuts during roasting. *J. Food Eng.*, 44, 31-38.
- [9] Pittia, P., Dalla Rosa, M., Lerici, C. R. (2001). Textural changes of coffee beans as affected by roasting conditions, *LWT. Food Sci. Tech.*, 34, 168-175.
- [10] Saklar, S., Katnas, S., Urgan, S. (1999). Instrumental crispiness and crunchiness of roasted hazelnuts and correlation with sensory assessment. *J. Food Sci.*, 64(6), 1015-1019.
- [11] Kahyaoglu, T. (2008). Optimization of the pistachio nut roasting process using response surface methodology and gene expression programming, *LWT. Food Sci. Tech.*, 41, 26-33.

- [35] Lee, C. M., & Resurreccion, A. V. A. (2006). Predicting sensory attribute intensities and consumer acceptance of stored roasted peanuts using instrumental measurements. *J. Food Quality*, 29(4): 319-328
- [36] Dugan, D. A., Cronin, K. (2004). The thermal kinetics of texture change and the analysis of texture variability for raw and roasted hazelnuts, *Int. J. Food Sci. Tech.*, 39, 371-383.
- [37] Kita, A., and Figiel, A. (2006). The effect of roasting on texture of walnuts, *Acta Agrophysica*, 7(1), 87-97.
- [38] Maridula, D., Goyal, R. K., Bhargava, V. K., and Manikantan, M. R. (2007). Effect of roasting on texture, color and acceptability of soybean for making satttu, *American J. Food Tech.*, 2(4), 265-272.
- [39] Jovanovich, M. R., Dzinica, N. R., Cvetkovic, B. R., Grujic, S., and Odzakovic, B. (2012). Changes of physical properties of coffee beans during roasting, *APTEFF*, 43, 331-342.
- [40] Severini, C., Gomes, T., De Pilli, T., Romani, S., and Massini, R. (2000). Autoxidation of packed almonds as affected by Millard reaction volatile compounds derived from roasting, *J. Agric. Food Chem.*, 48, 4635-4640.
- [41] Demir, A. J., Fraus Celayeta, M., Cronin, K., and Abodayeh, K. (2002). Modeling of the kinetics of color changes in hazelnuts during air roasting, *J. Food Eng.*, 55, 283-292.
- [42] Hojjati, M., Colin- Sanchez, A., Razavi, S. H., Carbonell-Barrachina, A. (2013). Effect of roasting on color and volatile composition of pistachio (*pistachia Vera L.*), *Int. J. Food Sci. Tech.*, 48, 437-443.
- dry-roasting and pasteurization of almonds, *J. Food Eng.*, 101, 273-280.
- [22] Nikzadeh, V. and Sedaghat, N. (2008). Physical and sensory changes in pistachio nuts as affected by roasting temperature and storage, *American-Eurasian J. Agric. Environ. Sci.*, 4(4), 478-483.
- [23] Shakerardekani, A., Karim, H., Mohd Ghazali, H., Chin, N. L. (2011). Effect of roasting conditions on hardness, moisture content and color of pistachio kernels, *Int. Food Res. J.*, 1(18), 723-729.
- [۲۴] محمدی مقدم، ت.، ارزیابی خصوصیات کیفی پسته برشته با استفاده از روش‌های تحلیل فرایند: مطالعات تجربی و مدل‌سازی. (۱۳۹۳). رساله دکترای مهندسی علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، گروه علوم و صنایع غذایی.
- [25] Cammarn, S. R., Lange, T., J., Beckett, G. D. (1990). Continuous fluidized-bed roasting, *Chem. Eng. Progress*, 86, 40-46.
- [26] Moss, J. R., Otten, L. (1989). A relationship between color development and moisture content during roasting of peanut, *Canadian Institute Food Sci. Tech. J.*, 22, 34-39.
- [27] Yang, J., Bingol, G., Pan, Zh. Brandl, M. T., McHugh, T. H., Wang, H. (2013). Shelf life of infrared dry-roasted almonds, *J. Food Chem.*, 138, 671-678.
- [28] شاکر اردکانی، ا. (۱۳۸۸) اثر روش‌های مختلف شور کردن در اجاق، و برشته کن با بستر سیال بر کیفیت و ماندگاری پسته، طرح پژوهشی صنایع غذایی، پژوهشکده پسته، رفسنجان.
- [29] صالحی، ف.، کاشانی نژاد، م. (۱۳۹۳) سامانه خشک کن ترکیبی مادون قرمز- هوای داغ، شماره ثبت ۸۷۲۶۰.
- [30] استاندارد ملی ایران (۱۳۷۵) مغز پسته، ویژگی‌ها و روش‌های آزمون، شماره ۲۱۸.
- [31] Razavi, S. M. A., Mazaherinasab, M., Nickfar, F., Sanaeefard, H. (2008). Physical properties and image analysis of wild pistachio nut (Baneh), *Iranian Food Sci. Tech. Res. J.*, 61-71.
- [32] Razavi, S. M. A., Edalatian, M., R. (2012). Effect of moisture content and compression axes physical and mechanical properties of pistachio kernel, *Int. J. Food Prop.*, 15, 507-517.
- [33] Mohammadi Moghaddam, T., Razavi, S. M. A., Taghizadeh, M., Sazegarnia, A. (2016). Sensory and instrumental texture assessment of roasted pistachio nut/kernel by partial least square (PLS) regression analysis: effect of roasting conditions, *J. Food Sci. Tech.*, 53(1), 370-380.
- [34] Buckholz, Jr. L., Daun, H., Stier, E., Trout, R. (1980). Influence of roasting time on sensory attributes of fresh roasted peanuts, *J. Food Sci.*, 45, 547-554.